

중소도시지역 비점오염물질의 유출 특성

이건직 · 성진욱 · 박주현¹⁾ · 조규수²⁾ · 박제철*

금오공과대학교 환경공학과, ¹⁾국립환경과학원, ²⁾한국환경산업기술원
(2009년 11월 4일 접수; 2009년 12월 3일 수정; 2010년 1월 15일 채택)

Runoff Characteristics of Nonpoint Pollutants Source in Urban Area

Geon-Jik Lee, Jin-Uk Seong, Ju-Hyun Park¹⁾, Gyu-Soo Joe²⁾, Je-Chul Park*

Department of Environment Engineering, Kumoh national Institute of Technology, Gyeongbuk 730-701, Korea

¹⁾National Institute of Environment Research, Incheon 404-708, Korea

²⁾Korea Environmental Industry & Technology Institute, Seoul 122-706, Korea

(Manuscript received 4 November, 2009; revised 3 December, 2009; accepted 15 January, 2010)

Abstract

This study was conducted to investigate runoff characteristics of non-point pollutants source at the urban area in boeun area, Chungbuk Province. The monitoring site covering the watershed of 2.11 km² contains about 40.3 % of total watershed with the urban area. The monitoring was conducted with six events for five months and Event Mean Concentration(EMC) and Site Mean Concentration(SMC) of SS, BOD, CODMn, T-N, T-P were calculated on the result of the water quality parameters. As a result of the comparison between Arithmetic Mean Concentration and Event Mean Concentration, it showed that over all Event Mean Concentration was higher than Arithmetic Mean Concentration. And it showed that SS, BOD, T-P featured the first-flushing effect, showing relatively high concentration in early-stage storm event.

Key words : Event mean concentration, Site mean concentration, First flush effect, Mass first flush ratio

1. 서 론

경제발전과 더불어 인구의 증가, 도시화, 산업화에 따라 공공수역으로 유입되는 오염물질의 양이 수체의 자정능력을 초과하면서 수질오염이 심각해지고 있다. 공공수역으로 유입되는 오염물질은 크게 점오염원(point pollutants source)과 비점오염원(nonpoint pollutants source)으로 구분 할 수 있다. 이 중 점오염원은 환경기초시설의 설치로 크게 감소하고 있으나 비점오염원

은 오염 발생량 및 배출특성의 파악이 매우 어렵고, 발생량이 매우 불규칙하여 저감대책이 미흡한 실정이다 (한국수자원공사, 2003). 비점오염원은 시간에 따른 부하량 변동폭이 크며, 강우초기에 오염물질의 농도가 매우 높다(노 등, 2004; 한국수자원공사, 2004; Bedient 등, 1980). 특히 질소와 인 등의 영양물질이 많이 포함되어 있어 하천이나 호수의 부영양화를 일으키는 원인으로 알려져 있다(안, 2000; Ichiki와 Yamada, 1999). 강우유출수내 오염물질의 농도는 기상조건, 수리조건, 지리조건과 토지이용특성에 따라 영향을 받는다. 배출량에 영향을 미치는 요소는 강우강도와 강우지속시간, 토지이용형태, 최종강우 후의 경과일수, 불법적인 오염물질 투입상태 등에 따라 변동된다(라

*Corresponding Author : Je-Chul Park, Department of Environment Engineering, Kumoh national Institute of Technology, Gyeongbuk 730-701, Korea
Phone : +82-54-478-7633
E-mail : pjc1963@kumoh.ac.kr

와 김, 1996; Sartor 등, 1974). 최근에는 비점오염원 부하량을 추정하기 위해 주로 토지이용에 따른 원단 위를 사용하였으나 강우시 비점오염부하량은 유역의 토지이용형태, 지표퇴적물량, 강우량 및 강우강도 등에 따라 상당한 차이가 발생하기 때문에 실측하지 않으면 오차는 상당히 커질 가능성이 있다(노 등, 2006; 박 등, 2001; 오 등, 2004; 이 등, 2001; 장과 박, 2004). 현재 비점오염원으로 인한 오염 부하량이 4대강 수계에서 22~40%정도 차지하고 있으며, 2020년에는 54.3%까지 증가할 것으로 예측하고 있다. 이에 따라 정부에서는 2004년 3월에 4대강 수계의 비점오염원 관리종합대책을 마련하고 4대강 수계에서 비점오염 저감시설 시범설치사업을 추진하여 다양한 유형의 비점오염저감시설의 시설별 적용 가능성을 평가하고 있다(환경부, 2004).

본 연구는 강우 시 중소도시지역에서 강우유출수와 함께 하천으로 유입되는 비점오염물질의 유출특성을 파악하기 위해 유역 면적 중에서 중소도시지역이 대부분인 충청북도 보은군 보은읍 삼산리에 위치한 중초천(지방2급 하천)말단을 선정하였다. 강우 시 발생하는 비점오염물질의 지속적인 모니터링을 통해 다양한 데이터베이스를 구축함으로써 향후 비점오염물질의 적절한 관리방안을 마련하기 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사대상지의 개요

본 연구는 강우 시 중소도시지역에서 강우유출수와 함께 하천으로 유입되는 비점오염물질의 유출특성을 파악하기 위해 수행되었으며 선정된 조사대상지는 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 조사대상지는 충청북도 보은군 보은읍 삼산리에 위치한 중초천(지방2급 하천) 말단으로서 북위 $36^{\circ} 28' 45''$, 동경 $127^{\circ} 43' 07''$, 고도 154 m인 지점으로 선정되었다. 유역면적은 2.11 km^2 이고 유역면적 중 중소도시지역이 40.3%로 대부분을 차지하고 있어 중소도시지역에서 발생하는 비점오염 물질 유출특성을 평가할 수 있는 유역특성을 보이고 있다(Table 1).

Table 1. Overview of selected watershed

| Watershed (km^2) | Land use (%) | | |
|--------------------------------|--------------|-------------|-------|
| | City | Paddy Field | Field |
| 2.11 | 40.3 | 26.0 | 21.7 |

2.2. 각 이벤트 동안의 강우사상

본 연구는 강우 시 강우유출수의 유출 특성을 파악하기 위해 2008년 6월부터 2008년 10월까지 5개월에 걸쳐 수행되었으며 총 5회의 강우사상에 대하여 모니터링한 결과는 Table 2에 나타낸 바와 같다. 모니터링

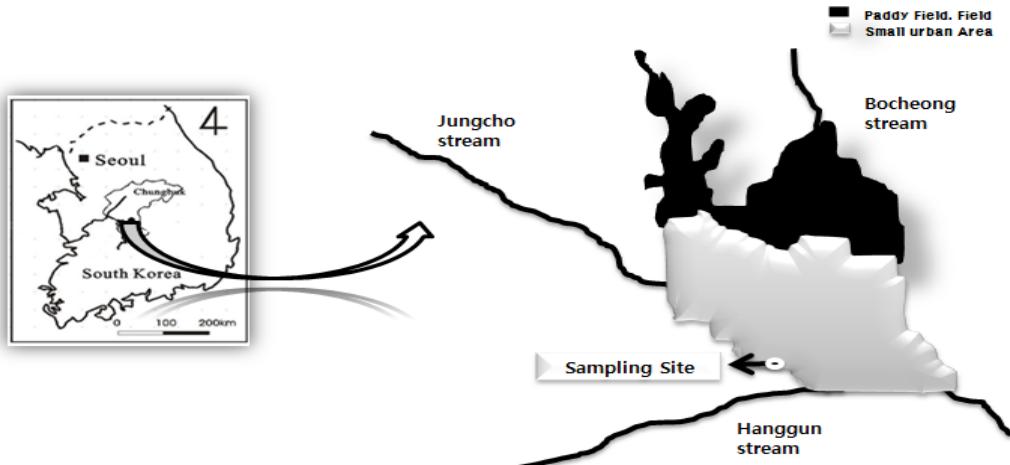


Fig. 1. Location of sampling site in the watershed of the stream.

Table 2. Summary of watershed at the various events

| Event no. | Event date (y/m/d) | Rainfall (mm) | Rainfall duration (hr) | Ave. rainfall intensity (mm/hr) | Total volume of flow rate (m ³) | Peak flow (CMS) | Antecedent dry day (day) |
|--------------------|--------------------|---------------|------------------------|---------------------------------|---|-----------------|--------------------------|
| 1 | 08/06/17~19 | 65.5 | 3.9 | 16.8 | 138,739 | 2.98 | 9.2 |
| 2 | 08/06/28~30 | 37.5 | 3.9 | 9.6 | 82,015 | 1.36 | 1.3 |
| 3 | 08/08/15~16 | 121.0 | 4.4 | 27.5 | 805,734 | 17.24 | 0.9 |
| 4 | 08/08/22 | 34.0 | 2.2 | 15.5 | 67,285 | 1.66 | 1.4 |
| 5 | 08/10/22~23 | 9.5 | 1.3 | 7.3 | 2,739 | 0.05 | 16.5 |
| Minimum | | 9.5 | 1.3 | 7.3 | 2,739 | 0.05 | 0.9 |
| Median | | 37.5 | 3.9 | 15.5 | 82,015 | 1.66 | 1.4 |
| Mean | | 53.5 | 3.1 | 15.3 | 219,302 | 4.66 | 5.9 |
| Maximum | | 121.0 | 4.4 | 27.5 | 805,734 | 17.24 | 16.5 |
| Standard deviation | | 42.6 | 1.3 | 7.9 | 331,380 | 7.11 | 6.9 |

기간 동안의 총 강우량은 9.5~121.0 mm의 범위였고, 강우강도는 7.3~27.5 mm/hr의 범위를 나타냈다. 총 유출유량은 2,739~805,734 m³의 범위로 나타났고 첨두유량은 0.05~17.24 CMS의 범위로 강우사상에 따라 큰 변화폭을 보였다. 선행무강우일수는 5차 이벤트에서 16.5일로 가장 긴 것으로 나타났다.

2.3. 유량조사 및 수질분석

유량은 회전식 유속계(Model 2100)를 이용하여 ISO 2425의 단일측정방법 중 하나인 유속 면적법(Velocity-Area Method)에 의해 15분 간격으로 연속 측정되었고 기상관측자료는 기상청의 5분 강우자료를 이용하였다. 비점오염물질의 유출특성을 파악하기 위해 강우가 시작되고 유량이 증가하여 첨두유량에 도달할 때까지 30분 간격으로 채수하다가 유량이 감소하면서부터는 1~2시간 간격으로 조절하여 채수를 하였으며 시료는 자동채수기(Sigma 900)에 의해 채수되었다. 채수된 시료는 4°C이하로 보관하여 24시간 이내로 실험실로 즉시 운반하여 실험하였고 분석 항목은 SS, BOD, COD_{Mn}, T-N, T-P로 수질오염공정시험방법(환경부, 2007)과 Standard method(APHA 등, 1999)에 따라 분석하였다. 분석된 결과를 바탕으로 강우 시 대상유역에서 발생한 오염물질의 총량을 강우유출수의 양으로 나눈 값인 Event Mean Concentration(EMC, 유량기증평균농도)을 이용하여 유출유량부피를 고려하였으며 이를 통해 Site Mean Concentration(SMC, 지역평균농도)을 산정하였다. 그리고 강우 시 강우유출수에 의해 발생된 비점오염물질의 초기유출특성을

분석하기 위해 누적유출유량에 따른 누적오염부하량비를 산정하였고 초기세척의 발생 여부는 각각의 강우와 수질항목을 바탕으로 Mass First Flush Ratio(MFF, 초기세척비율)를 산정하여 수치화함으로써 확인하였다(Han 등, 2006; Ma, 2002).

3. 결과 및 고찰

3.1. 강우유출수의 수질 분석

2008년 6월부터 2008년 10월까지 총 5회의 모니터링기간 동안 조사된 유량과 수질농도는 Table 3에 요약되어 있고 유량에 따른 수질농도변화는 Fig. 2에 나타나 있다. Table 3과 Fig. 2에 나타난 바와 같이 SS, BOD, COD_{Mn}, T-N, T-P의 농도 범위는 각각 0.5~442.0, 0.2~7.6, 1.6~16.9, 1.480~4.380, 0.010~0.289 mg/L로 나타났다. 분석된 수질 결과를 살펴보면 SS>T-P>BOD>COD_{Mn}>T-N 순으로 유량증감과 상관성이 있는 것으로 나타났고 특히 SS, BOD, COD_{Mn}, T-P가 뚜렷하게 관찰되었다. 유량에 따른 SS와 T-P의 증가는 강우 시 입자상물질(부유물질)유입 때문인 것으로 판단되며 특히 T-P의 경우 용존성 형태보다는 입자성 형태로 유출되는 특징을 가지고 있다. 하지만 T-N은 모든 이벤트에서 기저, 최대, 최소 농도는 비슷한 경향을 나타내었는데 이는 T-N의 경우 유출유량에 의해 희석된 것으로 사료된다. 1차와 4차 이벤트의 수질농도를 분석해 보면 강우강도는 비슷하나 강우량이 1차가 4차 이벤트에 비해 약 2배 많은 것

을 볼 수 있는데 각 수질항목의 첨두농도는 1차가 4차 이벤트에 비해 높다는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 강우량은 강우유출수와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 또 2차와 4차 이벤트의 수질농도를 분석해 보면 강우량은 비슷하나 강우강도는 4차가 2차 이벤트에 비해 약 1.5배 많은데 SS 항목에서 첨두농도는 4차가 2차 이벤트보다 약 3배 높다는 것을 볼 수 있는데 이를 통해 높은 강우강도는 SS항목과 밀접한 관련이 있다는 것을 확인할 수 있다. 1차 이벤트는 선행무강우일수가 9.2일로 비교적 길었으나 강우량이 많고

강우강도도 강했기 때문에 선행무강우일수에 의한 것인지는 확인 할 수 없었다. 따라서 비점오염물질의 유출특성을 보다 면밀히 파악하기 위해서는 앞으로 지속적인 모니터링을 통해 다양한 데이터베이스를 구축하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 5차 이벤트의 경우 선행무강우일수가 16.5일로 상당히 길었으나 각 수질항목별 기저, 최대, 최소농도는 크게 다르지 않은 것을 볼 수 있는데 이를 통해 적은 강우량과 약한 강우강도는 본 연구 대상지에 영향을 끼치지 않는다는 것을 확인 할 수 있다.

Table 3. Summary of storm flow rate and water quality at various events

| Parameter | Event | Event 1 | Event 2 | Event 3 | Event 4 | Event 5 |
|---------------------------------|---------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|
| Event date (y/m/d) | | 08/06/17~19 | 08/06/28~30 | 08/08/15~16 | 08/08/22 | 08/10/22~23 |
| Rainfall (mm) | | 65.5 | 37.5 | 121.0 | 34.0 | 9.5 |
| Ave. rainfall intensity (mm/hr) | | 16.8 | 9.6 | 27.5 | 15.5 | 7.3 |
| Flow rate (CMS) | Minimum | 0.09 | 0.07 | 0.37 | 0.60 | 0.03 |
| | Median | 0.65 | 0.27 | 9.89 | 1.27 | 0.04 |
| | Mean | 0.96 | 0.43 | 9.63 | 1.24 | 0.04 |
| | Maximum | 2.98 | 1.36 | 17.24 | 1.66 | 0.05 |
| | S·D | 0.81 | 0.36 | 4.22 | 0.26 | 0.01 |
| SS (mg/L) | Minimum | 2.8 | 0.5 | 2.5 | 1.0 | 1.5 |
| | Median | 10.0 | 2.4 | 50.5 | 9.5 | 2.0 |
| | Mean | 19.6 | 3.7 | 105.5 | 12.3 | 2.3 |
| | Maximum | 114.0 | 16.0 | 442.0 | 37.0 | 4.5 |
| | S·D | 25.5 | 3.5 | 122.3 | 8.2 | 0.8 |
| BOD (mg/L) | Minimum | 1.2 | 0.2 | 0.8 | 0.4 | 0.6 |
| | Median | 3.9 | 0.8 | 1.5 | 0.9 | 0.8 |
| | Mean | 4.0 | 1.0 | 1.5 | 0.8 | 0.8 |
| | Maximum | 7.6 | 2.3 | 3.2 | 1.3 | 1.1 |
| | S·D | 1.3 | 0.6 | 0.6 | 0.2 | 0.1 |
| COD _{Mn} (mg/L) | Minimum | 5.0 | 2.6 | 4.0 | 3.8 | 1.6 |
| | Median | 9.9 | 6.1 | 8.0 | 5.6 | 1.9 |
| | Mean | 10.1 | 5.9 | 8.2 | 5.5 | 2.0 |
| | Maximum | 16.9 | 8.4 | 12.7 | 6.4 | 2.5 |
| | S·D | 2.6 | 1.5 | 1.6 | 0.5 | 0.4 |
| T-N (mg/L) | Minimum | 2.630 | 1.480 | 2.030 | 2.710 | 2.181 |
| | Median | 3.220 | 2.180 | 2.990 | 2.950 | 2.502 |
| | Mean | 3.289 | 2.140 | 2.990 | 2.958 | 2.467 |
| | Maximum | 4.380 | 2.600 | 3.710 | 3.210 | 2.598 |
| | S·D | 0.418 | 0.248 | 0.291 | 0.128 | 0.117 |
| T-P (mg/L) | Minimum | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| | Median | 0.012 | 0.019 | 0.040 | 0.011 | 0.011 |
| | Mean | 0.014 | 0.032 | 0.077 | 0.012 | 0.011 |
| | Maximum | 0.039 | 0.115 | 0.289 | 0.017 | 0.012 |
| | S·D | 0.006 | 0.028 | 0.076 | 0.001 | 0.001 |

* S·D : Standard Deviation

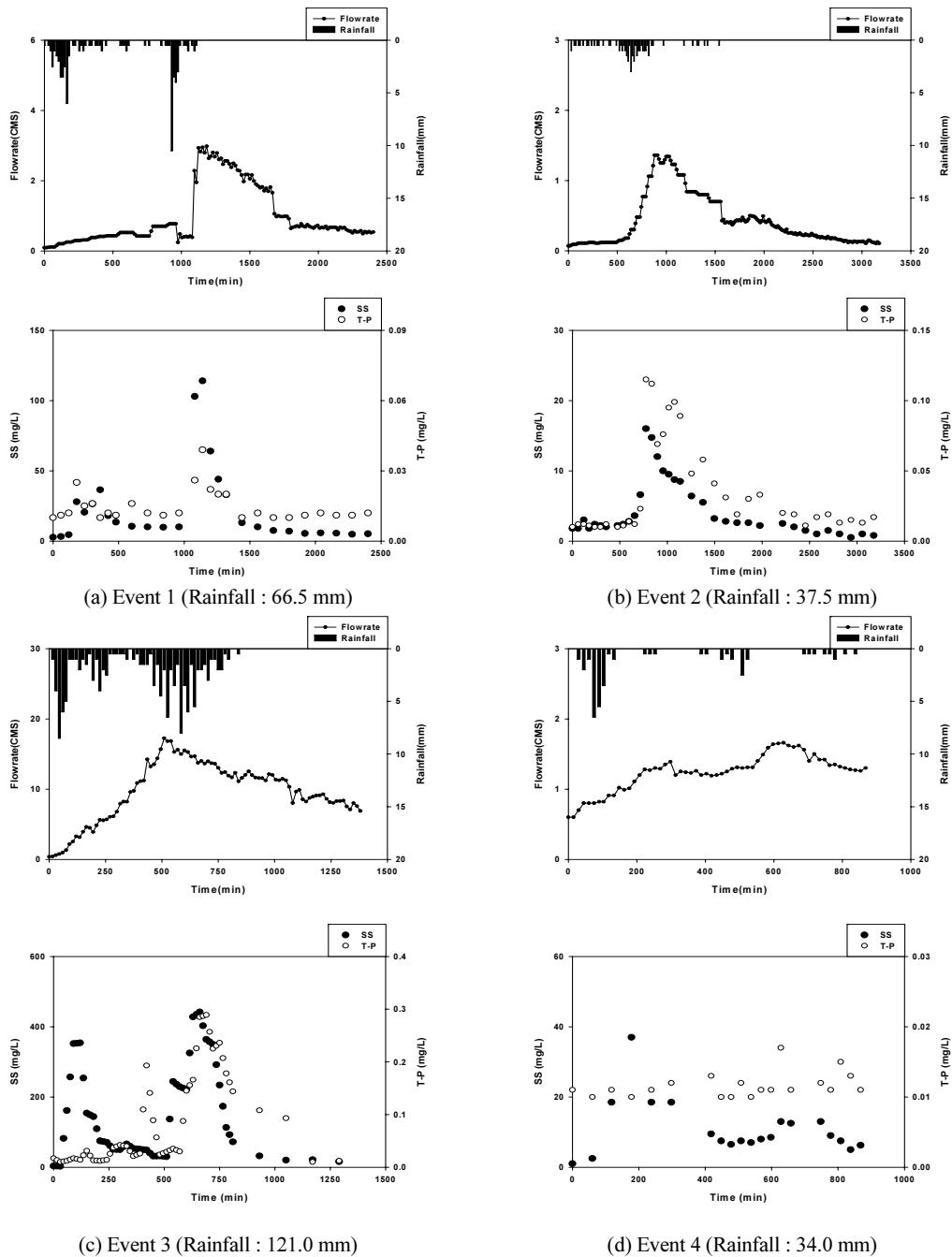


Fig. 2. Variations of SS, T-P concentration during the various storm events.

3.2. EMCs와 SMC 분석

총 5회의 강우사상에 대해 모니터링 한 결과를 바탕으로 EMCs, SMC를 산정한 결과는 Table 4에 나타난 바와 같다. 먼저, 강우유출수의 EMCs 농도를 확인해 보면 SS, BOD, COD_{Mn}, T-N, T-P의 농도는 각각 2.4~115.5, 0.8~4.7, 2.0~11.6, 2.257~3.432, 0.011~0.095 mg/L의 범위로 나타났다. 그리고 SMC 농도는 SS, BOD, COD_{Mn}, T-N, T-P가 각각 33.1, 1.8, 6.9, 2.830, 0.038 mg/L로 나타났다. Yun 과 Cho(2005)와 김 등(2008)은 각각 영랑호 유역과 금강수계의 중부류부 지류인 정안천 유역에서 분석한 결과를 바탕으로 산술평균농도와 유량가중평균농도(EMC)를 비교하였다. 유량가중평균농도가 산술평균농도보다 대체적으로 높은 농도를 보인다고 하였는데 본 연구에서도 비슷한 결과가 나타났다. 전반적으로 SS, T-P 가 높은 EMC 농도를 나타냈고 특히 강우량이 많고 강우 강도도 강했던 1, 3차 이벤트에서 높게 나타났다. 반면에 강우량이 적고 강우강도도 약했던 5차 이벤트의 항목별 EMC 농도는 기저농도와 비슷한 경향을 나타내었는데, 이것은 적은 강우량과 약한 강우강도는 본 연구대상지에 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다. T-N의 경우 모든 이벤트에서 비슷한 EMC 농도를 보였는데 이것으로 보아 T-N은 유량의 증감에 민감하지 않음을 의미한다. 본 연구 결과를 통해 나타난 EMCs 와 SMC를 분석해 보면 강우사상에 따른 강우유출수의 EMCs와 SMC농도는 다양하게 나타났는데 이는 같은 유역에서조차도 EMC를 예측하는데 있어 용이하지 않음을 의미한다(김과 강, 2004).

3.3. 초기세척효과(First Flush Effect)

강우유출수에 포함된 SS, BOD, COD_{Mn}, T-N, T-P의 초기유출특성을 표현한 그레프는 Fig. 3에 나타낸 바와 같다. SS, BOD, T-P는 초기세척효과가 관찰되었고 이벤트 별로 다양한 유출특성이 나타났다. 1차 이벤트는 SS, T-P 항목에서 초기세척효과가 나타났고 SS>T-P 순으로 뚜렷하게 관찰되었다. 그리고 2차 이벤트는 SS, BOD, T-P 항목에서 초기세척효과가 나타났고 SS>T-P>BOD 순으로 뚜렷하게 관찰되었다. 또 4차 이벤트는 SS 항목에서만 초기세척효과가 나타났다. 3차 이벤트의 경우 강우 후반부의 강한 강우강도로 더 많은 비점오염물질 부하가 발생하여 초기세척 개념을 적용시키기 힘들 것으로 판단된다. 강우량이 적고 강우가 간헐적으로 발생한 5차 이벤트는 SS를 제외하면 초기세척효과가 나타나지 않았는데, 이것으로 보아 수질 항목 중 SS는 강우에 가장 민감한 것으로 사료된다. 반면에 대부분 COD_{Mn}, T-N은 기울기의 변화가 나타나지 않았는데, 이는 초기세척효과가 없음을 의미한다. 김 등(2003)의 연구에서는 비점오염물질의 유출특성을 파악하는데 있어 유역특성, 강우 특성, 유량특성 등의 인자에 대한 연구가 필요할 것으로 판단하였다. 본 연구 결과를 통해서도 알 수 있듯이 비점오염물질의 유출특성은 유역특성, 강우특성, 유량특성 등의 인자에 의해 영향을 끼치므로 지속적인 모니터링을 통해 다양한 데이터베이스를 구축하여 비점오염물질 유출특성을 체계적으로 파악해야 할 것으로 사료된다.

Table 4. EMCs and SMC for the storm events

| Parameter | EMCs (mg/L) | | | | | SMC (mg/L) |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|------------|
| | Event 1 | Event 2 | Event 3 | Event 4 | Event 5 | |
| Event date (y/m/d) | 08/06/17~19 | 08/06/28~30 | 08/08/15~16 | 08/08/22 | 08/10/22~23 | - |
| Ave. rainfall intensity (mm/hr) | 16.8 | 9.6 | 27.5 | 15.5 | 7.3 | - |
| Peak flow (CMS) | 2.98 | 1.36 | 17.24 | 1.66 | 0.05 | - |
| SS | 29.1 | 6.2 | 115.5 | 12.4 | 2.4 | 33.1 |
| BOD | 4.7 | 1.4 | 1.5 | 0.8 | 0.8 | 1.8 |
| COD _{Mn} | 11.6 | 6.7 | 8.6 | 5.6 | 2.0 | 6.9 |
| T-N | 3.432 | 2.257 | 3.025 | 2.959 | 2.478 | 2.830 |
| T-P | 0.016 | 0.054 | 0.095 | 0.012 | 0.011 | 0.038 |

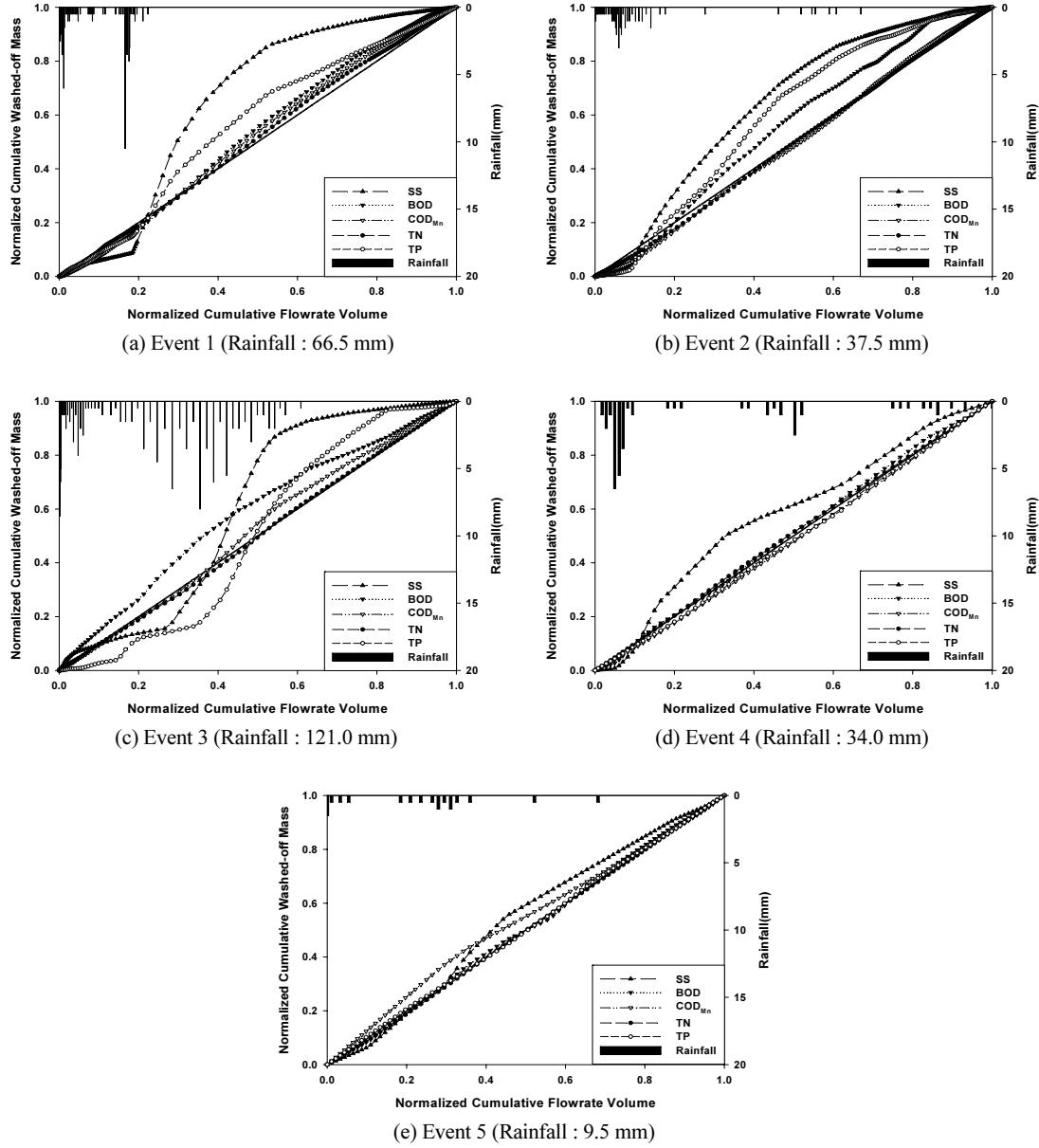


Fig. 3. Normalized cumulative curve on the various storm events.

3.4. 초기세척비율(Mass First Flush Ratio, MFF)

Table 5는 이벤트 별 Peak MFF_n 과 그 비율이 나타나 있다. Table 5에 나타난 바와 같이, 초기세척의 개념을 적용하기 어려운 3차 이벤트를 제외하면, 전반적으로 초기세척비율(Mass First Flush Ratio, MFF)은

$MFF_{20} \sim MFF_{40}$ 에서 피크를 나타냈다. SS의 경우 4차 이벤트에서 MFF_{20} 의 비율이 1.55으로 나타났는데 이는 초기 20 %의 강우유출수에 31.0 %의 비점오염물질이 포함되어 있음을 의미한다. 그리고 BOD의 경우 4차 이벤트에서 MFF_{30} 의 비율이 1.38로 나타났는데

Table 5. Summary of peak MFFn and Mass First Flush Ratio

| Parameter | Event | Event 1 | Event 2 | Event 3 | Event 4 | Event 5 |
|-------------------|---------------------------------|------------|------------|------------|---------|-------------|
| | Event date (y/m/d) | 08/6/17~19 | 08/6/28~30 | 08/8/15~16 | 08/8/22 | 08/10/22~23 |
| | Ave. rainfall intensity (mm/hr) | 16.8 | 9.6 | 27.5 | 15.5 | 7.3 |
| | Peak flow (CMS) | 2.98 | 1.36 | 17.24 | 1.66 | 0.05 |
| SS | Peak MFFn | 40 | 30 | 50 | 20 | 40 |
| | Rratio | 1.75 | 1.59 | 1.56 | 1.55 | 1.19 |
| BOD | Peak MFFn | 50 | 50 | 30 | 20 | 40 |
| | Ratio | 1.11 | 1.21 | 1.38 | 1.03 | 1.03 |
| COD _{Mn} | Peak MFFn | 50 | 80 | 50 | 90 | 10 |
| | Ratio | 1.07 | 1.02 | 1.09 | 1.00 | 1.26 |
| T-N | Peak MFFn | 60 | 80 | 60 | 30 | 50 |
| | Ratio | 1.04 | 1.01 | 1.01 | 1.04 | 1.00 |
| T-P | Peak MFFn | 40 | 40 | 70 | 90 | 10 |
| | Ratio | 1.31 | 1.4 | 1.20 | 1.00 | 1.04 |

이는 초기 30 %의 강우유출수에 41.4 %의 비점오염 물질이 포함되어 있었으며 T-P의 경우는 2차 이벤트에서 MFF₄₀의 비율이 1.40으로 나타났는데 이는 초기 40 %의 강우유출수에 56.0 %의 비점오염물질이 포함되어 초기유출이 가장 크게 나타났다. COD_{Mn}, T-N의 경우 Peak MFF_n의 비율은 각각 1.00~1.26, 1.00~1.04의 범위로 나타났는데 이것으로 비추어 볼 때, COD_{Mn}, T-N은 초기세척효과가 없음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 강우 시 중소도시지역에서 강우유출수와 함께 하천으로 유입되는 비점오염물질의 유출특성을 파악하기 위해 수행되었다. 연구 결과 유량이 증가함에 따라 SS, BOD, COD_{Mn}, T-P의 농도도 증가하는 것으로 나타났다. 분석된 결과를 바탕으로 EMCs 와 SMC를 산정한 결과 SS, T-P는 강우사상에 따라 높은 EMC 농도변화를 보였고 산술평균농도와 유량 기중평균농도를 비교하였는데 대체적으로 유량기중 평균농도가 더 높은 것으로 나타나 유량의 증감에 영향이 있는 것으로 나타났으나 T-N의 경우 영향이 없는 것으로 보였다. 또 초기세척효과를 살펴보면 강우 후반부의 강한 강우강도로 인해 초기세척개념을 적용시키기 어려운 3차 이벤트와 강우량이 적고 강우강도도 약했던 5차 이벤트를 제외한 다른 이벤트에서

초기세척효과가 관찰되었고 SS>T-P>BOD 순으로 뚜렷하게 나타났다. 본 연구를 통해 분석된 결과를 바탕으로 비점오염물질의 유출특성에 대한 다양한 데이터베이스를 구축하여 향후 비점오염원을 체계적으로 관리함으로써 하천 수질을 개선하려는 노력이 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- 김건하, 김영철, 이동률, 정하영, 여중현, 2003, 우리나라 농지-임야유역으로부터의 강우유출수 EMC 부하 분석 및 추정, 대한환경공학회지, 25(6), 760-770.
- 김이형, 강주현, 2004, 고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정, 한국물환경학회지, 20(6), 631-641.
- 김진호, 한국현, 이종식, 2008, 농촌유역의 강우사상별 농업 비점원오염물질 유출특성, 한국물환경학회, 24(1), 67-77.
- 노상덕,김장현, 이대근, 김선주, 손병용, 전양근, 2006, 횡성호 유역의 비강우시 및 강우시 오염물질 유출 특성, 한국물환경학회지, 22(4), 695-705.
- 노성덕, 이대근, 전양근, 2004, 도로상의 비점오염물질 저감을 위한 초기 우수유출수 처리에 관한 연구, 한국물환경학회지, 20(5), 525-533.
- 라덕관, 김기성, 1996, 수질에 미치는 비점오염원의 영향, 공업기술연구소 논문집, 10(10), 139-149.
- 박재영, 오종민, 김영철, 2001, 삼교호 유입하천에서 강

- 우시 주요 오염물질의 유출특성, 한국육수학회지, 34(1), 62-69.
- 안재환, 2000, 비도시지역에서 강우사상에 따른 비점오염원 유출 특성 연구, 건설기술정보, 18-23.
- 오영택, 박제철, 김동섭, 류재근, 2004, 강우시 소옥천에서의 비점오염원 유출특성, 한국물환경학회지, 20(6), 657-663.
- 이현동, 안재환, 배철호, 김운지, 2001, 강우시 유출 부하량을 이용한 팔당상수원 유역의 비점오염원 원단위와 발생량 추정, 한국물환경학회지, 17(3), 313- 326.
- 장성호, 박진식, 2004, 직지사천에서의 강우시 비점오염물질의 유출특성, 수처리기술, 12(3), 109-115.
- 한국수자원공사, 2003, 대청호 수질개선을 위한 소옥천환경조사 보고서Ⅱ, 39-41.
- 한국수자원공사, 2004, 대청댐 비점오염 저감방안 수립, 77-187.
- 환경부, 2004, 관계부처합동[물관리 종합대책]의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원 관리 종합대책, 1-2.
- 환경부, 2007, 수질오염공정시험방법, 106-299.
- Bedient, P. B., Lambert, J. L., Springer, N. K., 1980, Stormwater Pollutant Load-runoff Relationship, J. WPCF, 52(9), 2396-2404.
- Han, Y. H., Han, S. L., Lau, M. K., Stenstrom, M. K., 2006, Correlation analysis among highway stormwater pollutants and characteristics, water SCI. Technol, 53(2), 235-243.
- Ichiki, A., Yamada, K., 1999, Study on Charactristics of Pollutant Runoff into Lake Biwa Japan, Water Study. Technol., 39(13), 17-25.
- Lenold, S. C., Arnold, E. G., Rhodes, R. T., 1999, Standard Method for Examination of water and wastewater, 20th edition, New York, USA, 2.8- 5.18.
- Ma, J. S., Han, S. K., Li, Y. X., Kim, L. H., Ha, S., Lau, S. L., Kayhanian, M., Stenstrom, M. k., 2002, First flush phenomena for highways: how it can be meaningfully defined, Proceedings of the 9th International Conference on Urban Drainage (ICUD), Portland, Oregon, 1-11.
- Sartor, J. D., Body, G. B., Agardy, F. J., 1974, Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants, Journal of WPCF, 46(3), 458-467.
- Yun, S. J., Cho, J. H., 2005, Characteristics of plllutants discharge in Youngrang lake watershed, 2005 proceeding the korean society of water and wastewater, 442-448.