

도로노면 유출수의 비점오염원 배출 특성(2):  
중금속 및 병원성 미생물

Characteristics of Non-point Pollutants from the Road Runoff (2):  
Heavy Metals and Pathogens

박상우<sup>1</sup> · 오재일<sup>1,\*</sup> · 최영화<sup>1</sup> · 김종화<sup>2</sup> · 하재원<sup>2</sup>

Park, Sangwoo<sup>1</sup> · Oh, Jeill<sup>1,\*</sup> · Choi, Younghwa<sup>1</sup> · Kim Jonghwa<sup>2</sup> · Ha Jaewon<sup>2</sup>

1 중앙대학교 건설환경공학과

2 GS건설 주식회사

(2007년 1월 23일 논문 접수; 2007년 4월 2일 최종 수정논문 채택)

**Abstract**

Road runoff water includes various heavy metals (zinc, Zn; lead, Pb; copper, Cu; chrome, Cr; cadmium, Cd; etc.) and pathogens (E-coli and coliform). Since these pollutants are significantly harmful to human beings and have negative impact on water streams, numerous studies have been conducted to determine the characterization of these non-point pollutants from road runoff water. However, since these non-point pollutant concentrations vary depending on road traffic, road construction, and road maintenance, measurement of pollutant loadings in different site is necessary to estimate the effect of road runoff water on drinking water source. The objective of this study was to examine the quality of road runoff water from a city bridge in Seoul, Korea. This study was conducted for two years to assess annual discharge pollution loads. In this study, five key heavy metals (Zn, Pb, Cu, Cr, and Cd) and two pathogens (E-coli and coliform) were measured at 18 different events. The pollutant load mass transported was always higher than the corresponding runoff volume for Zn, Cu, and Cd, while Pb and Cr showed similar values between the load mass transported and the corresponding runoff volume. The event mean concentrations were Zn (0.908 mg/L), Pb (0.092mg/L), Cu (0.141mg/L), Cr (0.023mg/L), and Cd (0.006mg/L). Like Zn, Cu, and Cd, E-coli and coliform values (relatively high in Summer and Fall) are higher at the beginning of each event and decrease afterwards.

**Key words:** Non-point source, Road Runoff, Heavy metal, Pathogen, EMC

**주제어:** 비점오염원, 도로노면 유출수, 중금속, 병원성 미생물, 유량가중평균농도

\*Corresponding author Tel: +82-2-820-5339, FAX: +82-2-812-1834, E-mail: ohjeill@cau.ac.kr (Oh, J.I.)

## 1. 서론

비점오염원 내에서도 오염도가 심각하다고 알려져 있는 도로노면 유출수의 경우 다량의 중금속 오염물질을 포함한 것으로 알려져 있다. 중금속 오염물질을 발생원에 따라 살펴보면, 타이어 마모에서 Zn과 Cd이, 브레이크 마모에서 Pb, Cu, Cr과 Mn이, 엔진 마모와 연료 누출 등에서 Al, Cu, Cr과 Ni가 배출되는 것으로 조사된 바 있으며(Sansalone 등, 1996), 이러한 중금속 오염물질들은 분해가 잘 이루어지지 않아 오랜 시간 잔류하여 축적되며, 미량으로도 강력한 독성을 나타내는 것으로 알려져 있다.

도로노면 유출수 내의 중금속 오염물질 배출로 인한 피해의 심각성을 인식하고 국외에서는 이미 이와 관련된 연구사례가 많이 나와 있는 실정인데, 연구초반기에 Sansalone(1996) 등은 Cu, Cd, Zn, Ni이 거의 용존된 형태로 배출되는 반면, Al, Fe는 입자성의 형태로 배출되며, Cr, Pb는 그 용존과 입자의 중간 형태로 배출된다고 발표한 바 있으며, 최근 Tuccillo (2006)은, Zn과 Cu의 가변적인 용존성이 중금속 제거에 있어 문제가 될 수 있다고 발표하는 등, 중금속 오염물질의 배출 형태와 그에 따른 현상 규명이 주류를 이루고 있다. 국내에서도 다수의 연구진에 의하여 다양한 연구 결과가 발표되었는데, 이은주(2006) 등은 Cu, Fe, Zn의 함량이 Pb, Cd, Ni, Cr에 비하여 상대적으로 높으며, 높은 농도로 유출되는 Cu, Fe, Zn이 입자상의 물질과 유기물질, 영양염류와 상관관계가 높다고 밝힌바 있으며, 이준호(2005) 등과 김석구(2004) 등도 중금속 오염물질이 SS와 유사한 유출 현상을 나타냄을 규명한 바 있다.

한편, 국외의 경우 도로노면 유출수 내에 병원성 미생물이 포함되어 배출되는 것이 확인되었으며, 주로 입자성 부유물질에 부착되어 배출되는 것으로 발표되었다(Jeng 등, 2005). 국내에서는 아직 이와 관련된 연구가 진행되지 않은 것으로 파악된다.

이러한 기존의 다양한 선행 연구가 진행되어 있음에도 불구하고, 앞서의 시리즈 논문에서 언급하였듯이 국내의 경우 대다수의 연구가 단기간의 일시적인 모니터링을 통한 미시적인 현상 관찰에 머물러 정확한 국내 현황을 정확히 반영한다고 보기 어려우며,

국외의 연구 사례 역시 전반적인 현상의 거동은 유사하지만 기초적인 현황 자료의 신뢰가 어려울 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 전체 2년(2004/06/17~2006/05/22, 총 18회)에 걸친 장기간 모니터링을 통하여, 도로노면에서의 유출수에 대하여 중금속 항목인 Zn, Pb, Cu, Cr, Cd와 병원성 미생물인 *E. coli*, Coliform의 배출 및 부하 특성을 살펴보고, 각 오염물의 First-flush 분석을 실시하여, 차후 국내 도로 환경에 적합한 초기유출수 오염 저감 기술 개발 및 처리 시설 설계에 적합한 기초 자료를 획득하고자 한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. 조사지역

본 연구에서 선정된 조사 지점은 서울 한강을 횡단하는 W대교로 자세한 지점 설명은 시리즈 논문인 <도로노면 유출수의 비점오염원 배출특성(1) - 기본수질 항목>에 제시되어 있다. 해당 조사 지점은 일반고속도로와 다르게 교량이라는 특성상 노면 주변이 건물이나 식생으로부터 자유롭기 때문에, 강우 시 유출되는 오염물질을 살펴보았을 때 대기와 차량으로 인한 오염물질 외의 다른 오염원은 유입되지 않는다는 특징을 지니고 있다. 이는 주변 환경으로부터의 영향을 배제한 상태에서의 도로 노면 유출수의 분석을 가능케 해주는 장점을 지닌다 할 수 있다. 한편, 조사 지점의 평균적인 유출 계수는 약 0.93으로, 기존에 발표된 도로노면의 유출 계수와 거의 유사하게 나타났다(김이형 등, 2005; 노성덕 등, 2004).

### 2.2. 시료 채취 및 수질분석

2004년 6월부터 2006년 5월까지 약 2년에 걸쳐 시료 채취를 시행하였다. 시리즈 논문에 기술된 바대로 선행건기일수가 충분치 못한 장마기간과 강수량은 있지만 유출이 발생되지 않는 동절기를 제외하였기 때문에 대다수의 시료 채취는 봄과 가을 절기에 주로 이루어졌다(봄-8회, 여름-2회, 가을-7회, 겨울-1회).

기초조사를 통하여 선행건기일수가 오염물질의 배출 농도에 상당한 영향을 미치는 것으로 드러남에 따라(김이형, 2005; Lee 등, 2004), 기본적으로 다양한 선행건기일수를 고려하여 국내 현황을 대변할 수 있

도록 시료 채취 계획을 수립하였다. 그 결과, 전체 18회 중 선행건기일수 3~5일 사이가 8회, 9~11일 사이가 5회, 15일 이상이 5회로 다양한 조건의 선행건기일수를 확보할 수 있었다.

한편, 도로노면 유출수 내의 중금속 오염물질 및 병원성 미생물 분석을 위한 시료 채취는 시리즈 논문의 기술 내용과 동일하게 진행되었으며, 채취 종료 후 곧장 실험실로 운반하여 2가지 항목의 병원성 미생물에 대하여 분석하였고, 그 후 4°C에서 냉장 보관된 시료를 5가지 항목의 중금속 항목에 대해 분석하였다.

2.2.1. 중금속 항목 분석 방법

중금속 항목은 2004년 6월~2006년 5월에 걸친 약 2년 동안, 총 18회에 걸쳐 시료를 채취하여 분석하였다. 중금속 분석 대상 항목은 Zn, Pb, Cu, Cr, Cd의 5가지이며 각 항목에 대하여 용존상(dissolved) 농도와 총농도(용존상 + 입자상(particulate), 이하 총농도(total))로 구분하여 분석하였다. 중금속 오염물질의 용존상 농도를 측정하기 위하여 각각의 시료에서 10ml를 syringe로 취하여 pore size가 0.45µm인 syringe filter를 사용하여 샘플군을 만들었다. 중금속 오염물질의 총농도를 측정하기 위해서는 각각의 시료에서 역시 10ml를 취한 뒤 Standard methods (APHA, 1998) 3030E에 따라 별도로 전처리를 실시하여 또 하나의 샘플군을 만들었다. 두 가지의 샘플군 모두를 유도분극 플라즈마 원자발광광도계(ICP, JobinYvon, Ultima2)를 통하여 분석하였다. 그 후 입자상의 농도

는 각 중금속 오염물의 총농도에서 용존상의 농도를 제외한 값으로 추정하였다(Brown 등, 2005).

2.2.2. 병원성 미생물 항목 분석 방법

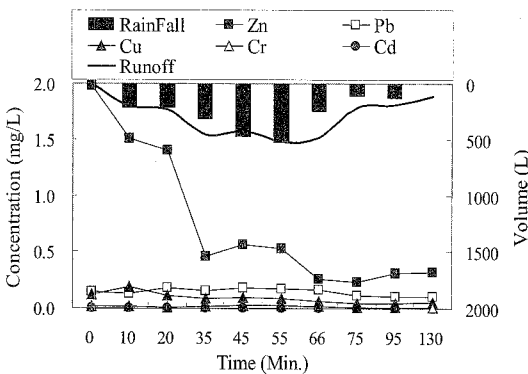
병원성 미생물 항목은 2005년 6월~2006년 5월에 걸친 약 1년 동안, 9회에 걸쳐 E-coli와 Coliform의 2가지 항목에 대하여 분석하였다. 실험의 신속성과 간편성을 위해 시중에서 판매되고 있는 미생물 건조 필름 배지(LTS KOREA, 사니타군)를 이용하여 실험하였다. 각각의 시료에서 1ml를 취한 뒤 이를 건조 필름 배지에 분주하고, 해당 시료를 멸균생리식염수를 이용하여 1/10 및 1/100로 희석한 용액에서 동일하게 1ml를 취하여 건조 필름 배지에 분주한 뒤 Incubator를 이용하여 35°C에서 24시간 배양하여 생성되는 콜로니(colony)의 개수를 파악하였다.

3. 결과 및 고찰

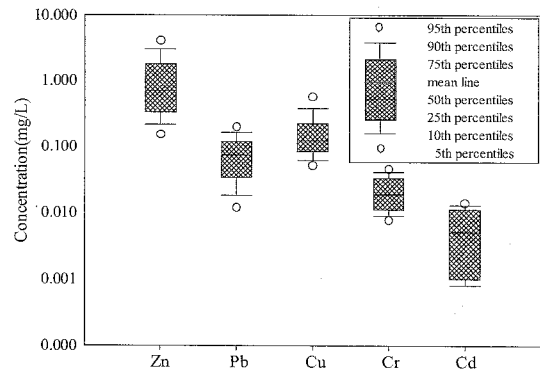
3.1. 도로노면 유출수 내 중금속 오염물의 배출 특성

시리즈 논문에서 살펴본 바와 같이 도로노면 상의 축적된 오염 물질은 그 양이 제한되어 있으므로, 중금속 항목들 역시 강우 유출 초기에 고농도로 유출되고 후반부로 갈수록 농도가 줄어드는 것을 Fig. 1의 (a)와 같이 확인했다.

Fig. 1의 (a)에서 Zn는 시간에 따른 유출 농도의 감소(exponential)가 명확히 눈에 띄나 Pb, Cu, Cr, Cd는 그 정도가 명확하지 않는데, 이는 유출 농도의



(a) 전형적인 중금속 오염원 배출 패턴(2004/09/05)



(b) 각 오염물별 배출 농도 범위

Fig. 1. 도로노면 유출수의 중금속 오염물 배출 특성.

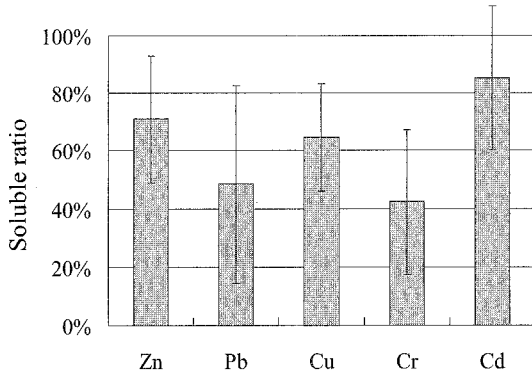


Fig. 2. 각 중금속 오염물질의 총농도에 대한 용존상 농도의 비율.

절대량의 차이가 크기 때문에 보이는 현상이다. 실제로 각 중금속 오염물질의 배출 농도 범위를 Fig. 1의 (b)에 종합 정리한 결과(해당 중금속 오염물의 농도는 용존상과 입자상을 모두 합친 총농도이다.), 중금속 오염물질의 유출 농도 값은 Zn과 Pb 및 Cu의 농도가 전반적으로 높은 편이며 Cr 및 Cd는 매우 소량 또는 미검출됨이 확인되었다( $Zn \gg Cu > Pb \gg Cr > Cd$ ). 이는 본 조사 구간이 진입로(ramp)와 본선의 병합지역으로 잦은 브레이크가 사용되며 타이어의 마모가 심하여 많은 양의 Zn과 Pb 및 Cu 성분이 농축되어 있던 것으로 사료된다. 또한 조사지점뿐만 아니라 일반적으로 교량부 및 도로 노면 유출수의 경우 Zn과 Pb 및 Cu 항목의 수치가 높게 검출되므로 (Brown 등, 2005) 이에 대한 집중적인 저감 대책이 필요할 것으로 생각된다.

### 3.2. 용존상과 입자상에 따른 중금속 항목별의 배출 형태

시리즈 논문의 기본 수질 항목과 동일한 과정으로 중금속 오염물의 배출 형태를 알아보았다. 용존상의 농도와 입자상의 농도를 분류하여 분석한 뒤 총농도 농도에 대한 용존상 농도의 평균적인 비율을 구하여 Fig. 2에 이를 종합 정리하였다.

Fig. 2에서 볼 수 있듯이 Zn과 Cu 및 Cd의 경우 총농도에 대한 용존상의 농도 비율이 각각 약 70%, 65%, 85%로 용존상의 농도가 지배적인 반면 Pb 및 Cr은 각각 49%, 42%로 용존상의 농도와 입자상의 농도가 거의 비슷한 수준으로 나타났다. 이는

Donald(2001)가 보고한 값과도 유사한 값이다. 하지만 분석된 일부 데이터에서 상기의 결과와 모순되는 값들을 발견할 수 있다. 입자상의 농도가 용존상의 농도보다 매우 크게 나타나는 현상인데 이는 강우의 유출 강도가 상대적으로 크기 때문에 발생하는 현상이다. 입자상의 농도는 유출 강도의 함수로 표현된다고 이미 보고(Sansalone 등, 1996)된 바 있는데 해당 발생 강우의 특성을 살펴보면 유출 강도가 높은 편이었다. 이러한 예외적인 상황을 제외하였을 경우 전형적인 중금속 오염물질의 배출 형태는 Fig. 3과 같은 형태를 보인다.

### 3.3. 중금속 항목별 First-flush 현상

한편, 앞서 살펴본 바와 같이 유출 초반 고농도를 나타내다 점차 감소하는 것으로 미루어 볼 때 중금속 오염물질들의 First-flush 현상이 예측되었다. 이에 시리즈 논문의 식 (1)를 통해 언급한 바와 같이 각 강우 사상별 유출 유량과 오염물질을 부하 단위로 환산하고, 이를 다시 상대 누적 유출 유량과 부하량 단위로 환산하여 초기 유출 정도를 점검하였다.

Fig. 4는 First-flush 현상을 분석하여 나타낸 것으로 그림 내의 각 대각선은 일종의 First-flush 검량선이다. 일정한 부하량으로 유출이 진행되었을 경우 데이터 표식이 대각선과 같은 기울기를 나타내지만, 유출 초반에 많은 양의 오염물질이 유출될 경우는 대각선 위로, 유출 후반에 많은 양의 오염물질이 유출될 경우는 대각선 아래로 데이터 표식이 나타나게 된다.

Fig. 4를 살펴보면 Zn, Cu, Cd의 경우 다수의 표식이 검출선 위로 나타나 높은 초기 유출율을 나타내나, Cr은 그 정도가 적어 낮은 초기 유출율을 보이며, Pb의 경우는 거의 검출선 상에 나타나 일정한 비율로 꾸준히 배출됨을 알 수 있다. 이러한 차이를 보이는 것은 앞서 살펴본 바와 같이 Zn, Cu, Cd의 용존율이 Pb, Cr의 용존율 보다 높기 때문인 것으로 추정된다.

### 3.4. 중금속 항목별 EMC 산정

앞서 살펴본 배출 농도 범위는 유량을 고려하지 않은 농도 단위로 차후 부하량 관점에서의 접근을 도모하기 위하여 EMC 산정을 실시하였다. 방법론은 시리즈 논문과 동일하며 시리즈 논문의 식 (2)을 통해

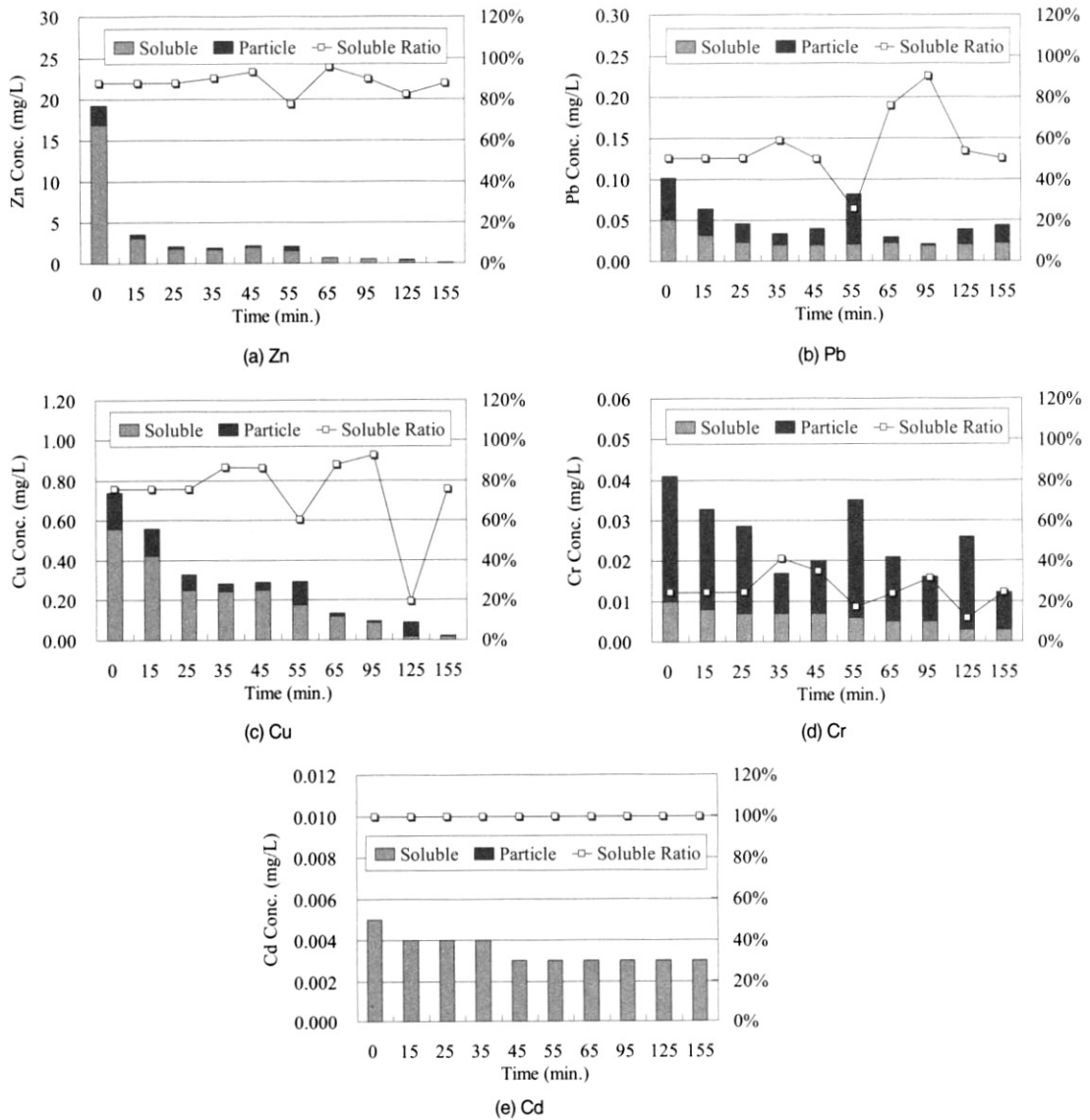


Fig. 3. 유출 진행에 따른 각 중금속 오염물질별 용존상 및 입자상 농도 비율 변화(2005/11/6).

Table 1. 각 중금속 오염물질별 배출 범위(EMC)

(Unit: mg/L)

구분	Zn	Pb	Cu	Cr	Cd
농도범위*	0.172~2.406	0.023~0.191	0.054~0.353	0.011~0.041	0.001~0.014
제1사분위수**	0.381	0.044	0.094	0.015	0.002
중앙값***	0.752	0.080	0.112	0.020	0.005
제3사분위수****	1.202	0.131	0.175	0.029	0.011
평균	0.908	0.092	0.141	0.023	0.006
95% 신뢰구간	0.591~1.226	0.067~0.117	0.107~0.174	0.018~0.027	0.004~0.009

\*농도범위: 최대값~최소값, \*\*제1사분위수: 25번째 백분위수, \*\*\*중앙값: 50번째 백분위수, \*\*\*\*제3사분위수: 75번째 백분위수

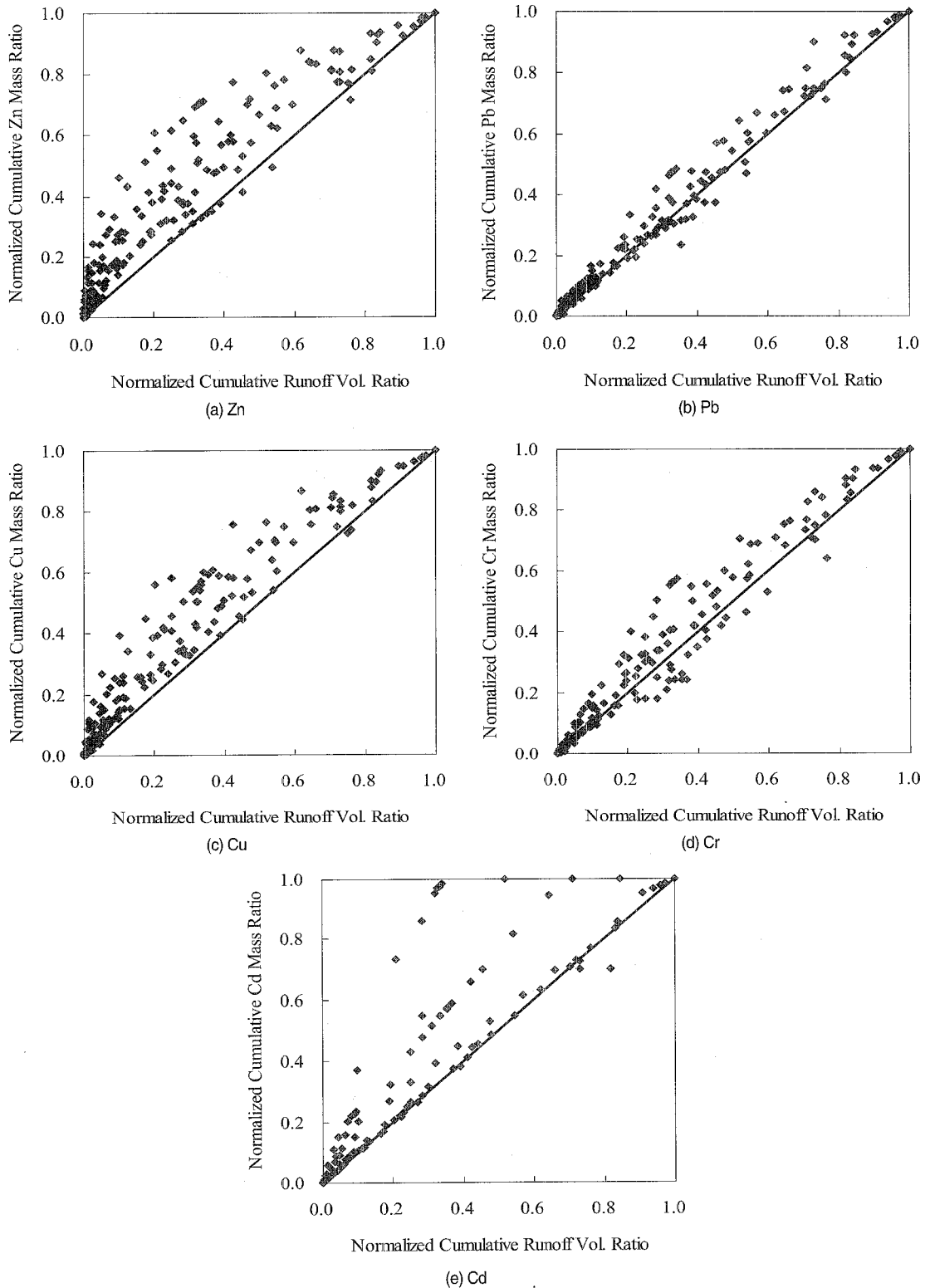


Fig. 4. 각 중금속 오염물질별 First-flush 현상

Table 2. 국내 · 외 EMC 산정 비교 자료

참고문헌	Zn	Pb	Cu	Cr	ADT*
NCHRP (2001)	0.329	0.400	0.054	-	>30000
Wu et al. (1998)	-	0.021	0.024	0.008	25000
Legret (1999)	0.356	0.058	0.045	-	12000
Barrett et. al. (1995)	0.208	0.05	0.034	-	58150
김이형 등(2006)	0.042~0.858	-	0.058~0.928	-	-

\*ADT: Average Daily Traffic(cars/day)

\*\*조건이 다른 다양한 지역에서의 EMC 산정을 고려하여 대략적인 범위로 표기함.

Table 3. 병원성 미생물 배출범위(EMC)

구분	E-coil.	Coliform
농도범위*	0.064~34.756	0.505~158.242
제1사분위수**	1.870	2.159
중앙값***	3.566	25.098
제3사분위수****	11.139	63.093
평균	10.006	42.693
95% 신뢰구간	3.528~16.484	17.847~67.540

\*농도범위: 최대값~최소값, \*\*제1사분위수: 25번째 백분위수, \*\*\*중앙값: 50번째 백분위수, \*\*\*\*제3사분위수: 75번째 백분위수

여 산정하였다.

각 중금속 항목별 EMC를 국·내외 조사 보고와 비교한 결과, 국내 조사 보고와는 상당히 유사하나 국외 조사 보고에 비해서는 전반적으로 Zn과 Cu의 농도가 2개 이상 높게 검출되는 것으로 나타났다.

### 3.5. 병원성 미생물의 배출 특성

수자원의 활용 측면에 있어 사람의 질병을 야기할 수 있는 병원성 미생물의 존재 유무는 언제나 큰 관심사로 등장했다. 도로노면 유출수의 배출구에 높은 습기와 퇴적된 오염원 등으로 인한 양분 공급을 통하여 미생물이 번식하기 쉬운 조건이 만족된다. 실제로 2005년 6월~2006년 5월에 걸친 약 1년간(총 9회)의 분석 결과 겨울 및 초봄을 제외한 여름에서 가을에 높은 농도의 병원성 미생물이 배출됨을 확인할 수 있었다. 다음은 병원성 미생물의 배출범위를 나타낸 표이다.

한편, 병원성 미생물이 입자성 물질에 흡착하여 성장할 가능성이 클 것으로 예상되어, 입자성 물질의 유출에 큰 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있는 강

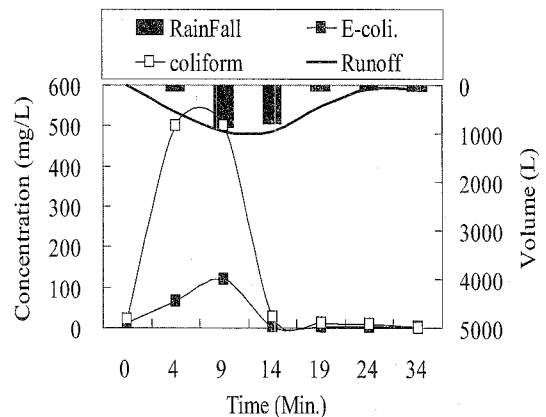


Fig. 5. 유출 진행에 따른 병원성 미생물의 유출 농도 변화 (2005/6/26).

우 유출량과의 관계를 Fig. 5와 같이 나타냈다.

유출 초반 높은 강우강도 및 유출 유량으로 인하여 E. coli 및 Coliform의 유출이 활발히 이루어졌으나 후반으로 갈수록 점차 줄어 미미하게 변화됨을 확인하였다. 이는 병원성 미생물의 배출이 초기 유출 및 유출 유량, 강우강도 등과 매우 밀접한 관계를 가진다는 보고(Jeng 등, 2005)와 유사한 결과이다.

## 4. 결론

본 논문에서는 강우시 발생하는 도로노면 유출수 내의 중금속 항목 및 병원성 미생물 항목의 배출 특성을 살펴보기 위해 2004년에서 2006년까지 18회에 걸친 수질 자료를 바탕으로 분석하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 중금속 농도는 Zn, Pb, Cu가 높게 검출되는데

이는 타이어 및 브레이크의 마모로 인하여 농축된 것으로 판단된다. 본 조사지점 외의 일반 도로노면 유출수의 경우에도 상기 항목의 수치가 높게 나오는 것이 일반이므로 이에 대한 집중적인 저감 대책이 필요하다. 전반적인 검출 농도는  $Zn \gg Cu > Pb \gg Cr > Cd$  순이다.

2. Zn, Cu, Cr, Cd는 모두 초기 유출 현상을 나타냈으며, 특히 초기 20%의 도로노면 유출수 내에 각각 전체 배출량의 약 37%, 34%, 25%, 30%가 함유되어 배출되는 것으로 나타났다. Pb는 22%에 그쳤다.

3. 각 중금속 오염물질의 오염원 배출 형태를 간략히 살펴본 결과, Zn과 Cu 및 Cd의 경우 용존율이 각각 약 70%, 65%, 85%로 용존상의 농도가 지배적이었다. 반면 Pb 및 Cr은 각각 49%, 42%에 머무는 것을 확인하였다. 이는 개별 오염원의 초기 유출 양상의 차이를 설명하여 주는 근거가 된다.

4. 조사지점의 각 중금속 오염물질에 대한 유량 가중 평균 농도(EMC)는 Zn은 0.172~2.406mg/L, Pb은 0.023~0.191mg/L, Cu은 0.054~0.353mg/L, Cr는 0.011~0.041mg/L, Cd는 0.001~0.014mg/L로 나타났다. 국외 조사 보고에 비하여 Zn, Cu의 농도가 2배 이상 높게 검출되는 것으로 나타났다.

5. 병원성 미생물의 배출 특성을 분석한 결과 *E-coli*와 *Coliform*는 초기 유출 현상을 나타내며, 유출 유량 및 강우강도와 매우 밀접한 관계를 나타냈다. 한편 겨울 및 초봄을 제외한 여름에서 가을 사이에 고농도의 병원성 미생물이 배출됨이 확인됐다.

## 참고문헌

1. 강용태, 조용현, 송근관, 장성부 (2004) 공공수역 수질 개선과 맛있는 수돗물 생산을 위한 하, 폐수 및 정수처리시스템 구성, 한국수처리학회(구한국수처리기술연구회), *수처리기술*, 12(3), pp. 9-20.
2. 김이형, 이선하 (2005) 주차장 및 교량지역의 강우유출수내 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs, 한국물환경학회(구한국수질보전학회), *수질보전*, 21(3), pp. 248-255.
3. 박연희, 박석순 (2004) 강우강도에 따른 토지이용별 비점오염원 부하량 산정 함수 연구, *대한환경공학회지*, 26(10), pp. 1070-1079.
4. 오재일, 최용길, 최영화, 도로 노면 유출수의 비점오염원 배출 특성 - 유출 계수 및 기본 수질 특성, 한국도로학회, 제출 심사중.
5. 최광운, 이종태 (2000) 수문자료분석 (3) - 강우, 풍속 및 건기일수와 대기 먼지 오염량과의 상관성 분석, *대한토목학회, 학술발표논문집*, 3, pp. 119-122.
6. 최지용, 신창민 (2002) 비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리방안, 한국환경정책·평가연구원.
7. 환경부 (2004) 관계부처합동 「물관리 종합대책」의 추진 강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책.
8. Buffleben M.S., Zayed K., Kimbrough D., Stenstrom M.K., Suffet I.H. (2002) Evaluation of Urban Non-Point Source Runoff of Hazardous Metals Entering Santa Monica Bay, California, *Water Science And Technology*, 45(9), pp. 263-268.
9. Deletic A.B., Maksimovic C.T. (1998) Evaluation of Water Quality Factor in Storm Runoff from Paved Areas, *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, 124(9), pp. 869-879.
10. Glenn D.W. (2001) *Heavy Metal Distribution for Aqueous and Solid Phases in Urban Runoff, Snowmelt and Solids*, Doctor of Philosophy, Louisiana State University, U.S.
11. Lee H., Lau S.L., Kayhanian M., Stenstrom M.K. (2004) Seasonal First Flush Phenomenon of Urban Stormwater Discharges, *Water Research*, 38(19), pp. 4153-4163.
12. Jeng H.A.C., Englande A.J., Bakeer R.M., Bradford H.B. (2005) Impact of Urban Stormwater Runoff on Estuarine Environmental Quality, Estuarine, *Coastal and Shelf Science*, 63(4), pp. 513-526.
13. Brown J.N., Peake B.M. (2005) *Sources of Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Stormwater Runoff*, Science of The Total Environment, In Press, Corrected Proof, Available Online 12 July 2005.
14. Sansalone J.J., Buchberger S.G., Al-Abed S.R. (1996) Fractionation of Heavy Metals in Pavement Runoff, *The Science of the Total Environment*, 189/190, pp. 371-378.
15. Lee J.H., Bang K.W. (2000) Characterization of Urban Stormwater Runoff, *Water Research*, 34(6), pp. 1773-1780.