



다변량 통계분석을 이용한 낙동강 창녕함안보 구간의 수질 특성 평가

The Evaluation of Water Quality Using a Multivariate Analysis in Changnyeong-Haman weir section

곽보라·김일규*
Bo-ra Gwak·Il-kyu Kim*

부경대학교 환경공학과
Department of Environmental Engineering, Pukyong National University

ABSTRACT

The study of water environment system using a multivariate analysis in Changnyeong-Haman weir section has been conducted. The purpose of this study is to establish better understanding related water qualities in the Changnyeong-Haman weir section which can provide useful information. The data were consisted of water quality data and algae data including WT(water temperature), pH, DO, EC, COD, SS, T-N, NH₃-N, T-P, PO₄-P, Chl-a, TOC, d-silica, t-silica, Cyanobacteria, Diatoms, and Green algae. Statistical analyses used in this study were correlation analysis, principal components, and factor analysis. According to correlation analysis on COD and TOC, it revealed that the each value of correlation coefficient was 0.843. On the other result, a negative correlation was observed between diatoms and d-silica. Furthermore, the results of principal component analysis to the overall water quality were classified into four main factors with contribution rate 81.071%.

Key words: Changnyeong-Haman weir, Factor analysis, Multivariate Analysis, Principle component analysis, Water quality

주제어: 창녕함안보, 요인분석, 다변량 통계분석, 주성분분석, 수질

1. Introduction

낙동강 수계는 대구 경북과 부산 경남지역의 대도시를 경유하여 흐르는 인구 1천만의 식수원으로 국내 최대 수자원의 하나이다. 낙동강 본류의 총 연장은 약 520 km에 이르며, 유역면적은 전체 국토의 약 25 %에 해당되고, 낙동강 하구언의 건설 이후에는 갈수기에 물 흐름이 정체현상이 일어나고 있으며, 낙동강 중상류의 대도시에서 유출되고 있는 공장폐수 및 생활오수 등 다량의 영양염의 유입에 의한 부영양화 현상의 가속화로 식물플랑크톤 현존량의 증가와 종조성의 변

화를 초래하였다(Sin et al., 2005; Son, 2013). 매년 하절기에는 남조류, 동절기에는 규조류의 대번식으로 인하여 수자원의 이용에 많은 어려움이 있는데, 조류는 광합성을 하는 미생물로서 질소와 인 등의 영양물질로 빛에너지를 이용하여 조류균체를 합성한다. 수중의 이산화탄소를 소비하고 산소를 생성하는 조류는 수계환경을 변화시키고 환경조건에 따라 생육특성과 생육속도가 달라지는데 조류의 생산성은 빛의 강도와 무기영양원의 양에 의해 영향을 받는다. 주로 과다한 질소와 인이 조류 대발생의 가장 보편적인 원인이다(Park et al., 1987). 수역의 부영양화는 높은 영양염류 농도자체가 수자원 이용상의 장애를 일으키기도 하지만 그보다 이런 영양염류로 인해 수중의 조류(식물플

Received 24 October 2015, revised 25 November 2015, accepted 26 November 2015.

*Corresponding author: Il-kyu Kim (E-mail: ikkim@pknu.ac.kr)

pp. 601-608

pp. 609-615

pp. 617-623

pp. 625-632

pp. 633-641

pp. 643-649

pp. 651-657

pp. 659-666

pp. 667-683

pp. 685-692

pp. 693-702

랑크톤)가 과다증식하여 물의 색을 변화시키며, 이취미를 발생시켜 음용수의 가치를 떨어뜨리기도 한다. 또한, 최근에는 인간이나 가축에 유해한 독성물질을 생산하는 남조류들이 대량 증식하는 경우 피해를 입는 경우가 많다(Park, 2007). 조류 과다증식을 유발하는 식물플랑크톤은 주로 남조류, 규조류, 녹조류이며(Joung et al, 2005), 식물플랑크톤의 증식에 영향을 미치는 요인들은 상당히 다양하고 이런 요인들이 복합적으로 작용하여 증식에 영향을 미치게 된다(Park et al, 1999).

통계분석법에는 많은 분석법이 있지만, 그중에 다변량분석법을 이용하여 하천의 수질평가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 다변량분석법은 2개 이상의 종속변수나 독립변수를 동시에 분석할 경우에 사용하는 통계학적 분석 방법이다. 다변량분석법은 상관분석, 요인분석, 회귀분석 등 여러 가지 방법으로 구성되어 있으며, 이러한 다변량분석은 복잡한 수질의 특성을 가지는 하천에 대한 수질의 결정요인을 해석하고 평가하는데 유용한 방법이다(Lee et al, 2007). 효율적인 수질 관리를 위하여 주된 오염인자를 합리적으로 산출하고 신뢰성 있는 수질자료의 해석을 지원하기 위해서는 다변량 분석법을 이용하여 수질관리를 수행할 필요가 있다(Park et al, 2014). 본 연구에서는 창녕함안보 구간의 수질을 대상으로 다변량 분석기법의 상관분석과 주성분분석 및 요인분석을 통해 수질인자간의 상관성과 수질 특성을 파악하였으며, 향후 창녕함안보 구간의 수질관리정책 수립을 위한 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다.

2 Material and Method

2.1. 자료 수집 및 수질 특성 분석

물환경정보시스템에 공시되어 있는 2013~2014년의 수질 자료를 수집하였으며, 더불어 기존의 수질과 유량 측정 지점 등을 고려하여 낙동강 창녕함안보 구간의 본류와 주요 지류를 중심으로 수질 및 조류 항목별 분석을 실시하였다. 조사시기는 2014년 7월~11월로 총 12회 실시하였으며, 조사지점은 본류에 해당되는 울지교, 박진교, 함안보, 임해진 4개 지점과 지류에 해당되는 청덕교(황강), 송도교(남강) 2개 지점으로 총 6개 지점을 선정하였다. 분석항목은 현장 측정 항목인 수온(WT), 수소이온농도(pH), 용존산소(DO), 전

기전도도(EC)와 일반 수질 항목인 총인(T-P), 총질소(T-N), TN/TP비, 화학적산소요구량(COD), 클로로필-a(Chl-a), 총부유물질(TSS), 인산염인(PO₄-P), 암모니아성질소(NH₃-N), 총유기탄소(TOC), 용존실리카(d-silica), 총실리카(t-silica)를 수질오염공정시험기준에 준하여 분석하였다. 조류는 채수해온 시료를 실험실에서 Lugol solution으로 최종 1% 되도록 첨가하여 고정한 후 냉장 보관하여 실험실에서 검정하였다. 조류 계수를 위해서 SR 챔버 또는 혈구 계수기를 이용하였으며, 조류량이 많은 경우 1 mL 전체를 검정하여 계수하고 희박한 경우 자연 침강법으로 가라앉힌 후 상등액을 제거하여 농축한 다음 계수하는데 개체수가 계수면적당 10~40 정도가 되도록 계수를 맞춘 후 검정하였다. 조류를 계수하는 경우 광학 현미경으로 100~200 배율로 검정하고 동정이 필요한 경우 400~1000배까지 확대하여 검정하였다.

2.2. 경향 및 상관성 분석

본 연구에서의 모든 통계분석은 SPSS(ver. 18.0) 프로그램을 이용하였으며, 상관분석은 변수간의 관련성을 분석하기 위하여 두 변수간의 선형적인 상관관계를 파악하는 것으로 한 변수가 다른 변수와의 관련성이 있는지 여부와 관련성이 있다면 어느 정도의 관련성이 있는지를 알고자 할 때 유용한 기법이다. 보편적으로 자주 이용되는 Pearson's correlation analysis를 이용하여 분석하였다. 주성분 및 요인분석을 실행하여 각 구역의 수질변동 특성을 파악하고자 한다. 주성분분석은 다변량 분석의 여러 가지 기법 중에서도 가장 기본이 되는 분석 방법으로서 변수 간에 상관성을 갖는 여러 종류의 특성치들의 정보를 큰 손실 없이 요약 표현이 가능하며, 상호 유관한 특성치들의 변화 양상으로부터 이들 속에 내재하고 있는 상호 독립적인 고유의 패턴을 도출할 수 있다. 또한 다변량으로 구성되는 데이터로부터 소수의 특징적인 변량을 합성하여 주성분을 산출하고, 차원이 축소되어 데이터 분석이 용이해진 주성분을 사용하여 전체 다변량 데이터의 경향을 분석하게 된다(Park and Rhee, 2012).

3. Results and Discussion

3.1. 대상구역의 수질 특성

낙동강 창녕함안보 구간의 수질특성을 알아보기 위



하여 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 6.7~9.5의 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~

9.1 mg/L, 평균 5.5 mg/L로 CD지점을 제외한 모든 지점에서 하천 생활환경기준 III등급(보통)으로 조사되었으며 특히, YJ 지점과 PJ 지점에서 각각 6.8 mg/L과 6.7 mg/L로 높게 나타났다. SS의 농도 범위는 2.0~100.6 mg/L, 평균 11.2 mg/L로 강우에 영향을 받아 편차가 크게 나타난 것으로 판단되며, T-N의 경우 농도 범위는 1.097~5.964 mg/L, 평균 2.894 mg/L로 나타났고, TOC의 경우 농도 범위는 1.4~5.7 mg/L, 평균 3.2 mg/L로 나타났다. T-P의 경우 농도 범위는 0.012~

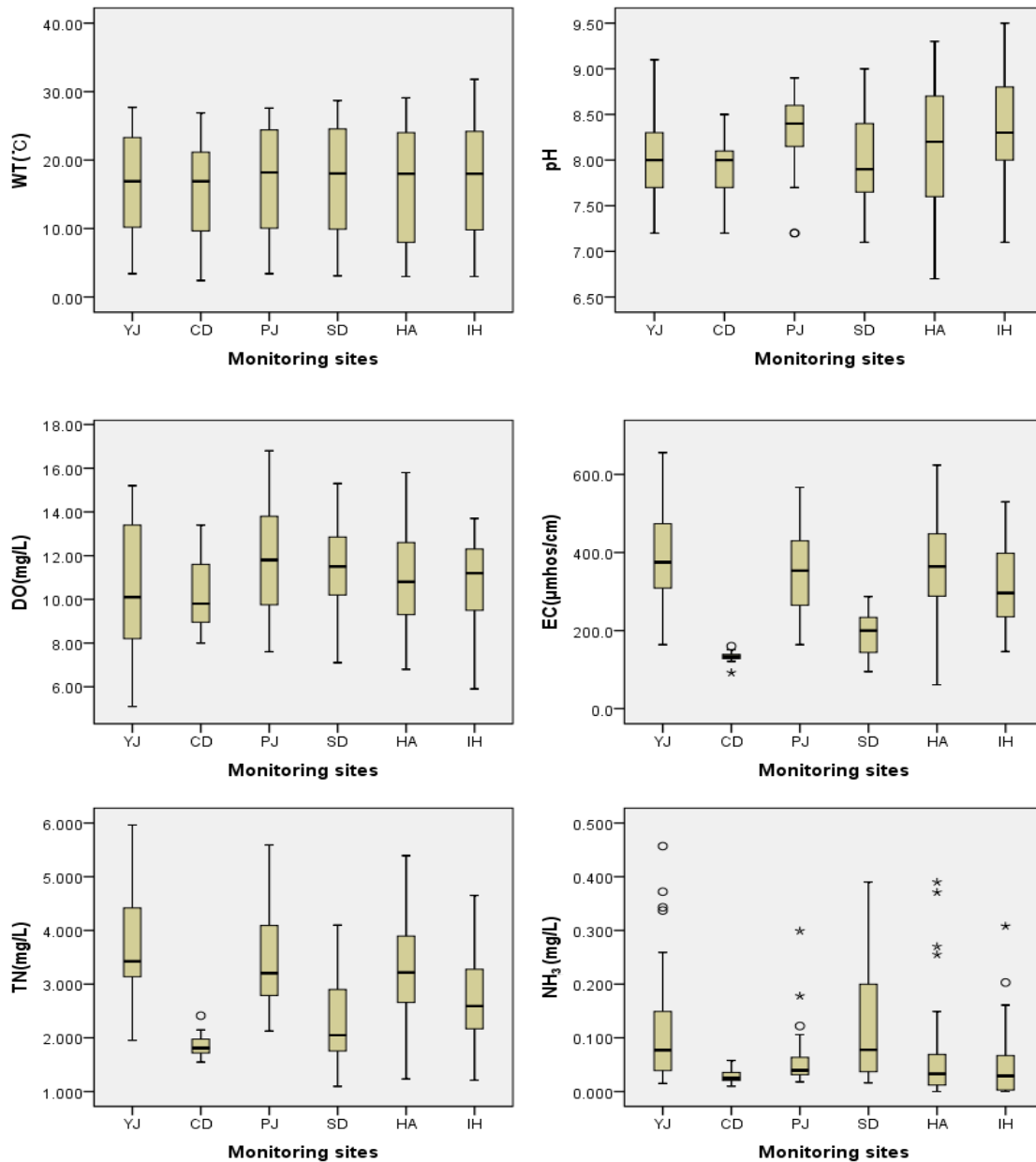


Fig. 1. Box plot of major water quality parameters in Changnyeong-Haman weir section.

- pp. 601-608
- pp. 609-615
- pp. 617-623
- pp. 625-632
- pp. 633-641
- pp. 643-649
- pp. 651-657
- pp. 659-666
- pp. 667-683
- pp. 685-692
- pp. 693-702

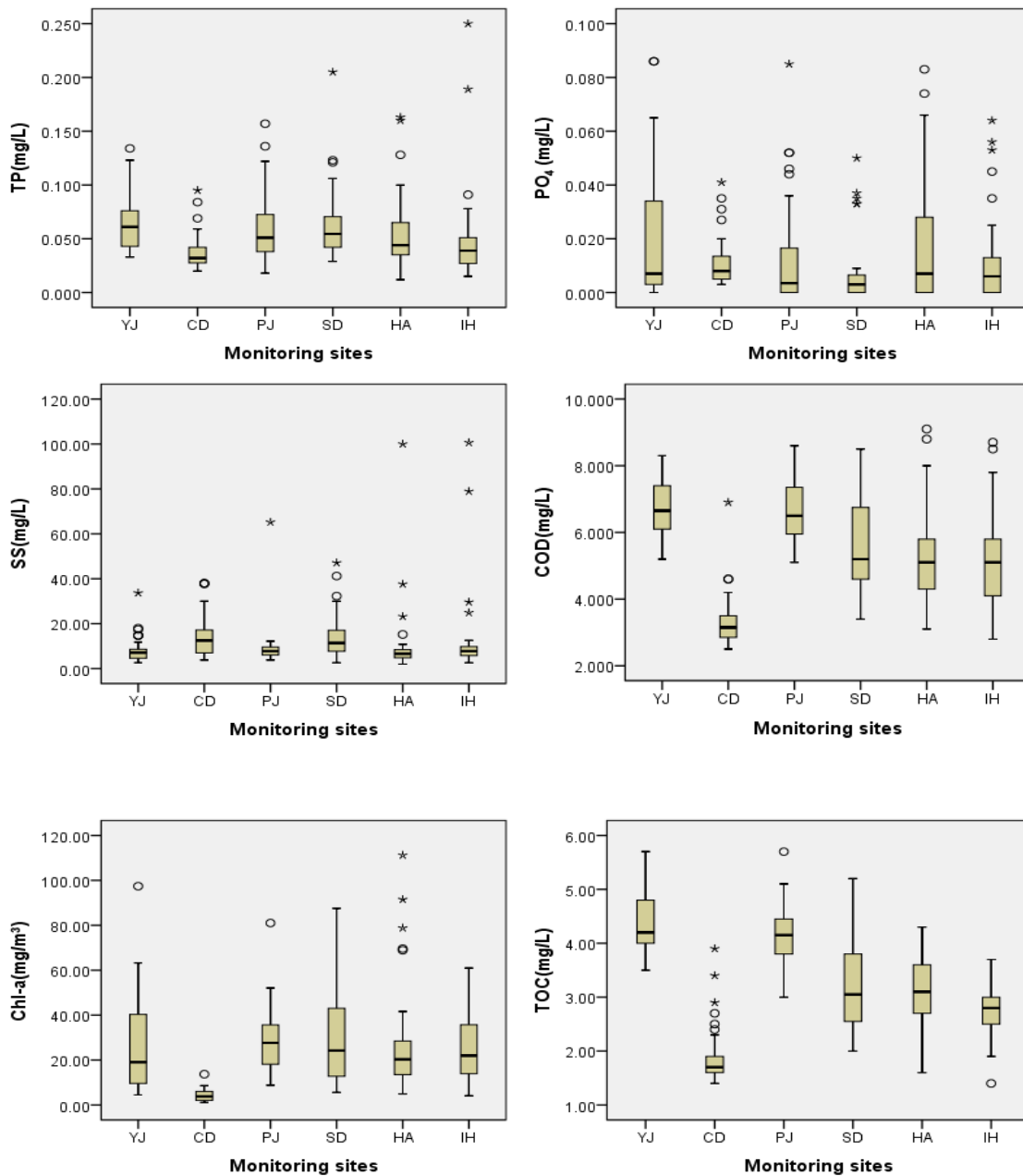


Fig. 1. Box plot of major water quality parameters in Changnyeong-Haman weir section. (continued)

0.250 mg/L, 평균 0.054 mg/L로 CD지점을 제외한 모든 지점에서 II등급(약간좋음)에 해당하는 수준을 나타내었다. 전반적으로 YJ지점과 PJ지점에서 COD, T-N, TOC, silica의 수질 항목에 대한 농도가 다른 지점에 비해 높게 나타났는데 이러한 이유는 지점별 특성으로서 YJ지점의 경우 합천창녕보 상류에 위치하여 유속이 상당히 느려지는 구간의 특성을 가지고, PJ지점은 지류들이 본류로 유입되고 축산 농가 등이 하천 인

근에 위치하는 특성을 가진다. 또한, SD지점의 경우에는 T-P, Chl-a의 수질 항목에 대한 농도가 다른 지점에 비해 높게 나타났는데, 이는 축산 농가 등이 하천 인근에 위치하는 특성을 가지고 있기 때문인 것으로 판단된다. 이에 낙동강 창녕함안보 구간의 효율적인 수질관리를 위해서는 본류로 유입되는 지류에 대한 집중관리가 선행되어야 할 것으로 보인다. 또한, CD지점은 다른 지점에 비해 편차가 작게 나타났는데 이는 황강 지류



에 속하여 지점의 특성상 수심이 매우 얕으며 유속이 빠른 지점으로 농도 차이가 크지 않은 것으로 판단된다.

3.2 수질항목별 상관분석결과

낙동강 창녕함안보 구간의 수질항목별 상관분석을 위해 조사지점 대상으로 수질 자료를 이용하여 분석한 결과를 Table 1에 나타내었다. 수온과 DO의 상관계수가 -0.719(p<0.01)로서 음의 상관성을 보였는데, 이는 온도가 높을수록 산소의 용해도가 낮아지는 전형적인 경향으로 볼 수 있다. 전기전도도와 T-N에 대한 상관계수는 0.803(p<0.01)로 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 0.843(p<0.01)로서 강한 양의 상관성을 보이며, 또한 T-P와 COD, SS, TOC에 대한 상관계수는 각각 0.609, 0.650, 0.465(p<0.01) 보통의 양의 상관성을 보여, 유기물질과 인계열의 오염물질에 대한 상관성을 보여주었다. 그

리고 PO₄-P와 NH₃-N 농도가 다른 영양염류와는 달리 Chl-a 농도와 (음)의 상관성을 보이는 것은 인산염인과 암모니아성질소는 식물이 쉽게 이용할 수 있는 형태로서 식물플랑크톤 등 수중 식물의 증가에 따라 식물체내로 쉽게 변환이 이루어지기 때문이다(Kappers, 1980; Kim et al, 2002). 더욱이 Chl-a 농도와 인산염인 농도와의 상관계수가 -0.263로 암모니아성질소 농도와의 상관계수 -0.089보다 높은 것으로 보아, 낙동강에서의 식물플랑크톤 대발생은 암모니아성질소보다는 인산염인이 상대적으로 중요한 요인이라는 연구와도 일치한다(Schindler et al. 1971; Song et al, 1995; Kim et al. 2002).

3.3 조류항목 상관분석결과

창녕함안보 구간의 수질과 조류항목 상관분석을 위해 조사지점 대상으로 모니터링한 자료를 이용하여 분석한 결과를 Table 2에 나타내었다. t-silica와 d-silica의 상관성은 매우 강하게 나타났으며, 규조류와 d-silica의 상관관계에서 -0.466(p<0.01)으로 음의 상관관계를 보였다.

Table 1. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters

	WT	pH	DO	EC	COD	SS	T-N	NH ₃ -N	T-P	PO ₄ -P	Chl-a	TOC
WT	1	-0.030	-0.719**	-0.269**	0.352**	0.190**	-0.507**	0.061	0.387**	0.419**	0.108	0.233
pH		1	0.441**	0.231**	0.080	-0.265**	0.054	-0.197**	-0.355**	-0.485**	0.479**	0.127
DO			1	0.254**	-0.116	-0.281**	0.416**	-0.211**	-0.415**	-0.549**	0.319**	-0.018
EC				1	0.282**	-0.287**	0.803**	0.097	-0.167**	-0.230**	0.179**	0.437**
COD					1	0.255**	0.310**	0.162**	0.609**	0.358**	0.429**	0.843**
SS						1	-0.152*	0.003	0.650**	0.367**	0.010	0.048
T-N							1	0.040	-0.018	-0.113	0.135*	0.435**
NH ₃ -N								1	0.171**	0.182**	-0.172**	0.233**
T-P									1	0.748**	0.128*	0.465**
PO ₄ -P										1	-0.232**	0.246**
Chl-a											1	0.409**
TOC												1

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

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

	NP ratio	d-silica	t-silica	Chl-a	Cyano	Diatoms	Green
NP ratio	1	0.119	0.093	-0.115	-0.287*	-0.008	0.144
d-silica		1	0.928**	-0.412**	-0.386**	-0.466**	-0.146
t-silica			1	-0.315*	-0.404**	-0.447**	-0.077
Chl-a				1	-0.050	0.232	0.278*
Cyano					1	0.120	0.208
Diatoms						1	0.191
Green							1

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

pp. 601-608

pp. 609-615

pp. 617-623

pp. 625-632

pp. 633-641

pp. 643-649

pp. 651-657

pp. 659-666

pp. 667-683

pp. 685-692

pp. 693-702

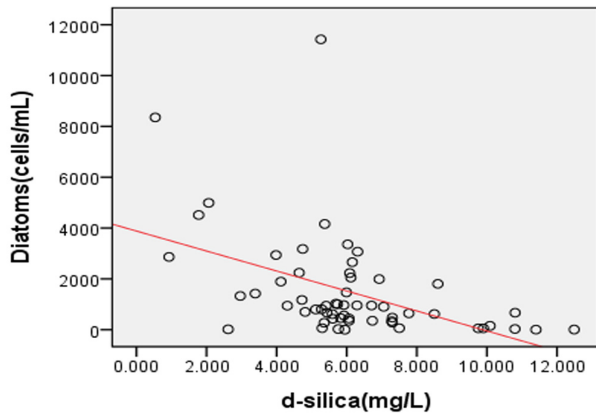


Fig. 2. Relationship between Diatoms and d-silica concentration throughout the monitoring period in monitoring sites.

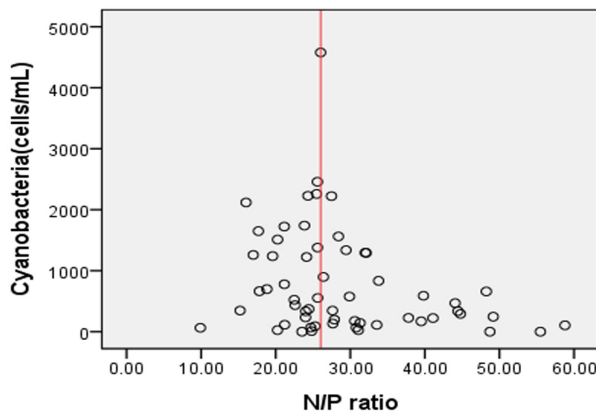


Fig. 3. Relationship between Cyanobacteria concentration and N/P ratio throughout in monitoring sites.

Wang(2013) 연구에서도 d-silica와 규조류의 관계에서 $-0.471(p<0.001)$ 로 음의 상관관계를 나타내었다. 규조류가 d-silica를 짧은 시간에 소모하기 때문에 d-silica의

농도가 감소하는 것으로 추정된다(Fig. 2). 그리고 Smith(1985) 등은 N/P ratio에 따라 질소 고정 남조류의 우점이 결정된다고 보고한 바가 있다. N/P ratio가 29 이하로 낮아질 때 남조류 개체수가 증가하고, 29 이상으로 증가할 때 감소한다는 연구 결과를 나타낸다 (Smith, 1983, Liqiang et al., 2003, Kim et al, 2014). N/P ratio와 남조류의 상관성 분석결과는 $-0.287(p<0.05)$ 로 다소 낮은 상관성을 보여, N/P ratio가 증가하였을 경우에는 남조류 번식이 줄어들었다. 반대로, 남조류가 크게 번식했을 경우의 N/P ratio는 26.03을 기록하였다(Fig. 3).

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 4개의 주성분이 추출되었고, 제 1요인의 고유치는 3.708로써 33.707% 기여하고 있으며, 제 1요인부터 제 4요인까지 전체 분산의 81.071%를 설명해 주고 있다. 제 1요인은 COD, TOC로 분류되었고, 제 2요인은 SS, T-P, PO₄-P이며, 제 3요인은 DO, T-N, 제 4요인은 NH₃-N로 분류되었다. 제 1요인의 경우 하수에 의한 난분해성 유기물질의 유입과 관련이 있음을 보이며, 제 2요인의 경우 유량 증가에 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(Park et al, 2014). 일반적으로 담수 환경에서는 인(P)이 조류 성장의 제한 인자로 작용하는 보편적인 결과와 일치했다.

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	3.708	33.707	33.707	3.708	33.707	33.707
2	2.763	25.121	58.827	2.763	25.121	58.827
3	1.317	11.976	70.803	1.317	11.976	70.803
4	1.130	10.268	81.071	1.130	10.268	81.071
5	0.759	6.897	87.968			
6	0.525	4.769	92.737			
7	0.343	3.121	95.858			
8	0.130	1.179	97.037			
9	0.121	1.102	98.139			
10	0.110	0.998	99.138			
11	0.095	0.862	100.000			



Table 4. Rotated component matrix by factor analysis

	component			
	1	2	3	4
WT	0.317	0.113	-0.884	0.085
pH	0.331	-0.575	-0.048	-0.603
DO	-0.020	-0.305	0.687	-0.470
EC	0.550	-0.346	0.565	0.183
COD	0.895	0.294	-0.071	-0.011
SS	0.030	0.828	-0.098	-0.175
TN	0.464	-0.056	0.813	0.128
NH ₃ -N	0.172	-0.064	-0.041	0.766
TP	0.420	0.824	-0.198	0.125
PO ₄ -P	0.189	0.680	-0.302	0.371
TOC	0.924	0.101	0.052	0.106

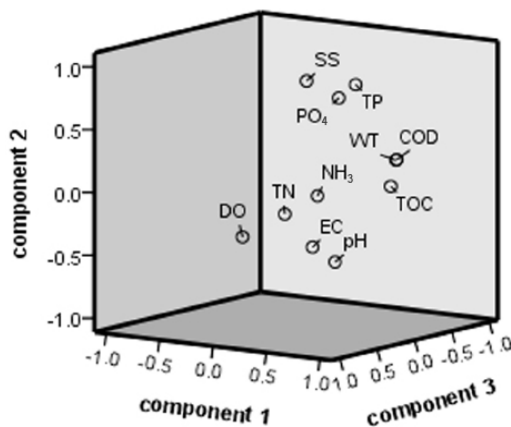


Fig. 4. Component plot in rotated space.

4. Conclusion

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

1) 창녕함안보 구간의 수질은 본류로 유입되는 지류의 영향이 큰 것으로 볼 수 있으며, 특히 남강 지류에 속하는 SD지점은 다른 지점에 비해 T-P와 Chl-a의 농도가 높아 관리가 필요할 것으로 판단된다.

2) 유기물 간접지표인 COD와 TOC의 상관계수가 0.843(p<0.01)로서 강한 양의 상관성을 보였으며, T-P와 COD, SS, TOC에 대한 상관계수는 각각 0.609, 0.650, 0.465(p<0.01)으로, 유기물질과 인계열의 오염물질에 대한 상관성을 보였다.

3) 규조류와 d-silica의 상관관계에서 -0.466(p<0.01)으로 음의 상관관계를 보였으며, 규조류가 짧은 시간 동안 d-silica를 소모하기 때문에 d-silica의 농도가 감소하는 것으로 추정된다.

4) N/P ratio와 남조류의 상관관계의 분석결과는 -0.287 (p<0.05)로 다소 낮은 상관성을 보여 N/P ratio가 증가하였을 경우에는 남조류 번식이 줄어들었으며 반대로, 남조류가 크게 번식했을 경우의 N/P ratio는 26.03을 나타내었다.

5) 요인분석의 결과에서 전체 수질을 대상으로 4개의 주성분이 추출되었으며, 제 1요인부터 제 4요인까지 전체 분산의 81.071% 기여하였다. 제 1요인은 COD와 TOC로 분류되고, 제 2요인은 SS, T-P, PO₄-P로 분류되어, 전반적인 결과를 종합하여 창녕함안보 구역의 대상 지점은 유기물과 영양염류, 부유물질의 영향을 동시에 받는 것으로 판단된다.

Acknowledgments

본 연구는 환경부 환경기초조사사업 “창녕함안보 구간 수질통합 모형의 구축과 조류 예측”의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

Baoli Wang, Cong-Qinag L., Fushun W., Benjamin C., Stephen C. (2013) Diatoms modify the relationship between dissolved silicon and bicarbonate in impounded rivers. *Journal of Limnology*, 72(3) pp. 494-504

Hae-Kyung Park (2007) Survey method relating Freshwater Phytoplankton for the Management of Water Resources. *Journal of Korean Society of Environment Engineering*, 29(6) pp. 593-609

Hee-Jong Son (2013). Long-Term Variations of Phytoplankton Biomass and Water Quality in the Downstream of Nakdong River, *Journal of Korean Society of Environment Engineering*, 35(4), pp. 263-267

Hong-Ki Park, Chong-Mun Chung, Jae-Rim Bahk, Yong-Ki Hong (1999) The Relationship between Phytoplankton Productivity and Water Quality Changes in Downstream of Nakdong River, *Journal of the Korean Environmental Sciences Society*, 8(1) pp. 101-106

Jin-Hwan Park, Myung-Jin Moon, Hyung-Jin Lee, Kap-Soon

- Kim (2014). A Study on Characteristics of Water Quality using Multivariate Analysis in Sumjin River Basin. *Journal of Korean Society of Water Environment*, 30(2), pp. 119-127
- Kappers F.I. (1980). The Cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* and the nitrogen cycle of the hypertrophic lake Brille (The Netherlands). In Barica J., Mur L.R. and Junk W. (eds), *Developments in Hydrobiology*. 2 pp. 37-48
- Kyo-Ook Song, In-Suk Seo, Sung-Kyo Shin, Suk-Mo Lee, Chung-Kil Park (1995). Evaluation of Algal Growth Limiting Factor in the Nakdong River by MBOD Method. *Journal of the Korean Environmental Sciences Society*, 4(5), pp. 469-479
- Liqiang Xie, Ping Xie, Sixin Li, Huijuan Tang, Hong Liu (2003) The low TN:TP ratio, a cause or a result of *Microcystis* bloom? *Water Research*, 37(9) pp. 2073-2080
- Mi-Suk Kim, Young-Ryun Chung, Euy-Hoon Suh, Won-Sup Song. (2002). Eutrophication of Nakdong River and Statistical Analysis of Environmental Factors. *Algae*, 17(2), pp. 105-115
- Nam-Do Lee, Jong-Gu Kim (2007). The Evaluation of Water Quality in Coastal Sea of Kunsan Using Statistic Analysis. *Journal of the Korean Environmental Sciences Society*. 16(3), pp. 369-376
- Park, J. S. and Rhee, K. H. (2012). study on characteristics of water quality variation in the Yeongsan River using Multivariate Analysis, *Journal of Korean Society of Water Science and Technology*, 20(2), pp. 61-72.
- Park, T. G., Park, K. H., Seon, K. H. (1987) *Water pollution*, Donghwa Technology.
- Seung-Hyun Joung, Chi-Yong Ahn, Ae-Ran Choi, Kam-Yong Jang, Hee-Mock Oh (2005). Relation between Rainfall and Phytoplankton Community in Daechung Reservoir, *Journal of the Korean Environmental Biology*, 23(1), pp. 57-63
- Sin, Y., Lee, C., Cho, K. and Song, E. (2005) Trends of phytoplankton community and water quality and implications for management in estuarine river system, *Kor. J. Limnol.*, 38(2), pp. 160-180
- Smith Y. H. (1985). Predictive models for the biomass of blue green algae in lakes. *J. Ame. Water Resour. Asso.*, 21(3), pp. 433-439
- Smith, V. H. (1983) Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science*, 221(4611), pp. 669-671
- Tae-Kyun Kim, Jae-Ho Choi, Kyung-Ju Lee, Young-Bae Kim, Sung-Jong Yu (2014). Study on Introduction to Predicting Indicator of Cyanobacteria Dominance in Algae Bloom Warning System of Hangang Basin. *Journal of Korean Society of Environment Engineering*. 36(5) pp. 378-385