

투수성 주차장에서의 강우 유출저감 및 저류용량 분석

정용준*·민경석†

경북대학교 환경공학과

*부산가톨릭대학교 환경공학과

Analysis of runoff reduction and storage capacity in permeable pavement parking lot

Yongjun Jung*·Kyungsok Min†

Department of Environmental Engineering, Kyungpook National University

*Department of Environmental Engineering, Catholic University of Pusan

(Received : 13 July 2017, Revised: 31 July 2017, Accepted: 31 July 2017)

요약

일반적으로 주차장은 아스팔트나 콘크리트 등 불투수층으로 조성되기 때문에 강우시 각종 오염물질이 수계로 배출됨에 따라 비점오염원 배출 부하량을 증가시키는 중요한 요인이 된다. 불투수층으로 인한 물순환장애 및 비점오염원 관리를 효과적으로 제어하고 관리할 수 있는 저영향개발(Low Impact Development)의 적용 및 필요성이 대두되고 있으며, 환경부는 개발사업에 대해 저영향개발 기법의 적용을 의무화하는 방안을 추진 중에 있다. 본 연구에서는 효율적인 빗물 및 비점오염원 관리를 위한 저영향개발 기법의 하나인 투수성 주차장에서 발생하는 강우 유출수의 오염물질 농도, 비점오염부하량, 초기세척현상 및 강우유출지연효과를 불투수성 주차장과 비교·분석하여 향후 투수성 주차장 설계 시 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

핵심용어 : EMCs, 저영향개발, 비점오염원, 투수성 주차장

Abstract

Generally, a parking lot is constructed using asphalt or concrete. Such materials are impermeable, which means that a parking lot will directly release pollutants to any nearby water system during a rainfall event. An increased quantity of nonpoint source pollutants harms the ecohydrological system and causes further environmental damage leading to dysfunctional water circulation systems. Therefore, there is an urgent need for the design and application of Low Impact Development (LID) systems that allow more effective prevention of water circulation problems and management of nonpoint source pollution. This study aims to support such efforts by analyzing a permeable paver parking lot constructed using one of the LID techniques and comparing it to a conventional one in terms of the concentration of pollutants, nonpoint source pollution load and runoff rainfall lag effects during a rainfall event; it could serve as a reference for the construction of permeable paver parking lots in the future.

Key words : EMCs, Low Impact Development, Non point-source pollution, Permeable parking lot

1. 서론

최근 기후변화로 강우강도 증가, 국지성 호우 등의 발생이 증가하고 있기 때문에 지표면에 장기간 축적된 비점오염물질이 고농도로 일시에 배출됨으로써 생태계를 교란시키며 심각한 수질 오염을 야기한다. 최근까지 오염물질의 관리는 점오염원의 처리에 주안점을 두었으나, 토지이용의 고도화에 따른 비점오염원의

증가로 인해 점오염원의 처리만으로는 수질 목표 달성에 어려움이 있다는 것이 일반적인 인식이며(Jang, 2005; Jeon et al., 2013), 비점오염원 관리에 있어 자연친화적인 관리 방안에 대한 조사연구 필요성이 증대되었다. 특히 최근 들어 물순환에 대한 중요성의 부각과 더불어 비점오염원과 강우유출수를 동시에 관리 할 수 있는 방안에 대한 관심이 증가하고 있다(Ministry of environment, 2009).

급속한 산업화, 도시화에 따라 토지개발이 가속화되고 있으며, 대지·도로·주차장 등 불투수층 면적이 늘어나고 있고 국내의 경우, 경제성장과 도시화에 따른 불투수층이 매년 증가함에 따라 주차장 면적 역시 증가하는 추세에 있다(Park, 2010).

* To whom correspondence should be addressed.
Department of Environmental Engineering, Kyungpook National University
E-mail: ksmin@knu.ac.kr

일반적으로 주차장은 아스팔트나 콘크리트 등 불투수층으로 조성되기 때문에 강우시 각종 오염물질이 곧바로 수계로 배출됨에 따라 비점오염원 배출 부하량을 증가시키는 중요한 요인이 되며, 물순환 장애 등의 수계에 직·간접적으로 위대한 영향을 미치는 것으로 파악되고 있다. Hassel et al. (1980)과 Knowles and Stanley (1993)는 인근 하천으로 유입되는 주차장 지역에서 발생한 강우유출수내 카드뮴, 아연과 같은 중금속을 비롯하여 오일, 연료, 냉각수 같은 차량으로부터 발생된 다양한 오염물질들이 존재함을 발견하였다.

따라서 불투수층으로 인한 물순환 장애 및 비점오염원 관리를 효과적으로 제어하고 관리할 수 있는 저영향개발(Low Impact Development)의 적용 및 필요성이 대두되고 있다. 그러나 저영향개발(LID) 기법을 적용한 투수성 포장의 강우유출 저감효과에 대한 연구(Kim, 2002; Lee et al., 2009; Lee et al., 2001)는 수행되고 있지만, 투수성 포장을 적용한 주차장의 강우유출수의 비점오염부하를 정량화하고 원단위를 산정하는 연구는 극히 제한적이다.

본 연구에서는 효율적인 빗물 및 비점오염원 관리를 위한 저영향개발(LID) 기법의 하나인 투수성 주차장에서 발생하는 강우 유출수의 오염물질 농도, 비점오염 부하량 및 강우유출 지연효과를 불투수성 주차장과 비교 분석하여 향후 투수성 주차장 설계 시 기초자료로 활용할 수 있도록 제공하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 연구 대상지점

모니터링 대상지점은 강우인자를 비교적 동일하게 하기 위해 투수성 주차장 인근에 위치한 아스팔트 주차장을 대조군으로 선정하여 모니터링을 실시하였다. 투수성 주차장은 경상남도 창원군에 위치한 우포늪 생태전시관 주차장으로, 잔디벽력과 흙으로 이루어져 있는 투수성 주차장이다. 투수면적은

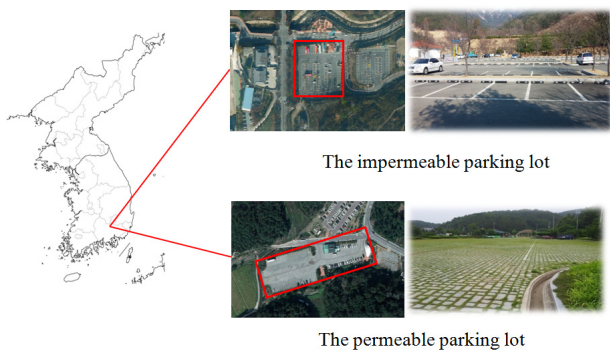


Fig. 1. Monitoring site.

Table 1. Summary of the monitoring sites

Packing material	Address	Coordinate	Total Area (m ²)	Permeable Area (m ²)	Impermeable Area (m ²)
Permeable	Upo Wetland	N 35° 53' 58" E 128° 42' 75"	7,425	2,228	5,198
Impermeable	Mt.Hwawang	N 35° 54' 07" E 128° 50' 75"	3,998	280	3,718

전체 면적의 약 30%이고, 강우 유출수는 1개의 배수지점으로 차집되어 농수로로 따라 토평천으로 배출된다. 불투수성 주차장은 경상남도 창원군에 위치한 화왕산 군립공원 주차장으로, 대부분의 면적이 아스팔트로 포장되어 있다. 총면적의 약 93%가 불투수 면적이고, 강우 유출수는 1개의 배수지점으로 차집되어 창녕천으로 배출되므로 하천수질에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 지역이다.

2.2 모니터링 방법

모니터링은 2013년 9월부터 2014년 8월까지 각각 총 6회씩 실시하였다. 1분 단위로 측정 가능한 강우강도계(RG-20, Environmental Monitoring & Management) 및 전자식 유량계(Flo-TOTE3, Marsh McBIRNEY)를 설치하여 강우 형태에 따른 조사대상지점에 유출수의 변화를 실측하였다. 유량계는 배수구인 파이프에 설치하여 강우시 유출수의 유량을 측정하였으며, 유량계의 설치가 불가할 경우 직접 채수법을 이용하여 유출량을 측정하였다. 시료의 채취는 최초유출이 발생하는 시점부터 유출 초기에는 초기 세척현상 등의 특성을 파악하기 위해 5분 간격으로 시료를 채취하고, 이후 10분, 15분, 30분 간격으로 각 2회씩 반복하고 시간이 지난 후 1시간, 2시간 간격으로 시간 간격을 늘려 채수하였다.

2.3 분석방법

현장 측정 항목은 수온, pH, DO, 탁도, 전기전도도, 유량 등이며, 채취된 시료는 냉장보관 후 실험실로 옮겨 분석하였다. 수질분석 항목은 BOD, COD_{Mn}, TOC, TSS, T-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, T-P, PO₄-P 및 중금속(Pb, Cu, Cr, Fe, Ni, Cd)을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 강우사상 분석

본 연구의 모니터링이 실시된 강우사상의 통계분석 결과를 Table 2에 정리하였다. 모니터링은 동일한 날짜에 수행되었으며, 각 주차장은 직선거리로 약 7.5 Km 떨어진 지점으로 비교적 인접하게 위치하고 있다. 따라서 선행건기일수, 강우량, 강우강도와 같은 강우인자는 비슷한 결과가 나타났다. 강우량에 따른 투수성 주차장에서의 총 누적 강우량은 216.3 mm로 나타났으며, 불투수성 주차장에서의 총 누적 강우량은 210.2 mm로 나타났다. 각 주차장에서 0~10 mm의 강우사상에 대한 모니터링은 시행되지 않았으며, 10~30 mm의 강우사상에 대한 모니터링 3회, 30~50 mm의

강우사상에 대한 모니터링 1회, 50 mm 이상으로 발생한 강우사상에 대한 모니터링 2회 시행되었다.

3.2 EMC 분석

본 연구의 대상지역에서 강우시 발생한 오염물질 EMC

통계분석 결과를 Table 3 및 4에 제시하였다. 불투수성 주차장의 강우유출수 평균 EMC 값은 투수성 주차장의 EMC 값보다 전체적으로 높게 나타났다. 특히 입상 오염물질인 TSS의 평균 EMC가 투수성 주차장에 비해 1.78배 높게 나타났으며, TN 또한 1.77배 높게 나타났다.

Table 2. Summary of events for permeable and impermeable parking lots

	Event No.	ADD (day)	Rainfall (mm)	Runoff duration (hr)	Rainfall intensity (mm/hr)	Runoff Coeff.
Permeable parking lot	E-1	16	12.0	4.30	2.8	0.29
	E-2	9	64.0	15.00	4.0	0.45
	E-3	15	20.0	7.13	2.8	0.18
	E-4	49	18.0	8.00	2.3	0.12
	E-5	17	39.8	19.30	2.1	0.39
	E-6	4	63.0	27.56	2.3	0.43
	Average	18	36.0	13.55	2.7	0.31
Impermeable parking lot	E-1	16	11.5	4.26	2.7	0.87
	E-2	9	57.0	15.83	3.6	0.86
	E-3	15	22.0	7.33	3.0	0.75
	E-4	49	19.5	8.12	2.4	0.69
	E-5	17	37.2	18.60	2.0	0.78
	E-6	4	63.0	27.39	2.3	0.80
	Average	18	35.0	13.59	2.7	0.79

Table 3. EMC concentrations of organic matter, solids and nutrients (Unit: mg/L)

EMC	Event No.	BOD	CODMn	TOC	TSS	T-N	T-P
Permeable parking lot	E-1	3.8	5.7	3.8	15.5	3.314	0.345
	E-2	3.3	4.0	2.7	6.6	1.585	0.223
	E-3	6.9	12.7	6.4	7.8	1.263	0.482
	E-4	7.3	13.8	8.2	10.0	2.139	0.305
	E-5	4.1	5.4	4.9	8.8	0.562	0.151
	E-6	1.6	3.0	3.0	4.8	0.381	0.255
Impermeable parking lot	E-1	5.0	11.3	6.5	10.7	3.019	0.571
	E-2	2.0	6.8	4.8	6.0	1.707	0.362
	E-3	7.5	11.5	7.9	11.8	1.547	0.610
	E-4	8.1	15.6	7.9	25.1	4.793	0.835
	E-5	6.3	6.7	3.3	19.7	2.023	0.189
	E-6	1.8	3.5	3.0	21.2	3.260	0.321

Table 4. EMC concentrations of heavy metals (Unit: $\mu\text{g/L}$)

EMC	Event No.	Pb	Cu	Cr	Fe	Ni	Cd
Permeable parking lot	E-1	2.23	67.0	1.81	99.2	1.41	0.10
	E-2	4.12	47.2	1.44	392	1.24	0.08
	E-3	8.41	66.3	2.90	131	1.52	0.17
	E-4	2.34	59.2	4.12	176	3.71	0.23
	E-5	1.72	72.0	7.21	282	8.31	0.14
	E-6	1.91	93.1	6.50	136	6.60	0.31
Impermeable parking lot	E-1	6.41	71.1	2.12	162	2.41	0.23
	E-2	9.17	82.2	2.48	401	3.10	0.18
	E-3	9.12	89.4	3.11	241	2.57	0.32
	E-4	10.90	61.1	5.20	194	5.12	0.44
	E-5	11.24	98.1	8.81	315	10.20	0.47
	E-6	7.82	102	7.20	215	9.75	0.52

Table 5. Pollutant load of organic matter per unit area (Unit: kg/km²)

Pollutant load	Event No.	BOD	CODMn	TOC	TSS	T-N	T-P
Permeable parking lot	E-1	13.2	19.8	13.2	54.2	11.606	1.208
	E-2	94.5	113.1	78.1	188.1	45.216	6.373
	E-3	24.4	45.1	22.7	27.6	4.491	1.715
	E-4	16.1	30.3	18.1	22.0	4.691	0.670
	E-5	62.5	82.6	75.1	135.6	8.670	2.321
	E-6	44.5	82.5	81.9	131.3	10.414	6.981
Impermeable parking lot	E-1	49.7	112.9	65.0	106.7	30.134	5.700
	E-2	99.2	333.2	235.4	295.2	83.491	17.701
	E-3	123.4	189.7	131.3	195.1	25.563	10.075
	E-4	108.7	209.3	106.6	336.7	64.309	11.207
	E-5	181.1	193.5	96.7	571.3	58.532	5.474
	E-6	91.3	179.0	151.3	1072.1	165.111	16.253

Table 6. Pollutant load of heavy metals per unit area (Unit: kg/km²)

Pollutant load	Event No.	Pb	Cu	Cr	Fe	Ni	Cd
Permeable parking lot	E-1	0.008	0.235	0.006	0.347	0.005	0.000
	E-2	0.116	1.341	0.040	11.182	0.034	0.002
	E-3	0.030	0.235	0.010	0.466	0.005	0.001
	E-4	0.005	0.129	0.009	0.386	0.008	0.001
	E-5	0.026	1.110	0.111	4.348	0.128	0.002
	E-6	0.051	2.548	0.178	3.741	0.181	0.008
Impermeable parking lot	E-1	0.064	0.710	0.021	1.620	0.024	0.002
	E-2	0.044	4.022	0.121	19.619	0.152	0.009
	E-3	0.151	1.478	0.051	3.993	0.042	0.005
	E-4	0.146	0.819	0.070	2.602	0.069	0.006
	E-5	0.325	2.840	0.255	9.119	0.295	0.014
	E-6	0.396	5.170	0.365	10.912	0.494	0.026

이러한 결과는 불투수성 주차장이 대부분 아스팔트인 불투수층으로 구성되어 있어, 주차장 노면에 축적되어 있던 오염물질이 강우시 특별한 처리 없이 바로 유출됨으로써 높게 나타난 것으로 사료된다. 반면에 투수성 주차장은 강우시 오염물질이 바로 유출되지 않고 잔디 블럭 사이의 토양과 식생에 의해 여과 및 흡착됨으로써 오염물질의 유출이 저감된 것으로 사료된다.

3.3 유출부하량 분석

연구기간 동안 모니터링을 통해 얻어진 데이터를 이용하여 산정한 오염물질별 유출 부하량을 Table 5 및 6에 나타내었다. 모든 항목에서 투수성 주차장보다 불투수성 주차장의 유출되는 비점오염물질의 평균 단위면적당 오염 부하량이 높게 나타났다. 투수성 주차장과 불투수성 주차장을 비교하였을 때, 투수성 주차장은 토양과 식생으로 인해 오염물질이 저감되며, 강우유출수가 지하로 침투되어 공공수계에 미치는 오염부하량이 낮게 나타난 것으로 판단된다.

3.4 유출 저감효과 분석

투수성 주차장과 불투수성 주차장의 각 Event별 강우사상에 따른 유출저감 특성을 Table 7에 정리하였다. 투수성 주차장의 경우, 강우량은 12.0~64.0 mm로 유출이 발생되기 전의 유달시간은 60~184분으로 조사되었으며, 유출까지의 누적강우량은 7.0~10.5 mm의 범위로 나타났다. 총 강우량은 89.1~475.2 m³으로 조사되었으며, 총 유출량은 16.3~211.8 m³로 조사되었다.

투수성 주차장에서 강우시 유출 저감율은 평균 69.0%의 저감효율을 나타냈다. 또한 단위면적당 유출 저감량은 8.5~35.6 L/m²으로 나타났다. 강우량에 따른 저감효율을 살펴보면, 10~30 mm의 강우량을 나타낸 E-1, E-3, E-4의 강우유출수 저감율이 평균 80.3%의 저감효율을 나타내었다. 30~50 mm의 강우량을 나타낸 E-5의 강우유출수 저감율은 61.3%의 저감효율이 나타났으며, 50 mm이상의 강우량을 나타낸 E-2, E-6에서는 강우 유출수 저감율이 평균 56.0%의 저감효율을 나타내었다.

불투수성 주차장의 강우량은 11.5~63.0 mm로 유출이 발생되기 전의 유달시간은 21~60분으로 조사되었으며, 유출까지의

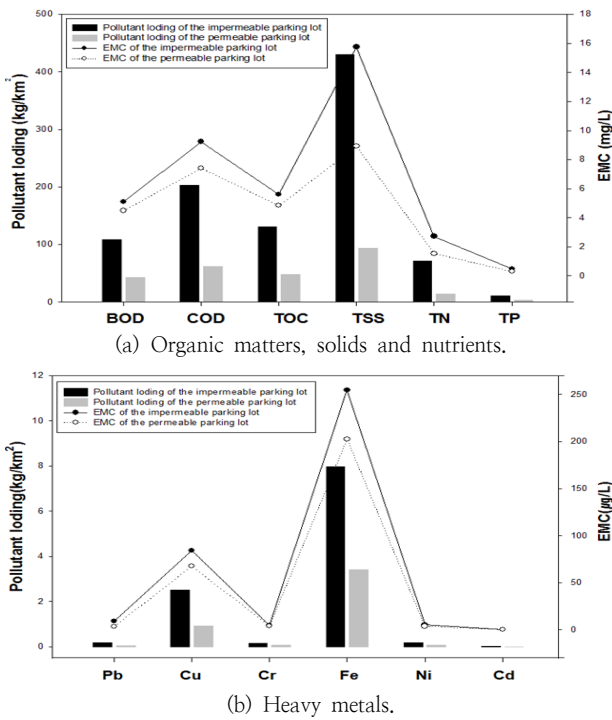


Fig. 2. The comparison of the pollutants load and EMC.

누적강우량은 2.3~3.4 mm의 범위로 나타났다. 총 강우량은 46.0~251.9 m³으로 조사되었으며, 총 유출량은 39.9~202.5 m³로 조사되었다. 불투수성 주차장에서 강우시 유출 저감율은 평균 20.9%의 저감효율을 나타냈다. 단위면적당 유출 저감량은 1.5~12.3 L/m²으로 나타났다. 강우량에 따른 저감효율을 살펴보면, 10~30 mm의 강우량을 나타낸 E-1, E-3, E-4의 강우유출수 저감율이 평균 23.1%의 저감효율을 나타내었다. 30~50 mm의 강우량을 나타낸 E-5의 강우유출수 저감율은 22.2%로 나타났으며, 50 mm이상의 강우량을 나타낸 E-2, E-6에서는 강우 유출수 저감율이 평균 18.2%의 저감효율을 나타내었다.

Fig. 3은 각 주차장에서 단위면적을 동일하게 적용하였을 때의 각 Event별 강우 유출량을 나타낸 것이다. 각 주차장에서 공통적으로 강우량, 강우강도가 증가할수록 유출량이 증가하는 것으로 나타났다. 불투수성 주차장의 유달시간은 평균 39분으로 누적 강우량 2.3~3.4 mm에서 유출이 발생하였으나, 투수성 주차장의 유달시간은 평균 117분으로 누적강우량 7.0~10.5 mm에서 유출이 발생하여 초기강우 저류효과 및 강우 유출 지연효과가 있었다.

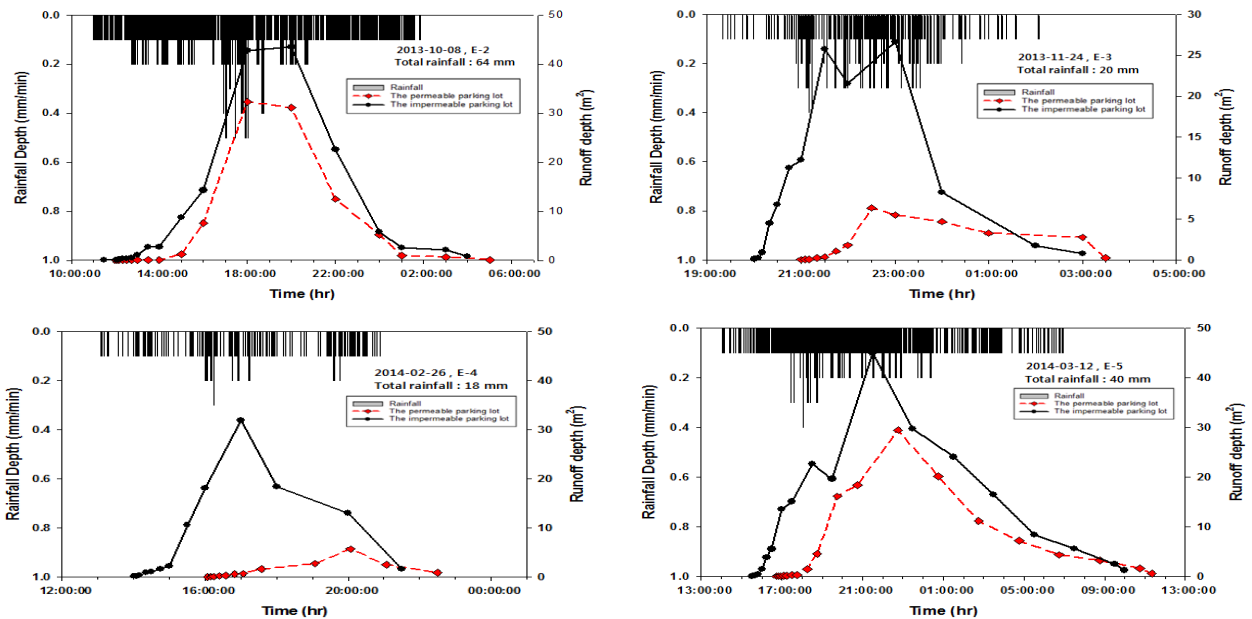


Fig. 3. A comparison of total runoff volume for each rainfall event.

Table 7. Runoff reduction characteristics related to rainfall events

		Precipitation (mm)	Time of concentration before runoff (min)	Accumulation rainfall before runoff (mm)	Total rainfall volume (m ²)	Total runoff volume (m ²)	Runoff reduction ratio(%)
Permeable parking lot	Max.	64.0	184	10.5	475.2	211.8	87.8
	Min.	12.0	60	7.0	89.1	16.3	55.4
	Mean.	36.1	117	8.8	268.3	99.7	69.0
Impermeable parking lot	Max.	63.0	60	3.4	251.9	202.5	31.2
	Min.	11.5	21	2.3	46.0	39.9	13.2
	Mean.	35.0	39	2.9	140.1	112.2	20.9

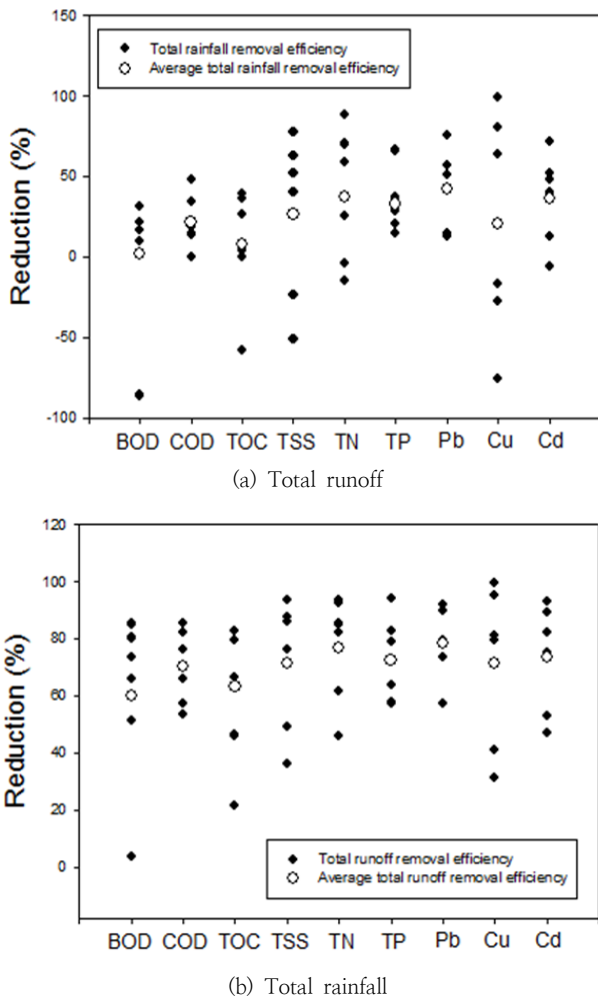


Fig. 4. Reduction effect related to total runoff and to total rainfall.

3.5 원단위 산정

모니터링 시 발생된 강우의 각 강우계급별 분포 자료와 유출 계수, 오염물질의 농도 및 조사 대상지점의 과거 10년 동안의 강우자료를 이용하여 투수성 주차장과 불투수성 주차장의 원단위를 산정하여 Table 8에 나타내었다.

Table 8. The unit pollutant loads (Unit: kg/km²/day)

Unit pollutant loads	BOD	CODMn	TOC	TSS	T-N	T-P
Permeable parking lot	3.34	5.04	2.49	7.08	0.880	0.184
Impermeable parking lot	9.91	17.33	10.62	34.05	5.542	0.888

Table 9. The detention storage capacity of soil each site

	Site 1	Site 2	Site 3	Mean.
Total area (m ²)	7,425			
Total soil volume (m ³)	2,673			
Soil depth (m)	0.35	0.38	0.35	0.36
Porosity (%)	38.36	42.81	47.066	42.74
Degree of Saturation (%)	40.38	39.52	45.67	41.86
Detention storage (m ³)	664.2			

본 연구에서 산정된 각 주차장지역의 발생부하원단위를 통해 불투수성 주차장이 투수성 주차장보다 원단위가 크게 산정되었으며, 특히 T-N의 경우 6.3배, TSS 4.8배, T-P 4.8배로 높게 산정되었다. 같은 주차장 지역이지만 투수성 면적의 비율에 따른 유출율의 차이와 오염물질 EMC의 차이에 따라 원단위에서 큰 차이를 나타내었다.

Go (2009)의 연구에 따르면 용인시 시가지 지점에서의 불투수 주차장을 대상으로 연구한 원단위는 BOD 39.22 kg/km²·day, COD 186.59 kg/km²·day, SS 199.15 kg/km²·day, T-N 9.70 kg/km²·day, T-P 1.16 kg/km²·day 로 산정되었다. 본 연구의 불투수성 주차장과 비교하였을 때 용인시 시가지 지점의 불투수 주차장의 원단위 값이 전체적으로 높게 나타났으며, 이러한 차이는 각 주차장의 이용빈도에 따른 오염물질 EMC의 차이 때문으로 사료된다.

3.6 토양내 강우 저류량 산정

Table 9은 투수성 주차장의 면적과 토양 깊이의 실측 평균값을 이용하여 토양의 총 부피를 구하고, 투수성 주차장 내 3개 지점의 토양 공극률과 포화도의 평균값을 이용하여 투수성 주차장의 토양이 물을 저류할 수 있는 용량을 산정하였다. 투수성 주차장의 총 면적은 7,425 m²로 토양의 평균 깊이인 0.36 m를 이용하여 투수성 주차장 토양의 총 부피 2,673 m³를 구하였다. 그리고 투수성 주차장 토양의 평균 공극률은 42.74 %로 토양의 총 부피중 1142.4 m³가 공극으로 나타났다.

투수성 주차장 토양을 물로 100% 포화시킨 후 24시간 동안 중력수를 제거하였을 때, 토양의 평균 포화도는 41.86 %로 나타났으며, 토양의 58.14 %의 물이 지하로 충전 됨에 따라 물을 다시 저류할 수 있는 비율로 나타났다. 따라서 투수성 주차장에 강우시 토양이 포화되고 난후, 물을 저류할 수 있는 최대 용량(유효저류능 : effective water capacity)은 664.2 m³로 산정되었으며, 단위면적(m²)당 89.5 mm 누적강우를 저류할 수 있는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 효율적인 빗물 및 비점오염원 관리를 위한 저영향개발(LID) 기법의 하나인 투수성 주차장에서 발생하는 강우 유출수의 오염물질 오염물질 농도, 비점오염부하량 및 강우유출 저감효과를 인근에 위치한 불투수성 주차장과 비교·분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1) 각 주차장의 평균 EMC를 살펴본 결과, 투수성 주차장 강우 유출수의 유기물질, 입자상 물질, 영양염류, 중금속 등의 오염물질들은 잔디블럭 사이의 토양과 식생으로 인해 여과·흡착 작용으로 불투수성 주차장의 오염물질보다 전체적으로 낮게 조사된 것으로 판단된다.

2) 단위면적당 평균 오염부하량을 살펴보면, 불투수성 주차장의 오염부하량이 투수성 주차장의 오염부하량에 비해서 대부분 항목에서 약 2.54 ~ 5.02배 높은 값을 나타내어, 강우오염물질이 공공수계에 미치는 영향이 큰 것을 볼 수 있다.

3) 불투수성 주차장의 강우 유출 유달시간은 평균 39분으로 누적 강우량 2.3~3.4 mm에서 유출이 발생하고 총 강우량의 평균 79%가 유출되었으나, 투수성 주차장의 경우 유달시간은 평균 117분으로 누적강우량 7.0~10.5 mm에서 유출이 발생하고 총 강우량의 12~45%만 유출되어 강우유출지연 효과 및 초기강우 저류효과가 나타났다.

4) 강우유출수의 지하침투 및 저류 등의 특성과 오염물질 저감효과가 발생하는 투수성 주차장은 불투수층으로 인해 지표에 쌓여있던 오염물질이 강우 초기에 바로 유출되어 높은 농도로 발생되지만 강우의 지속으로 희석에 의해 농도가 급격하게 낮아지는 특성인 초기세척현상이 불투수성 주차장 보다 낮게 나타난 것으로 판단된다.

5) 투수성 주차장에서 강우시 물을 저류할 수 있는 최대 용량은 664.2 m³로 산정되었으며, 89.5 mm의 누적강우를 저류할 수 있는 것으로 나타났다.

사 사

이 논문은 2014학년도 경북대학교 전임교원 연구년 교수 연구비에 의하여 연구되었음.

References

- Go, SH (2009). *Characterization of stormwater pollutants and estimation of unit loads for road and parking lot in Kyeongan watershed*, Master's Thesis, Myongji National University. [Korean literature]
- Hassel, JH, Ney, JJ and Garling, DL (1980). Heavy metals in a stream ecosystem at sites near highways, *Transactions of the American Fisheries Society*, 109(6), pp. 636-643.
- Jang, SH (2005). *Study of impervious cover as determining factor of instream water quality in an urbanized watershed*, Ph.D Dissertation, Seoul National University. [Korean literature]
- Jeon, JC, Kwon, KH, Lee, SH, Lee, JW, Gwon, HG and Min, KS (2013). EMC and unit loads of pollutants generated from tomato cultivation during rainfall, *J. of Wetlands Research*, 15(4), pp. 555-566. [Korean Literature]
- Kim, BH (2002). *Experimental and numerical study on effects of runoff reduction in the permeable pavement*, Master's Thesis, Myongji National University. [Korean literature]
- Knowles, DB and Stanley, DW (1993). Urbanstormwater management: paying for clean waterways, *Regional environmental issues manual*, pp. 134-135
- Lee, JE, Yeo, WK, Shim, JH and Kang, TH (2001). Analysis of stormwater runoff reduction effects by using porous pavement, *Korean Society of Civil Engineers*, 21(6), pp. 645-654. [Korean literature]
- Lee, SY, Maniquiz, MC, Choi, JY and Kim, LH (2009). Determination of EMCs for rainfall ranges from transportation landuses, *J. of Wetlands Research*, 11(2), pp. 67-76. [Korean literature]
- Ministry of environment (MOE) (2009). *Using the technique LID nonpoint pollution source management*, Ministry of environment, Korea. [Korean literature]
- Park, SW (2010). *Parking Management Strategies and Implications*, The Korea Transport Institute, [Korean literature]