

주차장 및 교량 강우유출수의 중금속 오염물질 특성과 동적 EMCs

김이형[†] · 이선하

국립공주대학교 건설환경공학부 방재연구센터

Characteristics of Metal Pollutants and Dynamic EMCs in a Parking Lot and a Bridge during Storms

Lee-Hyung Kim[†] · Seonha Lee

Dept. of Civil & Environ. Engr., Disaster Prevention Research Center, Kongju National University,
Kongju, Chungnamdo, 314-701, Korea

(Received 4 April 2005, Accepted 3 May 2005)

Abstract

The control of nonpoint source pollution is essentially needed to successfully perform the Total Maximum Daily Load program. Of the various land uses in the nonpoint source, the paved areas such as a parking lot and a bridge are stormwater intensive land uses because of high imperviousness and high pollutant mass emissions. This research was performed to understand the magnitude and nature of the stormwater emissions with the purposes of quantifying stormwater pollutant concentrations and mass emission rates from a parking lot and a bridge. Two monitoring sites in Kongju city were equipped with an automatic rainfall gages and an automatic flow meter for accumulating the data such as rainfall, water quality and runoff flow rates. This paper will summarize the metal concentration changes during the storm duration and metal EMCs to characterize the concentration profiles in a parking lot and a bridge. Also a new concept, dynamic EMC, will be proposed to find the relationship between EMC and first flush effect. It can be used to determine the economical treatment criteria in best management practices.

keywords : Bridge, Dynamic EMCs, Metal, Nonpoint sources, Parking lot

1. 서론

수질 환경정책의 근간은 상수원수인 하천 및 호소수의 안전한 수질을 목표로 하고 있다. 그러나 수계 유역의 지속적인 인간의 활동으로 인한 다양한 토지이용으로부터 유출되는 비점오염물질(nonpoint pollutants)은 상수원수인 수계로 지속적으로 유입되어 오염물질 부하량을 양적으로 크게 증대시키고 있다. 따라서 최근 4대강에서의 오염총량관리제(Total Maximum Daily Load, TMDL)도입은 국내 환경정책의 일대 전환점으로 점오염원(point sources) 관리와 더불어 비점오염원(nonpoint sources) 관리에 대한 중요성을 인식한 결과이다. 오염총량관리제는 기존의 방류수 규제와는 달리 유역(watershed)이라는 개념으로 접근하여야 하며, 오염총량이란 수계로 유입되는 점오염원 부하량, 비점오염원 부하량 및 안전율의 합으로 산정되어 있다. 현재 국내 4대강에서의 수계별 오염총량 목표수질은 BOD 기준으로 1-6 mg/L의 범위로 산정되어 있다(환경부, 2004a). 현재 4대강의 비점오염원에 의한 오염 부하량 기여율은 개략적으로 22-40% 정도를 차지하고 있으며, 환경기초시설 확대

인하여 비점오염원에 의한 기여율이 급속도로 증가하고 있는 수계 유역에 존재하는 비점오염원 관리 없이는 오염총량제의 성공적인 정착을 기대할 수 없는 실정이다(환경부, 2004b).

따라서 환경부는 비점오염원 관리의 중요성을 인식하여 2002년도에 비점오염원 관리대책 수립계획을 마련하였으며, 2004년 6월에 관계기관 합동으로 [물관리 종합대책의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책]을 발표하였다(환경부, 2004a). 또한 국무총리실 주최로 2004년 11월에 [비점오염원관리종합대책 추진평가를 위한 workshop]을 개최하여 관계 부처 및 기관별 비점오염원 관련 법안 개정과 대책 수립 및 계획을 평가하였다. 이러한 노력의 결과로 2005년 2월 제 252회 임시국회에서 비점오염원 관련 개정법안들이 국회를 통과함으로써 비점오염원 관리에 대한 정책의 결실을 보았다.

비점오염물질은 다양한 토지이용이라는 비점오염원으로부터 강우시 유출되어 하천이나 호소로 유입된다. 다양한 토지이용이라 함은 도시지역(상업용지, 산업단지, 주거지역, 공공지역, 나대지, 공원, 도로, 주차장 등), 농업지역(논, 밭 등), 삼림지역, 건설현장, 골프장 등으로 분류되며, 토지이용의 특성에 따라 유출되는 오염물질의 종류와 양이 다르다. 이러한 다양한 토지이용 중에서 도시지역의 비점오염원

[†] To whom correspondence should be addressed.
leehyung@kongju.ac.kr

Table 1. Washed-off and predicted nonpoint pollutant mass with landuses (BOD, ton/day)

Year	Total	Urban	Agricultural	Forest	Etc.
2004	282.4(100%)	146.7(52.0%)	32.3(11.4%)	48.5(17.2%)	54.9(19.4%)
2005	305.3(100%)	170.5(55.8%)	31.7(10.4%)	48.2(15.8%)	54.9(18.0%)
2011	332.0(100%)	198.2(59.7%)	31.0(9.3%)	47.9(14.4%)	54.9(16.5%)
2020	380.9(100%)	248.4(65.2%)	30.1(7.9%)	47.5(12.5%)	54.9(14.4%)

에 관한 관심이 큰 이유는 높은 불투수율에 의하여 적은 유역면적에 비하여 기타 토지이용에 비해 강우 유출수의 양 및 오염물질의 유출량이 크기 때문이다. Table 1은 국내에서의 토지이용별 비점오염물질에 의한 BOD 유출현황 및 예측을 보여주고 있다. 전체 토지이용 중에서 도시 지역에서 유출되는 BOD 부하율이 2004년도에 52%를 차지하고 있으나, 지속적인 유역면적의 증가에 따른 강우 유출량의 증가로 인하여 2020년에는 전체 유출량의 65.2%를 차지할 전망이다(환경부, 2004a). 따라서 다양한 비점오염원 중에서 도시지역의 비점오염원 관리방안 수립이 국내뿐 아니라 국제적으로 큰 관심을 보이고 있다.

도시지역은 주차장, 도로 및 광장 등의 확대에 의해 불투수층의 증가가 심한 지역이며, 이에 따라 강우 발생시 주변 환경에 다양한 환경수리학적 문제를 야기 시킨다. 불투수층의 증가는 강우 유출계수의 상승을 유발하게 되며 강우 유출수의 증가로 이어진다. 특히 강우 초기에 고농도의 비점오염물질이 유출되는 초기강우 현상을 일으키고, 다른 토지이용에 비해 동일 면적 당 오염물질 유출 부하량이 높으며 많은 차량의 활동으로 인하여 다량의 입자상, 중금속 및 유해 화학물질 등의 유출이 높은 지역이다. 또한 주차장 및 교량의 경우 하천 인근에 많이 존재하여 강우 발생시 비점오염물질이 인근 수계에 직접적으로 영향을 끼치게 된다(Kim et al., 2004, 2005; 김 등, 2004a). 이러한 포장된 지역에서의 비점오염물질 유출저감은 오염총량관리제에서도 중요한 관리 대상으로 인식되고 있으나, 현재 국내의 상황은 모니터링을 통한 기초조사 자료의 부족으로 인하여 관리방안 수립에 큰 애로점을 가지고 있다.

따라서 본 연구는 도시 내 포장지역 중에서 하천에 직접적으로 환경적 영향을 끼치게 되는 교량과 주차장 지역에서의 강우시 비점오염물질 유출경향을 파악하고자 수행되

었다. 이러한 기초조사 결과는 향후 포장 지역의 비점오염원 관리방안 수립시 유출 부하량 산정 및 관리방안 수립에 활용될 수 있을 것이며, 여기서는 중금속에 관한 부분만을 정리하고자 한다.

2. 모니터링 및 분석방법

2.1. 모니터링

본 연구의 대상지역인 주차장 및 교량 지역은 포장율이 높고, 많은 차량의 운행에 의하여 오염물질 축적이 많으며 강우 발생시 초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 초기강우 현상을 보이는 토지이용 지역이다. 이러한 포장지역의 비점오염물질 유출 특성을 모니터링 계획 수립에 최대한 반영하기 위하여 본 연구진은 세밀한 모니터링 프로그램을 수립하였다. 본 연구에서는 비점오염원의 모니터링에 따른 다양한 불확실성을 최대한 줄이기 위하여 강우량 및 유출수율을 자동 유량계 및 우량계를 동원하여 1분 단위로 측정하였다. 수질시료 모니터링 방법으로는 초기강우 현상을 파악하기 위하여 강우가 시작되고 유출이 발생하는 즉시 첫 번째 수질시료를 채취하였으며 그 후 5분 간격으로 15분 동안, 15분 간격 및 30분 간격으로 1시간 동안, 그 후 1시간 간격으로 강우 유출이 끝날 때까지 수질시료를 채취하였다(김 등, 2004a, 2004b, 2004c). Fig. 1은 모니터링이 수행된 지점을 나타내고 있으며, Site 1은 일반 주차장과 도로를 포함한 지역이며, Site 2는 교량 지점을 나타내고 있다.

2.2. EMC 및 동적 EMC 분석

비점오염물질 유출 부하량 산정에 중요한 EMC는 강우사상에 따른 평균 농도이지만, 산정방법에 따라 유출 부하

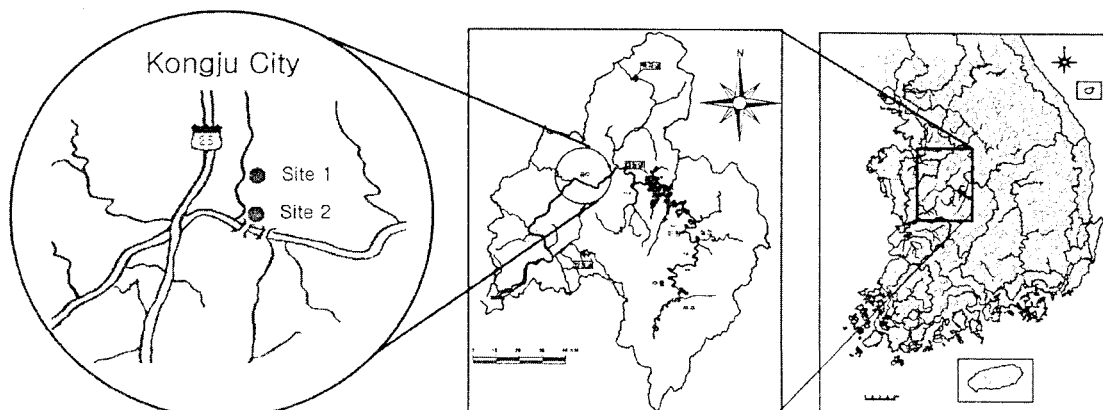


Fig. 1. Monitoring locations.

량은 몇 십배 이상의 차이를 보일 수 있기 때문에 채취된 수질시료 농도의 산술 평균으로 산정되어져서는 안된다. 정확한 EMC 산정을 위해서는 세밀한 모니터링 프로그램을 수행하여 그 결과를 이용하여 산정하여야 한다(김 등, 2005). 식 (1)은 강우 사상에 대한 강우사상별 EMC 산정식을 보여주고 있으며 특정 강우사상에서 유출된 전체 오염물질의 양을 전체 유출량으로 나누어 계산하는 방식으로 비점오염원 평균 농도 산정시 중요하게 이용되고 있다.

$$EMC(mg/L) = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} C(t) \cdot q_{run}(t)}{\sum_{t=0}^{t=T} q_{run}(t)} \quad (1)$$

$$Dynamic\ EMC(mg/L) = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} C(t) \cdot q_{run}(t)}{\sum_{t=0}^{t=T} q_{run}(t)} \quad (2)$$

여기서 $q_{run}(t)$ 와 $C(t)$ 는 t 시간에서의 유출율과 오염물질의 유출 농도를 나타내고 있다.

포장된 지역의 비점오염원 연구에서 EMC와 함께 중요한 연구대상은 초기강우 현상이다. 초기강우 연구는 향후 비점 오염물질 처리기준을 위한 경제적 용량 산정시에 중요하게 고려되는 부분이다. 그러나 포장된 지역이라 할지라도 모든 강우 사상에서 초기강우가 필연적으로 발생하는 것은 아니며, 강우강도 및 유역면적, 강우 전 건조일수 등에 의해서 발생여부가 영향을 받을 수 있다. 따라서 본 연구는 동적 EMC(Dynamic EMC) 개념을 도입하여 초기강우 현상을 명확하게 산정하고자 하며, 초기강우와 EMC와의 관계도 규명하고자 한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 모니터링 결과 및 비점오염물질의 유출 경향

Table 2는 모니터링 결과를 나타내고 있으며, 유역면적은 주차장 지점이 171.64 m²로 나타났고, 교량 지점이 632.0 m²로 측정되었다. 두 지점에서 강우 사상에 대한 모니터링

은 7회에 걸쳐서 수행되었다.

또한 Table 2는 강우사상별 발생일자(event date), 강우 전 건조일수(antecedent dry days, ADD), 전체 강우량(total rainfall), 강우 지속시간(runoff duration), 평균 강우강도(average rainfall intensity) 및 유출계수(runoff coefficient)가 지점별로 나타내고 있다. 강우 전 건조일수는 두 지점에서 1.8-18일까지의 범위를 보이며 전체 강우량은 8.1-45.3 mm의 범위로 나타났다. 강우 지속시간은 주차장 지점에서 4.57-9.73시간을 나타내며 교량지역에서 4.78-10.77시간으로 측정되었다. 지점에서서 유출계수는 주차장 지역이 0.64-0.90의 범위를 보였으며 교량지역이 0.71-0.92의 범위를 보이고 있다.

일반적으로 포장된 지역에서의 강우 유출수는 강우 초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 초기강우 현상을 보이는데, Fig. 2는 이러한 특성을 잘 보여주는 수리수문곡선(hydrograph)과 중금속에 대한 농도곡선(pollutograph)을 보여주고 있다. 그림은 모니터링을 통해 채취된 시료의 정량적인 농도변화와 1분 단위로 측정된 강우량 및 유출수율을 보여주고 있는데, 강우가 시작된 이후 20-40분 이내에 오염물질의 농도가 급격히 떨어지는 초기강우 현상을 볼 수 있다. 오염물질 유출에 대한 모니터링 해석 결과 대부분의 강우사상에서 초기강우 현상을 파악할 수 있었으며, 강우가 시작된 이후 초기 20분 동안 급격한 오염물질의 감소를 볼 수 있었고, 40분 이후에는 오염물질의 감소가 극히 작은 것으로 나타났다.

3.2. 강우에 의해 유출되는 중금속의 통계학적 분석

주차장 및 교량에서 유출되는 중금속의 정량적인 분포를 파악하기 위하여 Fig. 3과 같이 유출되는 중금속에 대한 통계분석을 실시하였다. 주차장에서 유출되는 최대농도를 살펴본 결과 다음과 같은 값을 보였다: Total Cu(790 µg/L), Total Fe(480 µg/L), Total Ni(20.6 µg/L), Total Pb(7.63 µg/L) 그리고 Total Zn(650 µg/L). 교량에서 유출되는 최대 중금속의 농도는 주차장에 비해 대부분 높게 나타났으며 다음과 같은 값을 보이고 있다: Total Cu(364 µg/L), Total Fe(750 µg/L), Total Ni(60.5 µg/L), Total Pb(18.7 µg/L) 그리고 Total Zn(1,020 µg/L).

95% 통계학적 확신범위의 중금속 농도 범위는 Total Cu가 주차장에서 128.5-208.2 µg/L, 교량에서 149-189 µg/L의

Table 2. Event table in a parking lot and a bridge

Events (Parking lot/bridge)	Event Date	ADD (days)	Total Rainfall (mm)	Runoff Duration (hr)	Avg. Rainfall Intensity(mm/hr)	Runoff Coeff.
E-1	2004/05/28	13	20.5	4.57(1)/4.78(2)	4.5/4.3	0.88/0.87
E-2	2004/06/17	18	45.3	9.73/10.77	4.7/4.2	0.90/0.92
E-3	2004/07/03	2	36.4	9.2/9.22	4.0/3.9	0.94/0.71
E-4	2004/07/11	3	9	7.02/8.73	1.3/1.0	0.64/0.68
E-5	2004/08/16	1.8	29.4	7.33/5.67	4.0/5.2	0.81/0.79
E-6	2004/08/22	2	8.1	5.55/6.23	1.5/1.3	0.85/0.83
E-7	2004/09/11	3	36.2	6.45/5.05	5.6/7.2	0.88/0.80

where, (1) means the parking lot and (2) means the bridge area.

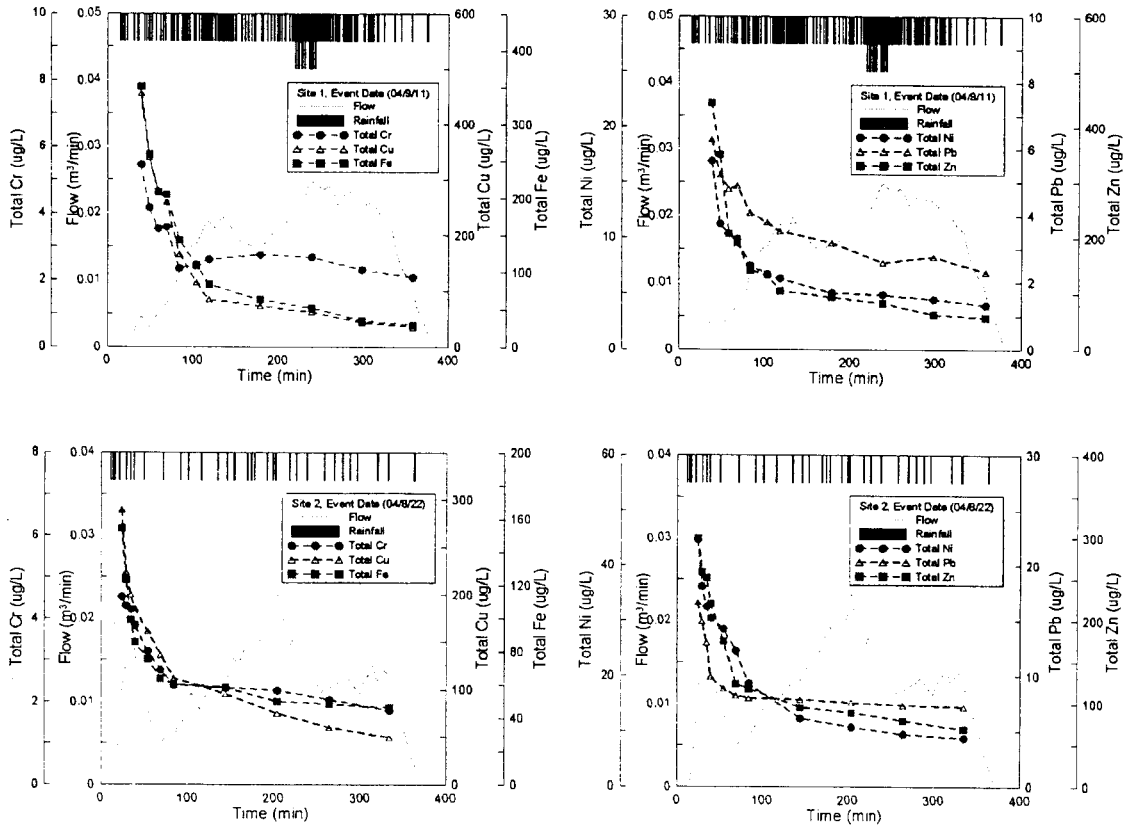


Fig. 2. Hydro- and pollutographs for metals in each site.

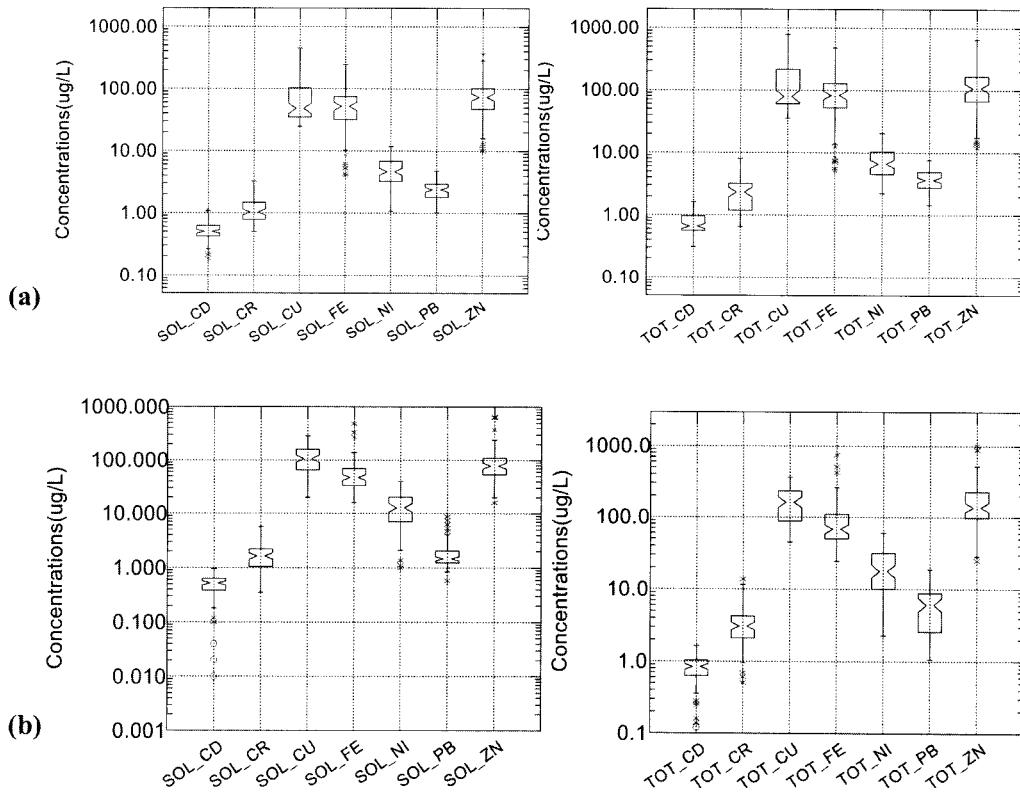


Fig. 3. Statistical analysis for metal concentrations: (a) parking lot and (b) bridge.

범위를 보이고 있다. Total Fe는 주차장에서 85.7-129 ug/L, 교량에서 74.4-121.3 ug/L의 범위를 보이고 있으며, Total Ni은 주차장에서 6.8-8.6 ug/L, 교량에서 18.3-24.6 ug/L의 범위를 보이고 있다. 그리고 Total Pb는 주차장에서 3.65-4.30 ug/L, 교량에서 5.56-7.56 ug/L의 범위를 보이고 있으며, Total Zn의 경우 주차장에서 113-166 ug/L, 교량에서 147-217 ug/L의 높은 농도 범위를 보이고 있다. 이러한 분석 결과, 주차장 및 교량지역 등의 포장된 지역에서는 Cu, Fe, Pb 및 Zn의 함량은 주로 높게 나타났으며, 상대적으로 Cd, Cr 및 Ni의 함량은 낮게 나타났다. 95% 통계학적 확신범위를 살펴볼 때, 중금속의 농도분포는 교량이 주차장보다 큰 범위를 보이고 있다. 이는 차량의 운행빈도 및 대형 차량의 운행이 중금속의 축적 및 유출에 큰 영향을 주는 원인으로 판단된다. 주차장의 경우 대부분 엔진이 정지된 채 차량이 정차되어 있기에 교량에 비해 오염물질의 축적이 낮은 것으로 판단된다.

3.3. 유출시간에 따른 오염물질의 평균 농도 변화

Total Cu, Total Pb 및 Total Zn에 대한 강우 유출 시간 별 오염물질의 평균 농도 감소율이 Table 3에 나타나 있다. Total Cu의 경우, 강우 초기 평균농도는 주차장 지역과 교량 지역이 각각 407.0 ug/L와 301.0 ug/L의 값을 나타냈으나, 강우 사상이 끝났을 시점에는 168.3 ug/L와 169.1 ug/L로 크게 감소하였음을 알 수 있다. Total Pb는 강우 초기에 주차장 지역과 교량 지역이 각각 5.3 ug/L와 10.8 ug/L의

값을 나타냈으나, 강우 종기에는 4.0 ug/L와 6.6 ug/L로 감소하였다. 또한 Total Zn의 경우도 주차장 지역의 초기 평균농도가 293.8 ug/L에서 강우 말기로 가면서 최종적으로 139.0 ug/L로 줄어드는 경향을 나타내고 있으며, 교량 지점에서는 376.8 ug/L의 강우초기 평균농도가 182.2 ug/L의 값으로 크게 감소하였다.

강우 초기 농도에 비해 감소율을 살펴보면, 30분 강우 지속시간까지 주차장에서는 Total Cu가 35.1%, Total Pb가 15.6% 그리고 Total Zn은 31.8%의 감소를 나타냈다. 교량 지역에서는 30분까지 22.1%의 Total Cu의 농도가 감소하는 경향을 보이며, Total Pb가 22.8%의 감소를 보이고, Total Zn은 26.1%의 감소를 보이고 있다. 이렇듯 시간에 따른 평균농도의 감소는 강우 초기에 비해 말기에서는 희석 및 청소효과로 인하여 2-4배 정도 줄어들음을 알 수 있다. 본 결과에서도 초기강우 현상을 뚜렷이 볼 수 있었는데, 특히 강우가 시작되고 유출이 시작되면서 포장된 표면에 축적되어 있던 많은 중금속들이 대부분 15분 내지 30분 이내에 급격히 유출되는 경향을 나타내었다. 이러한 초기강우 시간을 모니터링 결과와 비교했을 때 누적강우량은 5-12 mm의 범위로 산정되었다.

3.4. 강우 사상별 중금속의 EMC 산정

전체 7회의 강우사상에 대하여 수행된 모니터링의 결과를 이용하여 중금속에 대한 EMC를 산정하였으며, 그 결과가 Table 4와 5에 나타나 있다.

Table 3. Decrease rates vs initial and previous mean concentrations

Parameters	Storm Duration (min)	Parking lot			Bridge		
		Mean (mg/L)	Decrease rate vs initial conc.(%)	Decrease rate vs previous conc.(%)	Mean (mg/L)	Decrease rate vs initial conc.(%)	Decrease rate vs previous conc.(%)
Tot Cu	0	407.0			301.1		
	5	349.9	14.0	14.0	289.1	4.0	4.0
	10	314.7	22.7	10.1	268.9	10.7	7.0
	15	287.1	29.5	8.8	250.5	16.8	6.8
	30	264.2	35.1	8.0	234.6	22.1	6.4
	60	226.7	44.3	14.2	214.0	28.9	8.8
	total	168.3	58.6	25.7	169.1	43.8	21.0
Tot Pb	0	5.3			10.8		
	5	5.0	5.8	5.8	10.3	5.0	5.0
	10	4.8	10.4	4.8	9.7	10.7	5.9
	15	4.6	13.3	3.2	8.9	17.6	7.7
	30	4.5	15.6	2.7	8.4	22.8	6.3
	60	4.4	17.2	2.0	7.6	30.0	9.3
	total	4.0	25.5	10.0	6.6	39.5	13.7
Tot Zn	0	293.8			376.8		
	5	267.1	9.1	9.1	358.4	4.9	4.9
	10	243.7	17.1	8.8	330.6	12.3	7.7
	15	220.5	25.0	9.5	305.3	19.0	7.7
	30	200.3	31.8	9.1	278.3	26.1	8.8
	60	177.5	39.6	11.4	236.1	37.3	15.2
	total	139.0	52.7	21.7	182.2	51.6	22.8

Table 4. Metal EMCs in a parking lot

Parameters (ug/L)	2004/05/28	2004/06/17	2004/07/03	2004/07/11	2004/08/16	2004/08/22	2004/09/11
Sol Cd	0.44	0.27	0.37	0.53	0.53	0.42	0.39
Sol Cr	1.12	1.27	0.63	0.71	0.73	1.21	1.00
Sol Cu	40.44	49.04	38.16	40.16	47.09	70.00	34.38
Sol Fe	53.22	43.17	5.19	48.68	55.65	48.46	39.90
Sol Ni	4.43	2.47	2.39	7.10	7.59	3.32	4.03
Sol Pb	2.37	1.30	2.19	2.14	3.01	1.85	2.05
Sol Zn	67.35	50.41	12.00	70.85	76.00	66.09	56.29
Tot Cd	0.55	0.52	0.56	0.63	0.99	0.55	0.50
Tot Cr	2.70	2.42	0.76	0.98	1.47	2.72	2.55
Tot Cu	104.17	83.27	56.34	54.91	79.56	121.61	75.16
Tot Fe	88.95	56.18	6.75	60.54	98.10	76.22	64.67
Tot Ni	6.15	3.06	3.19	9.30	13.39	5.05	5.32
Tot Pb	3.41	3.14	2.62	3.07	5.56	3.43	3.03
Tot Zn	110.63	70.03	15.85	96.94	116.53	91.91	90.96

Table 5. Metal EMCs in a bridge

Parameters (ug/L)	2004/05/28	2004/06/17	2004/07/03	2004/07/11	2004/08/16	2004/08/22	2004/09/11
Sol Cd	0.43	0.02	0.31	0.46	0.61	0.41	0.39
Sol Cr	1.31	1.50	0.58	1.36	1.97	1.22	1.34
Sol Cu	69.74	51.57	60.45	74.55	131.93	70.51	53.09
Sol Fe	37.92	44.30	22.11	41.34	68.30	34.59	36.30
Sol Ni	9.10	1.88	5.72	11.92	23.69	11.35	7.14
Sol Pb	1.35	2.50	1.36	1.23	1.64	1.19	0.94
Sol Zn	74.92	42.37	28.94	59.97	99.88	55.34	50.42
Tot Cd	0.72	0.23	0.42	0.73	1.19	0.69	0.73
Tot Cr	2.16	4.62	0.79	2.53	3.31	2.34	2.71
Tot Cu	103.78	74.65	90.69	103.50	224.58	88.12	93.56
Tot Fe	51.51	59.86	33.06	61.80	111.65	56.40	68.70
Tot Ni	11.61	3.44	7.44	15.50	38.15	13.55	13.82
Tot Pb	8.75	3.43	1.76	8.92	2.71	7.98	1.72
Tot Zn	124.32	71.80	39.70	124.80	174.41	102.14	98.21

Table 6. Comparison of average EMC and average sample concentrations

Parameters	Avg. EMC		Avg. sample conc.	
	Parking Lot	Bridge	Parking Lot	Bridge
Tot Cu(ug/L)	82.1	111.3	168	169
Tot Pb(ug/L)	3.5	5.0	4	6.6
Tot Zn(ug/L)	84.7	105.1	139	182.2

주차장 지역에서의 Total Cu EMC는 54.9-121.6 $\mu\text{g/L}$ 의 범위를 나타내고 있으며, Total Zn EMC는 15.8-116.5 $\mu\text{g/L}$ 를 보이고 있다. 교량지역에서의 Total Cu EMC는 74.7-224.6 $\mu\text{g/L}$ 의 범위를 보이고 있으며, Total Zn은 39.7-174.4 $\mu\text{g/L}$ 의 분포를 보이고 있다. 본 결과를 강우상상과 분석한 결과, EMC는 강우량이 크거나 강우 전 건조일수가 짧은 경우 낮은 농도를 보였으며, 강우 전 건조일수가 길어도 강우량이 큰 경우 희석효과로 낮은 EMC의 값을 보이는 것으로 나타났다. 그러나 평균 강우강도는 전체 EMC에 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다.

3.5. 토지이용별 평균 EMC와 단순 평균과의 비교

식 (1)을 이용하여 산정한 EMC의 평균과 모니터링을 통하여 채취된 샘플의 평균 농도와의 비교 결과가 Table 6에 나타나 있다. 평균 EMC와 샘플 평균 농도의 차이를 살펴보면, Total Cu의 경우 1.5-2.6배, Total Pb는 1.1-1.8배 그리고 Total Zn의 경우는 1.6-1.8배로 샘플 평균 농도가 매우 크게 나타났다. 이러한 결과는 샘플의 단순 평균으로는 오염물질 부하량 산정에 있어서 큰 오차가 발생할 수 있다는 예를 보여주고 있다. 따라서 본 연구를 통하여 비점오염원 연구에서 모니터링의 중요성을 확인할 수 있다.

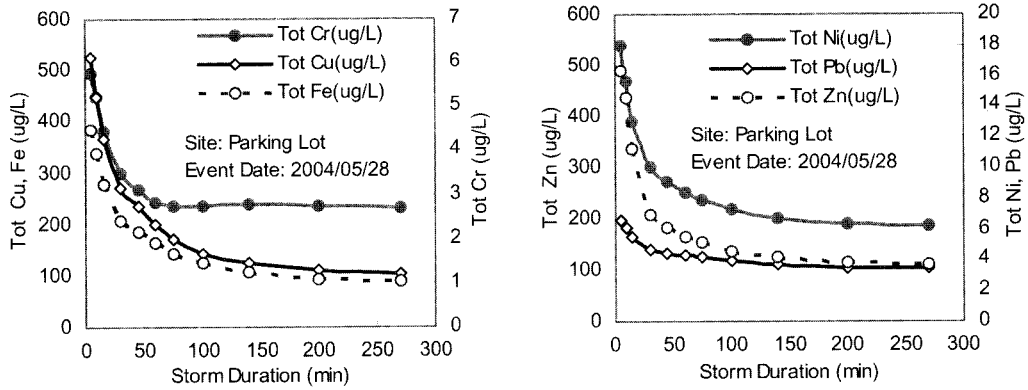


Fig. 4. Dynamic Metal EMCs at parking lot.

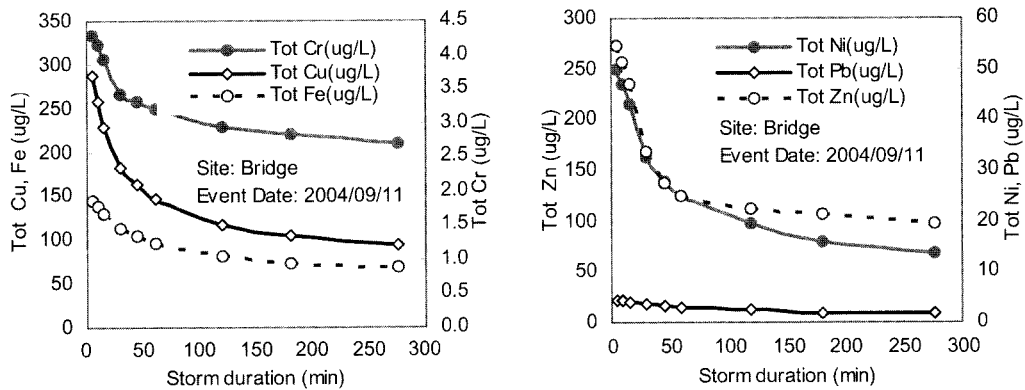


Fig. 5. Dynamic Metal EMCs at bridge.

3.6. 동적 EMC를 이용한 초기강우 기준 산정

주차장 및 교량과 같은 포장된 지역에서 유출되는 비점 오염물질은 초기강우 현상을 보이는데, 이러한 현상은 경제적인 강우유출수 처리용량 산정에 있어서 매우 중요한 기준이 된다. 그러나 EMC는 부하량 산정에 있어서 중요한 요소이지만, 강우 특성 및 강우 전 건조일수 등 여러 요소에 의해서 달라질 수 있으며, 초기강우 현상이 끝난 후에는 낮은 농도로 산정되는 오염물질의 유출특성을 설명하기 위한 적절한 기준을 제시하지 못하고 있다. 따라서 본 장에서는 최적관리방안에서의 경제적인 처리용량 산정을 위한 초기강우 기준 제시에 동적 EMC를 도입하려고 한다. 동적 EMC는 EMC와 초기강우와의 관계를 규명하기 위하여 새로이 도입된 연구이다(김 등, 2004a, 2004b, 2005). Fig. 4와 5는 주차장과 교량에서의 동적 EMC의 예를 보여 주고 있는데, 강우 유출이 시작된 이후 동적 EMC는 20분에서 50분 이내까지 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다. 그리고 강우가 끝나고 유출이 끝나는 시간에 동적 EMC는 강우사상에 대한 대표 EMC로 끝나는 결과를 보인다. 이러한 특징은 전형적인 초기강우 현상을 나타내고 있으며, 경제적인 오염물질 처리용량 산정시 중요한 고려 대상이다. 본 결과를 이용하여 지점에서 측정된 누적 강우량을 파악해본 결과 4.5-10 mm의 범위를 보였다. 이러한 결과는 앞서 제안했던 5-12 mm에 매우 근접한 값으로 경제적인 처리용량 산정은 이러한 범위, 즉 4.5-10 mm의 범위에서 산

정이 가능하다.

4. 결론

도시지역의 비점오염원 중에서 포장율이 높은 주차장 및 교량지역은 오염물질의 축적 및 유출이 심한 토지이용으로 비점오염원 관리에 있어서 중요한 지역으로 인식된다. 본 연구에서는 주차장 및 교량에서 강우 시 유출되는 비점오염물질의 유출 경향을 모니터링 하여 그 결과를 정리하였다. 또한 토지이용별 원단위 산정을 위하여 강우 사상에 대한 중금속의 EMC를 산정하였으며, EMC와 초기강우 현상과의 연관성을 파악하고 초기강우 기준을 제안하기 위하여 새로운 개념의 동적 EMC를 제안하였다. 수행된 연구 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 도출하였으며, 그 결과는 향후 다른 토지이용에서 유출되는 비점오염물질의 유출 경향 및 부하량 산정 연구에 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

- 1) 수리수문곡선 및 농도곡선에서 강우유출수의 중금속 농도를 분석한 결과 초기강우 현상을 뚜렷이 볼 수 있었으며, 특히 강우가 시작된 이후 20분에서 40분 이내에 급격한 농도의 감소가 일어났다.
- 2) 중금속 농도의 95% 통계학적 확신범위를 살펴보면, 주차장에서는 Total Cu가 128.47-208.21 µg/L, Total Zn은 112.52-165.53 mg/L, Total Fe는 85.65-128.70 µg/L의 범

위를 보이며, 교량지역에서는 Total Cu가 149.06-189.13 µg/L, Total Zn은 147.05-217.32 µg/L, Total Fe는 74.42-121.28 µg/L의 범위를 나타내고 있다.

- 3) 강우 지속시간에 따른 오염물질의 평균 농도 감소율을 살펴보면, 강우 초기 농도에 비해 30분 강우 지속시간까지 많은 양의 오염물질들이 유출되는 것으로 나타났다.
- 4) EMC 평균과 샘플 농도의 산술평균과의 차이를 살펴본 결과 Total Cu의 경우 1.5-2.6배, Total Pb는 1.1-1.8배, Total Zn은 1.6-1.8배로 샘플 평균 농도가 높은 것으로 분석되었다. 본 결과는 모니터링의 중요성을 대변하고 있다.
- 5) 동적 EMC 연구결과 강우 유출이 시작된 이후 시간에 따른 EMC는 20분까지 또는 50분 이내까지 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 특징은 전형적인 초기강우 현상을 대변하며, 경제적인 오염물질 처리용량 산정시 중요한 고려 대상이다.
- 6) 오염물질의 유출 폭선, 시간에 따른 평균 오염물질의 유출 경향 및 동적 EMC를 검토한 결과, 경제적 오염물질 처리를 위한 초기 강우의 기준은 4.5-10 mm 강우량의 범위로 나타났다.

사 사

본 연구는 [대전·충남지역 대전환경기술개발센터]의 2004년도 연구사업 과제의 연구결과이며 연구비 지원에 감사를 드립니다.

참고문헌

- 김이형, 강주현, 강우 시 발생하는 고속도로 유출수의 초기 우수 특성 및 기준, *한국물환경학회지*, **20**(6), pp. 641-646 (2004a).
- 김이형, 강주현, 고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정, *한국물환경학회지*, **20**(6), pp. 631-640 (2004b).
- 김이형, 김구범, 임경호, 강우시 도로 및 교량에서 유출되는 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs, *대한상하수도학회-한국물환경학회 2004 공동 추계학술발표회*, 대전 컨벤션타운, pp. E 99-100 (2004c).
- 김이형, 이선하, 강우시 주차장 및 교량에서 유출되는 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs, *한국물환경학회지*, **21**(3), pp. 248-255 (2005).
- 환경부, 관계부처합동 [물관리 종합대책]의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책 (2004a).
- 환경부, 비점오염원관리 업무편람 (2004b).
- Kim, Lee-Hyung, Kayhanian, M. and Stenstrom, M. K., Event Mean Concentration and Loading of Litter from Highways during Storms, *Science of the Total Environment*, **330**, pp. 101-113 (2004).
- Kim, Lee-Hyung, Kayhanian, M., Lau, S.-L. and Stenstrom, M. K., A New Modeling Approach in Estimating First Flush Metal Mass Loading, *Wat. Sci. & Tech.*, **51**(3-4), pp. 159-167 (2005).