

# 낙동강 중·하류 보 구간의 수질특성 및 Chl-a와 수질인자의 상관관계 분석 Analysis of Water Quality factor and Correlation between Water Quality and Chl-a in Middle and Downstream Weir Section of Nakdong River

정선영 · 김일규<sup>†</sup>  
Sun-Young Jung · Il-Kyu Kim<sup>†</sup>

부경대학교 환경공학과  
Department of Environmental Engineering, Pukyong National University

(Received December 29, 2016; Revised February 13, 2017; Accepted February 16, 2017)

**Abstract :** This study analyzed the characteristics of water quality and the correlation between Chl-a and water quality factors among four weirs located in the middle and downstream of Nakdong River for five years. The concentration of nutrients and Chl-a from DS to CH was higher than that of GG, which is considered to be due to the influx of Kumho River located at upstream of DS. There was a significant relationship between Chl-a and most of the water quality factors for all season data. Based on the comparison results between all season data and summer season data, a negative correlation between Chl-a and nutrients (PO<sub>4</sub>-P, NH<sub>3</sub>-N) was increased. Based on analysis on summer in 2015 with relatively low precipitation and high algal blooms, the correlation between Chl-a and PO<sub>4</sub>-P at all sites were increased. Therefore phosphorus is an important factor in the river on summer season. And PCA results showed the first factor was classified as T-N, NO<sub>3</sub>-N for all seasons, and the first factor was classified as T-P, PO<sub>4</sub>-P for summer seasons. Consequently, the middle and downstream of Nakdong River were most affected by nutrients, especially it was affected by phosphorous pollutants rather than nitrogen pollutants during summer seasons.

**Key Words :** Nakdong River Middle and Downstream, Chl-a, Nutrients, Multivariate Statistical Analysis

**요약 :** 본 연구는 보가 건설된 이후 분석되는 시기인 2012년 1월부터 2016년 10월까지의 낙동강 중·하류에 위치한 4개 보 구간의 수질인자의 특성을 분석하고 다양한 통계분석 기법을 이용하여 Chlorophyll-a(Chl-a)와 수질인자간의 상관관계를 분석하였다. 연구결과, 달성보(DS)부터 창녕함안보(CH)까지의 영양염류와 Chl-a 농도가 강정고령보(GG)에 비해 높게 분석이 되었으며, 이는 DS 지점 상류에 위치한 금호강의 유입으로 인한 영향으로 판단된다. 수집한 전 시기의 상관분석결과, Chl-a와 대부분의 수질인자와 유의한 상관관계를 보였고, 각 연도별 하절기인 6월부터 9월까지 상관분석하여 비교한 결과, PO<sub>4</sub>-P와 NH<sub>3</sub>-N와의 상관성이 크게 증가하였다. 또한 비교적 적은 강수량과 높은 조류발생량이 기록된 2015년 하절기를 상관분석하여 비교한 결과, 모든 지점에서 PO<sub>4</sub>-P와의 상관성이 증가하여 하절기에 인의 영향이 큰 것으로 판단된다. 전 시기를 요인분석한 결과, 공통적으로 제 1요인이 질소계열로 나타났으며, 각 연도별 하절기를 요인분석 결과 공통적으로 제 1요인은 인 계열이 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 중·하류 구간은 영양염류의 영향을 가장 많이 받는 것으로 판단되며, 하절기는 질소계열의 오염물질보다 인 계열의 오염물질에 영향을 받는 것으로 판단된다.

**주제어 :** 낙동강 중·하류, Chl-a, 영양염류, 다변량 통계분석

## 1. 서론

낙동강은 길이가 525 km이며, 유역면적이 23,384 km<sup>2</sup>에 이르는 국내에서 가장 긴 하천 중의 하나이다. 2008년에 4대강 사업을 시작하면서 본류의 수량 확보, 수질 개선 등의 목적으로 낙동강 본류에는 총 8개의 보가 건설되었다.<sup>1)</sup> 이에 따라 수심이 깊어지고 하천의 흐름을 정체시켜 체류시간을 증가시키게 하는 원인이 되었으며, 유입된 오염물질이 축적되는 폐쇄성 수역의 특징을 가지게 되어 하천의 자정능력이 떨어지게 되면서 하천 내의 수생태계 전반에 걸쳐 영향을 미치게 되었다.<sup>1,2)</sup> 또한, 몇몇 지점에서는 이러한 요인들이 조류의 대발생에 영향을 주는 것으로 보고되기도 하였다.<sup>3)</sup>

또한 낙동강은 하천 상류구간에서 유출되고 있는 축산폐수, 생활하수와 농경지 유출수 등의 비점오염원과 중·하

류부에 집중되어 있는 구미, 대구와 같은 대도시와 산업단지로부터 배출되는 많은 오염물질이 본류로 직접 유입되거나 지류를 통해 하천에 유입되고 있어 부영양화 현상이 심화되고 있는 실정이다.<sup>4,5)</sup> 일반적인 부영양화와 녹조현상은 수중의 질소와 인의 농도에 큰 영향을 받는 것으로 보고되고 있다.<sup>5)</sup> 특히 하절기 부영양화 수계에서는 식물 플랑크톤의 대량 발생을 야기시키며 수온 상승에 따른 성층화 현상으로 인한 남조류의 발생을 촉진시킨다.<sup>6)</sup>

최근 하천의 수질평가에 대해 통계분석을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 통계분석법을 이용하여 수질관리를 보다 쉽게 수행해야 할 것이다. 조류 발생 영향인자에 대한 연구를 위한 다양한 분석 방법 중 다변량 통계분석은 복합적인 조류 발생과 수계의 특성 사이의 관계를 평가 및 해석하기 위한 유용한 방법이라고 할 수 있다.<sup>7)</sup> 본 연구에서는 낙동강 중·하류에 위치한 강정고령보부터 달성보,

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

합천창녕보, 창녕함안보 지점을 대상으로 다변량 통계분석을 통해 조류 발생정도를 측정할 수 있는 Chlorophyll-a와 수질인자 간의 특성과 대상 지점에 대한 수질 특성을 파악하고, 나아가 하절기 자료만 선별적으로 추출하여 Chlorophyll-a와 수질인자 간의 특성 및 대상 지점에 대한 수질 특성을 파악해보고자 한다.

## 2. 연구내용 및 방법

### 2.1. 조사지점 및 시기

낙동강 중·하류에 위치한 강정고령보(GG), 달성보(DS), 합천창녕보(HC), 창녕함안보(CH) 지점의 수질자료를 환경부 물환경정보시스템(<http://water.nier.go.kr>)에서 제공하는 자료를 이용하였으며, 각 보의 특성은 Table 1에 나타내었다. 각 보 구간의 평균 구간길이는 29.4 km이며, 보 높이는 10 m 내외이고, 저류량은 56.0 ~ 127.1 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>이다.<sup>8)</sup> 각 보 사이에는 많은 지류들이 있는데 지류들 중에서 유역면적이 넓고 유량이 커비교적 본류에 영향을 미치는 지류를 중심으로 DS 지점의 경우 상류 16.2 km 지점에 금호강이 유입되고 있으며, HC 지점의 경우 회천이 유입되고 있고, CH 지점의 경우 황강과 상류 12 km 지점에 남강이 유입되고 있다. 수집 시기는 보가 설치되고 난 후 분석이 시작된 2012년 1월부터 2016년 10월까지 측정된 자료를 이용하였으며, 이 때 측정된 자료는 각 월별로 4회씩 분석하였고 그에 따라 5회 분석한 날도 있었다. 조사지점은 각각 보 상류 500 m 지점인 다사(강정고령보, GG), 논공(달성보, DS), 덕곡(합천창녕보, HC), 함안(창녕함안보, CH)를 선정하였다. 낙동강 본류 구간의 보 설치로 인해 수심과 수량 증가 등 물리적 수환경과 영양물질의 희석과 축적 등 이화학적 수환경의 변화가 나타나고 있다. 그에 따라 4개 보의 지점별로 변화하는 수질특성을 파악하기 위해 연도별 평균을 구하여 제시하였다.

### 2.2. 조사항목 및 수질특성 분석

수집한 수질항목은 pH, DO (Dissolved Oxygen), 생화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총질소(T-N), 총인(T-P), 총유기탄소(TOC), 수온(WT),

Table 1. Characteristic of four weirs constructed in the Nakdong River

Weir	Section length (km)	Weir height (m)	Capacity of storage (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
Chlgok ~ Gangjeong-goreung	25.2	11.5	107.7
Gangjeong-goreung ~ Dalsung	20.4	10.5	56.0
Dalsung ~ Habchon-Changnyeong	29	9.0	66.6
Habchon-Changnyeong ~ Changnyeong-Haman	42.9	13.2	127.1

전기전도도(Cond.), 암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N), 질산성 질소(NO<sub>3</sub>-N), 인산염인(PO<sub>4</sub>-P), 클로로필 a(Chl-a)이다.

본 연구에서의 모든 통계분석은 SPSS (ver. 18.0) 프로그램을 이용하였다. 각 지점의 Chl-a와 수질인자간의 변동 특성을 파악하기 위해 상관성 분석을 실시하였으며, 일반적으로 이용되는 Pearson's correlation analysis를 이용하여 분석하였다. 이 때 인자간의 유의성 판단은 p-value가 0.05를 기준으로 하였으며, 그 이상일 경우 유의성이 낮으므로 상관관계수가 높은 값이 도출되어도 상관관계를 가진다고 판단할 수 없다. 주성분 분석은 주성분 수를 결정하기 위해 요인을 설명하는 분산의 크기인 고유치(eigenvalue)가 1.0 이상인 값을 갖는 주성분 축만을 고려하였다. 고유치가 1.0 이하인 경우는 1개의 요인이 변수 1개의 분산을 설명할 수 없으므로 요인으로서 의미가 없기 때문에 제외하였다. 통계에 사용할 변수가 요인분석에 적합한지에 대한 검증으로 Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) test와 Barlett's test를 실행해야 한다. KMO test는 변수들 간의 상관관계가 다른 변수에 의해 잘 설명되는 정도를 나타내는 척도로 1에 근접한 값일수록 요인분석의 타당성이 높고 최소 0.5 이상 되어야 요인 분석이 가능하다. Barlett's test는 사용된 변수가 대각행렬인지 아닌지를 검증하는 방법으로 p값이 0.05보다 작으면 대각행렬임을 기각하여 요인분석을 할 수 있다는 것을 의미한다.<sup>9,10)</sup> 두 분석이 모두 만족하게 되면 요인분석 실행이 타당하게 된다. 주성분 분석으로 요인을 추출한 후 요인과 변수와의 상관관계수에 따른 요인 구조 명확화를 위해 직교 회전방식(Varimax) 방식을 적용하여 요인분석을 실시하였다. 요인분석은 많은 변수들을 소수의 공통요인으로 묶을 수 있어 복잡한 데이터를 간단하게 요약하여 설명할 수 있으며, 관측된 변수들에 영향을 미치고 있는 공통인자를 찾아내는 데 목적이 있으며 직교회전 이후 뚜렷하게 각 영향 요인을 규정할 수 있다.<sup>9,11)</sup>

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 수질 특성

보 설치 이후 저수지 기준으로 산정된 수리학적 체류시간의 경우 GG 지점부터 CH 지점까지는 약 6배 정도 증가하여 물리적 수환경의 변화를 일으키게 하였으며, 최근 기후변화에 따른 이상 고온 등으로 조류 발생 패턴이 다양화되고 있다.<sup>12)</sup> 낙동강 유역의 보가 설치되기 전과 후를 비교하면, 대부분의 영양염류의 농도가 보 설치 이후 전체적으로 감소하였다는 연구결과가 있다.<sup>13)</sup> 따라서 정확한 수질 변화의 추세와 원인을 파악하기 위해서는 지속적인 모니터링이 중요하다고 판단되며 보 설치 이후인 2012년 1월부터 2016년 10월까지의 조사기간 동안 분석된 수질항목을 각 지점마다 연도별 평균을 구하여 Table 2에 나타내었다.

전 지점에서 DO, SS, TP, NO<sub>3</sub>-N, Chl-a가 점점 감소함을 보였으며, Cond.와 NH<sub>3</sub>-N의 경우 점점 증가하였다. pH의

**Table 2.** Observed average water quality data of GG to CH (2012,01~2016,10, n = 247)

## (a) Gangjeong goreung (GG) weir

year	pH	DO	BOD	COD	SS	T-N	T-P	TOC	WT	Cond.	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	Chl-a
2012	8.3	11.3	2.0	5.4	11.7	2,840	0.074	3.7	15.2	240	0.078	2,237	0.026	21.5
2013	8.2	11.1	2.0	5.5	9.1	2,765	0.058	3.6	16.2	241	0.087	2,012	0.015	22.2
2014	8.2	10.7	2.4	6.2	7.7	2,911	0.059	4.0	15.3	289	0.087	2,026	0.018	24.4
2015	7.9	9.8	1.8	5.9	4.8	2,247	0.037	3.7	15.5	296	0.130	1,531	0.008	13.5
2016	7.9	9.4	2.1	6.6	6.5	2,583	0.042	4.5	16.8	309	0.154	1,825	0.015	14.5

## (b) Dalsung (DS) weir

year	pH	DO	BOD	COD	SS	T-N	T-P	TOC	WT	Cond.	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	Chl-a
2012	8.3	11.5	2.7	6.8	21.8	4,049	0.140	4.4	16.1	365	0.104	3,112	0.059	34.5
2013	8.2	11.4	2.6	6.6	14.7	3,755	0.081	4.1	16.9	348	0.112	2,781	0.018	31.4
2014	8.1	11.0	2.4	6.8	8.1	4,057	0.068	4.4	16.1	416	0.125	2,915	0.019	29.5
2015	8.1	10.9	2.3	7.0	5.8	3,487	0.051	4.5	16.2	444	0.158	2,491	0.012	20.8
2016	7.9	10.0	2.4	7.5	7.9	3,686	0.057	5.3	17.6	437	0.223	2,747	0.023	21.0

## (c) Habchon Changnyeong (HC) weir

year	pH	DO	BOD	COD	SS	T-N	T-P	TOC	WT	Cond.	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	Chl-a
2012	8.5	12.3	2.6	6.5	15.7	3,656	0.111	4.3	16.7	345	0.072	2,825	0.042	34.3
2013	8.3	11.4	2.5	6.4	12.1	3,395	0.073	4.0	17.4	322	0.089	2,512	0.019	29.7
2014	8.0	10.7	2.4	6.7	7.5	3,757	0.064	4.3	16.0	400	0.107	2,719	0.020	25.7
2015	8.1	10.3	2.2	7.0	5.7	3,280	0.048	4.4	16.2	428	0.122	2,332	0.013	18.2
2016	7.9	9.8	2.3	7.2	7.0	3,389	0.053	5.1	17.5	411	0.175	2,512	0.021	17.9

## (d) Changnyeong Haman (CH) weir

year	pH	DO	BOD	COD	SS	T-N	T-P	TOC	WT	Cond.	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	Chl-a
2012	8.5	11.9	2.5	6.1	15.6	3,088	0.090	3.9	16.9	267	0.080	2,329	0.024	38.5
2013	8.3	11.3	2.4	6.0	11.9	2,950	0.064	3.7	17.7	264	0.076	2,127	0.011	30.2
2014	8.1	11.1	2.4	6.3	9.9	3,017	0.061	3.9	15.9	307	0.078	2,129	0.013	27.8
2015	8.3	10.9	2.3	6.3	8.2	2,528	0.046	3.9	16.1	308	0.076	1,773	0.009	20.5
2016	7.9	10.2	2.1	6.6	11.5	2,625	0.052	4.4	17.7	283	0.118	1,904	0.017	20.1

변화는 보 별로 유사한 경향을 나타내었다. 그 중 SS의 경우 DS 지점과 CH 지점에서 2012년과 2013년 하절기에 비교적 높은 농도를 보이다가 2014년 이후로 크게 감소함을 보였다. 이는 하절기에 주로 발생하는 집중강우로 인해 유량이 증가하여 수중의 부유물질이 증가한 것으로 판단되며, DS 지점과 HC 지점의 경우 유입되는 지류들이 많이 분포해있어 SS 농도에 미치는 영향이 큰 것으로 판단된다. 또한 DS 지점과 HC 지점의 질소와 인 농도가 다른 보에 비해 높게 분석이 되었는데, 각각의 수질인자에 대한 평균 값은 DS 지점의 경우 T-N은 3.807 mg/L, NH<sub>3</sub>-N이 0.144 mg/L, NO<sub>3</sub>-N이 2.809 mg/L를 보였으며, HC 지점의 경우 T-N은 3.495 mg/L, NH<sub>3</sub>-N이 0.113 mg/L, NO<sub>3</sub>-N이 2.580 mg/L의 농도를 보였다. 마찬가지로 TP와 PO<sub>4</sub>-P도 높게 분석이 되었으며, DS 지점에서 각각 0.079 mg/L, 0.026 mg/L를 보였으며, HC 지점의 경우 각각 0.070 mg/L, 0.023 mg/L를 보였다. 이는 GG 지점과 DS 지점 사이로 금호강이 유입되고 있어 DS 지점에서부터 HC 지점까지 영향을 미치는 것으로 판단된다. 금호강은 비교적 유역이 크고 주변에 도시지역과 공업지역이 입지해 있어 하수처리장 등에서 방류되는 처리수가 금호강 하류 하천유지수량의 40% 이상을 차지하여 방류수 내에 함유된 높은 영양염류가 낙동강 본류

로 많이 유입될 수 있다.<sup>10,14)</sup> 또한 농경지 점유율이 높아 유기오염물질과 질소, 인 등 오염물질이 직접 하천에 대량으로 유입될 수 있으며, 대구염색공단과 북부하수처리장 방류수가 유입되는 달서천 등의 금호강 지류들로부터 유기오염물질과 질소와 인의 유입으로 인해 낙동강 본류의 중·하류 구간의 수질에 영향을 줄 수 있다는 연구와 비슷한 경향을 보인다.<sup>15,16)</sup> Chl-a의 경우, 영양염류 농도가 높게 나타난 DS 지점에서 다른 지점에 비해 비교적 높게 분석되었으며, HC 지점보다 CH 지점의 농도가 높게 분석이 되었다. CH 지점의 경우 황강과 남강 등의 비교적 오염부하량이 높은 지류들이 위치해 있으며,<sup>16)</sup> 특히 남강은 주변 축산농가와 공업지역이 하천 인근에 위치하는 특성을 가지고 있어 낙동강 하류에 직접적인 영향을 미칠 수 있고 비교적 높은 유량이 본류로 유입되어 본류의 유량 변화에 영향을 크게 미친다는 연구결과가 있다.<sup>17)</sup> HC 지점의 경우 본류에 비해 상대적으로 Chl-a 농도가 낮은 지류의 유입으로 본류에서 희석 효과가 발생하여 Chl-a의 농도가 낮아졌다는 연구결과가 있다.<sup>18)</sup> 따라서 낙동강 중·하류에 연결되어 있는 금호강, 남강 등의 지류들의 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단된다. 또한 식물성 플랑크톤의 발생원인은 과량의 영양염류 이외에도 다양한 기상, 수리, 환경인자들이 복합적으

로 작용하여 발생하고<sup>9)</sup> 계절별로 하천의 수질, 기상조건, 수리특성 등이 변화하기 때문에 월별로 다양한 인자들과의 비교분석에 대한 추가 연구가 필요한 것으로 판단된다.

### 3.2. 상관분석 결과

식물성 플랑크톤의 현존량을 나타내는 Chl-a의 농도는 식물성 플랑크톤 종류에 따라 차이가 있으나, 하천 내의 식물성 플랑크톤 밀도를 간접적으로 나타내는 지표로 이용된다.<sup>14)</sup> 특히 여름철 녹조현상을 대표하는 남조류인 *Microcystis*가 발생하는 시기에 Chl-a의 농도가 증가하였으며, 낙동강 수계의 하상은 주로 모래로 이뤄지기 때문에 규소의 농도가 높게 나타나므로 규조류의 번성이 용이하며, 규조류의 분포특성이 하천의 Chl-a의 분포특성에 큰 영향을 미친다는 연구결과가 있다.<sup>19)</sup> 따라서, 전 지점의 수질인자와 Chl-a의 상관분석 결과를 Table 3에 나타내었다. 수질인자와 Chl-a의 상관성은 보로 들어오는 유입수의 상태에 영향을 많이 받으므로 수계에 따라 각 보마다 다른 결과가 나타났고 하절기만을 추출한 결과도 상이한 값을 나타내었다. 먼저 관측된 전체 데이터를 상관 분석한 결과를 Table 3(a)에 나타내었다. 그 결과 4개의 보에서 Chl-a와 대부분의 수질인자 간의 상관성을 보였으며, 특히 pH와 BOD의 상관계수(R)가 0.5 이상으로써( $p < 0.01$ ) Chl-a와 비교적 유의한 상관관계를 나타내었다. pH의 경우, 조류 개체의 성장에 영향을 주는 요소로서,<sup>16)</sup> 식물 플랑크톤이 증식하면서 광합성 작용에 의해 수중의 탄산염 및 중탄산염이 흡수되어 pH가 증가하게 되고<sup>20)</sup> 유기물 수질 지표인 BOD, COD, TOC 등이 Chl-a와 높은 상관성을 보이는 것은 조류 성장에 따른 자생 유기물질과의 관련성을 추정해볼 수 있다.<sup>9)</sup> 영양염류인 질소와 인에서도 상관성이 나타났는데, TN, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N의

경우 전 지점에서 작지만 통계적으로 유의한 상관성( $p < 0.01$ )을 보였으며, TP는 GG 지점을 제외한 DS, HC, CH 지점에서 유의한 상관성을 보였고, PO<sub>4</sub>-P의 경우 GG, CH 지점에서 음의 상관성을 보였다.

낙동강 중·하류 수계에서는 높은 수온과 풍부한 영양염류로 남조류 세포수가 조류경보제 발령기준에서 관심단계인 1,000 cells/mL 이상이 분석이 되고 있으며, 특히 강수량이 적은 시기인 8월에 대량으로 발생하고 있다. 따라서 조사시간 중 각 연도별 남조류가 대량 증식하는 시기인 6월부터 9월까지의 하절기 데이터만 추출하여 상관분석 결과를 Table 3(b)에 나타내었으며, Table 3(a)의 결과와 비교하였다. 대부분의 지점에서 대체적으로 수질인자와 Chl-a와의 상관성이 약간씩 감소하였지만 WT, NH<sub>3</sub>-N과 PO<sub>4</sub>-P의 상관성은 오히려 증가한 것을 볼 수 있었다. 특히, NH<sub>3</sub>-N의 경우 CH 지점을 제외한 GG, DS, HC 지점에서 상관성이 증가하였다. PO<sub>4</sub>-P는 전 지점에서 뚜렷하게 음의 상관성( $p < 0.01$ )이 증가하였으며, 특히 DS 지점과 HC 지점에서 다른 지점에 비해 상관성이 크게 증가하였는데, DS 지점의 경우 R값이 -0.024에서 -0.343로 상관성이 증가하였으며, HC 지점의 경우 R값이 -0.102에서 -0.421로 상관성이 크게 증가하였다. 이는 조류 증식 과정에서 우선적으로 NH<sub>3</sub>-N과 PO<sub>4</sub>-P가 소비되므로<sup>21,22)</sup> 조류 발생이 높은 시기에 낮은 농도를 보이게 되고 그 결과 음의 상관성을 보이는 것으로 볼 수 있다.<sup>23)</sup> 또한 금호강 유역에 도시지역과 공업지역이 위치해있고, 농경지 점유율이 높아 질소, 인 등의 오염물질이 낙동강 본류로 유입되면서<sup>10)</sup> 유입 직후인 DS 지점부터 HC 지점까지 영향을 미친 것으로 판단되며 금호강에서 유입되는 풍부한 영양염류가 상류에서 유하하는 조류의 성장을 촉진시킬 수 있다는 연구결과와 일치한다.<sup>19)</sup> 하절기의 경

Table 3. Pearson correlation coefficients between water quality and Chl-a

(a) all season data (2012.01 ~ 2016.10, n = 247)

	pH	DO	BOD	COD	SS	T-N	T-P	TOC	WT	Cond.	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P
GG	.546**	.480**	.491**	.230**	.199**	.277**	.002	.081	-.276**	-.005	-.372**	.260**	-.268**
DS	.606**	.552**	.628**	.388**	.073	.377**	.288**	.140*	-.310**	.136*	-.266**	.366**	-.024
HC	.618**	.575**	.671**	.461**	.218**	.369**	.318**	.213*	-.254**	.143*	-.293**	.359**	-.102
CH	.598**	.520**	.528**	.458**	.069	.234**	.289**	.219**	-.084	.108	-.357**	.214**	-.169**

(b) summer season data (2012 ~ 2016, n=87)

GG	.482**	.278**	.447**	.061	-.094	.042	-.146	.047	.435**	-.050	-.401**	.064	-.330**
DS	.407**	.326**	.575**	.281**	.083	-.216*	.073	.001	.452**	-.093	-.415**	-.272*	-.343**
HC	.679**	.569**	.638**	.471**	.032	-.126	.082	.292**	.461**	-.037	-.393**	-.289**	-.421**
CH	.547**	.619**	.551**	.489**	-.173	.025	-.137	.322**	.323**	.042	-.316**	-.140	-.428**

(c) summer season data (2015, n=18)

GG	.168	.308	.594**	.414	.201	.053	-.158	.269	-.265	.190	-.567*	.182	-.536*
DS	.421	.734**	.292	.420	.277	-.021	-.230	.657**	-.121	.056	-.590**	-.095	-.503*
HC	.404	.480*	.634**	.712**	.325	-.253	-.631**	.637**	-.276	.041	-.365	-.467	-.503*
CH	.436	.661**	.498*	.475*	-.005	-.053	-.178	.413	.171	-.207	-.203	-.284	-.504*

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

우 높은 수온과 보 건설 이후 체류시간의 증가로 수계가 정체되어 조류가 과다성장하게 되며 그에 따라 PO<sub>4</sub>-P가 소모된 것으로 판단된다. 또한 하절기는 수계가 높은 수온으로 유지되기 때문에 침전되어 있던 PO<sub>4</sub>-P의 용출이 증가하여<sup>24)</sup> 조류들이 섭취할 수 있는 PO<sub>4</sub>-P가 증가하게 되면서 PO<sub>4</sub>-P와의 상관성이 나타나는 것으로 판단된다.

4개의 보가 근접한 지역인 대구, 의령, 합천 지점의 기상청 자료를 이용하여 6월부터 9월까지의 여름철 강수량을 평균하여 비교해본 결과, 2015년이 135.8 mm로써 다른 해에 비해 비교적 낮은 강수량이 조사되었다. 이에 높은 수온과 강수량 부족에 따른 체류시간 증가 등 남조류가 대량 발생할 수 있는 조건을 충족하였으며, 2015년 낙동강에 조류가 크게 발생하면서 환경부 측정자료에 따르면, 8월에 창녕 함안보의 남조류의 개체수가 조류경보제 최고치인 556,740 cells/mL로 기록되었다. 따라서 2015년 6월부터 9월까지의 데이터를 추출하였으며 상관분석 결과를 Table 3(c)에 나타내었으며 Table 3(b)의 결과와 비교하였다. 대부분 전 지점에서 Chl-a와 수질인자간의 상관관계가 유의하지 않거나 낮게 나왔다. 그러나 NH<sub>3</sub>-N의 경우 GG 지점과 DS 지점에서는 상관성이 커진 반면, HC 지점과 CH 지점의 경우 유의한 상관성이 나타나지 않았다. 또한 PO<sub>4</sub>-P의 경우 전 지점에서 음의 상관성이 유의하게 나타났고(p < 0.05) 그 중 GG 지점과 DS 지점에서의 상관성이 비교적 크게 증가하였다. 이에 따라 GG 지점과 DS 지점의 경우 NH<sub>3</sub>-N과 PO<sub>4</sub>-P의 영향을 모두 받는 것으로 판단되며, HC 지점과 CH 지점의 경우 PO<sub>4</sub>-P의 영향을 주로 받는 것으로 판단된다. 각 지점별로 Chl-a 농도와 다른 인자간의 상관성이 다른 이유는 Chl-a의 농도에 수질, 수리 및 기상인자들이 복합적으로 영향을 미칠 수 있으며 보가 위치한 지역 특성에 기인하는 것으로 판단된다. 그러나, 하절기는 강수량 감소에 따른 체류시간 증가와 일조량의 증가로 인한 수온 증가현상으로<sup>19)</sup> 조류가 성장하기에 적합한 환경이 될 수 있지만, 연구결과 4개 보에서 공통적으로 Chl-a와 PO<sub>4</sub>-P와의 상관성이 유의하게 나타나 식물성 플랑크톤 성장에 중요하게 작용하는 요인은 인(Phosphorus)로 판단되며, 낙동강 중·하류 지역에서 인의 농도에 대해 집중적인 수질관리가 필요할 것으로 판단된다.

### 3.3. 주성분 및 요인분석 결과

낙동강 중·하류에 위치한 4개의 보에서 2012년 1월부터 2016년 10월까지 관측한 수질항목을 대상으로 수질특성을 파악하기 위해 주성분분석과 요인분석을 실시하였다.

각 보에 대한 주성분분석에 대한 결과를 Table 4에 나타내었다. 지점별로 산출된 요인은 모두 4요인으로 나타났으며, 각 구간 주성분의 누적 기여율은 (a) GG 78.490%, (b) DS 78.775%, (c) HC 79.818%, (d) CH 80.855%를 각각 설명하는 것으로 나타났다. KMO test 결과 (a) GG 0.671, (b) DS 0.653, (c) HC 0.657, (d) CH 0.698로 분석되었고 Bartlett's

Table 4. Total variance explanation by principal component analysis

Component	Initial eigenvalues			Rotation sums of squared loadings			
	Total	% of Variance	% Cumulative	Total	% of Variance	% Cumulative	
(a) GG	1	4,076	29,114	29,114	3,523	25,166	25,166
	2	3,311	23,648	52,762	3,439	24,561	49,727
	3	2,325	16,606	69,368	2,159	15,421	65,148
	4	1,277	9,122	78,490	1,868	13,342	78,490
(b) DS	1	4,460	31,855	31,855	3,869	27,637	27,637
	2	2,783	19,879	51,734	2,562	18,297	45,934
	3	1,961	14,010	65,744	2,343	16,733	62,667
	4	1,824	13,031	78,775	2,255	16,108	78,775
(c) HC	1	4,269	30,494	30,494	3,778	26,985	26,985
	2	3,090	22,069	52,564	2,536	18,117	45,102
	3	2,134	15,242	67,805	2,432	17,373	62,475
	4	1,682	12,013	79,818	2,428	17,343	79,818
(d) CH	1	4,318	30,841	30,841	3,833	27,380	27,380
	2	3,195	22,822	53,663	2,797	19,979	47,359
	3	2,552	18,227	71,890	2,734	19,531	66,890
	4	1,255	8,965	80,855	1,955	13,965	80,855

Table 5. Rotated component matrix by factor analysis

	Component			
	1	2	3	4
(a) GG	TN, DO, WT, NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P, TP, SS, Cond.	COD, BOD, TOC	NH <sub>3</sub> -N, pH, Chl-a
(b) DS	TN, NO <sub>3</sub> -N, WT, DO, Cond.	pH, Chl-a, BOD, NH <sub>3</sub> -N	TP, PO <sub>4</sub> -P, SS	TOC, COD
(c) HC	TN, NO <sub>3</sub> -N, WT, DO, Cond.	TP, PO <sub>4</sub> -P, SS	pH, Chl-a, NH <sub>3</sub> -N	TOC, COD, BOD
(d) CH	TN, NO <sub>3</sub> -N, WT, DO, Cond.	COD, TOC, BOD	PO <sub>4</sub> -P, TP, SS	NH <sub>3</sub> -N, Chl-a, pH

test의 구형 검증을 실시한 결과, 변수들의 상관관계가 통계적으로 유의하게 나타나 전 시기의 요인분석이 타당한 것으로 분석되었다. 따라서 그 결과를 Table 5와 Fig. 1에 나타내었다. 요인분석 결과, 4개의 보에서 영향을 받는 요인의 순서는 조금씩 다르나, 공통적으로 TN, NO<sub>3</sub>-N, DO, WT의 오염물질이 제 1 요인으로 작용하여, 낙동강 중·하류는 상류 도시지역의 생활하수가 하류 지역으로 도달함과 동시에 주변 농가의 축산폐수 등에 따른 질소계열의 오염물질의 유출이 수질관리에 있어 중요한 변수임을 알 수 있다.

녹조가 다량으로 발생하는 시기인 하절기의 특성을 분석하기 위하여 각 연도별 하절기인 6월부터 9월까지의 자료를 추출하여 하절기의 수질특성을 파악해보았으며, Table 6에 결과를 나타내었다. 지점별로 산출된 요인은 모두 4요인으로 나타났으며, 각 구간 주성분의 누적 기여율은 (a) GG 77.926%, (b) DS 74.305%, (c) HC 74.652%, (d) CH

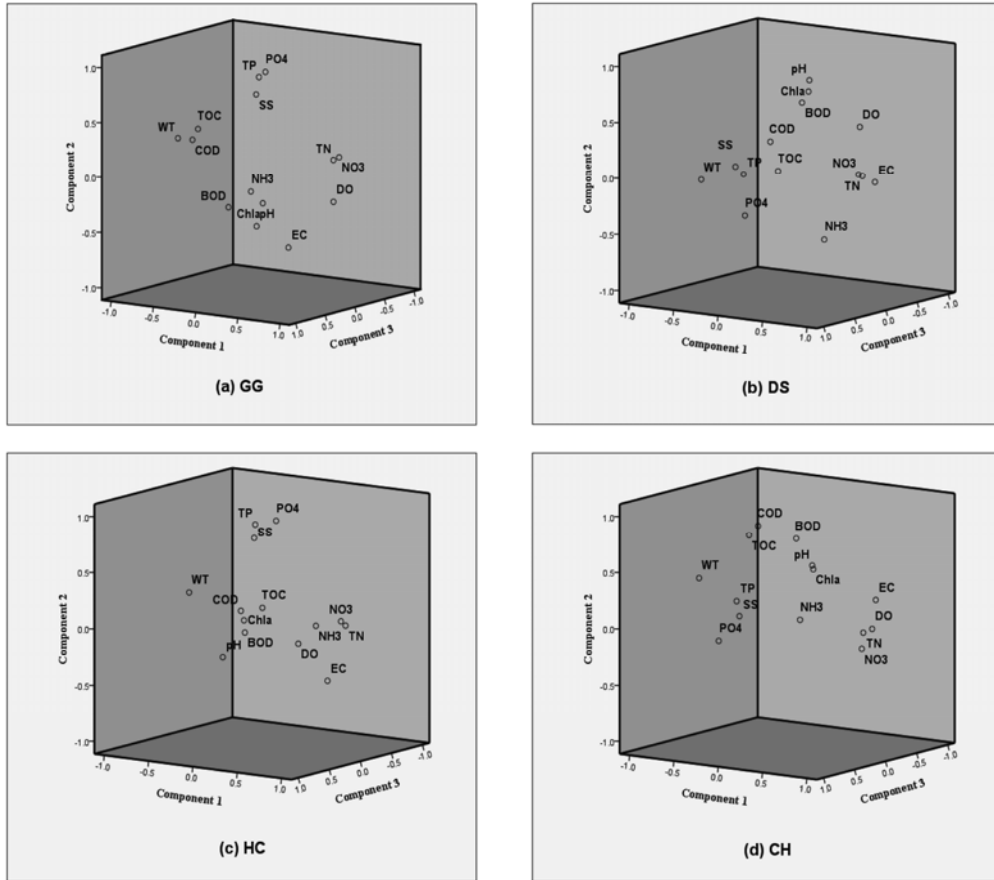


Fig. 1. Component plot in rotated space.

Table 6. Total variance explanation by principal component analysis in summer season

Component	Initial eigenvalues			Rotation sums of squared loadings		
	Total	% of Variance	% Cumulative	Total	% of Variance	% Cumulative
(a) GG	1	5,370	38,360	3,434	24,531	24,531
	2	2,968	21,200	2,763	19,734	44,266
	3	1,338	9,558	2,657	18,978	63,243
	4	1,233	8,809	77,926	2,056	14,683
(b) DS	1	3,982	28,444	3,267	23,334	23,334
	2	3,227	23,049	2,579	18,421	41,756
	3	1,811	12,937	2,520	18,000	59,756
	4	1,383	9,875	74,305	2,037	14,549
(c) HC	1	4,278	30,554	3,115	22,249	22,249
	2	3,230	23,071	2,749	19,636	41,884
	3	1,713	12,233	2,369	16,919	58,804
	4	1,231	8,795	74,652	2,219	15,849
(d) CH	1	4,843	34,596	3,240	23,146	23,146
	2	3,097	22,125	2,836	20,254	43,400
	3	1,386	9,898	2,338	16,700	60,100
	4	1,215	8,677	75,296	2,127	15,196

75.296%를 각각 설명하는 것으로 나타났다. 마찬가지로 KMO test 결과 (a) GG 0.738, (b) DS 0.652, (c) HC 0.626, (d) CH 0.702로 분석되었고 Bartlett's test의 구형 검증을 실시한 결과, 변수들의 상관관계가 통계적으로 유의하게 나타나 각 연도별 하절기의 요인분석이 타당한 것으로 분석되었다. 따라서 요인분석을 실시한 결과를 Table 7과 Fig. 2에 나타내었다. 요인분석 결과, 공통적으로 4개의 지점에서 제 1 요인으로 TP, SS, PO<sub>4</sub>-P, Cond.가 포함되었으며, 이는 하절기에는 주로 질소계열의 오염물질보다 인 계열의 오염물질이 주요인으로 작용하고 있는 것을 파악할 수 있었다.

Table 7. Rotated component matrix by factor analysis in summer season

	Component			
	1	2	3	4
(a) GG	TP, SS, PO <sub>4</sub> -P, Cond., DO	NO <sub>3</sub> -N, TN, NH <sub>3</sub> -N	pH, Chl-a, BOD, WT	COD, TOC
(b) DS	TP, Cond., SS, PO <sub>4</sub> -P	BOD, WT, Chl-a	TN, NO <sub>3</sub> -N, TOC, COD	DO, NH <sub>3</sub> -N, pH
(c) HC	TP, Cond., SS, PO <sub>4</sub> -P	NO <sub>3</sub> -N, TN, BOD, WT	DO, NH <sub>3</sub> -N, Chl-a, pH	TOC, COD
(d) CH	TP, Cond., PO <sub>4</sub> -P, SS	COD, TOC, BOD, Chl-a	NH <sub>3</sub> -N, DO, WT, pH	NO <sub>3</sub> -N, TN

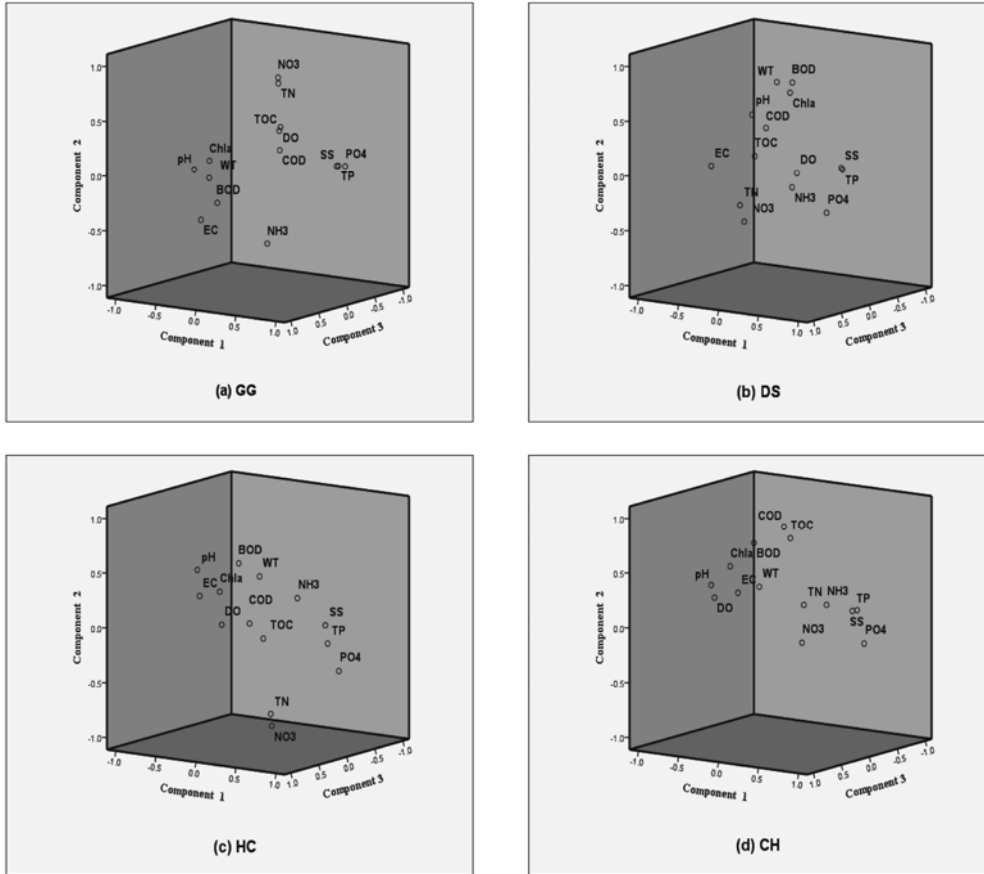


Fig. 2. Component plot in rotated space in summer season.

또한 계절에 상관없이 수질에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 영양염류의 농도로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 낙동강 중·하류에 위치하고 있는 4 개의 보 구간을 대상으로 2012년 1월부터 2016년 10월까지의 수질자료를 바탕으로 하여 각 지점별 특성을 분석하고 다변량 분석기법을 적용한 Chl-a와 수질인자 간의 상관분석과 요인분석을 수행한 결과는 다음과 같다.

1) 낙동강 중·하류의 수질은 DS 지점 위에서 유입되고 있는 지류인 금호강과 CH 지점 위의 남강의 영향이 큰 것으로 볼 수 있으며, 특히 영양염류와 Chl-a의 농도가 비교적 높게 분석되어 분류뿐만 아니라 지류하천의 관리가 필요할 것으로 판단된다.

2) 2012년 1월부터 2016년 10월까지 관측된 모든 데이터를 이용하여 상관성을 분석한 결과, 4개 보 모든 지점에서 NH<sub>3</sub>-N와의 유의한 음의 상관성이 나타났으며 GG 지점과 CH 지점에서는 PO<sub>4</sub>-P와의 유의한 음의 상관성이 나타났다. 그러나 조류가 크게 발생하는 각 연도별 하절기 자료만 추출하여 상관성을 분석한 결과, 전 지점에서 NH<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P와의 음의 상관성이 증가한 것으로 나타났다.

3) 또한, 비교적 적은 강우량과 높은 조류 발생량을 기록한 2015년 하절기만을 추출하여 상관성을 분석한 결과, PO<sub>4</sub>-P의 경우 전 지점에서 높은 음의 상관성을 보였다. 이는 하절기에 인 계열의 오염물질이 과다 유입되었으며, 본 연구의 분석결과 질소 계열보다 인 계열의 오염물질이 조류성장에 영향을 크게 미치는 것으로 판단된다.

4) 관측된 모든 데이터를 이용하여 요인 분석한 결과에서 각 보 지점별로 4개의 주성분이 추출되었으며, 전 지점에서 공통적으로 제 1요인으로 TN, NO<sub>3</sub>-N, DO, WT가 포함되어 낙동강 중·하류는 생활하수와 축산폐수 등에 따른 질소 계열의 오염물질이 많이 유출된 것으로 나타났다. 그러나 각 연도별 하절기 자료만을 추출하여 요인 분석한 결과, 전 지점에서 공통적으로 제 1요인이 TP, Cond., SS, PO<sub>4</sub>-P로 나타나 하절기의 경우 낙동강 중·하류는 질소 계열의 오염물질보다 인 계열의 오염물질에 영향을 받는 것으로 판단된다.

KSEE

#### References

1. Seo, D. I., Nam, G. S., Lee, S. H., Lee, E. H., Kim, M., Choi, J. Y., Kim, J. H. and Chang, K. H., "Plankton Community in Weir Section of the Nakdong River and Its Re-

- lation with Selected Environmental Factors,” *Korean J. Environ. Biol.*, **31**(4), 362~369(2013).
2. Shin, H. J. and Lee, O. M., “The Dynamic of Phytoplankton Communities and the Biological Water Quality Assessment at Three Artificial Weir in Downstream of Namhan-river,” *J. Korean Soc. Water Environ.*, **30**(6), 612~621(2014).
  3. Park, S. B., Algal blooms hit South Korea rivers, *Nature*, doi: 10.1038/nature.2012.11221(2012).
  4. Nakdong River Water Environment Laboratory, National Institute of Environmental Research, “Investigation on the algal bloom characteristics and control method for bloom forming algae in the Nakdong river,” National Institute of Environmental Research, pp. 511~524(2003).
  5. Lee, S. H., Kim, B. R. and Lee, H. W., “A Study on Water Quality after Construction of the Weirs in the Middle Area in Nakdong River,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **36**(4), 258~264(2014).
  6. Noh, S. Y., Park, H. K., Choi, H. L. and Lee, J. A., “Effect of Climate Change for Cyanobacteria Growth Pattern in Chudong Station of Lake Daechung,” *J. Korean Soc. Water Environ.*, **30**(4), 377~385(2014).
  7. Lim, J. S., Kim, Y. W., Lee, J. H., Park, T. J. and Byun, I. G., “Evaluation of Correlation between Chlorophyll-a and Multiple Parameters by Multiple Linear Regression Analysis,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **37**(5), 253~261(2015).
  8. Ministry of Land Transport and Maritime Affairs (MLTMA), “Four Major Rivers Restoration Master Plan,” Headquarter of Four Major Rivers Restoration Execution, Ministry of Land Transport and Maritime Affairs, pp. 296~316(2009).
  9. 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. Korean Soc. Hazard Mitig.*, **13**(6), 429~437(2013).
  10. Jung, K. Y., Ahn, J. M., Kim, K. S., Lee, I. J. and Yang, D. S., “Evaluation of Water Quality Characteristics and Water Quality Improvement Grade Classification of Geumho River Tributaries,” *J. Environ. Sci. Int.*, **25**(6), 767~787(2016).
  11. Yu, J. J., Lee, C. G., Kim, M. S., Yun, Y. S., Kwon, H. G., Song, J. K., Lee, S. Y. and Shin, C. K., “Statistical Analysis of Longterm Water Quality Trend in Nakdong River Basin (1989-2005),” National Institute of Environmental Research Center(2006).
  12. Nakdong River Water Environment Laboratory, National Institute of Environmental Research, “Changes of Water Environment and Phytoplankton Community structures in the Nakdong River,” National Institute of Environmental Research, pp. 1~45(2013).
  13. Lee, B. K., “A Study for Intergrated Management of Water Quality and Quality to Improve the Water Environment of 4 Rivers Restoration Project,” Korea Environment Institute, pp. 1~259(2012).
  14. Jeon, Y. I., “The Assessment of the Quality of Nakdong River and the Analysis of Correlationship according to the Items of Water Quality,” Department of Environmental Engineering, Graduate School of Yeungnam University(2012).
  15. Yu, J. J., Lee, K. L., Lee, H. J., Hwang, J. W., Lyu, H. S., Shin, L. Y., Park, A. R. and Chen, S. U., “Relation of Nutrient Concentrations on the Seasonality of Algal Community in the Nakdong River, Korea,” *J. Korean Soc. Water Environ.*, **31**(2), 110~119(2015).
  16. Na, S. M., Kwon, H. G., Shin, S. M., Son, Y. G., Shin, D. S. and Im, T. H., “A Study on Seasonal Pollutant Distribution Characteristics of Contaminated Tributaries in Nakdong River Basin,” *J. Wetlands Res.*, **18**(3), 301~312(2016).
  17. Lee, S. H., A Study on mass balance analysis and water quality management of weir segments, Nakdong River Watershed Management Committee(2015).
  18. Yu, J. J., Lee, H. J., Lee, K. L., Lee, I. J., Jung, G. Y. and Cheon, S. U., “Effects of Environmental Factors on Algal Communities in the Nakdong River,” *J. Korean Soc. Water Environ.*, **30**(5), 539~548(2014).
  19. K-water, “Development of Methods for Optimal Algae Control Reflecting the Algae Growth Characteristics of Weirs in Four Major Rivers,”(2013).
  20. 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).
  21. Kappers, F. I., “The cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* Kg. and the nitrogen cycle of the hypertrophic lake Brielle (The Netherlands),” In: *Hypertrophic Ecosystems*, In : Barica, J., Mur., L. R., W. Junk. (Eds.), *Dev. Hydrobiol.*, **2**, 37~43 (1980).
  22. Cho, K. J., and Shin, J. K., “Dynamics of inorganic N·P nutrient and planktonic algae during summer and winter in downstream of the Nakdong River,” *J. Korean Limnol.*, **31**(1), 67~75(1998).
  23. Kim, Y. W., “Correlation analysis of main stream and tributaries in the Nakdong River for water qualities and algae occurrences,” Department of Civil and Environmental Engineering, Graduate school, Pusan National University(2016).
  24. Min, Y. H., Hyun, D. Y., Eum, C. H., Chung, N. H., Kang, S. W. and Lee, S. H., “A study on relationship of concentration of phosphorus, turbidity and pH with temperature in water and soil,” *Anal. Sci. Technol.*, **24**(5), 378~386(2011).