Journal of Korean Society on Water Quality, Vol. 21, No. 3, pp.248-255 (2005)

주차장 및 교량지역의 강우유출수내 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs

김이형† · 이선하

국립공주대학교 건설환경공학부 방재연구센타

Characteristics of Washed-off Pollutants and Dynamic EMCs in a Parking Lot and a Bridge during Storms

Lee-Hyung Kim† · Seonha Lee

Department of Civil & Environmental Engineering, Disaster Prevention Research Center, Kongju National University, Kongju, Chungnamdo, 314-701, Korea

(Received 24 January 2005, Accepted 25 February 2005)

Abstract

Since the water quality of drinking water sources has been recognized as a big issue, the ministry of Environment in Korea is designing the total maximum daily load (TMDL) program for 4 major large rivers. The TMDL program can be successfully performed as controling the nonpoint pollutants from watershed area near the river. Of the various landuses in nonpoint pollution, parking lots and bridges are stormwater intensive landuses because of high imperviousness and high pollutant mass emissions from vehicular activities. Vehicle emissions from those areas include different pollutants such as heavy metals, oil and grease and particulates from sources such as fuels, brake pad and tire wear, etc. Especially the pollutant washed-off from the landuses are directly affecting to the river water quality.

Therefore this research was conducted to understand the magnitude and nature of the stormwater emissions with the goal of quantifying stormwater pollutant concentrations and mass emission rates of pollutants from parking lot and bridges in Korea. In Kongju city areas, two monitoring sites were equipped with an automatic rainfall gages and an automatic flow meter for accumulating the useful data such as rainfall, water quality and runoff flow. This manuscripts will show the concentration changes during storm duration and EMCs to characterize the concentration profiles in different land uses. Also the first flush criteria will be suggested using dynamic EMCs. The definition of dynamic EMC is a new approach explaining the relationship of EMC and first flush effect.

keywords : Bridge, Dynamic EMCs, Land use, Nonpoint sources, Parking lot

1. 서 론

과거 30년간은 산업의 발달과 생활수준의 변화를 통해 야기되는 가정하수, 산업폐수 및 축산폐수 등의 점오염원 관리 시기였다. 이러한 점오염물질을 제거하기 위하여 많은 연구 및 기술개발이 이루어져 환경기초시설은 급속히 보급되었다. 또한 생활수준의 향상은 보다 나은 수질을 요구하기에 그 동안 지속적으로 방류수 수질기준은 강화되었다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 호소 및 하천수질은 악화되어 새로운 개념의 환경정책이 도입되기에 이르렀는데, 그것이 오염총량(Total Maximum Daily Load, TMDL)관리제이다. 산업의 발달과 토지이용의 고도화는 기존의 농도규제로는 하천의 수질 개선을 꾀할 수가 없기에, 하천수계로 유입되는 오염물질의 총량을 규제한다는 목적 하에 오염총량제가 도입 되었다. 오염총량이란 하천으로 유입되는 전체 오염물질의 양, 즉 점오염물질 부하량, 비점오염물질 부하량 및 안전율의 합을 의미한다. 따라서 다양한 토지이용에서 기인하는 비점오염물질의 관리 없이는 수질의 개선을 기대할 수 없다는 것이 선진국들뿐만 아니라 우리나라의 예에서도 쉽게 찾을 수 있다. 미국의 경우 오염총량관리제 대상 21,000여개의 오염수계 중 약 80% 이상이 비점오염원과 관련되어 있으나, 기술적 어려움으로 TMDL 계획을 수립하지 못하고 있는 실정이다(EPA, 1994). 우리나라의 경우 2003년 9월 및 2004년 4월에 선진국의 예를 따라 오염총량관리제를 도입하여 시행을 앞두고 있다. 현재 낙동강 유역을 포함한 4대강 유역에서 광역시-도 경계별 및 시-군 경계별로 목표 수질을 산정하였는데, 대부분의 목표지점에서 BOD기준으로 1 mg/L에서 6 mg/L 이하 수준의 목표수질을 요구한다. 4대강의 비점오염원에 의한 오염 부하량은 개략적으로 22-40% 정도를 차지하고 있으며, 특히 수도권의 주요 상수원수인 팔당 상수원은 44.5%가 비점오염원에서 배출되고 있는 것으로 조사되었으며, 2020년에는 54.3%까지 증가할 것으로 예측하고 있다(환경부, 2004). 따라서

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

환경부는 2002년도에 [비점오염원 관리대책 수립계획]을 마련하였으며, 2004년 6월에 관계기관 합동으로 [물관리 종합대책의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책]을 발표하였다(환경부, 2004).

비점오염원 관리는 오염총량관리제의 성공적 시행을 위하여 필수적인 연구 및 관리 분야지만, 현재 우리나라는 기초 자료 및 모니터링 결과의 부족으로 관리에 어려움이 크다. 특히 다양한 비점오염원 중에서 포장율이 높아 오염물질의 축적과 유출이 심한 도로, 주차장 및 교량지역은 하천 인근에 집중적으로 건설되어 있거나 건설되고 있기에 하천수질에 직접적인 영향을 끼치는 토지이용이다. 따라서 미국을 비롯한 여러 선진국들은 포장된 지역을 우선순위로 선정하여 비점오염물질을 관리하고 있다.

도로를 포함하는 포장지역의 오염물질 유출이 관리대상으로 주로 관심의 대상이 되는 이유는 유역특성, 도로 및 교량의 위치, 축적되는 오염물질의 종류 및 관리의 용이성 때문이다. 주차장, 도로 및 교량지역은 작은 면적에 비해서 강우 시 다른 토지이용에 비해 강우 유출량이 높다는 유역특성을 가지고 있으며, 상수원수인 하천의 종 및 횡 방향으로 존재하기에 직접적인 오염 원인으로 작용하고 있다. 또한 지속적인 차량의 운행으로 인한 오염물질의 축적이 타 토지이용에 비해 심각하며, 강우 시 초기에 고농도로 유출되는 특징, 즉 초기우수 현상(first flush effect)을 가지고 있기에 비점오염원 중에서 관심이 높다. 많은 차량의 운행 및 정차는 타이어, 자동차 엔진 등으로부터 각종 중금속, 유류 등을 유출시키고 있으며, 마모된 도로포장은 다량의 입자상 물질을 유출시켜, 강우 시 중금속을 흡착 이동시키는 원인으로 알려져 있다(Kim, 2003; Kim et al., 2002, 2004; 김 등, 2004a, 2004b).

따라서 본 연구는 다양한 토지이용, 즉 주차장 및 교량으로부터 유출되는 강우 유출수의 특징 및 초기강우 기준을 제안하기 위하여 수행되어졌다. 모니터링을 위하여 국내 4대강 중의 하나인 금강 수계로 유입되는 교량인 공주대교와 인근 주차장 지점을 선정하였다. 본 연구를 통하여 얻어지는 Event Mean Concentration (EMC)은 향후 포장된 지역에서 유출되는 비점오염물질의 원단위로 활용될 수 있으며, 수계로 유입되는 부하량 산정에 도움을 줄 것이다. 또한 본 논문에서는 포장된 지역의 비점오염물질 유출 특성 중에서 처리기준으로 활용될 초기강우 기준제안을 위하여 새로운 개념인 동적 EMC 개념을 도입하였다.

2. 대상지역 및 실험방법

2.1. 모니터링 계획

모니터링은 강우 및 유역특성에 의해 오염물질 유출에 영향을 받는 비점오염원 연구시 가장 중요한 연구 계획이다. 이 중에서 강우는 비점오염물질 유출에 가장 큰 영향인자이며, 유출되는 오염물질의 양 및 질적 특성에 큰 영향을 끼친다. 특히 주차장 및 교량 등은 포장율이 높고, 많은 차량의 운행에 의하여 오염물질 축적이 많으며 강우 발생시 초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 초기강우 현상을 보이는 토지이용 지역이다. 따라서 본 연구에서는 초기강우 현상을 고려한 모니터링 프로그램을 수립하였다.

모니터링은 비점오염원의 특성인 자료의 불확실성을 최대한 줄이기 위하여 강우량 및 유출수율(flow rate)을 1분 단위로 측정하였다. 강우 유출이 발생하는 유출부에 웨어를 설치하여 센서를 가진 자동 유량계를 현장에 설치하여 강우 유출율을 측정하였으며, 인근에 자동 강우량계를 설치하여 강우량을 1분 단위로 측정하였다. 수질시료 채취에서는 초기강우 현상을 파악하기 위하여 강우가 시작되고 유출이 발생하는 즉시 첫 번째 수질시료가 채취되었으며 이후 5분 간격으로 15분 동안, 15분 간격 및 30분 간격으로 1 시간 동안, 그 이후 1 시간 간격으로 강우 유출이 끝날 때까지 수질시료를 채취하였다. 채취된 수질시료는 입자상 물질, 유기물질, 영양물질 항목에 대한 분석이 시행되었다.

모니터링 지점은 Fig. 1에 나타나 있으며, 일반 주차장과 도로를 포함한 지역과 교량 지점을 선정하여 상호 비교 연구하였다. 유역면적은 주차장 지점이 171.64 m^2이었고 교량 지점이 632.0 m^2이었다. 포장된 토지이용 중에서도 토지이용에 따른 비점오염물질 원단위 산정을 수행하기 위하여 교량과 주차장으로 분류하여 실험을 수행하였다.

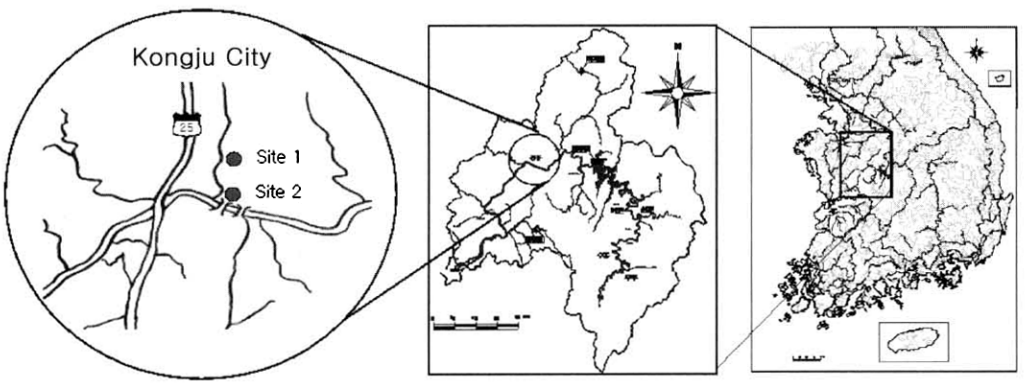


Fig. 1. Monitoring locations(Site 1: parking lot, Site 2: bridge).

2.2. 부하량 산정을 위한 EMC 및 초기강우 결정을 위한 동적 EMC 결정

도시 비점오염원 연구에서 중요한 것은 초기강우 현상이다. 그러나 모든 강우 사상에서, 또는 모든 토지이용에서 초기강우가 필연적으로 발생하는 것은 아니다. 따라서 초기강우 현상을 개략적으로 파악하기 위해서는 모니터링을 통해 얻어진 유량 및 수질 결과를 수리수문농도 곡선(Hydro- 및 Polluto-graphs)을 이용하여 나타내는 것이다.

또한 유출 부하량 산정에 중요한 연구는 오염물질의 유출 원단위인 EMC 산정이다. EMC는 강우 사상에 따른 평균 농도이지만 채취된 수질 시료 결과의 단순 평균으로 산정되어져서는 안 된다(Kim, 2003). 따라서 1분 단위로 측정되어진 유출수율과 수질결과가 EMC 결정에 사용되어져야 한다. 이는 비점오염원이 점오염원과 비교할 때 매우 다른 특징 중의 하나이며, EMC가 잘못 산정되었을 때에는 수십 배 이상의 부하량 차이가 발생할 수 있다.

식 (1)은 어떤 강우 사상에 대한 강우사상별 EMC 산정식을 보여주고 있다. EMC는 전체 강우지속시간 T시간 동안 유출된 전체 누적 오염물질의 양을 전체 누적 유출량으로 나누어 계산되며, 비점오염원에서의 평균 농도 산정시 중요하게 이용되고 있다.

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

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

그러나 EMC의 한계는 부하량 산정에는 효과적이지만 초기강우 현상을 전혀 설명할 수가 없다. 최근 들어 EMC와 초기강우 현상과의 관계를 설명하려는 시도는 있었지만, 제대로 된 결과를 내놓을 수가 없었다(Kim, 2003; 김 등, 2004c). 따라서 본 연구에서는 EMC와 초기강우 현상을 동시에 나타내고 향후 오염물질 처리기준으로 사용 가능한 초기강우 기준을 제안하기 위하여 식 (2)와 같이 동적 EMC(Dynamic EMC) 개념을 도입하였다. 동적 EMC는 t시간의 강우지속시간 동안 유출된 오염물질의 EMC로 초기강우 현상이 발생되는 토지이용에서는 지속적으로 동적 EMC가 감소하는 경향을 나타내게 된다. 따라서 EMC는 전체 강우지속시간에 따른 유출 오염물질의 평균농도이지만, 동적 EMC는 변화해 가는 강우지속시간에 따라 EMC가 지속적으로 변한다는 개념을 가지고 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 강우 사상 개요 및 유출 오염물질의 농도 특성

지점별 7회의 강우 사상에 대하여 모니터링을 수행하였으며, 그 결과가 Table 1에 나타나있다. 표는 강우사상 번호(event number), 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 정리되어 있다. ADD는 1.8-18일까지의 범위를 보이며, 전체 강우량은 8.1-45.3 mm의 범위로 나타났다. 강우 지속시간은 주차장 지점에서 4.57-9.73 시간, 교량지역에서 4.78-10.77 시간으로 측정되었다. 유출계수는 주차장 지역이 0.64-0.94, 교량지역이 0.71-0.92의 범위를 보였다.

일반적으로 포장된 지역에서의 강우 유출수는 강우 초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 초기강우 현상(first flush effect)을 보이는데, Fig. 2에 나타나 있는 겉보기 농도로도 확인할 수 있다.

Fig. 3은 모니터링을 통해 채취된 시료의 정량적인 농도 변화와 1분 단위로 측정된 강우량 및 유출수율(flow rate)의 관계를 보여주는 수리수문농도 곡선의 예를 보여주고 있다. 본 그림을 통해서도 초기강우 현상을 확인할 수 있는데, 이러한 결과는 향후 포장된 토지이용의 경제적인 강우 유출수 적정 처리 기준 산정 연구에 이용될 것이다. TSS의 경우 강우 초기에 150-250 mg/L의 농도가 유출 시작 후 30분 이내에 40-60 mg/L의 범위로 떨어지는 것을 볼 수 있다.

3.2. 유출 오염물질의 통계학적 분석

주차장 및 교량에서 유출되는 오염물질의 정량적인 분포를 파악하기 위하여 Fig. 4와 같이 통계분석을 실시하였다.

Table 1. Event table in a parking lot and a bridge

Events (Parking lot/bridge)	Event Date	ADD[1)] (days)	Total Rainfall (mm)	Runoff Duration (hr)	Avg. Rainfall Intensity (mm/hr)	Runoff Coeff.
E-1	2004/5/28	13	20.5	4.57/4.78[2)]	4.5/4.3[2)]	0.88/0.87[2)]
E-2	2004/6/17	18	45.3	9.73/10.77	4.7/4.2	0.90/0.92
E-3	2004/07/3	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

1) ADD: Antecedent Dry Day, 2) Parking lot/bridge.

(a) parking lot (b) bridge

Fig. 2. Appearance concentrations on E-6.

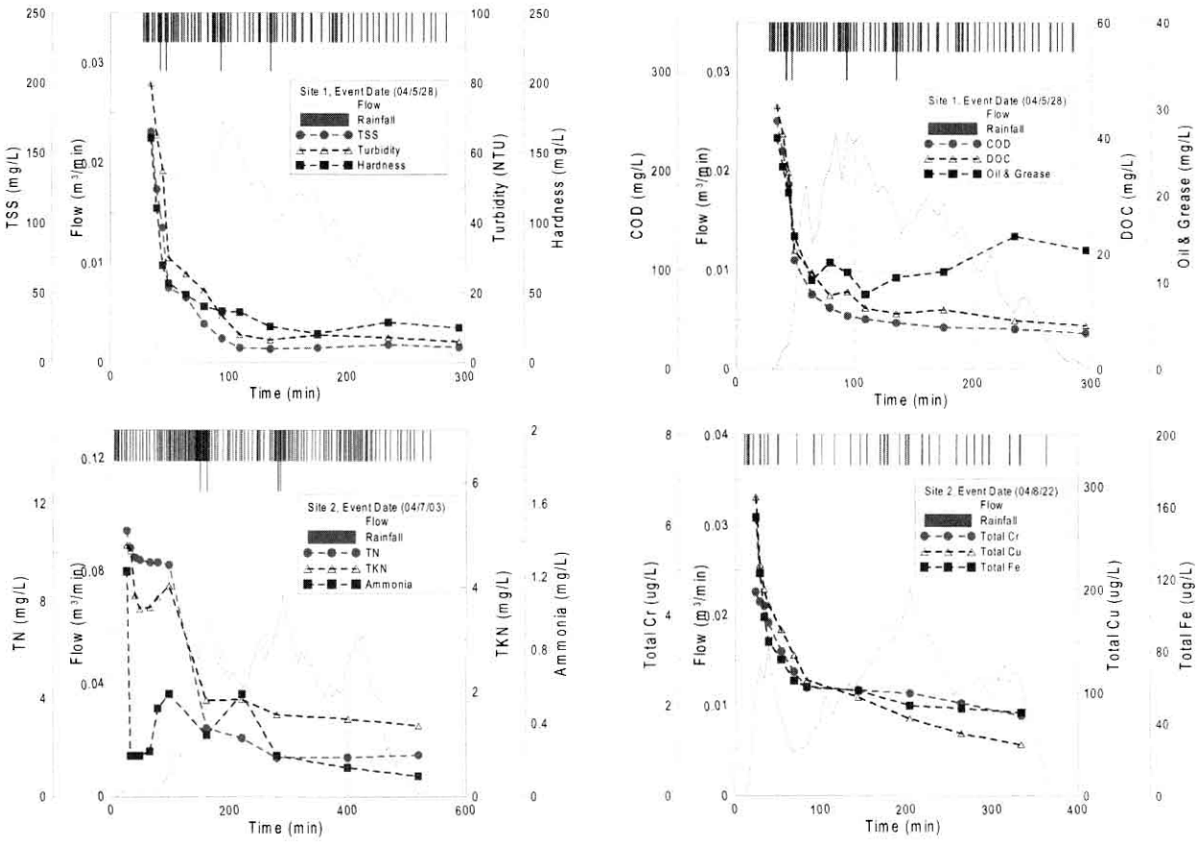


Fig. 3. Examples of hydro- and polluto-graphs in each site.

최대 TSS와 COD의 경우 주차장 지점에서 각각 346 mg/L와 278.6 mg/L을 보이며, 교량지점에서는 1,308 mg/L과 3,265 mg/L를 보이고 있다. 95% 통계학적 신뢰범위를 살펴보면, 주차장에서는 TSS가 37.1-61.3 mg/L, COD는 60.3-91.5 mg/L, Oil & Grease는 4.5-8.9 mg/L의 범위를 보이며, 교량지역에서는 TSS가 244.6-399 mg/L, COD는 320.4-630.6 mg/L, Oil & Grease는 25.6-43.2 mg/L의 범위를 나타내고 있다. 이러한 95% 통계학적 신뢰범위 및 유출되는 최대 농도값을 살펴볼 때, 교량지점이 주차장에 비해 고농도의 오염물질이 유출됨을 알 수 있다. 그 이유는 교량 지점이 대형 차량의 운행이 높은 지역이며, 차량의 정체 및 지체가 심한 토지이용이기 때문인 반면, 주차장 지점은 차량의 주차 등으로 인하여 상대적으로 운행이 적은 토지이용이기 때문이다.

영양소의 경우 최대 TN과 TP의 농도가 주차장에서는 6.02 mg/L와 1.36 mg/L를 보이며, 교량에서는14.3 mg/L와 2.68 mg/L의 값을 보이고 있다. 95% 통계학적 신뢰범위를 살펴보면, 주차장에서는 TN과 TP가 각각 1.93-2.52 mg/L와 0.31-0.45 mg/L의 범위를 나타내고 있으며, 교량지역에서는 4.49-5.94 mg/L와 0.8-1.07 mg/L의 범위를 보이고 있다.

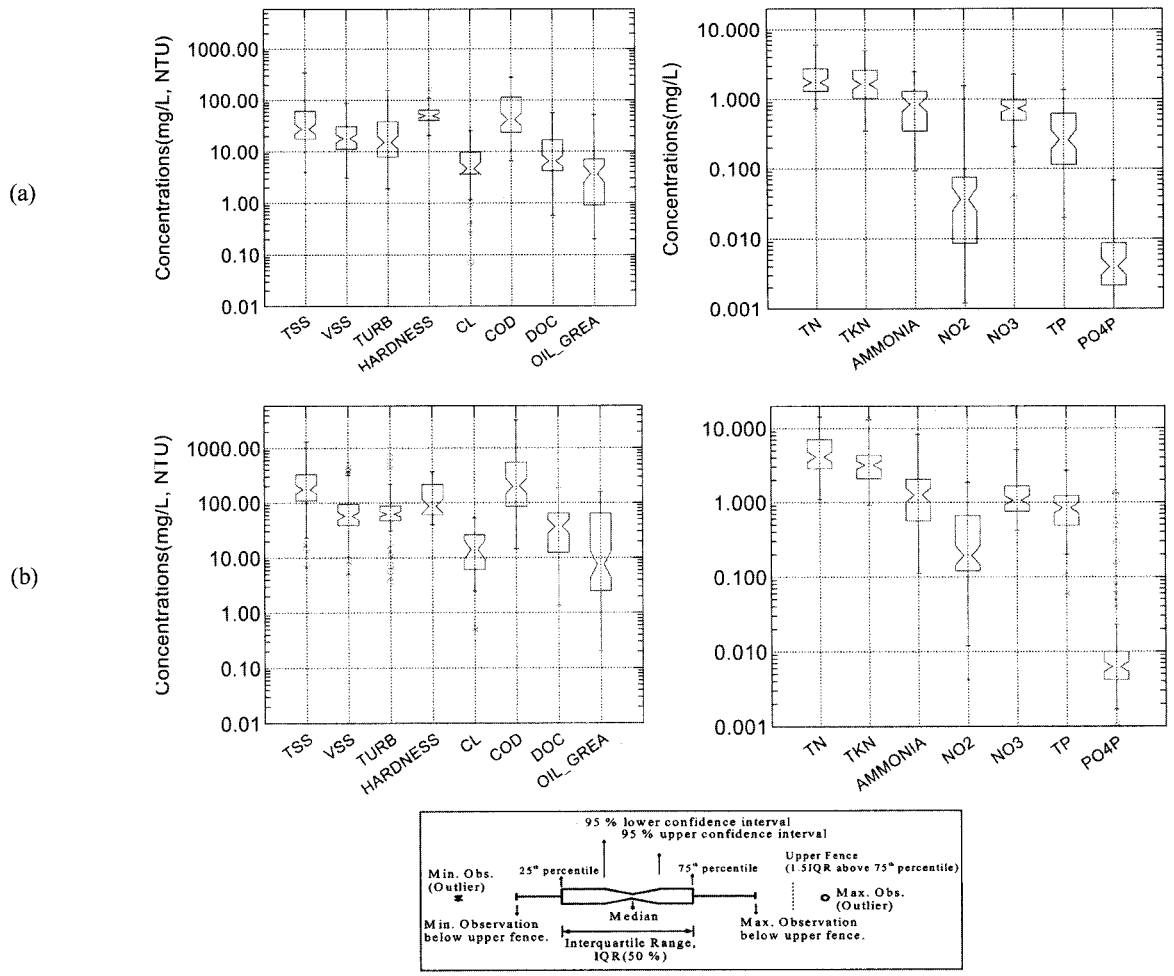
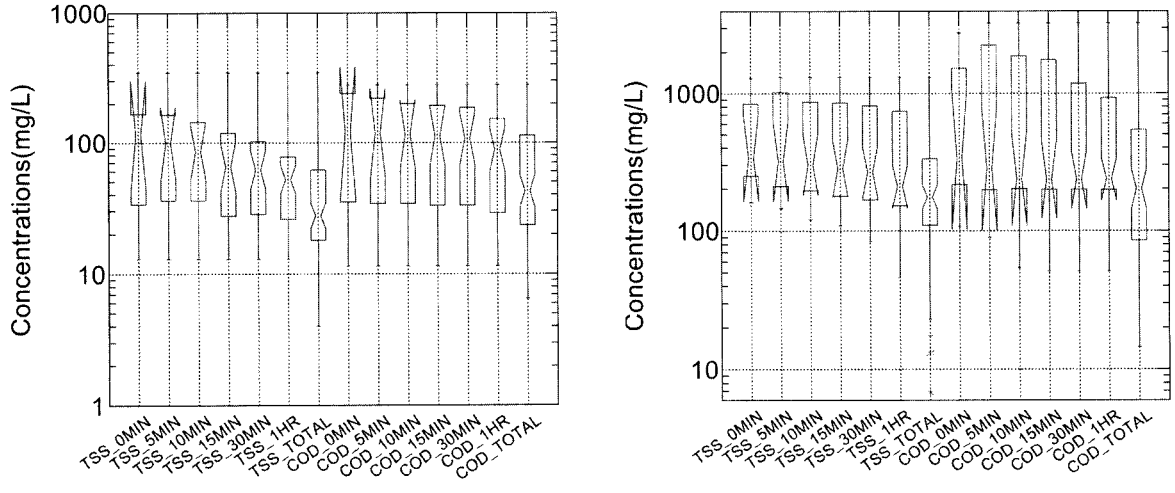


Fig. 4. Statistical analysis for concentrations: (a) parking lot and (b) bridge.

3.3. 유출시간에 따른 오염물질의 평균 농도 변화

유출 시간에 따른 오염물질의 통계학적 농도 변화가 Fig. 5에 나타나 있다. 강우유출이 시작되면서 포장된 표면에 축적되어 있던 많은 오염물질들이 15분 내지 20분 이내에 급격히 줄어들었음을 알 수 있다. 강우 지속시간에 따른 평균 농도의 변화를 살펴보면, TSS의 경우 강우 초기 평균 농도는 교량지역과 주차장 지역이 각각 571.9 mg/L와 127.1 mg/L의 값을 나타냈으나, 강우 사상이 끝났을 시점



(a) parking lot (b) bridge

Fig. 5. Statistical concentration changes at time intervals.

에는 321.8 mg/L와 49.2 mg/L로 감소하였음을 알 수 있다. COD의 경우도 교량지역의 초기 평균농도가 1003.9 mg/L에서 강우 말기로 가면서 최종적으로 475.5 mg/L로 줄어드는 경향을 나타내고 있다. 또한 주차장 지점에서는 137.4 mg/L의 강우초기 평균농도가 75.9 mg/L의 매우 낮은 값으로 안정화 되었다.

강우 지속시간에 따른 평균 농도 감소율을 살펴보면, 강우 초기 농도에 비해 감소율은 30분 강우 지속시간까지 주차장에서는 TSS가 38.4%의 감소를 보이고, COD는 17.7%의 감소를 보인다. 교량지역에서는 30분까지 16%의 TSS 감소를 보이고 있으며, COD는 18.4%의 감소를 보이고 있다. 이렇듯 시간에 따른 평균농도의 감소는 강우 초기에 비해 말기에서는 희석 및 청소효과로 인하여 2-4배 정도 줄어듦을 알 수 있다. 또한 초기 15-30분 동안 최대로 많은 양의 오염물질들이 유출되는 것으로 나타났다. 이런 경우 강우량을 검토한 결과 5-12 mm의 범위로 산정되었다.

3.4. 강우 사상별 EMC 산정

전체 7회의 강우사상에 대하여 수행된 모니터링의 결과를 이용하여 EMC를 산정하였으며 그 결과가 Table 2와 3에 강우 사상별로 정리 되었다.

주차장 지역에서의 TSS EMC는 12.1-37.4 mg/L의 범위를 나타내고 있으며, COD EMC는 14.7-69.2 mg/L를 보이고 있다. 교량지역에서의 TSS EMC는 24.7-305.3 mg/L의 범위를 보이고 있으며, COD는 45.5-199 mg/L의 넓은 분포를 보이고 있다. 또한 Oil & Grease의 경우는 주차장에서 0.4-11.7 mg/L 그리고 교량에서 0.2-74.6 mg/L의 범위를 나타내고 있다. TN과 TP의 경우, 주차장지역이 각각 0.98-2.54 mg/L와 0.08-0.53 mg/L의 범위를 보이며, 교량지역이 2.3-5.37 mg/L와 0.39-1.15 mg/L의 분포를 나타내고 있다.

이렇듯 넓은 EMC의 분포는 강우량 특성에 따라서 달라지며, 희석효과에 의해서 초기강우가 끝난 후에는 초기에 비해 많이 희석되기 때문이다. 따라서 최적관리방안 수립시 처리기준인 초기강우 기준을 설정할 것인가 하는 문제는 이러한 EMC로는 산정이 불가능하다. 따라서 다음 장에 설명할 동적 EMC는 이러한 특성을 연구하여 초기강우 기준을 산정하는데 큰 도움을 준다. 일반적으로 강우량이 크거나 강우 전 건조일수가 짧은 경우 EMC의 농도가 낮은 것으로 나타났다. 그러나 강우전 건조일수가 길어도 강우량이 많으면 EMC는 희석효과에 의해서 낮은 값을 보인다. 그러나 평균 강우강도는 EMC에 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 조사되었다.

3.5. 동적 EMC를 이용한 초기강우 기준 산정

주차장 및 교량에서 유출되는 비점오염물질의 경제적인 처리용량을 산정하기 위해서는 초기강우와 EMC와의 상관관계를 규명할 필요가 있는데, EMC는 부하량 산정에 기여하지만 초기강우 현상을 설명하지 못하는 단점이 있다. 따라서 경제적인 적정 처리용량 산정을 위해서 동적 EMC를 도입하여 초기강우 현상을 파악하였다. 동적 EMC는 EMC와 초기강우와의 관계를 규명하는 것으로 초기강우 현상을 설명하기 위하여 도입된 연구이다.

Fig. 6과 7은 주차장과 교량에서의 동적 EMC 결과를 보여주고 있는데, 대부분의 오염물질들이 급격한 농도의 감소를 보인다. 그러나 Oil & Grease의 경우는 시간에 따른 특정 경향을 보이지 않는데, 그 이유는 지속적인 차량의 운

Table 2. EMCs in parking lot land use

Parameters (mg/L)	2004/05/28	2004/06/17	2004/07/03	2004/07/11	2004/08/16	2004/08/22	2004/09/11
TSS	17.86	33.02	12.06	23.42	37.38	31.58	19.87
COD	53.06	69.17	10.93	14.73	84.75	30.73	39.34
DOC	11.55	5.51	6.09	1.99	6.03	7.92	4.99
Oil & Grease	11.66	2.80	6.61	1.04	5.35	0.84	0.43
T-N	2.22	1.53	0.98	1.53	2.54	1.65	1.14
TKN	2.01	1.08	0.78	1.47	2.30	1.55	1.07
T-P	0.21	0.21	0.06	0.087	0.53	0.22	0.24
PO_4-P	0.01	0.01	0.004	0.001	0.001	0.002	0.000

Table 3. EMCs in bridge land use

Parameters (mg/L)	2004/05/28	2004/06/17	2004/07/03	2004/07/11	2004/08/16	2004/08/22	2004/09/11
TSS	305.34	98.57	282.92	144.26	126.24	105.65	24.73
COD	198.97	167.74	113.25	136.05	193.98	103.98	45.48
DOC	29.57	48.79	9.28	11.94	16.05	30.53	12.61
Oil & Grease	46.41	74.75	74.55	3.62	3.42	2.96	0.23
T-N	3.33	2.46	2.30	3.42	5.37	3.34	2.39
TKN	2.67	1.94	1.74	2.37	5.18	2.00	2.21
T-P	0.94	0.56	0.58	0.39	1.15	0.54	0.36
PO_4-P	0.01	0.05	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00

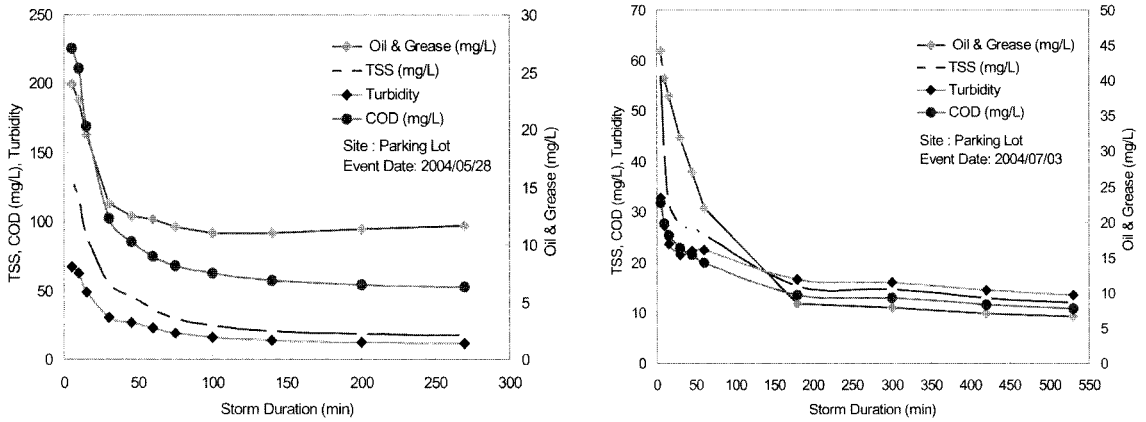


Fig. 6. Dynamic EMCs at parking lot.

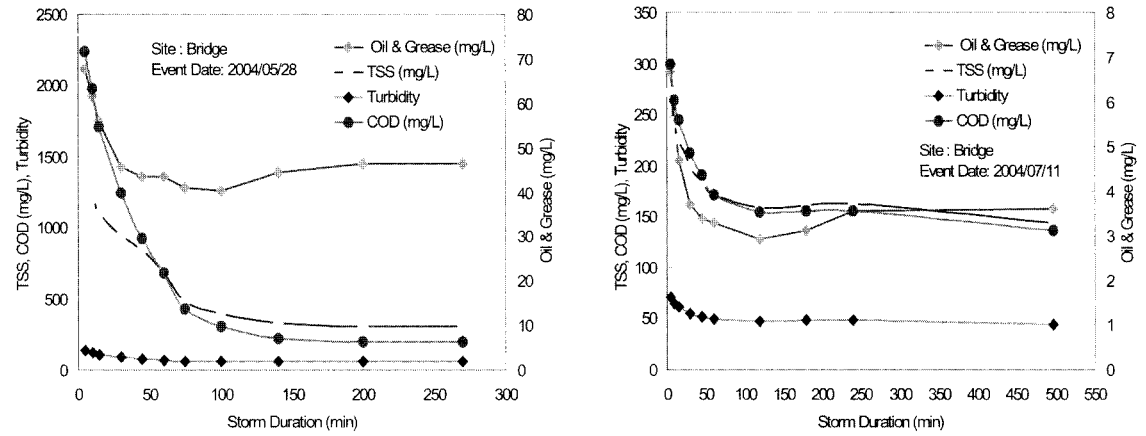


Fig. 7. Dynamic EMCs at bridge.

행으로 인한 세척영향이 있고, 축적되어 있던 Oil & Grease 성분들이 강우에 의해서 지속적으로 용해되어 유출되기 때문이다.

동적 EMC 연구결과 강우 유출이 시작된 이후 EMC는 20분까지 또는 50분 이내까지 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러다가 강우가 끝나고 유출이 끝나는 시간에 동적 EMC는 강우사상에 대한 대표 EMC로 끝나는 결과를 보인다. 이러한 특징은 전형적인 초기강우 현상을 대변하며 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 산정이 가능하다.

4. 결 론

비점오염원은 오염총량제의 성공적 시행을 위하여 필수적으로 연구 및 관리해야 할 오염원이다. 그 중에서 포장율이 높아 오염물질의 축적 및 유출이 심한 주차장 및 교량 지역은 중요한 관리대상 토지이용이다. 본 연구는 공주지역의 주차장 및 교량을 대상으로 강우 시 유출되는 비점오염물질의 유출 경향을 모니터링 하여 그 결과를 정리하였다. 또한 토지이용별 원단위 산정을 위하여 강우 사상에 대한 EMC를 산정하였으며, 초기강우 현상을 파악하고 그 기준을 도출하기 위하여 새로운 개념의 동적 EMC를 제안하였다. 따라서 연구 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 도출하였으며, 그 결과는 향후 다른 토지이용에서 유출되는 비점오염물질의 유출경향 연구에 기초 자료로 이용될 수 있을 것이다.

1. 주차장 및 교량에서의 초기 강우 현상을 수리수문농도 곡선에서 뚜렷이 확인할 수 있었으며, 강우가 시작된 이후 30분에서 40분 이내에 오염물질 농도가 급격히 줄어들고 있는 것으로 나타났다. 오염물질의 95% 통계학적 신뢰범위를 살펴보면, 주차장에서는 TSS가 37.1-61.3 mg/L, COD는 60.3-91.5 mg/L, Oil & Grease는 4.5-8.9 mg/L의 범위로 나타났으며, 교량지역에서는 TSS가 244.6-399 mg/L, COD는 320.4-630.6 mg/L, Oil & Grease는 25.6-43.2 mg/L의 범위를 나타내고 있는 것으로 나타났다. 교량지역의 유출오염물질 농도가 높은 이유는 주차장에 비해 매우 높은 교통량 때문이다.
2. Oil & Grease는 유기물, 입자상 물질 및 중금속과는 다른 유출경향을 보이는데, 그 이유는 Oil & Grease가 강우지속 중에도 차량으로부터 또는 노면으로부터 용존

상태로 지속적으로 유출되기 때문이다.

3. 강우 지속시간에 따른 오염물질의 평균 농도 감소율을 살펴보면, 강우 초기 농도에 비해 30분 강우 지속시간까지 많은 양의 오염물질들이 유출되는 것으로 나타났다.
4. 평균 EMC와 샘플 평균 농도의 차이를 살펴보면, TSS의 경우 2.0-2.6배 차이, COD는 1.3-1.6배 차이를 보인다. 또한 TN과 TP 및 중금속의 경우도 1.2배에서 2.6배 까지 큰 차이를 나타냈다. 그 이유는 샘플링을 통한 산술적인 평균 농도는 강우 시간에 따른 농도변화가 큰 비점오염원 연구에서는 큰 오차를 일으킬 수 있다는 중요한 연구 결과이다. 따라서 정밀한 모니터링 계획이 필요하다.
5. 동적 EMC 연구결과, 강우 유출이 시작된 이후 EMC는 20분까지 또는 50분 이내에서 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 초기강우 때문이며, 유출이 끝나는 시간의 동적 EMC가 강우사상을 대표하는 대표 EMC인 것이다.
6. 강우 특성과 오염물질 부하량과의 관계를 연구한 결과, 강우량이 클수록 오염물질 유출 부하량은 크게 나타났으며, 강우 전 건조일수가 길수록 유출부하량도 크게 나타났다. 또한 평균 강우강도가 클수록 유출 부하량은 적게 나타났는데, 이는 희석효과 때문인 것으로 판단된다. 강우 지속시간은 유출 오염물질 부하량에 큰 영향을 끼치지 않았는데, 그 이유는 같은 강우량이라도 지속시간이 길고 짧음에 따라 부하량이 달라지기 때문이다.
7. 본 연구 결과 주차장 및 교량지역에서의 경제적 오염물질 처리를 위한 초기 강우의 기준은 4.5-10 mm의 누적 강우량 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, p. 118 (2004c).

환경부, 관계부처합동 [물관리 종합대책]의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책 (2004).

EPA, Nonpoint Sources Pollution Control Program, *U.S. EPA*, Report 841-F-94-005, USA (1994).

Kim, Lee-Hyung, Masoud Kayhanian and Michael K. Stenstrom, Prediction of Event Mean Concentration and First Flush Effect using Mass Interpolation Washoff Model for Highway Runoff, *Conference proceedings of 6th International Conference on Diffuse Pollution*, September, Amsterdam, The Netherlands, pp. 227-235 (2002).

Kim, Lee-Hyung, Determination of Event Mean Concentrations and First Flush Criteria in Urban Runoff, *Environmental Engineering Research*, **8**(4), pp. 163-176 (2003).

Kim, Lee-Hyung, Masoud Kayhanian, Michael K. Stenstrom, Event Mean Concentration and Loading of Litter from Highways during Storms, *Science of the Total Environment*, **330**, pp. 101-113 (2004).