

## 경안천 유역 농촌지역의 비점오염원 배출 특성에 관한 연구

이병수 · 정용준\* · 박무종\*\* · 길경익†

서울산업대학교 토목공학과

\*부산가톨릭대학교 환경공학과

\*\*한서대학교 토목공학과

### A Study on the Discharge Characteristics of Non-point Pollutant Source in the Agricultural Area of the Kyongan Watershed

Lee, Byung-Soo · Jung, Yong-jun\* · Park, Moo Jong\*\* · Gil, Kyung-Ik†

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Technology

\*Department of Environmental Engineering, Catholic University of Pusan

\*\*Department of Civil Engineering, Hanseo University

(Received 27 November 2007, Accepted 5 February 2008)

#### Abstract

A field monitoring was conducted in order to find out the discharge characteristics of non-point source pollutants in the agricultural area. Event Mean Concentration (EMC) of TSS, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, TP, TN was calculated based on the monitoring data of 10 rainfall events at agricultural watersheds. A significant relationship was observed from the correlation between EMCs and rainfall characteristics. The result shows that EMC ranges of 95% confidence intervals were 50.5~203 mg/L for TSS, 0.8~14.2 mg/L for BOD<sub>5</sub>, 4.2~20.7 mg/L for COD<sub>Mn</sub>, 2.4~4.5 mg/L for TN and 0.2~0.5 mg/L for TP, respectively. The correlation coefficients between TSS and TP and between BOD<sub>5</sub> and COD<sub>Mn</sub> were found to be 0.912 and 0.961. But TN was lower correlated with other EMC factors. It was also found that rainfall characteristics was not correlated with EMCs.

**keywords** : Discharge characteristic, Event mean concentration (EMC), Kyongan watershed, Non-point source (NPS), Rainfall characteristics

## 1. 서론

우리나라는 현재까지 하천의 수질관리 정책에 있어 생활 하수 및 공장폐수와 같은 일정한 배출경로를 가지는 점오염원의 처리 확보에 중점을 두어 왔으며, 주요 산업도시를 중심으로 점오염원의 처리에 상당한 진전이 있었다. 그러나 이러한 점오염원 중심의 수질관리로는 하천 및 호소의 수질개선에 한계가 있음을 인식하게 되어 비점오염원에 대한 관심이 높아지고 있다(환경부, 2001).

2000년 12월 환경부에서 마련한 『비점오염원 관리요령』을 보면 비점오염물질은 농지에 살포된 비료 및 농약, 대기오염물질의 강하물, 지표상 퇴적오염물질, 합류식 하수관거, 월류수내 오염물질 등으로 주로 강우시 강우유출수와 함께 유출되는 오염물질을 말하며, 이러한 비점오염물질을 발생시키는 곳을 비점오염원이라고 정의하고 있다(김성수 등, 2002). 이러한 문제에 대한 대안으로 수변구역이 확보된 지역에 한하여 식생여과대, 식생수로, 습지 등과 같은 자연형 시설을 적용할 경우 하천의 부영양화를 유발시키는

인과 질소 등을 경제적으로 제거할 수 있다. 또한 이와 같은 자연형 시설은 유지관리비가 적게 든다는 장점과 오염물질의 제거가 효과적으로 이루어지기 때문에 이와 관련된 연구는 국내·외에서 활발히 진행되고 있다(김성원 등, 2006; 정용준과 임기성, 2006; 환경부, 2004; Abu-zreig et al., 2003; Dillaha et al., 1989).

비점오염원은 각 지역의 지형, 수리 수문 조건 및 토지이용현황, 강우특성 등 다양한 요인에 따라 배출특성이 매우 다양하여 대상지역에 대한 개별적인 연구가 필요하다(경기도보건환경연구원, 2001; 김성수 등, 2002).

본 연구에서는 한강수계에 직접적인 영향을 주는 경안천 유역을 대상으로 강우유출수 측정성과를 이용하여 발생량의 특성을 통계적으로 파악하고 강우유출수의 농도와 부하량에 영향을 미치는 인자에 대해 연구하였다. 또한 유량과 중평균농도(Event Mean Concentration, EMC) 값을 산정하고 그에 대한 배출경로를 파악함으로써 향후 비점오염부하 저감을 위한 유역관리 및 소유역별 비점오염원 저감시설의 설계에 있어 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 조사유역의 토지이용 현황

† To whom correspondence should be addressed.  
kgil@snut.ac.kr

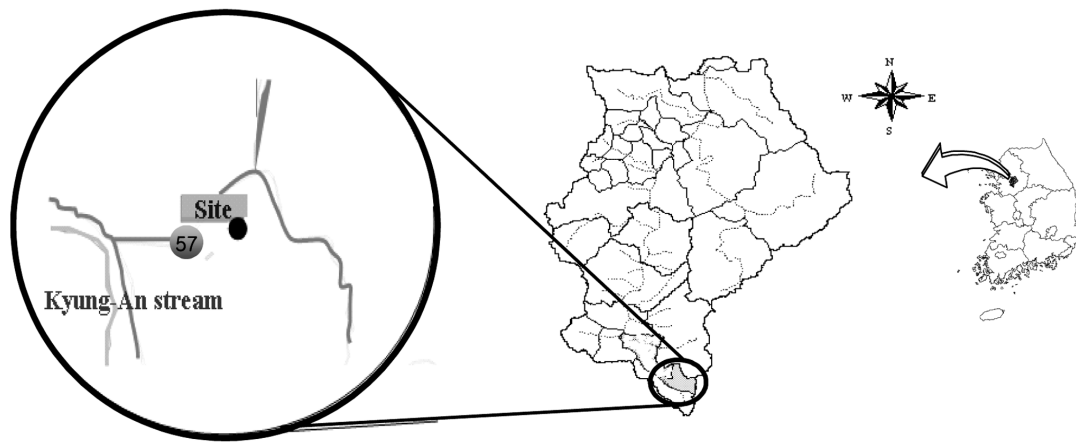


Fig. 1. Location of the study area.

Table 1. Characteristics of this study watershed

Watershed	Area (m <sup>2</sup> )	Land use (%)		
		Paddy field	Crop field	Mountainous
Haegok-dong Yonginsi	25,300	900 m <sup>2</sup> (3.6)	6,600 m <sup>2</sup> (26.0)	17,800 m <sup>2</sup> (70.4)

본 연구의 대상지점은 경기도 용인시 해곡동에 위치하고 있으며 조사기간은 2006년 5월부터 2007년 9월까지의 조사 결과를 이용하여 분석하였다. Fig. 1은 대상유역의 지점을 나타낸 것이며, Table 1은 배수유역의 면적을 나타낸 것으로 산지 및 논·밭의 점유율은 70.4%, 3.6%, 26.0%로 각각 구성되어 있다.

대상 유역의 유출수는 대부분이 농경지에서 발생되어지며, 비강우시에도 농업용수 및 지하수 등에 의하여 기저유출이 빈번히 발생함을 현장점검을 통해 알 수 있었다.

2.2. 시료채취 및 조사방법

수질분석을 위한 시료 채취는 강우량에 따라 농도곡선이 틀러지므로 지속적으로 탁도를 측정하여 농도변화에 따라 채수여부를 결정하였다. 대부분 침투 유량을 기점으로 20분 간격으로 측정 및 채수 하였으며, 강우가 소강상태를 보인 이후부터는 1시간 간격으로 채수하였다. 수질분석은 pH, TSS, Turbidity, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, DOC, T-N, TKN, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, T-P, PO<sub>4</sub><sup>-</sup> 이었고, 모든 항목은 Standard Methods(APHA, 1998)와 수질오염 공정시험법(환경부, 1998)에 의거하여 분석하였다.

본 연구에서는 강우시 비점오염물질 유출특성을 파악하기 위해 EMC를 산정하였으며 그 수학적 표현은 식 (1)과 같다.

$$EMC = \frac{\text{Discharged mass during an event}}{\text{Discharged volume}} \quad (1)$$

$$= \frac{\int_0^t C(t) \times Q_{TRu}(t) dt}{\int_0^t Q_{TRu}(t) dt}$$

여기서, C(t)는 시간에 따른 유출 오염물질의 농도를 말

하며 Q<sub>TRu</sub>(t)는 유역으로부터 강우로 인해 배출되는 유출수를 나타내고 있다(김이형과 강주현, 2004). 또한 EMC 산정을 위한 강우자료는 건설교통부에서 관할하는 운학초교(경기도 용인시 운학리)의 강우자료를 이용하였다.

통계처리는 SYSTAT version 9.0을 이용하였으며 인자간의 상관분석을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 강우사상 개요

Table 2는 경안천 상류인 용인 해곡동 강우 사상에 따른 모니터링 수행 결과이며, 발생일자(Event date), 강우 전 건기일수(Antecedent Dry Days, ADD), 전체 강우량(Total rainfall), 유출률(Runoff rate) 등이 정리되어 있다. 각 Event의 ADD는 1~45일의 범위, 총 강우량은 6.5~120 mm의 범위, 평균 강우강도는 0.70~8.98 mm/hr 범위, 유출률은 0.02~0.35의 범위로 각각 나타났다.

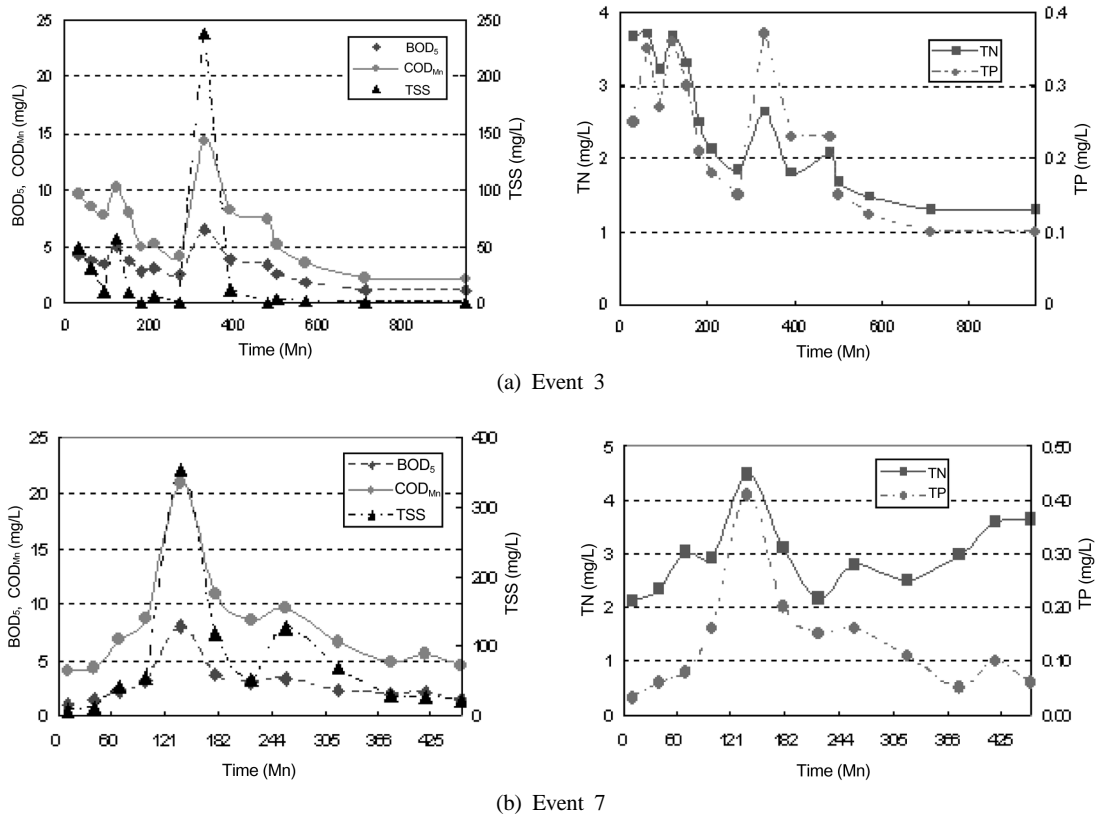
3.2. 대상유역의 비점오염원 배출부하 특성

농경지와 임야를 대상으로 강우사상에 따른 비점오염물질의 배출특성을 규명하기 위하여 10회에 걸쳐 수질 및 유출량 조사를 실시하였다.

Fig. 2는 강우사상에 따른 수질농도 그래프로서 Event 3과 Event 7 만을 나타낸 것이다. 시간에 따른 다양한 농도곡선을 보이는 가운데, 각각의 강우사상에 따라 수질항목들이 서로 유사한 경향을 나타내었다. 또한 Fig. 3은 누적오염부하량 비를 이용하여 비점오염 유출 특성을 나타낸 것으로 본 논문에서는 4개의 강우사상만을 나타내었다. 누적오염 부하량비를 표현하는 방법은 강우지속 시간에 따라 측정된 유출유량의 총유출 유량에 대한 분율을 x축으로 하고 해당 유출유량에 대한 오염부하의 총오염부하에 대한

**Table 2.** Event table for monitored event

Event No.	Storm event	ADD (days)	Precipitation (mm)	Runoff duration (hr)	Avg. rainfall intensity (mm/hr)	Runoff rate
E-1	2006/06/29	2	13.50	8.50	1.59	0.06
E-2	2006/08/17	18	6.50	4.30	1.51	0.22
E-3	2006/10/22	45	22.00	14.90	1.48	0.03
E-4	2006/11/06	13	7.00	3.28	2.13	0.02
E-5	2007/03/04	1	34.00	11.25	3.02	0.04
E-6	2007/05/17	3	60.50	10.75	5.63	0.02
E-7	2007/05/24	4	48.00	10.33	4.65	0.24
E-8	2007/06/27	3	10.20	14.66	0.70	0.07
E-9	2007/07/19	2	72.30	8.05	8.98	0.20
E-10	2007/09/14	7	120.00	18.00	6.67	0.35



**Fig. 2.** Variation of pollutant concentration according to rainfall event.

분율을 y축에 나타내어 유출오염 부하량의 증가비율이 유출유량의 증가비율보다 클 경우, 즉 기울기>1에서는 초기 세척 효과가 발생한 것을 의미하고, 기울기≤1인 경우는 초기세척 효과가 미미한 것으로 해석하였다(조용균 등, 2003; 진영훈과 박성진, 2006).

누적오염부하량 비를 이용한 결과 Event 2와 Event 8에서 기울기>1로 나타나 미미하지만 초기 세척현상(first flushing)을 보였다. 하지만 그 밖의 강우사상에서는 기울기 ≤1로 나타나 초기 세척현상은 나타나지 않았다. 이와 같은 결과로 미루어 볼 때 농촌지역의 경우는 초기 세척현상의 접근방법은 옳지 않으며, 김건하 등(2003)의 연구에서와 같이 유역특성, 강우특성, 유량특성 등의 인자에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

### 3.3. 강우 사상별 오염물질의 EMC 산정

전체 10회의 강우사상에 대하여 수행된 모니터링의 결과를 이용하여 오염물질에 대한 EMC를 산정하였으며, 그 결과가 Table 3에 나타나 있다.

유기물질에 대한 EMC를 살펴보면, BOD<sub>5</sub>는 2.69~33.25 mg/L, COD<sub>Mn</sub>는 4.71~44.63 mg/L의 범위를 나타냈으며, TSS는 20.96~329.66 mg/L의 분포를 보였다. Event 4의 경우는 EMC 값이 비교적 높게 나타났는데, 이는 동절기에 식생이 고사하여 식물에 의한 질소제거가 취약했기 때문으로 판단된다(함종화 등, 2005). 또한 Event 9에서 TSS 값이 다소 높게 나타났는데, 이는 배수유역 내의 제방공사로 인하여 토사유출이 증가한 것으로 생각된다.

영양염류에 대한 EMC를 살펴보면, TN은 2.19~6.89

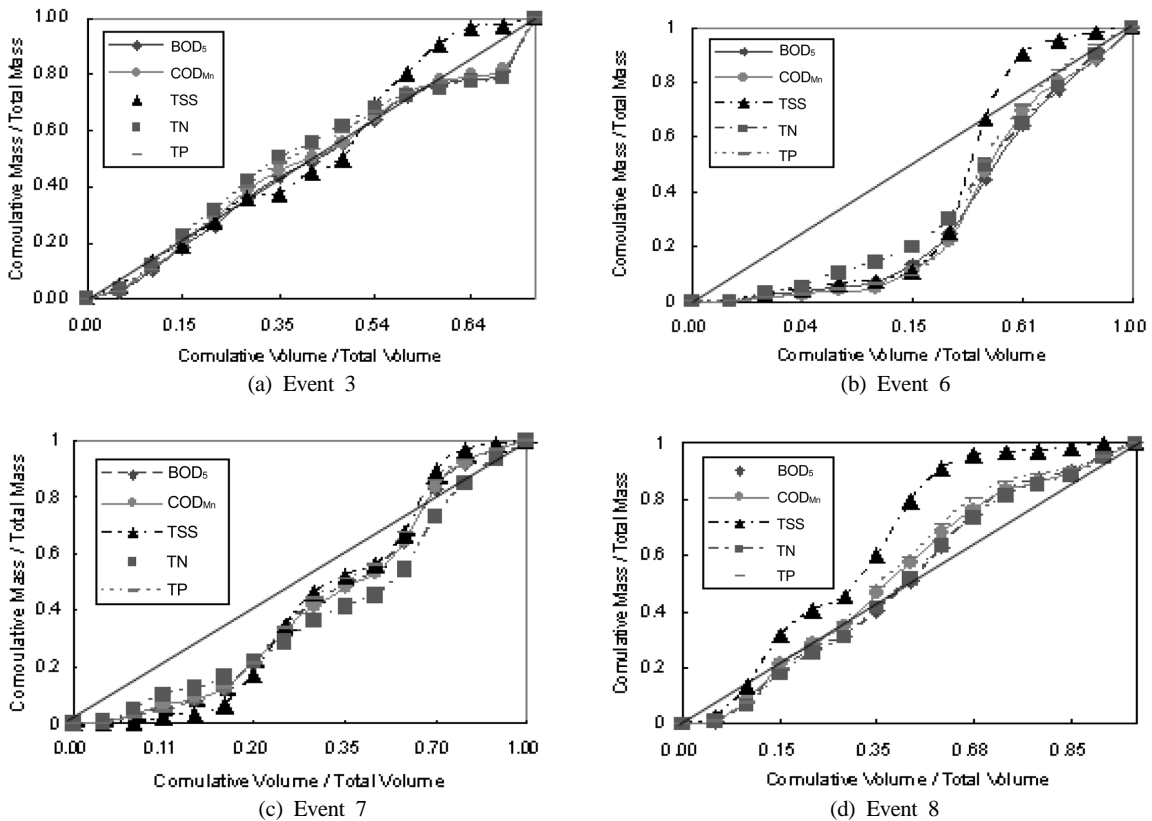


Fig. 3. Discharge characteristics of non-point pollutants.

Table 3. Descriptive statistics of EMC<sub>s</sub> of rainfall runoff from agricultural watersheds

Parameters (mg/L)	Basic statistics					Confidence interval	
	Min	Max	Median	Mean	St.Dev.	95% Upper	95% Lower
TSS	20.96	329.66	99.52	126.64	106.46	202.79	50.48
BOD <sub>5</sub>	2.69	33.25	4.15	7.49	9.32	14.16	0.82
COD <sub>Mn</sub>	4.71	44.63	8.75	12.45	11.52	20.69	4.21
TN	2.19	6.89	3.02	3.46	1.48	4.52	2.41
TP	0.14	0.81	0.22	0.35	0.25	0.52	0.17

mg/L, TP는 0.14~0.81 mg/L의 범위를 나타냈다. 영양염류 농도는 식생의 생장기보다는 비생장기에 다소 높게 나타났는데, 이는 비교적 강우량이 적은 동절기에 오염물질이 지표면에 축적되어 있다가 강우 발생시 고농도의 오염물질을 일시에 배출하기 때문이라 사료된다.

김건하 등(2003)의 우리나라 농지-임야유역으로부터의 강우유출수내 EMC 결과를 살펴보면 TSS의 경우 3~1,336 mg/L 범위, TN의 경우는 0.57~10.62 mg/L 범위, TP의 경우는 0.03~2.26 mg/L 범위로 각각 나타났다. 이 결과를 본 연구 결과와 비교해 보았을 때 TP와 TN은 유사한 농도 범위를 나타냈으며, TSS의 경우는 더 넓은 범위를 보였다. 이와 같이 EMC<sub>s</sub>가 비교적 넓은 범위를 나타내고 있는데 이는 한 종류의 토지이용에서조차 EMC를 예측함에 있어 쉽지 않음을 보여 주고 있다(김이형과 강주현, 2004).

강우유출수의 EMC에 대한 95% 신뢰구간을 살펴보면, TSS는 50.5~203.0 mg/L, BOD<sub>5</sub>는 0.8~14.2 mg/L, COD<sub>Mn</sub>는 4.2~20.7 mg/L, TN는 2.4~4.5 mg/L, TP는 0.2~0.5

mg/L의 범위로 각각 나타났다.

### 3.4 EMC<sub>s</sub> 및 강우유출수의 통계분석

강우유출수를 통계적으로 분석하여 EMC<sub>s</sub>에 영향을 미치는 강우의 특성에 대하여 분석하였다. 강우의 특성에는 강우 전 건기일수(ADD), 강우량(Rainfall), 평균 강우강도(Average rainfall intensity) 등이 있다(김건하와 권세혁, 2005). Table 4는 EMC<sub>s</sub>와 영향인자의 Pearson 상관계수를 나타낸 것이다. 먼저 강우 특성 인자와 오염물질별 EMC와의 상관성을 살펴 본 결과, 대부분의 오염물질별 EMC와 평균강우강도, 강우량(Rainfall), 건기일수(ADD) 간의 상관성을 거의 보이지 않았다. 이는 많은 강수량이 높은 오염물질을 배출시키지는 않는다는 것을 의미한다(김건하 등, 2005). 반면에 오염물질간의 상관성을 비교한 결과, TP와 TSS 그리고 BOD<sub>5</sub>와 COD<sub>Mn</sub> 간의 상관성이 매우 높게 나타났으며, 그 이외의 오염물질 또한, 서로 밀접한 상관관계를 나타내었다. 단 TN은 비교적 낮은 상관성을 보였다.

**Table 4.** Correlation analysis result EMC<sub>S</sub> and rainfall runoff variables

	TSS	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Mn</sub>	TN	TP	ADD <sup>1)</sup>	Rainfall	AVRAINTEN <sup>2)</sup>
TSS	1.000							
BOD	0.599	1.000						
COD	0.691	0.961	1.000					
TN	0.346	0.376	0.323	1.000				
TP	0.912	0.703	0.754	0.546	1.000			
ADD	-0.221	0.061	-0.047	-0.328	-0.100	1.000		
RAINFALL	0.086	-0.394	-0.244	-0.019	-0.151	-0.272	1.000	
8AVRAINTEN	0.432	-0.250	-0.058	0.187	0.235	-0.380	0.853	1.000

<sup>1)</sup> ADD : Antecedent Dry Day

<sup>2)</sup> AVRAINTEN : Average rainfall intensity

### 4. 결론

본 연구에서는 강우시 경안천유역의 비점오염물질 유출 특성에 대해 고찰하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 대상유역의 유출오염물질 특성을 살펴본 결과, BOD<sub>5</sub> EMC는 2.69~33.25 mg/L, COD<sub>Mn</sub>는 4.71~44.63 mg/L의 범위를 나타냈으며, TSS의 EMC는 20.96~329.66 mg/L의 범위를 보였다. 또한, TN은 2.19~6.89 mg/L, TP는 0.14~0.81 mg/L의 범위를 갖는 것으로 나타났다.
- 2) EMC의 95% 신뢰구간을 살펴보면, TSS는 50.5에서 203.0 mg/L, BOD<sub>5</sub>는 0.8에서 14.2 mg/L, COD<sub>Mn</sub>는 4.2에서 20.7 mg/L, TN는 2.4에서 4.5 mg/L, TP는 0.2에서 0.5 mg/L의 범위로 각각 나타났다.
- 3) 강우시 농촌지역에서 유출특성은 초기세척 현상의 접근 방법 보다는 유역특성, 강우특성, 유량특성 등의 인자에 대한 연구가 필요하다.
- 4) 강우 특성 인자와 오염물질별 EMC와의 상관성은 거의 나타나지 않았다. 오염물질간의 상관성을 비교한 결과에서는 TP와 TSS 그리고 BOD<sub>5</sub>와 COD<sub>Mn</sub> 간의 상관성이 비교적 높게 나타났으며, 그 이외의 오염물질은 서로 밀접한 관계를 나타내었다. 단, TN은 낮은 상관성을 보였다.

### 사 사

본 연구는 환경부 “2007년도 차세대 핵심환경기술개발사업(GIS 기반의 비점오염물질 발생량 예측 모델개발)”의 지원을 받아 수행되었습니다.

### 참고문헌

경기도보건환경연구원(2001). *비점오염원 관리방안*.  
 김건하, 권세혁(2005). 농지-임야 유역의 비점원 발생 BOD 부하의 추정. *한국물환경학회지*, **21**(6), pp. 617-623.  
 김건하, 김영철, 이동률, 정하영, 여중현(2003). 우리나라 농지-임야유역으로부터의 강우유출수 EMC 부하 분석 및 추정. *대한환경공학회지*, **25**(6), pp. 760-770.

김성수, 김중석, 방기연, 권은미, 정육진(2002). 경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위 조사. *대한환경공학회지*, **24**(11), pp. 2019-2027.  
 김성원, 손창선, 우효섭, 오종민(2006). 비점오염 부하 저감 과 수변구역의 효율적 조성을 위한 연구조사. *춘계학술 발표회논문집*, 한국물환경학회·대한상하수도학회, pp. 1015-1058.  
 김이형, 강주현(2004). 고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정. *한국물환경학회지*, **20**(6), pp. 631-641.  
 정용준, 임기성(2006). 한강 수계 비점오염원관리 시범시설 모니터링 및 유지관리 방안 II. *춘계학술발표회논문집*, 한국물환경학회·대한상하수도학회, pp. 1081-1084.  
 조용균, 서정미, 유명진, 한인섭(2003). 읍단위 지역 합류식 하수관 율류수의 유출특성. *학술발표회논문집*, 대한환경 공학회, pp. 522-524.  
 진영훈, 박성천(2006). 영산강 유역 도시지역의 비점오염원 배출특성에 관한 연구. *한국물환경학회지*, **22**(4), pp. 605-613.  
 함중화, 윤춘경, 김형철, 구원석, 신현범(2005). 식생피도가 인공습지의 질소 및 인 처리효율에 미치는 영향과 습지 식물의 조성 및 관리. *Korean J. Limnol.*, **38**(3), pp. 393-402.  
 환경부(1998). *수질오염공정시험법*.  
 환경부(2001). *비점오염원 관리요령*.  
 환경부(2004). *관계부처합동 [물관리 종합대책]의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책*.

Abu-Zreig, M., Rudra, R. P. and Whiteley, H. R. (2003). Surface Water Quality Phosphores Removal in Vegetated Filter Strips. *J. Environ. Qual.*, **32**, pp. 613-619.  
 APHA, AWWA and WEF (1998). *Standard Method for Examination of Water and Wastewater*, 20th edition, Washington D.C., U.S.A.  
 Dillaha, T. A., Reneau, R. B., Mostaghimi, S. and Lee, D. (1989). Vegetative Filter Strips for Agricultural Nonpoint Source Pollution Control. *American Society of Agricultural Engineers*, **32**(2), pp. 513-519.