

## FDC 및 상관관계 분석을 이용한 금호강 유역에서의 오염원추적

박경옥·이창희\*·차일권

국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과  
\*중원대학교 신재생에너지지원학과

## Water Pollution Source Tracing Using FDC and Correlation Analysis in Geumho River Basin

Park, Kyung Ok·Lee, Chang Hee\*·Cha, Il Geun

Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research

\*Department of Renewable Energy Resources, Jungwon University

(Received : 27 June 2016, Revised: 26 July 2016, Accepted: 26 July 2016)

### 요약

수질오염총량관리제에서 유역 수질관리 전략을 수립하기 위해서는 수질 항목간 영향관계를 파악하는 것과 함께 유역 내의 환경기초시설 방류와 상류 및 지류 하천 부하가 유역 하류에 위치한 목표수질 설정지점의 수질에 미치는 영향을 규명하는 것이 필요하다. 이에 본 연구에서는 지류 및 본류 구간내의 환경부 수질측정자료와 환경기초시설 방류수 측정 자료를 이용하여 오염물질 간의 영향을 파악하고, 단위유역 말단의 수질에 미치는 오염원추적을 실시하였다. 대상 유역은 도시지역과 비도시지역 특성을 모두 가지며, 수질오염총량제에서 금호A, 금호B, 금호C 유역으로 구성된 금호강유역으로 설정하였다. FDC(Flow duration curve) 분석을 통해 유량을 5개의 유황 등급별로 군집화 및 상관성분석이 수행되었고, 이를 통해 목표수질 설정지점의 수질을 악화시키는 원인이 되는 지점과 수질항목을 보다 명확하게 규명할 수 있었다. FDC 분석과의 연계를 통해 오염물질 추적의 도구로 사용될 수 있으며, 이를 통해 수질오염총량관리 목표수질 설정 지점에 대한 유역 수질관리 전략을 보다 효율적으로 수립할 수 있을 것이다.

핵심용어 : FDC(Flow duration curve), 오염원추적, 군집화, 상관성분석, 수질오염총량관리제

### Abstract

In order to establish the watershed water quality management strategy of Total Maximum Daily Load(TMDL), it is necessary to understand the relationship between water quality component impacts, and to identify the impacts on downstream target point of watershed water quality management of waste treatment plant(WTP) discharge and upstream/tributary loads. In this study, we determined the impacts between the water quality contaminants, and traced water pollution sources using monitoring data of ministry of environment in tributaries and main stream and WTP monitoring data. Test area is set to Geumho river basin which has characteristics of urban and rural area and composes of GeumhoA, GeumhoB, GeumhoC watershed units in TMDL. The clustering with five grades of discharge data and the correlation analysis were performed through the FDC(Flow duration curve) analysis, which more clearly identified the points and water contaminants deteriorating target water quality of downstream point. This can be used as a tool for tracing pollutants with FDC analysis, and will help us establish the watershed water quality management strategy for TMDL target point in watershed more effectively.

Key words : FDC(Flow duration curve), Water Pollution Source Tracing, Clustering, Correlation Analysis, TMDL

## 1. 서론

수질오염총량관리제는 목표수질 한도 내에서 오염물질의 배출 총량을 관리 또는 규제하는 제도로서, 단위유역 말단 지점에 대상물질별 목표수질을 설정한 뒤, 이를 달성·유지

할 수 있도록 5년간의 부하량 관리계획을 수립한다.

오염총량관리대상 오염물질(이하 대상물질)의 종류는 BOD와 T-P이며, 기준유량의 적용과 관련하여 BOD는 저수량, T-P는 저수량 또는 평수량 중 수질악화 조건의 수량을 적용하고, 대상물질인 BOD와 T-P 수질목표를 달성하기 위해서 BOD와 T-P 항목별 점·비점오염원에 대한 관리계획을 수립한다. 그러나 BOD와 T-P에 대한 수질은 BOD 및 T-P 항목별 관리계획을 수립하더라도 대상물질

\* To whom correspondence should be addressed.  
Department of Renewable Energy Resources, Jungwon University.  
E-mail: chlee@jwu.ac.kr

이외의 수질항목에 대해서 영향을 받으므로, BOD와 T-P 만을 대상으로 하는 부하량 관리로 목표수질을 설정하기에는 한계가 있다. 또한, 단위유역 말단의 목표수질 달성을 위해서 지류 및 환경기초시설과 같은 점오염원에 대해서 유황별로 단위유역 말단지점에 미치는 영향관계 파악을 한다면 점오염원을 보다 적절히 운영할 수 있다.

이에 본 연구에서는 Flow Duration Curve(FDC)를 이용한 오염원추적 방법을 제시하고자 한다. 이와 관련된 선행 연구를 살펴보면, 첫째 오염물질의 상관관계를 분석한 연구, 둘째 유역 내 수질의 공간특성을 고찰한 연구로 구분할 수 있다. 우선, 오염물질의 상관관계를 분석한 연구로는 강 우기와 비강우기를 분리한 후 오염물질의 상관관계를 분석하는 방법이 그 주를 이루다(Kim et al., 2004; Yoon et al., 2007; Jeon et al., 2001). 이 연구들의 단점으로는, 오염물질 간 상관성 분석에 어느 정도 특성치를 도출할 수 있으나, 그 정도가 뚜렷하게 나타나지 못하며, 유량규모에 따른 영향관계 규명이 없어 평수기, 저수기와 같이 유황별로 수질 목표를 정하여 운용되고 있는 수질오염총량관리제도에 적용하기에는 한계가 있다. 두 번째 부류에 해당하는 유역 내 수질의 공간특성을 고찰한 연구로는 구간별 농도변화 및 원인 분석이 그 주를 이루나(Park, 1997; Lee et al., 2006; Han et al., 2009; Kim et al., 2010), 공간특성 분석시 각 지점에서의 영향으로 인해 단위유역 하류지점에 위치한 목표수질지점에 미치는 영향관계 파악이 미흡하여 수질오염총량관리제도에 적용하기에는 역시 한계가 있다.

본 연구에서는 금호강 유역의 수질유량관측 자료를 이용하여 측정 지점별 공간분석과 군집분석을 통해 공간특성을 분석하고, 유량의 특성을 5개의 유황별로 분류하여 각 수질항목별 상관분석을 실시하였다. 단위유역 말단에 영향을 주는 수질항목의 공간적 원인분석을 위하여 분류 및 지류의 수질-유량 측정결과와 환경기초시설의 방류수 수질과의 상관성 분석을 실시하였다. 지표수 관리를 위해서는 수질오염에 대한 원인 분석을 명확히 규명하는 것이 필요하며 이를 통해 효율적 대책 수립이 가능하게 된다. 본 연구를 통하여 원인을 보다 명확하게 규명하고 더 나아가 오염물질 추적의 한 도구로 사용될 수 있을 것이라 판단된다.

## 2. 대상지역 현황

본 연구의 대상유역은 금호강 유역으로 낙동강의 주요지류로서 포항시 북구 죽장면 가사리의 가사령에서 발원하여 영천시, 경산시, 대구광역시 달서구 및 달성군을 거쳐 Fig. 1과 같이 낙동강 본류에 유입되며, 수질오염총량제에서는 금호A, 금호B, 금호C 단위유역이 금호강 유역을 구성한다. Fig. 1과 Table 1과 같이 금호강 유역에서 유량과 수질자료에 대해서 모니터링 되는 환경부 측정 지점(이하 수질유량측정망)은 15개소이며, 하천수질에 지대한 영향을 주는 시설용량 500m<sup>3</sup>/일 이상의 하수 및 산업단지폐수 처리장(이하 환경기초시설)은 9개소가 위치하고 있다. 본 연구에서는 수질유량측정망에서 관측되는 유량, pH, DO, BOD, COD, SS, 총대장균군, 총질소, 총인에 대한 자료와 환경기초시설 방류 자료에 대해서 2005년부터 2014년까지의 10년간의 자료를 이용하여 분석하였다. 최근 10년간 시간에 따른 금호강 유역에서 가장 하류에 위치한 금호C 단위유역에 대한 수질 변화추세는 Fig. 2과 같으며, 지난 10년간 BOD는 3.67mg/L에서 3.34mg/L로 9%의 개선이 이루어졌고, T-P는 0.75mg/L에서 0.15mg/L로 약 80%의 개선이 이루어졌다.

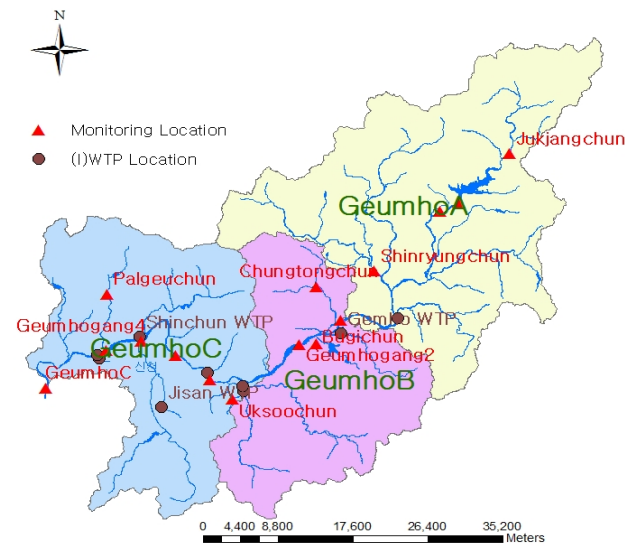


Fig. 1. Overview of Geumho River Basin.

Table 1. Monitoring Point and (I)WTP of Geumho River Basin

Watershed	Monitoring Point		(I)WTP over 500 m <sup>3</sup> /s	
	Number	Name	Number	Name
Geumho A	5	Jukjangchun, Jahochun, Gemhogang1, Shinryungchun, GeumhoA♣	1	Youngchun WTP
Geumho B	4	Chungtongchun, Bugichun, Geumhogang2, GeumhoB♣	3	Gemho WTP, Namchun IWTP, Gyungsan WTP
Geumho C	6	Uksoochun, Geumhogang3, Geumhogang4, Geumhogang5, Palgeuchun, GeumhoC♣	5	Ansim WTP, Shinchun WTP, Jisan WTP, Bukbu WTP, Dalseochun WTP

♣ : Point of Watershed Water Target Quality  
 WTP : Waste Treatment Plant, IWTP : Industrial Waster Treatment Plant

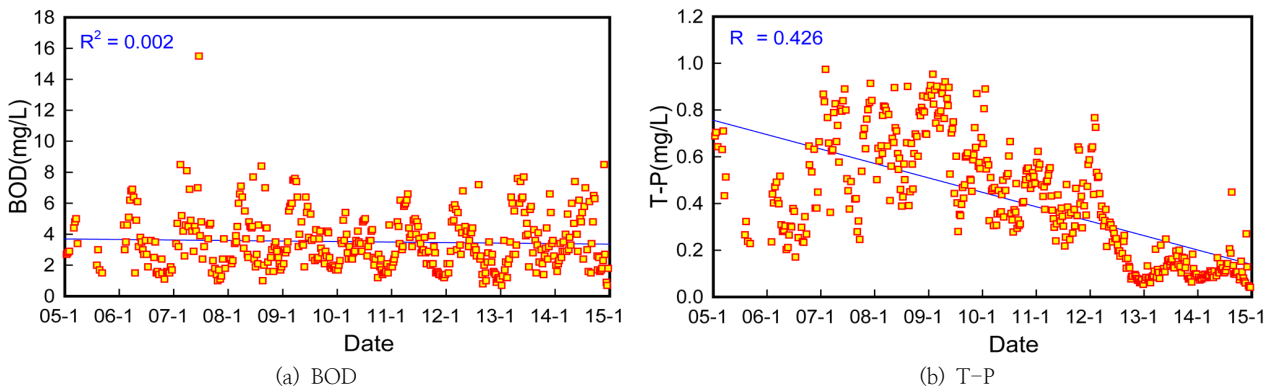


Fig. 2. Water Quality Trends for 10 years.

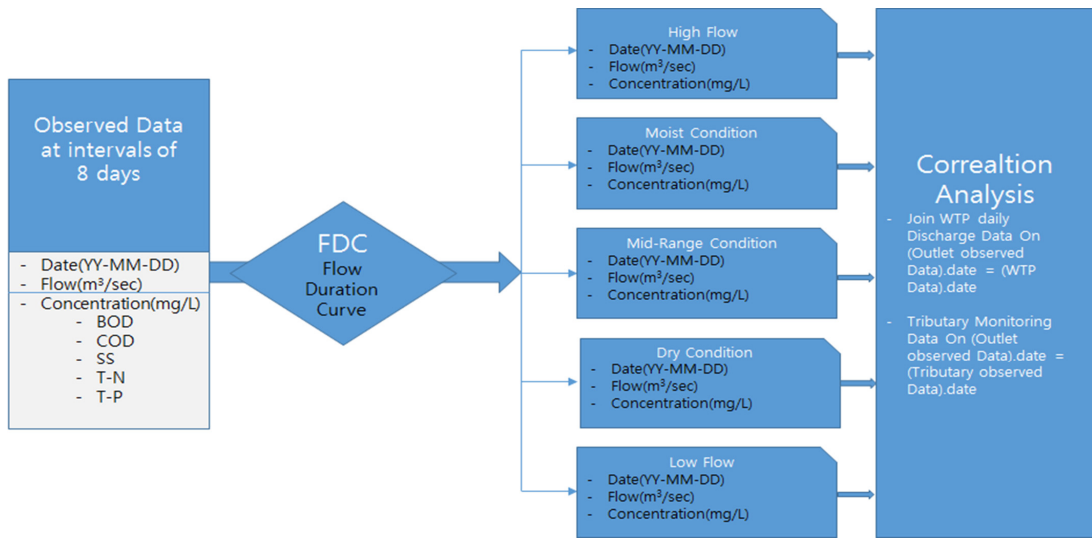


Fig 3. Flowchart of Water Pollution Source Tracing

### 3. 연구 방법

#### 3.1 흐름도

오염원 추적의 결과로 제공될 수 있는 자료는 단위유역 말단지점 수질에 영향을 주는 주요 오염원의 위치 및 시기를 제공하여야 한다. 이를 위하여 Fig. 3과 같이 수질유량 측정망 자료 및 환경기초시설 자료와 하천 말단지점의 8일 간격의 유량-수질 자료를 유량이 큰 순으로 정렬하여 순위를 정하여 FDC 분석결과를 연계하여 오염원 추적을 수행하였다. 즉, FDC 분석에 의해 유황을 구분하고 이를 바탕으로 수질유량측정망의 모니터링 자료를 이용하여 측정일자를 기준으로 각 유량 기준별로 상관성 분석을 수행하였다.

#### 3.2 FDC(Flow Duration Curve)

FDC는 특정 유량의 값보다 큰 값이 총 유량 값의 몇 %에 해당하는가를 나타내는 곡선으로 일정 기간 동안의 유량자료의 누적도수분포를 나타낸다. 즉 일정 기간 동안의 유량자료를 내림차순으로 정리하여 1순위일 경우 가로축은 1을 도수(N)으로 나눈 값이 되고 세로축은 그 때의 유량자료가 된다.

따라서 가로축의 왼쪽 부분은 비교적 높은 유량 상태를 나타내고 오른쪽으로 갈수록 낮은 유량 상태를 나타낸다. 이는 부하지속곡선과 함께 분석되어 유량시기별로 오염물질의 간접적인 추적을 하는데 주로 사용된다(Kim et al., 2015; Park and Oh, 2012). FDC를 작성하기 위해서 년간 365일간의 연속적인 유량측정자료가 필요하다. 그러나 수질유량측정망에서는 8일 간격으로 유량을 측정하고 있으므로 식 (1)과 같은 유량배열순을 백분율로 나타내어 유황을 구분하였다. 이 방법은 주기적 측정 자료를 이용하여 통계적 관계식에 의하여 일 단위 유량을 추정하는 방법으로서 유형의 지형적 특성이나 수리수문학적 조건 등이 유사한 지역에서 간편하게 적용할 수 있다. FDC 분석은 수문학적 유황 상태를 나타내는 것으로 여러 개의 구간으로 군집화 될 수 있는데, 미국 EPA의 유황구분기준에 맞추어(Yun et al., 2013; Park et al., 2013; Davis et al., 2001) high flows(0-10%), moist conditions(10-40%), mid-range flows (40-60%), dry conditions(60-90%), low flows(90-100%)와 같이 다섯 개의 구간으로 구분하였다. Fig. 4는 금호강 유역에서 FDC를 나타낸다.

$$\begin{aligned} \text{Percent of Days Flow Exceeded}(\%) \\ = \text{Rank} / \text{Number of data} \times 100 \end{aligned} \quad (1)$$

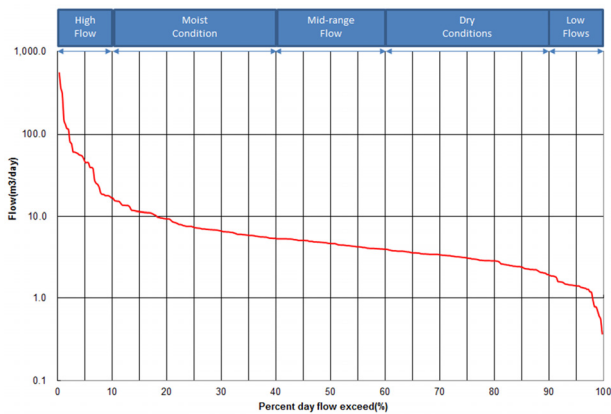


Fig. 4. Flow Duration Curve in Geumho River Watershed.

### 3.3 상관성 분석

단위유역별 목표수질 설정지점인 유역말단 수질에 영향을 미치는 유입 지점별 영향을 분석하기 위해 측정지점간의 상관계수를 이용하여 상관성 분석을 수행하였다. 여기서 상관계수(correlation)는 두 개의 확률변수 사이의 선형적 관계 정도를 나타내는 척도를 나타내고 방향성과 선형적 결합 정도에 대한 정보를 모두 포함하고 있다. 두 변수의 공분산을 각 변수의 표준편차로 모두 나누어 구하게 되는데 -1과 1사이에서 그 값이 결정되게 되며 공분산은 원래의 단위의 곱이 되기 때문에 경우에 따라서 이를 표준화할 필요가 있다. 표준화

한 결과가 상관계수가 되며 상관계수는 식 (2)와 같이 계산된다.

$$\rho_{XY} = \frac{Cov[X, Y]}{\sqrt{Var[X]} \times \sqrt{Var[Y]}} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (2)$$

여기서,  $\rho_{XY}(-1 \leq \rho_{XY} \leq 1)$ 는 상관계수,  $Cov[X, Y]$ 는  $X, Y$ 에 관한 표준편차를 나타낸다.

상관계수가 +1은 완전한 양의 상관성, -1은 완전한 음의 상관성, 0은 무상관성을 의미한다. 수치가 높으면 높을수록 상관성의 정도가 높아지는데, 양의 상관성의 경우에 0-0.2은 아주 낮은 관계, 0.2-0.4는 낮은 관계, 0.4-0.7은 비교적 높은 관계, 0.7-0.9는 높은 관계, 0.9-1.0은 아주 높은 관계를 의미한다 (Data Solution, 2013). 수질측점지점간의 유사성을 분석하기 위하여 각 개체 사이에 유사성이 높은 대상 집단을 분류하고, 그 군집에 속한 객체들의 유사성과 서로 다른 군집에 속한 객체들의 유사성과 서로 다른 군집에 속한 객체 간의 상이성을 규명하는 통계분석방법인 군집분석을 실시하였다(Kim et al., 2010)

## 4. 단위유역별 오염물질 간 상관관계 분석

### 4.1 FDC 분석을 적용하지 않은 경우

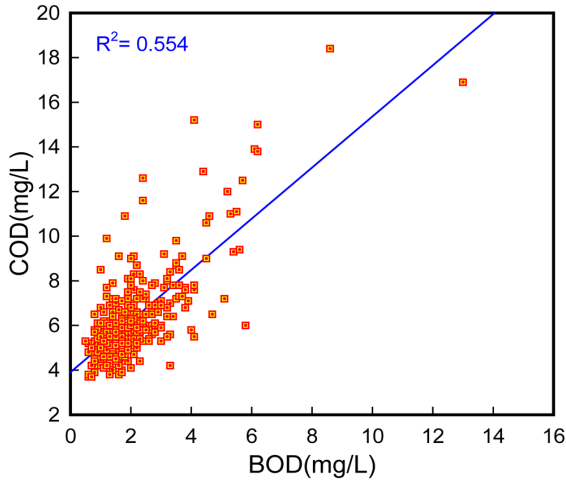
2005년부터 2014년까지 10년간 수질자료로 부터 단위유역별 말단지점인 목표수질 설정지점의 오염물질 간 상관성 분석한 결과는 Fig 5 및 Table 2와 같다. 금호A 단위유역의 경우 BOD-COD,

Table 2. Correlation Analysis Result without FDC Analysis for 10 years

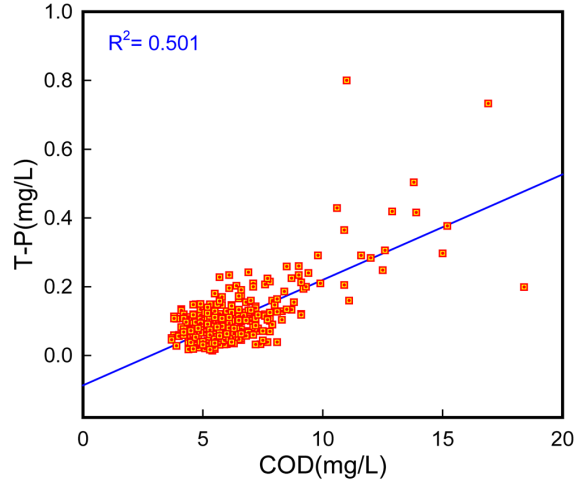
Watershed	water quality component	date	Q (m³/s)	pH (pH)	EC (µS/cm)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
Geumho A	date	1.0								
	Q(m³/sec)	0.0	1.0							
	pH(pH)	0.1	-0.2	1.0						
	EC(mg/L)	0.3	-0.1	0.0	1.0					
	SS(mg/L)	0.0	0.5	-0.1	0.0	1.0				
	COD(mg/L)	0.1	0.4	-0.1	0.3	0.5	1.0			
	BOD(mg/L)	-0.1	0.1	-0.1	0.3	0.2	0.7	1.0		
	T-N(mg/L)	0.2	0.1	-0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	1.0	
	T-P(mg/L)	-0.3	0.2	-0.2	0.3	0.3	0.7	0.6	0.2	1.0
Geumho B	date	1.0								
	Q(m³/sec)	0.1	1.0							
	pH(pH)	-0.3	-0.2	1.0						
	EC(mg/L)	0.6	-0.3	-0.1	1.0					
	SS(mg/L)	0.1	0.8	-0.2	-0.2	1.0				
	COD(mg/L)	0.3	0.5	-0.1	0.2	0.7	1.0			
	BOD(mg/L)	0.2	0.1	0.0	0.3	0.3	0.6	1.0		
	T-N(mg/L)	0.5	0.1	-0.4	0.4	0.2	0.1	0.3	1.0	
	T-P(mg/L)	0.1	0.3	-0.1	0.0	0.7	0.7	0.4	0.2	1.0
Geumho C	date	1.0								
	Q(m³/sec)	0.0	1.0							
	pH(pH)	0.1	-0.2	1.0						
	EC(mg/L)	0.0	-0.4	0.2	1.0					
	SS(mg/L)	0.0	0.8	-0.1	-0.3	1.0				
	COD(mg/L)	-0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	1.0			
	BOD(mg/L)	0.0	0.0	0.4	0.1	0.3	0.8	1.0		
	T-N(mg/L)	0.0	-0.3	-0.1	0.6	-0.3	0.1	0.0	1.0	
	T-P(mg/L)	-0.7	-0.1	0.0	0.5	0.0	0.3	0.2	0.3	1.0

TP-COD가 강한 상관성을 띠는 것으로 나타났고, 금호B 단위유역은 Q-SS, SS-COD, SS-TP, COD-TP가 강한 상관성을 나타냈다. 그리고 금호C 단위유역은 date-TP, Q-SS, COD-BOD가 강한 상관성을 띠는 것으로 나타났다. 금호B와 금호C 단위유역은

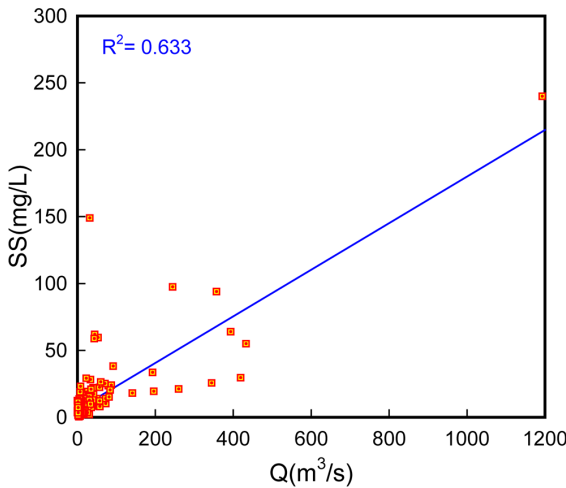
유량이 증가함에 따라 SS가 강한 양의 상관관계를 나타내고 있는데 이는 비점오염원의 영향으로 판단되며, T-P는 date와 관련하여 음의 상관관계를 나타내었는데 이는 하수도법 개정에 따른 방류수질기준 강화로 인한 것으로 판단된다.



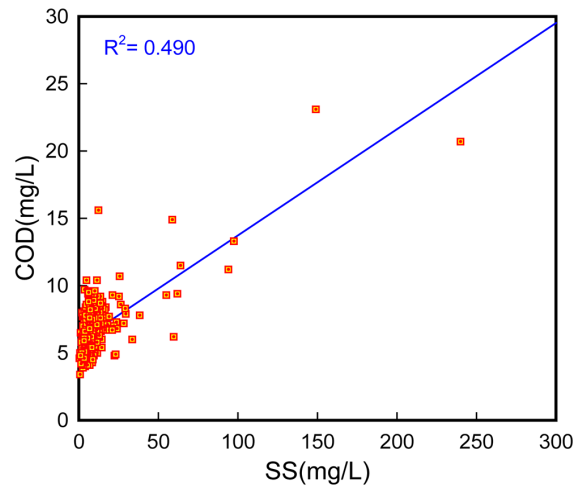
(a) COD vs. BOD (GeumhoA)



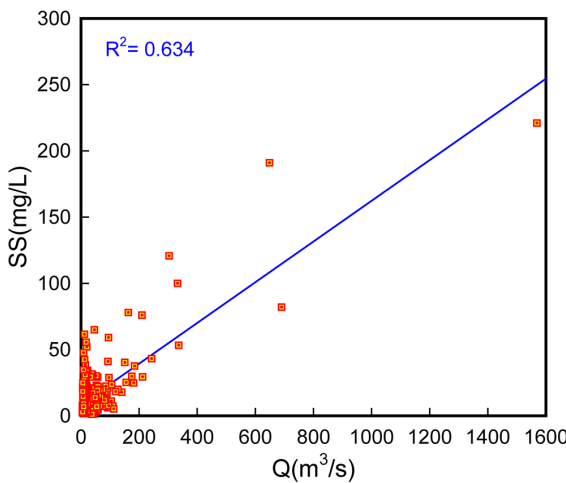
(b) T-P vs. COD (GeumhoA)



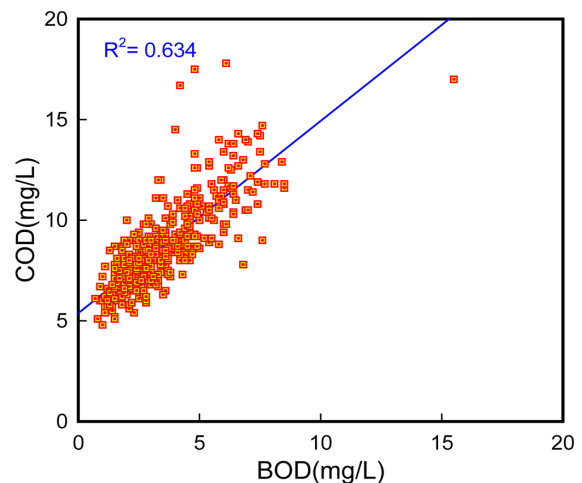
(c) SS vs. Q (GeumhoB)



(d) COD vs. SS (GeumhoB)



(e) SS vs. Q (GeumhoC)



(f) COD vs. BOD (GeumhoC)

Fig. 5. Example of Correlation Analysis Graph without FDC Analysis.

4.2 FDC 분석을 이용한 유량별 군집화를 수행한 경우

4.1장의 자료를 FDC 분석을 이용한 유량별로 군집화하여 상관성 분석을 하면 상관관계가 Fig. 6과 Table 4와 같이 더 뚜렷하게 구분되어 나타나며, 유량별 상관관계를 보다 명확히 파악할 수 있다. 유량별 상관관계 분석에 이용된

자료의 수는 Table 3과 같다.

Fig. 6과 Table 4와 같이 금호A 단위유역은 High-Flow 상태에서 유량별 군집화를 수행하지 않은 경우 나타나지 않은 Q-SS 간의 상관성이 확인되어 비점오염원의 영향을 군집화로 확인할 수 있었고, Dry-Condition과 Low Flow

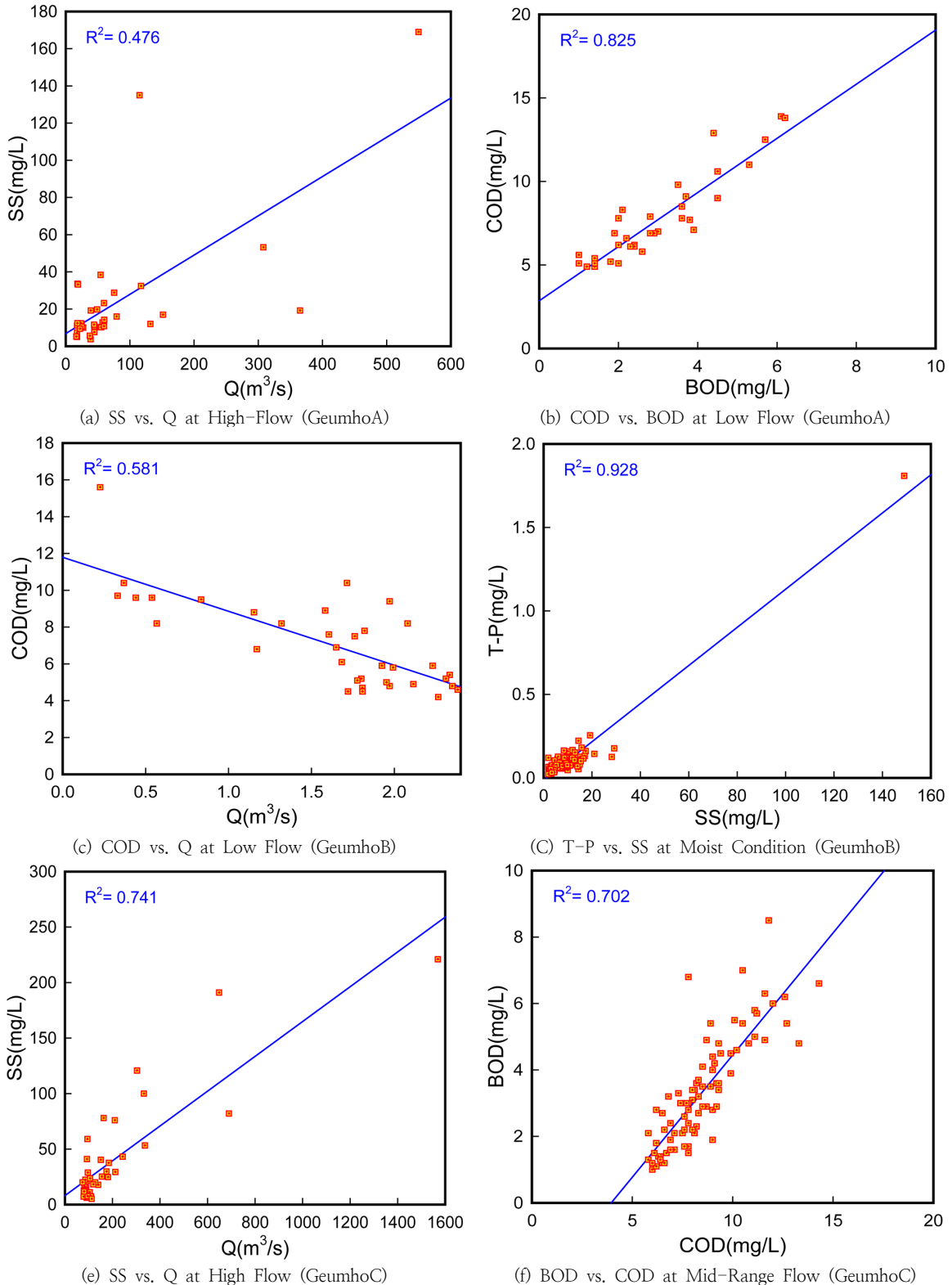


Fig. 6. Example of Cluster Correlation Analysis Graph with FDC Analysis .

**Table 3.** Data Number for Cluster Correlation Analysis

Range	GeumhoA	GeumhoB	GeumhoC
High Flow	31	35	41
Moist Conditions	102	106	125
Mid-rang Flows	68	71	83
Dry Conditions	95	107	125
Low Flows	36	35	41
All	332	354	415

상태에서는 BOD-COD간 강한 상관성 결과를 확인 할 수 있다. 금호B 단위유역은 Low Flow 상태에서 유량이 증가함에 따라 COD의 희석 효과를 확인할 수 있었고, High-Flow에서 유량이 증가함에 따라 비점오염원의 영향으로 SS, COD 농도가 증가하는 것으로 확인되었다. 금호C 단위유역 역시 High Flow일 경우 유량이 증가함에 따라 SS, COD가 하천 수질에 영향을 주는 것으로 분석되었다. 이는 비점오염원의 영향이라고 판단할 수 있다. T-P의 경우

**Table 4.** Cluster Correlation Analysis Result with FDC Analysis for 10 years

Watershed	Cluster Group	Variable 1	Variable 2	Correlation Coefficient
Geumho A	High- Flow	Q	SS	0.7
		SS	COD	0.8
		COD	T-N	0.8
		COD	T-P	0.8
	Moist Condition	SS	COD	0.7
		SS	BOD	0.7
		COD	BOD	0.8
		COD	T-P	0.8
		BOD	T-P	0.8
	Dry Conditon	BOD	COD	0.7
	Low Flow	COD	BOD	0.9
		COD	T-P	0.7
		BOD	T-P	0.8
	Geumho B	High- Flow	Q	SS
Q			COD	0.7
SS			COD	0.8
SS			T-P	0.7
COD			T-P	0.8
Moist Condition		SS	COD	0.9
		SS	T-P	1.0
		COD	BOD	0.7
		COD	T-P	0.8
Dry Conditon		EC	T-N	0.8
		SS	T-P	0.7
		COD	BOD	0.8
Low Flow		Q	COD	-0.8
		SS	COD	0.7
		SS	BOD	0.7
		SS	T-P	0.7
		COD	BOD	0.8
	COD	T-P	0.9	
	BOD	T-P	0.8	
Geumho C	High Flow	Q	SS	0.9
		Q	COD	0.7
		SS	COD	0.8
	Moist Condition	Date	T-P	-0.7
		EC	T-N	0.7
		COD	BOD	0.8
	Mid-Range Flow	Date	T-P	-0.7
		SS	COD	0.7
		SS	BOD	0.7
		COD	BOD	0.8
	Dry Conditon	COD	BOD	0.9
Low Flow	Date	T-P	-0.8	
	EC	T-P	0.7	
	COD	BOD	0.8	

High-Flow 상태에서는 수질 개선의 효과를 나타내지 않았지만, Low Flow, Mid-Range Flow, Moist Condition 조건일 경우 강한 음의 상관관계를 나타내는 것은 환경기초시설의 경우 유량이 작은 시기에는 방류수질에 따른 개선 효과가 높지만, 유량이 큰 시기에는 방류수질에 따른 개선 효과가 없는 것으로 유추할 수 있다.

### 5. FDC 분석을 이용한 오염원 추적

#### 5.1 환경기초시설에 대한 오염원 추적

단위유역 말단지점인 목표수질 설정지점에 영향을 미치는

환경기초시설에 대한 오염원 추적결과는 Table 5와 같다. 금호A 단위유역은 영천하수처리장에 대해서 단위유역 말단인 목표수질 설정지점까지의 상관관계를 분석하였는데, 근접하기 이전의 모든 자료를 활용한 결과 영천하수종말처리장의 BOD가 시간이 경과함에 따라 개선되고 있음을 나타내었고, High Flow에서 시간이 진행됨에 따라 SS, T-P가 개선되고 있는 것을 확인할 수 있다. 본 구간에서 주목할 수 있는 분석 결과는 금호A 단위유역 말단지점의 T-P 수질과 환경기초시설의 방류 T-P 수질이 0.7의 상관관계를 나타낸다는 점이다. 이를 통해 단위유역 말단지점에서의 T-P 수질이 개선되고 있는 가장 큰 이유가 영천하수종말처리장에서 방류수 수질

**Table 5.** Water Pollution Source Tracing for WTP with Correlation Analysis

Watershed	WTP Name	Cluster Group	Variable 1	Variable 2	Correlation Coefficient
Geumho A	Youngchun WTP	All Data	date	WTP BOD	-0.7
		High Flow	date	WTP SS	-0.7
			date	WTP BOD	-0.8
		Moist Condition	date	WTP T-P	-0.7
			date	WTP BOD	-0.7
		Mid-Range Flow	date	WTP BOD	-0.8
			date	WTP T-N	-0.7
date	WTP T-P		-0.7		
		Outlet T-P	WTP T-P	0.7	
		Dry Conditon	date	WTP BOD	-0.7
		Low Flow	date	WTP BOD	-0.7
Geumho B	Gemho WTP	All	date	WTP T-P	-0.7
		High Flow	date	WTP BOD	-0.8
			date	WTP T-P	-0.8
		Moist Condition	date	WTP BOD	-0.8
	date		WTP T-P	-0.7	
	Dry Condition	date	WTP T-P	-0.7	
	Namchun IWTP	All	date	WTP BOD	-0.8
			date	WTP T-P	-0.8
		High Flow	date	WTP BOD	-0.8
			date	WTP T-P	-0.8
		Moist Condition	date	WTP BOD	-0.8
			date	WTP T-P	-0.8
		Mid-Range Flow	date	WTP BOD	-0.8
			date	WTP T-P	-0.8
	Dry Condition	date	WTP BOD	-0.8	
		date	WTP T-P	-0.8	
Gyungsan WTP	Low Flow	date	WTP BOD	-0.9	
		date	WTP T-N	-0.8	
	All	date	WTP T-P	-0.9	
		date	WTP T-P	-0.8	
High Flow	date	WTP BOD	-0.8		
	date	WTP T-P	-0.8		
	Moist Conditon	date	WTP BOD	-0.8	
		date	WTP T-P	-0.8	
Dry Condition	date	WTP BOD	-0.8		
	date	WTP T-P	-0.8		



Watershed	WTP Name	Cluster Group	Variable 1	Variable 2	Correlation Coefficient	
Geumho C	Ansim WTP	High Flow	Outlet BOD	WTP BOD	0.6	
			date	WTP T-P	-0.7	
	Shinchun WTP	All	date	WTP T-P	-0.7	
			High Flow	date	WTP BOD	-0.7
			date	WTP T-P	-0.6	
			Moist Condition	date	WTP BOD	-0.6
			date	WTP T-P	-0.7	
			Mid-Range Flow	date	WTP T-P	-0.7
	Jisan WTP	High Flow	date	WTP BOD	0.6	
			date	WTP T-N	0.6	
			date	WTP T-P	-0.8	
			Moist Condition	date	WTP T-P	-0.7
	Bukbu WTP	All	date	WTP T-P	-0.8	
			High Flow	date	WTP BOD	-0.7
			Moist Condition	date	WTP T-P	-0.8
			Mid-Range Flow	date	WTP T-P	-0.8
			Dry Condition	date	WTP BOD	-0.7
			date	WTP T-P	-0.7	
			Low Flow	date	WTP T-P	-0.8
	Dalseochun WTP	All	date	WTP T-P	-0.8	
			High Flow	date	WTP BOD	-0.6
			date	WTP T-P	-0.7	
			Moist Condition	date	WTP T-P	-0.9
			Mid-Range Flow	date	WTP T-P	-0.8
Dry Condition			date	WTP T-P	-0.8	
Dalseochun WTP	Low Flow	date	WTP BOD	-0.7		
		date	WTP T-P	-0.8		

개선에 기인함을 확인할 수 있다.

금호B 단위유역의 경우 목표수질 설정지점과 직접적으로 상관이 있는 결과를 나타내는 환경기초시설은 없는 것으로 나타났다. 다만, 하수도법 개정에 따라 방류수질 기준이 강화됨에 따라 남천산업단지폐수종말처리장의 방류수질이 모든 구간에서 개선이 되고 있는 것이 확인되었고, 경산하수종말처리장의 경우 고유량 시기에는 방류수질이 개선되는 결과를 나타내고, 저유량 시기에는 뚜렷한 상관성을 나타내지 않았다.

금호C 단위유역의 경우 목표수질 설정지점과 직접적으로 상관이 있는 결과를 나타내는 환경기초시설은 High Flow 상태일 때 안심하수종말처리장과 지산하수종말처리장으로 BOD 항목이 0.6의 상관계수를 나타내었다. 신천하수종말처리장 및 북부하수종말처리장, 달서천 하수종말처리장은 모든 구간에서 BOD와 T-P가 시간이 진행됨에 따라 감소하는 경향이 나타났지만, 지산하수처리장의 경우 High Flow상태일 경우 T-N 항목이 증가하는 경향이 나타나고

있다. 이를 통해 저유량 시기에서는 방류수질이 관리되고 있지만 환경기초시설 자체 내에서도 고유량 시기일 때는 T-N이 관리되지 않고 방류됨을 확인할 수 있다.

### 5.2 상류 및 지류 유입 부하에 대한 오염원추적

금호A 단위유역에는 목표수질 설정지점 상류 및 지류에 죽장천, 자호천, 금호강1, 신령천 등 4개 관측소가 있는데, 죽장천, 금호강1의 경우 매월 1회 측정되는 자료로 하천 말단 자료와 동일한 날짜에 측정이 되는 횟수가 극히 일부이므로 유황별 구분하여 분석하지 않았고, 자호천, 신령천 지점의 경우 단위유역 목표수질 설정지점과 동일하거나 유사한 날짜에 대부분이 측정이 이루어지고 있어서 FDC 분석 결과를 바탕으로 유황별로 구분하여 분석하였다. 분석 결과 Table 6과 같이 신령천과 단위유역 목표수질설정지점과의 상관관계가 유황 전 구간에서 나타나는 경향을 보였다. 특히 High Flow 상태일 경우 단위유역 말단지점과 강한 상

관관계가 나타남을 확인할 수 있다.

금호B 단위유역의 경우 목표수질 설정지점 상류 및 지류에 청통천, 부기천, 금호강2 등 3개 관측소가 있지만 모니터링 자료의 수가 30회 미만으로 유황별로 구분하여 분석하기에는 데이터 수가 많지 않아 유황을 구분하지 않고 분석을 수행하였다. 분석결과 Table 7과 같이 금호강2 지점에서부터 단위유역 말단지점의 하천수질과 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 금호강2지점에 영향을 주는 지천은 부기천 보다는 청통천에 더 큰 상관성을 가지고 있는 것으로 해석될 수 있다.

금호C 단위유역의 경우 목표수질 설정지점 상류 및 지류에 옥수천, 금호강3, 금호강4, 금호강5, 팔거천1 지점 등 5개 관측소가 있지만 모니터링 자료의 수가 30회 미만으로

유황별로 구분하여 분석하기에는 데이터 수가 많지 않아 유황을 구분하지 않고 분석을 수행하였다. 분석결과 금호강 3지점까지 금호C 단위유역 말단지점과 큰 상관관계를 가지지 않는 것으로 나타났으나, 금호강4지점부터 상관성이 높아지는 것으로 확인되었다. 특이한 점 중 하나는 EC와 T-N과의 상관성이 나타나는 것으로 확인된다는 점이다. 팔거천의 경우 하천말단과 음의 상관관계가 나타나는 것으로 확인되므로 팔거천은 금호C 단위유역의 수질에 미치는 영향은 미미하다고 판단할 수 있다. 금호강4지점의 영향이 단위유역 말단지점의 수질에 크게 영향을 미치지 않기 때문에 금호강3과 금호강4 지점사이에 유입되는 불로천과 동화천에 대한 집중 관리가 필요한 것으로 판단된다.

**Table 6.** Water Pollution Source Tracing of Upstream and Tributary with Correlation Analysis for Geumho A Watershed

Monitoring Point Name	Cluster Group	Tributary Variable	Outlet Variable	Correlation Coefficient
Jukjangchun	All	SS	SS	0.8
		SS	T-N	0.8
		T-N	SS	0.9
		T-N	T-N	0.7
		T-P	SS	0.8
Jahochun	Mid-Range Flow	COD	T-P	-0.7
	Dry Condition	TOC	T-P	-0.7
		TOC	T-P	-0.7
Gemhogang1	All	-	-	-
Shinryungchun	All	EC	EC	0.8
		COD	COD	0.7
		T-N	T-N	0.7
		T-P	SS	0.7
		T-P	T-P	0.8
	High Flow	EC	EC	0.8
		BOD	BOD	0.8
		COD	BOD	0.7
		COD	COD	0.7
		COD	SS	0.8
		SS	BOD	0.7
		SS	SS	0.7
		T-P	COD	0.7
		T-P	SS	0.8
	T-P	T-P	0.8	
	Moist Condition	BOD	COD	0.7
		COD	COD	0.7
		COD	SS	0.7
		COD	T-P	0.7
		SS	SS	0.7
		T-P	T-P	0.8
	Mid-Range Flow	COD	COD	0.7
	Dry Conditon	EC	EC	0.8
		COD	T-N	-0.7
		T-N	T-N	0.8

**Table 7.** Water Pollution Source Tracing of Upstream and Tributary with Correlation Analysis for Geumho B Watershed

Monitoring Point Name	Cluster Group	Tributary Variable	Outlet Variable	Correlation Coefficient
Chungtongchun	All	EC	Q	-0.7
		EC	EC	0.8
		T-P	Q	0.9
		T-P	EC	-0.7
		T-P	SS	0.7
Bugichun	All	SS	SS	0.7
		SS	COD	0.7
Geumhogang2	All	COD	SS	0.7
		COD	COD	0.7
		COD	T-P	0.8
		SS	SS	0.7
		SS	COD	0.9
		SS	BOD	0.7
		SS	T-P	0.7
		T-N	T-N	0.8
		EC	Q	-0.7
EC	EC	0.9		

**Table 8.** Water Pollution Source Tracing of Upstream and Tributary with Correlation Analysis for Geumho C Watershed

Monitoring Point Name	Cluster Group	Tributary Variable	Outlet Variable	Correlation Coefficient
Uksoochun	All	TOC	T-P	-0.7
Geumhogang3	All	BOD	COD	0.7
		SS	SS	0.7
		T-N	T-N	0.7
		T-P	T-P	0.7
		EC	EC	0.8
Geumhogang4	All	BOD	COD	0.7
		BOD	BOD	0.7
		COD	COD	0.8
		COD	BOD	0.7
		SS	SS	0.8
		T-N	T-N	0.7
		T-P	T-P	0.7
		EC	EC	0.8
EC	T-N	0.7		
Geumhogang5	All	BOD	COD	0.7
		BOD	BOD	0.7
		COD	COD	0.7
		COD	BOD	0.7
		SS	SS	0.7
		T-N	T-N	0.8
		T-P	T-P	0.8
		EC	EC	0.8
		EC	T-N	0.8
Palgeuchun	All	COD	EC	0.7
		COD	SS	0.8
		COD	COD	0.8
		SS	T-P	-0.9
		T-N	EC	0.7
		T-N	T-P	-0.8
		T-P	EC	0.7
		T-P	BOD	0.7

## 6. 결 론

FDC(Flow Duration Curve) 분석 및 상관관계 분석을 통한 금호강 유역에 대한 오염원추적 결과 금호A 단위유역의 경우 유역 말단의 목표수질 설정지점의 수질을 관리하기 위해서는 신령천 지류에 대한 관리가 필요하고 특히 비점오염원 관리가 필요한 것으로 나타났다. 또한 영천하수종말처리장의 T-P 방류수질이 Mid-Range Flow 상태일 때 하천수질에 강하게 영향을 주고 있는 것으로 나타났다. 금호B 단위유역의 경우는 금호강2지점에서부터 큰 영향을 받고 있으므로 금호강2 지점 상류 관리가 필요한 것으로 나타났다지만, 환경기초시설 방류수질과의 상관성은 약하게 가지는 것으로 나타났다. 마지막으로 금호C 단위유역의 경우 유역 말단지점의 수질을 관리하기 위해서는 금호강3과 4 지점 사이에 유입되는 오염원 관리가 중요하고, 고유량 시기의 안심하수종말처리장과 지산하수종말처리장의 관리가 시급한 것으로 나타났다. 금호강 유역 내에 있는 환경기초시설은 지난 10년간 BOD와 T-P에 대한 수질오염총량제 시행 및 하수도법 개정에 따른 방류수질이 개선으로 인하여 하천수질 개선에 미치는 영향 또한 큰 것으로 확인되었지만 T-N관리 또한 필요한 것으로 나타났다. 본 연구에서는 일별 자료가 있는 수질측정망 자료와 환경기초시설의 방류수질만 연계하여 상관성 분석을 실시하였지만 일별 자료가 추가로 확보될 경우 오염원 추적이 보다 정확하게 실시 될 수 있을 것이라 판단된다.

## References

- Davis, SE III, and Reeder, BC (2001). Spatial characterization of water quality in seven eastern Kentucky reservoirs using multivariate analysis. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 4(4), pp. 463-477.
- Data Solution (2013). *SPSS Statistics*. [Korean Literature]
- Han, M, Lee, E, Oh, J, Kim, W, Lee, C, Eun, N, and Chung, W (2009). Spatio-temporal water quality characteristics of major streams in Pal-dang watershed. *J. of Korean Society on Water Quality*, 25(3), pp. 394-403. [Korean Literature]
- Jeon, JH, Yoon, CG, Ham JH (2001). Analysis of relationship among the pollutant concentrations in non-urban area. *Korea J. Limnol.* 34(3), pp. 215-222. [Korean Literature]
- Kim, EY, Ryu, JC, Kim, HT, Kim, YS, and Shin, DS (2015). Application of the Load Duration Curve (LDC) to Evaluate the Achievement Rate of Target Water Quality in the Han-River Watersheds. *J. of Korean Society on Water Environment*, 31(6), pp. 732-738. [Korean Literature]
- Kim, HC, Lee, SB, Jung, KW, and Han, JY (2004). Analysis of correlation among the pollutant concentrations in stream to the estuary reservoir. *Proceedings of the 2004 Co-Conference of Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, pp. 62-71. [Korean Literature]
- Kim, SM, Kim, SM, and Park, TY (2010). Spatial Analysis of BOD Data in Namgang-Dam Watershed for TMDLs. *J. of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 52(3), pp. 81-88. [Korean Literature]
- Lee, HS, Hur, H, Jeong, SA, Hwang, SJ, and Shin, JK (2006). Spatial characterization of water pollution in the urban stream watershed(Gap stream). Korea. *J. of Korean Society on Water Quality*, 22(5), pp. 943-951. [Korean Literature]
- Park, JD, and Oh, SY (2012). Methodology for the Identification of Impaired Waters Using LDC for the Management of Total Maximum Daily Loads. *J. of Korean Society on Water Environment*, 28(5) pp. 693-703. [Korean Literature]
- Park, JH, Kim, KS, Jung, JW, Hwang, KS, Moon, MJ, Ham, SJ and Lim, BJ (2013). Water Quality Characteristics Evaluation by Flow Conditions Using Load Duration Curve. *J. of Environmental Impact Assessment*, 22(4), pp. 319~327. [Korean Literature]
- Park, JK (1997). Spatial and temporal characteristics of water quality in the Wangsook river and water environmental management. *J. of the Korean Geographical Society*, 32(4), pp. 445-462. [Korean Literature]
- Yoon, CG, Lee, SB, Jung, KW, Han, JY(2007). Analysis of relationship between water quality parameters in agricultural irrigation reservoirs and land uses of associated watersheds. *Korea J. Ecology and Environment*, 40(1), pp. 31-39. [Korean Literature]
- Yun, SY, Ryu, JN, and Oh, JI (2013). Water Quality Management Measures for TMDLS Unit Watershed Using Load Duration Curve. *J. of Korean Society of Water and Wastewater*, 27(4), pp. 429-438. [Korean Literature]