Journal of Korean Society on Water Quality, Vol. 22, No. 1, pp.104-109 (2006)

포장지역에서의 강우사상별 EMC 산정 및 단순 샘플농도와의 비교

이은주 · 고석오* · 강희만** · 이주광** · 이병식 · 임경호 · 김이형†

공주대학교 건설환경공학부 방재연구센타
*경희대학교 토목공학과
**한국도로공사 도로교통기술원 재료환경연구그룹

Determination of EMCs and Comparison with Sampled Concentrations in Paved Areas

Eun-Ju Lee · Seok-Oh Ko* · Hee-Man Kang** · Joo-Kwang Lee** · Byung-Sik Lee · Kyeong-Ho Lim · Lee-Hyung Kim†

Department of Civil & Environment Engineering, Kongju National University
**Department of Civil & Environment Engineering, Kyunghee University*
***Environmental & Material Research Laboratory, Highway & Transportation Technology Institute*
(Received 8 September 2005, Accepted 7 November 2005)

Abstract

TPLMS programs in four large rivers have been developed to improve the water quality from possible pollutants originated from watershed areas. The success of TPLMS program is depended on nonpoint source control. Currently, the pollutant loading from nonpoint pollution sources is gradually increasing as developing the nearby watershed. However, there are not enough data concerning on nonpoint pollution in Korea because of lacking of monitoring activities. It is the main reason of uncertainty. Therefore, this manuscript will summarize the EMCs in various landuses based on monitoring program. Also the EMC in each paved area will be compared and discussed to find the differences. When the EMC is compared by average monitored sample concentrations, the EMC values are 2-4 times higher than sample concentrations. It means the monitoring program is very important in the field of nonpoint pollution. The pollutant loadings from bridge landuse is higher than loadings from parking lot and highway because of more traffic activities.

keywords : Bridge, EMCs, Highway, Nonpoint sources, Parking lot

1. 서 론

오염총량관리제(Total Pollution Load Management System, TPLMS)란 수계인근의 유역 개념을 수질 관리에 포함시킨 것으로 최근 들어 국내의 4대강 유역에 도입되었다. 이 제도는 기존의 방류수 수질기준 중심의 수계관리에서 하천에서의 유량을 고려한 오염물질 총량 개념으로 수계를 관리하겠다는 내용이다. 이러한 오염총량관리제는 도시하수나 산업폐수 및 축산폐수 등의 점오염원 뿐만 아니라 넓은 지역에 걸쳐서 분포하는 비점오염원 관리의 중요성을 부각시켰다. 1970년대부터 오염총량관리제를 실시했던 미국의 경우 강력한 규제를 바탕으로 점오염원 중심의 수계를 관리하였으나, 수계의 수질은 지속적으로 악화되었으며, 결국 미국전역의 수계에 대한 목표수질의 달성에 실패하였다(김 등, 2004a). 따라서 미국 EPA (U.S. Environmental Protection Agency)는 수질 오염의 원인 중에서 많은 경우가 강우시 발생하는 비점오염물질의 유출이라 결론짓고 1995년 이후 전국적인 토지이용에 따른 유출 오염물질의 종류 및 부하량 원단위 산정을 위한 모니터링 및 연구가 시행되었으며 현재도 시행되고 있다(EPA, 1995).

국내의 경우도 이러한 선진국의 사례를 검토한 결과 비점오염원 관리 없이는 오염총량관리제를 성공적으로 정착시킬 수 없다는 판단 하에 비점오염원 연구에 많은 관심을 가지고 있다. 따라서 오염총량관리제 시행과 함께 2004년 3월에 관계기관 합동으로 물관리 종합대책의 추진강화를 위한 [4대강 비점오염원관리 종합대책]을 발표하였으며, 2005년 3월에 강우유출수 관리에 대한 내용을 수질환경보전법에 추가함으로써 본격적으로 비점오염원 관리를 위한 연구 및 시범사업을 계획 및 진행 중이다(김 등, 2005a, 2005b; 환경부, 2004). 비점오염원은 수계를 전체 부하량으로 관리하는 오염총량제의 성공에 큰 부분을 차지하는 오염원이지만 국내에는 아직도 비점오염원에 대한 기초 자료 및 인식부족으로 인하여 토지이용별 오염물질 유출 원단위 산정이 제대로 이루어지지 않고 있다. 특히 비점오염원은 불확실성(uncertainty)이 매우 큰 오염원이다. 따라서 지속적인

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

모니터링만이 제대로 된 비점오염원 부하량을 산정할 수 있으며, 최종적으로 오염총량제의 안전율(margin of safety)을 감소시켜 경제적인 효과를 거둘 수가 있는 것이다.

Table 1은 미국 캘리포니아주 로스엔젤레스 지역 포장지역에서의 강우 유출수내 EMC(Event Mean Concentration) 결과를 보여주고 있다. TSS의 경우 평균 EMC가 160 mg/L, 평균 COD EMC는 178 mg/L, 평균 TP EMC는 0.41 mg/L를 나타내고 있다. 이러한 농도는 국내 포장지역의 비점오염물질 유출 EMC와 좋은 비교가 될 수 있을 것으로 판단된다.

미국을 비롯한 선진국들은 다양한 비점오염원 중에서 도로, 주차장 및 교량 등과 같은 포장된 지역을 우선 관리순위로 정하여 비점오염물질을 관리하고 있다. 그 이유는 포장지역이 강우 유출계수가 크며, 많은 인간 및 차량의 활동으로 인하여 오염물질의 유출 부하량이 면적에 비하여 상당히 높기 때문이다(김 등, 2004a, 2004b).

따라서 본 논문에서는 그 동안 본 연구진에 의하여 고속도로, 주차장 및 교량지역에서 수행된 모니터링 결과를 이용하여 토지이용에 따른 오염물질의 유출 EMC를 산정하여 발표하고자 한다. 또한 각 토지이용에 따른 EMC를 비교함으로써 포장지역내에서도 오염물질의 차이를 해석하고자 한다. 본 연구로 산정된 EMC는 향후 포장된 비점오염원 연구에 있어서 유출 부하량 산정에 이용될 수 있으며, 오염물질 유출 저감 및 처리를 위한 최적관리방안의 설계에 있어서 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 연구방법

2.1. 모니터링 계획

본 연구에서는 모니터링에 의한 불확실성을 줄이기 위하여 포장된 노면에서의 강우 유출수에 대한 강우 및 유출률을 automatic rain gauge와 automatic flow meter를 현장에 설치하여 1분단위로 강우량과 유출유량을 측정하였다. 또한 시료채취의 불확실성을 줄이기 위하여 강우 초기에 발생하는 고농도의 오염물질이 유출되는 초기강우 현상을 고려하여 유출 발생 이후 1시간 동안에는 5분에서 15분 간격으로 모니터링을 하였고, 유출 1시간 이후부터는 1시간 간격으로 모니터링을 수행하였다. 이외에도 강우강도, 총 유출량, 총 강우량, 평균 강우강도, 강우 지속시간, 강우 전 건기일수, 유역면적을 조사하였다. 채취된 시료는 입자상 물질, 유기물질, 영양물질, 중금속들에 대한 분석을 실시하였다.

포장된 토지이용 중에서도 토지이용에 따른 비점오염물질 원단위 산정을 하기 위하여 고속도로, 주차장, 교량 지점을 선정하여 상호 비교 연구하였다. 모니터링 지점은 김 등(2005a, 2005b)에 이미 나타나 있기에 본 논문에서는 생략하고자 한다.

2.2. 강우 유출수의 EMC 산정

강우유출수의 EMC는 모니터링 계획에 따라 수집된 자료를 이용하여 1분당 유량과 오염물질의 농도를 고려한 평균농도로 다음 식 (1)에 의해서 산정이 가능하다. 식의 아래 부분은 Automatic flow meter로 측정된 총 유량이며, 위 부분은 1분당 유량과 오염물질의 농도에 따른 총 오염물질 양을 나타낸다(김 등, 2004a).

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

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

3. 결과 및 고찰

3.1. 현장 및 강우사상 개요

Table 2는 모니터링 현장에 대한 위치 및 면적을 나타내고 있다. Site 1은 호남고속도로 지점으로 다른 두 지역보다 넓은 유역면적을 나타내고 있으며, Site 2는 공주대학교내 주차장으로 다른 모니터링 지역보다 작은 유역면적을 나타내고 있다. Site 3은 공주대교로 많은 차량의 정차가 발생하여 강우시 고농도의 오염물질이 금강수계로 직접 유출되고 있는 지역을 나타내고 있다. 또한 세 지점의 포장은 아스팔트로 이루어져 있다.

Table 2. Monitoring sites

Monitoring site	Location	Area(m^2)
Site 1	Highway No. 25(North bound)	1,120
Site 2	Parking lot in Kongju National University	171.6
Site 3	Kongju Daekyo(Bridge)	632.0

Table 1. EMCs in paved area in USA (Kim et al., 2005)

Parameters	Basic statistics					Confidence interval	
(mg/L)	Min.	Max.	Median	Mean	St. Dev.	95% Upper	95% Lower
TSS	5.21	874	87.5	160	175	216	103
COD	13.5	776	103	178	182	252	104
TOC	7.36	59.3	12.8	18.1	13.3	24.1	12.1
TKN	1.93	33.8	3.15	6.3	8.06	10.2	2.4
TP	0.11	1.54	0.31	0.41	0.32	0.53	0.3
Oil & Grease	0.52	34.6	5.23	8	7.73	10.6	5.4

Table 3. Event table for monitored events

Site	Event date	ADD (days)	Total rainfall (mm)	Runoff duration (hr)	Avg. rainfall intensity (mm/hr)	Runoff coeff.
Site 1 Highway	2004/5/28	13	17.5	3.68	4.8	0.87
	2004/6/17	18	50.5	8.70	5.8	0.85
	2004/7/3	2	30.7	6.15	5.0	0.93
	2004/7/11	3	6.9	6.33	1.1	0.62
	2004/8/16	8	19.5	1.72	11.3	0.57
	2004/8/22	2	8.2	1.53	5.4	0.84
	2004/9/11	3	20.6	6.42	3.2	0.79
Site 2 Parking lot	2004/5/28	13	20.5	4.57	4.5	0.88
	2004/6/17	18	45.3	9.73	4.7	0.9
	2004/7/3	2	36.4	9.2	4.0	0.94
	2004/7/11	3	9.0	7.02	1.3	0.64
	2004/8/16	1.8	29.4	7.33	4.0	0.81
	2004/8/22	2	8.1	5.55	1.5	0.85
	2004/9/11	3	36.2	6.45	5.6	0.88
Site 3 Bridge	2004/5/28	13	20.5	4.78	4.3	0.87
	2004/6/17	18	45.3	10.77	4.2	0.92
	2004/7/3	2	36.4	9.22	3.9	0.71
	2004/7/11	3	9.0	8.73	1.0	0.68
	2004/8/16	1.8	29.4	5.67	5.2	0.79
	2004/8/22	2	8.1	6.23	1.3	0.83
	2004/9/11	3	36.2	5.05	7.2	0.8

Table 3은 각 지점별 강우사상에 대한 모니터링 결과를 나타낸 것으로, 강우전 건기일수(Antecedent Dry Days, ADD)는 1.8-18일의 범위, 총 강우량은 8.1-50.5 mm의 범위, 강우지속시간은 1.53-10.77 시간의 범위를 보이고 있으며 평균 강우강도는 1.0-11.3 mm/hr의 범위로 나타났다.

3.2. 수리수문 및 농도 곡선

포장지역은 대부분의 경우 유역면적이 적으며, 강우 초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 초기강우 현상을 뚜렷이 보이는 지역이다. 이러한 유출특성은 수리수문 및 농도 곡선으로 정량적으로 보여줄 수 있다. Fig. 1은 본 모니터링 수행으로 얻어진 수리수문 및 농도곡선을 보여주고 있는데 뚜렷한 초기강우 현상을 볼 수 있다.

3.3. 입자상 물질, 유기물질 및 Oil & Grease의 EMCs

Table 4는 입자상 물질, 유기물질 및 Oil & Grease에 관한 EMC 결과를 나타내고 있다, 고속도로에서는 TSS의 경우 16-364.17 mg/L의 범위를 보이며, COD의 경우 37.63-122.04 mg/L의 범위를 보인다. 주차장의 TSS EMC는 12.06-37.38 mg/L의 범위를 보이고 있으며, COD EMC는 10.93-84.75 mg/L의 범위를 나타내고 있다. 교량의 경우에는 TSS EMC가 24.73-305.34 mg/L를 보이며, COD EMC의 경우는 45.48-198.97 mg/L의 범위를 보이고 있다.

Oil & Grease는 고속도로 지점에서 0.1-10.28 mg/L, 주차

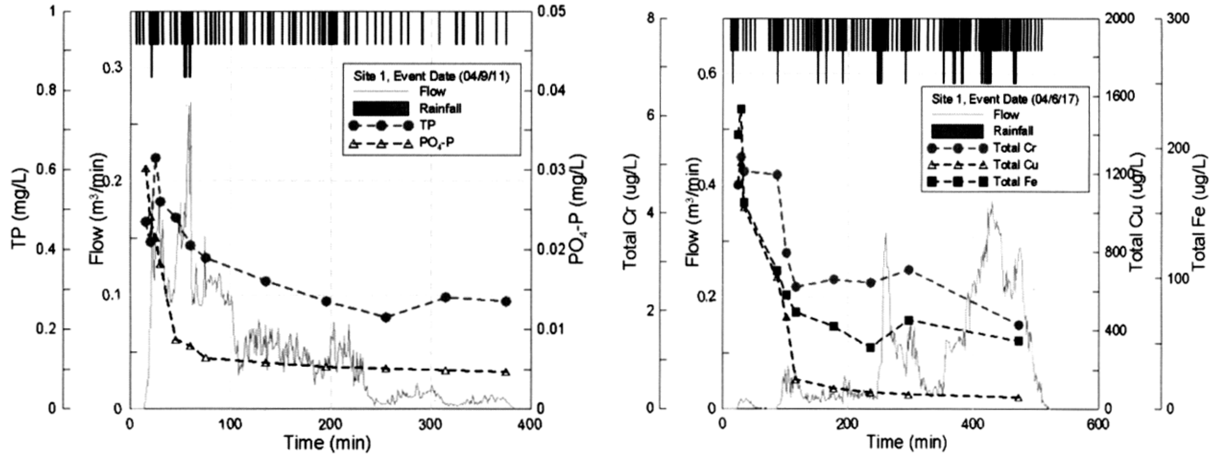

Fig. 1. Exampels of hydro- and polluto-graphs.

Table 4. EMCs of TSS, Organic materials and Oil & Grease in paved areas

Site	Parameters (mg/L, NTU)	2004/05/28	2004/06/17	2004/07/03	2004/07/11	2004/08/16	2004/08/22	2004/09/11
Highway	TSS	364.17	42.74	56.70	12.33	63.87	16.00	44.31
	Turbidity	70.96	53.41	42.74	6.10	12.71	8.50	33.51
	COD	122.04	69.07	71.09	40.61	83.38	37.63	42.02
	DOC	32.41	6.69	32.31	11.37	6.53	3.21	11.40
	Oil & Grease	4.30	1.90	10.28	0.63	6.59	0.10	0.38
Parking lot*	TSS	17.86	33.02	12.06	23.42	37.38	31.58	19.87
	Turbidity	11.77	45.58	13.54	6.36	8.68	17.57	7.47
	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
Bridge*	TSS	305.34	98.57	282.92	144.26	126.24	105.65	24.73
	Turbidity	61.14	45.78	125.69	44.46	54.83	42.40	14.54
	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

참고(*): 김 등, 2005a

장에서는 0.43-11.66 mg/L, 교량에서는 0.23-74.75 mg/L로 나타났다. 입자상 물질과 유기물질의 EMC를 비교한 결과 교량, 고속도로, 주차장의 순으로 유출 오염물질의 농도가 큰 것으로 나타났다. 이러한 오염물질의 농도는 Table 1에 정리되어 있는 미국의 자료와 비교하기에 좋은 결과라 하겠다.

3.4. 각 모니터링 지점의 영양물질 EMCs

Table 5는 고속도로, 주차장 및 교량에서 영양염류에 관한 EMC를 나타낸 것이다. TN의 경우 고속도로에서 1.20-5.50 mg/L의 범위, 주차장에서는 0.98-2.54 mg/L의 범위를 나타내고 있으며 교량에서는 2.30-5.37 mg/L의 범위를 보이고 있다. TP의 경우는 고속도로, 주차장, 교량에서 각각 0.16-0.57 mg/L, 0.06-0.53 mg/L 그리고 0.36-1.15 mg/L의 농도 범위를 보이고 있다. 세 모니터링 지점에 대한 영양염류의 유출 EMC 농도는 교량에서 높은 농도를

Table 5. EMCs of nutrients in paved areas

Site	Parameters (mg/L)	2004/05/28	2004/06/17	2004/07/03	2004/07/11	2004/08/16	2004/08/22	2004/09/11
Highway	T-N	5.497	1.039	1.200	2.016	3.760	2.290	2.167
	TKN	4.903	1.541	1.075	1.897	3.368	1.904	2.088
	NH_4-N	1.110	0.303	0.283	0.901	2.700	1.624	1.171
	NO_2-N	0.224	0.062	0.065	0.187	0.063	0.052	0.069
	NO_3-N	3.347	0.255	0.621	0.703	0.485	0.892	0.811
	T-P	0.573	0.161	0.207	0.162	1.003	0.260	0.377
	PO_4-P	0.234	0.007	0.005	0.008	0.013	0.012	0.008
Parking lot*	T-N	2.223	1.527	0.984	1.534	2.540	1.651	1.144
	TKN	2.007	1.082	0.779	1.473	2.295	1.552	1.065
	NH_4-N	0.945	0.315	0.111	0.799	1.232	1.132	0.333
	NO_2-N	0.060	0.073	0.005	0.032	0.029	0.012	0.008
	NO_3-N	0.812	0.338	0.580	0.611	0.945	0.389	0.661
	T-P	0.214	0.209	0.062	0.077	0.528	0.218	0.242
	PO_4-P	0.011	0.006	0.004	0.001	0.001	0.002	0.000
Bridge*	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
	NH_4-N	0.59	0.55	0.28	1.72	2.60	1.30	0.88
	NO_2-N	0.20	0.27	0.11	0.15	0.17	0.08	0.52
	NO_3-N	1.31	0.97	1.10	0.77	2.33	0.55	0.75
	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

참고(*): 김 등, 2005a

보이나 입자상물질 및 유기물과 같은 큰 차이를 나타내지 않았다.

3.5. 각 모니터링 지점의 중금속 EMCs

Table 6은 고속도로, 주차장 및 교량지점에 있어서의 중금속에 관한 EMC 결과를 나타내고 있다. 고속도로 지점에서는 Total Cu의 EMC가 22.39-131.2 μg/L, Total Fe는 27.1-123.1 μg/L, Total Ni은 6.3-33.9 μg/L, Total Pb는 2.54-54.7 μg/L 그리고 Total Zn은 52.15-179.9 μg/L의 EMC 범위를 나타내고 있다. 주차장 지점의 EMC는 Total Cu의 경우 54.9-121.6 μg/L, Total Fe는 6.7-98.1 μg/L, Total Ni은 3.07-13.4 μg/L, Total Pb는 2.62-5.56 μg/L 그리고 Total Zn은 15.8-116.5 μg/L의 EMC 범위를 나타내고 있다. 입자상 물질과 유기물질, 영양염류에서 다른 두 지점보다 높은 농도를 보인 교량 지점의 EMC는 Total Cu가 74.7-224.6 μg/L, Total Fe는 33.1-111.7 μg/L, Total Ni은 3.44-38.2 μg/L, Total Pb는 1.72-8.92 μg/L 그리고 Total Zn은 39.7-174.4 μg/L의 EMC 범위로 나타났다. 중금속 오염물질은 다른 비점오염원에 비해 차량 이동이 많은 고속도로와 교량지역은 높은 유출농도를 보이고 있는 것으로 나타났다.

3.6. 평균 EMC와 샘플 산술 평균과의 비교

Table 7은 식 1로 산정되어진 EMC와 모니터링 샘플의 단순 산술평균으로 산정된 평균농도와의 비교를 나타내고 있다. TSS의 경우, 단순 산술평균의 농도는 평균 EMC보다 2배 이상 높은 것으로 나타났으며, COD의 경우 교량지역에서는 3.5배의 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이러한 농도산정은 강우유출수 부하량 산정을 비롯해 처리시설 용량 산정에 있어서 상당한 오류를 범할 수 있는 원인이 될 수 있다. 중금속에 관한 단순 수질 샘플 농도와 EMC와의 비교는 김 등(2005b)에 의하여 이미 발표된 바 있다.

4. 결 론

수계관리에 있어서 배출농도가 아닌 하천에서의 총량 규제라는 환경정책의 변화에 따라 비점오염원은 반드시 해결해야 할 과제이며, 점오염원 연구와 더불어 지속적으로 연

Table 6. EMCs of metals in paved areas

Site	Parameters (ug/L)	2004/05/28	2004/06/17	2004/07/03	2004/07/11	2004/08/16	2004/08/22	2004/09/11
Highway	Tot Cd	0.687	0.513	0.568	0.210	4.281	2.630	2.491
	Tot Cr	5.341	2.158	0.572	0.282	9.741	2.690	5.027
	Tot Cu	22.388	85.960	86.742	129.073	131.211	74.800	73.867
	Tot Fe	123.049	59.193	47.176	97.475	76.456	45.700	27.066
	Tot Ni	7.751	3.981	6.314	33.891	7.837	15.400	6.876
	Tot Pb	8.737	3.540	5.109	54.675	19.75	4.721	16.884
	Tot Zn	102.630	119.416	52.152	179.872	56.177	134.952	140.184
Parking lot*	Tot Cd	0.552	0.517	0.558	0.628	0.985	0.551	0.497
	Tot Cr	2.701	2.416	0.757	0.982	1.470	2.721	2.552
	Tot Cu	104.172	83.271	56.335	54.914	79.556	121.609	75.156
	Tot Fe	88.950	56.181	6.746	60.536	98.101	76.215	64.673
	Tot Ni	6.148	3.065	3.193	9.303	13.390	5.054	5.317
	Tot Pb	3.409	3.137	2.624	3.072	5.563	3.425	3.031
	Tot Zn	110.626	70.028	15.849	96.941	116.532	91.909	90.963
Bridge*	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

참고(*): 김 등, 2005b

Table 7. Comparison of average EMCs and average sample concentrations

Parameters	Avg. EMC			Avg. sample conc.		
	Highway	Parking lot	Bridge	Highway	Parking lot	Bridge
TSS(mg/L)	85.7	25.0	155.4	225.8	49.2	321.8
COD(mg/L)	66.5	43.2	137.1	134.8	75.9	475.5
T-N(mg/L)	2.6	1.7	3.2	3.7	2.2	5.2
T-P(mg/L as P)	0.4	0.2	0.6	0.6	0.4	0.9

구가 이루어져야 하는 분야이다. 특히 오염물질의 축적과 포장율이 높아 강우시 고농도의 오염물질을 수계로 유출시키는 포장지역의 경우, 비점오염원 연구에 있어서 중요한 토지이용이다. 따라서 본 연구는 포장지역에 대한 효율적이며 명확한 원단위 산정을 위하여 강우사상에 대한 EMC를 산정하였다. 또한 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 강우사상에 대한 고속도로, 교량, 주차장에 대한 입자상 물질 및 유기물질의 EMC는 교량, 고속도로, 주차장의 순으로 고농도의 오염물질이 유출되는 것으로 분석되었다.
2) 영양염류에 대한 유출 EMCs는 교량지역이 높은 농도를 보이고 있으나, 입자상 물질과 같이 지점별 큰 차이는 없는 것으로 분석되었다.
3) 중금속 오염물질은 차량 이동이 많은 고속도로와 차량의 정체가 심한 교량지역에서 높은 유출농도를 나타내고 있기에 처리시설 선정시 우선 관리대상이 가능하다.
4) 단순 샘플 산술평균의 농도와 평균 EMC를 비교 분석한 결과, TSS와 COD의 경우 교량지역에서는 단순산술평균이 평균 EMC보다 2배 및 3.5배 정도 높은 값을 보이는 것으로 분석되었다. 이러한 농도산정의 큰 차이는 비점오염원의 모니터링 계획과 자료 해석의 중요성을 나타내고 있다.
5) 대부분의 교량은 하천을 가로질러 위치하기에 강우시 유출수를 직접 하천으로 유출 시키고 있으므로, 향후 비점오염원 관리에 있어서 포장된 지역 중 우선적으로 관리해야할 토지이용으로 나타났다.

사 사

본 연구는 한국건설교통기술평가원(과제번호: 2005-0262) 및 한국도로공사 도로교통기술원의 연구과제로 수행된 결과 중에서 그 결과를 정리한 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

김이형, 강주현, 고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정, *한국물환경학회지*, **20**(6), pp. 631-640 (2004a).

김이형, 강주현, 강우 시 발생하는 고속도로 유출수의 초기우수 특성 및 기준, *한국물환경학회지*, **20**(6), pp 641-646 (2004b).

김이형, 이선하, 강우시 주차장 및 교량에서 유출되는 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs, *한국물환경학회지*, **21**(3), pp. 248-255 (2005a).

김이형, 이선하, 주차장 및 교량 강우유출수의 중금속 오염물질 특성과 동적 EMCs, *한국물환경학회지*, **21**(4), pp. 385-392 (2005b).

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

EPA, Economic Benefits of Runoff Controls, *U.S. EPA*, Report 841-S-95-002, USA (1995).

Kim, L.-H., Kayhanian, M., Zoh, K.-D., and Stenstrom, M. K., Modeling of Highway Stormwater Runoff, *Science of the Total Environment*, **348**, pp. 1-18 (2005).