

ORIGINAL ARTICLE

## 금호강 수계 지류하천의 수질 특성 평가 및 수질개선 등급화 방안

정강영\* · 안정민 · 김교식<sup>1)</sup> · 이인정 · 양득석

국립환경과학원 낙동강물환경연구소, <sup>1)</sup>경북대학교 토목공학과

### Evaluation of Water Quality Characteristics and Water Quality Improvement Grade Classification of Geumho River Tributaries

Kang-Young Jung\*, Jung-Min Ahn, KyoSik Kim<sup>1)</sup>, In Jung Lee, Duk Seok Yang

Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Goryeong 40138, Korea

<sup>1)</sup>Department of Civil Engineering Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

#### Abstract

In this study, we analyzed on-site monitoring data for 15 tributaries in Geumho watersheds for 3 years (2011-2013) in order to sort out priorities on water quality characteristics and improvement. As a result of estimating contribution to contamination of the tributary rivers, Dalseocheon showed the highest load densities, despite the smallest watershed area, with 22.7% BOD<sub>5</sub>, 30.7% COD<sub>Mn</sub>, 31.3% TOC and 47.6% TP. After conducting PCA (principal component analysis) and FA (factor analysis) to analyze water quality characteristics of the tributary rivers, the first factor was classified as COD<sub>Mn</sub>, TOC, EC, TP and BOD<sub>5</sub>, the second factor as pH, Chl-a and DO, the third factor as water temperature and TN, and the fourth factor as SS and surface flow. In addition, arithmetical sum of each factor's scores based on grading criteria revealed that Dalseocheon and Namcheon were classified into Group A for their highest scores - 96 and 93, respectively -, and selected as rivers that require water environmental management measures the most. Also, water environmental contamination inspection showed that Palgeocheon had the most number of aquatic factors to be controlled: BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS, TOC, T-P, Chl-a, etc.

**Key words** : Water quality, Geumho River tributaries, Multivariate statistics analysis, Cluster analysis, Grade classification, ArcSWAT, ArcGIS

#### 1. 서론

물 환경 정책 수립에 기초 자료로 활용되는 수질·유량 모니터링 자료는 유역 내 오염물질의 거동을 파악하는데 중요하며, 오염하천의 수질개선을 위한 수질정책 수립 및 수질개선 대상유역의 선정에 가장 핵심적인 자료이다(Park et al., 2011). 또한, 하천 내 오염현황을 진

단하고 효율적인 오염원 제어를 통한 하천의 수질관리가 효과적으로 이루어지기 위해서도 수질·유량 모니터링 자료의 축적이 무엇보다 중요하다(Jung et al., 2013a). 넓은 유역 면적과 긴 유로를 가진 유역의 경우 주변의 환경이 복잡·다양하고, 환경오염 요인 또한 다변적인 실정이어서 대형하천이나 중규모의 하천을 대상으로 수질 관리를 시행한다는 것은 대단히 힘든 일이다(Yoon et

Received 12 February, 2016; Revised 20 April, 2016;

Accepted 21 April, 2016

\*Corresponding author: Kang Young Jung, Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Goryeong 40138, Korea

Phone : +82-54-950-9762

E-mail : happy3313@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

al., 2006). 또한, 큰 규모의 하천은 수많은 지류하천들과 연결되어 있고 이러한 지류하천들은 사람이 거주하는 지역과 가장 가까운 곳에 위치해 있어 하천관리 차원에서 매우 취약한 상태이다(Seo, 2009). 특히 지류하천은 수질오염사고나 오염원 유입으로부터 전혀 보호 받지 못하고 있어 지류하천에서의 수질악화는 본류구간의 수질과 수생태계에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 지금까지 우리나라의 유역관리체계는 대부분 4대강 본류 중심으로 하천 치수 및 이수, 환경계획 등이 이루어져왔으며 본류하천의 근원이 되는 지류하천에 대한 조사 및 연구는 활발히 진행되지 못하고 있는 실정이다(Jung et al., 2013b). 최근 지역현안으로 수질개선을 위한 하천관리의 패러다임이 지류중심으로 변화하고 있지만, 아직까지 우리나라는 미국의 EPA나 USGS 등과 같이 지류하천의 장기간 수리·수문 및 수질 모니터링자료를 축적하고 관리하는 통합적인 유역관리체계 시스템을 갖추지 못하고 있는 실정이다(Kwon, 2013). 또한 수질오염총량관리제도의 시행으로 4대강본류의 근원이 되는 주요 지류의 사도 경계지점이나 혹은 말단지점에서 모니터링 하는 총량 측정망과 수질측정망을 환경부에서 통합적으로 운영해 오고 있지만, 이는 모니터링 지점이 대부분 각 수계 본류 중심으로 되어 있어, 해당유역의 오염부하 발생특성을 파악하는데 어려움이 있다(Kim et al., 2012). 본류구간의 수질 및 수생태계 개선계획을 마련하기 위해서는 근원이 되는 지류하천을 대상으로 수질과 유량을 종합적으로 고려하여 유역의 물 환경 특성을 진단 할 수 있도록 하여야한다. 아울러 오염된 지류하천의 수질개선 없이는 금호강 또는 낙동강등과 같은 본류구간의 수질은 개선되기 어려우며, 이러한 본류구간의 수질관리를 위해서는 무엇보다도 지류하천에 대한 수질개선이 선행되어야 한다(Min, 2011). 한편 Yi(2003)은 금강 중·하류권역에 위치한 제1지류 하천에 대해 BOD<sub>5</sub> 평균농도와 유량자료를 바탕으로 수 환경 관리대책의 우선순위를 설정하고자 4개의 그룹으로 하천을 분류하는 방법을 소개한바 있으며, Cho et al.(2012)도 이와 같은 방법으로 충청남도 전체유역에 위치한 지류하천을 대상으로 수질개선 유역의 우선순위를 선정하는 연구를 수행한 바 있다. Kowalkowski et al.(2006)은 Brda 강에 수질등급을 나누어 오염정도를 평가하기 위해 주성분분석과 요인분석 그리고 군집분석 등 통계학적 분석을 이용하였으며,

Jung et al.(2013b)은 국내에서 이와 비슷하게 영산강 수계의 지류·지천을 대상으로 통계적 방법을 활용함과 동시에 수질환경기준에 점수를 부여하여 등급화 하는 방법을 제안한 바 있지만, 아직까지 국내외적으로 모니터링 자료를 가지고 수질개선이 필요한 지류하천을 우선 선정하는 하천 등급화 연구는 부족한 실정이다. 현재 낙동강 수계에서는 2011년부터 22개 중권역에 속한 191개 지류·지천을 대상으로 지류모니터링 대상지점을 최종 선정하고, 이들 지점들에 대한 현장모니터링 조사(수질/유량 분기조사실시)를 실시해 오고 있다. 따라서 본 연구에서는 낙동강수계 22개 중권역 중 하나인 금호강 수계에 속해있는 15개 지류하천에 대해 해당유역의 환경특성을 파악하고자 Arc-SWAT (Arc-GIS interface for soil and water assessment tool)모형을 이용하여 유역을 분할하고, Arc-GIS (Arc-Geographic information system) 분석 툴을 활용하여 분할한 지류하천유역의 토지이용현황을 분석하였다. 또한 수질오염항목별 분포 특성을 분석하여 금호강으로 유입되는 지류하천의 오염 실태를 분석하였으며, 다변량 통계분석(주성분분석, 요인분석, 군집분석)을 통해 수질특성을 평가하였다. 이 결과를 토대로 각 지류하천별로 실측유달부하량을 조사해 수질부하 밀도를 산정하여, 조사결과를 바탕으로 한 종합적인 산술통계방법으로 지류하천의 수질개선 우선순위를 산정하였다. 아울러 물 환경오염도 진단을 통해 우선관리 대상항목을 파악해 향후 효율적인 지류하천 유역관리 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 대상유역

대상유역인 금호강수계는 낙동강 중류 부분에 위치한 하천으로 낙동강 수계에서 남강 다음으로 큰 수계이며, 유로연장은 118.99 km이고 유역면적은 2078.42 km<sup>2</sup>로 낙동강 전체 유역면적의 약 9.2% 정도를 차지하고 있다. 금호강 유역의 연간 강수량은 1020.6 mm 정도이며 이중 65%가 하절기인 6~9월 사이에 집중되어 유량의 편차가 심한 편이다(Kim and Nam, 2009; Yang and Bae, 2012). 금호강은 과거 산업화와 도시화에 의해 수질이 크게 악화되었으나, 수질개선을 위해 많은 노력과 비용을 투자한 결과 금호강 말단(강창교)지점의 수질이

BOD<sub>5</sub> 5.1 mg/L로서 환경기준 III등급(보통)에 해당하는 수질 상태를 보이는 것으로 조사되었다(Daegu Regional Environmental Agency, 2005). 하지만 여전히 낙동강수계의 수질관리 차원에서 중요한 유역 중 하나이다. 금호강의 지류는 총 20여 개 정도이며, 주요 지류하천으로는 영천댐 상류의 자호천과 중류의 남천, 오목천, 울하천, 불로천 그리고 하류의 달서천, 팔거천, 이연천 등이 있다(Daegu Regional Environmental Agency, 2007).

2.2. 수질 및 유량조사

수질과 유량자료는 국립환경과학원 낙동강물환경연구소에서 2011년부터~2013년까지 3년간 금호강 수계에 있는 15개 지류하천에 대해 실측한 현장모니터링 조사 자료를 본 연구에 사용하였다. Fig. 1.에 본 연구 대상 지역인 금호강수계에 위치한 지류하천의 지점들을 나타내었다.

현장에서의 수질측정은 실험실에서 교정을 거친 다항목 측정기(YSI-556mps)로 수소이온농도(pH), 용존산소농도(DO), 전기전도도(EC), 수온 등을 측정하였고, 채수시료는 차광 냉장(4℃)보관 상태로 운반하여 실험실에서 수질오염공정시험법에 따라 생물화학적산소요구량

(BOD<sub>5</sub>), 화학적산소요구량(COD<sub>Mn</sub>), 총유기탄소(TOC), 총질소(TN), 총인(TP), 총부유물질(SS), 클로로필(Chl-a) 등 주요항목을 분석하였다. 하천에서의 유량조사는 ‘하천유량측정지침’에 있는 유량측정방법을 준용하여 사용이 보편화된 수직축유속계(Price AA, LV, Pygmy AA)를 이용하여 유속면적법(중간단면적법)에 따라 산정하였다. 각 항목별 수질분석방법과 해당 측정 장비는 Table 1과 같다.

2.3. 수질오염물질별 분포 특성 분석

오염물질 분포 특성을 분석하기 위해 각 관측지점의 통계학적 특성치는 수질항목별로 상자도식인 Box plot 형태의 통계값으로 표현하였다. 상자도식은 두 개 이상의 집단분포를 비교할 때 사용하는 그래프로 자료 관측치의 분포를 7등분하여 이상치(Outlier: 95%, 5%), 최대값(90%), 제3사분위수(75%), 중앙값(50%), 제1사분위수(25%), 최소값(10%)으로 나타내는 그림이다(Jung et al., 2012). 상자도식은 제3사분위수(윗선)와 제1사분위수(아래선)를 이어 직사각형을 그리며, 사각형 안의 선은 중앙값을 의미한다(Nakdong River Environment Research Center, 2009).

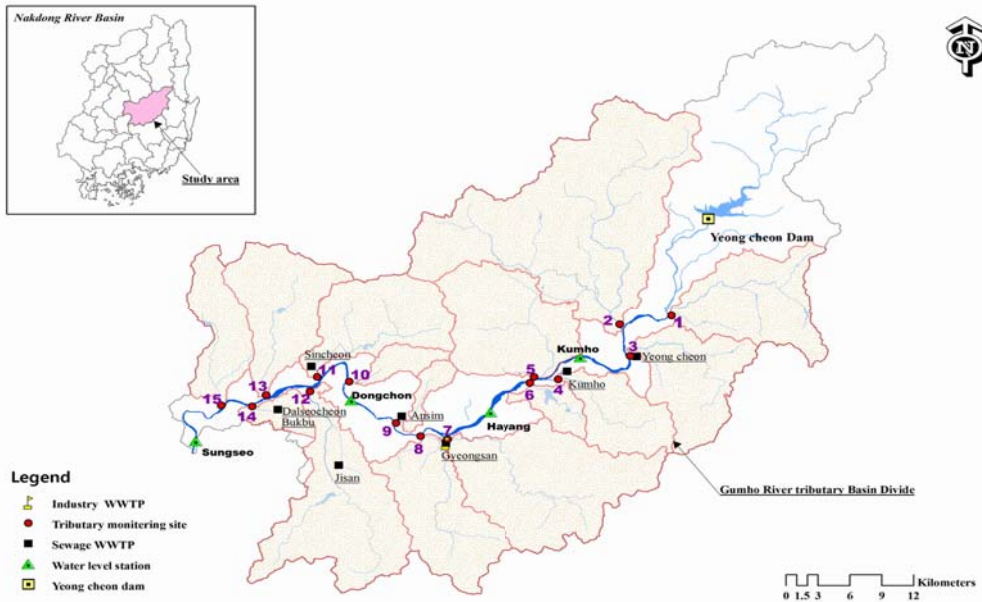


Fig. 1. Sampling locations for water quality and surface flow monitoring in the Geumho River tributaries.

**Table 1.** Methods and instruments for analysis

Item	Experimental methods	Instruments
Water temperature	-	YSI 556 mps
pH	-	YSI 556 mps
DO (dissolved oxygen)	-	YSI 556 mps
EC (electric conductivity)	-	YSI 556 mps
BOD <sub>5</sub>	5-day BOD test	Incubator
COD <sub>Mn</sub>	COD analysis method by KMnO <sub>4</sub>	Water bath
TOC	High temperature combust method/ Persulfate ultraviolet oxidation method	Analytic yena TOC analyzer/ Sievers TOC analyzer
SS	Suspended solid method	-
TN	UV/Visible Spectrometry-Oxidation Method	Perkin Elmer UV/VIS lambda 35
TP	UV/Visible Spectrometry-Ascorbic acid method	Perkin Elmer UV/VIS lambda 35
Chl-a	UV/Visible Spectrometry	Perkin Elmer UV/VIS lambda 35
Discharge	Middle cross section method	Price AA(0.2~3.0 m/s), Price LV(below 0.3 m/s)_USGS recommend

#### 2.4. 수질요인간의 통계분석

본 연구에서 통계분석은 SPSS(ver. 12.0) 통계 패키지 프로그램을 사용하였으며, 다변량 분석인 주성분 분석 및 요인분석 그리고 군집분석을 실시하여 금호강으로 유입되는 지류하천의 수질특성을 분석하였다. 주성분 분석은 다변량 분석의 가장 기본이 되는 분석방법으로 변수를 축소하여 자료를 설명하는 기법이다. 변수들의 선형결합을 통하여 변수들이 가지는 전체정보를 최대한 설명할 수 있는 서로 독립적인 주성분들로 유도하여 해석하는 분석방법이다. 정보의 손실을 최소화하면서 서로 상관관계가 있는 변수들 사이의 복잡한 구조를 단순하고 이해하기 쉽게 설명할 수 있도록 주성분을 산출한다. 또한, 자료를 축약하여 추가적인 다른 통계절차에 적용하기 위한 사전분석이기도 하며(Park et al., 2014), 요인분석에서 요인을 제공하는 방법으로 이용되기도 한다. 그리고 이 기법은 다변량 자료의 탐색적 조사와 차원축소를 통해 자료를 단순화 하는 등의 분석기법으로 활용되기도 한다(Park, 2014). 요인분석은 p(임의의 변수 수)차원 변수들간의 상호의존 구조를 나타내는 공분산이나 상관행렬에서 m개(단, m<p)의 공통인자를 추출하여 원래 변수들이 나타내는 복잡한 구조를 쉽게 파악하기 위한

자료축약 (data reduction)기법이다(Sakamoto et al., 1988; Park et al., 2001). 요인 패턴의 구조를 단순화시켜서 요인에 대한 해석을 보다 쉽게 하기 위해서 요인축을 회전시키며, 요인축을 회전하는 방법에는 크게 직각(orthogonal)회전과 사각(oblique) 회전이 있다. 직각회전으로는 Varimax, Quartimax, Eqimax 등이 있는데, 본 연구에서는 이 중에서 보편적으로 많이 쓰이는 Varimax 직각회전방식을 사용하였다. 그리고 유사한 수질경향을 가진 지점을 분류하고, 분류된 지점들의 특성을 분석하기 위하여 군집분석을 수행하였다. 군집분석은 모집단에 대한 관측값들 사이의 거리나 유사성을 이용하여 자료 전체를 몇 개의 군집으로 나누어 분류하여 군집간의 차이를 명확히 하는 다변량 분석법이다. 군집분석 방법은 많이 이용되고 있는 방법으로 계층적 방법과 비계층적 방법이 있는데 이 중 계층적 방법을 사용하였다. 군집대상간의 거리 측정은 모든 변수의 차이를 제공하여 합산해서 결정하는 유클리디안 제곱거리(squared euclidean distance)방법을 적용하였고, 군집결합 방법은 ward 법을 사용하였다(Singh et al., 2004; Kazama and Shrestha, 2007; Jung et al., 2013b).

**Table 2.** Descriptive statistics of water quality and surface flow of tributaries at Geumho River

No.	Tributary	Item	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	Chl-a ( $\mu$ g/L)	Surface flow (m <sup>3</sup> /sec)
1	Gochoncheon	Min	0.6	2.9	1.7	0.6	1.630	0.021	2.1	0.030
		Median	0.8	4.1	2.7	3.0	2.838	0.037	4.6	0.337
		Max	1.9	6.0	4.4	11.7	5.505	0.069	7.8	4.069
2	Sinryeongcheon	Min	0.7	4.2	2.9	1.8	2.995	0.024	4.3	0.346
		Median	1.8	5.5	3.7	4.6	3.601	0.047	10.5	1.579
		Max	3.9	6.9	4.9	8.4	6.960	0.073	29.6	5.561
3	Bukancheon	Min	0.7	4.9	3.3	2.0	0.900	0.025	3.2	0.079
		Median	1.6	6.5	4.7	10.0	2.716	0.086	9.0	0.628
		Max	4.4	10.5	7.2	68.0	5.191	0.174	19.0	3.613
4	Daechangcheon	Min	0.5	4.9	3.5	1.8	0.942	0.043	3.2	0.171
		Median	1.4	5.8	4.4	6.2	3.938	0.073	5.5	0.286
		Max	3.4	8.9	5.3	11.0	12.109	0.262	7.2	1.724
5	Chungtongcheon	Min	0.6	3.7	2.5	2.4	2.398	0.043	4.6	0.236
		Median	1.5	4.9	3.2	6.6	4.629	0.077	7.9	0.648
		Max	3.4	7.6	4.9	45.6	6.869	0.215	9.0	2.709
6	Boggycheon	Min	0.3	3.7	3.7	0.2	0.783	0.029	0.6	0.003
		Median	0.8	6.6	5.6	2.2	1.397	0.065	3.9	0.043
		Max	3.1	10.9	8.3	35.6	4.003	0.319	19.5	1.514
7	Omokcheon	Min	0.8	4.3	3.1	2.8	1.775	0.077	3.9	0.537
		Median	1.1	5.6	4.0	5.8	3.856	0.104	9.5	2.058
		Max	5.7	8.0	6.2	20.6	5.696	0.178	32.9	7.104
8	Namcheon	Min	1.6	5.2	3.6	2.0	4.294	0.045	2.9	0.802
		Median	4.2	8.0	5.2	3.4	10.957	0.077	5.0	2.413
		Max	8.0	9.3	6.3	29.0	18.830	0.412	14.4	6.439
9	Yulhacheon	Min	0.4	2.1	1.3	0.6	1.525	0.039	1.0	0.007
		Median	1.4	4.5	2.7	14.4	3.826	0.082	2.7	0.048
		Max	3.4	14.6	6.7	410.0	5.843	0.785	13.7	0.289
10	Bullocheon	Min	0.4	2.9	2.0	1.7	4.224	0.067	3.1	0.029
		Median	1.7	4.7	3.1	18.2	6.762	0.112	5.4	0.075
		Max	8.0	8.2	5.1	198.0	8.712	0.260	28.0	0.315
11	Donghwacheon	Min	0.3	2.5	1.5	1.2	1.222	0.018	2.1	0.004
		Median	1.4	4.4	2.8	3.8	3.296	0.042	7.2	0.365
		Max	8.0	6.8	5.7	12.8	11.824	0.203	21.1	2.430
12	Sincheon	Min	0.8	3.1	2.0	1.8	1.332	0.069	5.3	0.491
		Median	1.9	5.6	3.6	3.7	6.760	0.174	20.4	1.297
		Max	6.7	6.8	15.6	11.6	11.119	0.730	30.9	2.669
13	Palgeocheon	Min	2.1	5.6	3.8	3.4	1.525	0.046	3.5	0.094
		Median	3.8	7.2	4.9	7.6	2.942	0.131	10.8	0.444
		Max	9.2	8.9	8.1	120.0	4.771	0.268	19.2	2.015
14	Dalseocheon	Min	0.9	5.9	4.2	1.2	4.155	0.076	0.4	0.491
		Median	2.4	7.7	5.4	3.7	8.590	0.155	3.0	3.849
		Max	8.6	20.1	14.3	15.5	13.694	1.000	41.5	6.870
15	Leoncheon	Min	0.6	3.7	2.6	2.2	1.592	0.032	3.1	0.070
		Median	1.7	5.4	3.9	6.5	2.280	0.055	9.0	0.219
		Max	6.2	7.3	21.8	20.0	3.590	0.167	42.0	1.802

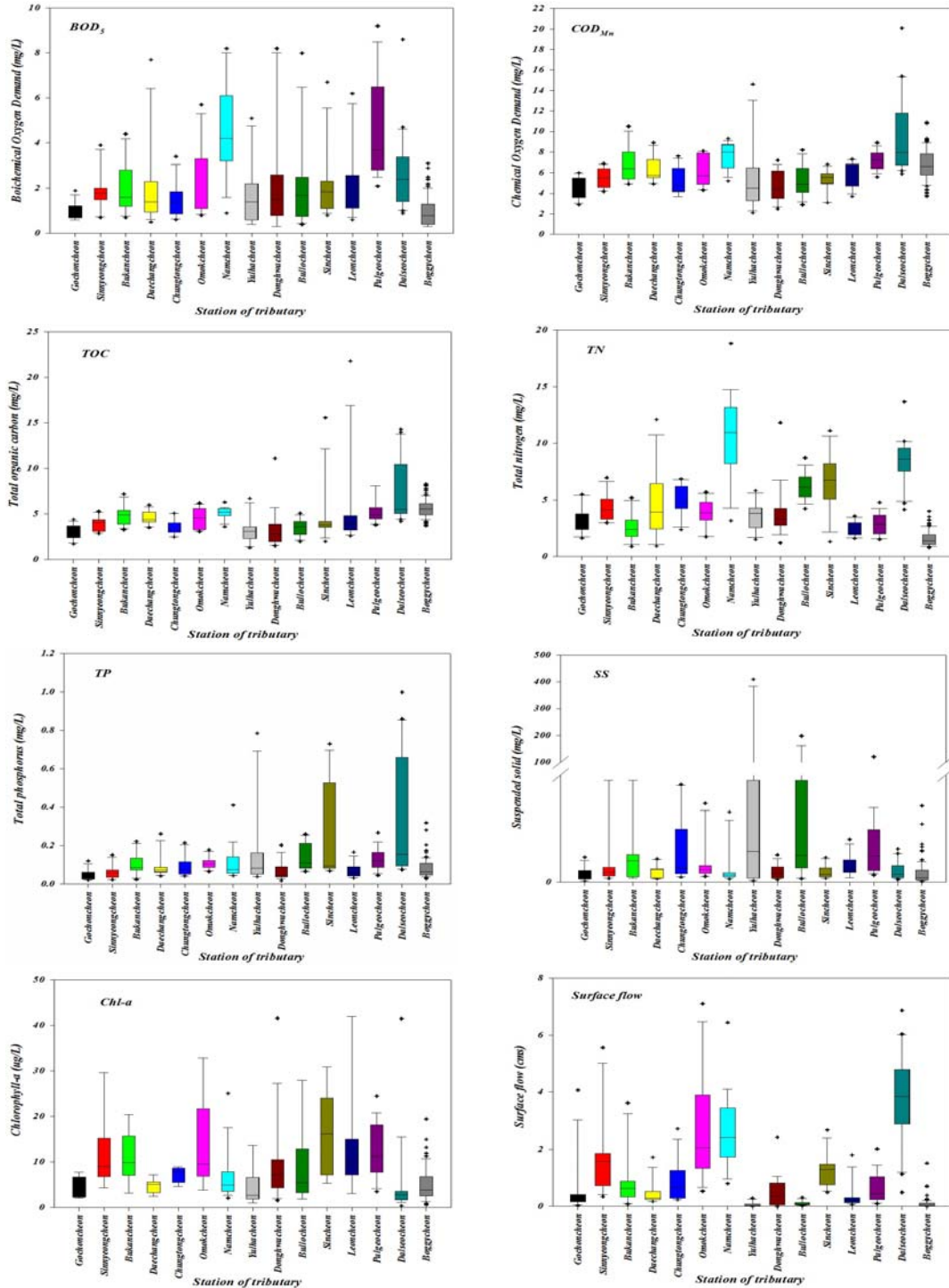


Fig. 2. Box plot of water quality and surface flow of tributaries at Geumho River.

## 2.5. 실측 유달부하량에 의한 기여율 산정

하천(지류)으로 배출된 오염물질은 수계의 자연적인 물리, 화학, 생물학적 자정과정에 의해 분해되고 이러한 작용을 거치면서 하천의 특정지점에 실제 도달하는 오염물질의 양을 유달 부하량이라 한다. 효율적인 수질관리를 위해서는 해당유역의 오염원으로부터 하천으로 유입되는 배출부하량과 배수구역 말단(출구)까지 도달한 유달부하량에 대한 거동 규명의 정량화가 필요하며, 이를 위해서는 특정지점에서 수질과 유량을 동시에 실측해야 가장 정확한 자료를 얻을 수 있다. 이에 근거하여 금호강 수계 분류에 유입되는 지류하천 15개 지점에 대하여 배수구역 말단(출구)에서 유량/수질 동시 관측 결과 값으로 실측 유달 부하량(kg/day)을 식 (1)을 사용하여 산정하였다.

$$\text{Load(kg/day)} \\ = \text{Flow(m}^3\text{/sec)} \times \text{Water Quality (mg/L)} \times 86.4 \quad (1)$$

또한 이를 항목별로 지점 간에 산술평균한 값을 합산하여 각 지류별로 유달부하량 기여율을 산정하여 실측 유달부하량과 함께 Table 4에 함께 나타내었다.

## 2.6. 수질부하밀도 산정

유역에는 관로를 통해 차집 되어져 오염정화시설을 거쳐 일정한 지점에서 배출되는 점오염원이 있지만 도로나 농지, 산지 등의 불특정 장소에서 불특정하게 발생되어 배출되는 오염물질과, 사람의 활동과 관계없이 자연에서 발생하는 자연배경발생오염원이 잠재되어 있다(Yi and Kim, 2014). 따라서 실제 유달부하량과는 다르게 해당유역의 환경특성이 고려되지 않은 잠재된 오염 및 유역면적에 따른 오염부하 정도를 확인하고자 실측 조사한 유달부하량에 해당 지류하천의 유역면적을 나누어 수질부하밀도(실측유달부하량/유역면적)를 산정하였다. Jung et al.(2013a)은 수질부하밀도가 하천수질에 직접적인 영향을 주는 인자로 수질오염의 잠재력을 나타내며 해당유역면적당 오염부하가 크면 수질오염도 또한 증가한다고 연구 보고한 바 있다. 또한, Yoon et al.(2006)은 낙동강 소수계별 유달부하량을 해당유역의 면적으로 나눈 단위면적당 유달부하량인 비유달부하량을 산정하여 우선 관리하여야 할 유역을 선정하는데 있어 유용한

기법으로 이 방법을 소개한 바 있다.

## 2.7. 수질개선 등급화방안

금호강 수계 지류하천의 수질개선을 위해 우선이 되는 하천유역을 선정하고자 등급화 평가 항목을 12개로 구성하였다. 하천수질 등급에 적용한 수질항목으로는 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, T-N, T-P, TOC, Chl-a, SS 등 7개 항목이며, 각 항목별로 관측한 값을 산술평균하여 수질환경 기준에 반영하여 점수를 산정하였다. 또한 15지점에서 조사한 전체항목을 대상으로 주성분 분석과 요인분석을 실시하여 제 1요인으로 분류된 항목을 가중치를 부여할 항목으로 선정하였으며, 가중치를 부여하여 평가할 항목에 대하여 수질부하밀도를 산정하였다. 그리고 수질부하밀도 기준을 설정하고자 상자도식인 Box plot 그래프를 이용한 통계적 방법으로 6등분(5%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90%)하여 분류하였으며, 유량 값 역시 같은 방법을 사용하여 분류를 하고 기준을 설정하였다. 항목별로 설정한 점수와 가중치를 고려해서 계산된 점수를 산술적으로 합산하여 4개의 그룹(A, B, C, D)으로 분류하고 우선순위를 등급화 하였다(Jung et al., 2013b).

## 3. 결과 및 토의

### 3.1. 지류하천의 수질 및 유량 특성

금호강 수계 지류하천들의 수질특성을 알아보기 위해 Box plot을 이용한 조사결과를 Fig. 2.와 Table 2에 나타내었다. Box plot은 자료의 분포 또는 밀집된 형태 그리고 관측치들이 어디에 모여 있는지 자료 값들의 흩어진 정도를 파악할 수 있고, 자료 관측치 중 다른 값들에 비해 지나치게 크거나 작은 관측치, 이상치(outlier)의 존재 여부를 파악할 수 있다(Nakdong River Environment Research Center, 2009). 또한 금호강 수계 15개 지류하천에 대해 산술평균한 값을 수질환경기준에 따라 평가한 자료를 Table 3에 나타내었다. BOD<sub>5</sub>의 중앙값은 0.8~3.8 mg/L, 제1사분위수는 0.4~3.3 mg/L, 제3사분위수는 1.2~6.5 mg/L의 농도범위를 보였으며, 팔거천과 남천이 평균농도 4.8 mg/L, 4.5 mg/L로 수질환경 기준 III(fair)등급으로 나타나 다른 하천들에 비해 비교적 높은 농도를 나타내는 것으로 조사되었다. COD<sub>Mn</sub>는 2.1~20.1 mg/L의 농도범위를 보였으며, 농도분포는 중

양값에 밀집된 분포를 보이고 있다. 중앙값은 4.1~8.0 mg/L, 제1사분위수는 3.3~6.7 mg/L, 제3사분위수는 5.0~11.4 mg/L 범위이며, 달서천과 남천이 높은 농도를 나타내는 것으로 조사되었다. TOC 중앙값은 2.7~5.6 mg/L, 제1사분위수는 2.2~5.0 mg/L, 제3사분위수는 2.9~6.8 mg/L의 범위이며, 달서천이 평균농도 6.8 mg/L로 수질환경기준 V(very poor)등급의 높은 농도로 나타났다. SS는 농도범위가 0.2~410.0 mg/L로 변동 폭이 큰 것으로 나타났으며, 율하천과 불로천의 농도가 높게 조사되었다. T-N의 농도범위는 0.900~18.830 mg/L로 중앙값은 1.397~11.442 mg/L 범위이며, 남천의 중앙값이 11.442 mg/L로 타 지점에 비해 높은 경향을 나타내었다. T-P 중앙값은 0.037~0.174 mg/L, 제1사분위수는 0.027~0.095 mg/L, 제3사분위수는 0.053~0.661 mg/L의 범위이다. 신천과 달서천은 중앙값이

0.174 mg/L, 0.155 mg/L로 큰 폭으로 상승하였고 사분위범위 또한 중앙값을 기준으로 흩어짐의 정도가 크게 나타났다. 유량은 0.003~7.104 m<sup>3</sup>/sec의 범위를 보였으며, 평균 1 m<sup>3</sup>/sec이상의 유량이 흐르는 하천으로는 달서천이 3.798 m<sup>3</sup>/sec으로 유량이 가장 많았고, 다음으로 오목천 > 남천 > 신령천 > 신천 순으로 나타났으며, 대부분 유역면적이 큰 하천들이 유량도 많은 것으로 조사되었다. 한편, 달서천의 경우는 유역면적이 22.63 km<sup>2</sup>의 적은 면적임에도 유량이 가장 많았는데, 달서천에는 달서천하수처리장과 북부하수처리장이 위치하고 있으며, 달서천은 이들 하수처리수의 영향을 크게 받고 있는 하천이다. 북부하수처리장과 달서천하수처리장의 일평균방류량이 각각 약 1.202 m<sup>3</sup>/sec 와 2.227 m<sup>3</sup>/sec 정도임을 감안할 때 달서천의 유량은 하수처리장 방류수의 영향을 많이 받고 있는 것으로 판단된다. 대체로 인위적

**Table 3.** Result of monitoring sites class in the tributary Geumho River

No.	Monitoring site	BOD <sup>1)</sup> (mg/L)	Class	COD <sup>1)</sup> (mg/L)	Class	TOC <sup>1)</sup> (mg/L)	Class	TN <sup>2)</sup> (mg/L)	Class	TP <sup>1)</sup> (mg/L)	Class	Chl-a <sup>2)</sup> (µg/L)	Class	SS <sup>1)</sup> (mg/L)	Class
1	Gochoncheon	1.0	I a <sup>3)</sup>	4.4	II	2.8	I b	2.997	VI	0.040	I b	4.7	I a	3.9	I a
2	Sinlyeongcheon	2.0	I b	5.5	III	3.7	II	4.170	VI	0.048	II	13.3	II	4.71	I a
3	Bukancheon	2.1	II	6.9	III	4.7	III	2.774	VI	0.092	II	9.8	II	14.7	I b
4	Daechangcheon	1.6	I b	6.4	III	4.3	III	4.492	VI	0.089	II	5.1	I b	5.65	I a
5	Chungdongcheon	1.6	I b	5.3	III	3.4	II	4.656	VI	0.093	II	7.4	I b	15.8	I b
6	Boggycheon	1.0	I a	6.8	III	5.6	IV	1.599	VI	0.081	II	5.2	I b	4.26	I a
7	Omokcheon	2.3	II	6.1	III	4.3	III	3.969	VI	0.113	III	13.9	II	7.11	I a
8	Namcheon	4.5	III	7.5	IV	5.1	IV	10.928	VI	0.112	III	6.0	I b	5.55	I a
9	Yulhacheon	1.5	I b	5.4	III	3.1	II	3.679	VI	0.174	III	4.5	I a	83.8	IV
10	Bullocheon	2.2	II	5.2	III	3.4	II	6.279	VI	0.145	III	8.3	I b	52.4	IV
11	Donghwacheon	1.8	I b	4.4	II	2.9	I b	3.845	VI	0.061	II	7.7	I b	4.61	I a
12	Sincheon	2.2	II	5.3	III	4.8	III	6.781	VI	0.295	IV	18.4	III	5.09	I a
13	Palgeocheon	4.8	III	7.2	IV	5.5	IV	2.957	VI	0.133	III	11.9	II	19.9	I b
14	Dalseocheon	2.7	II	9.4	V	6.8	V	8.521	VI	0.351	V	5.3	I b	5.36	I a
15	Leoncheon	2.3	II	5.6	III	5.9	IV	2.500	VI	0.071	II	12.9	II	8.12	I a

1) River(Stream) environmental standard for water quality

2) Lake environmental standard for water quality

3) In Score : Excellent( I a), Good( I b), Above average( II), Fair(III), Poor(IV), Very Poor(V)



인 오염원이 적게 내재되어있는 금호강 상류에 위치하고 있는 지류하천들의 수질상태는 비교적 양호한 수준으로 나타났으며, 주로 도심을 통과하는 하천(도심형 하천)들과 금호강 중·하류에 위치하는 지류하천들이 오염도가 높은 것으로 조사되었다. 특히 하·폐수처리장 방류수의 영향을 받는 남천, 달서천등이 다른 지점에 비해 오염도가 높고 농도변동 폭도 큰 경향을 보이는 것으로 조사되었다. 금호강 중·하류 유역은 크고 작은 도시와 공업지역이 입지해 있고, 농경지 점유율이 높아 유기오염물질과 질소, 인 등 오염물질이 직접 하천에 유입될 수 있다. 이러한 결과는 영산강 수계의 지류·지천과 섬진강 수계에서 선행된 연구와도 일치한다(Jung et al., 2013b; Park et al., 2014).

### 3.2. 지류하천의 오염기여율 산정

금호강 지류들로부터 유기오염물과 영양염류인 N, P 유입은 본류 중·하류 구간의 수질에 영향을 줄 수 있다. 금호강 본류의 오염물질 농도 변화에 대한 지류들의 영향들은 각 지류하천의 기여도에서도 잘 나타난다(Table 4). 고촌천, 대창천, 동화천, 청통천, 부기천, 을하천, 불로천, 이언천 등의 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, TOC와 TP의 부하량은 전체적으로 낮았다. 반면에 대구광역시와 산업단지를 경유 하고 주변 도시(경산)점오염원의 영향을 받는 오목천, 남천의 부하량이 대체로 높았으며, 특히 달서천의 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, TOC와 TP의 부하량이 각각 22.7%, 30.7%, 31.3%, 47.6% 로 전체 지류들 중에서 가장 높았다. 이는 하·폐수처리수의 유량 대비 높은 부하량 유입으로 본류에서의 수질 농도상승에 영향을 미칠 수 있음을 제시한다. Yang and Bae(2012)는 금호강 지류수질이 금호강 본류 수질에 미치는 영향에 대한 연구에서 경산시의 영향을 받는 남천과 하류에서 달서천이 합류되면서 금호강 본류의 수질 오염도를 상승시키며, 그 원인이 하·폐수처리수와 관련이 있음을 보고 하였다. 지류하천유역의 수질오염 잠재력을 알아보기 위해 수질부하밀도를 산정하여 비교해 본 결과 달서천 유역이 유역면적이 적음에도 가장 높은 수질부하밀도를 보이는 것으로 나타났으며, 남천, 오목천, 팔거천, 북안천 등도 높게 조사되었다. 수질부하밀도는 단위면적당 유달부하를 나타내는 것으로 유역별 오염강도를 간접적으로 평가할 수 있다. Lee et al.(2012a)은 남강유역 지류·지천별

로 유달부하밀도를 산정하여 비교를 통해 우선 관리하여야 할 대상 하천을 선별하였으며, Jung et al.(2013a)도 하천그룹화 방법을 통해 선정된 중점관리 지류하천들과 수질부하밀도간의 상관성이 매우 높아 남강 중권역 지류하천들 중 우선적으로 관리가 필요한 지류하천을 선정하는데 있어 유용한 자료로서 타당함을 연구 보고하였다. 따라서 이와 같은 결과는 앞으로의 금호강 수계 지류하천에 대한 효율적인 수질관리 전략을 수립하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

### 3.3. 유역분할을 통한 지류유역의 토지이용분석

토지이용은 인간의 활동과 직접적으로 관련된 토지의 구체적인 이용형태를 말한다. 토지이용도는 raster형 자료로서 각 지류하천별로 토지이용현황을 분석하기 위해 ArcGIS를 이용하는 ArcSWAT모형을 활용하여 유역을 분할하였으며, 유역면적은 하천정비기본계획 보고서를 참고로 하였다. ArcSWAT모형은 유역의 서로 다른 표면 특성을 반영하여 대상유역을 여러 개의 소유역(sub basin)으로 구분하여 해석할 수 있도록 세분화한다(Fig. 3.). 본 연구에서 ArcSWAT모형을 이용하여 도출된 유역면적과 하천정비기본계획 보고서(Ministry of Construction and Transportation : 1989~2013)에서 제시한 유역면적 자료가 서로 상이한 점에 대해서는 그 이유를 명확하게 알 수는 없으나, DEM (digital elevation model) 산정 시 설정된 격자의 크기에 따른 이유로 추정된다. 본 연구에서는 1:25,000 수치지도를 이용하여 작성된 30 m×30 m격자의 DEM을 이용하여 유역면적을 산출하였고, 각 지류하천별 하천정비기본계획에서 제시하고 있는 유역면적과 큰 차이는 없어 모형을 통해 새로 산출한 유역면적을 연구에 적용하는 데에는 큰 문제는 없을 것으로 사료된다. 다음으로 토지이용현황을 파악하기 위해서 환경부에서 제공하는 중분류 토지피복도를 이용하였다. Kim et al.(2009)은 금호강유역 비점오염 분포파악을 위해 토지피복도 중분류를 이용하였으며, Kim et al.(2007)도 DEM(수치표고모델)과 SWAT모형을 이용하여 소유역을 분할하여 금호강 유역의 토지이용도 변화와 도시화에 따른 수문 환경변화에 관한 연구를 수행하였다. 분류는 시가지(Urban), 산림(Forest), 농업(Agriculture), 초지(Grass), 산업(Industrial), 수역(Waters), 습지(Watland), 나지(Bare land)등 8가지

Table 4. Delivery load and water quality load density of total phosphorus, organic matters and surface flow from tributaries Geumho River

Site No.	Tributary	Area (km <sup>2</sup> )	Surface flow (m <sup>3</sup> /sec)	Delivery load (kg/day)				Water quality load density (kg/day/km <sup>2</sup> )								
				BOD (kg/day)	COD (kg/day)	TOC (kg/day)	T-P (kg/day)	ratio (%)	ratio (%)	ratio (%)	ratio (%)	BOD (kg/day/km <sup>2</sup> )	COD (kg/day/km <sup>2</sup> )	TOC (kg/day/km <sup>2</sup> )	T-P (kg/day/km <sup>2</sup> )	
1	Gochoncheon	111.70	0.6	3.6	50.9	1.3	229.9	2.3	145.2	2.0	2.1	0.9	0.5	2.1	1.3	0.02
2	Simlyeongcheon	342.61	1.8	10.9	320.6	8.4	873.7	8.7	592.6	8.3	7.7	3.2	0.9	2.6	1.7	0.02
3	Bukancheon	94.10	0.9	5.2	159.0	4.1	519.8	5.2	353.9	5.0	7.0	2.9	1.7	5.6	3.8	0.08
4	Daechangcheon	64.82	0.5	2.7	62.4	1.6	248.7	2.5	169.4	2.4	3.5	1.4	1.0	4.0	2.7	0.06
5	Chungtongcheon	113.07	0.8	5.1	116.7	3.0	389.6	3.9	248.6	3.5	6.8	2.8	0.9	3.1	2.0	0.05
6	Bogycheon	24.20	0.1	0.6	7.9	0.2	55.4	0.6	46.1	0.6	0.7	0.3	0.3	2.4	2.0	0.03
7	Omokcheon	220.98	2.7	16.2	536.3	14.0	1436.1	14.3	1000.6	14.0	26.7	11.0	3.0	8.1	5.6	0.15
8	Namcheon	118.37	2.6	15.7	1021.8	26.7	1709.3	17.1	1154.2	16.2	25.5	10.5	9.4	15.8	10.6	0.23
9	Yulhacheon	13.78	0.1	0.4	9.1	0.2	32.6	0.3	18.7	0.3	1.1	0.4	0.6	2.3	1.3	0.07
10	Bullocheon	20.63	0.1	0.6	20.0	0.5	110.7	1.1	30.2	0.4	1.3	0.5	1.0	5.7	1.5	0.07
11	Donghwacheon	99.55	0.5	3.0	77.5	2.0	190.3	1.9	124.2	1.7	2.6	1.1	0.8	1.9	1.3	0.03
12	Sincheon	165.30	1.3	7.6	243.3	6.4	584.0	5.8	534.6	7.5	32.6	13.5	1.5	3.7	3.4	0.21
13	Palgeocheon	102.67	0.6	3.8	265.7	6.9	393.1	3.9	300.2	4.2	7.3	3.0	2.6	3.8	2.9	0.07
14	Dalseocheon	22.63	3.8	22.6	871.4	22.7	3071.8	30.7	2231.4	31.3	115.3	47.6	44.0	155.2	112.8	5.83
15	Leoncheon	64.38	0.3	2.0	69.0	1.8	165.2	1.7	173.3	2.4	2.1	0.9	1.1	2.6	2.7	0.03

Table 5. Classifieds Geumho River tributary land use area

Site No.	Tributary	Urban		Forest		Agriculture		Grass		Industrial		Waters		Wetland		Bare land		Sum	
		Area (km <sup>2</sup> )	ratio (%)	Area (km <sup>2</sup> )	ratio (%)	Area (km <sup>2</sup> )	ratio (%)	Area (km <sup>2</sup> )	ratio (%)	Area (km <sup>2</sup> )	ratio (%)	Area (km <sup>2</sup> )	ratio (%)	Area (km <sup>2</sup> )	ratio (%)	Area (km <sup>2</sup> )	ratio (%)	Area (km <sup>2</sup> )	ratio (%)
1	Gochoncheon	2.79	2.6	77.22	72.0	21.45	20.0	1.29	1.2	0.28	0.3	1.61	1.5	0.59	0.5	2.02	1.9	107.24	100.0
2	Sinlyeongcheon	10.00	2.9	238.93	69.9	78.93	23.1	2.25	0.7	0.60	0.2	5.41	1.6	2.26	0.7	3.56	1.0	341.93	100.0
3	Bukancheon	3.72	4.2	52.81	59.7	26.58	30.0	1.40	1.6	0.90	1.0	2.01	2.3	0.41	0.5	0.67	0.8	88.52	100.0
4	Daechangcheon	2.13	3.4	36.46	58.1	20.02	31.9	1.20	1.9	0.35	0.6	1.66	2.6	0.26	0.4	0.66	1.0	62.73	100.0
5	Chungtongcheon	7.00	5.5	75.29	59.1	35.42	27.8	2.58	2.0	0.92	0.7	2.68	2.1	0.90	0.7	2.60	2.0	127.39	100.0
6	Boggycheon	1.60	6.9	7.83	34.0	10.33	44.8	0.62	2.7	0.93	4.0	1.39	6.0	0.07	0.3	0.29	1.3	23.06	100.0
7	Omokcheon	11.90	6.9	85.19	49.5	60.34	35.1	3.35	1.9	2.47	1.4	4.37	2.5	1.14	0.7	3.27	1.9	172.02	100.0
8	Namecheon	10.77	10.3	73.78	70.3	11.83	11.3	2.37	2.3	1.67	1.6	1.13	1.1	0.31	0.3	3.15	3.0	105.00	100.0
9	Yulhacheon	1.72	12.1	8.90	62.6	2.00	14.1	0.23	1.6	0.31	2.2	0.16	1.1	0.10	0.7	0.80	5.6	14.21	100.0
10	Bullocheon	0.98	5.0	15.22	78.0	2.80	14.3	0.23	1.2	-	0.0	0.11	0.6	-	0.0	0.18	0.9	19.52	100.0
11	Donghwacheon	4.62	4.7	74.21	75.4	15.89	16.1	1.59	1.6	0.06	0.1	0.94	1.0	0.56	0.6	0.61	0.6	98.48	100.0
12	Sincheon	26.19	17.2	105.44	69.4	11.37	7.5	3.22	2.1	0.54	0.4	1.46	1.0	0.55	0.4	3.11	2.0	151.89	100.0
13	Palgeocheon	12.76	12.4	70.60	68.7	13.18	12.8	2.03	2.0	0.72	0.7	1.06	1.0	0.47	0.5	2.01	2.0	102.83	100.0
14	Dalseocheon	13.54	71.8	0.95	5.1	0.12	0.6	0.44	2.3	2.93	15.5	0.03	0.2	0.08	0.4	0.76	4.0	18.85	100.0
15	Leoncheon	1.70	2.7	47.72	74.6	10.25	16.0	2.12	3.3	0.21	0.3	1.16	1.8	0.08	0.1	0.72	1.1	63.96	100.0

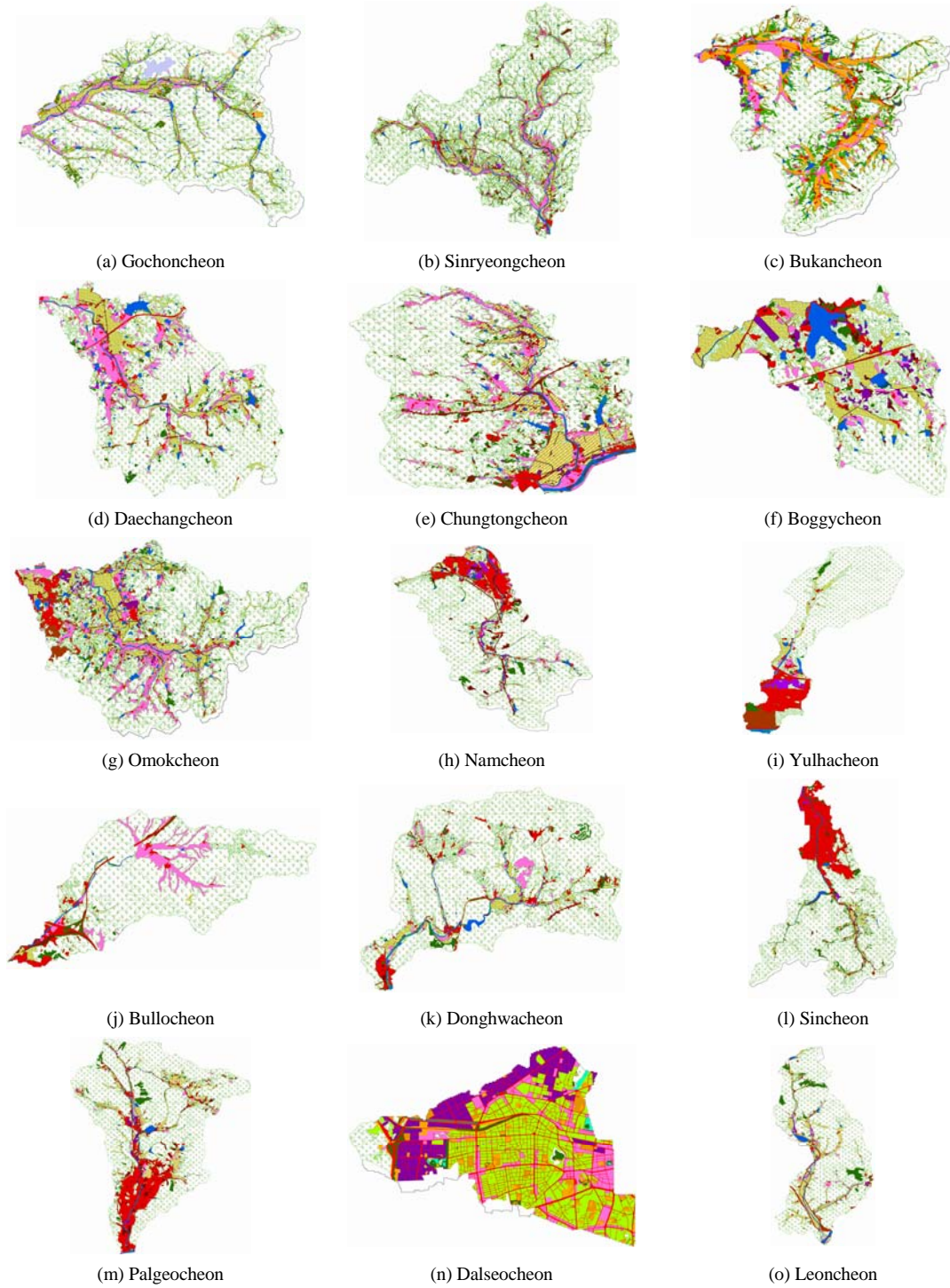


Fig. 3. Distribution of land use types in the Geumho River tributaries watershed.

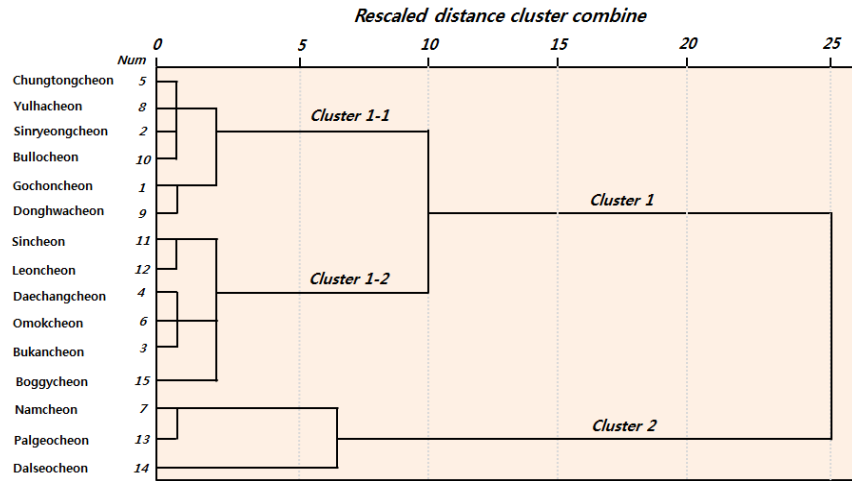


Fig. 4. Dendrogram of the 15 monitoring sites using hierarchical cluster analysis based on water quality in the Geumho River tributaries.

지목으로 분류 추출하였으며, 주거지역, 상업지역, 교통 지역, 기타시설지역을 합쳐 시가지(Urban)지역으로 통합하여 면적을 산정하였고, 논, 밭, 과수원, 기타시설재배지는 농업(Agriculture)지역으로 통합하여 면적을 산정하여 토지이용분석을 하였다(Fig. 3). 분할한 지류하천의 유역을 해당 소유역(sub basin)별로 구분하여 면적(km<sup>2</sup>)과 면적비율(%)을 산정하여 Table 5에 나타내었다. 분석 결과 달서천이 시가지(Urban)와 산업(Industrial)지역이 차지하는 면적비율이 71.8%, 15.5%로 다른 지류하천 유역에 비해 가장 많은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 반면 산림이 차지하는 면적 비율이 5.1%로 가장 적었다. 남천, 율하천, 신천, 팔거천 등도 10%~20%의 범위로 시가지(Urban)가 차지하는 비율이 다소 많은 것으로 조사되었다. 북안천, 대창천, 청통천, 부기천, 오목천등은 금호강 중류지역에 위치한 지류하천들로 이에 속한 소유역은 전반적으로 농업(Agriculture)이 차지하는 비율이 높은 것으로 조사되었다. 이와 같이 도심을 통과하는 하천들과 농경지 점유율이 높은 하천들은 본류에서 유기오염물의 농도와 영양염의 농도를 증가 시킬 수 있다. 선행된 연구에 의하면 Park(2003)은 금호강 유역의 토지이용패턴이 수질에 미치는 영향에 대해 분석한 결과 주거 및 농업지역 면적율과 수질항목(BOD<sub>5</sub>, TN, TP)간에 통계적으로 유의한 강한 양의 상관관계가 있음을 연

구 보고한바 있다. Jung et al.(2012)도 영산강 수계 소하천 유역의 토지이용과 수질항목간의 상관분석에서 논과 밭의 점유율이 높은 소유역이 수질과의 상관성이 매우 높음을 연구 보고 하였다. 이는 유역의 토지이용특성이 하천수질에 영향을 주는 하나의 중요한 요인을 제시하는 것으로 토지이용과 수질과의 상관성을 관찰하는데 있어 ArcGIS툴을 사용하는 것은 간단하면서도 효과적인 방법임을 보여준다.

### 3.4. 자료의 다변량 통계분석 결과

#### 3.4.1. 주성분 분석 및 요인분석

금호강 수계 지류하천 전체 조사지점에서 2011년~2013년까지 3년간 관측한 12개의 수질항목을 대상으로 수질특성을 파악하기 위하여 다변량 분석법 중 주성분 분석 및 요인분석을 실행하였다. 다변량 분석은 2개 이상의 변수들의 관계를 동시에 분석하고 해석 할 수 있도록 하는 통계적 기법으로 여러 개의 복잡한 관계의 변수들을 간단한 구조를 갖도록 자료를 축약 결정해주는 정교한 통계분석 방법이다(Kim et al., 2007a). 본 연구에서 다변량 통계 분석을 위해 사용한 관측치는 조사 횟수가 적어 자료의 제한성문제로 자료의 변환 없이 원 자료를 그대로 표준화하여 분석을 수행하였다. 주성분 분석을 이용하여 주성분수를 결정하기 위해 고유치(eigenvalue)가

**Table 6.** Total variance explanation by principal component analysis

Component	Initial eigenvalues			Rotation sums of squared loadings		
	Total	% of Variance	% Cumulative	Total	% of Variance	% Cumulative
1	4.457	37.139	37.139	3.830	31.916	31.916
2	1.797	14.971	52.110	1.821	15.172	47.088
3	1.286	10.713	62.823	1.602	13.352	60.440
4	1.183	9.856	72.679	1.469	12.239	72.679

Extraction method : principal component analysis

1.0 이상인 값을 갖는 주성분 축만을 고려하여 모두 4개의 주성분이 추출되었다. 12개 수질항목의 주성분 분석에 대한 결과를 Table 6에 나타내었다.

제1요인은 31.916%, 제2요인은 15.172%, 제3요인은 13.352%, 제4요인은 12.239%를 기여하고 있으며, 제1요인부터 제4요인까지 주성분 전체 분산의 72.679%를 설명해 주고 있다. 통계에 사용할 변수가 요인분석에 적합한지에 대한 검증으로 kaiser-meyer-olkin (KMO) test를 실행한 결과 0.589로 분석되었고, Bartlett's test의 구형 검증치 또한 0.000( $p < 0.05$ )을 나타내어 변수들의 상관관계가 통계적으로 유의하여 요인분석 실행이 타당한 것으로 분석되었다. KMO test는 최소 0.5는 되어야 요인분석이 가능하며, Bartlett's test는 사용된 변수가 대각행렬인지 아닌지를 검증하는 방법으로 p값이

0.05보다 작으면 대각행렬임을 기각하여 요인분석을 할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 두 분석 모두 조건에 만족하여 요인분석이 가능함을 설명해 주고 있다. 요인분석은 많은 변수들 간의 상호 연관성(상관관계)을 분석하여 자료들 간에 공통적으로 작용하고 있는 내재적 요인을 추출하여 몇 개의 핵심적 내재 요인으로 축약하여 자료 해석에 대한 이해와 직교회전 이후 더욱 뚜렷하게 각 영향 요인을 파악할 수 있게 해준다. 따라서 분석한 결과를 Table 7에 나타내었다. 제1요인은 COD<sub>Mn</sub>, TOC, EC, TP, BOD<sub>5</sub>로 분류되었고, 제2요인은 pH, Chl-a, DO, 제3요인은 Water temperature, TN, 제4요인은 SS, Surface flow로 분류되었다. 이에 근거하여 전체적으로 금호강 수계 지류하천에서는 유기오염물질과 영양염류에 의한 오염이 가장 크며 계절적 요인과 생물학적인 물

**Table 7.** Rotated component matrix by factor analysis

Variable	Component			
	1	2	3	4
COD <sub>Mn</sub>	<b>.932</b>	.038	.127	-.019
TOC	<b>.899</b>	.077	-.148	.113
EC	<b>.824</b>	-.140	.281	.109
TP	<b>.810</b>	.156	.321	-.110
BOD <sub>5</sub>	<b>.553</b>	.407	.086	.248
pH	-.323	<b>.808</b>	-.010	-.326
Chl-a	.239	<b>.790</b>	.191	.141
DO	.140	<b>.559</b>	-.381	.085
Water temperature	.138	-.009	<b>.863</b>	-.064
TN	.338	.047	<b>.465</b>	.424
SS	.140	.031	.159	<b>-.804</b>
Surface flow	.420	.099	.454	<b>.638</b>

Rotation method : Varimax with Kaiser Normalization

질대사에 의한 요인 순으로 영향을 받고 있음을 설명해 주고 있다.

### 3.4.2. 군집분석

본 연구에서는 대상 지점간의 수질변동특성의 유사성을 분석하고 동질에 가까운 개체들을 동일 군집으로 분류하기 위해 계층적 군집방법(Hierarchical clustering method)을 이용하여 분석하였다. 여기서, 군집화한 자료를 덴드로그램(Dendrogram)으로 도식화하여 표현하였으며, 요인분석에서 얻은 결과를 바탕으로 군집분석을 실행한 결과는 Fig. 4와 같다.

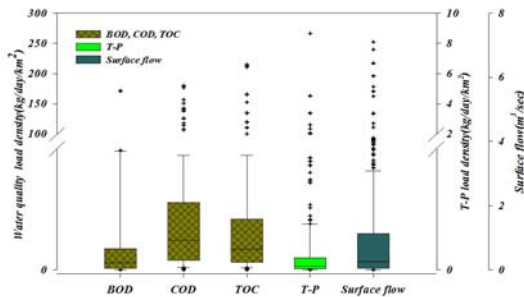


Fig. 5. Water quality load density of BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, TOC, TP and Surface flow.

Dendrogram은 조사대상 주요지류·분류간의 수질 변동의 유사성을 분석하는데 용이하고, 군집을 쉽게 분류할 수 있도록 도와주며 시간적인 정보를 제공한다(Kim et al., 2007b). 분석 결과 하천 유역 오염원이 종합 고려된 통계적으로 유의한 2개 그룹이 분류되었다. Cluster 1은 대체로 수질오염정도가 비슷한 지류하천이 분류되었으며, 하위에 2개의 sub-cluster가 분류되었다. Cluster 1-1은 금호읍과 경산시 그리고 도심을 경유하여 흐르는 동화천, 청통천, 율하천, 불로천등이 분류되었다. 이들 도심을 관류하는 지류하천들은 관리가 다소 취약할 수 있어 수질오염의 가능성을 내포하고 있다. Cluster 1-2 역시 농경지 점유율이 높고, 크고 작은 도시를 관류하면서 주변에 공장과 축사 등의 오염원으로부터 수질오염의 잠재력이 있는 금호강 중·하류에 위치한 지류하천이 분류가 되었다. Cluster 2는 생활하수와 산업폐수의 영향을 많이 받으면서 도시(urban)의 점유율이 높은 달서천과 남천이 포함되었는데 이 두 하천은 수체의 환경

변화가 크며, 큰 도시를 관류하는 도심하천으로서 생활하수의 직접적인 영향으로 유기물 농도뿐만 아니라 영양염의 농도 역시 높아 금호강 본류 수질에 영향을 주어 농도를 증가시킬 수 있다. 같은 그룹으로 분류된 도심형 하천인 팔거천의 경우는 저·갈수기에 유기오염물의 농도가 높은 수질특성을 보이는 하천이다(DAEGUILBO, 2014). 평시에는 말단부에 모이는 하천수를 복부하수처리장으로 보내 처리하고 있지만, 강우 시에 일부 월류되어 금호강에 유입된다(Daegu Regional Environmental Agency, 2015). Singh et al.(2004)에 의하면 조사대상 지점의 수질오염도에 따라 군집분석결과 그룹이 분류된다고 보고하였으며, Jung et al.(2013b)과 Shrestha and Kazama(2007)역시 군집분석 결과가 지류·지천 및 대상하천유역 주변의 토지이용현황이나 하수처리장의 영향을 잘 반영하고 있으며 생활하수나 농업활동 등 주변 오염원에 따라 그룹이 분류되는 것으로 보고 하였다. 본 연구 결과에서도 주변 오염원의 특성이나 하천의 수질오염도에 따라 그룹이 분류되었음을 알 수 있다. 이러한 군집분석은 하천의 분류나 지류로 부터 대하천의 영향 정도를 판별하는데 용이할 뿐만 아니라 모니터링 계획을 수립하는 방안으로 활용이 가능하다. 또한 지점별로 개별적인 대안을 제시하기보다는 하천을 유사한 성격의 그룹으로 나누어 수질문제에 대한 방안을 제시할 수 있어 보다 효율적인 의사결정을 하는데 유용한 도구로서도 활용이 가능할 것으로 판단된다.

### 3.5. 지류하천 수질개선 등급화 결과

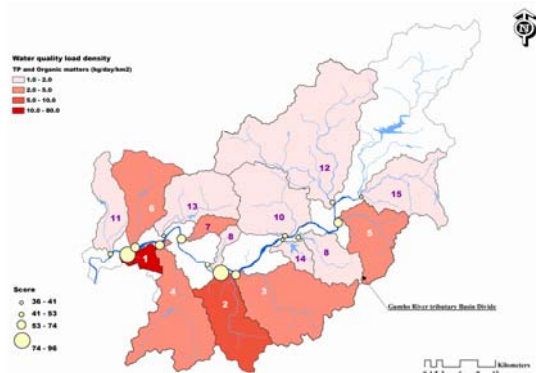
등급화는 분산되어진 자료를 수집 분석하여 그 결과의 정량적 지표에 따라 순차적으로 하천의 수질개선 우선 등급을 나누는 것으로 본 연구에서는 앞서 분석한 자료들을 바탕으로 금호강 지류하천 등급화를 위한 정량적 평가 항목을 12개로 구성하여 Table 8에 나타내었다. 또한 요인분석에서 제1요인으로 분류된 5가지 항목 중 EC를 제외한 COD<sub>Mn</sub>, TOC, TP, BOD<sub>5</sub> 4개 항목에 대하여 수질부하밀도를 산정하고, 유량 자료와 함께 상자도식(Box plot)을 이용해 통계 분석을 하였으며(Fig. 5), 그 결과를 토대로 6등분(5%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90%)으로 나누어 평가점수로 기준 표(Table 8)에 동일하게



**Table 8.** Water quality evaluation items and score

No.	Item	Score range						
		1	2	3	4	5	6	7
1	BOD load <sup>1)</sup> (kg/day/km <sup>2</sup> )	below 0.1	below 0.5	below 1.0	below 3.0	below 6.0	below 9.0	above 9.0
2	COD load <sup>1)</sup> (kg/day/km <sup>2</sup> )	below 1.0	below 3.0	below 5.0	below 7.0	below 9.0	below 12.0	above 12.0
3	TOC load <sup>1)</sup> (kg/day/km <sup>2</sup> )	below 1.0	below 2.0	below 3.0	below 4.0	below 5.0	below 6.0	above 6.0
4	T-P load <sup>1)</sup> (kg/day/km <sup>2</sup> )	below 0.01	below 0.03	below 0.05	below 0.07	below 0.15	below 0.20	above 0.20
5	Surface flow (m <sup>3</sup> /sec)	below 0.01	below 0.05	below 0.1	below 0.5	below 1.5	below 2.5	above 2.5
6	BOD (mg/L)	below 1	below 2	below 3	below 5	below 8	below 10	above 10
7	COD (mg/L)	below 2	below 4	below 5	below 7	below 9	below 11	above 11
8	TOC (mg/L)	below 2	below 3	below 4	below 5	below 6	below 8	above 8
9	T-N (mg/L)	below 1	below 2	below 3	below 4	below 5	below 6	above 6
10	T-P (mg/L)	below 0.02	below 0.04	below 0.1	below 0.2	below 0.3	below 0.5	above 0.5
11	Chl-a (µg/L)	below 1	below 3	below 6	below 9	below 12	below 15	above 15
12	SS (mg/L)	below 5	below 10	below 15	below 20	below 25	below 30	above 30

1) Water quality load density



**Fig. 6.** GIS mapping results from water quality load density and tributaries grade classification.

적용하였다.

수질항목에 대한 평가점수는 수질환경기준과 동일하게 적용하였으며, 초과하는 자료에 대한 기준을 포함하여 모두 7등분으로 분류하였다. 등급화 하는 과정에서 점수를 계산할 때 수질부하밀도 4개 항목에 대해서는 가중치를 부여하여 기본점수에 2를 곱하여 산술적으로 합산하였다. 가중치를 부여하는 방법으로 의사결정분야에서 널리 사용되는 기법으로 계층적 분석 방법인 AHP (analytic hierarchy process)가 있다. AHP기법은 전문

가들에 의해 여러 항목들을 비교하여 각 항목에 대해 우선순위 또는 가중치를 도출하여 최적의 대안을 설정하는 것으로 대부분 전문가들의 주관적인 응답에 의해 결정되어지며 편익과 오류가 포함 될 수 있다(Kim et al., 2010). 계층화 분석기법(AHP)은 여러 전문기관 및 분야에서 광범위하게 활용되고 있으며, 이와 관련한 연구로는 Song(2008)이 하천환경정비와 하천환경의 질적 수준 향상을 위한 도시하천 평가기법을 개발하고자 평가부문 간에 가중치를 산정하기 위해 전문가 설문조사(AHP)를 실시 분석하여 가중치를 산정 부여하는 등 지금까지 많은 연구자들에 의해 여러 분야에서 수행되어졌다. 하천 등급화를 위한 가중치 산정에 관한 연구는 극히 드문 실정이며, Jung et al.(2013b)등이 영산강 수계의 지류·지천을 등급화 하는 방법으로 다변량 통계분석을 통해 중요도가 높은 항목을 선별하고, 배출되는 오염물질의 총량을 해당 유역면적으로 나눈 배출부하밀도를 산정해 가중치를 부여하여 하천을 등급화 하는 방안을 제시한 바 있다. 다른 방법으로는 등급화 연구로는 X축에는 BOD<sub>5</sub>와 TP농도 값을 Y축에는 유량 값을 서로 교차하도록 하여 수질개선이 필요한 하천을 그룹화한 연구가 최근에 발표되었다(Kim and Yi, 2011; Cho et al., 2012; Jung et al., 2013a). 국외에서는 Nives(1999)가 Dalmatia의 수질을 9개의 수질항목을 사용하여 수질이



**Table 9.** Geumho River tributaries water quality improvement priorities selected results

Station	Score	Ranking	Group
Gochoncheon	36	15	D
Sinlyeongcheon	48	12	C
Bukancheon	64	5	B
Daechangcheon	53	8	C
Chungtongcheon	52	10	C
Boggycheon	38	14	D
Omokcheon	74	3	B
Namcheon	93	2	A
Yulhacheon	53	8	C
Bullocheon	61	7	B
Donghwacheon	41	13	C
Sincheon	73	4	B
Palgeocheon	63	6	B
Dalseocheon	96	1	A
Leoncheon	50	11	C

좋을수록 높은 점수를 부여하는 방식으로 수질등급을 나누어 평가한 연구가 보고되어진바 있다. 본 연구에서 Table 8에 제안한 등급화 기준에 따라 항목별 점수를 산술적으로 합산한 결과 점수는 최저 36점~최고 96점이며, 최고점수 80점 이상을 A Group, 80~60점을 B Group, 60~40점을 C Group, 나머지 40점 이하를 D Group 으로 그룹화 하여 분류하였으며, 그 결과를 점수, 순위, 그룹으로 구분하여 각 지류하천별로 Table 9에 나타내었다.

A Group에 분류된 하천은 유량이 많고, 수질농도가 높은 하천들로 도시화로 인한 인구밀도와 불투수비율이 높은 달서천과 남천이 속하는 것으로 분석되었으며, 이 두 하천은 대도시(경산, 대구)의 하·폐수 처리수 영향을 많이 받는 하천들이다. 특히 달서천은 시가건조지역(urban)과 산업지역(industrial)이 전체 면적에 87.3%나 차지하고 있어 오염원 밀집에 의한 영향을 많이 받는 지역이다. 이 두 하천은 수질농도 뿐만 아니라 유달부하량과 부하밀도 역시 높게 분석되었고 이로 인한 등급 점수가 높게 산정되어 금호강의 수질개선을 위해서 물 환경 관리 대책이 우선적으로 고려되어야 할 하천으로 판단된다. B Group에 속한 오목천은 경산시를 신천은 대구 도심을 관류하며 흐르는 하천으로 A Group에 속하지는 않

았지만, 비교적 흐르는 유량이 많아 유달부하량이 높게 나타났으며, 수질오염 잠재력도 높아 점수가 높게 산정되었다. 팔거천, 불로천, 북안천은 수질농도가 비교적 높고 갈수기에는 평균 0.3 m<sup>3</sup>/sec 이하의 적은 유량이 흐르는 것으로 조사되었는데, 이러한 도시하천의 경우 물 환경관리 측면에서 수질과 유지수 확보 문제를 해결하기 위해 서울 청계천이나 일본 호리카와천과 같이 인근 국가하천에서 수로를 연결해 물을 끌어오면서 하천의 수환경을 개선한 사례를 도입하는 것도 하나의 방안이 될 수 있을 것으로 사료된다(Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation, 2005). C Group으로 분류된 하천인 대창천, 청통천, 울하천, 동화천, 이연천 등은 하천에 흐르는 유량이 적어 그에 따른 수량부족으로 하천의 물이 고이다시피하여 수질농도 상승과 주변 오염원의 유입 우려가 있어 이들 하천 역시 수질관리와 수리적인 수량 확보에 관심을 기울여야 할 하천들이다. 이들 하천은 사람이 거주하는 지역과 가까운 도시를 관류하며 주변 공단 및 불특정 장소(도시, 도로, 농지, 축사, 산지, 공사장)로 부터 관리소홀로 인하여 배출되는 인위적인 비점오염원의 직접적인 영향이 미칠 수 있어 이에 따른 관리도 함께 병행되어야 할 것이다. 한편 유량이 많고 수질이 비교적 양호한 하천인 신령천이 포함되었는데,

**Table 10.** List of pollution assessment ranking from 2011 to 2013 in Geumho River tributaries

No.	Tributary	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	TOC (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl-a (µg/L)	SS (mg/L)
1	Gochoncheon	14	15	15	11	15	14	15
2	Sinlyeongcheon	9	9	10	7	14	3	12
3	Bukancheon	8	4	7	13	9	6	5
4	Daechangcheon	11	6	8	6	10	13	8
5	Chungtongcheon	12	11	11	5	8	9	4
6	Boggycheon	15	5	3	15	11	12	14
7	Omokcheon	5	7	9	8	6	2	7
8	Namcheon	2	2	5	1	7	10	9
9	Yulhacheon	13	10	13	10	3	15	1
10	Bullocheon	6	13	12	4	4	7	2
11	Donghwacheon	10	14	14	9	13	8	13
12	Sincheon	7	12	6	3	2	1	11
13	Palgeocheon	1	3	4	12	5	5	3
14	Dalseocheon	3	1	1	2	1	11	10
15	Leoncheon	4	8	2	14	12	4	6

이 하천의 경우 유역면적이 크면서 유달부하량이 높게 산정되었지만 수질상태가 비교적 양호하며 오염잠재력도 낮은 것으로 조사되었다. 이는 유역의 특성이 고려되지 않은 유달부하량이 직접적인 수질 악화를 의미하지는 않는다는 것을 보여준다. Yoon et al.(2006)은 단순히 수질농도와 유량의 곱으로 나타나는 유달부하량에 따라 하천의 수질을 판단하기 보다는 좀 더 심도 있는 연구가 필요하다고 보고한 바 있다. D Group 으로는 고촌천, 부기천이 분류가 되었다. Fig. 6에는 앞서 분석한 수질부하밀도에 따른 오염강도와 지류하천별로 산정한 점수 그리고 순위를 쉽게 파악 할 수 있도록 해당 단위유역별로 함께 도시하였다.

### 3.6. 물 환경오염도 평가

금호강 수계와 같이 대도시와 대규모산업단지가 산재해 있고 농경작지 점유율이 높은 지역에서 이를 경유하여 흐르는 하천들은 수질오염이 단순히 특정 인자에 의해 발생하지 않으며 다양한 인자들이 복합적으로 작용하여 나타난다. 금호강 지류하천들은 대부분 도심과 공단, 농경지 및 축사인근지역을 가로질러 관류하며 흐르는 하천들이 다수여서 주변으로부터 수질오염의 문제가 항상

잠재하고 있을 뿐만 아니라 수량이 적은 하천들도 상당수여서 이러한 복잡 다양한 환경조건의 혼재로 우선적인 관리 항목의 명확한 분류가 어렵다. 따라서 도시하천의 경우 원인은 유사할 수 있으나 하천마다 수질오염의 양상이 모두 다를 수 있음에 착안하여 하천의 고유한 특성을 감안한 각 하천에 적합한 우선관리 대상항목을 선정하였다. 각 지류하천들에 대해 Table 3에 근거하여 각 항목별로 오염순위를 정하여 오염도 5순위 내에는 모두 관리대상 항목으로 선정하고, 지점별 5순위 내 순위 항목이 없으면 최고 오염순위 수질항목을 관리대상으로 선정하여 각 항목별 오염순위표(Table 10)를 작성하였으며, 결과는 다음과 같다(Lee et al., 2012b).

고촌천(T-N), 신령천(Chl-a), 복안천(COD<sub>Mn</sub>, SS), 대창천(COD<sub>Mn</sub>, T-N), 청통천(SS, T-N), 부기천(TOC, COD<sub>Mn</sub>), 오목천(Chl-a, BOD<sub>5</sub>), 남천(T-N, COD<sub>Mn</sub>, BOD<sub>5</sub>, TOC), 율하천(SS, T-P), 불로천(SS, T-N, T-P), 동화천(Chl-a), 신천(Chl-a, T-P, T-N), 팔거천(BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS, TOC, T-P, Chl-a), 달서천(COD<sub>Mn</sub>, TOC, T-P, T-N, BOD<sub>5</sub>), 이언천(TOC, BOD<sub>5</sub>, Chl-a)등으로 파악되었다. 이 결과에서 남천과 달서천을 비롯하여 팔거천이 가장 많은 수질항목들에 대한 관리가 필요한 것

으로 나타났다. 팔거천은 과거 하천상류에서 우·오수 분리 차집시설이 미흡하여 생활오수를 제때 차단하지 않아 하천에 그대로 흘러들어, 하천에 흐르는 유량이 적은 시기에는 유속이 느려지면서 인근지역의 생활하수와 영양염의 공급으로 하천 바닥에 부착조류가 증식하여 악취를 동반한 수질문제를 안고 있었으나, 최근 해당 지자체에서 생활오수를 차단하여 생활하수가 하천으로 흘러들지 못하도록 조치하는 등의 노력을 기울이고 있지만 (DAEGUILBO, 2014), 저·갈수기에는 수질이 문제가 되고 있어 위와 같은 결과는 이에 따른 결과로 추정된다. 또한 신천의 경우 환경기초시설(지산, 신천하수리장)의 방류수를 긍정적으로 이용한 사례이지만, 다른 지류하천보다 높은 TP 농도의 현실적인 문제로 인한 제한 영향인자인 인(P)의 영향으로 식물플랑크톤 증식에 영향을 주어 영양염과 함께 Chl-a가 관리 항목으로 선정된 것으로 보여 진다. 하지만 이와 같은 사례를 도입하여 지류하천의 부족한 수량을 확보하고 정화효과를 높임으로 해서 수질악화를 줄이는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서 금호강 수계 지류하천 15개 지점을 대상으로 수질 및 유량자료를 바탕으로 다변량 통계분석 및 토지이용분석, 오염기여율 산정, 수질부하밀도 분석 및 등급화와 물 환경오염도 평가를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 조사한 지류하천들 중 큰 도심과 산업단지를 관류하며 하수처리장 방류수 및 생활하수의 영향을 받는 남천, 달서천등이 다른 지류하천에 비해 오염도가 높고 농도변동 폭도 큰 경향을 보이는 것으로 나타났다. 이 두 하천은 금호강 본류에 대한 오염기여율도 전체 지류하천들 중에서 가장 기여도가 높았다. 또한 시가지지역과 산업지역이 차지하는 점유율이 높아 수질오염에 대한 잠재력인 단위면적당 오염강도가 가장 높게 조사 되었다.

2) 다변량 통계분석에서 금호강 지류하천의 주요 환경요인은 COD<sub>Mn</sub>, TOC와 TP, BOD<sub>5</sub>로 나타났으며, 군집분석 결과 Cluster 1은 대체로 수질상태와 특성이 비슷한 지류하천이 분류되었으며, Cluster 2는 생활하수와 산업폐수의 영향으로 특성이 명확한 달서천과 남천, 그리고 팔거천이 함께 분류되었다. 군집분석은 수질관리를

위해 오염도에 따라 유사한 수질특성을 가진 하천을 분류하는 기법으로는 유용하지만, 단순히 그 결과만을 가지고 우선순위를 선정하기에는 어려움이 있다.

3) 등급화 기준에 따라 항목별 점수를 산술적으로 합산한 결과 최고점수 96점, 93점으로 A Group에 분류된 달서천과 남천이 우선적으로 물 환경관리 대책이 필요한 하천으로 선정되었다. 이 두 하천은 앞서 조사한 바와 같이 오염원이 밀집한 대도시를 관류하는 하천으로 무엇보다 하·폐수 처리수의 영향을 많이 받고 있어 점오염원에 대한 관리방안이 우선적으로 필요할 것으로 판단된다. B Group에 분류된 오목천, 신천, 팔거천, 불로천, 북안천 중 가장 많은 수질항목들에 대한 관리가 필요한 것으로 나타난 팔거천은 하천수의 거의 대부분을 북부하수처리장으로 보내 처리하여 방류하는 시스템으로 되어 있으나, 저·갈수기에는 일부 하천 구간에서 악취를 동반한 수질문제를 안고 있어 이에 대한 수질 개선을 위한 노력과 하천 유지수량을 확보하기 위한 방안 등을 모색하여야 할 것이다. 또한 하천에 흐르는 유량이 적어 그에 따른 수량부족으로 하천에 물이 고이다시피하여 수질농도 상승의 우려가 있는 나머지 하천들도 하천정비를 통해 하천의 생태를 복원하고 상류로 물을 끌어올려 다시 내려 보내는 물 순환형 정비사업 등을 통해 자정능력을 향상시키는 방안이 필요할 것으로 사료된다.

4) 결론적으로 A, B Group에 오염도가 높은 지류하천이 분류되었으며, 이들 지류는 금호강 중·하류의 도시 지역 내를 관류하는 하천들이 차지하고 있는 것을 확인하였다. 하천수질의 효과적인 개선을 위해서는 이번 연구를 통해 제안한 등급화 방안과 물 환경오염도 평가 방법을 활용하여 해당 지류하천의 상황을 정확히 진단하고, 개선이 우선적으로 필요한 하천을 선별하여 순위에 따라 하천의 현황에 맞는 선택과 집중을 통한 치유를 하는 것이 무엇보다 필요하다 할 것이다. 따라서 앞으로 금호강의 효율적인 수질관리를 위해서는 금호강 지류하천에 대한 많은 연구가 수행되어야 하며, 향후 좀 더 많은 자료의 축적이 선행되어진다면 이번 연구의 결과가 수질 개선 대상 선정 및 효율적인 수질관리 방안마련을 위한 중요한 자료로 사용되어질 수 있을 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- Cho, B. W., Choi, J. H., Yi, S. J., Kim, Y. I., 2012, Selection priority of tributary catchment for improving water quality using stream grouping method, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 28(1), 18-25.
- Daegu Regional Environmental Agency, 2005, Living, breathing Geumho : Water quality and ecological survey in 2005 Geumho tributary, Daegu regional environmental agency, Daegu Metropolitan City, Korea.
- Daegu Regional Environmental Agency, 2007, Geumho river water environmental management plan mid-watershed, Daegu regional environmental agency, Daegu Metropolitan City, Korea.
- DAEGUILBO, 2014, <http://www.idaegu.com/?c=5&uid299515>
- Daegu Regional Environmental Agency, 2015, Geumho river tributary pollution contribution ratio report, Daegu regional environmental agency, Daegu Metropolitan City, Korea.
- Jung, J. W., Lim, B. J., Cho, S. H., Choi, J. H., Song, K. D., Ha, D. W., Kim, H. S., Park, S. H., Hwang, T. H., Jung, S. J., Lee, D. J., 2012, The Influence of land use on water quality in the tributary of the Yeongsan river basin, *Korean J. Limnol.*, 45(4), 412-419.
- Jung, S. J., Kim, K. S., Seo, D. J., Kim, J. H., Lim, B. J., 2013, Evaluation of water quality characteristics and grade classification of Yeongsan river tributaries, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 29(4), 504-513.(b)
- Jung, K. Y., Kim, G. H., Lee, J. W., Lee, I. J., Yoon, J. S., Lee, K. L., Im, T. H., 2013, Selection of priority management target tributary for effective watershed management in Nam-River Mid-watershed, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 29(4), 514-522.(a)
- Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation, 2005, Small stream flow ensuring maintenance of rural areas, research and management measures, Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation, Jeollanam-do, Korea.
- Kowalkowski, T., Zbytniewski, R., Szpejna, J., Buszewski, B., 2006, Application of chemometrics in river water classification, *Water Res.*, 40, 744-752.
- Kim, G. A., Kim, Y. J., Song, M. J., Ji, K. W., Yu, P. J., Kim, C. W., 2007, Evaluation of water quality characteristics in the Nakdong River using multivariate Analysis, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 23(6), 814-821.(b)
- Kim, J. C., Lee, J. H., Yoo, C. S., Kim, S. D., 2007, Impact of urbanization on hydrology of Geumho river watershed : A Model study, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 23(4), 535-542.
- Kim, M. A., Lee, J. K., Zoh, K. D., 2007, Evaluation of the Geum River by multivariate analysis: principal component analysis and factor analysis, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 23(1), 161-168.(a)
- Kim, Y. K., Nam, E. K., 2009, Geochemical and isotopic study of the Kumho river, *Econ. Environ. Geol.*, 42(6), 527-539.
- Kim, J. J., Kim, T. D., Choi, D. H., Lim, K. J., Bernard, E., Jeon, J. H., 2009, L-THIA modification and SCE-UA application for spatial analysis of nonpoint source pollution at Gumho river basin, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 25(2), 311-322.
- Kim, W. Y., Kim, D. H., Choi, Y. C., 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.
- Kim, Y. I., Yi, S. J., 2011, Improvement of procedures for reasonable implementation of TMDL, *Korean Soc. Environ. Eng.*, 33(8), 617-622.
- Kim, Y. I., Jeong, W. H., Kim, H. S., Yi, S. J., 2012, Use of tributary water quality and flowrate monitoring data for effective implementation of TMDL, *Korean Soc. Environ. Eng.*, 34(2), 119-125.
- Kwon, T. H., 2013, A Study of consideration of flowing-in branches' effect on the water quality for improvement of the water quality in of Keumho river, Master's Thesis, Yeungnam University, Gyeongsangbuk-do.
- Lee, J. W., Kwon, H. G., Kwak, I. S., Youn, J. S., Cheon, S. U., 2012, The Estimation of contribution ratio for sub stream in Nam river basin, *J. Environ. Impact Assess.*, 21(5), 745-755.(a)
- Lee, J. W., 2012, Vitalization of the tributary Nakdong river using water environmental damage assessment ( I ), NIER-RP 2012-227, National Institute of Environmental Research, Nakdong River Environment Research Center, Gyeongsangbuk-do, Korea.(b)

- Min, K. S., 2011, Watershed management and restoration tributaries, *J. Korean Water Resour. Assoc.*, 44(3), 18-23.
- Nives, S. G., 1999, Water quality evaluation by index in Dalmatia, *Water Res.*, 33(16), 3423-3440.
- Nakdong River Environment Research Center, '08 Management report of target water quality monitoring system in Nakdong River basin, 2009, 11-1480523-000444-10, National Institute of Environmental Research.
- Park, H. S., Park, C. K., Song, M. K., Baek, K. H., Shin, S. K., 2001, Evaluation of water quality characteristics using factor analysis in the Nakdong river, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 17(6), 693-701.
- Park, K. H., 2003, The Impact of environmental characteristics in the Geumho river watershed on stream water quality, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 6(4), 85-98.
- Park, S. H., Moon, E. H., Choi, J. H., Cho, B. W., Kim, H. S., Jeong, W. H., Yi, S. J., Kim, Y. I., 2011, Analysis of distribution characteristics of flowrate and water quality in tributary at Chungcheongnam-do, *Korean. Soc. Environ. Eng.*, 29(1), 107-113.
- Park, C. J., 2014, Characteristics of water quality in the Yeongsan river basin using multivariate analysis, Master's Thesis, Chonnam National University, Gwangju Metropolitan City.
- Park, J. H., Moon, M. J., Kim, K. S., 2014, Analysis of relationship between water quality parameters with land use in Yeongsan river basin, *J. Environ Impact Assess.*, 23(1), 19-27.
- Sakamoto, H., Hamaguchi, R., Iwase, M., 1988, Evaluation of river water pollution in the chanai district of eastern hokkaido by the multivariate analysis method, *Water and Waste.*, 30(3), 239-245.
- Singh, K. P., Malik, A., Mohan, D., Sinha, S., 2004, Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)-A Case study, *Water Res.*, 38, 3980-3992.
- Shrestha, S., Kazama, F., 2007, Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A Case study of the Fuji River basin, Japan, *Environmental Modelling & Software*, 22, 464-475.
- Song, J. I., 2008, A Study on stream assessment technique for restoration and management of urban stream, Master's Thesis, Kyonggi University, Kyonggi-do.
- Seo, D. I., 2009, Small stream management for the needs of the country river management, *J. Korean Water Resour. Assoc.*, 42(5), 18-22.
- Yi, S. J., 2003, Use of pollutant runoff characteristics for total load management in the middle and lower watershed of the Geum river Korea, Doctoral Thesis, Daejeon University, Daejeon Metropolitan City.
- Yoon, Y. S., Yu, J. J., Kim, M. S., Lee, H. J., 2006, Computation and assessment of delivery pollutant loads for the streams in the Nakdong River basin., *J. Korean Soc. Water Environ.*, 22(2), 277-287.
- Yang, D. S., Bae, H. K., 2012, The Effect of branches on Kumho river's water quality, *J. Environ. Sci.*, 21(10), 1245-1253.
- Yi, S. J., Kim, Y. I., 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-, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 36(10), 719-723.