

Research Paper

한강 수계 지류 하천의 수질 특성 및 수질 개선을 위한 등급화 방안 연구

조용철 · 박민지 · 신경용 · 최현미 · 김상훈 · 유순주
국립환경과학원 한강물환경연구소

A Study on Grade Classification for Improvement of Water Quality and Water Quality Characteristics in the Han River Watershed Tributaries

Yong-Chul Cho · Minji Park · Kyungyong Shin ·
Hyeon-Mi Choi · Sanghun Kim · Soonju Yu

Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

요약: 본 연구는 한강 수계의 주요 지류 하천에 통계분석을 이용하여 수질특성을 파악하고 하천 등급화 방법에 따른 우선으로 관리되어야 할 지류 하천을 선정하여 수질 개선 방안을 제시하는 것이다. 한강 수계의 주요 15개 지류 하천을 대상으로 2017년 1월부터 12월까지 유량 및 수질을 모니터링 하였다. 상관 분석 결과 하천 유량은 수질 항목 간의 상관성($p < 0.05$)이 있지 않았으나 COD와 TOC는 통계적으로 유의한 수준의 높은 상관성을 나타냈다($r = 0.957$, $p < 0.01$). 주성분 분석 결과 유기오염 물질 및 영양염류에 의한 오염이 수질변동의 주요한 요인으로 나타났으며 BOD, COD, TOC, TN, TP는 일원 분산분석 결과 계절 별로 유의한 수준에서 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 정량적 지표에 따른 하천 등급화 결과 수질 개선이 필요한 지류 하천은 공공하수처리시설 방류수의 영향을 받는 굴포천, 안양천, 왕숙천, 탄천 등으로 나타났다. 본 연구를 통하여 한강 수계의 수질 개선이 필요한 지류 하천을 선정할 수 있었으며 효율적인 수질 관리를 위한 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주요어: 한강, 지류 하천, 통계 분석, 등급화

Abstract: The objective of this research is to evaluate the water quality characteristics using the statistical analysis of major tributaries in the Han River and to provide water quality improvement plan by selecting tributaries that should be preferentially managed by river grade classification method. The major 15 tributaries in Han River watershed were monitored for discharge and water quality during January-December 2017. As a result of the correlation analysis, the river discharge has been

First Author: Yong-Chul Cho, Tel: +82-31-770-7238, E-mail: yc800222@korea.kr, ORCID: 0000-0002-4145-8929

Corresponding Author: Kyungyong Shin, Tel: +82-31-770-7222, E-mail: love4sky@korea.kr, ORCID: 0000-0002-7361-4025

Co-Authors: Minji Park, Tel: +82-31-770-7240, E-mail: iamg79@korea.kr, ORCID: 0000-0002-2003-8511

Hyeon-Mi Choi, Tel: +82-31-770-7228, E-mail: choihmi79@korea.kr, ORCID: 0000-0002-6058-9940

Sanghun Kim, Tel: +82-31-770-7220, E-mail: haemy@korea.kr, ORCID: 0000-0002-2734-0473

Soonju Yu, Tel: +82-31-770-7201, E-mail: ysu1221@korea.kr, ORCID: 0000-0002-1860-131X

Received: 11 February, 2019. Revised: 5 April, 2019. Accepted: 22 April, 2019.

not correlation with other water quality constituents ($p>0.05$) but COD and TOC were significantly correlated ($r=0.957$, $p<0.01$). The main cause of water quality fluctuation was organic pollutants and nutrients in the principal component analysis (PCA) method. The BOD, COD, TOC, TN, and TP were found to be significantly different ($p<0.05$) by seasonal in result of one-way ANOVA analysis. Result of river grade classification by quantitative indicators the tributaries requiring improvement of water quality were Gulpocheon, Anyangcheon, Wangsukcheon, and Tancheon which affected by wastewater treatment plant. In this research, we determined tributaries that need to improve the water quality of Han River watershed and it can be used as an important data for efficient water quality management.

Keywords : Han River, Tributaries, Statistical Analysis, Grade Classification

I. 서론

한강 수계는 자연적으로 발생하는 오염원, 인구의 지속적인 증가, 지역개발 및 공장단지의 발달 등 다양한 원인으로 수질오염 농도가 증가하는 추세이다. 또한, 인간의 활동으로 인한 수질오염에 더욱 취약한 지역이며 한강 본류보다 유량이 비교적 적은 지류에서의 오염원 발생 및 유출로 인한 수질의 변동이 심해질 수 있다(Kim et al. 2016b). 효율적이고 체계적인 수계의 수질 관리를 위한 방법으로 지류 및 소하천을 포함한 대상 수역의 장기적 및 체계적인 조사가 필요하며 수질변동의 특성을 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 하천의 수질은 유입 지류 지천 유역의 오염 부하, 하천의 수리 수문학적 특성, 퇴적물의 오염상태, 수체 내 생물학적 물질대사, 계절적 요인 등이 상호 작용하여 결정되기 때문에 수질의 정확한 변화 특성 파악 및 평가를 하는데 어려움이 있다(Park et al. 2011).

특히 지류 지천은 생활하수의 유입, 강우 시 비점 오염물질의 유입, 고농도 축산폐수의 유입, 수질오염 사고에 의한 오염원 유입 등이 상시 존재하여 지류 지천의 수질 악화는 수계 본류에 직접적인 영향을 미칠 수 있다(Son et al. 2017b). 최근 우리나라의 하천 관리는 지류 지천의 중요성에 대한 인식이 증가하고 있으나 수질 및 수생태계의 기초 자료가 부족한 실정이다(Jung et al. 2013). 미국은 EPA, USGS 등에 지류 하천의 장기간 수리 수문 및 수질 모니터링 자료를 축적하여 관리하는 통합적인 유역관리체계 시

스템을 갖추고 있다(Kwon 2013). 본류의 수질 및 수생태계 개선 계획을 수립하기 위해서는 본류에 유입하는 지류 하천을 대상으로 유량과 수질을 종합적으로 고려하여 유역의 물 환경 특성을 진단해야 한다(Min 2011; Jung et al. 2016).

최근 진위천 유역, 금강과 낙동강 및 영산강 수계를 중심으로 지류 지천의 수질 개선 하천 유역 우선순위를 제시하여 효율적인 유역관리를 시행하고자 하였다. Cho et al. (2018)은 진위천 단위유역의 총량 지점을 대상으로 하천 그룹화를 수행하여 수질 개선이 우선으로 선행되어야 할 총량 지점을 선정하였다. Lim et al. (2010)은 금강 수계의 18개 지류 하천을 대상으로 하천 유량 및 수질 모니터링을 수행하여 배출 부하 밀도를 산정하였으며 정량적인 오염물질의 양을 파악하여 금강 수계의 합리적인 수(水) 환경 관리방안을 제시하였다. Jung et al. (2013b)의 연구에서도 영산강 수계 지류 지천에 대해 자료를 축적하여 다변량 통계분석을 수행하여 수질특성을 평가하였으며 통계적 기법을 활용하여 지류 지천 등급화 방안을 제시하였다. 또한, 환경부에서 사용하고 있는 실시간 수질지수(Real Time Water Quality Index, RTWQI)를 이용하여 낙동강 유역에 존재하는 중점관리 지천에 관하여 특성인자를 도출하고 하천의 유형을 분류하였다(Kim et al. 2018). Zhaoshi et al. (2018)은 중국의 Taihu 호수 유역의 하천의 수질특성과 공간적 변화를 평가하기 위해 수질지수 WQI 방법을 적용한 결과 매개 변수 가중치를 고려한다면 수질은 향상될 것으로 평가하였다. 한강 수계를 중심으로 한 연

구는 주요 지천의 공간적 및 계절적 군집 분석으로 하천을 특성별로 분류하고 오염 배출 특성을 분석한 연구 등이 있다(Kim & Lee 2011; Choi et al. 2015; Lee et al. 2017). 현재까지 많은 선행 연구 및 연구자들이 수계의 수질특성을 파악하기 위하여 유량 및 수질 모니터링을 수행하고 있지만 한강 수계 지류 하천의 특성을 정확히 분석하고 수질 개선이 필요한 하천을 선정하기 위한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 한강 수계 지류 하천의 총량 지점에서 유량 및 수질 모니터링 자료를 이용하여 지류 하천의 수질특성을 평가하였으며 수질 자료 해석에 대한 오류를 줄이기 위해 다변량 통계 분석을 수행하였다. 또한, 하천 등급화 방법을 통해 한강 수계의 우선으로 관리되어야 할 지류 하천을 선정하여 향후 한강 수계의 과학적이고 합리적인 수질 관리정책 수립을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 대상 유역

한강은 강원도 태백시 검룡소에서 발원한 남한강

이 흘러 강원도 금강군 옥발봉(북한)에서 발원한 북한강과 경기도 용인시 문수봉에서 발원한 경안천이 팔당호에서 만나 팔당댐을 지나 서울특별시의 중심을 관통하여 하구에 도달한다. 한강의 유역면적은 26,219 km², 유로연장은 469.7 km이며 서울을 중심으로 수도권의 생활용수, 공업용수 및 농업용수 등의 공급원으로 주요한 역할을 하고 있다(Jung et al. 2018). Yu et al. (2018)은 한강 권역 토지이용 현황 결과 남한강 유역은 산림(78.3%), 논과 밭(15.5%), 시가지(1.5%), 북한강 유역은 산림(87.0%), 논과 밭(9.4%), 시가지(0.8%), 한강 하류 유역은 산림(41.3%), 시가지(27.1%), 논과 밭(17.6%)으로 나타나 산림의 비율은 북한강이 높았으며 시가지는 상대적으로 한강 하류가 매우 높게 나타났다고 보고하였다.

본 연구는 한강 수계 본류에 직접 유입되는 주요 15개 지류 하천에 대하여 연구대상 지점으로 선정하여 Figure 1에 나타냈으며 물 환경측정망 운영계획(ME 2017)에 따라 단위 유역 말단지점에서 유량 및 수질 모니터링을 수행하였다(Table 1).

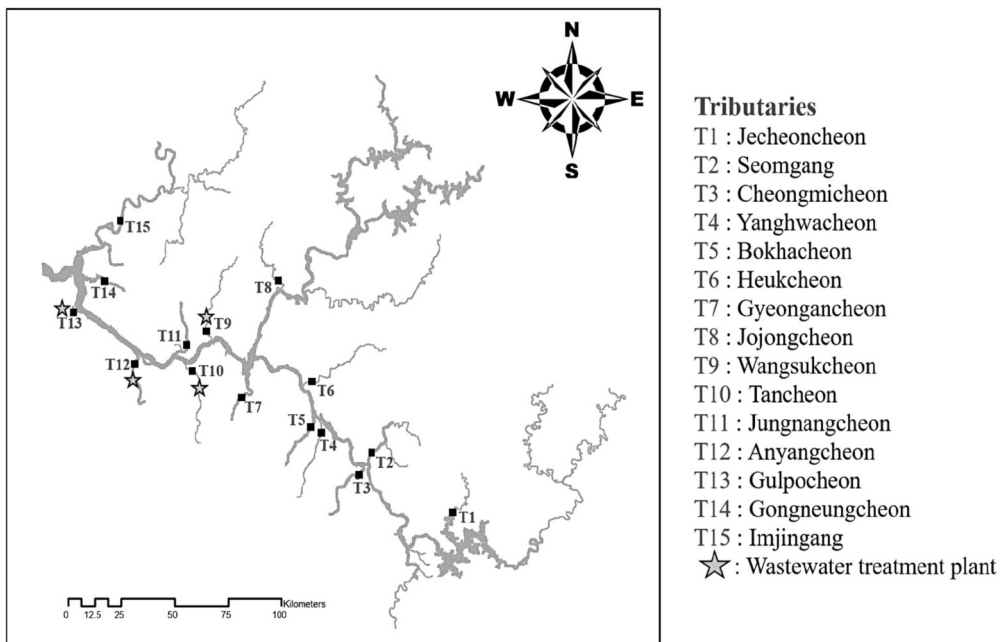


Figure 1. Monitoring sites of discharge and water quality in the Han River watershed tributaries.

Table 1. Characteristics of 15 tributaries in Han River watershed

Name of Mainstream	Name of Tributary (River)	Mark	River Length (km)	Basin area (km ²)	Latitude (N)	Longitude (E)
Namhan River	Jecheon	JC	65.00	475.14	37°05'10.0"	128°03'30.4"
	Seomgang	SM	100.56	1,490.06	37°14'21.2"	127°45'00.1"
	Cheongmicheon	CM	60.69	595.13	37°11'57.6"	127°43'15.4"
	Yanghwacheon	YH	32.00	181.66	37°20'42.3"	127°34'18.6"
	Bokhacheon	BH	39.84	309.50	37°21'39.4"	127°32'40.0"
	Heukcheon	HK	39.22	314.02	37°27'47.7"	127°31'47.6"
	Gyeongancheon	GA	48.27	567.04	37°26'13.0"	127°18'48.5"
Bukhan river	Jojongcheon	JJ	39.30	260.59	37°43'32.5"	127°24'36.9"
Han River down stream	Wangsukcheon	WS	37.76	275.29	37°34'59.5"	127°09'46.6"
	Tancheon	TN	32.55	303.07	37°27'51.5"	127°07'29.5"
	Jungnangcheon	JN	36.44	296.87	37°41'00.9"	127°03'12.0"
	Anyangcheon	AY	32.21	286.00	37°30'21.7"	126°52'32.3"
	Gulpocheon	GP	20.73	131.75	37°34'20.3"	126°46'29.7"
	Gongneungcheon	GN	45.70	259.80	37°45'15.2"	126°44'11.2"
	Imjingang	IJ	273.50	3,185.60	37°54'10.6"	126°49'26.7"

2. 유량 조사 및 수질 분석

유량 조사 및 수질 분석을 위한 시료 채수는 2017년 1월부터 12월까지 평균 8일 간격 이내로 대상 하천의 말단 지점에서 수행하였다. 하천 유량은 현장 상황과 수심 및 유속 등을 고려하여 ADV (Acoustic Doppler Velocimeter)의 Flow Tracker (SonTek, USA)와 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)의 Stream Pro (TRDI, USA) 등의 측정 장비를 이용하여 하천 유량 측정지침(SWRRRC 2004)과 수문 관측매뉴얼(MLIT 2004)에 준용하여 안전하고 정확하게 측정하였다(Cho et al., 2018). 수질 분석은 다항목 수질 측정기(YSI 660 XML, SonTek, USA)를 이용하여 현장 항목인 수온(Water Temperature, WT), pH, EC, DO를 측정하였으며 BOD, COD, TOC, SS, TN, TP 등 6개 항목은 환경부 물 환경정보시스템(ME 2018)의 자료를 이용하였다.

3. 통계 분석

자료의 통계 분석을 위해 SPSS (Statistical Package the Social Science, ver. 22)를 이용하며 상관 분석(Correlation Analysis)과 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA), 군집 분석(Cluster

Analysis, CA)을 수행하여 한강 수계 지류 하천의 수질 특성을 평가하였다. 통계 분석을 수행하기 전 항목 간의 측정 단위가 다르며 자료의 전처리와 요인의 설명력을 높여주기 위하여 유량 및 수질 자료에 대하여 평균은 0이고 표준편차(Standard Deviation)는 1인 무차원수의 데이터로 변경하기 위한 표준화(Standardization)를 거친 표준 점수(Z-Score)를 산정하였다(Ravichandran et al., 1996; Simeonov et al., 2003).

상관 분석은 2개 이상의 변수 사이에 존재하는 상관관계의 밀접한 정도를 측정하는 분석 방법으로 피어슨 상관계수(Pearson Correlation Coefficient, r)를 이용하여 상관계수 및 유의수준을 제시하였다(Noh 2005). 다변량 분석 방법인 주성분 분석은 변수 간의 상호의존 정도를 분석하는 방법으로 공통 요인(Common Factor)을 추출하고 차원을 축소하여 복잡한 원자료의 변수보다 같거나 적은 변수들을 이용하여 자료를 해석할 수 있다(Jung et al., 2012; Kim et al., 2016a). 추출된 요인에 대한 고유치(Eigenvalue)는 요인을 설명할 수 있는 변수의 분산 크기를 나타낸다(Singh et al., 2004). 본 연구에서는 Eigenvalue 1 이상으로 요인의 수를 결정하였으며

요인의 해석을 명확하게 하고 불확실성을 줄여주는 직교 회전(Orthogonal Rotation)의 Varimax를 적용하였다. 군집 분석은 각 개체의 유사성을 측정하여 유사성이 높은 집단을 분류하고, 같은 군집에 속한 개체들의 유사성과 서로 다른 군집에 속한 개체 간의 상이성을 규명하는 분석기법이다(Lee & Seo 2015). 군집(Cluster)은 계층적 방식(Hierarchical methods)을 이용하며 군집 대상 간의 거리 산출은 유클리드 거리(Euclidean distance)로 판정하는 Ward's method를 적용하였다(Forina et al. 2002).

모니터링 대상 지류의 계절별 수질분포 차이를 알아보기 위해 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월), 겨울(12~2월)의 수질 자료에 대하여 일원 분산분석(one-way Analysis of Variance, one-way ANOVA)을 수행하였다. 일원 분산분석은 2개 이상 모집단의 평균을 비교하기 위한 통계적 검정 방법으로 “대상 지류 하천의 계절별 BOD는 통계적으로 유의한 수준(p-value)에서 다르지 않다.”라는 귀무가설을 설정 후 일원 분산분석을 통하여 귀무가설 검정을 하였다(Son et al. 2017a).

4. 유달 부하 밀도 산정

배출된 오염물질은 물리적, 화학적 및 생물학적 작용 때문에 분해되어 하천의 특정 지점에 실제 도달하는 오염물질의 양을 유달 부하량이라 한다. 유달 부하량의 거동 규명을 위해 정량화가 필요하며 이를 위해서는 특정 지점에서 수질과 유량을 동시에 측정해야 정확한 자료를 얻을 수 있다(Jung et al. 2016). 수질오염 총량 관리 기술지침에서는 오염물질의 거동 분석, 유량 및 수질의 상관성 분석, 수질 모형화의 입력 자료를 구축하기 위해 유량과 수질을 동시에 측정하는 것을 원칙으로 하고 있다(Park & Rhee 2014).

본 연구에서는 한강 수계 본류에 유입하는 지류 15개 하천을 대상으로 말단 지점에서 실측한 유량과 수질(BOD, COD, TOC, SS, TN, TP) 농도를 바탕으로 유달 부하량(kg/day)을 산정하였다. Yi & Kim (2014)는 일정한 지점으로 수질오염 물질을 배출하는 점오염원과 도로, 농지, 산지 등인 불특정 장소

에서 불특정하게 수질오염 물질을 배출하는 비점오염원, 자연적으로 발생하는 자연 배경오염원(natural background pollutant)이 잠재되어 있다고 보고하였다. 따라서 해당 유역의 환경특성이 잠재된 오염원을 파악하기 위하여 하천 수질에 직접적인 영향을 주는 인자인 유달 부하 밀도(kg/day/km²)를 산정하였다.

5. 하천 등급화 방안

유역 내 오염물질의 거동을 파악하기 위해서는 수질 및 유량 모니터링 자료가 중요하며 오염하천의 수질개선을 위한 수질 정책 수립 및 수질 개선 대상유역의 선정에 핵심적인 자료이다(Park et al. 2011). 이에 따라 본 연구에서는 2017년 한강 수계 TPLMS에 따른 주요 지류 하천에서 실측한 하천 유량 및 수질 자료(BOD, COD, SS, TOC, TN, TP)와 유달 부하량(kg/day)을 산정한 다음 유역면적에 따른 오염부하를 알아보려고 유달 부하 밀도(kg/day/km²)를 산정하여 Jung et al (2013b)이 제시한 정량적 지표에 따른 대상 하천에 등급화 방안을 적용하였다. 유달 부하 밀도는 하천 수질에 직접적인 영향을 주는 수질오염의 잠재력을 나타내어 유역면적에 따른 오염 부하가 크면 수질 오염도가 증가한다(Jung et al. 2013a). BOD, COD, SS, TOC, TN, TP 수질 항목에 대해서는 환경부 수질 환경기준 등급에 반영하여 최저 1점에서 최고 7점을 산정하였다. 또한 주성분 분석 결과의 요인 1로 분류된 항목에 대해 유달 부하 밀도를 산정하여 등급화 기준 시 기본 점수 2배의 가중치를 부여하였다. 연구 대상 지류 하천의 등급화 기준에 따른 항목별 점수와 가중치를 부여한 점수를 산술적으로 합산하여 4개의 그룹(A, B, C, D)으로 분류하여 한강 수계 지류 하천의 우선순위를 등급화하였다.

하천 등급화에 관한 연구는 아직 미비한 수준이며 가중치를 부여하는 방법인 AHP (Analysis Hierarchy Process)는 전문가들이 여러 항목을 비교하기 위하여 각 항목에 대해 우선순위 또는 가중치를 도출하여 최적의 대안을 제시하는 것으로 전문가들의 주관적인 의견이 수렴되어 오류를 범할 수 있다(Kim et al.

2010). 또한, 수질 항목 BOD, TP 농도를 X 축으로 유량 자료를 Y 축으로 교차하여 하천을 그룹화하는 방법이 보고되고 있다(Lim et al. 2010; Jung et al. 2013a; Jung et al. 2013b; Na et al. 2015).

III. 결과 및 고찰

1. 유량 및 수질 조사 결과

연구 기간 동안의 한강 수계 주요 지류 하천의 연평균 하천 유량 및 수질을 Table 2에 나타냈다. 주요 지류 하천에서 중랑천(JN)이 연평균 유량 2,509 m³/s

로 낮게 나타났으며 임진강(IJ)은 연평균 122,275 m³/s로 높게 나타났다. 또한 왕숙천(WS), 탄천(TN), 안양천(AY) 등은 대규모 도시가 형성된 인구 밀집 지역으로 안양 하수처리장 약 35만 m³/day, 성남 하수처리장 약 34만 m³/day, 구리 하수처리장 약 16만 m³/day의 방류수가 하천으로 유입되어 평수기 하천 유량의 약 50% 이상을 차지하는 것으로 나타났다(Kim & Lee 2011). 연구대상 15개 지류 하천에서 유기물 간접지표 항목인 BOD와 TOC의 수질 환경기준 약간 좋음(II) 등급 이하의 수질을 만족하는 하천은 조종천(JJ), 흑천(HK), 제천(JC), 섬강(SM), 양화천

Table 2. Average concentration of discharge and water quality data in Han River watershed tributaries

Study site	Discharge (m ³ /s)	WT (°C)	pH	EC (uS/cm)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TOC (mg/L)
JC	8.981±13.359	14.3±7.6	8.3±0.3	351±98	11.8±2.1	0.9±0.3	4.1±0.6	6.6±5.4	4.091±1.058	0.044±0.039	4.1±0.6
SM	17.409±16.304	14.7±8.6	8.0±0.4	352±99	11.9±2.1	1.6±0.9	5.2±1.2	4.7±3.3	3.697±1.472	0.048±0.022	3.1±0.8
CM	8.486±11.081	14.0±9.5	8.1±0.4	371±79	11.8±2.6	2.1±1.3	6.3±2.5	14.1±13.7	4.109±1.211	0.115±0.086	3.4±1.3
YH	2.951±3.998	15.6±9.0	8.0±0.4	373±91	12.0±2.7	1.7±0.7	5.7±1.7	27.9±38.8	4.149±1.394	0.185±0.157	3.3±1.0
BH	5.790±5.368	17.9±8.2	7.9±0.3	916±261	11.2±2.3	4.2±1.3	6.7±1.4	14.3±9.3	9.603±2.492	0.161±0.040	3.6±0.8
HK	4.070±7.311	15.0±9.3	8.5±0.4	179±31	12.4±2.6	1.1±1.0	3.7±1.5	4.7±3.7	2.577±0.802	0.029±0.018	1.9±0.7
GA	4.077±6.134	15.1±8.7	8.1±0.3	463±91	11.7±2.6	3.4±1.7	6.7±1.2	11.5±9.0	7.408±2.442	0.085±0.028	3.9±0.8
JJ	4.659±7.883	16.9±8.1	8.5±0.3	198±34	12.1±2.0	0.9±0.4	3.2±0.6	5.1±3.7	2.654±0.842	0.027±0.015	1.6±0.4
WS	5.870±4.964	16.9±6.8	7.4±0.3	548±107	9.2±1.4	4.5±1.8	7.2±1.3	6.3±3.7	9.925±2.280	0.186±0.053	4.4±1.0
TN	8.319±6.855	19.1±5.9	7.6±0.2	512±86	10.8±1.5	3.1±1.8	7.6±1.6	8.7±4.3	8.031±2.479	0.128±0.029	4.6±1.1
JN	2.509±1.144	17.4±6.8	7.5±0.3	522±105	10.6±1.3	3.0±1.4	7.0±1.0	7.0±3.7	10.151±2.266	0.167±0.042	4.1±0.8
AY	6.297±6.777	16.8±7.9	7.8±0.3	639±129	9.2±1.8	3.5±2.3	8.8±1.8	11.7±8.3	10.924±3.512	0.153±0.058	5.7±1.4
GP	7.538±1.132	18.8±6.5	7.0±0.3	546±63	8.6±1.3	2.4±1.8	7.6±1.0	8.2±2.3	13.009±1.753	0.268±0.075	4.5±0.5
GN	2.941±2.204	17.2±8.6	8.0±0.3	650±196	10.7±2.2	5.1±2.0	9.1±2.4	19.4±5.4	7.368±2.350	0.202±0.044	5.0±1.3
IJ	122.275±124.970	17.1±7.9	8.3±0.3	506±216	11.0±1.7	2.1±1.5	5.6±1.9	24.8±31.7	3.121±1.042	0.084±0.063	2.9±1.0

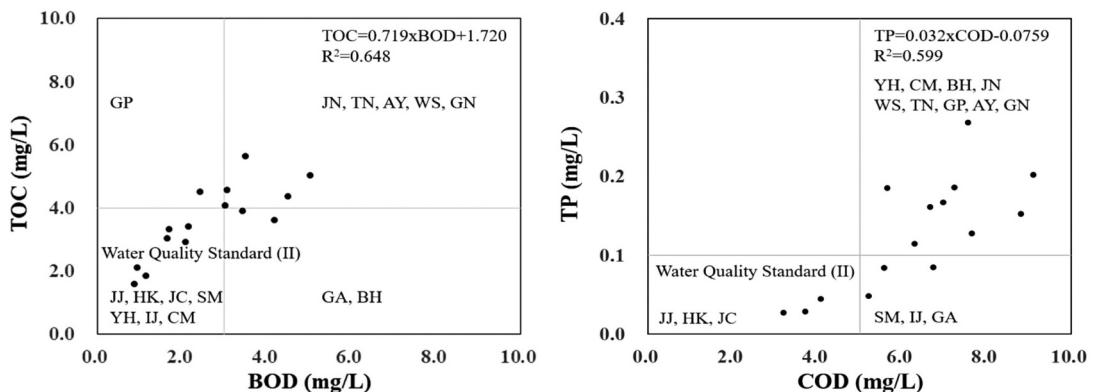


Figure 2. The relationship between BOD-TOC and COD-TP concentration in the Han River watershed tributaries.

(YH), 임진강(IJ), 청미천(CM)이며 난분해성 지표 항목인 COD와 영양염류 지표 항목인 TP의 수질 환경 기준 약간 좋음(II) 등급 이하의 수질을 만족하는 하천은 조종천(JJ), 흑천(HK), 제천(JC) 등으로 나타났다(Figure 2). 또한, 한강 수계 수질오염 총량 관리제도(Total Pollutant Load Management System, TPLMS)를 위한 관리대상 오염물질 항목인 BOD와 TP에 대하여 환경부 수질 환경기준 등급을 Figure 3에 나타냈다.

연구대상 지류 하천의 연평균 BOD 농도는 0.9~5.1 mg/L 범위이며, 연평균 TOC 농도는 1.6~5.7 mg/L의 범위를 나타냈다. 제천천(JC)과 조종천(JJ)은 연평균 BOD 농도 0.9 mg/L로 수질 환경기준 매우 좋음(Ia) 등급으로 나타났으나 공릉천(GN)은 연평균 BOD 농도는 5.1 mg/L로 수질 환경기준 약간 나쁨(IV) 등급으로 나타났다. 그리고 북하천(BH)의 연평균 BOD 농도는 4.2 mg/L로 나타났는데 이러한 이유는 농경지의 점유율이 높고 강우 시 유기질 비료가 하천으로 유입되는 특성이 있는 것으로 판단된다(Jung et al, 2013). 연평균 COD 농도는 3.2~9.1 mg/L의 범위를 나타냈으며 한강 하류에 위치하는 공릉천(GN)과 굴포천(GP), 인구밀도가 높은 안양천(AY), 공공하수처리시설 방류수의 영향을 받는 탄천

(TN) 등이 높은 COD 농도를 나타냈다.

영양염류 간접지표 항목인 TN은 연평균 2.577~13.009 mg/L의 농도 범위를 보였으며 대상 지류 하천 간의 수질농도 차이가 크게 나타났다. 도시형 하천인 안양천(AY)과 중랑천(JN)은 각각 연평균 TN 농도 10.924 mg/L, 10.151 mg/L로 나타났으며 공공하수처리시설 방류수의 영향을 받는 굴포천(GP)은 연평균 TN 농도 13.009 mg/L로 높게 나타났다. 한강 수계 지류 하천의 연평균 TP 농도는 0.027~0.268 mg/L의 범위를 나타냈으며 주거단지와 산업단지가 밀집해 있는 공릉천(GN)은 연평균 TP 농도 0.202 mg/L로 수질 환경기준 약간 나쁨(IV) 등급으로 나타났으며 특히 공공하수처리시설 방류수의 영향을 받는 굴포천(GP)은 연평균 TP 농도 0.268 mg/L로 수질 환경기준 약간 나쁨(IV) 등급으로 나타나 높은 수질을 나타냈다. 이러한 영향으로 한강 수계 주요 지류의 수질특성은 주변 오염원 및 대규모 환경기초시설의 영향의 따라 수질 오염도가 크게 작용하는 것으로 판단된다.

2. 상관 분석 결과

한강 수계 주요 지류 하천의 유량 및 수질 항목 간의 피어슨 상관계수를 이용한 상관분석 결과를

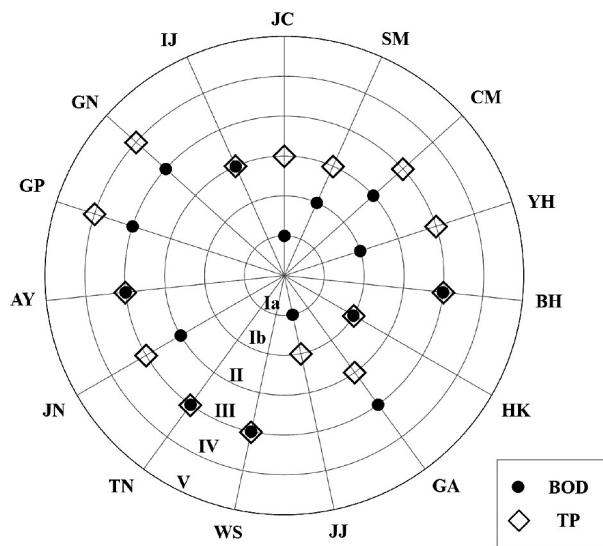


Figure 3. Result of river environment standard for water quality for BOD and TP parameter in the Han river watershed tributaries.

Table 3. Pearson correlation coefficients of discharge-water quality parameters in the Han River watershed tributaries

	Discharge	WT	pH	EC	DO	BOD	COD	SS	TN	TP	TOC
Discharge	1	0.178*	0.006	-0.171**	-0.174*	-0.129	-0.105	0.168*	-0.210**	-0.056	-0.133
WT		1	-0.237**	-0.160*	-0.778**	0.071	0.217**	0.315**	-0.248**	0.330**	0.137
pH			1	-0.194*	0.586**	-0.231*	-0.385**	-0.051	-0.572**	-0.608**	-0.450**
EC				1	0.024	0.550**	0.546**	0.053	0.646**	0.328**	0.526**
DO					1	-0.130	-0.306**	-0.246**	-0.101	-0.507**	-0.297**
BOD						1	0.800**	0.224**	0.484**	0.488**	0.753**
COD							1	0.340**	0.553**	0.658**	0.957**
SS								1	-0.115	0.581**	0.261**
TN									1	0.484**	0.632**
TP										1	0.629**
TOC											1

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

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

Table 3에 나타났다. 상관 분석 결과 하천 유량은 수질 항목 간의 통계적으로 유의한 수준의 상관성이 있지 않았으며($p > 0.05$), WT과 DO는 통계적으로 높은 음(-)의 상관성이 있었다($r = -0.778$, $p < 0.01$). 이러한 이유는 온도가 높을수록 산소의 용해도가 낮아지는 계절적 영향의 원인으로 판단된다(Cho et al. 2017). EC와 TN은 통계적으로 높은 양(+)의 상관성이 있는 것으로 나타나($r = 0.646$, $p < 0.01$) 질소계열 오염물질인 비료와 공장단지의 폐수의 유입에 대한 영향이 크게 나타나는 것으로 판단된다(Gwak & Kim 2016). 유기물 간접지표인 BOD와 COD는 통계적으로 양(+)의 상관성이 있었다($r = 0.800$, $p < 0.01$). 특히 COD와 TOC는 다른 항목에 비하여 가장 높은 상관성을 나타냈다($r = 0.957$, $p < 0.01$). 향후 한강 수계 지류 하천의 변수 간의 관계를 규명하기 위하여 회귀 분석을 이용한 변수 간의 인과관계를 수학적 함수관계로 나타내어 수질 변화를 예측하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3. 주성분 및 군집 분석 결과

주성분 분석의 주성분 추출 및 타당성을 판단하기 위한 Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) 및 Bartlett's test를 실시하였다(Kim et al. 2016). KMO test는 변수값의 타당성을 나타내는 척도로 0.5 이하는 타당성이 낮고 1에 가까운 값일수록 타당성이 높다.

Bartlett's test는 변수 간 상관행렬이 단위행렬(대각선이 1이고 나머지는 0인 행렬)인지 검정하는 것으로 각 변수가 서로 상관성이 나타나거나 0에 가까울수록 유의성이 높다(Bernard et al. 2004). 본 연구에서는 KMO test 결과 0.721로 분석되었고, Bartlett's test 결과 0.000 ($p < 0.05$)로 나타나 상관행렬이 단위행렬임을 기각하여 변수 간 상관성이 있음을 나타내어 주성분 분석을 적용할 수 있었다(Kim et al. 2007).

주성분 분석 결과 1보다 큰 고유값(Eigenvalue)을 갖는 주성분의 수는 3개로 나타났으며 이는 11개의 변수를 3개의 주성분으로 설명할 수 있음을 의미한다. Table 4는 전체 변량에 대한 설명이고 각 주성분에 의해 해석할 수 있는 데이터의 해석량과 비율, 누적량(Cumulative)을 확인할 수 있다. PC1의 고유치는 4.015로 36.501%에 기여하고 있으며 PC1부터 PC3까지 전체 분산의 74.432%를 설명할 수 있다. Table 5는 직교형 회전방법의 배리맥스(Varimax rotation) 회전을 통한 주성분 관련 정보와 로딩 값 정보를 나타냈다. PC1은 COD, TOC, BOD, EC, TP, TN으로 PC2는 DO, pH, WT, PC3는 SS, 유량에 관해 설명할 수 있다(Figure 4). 주성분 분석 결과를 바탕으로 한강 수계 지류 하천의 수질변동 요인 1은 “유기물과 영양염류 간접지표의 요인”, 요인 2는 “계절적인 요인”, 요인 3은 “유량변동에 따른 요인”으로 정

Table 4. Results of principal component analysis of normalized data

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
PC1	4.663	42.387	42.387	4.015	36.501	36.501
PC2	2.293	20.845	63.233	2.357	21.426	57.927
PC3	1.232	11.200	74.432	1.816	16.505	74.432

Table 5. Rotated component matrix by principal component analysis

Variable	Component		
	PC1	PC2	PC3
COD	0.915	0.222	0.068
TOC	0.886	0.259	-0.052
BOD	0.863	0.012	0.007
EC	0.713	-0.061	-0.337
TP	0.668	0.518	0.201
TN	0.630	0.285	-0.620
DO	-0.091	-0.885	-0.304
pH	-0.278	-0.828	0.275
WT	-0.011	0.635	0.592
SS	0.422	0.032	0.749
Discharge	-0.182	0.117	0.436

의할 수 있다. PC1의 분류된 EC를 제외한 BOD, COD, TN, TP, TOC의 항목에 대하여 계절별 분포 차이를 알아보기 위해 일원 분산분석을 수행하여 Table 6에 나타냈다. 일원 분산분석 결과 BOD, COD, TN, TP, TOC의 *p*-value가 0.05 보다 작아 유의한 수준에서 계절별로 차이가 있는 것으로 나타났다.

대상 수계의 지류 하천의 수질변동 경향의 유사성을 파악하기 위하여 표준화(Standardization)를 거친 표준 점수(Z-Score)를 군집 분석을 수행한 결과를 Figure 5에 덴드로그램(Dendrogram)으로 도시하여 나타냈다. 군집 분석에서 군집의 개수를 결정하는 것은 매우 중요하다. 하지만 많은 연구자가 군

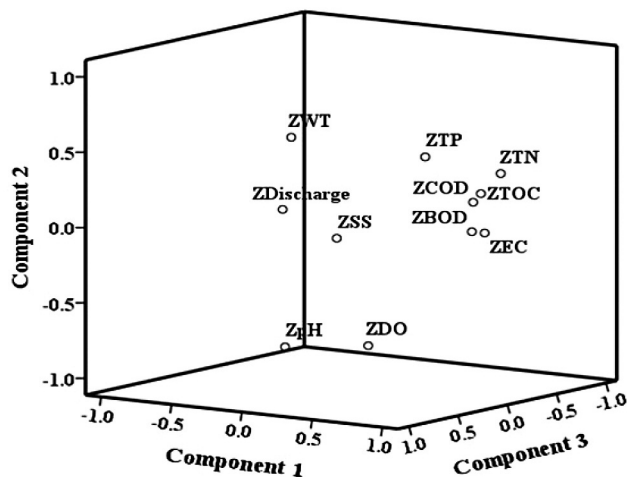


Figure 4. Component plot in rotated space.

Table 6. Results of one-way ANOVA analysis

Parameter	Season	No. of data	Mean	Std. Deviation	F	Sig.
BOD	Spring	44	3.7	2.1	12.252	0.000
	Summer	45	2.3	1.6		
	Fall	45	1.5	1.0		
	Winter	40	2.5	2.1		
COD	Spring	44	7.1	2.3	7.462	0.000
	Summer	45	6.6	2.3		
	Fall	45	5.0	1.7		
	Winter	40	5.8	2.6		
TN	Spring	44	6.801	4.525	7.079	0.000
	Summer	45	4.721	2.899		
	Fall	45	6.165	3.448		
	Winter	40	8.471	4.182		
TP	Spring	44	0.127	0.089	4.177	0.007
	Summer	45	0.161	0.111		
	Fall	45	0.103	0.089		
	Winter	40	0.097	0.082		
TOC	Spring	44	4.1	1.5	6.393	0.000
	Summer	45	3.6	1.3		
	Fall	45	2.8	1.1		
	Winter	40	3.5	1.9		

집 분석의 군집 개수를 주관적인 판단에 결정하는 경우가 대다수의 연구 결과에서 나타났다. 본 연구에서는 군집 분석을 수행하기 전 사전분석을 통하여 군집의 개수를 알아보았다. 군집 개수와 값을 정리하면 군집 분석의 최적 군집 개수(Optimum number of clusters)를 파악할 수 있다(Cho et al, 2018). 현

재 단계(Coefficients of this step)에서 이전 단계(Agglomeration of last step)의 차이를 나타내는 'Change'의 값의 변화폭이 군집의 개수 3일 때 가장 크게 나타나 최적의 군집 개수임을 알 수 있었다. Cluster 1은 흑천(HK), 조종천(JJ), 제천천(JC), 섬강(SM)으로 그룹화 되어 산림이 많고 인구밀도가 낮

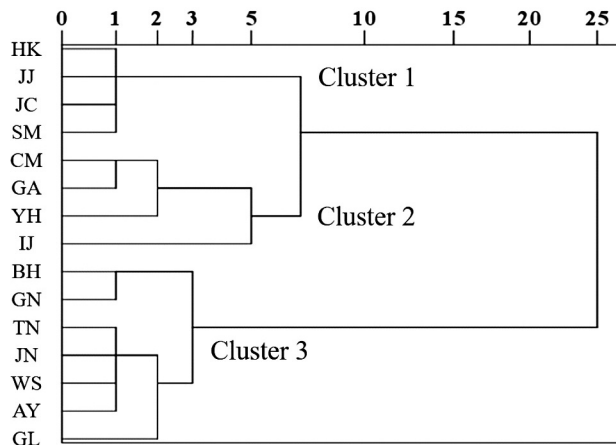


Figure 5. Dendrogram using Ward's linkage of cluster analysis.

Table 7. Index score for tributaries grade classification

Index	Score range						
	1	2	3	4	5	6	7
BOD load (kg/day/km ²)	below 0.5	below 1	below 2	below 5	below 7	below 12	above 12
COD load (kg/day/km ²)	below 1.5	below 2	below 5	below 10	below 20	below 40	above 40
TN load (kg/day/km ²)	below 1	below 5	below 10	below 15	below 20	below 55	above 55
TP load (kg/day/km ²)	below 0.01	below 0.05	below 0.1	below 0.3	below 0.5	below 1.5	above 1.5
TOC load (kg/day/km ²)	below 0.9	below 2	below 5	below 8	below 10	below 25	above 25
Discharge (m ³ /s)	below 1	below 2	below 3	below 5	below 10	below 35	above 35
BOD (mg/L)	below 1	below 2	below 3	below 5	below 8	below 10	above 10
COD (mg/L)	below 2	below 4	below 5	below 5	below 9	below 11	above 11
SS (mg/L)	below 5	below 10	below 15	below 20	below 25	below 30	above 30
TN (mg/L)	below 1	below 2	below 3	below 4	below 5	below 6	above 6
TP (mg/L)	below 0.02	below 0.04	below 0.1	below 0.2	below 0.3	below 0.5	above 0.5
TOC (mg/L)	below 2	below 3	below 4	below 5	below 6	below 8	above 8

으며 청정유역의 특성을 나타냈다. Cluster 2는 청미천(CM), 경안천(GA), 양화천(YH), 임진강(IJ)으로 그룹화 되어 농경지의 점유율이 높아 여름철 비점오염원의 영향을 받을 수 있는 유역으로 나타났다. Cluster 3은 북하천(BH), 공릉천(GN), 탄천(TN), 중앙천(JN), 왕숙천(WS), 안양천(AY), 굴포천(GL)으로 그룹화 되어 북하천(BH)을 제외한 한강 하류의 지류 하천으로 인구밀도가 높은 도시 구간을 흐르고 공공하수처리시설의 방류수가 하천 수질에 기여하는 유역이다. Singh et al. (2004)는 군집 분석 결과 대상지점의 수질오염에 따라 그룹이 분류된다고 보고하였다. 또한, Shrestha and Kazama (2007)은 대상 하천의 토지이용, 하수처리장의 위치 등에 따라 수질의 영향을 잘 반영하고 있으며 생활하수나 농업 활동에 따른 비점오염원 유입에 따른 군집 분석의 그룹이 분류된다고 보고하였다.

4. 지류 하천의 등급화 결과 및 개선 방안

본 연구에서는 지류 하천의 유량, BOD, COD, SS, TN, TP, TOC와 PCA 결과에 따른 PC1으로 분류된 EC를 제외한 BOD, COD, TN, TP, TOC 등 5개 항목에 대하여 유달 부하 밀도 산정하여 Table 7에 하천 등급별 설정 기준을 제시하였다. 연구 대상 지류 하천의 등급별 설정 기준에 따른 산술적으로 합산한

Table 8. Water quality improvement priorities selected results in the Han River watershed tributaries

Tributary (River)	Score	Ranking	Group
Jecheon	52	13	D
Seomgang	53	12	D
Cheongmicheon	65	10	C
Yanghwacheon	67	7	B
Bokhacheon	75	6	B
Heukcheon	38	15	D
Gyeongancheon	63	11	D
Jojongcheon	39	14	D
Wangsukcheon	80	3	A
Tancheon	79	4	A
Jungnangcheon	66	9	C
Anyangcheon	85	2	A
Gulpocheon	87	1	A
Gongneungcheon	77	5	B
Imjingang	67	8	B

점수는 최저 39점에서 최고 87점의 범위들로 나타났으며 각 지류 하천의 점수를 고려하여 통계적으로 75% (78점 이상)에 해당하는 지류 하천을 A 그룹, 50% (67~78점)에 해당하는 지류 하천을 B 그룹, 25% (65~67점)에 해당하는 지류 하천을 C 그룹, 25% (65점 이하) 이하의 해당하는 지류 하천을 D 그룹으로 분류하였다(Table 8). Jung et al. (2013b)은 영산강 수계 지류 하천의 등급화를 수행하기 위하여 항목

별 가중치를 고려하여 4개의 그룹으로 분류하였다.

한강 수계의 수질 개선 우선순위 지류 하천을 파악한 결과 A 그룹에 분류된 하천으로 굴포천(GP), 안양천(AY), 왕숙천(WS), 탄천(TN)으로 나타났으며 대도시(서울특별시, 인천광역시, 경기도)에 있으며 공공하수처리시설의 방류수의 영향을 받는 특성이 있었다. 특히 굴포천(GP)은 인천광역시, 부천시, 서울특별시, 김포시를 흐르면서 산업화 및 도시화로 인하여 생활하수 및 공장폐수의 유입 오염원과 신곡 양수장 및 배수장 운영에 따른 배수 영향 등과 같은 하천의 구조적 문제로 인하여 수질이 악화하였다. Ahn et al. (2012)는 굴포천은 상류 및 중류에 형성된 대규모 공업단지, 지역개발에 따른 인구증가로 인한 생활하수 등이 주요 오염원이라고 보고하였다. 또한 왕숙천(WS)의 구리 하수처리장(160,000 m³/day)과 탄천(TN)의 탄천 하수처리장(900,000 m³/day)의 방류수의 영향으로 유량 및 수질에 영향을 받는 하천이다. 환경기초시설이 있는 하천의 유역면적에 대한 유량 비율은 환경기초시설의 있지 않은 하천과 비교하였을 때 통계적으로 유의하게 차이는 없었으나 유량변동계수(Coefficient of Variation, CV)는 낮아 ($p < 0.001$) 환경기초시설 방류수가 하천 유량과 수질에 상당 부분에 기여하고 있는 것으로 조사되었다(Kim et al. 2018). 안양천(AY)은 연구 대상 하천 중에서 대규모 도시가 형성된 인구 밀집 지역으로 인구 밀도가 5,000명/km² 이상이며 도시화 비율이 30%로 나타났다(Kim & Lee 2011). 하천 등급화 결과 A 그룹에 해당하는 하천을 대상으로 수질 개선을 위해서는 점오염원에 대한 관리 방안이 필요할 것으로 판단된다. B 그룹에 분류된 하천은 공릉천(GN), 복하천(BH), 양화천(YH), 임진강(IJ)으로 주변에 농경지가 많이 분포하여 복합대지 비율이 낮아 비점오염원에 대한 관리방안이 필요할 것으로 판단된다. C 그룹에 분류된 하천은 중랑천(JN), 청미천(CM)으로 갈수기시 유량이 적어 수질관리와 수량 확보에 대한 방안이 필요할 것으로 판단된다. D 그룹에 분류된 하천은 경안천(GA), 섬강(SM), 제천(JC), 조종천(JJ), 흑천(HC)으로 특히 흑천(HK), 조종천(JJ), 제천천(JC), 섬강(SM)은 산림이 많고 인구밀도가 낮으며 청정유

역의 특성을 나타내는 특성을 나타냈다.

본 연구에서 시행한 수질 개선 등급화 방안을 위해 유달 부하량을 이용한 유달 부하 밀도를 산정하였으나 추가로 점오염원과 비점오염원에서 발생하는 배출 부하량과 배출 부하 밀도를 고려하여 하천 유역의 특성을 평가하는 연구가 필요할 것으로 판단된다. 유역에서 배출되는 오염물질의 양이 많을수록 수질 오염도가 증가하나 오염물질의 양이 적고 하천 유량의 적어도 오염물질의 유입원에 대한 민감도가 상대적으로 증가하기 때문에 수질의 변동이 크게 나타날 수 있다(Park et al. 2016). 일반적으로 배출 부하량은 유달 부하량보다 많게 평가되나 한강 권역 도심지류 일부 하천에서 유달 부하량이 배출 부하량보다 많은 것으로 조사되었다(Kim et al. 2018). 배출 부하량은 환경기초시설을 제외한 오염원에 대해서 원단위를 사용하여 산정하지만, 미확인 물질이 하천에 유입되더라도 배출 부하량 산정에는 반영되지 않으므로 오염원을 과소·과대 평가할 수 있다.

따라서 수질 개선이 필요한 하천 유역의 주요 오염원 저감을 위해서는 공공하수처리시설의 증설 및 신설, 기존 공공하수처리시설의 효율적인 운영에 따른 방류수 수질 개선, 공동자원화 시설의 설치, 비점오염원 저감 시설 설치, 하천 정비사업 등 유역 특성에 맞는 방안 및 시행이 필요하다. 또한, 하천 유역 내 미확인 배출원에 대한 조사, 하천 유역 내 주요 도심 지점을 파악하여 관리하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 한강 수계 주요 지류 15개 하천을 연구 대상으로 선정하여 유량 및 수질 모니터링을 하였으며 그 결과를 바탕으로 다변량 통계 분석 및 하천 등급화를 수행하여 수질 개선 방안을 제시하였다.

유량 및 수질 모니터링 결과 한강 수계 지류 하천은 BOD, COD, TN, TP 항목에서 높게 나타났으며 왕숙천(WS), 탄천(TN), 안양천(AY), 공릉천(GN) 등의 수질 오염도가 높게 나타났다. 이들 하천은 대규모 도시가 형성되고 인구 밀집 지역이며 공공하수처

리시설 방류수의 영향을 받는 하천이다. 상관 분석 결과 하천 유량은 수질 항목 간의 통계적으로 유의한 수준의 상관성($p > 0.05$)이 있지 않았으나 COD와 TOC는 통계적으로 유의한 상관성($r=0.957, p < 0.01$)이 있어 한강 수계 주요 지류 하천은 유기물 간접 지표 항목 간의 상관성이 높게 나타나는 특성이 있었다.

주성분 분석 결과 3개의 주성분으로 수질변동에 대하여 74.4%를 설명할 수 있었으며 PC1으로 COD, TOC, BOD, EC, TP, TN 항목이 분류되어 한강 수계 지류 하천은 유기물과 영양염류 간접지표의 요인이 크게 작용하는 것을 알 수 있었다. 주성분 분석의 PC1으로 분류된 EC를 제외한 항목에 대하여 계절별 분포 차이를 알아보기 위해 일원 분산분석을 수행한 결과 유의한 수준에서 계절별로 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 군집 분석 결과 수질오염도, 토지 이용 형태, 비점오염원 유입 등에 따라 통계적으로 유의한 3개의 군집으로 분류되었다. 특히 공공하수처리시설 방류수의 영향에 따른 공릉천(GN), 탄천(TN), 중랑천(JN), 왕숙천(WS), 안양천(AY), 굴포천(GL)은 Cluster 3에 분류되었다.

본 연구에서 제시한 정량적 지표에 따른 하천 등급화 결과 각 지류 하천의 점수를 고려한 통계적으로 4개의 그룹으로 분류하였으며 우선으로 수질 개선이 필요한 하천은 한강 하류에 있으며 도시 구간을 통과하거나 공공하수처리시설의 방류수의 영향을 받는 굴포천(GL), 안양천(AY), 왕숙천(WS), 탄천(TN) 등으로 나타났다. 하천 등급화 점수가 높게 나온 하천들은 군집 분석 결과에서 북하천(BH)을 제외한 Cluster 3에 분류된 하천이다. 이러한 하천의 수질 개선 방안으로는 공공하수처리시설 방류수의 영향을 받고 있어 공공하수처리시설의 증설 및 신설, 공공하수처리시설의 효율적인 운영에 따른 방류수 수질 개선 등 점오염원에 대한 관리 방안이 필요할 것으로 판단된다.

이러한 결과로 한강 수계의 수질 개선이 필요한 우선순위 지류 하천을 선정할 수 있으며 효율적인 수질 관리를 위한 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 하천으로 유입된 오염물질의 영향을 명확하게 분석하기 위해서는 하천 유량에 따른 유출

특성을 파악해야 하며 하천 유역 내 미확인 배출원에 대한 조사, 대상 유역의 수질오염 우심 하천과 오염원의 기여도 파악을 통하여 최적의 방안을 도출할 수 있다. 향후 타 수계 및 유역에 등급화 방안을 적용하여 수질 개선이 필요한 하천을 선정하여 합리적이고 체계적인 관리 시행이 가능할 것으로 판단된다.

사사

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2018-03-03-002).

References

- Ahn TW, Jung JH, Kim TH, Kim SW, Choi IS, Oh JM. 2012. A Study on the Characteristic of Pollutants of Water Quality and Sediments in Gul-po Stream Basin. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 34(7): 495-503. [Korean Literature]
- 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.
- Cho YC, Choi HM, Lee YJ, Ryu IG, Lee MG, Gu DH, Choi KW, Yu SJ. 2018. Statistical Analysis of Water Quality Data in the Imjin River for Total Pollutant Load Management. *Journal of Environment Impact Assessment*. 27(4): 353-366. [Korean Literature]
- Cho YC, Choi JW, Noh CW, Kwon PS, Kim SH, Yu SJ. 2018. Evaluation of Discharge-Water Quality Characteristics and River Grade Classification of Jinwi River Unit Basin. *Journal of Environment Impact Assessment*. 27(6): 705-717. [Korean

- Literature]
- 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]
- Choi OY, Kim KH, Han IS. 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 Environment*. 31(6): 700-714. [Korean Literature]
- Forina M, Armanino C, Raggio V. 2002. Clustering with dendrograms on interpretation variables. *Analysis Chimica Acta*. 454: 13-19.
- Gwak BR, Kim IK. 2016. Characterization of water quality in Changnyeong-Haman weir section using statistical analysis. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 38(2): 71-78. [Korean Literature]
- Jung KY, Ahn JM, Kim KS, Lee IJ, Yang DS. 2016. Evaluation of Water Quality Characteristics and Water Quality Improvement Grade Classification of Geumho River Tributaries. *Journal of Environmental Science International*. 25(6): 767-787. [Korean Literature]
- Jung KY, Kim GH, Lee JW, LEE IJ, Yoon JS, Lee KL, Im TH. 2013a. Selection of Priority Management Target Tributary for Effective Watershed Management in Nam-River Mid-watershed. *Journal of Korean Society on Water Environment*. 29(4): 514-522. [Korean Literature]
- Jung SJ, Kim KS, Seo DJ, Kim JH, Lim BJ. 2013b. Evaluation of Water Quality Characteristics and Grade Classification of Yeongsan River Tributaries. *Journal of Korean Society on Water Environment*. 29(4): 504-513. [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 TY, Yun DH, Shim MJ, Lee SM, Yoon YY. 2018. Long-Term Variations of Water Quality and Material Flux in the Han River Korea. *KSWST Journal of Water Treatment*. 26(5): 55-64. [Korean Literature]
- Kim JH, Lee SW, Cha SM. 2016a. Environmental statistics & data analysis. Hannarae publishing. [Korean Literature]
- Kim MA, Lee JK, Zoh KD. 2007. Evaluation of the Geum River by multivariate analysis: principal component analysis and factoranalysis. *Journal of Korean Society on Water Environmental*. 23(1): 161-168. [Korean Literature]
- Kim SB, Park YH, Kim YS, Kim SY. 2018. The Distribution Characteristics of Organic Matters in the Contaminated Tributaries of Han River Region. *Journal of Korean Society on Water Environment*. 34(5): 494-502. [Korean Literature]
- Kim SY, Ryu IG, Park MJ, Shin KY, Hwang SH, Cho HS, Lee JK, Lee YJ. 2016b. 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 WY, Kim DH, Choi YC. 2010. A Study on application limitation of AHP priority vector with expert measurement. *Journal*

- of the Korean Society for Aeronautical and Flight Operation. 18(3): 92-99. [Korean Literature]
- Kim YJ, Gal BS, Park JB, Kim SH, Im TY. 2018. Classification of Nakdong River Tributaries under Priority Management based on their Characteristics and Water Quality Index. Journal of Society on Water Environment Engineers. 40(2): 73-81. [Korean Literature]
- Kim YY and Lee SJ. 2011. Evaluation of Water Quality for the Han River Tributaries Using multivariate Analysis. Journal of Korean Society of Environment Engineers. 33(7): 501-510. [Korean Literature]
- Kwon TH. 2013. A Study of consideration of flowing-in branches's effect on the water quality for improvement of the water quality in of Keumho river. Master's Thesis. Yeungnam University. Gyeongsangbuk.
- Lee YJ, Park MJ, Son JY, Park JR, Kim GD, Hong CS, Gu DH, Lee JG, Noh CW, Shin KY, Yu SJ. 2017. Spatial and Seasonal Water Quality Variations of Han River Tributaries. Journal of Environment Impact Assessment. 26(6): 418-430. [Korean Literature]
- Lim BS, Cho BW, Kim YI, Kim DY. 2010. Application of Priority Order Selection Technique for Water Quality Improvement in Stream Watershed by Relationship of Flow and Water Quality. Journal of Society on Water Environment Engineers. 32(8): 802-808. [Korean Literature]
- Min KS. 2011. Watershed management and restoration tributaries. Journal of Korean Water Resources Association. 44(3): 18-23. [Korean Literature]
- Minister of Land, Infrastructure and Transport. 2004. Hydrological Observation Manual. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2017. Water Quality Monitoring Program. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2018. Water Environment Information. <http://water.nier.go.kr>.
- Na SM, Lim TH, Lee JY, Kwon HK, Cheon SU. 2015. Flow Rate Water Quality Characteristics of Tributaries and a Grouping Method for Tributary Management in Nakdong River. Journal of Wetlands Research. 17(4): 380-390. [Korean Literature]
- Noh HJ. 2005. Multivariate analysis theory and practice using spss & excel. Hyungseul publishing networks; pp. 87-469. [Korean Literature]
- Park JH, Sohn SM, Rhew DH. 2011. A Study on the Discharge Characteristics of the Pollutants using the Empirical Equation and Factor Analysis — Case Study of the Upper and Lower Qatershed of South han River. Journal of Korean Society on Water Quality. 27(6): 905-913. [Korean Literature]
- Park JS, Rhee KH. 2014. Items and Indicators of Evaluation for Decision of Priority in Improving River Water Quality. The Korea Spatial Planning Review. 80: 83-100. [Korean Literature]
- Park SH, Kim HS, Cho BU, Moon EH, Choi JH. 2016. Watershed Management Plan through Water Monitoring for Main Branches of 4 Water Systems in Chungcheongnamdo. Journal of Korean Society on Water Environment. 32(2); 163-172. [Korean Literature]
- Park SH, Moon EH, Choi JH, Cho BW, Kim HS, Jeong WH, Yi SJ, Kim YI. 2011. Analysis of distribution characteristics of

- flowrate and water quality in tributary at Chungcheongnam-do Korean. Korean Society Environment Engineers. 29(1); 107-113. [Korean Literature]
- Choi JH. 2016b. Watershed Management Plan through Water Monitoring for Main Branches of 4 Water Systems in Chungcheongnamdo. Journal of Korean Society on Water Environment. 32(2); 163-172. [Korean Literature]
- Ravichandran S, Ramanibai R and Punderikathan NV. 1996. Ecoregions for describing water quality patterns in Tamiraparani basin, South India. Journal of Hydrology. 178: 257-276.
- Shrestha S and 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. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques - a case study. Analysis Chimica Acta. 538 (1-2): 355-374.
- Son SC, Kim DH, Lee JC, Lee JY, Lee KW, Kim WJ, Jung JW. 2017a. Characteristics of Water Quality in Tributaries of the Sumjin River basin. Journal of the Korean Society for Environmental Technology. 18(6): 563-570. [Korean Literature]
- Son YG, Na SM, Im TH, Kim SH. 2017b. Water Quality Analysis in Nakdong River Tributaries Using 2012-2016 Monitoring Data. Journal of Korean Society on Water Environment. 33(6): 680-688. [Korean Literature]
- Sustainable Water Resources Research Center (SWRRC). 2004. Streamflow Measurement Manual. 1-84. [Korean Literature]
- Yi SJ, Kim YI. 2014. Improvement on Management of Non-point Source Pollution for Reasonable Implementation of TMDL-Focusing on Selection of Non-point Source Pollution Management Region and Management of Non-point Source Pollutant. Journal of Society on Water Environment Engineers. 36(10): 719-723. [Korean Literature]
- Yu SJ, Cho HS, Ryu IG, Son JY, Park MJ, Lee BM. 2018. Characteristics of Spatial and Temporal Organic Matter In the Han River Watershed. Journal of Korean Society on Water Environment. 34(4): 409-422. [Korean Literature]
- Zhaoshi W, Xiaolong W, Yuwei C, Yongjiu C, Jiancai D. 2018. Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. Science of the Total Environment. 612: 914-922.