금호강 유입 지천별 강우 모니터링을 통한 비점오염원 관리방안 연구

A Study on the Management of Nonpoint Pollution Source by Precipitation Monitoring by Tributary in Gumho River

권헌각* · 김경훈** · 김상훈*** · 신상민**** · 신동석***** · 임태효*****

Kwon, Heongak*, Kim, Gyeonghoon**, Kim, Sanghoon***, Shin, Sangmin****, Shin, Dongsuk*****,
and Im, Taehyo*****

Abstract

In this study, peak concentration was calculated using long - term monitoring results in order to establish nonpoint pollution source management plan for each station. Based on the estimated peak water concentration, the non - point pollution source management method was derived through comparison analysis with various evaluation factors related to runoff.

The 113 monitoring results of the Gumho River watershed were statistically analyzed. The number of dry days in the monitoring point was ranged from 1.0 to 14.0 days in each region. Total precipitation was 88.7 mm upstream, 101.3 mm tributary, and 103.1 mm downstream. As a result of analysis of EMCs up to the average peak water quality concentration by pollutant item, BOD was highest in March and April, COD in April, SS in April and August, T-N in April and T-P in August. The peak EMCs of the pollutant up to the average peak pollutant concentration by the monitoring point was high in April - August in the main stream of the Gumho River and between spring and summer in March - August in the tributary. Statistical analysis was conducted using long - term monitoring data, and a non - point pollution source management plan was proposed based on the results of the nationwide pollution source analysis for the target watershed. By analyzing the pollutant ratio by watershed, we can select the main pollutant source and present the nonpoint pollution sources reduction technique suitable for the reduction of the pollutant source, so that it can be used as the basic data for establishing non - point pollutant management plan for the target watershed.

Key words : Nonpoint Source, Tributary, Basin, Management Methods

요 지

본 연구에서는 소유역별 비점오염원 관리 방안 수립을 위한 방법으로, 장기 모니터링 자료를 활용하여 첨두수질농도(Peak concentration)를 산정하고, 해당 농도를 기준으로 유출관련 다양한 평가 인자와의 비교 분석을 통해 대상 소유역별 비점오염원 관리 방안을 도출 하였다. 금호강 유역을 대상으로 2015부터 2017년까지 3년간 수행된, 총 113회 모니터링 자료를 분석한 결과, 모니터링 지점의 선행건기일수는 지역별로 1.0 ~ 14.0일 범위이며 총강수량은 상류 88.7 mm, 지류 101.3 mm, 하류 103.1 mm로 조사되었다. 오염물질항목별 평균 첨두수질농도까지의 EMCs는 BOD는 3월, 4월, COD는 4월, SS는 4월, 8월, T-N은 4월, T-P는 8월에 가장 높은 값을 나타내었고, 모니터링 지점별 오염물질 평균 첨두수질농도까지의 EMC는 금호강 본류의 경우 4 ~ 8월, 지류의 경우는 3 ~ 8월의 봄 ~ 여름사이로 높은 첨두수질농도를 나타내는 것으로 조사되었다. 장기모니터링 자료를 활용하여 통계적 분석을 실시하고, 대상유역에 대한 오염원 조사 분석 결과를 활용하여, 지천별 소유역 기준 비점오염원 관리방안을 제시하였다. 유역별 오염원 비율을 분석하여 주요 오염원을 선정하고, 해당 오염원 저감에 적합한 비점저감기술을 제시하여, 추후 대상유역에 대한 비점오염원 관리계획 수립 시 기초자료로서 활용될 수 있도록 하였다.

핵심용어 : 비점오염원, 지천, 유역, 관리방안

*정회원, 국립환경과학원 낙동강물환경연구소 전문위원(E-mail: hunkah@naver.com)

Member, Researcher, Nakdong River Environment Research Center

**정회원, 국립환경과학원 낙동강물환경연구소 전문위원

Member, Researcher, Nakdong River Environment Research Center

***국립환경과학원 낙동강물환경연구소 환경연구관

Researcher, Nakdong River Environment Research Center

****국립환경과학원 낙동강물환경연구소 연구원

Researcher, Nakdong River Environment Research Center

*****정회원, 국립환경과학원 낙동강물환경연구소 연구소장

Member, Researcher, Nakdong River Environment Research Center

*****교신저자, 정회원, 국립환경과학원 낙동강물환경연구소 연구관(Tel: +82-54-950-9713, Fax: +82-54-950-9783, E-mail: dahong@korea.kr)

Corresponding Author, Member, Researcher, Nakdong River Environment Research Center

1. 서 론

하천이나 호수로 유입되는 오염물질은 유역으로부터 점오염원 또는 비점오염원 형태로 발생한다. 이중 점오염원은 폐수배출시설, 하수발생시설, 축사 등으로서 관거·수로 등을 통하여 일정한 지점으로 수질오염물질을 배출하는 배출원을 말한다. 그러나 비점오염원은 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등으로서 불특정 장소에서 불특정하게 수질오염물질을 배출하는 배출원으로 정의하거나(수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제2조 제1호, 제2호), 점오염원 이외의 일체의 수질오염원을 의미하기도 한다(Committee for the Han River Water Management System, 2016).

효과적인 비점오염원 관리를 위해서는 비점오염물질이 발생되어 공공수역으로 도달, 배출되는 양을 정확히 산정해야 하고, 이러한 정량화를 위해 단위시간·단위면적당 원단위(Unit Load), 유량가중평균농도(EMCs: Event Mean Concentrations)를 로그정규분포로 가정하는 통계적 방법(Statistical Method), 유량-부하곡선(Rating Curve), 회귀식 방법 등을 이용할 수 있다(US. EPA, 1991). 국내에서는 비점오염원 관리가 수질과 수생태계에 중요하다는 인식하에 환경부에서 2004년 관계기관 합동으로 “비점오염원관리 종합대책(’04~’20)”을 수립하였으며, 2012년에 수정대책을 수립하여 종합적인 비점오염원 관리를 추진하고 있다. 종합대책의 전반적인 1단계(’04~’05)에는 국가(중앙정부)가 제도개선과 시범사업을 추진하였으며, 2단계(’06~’1)에는 중앙정부와 지자체가 합동으로 4대강 유역에서 비점오염원의 최적관리를 위한 사업을 추진하였고, 3단계(’12~’20)부터는 본격적인 비점관리를 위하여 지자체가 중심이 되는 방향으로 비점오염원 관리사업 방식이 제안되었다. 2012년에 수립된 “제2차 비점오염원관리 종합대책(’12~’20)”에서는 그간의 경험을 토대로 기술적인 진보와 관리기반 변화 등을 반영하여 ‘유출량 저감’, ‘통합적 관리’, ‘사전 예방적 관리’ 등 유역 차원에서 발생한 단계에서부터 비점오염원에 대한 관리를 강화하는 정책이 상당히 포함되었다(NIER, 2016). 하지만 강우 시 유출되는 비점오염물질은 대상 유역의 토지이용 형태, 강우 및 유출 특성 인자의 영향에 따라 상당한 차이가 있고, 또한 그 대상 규모도 방대하여 구체적인 목표나 방향을 설정하기가 어려운 것이 현실이다(Choi et al., 2011). Roh (2006) 및 Bedient (1980)에 따르면, 비점오염원은 시간당 부하의 변동 폭이 크고, 초기강우 시 고농도의 오염물질이 배출되어 정량화가 어렵다는 연구결과를 발표하였다. Jung 등(2007)은 토지이용을 주거, 상업, 공업, 도로, 주차 지역으로 분류하고 선행무강우시간과 강우 특성을 고려하여 유량가중평균농도 개념을 통해 토지이용에 따른 유출특성을 분석하였으나 분포도 및 비선형 상관 분석에만 연구되어진 것으로 사료된다. Kal 등(2017)은 낙동강수계에서의 비점오염원 장기모니터링 자료를 침투수질농도 기준

으로 강우유출특성 분석 및 적정모니터링 시기 등에 대해 도출한 바가 있다. 본 연구에서는 앞선 연구결과에 대해 추가 모니터링 자료를 적용하여, 소유역별 비점오염원 관리 방안 수립을 위한 방법으로, 장기 모니터링 자료를 활용한 침투수질농도를 산정하고, 해당 농도를 기준으로 누적강수량, 침투수질농도까지의 누적강수량 및 시간 등의 평가 인자와의 비교 분석을 통해 대상 소유역별 비점오염원 관리 방안을 도출 하였다.

2. 연구방법

2.1 조사 대상 유역 및 조사 현황

금호강유역은 낙동강의 중동부에 위치한 주요 지류로서 유역면적은 약 2,092 km²이며, 유로 연장은 118.99 km이다. 금호강은 낙동강의 제1지류지로서, 1970년대부터 산업화 및 도시화 등의 근대화 과정을 거치면서 중·하류 지역에 대구광역시라는 거대도시를 중심으로 대규모의 산업단지와 도시지역이 형성됨에 따라 환경부하가 급격히 증가하게 되었다(Committee for the Nakdong River Water Management System, 2017). 이러한 금호강의 문제 해결을 위한 조사연구 사업을 대구지방환경청에서 수행하여 금호강 수질현황 및 문제점을 도출하고 이에 따른 개선방안을 제시하였다(Daegu Regional Environment Agency, 2016). 금호강 유역 중 조사대상지는 대구 및 영천 기상관측소를 포함하고 있다. 본 연구에서는 금호강 유역 중 상류 유역을 대상으로 조사를 실시하였으며, 대구 및 영천 기상관측소가 위치해 있다. 수질오염총량관리를 위한 수질·유량측정망과 낙동강수계 환경기초조사사업 중 지류·지천 모니터링 결과를 토대로 금호강 본류의 상·하류 지점 및 유입 지천 중 신령천, 북안천, 청통천, 오목천을 대상으로 하여, 소 유역으로 병합 및 재분할하였다(Fig. 1). 조사 대상 유역의 토지이용 현황을 분석하기 위하여, 국가 수자원관리종합정보 시스템(WAMIS)에서 제시하는 토지피복도를 활용하였으며, 해당 토지피복 분류체계는 8개의 코드로 구성되어 있다. 금호강상류의 경우, 산림이 67%로 가장 많은 면적을 차지하고 있으며 논(18%), 밭(13%) 등을 포함하고 있다. 습지를 제외한 모든 토지피복을 확인할 수 있었다(Table 1).

2.2 모니터링 및 EMCs 산정 방법

대상 유역으로 선정된 금호강 본류 2지점 및 유입지천 4지점에 대해 강우 시 유량, 수질을 모니터링 하였다. 조사 간격은 강우 시 현장 상황(강우량, 강우지속시간 등)에 따라 샘플링 개수를 조정하였다. 수질분석 항목은 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P를 대상으로, 현장에서 샘플링 된 시료를 아이스박스에 보관 후 실험실로 이동하여 ‘수질오염공정시험기준’에 준하여 분석 하였다. 국내 하천수 생활환경 기준이 되는 BOD, COD, SS, T-P 항목을 선정하고, 조류발생에

Fig. 1. Study Area

Table 1. Land Use and Classification Code

Land use code	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Value	Water	Built-up area	Bare ground	Wetland	Grasslands	Forest	Paddy area	Fields	
Area(km ²)	16.6	11.3	0.5	0.00	0.4	1017.2	278.2	191.7	1515.9
Area ratio(%)	1.09	0.75	0.03	0.00	0.03	67.10	18.35	12.65	100

(a) Flow measurement(wading method)

(b) Gauging station in survey sites

Fig. 2. Flow Investigation Methods

영향을 미치는 주요 인자로 T-N을 선정 하였다. 유량 측정은 대상하천의 수심 및 유속 등 현장 상황을 고려하여, 도섭법으로 측정 하였으며, 강우량이 많아 유량이 증가 될 시 부자를 활용하여 측정하였다(Fig. 2). 향후 장마와 같이 강우량이 급격히 증가할 시 측정자의 안전 및 측정의 용이함을 위해 지점별 목자판을 설치하였다. 금호강 본류인 금호_상류 지점 및 금호강 유입 지천으로 북안천, 청통천, 오목천 지점의 경우 목자판을 활용할 수 있으며, 금호_하류 지점과 신령천

의 경우 기존 설치된 수위국의 수위와 목자판을 참조하였다.

2.2.1 강우사상별 유량가중평균농도(EMC_x)

비점오염 부하는 여러 가지 요인에 따라서 배출되는 부하가 다르기 때문에 이에 대한 적절한 평균농도를 도입하여 특정 강수 시기의 비점오염원의 평균 오염물질 농도로 나타낼 필요가 있다. 산술 평균농도는 시간간격이 일정할 경우에는 타당한 값으로서 제시될 수 있지만, 비점오염원 유출은

일정하지 않고 유출량과 농도의 변화 폭이 크다. 이와 같은 이유로 강우사상에 대한 평균농도 또는 유량가중 평균농도는 강우 유출수 및 오염물질을 평가하는데 가장 적절한 방법으로 이용되고 있다(US. EPA., 1983; Novotny and Olem, 1994). 개별 강우유출사상에 대한 유량가중평균농도는 동일한 시각에 측정된 강우유출수의 유량 및 수질 자료를 이용하여 다음 식으로 산정한다.

$$EMC_x = \frac{\sum_{n=1}^N (Q_n \times \Delta t_n \times C_n)}{\sum_{n=1}^N (Q_n \times \Delta t_n)} \quad (1)$$

여기서 EMC_x 는 강우유출사상(x)별 유량가중평균농도(mg/L), Q 는 유출량(m³/sec), C 는 특정 오염물질에 대한 농도(mg/L), Δt 는 측정시간 간격, N 은 총 측정횟수다. 유출이 발생하지 않을 경우 EMC_x 등은 0으로 처리하되, 강우계급별 조사 횟수에는 포함시킨다.

2.2.2 강우계급별 유량가중평균농도(EMC_y)

강우계급별 유량가중평균농도는 해당 강우계급에 속하는 강우유출사상별 유량가중평균농도를 이용하여 다음 식으로 산정한다.

$$EMC_y = \frac{\sum_{m=1}^M (EMC_{x,m})}{M} \quad (2)$$

여기서 EMC_y 는 강우계급(y)별 유량가중평균농도(mg/L), EMC_x 는 해당 강우계급(y)에 속하는 강우유출사상(x)별 유량가중평균농도(mg/L)이며, M 은 강우계급(y)의 총 측정횟수이다.

2.2.3 토지피복분류별 유량가중평균농도(EMC_z)

토지피복분류별 유량가중평균농도는 강우계급별 유량가중평균농도를 이용하여 다음의 식으로 산정한다.

$$EMC_z = \sum_{m=1}^M (EMC_{y,m} \times f_{y,m}) \quad (3)$$

여기서 EMC_z 는 토지피복분류(z)별 유량가중평균농도(mg/L), EMC_y 는 강우계급(y)별 유량가중평균농도(mg/L)이며, M 은 강우계급의 수, f_y 는 최근 10년간 강우자료로부터 산정한 강우계급(y)별 총강우량의 비율이다. 최근 10년간 강우자료를 이용한 f_y 는 다음과 같이 산정한다. 조사지점에 인접한 기상청 등에서 운영하는 기상관측소의 최근 10년간 일강우 자료를 수집하여 이용하며, 강우자료가 10년 미만인 경우 가용한 자료 전체를 이용할 수 있다. 10년간 발생한 강우자료로부터 강우사상을 분리하고 강우사상별 총강우량을 산정하여 강우계급으로 분류한다. f_y 는 10년간 발생한 강우사상의 총강우량에 대한 강우계급별 총강우량의 비율로 산정한다.

2.3 침투수질농도 및 EMCs 유출특성 평가

본 연구에서는 비점오염원 관리 기준으로 침투수질농도를 활용하였다. 침투수질농도는 강우유출수 중 수질이 가장 높은 농도로 비점오염 관리를 위한 기준 농도로 극값(Extremal value)을 활용하는 개념이다. 해당 개념은 누적강수량(총강수량), 침투수질농도, 침투수질농도까지의 누적강수량, 침투수질농도까지의 시간, 침투수질농도까지의 EMC 등의 평가인자를 이용하여 새로운 비점오염원 관리기준으로 활용 가능할 것이다(Committee for the Nakdong River Water Management System, 2017; Kal et al., 2017). 침투수질농도 및 EMCs 특성 분석을 위한 평가 인자의 정의는 Table 2와 같다.

2.4 관리방안 마련

2.4.1 관리오염원 분석

비점오염원 관리 대상 항목을 분석하기 위하여 ‘전국오염원조사자료’를 활용하였다(Table 3). ‘전국오염원조사자료’ 중 대상유역에 대한 축산계 및 토지계 자료를 분석하여 대상 항목을 선정·평가 하고자 하였다. 축산계 오염원의

Table 2. Evaluation Factor of Precipitation Runoff Characteristics (Kal et al., 2017)

Factor	Describe
Cumulative Precipitation	Total Rainfall
Peak water quality Concentration	The highest concentration in rainfall runoff
Cumulative Precipitation to peak concentration	Cumulative precipitation from the beginning of rainfall to the highest concentration of rainfall runoff
Time to peak concentration	Time from the start of rainfall to the highest concentration of rainfall runoff
EMC to peak concentration	EMC calculated based on the time to peak water quality concentration after rainfall runoff(dynamic EMC)

경우, 대상 유역 내 젓소, 한우, 돼지 등 오염 발생량이 많은 축종을 대상으로 하였으며, 토지계의 경우 전, 답, 임야, 대지, 기타로 구분하며, 도심 및 농업 지역으로 구분하여 관리대상 유역의 비점오염원 특성을 반영 하였다. 오염원의 종류에 따라 설치 될 수 있는 저감시설 및 제거 기술을 선택 할 수 있다(Committee for the Nakdong River Water Management System, 2017).

Table 3. Analyze Managed Pollutant Source

Division	Describe
National Source survey data	Selection of management items at target site according to land classification
Initial outflow rate	Selection of appropriate decontamination technology according to the pollution sources that runoff during precipitation

2.4.2 관리시기 분석

비점오염원 관리 시기는 침투수질농도 분석과 총 누적강수량 대비 오염원 유출량을 통해 분석할 수 있다. 누적강수량, 침투수질농도, 침투수질농도까지의 누적강수량, 침투수질 농도까지의 시간, 침투수질농도까지의 EMCs를 통해 연중 각 지점별로 비점오염원 유출이 집중되는 시기를 분석할 수 있으며 총강수량 대비 오염원 유출량 분석을 통해 강우사상별 관리시기도 분석 가능하다(Committee for the Nakdong River Water Management System, 2017).

Table 4. Management Timing Analysis

Division	Describe
Management time during the year	Peak water quality concentration
Management time for precipitation events	Source runoff relative to cumulative precipitation

3. 연구결과

3.1 조사대상유역 통계분석 결과

금호강 유역을 대상으로 청통천, 오목천, 신령천, 북안천을 지천으로 통합하여 상류(금호1), 지천, 하류(금호B)의 3개 피복유역으로 구분하여 통계분석을 수행 하였다(Table 5). 모니터링 지점의 선행건기일수는 지역별로 1.0 ~ 14.0일 범위이며 총강수량은 상류 88.7 mm, 지류 101.3 mm, 하류 103.1 mm로 조사되었다. BOD기준으로 침투수질농도는 상류 2.4 mg/L, 지류 3.2 mg/L, 하류 3.3 mg/L, 침투수질농도까지의 누적강수량은 상류 61.1 mm, 지류 71.5 mm, 하류 81.2 mm, 침투수질농도까지의 시간은 상류 14.5 hr, 지류 13.8 hr, 하류 13.3 hr, 침투수질농도까지의 유량가중평균농도는

상류 2.2 mg/L, 지류 2.9 mg/L, 하류 3.0 mg/L로 조사되었다. T-N기준으로 침투수질농도는 상류 2.6 mg/L, 지류 4.0 mg/L, 하류 3.5 mg/L, 침투수질농도까지의 누적강수량은 상류 68.2 mm, 지류 85.6 mm, 하류 85.9 mm, 침투수질농도까지의 시간은 상류 20.6 hr, 지류 18.7 hr, 하류 20.2 hr, 침투수질농도까지의 유량가중평균농도는 상류 2.4 mg/L, 지류 3.8 mg/L, 하류 3.3 mg/L로 조사되었다. T-P기준으로 침투수질농도는 상류 0.1 mg/L, 지류 0.22 mg/L, 하류 0.18 mg/L, 침투수질농도까지의 누적강수량은 상류 63.0 mm, 지류 74.6 mm, 하류 91.6 mm, 침투수질 농도까지의 시간은 상류 14.9h r, 지류 14.3 hr, 하류 19.0 hr, 침투수질농도까지의 유량가중평균농도는 상류 0.09 mg/L, 지류 0.20 mg/L, 하류 0.16 mg/L로 조사되었다.

오염물질별 침투수질농도까지의 평균 EMCs는 BOD는 3월, 4월, COD는 4월, SS는 4월, 8월, T-N은 4월, T-P는 8월에 가장 높은 값을 나타내었다(Fig. 3). 또한, 모니터링 지점별 오염물질 침투수질농도까지의 평균 EMC는 금호강 본류의 경우 4 ~ 8월, 지류의 경우는 3 ~ 8월의 봄 ~ 여름사이로 높은 침투수질농도를 나타내고 있다. 따라서 금호강 유역(금호_상류, 금호_하류)의 경우 3~8월이 비점오염 관리를 위한 적정 시기이다.

고농도 비점오염물질이 총 누적강수량의 어떤 시점에서 유출되는지 파악하고자 모니터링 지점의 오염물질 항목별 총강수량대비 침투수질농도까지 누적강수량의 비율을 분석 하였다(Fig. 4). 모니터링 지점의 평균 총강수량 대비 침투수질농도 유발강수량 비율은 상류(GH-1) 78.5%, 지류(TRI) 77.4%, 하류(GH-B) 87.4%로 강우중기이상 관리가 필요한 것으로 분석되었다.

대상 유역별 누적강수량계급에 따른 강우사상 분포비율은 누적강수량 150 mm이내일 때 강우사상 분포 비율이 80%이상을 차지하는 것으로 분석되었다(Fig. 4). 3개 지역의 강우자료는 모두 영천 기상대 관측소 자료를 이용하고 있으며, 150 mm이내에서 80%이상의 분포율을 나타내므로 150 mm를 기준으로 비점오염 관리가 필요한 것으로 분석되었다. 상류(GH-1) 지역의 경우 BOD, COD, SS의 경우 누적강수량 150 ~ 200 mm, T-N, T-P의 경우 250 ~ 300 mm일 때 최대 침투수질농도를 나타내고 있다. 오염물질 항목별 침투수질 농도는 SS 454.0 mg/L, COD 28.5 mg/L, BOD 6.0 mg/L, T-N 4.69 mg/L, T-P 0.356 mg/L 순으로 분석되었다. 지천(TRI) 지역의 경우 BOD, T-N의 경우 누적강수량 150 ~ 200 mm, COD, SS, T-P의 경우 250 ~ 300 mm일 때 최대 침투수질농도를 나타내고 있다. 오염물질 항목별 침투수질 농도는 SS 211.0 mg/L, COD 16.13 mg/L, T-N 7.94 mg/L, BOD 6.05 mg/L, T-P 0.647 mg/L 순으로 분석되었다. 하류(GH-B) 지역의 경우 BOD, COD의 경우 누적강수량 150 ~ 200 mm, T-N, T-P의 경우 250 ~ 300 mm, SS의 경우 300 ~ 350 mm일 때 최대 침투수질농도를 나타내고 있다. 오염물질 항목별 침투수질농도는 SS 166.0 mg/L, COD 15.6 mg/L, T-N 7.58 mg/L, BOD 5.4 mg/L, T-P 0.567 mg/L 순으로 분석되었다.

Table 5. Statistical Analysis Results in Survey Sites(2015~2017)

Item		Gumho_upstream			Tributary			Gumho_downstream		
Parameter		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
The number of dry day (day)		1.0	14.0	5.1	1.0	14.0	5.1	1.0	14.0	5.1
Total precipitation (mm)		6.6	275.6	88.7	6.6	338.2	101.3	6.6	338.2	103.1
Duration of precipitation (hr)		0.6	74.5	20.5	0.6	74.5	21.3	0.6	73.0	21.6
Peak flow (m ³ /sec)		3.8	75.3	12.9	0.2	32.4	4.6	8.1	847.2	76.8
Peak flow reaching time (hr)		1.9	30.7	12.6	0.0	41.2	16.0	0.8	41.0	18.9
Peak water quality concentration(mg/L)	BOD	1.4	6.0	2.4	1.2	8.5	3.2	1.6	8.2	3.3
	COD	5.4	28.5	8.6	5.4	18.0	9.6	6.4	18.3	10.0
	SS	4.0	454.0	43.3	4.2	337.0	51.0	4.8	179.0	42.3
	T-N	0.9	4.7	2.6	0.7	13.7	4.0	1.2	7.6	3.5
	T-P	0.03	0.36	0.10	0.02	1.04	0.22	0.06	0.57	0.18
Cumulative precipitation to peak water quality concentration (mm)	BOD	4.3	211.4	61.1	4.3	267.1	71.5	5.4	267.1	81.2
	COD	4.3	211.4	67.7	4.3	267.1	77.2	4.5	267.1	84.4
	SS	4.3	265.4	76.7	4.3	333.7	75.3	4.5	267.1	84.8
	T-N	3.2	274.7	68.2	3.2	333.7	85.6	5.1	267.1	85.9
	T-P	3.2	265.4	63.0	3.2	338.2	74.6	5.4	267.1	91.6
Time to peak water quality concentration (hr)	BOD	1.6	74.2	14.5	1.6	73.7	13.8	2.3	36.5	13.3
	COD	3.0	30.2	13.0	0.8	41.7	14.8	0.8	32.5	16.5
	SS	3.6	74.2	17.5	0.8	49.7	12.7	0.8	36.5	16.1
	T-N	0.8	74.2	20.6	0.8	68.3	18.7	1.0	44.5	20.2
	T-P	0.8	31.7	14.9	0.8	37.7	14.3	4.8	36.5	19.0
EMCs to peak water quality concentration (mg/L)	BOD	0.9	6.0	2.2	1.0	8.2	2.9	1.4	8.2	3.0
	COD	5.3	25.8	7.9	5.1	17.2	9.2	6.4	14.7	9.2
	SS	3.7	328.4	32.2	4.0	337.0	45.0	4.6	154.1	32.6
	T-N	0.9	4.3	2.4	0.7	10.6	3.8	1.2	7.3	3.3
	T-P	0.02	0.30	0.09	0.02	1.03	0.20	0.06	0.53	0.16

Fig. 3. Variation in EMCs of Peak Water Quality Concentration Depending on Pollutants

Fig. 4. Cumulative Precipitation Rate to Peak Water Quality Concentration Relative to Total Precipitation

Fig. 5. Cumulative Precipitation to Peak Concentration

3.2 금호강 지천유역별 비점오염원 관리방안

전국오염원조사 자료를 통해 비점오염원 관리 축산계와 토지계 오염원을 분석하였다(Table 6). 지점별 상류유역에서의 오염원을 조사하였으며, 축산계는 오염원 발생량이 높은 한우, 젓소, 돼지에 대해서 조사하였고, 토지계는 전·답과 대지 비율을 조사하였다(금호강 유역의 경우 임야 비율이 가장 높으나 비점오염원 관리 대상 지목에서는 임야 지점을 제외하였음). 축산계 조사결과, 금호강유역에서는 한우와 돼지의 사육수가 높게 조사되었으며 한우는 13,434

마리, 젓소 1,005마리, 돼지 95,153마리로 조사되었다(Committee for the Nakdong River Water Management System, 2016). 한우는 금호1 4,124마리, 북안천 2,555마리로 가장 많이 사육하는 것으로 조사되었고 젓소는 북안천 325마리, 금호_상류 268마리, 돼지는 금호_상류 47,097마리, 북안천에서 17,674마리로 조사되었다. 토지계 오염원 분석결과, 유역 내 전·답의 비율이 14% ~ 30%로서 다른 지목에 비해 높게 조사되어, 농업지역에서의 비점오염원 관리가 필요하며 금호강하류와 오목천은 대지 비율이 10% 이상으로

Table 6. Management Pollution Source and Management Timing Analysis by Watershed

Basin	Controlled sources		Management time	
	Livestock	Land	Month	Prec. period
Gumho_upstream	Cattle: 4,124 Pig: 47,097	Field • Paddy: 14% Site: 3%	Apr.~Aug.	Above mid - term during precipitation
Gumho_downstream	Cattle: 167 Pig: 3,195	Field • Paddy: 18% Site: 20%		
Cheongtongcheon	Cattle: 1,953 Pig: 7,949	Field • Paddy: 20% Site: 6%	Mar.~Aug.	
Omokcheon	Cattle: 2,441 Pig: 4,972	Field • Paddy: 30% Site: 14%		
Sinryungcheon	Cattle: 2,194 Pig: 14,266	Field • Paddy: 20% Site: 4%		
Bukancheon	Cattle: 2,555 Pig: 17,674	Field • Paddy: 25% Site: 9%		

나타나 해당 유역에서는 대지 및 도시지역에서의 비점오염원 관리가 필요할 것으로 판단된다. 농업지역과 도시지역은 지목형태 및 토양 등이 다르기 때문에 각 지목에 적합한 비점오염원 저감시설 설치가 필요하다.

소유역 특성별 비점오염원 관리방안을 정리하여 Table 7에 나타내었다.

금호강 상류유역은 대부분 임야 및 농업지역으로서 농업 지역 및 축산에 대한 관리가 필요한 지역이다. 금호강상류유역은 영천댐하류에서 금호강 본류로 유입되는 유역이다. 금호강상류 지역의 주요 오염원은 농지 및 축산계이며, 대부분 임야 및 전·답 등의 농업지역이다. 따라서 축산계 오염 및 농업지역에서의 강우유출수 관리가 필요하다. 금호강 하류유역은 금호강과 오목천 합류점 이하 유역으로서 주거지 및 상업지역이 밀집되어 있는 도시지역으로서 도시 내 비점오염원 유입이 높은 유역이다. 금호강하류지역의 주요 오염원은 주거지 및 도로에서의 도시지역 비점오염원이다. 청통촌 유역은 축산계와 농업지역이 밀집한 유역으로서 농업지역에서의 비점오염 유입이 높은 유역이다. 청통천은 영천시 청통면을 지나 금호강에 합류하는 유역으로서, 상류 지역의 주요 오염원은 농지 및 축산계로서 상류 대부분 임야 및 전·답 등의 농업지역이다. 따라서 강우 시 사육되는 축산계 오염 및 농업지역 비점오염 관리가 필요하다. 하류지역은 행정구역상 영천시 하양읍으로서 주거지역이 발달한 지역으로, 주요 오염원은 대지 및 주거지로 분석되었다. 오목천 유역은 비점오염원 모니터링 지점 중 대지에 대한 비율이 타 지점의 유역들에 비해 높은 유역이다. 오목천은 경산시를 가로질러 금호강에 합류하는 유역으로서 상류유역의 주요 오염원은 농지 및 축산계로서 상류 대부분이 임야 및 전·답 등의 농업지역이다. 하류지역의 주요 오염원은 진량읍, 압량면 등 주거지와 도로에서의 강우유출수이다. 신령천 유역은 축산계 및 농지에서의 강우유출수 관리가

필요한 유역으로, 신령천은 고현천과 합류하여 금호강에 합류하며, 상류지역의 주요 오염원은 농지 및 축산계로서 상류 대부분 임야 및 전·답 등의 농업지역이다. 하류지역도 농업지역 강우유출수가 주요 오염원으로 분석 되었으며, 중류의 화산농공단지와 신설되는 영천하이테크파크 지역에서는 대지와 도로 등 불투수 지역 강우유출수가 주요 오염원으로 분석 되었다. 북안천 유역은 축산계 및 농지의 비율이 높은 유역으로, 북안천은 영천시 북안면을 지나 금호강에 합류한다. 상류지역의 주요 오염원은 농지 및 축산계로서 대부분 임야 및 전·답 등의 농업지역이다. 하류지역의 주요 오염원은 농지 및 농공단지 등에서의 토지계 유출수로서 영천도남농공단지, 영천본촌농공단지 및 영천일반산업단지에서 유출되는 강우유출수로 분석 되었다.

유역의 오염원 분포에 따라 적용될 수 있는 관리기술을 정리해보면, 도시지역 및 주거지역에서는 강우유출수를 저류할 수 있는 저류지를 설치 할 수 있다. 하천변 침투도랑을 설치하여 강우유출수가 직접적으로 하천으로 유입되는 것을 방지할 수 있으며 또한 도로지역에서는 침투 측구, 침투포장 등을 설치하여 강우 시 유입되는 비점오염원을 관리하며 추후 LID (Low Impact Development) 시설 등을 통해 신규 도시지역에서의 비점오염원 관리가 필요하다. LID는 자연에 미치는 영향을 최소화함을 목적으로 하며, 식생저류지와 같은 생태적 요소를 전략적으로 배치하여, 개발 이전의 수질 및 수문체계 등을 보전하는 방식이다. 농업지역 및 축산계 비점오염원을 제어할 수 있는 관리기술로는 축산습지를 설치하여 강우 시 오염원을 저류함으로써 제어할 수 있으며 침투도랑 등을 설치하여 오염원이 하천으로 유입되는 것을 방지하는 것이 가능하다. 또한 축산분뇨를 처리하기 위한 공공처리시설을 도입하여 방치되는 축산분뇨가 없도록 체계적인 관리가 필요하다.

Table 7. Nonpoint Pollution Source Management Plan for Each Survey Watershed

Watershed	Describe
(a) Gumho-Upstream	Management source	Livestock: Cattle, Pig, Land: Field, Paddy
	Management timing	Apr. ~ Aug.
	Applicable management technic	Livestock wetlands, Constructed wetlands, Infiltration trench, Infiltration gutter, Livestock treatment facility
(b) Gumho-Downstream	Management source	Land: Site
	Management timing	Apr. ~ Aug.
	Applicable management technic	Washland, Infiltration trench, Infiltration gutter, Infiltration pavement
(c) Cheongtongcheon	Management source	Livestock: Cattle, Pig, Land: Field, Paddy, Site
	Management timing	Mar. ~ Aug.
	Applicable management technic	Livestock wetlands, Infiltration trench Infiltration pavement, Infiltration gutter
(d) Omokcheon	Management source	Livestock: Cattle, Pig, Land: Field, Paddy, Site
	Management timing	Mar. ~ Aug.
	Applicable management technic	Livestock wetlands, Infiltration trench Infiltration pavement, Infiltration gutter
(e) Sinryungcheon	Management source	Livestock: Cattle, Pig, Land: Field, Paddy, Site
	Management timing	Mar. ~ Aug.
	Applicable management technic	Livestock wetlands, Infiltration trench, Livestock treatment facility, Washland, Infiltration pavement
(f) Bukancheon	Management source	Livestock: Cattle, Pig, Land: Field, Paddy, Site
	Management timing	Mar. ~ Aug.
	Applicable management technic	Livestock wetlands, Constructed wetlands, Infiltration trench, Livestock treatment facility, Washland, Infiltration pavement

4. 결 론

본 연구에서는 소유역별 비점오염원 관리 방안 수립을 위한 방법으로, 장기 모니터링 자료를 활용한 침투수질농도(Peak concentration)를 산정하고, 해당 농도를 기준으로 유출 관련 다양한 평가 인자와의 비교 분석을 통해 대상 소유역별 비점오염원 관리 방안을 도출 하였으며, 그 결과는 아래와 같다.

- (1) 금호강 유역을 대상으로 통계적으로 유의한 3년간(2015~2017년) 113회 모니터링 결과를 이용하여 분석을 수행한 결과, 모니터링 지점의 선행건기일수는 지역별로 1.0 ~ 14.0일 범위이며 총강수량은 상류 88.7 mm, 지류 101.3 mm, 하류 103.1 mm로 조사되었다. 금호강유역에 대해 산정된, 침투수질농도는 BOD 기준, 상류 2.4 mg/L, 지류 3.2 mg/L, 하류 3.3 mg/L, T-N기준 상류 2.6 mg/L, 지류 4.0 mg/L, 하류 3.5 mg/L, T-P기준으로 상류 0.1 mg/L, 지류 0.22 mg/L, 하류 0.18 mg/L로 조사되었다. 침투수질농도까지의 누적강수량은 BOD 기준, 상류 61.1 mm, 지류 71.5 mm, 하류 81.2 mm, T-N기준 상류 68.2 mm, 지류 85.6 mm, 하류 85.9 mm, T-P기준으로 상류 63.0 mm, 지류 74.6 mm, 하류 91.6 mm로 조사되었다. 침투수질농도까지의 유량가중 평균농도는 BOD 기준, 상류 2.2 mg/L, 지류 2.9 mg/L, 하류 3.0 mg/L, T-N기준 상류 2.4 mg/L, 지류 3.8 mg/L, 하류 3.3 mg/L, T-P기준으로 상류 0.09 mg/L, 지류 0.20 mg/L, 하류 0.16 mg/L로 조사되었다.
- (2) 오염물질항목별 평균 침투수질농도까지의 EMCs는 BOD는 3월, 4월, COD는 4월, SS는 4월, 8월, T-N은 4월, T-P는 8월에 가장 높은 값을 나타내었고, 모니터링 지점별 오염물질 평균 침투수질농도까지의 EMC는 금호강 본류의 경우 4 ~ 8월, 지류의 경우는 3 ~ 8월의 봄 ~ 여름사이로 높은 침투수질농도를 나타내는 것으로 조사되었다. 누적강수량계급에 따른 강우사상 분포비율은 누적강수량 150 mm이내일 때 강우사상 분포 비율이 80% 이상을 차지하는 것으로 분석되었다. 3개 지역의 강우자료는 모두 영천 기상대 관측소 자료를 이용하고 있으며, 150 mm이내에서 80% 이상의 분포율을 나타내므로 150 mm를 기준으로 비점오염 관리가 필요한 것으로 분석되었다.
- (3) 장기모니터링 자료를 활용하여 통계적 분석을 실시하고, 대상유역에 대한 오염원 조사 분석 결과를 활용하여 지천별 소유역 기준 비점오염원 관리방안을 제시하였다. 금호강 본류 유역의 경우 관리 시기는 4 ~ 8월고 분석되었으며, 금호강 상류유역은 축산계 오염 및 농업지역에서 강우 시 유출되는 비점오염 관리가 필요하며, 적용 가능 관리기술로 축산계 오염원을 제어하기

위한 축산습지, 침투도랑, 축산분뇨 공공처리시설 등을 제시하였다. 또한 유역 내 도로지역에서는 침투 측구 등을 설치하여 강우 시 유입되는 비점오염원을 관리할 수 있다. 금호강 하류유역의 주요 오염원은 주거지 및 도로에서의 도시지역 비점오염원이며, 관리 기술로는 저류지, 침투도랑, 침투 측구, 침투포장 등을 제시하였다.

- (4) 유역의 오염원 분포 특성에 따라 적용 될 수 있는 관리기술을 선정하여 제시하였다. 도시지역 및 주거 지역과 같이 불투수 토지피복비율이 높은 유역은 저류지 및 침투도랑 설치를 통해 하천으로 유입되는 강우유출수를 방지하거나, 침투 측구, 침투포장 등을 설치하여 강우 시 유입되는 비점오염원을 관리 할 수 있다. 또한 신시가지와 같이 계획에 의해 개발되는 유역에서는 LID 시설을 통한 비점오염원 관리가 추가 되어야 할 것으로 판단된다. 농업지역 및 축산계 비점 오염원에 대한 관리기술로는 축산습지를 설치하여 강우 시 오염원을 저류 할 수 있으며, 침투도랑 등을 설치하여 오염원이 하천으로 유입되는 것을 방지하는 것이 가능하다. 또한 축산분뇨를 처리하기 위한 공공 처리시설을 도입하여 방치되는 축산분뇨가 없도록 체계적인 관리가 필요하다.
- (5) 과거 오염원에 대한 정책적 관리 방향이 현재는 물순환 및 비점오염원에 대한 관리 방향으로 전환되고 있는 시점에서, 국내 특정 유역에 대한 비점오염원 부하량 및 오염도를 평가하기 위한 기초자료는 아직도 부족할 실정이다. 향후 조사대상유역을 다양하게 구분하여 비점오염원에 대한 장기적 모니터링이 추가적으로 수행되어야 할 것으로 사료되며, 이러한 기초연구자료를 활용할 수 있는 후속 연구도 수행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 낙동강수계 환경기초조사사업 연구비(과제번호: NIER-2018-05-01-004) 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Bedient, P.B., Lambert, J., and Springer, N.K. (1980) Stormwater Pollutant Load-runoff Relationship. *J. Water Pollution Control Federation*, Vol. 52, No. 9, pp. 2396-2402.
- Choi, Y.Y., Jung, S.Y., and Choi, J.W. (2011) Nonpoint Pollutants Sources Characteristics of Initial Surface Runoff on the Land Use Types. *Journal of Environmental Science International*, Vol. 20, No. 3, pp. 417-426.

- Committee for the Han River Water Management System (2016) *A Monitoring and Management Scheme for the Non-Point Sources*.
- Committee for the Nakdong River Water Management System (2016) *A Monitoring and Management Scheme for the Non-Point Sources*.
- Committee for the Nakdong River Water Management System (2017) *A Monitoring and Management Scheme for the Non-Point Sources*.
- Daegu Regional Environment Agency (2016) *A Study on the Influence of Nonpoint Source on the Gumho River Basin*.
- Jung, D.H., Shin, D.S., Rhew, D.H., and Jung, D.I. (2007) Stormwater Runoff Characteristics of Non-point Source Pollutants According to Landuse of Urban Area. *J. of Environ. Impact Assess.*, Vol. 16, No. 6, pp. 525-532.
- Kal, B.S., Park, J.B., Kwon, H.G., Im, T.H., and Lee, J.H. (2017) A Study in the Management of Non-point Source Using Peak Water Quality Concentration. *Journal of Wetlands Research*, Vol. 19, No. 3, pp. 287-295.
- NIER (National Institute of Environmental Research) (2016) *Customized Policy Support for Nonpoint Pollution Management and Water Circulation Improvement(I): Suwon, Doam Lake Nonpoint Source Pollution Management Policy Feedback and Establishment of Necessary Water Circulation Improvement Areas*.
- Novotny, V., and Olem, H. (1994) *Water Quality: Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Roh, S.D., Kim, J.H., Lee, D.G., Kim, S.J., Shon, B.Y., and Chun, Y.K. (2006) Characteristics of Pollutants Discharge from Hongseong Watershed During the Dry and Rainy Seasons. *Journal of Korean Society on Water Quality*, Vol. 22, No. 4, pp. 695-705.
- US. EPA. (1983) *Results of the Nationwide Urban Runoff Program*, Vol. 1. Final Report. Water Planning Division, U.S. EPA, Washington DC.
- US. EPA. (1991) *A Quick Reference Guide: Developing Nonpoint Source Load Allocations for TMDLs*.

Received	February 12, 2018
Revised	February 19, 2018
Accepted	March 6, 2018