

다변량 통계 분석기법을 이용한 한강수계 지천의 수질 평가

Evaluation of Water Quality for the Han River Tributaries Using Multivariate Analysis

김요용 · 이시진*[†]
Yoyong Kim · Sijin Lee*[†]

경기도보건환경연구원 · *경기대학교 환경에너지시스템공학과

Gyeonggi-do Institute of Health & Environment · *Department of Environmental Energy System Engineering, Kyonggi University

(2010년 11월 22일 접수, 2011년 7월 26일 채택)

Abstract : In this study, water pollution sources of 14 major tributaries of Han river and characteristics of water quality for each target streams were evaluated based on water quality data in 2007.1-2009.12 (14 data sets) using a statistical package, SPSS-17.0. Cluster analysis over time and space for each stream resulted in 4 groups for the spatial variations in which type and density of pollution sources in the basins showed the greatest impact on grouping. Moreover, cluster analysis for the time variation in which rainfall, temperature and eutrophication were shown to contribute to the clustering, produced 2 groups, from summer to fall (July-Oct.) and from winter to early summer (Nov.-June). Four factors were found as responsible for the data structure explaining 71-90% of the total variance of the data set depending on the streams and they were organic matter, nutrients, bacterial contamination. Factor analysis showed main factors (water pollutants) changed according to the season with different pattern for each stream. This study demonstrated that water quality of each stream could produce useful outcomes when factor and pollution source of basin were evaluated together.

Key Words : Cluster Analysis, Factor Analysis, Pollution Source, Water Quality

요약 : 한강의 주요 14개 지류하천 유역의 수질오염원을 평가하고, 2007. 1~2009. 12의 하천 수질자료(14 data set)로 SPSS-17.0을 이용하여 하천별 수질 특성을 평가하였다. 시·공간변화에 대한 군집 분석을 실시한 결과 공간변화에 따라 4그룹으로 평가되었으며, 유역의 오염원 종류 및 밀도가 군집분류에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 시간변화에 따라 여름에서 가을까지(7~10월)와 겨울에서 초여름까지(11~6월)의 2그룹으로 분류되어 강우와 기온 그리고 부영양화 현상이 군집화에 기여하는 것으로 평가되었다. 조사대상 하천의 수질오염 요인은 유기물질·영양염류·세균오염요인과 하천 내 물질대사요인으로(71~90%) 설명되었고, 계절에 따라 주요인(수질오염물질)은 변화하는 것으로 나타났다. 각 하천의 수질특성은 요인과 유역 오염원을 같이 평가하였을 때 유용한 결과를 얻을 수 있었다.

주제어 : 군집분석, 요인분석, 수질, 오염원

1. 서론

하천·호소의 수질을 결정하는 자연적 요인은 대기강하물, 토양침식물, 지각물질의 용출 및 풍화작용 등이 있으며, 인위적 요인은 사람의 생활, 산업활동, 농·축산활동 등이 있다. 특히, 도시 지역은 인위적 오염에 취약해 공간변화와 경시변화에 아주 민감한 특징이 있다.¹⁾

다변량통계분석은 차원(dimension)을 줄이고자 하는 통계 분석 체계라고 할 수 있다. 즉, 정보의 손실은 최소로 하면서 가능한 한 적은 수의 변수로 줄이는 분야와 많은 개체를 그 특성이 비슷한 몇 가지 집단으로 분류하여 단순하게 설명하고자 하는 분야로 나눌 수 있다.²⁾ 전자의 변수의 차원을 줄이는 분석으로 다변량회귀분석(Multivariate Regression Analysis), 다변량분산분석(ANOVA), 주성분분석(Principal Component Analysis), 요인분석(Factor Analysis) 등이 있고, 후자의 개체의 차원을 줄이는 분석으로 군집분석(Cluster Analysis) 판별분석(Discriminant Analysis), 다차원 척도법(Multidimensional Scaling) 등이 있다. 이러한 다변량

통계 분석 연구로는 라군 저질토의 중금속 오염도 자료 분석,³⁾ 수질자료 분석,⁴⁾ 화산재 등 광물자료 분석,⁵⁾ 그리스 파 트라스만의 지리 조사자료 분석⁶⁾ 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 유역의 수질 모니터링 자료에 대한 다변량분석은 최근 10여 년 동안 활발히 연구되어 하천, 호소의 수질 특성 평가와 수질 정책 결정을 위해 많이 활용되고 있다.^{5,7,8)}

국내의 연구로는 금강, 낙동강, 만경강 수계에 대해 수질 특성 파악을 위한 요인분석 연구, 농촌유역 소하천을 대상으로 군집분석과 요인분석을 통해 하천특성별 수질관리에 관한 연구 등이 있다.⁹⁻¹⁴⁾ 그러나 대부분 발표 자료는 광범위 수계를 단일 자료(1 data set)로 통계 분석하여 유역 오염원 특성이 확연히 다른 하천 특성이 간과되어 결국 평가의 신뢰도를 낮추고, 소유역 수질정책으로 활용하고자 할 때 많은 제약이 있다.¹⁾

따라서 본 논문에서는 한강의 주요 14개 지류하천 유역의 수질오염원을 평가하고 각각의 하천 수질자료(14 data set)에 대해 공간적, 계절적 군집분석으로 하천을 특성별로 분류하고, 분류된 그룹별로 수질오염요인을 평가하여 향후 회

[†] Corresponding author E-mail: sjlee@kgu.ac.kr Tel: 031-250-2690 Fax: 031-254-4905

귀분석에 의한 수질예측 등 연구의 신뢰도를 높이고 유역 특성에 적합한 수질관리정책수립 등에 도움을 주고자 하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 연구대상 하천의 개요

한강유역이 포함하고 있는 행정구역은 서울시 전역과 경기도 26개 시·군, 강원도 15개 시·군, 충청북도 8개 시·군, 인천광역시 계양구, 부평구, 서구 및 남동구와 경상북도 문경시, 봉화군, 상주시, 영주시의 일부로 2010년 기준으로 약 2,000만 명이 거주하고 있고, 2,450만 명이 한강을 상수원으로 이용하는 우리나라 최대의 유역이다.¹⁵⁾

이 연구에서는 경기도 지역에 위치한 한강의 주요 지천을 연구대상으로 하였다. 연구대상 하천을 설명하면, 광역상수원인 팔당호 상류 남한강·북한강의 제1지천으로 여주군·이천시를 유역으로 하는 청미천과 북하천, 양평군지역의 흑천, 가평군을 유역으로 하는 가평천·조종천 그리고 팔당호로 직접 유입하는 경안천을 대상으로 하였으며, 인구밀도가 높은 도심지역인 팔당호 하류 한강의 제1지천으로 용인시와 성남시를 유역으로 하는 탄천, 안양·광명·시흥시를 유역으로 하는 안양천, 남양주시와 구리시 지역을 흐르는 왕숙천과 한강하류인 고양시를 유역으로 하는 창릉천과 곡릉천을 대상으로 하였고, 한강의 최 하류로 유입되는 임진강의 제2,3지천이나 악성폐수발생 업체와 소규모 공단이 입주해있어 오염도가 높은 양주시·동두천시·포천시를 유역으로 하는 신천·포천천·영평천 등 총 14개 하천을 대상으로 하였다.

2.2. 연구 조사 자료의 범위

하천의 수질오염특성을 조사하기 위한 수질오염원 및 유역 현황 자료는 ‘전국오염원조사 자료(2008)’와 ‘중권역물관리 기본계획’ 자료를 활용하였다. 이를 소유역 단위로 정리

하여 오염원과 토지이용 현황 등을 평가하였다.

환경부에서 운영하고 있는 국가수질측정망은 하천별 3~10개 지점이 운영되고 있으며,¹⁶⁾ 이번 연구에서는 국가수질측정망 자료 중 2007. 1~2009. 12까지 월1회 측정된 자료와 8일 간격으로 36회/년 측정된 총량측정 자료를 활용하였다. 하천 수질평가를 위한 대상지점(대표지점)은 단위 유역 말단 부분의 지점을 선정하였으며, 그 위치와 합류수계를 Table 1에 정리하였다.

통계분석에 사용한 수질항목은 화학적항목인 pH, EC, DO, BOD, COD, SS, T-N, T-P와 이온계열 항목으로 호소, 하천의 부영양화 유발물질과 수질모델 구성인자로 중요한 NO₃⁻-N, NH₄⁺-N, PO₄³⁻-P 그리고 부영양화로 인한 2차 생성물질인 조류(Chlorophyll-a로 평가), 위생오염지표인 총대장균군과 분원성대장균군 등 14 항목과 물리적 환경 항목으로 수온 등 총 15항목을 대상으로 하였으며, Table 2에 나타내었다.

Table 2. Water quality parameters(variables) for statistical analysis

Variable	Abbreviation	Unit
Water Temp	Temp	℃
Hydrogen ion concentration	pH	
Electric Conductivity	EC	μmhos/cm
Biochemical Oxygen Demand	BOD	mg/L
Chemical Oxygen Demand	COD	mg/L
Suspended Solid	SS	mg/L
Dissolved Oxygen	DO	mg/L
Total Nitrogen	T-N	mg/L
Total Phosphorus	T-P	mg/L
Nitrate as Nitrogen	NO ₃ ⁻ -N	mg/L
Ammonium as Nitrogen	NH ₄ ⁺ -N	mg/L
Phosphate as Phosphorus	PO ₄ ³⁻ -P	mg/L
Total coliform	Coli	MPN/100 mL
Fecal coliform	FColi	MPN/100 mL
Chlorophyll-a	Chl-a	mg/m ³

Table 1. Study streams and sampling sites

Stream name	Sampling site	Main basin	Mark
Gapyeong	Eumnae-ri, Gapyeong-eup, Gapyeong-gun, Gyeonggi-do(Ggapyeong bridge)	North Han river	ga
Gokleung	Hajiseok-ri, Gyoha-eup, Paju-si, Gyeonggi-do (Gokleung cheon bridge)	Han river	goc
Gyeongan	Seoha-ri, Chowol-eup, Gwangju-si, Gyeonggi-do (Seoha bridge)	Paldang Lake	gy
Bokha	Hyoji-ri, Heungcheon-myeon, Yeosu-gun, Gyeonggi-do(Heungcheon bridge)	South Han river	bh
Shin	Daejeon-ri, Cheongsan-myeon, Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do(Daejeon bridge)	Im Jin river	sn
Anyang	Guro-dong, Guro-gu, Seoul (Ogeum bridge)	Han river	yy
Yeongpyeong	Baegui-ri, Cheongsan-myeon, Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do(Baegui bridge)	Im Jin river	yp
Wangsuk	Topyeong-dong, Guri-si, Gyeonggi-do (Guri WWTP, nearby)	Han river	ys
Jojong	Cheongpyeong-ri, Cheongpyeong-myeon, Gapyeong-gun, Gyeonggi-do (Cheongpyeong bridge)	North Han river	zz
Changleung	Haengjuoe-dong, Deogyang-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do(Changleung bridge)	Han river	chl
Cheongmi	Samhap-ri, Jeomdong-myeon, Yeosu-gun, Gyeonggi-do(Samhap bridge)	South Han river	chm
Tan	Bokjeong-dong, Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do(Daewang bridge)	Han river	tan
Pocheon	Yangmun-ri, Yeongjung-myeon, Pocheon-si, Gyeonggi-do(Eunhyeon bridge)	Im Jin river	pch
Heuk	Gongse-ri, Gaegun-myeon, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do(Heuk cheon bridge)	South Han river	hch

2.3. 자료의 전처리 및 통계분석 방법

자료의 통계분석을 위해 통계처리 프로그램인 SPSS(ver 17.0)를 활용하여 기본통계분석과 다변량분석으로 하천별, 시기별 요인분석과 군집분석으로 하천의 수질특성을 파악하였으며, 자료의 정규성 및 등분산성을 높이기 위해 Table 3과 같이 변수별 특성에 맞는 변환을 한 후 다변량통계분석을 수행하였다.

통계분석의 순서는 우선, 자료의 기본통계 분석으로 자료의 mean, median, 표준편차, 사분위수 등 빈도분석과 그래프 분석으로 산점도와 히스토그램, 박스도표 등으로 평가하였고, 정규성검정은 Table 3의 변환 전후의 변수값에 대하여 Shapiro-wilk 기준으로 실시하였으며 검정결과 유의확률(p)>0.05이면 정규성분포로 판정한다. 각 변수에 대한 정규성 검정결과 로그 변환전 SS, Coli, FColi, Chl-a는 대상

하천 전체가 정규분포가 아니었으며, BOD, COD, T-P 등의 항목들도 정규분포인 하천은 50% 이하였으나 변환 후 Table 4와 같이 정규분포가 80% 이상의 좋은 결과를 보여주고 있다. 단지, 로그변환 하지 않은 항목은 로그변환 전후 차이가 없거나 오히려 나쁜 결과를 초래하여 변환하지 않았다.

요인분석방법은 주성분분석법과 최소 고유값 기준(값 1 이상)으로 요인의 수를 결정하였으며, 불확실성을 줄여주기 위해 쿼티맥스(Quartimax)회전한 성분값으로 요인분석을 실시하였다. 분석자료는 14개 하천의 3년간 월1회 분석 자료로 개체수가 504이며, 변수는 Table 3의 수질항목 15개 등비변수와 측정지점위치·측정시기 등 명목변수 2개로 총 17개 변수로 전체 자료의 행렬은 504×17·1 set이고, 하천별 자료행렬은 36×17·14 set이다.

군집분석을 위해 Table 3의 변환된 변수값을 Z score로 표준화(평균 0, 표준편차 1)하여 계층적 군집분석을 실시하였다(이 과정은 SPSS의 표준화방법의 옵션으로 변수값에 대한 Z score 선택하면 자동 적용됨). 이러한 로그변환 등의 자료의 전처리와 중심화(centering), 표준화(standardization)는 요인의 설명력을 높여주는 것으로 보고되고 있다.^{2,17,18)}

본 연구의 군집분석의 목적으로 시간적 요인과 하천별 유역 특성요인의 두 가지 군집특성을 파악하기 위해 실시하였다. 시간(계절)요인 군집분석 자료는 3년간 자료 전체에 대한 월평균자료(자료행렬 36×17)로 하였으며, 공간(유역)요인을 파악하기 위해서는 경시변화 되는 월측정값 보다 대표값 의미의 년평균값 또는 계절별 평균값으로 하였을 때 요인이 명확히 분류되거나 연구목적상 단순화 할 필요성이 있어 14개 하천의 연평균자료(14하천×3년 = 42)에 대해서만 수행하였다. 군집분석 방법은 이상값(outlier) 영향을 적게 받는 중심연결법(centroid linkage method)으로 하였고, 유사성거리측정은 아래의 식의 유클리드 제곱거리(Squared Euclidean Distances)로 측정하였다.

Table 3. Variable transformations for statistical analysis

Variables (Units)	Transformation
Temp (°C)	Temp
pH	pH
EC (µs/cm)	EC
BOD (mg/L)	ln (BOD×10)
COD (mg/L)	ln (COD×10)
SS (mg/L)	ln (SS×10)
DO (mg/L)	ln (DO×10)
T-P (mg/L)	ln (T-P×10,000)
T-N (mg/L)	T-N
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	ln (NO ₃ ⁻ -N×10)
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	ln (NH ₄ ⁺ -N×10)
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	ln (PO ₄ ³⁻ -P×10,000)
Coli (MPN/100 mL)	ln (Coli)
FColi (MPN/100 mL)	ln (FColi)
Chl-a (mg/m ³)	ln (Chl-a×10)

Table 4. Results of Shapiro-wilk test for normality

Stream	p value												
	EC	BOD	COD	SS	DO	T-N	T-P	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	PO ₄ ³⁻ -P	Coli	Fcoli	Chl-a
ga	0.295	0.014	0.114	0.970	0.383	0.055	.277	0.037	0.894	0.149	0.070	0.661	0.539
goc	0.000	0.111	0.493	0.944	0.629	0.029	.590	0.345	0.000	0.233	0.013	0.004	0.123
gy	0.488	0.304	0.110	0.544	0.071	0.001	.138	0.306	0.696	0.052	0.541	0.167	0.069
bh	0.036	0.886	0.389	0.701	0.895	0.395	.005	0.350	0.487	0.001	0.097	0.000	0.322
sn	0.131	0.051	0.286	0.164	0.038	0.489	.519	0.899	0.222	0.142	0.237	0.605	0.054
yy	0.004	0.221	0.711	0.034	0.286	0.271	.010	0.182	0.000	0.006	0.473	0.541	0.728
yp	0.250	0.535	0.108	0.141	0.604	0.025	.911	0.003	0.333	0.618	0.188	0.671	0.811
ys	0.130	0.704	0.531	0.701	0.781	0.018	.019	0.004	0.006	0.000	0.066	0.101	0.069
zz	0.999	0.692	0.169	0.052	0.046	0.000	.131	0.459	0.269	0.179	0.199	0.376	0.437
chl	0.038	0.010	0.613	0.258	0.579	0.364	.717	0.083	0.000	0.074	0.252	0.422	0.066
chm	0.142	0.280	0.149	0.057	0.831	0.028	.514	0.063	0.100	0.403	0.753	0.188	0.065
tan	0.004	0.183	0.049	0.002	0.107	0.937	.846	0.000	0.133	0.168	0.356	0.182	0.318
pch	0.068	0.041	0.486	0.299	0.515	0.005	.395	0.124	0.162	0.011	0.504	0.269	0.043
hch	0.000	0.063	0.926	0.304	0.034	0.948	.840	0.238	0.616	0.041	0.425	0.220	0.298

$$Distance(O_i, O_j) = \sum_{j=1}^n (X_{1i} - X_{2j})^2$$

여기서 O_i : i 번째 개체, X_{ij} : i 번째 개체의 j 번째 변수값

3. 결과 및 고찰

3.1. 하천별 수질오염원 현황

하천수질은 인구, 축산, 산업계에서 발생하는 점오염원과, 토지계에서 발생하는 비점오염원의 영향으로 결정된다. 토지계 중 대지, 공장용지, 상업용지, 도로 등 복합대지 지역은 비점오염 유출의 취약지역으로 이들 면적 비율이 비점오염평가의 간접 지표로 사용할 수 있다.

Table 5는 하천유역의 오염원 현황을 나타내었다. 연구 대상 하천 중 인구밀도가 가장 높은 유역은 안양천과 탄천유역으로 인구밀도가 5,000명/km² 이상이였다. 돼지 사육두

수가 많아 악성 축산폐수 발생이 우려되는 유역은 청미천, 복하천, 영평천, 포천천 유역이었으며, 산업폐수가 다량 배출되는 유역은 신천, 포천천, 안양천으로 평가되었다. 산업폐수배출 사업장은 배출량에 따라 1종부터 5종으로 구분하는데 1종은 폐수배출량이 2,000 m³/d 이상, 2종은 700~2,000 m³/d, 3종은 200~700 m³/d, 4종은 50~200 m³/d, 5종은 50 m³/d 이하를 말한다.²¹⁾ 특히 신천과 포천천유역의 경우 1~3종의 산업체가 많고, 폐수의 특성도 처리하기 어려운 섬유, 피혁제조 업체들이 입지해있다. 복합 대지비율이 10% 이상이면 도시지역으로 비점관리에 취약지역으로 평가하는데 안양천, 탄천, 창릉천 유역은 복합대지비율이 20% 이상이고, 곡능·경안천과 복하·왕숙천 유역은 10~20%로 비점오염 취약지역으로 나타났다.

3.2. 하천별 수질오염도 특성

3.2.1. 수온

Fig. 1은 조사 대상 14 하천의 2007. 1~2009. 12까지 3년

Table 5. Characteristics of the upper region of study sites¹⁹⁾

Stream name	Population (person)	Livestock		Basin area (km ²)	Density of population (person/km ²)	Ratio of urbanization* (%)	Number of industry (:1,2 class)
		pig (heads)	cattle (heads)				
ga	15,431	2,519	3,915	305.4	50	1.4	24(0)
goc	283,983	30,161	10,267	261.4	1,086	12	575(0)
gy	414,645	38,238	4,068	447.2	927	15	621(3)
bh	156,333	184,237	23,365	309.5	505	13	240(9)
sn	146,581	95,069	15,015	343.6	427	9	551(18)
yy	1,513,079	4,616	5,506	281.2	5,381	30	509(13)
yp	15,431	116,110	15,905	230.4	67	3	223(0)
ys	451,522	12,569	21,164	274.6	1,644	10	472(3)
zz	24,581	5,365	4,001	260.6	94	8	53(0)
chl	134,136	2,237	476	80.3	1,670	28	62(0)
chm	62,265	364,262	35,452	596.1	104	8	225(1)
tan	1,327,177	8	301	203.9	6,510	26	423(5)
pch	130,421	97,325	19,054	230.5	566	9	964(9)
hch	25,494	14,983	3,250	314.1	81	4	26(0)

* : Area included commercial site, industrial site, road site and building site etc.

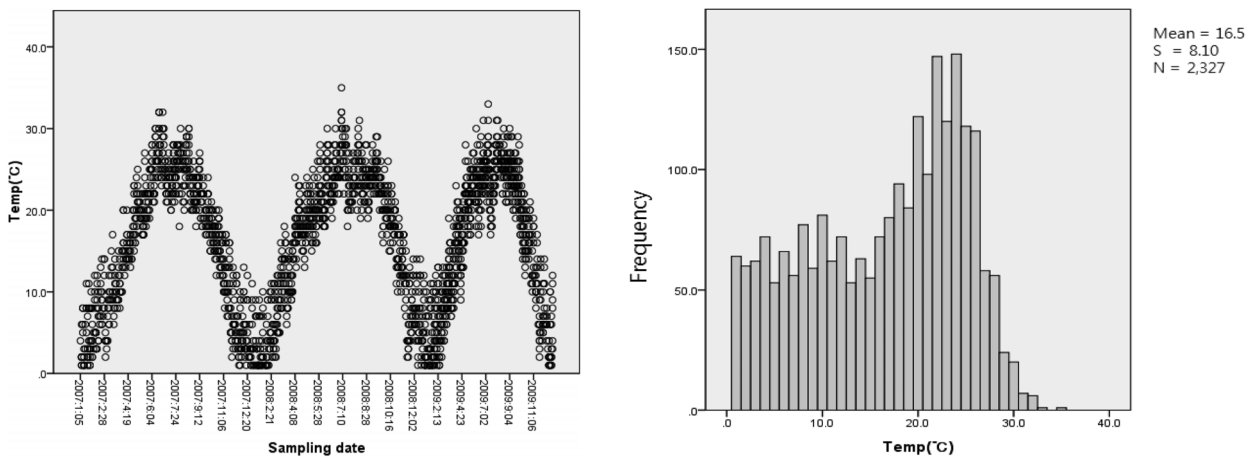


Fig. 1. Histogram and distribution of water temperature for each site.

동안 8일 간격으로 조사된 총 2,375개 자료 중 결측값과 이상값을 제외한 유효측정자료 2,327건에 대한 수온의 히스토그램과 산포도이다.

수온의 변화 범위는 1.0~35.0℃이며, 가장 높은 35℃의 하천은 신천으로 유역에 입지해 있는 섬유, 피혁제조업체 270여 개소가 여름철에는 40℃ 이상의 폐열수를 배출하고 있어 온도 상승의 주요한 요인인 것으로 생각된다. 분포의 특성은 온도가 높은 오른쪽으로 치우쳐 있고(왜도 -0.333), 최빈값 24℃, mean 16.5℃, median 18℃로 대표값간의 비교적 큰 차이를 보이고 있다. 또한 시기별 온도 분포는 변온기간(10~20℃)은 짧고 10℃ 이하의 저온기간과 20~30℃의 비교적 높은 온도의 기간이 긴 것으로 조사되었으며, 4분위 온도는 10℃와 23℃이었다.

깨끗한 산간지역 하천인 가평천, 조종천, 흑천의 연간 수온 median은 16℃로 가장 낮았고, 도심하천으로 인구와 산업폐수 등 점오염원이 밀집되어 있는 안양천, 탄천, 복하천이 수온 median 20℃로 산간지역의 하천보다 약 4℃ 정도 높은 것으로 나타났다.

3.2.2. 유기오염 및 영양염류 오염 특성(BOD, COD, T-P, T-N, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N)

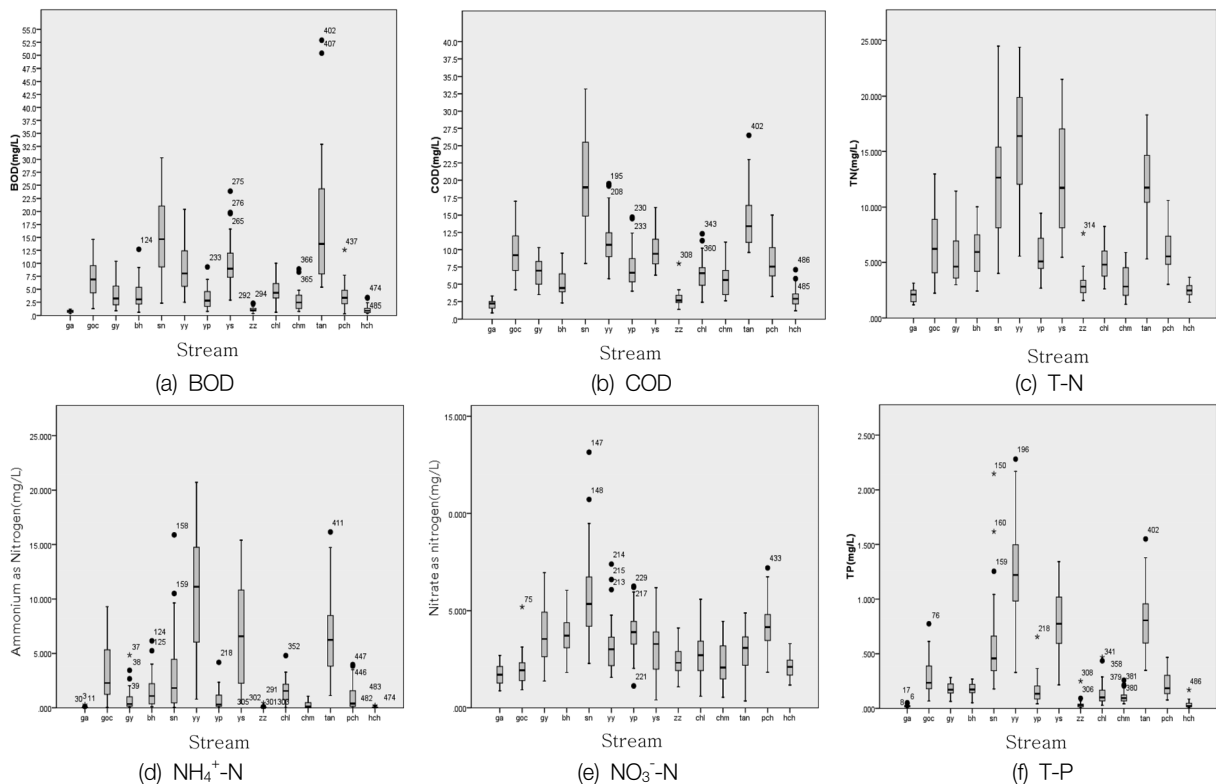
Fig. 2는 14개 하천에 대한 수질오염도를 Box형 그래프로 나타내었다. 생활계·축산계에 의한 오염으로 예측되는 BOD, COD, T-P, T-N, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N의 오염도는 신천, 안양천, 탄천, 왕숙천, 곡능천이 심한 것으로 나타났으며, 이들 하천 중 신천의 COD와 질산성질소의 농도가 높은 경향을 보이고 있는데, 이는 분해하기 어려운 유기물이 많고, 질소가

다량 발생하는 동두천시와 양주시의 섬유공장(229개소), 피혁공장(48개소) 등 산업체에서 발생하는 폐수의 영향이 큰 것으로 예측된다.²²⁾

안양천, 탄천, 왕숙천은 대규모 도시가 형성된 인구 밀집 지역으로 많은 양의 하수처리 방류수가 하천으로 유입되고 있다. 이들 지역 하수처리장의 운영 실태를 조사한 결과 실제 방류량은 2009년 현재 안양하수처리장 약 35만 m³/d, 성남하수처리장 약 34만 m³/d, 구리하수처리장 약 16만 m³/d으로 유역 하천의 평수기 유량의 약 50% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 하수처리 방류수의 년평균오염도는 T-N이 약 15 mg/L(범위 8~30 mg/L)이고 T-P는 1.2mg/L(범위 0.5~2.5 mg/L)이며, 12~3월이 T-N 평균 약 18 mg/L(최대 42 mg/L)로 하절기 T-N 평균 약 12 mg/L(최대 22 mg/L)보다 50% 이상 높았다. 특히 안양천, 왕숙천, 탄천의 NH₄⁺-N의 농도가 3~15 mg/L 정도로 상당히 높게 나타났으며, 이는 2009년 현재 안양하수처리장과 성남하수처리장(구시가지 라인)은 고도처리시설이 없는 표준활성슬러지 공법으로 NH₄⁺-N가 높은 농도로 배출되는 등 하수처리장 방류수가 수용하천수질에 절대적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. NH₄⁺-N는 독성 물질인 동시에 악취를 유발하고 산소를 고갈시키는 물질로 미국 등 선진국은 대부분 0.5~5.0 mg/L의 엄격한 배출허용기준으로 관리하고 있으나 우리나라는 관리기준이 없는 실정이다.

3.2.3. 대사 물질 등 기타오염 물질 특성(pH, DO, Chl-a, EC, SS, 분원성대장균군군)

pH, DO, Chl-a는 부영양화에 의한 조류발생의 영향 항목



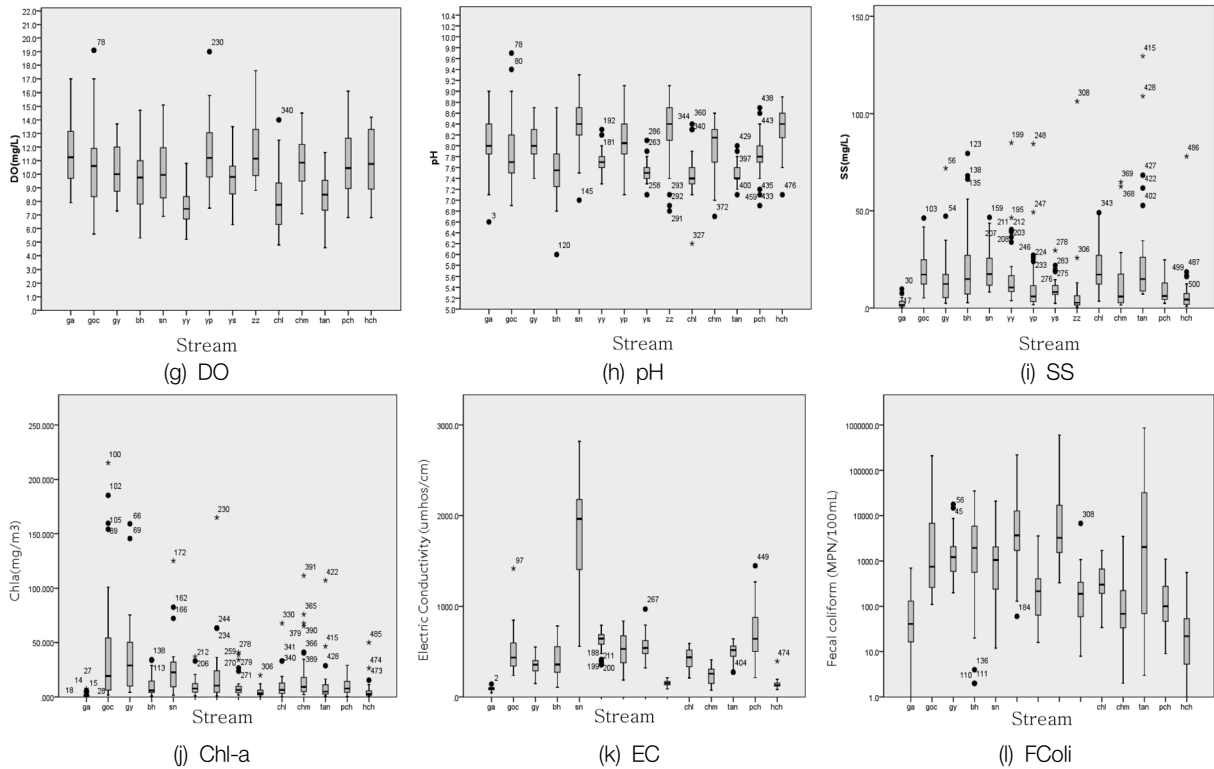


Fig. 2. Water quality variations in each site, 2007-2009.

으로 평가된다. 조류가 발생하면 일조시간대에는 광합성작용의 영향으로 pH가 높아지며, DO 농도가 과포화(14~19 mg/L) 되는 것으로 조사되었다. 조사대상 하천의 부영양화 정도는 Forsberg 등의 Chl-a 농도기준²³⁾으로 부영양상태인 7~40 mg/m³가 대부분이었고, 곡능천과 경안천은 과영양상태인 경우도 빈번히 발생하였다.

전기전도도는 신천과 포천천이 각각 1,000 μ s/cm, 500 μ s/cm 이상으로 다른 하천에 비해 2~6배 정도의 높은 값을 보이고 있는데, 이들 유역은 대규모 산업단지가 입지해 있으며, 특히 신천은 피혁 및 섬유공장 등 공장 폐수의 영향으로 판단된다.

분원성 대장균군 오염은 처리되지 않은 하·폐수나 축산분뇨 등 온혈성 동물에 의한 병원성 세균오염의 지표로 이용된다. 본 조사 결과 도심지역과 축산농가가 많이 소재하고 있는 곡능·경안천, 복하·안양천, 왕숙·탄천이 분원성대장균군 농도가 1,000 MPN/100 mL 이상으로 평가되었다.

3.3. 다변량통계분석 결과

3.3.1. 군집분석

군집의 수를 결정하는 방법은 RSSD (Root Mean-Square Standard Deviation)의 증가폭이 큰 지점 등으로 결정하는 방법 등이 있으나, 본 연구에서는 군집을 쉽게 분류할 수 있도록 도와주는 덴도그램의 시각적인 정보와 하천 유역오염원 특성, 계절 특성 정보를 종합 평가하여 군집의 수를 결정하였다.²⁴⁾

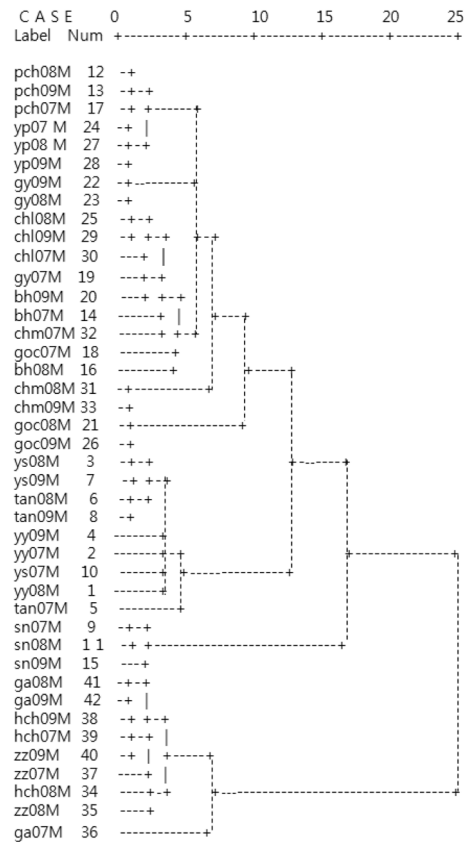


Fig. 3. Similarity dendrogram for the sampling sites resulted from cluster analysis using 14 streams' yearly median data (2007~2009). Four groups were shown : (i) pch, yp, gy, chm, bh, chl, goc. (ii) yy, ys, tan. (iii) sn. (iv) ga, zz, hch.

Fig. 3은 공간적(유역)요인에 의한 군집분석을 한 결과이며 그림 내용 중 개체명(예 pch08M)은 하천명(pch) · 측정년도(2008) · Mean을 의미한다. 군집분석 결과 유역요인에 의해 4개의 그룹으로 분류할 수 있었다. i 그룹은 포천천(pch), 영평천(yo), 경안천(gy), 청미천(chm), 복하천(bh), 창릉천(chl), 곡능천(goc)으로 도시와 농촌, 산업체가 복합된 유역의 특성을 가지고 있으며, ii 그룹은 안양천(yy), 왕숙천(ys), 탄천(tan)으로 전형적인 도심 하천으로 소규모 공장이 많이 입지해 있고 인구밀도가 상당히 높아 하수처리장 방류수의 하천수질 기여도가 큰 유역이었다. iii 그룹은 신천(sn)으로 공장폐수의 영향이 큰 유역이며, iv 그룹은 가평천(ga), 조종천(zz), 흑천(hch)으로 대부분 산림이 많고 인구와 산업체 밀도가 낮은 청정유역으로 평가되었으며, 이 결과는 다음 요인분석의 결과 해석에 이용되어 이해를 도울 수 있다.

Fig. 4는 계절적 요인에 따른 군집화 결과이며, 여름 풍수기부터 가을까지(7~10월)와 동절기에서 초여름까지(11~6월) 2 그룹으로 분류 되었다. 이는 유량요인과 풍수기 이후의 부영양화 등 수질변화가 군집화에 기여하는 것으로 평가되었고, 계절 중 봄, 가을 요인은 크지 않은 것으로 나타났다. 이 결과는 오염찬등의 만경강수계의 군집분석 결과인 동절기(12·1·2·3월), 춘·추기(4·5·10·11월), 하절기(6·7·8·9월)로 군집화 된 것과는 차이를 보였다.

3.3.2. 요인분석

요인 분석은 계절요인 군집분석을 통해 얻은 7월에서 10월(A) 그룹과 11월에서 6월(B) 그룹에 대해 각각 실시하였다. Table 6은 요인 추출 결과이며, 콤투팩스 회전 이후 요인 적재치 차이는 크지 않았다. 추출된 요인의 수는 대부분 4~5개이고 요인 설명력을 나타내는 고유값 누적율은 70% 이상으로 요인을 설명하기에 충분하다고 할 수 있다. A 그룹의 고유값 누적율이 B 그룹보다 10% 높은 80~90% 인데 이는 A와 B의 군집화 정도차이의 효과로 설명되며, 그룹

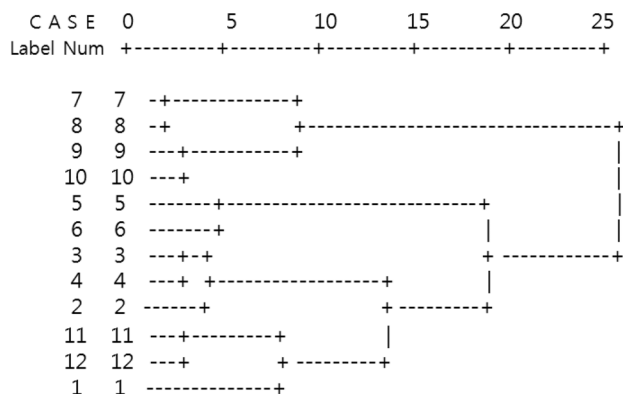


Fig. 4. Similarity dendrogram for the time of sampling events resulted from cluster analysis using streams' monthly median data (2007~2009). Two groups and three subgroups were shown :(A) July, Aug., Sep., Oct., (B) May · June., Feb. · Mar. · Apr., Nov. · Dec. · Jan.,

Table 6. Number of factors extracted from factor analysis and eigenvalue cumulative proportion explained by the factor for each stream's data set

Stream	A		B	
	No. of factor	Cumulative (%)	No. of factor	Cumulative (%)
ga	5	85.68	4	77.14
goc	4	85.36	4	73.70
gy	4	87.04	3	78.32
bh	4	78.88	5	74.68
sn	4	83.09	5	74.71
yy	4	85.31	4	78.25
yp	4	81.75	5	79.83
ys	4	87.27	5	76.48
zz	4	83.04	4	78.86
chl	5	90.05	4	73.64
chm	3	87.79	4	76.13
tan	5	83.50	4	71.98
pch	5	80.99	4	71.85
hch	3	81.94	4	78.50

화 한 후 요인분석을 하는 것이 설명력을 향상시켜주는 것으로 나타났다. 요인추출은 의미 있는 적재값인 +0.4 이상을 군집분석 결과로(공간요인 4그룹과 계절요인 2그룹) 분류하여 Table 7, 8에 나타내었다.

요인의 설명을 위한 설명인자는 김미아 등의 선행연구^{14,15)}와 하천유역의 환경 특성을 고려하여 유기오염요인(BOD, COD, EC), 영양염류오염요인(T-P, PO₄³⁻-P T-N, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N), 세균오염요인(Coli, FColi), 계절적요인(수온, SS, T-P), 하천내 물질대사요인(Chl-a, pH, DO)으로 설명인자를 기본으로 하였으며, 질소오염요인(T-N, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N), 인오염요인(T-P, PO₄³⁻-P), 부식질오염요인을 추가하여 좀 더 명확히 설명하고자 하였다. Table 7, 8의 요인 추출 결과를 보면 다양한 형태로 요인이 추출되어 요인설명인자로 단순화하기가 어려웠으나, 하천별로 추출된 요인과 하천 유역의 오염원을 고려하여 평가한 하천별 요인설명인자를 Table 9에 나타내었다.

i 그룹 중 포천천을 제외한 곡능천, 복하천, 경안천 등 6개 하천의 1요인은 생활하수와 축산폐수로 인한 유기물, 세균, 영양염류오염요인과, 부영양화에 의한 하천 내 물질대사요인으로 설명되었다. 포천천은 그룹 내에서 다른 특성을 보이고 있는데 산업폐수와 축산폐수로 인한 영양염류인 1, 2요인이고 생활하수에 의한 유기물요인과 세균요인이 3요인이었다.

계절(A, B)변화에 따른 요인은 경안천은 차이가 적었으나 다른 6개 하천에서는 유의한 차이를 보였으며, 그 양상은 하천별로 다르게 나타났다.

ii 그룹(안양천, 왕숙천, 탄천)의 1요인은 인구과밀지역이면서 하수처리율이 거의 100%인 유역으로 하수처리방류수에 의한 영양염류와 유기물요인이며, 물질대사 요인이 2, 3요인(안양천, 왕숙천)으로 설명되었다. 탄천의 경우 조금 다른 경향으로 1요인이 유기물과 인으로 나타났으며, 2요인은 세균오염이었다. 계절에 따른 변화는 왕숙천과 탄천에서 뚜렷하였다.

Table 7. The principal component for each stream at A time

group	stream	factor1	factor 2	factor 3	factor 4
i	goc	BOD, DO, pH, COD, Chl-a <33.3>* (33.3)*	EC, NH ₄ ⁺ -N, T-N <25.1> (25.1)	Coli, FColi <19.0> (19.0)	NO ₃ ⁻ -N <8.0> (8.0)
	gy	Chl-a, BOD, COD, pH, SS, DO <43.1> (43.1)	EC, T-P, T-N, NO ₃ ⁻ -N, PO ₄ ³⁻ -P <24.3> (24.3)	Coli, FColi <11.3> (11.3)	NH ₄ ⁺ -N, PO ₄ ³⁻ -P <8.4> (8.4)
	bh	COD, BOD, PO ₄ ³⁻ -P, Coli, SS, T-P, FColi <31.6> (31.6)	T-N, EC, NH ₄ ⁺ -N, Chl-a <21.7> (21.7)	DO, pH <9.1> (9.1)	NO ₃ ⁻ -N <6.4> (6.4)
	yp	FColi, T-P, PO ₄ ³⁻ -P, BOD, Coli <41.4> (41.4)	DO, pH <17.3> (17.3)	T-N, NH ₄ ⁺ -N, Chl-a, NO ₃ ⁻ -N <13.3> (13.3)	COD, BOD, EC <10.2> (10.2)
	chl	Coli, FColi <28.0> (28.0)	pH, DO, NH ₄ ⁺ -N <23.1> (23.1)	SS, BOD, COD <20.9> (20.9)	T-N, NO ₃ ⁻ -N <11.4> (11.4)
	chm	Coli, FColi, NH ₄ ⁺ -N, SS, PO ₄ ³⁻ -P <47.7> (47.7)	COD, BOD, Temp, T-P, Chl-a <32.9> (32.9)	T-P, PO ₄ ³⁻ -P <7.2> (7.2)	
ii	pch	T-P, NH ₄ ⁺ -N, T-N <26.6> (26.6)	SS, PO ₄ ³⁻ -P, COD <19.3> (19.3)	BOD, EC, pH <16.4> (16.4)	NO ₃ ⁻ -N, T-N, DO <10.8> (10.8)
	yy	EC, PO ₄ ³⁻ -P, T-N, T-P, NH ₄ ⁺ -N, DO <36.0> (36.0)	NH ₄ ⁺ -N, BOD <22.6> (22.6)	COD, SS, Chl-a, BOD, pH, DO <17.7> (17.7)	Coli, FColi <9.0> (9.0)
	ys	PO ₄ ³⁻ -P, T-P, NH ₄ ⁺ -N, DO, BOD <36.8> (36.8)	T-N, Chl-a, COD, EC, NH ₄ ⁺ -N, SS <21.1> (21.1)	Coli, FColi, BOD, SS <19.4> (19.4)	pH, SS, EC <10.0> (10.0)
	tan	COD, BOD, T-P <27.4> (27.4)	Coli, FColi, BOD, COD <20.4> (20.4)	NO ₃ ⁻ -N, EC <17.4> (17.4)	T-N, NH ₄ ⁺ -N <9.8> (9.8)
iii	sn	T-N, EC, COD, BOD, NO ₃ ⁻ -N, pH, Chl-a, NH ₄ ⁺ -N <39.7> (39.7)	SS, Coli, FColi, Temp <23.5> (23.5)	T-P, PO ₄ ³⁻ -P <11.9> (11.9)	
	ga	T-P, PO ₄ ³⁻ -P, Temp, Coli, FColi, NO ₃ ⁻ -N <36.3> (36.3)	SS, COD, FColi, Coli <16.6> (16.6)	Chl-a, NH ₄ ⁺ -N <13.0> (13.0)	T-N, NO ₃ ⁻ -N <11.6> (11.6)
iv	zz	SS, Coli, COD, T-P, FColi, PO ₄ ³⁻ -P <42.2> (42.2)	DO, BOD, NH ₄ ⁺ -N <18.6> (18.6)	NO ₃ ⁻ -N, T-N <14.0> (14.0)	pH, DO <8.1> (8.1)
	hch	pH, EC, DO, NH ₄ ⁺ -N, BOD, COD <41.2> (41.2)	SS, T-P, PO ₄ ³⁻ -P, Temp <30.4> (30.4)	Coli, FColi <10.4> (10.4)	

* : Cumulative(%)

Table 8. The principal component for each stream at B time

group	stream	factor1	factor 2	factor 3	factor 4
i	goc	Temp, Chl-a, pH, DO, BOD <39.3> (39.3)	T-P, NH ₄ ⁺ -N, PO ₄ ³⁻ -P, T-N, EC <20.5> (20.5)	Coli, FColi <13.4> (13.4)	COD, BOD <9.0> (9.0)
	gy	BOD, Chl-a, COD, Coli, Temp, FColi <43.7> (43.7)	NH ₄ ⁺ -N, T-N, T-P, EC, PO ₄ ³⁻ -P, DO, NO ₃ ⁻ -N <21.8> (21.8)	pH, DO <12.9> (12.9)	
	bh	Chl-a, Temp, EC, BOD <28.9> (28.9)	T-P, PO ₄ ³⁻ -P <22.0> (22.0)	NH ₄ ⁺ -N, T-N, BOD <13.6> (13.6)	Coli, FColi <10.2> (10.2)
	yp	COD, pH, BOD, T-P, NO ₃ ⁻ -N, Temp, Chl-a <34.4> (34.4)	NH ₄ ⁺ -N, T-N, T-P <24.5> (24.5)	Coli, FColi, Chl-a <11.2> (11.2)	DO, EC, T-N <9.8> (9.8)
	chl	T-N, NO ₃ ⁻ -N, DO, EC <31.4> (31.4)	Coli, FColi, BOD, Temp <17.2> (17.2)	T-P, PO ₄ ³⁻ -P, BOD, Chl-a <14.3> (14.3)	NH ₄ ⁺ -N, Chl-a, pH <10.8> (10.8)
	chm	Temp, COD, Chl-a, BOD, T-P, pH <44.0> (44.0)	PO ₄ ³⁻ -P, T-P, NH ₄ ⁺ -N <18.4> (18.4)	FColi, Coli <13.8> (13.8)	EC, pH, NH ₄ ⁺ -N <10.9> (10.9)
ii	pch	T-N, NH ₄ ⁺ -N, NO ₃ ⁻ -N <28.9> (28.9)	T-P, PO ₄ ³⁻ -P, EC, BOD, COD <22.1> (22.1)	Coli, FColi <13.0> (13.0)	DO, Chl-a <7.8> (7.8)
	yy	T-N, NH ₄ ⁺ -N, PO ₄ ³⁻ -P, T-P <35.4> (35.4)	COD, BOD, FColi, Chl-a, Coli <23.1> (23.1)	Temp, Coli, T-P, FColi <11.6> (11.6)	pH, EC <8.1> (8.1)
	ys	T-N, NH ₄ ⁺ -N, EC <23.7> (23.7)	PO ₄ ³⁻ -P, T-P, BOD, NO ₃ ⁻ -N <19.1> (19.1)	Chl-a, COD, Temp <15.8> (15.8)	FColi, Coli, DO <10.1> (10.1)
	tan	T-P, PO ₄ ³⁻ -P, Chl-a, COD, BOD <36.6> (36.6)	T-N, NH ₄ ⁺ -N, EC, DO <23.0> (23.0)	FColi, Coli, BOD <11.5> (11.5)	pH <10.8> (10.8)
iii	sn	PO ₄ ³⁻ -P, T-P <28.9> (28.9)	COD, BOD, Temp, Chl-a <19.2> (19.2)	T-N, NO ₃ ⁻ -N, EC, DO, BOD <16.1> (16.1)	Temp <10.5> (10.5)
	ga	Temp, COD, pH <27.4> (27.4)	T-N, NO ₃ ⁻ -N, Chl-a, NH ₄ ⁺ -N <21.3> (21.3)	PO ₄ ³⁻ -P, T-P, BOD, NH ₄ ⁺ -N <17.2> (17.2)	Coli, FColi, EC <11.2> (11.2)
iv	zz	COD, Chl-a, T-P, Temp, BOD, PO ₄ ³⁻ -P, pH <38.3> (38.3)	NO ₃ ⁻ -N, T-N, EC <18.4> (18.4)	FColi, Coli <14.0> (14.0)	pH, EC <8.1> (8.1)
	hch	Temp, COD, BOD, Chl-a, T-P, pH, PO ₄ ³⁻ -P <41.6> (41.6)	T-N, NO ₃ ⁻ -N <14.4> (14.4)	Coli, FColi <13.8> (13.8)	NH ₄ ⁺ -N, EC <8.7> (8.7)

Table 9. Factor explanation and main pollutants for each stream (A/B)

group	stream	1 factor	2 factor	3 factor	Main pollutants
i	goc	Org/Me	Nu	Bac	population > livestock
	gy	Org · Bac	Nu	Me	population > livestock > wastewater
	bh	Org · Bac/Me	N/P,	Me/N	livestock > population > wastewater
	yp	Bac/Org	Me/Nu	Nu/Bac	livestock
	chl	Bac/N	Me/Bac	Org/P	livestock
	chm	Bac/Me,Org	Org/Nu	Nu/Bac	livestock > population
	pch	Nu/N	P	Org/Bac	livestock > wastewater > population
ii	yy	Nu	Org	Me/Bac	population > wastewater > nonpoint
	ys	Nu/N	Me/P	Bac/Me	population > livestock > wastewater
	tan	Org/P	Bac/N	N/Bac	population > wastewater > nonpoint
iii	sn	N, Org, Me/P	Se, Bac/Org, Me	P/N	wastewater > livestock > population
	ga	Nu · Bac/Se	Hu/N	Me/P	nonpoint > population
iv	zz	Hu, Bac/Me	Org/N	N/Bac	nonpoint > livestock > population
	hch	Org/Se, Org	Se/N	Bac	population > wastewater > nonpoint

Org. : organic pollutants, Nus : nutrients, Bac : pathogenic bacteria, Me : metabolism in stream
 P, N, Hu : Total phosphorous, Total nitrogen, Humic pollutants, Se :seasonal factor

iii 그룹 신천은 폐수와 생활하수, 축산으로 인한 질소 · 인 · 유기물과 하천 내 물질대사 이었으며 계절변화에 따라 A시기는 질소와 세균, B 시기는 인 · 물질대사가 공통적으로 나타났다.

iv 그룹은 청정하천으로 하수, 폐수 등 점오염원이 적어 상대적으로 비점오염영향 비중이 높다. 가평천과 조종천은 영양염, 부식질과 세균, 흑천은 축산폐수에 의한 유기오염이 주요인이었으며, 특히 여름풍수기인 A시기는 세균과 유기오염, 부식질요인이 공통적으로 나타났다.

14개 전체하천의 수질오염은 유역의 인구 및 가축사육 밀도와 산업폐수의 비중에 따라 오염특성을 결정되는 것으로 나타났다. 또한 시간변화에 따라 오염요인이 변화되는 것으로 나타나 수질오염 삭감계획 및 도시 개발계획을 수립할 때 시기별 오염관리 방안이 고려되어야 하는 것으로 평가되었다.²⁵⁾ 수질오염 요인은 하수처리율이 높고 인구밀도가 높은 지역은 영양염류, 가축밀도가 높은 지역은 세균, 영양염류, 유기물이 공통 요인으로 청정지역은 비점오염에 의한 영양염류와 부식질이 주요인으로(71~90%) 설명하고 있다. 대부분의 하천에서 부영양화에 의한 하천 내 물질대사요인이 주요인으로 나타나 이에 대한 관리도 필요한 것으로 나타났다.

4. 결론

한강수계 주요 14개 지류하천 유역의 오염원과 유량 및 수질에 대해 통계처리 프로그램인 SPSS statistics 17.0으로 통계분석을 실시하여 수질오염 특성을 파악하였다.

14개 지류하천의 년 평균수온(median)은 산간지역 하천인 가평천, 조종천, 흑천이 16℃이고, 도심하천인 안양천, 탄천, 복하천이 20℃로 약 4℃의 차이를 보였다. 생활계 · 축산계

에 의한 오염으로 예측되는 BOD, COD, T-P, T-N, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N의 오염도는 신천, 안양천, 탄천, 왕숙천, 곡능천이 심한 것으로 나타났으며, 이들 유역은 대규모 도시가 형성된 인구 밀집지역으로 하수처리방류수가 하천으로 유입되어, 방류수 농도에 따라 하천수질이 절대적인 영향을 받는 것으로 판단되었다. 조사 대상 대부분의 하천이 부영양화 현상이 발생되고 있었고, 특히 곡능천과 경안천의 Chl-a 농도가 높았다. 분원성대장균군 오염은 도심지역과 축산농가가 많이 소재하고 있는 곡능천, 경안천, 복하천, 안양천, 왕숙천, 탄천이 분원성대장균군 농도가 1,000 MPN/100 mL 이상으로 평가되었다.

유입 지천간의 군집은 유입지천의 공간변화에 따라 도시 농촌 복합지역인 경안천, 곡능천, 복하천 등 7개 하천이 i 그룹으로, 인구밀도가 아주 높은 도심하천인 안양천, 탄천, 왕숙천이 ii 그룹, 폐수의 영향이 큰 신천이 단독으로 iii 그룹이었고, 청정한 하천인 가평천, 조종천, 흑천이 iv그룹으로 나타났으며, 계절변화에 따른 군집은 2그룹으로 분류되었는데 풍수기에서 가을까지(7~10월)와 동절기에서 초여름까지(11~6월)로 군집화되어 도시화 정도, 강우와 기온 그리고 부영양화 현상이 군집화에 기여하는 것으로 평가되었다.

수질오염 요인은 하수처리율이 높고 인구밀도가 높은 지역은 영양염류, 가축밀도가 높은 지역은 세균, 영양염류, 유기물이 공통 요인으로 청정지역은 비점오염에 의한 영양염류와 부식질이 주요인으로 71~90%를 설명하고 있으며, 계절요인에 따라 수질오염요인이 다르게 나타났다.

본 연구결과는 향후 하천별 특성에 맞는 수질개선 계획의 수립 및 정책시행의 성과평가 등에 유용하게 활용할 수 있으며, 수질예측을 위한 회귀분석연구에 많은 정보를 제공할 수 있을 것이다.

KSEE

참고문헌

1. Papatheodorou, G., Demopoulou, G. and Lambrakis, N., "A long-term study of temporal hydrochemical data in a shallow lake using multivariate statistical techniques," *Ecological Modeling*, **193**, 759~776(2006).
2. 원태연, 정성원, "Spss Pasw Statistics 18.0 통계조사분석," 하나래출판사, pp. 377~380(2010).
3. Papatheorou, G., Hotos, Geraga, M., Avramidou, D. and Vorinakis, "Heavy meatal concentrations in sediments of Klisova lagoon (S.E. Mesolonghi- Aitolikon Lagoon complex)," *W Greece. Fresen. Envriorn. Bull.*, **11**(11), 951~956 (2002).
4. Lambrakis, N., Antonakos, A. and Panagopoulos, G., "The use of multicomponent statistical analysis in hydrogeological environmental research," *Water Res.*, **38**, 1862~1872 (2004).
5. Seymour, S. K., Christanis, K., Bouzinos, A., Papazisimou, S., Papatheodorou, G., Moran, E. and Dénès, G., "Tephrostratigraphy and teptigraphy in the Philippi peat vasin, Macedonia, Northern Hellas (Greece)," *Quarter. Int.*, **121**, 53~65(2004).
6. Papatheodorou, G., Mitsis, C., Christodoulou, D. and Ferentinos, G., "A Multivariate statistical approach to the investigation of pockmarks growth and activity. An example from a pockmark field in the Gulf of Patras (W Greece)," in *Proceedings of the Eighth Annual Conference of the IAMG*, September, Abstract Book, Berlin, pp. 15~20(2002).
7. Simeonov, V., Stratis, J. A., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsas, D., Anthemidis, A., Sofoniou, M. and Kouimtzi, T., "Assessment of the surface water quality in Northern Greece," *Water Res.*, **37**, 4119~4124(2003).
8. Yu, S., Shang, J., Zhao, J. and Guo, H., "Factor analysis and dynamics of water quality of the Songhua River, Northeast China," *Water Air Soil Pollut.*, **144**, 159~169(2003).
9. 김종구, "통계분석기법을 이용한 금강수계의 수질 분석," *한국환경학회지*, **11**(12), 1281~1289(2002).
10. 김종태, 이병제, 김진영, "Trend of distribution on stream qualities in Gumho River, Journal of the Korean Data & Information," *Science*, **18**, 713~719(2007).
11. 김경무, 이인락, 김종태, "Factor analysis of the trend of stream quality in Nakdong River," *J. Korea Data & Information Science Society*, **19**(4), 1201~1210(2008).
12. 김진호, 최철만, 김원일, 이종식, 정구복, 한국현, 류중수, 이정택, 권순국, "농촌유역의 수질평가를 위한 다변량 기법의 이용," *한국환경농학회지*, **26**(1), 17~24(2007).
13. 김미아, 이재관, 조경덕, "다변량 분석법을 이용한 금강유역의 수질오염 특성 연구," *한국물환경학회*, **23**(1), 161~168 (2007).
14. 오연찬, 이남도, 김종구, "다변량 해석기법을 이용한 만경강 수계의 수질평가," *한국환경과학학회지*, **13**(3), 233~244 (2004).
15. 환경부, "한강수계 상수원수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률," (2007).
16. 환경부, "수질측정망 운영계획," (2010).
17. Ravichandran, S. Ramanibai, R. and Punderikathan, N. V., "Ecoregions for describing water quality patterns in Tamiraparani basin South India," *J. Hydrol.*, **178**, 257~276(1996).
18. Cameron, E. M., "Hydrogeochemistry of the Fraser River, British Columbia : seasonal variation in major and minor components," *J. Hydrol.*, (Amsterdam) **82**, 209~225(1996).
19. 환경부, "2008년 전국오염원조사자료," (2010).
20. 환경부, "한강수계오염총량관리계획 수립 지침," (2010).
21. 환경부, "수질 및 수생태계 보전에 관한 법률," (2007).
22. 경기도팔당수질개선본부, "셋강살리기 project2013 주요하천·호소 수질개선종합대책," (2010).
23. Forsberg, C. and Ryding, S. O., "Eutrophication parameters and tropic states in 30 Swedish waste receiving lakes," *Arck. Fur Hydrbiol.*, **89**, 189~207(1980).
24. Shrestha, S. and Kazama, F., "Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques ; A case study of the Fuji river basin, Japan," *Environmental Modeling & software*, **22**, 464~475(2007).
25. Ouyang, Y., Nkeci-Kizza, P., Ww, Q. T., Shinde, D., and Huang, C. H., "Assessment of seasonal variations in surface water quality," *Quater Res.*, **40**, 3800~3810(2006).