

Research Paper

한강 주요지천의 지역적 및 계절적 수질변화

이영준[†] · 박민지 · 손주연 · 박진락 · 김귀다 · 홍창수 · 구동회 · 이종근 · 노창완 · 신경용 · 유순주

국립환경과학원 한강물환경연구소

Spatial and Seasonal Water Quality Variations of Han River Tributries

Young Joon Lee[†] · Minji Park · Juyeon Son · Jinrak Park · Geeda Kim · Changsu Hong ·
Donghoi Gu · Joonggeun Lee · Changwan Noh · Kyung-Yong Shin · Soon-Ju Yu

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

요약 : 지표수의 수질은 음용수, 농업용수, 공업용수 등과 같이 다양한 용도로 이용하기 위해서 아주 중요하다. 다양한 수질변수들에 대한 정기적인 수질조사가 실시되고 있으며 정확하고 효과적인 분석 및 해석이 수반되어야 한다. 본 연구의 목적은 다변량 분석방법을 이용하여 지역적 및 계절적 수질변화를 평가하는데 있다. 2012년부터 2016까지 5년간 12개 조사지점에 대하여 유량(flow)과 수질항목(water temperature, pH, EC, DO, BOD, COD, SS, TN, TP 및 TOC)을 조사 분석하였다. 계절적 수질변화에서는 봄과 겨울의 BOD, TN, TP 및 TOC 평균농도가 여름 및 가을에 비하여 높게 조사되었다. 유량 및 SS의 평균농도가 다른 계절에 비하여 여름이 높았다. 상관분석에서 EC는 BOD($r=0.857$), COD($r=0.854$), TN($r=0.899$) 및 TOC($r=0.910$)와 높은 상관성을 나타냈다. 주성분분석에서 요인 1은 TP, DO 및 pH를 포함하며 32.0%, 요인 2는 EC 및 TN을 포함하며 26.0%, 요인 3은 SS를 포함하며 18.0%의 기여율을 보였고, 요인 4는 유량을 포함하며 12.0%, 요인 5는 수온을 포함하며 10.0%를 보였다. 5개의 요인은 전체 수질변동 특성의 98.0%를 설명할 수 있었다. 안양천, 왕숙천, 중랑천 및 탄천은 유기오염물질의 영향을 받는 것으로 조사되었다. 군집분석에서 조사지점에 대한 계절적 차이를 도출하였으며, 또한 군집분석 결과는 주성분분석 결과 해석을 더 잘 설명하게 되었다.

주요어 : 상관분석, 군집분석, 주성분분석, 한강지천

First Author & Corresponding Author: Young Joon Lee, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Tel: +82-31-770-7220, E-mail: 8djoon@hanmail.net

Co-Author: Minji Park, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Tel: +82-31-770-7220, E-mail: iamg79@korea.kr
Juyeon Son, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Tel: +82-31-770-7220, E-mail: sorak80@korea.kr
Jinrak Park, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Tel: +82-31-770-7286, E-mail: jr2561@korea.kr
Geeda Kim, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Tel: +82-31-770-7220, E-mail: geeda3@korea.kr
Changsu Hong, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Tel: +82-31-770-7232, E-mail: revival615@korea.kr
Donghoi Gu, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Tel: +82-31-770-7224, E-mail: gdh1233@korea.kr
Joonggeun Lee, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Tel: +82-31-770-7224, E-mail: jglee8772@korea.kr
Changwan Noh, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Tel: +82-31-770-7220, E-mail: ace-wany@korea.kr
Kyung-Yong Shin, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Tel: +82-31-770-7220, E-mail: love4sky@korea.kr
Soon-Ju Yu, Han-River Environment Research Center, Gyeonggi-do 12585, Tel: +82-31-770-7201, E-mail: ysu1221@korea.kr

Received: 22 October, 2017. Revised: 21 November, 2017. Accepted: 28 November, 2017.

Abstract : The quality of surface water is a very important issue to use various demands like as drinking water, industrial, agricultural and recreational usages. There has been an increasing demand for monitoring water quality of many rivers by regular measurements of various water quality variables. However precise and effective monitoring is not enough, if the acquired dataset is not analyzed thoroughly. Therefore, the aim of this study was to estimate differences of seasonal and regional water quality using multivariate data analysis for each investing tributaries in Han River. Statistical analysis was applied to the data concerning 11 mainly parameters (flow, water temperature, pH, EC, DO, BOD, COD, SS, TN, TP and TOC) for the time period 2012~2016 from 12 sampling sites. The seasonal water quality variations showed that each of BOD, TN, TP and TOC average concentration in spring and winter was higher than that of summer and fall, respectively. In summer each flow rate and average concentration of SS was higher than any other seasons, respectively. The correlation analysis were explained that EC had a strong relationship with BOD ($r=0.857$), COD ($r=0.854$), TN ($r=0.899$) and TOC ($r=0.910$). According to principal component analysis, five principal components (Eigenvalue > 1) are controlled 98.0% of variations in water quality. The first component included TP, DO, pH. The second component included EC, TN. The third component included SS. The fourth component included flow. The last component included Temp. Cluster analysis classified that spring is similar to fall and winter with water quality parameters. AnyA, WangsA, JungrA and TancA were identified as affected by organic pollution. Cluster analysis derived seasonal differences with investigating sites and better explained the principal component analysis results.

Keywords : Correlation analysis, Cluster analysis, Principal component analysis, Han River tributaries

I. 서론

강 및 호소의 수질은 도시화, 공업화, 농업화 및 물 소비형태의 변화와 같은 인위적인 영향을 받을 뿐 아니라 강우변화, 토양의 침식 및 풍화 등과 같은 자연적 과정에 의해서도 영향을 받는다. 수자원을 음용수, 공업용수, 농업용수 및 위락시설 등의 이수목적으로 다양하게 사용하기 위해서 수자원 보전을 위한 계속적인 관심과 노력을 하고 있다(Carpenter et al, 1998; Jarvie et al, 1998).

수질상태의 악화 및 개선 등에 대한 판단은 물리적, 화학적 및 생물학적으로 환경오염물질들에 대한 체계적인 측정을 통하여 수질 상태가 결정되므로 수질 환경보전을 위한 주요정책 중의 하나로 수질모니터링사업이 중요하게 다루어져 왔다. 그러나, 지금까지 측정지점과 측정빈도수의 증가와 물리화학적 수질모니터링 측정항목의 증가로 많은 수질조사 자료를 확보하였지만, 수질은 공간적 및 시간적으로 변화하기

때문에 정확한 수질을 해석하는데 많은 어려움이 있다(Simeonov et al, 2003; Sargaonkar & Deshpande 2003). 따라서 수계의 효율적이고 체계적인 수질관리를 위해서는 조사대상수역의 장기적 및 체계적인 조사가 필요하며, 수질에 영향을 미치는 다양한 변수를 도출하고 분석하여 수질변동의 특성에 대하여 신뢰할 수 있는 해석과 예측방법이 필요한 실정이다(Dixon & Chiswell 1996; Simeonov et al, 2003).

다양한 통계해석기법을 적용한 수질변동에 관한 연구가 국내·외적으로 많이 이루어지고 있다(Jung et al, 2012). 국내의 경우 호소 및 하천의 수질특성 평가를 위해 요인분석 및 군집분석을 이용하여 만경강 수계, 금강 및 낙동강의 상수원수에 대해 수질특성을 평가한 선행연구가 있고(Oh et al, 2004; Kim et al, 2007a), 영산강, 섬진강, 한강 및 금강을 대상으로 상관분석 또는 주성분분석 및 요인분석과 같은 다변량분석을 이용하여 수질특성과 계절에 따른 수

Table 1. Sampling sites for this study

Stream	Sampling site	Mark
Gapyeong	Eupnae-ri, Gapyeong-eup, Gyeonggi-do (Gapyeong bridge)	GapyA
Soyang	Gosa-ri, Inje-eup, Gangwon-do (Mumyeong bridge)	SoyA
Inbuk	Deuksan-ri, Inje-eup, Gangwon-do (Livingstone bridge)	InbA
Gulpo	Sangya-dong, Gaeyang-gu, Incheon (Gulpo2 bridge)	GulpA
Hongcheon	Magok-ri, Hongcheon-eup, Gangwon-do (Chungui bridge)	HongcA
Jojong	Cheongpyeong-ri, Gyeonggi-do (Cheongpyeong bridge)	JojA
Kyeongan	Seoha-ri, Chowol-eup, Gyeonggi-do (Seoha bridge)	KyeongaB
Wangsuk	Topyeong-dong, Guri-si, Gyeonggi-do (down Guri STP)	WangsA
Tancheon	Bokjeong-dong, Seongnam-si, Gyeonggi-do (Daewang bridge)	TancA
Jungrang	Dobong-dong, Dobong-gu, Seoul (Sangdo bridge)	JungrA
Anyang	Guro-dong, Guro-gu, Seoul (Ogeum bridge)	AnyA
Gongreung	Hajiseok-ri, Paju-si, Gyeonggi-do (Gongreung cheon bridge)	GongrA

질특성 차이를 함께 평가한 선행연구가 있다(Kim et al., 2007b; Kim & Lee 2011; Jung et al., 2012; Park et al., 2014). 국외의 경우에도 많은 연구자들의 연구가 있는데 Dixon과 Chiswell (1996)은 여러 가지 수질오염항목에 대한 조사를 지난 수십년 동안 수행하여 왔지만 수질의 시간적 및 공간적 변화 때문에 지표수 수질해석을 위한 방법이 필요하다고 제시하였고, 군집분석(Cluster analysis), 주성분분석(Principal component analysis) 등과 같은 다변량 통계방법을 적용하여 복잡한 수질자료의 해석을 이해하는데 활용하였다(Simeonov et al., 2003; Zhou et al., 2007; Magyar et al., 2013).

본 연구는 5년간 측정 조사된 자료에 대하여 상관 분석, 군집분석, 주성분분석과 같은 통계분석방법을 이용하여 수질오염물질의 상관성, 분포특성, 조사대상 지천간의 공간적 및 계절적 변화특성을 조사 및 평가하였다.

II. 재료 및 방법

1. 수질자료 및 분석

본 연구에서는 가평천 등 12개 지천에 대하여 8일 간격으로 유량 등을 조사하였으며 해당 하천명 및 조사지점은 Table 1에 요약하였다. 각 측정지점에 대하여 5년간(2012. 01~2016. 12) 조사한 유량 및 수질 자료를 이용하였다. 수온(Water temperature), pH,

Table 2. Water quality parameters and analytical methods

Parameters	Analytical method	Unit
Flow	Current meter	m ³ sec ⁻¹
Temp.	Temperature probe	°C
pH	pH probe	
EC	Conductometry	μscm ⁻¹
DO	DO probe	mgL ⁻¹
BOD	Winkler azide method	mgL ⁻¹
COD	Potassium permanganate method	mgL ⁻¹
SS	Gravimetric	mgL ⁻¹
TN	Spectrophotometry	mgL ⁻¹
TP	Spectrophotometry	mgL ⁻¹
TOC	High temperature combustion oxidation	mgL ⁻¹

전기전도도(EC), 용존산소(DO) 및 유량(Flow)은 현장에서 측정 분석하였다. 생물화학적산소요구량(BOD), 화학적산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총질소(TN), 총인(TP) 및 총유기탄소(TOC) 등 6개 항목은 측정지점에서 시료를 채수하여 실험실에서 분석하였다. 유량측정은 국토교통부 수문관측매뉴얼을 따랐다. 시료의 채취방법 및 분석방법은 환경부 수질오염 공정시험 기준(MOE, 2011)에 준하여 분석하였다. 각 조사항목에 대한 세부분석방법은 Table 2에 정리하였다.

2. 수질특성 분석 및 통계분석

조사지천의 수질변동 특성을 알아보기 위해 2012

년부터 2016년까지 실측된 11개 수질항목에 대해 지점별로 5년간의 평균값을 계산하여 결과 해석에 이용하였다. 또한 계절별 수질변동 특성을 비교분석하기 위해서는 각 수계별 자료를 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월) 및 겨울(1~2월, 12월)로 구분하여 구간별 측정값을 이용하였다.

상관분석은 수질항목들 간에 가지고 있는 선형관계를 수치적으로 나타내기 위한 분석방법이며, 결과값은 비모수적인 방법인 Spearman 상관계수(Spearman correlation coefficient: r)를 이용하였으며 상관계수(r)의 값이 0에 가까울수록 상관관계가 낮다고 할 수 있고, 1 혹은 -1에 가까울수록 두 변수들간에 양의 혹은 음의 상관관계가 높음을 의미한다. 정규성 검정은 변환 전후의 변수값에 대하여 Shapiro Wilk test를 이용하여 실시하였으며 검정결과 유의확률(p)값이 0.05보다 크면 정규성 분포로 판정하였다(Kumar et al., 2006). 또한 Kaiser-Meyer-Olkin(KMO) 및 Bartlett's Sphericity tests를 하여 정규성 검증을 하였다. KMO 값이 1에 가까우면 변수들에 대한 주성분분석이 적절하다고 하고, 0.5보다는 커야 만족스러운 요인분석이 가능하다고 평가하는데, 본 연구에서는 0.78이었다. Bartlett's Sphericity tests 결과값이 유의수준 0.05보다 작으면 귀무가설을 기각할 수 있는데, 본 연구에서는 귀무가설을 충분히 기각할 수 있는 수준인 0이었다.

군집분석은 군집분석을 위해 자료는 평균 0, 표준편차 1을 갖는 Z-scale 표준화(Standardization)하여 수질오염물질들간에 분산의 차이에 따른 영향을 줄여주며 변수들간의 크기 조정을 해주므로 요인의 설명력을 높여주는 것으로 보고되고 있다(Simeonov et al., 2003; Liun et al., 2003). 군집분석의 목적은 조사지점들 간의 시간적 및 공간적 요인 변화에 대한 유사성 및 상이성을 파악하기 위해 실시하였다. 군집분석 방법은 유사성의 측정을 유클리드 제곱거리(Squared euclidean distances)로 판정이 용하는 Ward's method를 적용하였으며, 그 결과는 dendrogram으로 나타내었다(Forina et al., 2002; Zhao et al., 2011).

주성분분석은 관찰변수들 간의 상관관계를 이용하

여 공통적으로 포함된 내재요인(Common factor)을 추출하고 차원을 감소시켜 공통요소들이 전체 자료를 대변할 수 있도록 하나의 동질적인 요인으로 묶어주는 통계분석 방법이다(Jung et al., 2012). 추출된 요인에 대한 고유치(Eigenvalue)는 요인이 설명할 수 있는 변수의 분산 크기를 나타내며(Singh et al., 2005; Park et al., 2014), 고유치가 1보다 크면 하나의 요인이 변수 1개 이상을 설명할 수 있다는 의미이다. 따라서 고유치가 1 이상인 것을 기준으로 하고, 그 기준에 부합하는 요인을 주요인으로 추출하였다(Kim & Mueller 1987). 또한 여러 요인이 관찰변수들과 명확히 할당되도록 회전(Rotation)을 하였고, 회전하는 방법에는 직교(Orthogonal)회전과 사각(Oblique)회전이 있으며, 사각회전은 요인끼리 correlation을 허용하는 회전이므로 요인들의 의미 파악 및 해석이 비교적 용이하도록 직교회전을 하였다. 직교회전 방식으로는 Varimax, Quartimax, Equimax, Parsimax과 Orthomax이 있으며 본 연구에서는 분산의 합계를 최대한 높게하여 변수의 수를 줄여주어 결과해석을 단순화하게 하는 Varimax 회전법을 적용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수질자료의 계절별 및 지역적 특성

계절별 수질 변동특성을 조사하기 위해 실측된 11개 수질항목에 대하여 봄(3월~5월), 여름(6월~8월), 가을(9월~11월), 겨울(12월, 1월, 2월)의 기간으로 나누어서 자료를 분석하였다. 수질조사항목에 대한 통계자료를 Table 3에 정리하였다. 또한 지역적 5년 평균 수질농도는 Table 4과 같다.

수질의 계절별 변동추이를 Figure. 1, 2 및 3에 도식화하여 나타내었다. 유량(m^3/s)의 계절별농도(범위, 평균) 변화범위는 봄(117.0~0.407, 8.025), 여름(1047.1~0.075, 18.270), 가을(219.9~0.205, 8.661), 겨울(39.9~0.320, 5.084)로 조사되었다. BOD(mg/L)의 계절별 농도(범위, 평균) 변화는 봄(41.4~0.2, 4.2), 여름(34.9~0.1, 3.5), 가을(40.2~0.2, 2.0), 겨울

Table 3. Statistics of water quality parameters

Items		Flow	Temp	pH	EC	DO	BOD	COD	SS	TN	TP	TOC
Spring	Mean	8.025	15.3	7.8	350	10.5	4.2	7.1	9.7	6.891	0.255	4.7
	Median	5.274	18.4	7.8	379	10.1	1.9	5.7	5.7	4.833	0.087	3.9
	SD	16.4	6.0	0.5	230	2.3	2.8	2.8	11.4	3.9	0.3	2.1
	Min.	0.407	0.0	6.2	50	1.4	0.2	1.4	0.3	1.300	0.003	0.9
	Max.	117.0	27.6	9.6	1050	17.7	41.4	41.5	229	34.470	4.370	33.7
Summer	Mean	18.270	25.6	8.0	316	9.1	3.5	6.6	15.4	4.823	0.194	4.3
	Median	5.223	18.5	7.8	383	10.2	1.9	5.8	5.8	4.833	0.090	3.9
	SD	10.4	5.8	0.6	227	2.3	4.4	4.7	12.4	5.3	0.5	3.5
	Min.	0.075	15.8	6.3	42	1.3	0.1	1.6	0.9	0.399	0.007	1.0
	Max.	1047.1	34.0	9.4	1508	19.7	34.9	26.5	520	18.516	2.330	21.9
Fall	Mean	8.661	16.7	7.9	354	10.3	2.0	5.0	6.2	5.471	0.179	3.4
	Median	5.139	18.4	7.8	388	10.2	2.0	5.8	5.8	4.953	0.090	4.0
	SD	52.4	2.8	0.6	197	2.2	3.8	3.7	35.6	3.6	0.3	2.6
	Min.	0.205	1.6	6.1	44	3.7	0.2	1.4	0.1	0.806	0.003	0.5
	Max.	219.9	29.1	9.2	1623	18.0	40.2	27.9	204	18.090	2.590	18.4
Winter	Mean	5.084	5.9	7.7	470	12.0	4.7	7.5	9.6	9.390	0.303	5.1
	Median	5.145	18.4	7.8	387	10.2	2.0	5.8	5.8	4.953	0.090	4.0
	SD	4.2	3.7	0.5	252	2.7	5.8	4.6	20.3	5.7	0.5	2.6
	Min.	0.320	0.0	6.5	69	2.7	0.2	1.4	0.1	1.495	0.003	0.7
	Max.	37.9	14.2	9.1	1377	17.3	66.7	36.8	224	28.650	3.090	41.2

Table 4. Mean concentrations of water quality data for investigating tributaries

Site	Flow (m ³ /s)	Temp. (°C)	pH	EC (μS/cm)	DO (mg/L)	BOD5 (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TOC (mg/L)
Soyang	22.556	15.1	8.2	93	10.9	0.6	2.9	4.4	2.362	0.016	1.6
Inbuk	19.241	15.2	8.2	89	11.3	0.7	3.1	12.0	1.670	0.04	1.8
Gapyeong	8.395	16.9	8.3	163	10.3	0.9	3.2	3.8	2.472	0.018	1.9
Hongcheon	26.570	15.4	8.3	145	10.6	0.9	3.3	4.6	2.568	0.021	1.7
Jojong	5.161	16.9	8.3	165	11.5	1.1	3.2	5.9	2.456	0.025	1.9
Kyeongan	10.021	15.5	8.2	373	11.0	2.7	5.9	10.5	4.510	0.064	3.8
Wangsuk	7.182	17.8	7.4	487	9.4	4.5	7.9	11.2	8.933	0.322	5.6
Tancheon	9.989	19.6	7.6	487	10.4	6.3	9.6	12.3	7.731	0.388	6.5
Jungrang	3.362	18.8	7.5	463	10.5	4.3	7.5	13.7	8.290	0.209	5.2
Anyang	5.006	18.6	7.6	680	8.7	5.8	9.8	10.3	14.166	0.244	6.9
Gulpo	9.014	19.4	6.9	555	6.6	6.1	10.3	10.9	12.593	1.051	7.1
Gongreung	4.716	17.2	7.9	535	11.3	6.3	9.8	22.1	5.988	0.203	6.4

(66.7 ~ 0.2, 4.7)로 조사되었다. SS(mg/L)의 계절별 농도(범위, 평균) 변화는 봄(229.0~0.3, 9.7), 여름(520.0~0.9, 15.4), 가을(204.0~0.1, 6.2), 겨울(224.0~0.1, 9.6)로 조사되었다. TN(mg/L)의 계절별 농도(범위, 평균) 변화는 봄(34.470~1.300, 6.891),

여름(18.516~0.399, 4.823), 가을(18.090~0.806, 5.471), 겨울(28.650~1.495, 9.390)이었으며, TP(mg/L)의 계절별 농도(범위, 평균) 변화 범위는 봄(4.370~0.003, 0.255), 여름(2.330~0.007, 0.194), 가을(2.590~0.003, 0.179), 겨울(3.090~0.003,

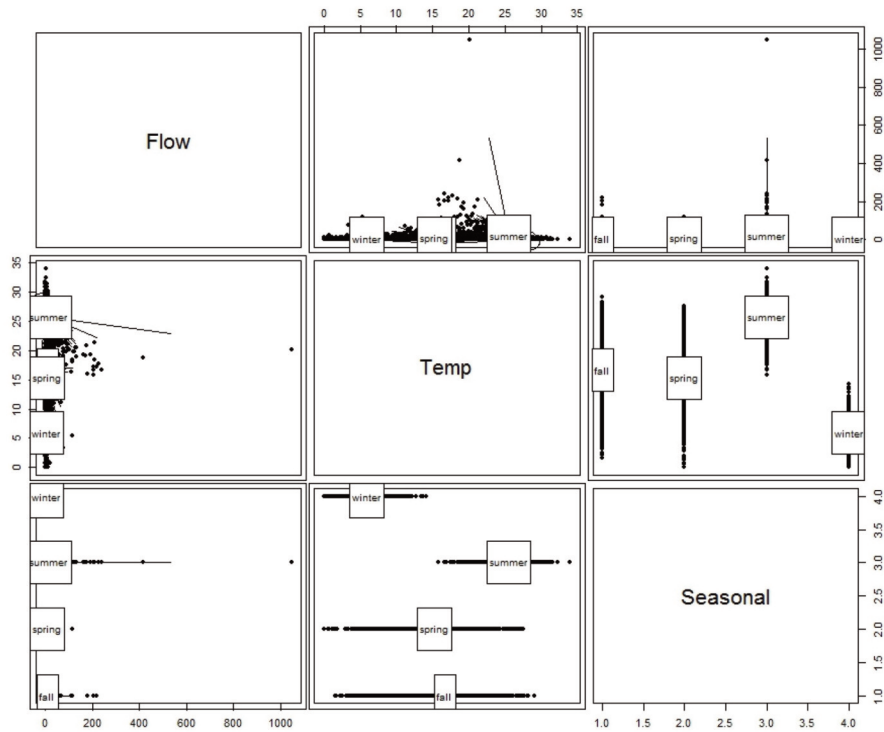


Figure. 1. Seasonal variations of Flow (m³/sec) and Temperature (°C).

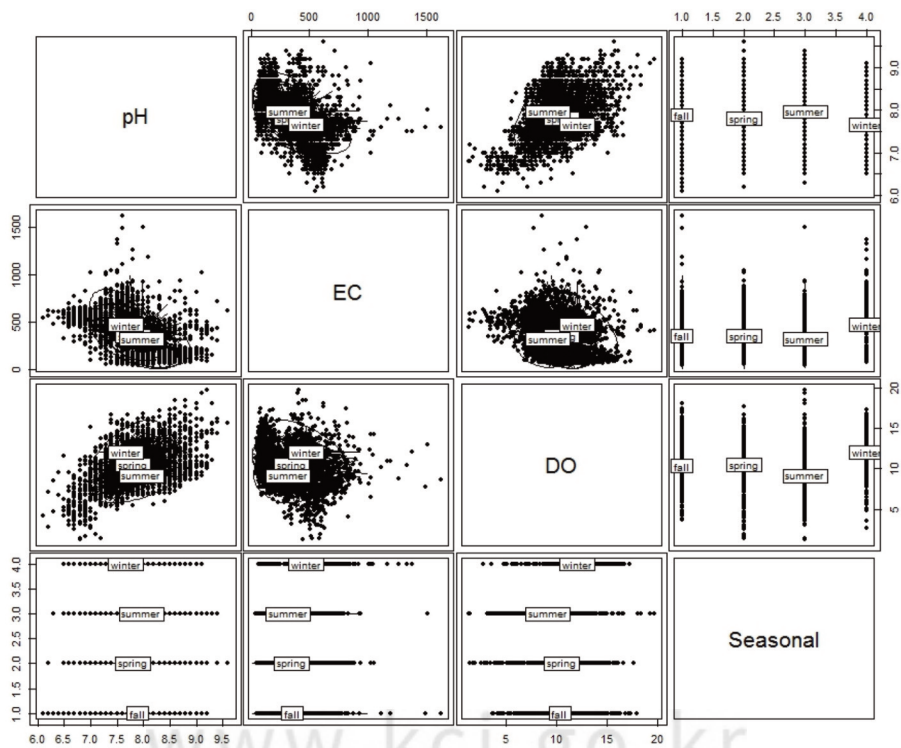


Figure. 2. Seasonal variations of pH, EC (µs/cm) and DO (mg/L).

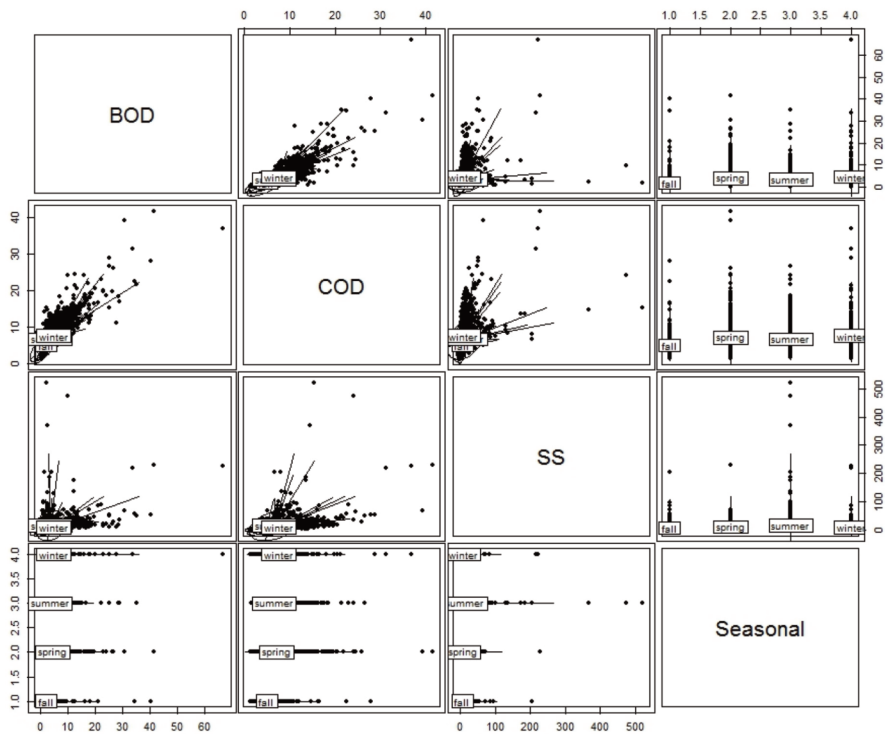


Figure 3. Seasonal variations of BOD, COD and SS concentration (mg/L).

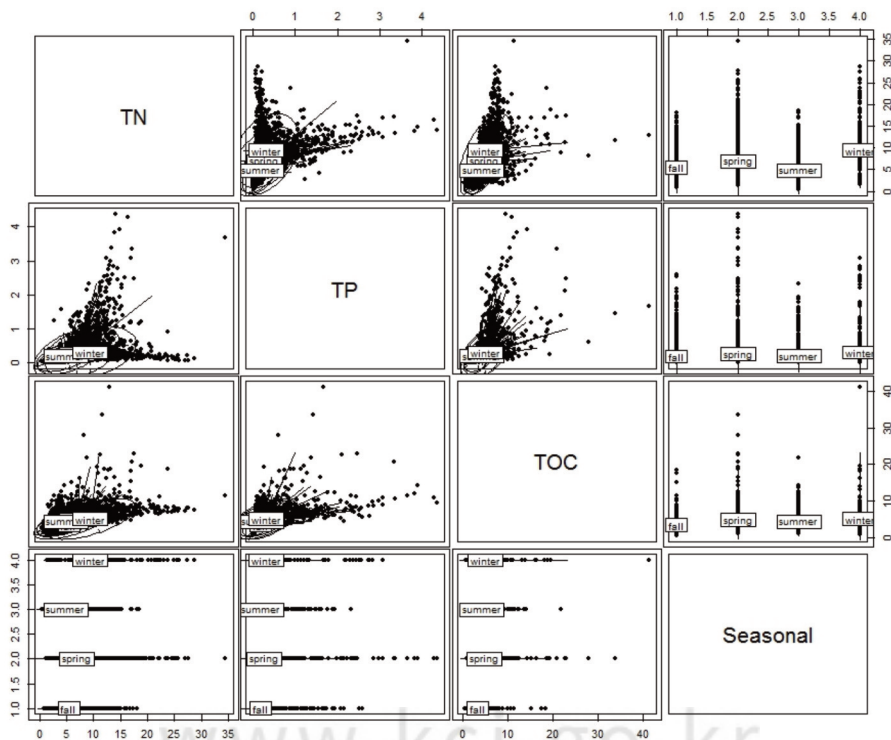


Figure 4. Seasonal variations of TN, TP and TOC concentration (mg/L).

Table 5. Correlation coefficient matrix of water quality data (Spearman correlation coefficients, r)

	Flow	Temp	pH	EC	DO	BOD	COD	SS	TN	TP	TOC
Flow	1.000										
Temp	-0.599**	1.000									
pH	0.246	-0.475**	1.000								
EC	-0.592**	0.716**	-0.684**	1.000							
DO	0.100	-0.580**	0.689**	-0.641**	1.000						
BOD	-0.473**	0.555**	-0.671**	0.857**	-0.487**	1.000					
COD	-0.340*	0.494**	-0.730**	0.854**	-0.516**	0.947**	1.000				
SS	-0.250	0.167	-0.461**	0.496**	-0.120	0.723**	0.758**	1.000			
TN	-0.417**	0.596**	-0.815**	0.899**	-0.736**	0.826**	0.839**	0.452**	1.000		
TP	-0.278*	0.463**	-0.836**	0.791**	-0.582**	0.899**	0.938**	0.744**	0.847**	1.000	
TOC	-0.447**	0.641**	-0.708**	0.910**	-0.608**	0.939**	0.939**	0.680**	0.862**	0.884**	1.000

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

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

0.303)로 나타났다. 또한, TOC(mg/L)의 계절별 농도(범위, 평균) 변화 범위는 봄(33.7~0.9, 4.7), 여름(21.9~1.0, 4.3), 가을(18.4~0.5, 3.4), 겨울(41.2~0.7, 5.1)로 나타났다.

봄철 및 겨울철의 TN 및 TP 농도가 여름철이나 가을철에 비하여 높게 조사되었다. 봄철 및 겨울철에는 농경활동과 산림의 지표면에 축적되어 있던 유기물질 및 인과 같은 영양염류 물질이 포함된 부유물질이 봄 강우 혹은 눈에 의한 강설 영향으로 인해 지천으로 유입되고 이 시기는 통상 저수기, 갈수기 시기 이므로 유입량이 수질에 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 여름철은 일시적으로 강우로 인한 유속증가에 의해 SS의 평균농도 및 최고농도가 높게 조사되었으며, 유기오염물질 및 영양염류 농도가 유량에 의해 수질농도가 다소 희석되는 것으로 추측되었다. 가을철에는 다른 계절에 비해 전반적으로 오염물질의 농도가 낮게 조사되었다. BOD, TOC의 평균농도 및 최고농도는 봄철 및 겨울철이 여름이나 가을철에 비해 높게 조사되었다. 이 시기에는 강우량이 적은 반면 조사지역 중 일부 지천은 인구밀도가 높은 도심지역에 위치하고 있어 다양한 오염원이 일정하게 하천으로 유입되기 때문인 것으로 추측되었다.

2. 상관관계

조사대상 지천의 변수간의 관계를 통한 수질특성

파악을 위해 수질 조사항목들에 대하여 상관분석을 하였고 그 결과는 Table 5에 나타내었다.

하천의 유량(Flow)과 조사대상 수질오염항목들간의 상관성은 전반적으로 모두 낮은 상관성을 보였다. 유량과 수온 및 EC는 각각 $r=-0.599$, $r=-0.592$ 로 음의 상관관계를 보였다. 수온은 DO($r=-0.580$) 및 pH($r=-0.475$)와 음의 상관성을 보였고, 다른 항목들과는 양의 상관관계를 나타냈다. pH는 DO 및 유량과는 양의 상관성을 나타냈지만, TP($r=-0.836$) 등 다른 항목들과는 음의 상관관계를 나타냈다. 일반적으로 수온 및 pH는 물리학적, 화학적 및 생화학적 으로 환경에 중요한 영향을 주는 항목이므로 수온 및 pH변화에 따라 직접적 혹은 간접적으로 수질오염항목들이 변화하고 있다고 판단되었다. EC는 BOD($r=0.857$), COD($r=0.854$), TN($r=0.899$), TOC($r=0.910$)와 높은 상관성이 있었다(Table 4). BOD는 COD($r=0.947$), TN($r=0.826$), TP($r=0.899$), TOC($r=0.939$)와 매우 높은 상관관계를 보이고, COD는 TOC($r=0.939$)와는 물론 TN($r=0.839$), TP($r=0.938$)와도 상당히 높은 상관관계를 보였다. Table 4에서 SoyA 및 InbA 조사지점은 상대적으로 BOD에 비해서 COD의 농도가 높았다. 이들 지점은 산림 등에 의한 비점오염원 기원의 유기오염물질의 영향을 받는 지역으로 Barakata et al. (2016)의 연구결과에서도 이러한 특성의 지점에서는 BOD 및 COD 간의 상관

Table 6. Loadings of experimental variables on principal components

Component	Total	% of Variance	Cumulative %
PC1	3.53	0.32	0.32
PC2	2.82	0.26	0.58
PC3	2.03	0.18	0.76
PC4	1.37	0.12	0.88
PC5	1.08	0.10	0.98

Table 7. Principal component matrix

	Flow	Temp.	pH	EC	DO	BOD	COD	SS	TN	TP	TOC
PC1	-0.08	0.48	-0.79	0.37	-0.89	0.39	0.44	0.04	0.58	0.92	0.47
PC2	-0.25	0.38	-0.34	0.75	-0.43	0.62	0.63	0.23	0.70	0.17	0.64
PC3	-0.27	0.09	-0.25	0.49	0.06	0.52	0.51	0.95	0.15	0.21	0.47
PC4	-0.91	0.29	-0.22	0.31	0.02	0.26	0.24	0.22	0.27	0.10	0.25
PC5	-0.17	0.73	-0.32	0.21	-0.10	0.34	0.28	0.03	0.21	0.22	0.29

성이 낮았다. TN은 TP($r=0.847$) 및 TOC($r=0.862$)와 매우 높은 상관관계를 보이고, TP는 TOC($r=0.884$)와 높은 상관관계를 나타내어 영양염류는 유기물질과 함께 유입되고 있다고 판단할 수 있었다.

3. 수질오염물질의 주성분분석

12개 조사지점의 BOD 등 11개 수질항목에 대한 수질오염물질간에 오염원 배출원인 관계를 파악하기 위하여 상관관계에 근거한 주성분분석을 하였다. 11개의 수질항목의 요인에 대한 고유치와 수질에 미치는 기여율을 정리하여 Table 6에 나타내었으며, 그 중에서 고유치가 1보다 큰 요인을 주요인으로 추출한 후 각 수질항목이 가지는 주성분분석 결과를 Table 7에 정리하였다. 본 연구에서는 BOD, COD 및 TOC는 유기오염물질 요인으로, 전기전도도, TN 및 TP 등은 영양염류 요인으로, 유량, 수온, pH, DO, SS 등은 강수량 영향 등 자연적인 수질변동 요인으로 구분하여 해석하였다. 또한, 요인부하량의 크기에 따라 강(strong)(>0.75), 중(moderate) ($0.75\sim0.50$) 및 약(weak)($0.50\sim0.30$) 나누어 요인부하요인을 해석하였다(Liun et al. 2003).

조사지점에 대하여 5개의 수질변동 요인이 추출되었으며, 요인 1은 32.0%, 요인 2는 26.0%, 요인 3은

18.0 %의 기여율을 보였고, 요인 4는 12.0%, 요인 5는 10.0%를 보였다. 5개의 요인은 전체 수질변동 특성의 98.0%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다.

요인 1은 TP 및 TN는 각각 강한 혹은 중간 정도의 요인부하량을 나타냈으며, TOC, COD, BOD 및 EC는 약한정도의 양(positive)의 요인부하량을 보였으며, DO 및 pH는 강한 음(negative)의 요인부하량을 보였다. 요인 2에서는 EC의 영향이 크며, TN, TOC, COD 및 BOD도 중간정도의 요인부하량을 보였다. DO, Temp 및 pH는 약한 음의 요인부하량을 보였다. 요인 3은 SS가 강한 양의 요인부하량, BOD 및 COD가 중간 정도의 요인부하량 EC 및 TOC는 약한 요인부하량을 보였다. 요인 4는 EC가 약한 양의 요인부하량을 보였고, 유량은 강한 음의 요인부하량을 나타내었다. 요인 5는 Temp가 중간 정도의 요인부하량, BOD는 약한정도의 양의 요인부하량, pH는 약한 음의 요인부하량을 보였다.

4. 조사지점의 군집분석

군집분석(Hierarchical cluster analysis)은 수질오염물질요인 및 지역요인의 유사성과 그룹화를 나타내는데 이용하였다(Vega et al. 1998). 봄철 및 여름철 각 조사지점간 수질오염물질의 유사성에 따라

Figure 5 및 6과 같이 분류되었다.

봄철의 그룹 1은 SoyA, InbA, HongcA, GapyA, JojA 및 KyeongaB 측정지점을 포함하고 있으며 SoyA, InbA 및 HongcA 지점은 산림이 많아 자연적인 오염영향과 최근 개발되고 있는 위락시설 등에 따

른 인위적인 영향으로 전반적으로 오염영향이 낮고, KyeongaB, GapyA 및 JojA 지점은 인구와 산업체 밀도가 낮은 지역이지만 비교적 대도시에 근접하고 있어 도심 소비형 농업활동, 소규모 산업체 및 위락 산업 등이 공존하여 측정지점의 수질오염에 영향을

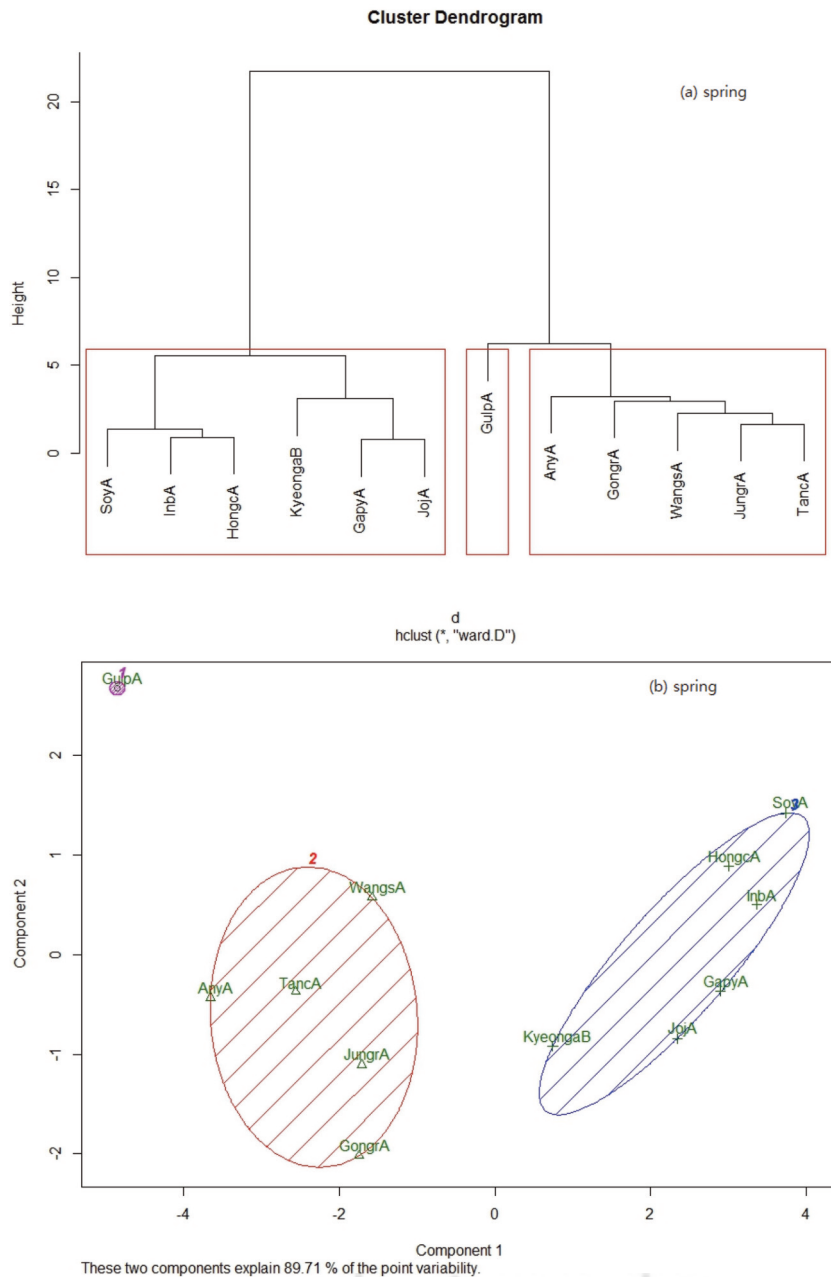


Figure 5. Dendrogram (a) based on hierarchical clustering (ward's method), and cluster plot (b) for sampling sites in spring.

주는 유역특성이 있다. 그룹 2는 한강 하류지역의 GulpA를 포함하며 이곳의 수질오염은 농업경작지역의 개발에 따른 급속한 소규모 및 복합산업단지의 발달로 인한 수질오염원의 영향을 받는 유역이다. 그룹 3은 AnyA, GongrA, WangsA, JungrA 및 TanCA

지점을 포함하고 있으며 GongrA 지역은 소규모 축산 및 농업영향 등의 영향을 받는 지역이다. AnyA, WangsA, JungrA 및 TanCA 유역은 인구밀도가 상당히 높고 소규모 공장이 많이 입지해 있는 특성을 갖고 있으며, 도시하수처리장이 주변에 있기 때문에

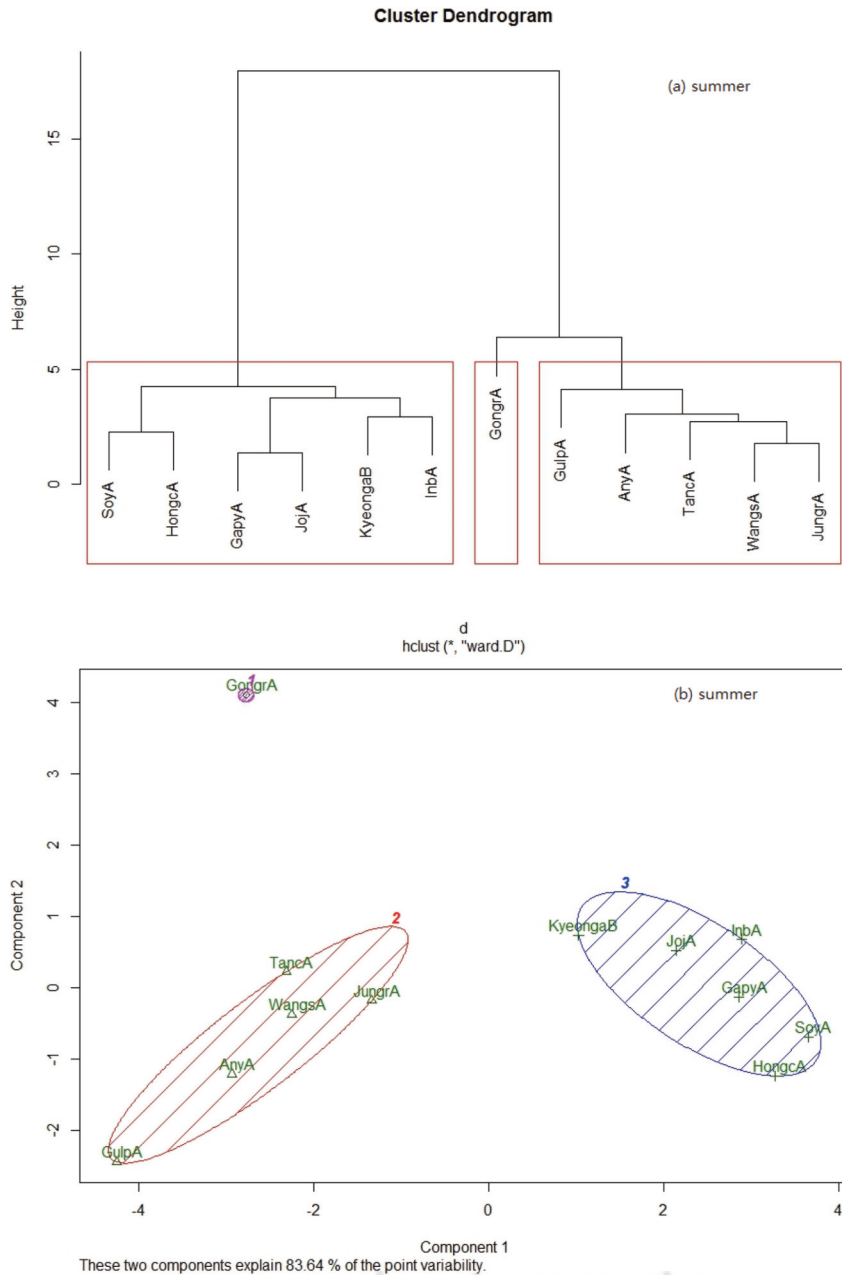


Figure. 6. Dendrogram (a) based on hierarchical clustering (ward's method), and cluster plot (b) for sampling sites in summer.

하수처리장 방류수가 하천수질에 영향을 주는 지역이다(Figure 5). Table 4에서 보는 바와 같이 그룹 1은 유량이 많은 유역이다. 그룹 2는 BOD, COD 및 TOC의 5년 평균 농도가 비교적 높은 유역이다. 그룹 3은 Temp, EC, TN 및 TP이 높은 지역이다. 가을철 및 겨울철에 대한 각 조사지점에서의 dendrogram이 봄철과 유사한 그룹으로 분류되었다. 여름철의 그룹 1은 SoyA, HongcA, InbA, GapyA, JojA 및 KyeongaB를 포함하며, 그룹 2는 GongrA 지점, 그룹 3은 GulpA, AnyA, WangsA, JungrA 및 TancA를 포함하여 분류되었다(Figure 6). GongrA 지점의 BOD, COD 및 TOC 여름철의 5년 평균농도는 각각 7.7 mg/L, 11.0 mg/L, 7.0 mg/L로 조사되어 이것은 5년 평균보다 높으며, 또한 여름철의 SS는 30.3 mg/L로 5년 평균보다 2배이상 높게 조사되어 이 지역은 특히 여름철에 농경지 등으로부터의 토양유실이 많은 유역으로 판단되었다(Table 4 참조).

IV. 결 론

한강수계 내 12개 지천을 대상으로 5년간(2012~2016)의 조사지점별 BOD 등 11개 수질항목에 대한 계절적 및 공간적 수질변화 특성 조사를 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

수질의 계절별 변화는 봄철 및 겨울철의 BOD, TN, TP 및 TOC 농도가 여름철 및 가을철에 비하여 높게 조사되었다. 유량 및 SS 농도는 여름철이 가장 높게 조사되었다. EC는 BOD($r=0.857$), COD($r=0.854$), TN($r=0.899$) 및 TOC($r=0.910$)와 높은 상관성이 있었다. 수질변화를 일으키는 요인 파악을 위한 주성분 분석의 요인 1은 TP 및 TN는 각각 강한 혹은 중간 정도의 요인부하량을 나타냈으며, TOC, COD, BOD 및 EC는 약한정도의 양(positive)의 요인부하량을 보였으며, DO 및 pH는 강한 음(negative)의 요인부하량을 보였다. 요인 2에서는 EC의 영향이 크며, TN, TOC, COD 및 BOD도 중간정도의 요인부하량을 보였다. DO, Temp 및 pH는 약한 음의 요인부하량을 보였다. 요인 3은 SS가 강한 양의 요인부하량, BOD 및 COD가 중간 정도의 요인부하량 EC 및 TOC는 약

한 요인부하량을 보였다. 요인 4는 EC가 약한 양의 요인부하량을 보였고, 유량은 강한 음의 요인부하량을 나타내었다. 요인 5는 Temp가 중간 정도의 요인부하량, BOD는 약한정도의 양의 요인부하량, pH는 약한 음의 요인부하량을 보였다.

통계기법을 이용한 계절별 군집분석에서 봄, 가을 및 겨울철의 조사지점에 대한 수질오염물질들이 유사하여 동일한 그룹화를 보여 봄철 및 여름철 2개의 형태로 그룹화가 도출되었다. 따라서 봄철 및 여름철 2개의 형태의 그룹화로 도출되었다. 따라서 효율적 수질관리를 위하여 봄철 및 여름철의 그룹화에 기여한 요인 및 지역을 중심으로 한 대책 마련에 좋은 참고가 될 것으로 판단되었으며, 향후 상관분석, 군집분석, 주성분분석과 같은 통계적 평가는 수질 환경관리 실행계획설계 등에 있어서 보다 세부적인 결정을 하는데 유용하게 적용될 수 있을 것이다.

References

- Barakat A, Baghdadi ME, Rais J, Aghezzaf B, Slassi M. 2016. Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using multivariate statistical techniques. *International Soil and Water Conservation Research*. 4: 284-292.
- Carpenter S, Caraco NF, Correll DL, Howarth RW, Sharpley AN, Smith VH. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*. 8(3): 59-568.
- Dixon W, Chiswell B. 1996. Review of aquatic monitoring program design, *Water Research*. 30: 1935-1948.
- Forina M, Armanino C, Raggio V. 2002. Clustering with dendrograms on interpretation variables. *Analytica Chimica Acta*. 454: 13-19.
- Jarvie HP, Whitton BA, Neal C. 1998. Nitrogen and phosphorus in east coast British rivers: Speciation, sources and biological significance. *Science of the Total Environment*. 210-211:

- 79-109.
- Jung S, Lee D, Hwang K, Lee K, Choi K, Im S, Lee Y, Lee J, Lim B. 2012. Evaluation of Pollutant Characteristics in Yeongsan River Using Multivariate Analysis. *Korean Journal of Limnology*. 45(4): 368-377. [Korean Literature]
- Kaiser HF. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*. 20: 141-151.
- Kim G, Kim Y, Song M, Ji K, Yu P, Kim C. 2007a. Evaluation of Water Quality Characteristics in the Nakdong River using Multivariate Analysis, *Journal of Society on Water Quality*. 23(6): 814-821. [Korean Literature]
- Kim MA, Lee JK, Zoh KD. 2007b. 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. [Korean Literature]
- Kim Y, Lee S. 2011. Evaluation of Water Quality for the Han River Tributaries Using Multivariate Analysis, *Korean Society of Environmental Engineers*, 33(7): 501-510. [Korean Literature]
- Kumar M, Ramanathan A, Rao MS, Kumar B. 2006. Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. *Environmental Geology*. 50: 1025-1039.
- Liun CW, Linn KH, Kuon YM. 2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a black foot disease area in Taiwan. *Science of The Total Environment*. 313(1-3): 77-89.
- Magyar N, Hatvani II, Szekely IK, Herzigc A, Dinka M, Kovacs J. 2013. Application of multivariate statistical methods in determining spatial changes in water quality in the Austrian part of Neusiedler See. *Ecological Engineering*. 55: 82-92.
- Ministry of Environment. 2011. Standard Method for Examination of Water.
- Oh YC, Lee ND, Kim JG. 2004. The Evaluation of Water Quality in the Mankyung River using Multivariate Analysis, *Journal of the Environmental Sciences*. 13(3): 233-244. [Korean Literature]
- Park J, Moon M, Lee H, Kim K. 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. [Korean Literature]
- Sargaonkar A, Deshpande V. 2003. Development of an overall index of pollution for surface water based on a general classification scheme in Indian context. *Environ. Monit. Assess.* 89 (1): 43-67.
- 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, Sinha S. 2005. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques – A case study. *Analytica Chimica Acta*. 538(1-2): 355-374.
- Zhou F, Liu Y, Guo H. 2007. Application of multivariate statistical methods to water quality assessment of the watercourses in Northwestern New Territories, Hong Kong. *Environ. Monit. Assess.* 132 (1-3): 1-13.