

# 통계분석을 이용한 낙동강 창녕함안보 구간의 수질특성 연구 Characterization of Water Quality in Changnyeong-Haman Weir Section Using Statistical Analyses

곽보라 · 김일규<sup>†</sup>  
Bo-ra Gwak · Il-kyu Kim<sup>†</sup>

부경대학교 환경공학과  
Department of Environmental Engineering, Pukyong National University

(Received December 22, 2015; Revised February 1, 2016; Accepted February 18, 2016)

**Abstract :** The study of water environment system in Changnyeong-Haman weir section using a statistical analysis has been conducted. Statistical analyses used in this study were the correlation analysis, the principal components, and the factor analysis. The purpose of the study is to establish better understanding of relationships between water quality factors in the Changnyeong-Haman weir section which can provide useful information to manage Nakdong river. According to correlation analyses on COD and TOC, it revealed that the value of correlation coefficient was 0.844. Furthermore, the results from the principal component analysis categorized the water quality factors into three factor groups, the first principal factor group included COD, TOC, BOD, pH, water temperature (WT). And, it was observed that the concentration of cyanobacteria in the water body decreased, while the concentrations of the diatoms and the green algae increased after the events of rainfall.

**Key Words :** Changnyeong-Haman Weir, Factor Analysis, Multivariate Analysis, Principle Component Analysis, Water Quality

**요약 :** 본 연구에서는 낙동강 창녕함안보 구간의 수질을 통계분석을 이용하여 수질 특성을 파악하였다. 다양한 통계분석기법 중에서 상관분석과 주성분분석 및 요인분석을 실시하였으며, 강우에 따른 조류의 천이양상을 연구하였다. 이는 향후 창녕함안보 구간의 수질관리정책 수립을 위한 기초 자료를 구축하는데 매우 중요한 자료이다. 측정 자료의 상관성 분석 결과, 클로로필-a와 조류는 상관성이 유의하지 않게 나타났으며, 요인분석 결과로 3개의 주성분이 추출되었으며, 제 1요인으로는 COD, TOC, BOD, pH, 수온이 분류되었다. 또한, 강우에 따른 조류의 천이양상을 분석한 결과, 강우 후에는 남조류의 수중 개체 농도가 감소하는 추세를 보인 반면, 규조류와 녹조류의 개체 농도는 다소 증가하였다.

**주제어 :** 창녕함안보, 요인분석, 다변량 통계분석, 주성분분석, 수질

## 1. 서론

국내 최대 수자원 중의 하나인 낙동강 수계는 대구 경북과 부산 경남지역의 대도시를 경유하여 흐르는 인구 1천만의 식수원으로 사용되고 있다. 낙동강 본류의 유역면적은 전체 국토의 약 25%에 해당되고, 총 연장은 약 520 km에 이르며, 낙동강 하구언의 건설 이후에는 갈수기에 물 흐름의 정체현상이 일어나고 있다. 낙동강 중상류의 대도시에서 공장폐수 및 생활하수 등이 유출되어 다량의 영양염류의 유입에 의한 부영양화 현상이 가속화되었으며, 식물플랑크톤 현존량의 증가와 종조성의 변화를 초래하였다.<sup>1,2)</sup> 조류는 빛에너지를 이용하여 광합성을 하는 미생물로서 질소와 인 등의 영양물질로 조류균체를 합성하며, 매년 하절기에는 남조류, 동절기에는 규조류의 대번식으로 인하여 수자원의 이용에 많은 어려움이 있다. 조류는 수중의 이산화탄소를 소비하고 산소를 생성하여 수계환경을 변화시키고 환경조건에 따라 생육특성과 생육속도가 달라지는데 조류의 생산성은 빛의 강도와 무기영양원의 양에 의해 영향을 받는다. 조류 대발생의 가장 보편적인 원인은 주로 과도한 질소

와 인이다.<sup>3)</sup> 수역의 높은 영양염류의 농도로 수자원 이용에 장애를 일으키는 부영양화현상은 영양염류로 인해 수중의 식물플랑크톤이 과다증식하여 물의 색을 변화시키고, 이취미를 발생시켜 음용수의 가치를 떨어뜨린다. 또한, 최근에는 가축이나 인간에게 유해한 독성물질을 생산하는 남조류들이 대량 증식하여 피해를 입는 경우가 많아지고 있다.<sup>4)</sup> 식물플랑크톤의 증식에 영향을 미치는 요인들은 상당히 다양하고 이런 요인들이 복합적으로 작용하여 증식에 영향을 미치게 되며,<sup>5)</sup> 조류의 과다증식을 유발하는 식물플랑크톤은 주로 남조류, 규조류, 녹조류이다.<sup>6)</sup>

최근 통계분석법을 이용하여 하천의 수질평가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>7-9)</sup> 상관분석, 요인분석, 회귀분석 등 여러 가지 통계분석기법이 있으며, 이러한 통계분석은 복잡한 수질의 특성을 가지는 하천에 대해 수질의 결정요인을 평가하고 해석하는데 유용한 방법이다.<sup>10)</sup> 주된 오염인자를 합리적으로 산출하고 신뢰성 있는 수질자료의 해석을 지원하기 위한 효율적인 수질 관리는 통계분석법을 이용하여 수질관리를 수행할 필요가 있다.<sup>11)</sup> 본 연구에서는 다양한 통계분석기법 중에서 상관분석과 주성분분석 및

<sup>†</sup> Corresponding author E-mail: ikkim@pknu.ac.kr Tel: 051-629-6528 Fax: 051-621-8166

요인분석을 통해 창녕함안보 구간의 수질을 대상으로 수질 인자간의 상관성과 수질 특성을 파악하였으며, 강우에 따른 조류의 천이양상을 나타내어 향후 창녕함안보 구간의 수질관리정책 수립을 위한 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다.

## 2. 연구내용 및 방법

### 2.1. 조사지점

본 연구에서는 기존의 수질과 유량 측정 지점 등을 고려하여 남강의 지류의 영향이 클 것으로 판단되는 창녕함안보를 조사대상으로 선정하였다. 조사지점은 창녕함안보 구간의 본류 4개 지점과 주요 지류 2개 지점으로 구성된다. 본류에 속하는 조사 지점들로는 상류로부터 울지교(YJ), 박진교(PJ), 함안보(HA), 임해진(IH) 4개 지점이 순서대로 위치해 있고 지류에 해당되는 황강(울지교와 박진교 사이에서 낙동강으로 유입)은 청덕교(CD) 지점에서, 남강(박진교와 함안보 사이에서 낙동강으로 유입)은 송도교(SD) 지점에서 조사를 진행하였다. 시료의 채취는 수질오염 공정시험방법에 의하여 조류가 번성하는 여름철을 중심으로 2015년 6월부터 10월까지 총 15회 실시하였다.

### 2.2. 연구 방법

#### 2.2.1. 자료 수집 및 수질 특성 분석

물환경정보시스템에 공시되어 있는 2014년부터 2015년까지의 수질 자료를 수집하였으며, 분석항목은 현장 측정 항목인 수온(WT), 수소이온농도(pH), 용존산소(DO), 전기전도도(EC)와 일반 수질 항목인 총질소(T-N), 총인(T-P), TN/TP비, 화학적산소요구량(COD), 총부유물질(TSS), 인산염인(PO<sub>4</sub>-P), 암모니아성질소(NH<sub>3</sub>-N), 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N), 클로로필-a(Chl-a), 총유기탄소(TOC), 총실리카(t-silica), 용존실리카(d-silica)를 수질오염공정시험기준에 준하여 분석하였다. 조류 분석은 채수해온 시료를 고정하기 위해 루골 용액으로 최종 1%가 되도록 첨가하였으며, 냉장 보관한 후 검경하였다. 조류 계수는 SR 챔버 또는 혈구 계수기를 이용하였으며, 광학 현미경으로 100~200배율로 검경하고 동정이 필요한 경우 400~1,000배까지 확대하여 검경하였다. 조류량이 희박한 경우에는 자연 침강법으로 가라앉힌 후 상등액을 제거하여 농축한 다음, 개체수가 계수면적당 10~40 정도가 되도록 계수를 맞춘 후 검경하였다. 반대로 조류량이 많은 경우에는 1 mL 전체를 검경하여 계수하였다.

#### 2.2.2. 경향 및 상관성 분석

최근까지 다변량 통계분석방법은 다양한 지표수와 담수의 수질특성을 평가하기 위한 연구에 많이 활용되어왔다.<sup>12-16)</sup> 본 연구에서는 모든 통계분석을 SPSS (ver. 18.0) 프로그램을 이용하였으며, 각 구역의 수질변동 특성을 파악하고자

하여 상관성분석과 요인분석을 실시하였다. 상관분석은 두 변수간의 선형적인 상관관계 파악하는 것으로 변수간의 관련성을 분석하기 위하여 한 변수가 다른 변수와의 관련성이 있는지 여부와 관련성이 있다면 어느 정도의 관련성이 있는지를 알고자 할 때 유용한 기법이다. 일반적으로 자주 이용되는 Pearson's correlation analysis를 이용하여 분석하였다. 주성분 및 요인분석은 다변량 분석의 여러 가지 기법 중에서도 가장 기본이 되는 분석 방법인 주성분분석은 변수 간에 상관성을 갖는 여러 종류의 특성치에 대한 정보를 큰 손실 없이 요약 표현이 가능하며, 이들 속에 내재하고 있는 상호 독립적인 고유의 패턴을 상호 유관한 특성치들의 변화 양상으로부터 도출할 수 있다. 또한 소수의 특징적인 변량을 합성하여 주성분을 다변량으로 구성되는 데이터로부터 산출하고, 차원이 축소되어 데이터 분석이 용이해진 주성분을 사용하여 전체 다변량 데이터의 경향을 분석하게 된다.<sup>17)</sup>

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 대상구역의 수질 특성

낙동강 창녕함안보 구간의 수질특성을 알아보기 위하여 각 지점별 특성치를 Fig. 1에 나타내었다. 창녕함안보 구간의 전체 지점에 대한 수질 농도를 살펴보면 수온은 수심이 얇은 지류보다 본류에서 약간 높게 나타났지만 그 수준은 유사하다고 볼 수 있다. pH의 경우는 6.7~9.7의 범위로 평균 8.1로 PJ지점에서 8.3으로 가장 높게 나타났으며, DO의 경우에도 평균 11.0 mg/L로 PJ지점에서 12.0 mg/L로 가장 높게 나타났다. 전기전도도의 경우 지류보다는 본류에서 높은 것으로 확인한 차이가 나타났다. COD의 농도 범위는 2.5~9.5 mg/L, 평균 5.6 mg/L로 CD지점을 제외한 모든 지점에서 하천 생활환경기준 III등급(보통)으로 조사되었으며 특히, YJ 지점과 PJ 지점에서 각각 6.9 mg/L과 6.6 mg/L로 높게 나타났다. SS의 농도 범위는 1.2~121.6 mg/L, 평균 11.3 mg/L로 강우에 영향을 받아 편차가 크게 나타난 것으로 판단되며, T-N의 경우 농도 범위는 0.842~5.964 mg/L, 평균 2.768 mg/L로 나타났고, TOC의 경우 농도 범위는 0.9~6.7 mg/L, 평균 3.2 mg/L로 나타났다. T-P의 경우 농도 범위는 0.012~0.250 mg/L, 평균 0.051 mg/L로 CD지점을 제외한 모든 지점에서 II등급(약간 좋음)에 해당하는 수준을 나타내었다. 전반적으로 YJ지점과 PJ지점에서 COD, T-N의 수질 항목에 대한 농도가 다른 지점에 비해 높게 나타났는데 이러한 이유는 지점별 특성으로서 YJ지점의 경우 합천 창녕보 상류에 위치하여 유속이 상당히 느려지는 구간의 특성을 가지고, PJ지점은 축산 농가 등이 하천 인근에 위치하고 있으며, 작은 지류들이 본류로 유입되는 특성을 가진다. CD지점은 다른 지점에 비해 편차가 작게 나타났는데 이는 황강 지류에 속하여 지점의 특성상 수심이 매우 얇으며

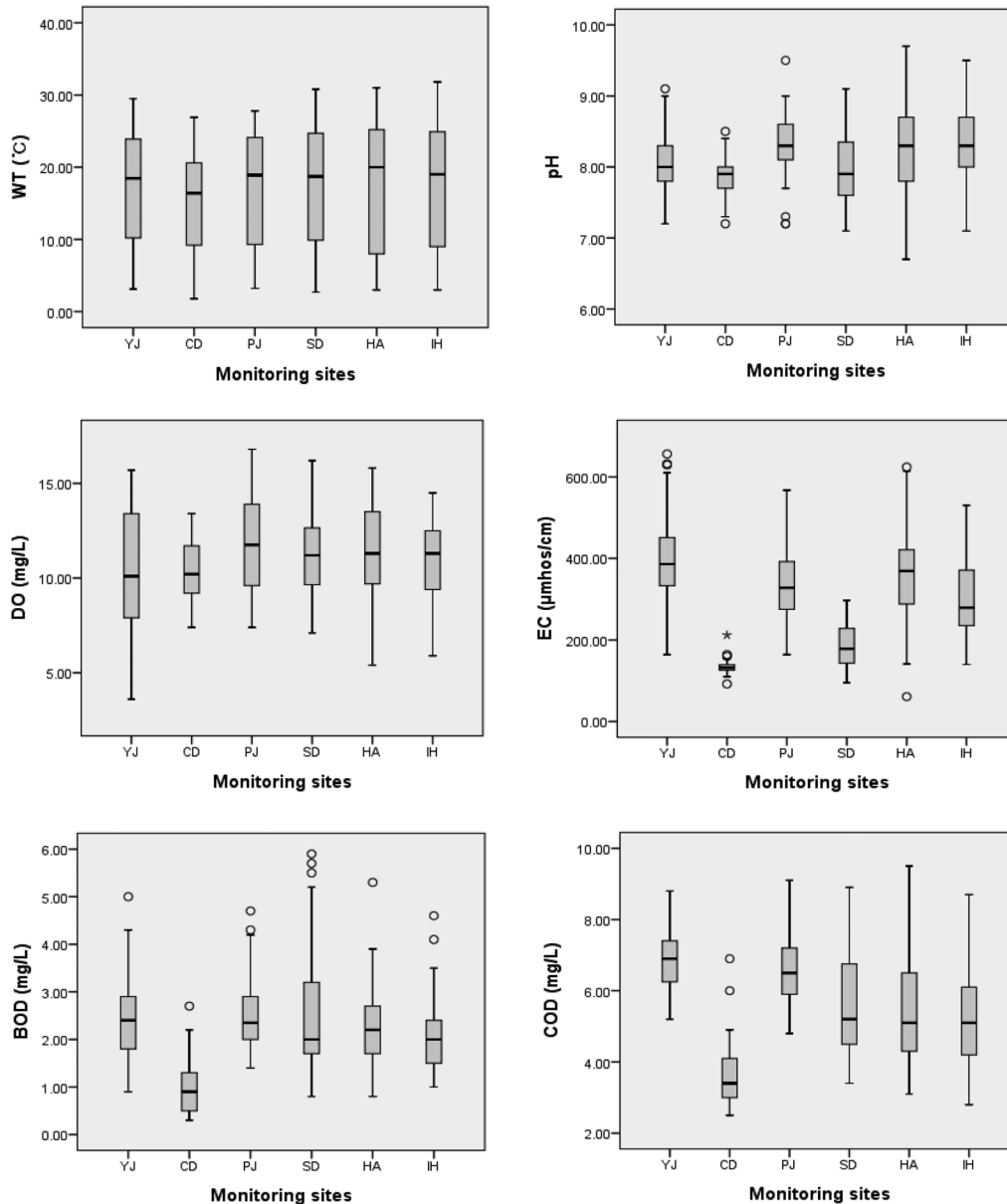


Fig. 1. Box plot of major water quality parameters in Changnyeong-Haman weir section.  
 o : outliers, \* : values beyond 75th percentile

유속이 빠른 지점으로 농도 차이가 크지 않은 것으로 판단된다. 또한, SD지점의 경우에는 수질 항목 중 특히 T-P, Chl-a의 농도가 다른 지점에 비해 높게 나타났다. 이는 축산 농가 등이 하천 인근에 위치하는 특성을 가지고 있기 때문인 것으로 판단된다. 이에 낙동강 창녕함안보 구간의 효율적인 수질관리를 위해서는 본류로 유입되는 남강 지류에 대한 집중관리가 선행되어야 할 것으로 보인다.

### 3.2. 수질항목별 상관분석결과

낙동강 창녕함안보 구간의 수질 자료를 이용하여 수질항목별 상관분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 수온과 용존산소의 상관계수가 -0.719 ( $p < 0.01$ )로서 높은 음의 상관성

을 보였는데, 이는 온도가 높을수록 산소의 용해도가 낮아지는 전형적인 경향으로 볼 수 있다. T-N과 전기전도도에 대한 상관계수는 0.715 ( $p < 0.01$ )로 김 등<sup>18)</sup>이 선행연구에서 보고한 바와 같이 강한 양의 상관성을 보였으며, 이는 질소계열 오염물질이 포함되는 비료와 축산오수, 생활하수를 통해 염류의 유입에 대한 영향이 크게 나타나는 것으로 판단된다. 유기물 간접지표인 COD와 TOC의 상관계수를 살펴보면 0.844 ( $p < 0.01$ )로서 강한 양의 상관성을 보이며, 또한 T-P와 COD, TOC에 대한 상관계수는 각각 0.522, 0.527 ( $p < 0.01$ ) 보통의 양의 상관성을 보여, 유기물질과 인계열의 오염물질에 대한 상관성을 보여주었다. 이와 유사한 경향은 선행 연구자들이 낙동강에서 진행한 유기물질과 T-P의 상관성 분석에서도 잘 나타나 있다.<sup>19,20)</sup>

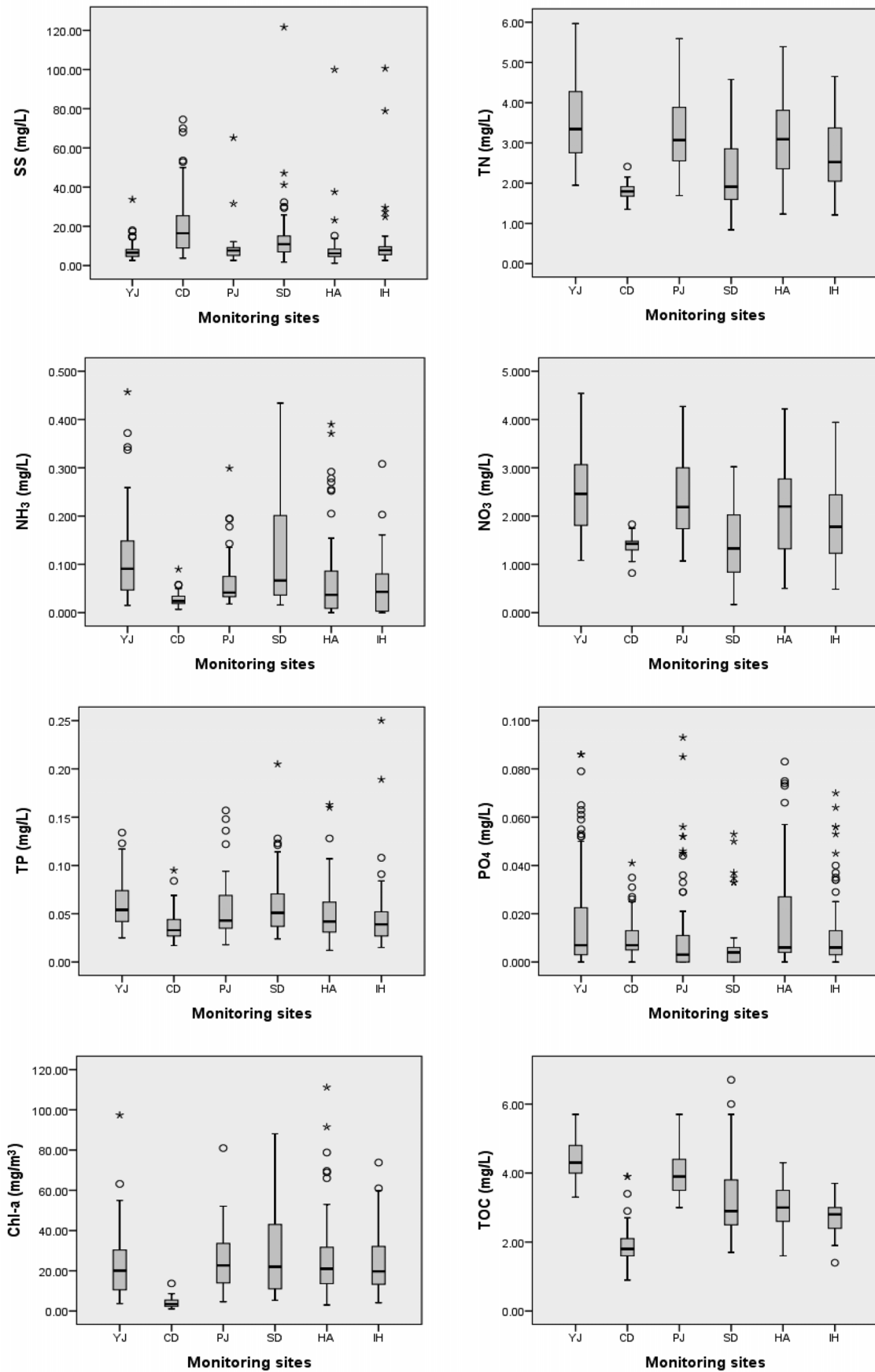


Fig. 1. (continue)

Table 1. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters

	WT	pH	DO	EC	BOD	COD	SS	T-N	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	Chl-a	TOC
WT	1	0.332**	-0.719**	-0.242**	0.274**	0.538**	0.058	-0.694**	-0.325**	-0.760**	0.515**	0.394**	0.300**	0.347**
pH		1	0.172	0.184**	0.490**	0.424**	-0.222**	-0.201**	-0.371**	-0.263**	-0.025	-0.290**	0.474**	0.275**
DO			1	0.237**	0.104	-0.257**	-0.155*	0.519**	0.094	0.531**	-0.496**	-0.587**	0.117	-0.196**
EC				1	0.270**	0.378**	-0.498**	0.715**	0.275**	0.641**	-0.127	0.005	0.117	0.426**
BOD					1	0.618**	-0.201**	0.072	-0.014	-0.057	0.288**	-0.121	0.779**	0.630**
COD						1	-0.038	-0.042	-0.055	-0.168*	0.522**	0.274**	0.523**	0.844**
SS							1	-0.305**	-0.167*	-0.248**	0.264**	0.148*	-0.102	-0.058
T-N								1	0.525**	0.937**	-0.205**	-0.064	-0.081	0.161*
NH <sub>3</sub> -N									1	0.440**	0.098	0.193**	-0.173*	0.104
NO <sub>3</sub> -N										1	-0.297**	-0.119	-0.190**	0.045
T-P											1	0.633**	0.269**	0.527**
PO <sub>4</sub> -P												1	-0.159*	0.221**
Chl-a													1	0.502**
TOC														1

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

### 3.3. 조류항목 상관분석결과

창녕함안보 구간의 수질과 조류항목 모니터링한 자료를 이용하여 상관분석한 결과를 Table 2에 나타내었다. t-silica와 d-silica의 상관계수는 매우 높게 나타났으며, Smith<sup>21)</sup> 등은 질소와 인의 비율에 따라 남조류의 우점이 결정된다고 보고된 바가 있다. N/P ratio가 29 이상으로 증가할 때 남조류의 개체수가 감소한다는 연구 결과가 이미 보고되었으며<sup>22,23)</sup> 김 등<sup>24)</sup>도 한강을 대상으로 한 선행연구에서 유사한 경향을 발견하였다. 본 연구 결과에서는 N/P ratio가 40 이하인 구간에서는 N/P ratio가 감소할수록 남조류 개체수가 감소하고, 40 이상인 구간에서는 N/P ratio가 증가할수록 남조류 개체수가 감소한 것으로 나타났다(Fig. 2). 2014년 수질항목 분석결과와 경우에는 N/P ratio 26을 기준으로 하여 남조류 개체수가 변화하였지만, 이는 2014년에 비해 낙동강 창녕함안보 구간에 유입되는 인의 농도가 감소하여 N/P ratio가 상대적으로 올라간 것으로 추정된다. 남조류에 비해 규조류와 N/P ratio에 대한 상관계수가 상대적으로 유의하게 나타났으며, 이에 대한 산점도를 Fig. 3에 나타내었다.

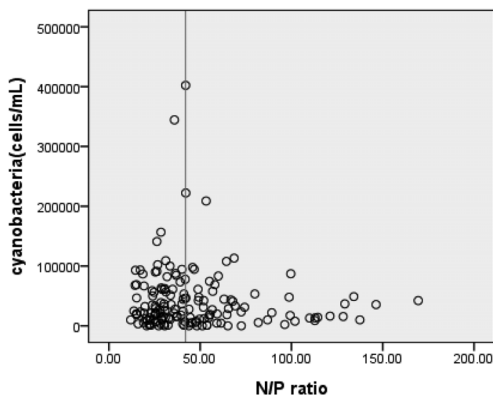


Fig. 2. Relationship between Cyanobacteria concentration and N/P ratio throughout in monitoring sites.

Table 2. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters and algae

	N/P ratio	Chl-a	t-silica	d-silica	Cyano	Diatoms	Green
N/P ratio	1	-0.125	-0.047	-0.019	-0.082	-0.169*	-0.031
Chl-a		1	-0.349**	-0.473**	0.323**	0.286**	0.272**
t-silica			1	0.959**	-0.056	-0.035	-0.110
d-silica				1	-0.104	-0.079	-0.144
Cyano					1	-0.095	-0.020
Diatoms						1	0.073
Green							1

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

### 3.4. 주성분 및 요인분석결과

전체수질의 주성분 분석에 대한 결과를 Table 3에 나타내었으며, 요인분석 결과는 요인과 변량과의 상관계수에 따른 요인 구조를 명확하게 하기 위하여 직각 회전 방식인 Varimax 방식을 적용하여 Table 4와 Fig. 4에 나타내었다. 그 결과 3개의 주성분이 추출되었고, 제 1요인의 고유치는

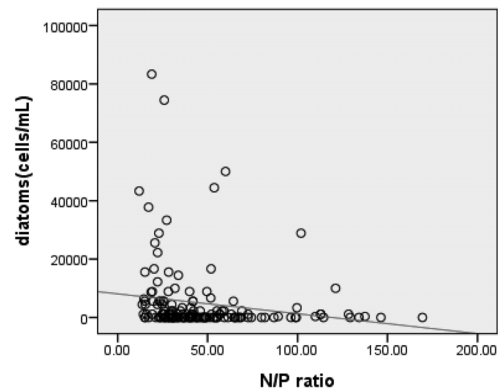


Fig. 3. Relationship between Diatoms concentration and N/P ratio throughout in monitoring sites.

Table 3. Eigen values and cumulative percentage of factors

Component	Initial eigen values			Extraction sums of squared loadings		
	Total	Variance (%)	Cumulative (%)	Total	Variance (%)	Cumulative (%)
1	4.741	36.471	36.471	3.900	29.996	29.996
2	3.032	23.326	59.797	3.549	27.300	57.296
3	2.074	15.956	75.753	2.399	18.456	75.753
4	0.992	7.634	83.387			
5	0.772	5.939	89.326			
6	0.359	2.759	92.085			
7	0.311	2.390	94.475			
8	0.219	1.687	96.162			
9	0.170	1.311	97.473			
10	0.137	1.055	98.528			
11	0.093	0.716	99.244			
12	0.062	0.480	99.724			
13	0.036	0.276	100.000			

Table 4. Rotated component matrix by factor analysis

	Component		
	1	2	3
COD	0.911	-0.037	0.146
TOC	0.861	0.019	0.263
BOD	0.850	-0.014	-0.174
pH	0.688	-0.208	-0.492
WT	0.658	-0.538	0.304
TN	-0.116	0.963	-0.109
NO <sub>3</sub> -N	-0.350	0.881	-0.127
EC	0.354	0.762	-0.262
NH <sub>3</sub> -N	-0.087	0.753	0.175
PO <sub>4</sub> -P	0.199	0.261	0.801
DO	-0.078	0.420	-0.747
TP	0.596	-0.080	0.598
SS	-0.175	-0.335	0.510

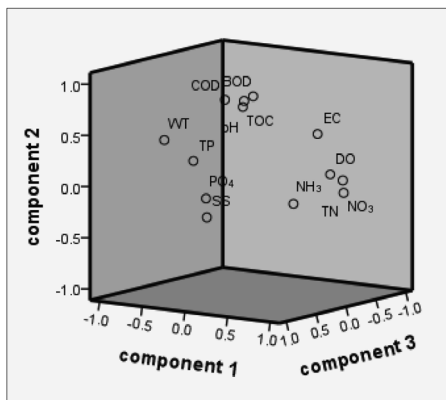


Fig. 4. Component plot in rotated space.

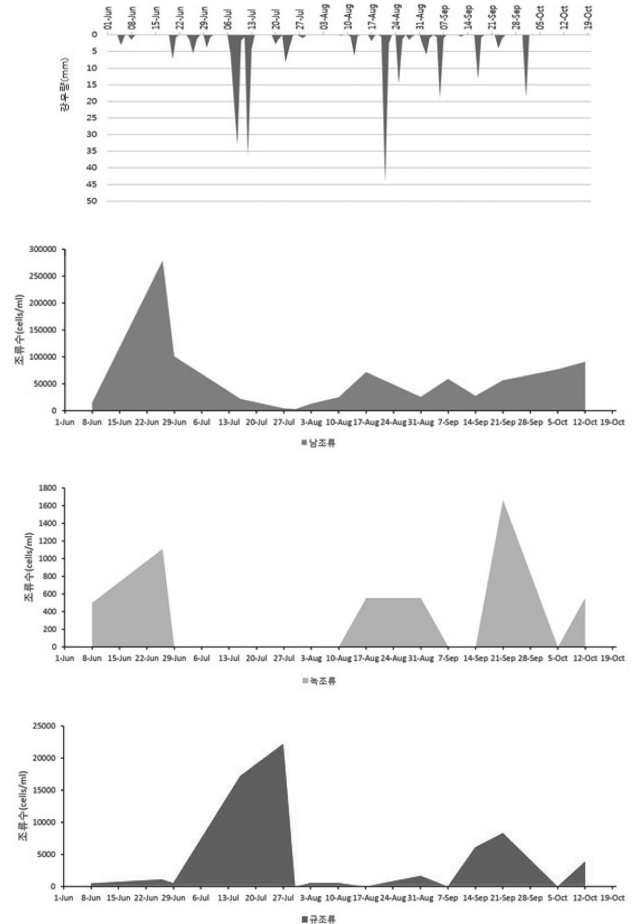


Fig. 5. Transition aspect of phytoplankton for rainfall on the Haman weir section.

3.900로써 29.996% 기여하고 있으며, 제 1요인부터 제 3요인까지 전체 분산의 75.753%를 설명해 주고 있다. 제 1요인은 COD, TOC, BOD, pH, WT로 분류되었고, 제 2요인은 T-N, NO<sub>3</sub>-N, EC, NH<sub>3</sub>-N이며, 제 3요인은 PO<sub>4</sub>-P, T-P, SS로 분류되었다. 제 1요인의 경우 하수에 의한 난분해성 유기물질의 유입과 관련이 있음을 보이며, 제 2요인의 경우 질소계열 오염물질 유입과 관련이 있음을 보였다. 그리고 제 3요인의 경우 유량증가에 따른 부유물질 유입과 인계열 오염물질의 유입에 관련이 있는 것으로 보였다. 이렇듯 강우 시에 수질 농도가 함께 상승하여 점오염원에 의한 영향보다는 비점오염원의 영향이 더 큰 것으로도 해석할 수 있다.<sup>8)</sup> 장마기 초기강우는 갈수기동안 수역에 축적된 육상 기원의 영양물질을 수계로 유입시키는 결과로 수역의 환경 및 수환경 변화에 중요한 요인으로 작용한다.<sup>25)</sup> 따라서 강우에 따른 조류의 천이양상을 Fig. 5에 나타난 바와 같이 함안보 상류 500 m 지점을 대상으로 분석해 보았을 때, 함안보 지점의 경우에는 강우 후 남조류의 현존량이 급감하였으며, 규조류와 녹조류의 개체 밀도는 다소 증가하였다. 규조류의 경우 남조류의 개체 밀도가 증가할 경우 상대적으로 규조류의 출현 빈도가 측정한계 이하로 줄어드는 경향을 보였다.

## 4. 결론

본 연구에서는 다변량 분석기법을 적용하여 수질 항목간의 상관분석과 요인분석을 수행하여 창녕함안보 수계를 대상으로 수질변동 특성을 알아보고자 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) 창녕함안보 구간의 수질은 유기물의 간접지표인 COD와 TOC의 상관계수가 0.844 ( $p < 0.01$ )로서 높은 상관성을 보였으며, T-P와 COD, TOC에 대한 상관계수는 각각 0.522, 0.527 ( $p < 0.01$ )으로, 인계열의 오염물질과 유기물질의 지표들 간에 양의 상관성을 보였다.

2) N/P ratio 40을 기준으로 구간을 분리했을 때, N/P ratio가 40 이하인 구간에서는 N/P ratio가 감소할수록 남조류 개체수가 감소하고, 40 이상인 구간에서는 N/P ratio가 증가할수록 남조류 개체수가 감소한 것으로 나타났다.

3) 요인분석의 결과에서 전체 수질을 대상으로 3개의 주성분이 추출되었으며, 제 1요인부터 제 3요인까지 전체 분산의 75.753% 기여하였다. 제 1요인은 COD와 TOC로 분류되고, 제 2요인은 T-N,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , EC,  $\text{NH}_3\text{-N}$ 로 분류되어, 전반적인 결과를 종합하여 창녕함안보 유역의 대상 지점은 유기물과 영양염류, 부유물질의 영향을 동시에 받는 것으로 판단된다.

4) 강우에 따른 천이양상으로 남조류의 현존량은 강우 후에 감소하는 반면, 규조류와 녹조류의 개체 밀도는 다소 증가하였으며, 규조류의 경우에는 남조류의 개체 밀도가 증가할 경우 상대적으로 규조류의 출현 빈도가 측정한계 이하로 줄어드는 경향을 나타내었다.

5) 낙동강 하류에 위치한 창녕함안보 구간의 수질특성은 본 구간의 낙동강 본류로 유입되는 주요 지류인 황강과 남강 중 남강 지류에 위치하는 SD지점의 조사자료를 분석한 결과, 남강의 T-P와 Chl-a의 농도가 상대적으로 높아 이에 대한 관리방안이 필요할 것으로 판단된다.

## Acknowledgement

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

KSEE

## References

- Sin, Y., Lee, C., Cho, K. and Song, E., “Trends of phytoplankton community and water quality and implications for management in estuarine river system,” *Korean J. Limnol.*, **38**(2), 160~180(2005).
- Son, H.-J., “Long-Term Variations of Phytoplankton Biomass and Water Quality in the Downstream of Nakdong River,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **35**(4), 263~267(2013).
- Park, T. G., Park, K. H. and Seon, K. H., *Water pollution, Donghwa Technology*(1987).
- Park, H.-K., “Survey method relating Freshwater Phytoplankton for the Management of Water Resources,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **29**(6), 593~609(2007).
- Park, H.-K., Chung, C.-M., Bahk, J.-R. and Hong, Y.-K., “The Relationship between Phytoplankton Productivity and Water Quality Changes in Downstream of Nakdong River,” *J. Korean Environ. Sci. Soc.*, **8**(1), 101~106(1999).
- Joung, S.-H., Ahn, C.-Y., Choi, A.-R., Jang, K.-Y. and Oh, H.-M., “Relation between Rainfall and Phytoplankton Community in Daechung Reservoir,” *J. Korean Environ. Biol.*, **23**(1), 57~63(2005).
- Lee, J., Hamm, S., Cheong, J., Kim, H., Ko, E., Lee, K., and Lee, S., “Characterization riverbank-filtered water and river water qualities at a site in the lower Nakdong river basin, Republic of Korea,” *J. Hydrol.*, **376**, 209~220(2009).
- Lee, H., Bhang, K. and Park, S., “Effective visualization for the spatiotemporal trend analysis of the water quality in the Nakdong river of Korea,” *Ecol. Informatics*, **5**, 281~292(2010).
- Jung, K., Lee, K., Im, T., Lee, I., Kim, S., Han, K. and Ahn, J., “Evaluation of water quality for the Nakdong river watershed using multivariate analysis,” *Environ. Technol. Innovat.*, **5**, 67~82(2016).
- Kim, M.-S., Chung, Y.-R., Suh, E.-H. and Song, W.-S., “Eutrophication of Nakdong River and Statistical Analysis of Environmental Factors,” *Algae*, **17**(2), 105~115(2002).
- Park, J.-H., Moon, M.-J., Lee, H.-J. and Kim, K.-S., “A Study on Characteristics of Water Quality using Multivariate Analysis in Sumjin River Basin,” *J. Korean Soc. Water Environ.*, **30**(2), 119~127(2014).
- Abahams, A. D., “Factor analysis of drainage basin properties: Evidence for stream abstraction accompanying the degradation of relief,” *Water Resour.*, **8**(3), 624~633(1972).
- Karim, B. and Taha F. M., “Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality,” *J. Hazard. Mater. B*, **100**, 179~195(2003).
- Bernard, P., Antoine, L. and Bernard, L., “Principal component analysis an appropriate tool for water quality evaluation and management application to a tropical lake system,” *Ecol. Model.*, **178**, 295~311(2004).
- Fang, H., Xiaoquan, W., Liping, L., Zhiqing, Z. and Jiaping, W., “Spatial variation and source apportionment of water pollution in Qiantang River (China) using statistical techniques,” *Water Res.*, **44**, 1562~1572(2010).
- Homa, R., Ahmad, A. and Atoob, T., “Evaluation of spatial and temporal variation in water quality by pattern recognition techniques: A case study on Jajrood River (Tehran, Iran),” *J. Environ. Manag.*, **91**, 852~860(2010).
- Park, J. S. and Rhee, K. H., “Study on characteristics of water quality variation in the Yeongsan River using Multivariate Analysis,” *J. Korean Soc. Water Sci. Technol.*, **20**(2), 61~72(2012).
- Kim, G. H., Jung, K. Y., Yoon, J. S. and Cheon, S. U., “Temporal and spatial analysis of water quality data observed

- in lower watershed of Nam river dam,” *J. KOSHAM*, **13**(6), 429~437(2013).
19. Park, H. S., Park, C. K., Song, M. K., Baek, K. H. and Shin, S. K., “Evaluation of water quality characteristics using factor analysis in the Nakdong river,” *J. Korean Karnataka, India. Water Res.*, **36**, 2437~2442(2001).
20. Song, E. S., Jeon, S. M., Lee, E. J., Park, D. J. and Shin, Y. S., “Long-term trend analysis of chlorophyll a and water quality in the Yeongsan River,” *Korean J. Limnol.*, **45**(3), 302~313(2012).
21. Smith, Y. H., “Predictive models for the biomass of blue green algae in lakes,” *J. Am. Water Resour. Assoc.*, **21**(3), 433~439(1985).
22. Smith, V. H., “Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton,” *Sci.*, **221**(4611), 669~671(1983).
23. Xie, L., Xie, P., Li, S., Tang, H. and Liu, H., “The low TN:TP ratio, a cause or a result of Microcystis bloom?,” *Water Res.*, **37**(9), 2073~2080(2003).
24. Kim, T.-K., Choi, J.-H., Lee, K.-J., Kim, Y.-B. and Yu, S.-J., “Study on Introduction to Predicting Indicator of Cyanobacteria Dominance in Algae Bloom Warning System of Hangang Basin,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **36**(5), 378~385(2014).
25. Park, S.-B., Lee, S.-K., Chang, K.-H., Jeong, K.-S. and Joo, G.-J., “The Impact of monsoon Rainfall (Changma) on the Changes of Water Quality in the Lower Nakdong River (Mulgeum),” *Korean J. Limnol.*, **35**(3), 160~171(2002).