

Research Paper

## 임진강 유역 오염물질 총량관리를 위한 유량-수질 자료의 통계분석

조용철 · 최현미 · 이영준 · 류인구 · 이명구 · 구동회 · 최경완 · 유순주

국립환경과학원 한강물환경연구소

### Statistical Analysis of Water Flow and Water Quality Data in the Imjin River Basin for Total Pollutant Load Management

Yong-Chul Cho · Hyeon-Mi Choi · Young Joon Lee · Ingu Ryu ·  
Myung-Gu Lee · Donghoi Gu · Kyungwan Choi · Soonju Yu

Han-River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

**요약** : 본 연구의 목적은 임진강 수질오염총량관리제도를 위한 단위유역의 2012년 1월부터 2016년 12월 까지 유량과 수질자료를 통계분석기법에 이용하여 수질특성을 평가하는 것이다. 유량과 수질은 평균 8일 간격으로 측정하였으며 11개 항목을 상관분석, 주성분 분석, 요인분석, 군집분석에 사용하였다. 군집분석의 결과 공간변화에 따라 자연형 하천, 도시형 하천, 점오염원 영향이 큰 지점 등으로 3개의 그룹으로 분류되었으며, 오염원의 종류와 수질 유사성이 군집 분류에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 일원 분산분석과 사후검정을 이용하여 군집간의 평균사이에는 통계적으로 유의한 수준의 차이가 있는 것으로 나타났다. 상관분석에서 COD<sub>Mn</sub>와 TOC의 상관계수가 0.951( $p < 0.01$ )로 상관성이 통계적으로 유의하게 높게 나타났다. 주성분 분석 결과 3개의 주성분으로 전체 수질특성의 72%를 설명할 수 있으며 요인분석에서 주요 요인은 EC, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, TN, TP, TOC 항목으로 나타나 유기물과 영양염류 간접지표가 수질에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구에서 요인점수를 다중 선형회귀분석에 적용하여 회귀 방정식을 제시하고 임진강 유역 수질관리에 유기물 및 영양염류 간접지표 항목의 관리가 중요하다고 판단된다.

**주요어** : 임진강 유역, 수질오염총량관리제도, 통계분석, 유량, 수질

First Author: Yong-Chul Cho, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do, 12585, Korea, Tel: +82-31-770-7238, E-mail: yc800222@korea.kr

Corresponding Author: Hyeon-Mi Choi, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do, 12585, Korea, Tel: +82-31-770-7228, E-mail: choihmi@korea.kr

Co-Authors: Young Joon Lee, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do, 12585, Korea, Tel: +82-31-770-7220, E-mail: 8djoon@korea.kr

Ingu Ryu, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do, 12585, Korea, Tel: +82-31-770-7221, E-mail: ilovmi@korea.kr

Myung-Gu Lee, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do, 12585, Korea, Tel: +82-31-770-7241, E-mail: ucul@korea.kr

Donghoi Gu, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do, 12585, Korea, Tel: +82-31-770-7224, E-mail: gdh1233@korea.kr

Kyungwan Choi, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do, 12585, Korea, Tel: +82-31-770-7245, E-mail: jrjirj@korea.kr

Soonju Yu, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do, 12585, Korea, Tel: +82-31-770-7201, E-mail: ysu1221@korea.kr

Received: 4 June, 2018. Revised: 19 June, 2018. Accepted: 13 July, 2018.

**Abstract :** The purpose of this study was assessment the quality of water by using the statistical analysis technique of the Water flow and water quality from January 2012 to December 2016 at the unit basin for total pollutant load management system (TPLMS) in the Imjin River. Water flow and water quality were monitored at an average of 8 day intervals, 11 parameters were used for correlation analysis, principal component analysis (PCA), factor analysis (FA), and cluster analysis (CA). The Hierarchical CA was classified into three according to the change of space, such as natural rivers, urban rivers, point with large influence of point pollution source, it was found that the type of contamination source the similarity of water quality affected the classification of cluster. Using one-way analysis of variance (ANOVA) and post-hoc Analysis, there were statistically significant differences between mean values among the clusters. Correlation analysis showed the correlation coefficient between  $COD_{Mn}$  and TOC was 0.951 ( $p < 0.01$ ) and the correlation was statistically significantly higher. According to the result PCA and FA, 3 principal components can explaining 72% of the total variations in water quality characteristics and main factor was EC,  $BOD_5$ ,  $COD_{Mn}$ , TN, TP and TOC indirect indicators of organic matter and nutrients were influenced. This study presented the regression equation obtained by applying the factor scores to the multiple linear regression analysis and concluded that the management Indirect indicators of organic matter and nutrients is important for water quality management in the Imjin River basin.

Key words : Imjin River Basin, TPLMS, Statistics analysis, Water Flow, Water Quality

## I. 서론

우리나라는 2004년 낙동강 수계를 시작으로 현재 4대강 수계와 기타 수계(진위천) 등 수질오염총량관리제도(Total Pollutant Load Management System, TPLMS)를 시행하고 있다. TPLMS는 관리하고자 하는 수계 구간별 목표수질을 설정하고 목표수질을 달성 유지할 수 있는 허용총량을 산정하여 단위구역에서 배출되는 오염물질의 양을 허용부하량 이내로 관리하는 제도이다(Ministry of Environment 2000). 한강 수계는 낙동강 수계, 금강 수계, 영산강·섬진강 수계와 다르게 2004년 행정구역 중심으로 의무제가 아닌 임의제로 TPLMS를 시행하였으며, 2006년 4월에 단위구역으로 변경되었다. 2007년 5월에는 한강 본류 및 임진강 구역으로 확대되었으며 2013년에는 서울특별시와 인천광역시 및 경기도 지역에서 의무제 1단계를 2020년까지 시행하고 있다.

한강 수계에 포함되는 임진강은 남한강, 북한강과 다르게 독립적인 유역을 형성하고 있으며 경기도 북부에 위치하여 군사적인 지리적 위치로 수도권과 인

접하나 개발이 제한되었다. 그리고 유역의 자연성과 수질 및 수생태계 환경이 보전되어 생활용수와 농업용수 및 공업용수의 주요 수자원으로 수질 보전 측면에서 중요한 의미와 가치를 갖는다. 하지만 최근 도시개발과 대규모 산업단지의 조성이 이루어지면서 생활하수와 공장폐수의 영향으로 수질오염의 문제가 제기되고 있다. 임진강 유역은 본류보다 유량이 비교적 적은 지류 유역의 도시가 개발되어 다양한 오염원의 발생과 유출로 인하여 수질변화가 더욱 심해질 것으로 예측되고 있다(Gyeonggi Research Institute 2005).

지속적인 발전으로 임진강 유역의 수질관리가 중요하며, 지류 및 소하천을 포함한 체계적인 오염원 관리, 수질 및 수생태계 변화를 파악할 수 있는 기반이 마련되어야 할 것이다. 이와 더불어 수질에 영향을 미치는 다양한 변수를 도출하고 분석하여 유역 내 하천의 수질특성을 정확하게 파악하는 것이 중요하다(Kim et al. 2007). 한강 수계 TPLMS의 이행과 평가를 위해 평균 8일 간격으로 임진강 총량측정망 지점에서 유량 측정과 수질 모니터링을 수행하고 있

다. 현장에서 관측하고 수집한 환경 데이터는 시계열 데이터와 공간 데이터로 구성된다. 하지만 이러한 환경 데이터는 현장에서 샘플의 채취(Sampling), 운반, 보관 및 분석 과정을 거치면서 많은 불확실성(Uncertainty)을 나타낸다. 이러한 원인은 현장 측정기기의 오류, 측정지점의 대표성, 실험분석의 오류 등이 있다(Rode & Suhr 2007).

과거에는 이러한 불확실성을 고려하지 않고 연구 결과에 대한 주관적인 해석과 산술적인 수질해석을 하였다. 이러한 결과는 대상지역의 오염상태만을 설명하고 결과를 일반화하는 경우가 대부분이었다. 하지만 최근에는 주관적인 수질자료의 해석을 줄이고, 타당하고 객관적인 수질해석을 위하여 통계분석을 이용한 연구가 많이 이루어지고 있다(Jung et al. 2012). 국외에서도 통계분석을 이용한 연구가 활발하게 이루어지고 있으며 통계분석기법의 군집분석과 주성분 분석 및 요인분석을 이용한 시·공간적 변화 분석 등의 연구가 보고되고 있다(Bengraïne & Marhaba 2003; Singh et al. 2004; 2007; Shrestha & Kazama 2007; Xu et al. 2012). 국내에서도 낙동강 수계와 금강 수계 및 영산강-섬진강 수계에 통계분석을 이용하여 수질의 시·공간적 변화 특성 파악 및 수질에 영향을 미치는 주요 요인을 파악하였다(Kim et al. 2007; Park et al. 2013; Jung et al. 2016). 문헌조사 결과 통계분석을 이용하여 수질변화를 분석한 연구결과는 많았지만 통계분석의 적용 타당성 및 사후검정 등을 제시하는 연구결과는 미비하여 본 연구에서는 통계분석의 적용과 더불어 이러한 점을 고려하여 연구결과에 반영하여 해석하였다.

본 연구에서는 최근 지속적인 발전으로 수질오염도가 변화하고 있는 임진강 유역의 수질특성을 평가하기 위하여 정기적인 유량-수질 모니터링 자료를 활용하여 수질 항목간의 상관성과 대상지점에 대한 수질특성을 파악하였다. 수질특성이 유사한 지역적 구분과 조사 시기에 따라 어떻게 수질특성이 구분되는지 군집분석을 수행하였으며 사후검정을 통하여 군집분석의 타당성을 알아보았다. 그리고 주성분 분석과 요인분석을 이용하여 임진강 유역에 수질에 미

치는 주요 요인을 분석하여 TPLMS 시행에 따른 임진강 유역의 과학적이고 합리적인 수질관리를 위한 이행평가와 기초자료에 활용하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 대상 유역

임진강은 한강의 1지류이며 강원도 법동군 용포리에서 발원하여 연천군을 유역으로 하는 한탄강이 합류하고, 국가하천 문산천이 유입되어 한강 하구로 흐른다. 임진강 유역의 총 면적은 8,118 km<sup>2</sup>이고, 한국 내 유역 면적은 3,491 km<sup>2</sup>로 총 면적의 43%에 해당한다. 임진강의 유로연장은 한탄강, 문산천 포함한 273.5 km이고, 임진강의 하천연장은 91.1 km이다. 본 연구의 조사지점은 한강 수계 TPLMS를 위한 총량 단위 48개 단위유역 중 임진강 유역의 오염원의 영향 및 수질 등의 관리 및 필요성이 제기되는 총량 단위유역 지점을 선정하였다(Figure 1).

임진강 유역의 총량 측정망 지점은 임진강 발원지부터 한탄강 합류점 전까지 임진A, 한탄강 발원지부터 대교천 합류점 후까지 한탄A, 영평천 발원지부터 한탄강 합류점 전까지 영평A, 신천 발원지부터 한탄강 합류점 전까지 신천A, 대교천 합류점부터 임진강 합류점 전까지 한탄B, 문산천 발원지부터 임진강 합류점 전까지 문산A, 한탄강 합류점 후부터 한강 합류점

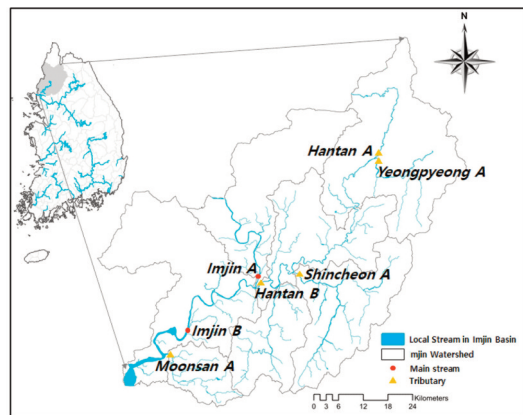


Figure 1. Monitoring site's for flow and water quality in the Imjin River for Total Pollutant Load Management System.

전까지 임진B이다(Ministry of Environment 2016a).

## 2. 유량측정 및 수질분석

본 연구를 위한 유량과 수질자료는 국립환경과학원 한강물환경연구소에서 2012년 1월부터 2016년 12월까지 5년간 한강 수계 TPLMS를 위한 사업으로 평균 8일 간격으로 유량을 측정하고 수질을 분석한 자료를 사용하였다. 유량(Water Flow, WF) 측정은 수문 관측메뉴얼(Ministry of Construction and Transportation 2004)과 국제표준기준(ISO) 기준에 근거하여 측정하였다. 현장에서는 다항목 수질측정기(YSI 600 XLM, USA)를 사용하여 수온(Water Temperature, WT), 수소이온농도(pH), 전기전도도(Electrical Conductivity, EC), 용존산소(Dissolved Oxygen, DO)를 측정하였다.

실험실에서는 생물화학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand, BOD<sub>5</sub>), 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD<sub>Mn</sub>), 부유물질(Suspended Solid, SS), 총질소(Total Nitrogen, TN), 총인(Total Phosphorous, TP), 총유기탄소(Total Organic Carbon, TOC) 등은 수질오염공정시험기준(Ministry of Environment 2016b)에 준하여 분석하였다. 분석방법과 해당 측정기기는 Table 1과 같으며 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, TN, TP, TOC 항목은 정확도, 정밀도, 회수율 측정을 통한 정도관리(Quality

Control: QC)로 정확하고 신뢰성 있는 분석과 재현성을 평가하였다(Ministry of Environment 2016a).

## 3. 데이터의 통계분석

통계분석에 사용한 프로그램은 SPSS (Statistical Package the Social Science, ver. 22) 통계 패키지와 언어기반 분석 프로그램 R을 이용하였다. 자료의 정규성 검정(Normality test)을 알아보기 위하여 샤피로-윌크(Shapiro-Wilk), 콜모고로프-스미노프(Kolmogorov-Smirnov) 검정을 실행한 결과 모든 지점의 수질항목에서 정규분포를 따르지 않는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 현장과 자연계에서 수집한 데이터는 조사시간 및 조사지점의 한계 등으로 정규분포를 따르지 않는다고 판단된다. 그래서 통계분석을 수행하기 전에 11개 항목들의 기초 통계자료와 항목간의 측정단위가 다르므로 기술통계를 이용하여 표준점수(Z-score)를 변환하여 자료를 통계분석에 사용하였다. Z-score는 표준화(평균 0, 표준편차 1)하여 자료의 전처리와 요인의 설명력을 높여주는 것으로 보고되고 있다(Ravichandran et al. 1996; Simeonov et al. 2003; Kim & Lee 2011).

기술통계에 대한 크루스칼-왈리스(Kruskal-Wallis) 검정결과  $p$ -value 0.00( $p \leq 0.05$ )으로 나타나 지점의 수질항목에서 유의한 수준의 영향을 미치는 조건이라고 결론을 얻을 수 있었다. Kruskal-

Table 1. Methods and instruments for analysis

Analysis parameter	Analysis methods	Analysis instruments
WF	Middle cross section	Flow-Tracker ( $\pm 0.001$ -4 m/s, $\pm 1$ %) ADCP ( $\pm 6$ m/s, $\pm 1$ %)
WT	Temperature probe	YSI 600 XLM (-5~50 °C, $\pm 0.15$ °C)
pH	pH probe	YSI 600 XLM (0~14, $\pm 0.2$ unit)
EC	Conductometry	YSI 600 XLM (0~1000000 $\mu$ S/cm, $\pm 0.5$ %)
DO	DO probe	YSI 600 XLM (0~50 mg/L, $\pm 2$ mg/L)
BOD <sub>5</sub>	Diaphragm electrode	DO Meter (YSI 5910), BOD Incubator
COD <sub>Mn</sub>	Potassium permanganate	Water Bath (100 °C Acid)
SS	Gravimetric	Whatman GF/C Filter
TN	Continuous flow analysis	AACS_V (0.06 mg/L, $\pm 25$ %)
TP	Continuous flow analysis	AACS_V (0.03 mg/L, $\pm 25$ %)
TOC	High temperature combustion	multi N/C 3100 (Analytikjena)

Wallis 검정은 일원 분산분석(one-way Analysis of Variance, ANOVA)에 대응하는 비모수적 분석방법이다. 비정규분포에서 다수의 표본 간 차이를 일괄적으로 검정하기 위한 방법으로 n개 이상의 표본 집단이 있고 각각의 표본 집단이 다수의 관측값으로 되어 있을 때 각 표본 집단 사이에 통계적으로 유의한 차이가 존재하는지 검정할 수 있다(Gilbert 1987).

두 개의 환경변수 데이터가 상관성을 가지고 있는 상관성 활용 분석인 상관분석(Correlation Analysis)은 2개 이상의 변수 사이에 존재하는 상관관계의 밀접한 정도를 측정하는 분석방법이며, 피어슨 상관계수(Pearson Correlation Coefficient, r)를 이용하여 상관계수 및 유의수준을 제시하였다(Noh 2005). 다차원 해석을 위한 요인분석(Factor Analysis, FA)은 데이터를 축소하여 변수들 간의 상관관계를 고려한 서로 유사한 변수들 끼리 묶어주는 방법이며 데이터가 몇 개의 요인에 의해 영향을 받고 있는지를 알아보는 분석기법이다. 요인추출 모델에는 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA)을 이용하였으며 요인분석의 수행 절차를 Figure 2에 제시하였다. 주성분 분석은 변수들 간의 상호의존 정도를 분석하는 방법으로 데이터를 차원 축소하여 복잡한 원 자료의 변수 보다 같거나 적은 변수들을 이용하여 자료를 해석할 수 있다(Kim et al, 2016). 군집분석(Cluster Analysis, CA)은 각 개체의 유사성을 측정하여 유사성이 높은 집단을 분류하고, 같은 군집에 속한 개체들의 유사성과 서로 다른 군집에 속한 개체간의 상이성을 규명하는 분석기법이다(Lee & Seo 2015). 본 연구에서는 계층적 방식(Hierarchical methods)을 이용하여 군집(Cluster)을 구하였다. 군집 대상간의 거리 산출 방법은 유클리드 거리(Euclidean distance) 방법을 적용하였고, 군집 간의 연결방법은 군집 평균 간의 거리를 각 군집의 개수로 나눈 후 제곱근을 구한 거리를 활용하는 워드법(Ward's method)을 적용하였다. CA 결과의 신뢰성과 타당성을 높이기 위해 일원 분산분석(one-way ANOVA)과 사후검정(Post-hoc Analysis)을 수행하였다.

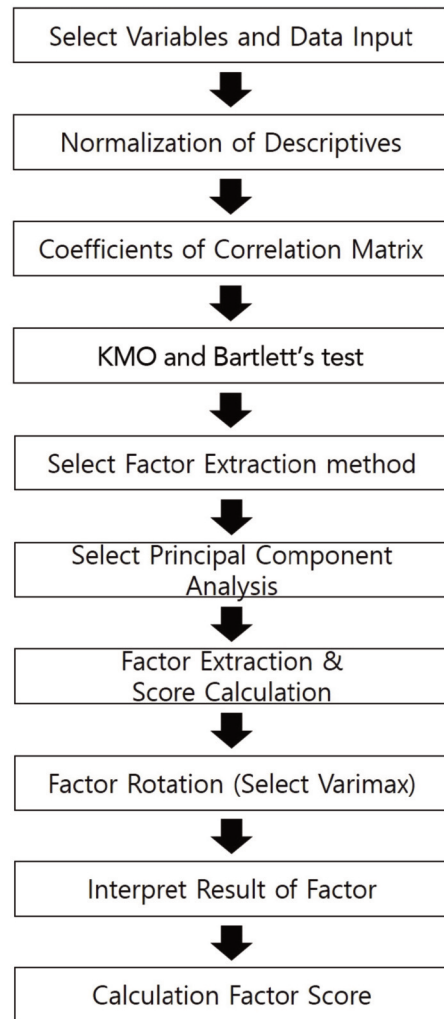


Figure 2. Process of factor analysis.

### III. 연구 결과

#### 1. 대상유역의 수질특성

본 연구의 데이터는 환경부 물환경정보시스템(Water Environment Information System)에서 확인할 수 있으며 대상지점의 수질항목별 기술 통계자료를 산정하였으며 하천과 호소의 수질 생활환경 기준에 따른 등급을 Table 2에 나타냈다. 여름철 홍수기 등과 같이 안전상의 문제와 겨울철 하천의 결빙으로 인한 불가피한 이유로 지점 간의 측정 성과가 다르게 나타났다. 임진강 유역에 위치한 분류 및 지류의 지점들은 뚜렷한 수질특성을 나타냈다. 유기오염

Table 2. Descriptive statistics for observed water quality of monitoring sites in Imjin River

Monitoring site	Item	BOD <sub>5</sub> <sup>1)</sup> (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> <sup>1)</sup> (mg/L)	SS <sup>1)</sup> (mg/L)	TN <sup>2)</sup> (mg/L)	TP <sup>1)</sup> (mg/L)	TOC <sup>1)</sup> (mg/L)
Imjin A (N=201)	Minimum	0.2	1.5	0.3	0.231	0.004	0.8
	Maximum	2.2	7.7	103.0	2.391	0.169	4.2
	Mean	0.9	3.1	6.4	0.882	0.023	1.8
	Class <sup>3)</sup>	I a	I b	I a	IV	I b	I a
Hantan A (N=206)	Minimum	0.2	1.5	0.3	0.619	0.011	0.7
	Maximum	7.0	12.9	191.0	3.471	0.483	7.8
	Mean	1.3	3.7	10.8	1.849	0.049	2.1
	Class	I b	I b	I a	V	II	I b
Yeongpyeong A (N=207)	Minimum	0.7	3.8	1.2	2.970	0.024	1.8
	Maximum	18.3	27.2	332.0	15.525	0.618	16.9
	Mean	4.3	8.8	11.1	6.610	0.101	5.8
	Class	III	IV	I a	VI	III	IV
Shincheon A (N=207)	Minimum	2.3	6.4	4.0	3.546	0.060	2.9
	Maximum	32.3	62.4	1753.3	19.820	2.565	55.0
	Mean	11.5	18.3	31.7	9.949	0.232	13.4
	Class	VI	VI	I b	VI	IV	VI
Hantan B (N=206)	Minimum	0.4	2.9	1.3	1.814	0.024	1.9
	Maximum	14.2	2.9	139.5	12.615	1.390	14.2
	Mean	4.0	8.3	13.0	5.692	0.108	5.7
	Class	III	V	I a	VI	III	IV
Moonsan A (N=208)	Minimum	0.6	3.2	4.9	1.718	0.038	1.9
	Maximum	11.9	22.8	3564.0	18.725	0.930	16.7
	Mean	3.7	7.7	140.8	4.319	0.185	5.2
	Class	III	IV	V	VI	III	IV
Imjin B (N=196)	Minimum	0.4	2.8	1.3	1.331	0.016	1.3
	Maximum	7.7	14.0	267.0	8.961	0.426	11.0
	Mean	2.1	5.8	25.0	3.084	0.077	3.8
	Class	II	III	I a	VI	II	II

<sup>1)</sup> River (Stream) environmental standard for water quality.

<sup>2)</sup> Lake environmental standard for water quality

<sup>3)</sup> In score: Excellent (I a), Good (I b), Above average (II), Average (III), Fair (IV), Poor (V), Very poor (VI)

물질의 지표인 BOD<sub>5</sub>와 COD<sub>Mn</sub>는 임진강 분류 상류에 위치한 임진A에서 평균값 각각 0.9 mg/L, 3.1 mg/L으로 나타나 하천 생활환경 기준에 따라 Ia (Excellent), Ib (Good)등급으로 조사 되었으며, 탄강의 지류인 신천A는 평균값 각각 11.5 mg/L, 18.3 mg/L로 나타나 하천 생활환경 기준 VI (Very poor)등급으로 조사 되었다. SS는 임진강 본류에 유입하는 국가하천인 지점인 문산A에서 평균 140.8 mg/L로 나타나 하천 생활환경 기준에 따라 V (Poor) 등급으로 조사되었다. TN은 모든 지점에서 평균 하

천 생활환경 기준 V (Poor)~VI (Very poor) 등급으로 조사되었으며 TP는 임진A에서 평균 0.023 mg/L로 Ib(Good)등급으로 신천A는 0.232 mg/L로 IV (Poor)등급으로 조사되었다.

임진강 유역의 유출특성은 상·하류간의 유량 역전 현상 없이 정상적인 유출특성을 나타냈다. 수온 변화는 전형적인 기온과 계절적 특성이 반영되어 나타났으며 2015년 신천A에서 평균 18.7℃로 높게 나타났다. 이러한 이유는 신천A 상류에 위치한 산업시설에서 배출하는 폐수의 영향인 것으로 판단된다. pH는

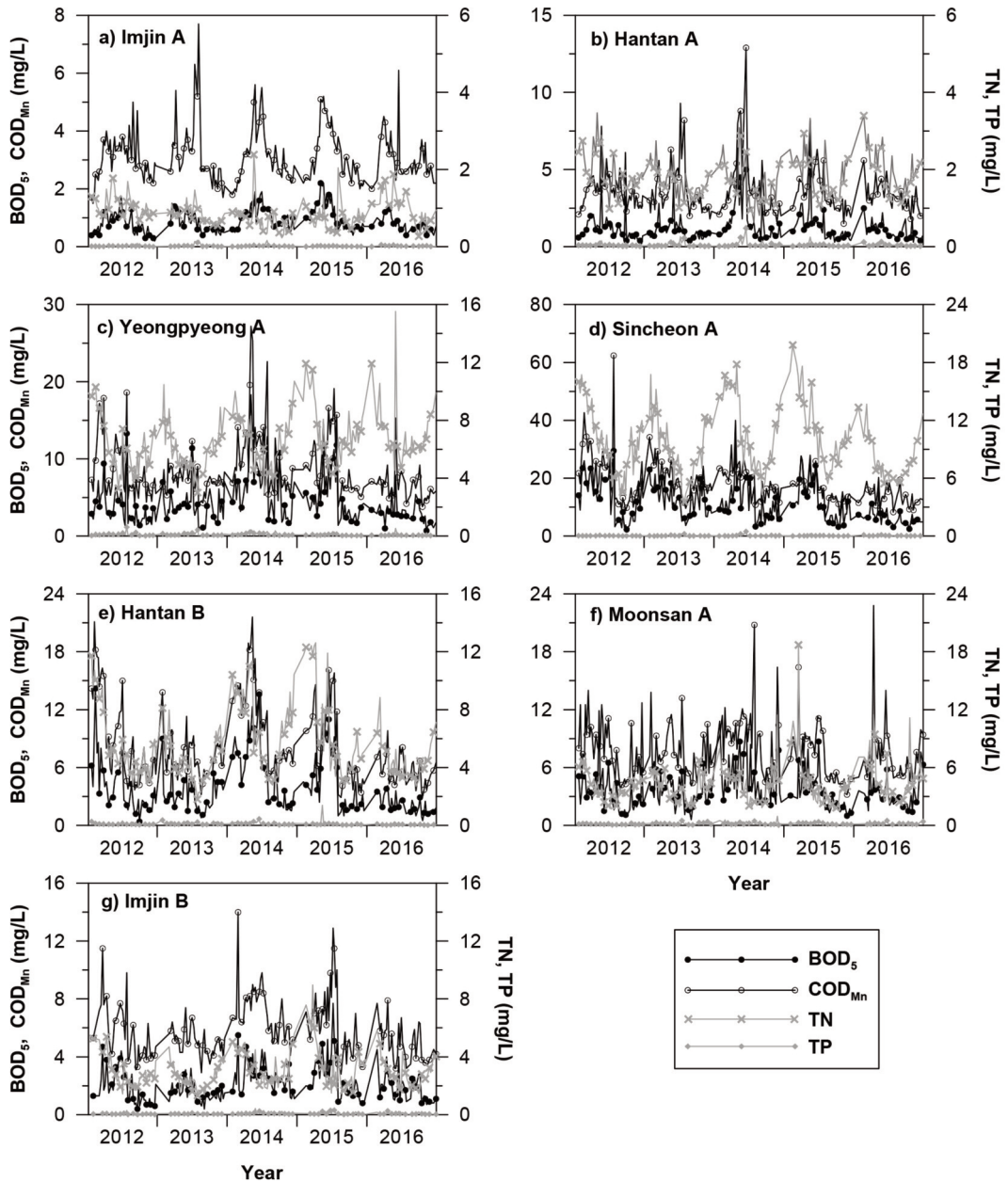


Figure 3. Time courses BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, TN and TP concentration of monitoring site's from 2012 to 2016.

7.0~9.4 범위로 평균 약한 염기성을 나타냈다. EC는 53~3,132  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위로 나타나 지점간의 차이가 크게 나타났다. 특히 2015년 신천A에서 평균 2,111  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 매우 높게 나타났으며 2013년 임진A에서 평균 120  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 낮게 나타났다. DO 농도는

5.7~17.6 mg/L의 범위로 평균 농도 10.9 mg/L로 나타나 양호한 수준을 보였으며, 임진강 유역 상류의 위치한 지점보다 하류에 위치한 지점에서 DO 농도가 낮게 나타나는 특징을 보였다.

임진강 유역 총량지점의 조사기간(2012~2016년)

에 따른 유기물과 영양염류 지표항목의 수질오염도 변화 추이를 Figure 3에 나타냈다. 유기물의 간접지표인 BOD<sub>5</sub> 농도범위는 0.2~32.3 mg/L로 2012년 임진A에서 평균 0.8 mg/L로 낮게 나타나 하천 생활환경 기준 (Ia)등급으로 조사되었으며 2012년 신천A에서 평균 13.3 mg/L로 매우 높게 나타나 하천 생활환경 기준(VI)등급으로 조사되었다. COD<sub>Mn</sub> 농도범위는 1.5~62.4 mg/L로 2012년 신천A에서 평균 20.9 mg/L로 가장 높게 나타나 하천 생활환경 기준 (VI)등급으로 조사되었다. BOD<sub>5</sub>는 난분해성 물질의 양을 대표할 수 있는 항목이 아니기 때문에 높은 COD<sub>Mn</sub>는 유해성 유기물을 포함할 수 있다는 면에서 특히 주목해야 할 사항이다(Lee & Seo 2015). 하지만 BOD<sub>5</sub>에 비하여 COD<sub>Mn</sub>의 수질 개선도가 낮은 이유는 대부분의 하수처리시설의 주요한 처리공정이 생물학적 처리공정으로 난분해성 유기물의 처리에 한계가 있기 때문이라고 보고하였다(Park et al. 2009). TOC 농도 범위는 0.7~55.9 mg/L로 2013년 신천A에서 평균 13.6 mg/L로 높게 나타났고 2013년 임진A에서 평균 1.5 mg/L로 낮게 나타났다. SS 농도범위는 0.3~3564.0 mg/L로 데이터의 범위 및 지점별로 크게 차이가 나타났다. 이러한 이유는 강우에 의한 영향과 주변 환경변화에 따른 영향을 받는 것으로 판단된다. 특히 문산A는 상류에 위치한 도시 구간에서 많은 부유물질이 유입되고, 해수의 영향에 따른 개흙의 유입으로 2014년 평균 249.6 mg/L로 높게 나타났다.

영양염류의 간접지표인 TN 농도범위는 0.231~19.820 mg/L로 2015년 신천A에서 평균 11.904 mg/L로 나타나 임진A의 평균 0.718 mg/L 보다 약 17배 높게 나타났다. TP 농도범위는 0.004~2.565

mg/L로 나타났으며 봄철 및 여름철에 강우시 유기물이 다량 유입되어 높은 값을 나타냈다(Ministry of Environment 2007). 특히 신천A는 섬유 및 피혁 등 소규모 산업시설과 공장단지에서 배출하는 폐수의 유기물 및 질소가 임진강 본류 수질에 상당한 영향을 끼친다는 연구가 보고되었다(Kim & Lee 2011). 이에 임진강 유역의 효율적인 수질관리를 위하여 임진강 본류에 유입하는 한탄강의 지천인 신천A 단위유역의 집중적인 관리가 선행되어야 할 것이다.

## 2. 시·공간적 군집분석의 결과

수질특성에 따른 지점별 군집분석을 수행하기 전 군집 개수를 알아보기 위해 사전분석을 하였다. 군집 개수와 계수 값을 정리하면 군집분석의 최적 군집 개수(Optimum number of clusters)를 알 수 있다. 군집이 3개일 때 'Change'값이 변화폭이 가장 크다. 'Change'는 현재 단계와 이전 단계의 사이의 차이를 나타낸다. 이는 군집의 수가 3개가 최적의 군집의 개수임을 Table 3에서 알 수 있다. 그리고 Ward's 결합방식을 적용하여 임진강 유역의 지점별 군집화한 결과를 계통도(Dendrogram)로 나타냈다(Figure 4).

계층적 군집분석 결과 I 그룹은 임진A, 한탄A, II 그룹은 영평A, 한탄B, 문산A, 임진B, III 그룹은 신천A로 분류되어 나타났다. 임진A와 한탄A의 유클리드 거리(Euclidean distance)가 가장 작았으며, 임진A와 신천A의 Euclidean distance가 가장 큰 것으로 나타났다. I 그룹은 임진강과 한탄강 본류의 상류 지점으로 전형적인 자연형 하천이고, II 그룹은 임진강과 한탄강 본류의 하류 지점 및 도시형 하천이며, III 그룹은 생활하수 및 공장에서 배출하는 점오염원의 영향이 큰 지점이다. 이러한 결과로 인하여 각 군

Table 3. Relationship between coefficient and number of cluster

Number of clusters	Agglomeration of last step	Coefficients of this step	Change
2	1,819.391	806.810	1,012.581
3	806.810	262.853	543.957
4	262.853	109.273	153.580
5	109.273	28.417	80.856
6	28.417	10.980	17.437

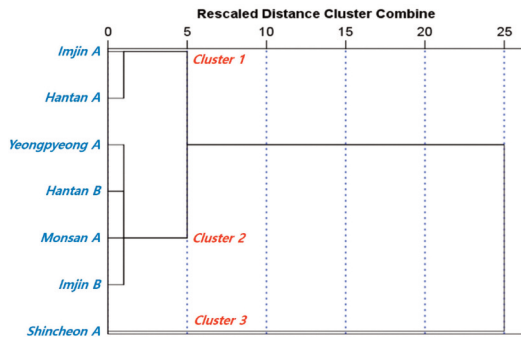


Figure 4. Dendrogram of spatial from Ward's method cluster analysis.

집에 속하는 지점들은 서로 유사한 수질특성이 잘 나타나고 있으며, 특히 신천A는 다른 그룹에 비하여 수질특성이 뚜렷하게 나타났다. 이러한 이유는 임진강 유역의 하천 토지이용 특성과 하천유역에 분포하는 오염원의 영향을 받을 것으로 판단된다. 군집분석 결과의 타당성을 알아보기 위하여 군집 간의 평균의 차이가 있는지 알아보기 위하여 one-way ANOVA와 사후검정을 실시하였다. EC는 0.000( $p < 0.05$ ), BOD<sub>5</sub>는 0.002( $p < 0.05$ ), COD<sub>Mn</sub>는 0.001( $p < 0.05$ ), TOC은 0.001( $p < 0.05$ )로 나타나 각 항목에 대한 군집 간의 통계적으로 유의한 수준에서 군집 간 차이가 있는 것으로 분석되었다.

임진강 유역의 계절에 따른 수질변동 특성을 알아보기 위하여 계절별 군집분석을 수행하였다. 조사기간(2012~2016)의 결과 건기인(10~6월)과 우기인(7~9월)로 2개의 그룹으로 분류 되었으며 봄, 가을, 겨울 요인은 크지 않는 것으로 나타났다(Figure 5). one-way ANOVA와 사후검정의 결과 유량은 0.000( $p < 0.05$ ), 수온은 0.027( $p < 0.05$ ), EC는 0.000( $p < 0.05$ ), DO는 0.034( $p < 0.05$ ), TN은 0.023( $p < 0.05$ )로 각 항목에 대한 군집 간의 통계적으로 유의한 수준에서 군집 간 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 한강 수계 지천의 계절별 특성 연구에서 여름 풍수기부터 가을까지(7~10월)와 동절기에서 초여름까지(11~6월)의 결과와 비슷한 경향을 나타냈다(Kim & Lee 2011). 이러한 연구결과는 조사 시기에 따른 유량요인과 수질에 따른 계절적 특성

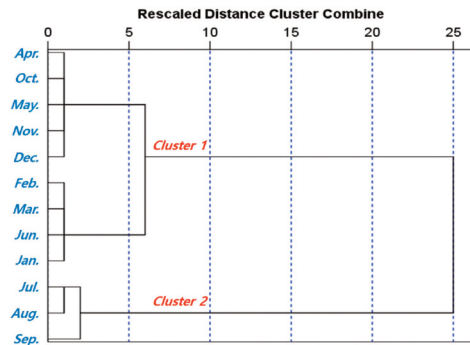


Figure 5. Dendrogram of temporal from Ward's method cluster analysis.

이 반영되어 나타나는 것으로 판단되며 추후 계절적 군집분석 결과에 따른 수질항목의 상관성을 파악하는 연구가 필요하다.

### 3. 상관분석의 결과

유량과 수질자료를 포함한 11개 항목을 피어슨 상관계수를 이용하여 상관분석 결과를 나타냈다(Figure 6). 상관분석 결과 수온과 DO의 상관계수는 -0.696( $p < 0.01$ )로서 높은 음의 상관성이 있다. Cho et al. (2017)은 온도가 높을수록 산소의 용해도가 낮아지는 계절적 영향의 원인으로 해석하였다. EC와 TN의 상관계수는 0.804( $p < 0.01$ )로 Kim et al. (2013)의 선행연구에서 보고한 바와 같이 높은 양의 상관성을 나타내어 질소계열 오염물질인 비료와 축산 및 생활오수를 통해 염류의 유입에 대한 영향이 크게 나타나는 것으로 판단된다(Gwak & Kim 2016). BOD<sub>5</sub>와 COD<sub>Mn</sub>, TOC의 상관계수는 각각 0.922( $p < 0.01$ ), 0.908( $p < 0.01$ )로 높은 양의 상관성을 나타냈다. 특히 유기물 간접지표인 COD<sub>Mn</sub>와 TOC의 상관계수는 각각 0.951( $p < 0.01$ )로 매우 높은 양의 상관성을 나타내었으며, TP와 COD<sub>Mn</sub>, TOC의 상관계수는 0.653( $p < 0.01$ ), 0.634 ( $p < 0.01$ )의 상관성을 나타내어 유기물과 인계열의 항목 간의 상관성이 높은 것으로 해석할 수 있다. 이러한 결과는 선행 연구인 낙동강에서의 유기물 수질지표 항목간의 상관성 분석 결과에서도 잘 나타나고 있다(Park et al. 2001). SS와 BOD<sub>5</sub>의 상관계수는 0.120( $p > 0.01$ )로

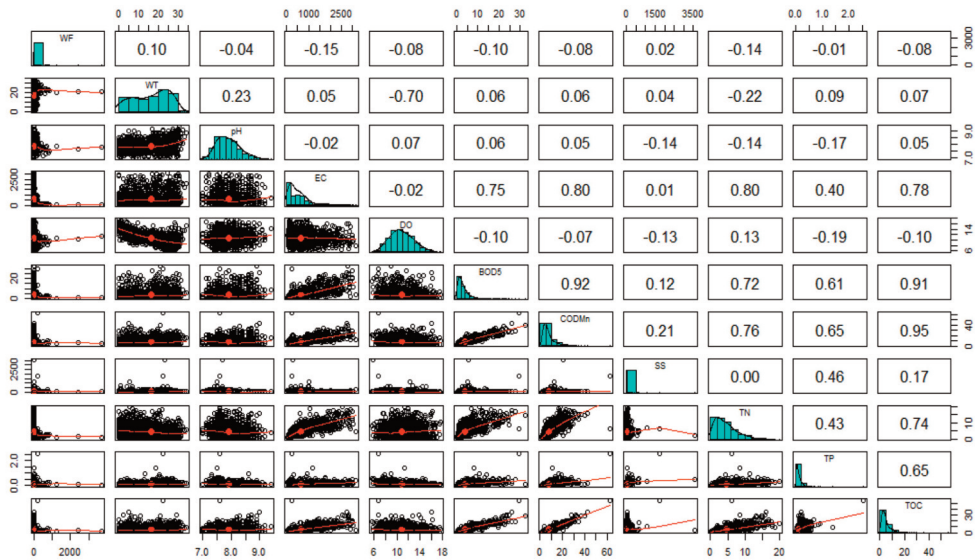


Figure 6. Pearson's correlation analysis of the Imjin River basin, Korea.

Table 4. Total variance explained by principal component analysis

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.732	43.020	43.020	4.673	42.477	42.477
2	1.828	16.614	59.634	1.812	16.469	58.946
3	1.364	12.399	72.033	1.440	13.086	72.033

통계적으로 유의한 수준의 단조 상관성이 있지 않는 것으로 나타났다. 선행연구에서 금강 중하류 유역의 SS와 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>의 상관계수가 각각 0.191, 0.192로 나타나 매우 낮은 상관성을 나타냈다(Kim 2002). 남한강 상류 주요 하천에 상관분석 결과에서는 SS와 COD<sub>Mn</sub>, TP에 대한 상관계수가 각각 0.575(p<0.01), 0.832(p<0.01)로서 높은 상관성을 나타내어 수계 내 SS의 변화는 COD<sub>Mn</sub>와 TP의 변화와 밀접한 상관성을 보이는 것으로 나타났다(Park et al. 2011). 이러한 이유는 임진강 유역과 금강 중하류 유역의 수질 변동 주요인은 산림지와 농경지가 많은 남한강 상류 유역보다 토지이용 현황 및 도시화로 인한 다양한 오염원이 존재하기 때문인 것으로 판단된다.

#### 4. 주성분 분석과 요인분석의 결과

주성분 분석 수행 전 요인분석의 타당성을 알아보

기 위하여 표본 적합도 검증인 Kaiser Meyer Olkin test (KMO test)와 단위행렬 검증인 Bartlett's test를 실시하였다. KMO test는 자료에 대한 변수의 값이 타당성을 나타내는 척도로 1에 가까운 값일수록 FA의 타당성이 높고, 0.5 이하일 경우에는 타당성 낮다. Bartlett's test는 변수 간 상관행렬이 단위행렬인지 아닌지 검정하는 것을 말한다. 변수간의 상관성이 높을수록 유의적 관계라 하며 0에 가까운 값이 유의성이 높다(Kim et al. 2007; Kim et al. 2016). KMO test와 Bartlett test 결과 KMO 0.798, Bartlett 0.000(p<0.05)으로 나타나 요인분석이 타당하다고 분석되었다. 정규화된 데이터에 대한 요인분석의 비회전과 회전분석의 수행에 따른 결과를 나타냈으며 그 결과 3개의 주성분이 추출되었다. 이러한 결과는 11개의 변수를 3개의 주성분으로 설명할 수 있다. 이러한 결과는 고유값(Eigenvalue)이 1.0

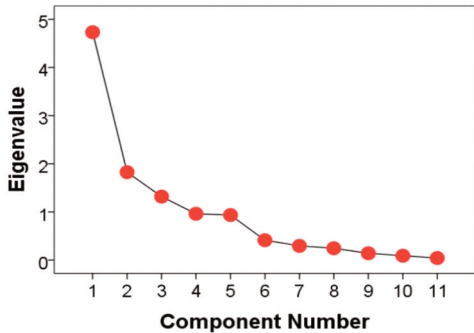


Figure 7. According to the change of principal component numbers with changes of eigenvalues.

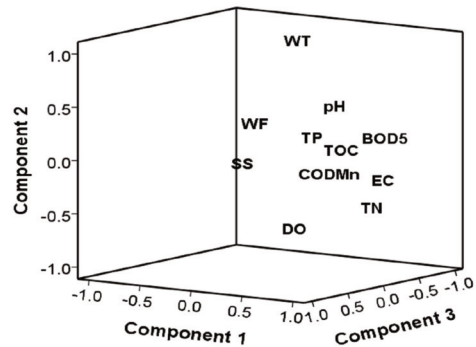


Figure 8. Component plot in rotated space of the Imjin River basin, Korea.

Table 5. Comparison of principal component loading values in non-rotated and rotated condition's

Variable	Component Matrix			Variable	Rotated Component Matrix		
	1	2	3		1	2	3
COD <sub>Mn</sub>	0.968	0.026	0.052	COD <sub>Mn</sub>	0.965	0.051	0.083
TOC	0.955	0.046	0.080	TOC	0.955	0.075	0.057
BOD <sub>5</sub>	0.932	0.032	0.120	BOD <sub>5</sub>	0.938	0.069	0.013
EC	0.856	-0.105	0.203	EC	0.879	-0.050	-0.104
TN	0.840	-0.326	0.043	TN	0.851	-0.298	0.009
TP	0.708	0.250	-0.418	TP	0.638	0.178	0.548
WT	0.001	0.868	0.327	WT	0.007	0.914	-0.157
DO	-0.064	-0.859	0.001	DO	-0.028	-0.844	-0.169
WF	-0.141	0.212	-0.184	SS	0.119	0.170	0.748
pH	-0.041	0.129	0.719	pH	0.046	0.262	-0.682
SS	0.220	0.301	-0.681	WF	-0.171	0.171	0.200

이상인 값을 갖는 주성분 축만을 고려하여 스크리 검 증(Scree test)으로 분산(Variance)이 급격히 작아 지기 직전까지의 차수까지만 고려한 그래프에서도 잘 나타나고 있다(Figure 7). 추출된 요인들에 의해 설명되는 변수의 분산을 나타내는 공통성에서는 COD<sub>Mn</sub> 항목이 94.1%의 설명할 수 있다고 나타났다. 그리고 요인들이 가진 변수의 분산 해석할 수 있는 데이터의 설명도를 제시하였다(Table 4). PC1의 고유치는 4.673로 42.477%에 기여하며, PC1 부터 PC3 까지 전체 분산의 72.033%를 설명할 수 있다. Table 5 결과에서 회전 전·후의 주성분 분석 결과의 누적 해석량은 같으나, 각 주성분의 해석량은 서로 다르게 나타나 비교 설명이 가능한 것으로 나타났다. 요인분석의 Varimax 회전 적용 전·후의 추출 주성

분 로딩값을 제시하였다(Table 5). 비회전일 때 로딩 값의 정보로 PC1은 EC, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, TN, TP, TOC, PC2는 유량, 수온, DO, PC3는 pH, SS로 분류되었다. 이러한 결과로 유량과 SS의 경우 서로 다른 요인에 해석되어 원인을 설명하기 위한 데이터 해석이 가능하지 않는 것으로 나타났다. 요인분석 결과의 요인 구조를 명확하기 위하여 Varimax 방식을 적용한 결과 PC3에서 유량, SS, pH가 할당되어 비회전일 때 적용한 결과보다 논리적인 결과로 해석이 가능한 것으로 나타났다. 비회전과 회전분석에 주성분 점수(Score) 공분산 결과 추출된 주성분들은 서로 상관관계가 낮은 것으로 나타났다.

Varimax 방식을 적용한 로딩값의 정보로 임진강 유역의 PC1은 EC, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, TN, TP, TOC로

Table 6. Regression equation using multiple linear regression analysis

Model	Multiple linear regression models
1	$y_1 = -2.373 + 0.00032EC + 0.046BOD_5 + 0.034COD_{Mn} + 0.054TN + 0.806TP + 0.044TOC$
2	$y_2 = -1.845 + 0.061WT - 0.229DO$
3	$y_3 = 10.334 + 0.00103WF - 1.237pH + 0.004SS$

분류되었다. PC2는 수온, DO, PC3는 유량, pH, SS로 분류되었다(Figure 8). 이러한 결과를 바탕으로 임진강 유역의 수질변동 1 요인은 “유기물과 영양염류 지표의 요인”, 2 요인은 “계절에 따른 수온의 변화 요인”, 3 요인은 “유량 변동 및 하천물질대사의 요인”으로 정의할 수 있다. 1 요인의 영향은 도시 지역인 파주시와 양주시 및 동주천시 등에서 유입되는 도시 하수의 영향이 크게 나타난 것으로 해석할 수 있다. 2 요인의 영향은 한강 수계의 북한강 지천의 FA 결과 수온과 DO의 요인 부하량이 높게 나타나 계절적인 원인에 의한 수질변화와 관련이 있는 것으로 보고하였다(Kim et al., 2016). 3 요인은 강우시 유량증가에 의한 부유물질이 하천의 유입되면서 수질에 영향을 주는 것으로 판단된다. FA 후 회전한 요인점수를 바탕으로 다중선형회귀분석을 이용하여 변수 간의 인과 관계를 설명할 수 있는 회귀식을 Table 6에 제시하였다. 회귀식의 통계적 유의성을 검정할 수 있는 one-way ANOVA의 결과 F-통계량의  $p$ -value가 0.05보다 작아 회귀식은 통계적으로 유의하다고 할 수 있다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 TPLMS 시행에 따른 임진강 유역을 대상으로 지점별 시-공간적 수질변화 특성을 분석하였으며, 신뢰성 있는 수질해석을 위하여 통계분석을 적용하였다. 연구결과 임진강 유역의 총량지점별 수질특성은 토지이용 및 주변 환경에 따라 다르게 나타나고 있음을 보여주었다. 산간지역에 상류에 위치한 임진A, 한탄A, 영평A는 오염물질의 농도가 낮은 반면 피혁 및 섬유 공장단지에 위치한 신천A는 유기물과 영양염류 지표 항목이 높게 나타나는 수질특성을 나타냈다. 또한 조석현상에 따른 개흙의 유입으로 하상재료가 점토로 이루어진 문산A는 SS의 농도가

높게 나타났다. 이러한 결과는 군집분석에서도 자연형 하천, 도시형 하천, 점오염원의 영향이 큰 지점 등으로 수질이 유사한 특성을 가진 3개의 군집으로 분석되어 나타났다. 그러나 군집별(그룹별) 지점의 공간적으로 인접하게 분포하거나 동일한 하천에 분포하고 있지는 않았다. 따라서 유역 차원의 하천 관리보다 각 군집(그룹) 유형에 따른 특성화된 관리가 필요할 것으로 판단된다.

임진강 유역은 조사기간 동안 우기와 건기에 따른 수질특성이 뚜렷하게 구분되어 나타났다. 이러한 이유는 기후 및 계절에 따른 강수량의 변화와 강우기 일시에 유입되는 비점오염원 등의 영향으로 판단되며 유량의  $p$ -value가 가장 작으므로 군집 형성에 유량 변수가 가장 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있었다. 임진강 유역의 상관분석 결과 TP와  $COD_{Mn}$ , TOC의 상관계수는 0.653( $p < 0.01$ ), 0.634( $p < 0.01$ )로 양의 상관성을 나타내어 유기물과 영양염류 간접지표 항목 간의 상관성이 유의하게 높았으며 SS는 다른 수질 항목 간의 상관성은 낮게 나타나는 특징을 보였다. 요인분석 결과 임진강의 수질은 유기물 및 영양염류 지표 항목에 의해서 가장 크게 영향을 받는 수역으로 나타났다. 이러한 수역의 수질관리를 위해서는 유역 내에서 유입되는 오염원의 차단과 유입 오염물질 저감 대책이 필요하다고 사료된다. 요인분석 후 요인점수를 이용하여 다중 선형회귀분석에 적용하여 추후 독립변수로부터 종속변수를 예측하기 위한 회귀식을 개발하여 제시하였으며 향후 임진강 총량관리를 위한 과학적이고 합리적인 수질관리 평가를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 사사

본 논문은 한강수계관리위원회의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-

2018-05-01-011, 한강수계 유량 관측망 운영).

## REFERENCES

- Bengraïne K, Marhaba TF. 2003. Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality. *Journal of Hazardous Materials*. 100: 179-195.
- Cho YC, Lee SW, Ryu IG, Yu SJ. 2017. Assessment of spatiotemporal water quality variation using multivariate statistical techniques: A case study of the Imjin River Basin, Korea. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 39(11): 641-649. [Korean Literature]
- Gilbert RO. 1987. *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. New York: Van Nostrand Reinhold. 320.
- Gwak BR, Kim IK. 2016. Characterization of water quality in Changnyeong-Haman weir section using statistical Analyses. *Journal of Korean Society Environmental Engineers*. 38(2): 71-78. [Korean Literature]
- Gyeonggi Research Institute. 2005. Survey on the major streams of northern part in Gyeonggi-do. [Korean Literature]
- Jung SJ, Lee DJ, Hwang KS, Lee KH, Choi KC, Im SS, Lee YH, Lee JY, Lim BJ. 2012. Evaluation of pollutant characteristics in Yeongsan River using multivariate analysis. *Korean Journal of Limnology*. 45(4): 368-377. [Korean Literature]
- Jung KY, Lee KL, Im TH, Lee IJ, Kim SH, Kun YH, Ahn JH. 2016. Evaluation of water quality for the Nakdong River watershed using multivariate analysis. *Environment Technology & Innovation*. 5: 67-82. [Korean Literature]
- Kim JG. 2002. Evaluation of water quality in the Keum River using statistics analysis. *Journal of Environmental Science International*. 11(12): 1281-1289. [Korean Literature]
- Kim MA, Lee JK, Zoh KD. 2007. Evaluation of the Geum River by multivariate analysis: principal component analysis and factor analysis. *Journal of Korean Society on Water Environmental*. 23(1): 161-168. [Korean Literature]
- Kim YY, Lee SJ. 2011. Evaluation of water quality for the Han River tributaries using multivariate analysis. *Journal of Korean Society Environmental Engineers*. 33(7): 501-510. [Korean Literature]
- Kim GH, Jung KY, Yoon JS, Cheon SU. 2013. Temporal and spatial analysis of water quality data observed in lower watershed of Nam River dam. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*. 13(6): 429-437. [Korean Literature]
- Kim SH, Ryu IG, Park MJ, Shin KY, Hwang SH, Cho HS, Lee JK, Lee YJ. 2016. Characteristics of water quality trend using multivariate analysis for the Han River. *Journal of Environmental and Sanitary Engineering*. 31(1): 13-25. [Korean Literature]
- Kim JH, Lee SW, Cha SM. 2016. *Environmental statistics & data analysis*. Hannarae publishing.
- Lee GY, Seo DI. 2015. Analysis in trends and major impact factors of water quality dynamics in the Gab-Cheon River, Daejeon, Korea. *Journal of Korean Society Environmental Engineers*. 37(9): 517-525. [Korean Literature]
- Ministry of Construction and Transportation.

2004. Hydrological observation manual. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2000. Basic policy for the total maximum daily loads in the Han River basin. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2007. Operation and evaluation for water quality and streamflow monitoring network in Han River basin. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2016a. Operation for streamflow monitoring network in Han River basin. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2016b. Standard method for the examination of water pollution. [Korean Literature]
- Noh HJ. 2005. Multivariate analysis theory and practice using spss & excel. Hyungseul publishing networks. pp.87-469. [Korean Literature]
- Park HS, Park CK, Song MK, Back KH, Shin SK. 2001. Evaluation of water quality characteristics using factor analysis in the Nakdong river. Journal of Korean Society on Water Environmental. 17(6): 693-701. [Korean Literature]
- Park JH, Park JD, Rhew DH, Jung DI. 2009. Performance appraisal of total maximum daily loads: performance on development/reduction plan and water quality status of unit watershed. Journal of Korean Society on Water Environmental. 25(4): 750-751. [Korean Literature]
- Park JH, Sohn SM, Rhew DH. 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 Environmental. 27(6): 905-913. [Korean Literature]
- Literature]
- Park JW, Jung JW, Kim DY, Kim KS, Han SW, Kim HO, Lim BJ. 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. [Korean Literature]
- Ravichandran S, Ramanibai R and Punderikanthan NV. 1996. Ecoregions for describing water quality patterns in Tamiraparani basin, South India. Journal of Hydrology. 178: 257-276.
- Rode M, Suhr U. 2007. Uncertainties in selected river water quality data. Hydrology and Earth System Sciences. 11: 863-874.
- Shrestha S, Kazama F. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji River basin, Japan. Environmental Modelling & Software. 22: 464-475.
- Simeonov V, Stratis JA, Samara C, Zachariadis G, Voutsas D, Anthemidis A, Sofoniou M, Kouimtzis T. 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. Water Research. 37: 4119-4124.
- Singh KP, Malik A, Mohan D, Sinha S. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India). Water Research. 38: 3980-3992.
- Water Environment Information System. <http://water.nier.go.kr/publicMain/mainContent.do>
- Xu HS, Xu ZX, Wu W, Tang FF. 2012. Assessment and spatiotemporal variation analysis of water quality in the Zhangweinan River basin, China. Procedia Environmental Sciences. 13: 1641-1652.