

유량-오염부하량 관계식과 요인분석을 이용한 경안천의 수질특성 평가

Evaluation of Water Quality Characteristics at Kyeongan Stream Using the Flow-Loading Equation and Factor Analysis

권필상 · 박민지 · 이영준 · 조용철* · 노창완 · 정우석 · 김지호 · 유순주

국립환경과학원 한강물환경연구소

Phil-Sang Kwon, Min-Ji Park, Young-Joon Lee, Yong-Chul Cho*, Chang-Wan Noh, Woo-Seok Jung, Ji-Ho Kim and Soon-Ju Yu

Han River Environment Research Center, National Institute of Environment Research

Received 17 November 2017, revised 1 December 2017, accepted 1 December 2017, published online 31 December 2017

ABSTRACT: In this study, we aimed to analyze the characteristics of water quality variation at Kyeongan Stream for a decade and to investigate by the flow-loading equation. The correlation analysis of water quality parameters and the influence factors were examined by statistical analysis. The characteristics of water quality variation showed that the fluctuations in BOD₅, COD_{Mn} and TOC were repeated from year to year. TN and TP were decreased by year. By the flow-loading equation, the concentrations of BOD₅, COD_{Mn}, TOC and TN were decreased when the flow rate was on the rise. However, the flow did not affect the concentration of TP. According to correlation analysis, BOD₅ was highly correlated with COD_{Mn} and TOC with the correlation coefficients of 0.890 ($p < 0.01$) and 0.721 ($p < 0.01$). The result of factor analysis, we identified that the water quality in Kyeongan Stream has been highly influenced by the organic matter index, followed by nitrogenous substance depending on the seasonal variations and the influx of suspended solid in accordance with the increase of flow.

KEYWORDS: Correlation analysis, Factor analysis, Flow-loading equation, Kyeongan stream, Multivariate statistics analysis

요 약: 본 연구에서는 경안천의 10년 수질변화 특성을 분석하고 유량-오염부하량 관계식을 이용하여 고찰하였다. 통계분석을 이용하여 수질 항목간의 상관분석과 수질에 영향을 미치는 요인분석을 하였다. 수질변화 특성 결과 BOD₅, COD_{Mn}, TOC는 연도별로 증가와 감소를 반복하는 것으로 나타났고 TN, TP는 연도별로 감소하는 것으로 나타났다. 유량-오염부하량 관계식을 통한 오염물질 유출특성결과 유량 증가 시 BOD₅, COD_{Mn}, TOC, TN농도는 감소하였으나, TP농도 변화에는 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 상관분석 결과 BOD₅는 COD_{Mn}, TOC의 상관계수가 0.890 ($p < 0.01$), 0.721 ($p < 0.01$)로 상관성이 통계적으로 높게 나타났다. 요인분석 결과 경안천은 유기물 지표항목에 의한 요인이 가장 크며 계절변화에 따른 질소물질에 의한 요인, 유량증가에 따른 부유물질 유입 요인 순으로 수질에 영향을 받고 있는 것으로 설명할 수 있다.

핵심어: 상관분석, 요인분석, 유량-오염부하량 관계식, 경안천, 다변량통계분석

1. 서 론

경안천은 남한강과 북한강과 함께 팔당호 저수구간으로 직접 유입되는 국가하천이며, 팔당호 유입량의 약

2 - 4%를 차지하고 있다(HRERC 2016). 팔당호로 유입되는 남한강, 북한강 보다 수질농도가 높아 특별한 관리가 필요하다 (Park et al. 2008). 또한 택지개발 사업, 공동주택사업, 주거정비사업, 교통망 확충 사업 등

*Corresponding author: yc800222@korea.kr, ORCID 0000-0002-4145-9829

대규모 개발 사업에 의한 인구유입 및 토지이용에 변화로 오염원 증가가 수질에 영향을 미칠 것으로 예상된다 (MOE 2014). 경안천의 수질문제를 해결하기 위해서는 수질에 영향을 주는 다양한 변수들을 도출하고 분석하여 수질변동 특성을 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 수질은 오염부하, 수리·수문학적 특성, 퇴적물의 오염상태, 기후정보, 수체 내부 물질대사의 정도 등이 상호 작용하여 나타나 간단한 통계처리나 회귀분석, 단일 및 2-3개의 항목만으로 정확한 수질변화의 특성을 파악하기에는 한계가 있다 (Park et al. 2001, Kim 2002). 따라서 효율적인 수질 관리를 위해서는 장기간의 수질, 유출량, 오염부하량 간의 상관관계를 분석하여 규명하여야 한다 (Park 2007). 그리고 주요 오염인자를 산출하여 신뢰성 있는 수질자료의 해석을 뒷받침할 수 있는 다변량통계분석 (Multivariate Statistics Analysis)을 이용한 수질관리를 수행할 필요가 있다 (Park et al. 2014). 선행된 국내 연구로는 경안천의 오염현황을 파악하고 점 및 비점오염원의 유달부하량을 산정하였다 (Yi and Park. 2004, Park et al. 2008). 영산강 및 섬진강 수계, 한강수계의 주요 유입지점의 유량과 오염부하량 간의 관계식을 도출하여 유출특성에 따른 수질변화를 파악하였다 (Park et al. 2011, Cho et al. 2016). 또한 다변량통계분석을 이용하여 한강을 포함한 4대강 수계의 수질 특성 평가 (Park et al. 2001, Kim 2002, Kim and Lee 2011, Choi et al. 2012, Park et al. 2014, Kim et al. 2016), 도시 및 농촌지역 상수원 수질의 종합적인 평가 (Kim 2003, Kim et al. 2007), 보 구간의 수질특성을 평가하는 방법으로도 활용되고 있다 (Gwak and Kim 2016). 국외 연구로는 주성분분석 (principal component Analysis)을 이용하여 호소의 영양상태와 수질항목간의 관계를 평가하였으며 (Bernard et al. 2004), 요인분석 (Factor Analysis)을 이용하여 지표수의 수질을 평가하는 연구 결과가 보고되고 있다 (Ying 2005).

본 연구에서는 경안천의 수질특성을 알아보기 위하여 수질총량측정망지점의 장기간 수질현황을 파악하고, 유량-오염부하량 관계식 (Flow-Loading Equation)을 이용하여 오염물질 유출 특성을 분석하였다. 객관적이고 신뢰성 있는 경안천의 수질해석을 위하여 다변량통계분석을 적용하여 인자간의 상관성 및 수질영향에 주요 요인을 파악하였다. 이러한 결과는 향후 경안천의 관리방안 및 수질정책에 기초자료로 활용할 수 있다.

2. 연구방법

2.1 대상지역 및 자료수집

본 연구에서는 경안천의 수질총량측정망 지점인 경기도 광주시 초월면 서하리에 위치한 경안B 지점을 선정하였다 (Fig. 1). 경안천은 유역면적이 561.12 km² (용인시 187.21 km², 광주시 373.92 km²)인 국가하천으로 오산천, 목현천, 곤지암천과 합류 후 팔당호로 유입된다 (MOE 2014). 상류에서 하류까지 농업용수 및 공업용수 확보를 위한 다수의 보가 설치되어 흐름이 원활하지 않아 팔당호의 지류 중 체류시간이 가장 길다 (Yi and Park 2004). 유량이 적은 저·갈수기에는 용인시와 광주시에 위치한 환경기초시설의 방류수 수질관리에 주의를 요하고 있다 (Choi et al. 2008).

국립환경과학원 한강물환경연구소에서 2007년 1월부터 2016년 12월까지 10년간 평균 8일 간격으로 측정된 경안B 지점의 유량 (Flow rate), 수온 (Water Temperature: WT), 수소이온농도 (Hydrogen ion concentration: pH), 전기전도도 (Electrical Conductivity: EC), 용존산소 (Dissolved Oxygen: DO), 생물화학적산소 요구량 (Biochemical Oxygen Demand: BOD₅), 화학적산소요구량 (Chemical Oxygen Demand: COD_{Mn}), 부유물질 (Suspended Solid: SS), 총질소 (Total Nitrogen: TN), 총인 (Total Phosphorus: TP), 총유기탄소 (Total Organic Carbon: TOC) 등 수질자료를 이용하였다.

강수량 자료는 서울관측소, 양평관측소, 수원관측소, 이천관측소의 관측망 자료를 이용하였다. 티센법으로 적용한 경안천 유역의 10년 (2007 - 2016) 평균 누적 강수량은 1,274.0 mm이고, 2011년 2,043.9 mm로 가장 많은 강수량을 보였다. 2014년- 2016년 까지는 각각 866.6 mm, 806.3 mm, 938.7 mm로 경안천 유역의 10년 평균 누적강수량보다 30% - 40% 적은 강수량을 기록하였다.

2.2 유량-오염부하량 관계식 유출 방법

유량변동에 따른 수질농도 변화를 예측하는 방법 중 하나로 하천의 유량과 수질농도 및 오염부하량으로 오염물질별 수질 농도를 분석하여 예측하는 방법이 있다. 하지만 동일한 유량이라도 유출량의 상승기와 하강기 일 때의 농도 조건이 다르고 수문곡선 (Hydrograph)과

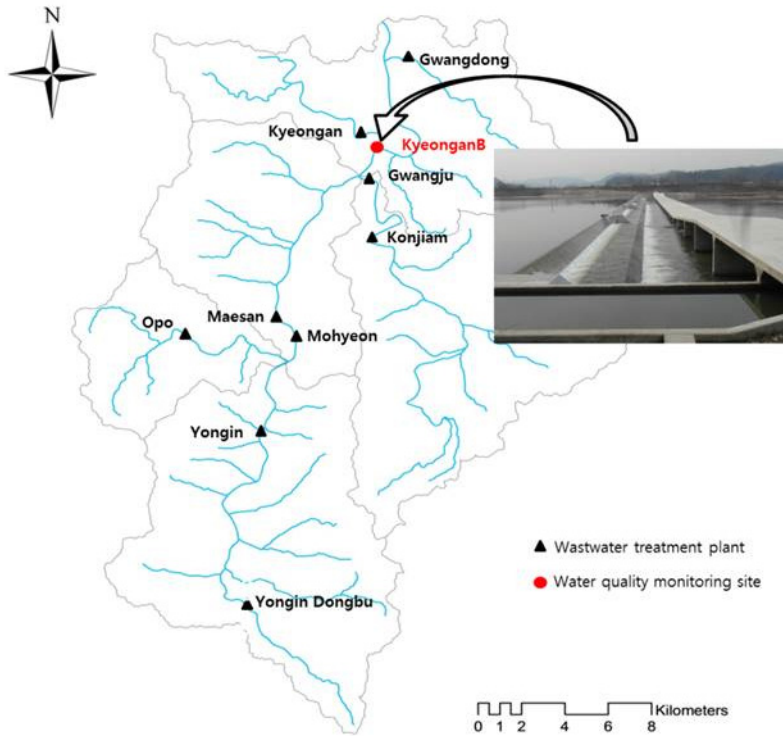


Fig. 1. Water quality monitoring site in Kyeongan B.

오염곡선도 (Pollutograph) 형태가 일치하지 않아 유량과 수질과의 관계에서 유량변화에 따른 수질의 변화를 정확히 파악할 수 없으며, 오염부하량 증가가 직접적인 수질악화를 나타내지 않는다 (Park 2007).

유량 변화에 따른 오염부하량과의 관계를 수식적으로 고찰하기 위해 하천 유량과 오염부하량과의 관계를 변환하여 다음과 같은 관계식으로 파악하였다.

$$L = a \cdot Q^b \tag{Eq. 1}$$

$$\frac{L}{Q} = C = a \cdot Q^{(b-1)} \tag{Eq. 2}$$

여기서 L (kg/day)은 부하량, Q (m³/day)는 유량, a와 b는 계수이다.

계수 b값이 1보다 크면 물질의 농도는 유량의 증가에 따라 증가하는 양상을 보이고, 1보다 작으면 감소하는 양상을 보인다 (Park 2007, Park et al. 2011).

2.3 상관분석 및 요인분석

수집된 수질자료를 표준화 한 후 통계프로그램인 SPSS (ver. 22.0 for window)를 이용하여 수질항목별, 계절별 상관분석 (Correlation Analysis)과 요인분석을 실시하였다. 상관분석은 두 변수간에 선형적인 상관관계를 파악하는 것으로 상관관계의 정도를 파악하기 위한 척도로 상관계수 (Correlation Coefficient, r)가 이용되고 있다. 상관계수는 한 변수가 증가할 때 다른 변수의 증가, 감소 또는 변화가 없는지를 밝히고, 그 정도를 추정하며, 변수들 간의 관계 정도와 방향을 나타내는 것으로 보편적으로 피어슨 상관계수 (Pearson's Correlation Coefficient)를 많이 이용한다 (Park et al. 2014). 요인분석은 특정 변수들간의 상관행렬로부터 공통적인 요인을 도출하여 서로 상관이 있는 변수들간의 상관성을 설명하고, 변수의 적은 수로 축소시켜 요인을 추출하는 분석방법으로 요인 추출 모델로는 주성분분석을 이용하였다. 주성분 분석은 차원의 단순화를 통하여 서로 상관성 있는 변수들 간의 복잡한 구조를 분석하는 것으로 요인수를 최소화하면서 정보의 손실을 최소화

하고자 할 때 주로 이용된다. 요인수를 결정하는 방법은 고유치를 기준으로 하는 방법으로 고유치가 1보다 크면 하나의 요인이 변수 1개 이상의 분석을 설명한다는 것을 의미한다 (Park et al. 2014). 변수 분류에 있어서 요인부하량이 어느 한쪽의 요인에 높게 나타나도록 요인 축을 회전시키는 Varimax 직각회전방식을 사용하였다.

요인분석을 실행하기 전 자료에 대한 타당성을 알아보기 위해 Kaiser Meyer Olkin (KMO)과 Bartlett test 검정을 실행하였다. KMO test는 측정된 자료에 대한 변수의 값의 신뢰성을 나타내는 척도로 1에 가까운 값일수록 요인분석의 신뢰성이 높고, Bartlett test는 변수 간 상관행렬이 단위행렬인지 아닌지 검정하는 것을 말하며 변수 간의 상관성이 존재 할 때 유의적 관계라 하며 0에 가까울수록 유의성이 높다 (Kim et al. 2007).

3. 결과 및 고찰

3.1 수질특성

2007년부터 2016년까지의 평균 8일 간격으로 조사된 11개 조사항목에 대한 연도별 및 계절별 평균값은

Table 1과 같다.

연구기간 동안 측정된 평균 유량은 12.737 m³/s이며, 강수량이 많았던 2011년도 평균 유량이 25.170 m³/s로 가장 많은 유량을 기록하였다. 평균 WT는 15.1°C, pH는 8.1, EC는 357 μs/cm, DO는 10.9 mg/L이었으며, 강수량이 적었던 2014년에서 2015 년도에 WT 17.5°C, pH는 8.4, EC는 430 μs/cm, DO는 11.6 mg/L로 가장 높은 값을 나타내었다.

BOD₅, COD_{Mn}, TOC 분석결과 평균농도는 각각 2.8 mg/L (II)등급, 6.1 mg/L (III)등급, 3.8 mg/L (II)등급으로 나타났으며 연도별로 증가와 감소를 반복하는 것으로 나타났다. 계절별 분석결과 봄철에 BOD₅, COD_{Mn}, TOC농도가 높게 나타나는 경향을 보여 갈수기 이후 강우에 의해 유역 내 오염물질이 유입되어 농도가 높아지는 것으로 판단된다 (GIHN 2010). SS의 평균농도는 12.6 mg/L (Ia)등급으로 나타났다. 강수량이 가장 많았던 2011년에 16.5 mg/L로 가장 높게 나타났으며 강수량이 집중되는 여름철 농도가 높아지는 것으로 나타났다. TN의 평균농도는 4.835 mg/L로 2007년 평균농도가 5.765 mg/L로 가장 높았으며, 2016년 평균농도는 4.432 mg/L로 감소하는 경향을 보였다. 계절별 분석결과 겨울철에 TN 농도가 높아지는 경향으로 나타났다.

Table 1. Average concentrations for 10 years of water quality in Kyeongan B

Year	Flow rate	WT	pH		EC	DO		BOD5		CODMn		SS		TN	TP		TOC	
	m ³ /s		(°C)	SU		Class	(μs/cm)	(mg/L)	Class	(mg/L)	Class	(mg/L)	Class		(mg/L)	Class	(mg/L)	Class
2007	13.879	13.9	7.6	Ia	335	10.7	Ia	3.4	III	6.3	III	14.3	Ia	5.765	0.247	IV	3.1	II
2008	13.545	14.6	7.9	Ia	360	10.6	Ia	2.8	II	6.2	III	12.3	Ia	5.177	0.225	IV	3.6	II
2009	13.285	15.2	8.2	Ia	355	10.9	Ia	3.3	III	6.9	III	14.7	Ia	5.092	0.210	IV	4.6	III
2010	13.151	14.8	7.9	Ia	310	10.8	Ia	2.3	II	5.9	III	9.9	Ia	4.812	0.121	III	3.4	II
2011	25.170	14.3	8.0	Ia	327	10.9	Ia	2.6	II	6.1	III	16.5	Ia	5.042	0.122	III	3.6	II
2012	14.641	13.9	8.1	Ia	335	11.2	Ia	2.6	II	6.2	III	9.9	Ia	5.183	0.067	II	3.8	II
2013	14.652	13.8	8.1	Ia	304	10.9	Ia	2.0	II	5.2	III	11.1	Ia	4.334	0.063	II	2.9	Ib
2014	6.777	15.7	8.3	Ia	402	11.6	Ia	3.5	III	6.6	III	13.1	Ia	4.413	0.067	II	4.2	III
2015	6.131	17.5	8.4	Ia	430	10.8	Ia	2.8	II	5.7	III	13.0	Ia	4.100	0.055	II	4.1	II
2016	6.136	17.1	8.1	Ia	414	10.6	Ia	2.7	II	6.1	III	10.7	Ia	4.432	0.066	II	4.2	III
Average	12.737	15.1	8.1	Ia	357	10.9	Ia	2.8	II	6.1	III	12.6	Ia	4.835	0.124	III	3.8	II
Spring	7.007	13.8	8.1	Ia	354	11.0	Ia	4.0	III	6.9	III	11.7	Ia	4.974	0.141	III	4.1	III
Summer	27.858	24.0	8.1	Ia	299	9.2	Ia	2.9	II	6.6	III	23.6	Ia	3.180	0.116	III	4.1	III
Autumn	8.421	15.4	8.1	Ia	361	10.6	Ia	1.8	Ib	5.0	II	7.4	Ia	4.244	0.094	II	3.2	II
Winter	4.802	2.9	7.8	Ia	439	13.7	Ia	2.0	Ib	5.6	III	4.4	Ia	7.893	0.145	III	3.4	II

River (Stream) environmental standard for water quality.

In score : Excellent (Ia), Good (Ib), Above average (II), Average (III), Fair (IV), Poor (V), Very poor (VI).

Spring (3 - 5), Summer (6 - 8), Autumn (9 - 11), Winter (12 - 2)

이러한 이유는 농업 및 축산업에 따른 오염원과 용인시와 광주시에 위치한 환경기초시설의 방류수의 영향을 받아 겨울철 TN 농도가 증가하는 것으로 판단된다. 환경기초시설은 겨울철 수온저하로 인하여 질산화율이 낮아져 질소제거율이 감소하여 처리수 배출농도가 증가하는 것이라고 보고하고 있다(MOE 2003). TP의 평균농도는 0.124 mg/L (III)등급으로 나타났다. 2007년에는 평균농도가 0.247 mg/L로 가장 높게 나타났으나 2016년에는 평균농도가 0.066 mg/L로 감소하였다. TP 농도가 감소한 이유로는 2008년에 수립된 경안천 중권역 물환경관리계획 (2008 - 2012)의 추진으로 환경기

초시설에 총인 시설등 고도처리시설 도입과 2012년도 환경기초시설의 방류수 기준강화로 TP농도가 감소하는 것으로 나타났다(MOE 2014).

3.2 유량-오염부하량 관계식을 이용한 오염물질 유출특성 분석

하천유량과 오염부하량과의 관계식을 바탕으로 인자간의 상관관계식을 도출한 결과는 Table 2와 같고, 유량변화에 따른 오염부하량의 분산 정도는 Fig. 2와 같다. 유기물 부하인 BOD₅, COD_{Mn}, TOC 부하에 대한

Table 2. Relation equation between flow rate and the pollutants load at the study site (Q: CMS, L: ton/d, LTP: kg/d)

Watershed		BOD ₅	COD _{Mn}	SS	TN	TP	TOC
Kyeongan B	RelationEq	$L=0.29Q^{0.78}$	$L=0.63Q^{0.88}$	$L=0.31Q^{1.44}$	$L=0.50Q^{0.87}$	$L=8.7Q^{1.00}$	$L=0.38Q^{0.88}$
	R ²	0.56	0.87	0.73	0.82	0.62	0.84
	b	0.78	0.88	1.44	0.87	1.00	0.88

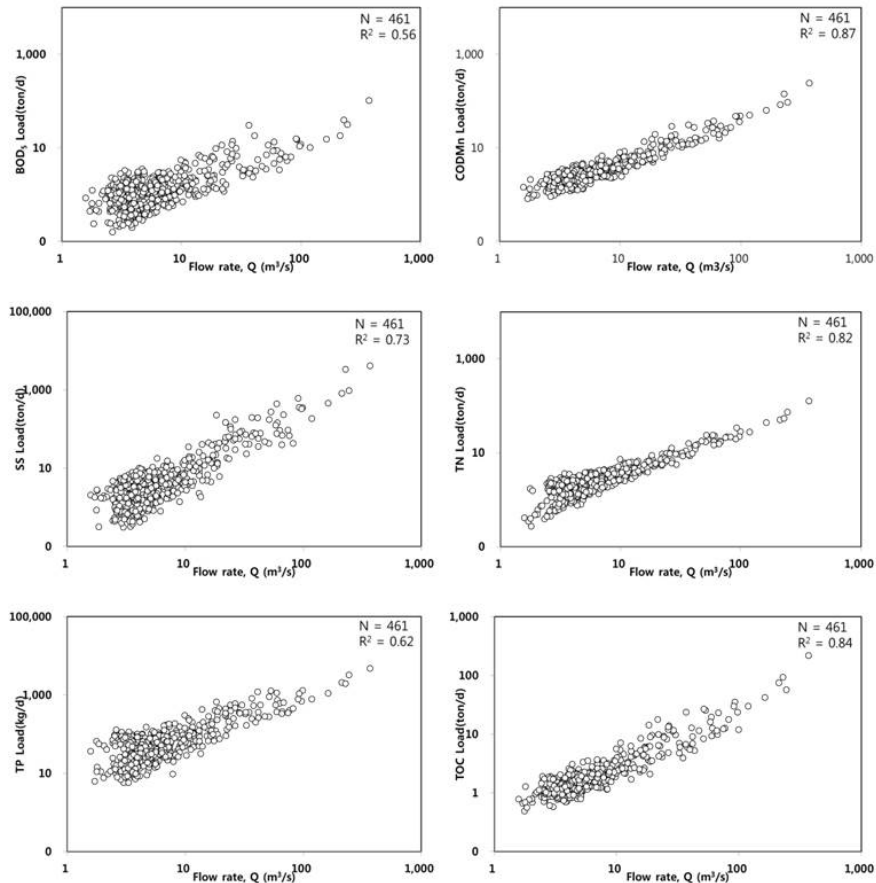


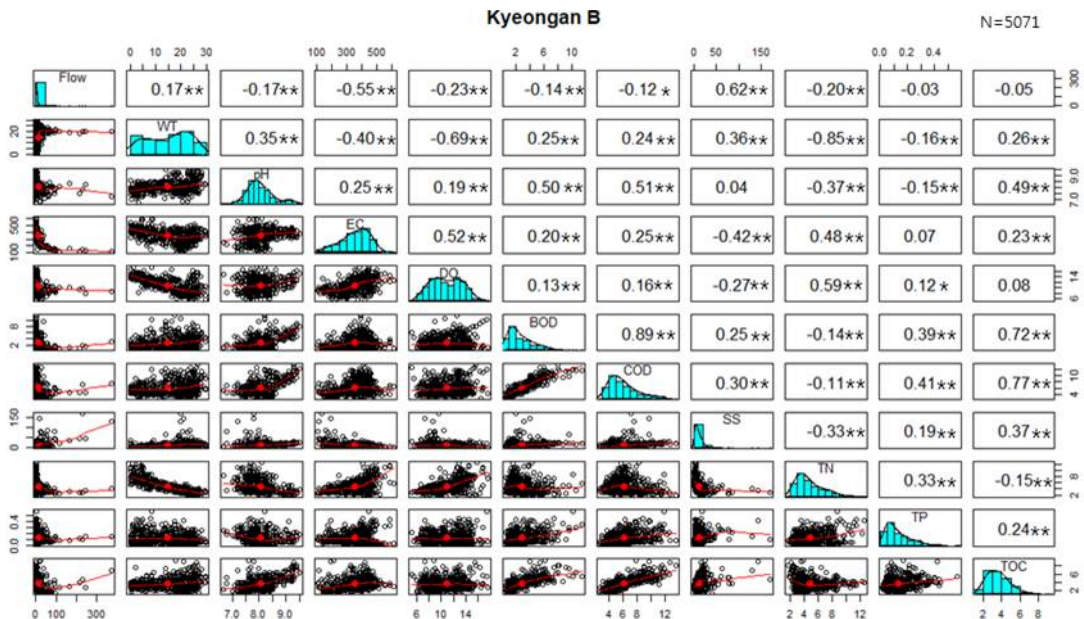
Fig. 2. Correlation between flow rate and pollutants load in Kyeongan B.

유량계수는 각각 0.78, 0.88, 0.88로 1을 초과하지 않는 것으로 나타나 하천에서의 오염물질 유입 증가율 보다 하천유량 증가율이 크기 때문에 수질농도 낮아지는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 Cho et al. (2016) 경험식을 바탕으로 남한강 하류 주요지천의 수질 특성 분석 중 복하천의 연구결과와 경향이 같았다. 경안천은 복하천과 같이 인구 밀집지역 및 농경지, 축산계등 복합적인 오염원들이 산재되어 있어 건기 시에 점오염원에 의한 높은 농도를 보이다가 강우 시 비점오염원으로부터의 추가적인 영향보다 희석에 의한 효과가 크기 때문인 것으로 해석할 수 있다 (Park 2007). SS는 유량계수가 1.44로 1보다 크게 나타나 유량증가에 따른 오염물질의 농도가 증가하는 것으로 나타나, Park et al. (2011)의 경험식과 요인분석을 통한 남한강 상·하류수계 주요 하천의 오염물질 유출 특성 연구결과와 경향이 같았다. 이는 토지이용형태와 상관없이 집중 강우 시 유역내의 부유물질 및 토사들이 다량으로 유출되었기 때문이라 판단된다. TN부하에 대한 유량계수는 0.87로 1을 초과하지 않아 유량이 증가할수록 수질 농도가 낮아지는 것으로 나타나, Park (2007)의 유역형상과 수리 특성을 고려한 경험론적 유달부하 산정에서 경안천 (유량계수: 0.70)의 연구결과와 경향이 같았다. TP부하의 경우 유

량계수가 1.00으로 나타나 유량변동에 따른 수질 농도 변화에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

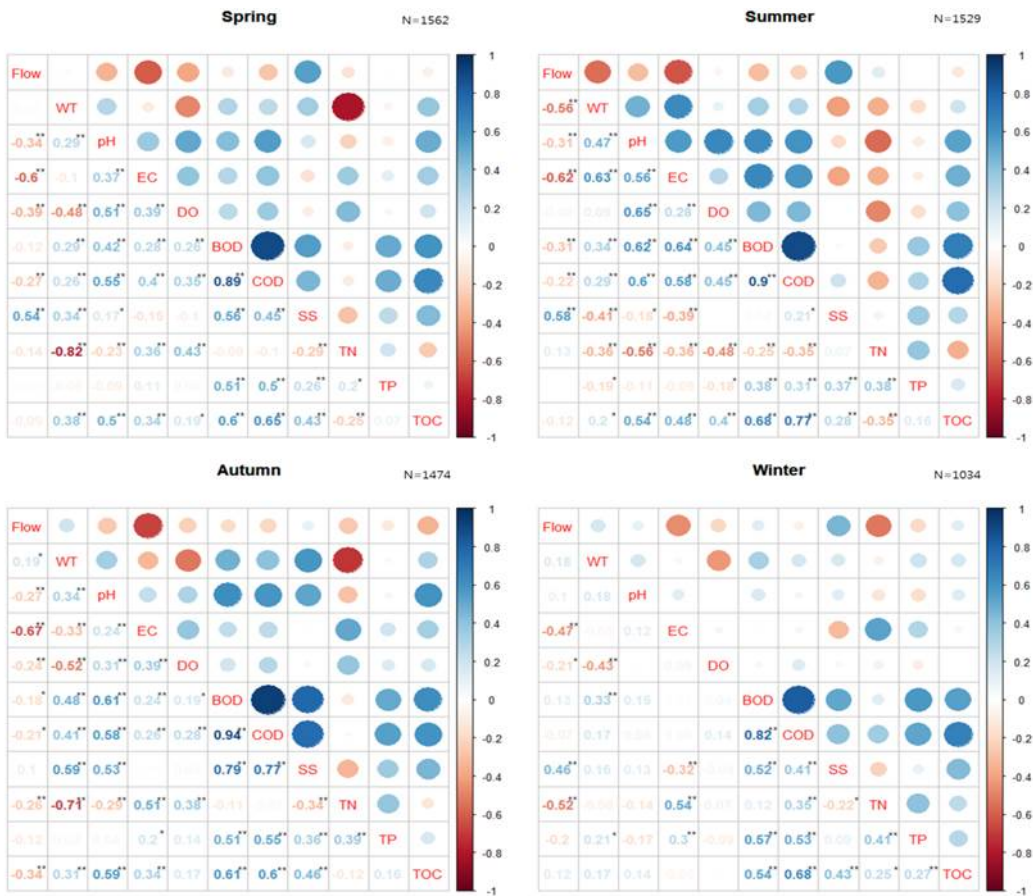
3.3 상관분석 결과

경안천의 11개 항목에 대한 상관성을 평가한 결과 수질항목별 상관분석은 Fig. 3, 계절별 상관분석은 Fig. 4와 같다. 수질항목별 상관분석 결과 유기물의 지표인 BOD₅는 COD_{Mn}와 TOC의 상관계수가 0.890, 0.721의 양(+)의 상관성 ($p < 0.01$)을 나타냈고, COD_{Mn}은 TOC와 0.774의 양의 상관성 ($p < 0.01$)을 나타나 유기물 지표 항목간의 상관성이 높은 것으로 나타났다. 이러한 경향은 Kim et al. (2016)의 다변량 해석기법을 이용한 한강수계 주요지천의 수질변동 특성에서 한강하류 지역의 BOD₅와 COD_{Mn}, TOC의 상관관계가 각각 0.931, 0.971로 나타난 것과 같은 경향으로 나타났다. 이는 한강하류 지천들과 경안천은 인구밀도가 높은 도심지역에 위치하여 다양한 오염원에 노출되어있고, 환경기초 처리시설의 방류수가 영향을 주기 때문이라 판단된다. 유량은 EC와 0.549의 음(-)의 상관성 ($p < 0.01$)으로 나타났고, SS와 0.616 양(+)의 상관성 ($p < 0.01$)이 나타나 유량이 증가 시 희석효과로 EC는 낮아지고, 부유물질



* Correlation is significant at the 0.05 level(2-tailed)
 ** Correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed)

Fig. 3. Correlation analysis of water quality data in Kyeongan B.



* Correlation is significant at the 0.05 level(2-tailed)
 ** Correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed)

Fig. 4. Correlation analysis of seasonal water quality data in Kyeongan B.

의 농도가 높아지는 계절적인 영향으로 나타났다. WT는 DO, TN과 0.686, 0.849의 음(-)의 상관성($p < 0.01$) 이 나타나 온도가 높을수록 산소의 용해도가 낮아지는 계절적인 영향(Park et al. 2014, Choi et al. 2015, Kim et al. 2016)과 질소계열 영양염류 지표항목의 상관성이 높게 나타났다. 반면 TN은 BOD₅, COD_{Mn}, TOC와 0.140, 0.106, 0.151 음(-)의 낮은 상관성($p < 0.01$)으로 나타났고, TP와도 0.189 양(+)의 낮은 상관성($p < 0.01$)으로 나타났다.

계절별 상관분석 결과 봄철에는 WT와 TN의 상관계수가 0.815로 음(-)의 상관성($p < 0.01$)으로 나타나 수온변화에 따른 질소계열 영양염류 지표항목의 상관성이 높은 것으로 나타났다. COD_{Mn}는 BOD₅, TOC와 각각 0.893, 0.650의 양(+)의 상관성($p < 0.01$)으로 나타나 유기물 지표항목의 상관성이 높은 것으로 나타났다.

유량은 EC와 0.600의 음(-)의 상관성($p < 0.01$)으로 나타났다. 여름철에는 COD_{Mn}는 BOD, TOC와 각각 0.900, 0.768로 양(+)의 상관성($p < 0.01$)으로 나타나 유기물 지표항목의 상관성이 높은 것으로 나타났다. 유량과 WT, EC는 0.555, 0.621의 음(-)의 상관성($p < 0.01$)을 SS와 0.580의 양(+)의 상관성($p < 0.01$)으로 나타나 유량이 증가할 경우 부유물질의 농도는 증가하고, 희석효과로 EC와 WT는 낮아지는 계절적인 영향으로 나타났다. 가을철에는 WT는 TN과 0.712의 음(-)의 상관성($p < 0.01$)으로 나타났고, BOD₅는 COD_{Mn}, SS, TOC와 0.936, 0.789, 0.614로 양(+)의 상관성($p < 0.01$)으로 나타나 유기물 지표항목의 상관성이 높은 것으로 나타났다. 겨울철에는 COD_{Mn}와 BOD₅, TOC, TP와 각각 0.822, 0.528, 0.679의 양(+)의 상관성($p < 0.01$)으로 나타나 유기물 지표항목의 상관성과 인계열 영양염류

지표항목의 상관성이 높은 것으로 나타났다. 유량은 TN과 0.522의 음(-)의 상관성 ($p < 0.01$)으로 나타나 유량변동과 질소계열 영양염류 지표 항목의 상관성이 높은 것으로 나타났다.

3.4 주성분분석을 이용한 요인분석 결과

요인분석을 실행하기 전 자료에 대한 타당성을 알아보기 위한 KMO test 결과 수질항목별 0.741, 계절별로 봄 0.665, 여름 0.769, 가을 0.755, 겨울 0.685로 분석되었고, Bartlett test 결과 수질항목별 및 계절별 모두 유의확률 0.000 (< 0.05)로 나타내어 상관행렬이 단위행렬로 나타나 요인분석이 가능함을 설명하고 있다. 경안천의 11개 항목에 대한 요인분석을 실시한 결과 고유값과 누적 점유율은 Table 3, 수질항목별 요인분석 결과는 Table 4, 계절별 요인분석 결과는 Table 5와 같다.

수질항목별 요인분석결과 3개의 요인으로 수질 변동의 79.2%를 설명할 수 있으며 고유치는 각각 3.410, 2.692, 2.287로 나타났다. 요인1에서는 BOD₅, COD_{Mn}, TOC에서 요인부하량이 높게 나타나 유기물 지표 항목의 유입과 관련이 있는 것으로 판단된다. 요인2에서는 WT, DO, TN의 요인부하량이 높게 나타나 계절변화에 따른 질소계열 지표항목의 유입과 관련이 있고, 요인3에서는 유량, EC, SS의 요인이 높게 나타나 유량증가에 따른 부유물질 유입과 관련이 있는 것으로 판단된다.

이러한 결과는 Park et al. (2013)의 통계분석을 이용한 영산강·섬진강수계 주요 유입지천의 수질특성에서 지석A의 요인분석결과 “생분해성 및 난분해성 유기물질 유입”, “계절변화에 따른 질소계열 오염물질의 유입”, “유량증가에 따른 부유물질 유입”과 같은 경향의 요인으로 나타났다.

계절별 요인분석 결과 봄철 4개의 요인으로 누적 기여율 84.4%, 여름철은 3개의 요인으로 누적기여율 77.3%, 가을철은 3개의 요인으로 누적기여율 77.2%, 겨울철은 4개의 요인으로 누적기여율 75.1%를 설명할 수 있다. 봄철 요인 1은 (pH, COD_{Mn}, TOC) 공장등에서 유입되는 난분해성 유기물 지표항목 변화요인, 요인2는 (WT, DO, TN) 계절 변화에 따른 질소계열 영양염류 지표항목 변화요인, 요인3은 (BOD₅, TP) 생활하수 등에서 유입되는 생물학적유기물 지표항목 및 인계열 영양염류 지표항목 변화요인, 요인4는 (유량, EC, SS) 계절 변화에 따른 부유물질 변화요인으로 나타났다. 여름철 요인1은 (BOD₅, COD_{Mn}, TOC) 유기물 지표항목 변화요인, 요인2는 (유량, WT, EC, SS) 계절변화에 따른 부유물질 변화요인, 요인3은 (pH, DO, TN, TP) 계절변화에 따른 용존산소 및 영양염류 지표항목 변화요인으로 나타났다. 가을철 요인1은 (WT, pH, BOD₅, COD_{Mn}, SS, TOC) 계절변화에 따른 유기물 지표항목 변화요인, 요인2는 (유량, EC, DO) 유량 감소 시 EC, 용

Table 3. Eigen values and cumulative percentages of factor

Sample	Component	Initial eigen values			Rotation sums of squared loadings		
		Total	% of Variance	% Cumulative	Total	% of Variance	% Cumulative
Kyeongan B	1	3.510	31.909	31.909	3.410	30.998	30.998
	2	3.212	29.197	61.107	2.692	24.476	55.474
	3	1.667	15.157	76.264	2.287	20.790	76.264
Spring	1	3.794	34.492	34.492	3.012	27.382	27.382
	2	2.786	25.324	59.817	2.295	20.864	48.247
	3	1.677	15.246	75.063	2.008	18.254	66.501
	4	1.022	9.291	84.354	1.964	17.854	84.354
Summer	1	4.641	42.189	42.189	3.576	32.505	32.505
	2	2.311	21.007	63.196	2.713	24.662	57.167
	3	1.556	14.142	77.338	2.219	20.171	77.338
Autumn	1	4.280	38.913	38.913	4.161	37.828	37.828
	2	2.873	26.118	65.031	2.708	24.621	62.448
	3	1.335	12.141	77.172	1.620	14.724	77.172
Winter	1	3.223	29.302	29.302	3.143	28.577	28.577
	2	2.512	22.836	52.139	2.427	22.060	50.637
	3	1.406	12.785	64.924	1.522	13.841	64.477
	4	1.125	10.225	75.148	1.174	10.671	75.148

Table 4. Rotated component matrix by water quality factor analysis

Variable	Component1	Component2	Component3
Flow rate	-0.105	-0.097	0.793
WT	0.276	-0.865	0.230
pH	0.609	-0.402	-0.410
EC	0.272	0.413	-0.702
DO	0.170	0.655	-0.423
BOD5	0.919	-0.004	-0.019
CODMn	0.949	0.034	-0.004
SS	0.367	-0.152	0.782
TN	-0.148	0.914	-0.184
TP	0.430	0.557	0.345
TOC	0.872	-0.058	0.020

Table 5. Rotated component matrix by seasonal factor analysis

Variable	Spring				Summer		
	1	2	3	4	1	2	3
Flow rate	-0.175	-0.037	-0.027	0.935	-0.167	-0.862	0.073
WT	0.238	-0.931	0.070	0.023	0.189	0.755	0.220
pH	0.857	-0.088	-0.133	-0.231	0.545	0.326	0.606
EC	0.374	0.227	0.211	-0.668	0.500	0.715	0.222
DO	0.587	0.678	-0.066	-0.235	0.400	-0.049	0.707
BOD5	0.631	-0.096	0.689	0.031	0.910	0.249	0.086
CODMn	0.702	-0.081	0.632	-0.130	0.927	0.111	0.173
SS	0.444	-0.195	0.387	0.696	0.345	-0.806	-0.106
TN	-0.184	0.885	0.157	-0.176	-0.193	-0.137	-0.808
TP	-0.075	0.118	0.916	-0.002	0.546	-0.192	-0.689
TOC	0.760	-0.238	0.217	0.009	0.814	-0.015	0.268
Variable	Autumn			Winter			
	1	2	3	1	2	3	4
Flow rate	-0.174	-0.772	0.154	0.103	-0.790	0.209	0.081
WT	0.676	-0.589	-0.201	0.232	-0.064	0.794	0.173
pH	0.774	0.283	-0.248	0.094	-0.007	0.070	0.956
EC	0.138	0.847	0.097	-0.015	0.819	0.048	0.215
DO	0.066	0.650	0.227	0.119	0.088	-0.859	0.084
BOD5	0.895	0.097	0.334	0.898	-0.011	0.131	0.058
CODMn	0.859	0.151	0.400	0.921	0.147	-0.051	-0.031
SS	0.844	-0.218	0.246	0.618	-0.548	0.026	0.085
TN	-0.417	0.587	0.593	0.271	0.782	-0.057	-0.170
TP	0.291	0.081	0.856	0.582	0.431	0.282	-0.343
TOC	0.735	0.339	-0.129	0.780	-0.034	-0.003	0.105

존산소가 증가하는 계절변화요인, 요인3은 (TN, TP) 영양염류 지표항목 변화요인으로 나타났다. 겨울철 요인1은 (BOD₅, COD_{Mn}, SS, TP, TOC) 유기물 지표 및 인계열 영양염류 지표항목 변화요인, 요인2는 (유량, EC, TN) 계절 변화에 따른 질소계열 영양염류 지표항목 변화요인, 요인3 (WT, DO)과, 요인4 (pH)는 계절변화요인으로 나타났다. 경안천의 계절별 요인분석 결과

유기물 지표요인이 계절변화와 관계없이 영향을 받는 것으로 나타났다.

4. 결론

경안B지점을 대상으로 2007년 1월부터 2016년 12월 까지 10년의 유량 및 수질자료를 바탕으로 수질변동

특성을 평가하였으며, 경험식을 통하여 오염물질 유출 특성을 분석하였다. 또한 11개 항목에 대해서 다변량통계분석을 통해 수질항목별 및 계절별 상관성과 수질 특성에 영향을 주는 주요 요인을 도출하였다.

- 1) BOD₅, COD_{Mn}, TOC는 연도별로 증가와 감소를 반복하는 것으로 나타났으며 봄철에 높은 농도를 보였다. TP는 고도처리 시설의 도입 및 환경기초시설 방류수 기준강화로 수질이 개선된 것으로 나타났다. TN은 연도별로 감소하는 것으로 나타났으며 겨울철 농도가 높아지는 경향을 보여 겨울철 TN농도 관리가 우선되어야 할 것으로 판단된다.
- 2) 유량-오염부하량 관계식을 바탕으로 유량변화에 따른 오염물질 유출특성 분석결과 BOD₅, COD_{Mn}, TOC와 TN은 저·갈수기 점오염원에 의한 높은 농도를 보이다가 강우 시 희석효과로 농도가 감소하는 것으로 나타났다. SS는 유량증가에 따른 오염물질의 농도가 증가하는 것으로 나타났고, TP부하는 유량변동에 따른 수질 농도 변화에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.
- 3) 수질항목별 상관분석 결과 BOD₅는 COD_{Mn}, TOC와 0.890, 0.721의 양(+)의 상관성, WT는 DO, TN과 0.686, 0.849의 음(-)의 상관성($p < 0.01$)으로 나타나 유기물 지표 항목간의 상관성과 계절변화에 따른 질소계열 영양염류 지표항목의 상관성이 높게 나타났다. 계절별 상관분석결과 유기물 지표항목들은 계절마다 지표 간 양(+)의 상관성이 높게 나타났고 질소계열 영양염류 지표항목은 봄, 가을, 겨울철 유량, WT과 상관성이 높은 것으로 나타났다.
- 4) 수질항목별 요인분석결과 유기물 지표항목에 의한 요인이 가장 크며 계절변화에 따른 질소계열 지표항목에 의한 요인, 유량증가에 따른 부유물질 유입 요인 순으로 수질에 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 계절별 요인분석결과와 유기물 지표요인이 계절변화와 관계없이 영향을 받는 것으로 나타났다. 경안천의 유기물 지표항목을 효과적으로 관리하기 위해서는 인위적 오염원의 철저한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한강수계관리위원회·국립환경과학원 한강물환경연구소에서 시행한 오염총량관리조사연구사업에 의해 이루어진 것임.

References

- Bernard, P., Antoine, L. and Bernard, L. 2004. Principal Component Analysis an Appropriate Tool for Water Quality Evaluation and Management Application to a Tropical Lake System, *Ecological Modeling*, 178: 295-311. (in Australia)
- Cho, Y.C., Lee, S.W., Park, M.J., Choi, H.M., Hong, C.S. and Yu, S.J. 2016. Characteristic analysis of Water Quality using Multivariate Analysis for major tributaries in downstream of the Nam Han River, *Journal of Environmental and Sanitary Engineering*, 31(1): 1-12. (in Korean)
- Choi, J.H., Ha, J.H. and Park, S.S. 2008. Estimation of the Effect of Water Quality Management Policy in Paldang Lake, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 30(12): 1225-1230. (in Korean)
- Choi, K.Y., Im, T.H., Lee, J.W. and Cheon, S.U. 2012. Evaluation of Water Quality Characteristics in the Nakdong River using Statistical Analysis, *Journal of Korea Water Resources Association*, 45(11): 1157-1168. (in Korean)
- Choi, O.Y., Kim, K.H. and Han, I.S. 2015. A Study on the Spatial Strength and Cluster Analysis at the Unit Watershed for the Management of Total Maximum Daily Loads, *Journal of Korean Society on Water Quality*, 31(6): 700-714. (in Korean)
- Gwak, B.R. and Kim, I.K. 2016. Characterization of Water Quality in Changnyeong-Haman Weir Section Using Statistical Analysis, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 38(2): 71-78. (in Korean)
- Gyeonggi Institute of Health Environment (GIHN), 2010. Streams Water Quality Monitoring in Gyeonggi-do. (in Korean)
- Han-River Environmental Research Center (HRERC). 2016. A Comprehensive study on water quality control of Paldang watershed (Ⅱ), Yangpyeong, Korea. (in Korean)
- Kim, J.G. 2002. Evaluation of Water Quality in the Keum River Using Statistics Analysis, *Journal of the Environmental Society*, 11(12): 1281-1289. (in Korean)
- Kim, J.H., Choi, C.M., Kim, W.I., Lee, J.S., Jung, G.B., Han, K.H., Ryu, J.S., Lee, J.T. and Kwon, S.K. 2007. Multivariate Statistical Analysis for Evaluation of Water

- Quality Properties in Korean Rural Watershed, Korean Journal of Environmental Agriculture 26(1): 17-24. (in Korean)
- Kim, M.A., Lee, J.K. and Zoh, K.D. 2007. Evaluation of the Geum River by Multivariate Analysis: Principal Component Analysis and Factor Analysis, Journal of Korean Society on Water Quality, 23(1): 161-168. (in Korean)
- Kim, S.H., Ryu, I.G., Park, M.J., Shin, K.Y., Hwang, S.H., Cho, H.S., Lee, J.K. and Lee, Y.J. 2016. Characteristics of Water Quality Trend using Multivariate Analysis for the Han River, Journal of Environmental and Sanitary Engineering, 31(1): 13-25. (in Korean)
- Kim, Y.J. 2003. Evaluation of Urban Lake Water Quality Using Principal Component Analysis, Journal Korean Society of Environmental Administration, 9(2): 197-203. (in Korean)
- Kim, Y.Y. and Lee, S.J. 2011. Evaluation of Water Quality for the Han-River Tributaries Using Multivariate Analysis, Journal of Korean Society of Environmental Engineers, 33(7): 501-510. (in Korean)
- Ministry of Environment (MOE). 2003. Improving the Efficiency of Advanced Treatment Technology of Sewage Treatment –Development of the Technology of Sewage Treatment by Improving the Efficiency of Nitrification During Winter Season, Sejong, Korea. (in Korean)
- Ministry of Environment (MOE). 2014. Water environment management plan a medium influence areas in Kyeongan stream, 45-108, Sejong, Korea. (in Korean)
- Park, H.S., Park, C.K., Song, M.K., Baek, K.H. and Shin, S.K. 2001. Evaluation of Water Quality Characteristic Using Factor Analysis in the Nakdong River, Journal of the Korean on Water Quality, 17(6): 693-701. (in Korean)
- Park, J.H. 2007. Estimation of Delivered Pollutant Loads Using the Empirical Model Considering Geological and Hydraulic Characteristics, Ph. D. Dissertation, Gyeongsbuk University, Daegu. (in Korean)
- ark, J.H., Jung, J.W., Kim, D.Y., Kim, K.S., Han, S.W., Kim, H.O. and Lim, B.J. 2013. Water Quality Characteristics of the Major Tributaries in Yeongsan and Sumjin River Basin using Statistical Analysis, Journal of Environmental Impact Assessment, 22(2): 171-181. (in Korean)
- Park, J.H., Kong, D.S. and Min, K.S. 2008. Delivered Pollutant Loads of Point and Nonpoint Source on the Upper Watershed of Lake Paldang –Case Study of the Watershed of Namhan River and Gyeongang Stream. Journal of Korean Society on Water Quality, 24(6): 750-757. (in Korean)
- Park, J.H., Moon, M.J., Lee, H.J. and Kim, K.S. 2014. A Study on Characteristics of Water Quality using Multivariate Analysis in Sumjin River Basin, Journal of Korean Society on Water Environment, 30(2): 119-127. (in Korean)
- Park, J.H., Sohn, S.M. and Rhew, D.H. 2011. A Study on the Discharged Characteristics of the Pollutants using the Empirical Equation and Factor Analysis - Case Study of the Upper and Lower Watershed of South Han River, Journal of Korean Society on Water Quality, 27(6): 905-913. (in Korean)
- Yi, D.S. and Park, K.S. 2004. Status of Water Pollution of Gyeongang River, Korea, Journal of Korean Society on Water Quality, 20(6): 698-702. (in Korean)
- Ying, O. 2005. Evaluation of River Water Monitoring Stations by Principal Component Analysis, Water Research, 39: 2621-2635. (in U.S.A)