

Research Paper

## 금호강 수질특성 및 유량확보에 따른 수질개선 효과 분석

곽인수 · 최보람 · 전해린 · 김선애 · 배재형 · 김신 · 김정민

국립환경과학원 낙동강물환경연구소

### Analysis of Water Quality Improvement Effect by Securing Water Quality Characteristics and Flow Rate in the Geumho River

Insoo Kwak · Boram Choi · Hyeryn Jeon · Sunae Kim ·  
Jaehyeong Bae · Shin Kim · Jungmin Kim

Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

**요약:** 하천의 관리를 위하여 수질오염총량 및 물환경기본계획을 수립하여 목표수질을 설정하고 있으며 금호강의 경우 T-P는 목표수질을 달성하고 있으나 BOD, COD, TOC의 경우 지난 5년간 물환경기본계획 목표수질을 초과하였다. 이에 금호강을 대상으로 BOD, COD, TOC를 이용하여 유달부하량 및 유달부하 밀도, 오염기여율을 분석하고 수질오염총량관리에서 사용하고 있는 1차원 수질모델인 QUAL-MEV를 활용하여 목표수질 만족을 위한 필요유량을 모의하였다. 유달부하량을 분석한 결과 금호C 지점에서 BOD, COD, TOC 모두 9,832.2 kg/day, 20,656.6 kg/day, 15,545.1 kg/day로 가장 높게 나타났으며, 유달부하 밀도는 강우기 및 비강우기에 달서천에서 9.47 kg/day/km<sup>2</sup>, 37.55 kg/day/km<sup>2</sup>, 30.20 kg/day/km<sup>2</sup> 과 17.19 kg/day/km<sup>2</sup>, 47.59 kg/day/km<sup>2</sup>, 39.14 kg/day/km<sup>2</sup>로 가장 높게 나타났다. 오염기여율은 강우기에 팔거천이 약 25%, 비강우기에 달서천이 모든 항목에서 약 50%로 가장 높게 나타났다. 또한 금호강 분류 및 지류 유기물질간의 상관관계 분석을 수행한 결과 비강우기, 강우기 모두 COD-TOC가 0.8 이상으로 BOD-COD, BOD-TOC보다 상관관계가 높게 나타났다. 그리고 금호C 지점에서 수질오염총량 및 물환경기본계획 목표수질을 만족하기 위한 유량을 조사한 결과 2019년 4월(3.46 m<sup>3</sup>/sec)을 기준으로 약 14배, 22배의 추가유량이 필요한 것으로 분석되었다.

**주요어:** 금호강, 부하량, 부하밀도, 유량, 수질개선

**Abstract:** For the management of rivers, the target water quality is set by establishing the total amount of water pollution and water environment basic plan. For Geumho river T-P has achieved

First Author: Insoo Kwak, Tel: +82-53-602-2772, E-mail: gogogo386@korea.kr, ORCID: 0000-0001-7620-055X

Corresponding Author: Jungmin Kim, Tel: +82-53-602-2717, E-mail: kjm6214@korea.kr, ORCID: 0000-0001-7525-3086

Co-Authors: Boram Choi, Tel: +82-53-602-2770, E-mail: cbr135@korea.kr, ORCID: 0000-0003-2170-8713

Hyeryn Jeon, Tel: +82-53-602-2759, E-mail: biuebird0819@korea.kr, ORCID: 0000-0003-3471-3829

Sunae Kim, Tel: +82-53-602-2767, E-mail: iisunii@korea.kr, ORCID: 0000-0003-1650-7618

Jaehyeong Bae, Tel: +82-53-602-2769, E-mail: cbjtkfkd00@korea.kr, ORCID: 0000-0001-9212-8826

Shin Kim, Tel: +82-53-602-2754, E-mail: sinima@korea.kr, ORCID: 0000-0001-7014-4059

Received: 16 September, 2020. Revised: 8 October, 2020. Accepted: 4 November, 2020.

the target water quality, but for BOD, COD, TOC the target water quality of the water environment basic plan has been exceeded for the past five years. Therefore, the flow rate for satisfying the target water quality was simulated by analyzing the load, load density, and pollution contribution rate of the Geumho river using BOD, COD, TOC and by utilizing QUAL-MEV a one-dimensional water quality model. According to the analysis of the load, the BOD, COD and TOC all showed the highest levels at the Geumho C point at 9,832.2 kg/day, 20,656.6 kg/day, and 15,545.1 kg/day. The load density was highest at 9.47 kg/day/km<sup>2</sup>, 37.55 kg/day/km<sup>2</sup>, 30.20 kg/day/km<sup>2</sup>, and 17.19 kg/day/km<sup>2</sup>, 39.14 kg/day/km<sup>2</sup> in Dalseocheon stream during the wet seasons and dry seasons. Pollution contribution rate was highest at about 25 percent for Palgeocheon stream during the wet season and about 50 percent for Dalseocheon stream during the dry season. In addition, the correlation analysis between organic materials showed in the main stream and tributary of the Geumho river that COD-TOC was 0.8 or higher than BOD-COD and BOD-TOC in both the wet seasons and dry seasons. And after surveying the total amount of water pollution and the target quality of the water environment basic plan at Geumho C, it was analyzed that an additional flow rate of 14 times and 22 times was needed as of April 2019 (3.46 m<sup>3</sup>/sec).

**Keywords :** Geumho river, Load, Load density, Flow rate, Water quality improvement

## I. 서론

정부에서는 안정적인 수질관리를 위하여 수계를 단위유역으로 구분하고 목표수질을 설정하여 관리하는 수질오염총량관리제도를 도입하고 시행하였다 (Park & Oh 2012). 또한 4대강 수질개선 대책의 일환으로 환경기초시설 총인처리시설 설치로 인해 하천 내 T-P의 농도는 점점 감소하였으며, 금호강의 경우 중권역 대표지점인 금호강6 지점에서 T-P는 5년간 (2015년 ~ 2019년) 환경부에서 고시하고 있는 중권역별 물환경 목표기준을 달성하는 것으로 나타났다. 그에 반해 BOD, COD, TOC 항목은 목표기준을 초과하는 것으로 관측되었고 특히 봄과 여름철인 3월 ~ 7월에 그 농도가 높게 관측되었다(MOE 2020).

하천의 분류 및 지류의 수질 오염 원인을 파악하기 위하여 지류의 오염 정도에 따른 등급화와 오염 기여율에 관한 연구들과 수질 모델을 사용하여 하천유량 증가에 따른 수질개선 효과를 모의한 연구들이 수행되었다(Cho et al. 2012; Cho 2016; Jung et al. 2013; Kim et al. 2008; Kim & Cha 2011; Lee et al. 2018; Park et al. 2003). 특히, 금호강을 대상으로 지류의 수질이 본류에 미치는 영향을 분석하기 위

하여 오염도와 본류에 미치는 영향에 관한 연구들도 실시되었다(Jung et al. 2016; Yang & Bae 2012). 그러나 대부분 연구들은 수질 농도에 따른 오염현황 등에 치중되어 있어 유량과 수질을 고려한 유역 특성에 따른 수질개선을 위한 연구가 추가적으로 필요한 실정이다. 또한, 유역관리를 위한 수질정책의 수립 및 시행을 위해서는 하천유량 및 수질 모니터링을 통하여 해당 유역의 오염부하 발생 특성을 정확히 파악하고 오염하천 유역을 선정하여 수질을 개선하는 것이 중요하다.

특히, 금호강은 낙동강 본류에 합류되는 지류 중 비교적 규모가 큰 지류로서 주변에 위치하는 도심 및 산업단지에서 유출되는 하·폐수와 환경기초시설인 하수처리장 등의 방류수 내에 분포하는 유기물이 낙동강 본류로 유입되어 중·하류 구간까지 영향을 미치고 있는 것으로 알려져 있다(Lee et al. 2017; Kim & Kim 2017; Na et al. 2016). 그리고 하천유지유량 부족으로 인하여 금호강에 합류되는 지류의 오염부하 기여율이 증가하기 때문에 수질뿐만 아니라 유량에 관한 연구가 함께 실시되어야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 금호강을 대상으로 유기물을 지시하는 항목인 BOD, COD, TOC를 분석하여 유기오염 특성 및 오염

기여율을 제시하였으며, 1차원 수질모형(QUAL-MEV)을 활용하여 유량확보 시나리오에 따라 분석하였다. 또한, 본 연구에서 제시하는 결과들은 금호강과 같은 도심 하천의 수질개선에 관한 연구의 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상유역

금호강은 포항시 죽장면 북부에서 발원하여 영천시 자양면 성곡리에서 영천댐으로 유입 후 영천시를 지나 경산시와 우리나라의 3대 도시 가운데 하나인 대구광역시를 관류하는 하천이다(Choi 2004). 금호강의 주요 지천으로는 상류의 자호천, 고촌천, 중류의 신령천, 북안천, 남천, 울하천, 볼로천 및 하류의 신천, 팔거천, 달서천, 이언천 등 20여개의 하천이 위치하고 있다(Hwang & Jung 2002). 금호강 유역은 대구광역시와 경상북도 경산시, 영천시, 포항시, 칠곡군 등으로 이루어져 있으며, 상류는 비교적 청정한 지역이고, 중류부터 남천의 합류로 금호강의 수질은 나빠지며, 신천, 달서천 등이 금호강의 수질에 큰 영

향을 주고 있다(Yang & Bae 2012).

금호강 유역의 연평균 강우량은 1,030.6 mm로 전국 평균인 1,159.0 mm보다 약 128.4 mm 적은 편이며, 특히 이 중 65.8 %인 677.9 mm가 하절기인 6월 ~ 9월 사이에 집중되어 홍수기와 갈수기의 유량 차이가 심하여 홍수기에는 집중호우로 인한 수해발생으로 이어지고, 갈수기인 12월 ~ 4월에는 금호강의 하천유지수 부족으로 수질이 나빠지는 현상을 보이고 있다(Choi 2003; Choi 2004).

본 연구의 조사지점은 Figure 1에 나타내었으며, 금호강 본류로 유입되는 지류 5개 지점(북안천, 오목천, 남천, 팔거천, 달서천)과 환경부에서 운영 중인 수질측정망(금호A, B, C) 3개 지점에 대하여 연구를 진행하였다.

### 2. 수질 및 유량조사

수질과 유량자료는 2015년부터 2019년까지 5년간 월 1회 이상 금호강 본류로 유입되는 5개 지류에 대해 실측한 자료를 사용하였으며, 금호강 본류(금호A, B, C) 지점은 물환경정보시스템에서 제공하는 자료를 참고하여 사용하였다.

수질항목은 BOD, COD, TOC의 경우 채취된 시료를 4 ℃ 이하로 유지하여 운반하고 시료의 보존과 분석방법은 수질오염공정시험기준에 따라 실험하였다(Table 1). 하천에서의 유량조사는 하천유량측정지점에 있는 유량측정방법에 따라 수직축유속계(Price AA, LV, Pigmy AA)를 이용하여 유속-면적법(중간단면적법)에 따라 산정하였다.

### 3. 오염부하 특성 및 기여율 분석

하천(지류)으로 배출된 오염물질은 수계의 자연적인 물리, 화학, 생물학적 자정과정에 의해 분해되고 이러한 작용을 거치면서 하천의 특정지점에 실제 도

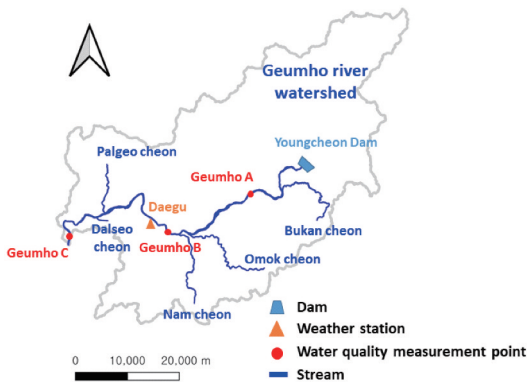


Figure 1. Map showing sampling site in the Geumho river.

Table 1. Water quality item, units, and analysis methods

item	units	methods
Water Quality	BOD	mg/L Winkler-Eiside Sodium Method / Electrode Method
	COD	mg/L Analysis Method by KMnO <sub>4</sub>
	TOC	mg/L High Temperature Combust Method

달하는 오염물질의 양을 유달부하량이라 한다. 효율적인 수질관리를 위해서는 해당구역의 오염원으로부터 하천으로 유입되는 배출부하량과 배수구역 말단까지 도달한 유달부하량에 대한 거동 규명의 정량화가 필요하며, 이를 위해서는 특정지점에서 수질과 유량을 동시에 실측해야 가장 정확한 자료를 얻을 수 있다(Jung et al. 2016). 이에 근거하여 금호강 본류로 유입되는 지류 5개 지점에 대하여 배수구역 말단에서 유량과 수질을 동시에 관측한 결과값으로 실측 유달부하량(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 지류별 유달부하량을 산정하였다. 구역에는 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 자연배경 발생오염원이 잠재되어 있다(Yi & Kim 2014). 따라서 실제 유달부하량과는 다르게 해당구역의 환경특성이 고려되지 않은 잠재된 오염 및 유역면적에 따른 오염부하 정도를 확인하고자 실측 조사한 유달부하량에 해당 지류의 유역면적을 나누어 유달부하밀도(유달부하량/유역면적)를 산정하였다. Jung et al. (2013)은 수질부하밀도가 하천 수질에 직접적인 영향을 주는 인자로 수질오염의 잠재력을 나타내며 해당 유역면적당 오염부하가 크면 수질오염도 또한 증가한다고 보고하였다. 또한, Yoon et al. (2006)은 낙동강 소수계별 유달부하량을 해당구역의 면적으로 나눈 단위면적당 유달부하량인 비유달부하량을 산정하여 우선 관리하여야 할 유역을 선정하는데 있어 유용한 기법으로 이 방법을 소개하였다.

### 3. 유기물질(BOD, COD, TOC) 상관관계 분석

본 연구에서 유기물의 특성을 분석하기 위하여 유기물질간의 상관관계 및 회귀분석을 수행하였다. 상관분석은 연구하고자 하는 변수들 간의 관련성을 분

석하기 위하여 사용하는 통계방법으로 보편적으로 Pearson 상관계수(Pearson's Correlation Coefficient, r)가 가장 많이 사용되고 있다(Jung et al. 2012). 두 변수간의 선형적인 상관관계를 파악해보는 것으로 한 변수가 다른 변수와의 상관성이 있는지 여부와 상관성이 있다면 어느 정도의 상관성이 있는지를 알고자 할 때 유용한 분석방법이다(Cho 2011). 상관계수는 -1부터 +1 사이의 값을 가지며, 본 연구에서는 Pearson 상관계수를 이용하여 유기물 항목간의 상관분석을 실시하였다.

회귀분석이란 변수들 중 한 개를 종속변수로 나머지들을 독립변수로 하여 이들 변수들이 서로 상관관계를 가질 때 이러한 관계를 규명하고자 하는 방법으로 가장 많이 이용되는 통계기법이다(Cho 2011). 회귀분석에는 종속변수와 독립변수의 관계가 선형의 관계를 가지며 회귀분석의 기본 1차식은 다음과 같이 표현된다(Jung et al. 2015).

$$Y = a_1X_1 + b_1 \quad (2)$$

$$Y = a_2X_2 + b_2 \quad (3)$$

여기서, 종속변수 Y는 TOC와 COD 농도이며  $a_1$ ,  $a_2$ 는 회귀계수,  $b_1$ ,  $b_2$ 는 각각의 상수항으로 독립변수  $X_1$ 과  $X_2$ 는 BOD 농도이다. 회귀식의 적합성을 나타내는 결정계수  $R^2$  값이 1에 가까울수록 잔차가 없는 회귀식으로 설명되고, 반대로 0에 가까울수록 회귀식이 변동을 설명하지 못함을 뜻한다(Jung et al. 2015).

### 4 QUAL-MEV 모형 구축 및 시나리오 구성

본 연구에서 유량확보 시나리오에 따른 수질개선 효과를 모의하기 위하여 수질오염총량관리 계획을 위해 사용되는 QUAL-MEV 모형을 사용하였다. QUAL-MEV 모형은 미국 EPA에서 개발한 QUAL2E를 기반으로 수질오염총량제에 최적화하여 개발한 하천 수질 모형이다. 하천의 흐름선을 축으로 수심과 수평방향으로 완전혼합을 가정하고 있으며 수지형 하천(Dendritic streams)의 수질변화 모의에 적합하게 개발된 모형이다. Seo et al. (2008)은 QUAL2E 모형은 대상수체의 흐름이 연속적이어야 한다는 것을 전제로 하고 있으나 우리나라의 경우 하천 내에 존재하

는 보에 의하여 흐름이 단절되는 경우가 자주 발생하여 이러한 불연속적인 흐름을 고려할 수 있는 수질모델이 필요하다고 언급한 바 있다. QUAL-MEV 모형은 변화된 4대강의 하천환경을 반영하여 보에 의한 수리변화 계산 방법과 정체수역의 확산 모의 방법이 개선되었다. 또한 수심에 따른 침전 및 재부유 과정의 계산이 개선되었으며 조류의 호흡 및 사멸에 따른 탄소, 질소, 인 증가 기작이 반영되었다. 그 외에도 입출력과 관련된 사항들이 변경되었다.

모의를 위해 금호강 본류를 대상으로 영천댐부터 낙동강 합류부까지 총 88 km, 24개의 소유역, 88개의 요소로 구성하였다. QUAL-MEV 수질모형의 수질모의를 위한 분류 및 지류의 수질 입력자료는 본 연구자에 의해 측정된 실측자료를 사용하였다. 상류경계조건으로 수자원공사에서 관리공단에서 제공하는 영천댐 방류량을 사용하였다. 연구대상지역의 하·폐수처리장의 방류량은 대구시설관리공단에서 제공된 자료를, 취수장 및 양수장의 취수량은 허가된 시설용량을 입력자료로 사용하였다. 유역으로의 회귀유량은 3단계 수질오염총량 기본계획(MOE 2015) 수립시 사용하였던 유량을 사용하였다. 수리계산을 위한 유량계수(a, b)와 수심계수( $\alpha$ ,  $\beta$ )는 HEC-RAS 프로그램(USACE 2002)을 사용하여 계산하였으며 수리계수 산정을 위한 단면자료와 조도계수는 금호강하천기

본계획(2015)의 자료를 사용하였다.

또한 영천댐 방류량 증가를 통한 수질개선 시나리오를 구성하여 QUAL-MEV 모형에 적용하여 그 효과를 분석하였다. 영천댐 방류량 증가 시나리오는 금호C 지점의 BOD가 수질오염총량관리 및 물환경기본계획 목표수질을 만족하는 필요유량에 도달하기까지 유량을 증가시켜 모의하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 유역특성 분석

대구와 영천 기상관측소에서 측정된 강수량 자료를 이용하여 2015년부터 2019년도까지 금호강 유역의 5년간 월평균 강수량과 금호C 지점에서의 BOD, COD, TOC 농도를 Figure 2에 제시하였다. 또한 수질오염총량 및 물환경기본계획 BOD 목표수질을 같이 표시하였다. 분석 결과 7월 ~ 9월에 강수 발생 형태가 집중되어 있는 것으로 조사되었으며, 수질항목이 목표수질 II등급(3.0 mg/L)을 초과하는 시기는 주로 3월 ~ 8월에 높게 나타나는 것으로 분석되었으며, 이에 따라 목표수질을 초과하는 3월 ~ 8월을 대상으로 3월 ~ 5월까지 비강우기, 6월 ~ 8월 강우기로 구분하여 수질오염특성 및 유달부하량, 유달부하밀도, 오염부하 기여율을 산정하였다.

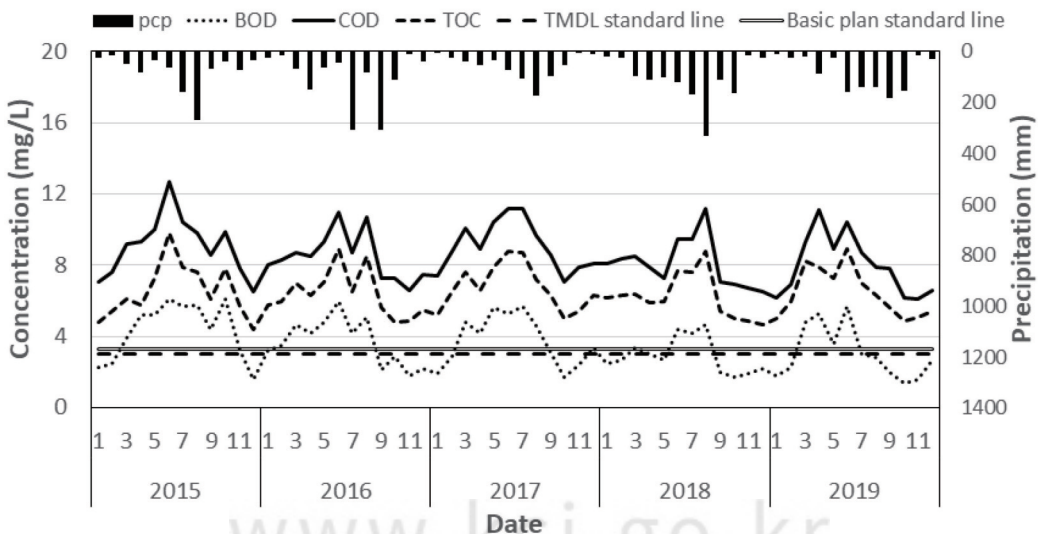


Figure 2. Precipitation and water quality during 2015 ~ 2019 yr in Geumho river.

Table 2. Water quality criteria of river environment

(unit : mg/L)

Level	Very Good	Good	Goodish	Ordinary	Baddish	Bad	Very Bad
	Ia	Ib	II	III	IV	V	VI
BOD	1 ≥	2 ≥	3 ≥	5 ≥	8 ≥	10 ≥	10 <
COD	2 ≥	4 ≥	5 ≥	7 ≥	9 ≥	11 ≥	11 <
TOC	2 ≥	3 ≥	4 ≥	5 ≥	6 ≥	8 ≥	8 <

Table 3. Result of water quality data in Geumho river

		Dry Season							Wet Season						
		Flow (m <sup>3</sup> /sec)	BOD		COD		TOC		Flow (m <sup>3</sup> /sec)	BOD		COD		TOC	
			Conc. (mg/L)	Class	Conc. (mg/L)	Class	Conc. (mg/L)	Class		Conc. (mg/L)	Class	Conc. (mg/L)	Class	Conc. (mg/L)	Class
Main stream	Geumho A	10.845	2.7	II	7.4	IV	5.2	IV	21.336	1.8	Ib	7.7	IV	5.5	IV
	Geumho B	17.126	3.8	III	7.9	IV	5.5	IV	32.131	2.1	II	8.0	IV	5.4	IV
	Geumho C	26.101	4.4	III	9.2	V	6.9	V	48.429	4.9	III	10.2	V	8.0	VI
Tributary	Bukancheon	0.497	2.5	II	7.9	IV	5.6	IV	1.721	1.7	Ib	8.8	IV	6.3	V
	Omokcheon	1.817	3.1	III	7.6	IV	5.4	IV	3.868	1.7	Ib	8.2	IV	5.6	IV
	Namcheon	1.685	4.4	III	8.4	IV	6.0	IV	2.787	3.2	III	8.3	IV	5.5	IV
	Palgeocheon	0.655	2.5	II	6.8	III	4.4	III	4.598	1.8	Ib	6.9	III	5.1	IV
	Dalseocheon	3.831	3.4	III	9.5	V	7.8	V	3.426	2.1	II	8.4	IV	6.7	V

금호강 본류의 수질분석 결과 비강우기에는 BOD, COD, TOC의 경우 2.7 mg/L ~ 4.4 mg/L, 7.4 mg/L ~ 9.2 mg/L, 5.2 mg/L ~ 6.9 mg/L의 범위를 나타내었으며, 강우기에는 1.8 mg/L ~ 4.9 mg/L, 7.7 mg/L ~ 10.2 mg/L, 5.4 mg/L ~ 8.0 mg/L의 범위를 나타내었다. 지류의 수질분석 결과 비강우기에는 BOD, COD, TOC의 경우 2.5 mg/L ~ 4.4 mg/L, 6.8 mg/L ~ 9.5 mg/L, 4.4 mg/L ~ 7.8 mg/L의 범위를 나타내었으며, 강우기에는 1.7 mg/L ~ 3.2 mg/L, 6.9 mg/L ~ 8.8 mg/L, 5.1 mg/L ~ 6.7 mg/L의 범위를 나타내었다. 하천 생활환경기준과 비교한 결과 비강우기의 BOD는 II ~ III 등급의 범위로 오목천 외 4개(금호B, 금호C, 남천, 달서천)지점과 강우기의 BOD는 Ib ~ III 등급의 범위로 금호C, 남천에서 5.0 mg/L 이하인 보통(III)등급을 나타내

었다. 비강우기와 강우기의 COD는 III ~ V 등급의 범위로 비강우기의 달서천, 강우기의 금호C 지점에서 각각 9.5 mg/L, 10.2 mg/L으로 나쁨(V)등급을 나타내었고 비강우기의 TOC는 III ~ V 등급의 범위로 달서천에서 7.8 mg/L, 나쁨(V)등급을 나타내었으며 강우기의 TOC는 IV ~ VI 등급의 범위로 금호C 지점에서 8.0 mg/L, 매우나쁨(VI)등급을 나타내었다. 하천 생활환경기준과 이에대한 내용을 Table 2, Table 3에 제시하였다.

Table 3과 Figure 3에 금호강 본류와 지류의 비강우기와 강우기 농도 차이를 항목별로 살펴보면 BOD는 비강우기, 강우기 농도차이를 보이며, 비강우기에 더 높은 농도를 나타내었다. Jung et al. (2015)은 BOD는 대체로 하천에 유량이 적은 저·갈수기에 농도가 높게 나타났다고 하였으며, 여러 선행연구와 일치

하는 결과로(Kim et al, 2013; Lyu & Lee 2007) 점오염원에서 배출되는 양은 일정한 반면 dry season (겨울, 봄)동안 하천에 흐르는 유량은 줄어들기 때문이라고 보고하였다. COD와 TOC는 비슷한 경향을 나타내고 있지만 일부 지점에서 강우기에 조금 더 높은 것으로 조사되었다. 이는 여름철의 우기 동안 비점오

염원에 의한 유기물질이 하천으로 다량 유입되어 TOC 및 이를 분해하는데 필요한 COD가 증가한 것이다(Lee et al, 2010).

금호강 본류에서는 비강우기, 강우기 시기와 상관없이 하류로 내려갈수록 모든 항목의 농도가 증가하는 것으로 조사되었다. 이는 하천을 따라 방류되는 생

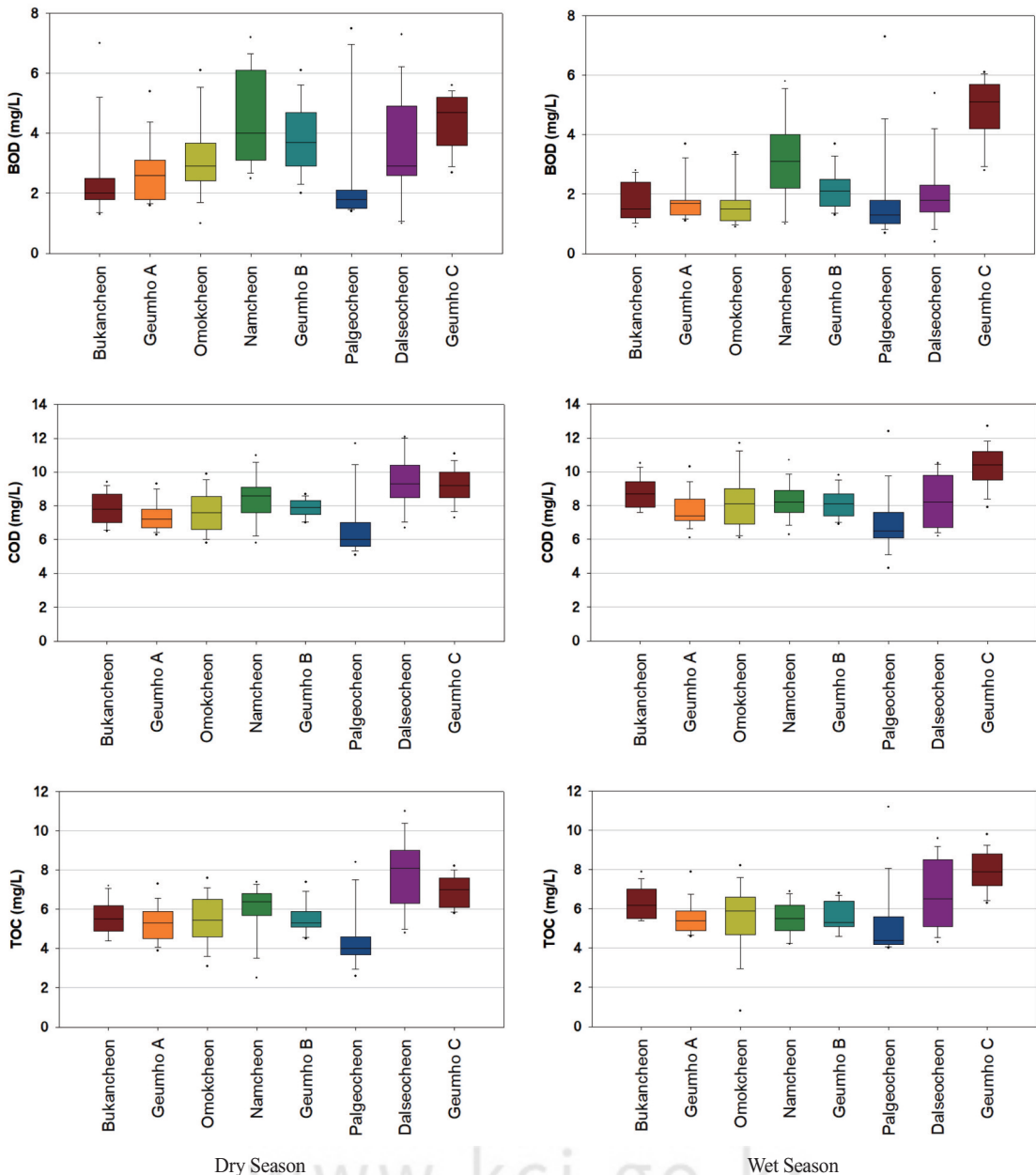


Figure 3. Box plot of water quality(BOD, COD, TOC) in the Geumho river.

활오수와 농업 및 축산폐수의 영향을 받는 오목천과 산업단지 및 하수처리장의 영향을 받는 남천, 달서천의 유입으로 판단되며, 그 중 비강우기에는 남천과 달서천 지점이 높은 농도를 나타내었는데 이는 하천을 따라 공장 등이 밀집되어 있으며, 특히 달서천의 경우 하천을 따라 달서천하수처리장과 북부하수처리장에서 방류되는 방류수와 산업단지에서의 폐수 등으로 인해 금호C 지점에 많은 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

## 2. 오염부하특성 및 기여율 분석

Table 4는 금호강 본류와 지류의 비강우기와 강우기 유달부하량 및 유달부하밀도 차이를 항목별로 나타내었다. 금호강 본류의 유달부하량 분석결과 비강우기에는 BOD, COD, TOC의 경우 2,517.4 kg/day ~ 9,832.2 kg/day, 6,921.4 kg/day ~ 20,656.6 kg/day, 4,866.2 kg/day ~ 15,545.1 kg/day의 범위를 나타내었으며, 강우기에는 3,305.8 kg/day ~ 20,447.2 kg/day, 1,4181.9 kg/day ~ 42,568.1 kg/day, 10,052.7 kg/day ~ 33,530.1 kg/day의 범위를 나타내었다. 분석결과 금호강 하류로 내려갈수

록 오염도 높은 지류의 유입과 느린 유속으로 인한 오염물질 축적으로 인해 말단인 금호C 지점에서는 모든 항목에서 매우 높은 유달부하량을 나타내는 것으로 분석되었다.

지류의 유달부하량 분석결과 비강우기에는 BOD, COD, TOC의 경우 105.3 kg/day ~ 1,132.1 kg/day, 336.9 kg/day ~ 3,133.6 kg/day, 240.2 kg/day ~ 2,577.5 kg/day의 범위를 나타내었으며, 강우기에는 252.7 kg/day ~ 762.6 kg/day, 1,302.4 kg/day ~ 2,736.0 kg/day, 941.6 kg/day ~ 2,015.6 kg/day의 범위를 나타내었다. 강우기 분석결과 팔거천에서는 강우에 의한 많은 유량으로 인해 모든 항목에서 비강우기에 비해 높은 유달부하량을 나타내었다. 유달부하량의 경우 유역면적에 따라 차이가 발생할 수 있어, 이러한 차이를 보정하기 위해 유달부하밀도(단위면적당 유달부하량)를 산정하였다. 유달부하밀도는 하천수질에 직접적인 영향을 주는 인자로서 수질 오염의 잠재력을 나타내며, 단위면적당 유달부하량이 커지면 수질오염도 또한 증가한다고 보고된 바 있다(Yoon et al. 2006).

금호강 본류의 유달부하밀도 분석결과 비강우기에

Table 4. Load and Load density in the Geumho river

		Area (km <sup>2</sup> )	Dry Season						Wet Season					
			BOD		COD		TOC		BOD		COD		TOC	
			Load (kg/day)	Load density (kg/day/km <sup>2</sup> )	Load (kg/day)	Load density (kg/day/km <sup>2</sup> )	Load (kg/day)	Load density (kg/day/km <sup>2</sup> )	Load (kg/day)	Load density (kg/day/km <sup>2</sup> )	Load (kg/day)	Load density (kg/day/km <sup>2</sup> )	Load (kg/day)	Load density (kg/day/km <sup>2</sup> )
Main stream	Geumho A	96.19	2,517.4	26.17	6,921.4	71.96	4,866.2	50.59	3,305.8	34.37	14,181.9	147.44	10,052.7	104.51
	Geumho B	82.26	5,593.1	67.99	11,649.9	141.62	8,167.7	99.29	5,700.4	69.30	22,227.9	270.21	15,046.8	182.92
	Geumho C	65.85	9,832.2	149.31	20,656.6	313.69	15,545.1	236.07	20,447.2	310.51	42,568.1	646.44	33,530.1	509.19
Tributary	Bukan cheon	115.88	105.3	0.91	336.9	2.91	240.2	2.07	252.7	2.18	1,302.4	11.24	941.6	8.13
	Omok cheon	220.24	487.9	2.22	1,191.0	5.41	852.0	3.87	570.3	2.59	2,735.7	12.42	1,855.7	8.43
	Nam cheon	108.51	635.8	5.86	1,228.0	11.32	873.7	8.05	762.6	7.03	1,994.0	18.38	1,324.5	12.21
	Palgeo cheon	102.88	140.8	1.37	383.8	3.73	247.6	2.41	707.2	6.87	2,736.0	26.59	2,015.6	19.59
	Dalseo cheon	65.85	1,132.1	17.19	3,133.6	47.59	2,577.5	39.14	623.5	9.47	2,472.4	37.55	1,989.0	30.20

는 BOD, COD, TOC의 경우 26.17 kg/day/km<sup>2</sup> ~ 149.31 kg/day/km<sup>2</sup>, 71.96 kg/day/km<sup>2</sup> ~ 313.69 kg/day/km<sup>2</sup>, 50.59 kg/day/km<sup>2</sup> ~ 236.07 kg/day/km<sup>2</sup>의 범위를 나타내었으며, 강우기에는 34.37 kg/day/km<sup>2</sup> ~ 310.51 kg/day/km<sup>2</sup>, 147.44 kg/day/km<sup>2</sup> ~ 646.44 kg/day/km<sup>2</sup>, 104.51 kg/day/km<sup>2</sup> ~ 509.19 kg/day/km<sup>2</sup>의 범위를 나타내었다.

지류의 유달부하밀도 분석결과 비강우기에는 BOD, COD, TOC의 경우 0.91 kg/day/km<sup>2</sup> ~ 17.19 kg/day/km<sup>2</sup>, 2.91 kg/day/km<sup>2</sup> ~ 47.59 kg/day/km<sup>2</sup>, 2.07 kg/day/km<sup>2</sup> ~ 39.14 kg/day/km<sup>2</sup>의 범위를 나타내었다. 강우기에는 2.18 kg/day/km<sup>2</sup> ~ 9.47 kg/day/km<sup>2</sup>, 11.24 kg/day/km<sup>2</sup> ~ 37.55 kg/day/km<sup>2</sup>, 8.13 kg/day/km<sup>2</sup> ~ 30.20 kg/day/km<sup>2</sup>의 범위로 나타내었다. 비강우기 분석결과 모든 항목에서 달서천이 매우 높은 유달부하량과 유달부하밀도를 나타내었는데 이는 달서천하수처리장과 북부하수처리장이 위치하여 방류수의 영향을 받는 것으로 판단된다. 북안천과 팔거천 등은 유역면적이 115.88 km<sup>2</sup>과 102.88 km<sup>2</sup>로 크지만 0.497 m<sup>3</sup>/sec와 0.655 m<sup>3</sup>/sec의 적은 유량으로 인해 낮은 유달부하밀도를 나타내었고, 달서천의 경우 유역면적은 65.85 km<sup>2</sup>로 작지만 3.831 m<sup>3</sup>/sec의 많은 유량으로 인해 높은 유달부하밀도를 나타내는 것으로 조사되었다.

이러한 유달부하밀도 비교를 통해 지류 오염원의 발생비율을 파악할 수 있고, 향후 지류에 대한 관리 대책 수립 시 이와 같은 결과를 활용하여 효율적인 우선 관리대책 수립이 가능할 것으로 판단된다.

### 3. 금호강 지류에 대한 오염부하 기여율 분석

Table 5는 금호강 지류가 본류에 미치는 비강우기와 강우기 오염기여율 차이를 항목별로 나타내었다. 금호강 지류의 기여율을 분석한 결과 BOD 항목은 비강우기에는 달서천 45.3 %, 남천 25.4 %, 오목천 19.5 % 순으로 기여율을 나타내었으며, 강우기에는 남천 26.1 %, 달서천 24.2 %, 오목천 21.4 % 순으로 기여율을 나타내었다. 특히 비강우기에는 달서천보다 남천의 BOD 농도가 더 높게 나타났지만 달서천에서는 하천을 따라 공단 및 하수처리장에서 방류되는 방류수의 영향을 많이 받아 유량이 증가하여 남천보다 높은 기여율을 나타내는 것으로 조사되었다. COD 항목은 비강우기에는 달서천 50.0 %, 남천 19.6 %, 오목천 19.0 % 순으로 기여율을 나타내었으며, 강우기에는 팔거천 24.3 %, 오목천 24.3 %, 달서천 22.0 % 순으로 기여율을 나타내었다. TOC 항목은 비강우기에는 달서천 53.8 %, 남천 18.2 %, 오목천 17.8 % 순으로 기여율을 나타내었으며, 강우기에는 팔거천 24.8 %, 달서천 24.5 %, 오목천 22.8 % 순으로 기여율을 나타내었다. COD 항목과 TOC 항목은 비강우기에는 달서천, 남천, 오목천 순으로 높은 기여율을 나타냈으며, 강우기에는 팔거천이 가장 높은 기여율을 나타내었다. 팔거천의 5년간 평균 유량은 비강우기와 강우기에 각각 0.655 m<sup>3</sup>/sec, 4.598 m<sup>3</sup>/sec이지만 2018년도에 1.330 m<sup>3</sup>/sec, 21.061 m<sup>3</sup>/sec로 약 2배, 5배 유량이 증가하였다. 이는 유량으로 인해 오염부하량이 증가하여 강우기에 높은 기

Table 5. Analysis of water quality contribution rate in the Geumho river

BOD Contribution Rate				COD Contribution Rate				TOC Contribution Rate			
Dry Season		Wet Season		Dry Season		Wet Season		Dry Season		Wet Season	
Dalseo cheon	45.3	Nam cheon	26.1	Dalseo cheon	50.0	Palgeo cheon	24.3	Dalseo cheon	53.8	Palgeo cheon	24.8
Nam cheon	25.4	Palgeo cheon	24.2	Nam cheon	19.6	Omok cheon	24.3	Nam cheon	18.2	Dalseo cheon	24.5
Omok cheon	19.5	Dalseo cheon	21.4	Omok cheon	19.0	Dalseo cheon	22.0	Omok cheon	17.8	Omok cheon	22.8
Palgeo cheon	5.6	Omok cheon	19.6	Palgeo cheon	6.1	Nam cheon	17.7	Palgeo cheon	5.2	Nam cheon	16.3
Bukan cheon	4.2	Bukan cheon	8.7	Bukan cheon	5.4	Bukan cheon	11.6	Bukan cheon	5.0	Bukan cheon	11.6

Table 6. Pearson's Correlation Coefficient of BOD, COD, TOC in the Geumho river

	BOD	COD	TOC		BOD	COD	TOC
BOD	1	0.737**	0.638**	BOD	1	0.856**	0.887**
COD		1	0.853**	COD		1	0.950**
TOC			1	TOC			1
Main stream							
BOD	1	0.532**	0.466**	BOD	1	0.219	0.163
COD		1	0.912**	COD		1	0.806**
TOC			1	TOC			1
Tributary							
Dry Season				Wet Season			

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

여울을 나타낸 것으로 판단된다.

금호강 본류 및 지류 유기물(BOD, COD, TOC)의 상관관계를 파악하기 위하여 Pearson 상관계수(Pearson's Correlation Coefficient)를 실시하였다(Table 6). 비강우기와 강우기로 구분하여 분석을 수행하였고 비강우기에 금호강 본류에서는 COD-TOC가 0.853으로 가장 높은 상관관계를 나타내었으며 BOD-COD가 0.737, BOD-TOC가 0.638의 상관관계를 나타내었다. 지류의 경우 COD-TOC가 0.912로

높은 상관관계를 나타내었고 BOD-COD는 0.532, BOD-TOC는 0.466의 상관관계를 나타내었다. Cho et al. (2019)은 장기 모니터링 자료를 이용한 팔당호 수질변화의 비모수적 추세분석에 관한 연구에서 TOC와 COD의 상관성 분석결과 0.850으로 본 연구와 같이 TOC와 COD가 상관성이 높다고 보고한 바 있다. 강우기에는 본류에서 COD-TOC에서 0.950으로 가장 높은 상관관계를 나타내었으며 BOD-TOC가 0.887, BOD-COD가 0.856의 상관관계를 나타내

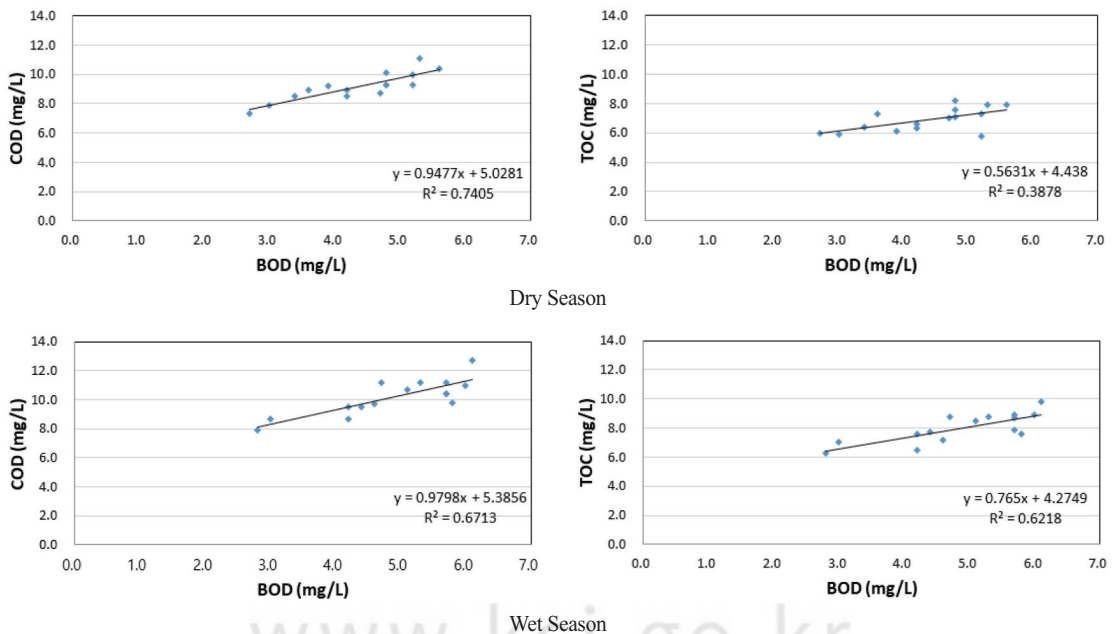


Figure 4. Regression equation of COD-BOD and TOC-BOD.

었다. 지류의 경우 COD-TOC가 0.806으로 가장 높은 상관관계를 나타내었고 BOD-COD, BOD-TOC는 0.3 이하의 낮은 상관관계를 나타내었다. 지류에서 BOD와 COD, TOC와의 상관관계가 COD-TOC보다 낮고 본류보다도 낮은 이유는 지류의 적은 유량과 점오염원에서 난분해성 유기물의 유입의 영향으로 판단된다. 이는 Jung et al. (2015)의 연구와도 같은 결과이다. 본류에서 홍수기에 BOD-COD, BOD-TOC의 상관관계가 높은 것은 강우로 인해 유역에서 유출되는 비점오염원 중 생분해성 유기물 증가의 영향으로 판단되며 비홍수기에 BOD-COD 상관관계가 높은 이유는 하류로 갈수록 느린 유속으로 인해 내부생성 유기물의 영향으로 판단된다. 지류의 홍수기 BOD-COD, BOD-TOC를 제외한 모든 항목간의 상관관계는 유의한 것으로 분석되었다.

TOC-BOD와 COD-BOD의 회귀식을 Figure 4에 나타내었다. 두 변수 사이에서 구한 회귀식은 비강우기  $TOC = 0.5631 \cdot BOD + 4.4380$ 이며, COD =

$0.9477 \cdot BOD + 5.0281$ 이다. 강우기  $TOC = 0.7650 \cdot BOD + 4.2749$ 이며,  $COD = 0.9798 \cdot BOD + 5.3856$ 이다. 회귀식의 기울기 비강우기 0.5631, 0.9477와 강우기 0.7650, 0.9798는 BOD의 단위변화량에 대한 TOC, COD의 변화량이며 BOD가 1.0 mg/L 증가할 때 TOC는 평균적으로 0.5631 mg/L, 0.7650 mg/L 증가하고, COD는 평균적으로 0.9477 mg/L, 0.9798 mg/L 증가함을 의미한다. 그리고 TOC보다는 COD를 이용해서 구한 회귀식의 R<sup>2</sup> 값이 더 높게 나타났다. 이처럼 두 변수간의 상관관계 규명으로 유기물을 측정하는 다른 수질항목간의 정확한 관계의 분석이 가능하고 하나의 수질항목으로도 다른 수질항목을 동시에 관리할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. QUAL-MEV 모형의 재현성 검토

QUAL-MEV 모형의 재현성을 검토하기 위하여 검·보정을 수행하였다. 검·보정은 각 지류별로 채수 일자가 동일한 월을 선정하여 월자료를 사용하였다.

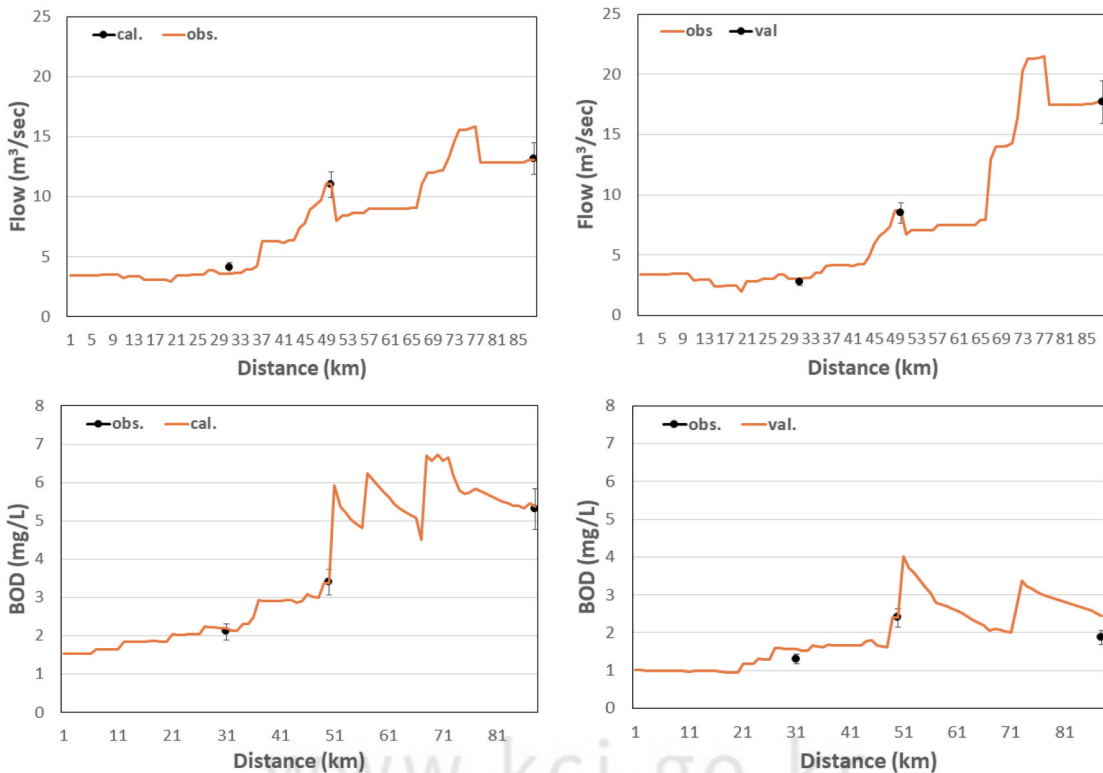


Figure 5. Calibration and validation of QUAL-MEV model.

Table 7. Adaptation analysis of QUAL-MEV model

	Flow		Water Quality (BOD)	
	Calibration	Validation	Calibration	Validation
R <sup>2</sup>	0.99	1.00	0.99	0.72
%difference	4	4	2	17

Table 8. Efficient model range and confidence interval (Donigian 2000)

Evaluation	Poor	Fair	Good	Very Good
%difference (Flow)	–	15~25%	10~15%	<10%
%difference (Nutrients)	–	25~35%	15~25%	<15%

보정은 금호C 지점을 대상으로 2018년 11월, 검증은 2019년 4월에 실측한 자료를 사용하였다. Brown & Barnwell (1987); Bowie et al. (1985) 및 Seo et al. (2008) 등이 제시한 매개변수들을 참고하여 시행오차법으로 검·보정을 수행하였으며 보정과 검증의 결과는 Figure 5에 나타내었다.

QUAL-MEV 모형의 적용성 평가를 위해 R<sup>2</sup>와 %difference를 이용하였다. R<sup>2</sup>와 %difference의 산정식은 식 (4)와 (5)에 나타내었다.

$$\%Diff = \left| \sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n S_i \right| / \sum_{i=1}^n O_i \times 100 \quad (4)$$

$$R^2 = \frac{\sum_i (O_i - \bar{O}_i)(S_i - \bar{S}_i)^2}{\sum_i (O_i - \bar{O}_i)^2 + \sum_i (S_i - \bar{S}_i)^2} \quad (5)$$

R<sup>2</sup>는 1에 근접할수록 모형의 모의값이 실측값을 잘 반영하는 것을 의미하며, %difference는 0에 가까울수록 실측값과 모의 값의 차이가 작다는 것을 의미한다(Lee et al, 2019).

유량의 보정과 검증의 결과를 Table 7에 나타내었다. R<sup>2</sup>는 0.99, 1.00, %difference는 모두 “Very Good”(〈10%)로 나타났으며 BOD의 경우 R<sup>2</sup>는 0.99, 0.72, %difference는 “Very Good”(〈15%)와 “Good”(15~25%)로 연구유역에 적용하기에 적합한 것으로 판단된다. %difference의 적정 범위는 Donigian (2000)이 제시한 모델 효율의 범위와 신뢰구간을 참고하였다(Table 8).

### 5. 유량확보 시나리오에 따른 수질개선 효과 분석 결과

본 연구에서는 금호강유역을 대상으로 영천댐 방류량 증가 시나리오를 통해 금호C 지점에서 수질오염총량관리 대상 항목인 BOD에 대해 목표수질을 만족하는 필요유량을 산정하였다. 모의시키는 금호강 내 지류 수질측정시기 중 BOD 농도가 높은 2019년 4월을 선택하였다. 비강우시에 BOD가 높은 이유는 하류로 갈수록 유속이 감소함에 따라 수체 내 영양물질의 체류시간이 증가하면서 내부생성 유기물질(autochthonous organic matter) 증가의 결과로 판단된다. 따라서 영천댐 방류량의 증가만으로 금호C 지점에서의 BOD 농도의 감소효과를 모의하였으며 모의한 결과는 Figure 6과 같다.

금호C 지점에서 수질오염총량관리 목표수질은 3.3 mg/L, 물환경관리기본계획 목표수질은 3.0 mg/L이다. 2019년 4월 영천댐 방류량은 3.46 m<sup>3</sup>/sec로 수질오염총량관리 목표수질을 만족하기 위해서 필요한 추가방류량은 4월 방류량의 14배에 해당하는 48.40 m<sup>3</sup>/sec이며, 물환경기본계획 목표수질을 만족하기 위해 필요한 추가방류량은 22배인 76.05 m<sup>3</sup>/sec이다. 2019년 평균방류량(4.39 m<sup>3</sup>/sec)과 갈수량(3.40 m<sup>3</sup>/sec)으로 확대해도 최소 10배의 추가방류량이 필요한 것으로 분석되었다. 그러나 2019년도 기준으로 안동댐-임하댐 연결운영을 통한 여유분(약 60만 m<sup>3</sup>/day; K-water 2019)을 고려하여도 추가방류량이 확보가 되지 않으므로 수질개선을 위해 방류량 확보 뿐만 아니라 지류 유역관리 및 하·폐수처리장 방

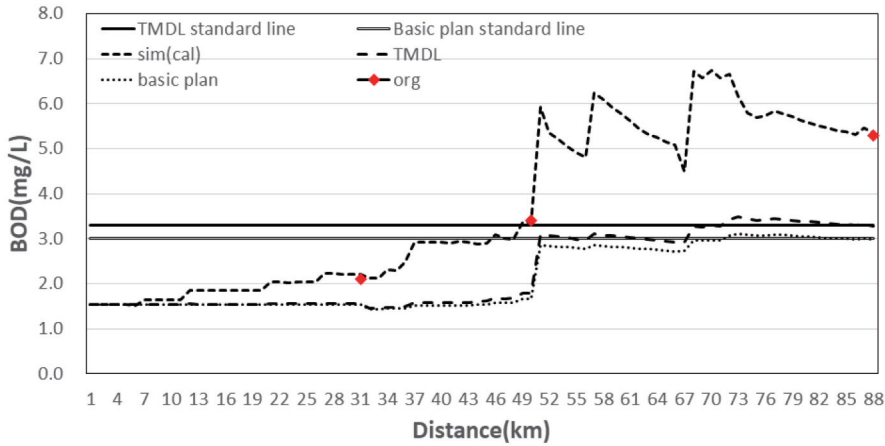


Figure 6. Result of scenario simulation.

류농도 감소에 따른 영향도 함께 고려한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 모델 입력자료는 지류모니터링 자료 개수의 부족으로 특정 일의 하루 또는 3일 ~ 4일 평균 자료를 월평균 자료로 사용하였기 때문에 본 모델 결과를 대표값으로 사용하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다. 따라서 향후 연평균 및 다년 평균 자료를 사용하거나 유역모형을 사용하여 유역의 시간 및 공간적 특성을 포함하는 입력자료를 생성하여 추가 모의가 필요할 것으로 판단된다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 오염도가 높은 금호강을 대상으로 2015년부터 2019년까지 금호강 본류 및 지류에 대해 유량측정 및 수질분석을 시행하고 자료분석을 통해 비강우기(3월 ~ 5월), 강우기(6월 ~ 8월)로 구분하여 BOD, COD, TOC 유기물질에 대해 유달부하량, 유달부하밀도, 오염부하 기여율 및 수질 인자간 통계 분석을 수행하고 1차원 수질모형을 이용하여 목표수질을 만족하기 위한 필요유량을 산정하였다. 본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 수질분석 결과 BOD는 금호C 지점을 제외한 모든 본류 및 지류에서 비강우기에 더 높은 농도를 나타내었으며, COD와 TOC는 다소 유사한 경향을 보이고 있다. 금호C 지점에서는 모든 항목이 강우기에 더

높은 농도이며, 특히 본류에서는 비강우기, 강우기 시기와 상관없이 모든 항목에서 하루로 내려갈수록 농도가 높아지는 것으로 조사되었다. 이를 통해 비강우기에는 하수처리장과 같은 점오염원과 낮은 유속이 유기물질 농도에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

2. 유달부하량 및 유달부하밀도 분석 결과 하루로 내려갈수록 오염도 높은 지류의 유입과 느린 유속으로 인한 오염물질 축적으로 인해 말단인 금호C 지점에서는 모든 항목에서 매우 높은 유달부하량을 나타내었다. 또한 달서천은 다른 지류에 비해 매우 높은 유달부하량과 유달부하밀도를 나타내었는데 이는 작은 유역면적에 비해 달서천하수처리장과 북부하수처리장에서 방류되는 방류수의 유입으로 인한 영향인 것으로 조사되었다.

3. 오염부하 기여율 분석 결과 비강우기에 모든 항목에서 달서천의 기여율이 가장 높은 것으로 나타났으며, 특히 BOD는 비강우기에 더 높은 농도의 남천보다 달서천하수처리장과 북부하수처리장에서 방류되는 방류수의 영향을 받아 유량이 증가한 달서천의 기여율이 더 높은 것으로 나타났다. 또한 팔거천이 강우기에 많은 강우로 인해 유량이 증가하여 다른 지류보다 높은 기여율을 나타내는 것으로 조사되었다.

4. 수질항목의 상관관계는 전반적으로 지류에 비해 본류에서 높은 것으로 분석되었다. BOD와 COD, TOC의 상관관계는 본류에서는 강우기에, 지류에서는 비강우기에 높게 나타났으며 본류는 강우시 비점

오염원 유출로 인한 생분해성 유기물의 증가와 지류는 적은 유량과 하수처리장 방류로 인한 난분해성 유기물 증가의 영향으로 판단된다. 본류에서 비강우시기 BOD-COD의 상관관계가 지류보다 높은 이유는 하류로 갈수록 느려지는 유속으로 인해 내부발생 유기물 증가의 영향으로 판단된다. 이를 통해 금호강의 시기별 유기물질의 관리방안으로는 강우기에는 유역 비점저감시설 설치 등 하천으로 유입되는 비점오염원 감소와 비강우기에는 상류 영천댐 방류량 증가에 따른 유속의 증가가 효과적일 것으로 판단된다.

5. 수질오염총량 및 물환경기본계획 목표수질 만족을 위한 필요유량을 산정하기 위해 QUAL-MEV 모델을 사용하였으며 비강우시기를 선정하여 검·보정을 수행하였다. 수질오염총량관리 및 물환경기본계획 목표수질을 만족하기 위해 필요한 영천댐 방류량은 약 14배, 22배의 추가방류량이 필요한 것으로 분석되었다. 부족한 하천의 유량 증가가 수질을 개선하는데 효과가 있으나 유량 확보 등의 어려움이 있으며 지류를 통한 비점오염물질의 유입 차단을 동시에 진행하는 것이 비강우기 수질개선에 효율적이고 합리적인 대책 수립에 도움이 될 것으로 판단된다. 하지만 본 연구에서는 특정시기를 대상으로 모의를 수행하여 유역을 대표할 수 있는 결과로 보기 어려우며 향후 장기 데이터를 사용하여 추가 시나리오 모의가 필요할 것으로 판단된다.

## Acknowledgement

본 논문은 환경부의 제원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2020-05-01-001).

## References

Bowie GL, Mille W, Porcella D, Campbell C, Pagenkopf J, Pupp G, Johnson K, Chan P, Gherini S. 1985. Rates, constants and kinetic formulations in surface water quality

modeling (2nd Ed.). Usepa/600/385/040.

- Brown L, Barnwell T. 1987. The enhanced stream water quality models QUAL2E: Documentation and user's manual. USEPA.
- Cho BW, Choi JH, Yi SJ, Kim YI. 2012. Selection priority of tributary catchments for improving water quality using stream grouping method. *Journal of Korean Society on Water Environment*. 28(1): 18-25. [Korean Literature]
- Cho HK. 2011. A study on the related characteristics of discharge-water quality in nakdong river. *Journal of Environmental Science*. 20(3): 373-384. [Korean Literature]
- Cho HS, Son JY, Kim GD, Shin MC, Cho YC, Shin KS, Noh HR. 2019. Non-parametric Trend Analysis Using Long-term Monitoring Data of Water Quality in Paldang Lake. *Journal of Environment Impact Assess*. 28(2): 83-100. [Korean Literature]
- Cho KS. 2016. The contribution of the contaminant sources in the dam of the Nam river downstream and the evaluation of the water quality in the Nakdong River mainstream. Master's Thesis. Pukyong National University, Pusan. [Korean Literature]
- Choi BD. 2004. The Function or Urban River and Sustainable Regional Development; The Case of Kumho River. *Journal of Korean Association of Regional Geographers*. 10(4): 757-774. [Korean Literature]
- Choi BG. 2003. Pollution Load Allocation for Total Pollution Load Management. Master's Thesis. Hanyang University, Seoul. [Korean Literature]
- Donigan AS. 2000. HSPF Training Workshop Handbook and CD, Lecture #19, Calibration and Verification Issues, Side #L19-22 EPA Headquarters, Washington Information

- Center, Presented and Prepared for U.S. EPA, Office of Water, Office of Science and Technology, Washington, D.C., USA.
- Hwang BG, Jeong HJ. 2002. The Management Planning of Pollutant Loading Allocation in the Kumho River Basin. *Journal of Environmental Sciences*. 11(10): 1125-1131. [Korean Literature]
- Jung KY, Im TH, Kim GH, Lee IJ, Yoon JS, Heo SN. 2012. Development and application of coliform load duration curve for the Geumho river. *Journal of Korean Society on Water Environment*. 28(6): 890-895. [Korean Literature]
- Jung KY, Kim GH, Lee JW, Lee IJ, Yoon JS, Lee KL, Lim TH. 2013. Selection of priority management target tributary for effective watershed management in Nam-river Mid- watershed. *Journal of Korean Society on Water Environment*. 29(4): 514-522. [Korean Literature]
- Jung KY, Ahn JM, Lee KL, Lee IJ, Yu JJ, Cheon SU, Kim KS, Han KY. 2015. Temporal and Spatical Analysis of Non-biodegradable Organic Pollutants in the Geumho River System. *Journal of Environmental Science International*. 24(11): 1343-1362. [Korean Literature]
- Jung KY, Ahn JM, Kim KS, Lee IJ, Yang DS. 2016. Evaluation of water quality characteristics and water quality improvement grade classificaton of Geumho River tributaries. *Journal of Environmental Science International*. 25(6): 514-522. [Korean Literature]
- Kim GH, Jung GY, Yoon JS, Cheon SU. 2013. Temporal and Spatial Analysis of Water Quality Data Observed in Lower Watershed of Nam River Dam. *Journal of Korean Society Hazzard Mitigation*. 13(6): 429-437. [Korean Literature]
- Kim SG, Cha GS. 2011. Effect of water quality improvement with secure instream flow in Yeongsan River. *Journal of Green Industrial Research*. Honam University. 17(2): 45-51. [Korean Literature]
- Kim SR, Kim SM. 2017. Spatial water quality analysis of main stream of nakdong river considering the inflow of tributaries. *Journal of Korean Society on Water Environment*. 33(6): 640-649. [Korean Literature]
- Kim YK, Choi GW, Ham MS, Kim NW. 2008. The analysis of potential discharge by dam in Han River basin at dry season. *Journal of Korean Society Water Resources Association*. 41(11): 1143-1152. [Korean Literature]
- K-water. 2019. Water Management Working-level manual. [Korean Literature]
- Lee AY, Park MJ, Jo DJ, Kim SD. 2010. Estimating BOD, COD and TOC hydrologic flux in Nakdong River basin. *Journal of Korean Society Environmental Engineers*. 32(9): 830-839. [Korean Literature]
- Lee SM, Kim IK. 2017. Analysis of correlation between cyanobacterial population and water quality factors in the middle and down stream region of Nakdong river. *Journal of Korea Society of Water and Wastewater*. 31(1): 93-101. [Korean Literature]
- Lee SR, Shin JY, Lee GJ, Sung YS, Kim KS, Lim KJ, Kim JG. 2018. Analysis of water pollutant load characteristics and its contributions during dry season: Focusing on major streams inflow into South-Han River of Chungju-dam downstream. *Journal of Korean Society Environmental Engineers*. 40(6): 247-257. [Korean Literature]
- Lee SR, Lee GJ, Han JH, Lee DJ, Kim JG, Lim

- KJ. 2019. Analysis fo the effect of water quality improvement of Seomgang and south Han River by securing the flow during the dry season. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers. 61(2): 25-39. [Korean Literature]
- Lyu JH, Lee DG. 2007. Inquiry of Water Environment in Mihocheon(Stream) – Water Quality Monitoring Focused on TOC –. Journal of Korean Society on Water Quality. 23(5): 731-739. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). 2000. Yesterday, Today and Future of Geumho River, Ministry of Environment, 6-9. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). 2015. Total Maximum Daily Loads (TMDL) Basic Plan in Nakdong River Watershed. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). 2020. Management Plan of Water Environment of Sub-watershed in Lower Geumho River, 25. [Korean Literature]
- Na SM, Kwon HG, Kim GH, Shin DS, Im TH. 2016. Analysis of specific contaminated status and pollutant loads contriution rate of the tributaries in Gumho and Nam River basin. Journal of Wetlands Research. 18(4): 363-377. [Korean Literature]
- Park JD, Oh SY. 2012. Countributions to the impaired water bodies by hydrologic conditions for the management of total maximum daily loads. Journal of Korean Society on Water Environment. 28(4): 574-581. [Korean Literature]
- Park SC, Lee JW, Choi GW, Oh JM, Kim YG. 2003. Effect of water quality improvement with secure instream flow in urban stream. The Conference of Korean Society of Civil Engineers. 2448-2452. [Korean Literature]
- Seo DI, Yun JU, Lee JW. 2008. Comparative anlysis of QUAL2E, QUAL2K and CAP steady state water quality modeling results in downstream areas of the Geum River, Korea. Journal of Korean Society of Water and Wastewater. 22(1): 121-129. [Korean Literature]
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE) 2016. HEC-RAS River analysis sistem users manual.
- Yang DS, Bae HK. 2012. The effect of branches on Kumho River’s water quality. Journal of Environmental Sciences. 21(10): 1245-1253. [Korean Literature]
- Yi SJ, Kim YI. 2014. Improvement on Management of Non-point Source Pollution for Reasonable Implementation of TMDL – Focusing on Selection of Non-point Source Pollution Management Reagion and Management of Non-point Source Pollutant –. Journal of Korean Society Environmental Engineers. 36(10): 719-723. [Korean Literature]
- Yoon YS, Yu JJ, Kim MS, Lee HJ. 2006. Computation and Assessment of Delivery Pollutant Loads for the Streams in the Nakdong River Basin. Journal of Korean Society on Water Quality. 22(2): 277-287. [Korean Literature]