

Research Paper

다중회귀분석을 이용한 남한강 내 보 건설 후 조류 발생량 예측

오승은* · 안흥규** · 채수권*

을지대학교 보건환경안전학과*, 한국건설기술연구원 수자원하천연구소**

The Study on the Prediction of Algae Occurrence by the Multiple Regression Analysis After Weir Construction at Namhan River

Seung-Eun Oh* · Hong-Kyu Ahn** · Soo-Kwon Chae*

Department of Health Environmental and Safety, Eulji University*

Hydro Science and Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology**

요약 : 본 연구는 SPSS(18 version)를 사용하여 남한강 보를 완공한 후에 해당되는 2012년부터 2015년까지의 기상, 수질 자료로 군집분석한 결과에 의해 평수기그룹과 가뭄기그룹으로 분류하고, 각 기간 그룹 별로 강천보, 여주보 및 이포보로 공간적 그룹으로 분류하였다. 이와 같은 6개의 그룹에 대해서 조류 주의보 이상의 Chl-a 농도에 해당될 월별 자료로 다중회귀분석을 실시하였다. 시·공간적으로 분류된 6개 그룹을 Chl-a 농도와 3개의 기상요인, 11개의 수질 요인 및 유량 요인과의 상관분석을 수행하여, 상관분석 결과를 회귀분석의 독립변수로 적용하고, 각 6개의 그룹 별로 Chl-a 농도 예측식을 도출하고자하였다. 위 연구방법으로 수행한 연구 결과는 아래와 같다.

군집분석을 실시한 결과 연 총강수량이 평년수준이었던 평수기그룹(2012~2013년)과 연 총강수량이 1,000mm/hr 미만으로 극심한 가뭄특성을 보였던 가뭄기그룹(2014~2015년)으로 시간적으로 분류되었다. 평수기그룹과 가뭄기그룹 별로 각 3개의 보 지점에서 조류 주의보 이상의 Chl-a 농도에 해당된 월은 평수기그룹은 3~8월이었고, 가뭄기그룹은 3월, 6~10월이었다.

각 6개의 그룹 별로 Chl-a 농도와 기상, 수질 및 유량 등의 요인과의 상관분석을 수행한 결과, 3개의 보 모두에서 평수기그룹보다 가뭄기그룹의 수온 및 유량이 Chl-a 농도와의 상관성이 증가하였다. 이는 극심한 가뭄에 의한 하천 내 유속 감소와 체류시간 증가로 인한 영향으로 판단된다.

6개의 그룹에 대한 상관분석을 수행한 결과에 따라 Chl-a 농도와의 상관성이 큰 기상, 수질 및 유량 요인들을 Chl-a 농도 예측식의 독립변수로 적용하여 다중회귀분석을 수행한 결과에 의하면, 남한강의 하류에 위치하고, 팔당댐과 직접적으로 연결되어 있는 이포보에 대한 Chl-a 농도 예측식의 $Ad.R^2$ 값은 평수기그룹에서 0.920, 가뭄기그룹 0.818로 우수한 선형성을 나타내었다.

주요어 : 보, 기후, 클로로필-a 예측식, 다중회귀분석

First Author: Seung-Eun Oh, Dept. of Health Environmental & Safety, Eulji University, Seongnam 13135, Korea, Tel: +82-31-740-7146, E-mail: osn755@naver.com

Corresponding Author: Soo-Kwon Chae, Dept. of Health Environmental & Safety, Eulji University, Seongnam 13135, Korea, Tel: +82-31-740-7146, E-mail: cskwen@eulji.ac.kr

Co-Author: Hong-Kyu Ahn, Hydro Science and Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea, Tel: +82-31-995-0804, E-mail: ahnhk@kict.re.kr

Received: 20 November, 2017. Revised: 11 December, 2017. Accepted: 13 December, 2017.

Abstract : This study was classified into two groups, normal season group and drought season group, by the cluster analysis using the weather and water quality data from 2012 to 2015, using SPSS 18 version. Also each cluster was classified into three spaces, Gangcheon, Yeosu and Ipoh weir. We performed the multiple regression analysis with each monthly data that concentration of Chl-a was more than algae warning level. 6 groups classified in time and space were analyzed by the correlation analysis between concentration of Chl-a and 3 weather, 11 water quality and discharge factors. We developed Chl-a prediction equations of each group with independent variables of the multiple regression analysis applying to the correlation result.

The result of cluster analysis was that the period was divided into two groups, normal group(2012-2013) that total annual precipitation rate was normal and drought group(2014-2015) that total annual precipitation rate was less than 1,000 mm/hr, in time. The months that concentration of Chl-a was more than algae warning level in each group classified by cluster analysis were that the normal group was 3~8 and drought group was 3 and 6~10.

The correlation result between Chl-a and weather, water quality and discharge factors for each 6 group was that relationships between Chl-a and water, discharge factors were high in the drought group more than in normal group at all weirs. This was influenced by velocity reduction and increasing HRT according to the intense drought.

Weather, water quality and discharge factors that were high correlation with Chl-a were applied to independent variables of Chl-a prediction equations and each equations were developed. Among them, Each adjusted R square of Prediction equations for Chl-a in each group at Ipoh weir where is located in Namhan river downstream and is directly connected to Paldang dam were normal group = 0.920 and drought group = 0.818. It's showed the high linear.

Keywords : Weir, Climate, Chlorophyll-a prediction equation, Multiple regression analysis

I. 서론

최근 기후변화에 따른 수자원 예측과 대응을 위한 4대강 정비 사업으로 남한강 하류 유역에는 2011년에 강천보, 여주보, 이포보 총 3개의 다기능 보가 건설되었다. 2015년에 한강권역에서 15년 만에 한강 내 조류 경보(Chlorophyll-a 농도 25 mg/m³ 이상)가 발령되는 등 한강권역의 하천에서도 녹조로 인한 문제가 커지고 있으며, 한강권역 중에서 남한강의 2015년 조류 농도의 증가율이 132%로 보도되었다(http://www.huffingtonpost.kr/2015/07/01/story_n_7702096.html). 또한, 한강의 조류 농도는 2015년 최악의 가뭄이 지속되면서 하천 내 유속 감소에 의한 체류시간 증가 및 수온 상승에 의한 조류의 과대성장 여건이 형성됨에 따라 조류량이 보 건설 후 3년 평균과 비교하여 2015년에 2배 이상 높아진

것으로 보도되었다(Shin et al. 2015).

남한강 하류 유역은 동경 127°17'8"~127°50'40", 북위 36°56'3"~37°35'59" 사이에 위치해 있는 강으로 유역면적은 2,072.72 km², 유로연장은 300.5 km이다. 남한강 하류는 서울시의 상수원으로 2억 4400 만톤을 저수할 수 있는 팔당댐과 연결되어 있으며, 팔당댐에 유입되는 하천 중 유량이 가장 많고, 팔당댐으로 유입되는 하천 중 수질이 가장 나빠 팔당댐 수질에 영향이 가장 큰 하천이다. 남한강에 3개의 보가 설치됨에 따라 소권역이 강천보, 여주보, 이포보를 중심으로 변경되었으며, 체류시간이 섬강에서 강천보(11.2 km) 구간은 7.0 hr에서 17.5 hr, 강천보에서 여주보(10 km) 구간은 10.6 hr에서 18.0 hr, 여주보에서 이포보(11.8 km) 구간은 7.2 hr에서 23.0 hr로 증가하였다(Kim 2009; Park 2009; Kim & Jun 2010; GRI 2012; Kang et al. 2012).

우리나라는 하천수질을 모의하기 위해 환경부에서 QUAL계열(The Enhanced Stream Water Quality Models)의 하천 수질 시뮬레이션을 우리나라 실정에 맞게 개발하였다. 이를 사용하여 유역의 목표수질을 설정하고, 목표 수질달성 여부를 확인하기 위한 수질오염 총량관리 계획수립에 활용하고 있다. 그러나, 현재 개별 오수처리시설, 축산시설 및 비점오염원에 대한 농도와 유량 자료의 부재로 원단위를 사용하여 수질 농도를 산출하고, 유량을 물 사용량 등의 간접적인 자료로 산출함으로써 많은 오차가 발생되고 있다. 또한, 우리나라는 수질 모델링에 주로 BOD₅, T-N, T-P 3가지를 중심으로 모델을 수행하여 조류(Chl-a)에 대한 모의가 어렵다. 따라서 조류 발생 예측하기 위해 위와 같은 수질모델링을 적용하는 것은 부적합하므로 유역의 환경요인과 수질에 대한 불확실한 요인을 포함할 수 있는 다중회귀분석으로 조류 발생량을 예측하는 것이 유용할 것으로 판단된다(Kim 2012).

본 연구는 SPSS 18 version(Statistical Package for the Social Science)를 사용하여 군집분석으로 공사전·후의 년도 특성에 따른 군집을 분류한 후, 각 기간 그룹 별로 강천보, 여주보 및 이포보로 공간적 그룹으로 분류하여 각 시·공간적 그룹에 대해서 조류 주의보 이상의 Chl-a 농도에 해당된 월별 자료로 상관분석 및 다중회귀분석을 실시함으로써 각 시·공간적 그룹 별 Chl-a 농도 예측식을 도출하고자 하였다.

II. 연구내용 및 방법

남한강 유역은 인구가 밀집한 도심지역과 축산, 토지 등 비점오염원이 밀집한 농촌지역으로 구분된다. 본 연구의 분석대상인 남한강 유역은 Figure 1과 같이 2011년에 강천보, 여주보 및 이포보가 건설되었고, 강천보, 여주보 및 이포보는 조류 예보제가 시행되고 있다. 보 건설 후 강천보, 여주보 및 이포보에서 조류 발생에 영향을 미치는 요인과 조류 발생량의 지표인 Chl-a 농도를 예측하기 위한 다중회귀식을 분석하기 위해 2011년에 보가 완공된 이후의 2012~2015년의 기상청(www.kma.go.kr), 물환경정보시스템(http://

water.nier.go.kr), WAMIS(www.wamis.go.kr), 수자원공사(www.kwater.or.kr) 등에서 공개하는 기상, 수질 및 유량의 일별 자료를 이용하였다. SPSS는 타 모델과는 다르게 기준에 구축되어 있는 모니터링 시스템의 광범위한 빅데이터를 활용하여 유역 환경과 조류 발생 특성을 동시 평가가 가능하므로 대상 유역 내 발생하는 조류 특성에 적합한 Chl-a 농도를 예측하기 위한 회귀모형을 도출할 수 있다.

1. 시·공간에 따른 연구 대상 분류

하천 수질은 기후에 따라 하천 수질 특성이 변하며, 기후와 하천 수질에 따라 조류 발생 특성이 달라진다. 따라서, 보 건설 후인 2012~2015년에 대해 수온, 강수량, pH, DO, BOD₅, COD, T-N, NH₃-N, NO₃-N, T-P 및 PO₄-P 등의 항목을 적용하여 군집 분석을 수행하였다. 군집분석을 통해 기후특성과 수질특성이 유사한 군집으로 분류하고자 하였다. 이때, 군집분석은 Ward의 방법 중 제곱 유클리디안 거리를 적용하였다.

공간적인 분류는 통계적 기법에 의한 분류보다 이미 보가 설치되어있으므로 시공운영 중인 공간으로 분류하였으며, 2012~2015년 4년간 강수량, 일조시간, 유량, pH, 수온, DO, BOD₅, COD, SS, T-N, T-P 및 Chl-a 총 12개의 변수에 대한 년 평균 자료를 군집분석으로 분류하여 시간적으로 분류하였다. 따라서, 시·공간에 따른 각 그룹 별 Chl-a 농도 예측식(mg/m³)을 도출하기 위한 분석 자료는 군집분석



Figure 1. Locations of Gangcheon, Yeoju and Ipoh weir

으로 인해 시간적으로 분류된 각 그룹별로 공간적으로 분류한 강천보, 여주보 및 이포보 지점에서 Chl-a 농도가 15 mg/m³ 이상(조류 주의보)인 월 별 일자료를 사용하여 상관분석과 다중회귀분석을 수행하였다.

2. 조류 발생 영향 분석을 위한 상관분석

시·공간적으로 분류된 6개의 그룹 별로 조류 발생량에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 기온, 강수량 및 일조시간 등 3개의 기상요인과 수온, pH, DO, BOD₅, COD, SS, T-N, NH₃-N, NO₃-N, T-P 및 PO₄-P 등 11개의 수질요인 및 유량 등 총 15개의 요인들과 조류 발생량의 지표인 Chl-a 농도와의 상관관계를 분석하였다. 이 때, 상관분석은 Pearson 상관계수를 적용하였고 SPSS 18 version 프로그램을 사용하여 분석하였다.

3. Chl-a 농도 예측식 도출을 위한 다중회귀분석

조류 발생량을 예측하기 위한 다중회귀식의 종속 변수는 하천 내 식물 플랑크톤의 분포를 알 수 있고 조류 생체량의 지표가 되는 Chl-a(mg/m³)로 하였으며, 2.2절 결과로부터 구한 상관성이 큰 요인을 다중회귀분석의 독립변수로 적용하였다. 다중회귀분석은 SPSS 18 version 프로그램의 후진제거법으로 수행하였으며, 도출된 회귀식은 F-test의 p-value 값, VIF(Variance Inflation Factor) 및 Adjusted R-

square(Ad.R²) 값으로 회귀식의 적합성에 대해 진단하여 가장 적합한 Chl-a 농도 예측식을 도출하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 회귀식 개발을 위한 분석그룹의 분류

2011년 남한강 내 강천보, 여주보 및 이포보가 완공됨에 따라 본 연구의 총 분석기간은 보 건설 이후인 2012~2015년으로 총 4년이었다. 그러나, 군집분석을 수행한 결과 Figure 2와 같이 강수량, 일조시간, 유량, pH, 수온, DO, BOD₅, COD, SS, T-N, T-P 및 Chl-a 총 12개의 변수에 대한 년 평균 자료를 군집분석으로 2012~2013년과 2014~2015년으로 분류하였다. 이를 바탕으로 2005~2011년 평균 총 강수량이 1,461.4 mm/hr인 것을 감안하여 분류된 평균 총 강수량이 1,463.1 mm/hr인 2012~2013년을 평수기그룹, 816.5 mm/hr인 2014~2015년을 가뭄기그룹으로 분류 및 명명하였다.

또한, 군집분석을 통해 평수기그룹과 가뭄기그룹으로 분류된 2개의 시간적 그룹 모두 4대강 공사 후보가 건설되어서 강천보, 여주보 및 이포보로 공간적 그룹으로 세분류할 수 있어서 총 6개의 시·공간적 그룹으로 분류하였다. 이 때, 각 6개의 그룹별로 상관분석과 다중회귀분석을 수행하기 위해 Table 1과 같이 조류 예보가 발생된 기간의 일별 자료를 각각 사

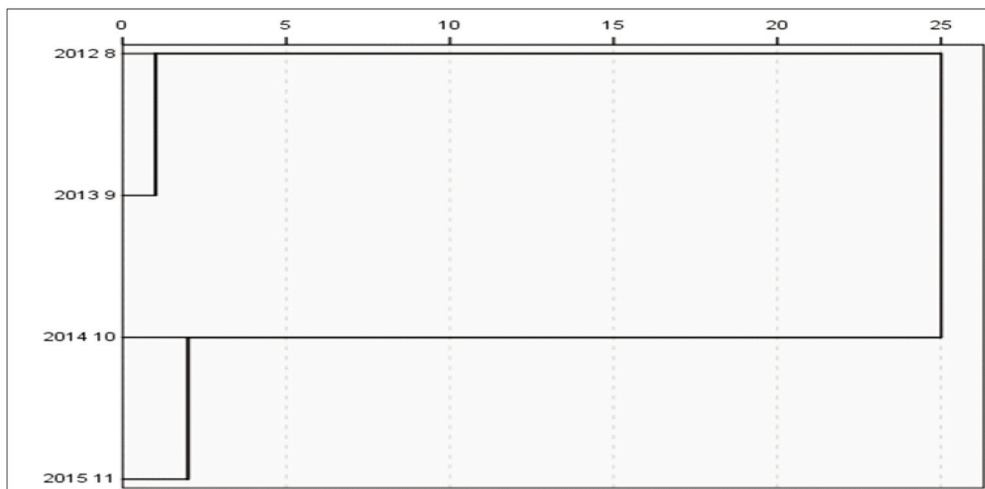


Figure 2. Classified analysis period result as cluster analysis

Table 1. Classified algae warning period

Space	Temporal	Period of algae warning occurrence (months)
Gangcheon	2012~2013	4-6
	2014~2015	6-10
Yeoju	2012~2013	4-7
	2014~2015	3, 6-9
Ipoh	2012~2013	3-8
	2014~2015	3, 6-9

Table 2. Algae warning frequency and chl-a concentration depending on groups after weir construction

Weir	Normal season (2012~2013 year)					
	Gangcheon		Yeoju		Ipoh	
month	Frequency	Aver. Chl-a (mg/m ³)	Frequency	Aver. Chl-a (mg/m ³)	Frequency	Aver. Chl-a (mg/m ³)
3	–	–	–	–	1	17.5
4	1	15.8	–	–	1	16.3
5	2	18.9	3	22.8	5	39.2
6	2	22.1	4	35.8	4	44.4
7	–	–	1	28.0	1	40.7
8	–	–	–	–	3	31.8
Sum	5	19.5	8	30.0	25	36.2
Weir	Drought season (2014~2015 year)					
	Gangcheon		Yeoju		Ipoh	
month	Frequency	Aver. Chl-a (mg/m ³)	Frequency	Aver. Chl-a (mg/m ³)	Frequency	Aver. Chl-a (mg/m ³)
3	–	–	3	16.3	3	20.4
6	5	36.6	3	32.1	9	39.7
7	5	20.2	5	24.9	6	36.0
8	4	29.7	1	16.5	3	30.7
9	4	27.5	1	20.0	4	28.6
10	2	21.1	–	–	–	–
Sum	20	27.7	13	23.6	25	33.6

용하였다.

이 때, 총 6개의 시·공간적 그룹에 대해 조류 주의 보 이상의 Chl-a 농도가 측정된 월별 Chl-a 월평균 농도와 조류 예보 발생 빈도는 Table 2와 같다.

2. Chl-a와 기상, 수질 및 유량 요인간의 상관분석 결과

Table 1과 같이 시·공간적으로 분류된 각 6개 그룹 별로 조류 발생 영향 요인을 분석하기 위해서 Chl-a 농도와 3개의 기상, 11개의 수질 및 유량 등의 요인

들과 상관분석을 수행한 결과는 Table 3과 같다.

강천보의 평수기그룹에 대한 상관분석 결과, COD(0.726), BOD₅(0.631), pH(0.424)의 순으로 Chl-a 농도와 높은 양의 상관성을 나타내었으며, 유량(-0.362), NH₃-N(-0.308), 일조시간(-0.279), T-N(-0.259), NO₃-N(-0.224)의 순으로 Chl-a 농도와 높은 음의 상관성을 나타내었다. 또한, 강천보의 가뭄기그룹에 대한 상관분석 결과, BOD₅(0.657), 수온(0.540), pH(0.496), 기온(0.399), COD(0.323), SS(0.298), 일조시간(0.233)의 순으로 Chl-a 농도

Table 3. Correlation analysis result between Chl-a and environment factors depending on groups

Weir	Gangcheon		Yeoju		Ipoh	
	Normal	Drought	Normal	Drought	Normal	Drought
Temp.	0.047	0.399	0.141	0.178	0.199	0.305
Rainfall	-0.008	-0.049	-0.235	-0.116	-0.211	0.009
Daylight	-0.279	0.233	0.351	0.092	0.239	0.036
Discharge	-0.362	-0.581	-0.349	-0.508	-0.421	-0.340
Water Temp.	0.056	0.540	0.262	0.164	0.294	0.356
pH	0.424	0.496	0.717	0.399	0.826	0.820
DO	0.149	0.165	0.336	0.205	0.239	0.364
BOD ₅	0.631	0.657	0.844	0.638	0.785	0.819
COD	0.726	0.323	0.176	0.522	0.143	0.656
SS	0.132	0.298	-0.130	0.122	-0.209	0.227
T-N	-0.259	-0.515	-0.055	-0.377	-0.343	-0.628
NH ₃ -N	-0.308	-0.246	-0.130	-0.366	-0.417	-0.367
NO ₃ -N	-0.224	-0.590	-0.205	-0.416	-0.435	-0.564
T-P	-0.099	0.066	-0.160	-0.166	-0.336	-0.181
PO ₄ -P	-0.027	-0.116	-0.237	-0.319	-0.487	-0.413

와 높은 양의 상관성을 나타내었으며, NO₃-N(-0.590), T-N(-0.515), NH₃-N(-0.246)의 순으로 Chl-a 농도와 높은 음의 상관성을 나타내었다.

여주보의 평수기그룹에 대한 상관분석 결과, BOD₅(0.844), pH(0.717), 일조시간(0.351), DO(0.336), 수온(0.262)의 순으로 Chl-a 농도와 높은 상관성을 나타내었으며, 유량(-0.349), PO₄-P(-0.237), 강수량(-0.235), NO₃-N(-0.205)의 순으로 Chl-a 농도와 높은 음의 상관성을 나타내었다. 또한, 여주보의 가뭄기그룹에 대한 상관분석 결과 BOD₅(0.638), COD(0.522), pH(0.399), DO(0.205)의 순으로 Chl-a 농도와 높은 양의 상관성을 나타내었으며, 유량(-0.508), NO₃-N(-0.416), T-N(-0.377), NH₃-N(-0.366), PO₄-P(-0.319)의 순으로 Chl-a 농도와 높은 음의 상관성을 나타내었다.

이포보의 평수기그룹에 대한 상관분석 결과 pH(0.826), BOD₅(0.785), 수온(0.294), 일조시간 및 DO(0.239)의 순으로 Chl-a 농도와 높은 양의 상관성을 나타내었으며, PO₄-P(-0.487), NO₃-N(-0.435), 유량(-0.421), NH₃-N(-0.417), T-N(-0.343), T-P(-0.336), 강수량(-0.211), SS(-0.209)의 순으로 Chl-a 농도와 높은 음의 상관성을 나타내었다. 또

한, 이포보의 가뭄기그룹에 대한 상관분석 결과, pH(0.820), BOD₅(0.819), COD(0.656), DO(0.364), 수온(0.356), 기온(0.305), SS(0.227)의 순으로 Chl-a 농도와 높은 양의 상관성을 나타내었으며, T-N(-0.628), NO₃-N(-0.564), PO₄-P(-0.413), NH₃-N(-0.367), 유량(-0.340)의 순으로 Chl-a 농도와 높은 음의 상관성을 나타내었다.

Table 3의 결과에 의하면, 평수기그룹에 비해 가뭄기그룹에서 수온과 유량이 Chl-a 농도에 대한 상관성이 증가하였다. 특히 강천보에서 Chl-a와 수온의 상관성은 평수기그룹의 0.056에서 가뭄기그룹의 0.540으로 크게 증가하였다. 이는 가뭄기그룹에서 이상기후로 인해 극심한 가뭄이 지속됨에 따라 강수량 감소와 기온 증가로 인해 하천 내 유량이 감소하고 체류시간이 증가하였고, 이 영향으로 인하여 남한강의 수온이 증가하여 수온과 Chl-a와의 상관성이 커진 것으로 판단된다. 또한, 상류에 위치한 강천보에서 Chl-a와 인(P)의 상관성이 낮았던 반면 강천보에서 이포보까지 하류로 내려갈수록 Chl-a와 T-P, PO₄-P의 상관성이 증가하는 것으로 나타났다. 특히 강천보, 여주보, 이포보에서 PO₄-P와 Chl-a의 상관성은 평수기그룹에서 각각 -0.027, -0.237, -0.487

Table 4. Prediction regression equations of Chl-a concentration depending on groups

Weir	period	multi-regression of Chl-a concentration
Gang Cheon	Normal	$\text{Chl-a} = -(0.352 \times \text{Daylight}) + (2.639 \times \text{pH}) + (4.021 \times \text{BOD}_5) + (6.194 \times \text{COD}) - (190.863 \times \text{T-P}) - 30.501$
	Drought	$\text{Chl-a} = (0.665 \times \text{Daylight}) - (0.115 \times \text{Discharge}) + 913.718 \times \text{pH} - (72.665 \times \text{NH}_3\text{-N}) - (7.728 \times \text{NO}_3\text{-N}) + (1.383 \times \text{SS}) + (159.302 \times \text{T-P}) - 91.388$
Yeo Ju	Normal	$\text{Chl-a} = -(0.003 \times \text{Discharge}) + (0.502 \times \text{Water Temp.}) + (15.799 \times \text{BOD}_5) - (149.334 \times \text{PO}_4\text{-P}) - 14.853$
	Drought	$\text{Chl-a} = -(0.099 \times \text{Discharge}) + (8.399 \times \text{COD}) - (35.742 \times \text{NH}_3\text{-N}) + (6.483 \times \text{NO}_3\text{-N}) - (121.944 \times \text{PO}_4\text{-P}) - 18.168$
Ipoh	Normal	$\text{Chl-a} = -(0.004 \times \text{Discharge}) + (0.622 \times \text{Water Temp.}) + (3.068 \times \text{pH}) + (10.684 \times \text{BOD}_5) - (0.057 \times \text{SS}) + (2.479 \times \text{T-N}) - (12.281 \times \text{NH}_3\text{-N}) - (124.489 \times \text{PO}_4\text{-P}) - 39.353$
	Drought	$\text{Chl-a} = (0.372 \times \text{Water Temp.}) + (20.031 \times \text{pH}) + (6.695 \times \text{BOD}_5) - (20.739 \times \text{NH}_3\text{-N}) - 162.527$

이었고 가뭄기그룹에서 각각 -0.116 , -0.319 , -0.413 으로 강천보보다 이포보에서 Chl-a와의 상관성이 큰 것으로 나타났다.

3. 그룹별 Chl-a 농도 예측식

Table 1과 같이 총 6개의 시·공간적 그룹 각각에 대한 Chl-a 농도 예측식을 도출하기 위해 각 그룹에서 Chl-a 농도와 기상, 수질 및 유량 등의 요인들과의 상관분석 결과에 의해 상관성이 큰 요인들을 Chl-a 농도 예측식의 독립변수로 적용하여 예측식을 다중회귀분석의 후진제거법에 의해 도출하였다. 그러나, Table 3과 같이 조류 증식의 필수 요인임에도 불구하고 영양염류 중 인(P)요인이 상관성이 낮아서 독립변수에 적용되지 못하는 경우가 발생하였다. 따라서, 인요인 등을 포함할 수 있도록 다수의 시행착오 과정에 의해 다중회귀분석의 독립변수를 조정하여 Table 4와 같은 시·공간적 그룹 별 Chl-a 농도 예측식을 도출하였다.

전반적으로 총 6개의 그룹 별로 도출한 Chl-a 농도 예측식에서 유량은 음의 계수값을 나타내어 Chl-a 농도와 유량은 반비례 관계를 나타내었으며, 수온은 양의 계수값을 나타내어 비례 관계를 나타내었다. 또한, BOD₅, COD와 같은 유기물과 pH는 양의 계수값으로 Chl-a 농도와 비례 관계를 나타내었다. 대부분 질소(N)와 인(P)의 계수값은 음의 계수값으로 Chl-a 농도와 반비례 관계를 나타내었다(Jeon & Park 1989; Jeon 1996; Jo & Shin 1996; Kim et

al. 1996). 이는 유량이 감소하여 체류시간이 증가하였고, 가뭄이 지속되어 강수량 감소와 일조시간 증가로 인해 하천의 수온이 증가한 것이 Chl-a 농도에 영향을 준 것으로 판단된다. 또한, 하천 내부에서 조류가 성장하면서 광합성 작용에 의해 수중의 탄산염과 중탄산염이 흡수되어 pH를 상승시켰다(Helnle 1992; Choi et al. 2002). 특히 과량의 유기물이 유입 및 분해될 경우 조류가 과도하게 증식되며, 이렇게 증식된 조류 역시 유기물의 공급원이 되어 수계의 BOD₅, COD와 같은 유기물의 증가 원인이 되므로 Chl-a와 BOD₅, COD는 매우 높은 상관성을 나타내는 것으로 판단된다(Kim et al. 1996). 남한강 유역에 대한 오염원 특성에 따라 질소와 인은 부영양화 상태를 유지하는 조류의 성장 조건이므로, 질소와 인은 조류의 영양물질로 이용되어 감소되는 것으로 판단되므로 Chl-a 농도와 질소, 인은 반비례 관계를 나타내어 Chl-a 농도 예측식에서 전반적으로 음의 계수를 나타내었다(Kim et al. 1996).

4. Chl-a 농도 예측식의 진단

F-test의 p-value값이 0.05보다 작을 경우 다중회귀식이 유의하다고 평가되며, Ad.R²가 1에 가까울수록 선형성이 우수한 것으로 평가된다. 또한, VIF 값이 10 이상일 경우 다중회귀식에서 다중공선성이 의심되며, 다중공선성이 존재할 경우 독립변수들 간에 강한 상관관계가 존재하여 독립변수의 독립성이 상실되므로 다중공선성이 존재하는 변수가 제거되어

Table 5. Diagnosis of regression equations of Chl-a concentration

Weir	Period	F-Test		VIF	R	Ad.R ²
		F	p-value			
GangCheon	Normal	13.9	< 0.05	1.05~1.79 ≤ 10	0.881	0.721
	Drought	12.3	< 0.05	1.13~2.65 ≤ 10	0.865	0.699
YeoJu	Normal	42.5	< 0.05	1.13~3.84 ≤ 10	0.946	0.874
	Drought	14.6	< 0.05	1.62~2.23 ≤ 10	0.811	0.612
Ipoh	Normal	64.1	< 0.05	1.63~5.78 ≤ 10	0.967	0.920
	Drought	46.2	< 0.05	1.19~2.18 ≤ 10	0.919	0.818

야 한다. 따라서, 6개의 Chl-a 농도 예측식에 대한 적합성을 진단하기 위해 회귀식의 유의성을 검정하는 F-test의 p-value값과 회귀식의 선형성을 검정하는 Ad.R²값 및 독립변수간 다중공선성 여부를 확인하기 위한 VIF값 등을 SPSS 18 version 프로그램에 의하여 결정된 값들이 Table 5와 같다.

Table 4에 도출된 총 6개의 Chl-a 농도 예측식들은 F-Test의 p-value가 0.05보다 작고, VIF값이 10이하이며, Ad.R²는 0.612~0.920의 범위에 해당되므로 모두 유의한 식으로 판단된다. 그리고 세부적인 6개의 그룹별로 예측식을 진단한 결과는 아래와 같다.

강천보의 평수기그룹(2012~2013년)와 가뭄기그룹(2014~2015년)에 대한 Chl-a 농도 예측식의 p-value값은 각각 6.2e-06, 4.5e-09으로 유의수준 0.05보다 작아 각 예측식의 독립변수들로 Chl-a를 설명하는데 의미가 있는 것으로 분석되었고, VIF는 평수기그룹과 가뭄기그룹에 각각 1.05~1.79, 1.13~2.65의 범위를 나타내어 다중공선성이 존재하지 않았다. 평수기그룹과 가뭄기그룹의 각각 Chl-a 농도 예측식의 Ad.R²은 0.721, 0.699으로 우수한 선형성을 나타내는 것으로 평가되었으며, 평수기그룹의 예측식이 가뭄기그룹의 예측식보다 더 우수한 선형성을 나타내었다.

여주보의 평수기그룹과 가뭄기그룹에 대한 Chl-a 농도 예측식의 p-value 값은 각각 1.6e-09, 5.6e-08으로 유의수준 0.05보다 작아 각 예측식의 독립변수들로 Chl-a를 설명하는데 의미가 있는 것으로 분석되었고, VIF는 평수기그룹과 가뭄기그룹에 각각 1.13~3.84, 1.62~2.23의 범위를 나타내어 다중공

선성이 존재하지 않았다. 평수기그룹과 가뭄기그룹의 각각 Chl-a 농도 예측식의 Ad.R²은 0.874, 0.612이었으며, 평수기그룹의 예측식이 가뭄기그룹의 예측식보다 선형성이 더 우수한 것으로 나타났다.

이포보의 평수기그룹과 가뭄기그룹에 대한 Chl-a 농도 예측식의 p-value 값은 각각 5.6e-19, 2.7e-13으로 유의수준 0.05보다 작아 각 예측식의 독립변수들로 Chl-a를 설명하는데 의미가 있었으며, 예측식의 VIF는 평수기그룹과 가뭄기그룹에 각각 1.63~5.78, 1.19~2.18의 범위를 나타내어 다중공선성이 존재하지 않았다. 또한, 평수기그룹과 가뭄기그룹의 각각 Chl-a 농도 예측식의 Ad.R²은 0.920, 0.818으로 3개의 보 중 가장 선형성이 우수하였다.

IV. 결론

본 연구는 2011년에 남한강 내 신규로 건설된 강천보, 여주보 및 이포보에 대하여 보 건설 이후인 2012년부터 2015년까지 총 4년 동안에서의 시간적 군집분석으로 분류한 평수기그룹(2012~2013년)과 가뭄기그룹(2014~2015년)에 따라서 각각 Chl-a 농도 예측식을 도출하기 위해 Chl-a와 3개의 기상요인, 11개의 수질요인 및 유량 요인과의 상관분석 및 다중회귀분석을 수행한 결론은 다음과 같다.

1. 시·공간적으로 분류한 총 6개의 그룹별로 Chl-a와 기상(3개), 수질(11개) 및 유량 등의 요인들과 상관분석을 수행한 결과, 전반적으로 평수기그룹보다 가뭄기그룹에서 Chl-a 농도와 수온 및 유량과의 상관성이 증가하였다. 이는 극심한 가뭄에 의한 하천 내 유량 감소와 체류시간 증가로 인한 영향으로 판단된다.

2. 시공간으로 분류된 총 6개의 그룹에 대한 Chl-a 농도 예측식을 분석 한 결과, 6개의 예측식에서 다중 공선성이 존재하지 않았으므로 독립변수간 상관성을 보이지 않았다. 또한, 가장 하류에 위치한 이포보 지점에서 Chl-a 농도 예측식의 $Ad.R^2$ 값은 평균 총 강수량과 유사한 평수기그룹(2012~2013년)은 0.920, 가뭄기그룹(2014~2015년)은 0.818로 우수한 선형성을 나타내었다.

사 사

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비 지원(12기술혁신CO2)에 의해 수행되었습니다.

References

- Choi AR, Oh HM, Lee JA. 2002. Ecological study on the toxic microcystis in the lower Nakdong river. The Korean journal of phycology. 17(3): 171-185. [Korean Literature]
- GRI(Gyunggi Research Institute). 2012. Four major river after for major river. Issue & Diagnosis, [Korean Literature]
- Helnle DR. 1992. Eutrophication of freshwaters, principles, problems and restoration. 2nd ed John Wiley & Sons, Ltd, London.
- Jeon SH. 1996. Advanced in-situ sediment remediation technology for lakes and rivers. Korea Environment & Water Works Research Institute. [Korean Literature]
- Jeon SH, Park YA. 1989. Forms and mobility of sediment phosphorus in lake Soyang. Korean journal of limnology. 22(3): 261-271. [Korean Literature]
- Jo KJ, Shin JG. 1996. Bioassay for N, P nutrient demand by freshwater algae cultivation of the Nakdong river. Korean journal of ecology and environment. 29(4): 263-273. [Korean Literature]
- Kang MK, Choi IY, Park JH and Choi JH. 2012. Investigation of the effect of weirs construction in the Han river on the characteristics of sediments. Korean society of environmental engineers. 34(9): 597-603. [Korean Literature]
- Kim DH. 2009. Problems on the restoration of four major rivers project – focus on YeongSan river. Proceedings of the Korean Society for Marine Environment & Energy. The Korean Society for Marine Environment & Energy, 117-122. [Korean Literature]
- Kim YY. 2012. A study on prediction model and evaluation of river water quality using multivariate statistical techniques. M.D. dissertation. Kyonggi University. Korea
- Kim JS, Jun KS. 2010. Flood level mitigation effect of river dredging. Korean society of civil engineers. 2: 139-146. [Korean Literature]
- Kim BC, Kim DS, Hwang KS, Choi KS, Heo WM and Park WK. 1996. Contribution of primary production of phytoplankton to organic pollution in a eutrophic river. the Naktong river. The Korean journal of phycology. 11(2): 231-237. [Korean Literature]
- Park CK. 2009. Some problems of the green growth policy and the project saving the four major rivers. Economy and Society. 83(9): 117-14. [Korean Literature]
- Shin RY, Park HK, Ryu HS. 2015. Characteristics of cyanobacterial occurrence and correlation analysis with environmental factors in the middle-downstream of Nakdong river. The Joint conference of KSWW & KSWQ, KSWW & KSWQ. 180-180. [Korean Literature]