

Research Paper

다변량 통계기법을 이용한 미호천 본류 수질특성 평가

윤혜영 · 김지현 · 채민희 · 조윤해 · 천세억

국립환경과학원 금강물환경연구소

Assessment of Water Quality in the Miho Stream Using Multivariate Statistics

Hyeoung Yoon · Jeehyun Kim · Minhee Chae · Yoonhae Cho · Seuk Cheon

Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

요약: 본 연구는 금강 수계 주요 지류인 미호천수계를 대상으로 수계의 공간적 특성을 조사하고, 수질분석과 통계분석을 이용하여 수질에 영향을 주는 주요인을 파악하였다. 조사 대상은 미호천 수계의 본류에서 수질측정망을 운영 중인 7개 지점으로 선정하였고, 2012년부터 2017년까지 6년간 측정망 수온 등 16개 항목, 기상자료 등을 사용하여 다변량 통계분석을 실시하였다.

수질 분석 결과, 유기물질 지표인 BOD와 COD의 6년간 평균 농도는 환경부 수질 및 수생태계 생활환경 기준(하천)과 비교하여 III등급(보통)으로 나타났다. 지점별 비교 결과 질소계열과 인계열의 농도는 상류 지점에서 가장 높게 나타났으며, 이후 감소하는 경향을 보이다 수리적, 지형적 영향으로 다시 증가하는 것으로 나타났다.

공간 및 수질 특성을 고려한 계층적 군집분석 결과, 총 3개의 군집으로 평가되었으며, 수계에 유입되는 오염원의 영향이 큰 것으로 나타났다. 각 군집과 본류 전체를 대상으로 실시한 주성분 및 요인분석 결과, 각각 3~4개의 주성분이 추출되었다. 요인분석 결과 제1요인은 본류와 Cluster1,3에서 질소계열 요인과 계절적 요인, Cluster2에서 질소계열 요인과 수온으로 나타나 미호천 수계의 수질에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 질소계열의 농도인 것으로 나타났다.

주요어: 군집분석, 요인분석, 미호천, 오염원, 질소계열 요인, 수온

Abstract: In The study, is to investigate the spatial characteristics of the Miho stream, which is the main tributary of the Geum River system, and to identify the main factors influencing the water quality using water quality analysis and multivariate analysis. The survey subjects were selected as 7 main sites in the Miho stream water system, From 2012 to 2017, 16 items including weather temperature and weather data were used for multivariate analysis.

First Author: Hyeoung Yoon, Tel:+82-43-730-5653, E-mail: sano607@korea.kr, ORCID: 0000-0003-0473-7934

Corresponding Author: Minhee Chae, Tel:+82-43-730-5641, E-mail: minhiecc@korea.kr, ORCID: 0000-0002-6347-2713

Co-Authors: Jeehyun Kim, Tel:+82-43-730-5645, E-mail: wlgus120@korea.kr, ORCID: 0000-0001-9302-0497

Yoonhae Cho, Tel:+82-43-730-5661, E-mail: yh.cho@korea.kr, ORCID: 0000-0002-9522-743X

Seuk Cheon, Tel:+82-43-730-5642, E-mail: sucheon@korea.kr, ORCID: 0000-0002-6157-3967

Received: 14 March, 2019. Revised: 27 June, 2019. Accepted: 11 July, 2019.

As a result of the water quality analysis, the average concentration of BOD and COD for 6 years was 3grade (normal) compared with the water quality environmental standard (river) of conditions.

The concentrations of nitrogen and phosphorus were highest at the upstream site, then decreased and then increased again by the hydrogeological and geomorphological effect. Cluster analysis of spatial and water quality characteristics, it was evaluated as three clusters and the pollution sources is the greatest impact. As a result of principal component analysis and factor analysis on each cluster and mainstream, three to four major components were extracted. Main stream and the Cluster 1, Cluster 3 first principal factor included nitrogen and seasonal factors, first factor of Cluster 2 included nitrogen and water temperature. Nitrogen is the principal factor which affects water quality in Miho stream.

Keywords : Cluster Analysis, Factor Analysis, Miho Stream, Pollution Source, Nitrogen, Water temperature

I. 서론

하천의 수질오염은 유역 내 인구증가와 도시지역의 산업발달로 인하여 각종 오염원이 증가하고 이 오염물질이 하천으로 유입되면서 시작된다. 일반적으로 인구밀집지역과 산업지역을 통과하면서 배출되는 생활하수 및 산업폐수가 지역 내 수환경에 크게 영향을 줄 수 있어, 이에 대한 관리대책이 시급한 것으로 나타나고 있다(Chung et al, 1997; Ok et al, 1999; Moon et al, 2001; An & Yang 2007).

금강은 한반도 중서부에 위치하며 우리나라 제 3의 유역으로서 신무산 중턱 품봉샘에서 발원하여 북쪽으로 흐르다가 무주남대천, 영동천, 초강, 보청천 등이 유입 합류된다. 보청천 합류 후 소옥천, 회인천, 주원천, 품곡천 등을 차례로 합류한 후 대청댐을 지나며, 이후 갑천, 미호천, 논산천을 합류한 후 금강하구둑을 거쳐 서해로 유입된다(MOLIT 2011).

미호천은 금강의 우안으로 합류되는 제1지류로서 금강유역 내 인구 중 약 32%가 미호천에 집중되어 있으며, 전형적인 도심 하천으로서 충청북도 음성에서 발원하여 유역 내 도시지역인 청주시를 관통하고 진천군, 연기군 등을 지나면서 생활하수 및 축산 폐수 등이 유입된다. 이후 칠장천, 보강천, 무심천, 석남천, 조천, 병천천 등의 지류를 포함하며 하류에서 금강과 합류된다(Kim et al, 2014).

우리나라의 주요 하천에 대해서는 수질평가 및 관련 연구가 활발하게 진행되고 있다(Moon et al,

2001). 불확실한 수질자료 해석에 대한 오류를 줄이고, 복잡한 수질 특성을 가지는 수계에 대해 다변량 통계분석은 수질인자들의 상관성 및 주요인을 평가하고 파악하기 위한 유용한 방법이라고 할 수 있다(An & Yang 2007; Kim et al, 2014).

이러한 다변량 통계분석방법을 이용하여 Gwak & Kim (2016)은 낙동강 창녕함안보 구간을 대상으로 상관분석, 요인분석으로 수질 특성을 연구하였고, Jung et al, (2012)은 영산강수계를 대상으로 요인분석, 군집분석을 통해 오염특성을 파악, Cho et al, (2017)은 임진강 유역을 대상으로 상관분석, 요인분석, 군집분석으로 오염원 파악, Kim & Lee (2011)은 한강수계 지천의 수질 평가 등 많은 연구 결과가 있다. 한강, 영산강 등을 대상으로 이와 유사한 연구들이 활발하게 이루어졌다. 미호천을 대상으로 수질 특성을 분석한 An & Yang (2007), Kim et al, (2014)은 시공간적 수질변이 특성 및 유입지천의 영향에 대해 연구하였다. Yoo et al, (2007)은 금강수계 주요 하천 수질환경기준 적용성에 대해 연구하였고 Shin (2001)은 전반적인 미호천 본류 및 지류 수질특성을 연구하였다. 최근 5년 동안 미호천 수계에 대한 예측연구는 많으나, 수질 특성 및 통계 관련 연구는 미비하다. 따라서 본 연구는 금강 미호천수계의 7개 지점을 선정하여 수질 특성을 파악하기 위하여 6년간의 수질자료를 바탕으로 항목별 최근 수질변동과 주요 오염원 특성을 확인하였다. 수질항목 간 군집분석, 상관관계, 주성분 및 요인분석의 다변량 통

계분석을 통해 수질에 영향을 주는 주요인을 파악하고 향후 신뢰성 있는 자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상 및 연구방법

미호천은 금강의 주요 지류로, 금강 유역의 북쪽 중앙부에 위치하고 있으며 유역면적은 1,855.35 km²로서 금강 전 유역면적(9,912.15 km²)의 18.7%를 차지하고 있다. 충북 진천군, 증평군, 청주시 및 충남 연기군을 거쳐 남·서류 하면서 칠장천, 한천, 무심천, 석남천, 병천천, 조천, 월하천등 지류가 유입되고 부강(芙蓉江) 서쪽에서 금강에 합류한다(Kim 2004; MOLIT 2011; Ko 2012).

본 연구의 조사지점은 미호천수계의 본류에 위치한 수질측정망 7지점을 대상으로 하였다(Table 1, Figure 1).

7개 지점 중 2개 지점(MH4, MH7)은 직접 조사를 하였으며, 나머지 5개 지점(MH1, MH2, MH3, MH5, MH6)은 물환경정보시스템(Water Environment Information System)에서 제공하는 월평균 수질측정자료와 물환경지리정보를 활용하였다.

2012년 1월부터 2017년 12월까지의 대상지점의 자료를 월평균과 연평균으로 분석하였다. 강우자료는 청주, 진천, 증평의 기상청자료(Korea Meteorological Administration)를 사용하였다.

수질오염특성 및 통계분석에 사용한 항목은 현장 측정항목인 수온(Water Temperature : Temp), 수소이온농도(pH), 용존산소(Dissolved Oxygen : DO), 전기전도도(Electrical Conductivity : EC)와

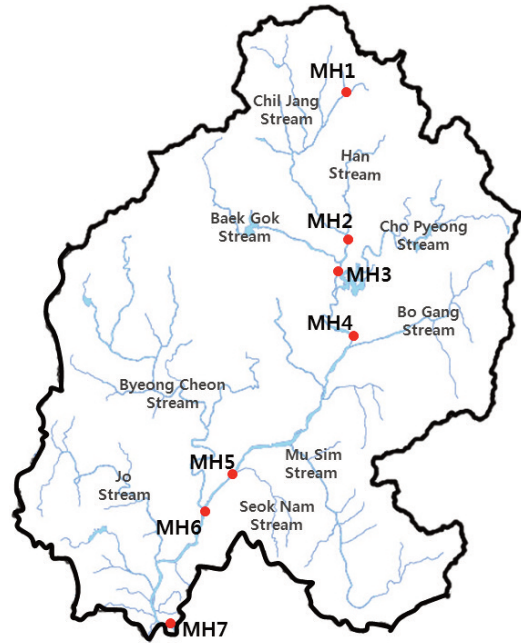


Figure 1. Site in Miho stream.

수질항목인 생물화학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand : BOD), 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand : COD), 부유물질(Suspended Solid : SS), 총질소(Total Nitrogen : TN), 용존총질소(Dissolved Total Nitrogen : DTN), 질산성질소(Nitrate as Nitrogen : NO₃-N), 암모니아성질소(Ammonium as Nitrogen : NH₃-N), 총인(Total Phosphorous : TP), 용존총인(Dissolved Total Phosphorus : DTP), 인산염인(Phosphate as Phosphorus : PO₄-P), Chlorophyll-a(Chl-a), 총유기탄소(Total Organic Carbon : TOC) 등 총 16항목을 대상으로 하였으며, 수질오염공정기준(환경부

Table 1. Study sites

Site	Locations
MH1	Cheonpyeong-ri, Samseong-myeon, Eumseong-gun, Chungcheongbuk-do
MH2	Ogap-ri, Chopyeong-myeon, Jincheon-gun, Chungcheongbuk-do
MH3	Gogok-ri, Munbaek-myeon, jincheon-gun, Chungcheongbuk-do
MH4	Yeocheon-ri, Ochang-eup, Cheongwon-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do
MH5	Shinchon-ri, Oksan-myeon, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do
MH6	Gungpyeong-ri, Osong-eup, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do
MH7	Sejong-ri, Yeongi-myeon, Sejong-si

고시 제2018-102호)에 준하여 분석하였다. 수질 특성 결과는 수질 및 수생태계 생활환경기준(하천)에 준해 평가하였다(단, 대장균군 제외).

2. 자료의 전처리 및 통계적 분석

본 연구에서 수질인자들의 통계분석은 SPSS (Statistical Package the Social Science, ver. 16.0)를 사용하였으며, 통계분석기법 중 군집분석, 상관분석(Person correlation), 주성분 및 요인분석을 수행하였다. 통계 자료의 정규성 및 등분산성을 높이기 위해 정규성 검정을 실시하였고(Kim & Lee 2011), Table 2와 같이 자료변환 후 각 변수에 대해

Table 2. Variable transformations for statistical analysis

Variables (Units)	Transformation
Temp. (°C)	Temp
pH	pH
DO (mg/L)	ln (DO)
EC (μS/cm)	EC
BOD (mg/L)	ln (BOD×10)
COD (mg/L)	ln (COD×10)
SS (mg/L)	ln (SS×10)
TN (mg/L)	ln (TN×1000)
DTN (mg/L)	DTN
NO ₃ -N (mg/L)	NO ₃ -N
NH ₃ -N (mg/L)	ln (NH ₃ -N)
TP (mg/L)	ln (TP×1000)
DTP (mg/L)	ln (DTP×1000)
PO ₄ -P (mg/L)	ln (PO ₄ -P×1000)
Chl-a (mg/m ³)	ln (Chl-a×10)
TOC (mg/L)	ln (TOC)

Shapiro-wilk 기준으로 $p > 0.05$ 이상일 경우 정규분포로 판정하였다.

수질분석자료는 정규성이 나타나지 않았으며, 자료 변환 후 63%의 정규분포 결과를 보였다(Kim 2011; Kim & Lee 2011; Kang 2013). 변환하지 않은 수온, pH, EC, DTN, NO₃-N은 자료 변환 전후 차이가 없거나 더 낮은 경향을 보여 변환을 적용시키지 않았다.

연구자료가 요인분석에 신뢰성을 알아보기 위해 표본적합도 검증(Kaiser Meyer Olkin: KMO)과 단위행렬 검증(Bartlett test)을 실시하였다. KMO test는 측정된 자료에 대한 변수의 값의 신뢰성을 나타내며 1에 가까울수록 요인분석의 신뢰성이 높다. Bartlett test는 변수 간 상관행렬이 단위행렬 여부를 검정하며 변수 간의 0에 가까울수록 유의성이 높다(Kwon et al. 2017). 요인분석은 최소 고유값(Eigenvalues)이 1보다 큰 요인을 선택하였고, 미호천의 특성을 정확히 설명하기 위해 Varimax방식의 회전한 성분값으로 요인분석을 실시하였다. 군집분석 방법은 계층적 군집 방법에서 Ward법을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 공간적 특성

미호천 유역 내 행정구역으로는 경기도 1개시, 충청북도 1개시, 5개군, 충청남도 1개시 1개군 등 총 3개도, 3개시, 6개 군이 있다. 유역면적은 약 1,855.4 km²으로 산림면적 45.9%(851.2 km²), 농경지 42.6%

Table 3. Results of Shapiro-Wilk test for normality

Site	Shapiro-Wilk <i>p</i> -values															
	Temp	pH	DO	EC	BOD	COD	SS	TN	DTN	NO ₃ -N	NH ₃ -N	TP	DTP	PO ₄ -P	Chl-a	TOC
MH1	0.001	0.053	0.331	0.426	0.289	0.342	0.045	0.490	0.010	0.041	0.190	0.000	0.605	0.026	0.374	0.013
MH2	0.000	0.000	0.128	0.566	0.081	0.257	0.410	0.026	0.366	0.131	0.005	0.140	0.522	0.000	0.001	0.397
MH3	0.000	0.000	0.080	0.466	0.317	0.326	0.117	0.131	0.069	0.244	0.007	0.053	0.394	0.001	0.013	0.767
MH4	0.000	0.000	0.040	0.052	0.039	0.015	0.235	0.004	0.164	0.264	0.009	0.621	0.073	0.008	0.001	0.166
MH5	0.001	0.102	0.294	0.266	0.022	0.240	0.078	0.746	0.000	0.349	0.006	0.045	0.660	0.450	0.280	0.222
MH6	0.002	0.000	0.211	0.945	0.841	0.764	0.016	0.179	0.043	0.132	0.250	0.217	0.001	0.612	0.549	0.453
MH7	0.000	0.001	0.087	0.049	0.261	0.199	0.015	0.010	0.000	0.227	0.038	0.755	0.492	0.122	0.011	0.624

(790.9 km²)이며, 금강의 산업단지 면적 16.2 km² 중 미호천은 약 44%(7.1 km²)을 차지하고 있다 (MOLIT 2011).

미호천 유역 내 위치한 환경기초시설은 공공하수처리시설 12개소, 산업폐수처리시설 13개소, 분뇨처리시설 5개소, 가축분뇨처리시설 2개, 소규모하수처리시설 42개소가 위치하고 있으며, 환경기초시설 중 산업계 31.7%, 생활계 29.3%로 미호천에 기여하고 있다. 소규모하수처리 시설을 제외한 환경기초시설을 표시하였다(Figure 2).

MH1, MH2는 환경기초시설이 상류에서부터 위치하여 타 유역에 비해 상대적으로 수질 오염도가 높은 것으로 나타났으며, 농업 배수지역인 금양읍과 축산·농업지역인 삼성면, 지류(칠장천, 한천)에서 발생하

는 농업·산업단지에서 유입되는 폐수 등의 영향을 받는 것으로 보였다(Kim et al. 2014).

MH3과 MH4 사이에 위치한 여천보로 인해 보로 유입되는 대부분의 유량이 농업용수로 공급되어 미호천으로 흐르는 유량이 줄고, 여천보 하류의 하상이 웅덩이와 같이 움푹 파여 있어 MH4에서 정체수역이 형성되었다. MH5에 상류에 위치한 무심천과 석남천은 청주시를 관류한다. 무심천은 상류부터 농업용수가 유입되고, 청주시에서 생활하수를 포함한다. 석남천은 청주 산업단지의 방류수, 축산 및 농업용수가 유입되며 미호천에 합류된다(Shin 2001; Kim et al. 2014).

MH5, MH6, MH7는 오송읍, 부동리, 내판리, 응암리등 본류 주변에 대규모의 산업단지와 환경기초

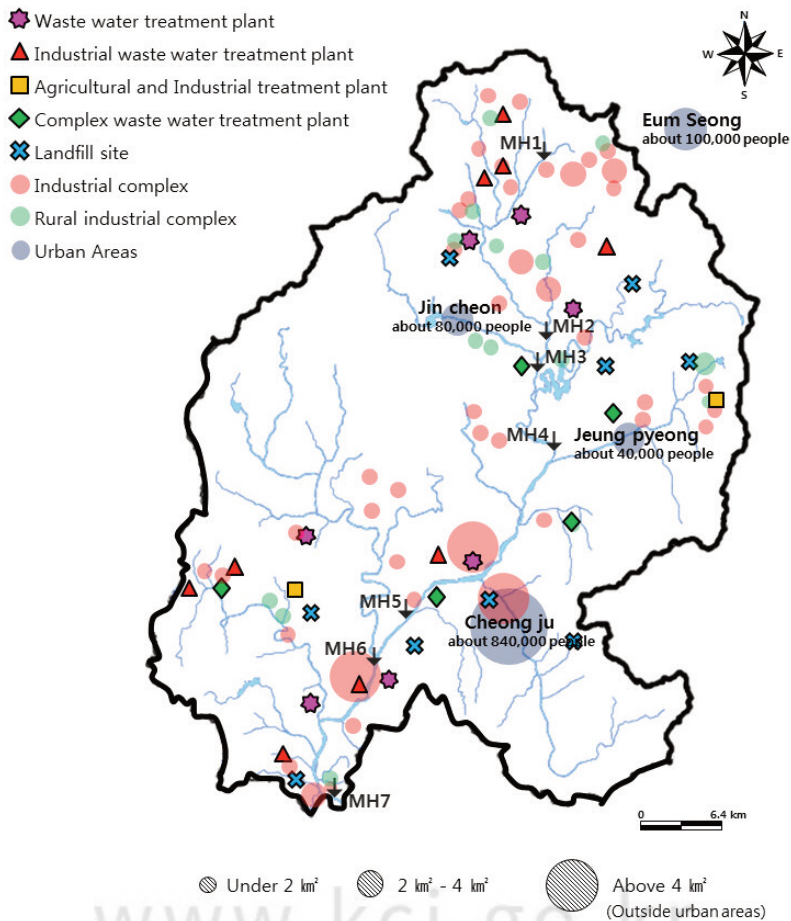


Figure 2. Source location.

시설이 위치하고 있다. 또한 병천천과 조천, 율하천이 합류하고 있으며, 지류 주변지역에도 산업단지와 환경기초시설 등이 위치하고 있다.

미호천 본류 유역은 주로 농경지로 이루어져있으며, 청주시 및 조치원 등의 도심지는 미호천 중·하류부에

분포되어 있다(MOLIT 2011).

2. 수질 특성

미호천 수계의 수질특성을 알아보기 위해 2012년 ~ 2017년 수질인자들의 월평균 농도를 그래프로 나

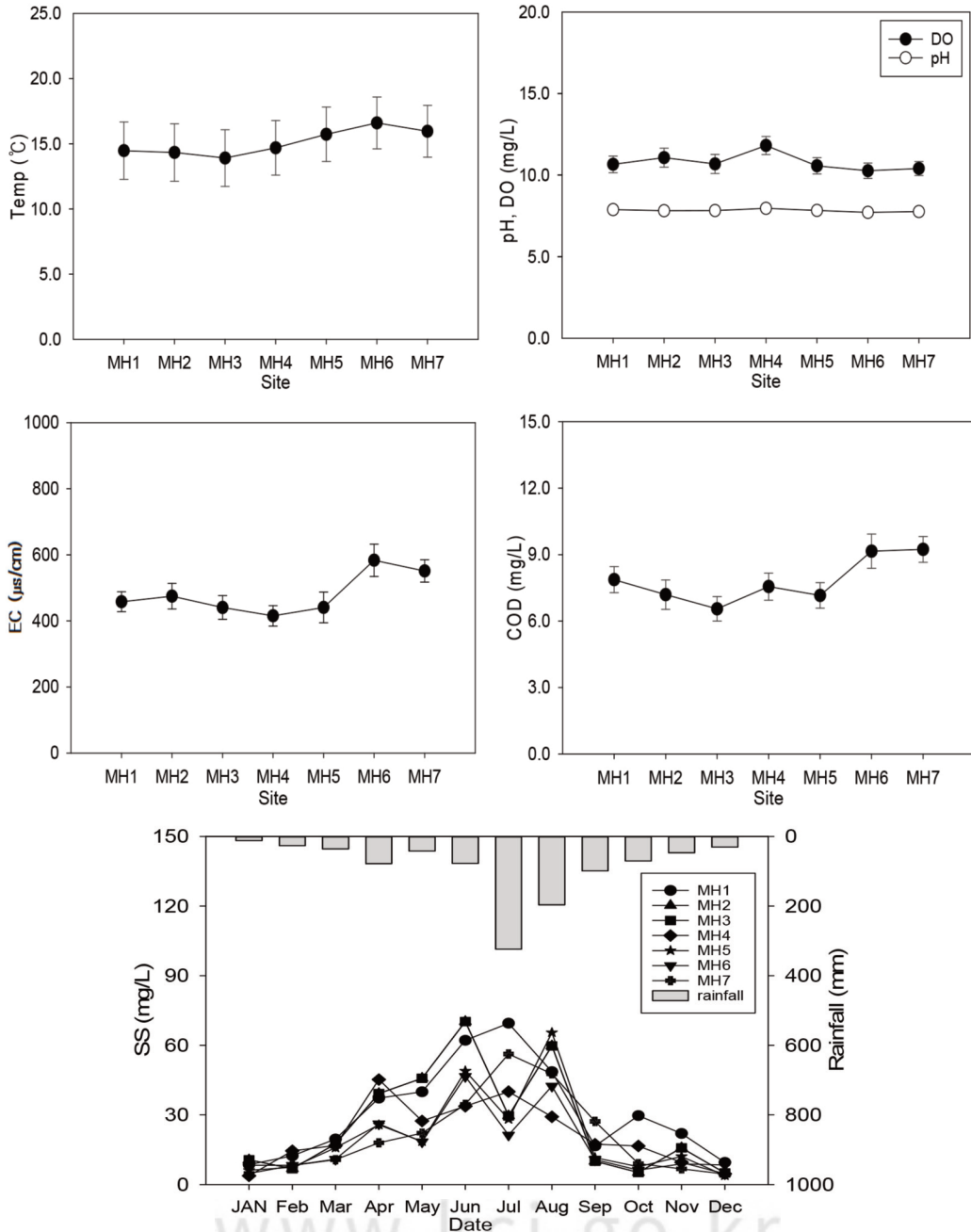


Figure 3. Variation of water quality (95% confidence intervals).

타내었다(Figure 3).

수온 평균 $15.1(\pm 8.8)^\circ\text{C}$, pH $7.8(\pm 0.3)$, DO $10.8(\pm 2.2)$ mg/L의 범위로 나타났다. EC의 경우 평균 $480(\pm 159.5)$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 나타났으며, MH6에서 급격히 증가하여 $583(\pm 204.5)$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ MH7까지 평균농

도보다 높은 농도를 유지하였다. SS는 평균 $23.9(\pm 33.1)$ mg/L로 나타났으며 농도범위가 $1.8\sim 296.2$ mg/L로 이는 강우의 영향을 받아 편차가 높게 나타나는 것으로 보인다(Gwak & Kim 2016). 유기물질 지표인 BOD는 평균 $3.3(\pm 1.9)$ mg/L, COD는 평균

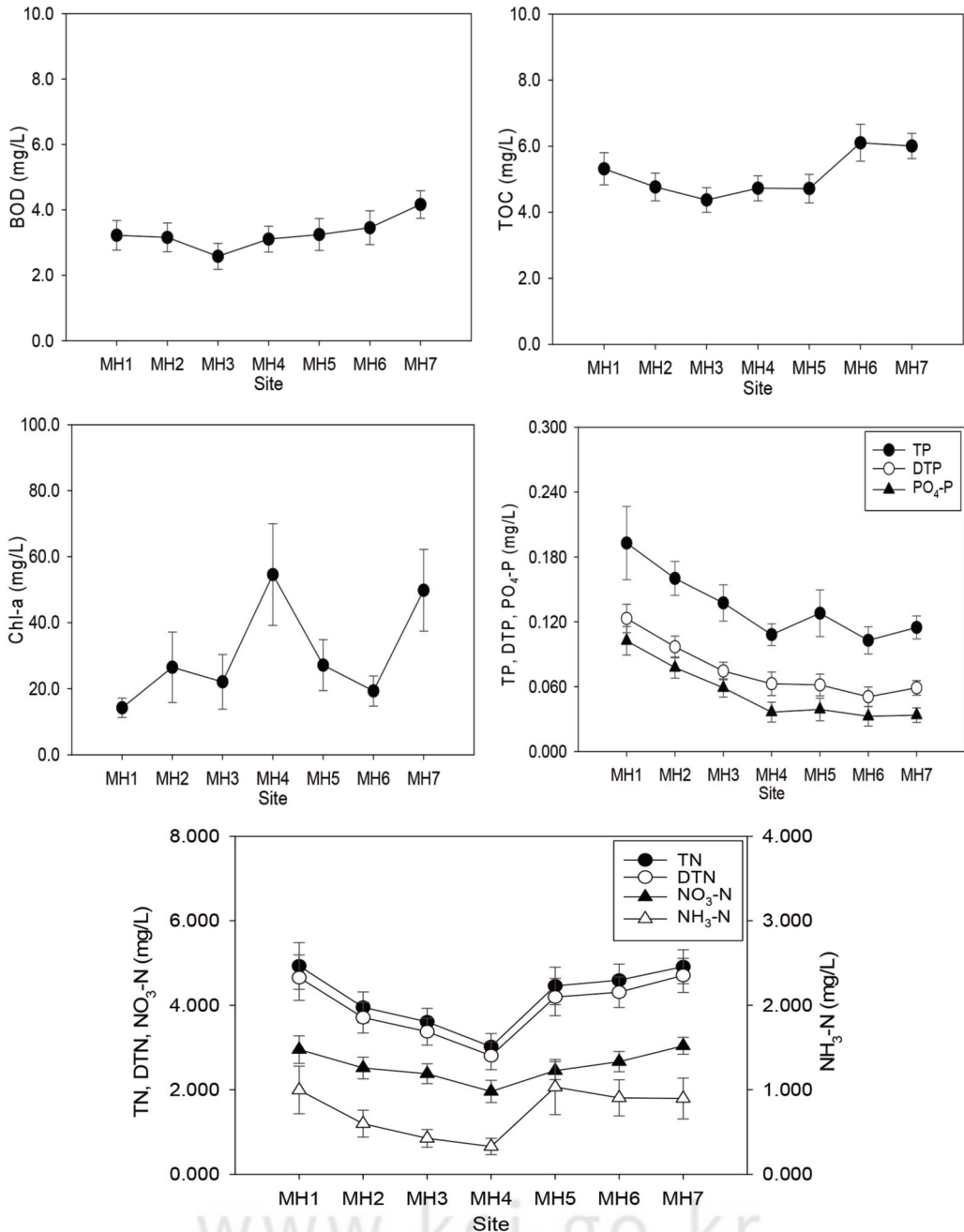


Figure 3. Continued

7.8(±2.6) mg/L, TOC는 평균 5.1(±1.8) mg/L로 환경부 수질 및 수생태계 생활환경기준(하천)으로 III(보통)등급으로 나타났으며, 하류로 갈수록 농도가 증가하였다.

TN은 평균 4,211(±1,669) mg/L이며 MH1 4,931(±2,323) mg/L, MH7 4,912(±2,244) mg/L로 높은 농도를 보였다. DTN 평균 3,964(±1,659) mg/L, NO₃-N 평균 2,567(±1,041) mg/L와 NH₃-N 평균 0.740(±0.856) mg/L으로 나타났다. 질소계열 항목들은 상류 지점인 MH1에서부터 높은 농도로 시작되어 점점 감소하다가 MH5에서 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. MH5에서 농도가 급격히 상승하는 이유는 미호천수계 지류 중 TN 오염부하 기여율이 가장 높은 석남천(23%)의 유입이 원인으로 보이며 Figure 4에 나타내었다(Kim et al. 2014). TP는 평균 0.135(±0.073) mg/L으로 III(보통)등급이나, 상류인 MH1에서 III(보통)등급에서 IV(약간나쁨, 0.2 mg/L이하)등급으로 나타났으며 평균 0.193(±0.142) mg/L, 최고농도 1,255 mg/L로 다른 지점에 비해 높은 농도로 나타났다. DTP, PO₄-P의 평균 농도는 0.075(±0.041) mg/L, 0.054(±0.040) mg/L이고 지점별 농도 경향은 TP와 유사하게 나타났으며 특히 MH1의 DTP, PO₄-P 평균농도는 0.123(±0.055) mg/L, 0.102(±0.055) mg/L로 높게 나타났다. MH1에서 질소계열 항목과 인계열 항목이 높은 농도를 나타나는 이유는 지점 주변에 하수처리장과 농·축산업

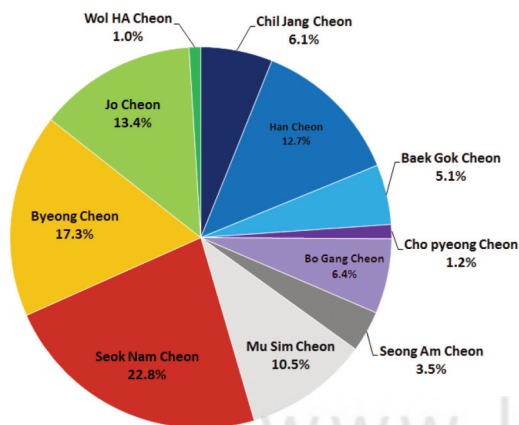


Figure 4. TN pollutant load contribution.

단지, 산업단지 등이 근접해 있어 직접적인 영향을 미치는 것으로 보인다.

Chl-a는 평균 30.5(±37.4) mg/m³이며, 그 중 MH4 평균 54.6(±65.5) mg/m³ 다른 지점 보다 높은 농도로 나타났다. 이는 상류에 위치한 보의 수리적인 영향과 MH4만의 지형적 특성이 크게 나타난 것으로 보인다.

3. 군집분석

군집분석은 어떤 기준에 의해 연구대상을 분류하는 통계분석기법으로 각 개체의 유사성을 측정하고 높은 집단으로 분류하여 데이터의 구조를 알 수 있는 방법이다(Ahn et al. 2014; Cho et al. 2017).

본 연구에서는 연구대상에 대한 공간 및 수질 특성을 모든 변수의 차이를 제공하여 합산 결정하는 Euclidean Distance를 이용하였다. 조사대상들 간의 유사성을 거리로 환산, 거리가 가까울수록 유사성이 높은 것으로 평가되며, 이를 바탕으로 Ward 방법으로 계층적 군집분석 방법을 적용하였다(Ji et al. 2013; Cho et al. 2017).

군집분석을 수행한 결과, 미호천은 상대적 거리 5이하에서 3개의 군집으로 나타났다(Figure 5). 미호천 상류에 위치한 MH1과 MH2가 Cluster1로 분류되었고, 청주, 증평, 진천 등 도심이 위치하는 지점인 MH3, MH4, MH5가 Cluster2로 분류되었는데 도시 및 생활계 오염원 영향력이 큰 지점으로 구분할 수

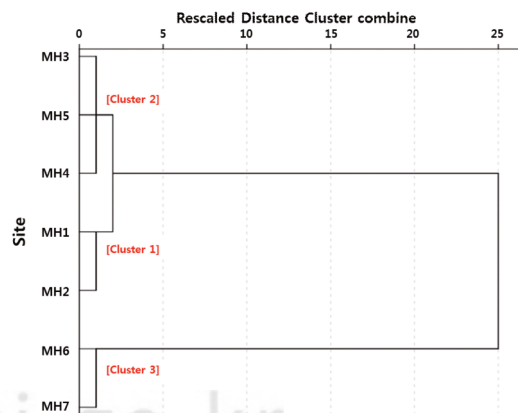


Figure 5. Dendrogram by cluster analysis of Miho stream.

있다. Cluster3은 대규모의 산업단지와 하수처리장, 농공단지가 밀집해 있는 미호천 하류인 MH6, MH7로 나타났다. 이 결과는 군집에 속하는 지점들이 서로 유사한 수질특성을 나타내고 있으며, 수계의 오염원과 토지이용특성의 영향을 받는 것으로 보인다(Cho et al, 2018).

4. 상관분석

수질인자간의 상관성평가를 위해 16개 수질항목에 대한 상관분석을 실시하였다(Table 4). 수온은 DO와 $-0.781(p<0.01)$ 로 높은 음(-)의 상관성을 보였으며, 다른 항목과 비교했을 때 가장 높은 상관성을 나타냈다. 수온이 높을수록 DO가 낮아지는 계절에 의한 전형적인 경향을 보였다. BOD는 COD와 $0.766(p<0.01)$ 로 가장 높은 양(+의 상관성을 보였고, TOC $0.631(p<0.01)$, Chl-a $0.596(p<0.01)$, TP $0.394(p<0.01)$ 순으로 상관성이 높게 나타났다. COD는 TOC $0.758(p<0.01)$, Chl-a $0.641(p<0.01)$ 로 나타났다. TP와 BOD의 상관계수는 $0.394(p<0.01)$, COD와 $0.351(p<0.01)$ 로 양(+의 상관성

을 보였다.

Chl-a는 유기오염물질(BOD, COD, TOC)과의 상관성이 비교적 높게 나타났으며, 이와 같은 결과는 대부분의 연구에서 동일하게 나타났고 질소계열 항목과는 음(-)의 상관성을 보였다. 그러나 Kim et al. (2002), Kim et al. (2013), Lee (2014)의 선행연구에 따르면 영양염류 농도가 조류의 생장에 필요이상으로 존재하여 상관성에 영향을 미치지 못한다는 연구결과와 다르게 나타났다.

TN은 COD와 $-0.277(p<0.01)$, TOC와 $-0.111(p<0.05)$ 로 낮은 상관성을 보였다. EC와 질소계열은 TN 0.463, DTN 0.492, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.468, $\text{NH}_3\text{-N}$ $0.266(p<0.01)$ 로 양의 상관성을 나타내었다.

5. 주성분 및 요인분석

요인분석을 실시하기 전 자료에 대한 신뢰성을 알아보기 위한 KMO test 결과 미호천 본류(Cluster total) 0.824, Cluster1 0.781, Cluster2 0.851, Cluster3 0.785로 분석되었고, Bartlett test 결과 모두 유의확률 $0.000(<0.05)$ 로 상관행렬이 단위행

Table 4. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters

Pearson Correlation																
	Temp	pH	DO	EC	BOD	COD	SS	TN	DTN	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_3\text{-N}$	TP	DTP	$\text{PO}_4\text{-P}$	Chl-a	TOC
Temp	1															
pH	0.268**	1														
DO	-0.781**	-0.030	1													
EC	-0.375**	-0.141**	0.371**	1												
BOD	0.253**	0.013	-0.143**	-0.005	1											
COD	0.472**	0.107*	-0.352**	0.035	0.766**	1										
SS	0.558**	0.084	-0.527**	-0.556**	0.525**	0.541**	1									
TN	-0.704**	-0.343**	0.432**	0.463**	-0.078	-0.277**	-0.391**	1								
DTN	-0.690**	-0.302**	0.460**	0.492**	-0.056	-0.236**	-0.396**	0.941**	1							
$\text{NO}_3\text{-N}$	-0.729**	-0.226**	0.497**	0.468**	-0.295**	-0.458**	-0.513**	0.841**	0.819**	1						
$\text{NH}_3\text{-N}$	-0.551**	-0.354**	0.278**	0.266**	0.109*	-0.081	-0.190**	0.747**	0.747**	0.532**	1					
TP	0.262**	0.034	-0.324**	-0.443**	0.394**	0.351**	0.644**	-0.099*	-0.123**	-0.253**	0.009	1				
DTP	-0.036	-0.101*	-0.180**	-0.390**	0.000	-0.060	0.321**	0.076	0.050	0.050	0.134**	0.744**	1			
$\text{PO}_4\text{-P}$	-0.074	-0.119**	-0.176**	-0.373**	-0.189**	-0.202**	0.190**	0.062	0.024	0.105*	0.081	0.512**	0.794**	1		
Chl-a	0.646**	0.251**	-0.334**	-0.051	0.596**	0.641**	0.417**	-0.542**	-0.508**	-0.578**	-0.434**	0.152**	-0.259**	-0.386**	1	
TOC	0.273**	0.026	-0.172**	0.205**	0.631**	0.758**	0.264**	-0.111*	-0.078	-0.289**	-0.004	0.177**	-0.128**	-0.234**	0.489**	1

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

Table 5. The factor analysis results

[Cluster Total]				[Cluster 1]			
Rotation Sums of Squared Loadings				Rotation Sums of Squared Loadings			
NO.	Total	% of Variance	Cumulative %	NO.	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.857	30.355	30.355	1	5.138	32.112	32.112
2	3.642	22.762	53.117	2	3.250	20.312	52.424
3	3.222	20.135	73.253	3	3.236	20.226	72.649
Rotated Component Matrix				Rotated Component Matrix			
	Component				Component		
	1	2	3		1	2	3
TN	0.939	-0.090	-0.049	TN	0.934	0.053	-0.188
DTN	0.934	-0.059	-0.086	DTN	0.924	0.007	-0.137
NH ₃ -N	0.822	0.098	0.086	Temp	-0.881	0.182	0.161
NO ₃ -N	0.808	-0.343	-0.129	NH ₃ -N	0.806	0.223	0.089
Temp	-0.786	0.367	0.182	NO ₃ -N	0.805	-0.080	-0.421
DO	0.511	-0.255	-0.417	DO	0.669	-0.464	-0.072
pH	-0.419	-0.013	-0.108	Chl- <i>a</i>	-0.565	-0.216	0.542
COD	-0.172	0.915	0.050	pH	-0.307	0.106	-0.095
BOD	0.039	0.901	0.086	DTP	0.144	0.891	0.086
TOC	-0.001	0.831	-0.111	PO ₄ -P	0.078	0.881	-0.073
Chl- <i>a</i>	-0.528	0.675	-0.180	TP	-0.085	0.747	0.500
DTP	0.156	-0.084	0.899	EC	0.470	-0.632	-0.008
TP	-0.019	0.360	0.829	SS	-0.369	0.512	0.438
PO ₄ -P	0.120	-0.289	0.817	BOD	0.106	0.062	0.927
EC	0.483	0.138	-0.640	COD	-0.273	0.300	0.847
SS	-0.372	0.518	0.586	TOC	-0.047	0.023	0.795

[Cluster 2]				[Cluster 3]				
Rotation Sums of Squared Loadings				Rotation Sums of Squared Loadings				
NO.	Total	% of Variance	Cumulative %	NO.	Total	% of Variance	Cumulative %	
1	5.010	31.312	31.312	1	4.915	30.717	30.717	
2	4.021	25.130	56.442	2	3.463	21.642	52.359	
3	3.081	19.258	75.700	3	3.423	21.391	73.750	
				4	1.215	7.596	81.346	
Rotated Component Matrix				Rotated Component Matrix				
	Component				Component			
	1	2	3		1	2	3	4
DTN	0.908	-0.144	0.038	TN	0.965	-0.009	-0.122	-0.051
TN	0.907	-0.195	0.107	DTN	0.957	-0.039	-0.126	-0.090
Temp	-0.823	0.347	0.177	Temp	-0.824	0.324	0.210	0.148
NO ₃ -N	0.813	-0.435	-0.026	NH ₃ -N	0.806	0.043	0.055	-0.378
NH ₃ -N	0.782	0.051	0.213	NO ₃ -N	0.766	-0.358	-0.178	0.220
BOD	-0.081	0.938	0.043	DO	0.751	-0.180	-0.320	0.065
COD	-0.266	0.907	0.051	COD	-0.272	0.863	-0.119	-0.049
TOC	-0.088	0.838	-0.109	BOD	0.135	0.849	0.243	0.035
Chl- <i>a</i>	-0.543	0.696	-0.231	Chl- <i>a</i>	-0.416	0.759	-0.048	0.238
SS	-0.444	0.583	0.541	TOC	-0.133	0.746	-0.272	-0.145
DTP	0.225	0.001	0.825	DTP	-0.066	-0.116	0.898	-0.093
PO ₄ -P	0.174	-0.288	0.774	TP	-0.061	0.365	0.860	0.006
TP	-0.024	0.539	0.698	EC	0.315	0.217	-0.782	-0.168
EC	0.545	-0.011	-0.608	PO ₄ -P	-0.155	-0.407	0.698	-0.080
DO	0.525	-0.143	-0.553	SS	-0.397	0.486	0.645	0.069
pH	-0.427	0.160	-0.433	pH	-0.133	0.014	0.002	0.926

렬로 나타나 요인분석이 가능하였다(Kwon et al. 2017).

본 연구에서는 16개 수질인자를 대상으로 주성분 및 요인분석을 실시하였으며, 본 연구의 대상인 모든 지점과 군집분석을 통해 얻은 Cluster1,2,3에 대해 각각 실시하였다.

주성분 요인수를 결정함에 있어 고유값 누적율은 60~80% 이상 되어야 하며(Jung 2000; Kim et al. 2007), 분석결과 고유값 누적율이 70% 이상으로 요인을 설명하기에 충분하였다.

미호천 분류를 주성분분석으로 요인을 추출한 결과, 주성분 요인은 총 3개로 추출되었다(Table 5). 본류 전체 고유값 누적율은 73.253%로 제1요인은 30.355%를 기여하고 있으며, 제2요인 22.762%, 제3요인 20.135%로 나타났다.

제1요인은 TN, DTN, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, 수온, DO, pH로 질소계열 요인과 계절적 요인이 주성분임을 설명하고 있다. 질소계열 요인은 높은 양(+)의 상관성, 수온은 음(-)의 상관성을 보였다. 이는 미호천의 많은 하수처리장의 영향으로, 동절기 수온 저하로 인한 하수처리장의 질소제거율이 감소하는 연구들(Kim et al. 2005; Yoon 2015; Cho & Kim 2018)과 유사한 경향을 보이고 있다.

제2요인은 COD, BOD, TOC, Chl-a로 모든 요인이 높은 양(+)의 상관성을 나타내고 있으며 유기물에 대한 오염부하물질과 관련 있음을 나타낸다. 제3요인은 DTP, TP, $\text{PO}_4\text{-P}$, EC, SS로 인계열 요인으로 나타났다.

Cluster1(MH1, MH2)은 3개의 주성분으로 나타났으며 고유값 누적율이 72.649%로 나타났다. 제1요인은 질소계열 요인과 계절적 요인(수온, DO), Chl-a, pH이며 전체 중 32.112%를 설명하고 있다. 질소계열 요인은 양(+)의 상관성, Chl-a는 음(-)의 상관성으로 나타내며 이는 상관분석과 유사한 결과를 보였다. 제2요인은 인계열 요인과 EC, SS로 나타났으며, 이는 MH1, MH2 주변지역에 농업단지와 축산단지가 형성되어 있어 인계열 요인이 Cluster2, 3과 다르게 제2요인으로 나타난 것으로 보인다. 제3요인은 유기오염물질요인으로 나타났다.

Cluster2(MH3, MH4, MH5)는 3개의 주성분으로 추출되며 고유값 누적율이 75.700%로 나타났다. 본류의 요인분석 결과와 같이 질소계열 요인과 수온이 제1요인으로 나타났으며 고유값 누적율 31.312%를 차지하고 있다. 제2요인은 유기오염물질요인과 Chl-a, SS, 제3요인은 인계열 요인과 EC, pH, DO로 나타났다. Cluster3(MH6, MH7)의 주성분은 4개로 나타났으나 Cluster2와 거의 비슷한 요인으로 나타났다. 제1요인은 질소계열 요인과 계절적 요인(수온, DO)이며, 제2요인은 유기오염물질 요인과 Chl-a, 제3요인은 인계열 요인과 EC, SS, 제4요인은 pH로 나타났다.

미호천 수계는 질소계열 항목이 제1요인으로, 질소계열 인자가 미호천 수질에 가장 큰 영향을 미치고 있다. 상류지역(Cluster1)에서 질소계열 요인과 인계열 요인이 높은 비율을 차지하는 것은 수계 인근지역에 위치한 농업, 축산단지가 영향을 미치는 것으로 보인다. Cluster2, 3은 서로 비슷한 경향을 보이고 있으며 이는 중·하류에 위치한 도심하천과 산업단지 등의 영향으로 보인다. Kim (2002), Kim et al. (2007), Cho et al. (2017) 연구에서 주성분 요인이 유기오염물질요인과 영양염류계열요인으로 나타났는데 미호천의 경우도 다른 수계와 유사한 결과를 보였다.

IV. 결론

본 연구는 금강의 주요 지류인 미호천수계 7개 지점을 대상으로 수질특성 분석 및 통계프로그램(SPSS statistics ver. 16.0)으로 다변량 통계분석을 하여 수질항목 간 군집분석, 상관분석, 주성분 및 요인분석 적용하여 수질에 영향을 주는 주요인을 파악한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

수질 특성으로는 BOD, COD, TOC는 III(보통)등급으로 나타났으며, 하류로 갈수록 농도가 증가하는 경향을 보였다. 질소계열 항목들은 상류 MH1지점부터 높은 농도로 시작되어 점점 감소하다가 오염도가 가장 높은 석남천의 유입으로 MH5에서 다시 증가하는 경향을 보이고 있다.

수질항목 간 상관성 비교 결과, 상관성은 BOD는 유기오염물질 및 Chl-a, TP의 상관성이 높게 나타났다. TN는 COD, TOC와 낮은 상관성을 보였다.

공간적, 수질적 특성을 이용하여 군집분석을 실시한 결과 상류에 위치한 MH1과 MH2가 Cluster1로 분류되었고, 도심이 위치하여 도시 및 생활계 오염원의 기여도가 큰 MH3, MH4, MH5이 Cluster2, 대규모의 산업단지와 하수처리장 농공단지가 밀집해 있는 MH6, MH7이 Cluster3으로 나타났다. 요인분석 결과 분류, Cluster1, Cluster2는 각각 3개의 요인이 Cluster3은 4개 요인이 추출되었으며, 제1요인은 질소계열 요인과 계절적 요인인 TN, DTN, NH₃-N, NO₃-N, 수온, DO가 추출되었다. 미호천수계는 상하류 구분 없이 미호천에 유입되는 질소계열 농도가 미호천 수질에 가장 큰 영향 요인으로 작용하였다.

본 연구결과는 미호천 수계에 유입되는 지천의 지속적인 모니터링과 질소계열의 오염 저감을 위한 대책이 필요하다. 또한 미호천 수질특성에 맞는 관리 및 개선방안 등을 위한 자료로 활용 가능할 것이다.

사 사

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

References

- Ahn SR, Kim SH, Kim SJ. 2014. A Study on Hydrologic Clustering for Standard Watersheds of Korea Water Resources Unit Map Using Multivariate Statistical Analysis. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 17(1): 91-106. [Korean Literature]
- An KG, Yang WM. 2007. Water Quality Characteristics In Keum River Watershed. *Korea Journal of Limnol.* 40(1): 110-120. [Korean Literature]
- Cho HK, Kim SM. 2018. Water Quality Correlation Analysis between Sewage Treated Water and the Adjacent Downstream Water in Nakdong River Basin. *Journal of Korean Society on Water Environment*. 34(2): 202-209. [Korean Literature]
- Cho YC, Choi HM, Lee YJ, Ryu IG, Lee MG, Gu DH, Choi KW, Yu SJ. 2018. Statistical Analysis of Water Flow and Water Quality Data in the Imjin River Basin for Total Pollutant Load Management. *J. Environ. Impact Assess.* 27(4): 353-366. [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): 649-649(9). [Korean Literature]
- Chung JB, Kim BJ, Kim JK. 1997. Water Pollution in Some Agricultural Areas along Nakdong River. *Korea Journal of Environmental Agriculture*. 16(2): 187-192. [Korean Literature]
- Gwak BR, Kim IK. 2016. Characterization of Water Quality in Changnyeong. *J. Korean Soc. Environ. Eng.* 38(2): 71-78. [Korean Literature]
- Ji HS, Cho GJ, Jung KW, Kim CI, Lee KS. 2013. Characteristics of Groundwater Quality from Groundwater Monitoring Network in Busan using Multivariate Statistical Analysis. *The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment*. 23(1): 160-175. [Korean Literature]
- Jung HG. 2000. A study on the characteristics of varying quality of water in the vicinity of

- development area by component's analysis. Chonnam National University. [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 J. Limnol. 45(4): 368-377. [Korean Literature]
- Kang SH. 2013. The Evaluation of Water Quality Using a Multivariate Analysis to Establish the Water Quality Targets of TMDL in Shihwa Costal Reservoir. Myongji University. [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. J. Korean Soc. Hazard Mitig. 13(6): 429-437 [Korean Literature]
- Kim JI, Choi JW, An KG. 2014. Spatial and Temporal Variations of Water Quality in an Urban Miho Stream and Some Influences of the Tributaries on the Water Quality. Korea Journal of Environmental Science International 23(3): 433-445. [Korean Literature]
- Kim JH, Choi CM, Kim WI, Lee JS, Jung GB, Han KH, Ryu JS, Lee JT, Kwun SK. 2007. Multi-variate Statistical Analysis for Evaluation of Water Quality Properties in Korean Rural Watershed. Korean Journal of Environmental Agriculture. 26(1): 17-24. [Korean Literature]
- Kim MS, Chung YR, Suh EH, Song WS. 2002. Eutrophication of Nakdong River and Statistical Analysis of Environmental Factors. The Korean Society of Phycology 17(2): 105-115. [Korean Literature]
- Kim TK. 2004. Assessment of Propriety for the River Water Quality Standard of Miho Stream. Journal of Industrial science researches. 21(2): 189-196. [Korean Literature]
- Kim YC, An IS, Kang MG. 2005. Survey of the Secondary Effluents from Municipal Wastewater Treatment Plants in Korea. Journal of Korean Society on Water Quality. 21(2): 158-168. [Korean Literature]
- Kim YY. 2011. A Study on Prediction Model and Evaluation of River Water Quality Using Multivariate Statistical Techniques. Kyonggi University. [Korean Literature]
- Kim YY, Lee SJ. 2011. Evaluation of Water Quality for the Han River Tributaries Using Multivariate Analysis. Environmental Engineering Research 33(7): 501-510. [Korean Literature]
- Ko AR. 2012. Derivation of the Relationship Equation Between the Representative Catchment Characteristics and the Flood Index on Small-Mid Size Catchments in the Upper Geum River. Chungbuk national university. [Korean Literature]
- Kwon PS, Park MJ, Lee YJ, Cho YC, Noh CW, Jung WS, Kim JH, Yu SJ. 2017. Evaluation of Water Quality Characteristics at Kyeonggan Stream Using the Flow-Loading Equation and Factor Analysis. Ecology and Resilient Infrastructure. 4(4): 226-236. [Korean Literature]
- Lee DH. 2014. Study on the Analysis of Seasonal Occurring Nature of Algal Bloom in the Keum River Estuary. Chungnam national university. [Korean Literature]
- Ministry of land Infrastructure and Transport. 2011. Basic plan for The Guem River. Ministry of land. Infrastructure and Transport.

- [Korean Literature]
- Moon YH, Park JM, Son JG, Kim KH. 2001. Change in water quality on upper stream of Man-kyeong River. Korea Journal Environ. Agriculture. 20(3): 252-257. [Korean Literature]
- Ok CS, Lee JP, Park HS, Beak BC, Lee B. 1999. Water quality and water resource management. 606 pp. [Korean Literature]
- Shin SM. 2001. (The) Research on the water quality of the Miho stream. Korea national university of education. [Korean Literature]
- Yoo YB, Cheon SU, Lee JA. 2007. Review of water quality standard application in Geum river. [Korean Literature]
- Yoon HY. 2015. The study on the influence of Daejeon Gabcheon upon the Geum river's water quality and Geum river management facility. Chungnam national university. [Korean Literature]