



# 낙동강 중·하류 지역의 남조류 개체수와 수질인자간의 상관관계 분석

## Analysis of correlation between cyanobacterial population and water quality factors in the middle and down stream region of nakdong river

이상민·김일규\*

Sang-Min Lee·Il-Kyu Kim\*

부경대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Pukyong National University

### ABSTRACT

In this study, we investigated the correlation between the number of cyanobacterial species and the water quality factors after installation of Nakdong river weirs. Factor analyses of water quality factors were also performed. The results of correlations showed that there was no significant water quality with the cyanobacterial concentration but the correlation coefficient of nutrients increased from the upstream to the downstream. There was a significant correlation between W-T and pH as important water quality factors for the growth of cyanobacteria. In the downstream region of Nakdong river, algae were more frequently detected than in the upstream region, and the blooms of algae species seem to be influenced by the higher pH and the influx of the phosphorus from the upstream tributaries. Nutrient concentration was higher in the downstream region than in the upstream region due to the effects of tributaries Geumho river and Nam river in Nakdong river. As a result of the factor analyses, nitrogen species were the principal factors in the upper region, and phosphorus species were the principal factors in the downstream region.

**Key words:** Cyanobacteria, Factor analysis, Nakdong river, Statistical analysis, Water quality

**주제어:** 남조류, 요인분석, 낙동강, 통계분석, 수질특성

## 1. 서론

국내에서 두 번째로 큰 낙동강은 강원도 태백에서 발원하여 영남지역을 관통하고 남해에 이르기까지 총 유로연장 525.8km, 유역면적은 23,860km<sup>2</sup>이다. 상류구간은 비점오염원에 노출되어 있으며, 중·하류구간은 인구밀집 지역 및 공업지역으로 인해 그 수질을 관리하기 어려운 수계이다(Hwang, 2012). 낙동강에는

전 지구적 기후변화로 인한 재해예방, 수자원확보, 수질개선 등을 목표로 4대강 사업이 진행되어 8개의 보가 완공되었다. 보가 완공됨으로 인하여 낙동강의 수계는 체류시간의 변화로 폐쇄성 수역의 특성을 나타내고 있다(Lee et al., 2014). 특히 여름철에는 기온상승에 의한 *Microcystis* Sp 등의 남조류 증식과 녹조 현상으로 인한 시각적인 불쾌감 및 상수원수에 미치는 악영향 등이 최근까지도 문제가 되고 있다(Lee et al., 2013). 특히 강의 하류는 상류에 비해 영양염류가 풍부하기 때문에 일차생산량이 때에 따라서 급증하여

Received 30 December 2016, revised 10 February 2017, accepted 16 February 2017

\*Corresponding author: Il-Kyu Kim (E-mail: [ikkim@pknu.ac.kr](mailto:ikkim@pknu.ac.kr))

pp. 001-006
pp. 007-012
pp. 013-019
pp. 021-028
pp. 029-037
pp. 039-050
pp. 051-062
pp. 063-072
pp. 073-081
pp. 083-091
pp. 093-101
pp. 103-114

조류의 대발생이 빈번하게 발생할 수 있다(Son, 2013).

조류 중 특히 남조류는 독성을 갖고 있기 때문에 물의 섭취 및 피부접촉 시 문제를 야기할 수 있다. 최근 하천의 수질평가에 대해 통계분석을 이용한 연구가 진행되고 있고 클로로필-a에 대해 활발히 연구가 이루어지고 있으나, 남조류 개체수와 수질인자와의 상관성을 직접적으로 연구한 자료는 부족한 실정이다. 아울러 조류발생에 영향을 미치는 인자는 매우 다양하여, 수질 인자뿐만 아니라 기상 및 수리 영향인자를 포함한 복합적인 평가가 이루어져야 한다. 또한, 조류 발생은 자연현상의 일부로서 시계열적으로 다양한 형태를 통해 발생함에 따라 장기간에 걸친 자료를 바탕으로 평가할 필요가 있다(Lim et al., 2014). 이번 연구는 조류 발생 여러 인자 중 한정된 지점이 아닌 낙동강 중·하류 지역의 4개보에 걸쳐서 보 설치 이후에 지속적으로 측정·관찰되고 있는 2012년 6월부터 2016년 10월까지의 남조류 개체수와 수질인자를 통계 분석 프로그램을 통해 상관관계 분석을 실시하였으며, 남조류 개체수와 유의한 상관성이 있는 수질인자를 연구해 보았다. 그리고 4개보 요인분석으로 도출된 각 수질인자가 낙동강 중·하류 남조류 성장에 영향을 미치는 수질인자와 관련이 있는지도 연구해 보았다. 이번 연구는 향후 낙동강 중·하류 보 구간의 수질관리정책 수립을 위한 기초 자료를 제공하는 데 목적이 있다.

## 2. 연구내용 및 방법

### 2.1 조사지점 및 시기

본 연구에서는 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제22조(환경부장관이 설치·운영하는 측정망의 종류 등), 제23조(시·도지사가 설치·운영하는 측정망의 종류 등)에 운영되고 있는 물환경측정망 및 수질측정망의 자료 중 낙동강권역에서 2012년에 설치된 낙동강의 보 설치 지점으로 조류가 빈번히 발생하고 있는 4개 지점을 대상으로 하였고 그 지점은 낙동강 중·하류 지점인 GG(강정고령보), DS(달성보), HC(합천창녕보), CH(창녕함안보)를 하였다. 수질자료는 GG(강정고령보)의 다사, DS(달성보)의 논공, HC(합천창녕보)의 덕곡, CH(창녕함안보)의 함안 4개 지점을 대상으로 하여 4개 지점의 조류 측정시점인 2012년 6월부터 2016년 10월까지로 하였다.

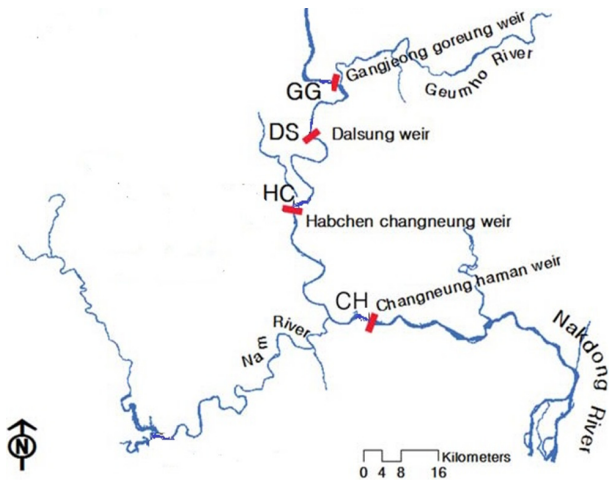


Fig. 1. Sampling sites in the Nakdong River.

### 2.2 자료 수집 및 수질 특성 분석

수질항목은 수질측정망 보 지점(하천)의 자료는 물환경정보시스템의(<http://water.nier.go.kr>) 매주 1회 측정되고 있는 수온(W·T), pH, DO(dissolved oxygen), BOD, COD, TOC, SS, 총질소(TN), 용존총질소(DTN), 암모니아성질소(NH<sub>3</sub>-N), 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N), 총인(TP), 용존총인(DTP), 인산염인(PO<sub>4</sub>-P), 총대장균수(TCN), 전기전도도(E·C), 클로로필-a(chl-a)를 이용하였고 남조류 관련 정보 또한 물환경정보시스템의 남조류자료를 이용하였다. 자료의 분석 기준은 Table 1과 같이 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제21조(수질오염경보제)의 경보발령 기준(Attention, boundary)에 대해서 자료를 분석하였다.

본 연구에서의 모든 통계분석은 SPSS(ver. 18.0) 프로그램을 이용하였다. 각 유역의 남조류 개체수와 수질인자간의 변동 특성을 파악하기 위해 상관성 분석을 실시하였으며, 일반적으로 이용되는 Pearson's correlation analysis를 이용하였다. 요인분석은 고유치가 1.0 이하인 경우는 1개의 요인이 변수 1개의 분산을 설명할 수 없으므로 요인으로서 의미가 없기 때문에 제외하였다. 요인을 추출한 후 요인과 변수와의 상관계수에 따른 요인 구조 명확화를 위해 직교회전방식(Varimax)을 적용하여 요인분석을 실시하였다.

Table 1. Algae alarm system in South Korea

Level	Attention	Warning	Bloom
Algae (cells/ml)	1,000	10,000	1,000,000



### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 낙동강 중·하류 4개보 수질현황

조사기간의 남조류 개체수 1,000cells/ml 이상에 대해 4개 지점에 대한 수질현황은 Table 2와 같다. 낙동강의 경우 클로로필-a 농도는 월별·계절별 변화 양상이 다양하여 수온감소에 따라 겨울철에 대발생하는 *Stephanodiscus*인 규조류의 발생으로 증가하여 나타났고, 수온이 증가하는 8월인 여름철의 경우 *Microcystis*인 남조류가 발생하여 클로로필-a의 농도가 증가하였다. 수온의 경우 4개 지점에 평균 온도는 22.64~24.54°C로 4개 지점은 기후변동성은 유사하여 평균 온도가 비슷한 것으로 보인다. 계절적 변동성은 뚜렷하게 나타나고 있으며 하류로 갈수록 상류보다는 최고기온이 약 1~2°C 가량 높았다. pH 변화는 7.97~8.38로 보별로는 유사하였으며 하류로 갈수록 상승하였다. 하류로 갈수록 DO도 상승하였으며 이는 조류의 광합성으로 인해 수중 내 산소 농도가 증가한 것으로 보인다. TN, TP의 평균농도는 4개 지점에서 1.95~3.00mg/L, 0.04~0.07mg/L로 나타났으며 DS지점에서 농도가 급격히 증가하였다. 이는 GG지점과 DS지점 사이에 위치한 금호강의 유입으로 기인한 것으로 보이며, 금호강의 유입이 낙동강의 부하량에 영향을 크게 미치는 것으로 보인다. DS지점과 HC지점과 유의한 차이가 나타나지 않아 금호강의 유입이 HC지점까지 영향을 미치는 것으로 판단된다. 4개 지점의 NH<sub>3</sub>-N과 NO<sub>3</sub>-N은 TN, TP와 유사한 경향으로 나타났다.

#### 3.2. 수질항목별 남조류 개체수와 상관분석 결과

남조류 개체수에 영향을 미치는 주요 영향인자를 파악하기 위해 각 보별 남조류개체수와 수질과의 상관관계를 분석하였다. 각 지점별 조류경보제 관련 남조류 개체수와 수질인자간의 상호관계는 Pearson Correlation을 이용하여 평가하였으며, 남조류 개체수를 1,000cells/ml 이상과 10,000cells/ml 이상으로 분류하여 분석하였다. 4개 지점의 남조류 개체수 1,000cells/ml 이상, 10,000cells/ml 이상의 분석 결과 상관계수는 Table 3, 4와 같다.

4개 대상조사지점의 남조류 개체수 1,000cells/ml 이상과 수질의 상관분석 결과 GG지점을 제외한 3개 지점에서 NO<sub>3</sub>-N(-0.232, -0.256, -0.383)이 음의 상관성(P<0.05)을 보였고, HC지점에서는 TOC(0.254)와 수온(0.245)이 양의 상관성(P<0.05)을 보였다. CH지점에서는 pH(0.272)가 양의 상관성(P<0.01)을 보이며, TN(-0.325)과 용존총질소(-0.351)가 음의 상관성(P<0.01)을 보였다. 남조류 개체수 10,000cells/ml 이상과 수질의 상관분석 결과 1개 지점인 CH지점에서 TN(-0.289), 용존총질소(-0.353), NO<sub>3</sub>-N(-0.362)이 음의 상관성(P<0.05)을 보였다.

낙동강 중·하류 지역에 대해 전반적인 조사가 필요하여 4개 대상지점을 구분하지 않고 4개 지점에 대한 남조류 개체수와 수질인자의 자료를 통합하여 조류경보제 관련 조류 개체수 기준으로 남조류 개체수와 수질인자간의 상호관계를 Pearson Correlation을 이용하여 추가로 평가하였으며 그 결과는 Table 5와 같다.

남조류 개체수 1,000cells/ml(조류경보제 관심단계) 이상의 상관관계 분석결과 pH(0.235), BOD(0.141),

**Table 2.** Variation of average water quality concentration at each survey site from June 2012 to October 2016 in the Nakdong River

		chl-a	pH	DO	TN	TP	W·T	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P
GG	mean	16.15	7.97	7.49	1.95	0.04	22.64	0.14	1.25	0.01
	min	4.30	7.20	2.90	1.20	0.01	4.80	0.02	0.29	0.00
	max	59.50	9.70	13.9	3.32	0.13	31.9	0.35	2.58	0.05
DS	mean	24.81	8.11	8.35	3.00	0.07	24.54	0.17	2.03	0.02
	min	5.00	7.30	3.90	1.70	0.02	7.00	0.01	1.08	0.00
	max	101.9	9.30	13.10	4.44	0.19	32.40	0.45	3.25	0.09
HC	mean	26.18	8.21	8.61	2.81	0.06	23.18	0.12	1.92	0.02
	min	3.10	7.30	3.60	1.72	0.02	5.80	0.01	1.08	0.00
	max	163.50	9.80	13.90	4.52	0.15	33.10	0.45	3.52	0.07
CH	mean	28.26	8.38	9.38	2.22	0.06	24.16	0.08	1.46	0.01
	min	6.30	7.30	6.50	1.24	0.02	5.30	0.01	0.65	0.00
	max	123.30	9.60	13.90	3.41	0.17	35.10	0.34	2.83	0.08

pp. 001-006  
pp. 007-012  
pp. 013-019  
pp. 021-028  
pp. 029-037  
pp. 039-050  
pp. 051-062  
pp. 063-072  
pp. 073-081  
pp. 083-091  
pp. 093-101  
pp. 103-114

COD(0.300), TOC(0.145), W·T(0.181)와 양의 상관성(P<0.01)을 보였고, TN(-0.115), DTN(-0.154), NH<sub>3</sub>-N(-0.147), NO<sub>3</sub>-N(-0.198)은 음의 상관성(P<0.01)을 보였다. 남조류 개체수 10,000cells/ml이상(조류경보제 경계단계)에서는 pH(0.250), COD(0.194)와 양의 상관성을 보였고, NH<sub>3</sub>-N(-0.171), NO<sub>3</sub>-N(-0.164)은 음의 상관성(P<0.05)을 보였다. BOD와 COD가 상관관계를 보이고 있으나 이는

남조류가 측정값에 포함되기 때문에 두 수질인자에 영향을 미친 것으로 볼 수 있다. 이번 조사에서 남조류와 수온은 작지만 양의 상관관계를 보였으며 4개 지점의 평균 수온은 20°C 이상 이었다. 특히 남조류는 수온이 20°C 이상에서 대량증식 한다는 보고가 있다(Liu et al., 2011). 따라서 향후 수온에 대한 연구가 추가적으로 필요한 것으로 판단된다. 그리고 TOC와 유의한 상관관계를

**Table 3.** Pearson Correlation coefficients between parameters about over the number of cyanobacteria's 1,000cells/ml

	chl-a	pH	DO	BOD	COD	SS	TN	TP
GG	.012	.108	-.121	.204	.224	.019	-.085	.080
DS	.051	.207	-.022	.262*	.364**	-.169	-.063	-.075
HC	-.041	.170	-.141	.084	.354**	-.081	-.156	-.041
CH	.144	.272**	-.069	.075	.251*	.007	-.325**	-.060

	TOC	W·T	E·C	TCN	DTN	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	DTP	PO <sub>4</sub> -P
GG	-.040	.128	.126	-.028	-.142	-.045	-.170	-.011	-.005
DS	.011	.145	.148	-.164	-.152	-.248*	-.232*	-.119	-.172
HC	.254*	.245*	.009	.020	-.190	-.113	-.256*	-.094	-.184
CH	.139	.184	.026	.073	-.351**	-.130	-.383**	-.060	-.120

\*\* : p < 0.01, \* : p < 0.05

**Table 4.** Pearson Correlation coefficients between parameters about over the number of cyanobacteria's 10,000cells/ml

	chl-a	pH	DO	BOD	COD	SS	TN	TP
GG	-.110	.164	.187	-.018	.229	-.015	.054	-.074
DS	-.002	.322	.180	.352*	.280	-.047	.205	.118
HC	-.074	.197	.015	-.042	.247	-.046	-.044	-.054
CH	.156	.268	-.034	.030	.143	.125	-.289*	.048

	TOC	W·T	E·C	TCN	DTN	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	DTP	PO <sub>4</sub> -P
GG	-.116	-.182	.288	-.147	.050	-.094	-.032	-.098	-.115
DS	.024	.080	.094	-.143	-.058	-.295	-.064	-.008	-.067
HC	.148	.185	-.038	.049	-.080	-.145	-.122	-.127	-.187
CH	.106	.205	-.058	.159	-.353*	-.162	-.362*	.044	.001

\*\* : p < 0.01, \* : p < 0.05

**Table 5.** Pearson Correlation coefficients between parameters about the 4 weirs integrated data

	chl-a	pH	DO	BOD	COD	SS	TN	TP
1,000cells/ml	.094	.235**	-.042	.141*	.300**	-.023	-.115*	-.014
10,000cells/ml	.069	.250**	.069	.042	.194*	.054	-.091	.008

	TOC	W·T	E·C	TCN	DTN	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	DTP	PO <sub>4</sub> -P
1,000cells/ml	.145**	.181**	.046	-.017	-.154**	-.147**	-.198**	-.059	-.116
10,000cells/ml	.095	.152	-.025	.012	-.142	-.171*	-.164*	-.047	-.097

\*\* : p < 0.01, \* : p < 0.05



보였으며 이는 자생 유기오염물질과의 관련성이 있는 것으로 추정해 볼 수 있다(Kim et al., 2013). 이번 연구결과에도 선행 연구자들이 진행한 pH의 상관성 분석결과와 유사한 결과를 확인할 수 있었다(Choi et al., 2013). 영양염류인 TN (-0.115), NH<sub>3</sub>-N(-0.147,-0.171), NO<sub>3</sub>-N(-0.198, -0.164)인 경우 남조류 개체수의 두 분류에서 작지만 유의한 음의 상관성을 나타냈다. 이번 연구 지점에서 영양염류 중 인과 남조류 개체수와 뚜렷한 상관성을 보이지 않고 있다. 이는 수역에 영양염류 농도가 식물성플랑크톤이 증식하기에 이미 충분한 영양 상태이기 때문이다(Kim et al., 2013). 조류발생의 필요조건인 인 농도는 미국 EPA 기준으로 0.02mg/L, OECD 기준으로 0.035mg/L 이다(Lee, 2013). 앞서 조사된 인 농도는 GG지점이 0.01~0.13mg/L, DS지점이 0.02~0.19mg/L, HC지점이 0.02~0.15mg/L, CH지점이 0.02~0.17mg/L로 이미 조류가 발생하기 위해 충분한 상태이며, 조사지점의 평균값으로도 TP농도는 0.04mg/L, 0.07mg/L, 0.06mg/L, 0.06mg/L로 부영양화 기준을 초과하였다.

## 4. 수질인자의 요인분석 및 남조류와의 관계

### 4.1 4개 지점의 수질인자 요인분석 결과

요인분석 실시 전에 주성분분석을 이용하여 자료 추출과 구간별로 고유치와 수질에 미치는 기여율을 산출하였으며 4개 지점의 17개 수질항목인 수온(W·T), pH, DO(dissolved oxygen), BOD, COD, TOC, SS, 총질소(TN), 용존총질소(DTN), 암모니아성질소(NH<sub>3</sub>-N), 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N), 총인(TP), 용존총인(DTP), 인산염인(PO<sub>4</sub>-P), 총대장균수(TCN), 전기전도도(E·C), 클로로필-a(chl-a)를 이용하여 요인분석을 실시하였고 결과는 Table 6, 7, 8, 9에 나타내었다.

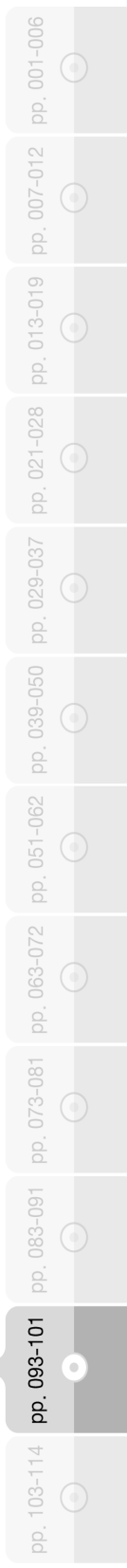
통계에 사용할 변수가 요인분석에 적합한지에 대한 검증으로 Kaiser-Meyer-Olkin(KMO) test는 0.666으로 분석되었다. Bartlett's test의 구형 검증치는 0.000(p<0.05)으로 나타나 변수들의 상관관계가 통계적으로 유의하였으며 요인분석 실행이 타당한 것으로 분석되었다. KMO test는 최소 0.5는 되어야 요인분석이 가능하며, Bartlett's test는 사용된 변수가 대각행렬인지 아닌지를 검증하는 방법으로 p값이 0.05보다 작으면 대각행렬임을 기각하여 요인분석을 할 수 있다는 것을 이야기 한다(Jung et al., 2016). 이번 연구 결과에서 두 분석 모두 조건에 만족하였다.

**Table 6.** Rotated component matrix by factors analysis (GG)

Variable	component				
	1	2	3	4	5
DTN	.966				
NO <sub>3</sub> -N	.951				
TN	.947				
DTP		.932			
PO <sub>4</sub> -P		.909			
TP		.876			
TCN		.644			
chl-a			.768		
pH			.717		
SS			.665		
DO			.541		
COD				.832	
TOC				.718	
BOD				.630	
W·T					.861
E·C					-.714
NH <sub>3</sub> -N					-.381

**Table 7.** Rotated component matrix by factors analysis (DS)

Variable	component			
	1	2	3	4
TP	.928			
PO <sub>4</sub> -P	.857			
DTP	.838			
SS	.826			
E·C	-.701			
TCN	.563			
DTN		.956		
TN		.941		
NO <sub>3</sub> -N		.903		
DO			.761	
pH			.705	
NH <sub>3</sub> -N			-.768	
chl-a			.689	
TOC				.776
COD				.719
W·T				.576
BOD				.447



**Table 8.** Rotated component matrix by factors analysis (HC)

Variable	component				
	1	2	3	4	5
TP	.932				
E·C	-.811				
SS	.798				
DTP	.711				
PO <sub>4</sub> -P	.704				
TN		.968			
DTN		.945			
NO <sub>3</sub> -N		.921			
DO			.921		
pH			.718		
chl-a			.645		
TOC				.860	
COD				.821	
BOD				.662	
W·T				.514	
NH <sub>3</sub> -N					.791
TCN					.659

**Table 9.** Rotated component matrix by factors analysis (CH)

Variable	component				
	1	2	3	4	5
DTP	.898				
PO <sub>4</sub> -P	.893				
TP	.769				
DO	-.702				
pH	-.621				
DTN		.956			
TN		.955			
NO <sub>3</sub> -N		.942			
COD			.886		
BOD			.808		
TOC			.801		
W·T			.578		
NH <sub>3</sub> -N				-.731	
E·C				-.614	
chl-a				.584	
TCN					.894
SS					.738

GG지점의 분석한 결과를 Table 6에 나타내었다. 제 1요인은 용존총질소, 질산성질소, 총질소로 분류되었고, 제2요인은 용존총인, 인산염인, 총인, 총대장균수, 제3요인은 클로로필-a, pH, 부유물질, 용존산소, 제4요인은 COD, TOC, BOD, 제5요인은 수온, 전기전도도, 암모니아성질소로 분류되었다. 제1요인의 경우 질소 계열 오염물질 유입으로 인해 유기성질소와 무기성 질소가 혼재되어 있는 것으로 보였고, 제2요인은 가축 분뇨로 인해 인계열 오염물질과 총대장균수와 관련이 있어 보였다. 제3요인 이후는 하수에 의한 난분해성 유기물질 유입과 관련이 있는 것으로 판단된다.

DS지점의 분석한 결과를 Table 7에 나타내었다. 제1요인은 총인, 인산염인, 용존총인, 부유물질, 전기 전도도, 총대장균수로 분류되었고, 제2요인은 용존총 질소, 총질소, 질산성질소, 제3요인은 용존산소, pH, 암모니아성질소, 클로로필-a, 제4요인은 TOC, COD, 수온, BOD로 분류되었다. 제1요인의 유량 증감에 따른 부유물질과 가축분뇨에 따른 인계열 오염물질과 총대장균수와 관련이 있어 보이며, 제2요인의 경우는 경우 무기비료, 생활하수 등으로 인한 오염물질 유입 인 질소계열과 관련이 있어 보였다. 제3요인 이후는 난분해성 유기물질 유입과 관련이 있어 보였다. 영양 염의 농도가 DS지점 이후 큰 차이를 보이고 있고 전체 조사구간 중 GG지점을 제외한 3개 지점에서 영양 염류 농도가 비슷하여 금호강이 낙동강 중·하류의 영양염류 변화에 가장 큰 영향인자로 판단된다(Yu et al., 2015). 금호강은 유역의 연간 강수량은 1020.6mm 정도이며 이 중 65%가 하절기인 6-9월 사이에 집중되어 유량의 편차가 심한 편이다(Yang et al., 2012). 금호강은 과거 산업화와 도시화에 의해 수질이 크게 악화되었으나, 수질개선을 위해 많은 노력과 비용을 투자한 결과 금호강 말단(강창교)지점의 수질이 BOD 5.1 mg/L로서 환경기준 등급(보통)에 해당하는 수질 상태를 보이는 것으로 조사되었다(Daegu Regional Environmental Agency, 2015). DS지점의 상류에 금호강이 유입되고 있어 GG 지점의 제1요인인 질소계열 수질인자와 다른 양상을 보인 이유는 금호강의 유입수 때문인 것으로 보인다.

HC지점의 분석한 결과를 Table 8에 나타내었다. 제 1요인은 총인, 전기전도도, 부유물질, 용존총인, 인산 염인으로 분류되었고, 제2요인은 총질소, 용존총질소, 질산성질소 제3요인은 용존산소, pH, 클로로필-a, 제4요인은 TOC, COD, BOD, 수온 제5요인은 암모니아성



질소, 총대장균수로 분류되었다. HC지점 또한 오염물질 유입 양상은 DS지점과 유사하여, 금호강 지류 유입 후 하류지점의 DS지점과 유사하게 유기물, 영양염류 농도분포가 다소 높게 나타나 금호강 지류가 낙동강 본류에 지속적인 영향을 미치는 것으로 보인다 (Lee et al., 2014). HC지점은 DS지점과 요인적인 부분 또한 DS지점과 유사한 것을 볼 수 있다.

CH지점의 분석한 결과를 Table 9에 나타내었다. 제1요인은 용존총인, 인산염인, 총인, 용존산소, pH로 분류되었고, 제2요인은 용존총질소, 총질소, 질산성질소, 제3요인은 COD, BOD, TOC, 수온, 제4요인은 암모니아성질소, 전기전도도, 클로로필-a, 제5요인은 총대장균수, 부유물질로 분류되었다. 제1요인의 경우 가축분뇨, 무기비료, 생활하수 등으로 인한 인계열 오염물질 유입과 관련이 있으며, 앞선 4개 지점의 수질현황에서 볼 수 있듯이 CH지점이 상류 3개 지점에 비해 용존산소 농도가 높았다. 이는 또한 수중의 pH와 밀접한 관련이 있다. 제2요인은 질소계열 오염물질 유입과 관련이 있으며, 제3요인 이후로는 난분해성 유기물질과 유량에 따른 부유물질과 관련이 있어 보였다. DS 및 HC 지점은 금호강의 영향을 많이 받는다면 CH지점은 남강의 영향을 많이 받으며, 남강 주변에는 진주시와 진주상평공단 등 중·소도시 및 공업지역이 입지해 있어 오염물질 발생이 상당히 높다. 낙동강에 대한 남강 하류유역의 BOD, TP 오염부하기여율은 각각 29.0%, 17.0%로서 매우 높은 편이다(NRERC, 2009; Yu et al., 2012). 남강댐 하류 수질측정망 지점에서의 최근 5년간 연평균 분포를 보면 남강 하류로 갈수록 BOD, TP, TN, 클로로필-a의 농도가 높아지는 것을 알 수가 있다. 특히, 클로로필-a의 경우 남강 중·하류지점을 지나면서 급격히 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다(Kim et al., 2013). CH지점의 분석결과 제1요인이 인계열 수질인자로 주변의 남강의 영향을 받아 제1요인이 질소계열 수질인자인 GG지점과는 다른 결과가 나타났으며, DS, HC와는 제1요인이 인계열 수질인자로 유사한 결과가 나왔다.

#### 4.3 남조류와 수질인자와의 관계

요인분석 결과 GG지점의 제1요인은 질소계열 수질인자로 나타났고, DS, HC, CH지점의 제1요인은 인계열 수질인자가 나왔다. 앞선 연구 결과에서도 남조류 개체수와 TP와의 통계적 유의성이 강하게 나타난 결

과가 있다(Yu et al., 2015). 4개 지점에 대한 조류 발생 일수를 비교해 보면 DS지점이 112일 발생, HC지점이 129일, CH지점이 131일로 금호강과 남강의 유입수 영향을 받고 있어 GG지점의 110일보다 발생일수가 더 많았다. 특히 남조류 개체수 10,000cells/ml 이상 (조류경보제 경계단계)은 GG지점이 37일, DS지점이 59일, HC지점이 79일, CH지점이 67일로 GG지점보다 아래 세지점이 조류가 더 빈번히 발생하는 것을 볼 수 있었다. 하류 3개 지점의 요인분석 결과 제1요인으로 인계열 수질인자로 나타나 이를 근거로 조류발생은 인계열 수질인자와 관계가 있는 것으로 판단된다. 낮은 TN/TP비에서 높은 인 농도, 성층현상, 투명도 감소, 수온상승, pH상승 등은 남조류의 대량발생 원인이 되고 N/P 비가 10이하에서 Microcystis가 대량발생된다는 보고가 있다(Xia et al., 2011). 앞선 남조류 개체수와 상관관계 분석 결과에서도 pH와 상관성을 나타냈으며 지표수의 pH는 조류 개체의 성장에 영향을 주는 강력한 환경인자라는 연구결과도 있다(Agrawal and Singh, 2000). 그리고 조류는 다른 환경 요인이 만족된다 해도 어떤 pH의 범위 내에서만 잘 자라고 pH가 맞지 않으면 사멸하거나 활성이 떨어진다(Twisti et al., 1988). 특히 남조류는 약알칼리성(pH 7.7~9.4) 환경을 좋아하며 이것은 자연수의 pH범위와 유사하다(Wick and Thief, 1990). 조류성장에 있어 pH가 중요한 수질인자이며 이번 연구결과에 따라서도 높은 pH에서 남조류 개체수의 중요한 성장 조건임을 판단할 수 있다. pH가 높아짐으로써 금속류와 착물로 존재하던 인의 용출이 가속되어 식물플랑크톤의 성장이 촉진된다고 하였다(Kim et al., 2002). 인은 퇴적물에 다양한 형태로 존재하며, 미립자에 흡착된 형태의 Adsorbed P (Ads-P), 착물을 이루는 Nonapatite inorganic P (NAI-P), 광물에 포함된 Apatite P (Apt-P), 유기물 등에 잔류하는 Residual P (Resid-P)의 형태가 있고, pH가 증가할수록 용존 인의 용출이 증가하며, 이때 용출되는 인은 NAI-P로 알려져 있다(Min et al., 2011). 인의 용출은 부영양화를 계속해서 유지시키고 부영양화는 조류를 성장시키며 조류성장은 pH를 상승시켜 조류가 성장할 수 있는 조건을 지속적으로 형성하는 것으로 보인다. 조류는 여러 영향인자의 조건을 만족할 때 발생하는 것으로 알려져 있으나 수질인자의 경우 보 설치 이후 지속적인 성장 조건을 유지하고 있다고 판단된다. 낙동강의 보 설치 이후 유속이 느려지고 정체성

pp. 001-006

pp. 007-012

pp. 013-019

pp. 021-028

pp. 029-037

pp. 039-050

pp. 051-062

pp. 063-072

pp. 073-081

pp. 083-091

pp. 093-101

pp. 103-114

수역이 됨으로서 보 설치 이전과는 달리 퇴적물이 지속적으로 쌓이고 있으며 이런 퇴적물 내의 유기물질 및 영양염류가 pH가 상승할 때 수중으로 용출되어 수질에 영향을 미치어 낙동강은 조류를 성장시키는 좋은 조건으로 변하고 있다고 판단된다. 이번 연구 결과를 토대로 조류를 성장 시키는 다양한 영향인자 중 퇴적물에 대해서도 추가적인 연구가 필요한 것으로 보인다.

낙동강 하류는 남조류 개체수 10,000cells/ml(조류경보제 경계단계)이상일 경우 조류 발생일수가 GG지점보다 하류지점이 약 2배가량 발생 일수가 많은 것은 하류 3개 지점의 요인분석 결과인 인의 요소와 비교 가능하다. 그리고 상류 보에서 방류유량으로 인해 하류 보로 특정 종 및 조류개체가 유입되어 하류로 확산되고 있음을 추정할 수 있다. 상류에서 세포수가 0~50cells/ml의 분포일 때는 하류에서 발견될 확률이 59%이었으나 150cells/ml 이상으로 관찰될 때 하류의 보에는 92%가 관찰되었다는 보고가 있다(Yu et al., 2015). 이는 상류보의 발생일수보다 하류보의 발생일수가 더 많은 원인 중에 상류보의 특정 개체수가 하류종까지 유입되어 개체수의 변화 등으로 인해 발생일수가 더 많은 것으로 보인다.

## 5. 결 론

본 연구에서 보 설치 이후 낙동강 중·하류 4개 지점의 수질항목에 대해 비교 분석하고 수질항목과 남조류 개체수와의 상관성에 대한 연구를 진행한 결과는 다음과 같다.

4개 지점 간 수질항목 분석 결과, 수온은 주변 지역 기후변동성이 유사하여 평균 수온은 큰 차이는 없었으나 계절적인 변동성은 뚜렷이 나타났다. 클로로필-a 농도 및 pH는 하류로 갈수록 증가하였으며 특히 DS 지점 이후 금호강의 유입으로 TN, TP, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, 등 영양염류의 농도가 GG지점과 큰 차이를 보였다. 이는 낙동강 본류에 영향을 미치고 있는 금호강 및 남강의 영향을 많이 받고 있으며 수질개선을 위해 총인 처리시설의 확대 등 대책이 시급한 것으로 판단된다.

수질오염경보제의 정보발령 기준으로 지점별 그리고 개체수별로 통합하여 상관관계를 분석 실시하였고, 뚜렷한 상관관계 결과를 나타낸 수질인자는 없었으나, 하류로 갈수록 영양염류는 상류보다 상관계수

가 증가하는 것을 볼 수 있었다. 남조류의 성장에 중요한 수질요인으로 W·T, pH에 대해서도 유의한 상관성을 보였다. 특히 pH 상승에 따라 퇴적물의 인의 용출이 일어남에 따라 보 내 수질의 부영양화 및 영양염류가 지속적으로 유지될 수 있는 조건으로 판단되기 때문에, 이번 연구인 상관관계분석에 따라 여러 유의한 인자 중 pH에 영향을 받는 퇴적물에 대한 연구도 지속적으로 필요한 것으로 판단된다.

4개 보 지점의 요인분석 결과, 모두 유기오염물질과 영양염류에 오염이 되어 있었으며 GG지점은 질소계열의 수질인자가 제1요인으로 DS, HC, CH지점은 인계열의 수질인자가 제1요인으로 분석되었다. 하류의 3개 지점은 금호강과 남강 등 지류의 영향을 받아 상류의 GG지점과는 다른 요인분석 결과가 나온 것으로 판단된다. 특히 하류 3개 지점이 상류 지점보다 조류 발생일수가 빈번히 발생하므로 하류 3개 지점의 제1요인인 인계열 수질인자의 영향에 대해 지속적으로 관찰할 필요가 있다.

4개 보 설치 이후 2012년 6월부터 2016년 10월까지 조류경보제 관심단계 이상의 조류 발생일수가 GG지점이 110일, DS지점이 112일, HC지점이 129일, CH지점이 131일로 하류로 갈수록 발생일수가 많았으며 특히 조류경보제 경계단계 이상에서는 GG지점이 37일, DS지점이 59일, HC지점이 79일, CH지점이 67일로 하류로 갈수록 약 2배 이상 더 많이 발생하였다. 하류가 영양염류가 풍부하여 조류발생에 좋은 조건을 유지할 뿐만 아니라 상류의 방류유량으로 인해 하류로 확산되는 종의 영향을 받는 것으로 판단된다.

남조류를 예방하기 위한 효과적인 방법으로는 이번 연구를 통해 각 보별 수질인자의 특성 및 상황을 정확히 진단하고, 개선이 우선적으로 필요한 보를 선별하여 그에 맞는 선택과 집중을 통한 대책 마련이 무엇보다 필요할 것이다. 그리고 향후 좀 더 많은 자료의 축적이 선행된다면 수질인자의 특성 및 상황을 바탕으로 보 및 댐의 추가방류로 인해 수질 및 환경개선은 물론이고 사회적 가치 실현과 조류 발생의 피해 비용 등 국가 물관리에 중요한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

## 사 사

본 연구는 “부경대학교 자율창의학술연구비 지원사업(2016)”의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.





## Reference

- Agrawal, S. C. and Singh. V. (2000). Akinete Formation in Three Blue Green Algae and One Green Algae in Relation to Light Intensity, Temperature, Heat Shock and UV Exposure, *Folia Microbiologica*, 45, 439-446.
- Choi, Y. A., Han, N. S., Lim, E. G., Kim, Y. M., Choun, C. J., Lee, B. H. (2013) Characteristics of Cyanobacterial Occurrence and Concentration Distribution of Cyanotoxins in Hoeya Reservoir, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 35(12), 943-952
- Hwang, S. J. (2012). Forecasting System for Water Quality Using Artificial Neural Networks : The Kangjung-Koryung Weir on the Nakdong River, Kyungbook National University.
- Daegu Regional Environmental Agency, 2015, Geumho river tributary pollution contribution ratio report, Daegu regional environmental agency, Daegu Metropolitan City, Korea
- Jung, K. Y., Ahn, J. M., Kim, A. K., Lee, I. J., Yang, D. S. (2016). Evaluation of Water Quality Characteristics and Water Quality Improvement Grade Classification of Geumho River Tributaries, *Journal of Environmental Science International* Vol. 25(6), 767-787.
- Kim, M. S., Chung, Y. R., Suh, E. H., Song, W.S. (2002). Eutrophication of Nakdong River and Statistical Analysis of Environmental Factors, *Algae* Vol. 17(2), 105-115.
- Kim, G. H., Jung, K. Y., Y, J. S., Cheon, S. U. (2013). Temporal and Spatial Analysis of Water Quality Data Observed in Lower Watershed of Nam River Dam, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 13, No. 6, 429-437.
- Lee, C. S., Ahn, C. Y., La, H. J., Lee, S. H., Oh, H. M. (2013). Technical and Strategic Approach for the Control of cyanobacterial Bloom in Fresh Waters, *Korean J. Environ. Biol.*, 31(4), 232-242.
- Lee, S. H., Kim, B. R., Lee, H. W. (2014). A Study on Water Quality after Construction of the Weirs in the Middle Area in Nakdong River, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 36(4), 258-264.
- Lee, S. H. Korea Federation for Environment(KFE) (2013) <http://tjkfem.or.kr>
- Lim, J. S., Lee, J. H., Kim, Y. W., Lee, B. H., Byun, I. G. (2014). Characteristics Interpretation of Algae Occurrence Through the Complex Evaluation of Effect Parameters at Mulgeum in Nakdong River, *KSWST Journal of Water Treatment*, Vol. 22, No. 6, 155-165.
- Liu, X., IU, X., Chen, Y. (2011). The Effects of Temperature and Nutrient Ratios on Microcystis blooms in Lake Taihu, China; An 11-year Investigation, *Harmful Algae*, 10, 337-343
- Min, Y. H., Hyun, D. Y., Eum, C. H., Lee, S. H. (2011). A study on the relationship between concentration of phosphorus, turbidity, and pH in water and soil, *ANALYTICAL SCIENCE & TECHNOLOGY*, Vol. 24, No. 4, 304-309.
- NRERC, (2009). 2008 Management Report of Target Water Quality Monitoring System in Nakdong River Basin, Nakdong River Environment Research Center, pp. 142-163.
- Son, H. J. (2013). Long-term variations of phytoplankton biomass and water quality in the downstream of Nakdong River, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 35(4), 263-267.
- Twisti, H., Edeards, A. C., Codd, G. A. (1988). Algae Growth Responses to Waters of Contrasting Tributaries of the River Dee, North-East Scotland, *Water Research*, 32, 2471-2479.
- Wick, H., Thief, P. G. (1990). Environmental Factors Affecting the Production of Peptide Toxons in Floating Sums of the Cyanobacterium *Micricystis aeruginosa* in a Hypertrophic African Reservoir, *Environmental Science Technology*, 24(9), 1413-1418.
- Xia, L., Xiaohua, L., Yuwei, C. (2011). The effects of Temperature and Nutrient Ratios on Microcystis Blooms in Lake Taihu, China ; An 11-Year Investigation, *Harmful Algae*, 10, 337-343.
- Yang, D. S., Bae, H. K., (2012). The Effect of branches on Kumho river's water quality, *J. Environ. Sci.*, 21(10), 1245-1253.
- Yu, J.J., Shin, S.H., Yoon, Y.S., and Kang, D.K. (2012). Water Quality Prediction and Forecast of Pollution Source in Namgang Mid-watershed each Reduction Scenario, *Environmental Impact Assessment*, Vol. 21, No. 4, 543-552.
- Yu, J. J., Lee, L. K., Lee, H. J., Hwang, J. W., Lyu, H. S., Sin, L. Y., Park, A. R., Chen, S. U. (2015). Relations of Nutrient Concentrations on the Seasonality of Algal Community in the Nakdong River, Korea, *Journal of Korean Society on Water Environment*, Vol. 32(2), 110-119.

pp. 001-006

pp. 007-012

pp. 013-019

pp. 021-028

pp. 029-037

pp. 039-050

pp. 051-062

pp. 063-072

pp. 073-081

pp. 083-091

pp. 093-101

pp. 103-114