

# 시험유역 운영을 통한 강우-유출수의 비점오염물질 유출특성 분석

이 주 현\* / 김 창 주\*\* / 박 민 재\*\*\* / 신 정 수\*\*\*\* / 장 호 원\*\*\*\*\*

## Assessment of the Wetland Soil Development of Constructed Wetlands using Soil Properties of a Reference Wetland

Joo Heon Lee\* / Chang Joo Kim\*\* / Min Jae Park\*\*\* / Jung Soo Shin\*\*\*\* / Ho Won Jang\*\*\*\*\*

**요약** : 대동천 유역은 2007년부터 UNESCO IHP(International Hydrologic Programme)의 대표시험 유역으로 선정되어 운영되고 있다. 대동천은 대전광역시에 위치하고 있으며 도시/방재 시험유역으로서의 모니터링 계획이 수립되어 강수량, 유출량 및 수질 등과 같은 수문 기초자료를 수집하여 제공하고 있다. 본 연구에서는 2011년도에 측정된 유량 및 수질관측 자료를 활용하여 도시하천 유역에서의 강우-유출수 비점오염물질에 대한 유출특성을 분석하였다. 시험유역 운영결과로서 판암교 지점과 철갑교 지점의 수위-유량관계곡선을 작성 하였으며, 강우량에 따른 비점오염원의 유출특성을 비교하기 위하여 10개의 수질항목에 대한 유량가중평균농도(EMC)를 산정하여, 강우량, 선행강우량 및 토지이용 상태에 따른 관측지점별 비점오염원의 유출특성에 대해 분석 하였다.

**핵심용어** : 시험유역, 유량가중평균농도(EMC), 도시하천, 비점오염원

**Abstract** : Dae Dong Stream basin has been selected and operated as a representative experimental basin of UNESCO IHP since year 2007. It is located at Daejeon Metropolitan city, Korea and hydrologic data such as precipitation, runoff, and water quality have been being collected and provided after establishing the monitoring plan as an experimental basin for city/disaster prevention. In this study, runoff characteristics for non-point sources of rainfall-runoff process from urban stream basins were analyzed using the flow and water quality data measured during the year 2011. As an operation result for the test subjected basin, rating curves at Panam Bridge and at Chulgap Bridge were prepared, and to compare runoff characteristics of non-point source by precipitation, by estimating the Event Mean Concentration(EMC) for 10 water quality items, runoff characteristics of non-point source per different observation points as per the precipitation, antecedent rainfall, and land utilization status were analyzed.

**Key words** : experimental basin, Event Mean Concentration(EMC), urban river, nonpoint source

### 1. 서 론

최근 들어 급격한 도시화의 진행으로 인하여 농촌지역이 도시지역으로 확대 및 개발되고 있으며 이로 인한 하천의 수질 오염원이 변화되고 있다. 하천을 오염시키는 오염원으로는 점오염원과

비점오염원으로 구분이 되며, 점오염원에 대한 수질오염 관리대책 및 방법이 많은 연구를 통해 개선이 되었지만, 비점오염원의 경우에는 아직까지도 관리 대책의 지속적인 개선이 필요한 실정이다. 특히, 도시화로 인한 불투수층의 급격한 증가로 인해 발생하는 비점오염원이 더욱 증가될 것

+ Corresponding author : leejh@joongbu.ac.kr  
\* 정희원 · 중부대학교 공과대학 토목공학과 교수  
\*\* 비희원 · 중부대학교 공과대학 토목공학과 수공학연구실 석사과정  
\*\*\* 비희원 · 중부대학교 공과대학 토목공학과 수공학연구실 석사과정  
\*\*\*\* 정희원 · 중부대학교 공과대학 토목공학과 수공학연구실 석사과정  
\*\*\*\*\* 정희원 · 중부대학교 공과대학 토목공학과 수공학연구실 석사과정

으로 예측되고 있으며, 도시하천의 경우에는 침투 유출 시간 및 홍수 도달 시간이 짧기 때문에 집중 호우시 도시하천에서의 비점오염물질 유출특성 분석과 관련된 연구가 절실한 실정이다(손현근 등, 2009, Becher et al. 2000, Charbeneau 와 Barrett 1998).

그동안 비점오염원의 유출특성 분석과 관련된 연구 동향을 보게 되면 도시지역과 농촌지역을 통합적으로 다룬 연구가 미비하며, 대부분 도시지역과 농촌지역을 분리하여 독립된 유역에 대한 연구가 이루어졌다. 기존의 연구동향으로는 여미미 등(2009)은 간척농지로부터 발생 되는 비점오염물질 유출특성을 분석하였으며, 농촌지역의 논에서 발생하는 비점오염 유출특성과 다르게 간척농지에서는 TSS, TN, TP의 비점오염 유출수준이 일반 임야지역 수준인 것으로 분석되었다. 이정용 등(2009)은 인공초지 지점으로부터 강우시 유출수와 함께 발생하는 비점오염물질의 유출특성 및 상관성을 파악하였으며 강우초기에 오염물질 농도는 높게 측정되며 강우 지속시간에 따라 감소하는 것으로 분석하였다.

또한, 손현근 등(2009)은 도시화로 발생하는 비점오염물질의 관리를 위해 토지이용별 비점오염원 저감시설의 적용성을 분석하여, 비점오염물질 관리를 위한 토지이용별 비저감시설의 오염물질별 제거형태를 파악하여 제시하였다. 이홍신과 이승환(2009)은 국내 중소 도시지역 강우유출수의 유출특성과 관련하여 강우시 발생하는 강우유출수의 비점오염원 유출경향과 MFF(mass first flush)를 이용하여 초기강우기준을 산정하는 연구에서 강우 초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 것으로 확인하였다. 이장수 등(2007)은 강우유출수의 특성 및 초기강우에 의한 토양층 및 식생을 이용한 비점오염원의 처리 방법에 EMC와 SMC를 이용하여 비점오염원의 오염삭감량을 제시하였고, 최지연 등(2009)은 산림지역중 활엽수림과 침엽수림 지역에서 발생하는 강우시 비점오염물질의 유출특성 분석하여 유량이 증가함에 따라 BOD도 증가하며, SS는 반대로 감소하는 특성이 있는 것으로 나타

났으며, 신용철 등(2007)은 강우유출수의 유량과 중평균농도 분석을 위하여 농지와 임야가 혼합되어 이루어진 산림유역에서 발생하는 강우유출수의 비점오염원 유출특성을 분석하여 유역면적, 강우량 및 강우강도와와의 상관관계를 분석하였다.

강우시 발생하는 비점오염원의 유출특성은 유역의 지형학적 특성 및 다양한 강우인자들의 영향을 받아 불확실성이 크게 나타나며 불확실성을 줄이기 위해 장기간 모니터링을 통한 기초자료를 확보해야한다(이소영 등, 2009). 따라서, 본 연구에서는 시험유역 운영을 위하여 대동천 유역내의 관암교 지점 및 철갑교 지점의 유량측정을 통한 수위-유량 관계곡선식을 작성하였으며, 선행강우량 및 토지이용도에 따른 비점오염물질 유출특성을 분석하고자 한다.

## 2. 시험유역 현황

### 2.1 대동천 시험유역

2007년부터 International Hydrological Program (IHP) 일환으로 도시/방재 시험유역으로 선정되어 향후 지속적으로 관리 운영될 대동천은 대전의 중심부에 위치하고 있으며 하도내의 저수로에 약간의 흐름이 형성되는 건천이다. 홍수기에 도 하도내의 홍수류가 강우의 진행상황에 따라서 급격한 상승과 하강을 반복하는 매우 짧은 도달시간을 갖고 있는 전형적인 작은 규모의 도시하천이다(국토해양부, 2010).

대동천 시험유역은 유역 면적이  $21.18km^2$ , 유로연장은  $9km$ , 유역평균폭은  $2.35m$ , 유역의 평균고도는  $123.05EL, m$ 로서 대전천, 유등천, 갑첩을 경유하여 금강 하구로부터  $141.9km$  상류지점인 금강 본류 좌안으로 유입된다(대동천 하천정비기본계획 1991). 유역의 전체면적의 80%가 도시화로 개발되어 있는 상태이며, 대동천 유역도는 Fig. 1과 같다.

대동천 유역내의 토지이용분류는 Fig. 2와 같이 1:25,000 축척의 정밀토양도를 이용하여 미국

토양보존국(U.S. Soil Conservation Service, SCS)에서 제시하는 4개의 수문학적 토양형(Type A, B, C, D)으로 분류하여 나타내었다. 토양의 전반적인 성질은 투수성이 높고 배수가 잘되는 Type A, B의 토양형이 약 93%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 토지이용도는 임야, 대지, 농경

지, 기타 등 크게 4가지로 분류하였으며 Fig.3에서 알 수 있듯이 유역의 중, 하류부 대부분이 도시 및 주거지로 구성되었고 관암교 상류지역은 임지 및 농지로 구성되었으며 철갑교 지역은 완벽한 도심지역임을 알 수 있다.

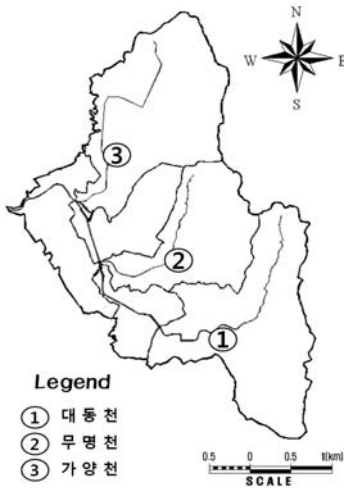


Fig. 1. Basin Map of Dae Dong Stream

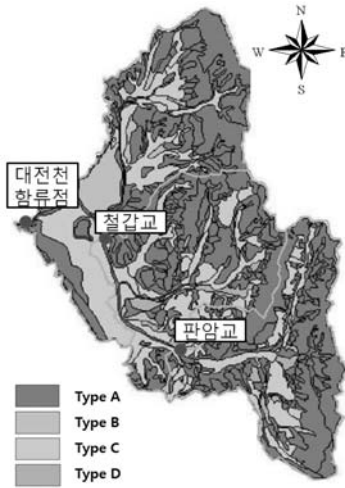


Fig. 2. Hydrologic Soil Group

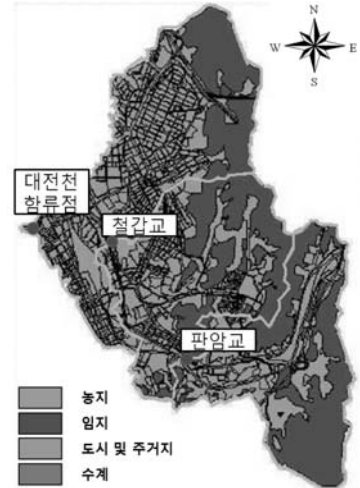


Fig. 3. Land Use Map

## 2.2 수문관측소 및 모니터링 지점

대동천 시험유역내의 수문관측시설로는 2개의 수위관측소와 1개의 우량관측소가 있으며 Table 1과 같이 상류부에 위치하는 관암교 지점의 경우 2008년 6월에 설치된 기포식 수위계가 있으며,

하류부에 위치하는 철갑교 지점에는 2008년 11월에 설치된 수위-우량 병설관측소가 있다. 관암교 지점 및 철갑교 지점 수위관측은 10분 단위로 측정되며, 철갑교 지점 수위는 금강홍수통제소 홈페이지와 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 실시간으로 확인할 수 있다.

Table 1. Locations of Precipitation and Water Level Gauging Stations

| Station   | Code    | Gauging     | Measurement Type        | Station                  | Longitude | Latitude | Starting date of Observation |
|-----------|---------|-------------|-------------------------|--------------------------|-----------|----------|------------------------------|
| Pan Am    | -       | Water level | Compact Bubble Sensor   | Pan Am, Dong-Gu, Daejeon | 127-27-07 | 36-19-05 | 2008-06-26                   |
| Cheol Gap | 3009645 | Water level | Radar level measurement | So Je, Dong-Gu, Daejeon  | 127-26-18 | 36-20-06 | 2008-11-30                   |
|           | -       | rainfall    | Flip Bucket             | So Je, Dong-Gu, Daejeon  | 127-26-18 | 36-20-06 | 2008-11-30                   |

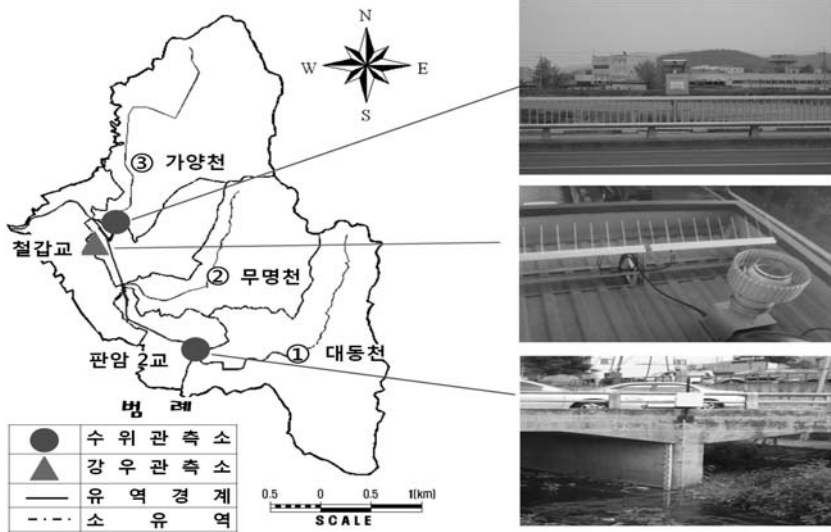


Fig. 4. Location of Precipitation and Water Level Gauging Stations

### 3. 수문 및 수질자료 모니터링

#### 3.1 유량측정

대동천 유역의 강우-유출특성을 분석하기 위해서는 유역내 2개 수위관측소의 수위-유량관계 곡선을 유도해야 한다. 이를 위하여 홍수기와 비홍수기에 대한 유량측정을 실시하였고 유량측정을 위해서 평수기에는 Valport 와 Price 유속계, 홍수기에는 부자법과 교량법을 이용하였다. 측정된 유속과 측정단면을 통한 유량계산을 위해서는 중간 단면법을 이용하였으며, 유속계에 의한 유량산정은 하천단면의 소구간 면적과 각구간의 유속에 대한 곱의 전체 합으로 산정한다.

$$Q = \sum_{i=1}^n (a_i \times n_i) \quad (1)$$

식(1)에서 Q는 전체유량, a는 각각의 소구간 면적, 그리고 n은 소구간 면적에 직각 방향의 유속이다. 평수기의 유량측정은 물의 흐름이 비교적 안정된 정상류 흐름상태에서 측정이 실시되며, 판암교 지점에서는 Valport 유속계, 철갑교 지점에서는

Price 유속계를 사용하였다.

#### 3.2 수질측정

유역에서 호우시 오염원의 유출특성을 파악하기 위해서는 산술평균농도 및 유량가중평균농도(Event Mean Concentration, EMC)를 사용하는 두 가지의 방법이 있다. 본 연구에서는 유량가중평균농도를 적용하여 도시하천의 비점오염원 유출특성을 분석하였으며, EMC란 유출수가 수체에 미치는 영향을 부하량 개념으로 나타낸 것이다.

산술평균농도는 비점오염물질의 평균농도 산정에는 간편히 산정할 수 있지만, 오염물질 농도만을 단순히 산정하는 경우에는 동일 수질항목에 대해서도 관측시간에 따라서 수십배의 농도차를 나타낼 수 있기에 정확한 부하량 산정에는 어려움이 있다. 따라서 강우시 비점오염원에서 발생하는 유출유량의 정확한 부하량 산정을 위해서 강우시 많은 모니터링 자료인 강우량, 유출율 등을 이용하여 유량가중평균농도를 산정해야한다.(Irish et al, 1998, Marsalek, J. 1978)

시험유역에는 유출량에 따른 비점오염원 영향을 파악하기 위해 부하량 개념의 유량가중평균농도를 제시하여 총 유출 부하량을 총 유출유량으로

나누어서 계산할 수 있으며 다음 식과 같다.

$$EMC = \frac{\text{총유출량중 총오염물질 중량}}{\text{총유출량}} \quad (2)$$

$$= \frac{\sum_{t=0}^T (Q_t \times C_t)}{\sum_{t=0}^T Q_t}$$

식 (2)에서,  $Q_t$ 는 관측시간 t에서의 유출량( $m^3/s$ ),  $C_t$ 는 관측시간 t에서의 오염물질 농도( $mg/L$ )이며, 단,  $C_t$ 의 개수는 10개 이상이어야 한다. 시료채취는 유량을 관측하는 동일한 지점에서 같은 시간에 실시하였다.

유량가중 평균농도(EMC)를 산출하기 위한 유량조사는 유출시점부터 유출 종료시까지 수질시료 채수와 동시에 최소 10회 이상의 유량을 측정하여야 하며, 강우계급별 유출특성을 파악하기 위해서는 서로 다른 강우등급별로도 조사를 실시하여야 한다(국립환경과학원 2008).

강우계급별 유량 및 수질측정을 위해서 유출직 후부터 1시간까지는 15분 간격으로 유량과 수질을 측정하고 1시간 이후부터는 1~4시간간격으로 유량을 측정하는데 조사시 마다 총 10회 이상 유량을 측정하되, 유출지속시간이 24시간을 초과할 경우에는 조사간격을 임의로 늘릴 수 있으나, 유출이 종료된 시간은 기록하였다.

하천 수질 검사 항목으로는 국립환경과학원에서 강우-유출수 조사에 사용되는 항목으로 채취하였으며 하천수질 시험항목으로는 pH(Potential of Hydrogen), BOD(Biochemical Oxygen Demand), COD(Chemical Oxygen Demand), SS(Suspended Solids), DO(Dissolved Oxygen), T-N(Total-Nitrogen), T-P(Total-Phosphorus),  $NO_2-N$ ,  $NO_3-N$ ,  $NO_3-N$  이렇게 10개 항목으로 구성 하였다.(국립환경과학원 2008)

#### 4. 시험유역의 수문 및 수질 특성 분석

##### 4.1 수위유량관계곡선의 유도

실시간으로 관측되는 수위자료를 유량자료로 환산하기 위해서는 해당 관측소의 수위-유량 관계식이 필요하다. 본 연구에서는 판암교 및 철갑교 지점의 유량측정성과와 단면자료 등을 종합적으로 이용하여 2개 지점별 수위-유량 관계곡선을 유도하였으며 판암교 및 철갑교의 수위-유량관계곡선은 홍수 전·후의 하천단면의 변화를 파악하여 기간분리의 여부 및 통제특성을 반영하였다. 그 결과, 두 지점 모두에서 기간분리의 특성을 나타내는 관계로, 수위-유량관계를 저수위, 고수위 구간로 나누어 산정하였다. 최종적으로 작성된 연도별 수위-유량 관계곡선은 Fig. 5이며, Table. 2은 2011년도에 측정된 유량자료를 통하여 유도된 수위 유량관계곡선식이다.

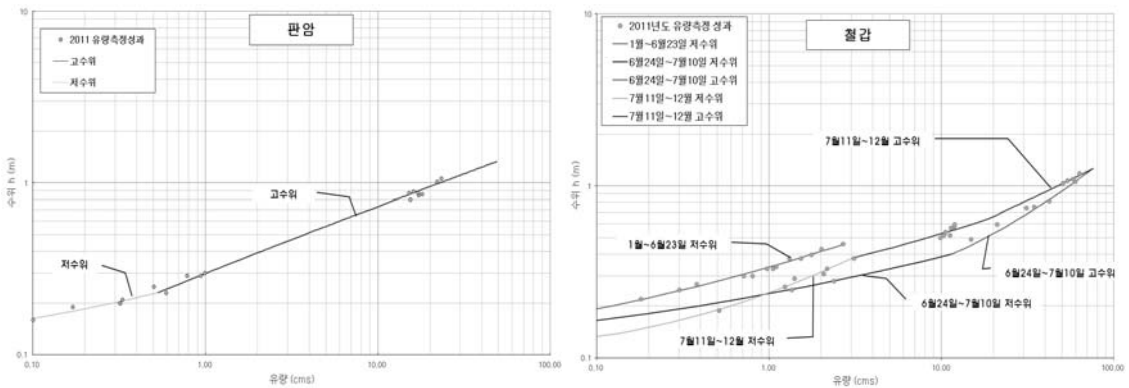


Fig. 5. Rating Curves for Pan Am and Cheol Gap Water Level Gauging Station (2011)

Table. 2. Stage-Discharge Relationship for Each Gauging Station (2011)

| Station          | Stage (m)               | Ratings Curve                            | Remark                  |
|------------------|-------------------------|--|-------------------------|
| Pan Am Bridge    | $0.10 \leq h \leq 0.23$ | $Q = 56.303 \times (h - 0.100)^{2.286}$  | Low Flow                |
|                  | $0.23 \leq h \leq 1.06$ | $Q = 21.136 \times (h + 0.030)^{2.735}$  | High Flow               |
| Cheol Gap Bridge | $0.10 \leq h \leq 0.46$ | $Q = 33.605 \times (h - 0.100)^{2.445}$  | 1/01~6/23<br>Low Flow   |
|                  | $0.10 \leq h \leq 0.40$ | $Q = 471.628 \times (h - 0.100)^{3.087}$ | 6/24~7/10<br>Low Flow   |
|                  | $0.40 \leq h \leq 1.24$ | $Q = 70.682 \times (h - 0.200)^{1.130}$  | 6/24~7/10<br>High Flow  |
|                  | $0.10 \leq h \leq 0.38$ | $Q = 22.532 \times (h - 0.100)^{1.578}$  | 7/11~12/31<br>Low Flow  |
|                  | $0.38 \leq h \leq 0.68$ | $Q = 102.599 \times (h - 0.160)^{2.328}$ | 7/11~12/31<br>High Flow |
|                  | $0.68 \leq h \leq 1.26$ | $Q = 47.797 \times (h - 0.008)^{2.059}$  | 7/11~12/31<br>High Flow |

### 4.2 강우-유출 특성

대동천 유역의 지점별 수위-유량 관계곡선식을 바탕으로 수질측정을 실시한 기간에 대하여 판암교 지점 및 철갑교 지점의 유출량을 산정한 결과는 Table. 3과 같다. 측정당일 내린 강수량과 함께 선행강수량을 조사함으로써 선행강수량의 크기

에 따른 유출특성을 분석하고자 한다. 수질측정 당일 강수량은 Table. 3과 같이 9~60mm/day이며, 선행강우가 많았던 호우는 2011년 8월 17일이며 반대로 7일간 선행강우가 전혀 없었던 호우로는 2011년 9월 29일 호우로 조사되었다. 유출량이 가장 높은 날은 2011년 8월 1일 발생한 호우로 나타났다.

Table. 3. Rainfall and Discharge for each Flood Event

| Event Date  | Rainfall of Event date (mm) | Antecedent Precipitation (mm) |        |        |        |        |        |        |       | Total Runoff ( $m^3/sec$ ) |           |
|-------------|-----------------------------|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|----------------------------|-----------|
|             |                             | 1-day                         | 2-days | 3-days | 4-days | 5-days | 6-days | 7-days | Total | Pan Am                     | Cheol Gap |
| 2011. 8. 01 | 60                          | 8                             | 2      | 2      | 0      | 31     | 0      | 16     | 59    | 94.63                      | 580.72    |
| 2011. 8. 17 | 34                          | 37                            | 0      | 5      | 0      | 32     | 12     | 97     | 183   | 55.17                      | 462.46    |
| 2011. 9. 29 | 11                          | 0                             | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 1.90                       | 59.00     |

### 4.3 EMC 분석

지점별 수위-유량 관계식을 바탕으로 판암교 및 철갑교지 지점의 유량산출을 이용하여, Table. 4는 판암교 지점 및 철갑교 지점의 수질분석 결과 및 유량측정 성과를 이용하여 호우사상별, 수질항목별 EMC 산정결과이다. Table. 4와 같이 판암교 지점은 BOD 2.70~7.07mg/L, COD 1.58

~6.42mg/L, SS 0.50~9.08mg/L, DO 4.41~11.27mg/L, T-N 1.19~4.67mg/L, T-P 0.23~0.93mg/L, NO<sub>2</sub>N 0.81~1.37mg/L, NO<sub>3</sub>N 0.86~2.20mg/L, NH<sub>3</sub>-N 0.00~6.19mg/L의 범위를 갖는 것으로 나타났고, 철갑교 지점은 BOD 1.41~1.85mg/L, COD 1.83~11.76mg/L, SS 0.54~6.23mg/L, DO 2.31~4.31mg/L, T-N 0.02~3.16mg/L, T-P 0.20~0.36mg/L, NO<sub>2</sub>N 0.79~

1.49mg/L, NO<sub>3</sub>N 0.89~3.91mg/L, NH<sub>3</sub>-N 0.00~3.10mg/L의 범위를 갖는 것으로 나타났다.

유출량, 강우량 및 EMC 측정 결과를 보게 되면, 2011. 9. 29 호우에서 대체로 EMC 값이 크게 나타났으며, 이와 같은 현상은 Table 3에 나타난 바와 같이 선행강우량이 매우 적었던 호우로

서, 불투수층에 축적되어 있던 오염물질이 당일 강우로 인하여 유출됨으로 높은 EMC를 나타낸 것으로 분석되며, 상대적으로 2011. 8. 01 및 2011. 08. 17 일은 호우 전날 발생한 선행강우로 인하여 낮은 EMC 값을 나타냈다.

Table. 4. EMC at Pan Am Bridge and Cheol Gap Bridge

(Unit : mg/L)

| Station          | Event Date  | BOD  | COD   | SS   | DO    | T-N  | T-P  | NO <sub>2</sub> N | NO <sub>3</sub> N | NH <sub>3</sub> -N |
|------------------|-------------|------|-------|------|-------|------|------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Pan Am Bridge    | 2011. 8. 01 | 2.70 | 1.58  | 0.50 | 5.88  | 1.19 | 0.23 | 0.81              | 1.59              | 0.01               |
|                  | 2011. 8. 17 | 3.18 | 4.36  | 9.08 | 4.41  | 3.25 | 0.28 | 1.37              | 2.20              | 0.00               |
|                  | 2011. 9. 29 | 7.07 | 6.42  | 2.09 | 11.27 | 4.67 | 0.93 | 0.81              | 0.86              | 6.19               |
| Cheol Gap Bridge | 2011. 8. 01 | 1.41 | 1.83  | 0.54 | 4.31  | 0.02 | 0.20 | 0.79              | 0.89              | 0.04               |
|                  | 2011. 8. 17 | 1.85 | 6.10  | 6.23 | 2.31  | 2.72 | 0.28 | 1.40              | 2.13              | 0.00               |
|                  | 2011. 9. 29 | 1.57 | 11.76 | 3.82 | 3.37  | 3.16 | 0.36 | 1.49              | 3.91              | 3.10               |

2011년 8월 1일 호우는 총 60 mm의 강우가 9 시간 동안 지속되었으며, 평균강우강도는 6.7mm/hr로 나타났다. Fig. 6의 Hydro-polluto graph를 보게 되면, 판암교 지점 및 철갑교 지점에서 BOD, COD, DO, T-P, NO<sub>3</sub>N 항목 등이 유출량의 증감과 비슷한 성향으로 나타났으며, 반대로 NH<sub>3</sub>-N 항목이 유출 초기에 높은 것으로 나타났으나 시간이 경과함에 따라서 감소되는 것으로 관측되었다.

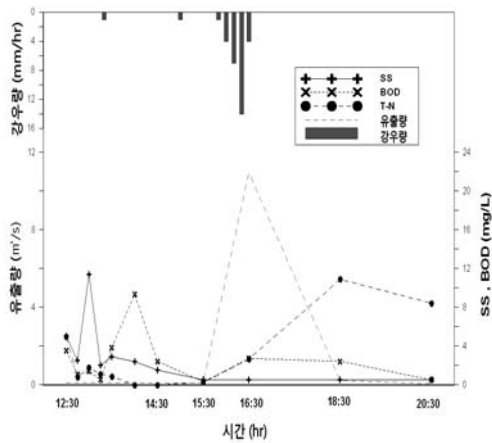
2011년 8월 17일은 측정당일, 26mm의 강우가 7 시간 동안 지속되어, 평균강우강도는 3.72mm/hr 나타났다. Fig. 7의 Hydro-polluto graph를 보게 되면, 판암교 지점 및 철갑교 지점에서 SS 항목 등이 유출량의 증감과 비슷한 성향으로 나타났으며, 반대로 T-N, BOD, T-P 항목이 유출 초기에 높은 나타났으나 시간이 경과함에 따라서 감소되는 것으로 관측되었다.

2011년 9월 29일은 측정당일 총 11mm의 강우가 6hr 동안 지속적으로 내렸으며, 평균강우강도 1.83 mm/hr 나타났다. Fig. 8의 Hydro-polluto graph를 보게 되면, 판암교 지점 및 철갑교 지점에서 COD, SS 항목 등이 유출량의 증감과 비슷한 성향으로 나타났으며, 반대로 T-P, NO<sub>3</sub>N 항목이 유출 초기에 높은 나타났으나 시간이 경과함에 따라서 감소되는 것으로 관측되었다.

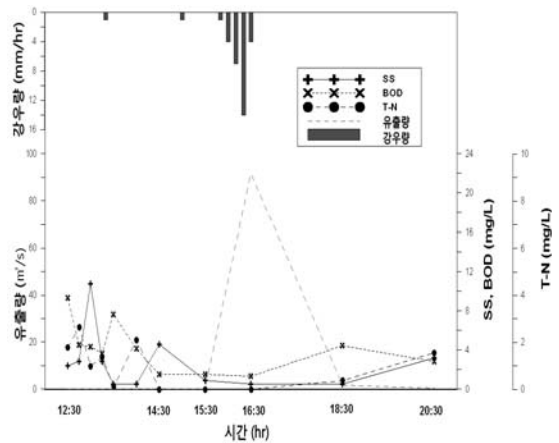
특히, 8월 1일 호우는 강우강도가 가장 큰 강우임에도 불구하고 9월 29일 호우에 비하여 EMC가 작게 산정되었으며, 이와 같은 결과는 유역에서 발생한 선행강우에 의한 결과임을 알 수 있다.

Fig 2 및 Fig 3에 나타난 유역의 토지이용상태를 볼 때, 판암교 상류의 지역은 대부분 농지 및 임지지역으로서 과수원 및 농경지를 통하여 유입되는 유량이 대부분이며, 철갑교 지점으로 유입되는 유량은 대부분 대전시 도심을 관통하는 하수 및 오수로 구성되어 있다. 판암교와 철갑교 지점에서 유출되는 유출수의 오염물질 특성을 분석하여 보면 다음과 같다.

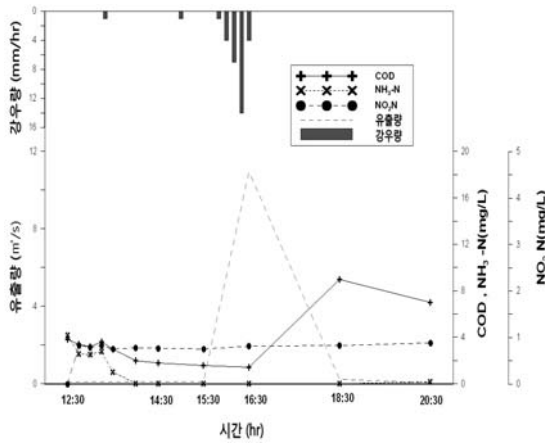
판암교 지점 및 철갑교 지점에서 동일한 패턴으로 나타나는 수질 항목으로는 BOD, COD, SS, T-N, T-P, NO<sub>2</sub>N 등 6개의 항목이며, 이들 6개의 수질항목중에서 BOD, COD, SS는 유출량의 증감 곡선과 동일한 패턴으로 유출 시작후 증가되었다가 다시 감소되는 경향을 보였으며, T-N 및 T-P 항목은 유출초기에 높은 농도를 나타냈으나 강우가 지속되어 유출량이 증가함에 따라서 농도가 감소하는 추세로 나타났다. 반면, NO<sub>2</sub>N은 뚜렷한 패턴을 나타내지 않았지만 전체적으로 유출이 시작됨에 따라서 다소 감소하는 경향을 나타냈다.



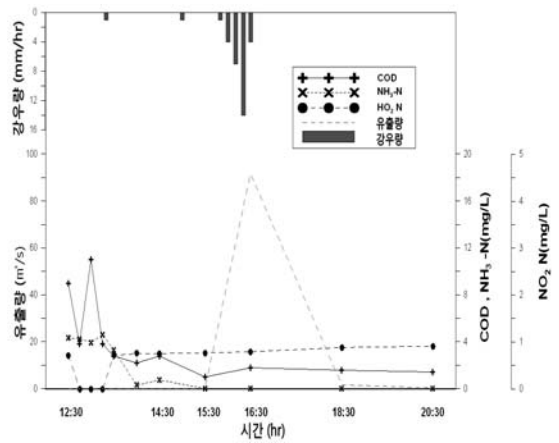
(a-1)SS, BOD, and T-N in PanAm



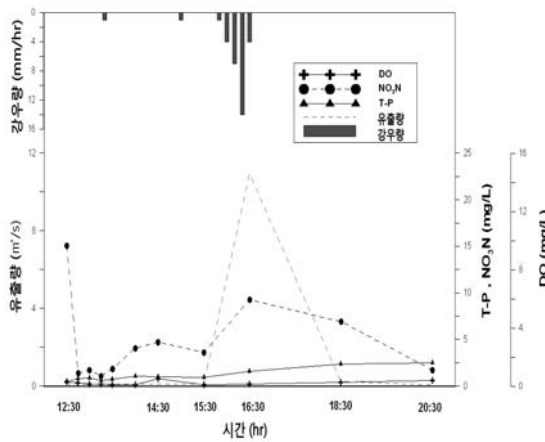
(b-1)SS, BOD, and T-N in Cheol Gap



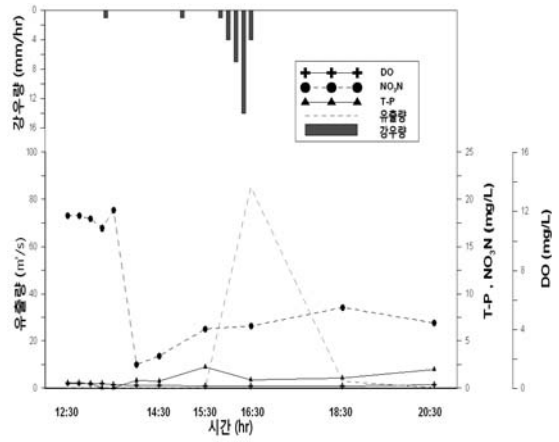
(a-2)COD, NH<sub>3</sub>-N, and NO<sub>2</sub>-N in PanAm



(b-2)COD, NH<sub>3</sub>-N, and NO<sub>2</sub>-N in Cheol Gap



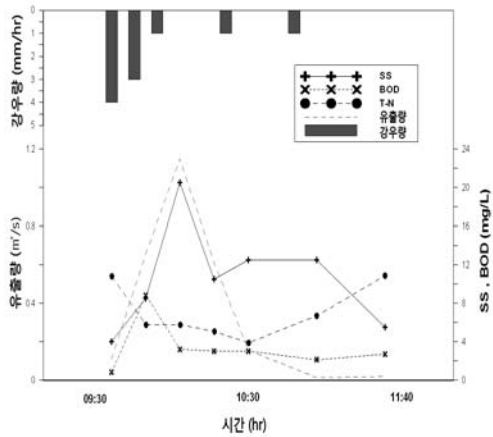
(a-3)T-P, NO<sub>3</sub>-N, and DO in PanAm



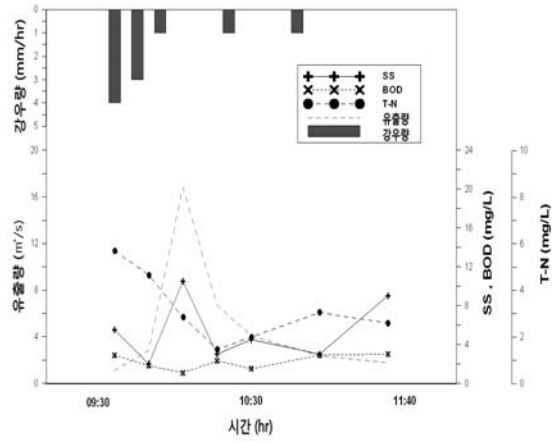
(b-3)T-P, NO<sub>3</sub>-N, and DO in Cheol Gap

Fig. 6. Hydro-polluto graph (2011. 8. 1.)

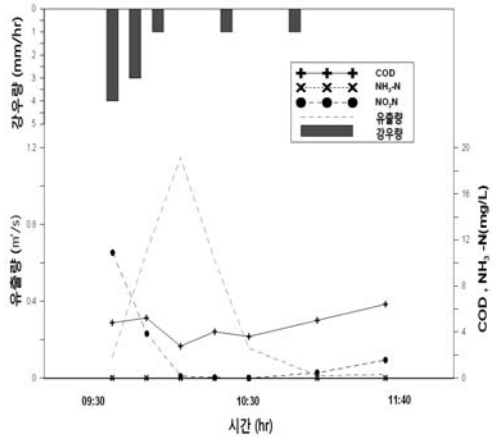




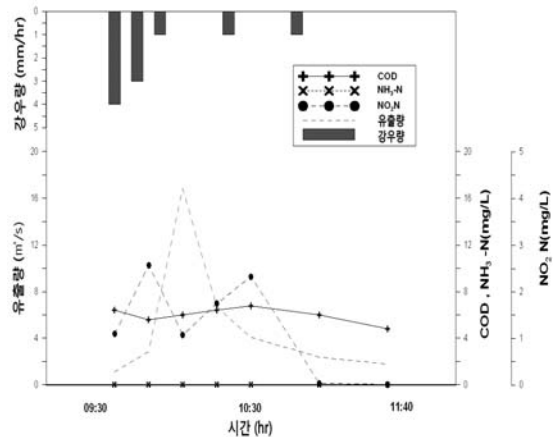
(a-1)SS, BOD, and T-N in PanAm



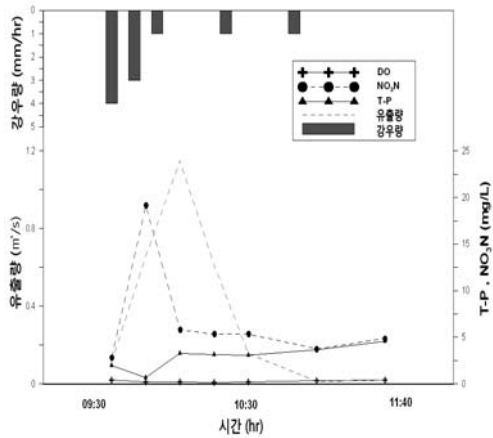
(b-1)SS, BOD, and T-N in Cheol Gap



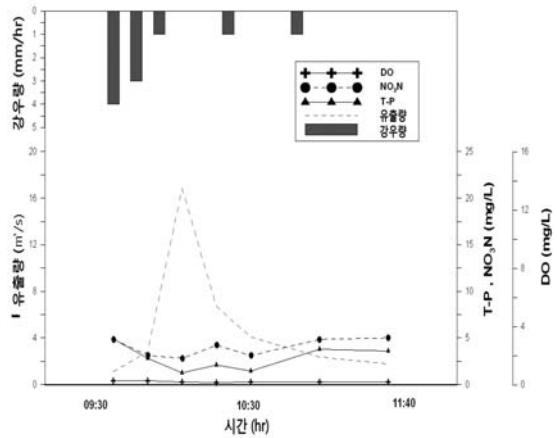
(a-2)COD, NH<sub>3</sub>-N, and NO<sub>2</sub>N in PanAm



(b-2)COD, NH<sub>3</sub>-N, and NO<sub>2</sub>N in Cheol Gap

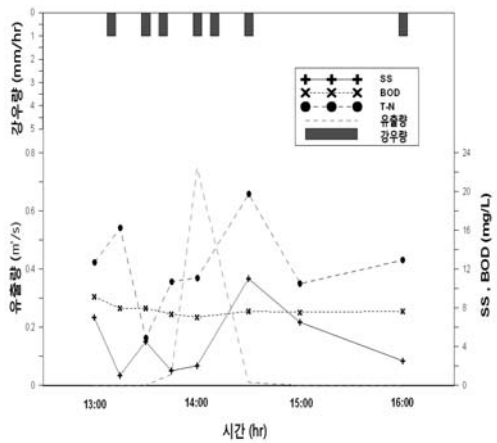


(a-3)T-P, NO<sub>3</sub>N, and DO in PanAm

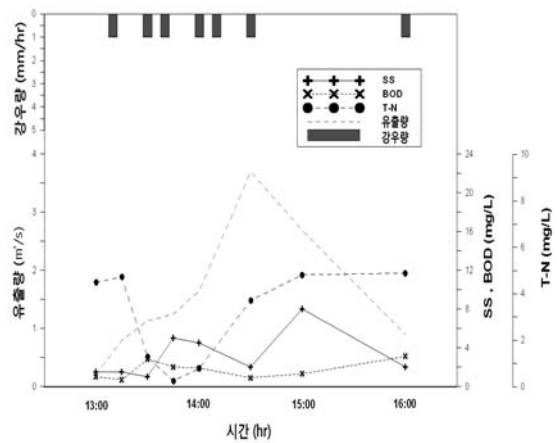


(b-3)T-P, NO<sub>3</sub>N, and DO in Cheol Gap

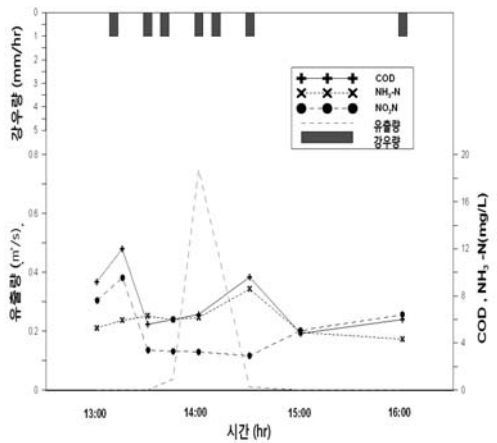
Fig. 7. Hydro-polluto graph (2011. 8. 17.)



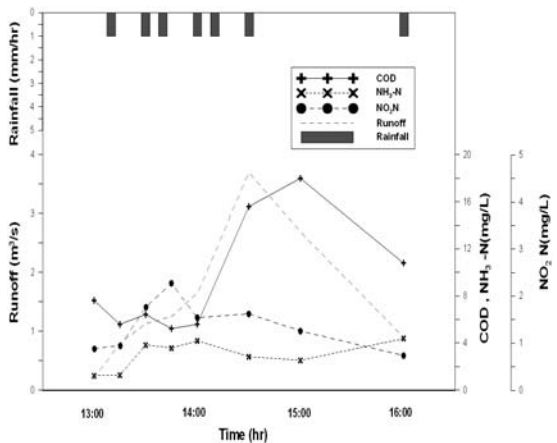
(a-1)SS, BOD, and T-N in PanAm



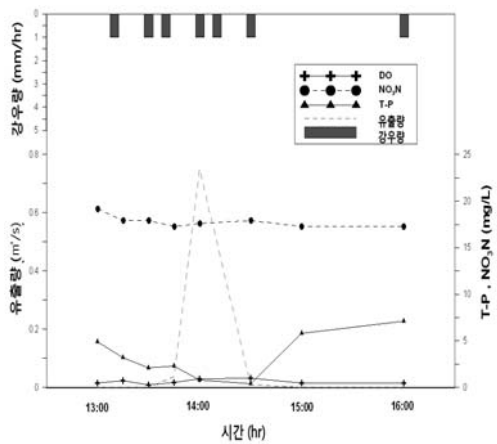
(b-1)SS, BOD, and T-N in Cheol Gap



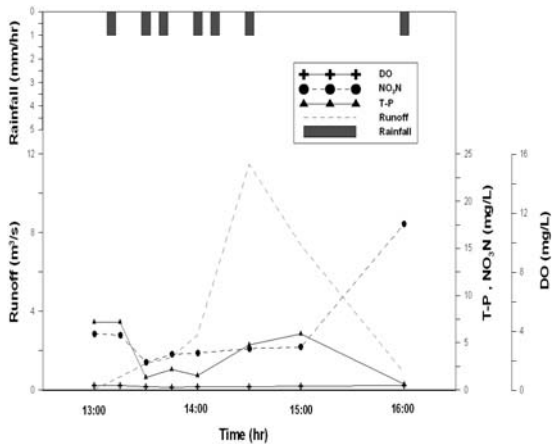
(a-2)COD, NH<sub>3</sub>-N, and NO<sub>2</sub>-N in PanAm



(b-2)COD, NH<sub>3</sub>-N, and NO<sub>2</sub>-N in Cheol Gap



(a-3)T-P, NO<sub>3</sub>-N, and DO in PanAm



(b-3)T-P, NO<sub>3</sub>-N, and DO in Cheol Gap

Fig. 8. Hydro-polluto graph (2011. 9. 29)

## 5. 결 론

본 연구에서는 시험유역으로 운영중인 대동천 유역의 관측지점을 대상으로 수질 및 유량측정을 실시하였으며, 측정된 결과를 분석하여 도시하천에서의 강우유출수의 수질특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 대동천 유역의 지속적인 유량측정을 실시하여 2개 관측지점에 대한 수위-유량관계곡선을 유도하였으며, 유도된 관계식을 활용하여 EMC 분석에 활용할 수 있었다.
- 2) 2011년 9월 29일에 수질검사 측정값에서는 철갑교 지점이 판암교 지점보다 EMC 결과값이 다른 사상보다 높게 나왔는데 이는 선행강우량이 전혀 없는 상태에서 내린 호우로 인한 초기세척효과에 의한 결과로 판단된다. 당일 강우의 경우에는 2011년 9월 29일의 강우량이 가장 적은 것으로 나타남으로써 강우강도에 반비례하는 오염 농도의 경향을 나타낸다.
- 3) 유역내 토지이용상태를 볼 때 판암교 지점 및 철갑교 지점에서 동일한 패턴으로 나타나는 수질 항목으로는 BOD, COD, SS, T-N, T-P, NO<sub>2</sub>N 등 6개의 항목으로 조사되었다. 이들 6개의 수질항목 중에서 BOD, COD, SS는 유출량의 증감패턴과 거의 유사한 유출 특성을 보이는 것으로 분석되었으며, T-N 및 T-P 항목은 유출초기에 높은 농도를 나타냈으나 강우가 지속되어 유출량이 증가함에 따라서 농도가 감소하는 추세로 나타났다.
- 4) 강우에 따른 판암교 지점인 농촌지역특성과 철갑교 지점인 도시지역의 수질검사로 인하여 유출량에 따른 농촌지역과 도시지역의 차이점을 비교 검토 할 수 있었으며, 각 지점의 유량기중평균농도로 EMC를 산정한 결과, 판암교 지점에서 BOD, DO, T-N, T-P등이 철갑교 지점보다 다소 높게 나타

났으며, 철갑교 지점은 COD, NO<sub>2</sub>N와 NO<sub>3</sub>N이 상대적으로 높은 것으로 조사 되었다.

## 감사의 글

본 연구는 2011년 국제수문개발계획(IHP) 7단계 4차년도 연구사업에 의해 지원되었으며 국토해양부의 연구지원에 감사드리며 특히, 금강홍수통제소의 적극적인 업무협조에도 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 국립환경과학원 2008. 강우 유출조사 방법 비점오염원부하량 평가기법연구(II) : 강우유출수 조사방법(안)중심으로
- 국토해양부 2010. 국제수문개발계획(IHP) 제7단계 제3차년도연구 : 대동천 대표시험유역 운영. pp. 485-525.
- 대전광역시. 1991. 대동천 하천정비기본계획
- 이소영, Marla C. Maniquiz, 최지연, 김이형. 2009. 교통관련 토지이용에서의 강우계급별 EMC 산정. 한국습지학회지. 11(2): pp. 67-76.
- 이정용, Marla C. Maniquiz, 최지연, 이재운, 김이형. 2009. 강우시 인공 초지의 비점오염물질 유출특성 및 상관성. 한국습지학회지. 11(3): pp. 145-151.
- 이장수, 조옥상, 허재성, 임종현. 2007. EMC와 SMC 산정을 통한 비점오염원 처리장치의 선능평가에 관한 연구. 한국대기환경학회 학술대회논문집. pp1975-1979.
- 이흥신, 이승환. 2009. 국내중소 도시지역 강우 유출수의 유출특성. 대한환경공학회지. 31(3): 193-202
- 여미미, 이제도, 우강화, 김영철. 2009. 계화 간척지구 강우 유출수의 비점오염원 유출특성에 관한 연구. 한국습지학회지. 11(3): pp. 9-19
- 최지연, 이소영, 김이형. 2009. 산림지역의 비점오염물질 유출특성 및 EMC 산정. 한국방재

학회 논문집 9(4): 129-134.  
신용철, 신민환, 김웅기, 허성구, 임경재, 김기성, 최중대. 2007. 강우유출수의 유량가중평균농도 분석. 한국수자원학회 2007년도 학술발표회 논문집, pp. 951-955.  
손현근, 이소영, Marla C. Maniquiz, 김이형. 2009. 강우시 포장지역의 비점오염물질 유출 및 저감특성. 한국습지학회지 11(2): 55-66.  
Becher, K.D., Schnoebelen, D.J., and Akers, K.K.B. 2000. Nutrients discharged to the Mississippi River from Eastern Iowa watershed, 1966-1977, J. of The American Water Resources Associa., 36(1): 161-173.  
Charbeneau, R.J., and Barrett, M.E. 1998. Evaluation of methods for estimating

stormwater pollutant loads, J. of Water Environmental Research 70(7): 1295-1302.  
Irish, Jr. L.B., Barrett, M.E., Malina, Jr. J.F., and Charbeneau, R.J.(1998) Use of Regression models for analyzing highway storm-water loads. Journal of Environ. Engg., Vol. 124, No, 10 : 987-993.  
Marsalek, J.(1978) Pollution Due to urban Runoff: Unit Loads and Abatement Measures, PLUARG. International Joint Commis-sion. Windsor, Ontario, Canada.

- 논문접수일 : 2012년 03월 08일
- 심사의뢰일 : 2012년 03월 09일
- 심사완료일 : 2012년 03월 23일