

## 첨두수질농도를 이용한 비점오염원 관리방안 연구

갈병석·박재범<sup>†</sup>·권헌각\*·임태호\*·이지호\*\*

(주)다온솔루션

\*국립환경과학원 낙동강물환경연구소

\*\*서울과학기술대학교 건설시스템공학과

## A study on the Management of Non-point Source Using Peak Water Quality Concentration

Byungseok Kal·Jaebeom Park<sup>†</sup>·Heongak Kwon\*·Taehyo Im\*·Jiho Lee\*\*

Daon Solution co., Ltd.

\*Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

\*\*Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology

(Received : 17 July 2017, Revised: 28 July 2017, Accepted: 28 July 2017)

### 요약

본 연구에서는 금호강의 수질 및 유량 자료를 이용하여 첨두수질에 따른 강우유출 특성을 분석하고 모니터링 및 오염원별 관리 시기 등의 비점오염 관리 방향을 도출하였다. 첨두수질농도(Peak Water Quality Concentration)는 강우유출수내 수질이 가장 높은 농도로 비점오염 관리 기준농도로 극값(Extremal value)을 활용하는 개념이다. 이 방법을 이용하여 누적강수량(총강수량), 첨두수질농도, 첨두수질농도까지의 누적강수량, 첨두수질농도까지의 시간, 첨두수질농도까지의 EMC 등의 평가인자를 검토하였고 장기간에 걸친 실측자료를 이용하여 비점오염원 강우유출특성을 분석하였다. 분석 결과를 통해 비점오염원을 관리하기 위한 적정 모니터링 및 관리방안을 제시하였다.

핵심용어 : 관리방안, 비점오염원, 첨두수질농도

### Abstract

In this study, rainfall runoff characteristics according to peak concentration were analyzed using the water quality and flow data in the Geumho river, and the direction of nonpoint source management such as monitoring and management period by pollution source was derived. Peak Water Quality Concentration is the concept that utilizes the extreme value as the concentration of non-point pollution control standard with the highest water quality in the rainwater runoff. Using this method, the evaluation factors such as cumulative precipitation(total precipitation), peak water quality concentration, cumulative precipitation up to peak water quality concentration, time to peak water quality concentration, and EMC to peak water quality concentration were examined and long-Rainfall runoff characteristics of nonpoint sources were analyzed. The results of the analysis suggested proper monitoring and management method to manage nonpoint source.

Key words : management plan, non-point source, peak water quality concentration

## 1. 서론

비점오염원이란 도시 및 농업지역, 도로, 산지 등 불특정 지역에서 오염물질을 배출하는 배출원을 말한다. 일정한 지점에서 배출되는 점오염원과 달리 불특정 지점에서 배출되어 관리하기가 점오염원에 비해 어려운 오염원이다. 비점오염물질의 구분은 유역 및 지역의 토지이용 형태별로 강

우유출수의 유출 특성이 다양하게 나타나고 강우 시 지표면에 축적되어 있던 각종 오염물질들이 유출수에 씻겨 단시간 내에 수체로 유입되는 특성을 나타낸다. 이러한 특성으로 인해 해당 유출수가 유입되는 하천의 수질변화에 심각한 영향을 미치고 있다(Kwon et al., 2011).

비점오염물질은 시간에 따른 부하량 변동폭이 크며, 강우초기에 오염물질의 농도가 매우 높게 나타난다(Roh. et al., 2006, Bedient et al., 1980). 그렇기 때문에 초기 강우유출수 조사가 중요시된다. 기존의 강우시 비점오염원 특성에 대한 연구로서 Jung(2007)은 토지이용을 주거, 상업, 공업, 도로, 주차 지역으로 분류하고 선행무강우시간과

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
Daon Solution co., Ltd.  
E-mail: econural@gmail.com

강우 특성을 고려하여 유량기중 평균농도(EMC: Event Mean Concentration)개념을 통해 토지이용에 따른 유출특성상에 분석하였으나 분포도 및 비선형 상관 분석에만 연구되어진 것으로 사료된다. Lee et al.(2009)은 인공초지로부터 강우시 유출수와 함께 발생하는 비점오염원의 유출특성 및 상관성을 파악하였으며 강우초기에 오염물질 농도는 높게 측정되며 강우 지속시간에 따라 감소하는 것으로 분석하였다. Lee, HS.와 Lee, SH(2009)은 국내 중소 도시지역 강우유출수의 유출특성과 관련하여 강우시 발생하는 강우유출수의 비점오염원 유출경향과 MFF(mass first flush)를 이용하여 초기강우기준을 산정하는 연구를 수행하였다. Lee et al.(2007)은 강우유출수의 특성 및 초기강우에 의한 토양층 및 식생을 이용한 비점오염원의 처리방법에 EMC와 SMC를 이용하여 비점오염원의 오염사각량을 제시하였고, Choi et al.(2009)은 산림지역 중 활엽수림과 침엽수림 지역에서 발생하는 강우시 비점오염물질의 유출특성 분석하여 유량이 증가함에 따라 BOD도 증가하며, SS는 반대로 감소하는 특성이 있는 것으로 나타났으며, Shin et al.(2007)은 강우유출수의 유량기중평균농도 분석을 위하여 농지와 임야가 혼합되어 이루어진 산림지역에서 발생하는 강우유출수의 비점오염원 유출특성을 분석하여 유역면적, 강우량 및 강우강도와와의 상관관계를 분석하였다.

기존 연구에서는 강우시 유역에서 발생하는 토지이용별 강우유출수의 대표 특성을 유량기중평균농도(EMC, Event Mean Concentration)로 제시하였다. 하지만, EMC는 유량을 고려한 수질농도로 강우유출수의 대표 값의 의미를 가지지만 시간에 따른 강우유출특성(초기강우현상 또는 침투시 농도)을 반영하기 어려움이 있다. 즉, EMC는 유역으로부터 유출되는 부하량 산정 및 오염물질 기여율 산정 등에는 효과적이거나 강우 사상 전체에 대한 강우평균농도로 비점오염물질을 관리하고자 하는 경제적인 처리용량 산정 등에는 이용될 수 없다(Kim, 2005).

비점오염물질은 강우에 의해 유출되며 강우가 지속됨에 따라 희석현상에 의해 농도는 급격히 떨어지게 된다. 따라서, 강우가 시작된 이후 일정시간 이후에 유출되는 강우 유출수는 매우 농도가 낮아 깨끗하기 때문에 처리할 필요가 없다. 점오염원의 경우는 시간에 따른 오염물질의 농도가 거의 일정하기 때문에 유출되는 용량을 전체 처리할 필요가 있지만, 비점오염원의 경우는 강우 초기에 유출되는 고농도의 유출수만을 관리하는 것이 경제적이다(Kim, 2005).

따라서, 본 연구에서는 비점오염원 관리를 위한 새로운 기준으로 침투수질농도(Peak Concentration) 개념을 도입하였다. 침투수질농도는 강우유출수내 수질이 가장 높은 농도로 비점오염 관리 기준농도로 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.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구 대상 지점 및 모니터링 현황

본 연구 대상 지점은 금호강 유역 중에서도 하수처리장 및 우수관거 등의 영향을 비교적 적게 받는 금호강상류 유역을 대상으로 범위를 축소시켜 모니터링을 실시하였다(Fig. 1).

금호강 유역 내 수질오염총량관리 수질·유량측정망(이하 총량측정망)과 지류 수질·유량측정망의 조사결과를 토대로 하천 규모가 작거나 유량이 적어 모니터링이 어려운 일부 하천은 조사대상에서 제외하였으며 최종적으로 자호천, 신령천, 복안천, 청통천, 오목천을 중심으로 금호강상류 유역을 5개의 소권역으로 병합 및 재분할하여 3개 지점으로 구분하였다.

모니터링은 최근 2년간(2015~2016년) 89회 모니터링을 수행하였다. 무강우 시기에는 월별 1회 모니터링을 실시하였으며, 강우 시는 정해진 횟수 없이 예보에 따라 모니터링을 수행하였다. 조사 간격은 강우 시 현장 상황(강우량, 강우지속 시간 등)에 따라 샘플링 개수를 조정하였으며, 무강우 시에는 1~3회 조사를 실시하였다. 수질분석은 수온, 전기전도도, DO 및 pH 항목은 현장에서 샘플링 시 측정하였으며, BOD 등 수질 분석항목의 경우 '수질오염공정시험법'에 따라 분석을 수행하였다. 무강우 시 조사치는 하천의 기저유량 및 부하량으로 구분하고, 강우 시 측정된 조사치와의 차이를 통해 유역에서 하천으로 유입되어 유하되는 비점오염원 부하량을 산정하고자 하였다. 각각의 지점별 유량 측정은 도섭법으로 측정 하였으며, 강우량이 많아 유량이 증가 될 시 부자를 활용하여 측정 하였다.

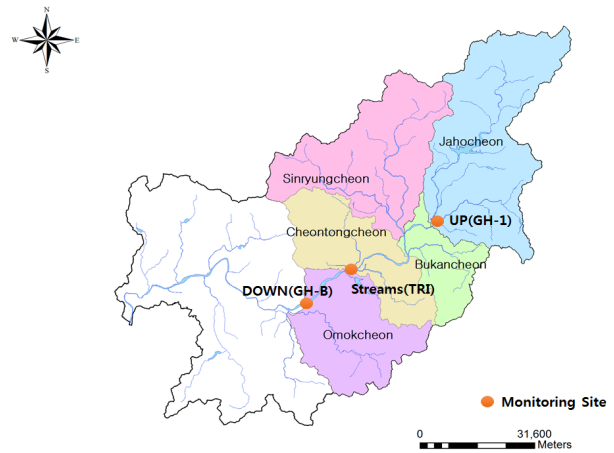


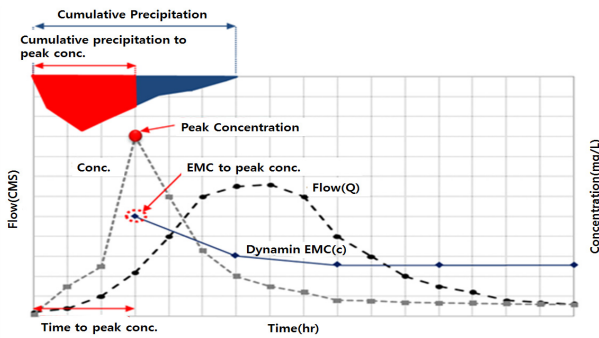
Fig. 1. Location of survey sites.

### 2.2 강우유출특성 평가인자

침투수질농도를 이용한 비점오염원 관리를 위한 평가인자로는 누적강수량(총강수량), 침투수질 농도, 침투수질농도까지의 누적강수량, 침투수질 농도까지의 시간, 침투수질농도까지의 EMC 등이 있다. 해당 평가인자의 정의는 다음 Table 1과 같으며 Fig. 2에 각 인자에 대한 설명을 수질과 유량곡선을 통해 설명하고 있다.

**Table 1.** Target river and number of data

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)



**Fig. 2.** Runoff characteristics factor.

**Table 2.** Statistical analysis result

Classification	Up(GH-1)				Streams(TRI)				Down(GH-B)				
	Min	Max	Avg	RMSE	Min	Max	Avg	RMSE	Min	Max	Avg	RMSE	
Parameter													
Antecedent time(day)	1.0	14.0	4.6	3.1	1.0	14.0	4.6	3.1	1.0	14.0	4.6	3.1	
Precipitation(mm)	7.0	275.6	106.8	77.5	7.0	338.2	123.2	94.5	7.0	338.2	125.2	95.8	
Duration of precipitation(hr)	0.6	45.3	13.7	9.9	0.6	45.3	14.6	9.9	0.6	45.3	15.3	10.6	
Peak flow(cms)	3.8	75.3	14.5	22.5	0.5	32.4	5.1	6.8	10.0	847.2	92.1	208.4	
Time to peak flow(hr)	1.9	20.5	10.9	6.0	0.0	36.7	14.1	9.9	0.8	37.0	17.0	10.2	
Peak Conc. (mg/L)	BOD	1.4	6.0	2.7	1.3	1.2	8.5	3.3	1.8	1.6	8.2	3.4	1.7
	COD	5.4	28.5	9.2	5.7	6.0	18.0	9.8	3.3	6.4	18.3	10.5	3.7
	SS	5.0	454.0	53.6	110.8	5.6	337.0	63.0	69.4	7.2	179.0	52.0	59.2
	T-N	1.2	4.7	2.8	1.1	1.3	13.7	4.3	2.1	1.5	7.6	3.8	1.8
	T-P	0.05	0.36	0.11	0.08	0.07	1.04	0.24	0.19	0.07	0.57	0.19	0.12
Cumulative precipitation to peak conc.(mm)	BOD	4.3	211.4	72.0	67.3	0.6	267.1	85.9	75.4	5.4	267.1	97.4	80.0
	COD	4.3	211.4	81.4	64.0	0.6	267.1	93.2	79.5	4.5	267.1	101.5	82.2
	SS	4.3	265.4	91.7	73.3	0.6	333.7	90.8	81.7	4.5	267.1	102.0	82.2
	T-N	0.3	274.7	81.2	87.2	0.6	333.7	103.5	88.4	5.1	267.1	103.4	77.9
	T-P	3.2	265.4	75.5	74.8	0.9	338.2	90.1	77.1	5.4	267.1	110.5	78.8
Time to peak conc. (hr)	BOD	1.6	20.4	9.1	5.6	0.0	30.2	11.3	8.0	2.3	27.0	11.7	7.4
	COD	3.0	25.7	11.5	6.7	0.0	28.7	12.8	7.8	0.8	27.6	15.5	8.7
	SS	3.6	31.7	13.6	7.8	0.0	30.5	10.7	6.7	0.8	33.4	15.1	9.0
	T-N	0.0	41.4	17.9	13.8	0.0	68.3	15.7	11.8	1.8	33.4	18.2	9.1
	T-P	0.1	31.7	14.7	10.6	0.3	35.5	12.5	7.9	4.8	33.4	18.2	7.9
EMC to Peak Conc. (mg/L)	BOD	1.3	6.0	2.5	1.3	1.0	8.2	3.0	1.7	1.4	8.2	3.2	1.7
	COD	5.3	25.8	8.4	5.0	5.9	17.2	9.5	3.1	6.4	14.7	9.7	2.8
	SS	4.9	328.4	39.7	80.1	4.1	337.0	55.5	64.1	6.2	154.1	39.8	42.8
	T-N	1.1	4.3	2.6	1.0	1.2	10.6	4.1	1.8	1.4	7.3	3.6	1.7
	T-P	0.05	0.30	0.10	0.06	0.07	1.03	0.22	0.18	0.07	0.53	0.18	0.12

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 통계분석 결과

해당 유역에 대하여 강우유출특성인자에 대하여 통계분석을 수행하였으며 분석결과는 아래 Table 2와 같다.

모니터링 지점의 분석결과, 선행건기일수는 지역별로 1.0~14.0일이며 총강수량은 상류 106.8mm, 지류 123.2mm, 하류 125.2mm로 조사되었다.

BOD기준으로 침투수질농도는 상류 2.7mg/L, 지류 3.3mg/L, 하류 3.4mg/L, 침투수질농도까지의 누적강수량은 상류 72.0mm, 지류 85.9mm, 하류 97.4mm, 침투수질농도까지의 시간은 상류 9.1hr, 지류 11.3hr, 하류 11.7hr, 침투수질농도까지의 유량가중평균농도는 상류 2.5mg/L, 지류 3.0mg/L, 하류 3.2mg/L로 조사되었다.

T-N기준으로 침투수질농도는 상류 2.8mg/L, 지류 4.3mg/L, 하류 3.8mg/L, 침투수질농도까지의 누적강수량은 상류 81.2mm, 지류 103.5mm, 하류 103.4mm, 침투수질농도까지의 시간은 상류 17.9hr, 지류 15.7hr, 하류 18.2hr, 침투수질농도까지의 유량가중평균농도는 상류 2.6mg/L, 지류 4.1mg/L, 하류 3.6mg/L로 조사되었다.

T-P기준으로 침투수질농도는 상류 0.11mg/L, 지류 0.24mg/L, 하류 0.19mg/L, 침투수질농도까지의 누적강수량은

상류 75.5mm, 지류 90.1mm, 하류 110.5mm, 침투수질농도까지의 시간은 상류 14.7hr, 지류 12.5hr, 하류 18.2hr, 침투수질농도까지의 유량가중평균농도는 상류 0.1mg/L, 지류 0.22mg/L, 하류 0.18mg/L로 조사되었다.

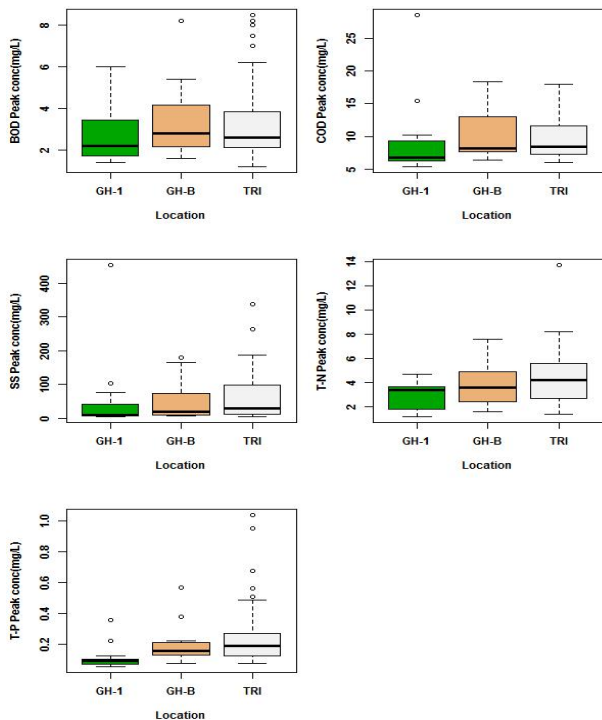
**3.2 침투수질 농도와 침투수질농도 EMC 비교**

침투수질 농도와 침투수질농도 EMC를 비교하였으며 분석결과는 아래 Table 3과 같다.

상류(GH-1) 지역의 오염물질 항목별 침투수질 농도는 SS 53.59mg/L, COD 9.19mg/L, BOD 2.65mg/L, T-N 2.84mg/L, T-P 0.11mg/L 순으로 분석되었다. 지류(TRI) 지역의 오염물질 항목별 침투수질 농도는 SS 62.99mg/L, COD 9.79mg/L, BOD 3.31mg/L, T-N 4.34mg/L, T-P 0.24mg/L

**Table 3. Peak Concentration & EMC to Peak Concentration (unit: mg/L)**

Pollutant	Site	Up (GH-1)	Streams (TRI)	Down (GH-B)
	Peak Conc.	BOD	2.65	3.31
COD		9.19	9.79	10.47
SS		53.59	62.99	51.98
T-N		2.84	4.34	3.77
T-P		0.11	0.24	0.19
EMC to Peak Conc.	BOD	2.47	3.03	3.16
	COD	8.43	9.47	9.66
	SS	39.68	55.51	39.76
	T-N	2.64	4.11	3.64
	T-P	0.1	0.22	0.18



**Fig. 3. Peak concentration comparison.**

순으로 분석되었다. 하류(GH-B) 지역의 오염물질 항목별 침투수질 농도는 SS 51.98mg/L, COD 10.47mg/L, T-N 3.77mg/L, BOD 3.37mg/L, T-P 0.19mg/L 순으로 분석되었다.

또한, 상류(GH-1) 지역의 오염물질 항목별 침투수질농도까지의 EMC는 SS 39.68mg/L, COD 8.43mg/L, T-N 2.64mg/L, BOD 2.47mg/L, T-P 0.10mg/L 순으로 분석되었다. 지류(TRI) 지역의 오염물질 항목별 침투수질농도까지의 EMC는 SS 55.51mg/L, COD 9.47mg/L, T-N 4.11mg/L, BOD 3.03mg/L, T-P 0.22mg/L 순으로 분석되었다. 하류(GH-B) 지역의 경우 오염물질 항목별 침투수질 농도는 SS 39.76mg/L, COD 9.66mg/L, T-N 3.64mg/L, BOD 3.16mg/L, T-P 0.18mg/L 순으로 분석되었다.

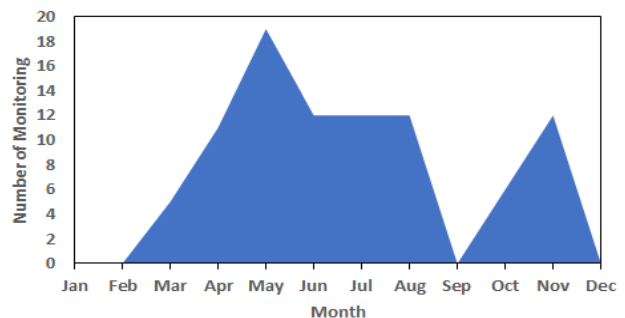
Fig. 3과 같이 지류 유역의 경우 침투농도와 침투수질농도까지의 EMC 모두 SS와 T-N항목에서 본류보다 높게 나타나고 있으며, 본류유역의 경우 BOD, COD항목에서 지류보다 높게 나타난다.

**3.3 모니터링 수행 시기 조사**

금호강 유역에 대한 모니터링 수행결과를 이용하여 모니터링 수행시기를 Table 4와 같이 조사하였다. 금호강 유역의 강우특성에 따라 모니터링은 3월에서 11월까지 수행되었으며, 전체 모니터링 횟수 중 5월(21%)에 가장 많이 수행되었으며 대부분 4~8월(75% 이상) 중에 수행되었다(Fig. 4).

**Table 4. Number of monitoring**

Month	Site	Up (GH-1)	Streams (TRI)	Down (GH-B)	Sum
Jan		0	0	0	0
Feb		0	0	0	0
Mar		1	1	3	5
Apr		1	2	8	11
May		4	3	12	19
Jun		2	2	8	12
Jul		2	2	8	12
Aug		2	2	8	12
Sep		0	0	0	0
Oct		1	1	4	6
Nov		2	2	8	12
Dec		0	0	0	0
Sum		15	15	59	89



**Fig. 4. Monthly number of monitoring.**

### 3.4 비점오염원 적정 관리시기 검토

오염물질항목별 평균 침투수질농도까지의 월별 EMC를 Fig. 5에 도시하였다. 오염물질항목별 평균 침투수질농도까지의 EMC는 BOD는 4월, COD는 4월, SS는 4월, 8월, T-N은 4월, T-P는 8월에 가장 높은 값을 나타내고 있다. 또한, 평균 침투수질농도까지의 월별 EMC를 Fig. 6에 도시하였다. 지점별 모니터링 지점별 오염물질 평균 침투수질농도까지의 EMC는 금호강 본류의 경우 4~8월, 지류의 경우는 3~8월의 봄~여름 사이로 높은 침투수질 농도를 나타내고 있다. 따라서, 금호강 유역의 경우 4~8월이 비점오염 관리를 위한 적정 시기이다.

### 3.5 비점오염원 관리를 위한 적정 모니터링 방안 수립

금호강 유역의 비점오염원 관리 적정시기로 분석된 3~8월을 기준으로 선행무강우일수와 침투수질 농도 및 침투수

질농도까지의 누적강우량의 관계를 이용하여 비점오염물질 관리를 위한 적정 모니터링 방안을 검토하였다. 지점별 침투수질농도까지의 선행무강우일수를 아래 Table 5에 정리하였다. 분석결과, 선행무강우일수는 4.6일로 분석되었으며 오염물질 항목별 침투수질농도까지의 누적강우량은 평균 89~105mm로 조사 되었다.

침투수질농도까지의 모니터링 수행기간을 Table 6에 정리하였다. 모니터링 수행기간 분석결과, 지점별 평균 모니터링 수행기간은 상류(GH-1)와 지류(TRI)는 1.3일, 하류(GH-B)는 1.4일로 지점별 침투수질농도까지의 시간은 상류 13.4hr, 지류 12.6hr, 하류 15.7hr으로 조사되었다.

따라서, 금호강 유역의 경우 3~8월 선행건기일수 4일 이상 누적강수량 89mm 이상의 강우사상을 대상으로 최소 12~16시간이상 2일 이내 강우유출수를 조사하는 것이 타당한 것으로 분석되었다.

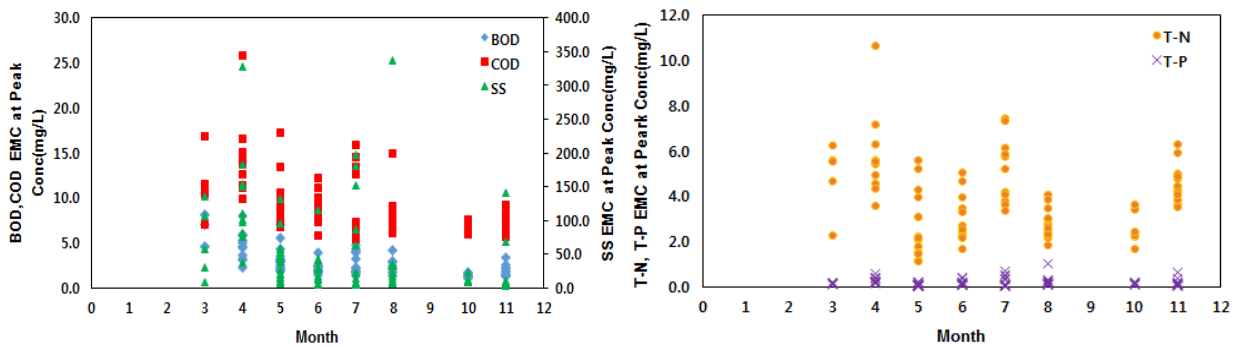


Fig. 5. EMC change to average peak conc. by source.

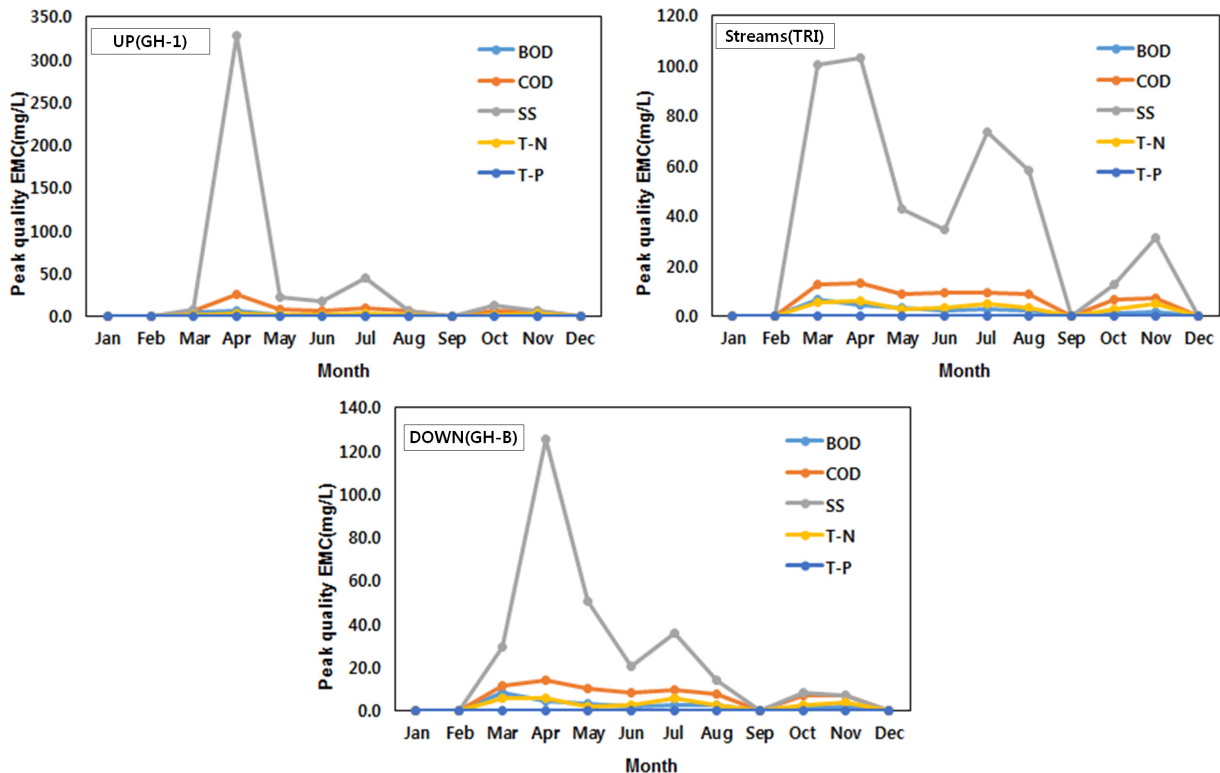


Fig. 6. EMC change to average peak conc. by sites.

**Table 5.** Analysis of Antecedent day and Peak conc.

Site	Up (GH-1)	Streams (TRI)	Down (GH-B)	Avg.
Antecedent time(day)	4.6	4.6	4.6	4.6
BOD(mg/L)	2.7	3.4	3.3	3.1
COD(mg/L)	9.2	10.5	9.8	9.8
SS(mg/L)	53.6	52	63	56.2
T-N(mg/L)	2.8	3.8	4.3	3.6
T-P(mg/L)	0.11	0.19	0.24	0.18

**Table 6.** Analysis of time to peak conc.(unit: hr)

Site	UP (GH-1)	Streams (TRI)	Down (GH-B)
BOD	9.1	11.3	11.7
COD	11.5	12.8	15.5
SS	13.6	10.7	15.1
T-N	17.9	15.7	18.2
T-P	14.7	12.5	18.2
Average	13.4	12.6	15.7

**3.6 누적강수량에 따른 강우유출특성 분석**

고농도 비점오염물질이 총 누적강수량의 어떤 시점에서 유출되는지 파악하고자 모니터링 지점의 오염물질 항목별 총강수량대비 침투수질농도까지 누적강수량의 비율을 분석하였다. 아래 Fig. 7에 지점별 평균 총강수량 대비 침투수질 농도 유발강수량 비율을 나타내고 있다. 모니터링 지점의 평균 총강수량 대비 침투수질농도 유발강수량 비율은 상류(GH-1) 75.7%, 지류(TRI) 75.1%, 하류(GH-B) 84.2%로 강우중기이상 관리가 필요한 것으로 분석되었다.

**3.7 누적강수량계급에 따른 강우유출특성 분석**

모니터링 지점의 누적강수량계급에 따른 강우사상 분포 비율을 분석하였다. 산정결과(Table 7) 누적강수량 150mm 이내일 때 강우사상 분포 비율이 90%이상을 차지하는 것으로 분석되었다. 3개 지역의 강우자료는 모두 영천 기상대 관측소 자료를 이용하였으므로 강우사상 분포의 비율이 동일하며, 150mm이내 90%이상의 분포율을 나타내므로

150mm를 기준으로 비점오염 관리가 필요한 것으로 분석되었다.

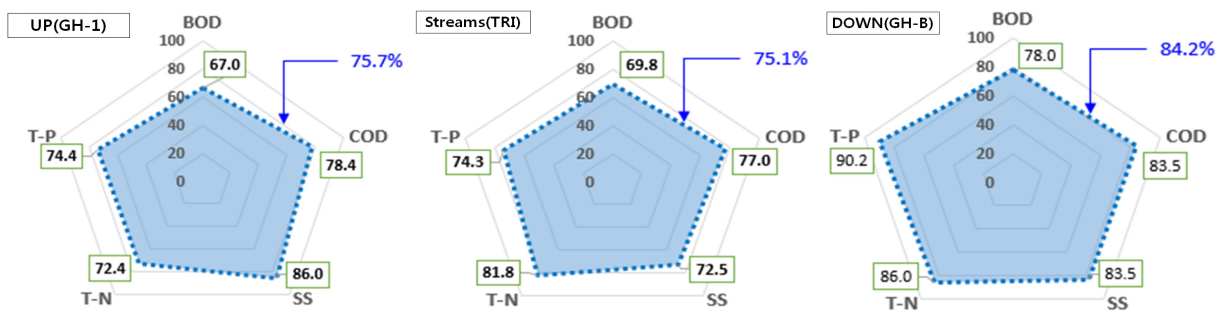
누적강수량 계급에 따른 지점별 침투수질농도를 분석하였다. 상류(GH-1) 지역 산정 결과(Table 8) BOD, COD, SS의 경우 누적강수량 150~200mm, T-N, T-P의 경우 250~300mm일 때 최대 침투수질 농도를 나타내고 있다. 오염물질 항목별 침투수질 농도는 SS 454.0mg/L, COD 25.5mg/L, BOD 6.0mg/L, T-N 4.69mg/L, T-P 0.356mg/L 순으로 분석되었다.

지천(TRI) 분석결과(Table 9) BOD, T-N의 경우 누적강수량 150~200mm, COD, SS, T-P의 경우 250~300mm 일 때 최대 침투수질 농도를 나타내고 있다. 오염물질 항목별 침투수질 농도는 SS 211.0mg/L, COD 16.13mg/L, BOD 6.05mg/L, T-N 7.94mg/L, T-P 0.647mg/L 순으로 분석되었다.

하류(GH-B) 지역 분석결과(Table 10)의 경우 BOD, COD의 경우 누적강수량 150~200mm, T-N, T-P의 경우 250~300mm, SS의 경우 300~350mm일 때 최대 침투수질 농도를 나타내고 있다. 오염물질 항목별 침투수질 농도는 SS 166.0mg/L, COD 15.6mg/L, T-N 7.58mg/L, BOD 5.4mg/L, T-P 0.567mg/L 순으로 분석되었다.

**Table 7.** Accumulated rainfall distribution ratio

Total Rainfall (mm)	Distribution rate(%)		
	Up(GH-1)	Streams(TRI)	Down(GH-B)
<50	27	27	27
50~100	20	13	12
100~150	33	33	36
150~200	7	7	7
200~250	7	7	7
250~300	7	7	5
300~350	0	7	7
350~400	0	0	0
400~450	0	0	0
450~500	0	0	0
500~550	0	0	0
550~600	0	0	0



**Fig. 7.** The ratio of cumulative precipitation to peak conc. relative to total precipitation

**Table 8.** Peak conc. according to cumulative precipitation in Up(GH-1)

Total Rainfall(mm)	Peak Conc.(mg/L)				
	BOD	COD	SS	T-N	T-P
<50	3.45	9.28	43.40	2.12	0.095
50~100	2.10	6.80	10.60	2.80	0.071
100~150	1.66	6.04	6.60	3.05	0.076
150~200	6.00	28.50	454.00	3.62	0.219
200~250	1.70	6.30	7.40	2.21	0.103
250~300	3.70	15.40	104.00	4.69	0.356
300~350	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
350~400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
400~450	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
450~500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
500~550	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
550~600	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000

**Table 9.** Peak conc. according to cumulative precipitation in Streams(TRI)

Total Rainfall(mm)	Peak Conc.(mg/L)				
	BOD	COD	SS	T-N	T-P
<50	4.41	11.05	76.78	3.29	0.203
50~100	1.93	7.14	15.46	3.82	0.142
100~150	2.34	7.87	37.93	4.32	0.228
150~200	6.05	15.08	129.75	7.94	0.416
200~250	2.30	7.63	14.75	2.97	0.190
250~300	4.67	16.13	211.00	7.09	0.647
300~350	3.63	11.60	93.15	5.18	0.211
350~400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
400~450	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
450~500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
500~550	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
550~600	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000

**Table 10.** Peak conc. according to cumulative precipitation in Down(GH-B)

Total Rainfall(mm)	Peak Conc.(mg/L)				
	BOD	COD	SS	T-N	T-P
<50	4.83	13.33	79.48	3.10	0.162
50~100	2.05	7.35	9.90	3.21	0.107
100~150	2.30	7.52	11.32	3.34	0.133
150~200	5.40	15.60	141.00	5.55	0.375
200~250	2.10	7.70	10.40	2.39	0.162
250~300	4.50	13.00	68.00	7.58	0.567
300~350	3.60	15.20	166.00	5.52	0.214
350~400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
400~450	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
450~500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
500~550	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
550~600	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000

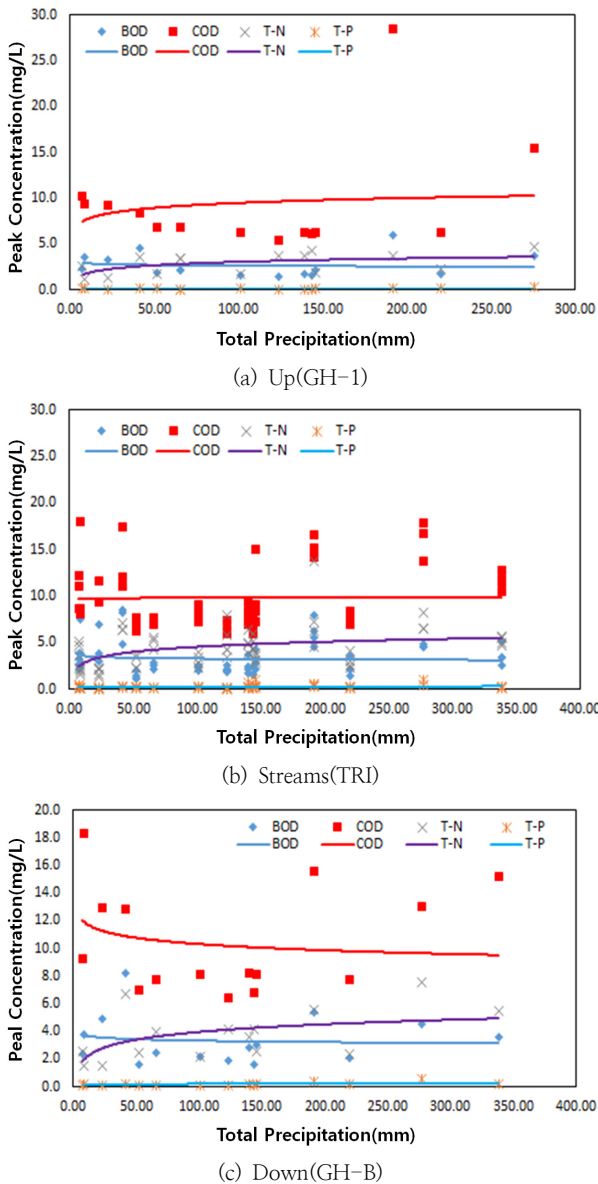


Fig. 8. Cumulative precipitation to Peak Concentration.

### 4. 결 론

본 연구에서는 낙동강수계에서의 수질 및 유량 자료를 이용하여 침투수질에 따른 강우유출 특성을 분석하고 모니터링 및 오염원별 관리 시기 등의 비점오염 관리 방향을 도출하였다. 낙동강수계 금호강유역에서 총 89회 모니터링이 수행되었으며 모니터링 시기 분석 결과, 대부분 모니터링은 3~8월 수행되었으며 선행무강우일수는 평균 4.6일로 분석되었고 오염물질별 침투수질농도까지의 누적강우량은 평균 89~105mm, 침투수질농도까지의 시간은 평균 12.6~15.7hr으로 조사되었다. 따라서, 해당 유역의 경우 3~8월 선행건기일수 4일 이상 누적강우량 89mm 이상의 강우사상을 대상으로 최소 12~16시간이상 2일 이내 강우유출수를 조사하는 것이 타당한 것으로 분석되었다.

오염원별 적정 관리시기를 검토한 결과, 오염원별 평균

침투수질농도까지의 EMC는 BOD와 COD, T-N은 4월, SS는 4월과 8월, T-P는 8월에 가장 높은 값을 나타내고 있다. 금호강 유역의 경우 오염원 관리는 4~8월이 적정 시기로 분석되었다. 따라서, 강우유출분석 결과를 통해 비점오염원을 관리하기 위한 적정 모니터링 및 오염원별 시기가 필요함을 확인하였다.

본 연구는 장기간에 걸친 실측자료를 이용하여 비점오염원 강우유출특성을 분석하였고 각 모니터링 자료 및 오염원 특성을 고려하여 모니터링 및 오염원 관리시기를 분석하였다. 본 연구결과를 통해 향후 비점오염 관리 정책 및 수계오염총량관리제도에 유용한 정보를 제공할 것이라 기대된다.

### 사 사

본 연구는 낙동강수계관리위원회에서 시행한 “비점오염원 종합 모니터링 및 관리방안 연구”의 결과입니다.

### References

Bedient, PB, Lambert, J, Springer, NK(1980) *Stormwater pollutant load-runoff relationship, J. WPCF*, 52(9), pp. 2396-2402.

Choi, JY, Lee, SY, Kim, LH(2009), Wash-off characteristics of NPS pollutants from forest landuse. *Kosham*, 9(4), pp.129-134.[Korean Literature]

Jung.(2007) Stormwater runoff characteristics of non-point source pollutants according to landuse of urban area, *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 16(6), pp. 525-532[Korean Literature]

Kim, LH, Lim, KH, Kim, KD, Lee, BS(2005). Dynamic emcs and optimum treatment criteria for stormwater runoff of a railway station, *J. of the Korean Society for Railway*, 8(4), pp. 308-313.[Korean Literature]

Kwon, HG, Lee, JW, Yi, YJ, Yoon, YS, Lee, CS and Lee, JK(2011). The applicability for estimating MFFn by SWMM in the trunk road, *J. of Korean Society on Water Quality*, 27(5), pp. 605-616.[Korean Literature]

Lee, JY, Marla C. Maniquiz, Choi, JY, Lee, JW, Kim, LH(2009). Washoff characteristics of NPS pollutants from artificial grassland. *J. of wetlands research*, 11(3), pp. 145-151. [Korean Literature]

Lee, HS, Lee SH.(2009). Runoff characteristics of stormwater in small city urban area, *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, 31(3), pp. 193-202.[Korean Literature]

Lee, JS, Jo, WS, Heo, JS, Im, JH(2007), A study on performance evaluation by estimation of EMC and SMC in non-point sources treatment system, *Environmental Societies Joint Conference*, pp. 1975-1979.[Korean Literature]



Roh, SD, Kim, JH, Lee, DG, Kim, SJ, Shon, BY, and Chun, YK(2006) Characteristics of pollutants discharge from Hoengseong watershed during the dry and rainy seasons, *J. of Korean Society on Water Quality*, 22(4), pp. 525-533.[Korean Literature]

Shin, YC, Shin, MH, Kim, WG, Heo, SG, Im, KJ, Kim, KS, Choi, JD(2007), EMC(Event Mean Concentration) analysis of rainfall runoff, *Water Resource societies joint conference*, pp. 921-955.[Korean Literature]