

여재에 따른 도로면 유출수의 배수 및 처리특성

김석구[†] · 윤상린 · 김영임 · 이용재* · 김이호 · 김종오**

한국건설기술연구원 건설환경연구부

(주)에코섬

**강릉대학교 토목공학과

Drainage and Treatment Characteristics of Runoff by Media

Seog-gu Kim[†] · Sang-leen Yun · Young-im Kim · Yong-jae Lee* · Ree-ho Kim · Jong-oh Kim**

Construction Environment Research Department, Korea Institute of Construction Technology

*EcoSum Co. Ltd.

**Department of Civil Engineering, Kangnung National University

(Received 28 July 2004, Accepted 26 August 2004)

Abstract : While more attention has been paid in recent years to urban point source pollution control, no considerable measures have been taken to control urban non-point source pollution. Contaminants from non-point sources deposited on urban impermeable surfaces such as road and highway are easily released to the public waters by rainfall, leading to the deterioration in water quality in urban area. The present study investigated a system using filter media to reduce the level of contamination in urban road runoff. Three different media, designated as J-P (polypropylene, blowing type), B-P (polypropylene, fiber type), and P-F (Polyvinyl alcohol, cube and sheet type) were evaluated on the basis of pollutant removal efficiency as well as hydraulic property. Experiments were performed using a 1/4-scale treatment unit at various pollutant loading and rainfall intensity with real rainwater runoff collected from road surfaces.

The results at different rainfall intensities shows that the medium J-P is superior to the other media for water permeability. J-P was not blocked at 10 mm/hr rainfall and its permeability was stable. On the other hand, B-P and P-F resulted in substantial overflow ratio even at 1 mm/hr rainfall intensity. Comparing treatment efficiencies for suspended solids, all media showed similar removal ranged from 91% to 95%. However, J-P seems to be better than the other media considering its higher water permeability.

J-P and P-F, both hydrophobic, yielded over 76% of heavy metal removal. But, the hydrophilic media B-P showed much smaller removal ranging from 26% to 47%. This indicates that J-P and P-F are beneficial to remove heavy metal due to their hydrophobic property. The treatment efficiencies over PAHs (poly aromatic hydrocarbons) showed the similar removal efficiency ranging from 66% to 97% for all three media.

keywords : Point source, Non-point source, Rainfall, Hydraulics special, PAHs

1. 서 론

지금까지 국내 환경기술은 공공수역의 수환경 보전을 위해 점오염원을 제어하는데 주력해 왔으나, 최근 들어 효율적인 공공수역의 수환경 보전을 위해서는 점오염원의 관리와 함께 비점오염원에 대한 관리가 반드시 필요하다는 인식이 대두되고 있다. 특히, 비점오염원 중 하나인 도로노면 초기우수에는 중금속, 박테리아, 기름성분 및 질소나 인과 같은 부영양화 영양염류 등의 오염물질이 다량 함유되어 있을 뿐만 아니라, 생태계에 악영향을 주는 내분비계 장애 물질이 함유되어 있는 것으로 나타나 충격을 주고 있다. 수환경 보전을 위해서는 비점오염원의 제어가 이루어져야

하는 시점에 이른 것이다.

비점오염원으로서의 초기우수 유출수는 일정하게 배출되는 하수 및 폐수와는 달리 지역특성, 강우강도, 생기빈도에 큰 영향을 받으며, 특히 초기세척효과로 강우초기에 고농도의 유출수가 발생하고 강우가 지속됨에 따라 오염물의 농도는 점차 줄어들어 아주 낮거나 검출한계 이하가 된다. 강우 유출수를 처리하기 위해서는 대용량의 처리장치보다는 고농도의 오염물을 함유한 초기우수만을 선택적으로 처리할 수 있는 소형 처리장치의 개발 및 실용화가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 이러한 특성을 가진 도로면 유출수 처리장치 개발을 위한 기초 자료를 얻고자 여재에 따른 도로면 유출수의 배수 및 처리특성을 파악하고자 하였다.

[†] To whom correspondence should be addressed.

sgkim@kict.re.kr

2. 재료 및 방법

Fig. 1은 실험에 사용한 도로면 유출수 처리장치를 나타낸 것이다. 처리장치는 종래의 우수받이가 가지는 우수 저장능력을 그대로 유지하면서, 여재에 의해 도로면 유출수에 포함되어 있는 각종 오염물질을 효율적으로 제거·처리하여 하수처리의 부담을 줄이고 각종 수역오염을 감소시킬 수 있는 우수받이 기능을 갖는 장치이다. 처리장치는 실장치의 1/4로 축소된 모형으로서 우수받이(1차 침전), 월류부, 처리조(2차 침전), 여재충전부(여과)로 구성하였으며, 유입 유량은 Air pump를 통해 1~20mm/hr의 강우강도에서 변화를 주어 유입시켰다.

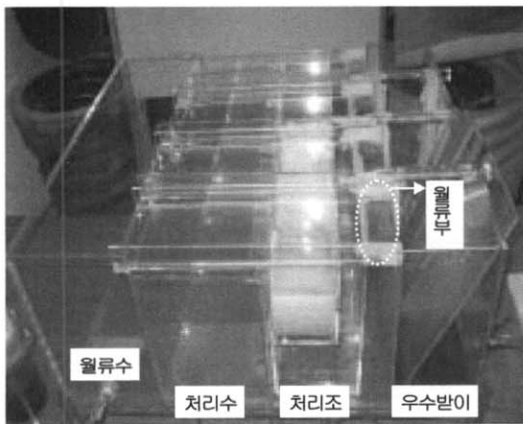


Fig. 1. Schematic diagram of runoff treatment reactor.

여재충전부의 충전 여재는 Table 1과 같은 특성을 가지고 있는 발포프로필렌(J-P), 프로필렌 섬유(P-F), 다공성 스폰지(B-P)를 이용하였으며, 충전 높이는 10cm로 하였다.

도로면 유출수의 유출 및 처리특성을 평가하기 위하여 도로면 유출수 수질특성, 여재의 배수특성 및 SS, 중금속, PAHs의 처리특성을 살펴보았다.

Table 1. Characteristics of media

Media	Characteristics	Type
J-P	Matter: Polypropylene Porosity(%):80 Surface Area(m ² /m ³):>800 Particle Size(mm):1.0~3.0 Hydrophobic Property	Blowing
P-F	Matter: Polypropylene Size:6 De (1 De : 1g/9000mm) Hydrophobic Property	Fiber
B-P	Matter: PVA Porosity Media Hydrophilic Property	Cubic & Sheet

3. 결과 및 고찰

3.1. 도로면 유출수의 수질특성

도로노면은 불투수성 면적비율이 높아 강우에 대한 유출 및 유량과 수질농도의 변화가 빠르게 나타난다. 특히 오염물질이 강우초기에 일시에 배출되는 초기유출 현상이 두드러져, 우수피크유출에 앞서 최대 오염유출이 발생하여 하천에 큰 영향을 미치는 경향이 나타난다(최, 2002).

2003년 8월~2004년 3월 중 내린 10회의 강우에 대하여 한국건설기술연구원 앞 국가지원지방 국도 98도로에서 강우를 채수하였다. Table 2는 도로면 유출수 채취시의 강우특성을 나타낸 것이다.

Table 3은 초기강우의 도로면 유출수 수질특성을 나타낸 것이다. 강우초기시 도로배수의 pH는 평균 7.2~8.8로 나타났다. 초기강우의 pH가 4.7인데 비해 도로노면의 특성상 pH가 상승한 것으로 사료된다. 전기전도도는 0.5mS/cm로 나타났으며 탁도는 50~512NTU 나타났다.

SS는 145~650mg/L로 나타났다. SS는 강우강도의 영향을 크게 받으나 이전 건기일수에 따른 노면의 높은 오염물 축적도에 의하여 한 번에 유출되는 현상이 큰 것으로 나타나고 있다.

중금속의 유출 특성은 오염원의 발생원에 따라 달라진다. 크게 3가지의 형으로 분류할 수 있다. Zn 오염형은 자동차 타이어의 마모에 의한 오염형이며, Cu, Cr, Pb 오염형은 자동차의 배기가스 및 브레이크의 마모 현상에 기인된다고 보고 되고 있다. As, Cd 오염형은 오염정도가 대체로 미약하고 일부지역에서만 높게 나타나는 오염형으로 오염원이 판단하기 어려운 것으로 보고 되고 있다(이, 2001).

다른 중금속 보다 Zn의 오염도가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 이는 도로면 유출수의 중금속의 주요원인 인자로 타이어 마모로 인한 퇴적물이 도로노면의 주요 오염원으로 생각된다.

PAHs는 발암성과 돌연변이성을 가진 위해성 물질로 극

Table 2. Sampling conditions

Date	Total rainfall (mm)	Rainfall duration (hr)	Maximum rain intensity (mm/hr)	Previous dry-weather day (day)
2003/08/19	143	22	22	1
2003/09/05	24	4	16	3
2003/09/09	56	12	21	4
2003/09/15	-	-	-	6
2003/10/01	3	2	2	13
2003/10/19	-	-	-	18
2003/10/21	5	2	3	8
2003/11/07	19	14	4	10
2003/11/12	5	2	3	1
2004/02/21	56	4	21	34

Table 3. Characteristic of runoff

Items		Concentration
pH		7.2 ~ 8.8
Electric conductivity(mS/cm)		0.5
Turbidity(NTU)		50 ~ 512
SS(mg/L)		145 ~ 650
Heavy metal (mg/L)	Cu	0.033 ~ 0.728
	Cr	0.014 ~ 0.281
	Pb	0.048 ~ 0.538
	Cd	0.001 ~ 0.023
	Zn	0.189 ~ 3.510
PAHs ($\mu\text{g/L}$)	Naphthalene	0.28 ~ 0.67
	Acenaphthylene	0.16 ~ 0.94
	Acenaphthene	0.21 ~ 0.24
	Fluorene	0.09 ~ 1.42
	Phenanthrene	0.15 ~ 8.56
	Anthracene	0.13 ~ 9.81
	Fluoranthene	0.11 ~ 6.24
	Pyrene	0.13 ~ 7.71
	Benz[a]anthracene	0.19 ~ 1.17
	Chrysene	0.13 ~ 1.92
	Benzo[b]fluoranthene	0.14 ~ 5.77
	Benzo[k]fluoranthene	0.11 ~ 5.34
	Benzo[a]pyrene	0.14 ~ 1.75

소량으로도 암을 유발할 수 있다. 미국 EPA에서는 PAHs 16가지 물질을 기준물질로 선정하여 관리하고 있다. 이들 16가지 물질 중 11개 물질이 일본, 유럽 및 미국 등에서 내분비계 장애물질로 선정되어 있는 것으로 도로면 유출수 내에 이러한 물질이 포함될 경우 위해를 가할 수 있는 위험성 물질이다.

실험 결과 수질환경 내에서 PAHs는 SS에 흡착한 상태로 존재하고 저분자량보다 고분자량의 PAHs 쪽이 고체상으로

의 분배가 많아지는 것을 알 수 있었다. 즉 도로배수 중의 PAHs는 도로배수와 함께 유출되는 SS의 농도와 관련이 있으며, 그 중 벤젠고리가 많은 PAHs의 농도가 높은 것으로 나타났다.

3.2. 처리장치의 배수특성

3.2.1. 여재에 따른 강우강도별 처리장치의 배수특성 (강우 강도별 1시간 연속운전)

Table 4는 여재에 따른 강우강도별 처리장치의 배수특성을 나타낸 것이다. 실험결과, 소수성인 J-P는 10mm/hr 이하의 강우강도에서 도로면 유출수가 월류되지 않고 여과부를 통하여 배수되는 것으로 나타났다. P-F와 B-P는 1mm/hr 강우에서부터 월류되는 현상이 나타났으며, 10mm/hr 강우강도에서 P-F는 24%, B-P 29%의 월류현상이 나타났다.

실험결과 J-P가 여과 배수의 안전성 확보에 용이한 것으로 나타났다. 이는 재질에 의한 것으로 친수성 소재보다 소수성 소재가 물의 흐름이 원활하여 배수능이 유리한 것으로 판단된다.

3.2.2. 처리장치의 배수특성 (강우강도10mm/hr 조건에서의 24시간 연속운전)

Fig. 2는 여재에 따른 강우강도별 처리장치의 배수능 평가에서 도출된 적정 강우강도인 10mm/hr 조건에서 24시간 연속운전한 배수특성을 나타낸 것이다.

연속운전 24시간은 실제 강우사상의 분석결과, 강우초기 30분 동안 초기 세척효과로 인하여 고농도의 오염물질이 유출되는 특징으로 볼 때, 실제 도로노면에서 강우강도 10mm/hr로 30분간 48회 내린 것으로 추정할 수 있다.

P-F와 B-P를 사용하여 운전한 결과, 운전시간 0.5시간부터 1시간 사이에 여재의 막힘 현상으로 월류량이 나타났으며, 24시간 운전 후 P-F는 약 40%, B-P는 50%의 월류량이 발생하였다.

J-P는 안정된 배수능이 나타나 24시간 연속 운전 시 97%로 배수능이 다른 두 여재에 비해 뛰어난 것으로 나타났다.

Table 4. Drainage characteristics of reactor

Rain intensity (mm/hr)	Input (ml/min)	Filtrated water (ml/min)			Over flow (ml/min)			Over flow ratio (%)		
		J-P	P-F	B-P	J-P	P-F	B-P	J-P	P-F	B-P
1	218.8	218.8	208.6	203.4	-	10.2	15.4	0	4.7	7.0
2	437.5	437.5	413.9	397.3	-	23.6	40.2	0	5.4	9.2
3	656.3	656.3	595.6	589.3	-	60.7	67.0	0	9.2	10.2
5	1093.8	1093.8	979.0	947.3	-	114.8	146.5	0	10.5	13.4
8	1750.0	1750.0	1405.6	1350.0	-	344.4	400.0	0	19.7	22.9
10	2187.5	2187.5	1668.6	1546.5	-	518.9	641.0	0	23.7	29.3
11	2406.3	2334.2	1824.3	1734.7	72.1	582.0	671.6	3.0	24.1	27.9
15	3281.3	2936.7	2426.6	2377.8	344.6	854.7	903.5	10.5	26.0	27.5
20	4375.0	3672.5	3350.6	3307.9	702.5	1024.4	1067.1	16.1	23.4	24.4

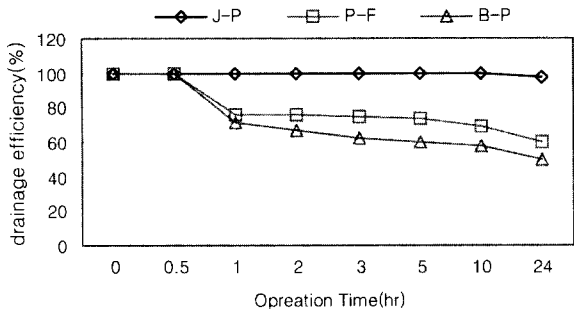


Fig. 2. Drainage efficiency of reactor.

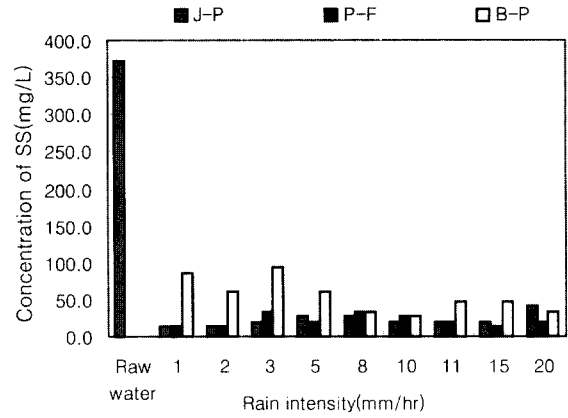


Fig. 3. SS removal efficiency by media.

3.3. 강우강도별 여재의 처리특성

Fig. 3~Fig. 5는 여재 종류에 따른 강우강도(1~20mm/hr)별

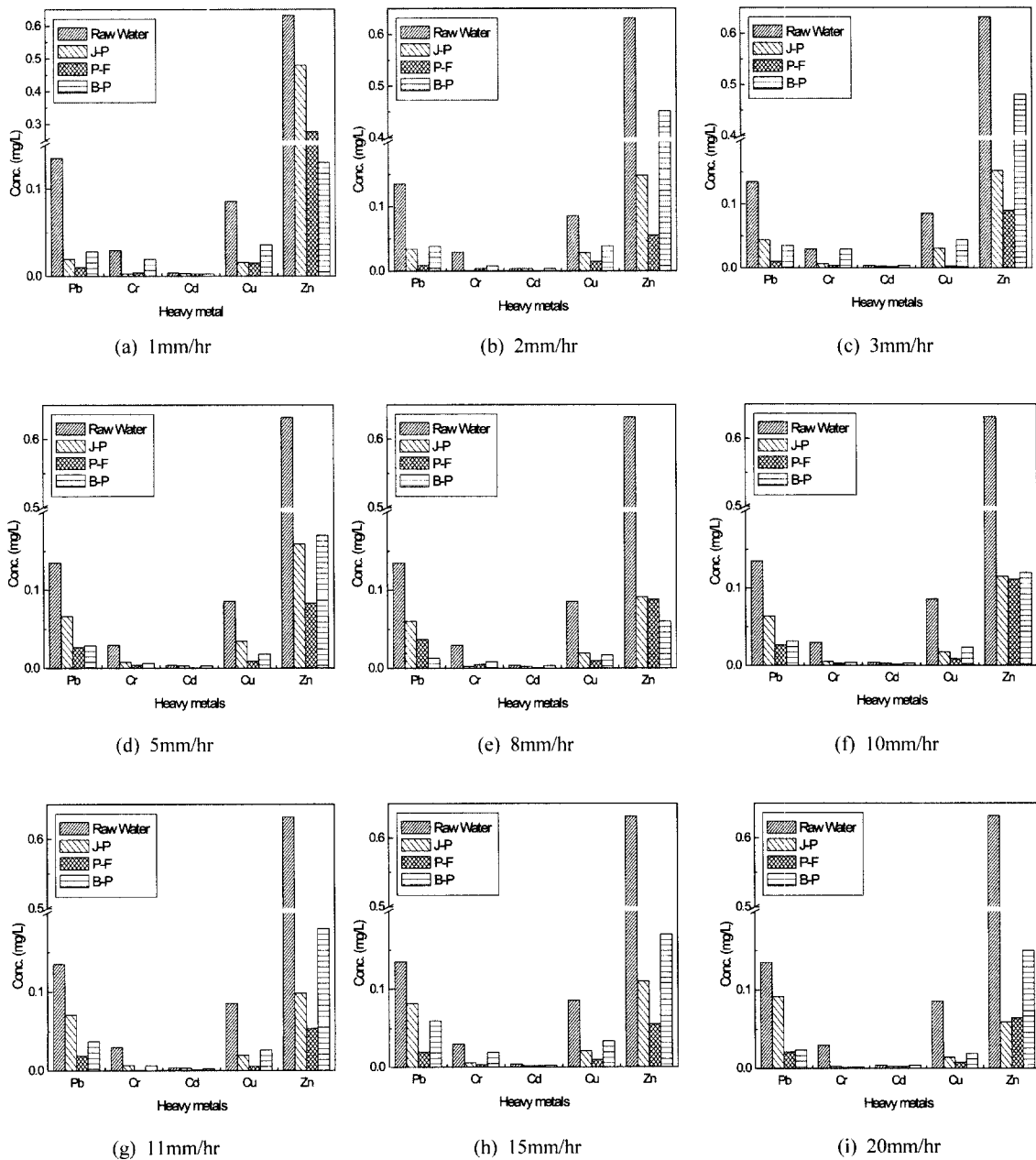


Fig. 4. Heavy metal removal efficiency by media.

SS, 중금속, PAHs의 제거효율을 각각 나타낸 것이다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 SS 제거율은 J-P와 P-F가 비슷한 제거율을 보인 반면 B-P는 다른 두 여재보다 낮은 제거율을 보였다. J-P와 P-F는 94%, B-P는 77%의 제거율을 나타냈다.

B-P는 강우강도가 낮을 때에 비해 높은 경우에 제거효율이 좋은 것으로 나타났다. 이것은 운전시간이 경과함에 따라 여재의 막힘 현상으로 인한 월류량의 상승 때문에 실제 여과부로 유입되는 유입량의 저감으로 인하여 실제 오염물질의 유입량이 낮기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

J-P와 P-F는 전 강우강도에서 90% 이상의 처리효율을 나타냈다. J-P는 배수능과의 연관성을 고려하면 시간이 경과함에 따라 여재의 흡착능과 더불어 여재에 Trap된 SS에 의해 이차적인 여과효과로 인한 것으로 사료된다. P-F는 B-P와 같이 높은 강우강도에서 배수능이 저하되는 현상이 나타나 처리용량과 처리 효율 면에서 J-P보다 불리한 것으로 판단된다.

Fig. 4에서 알 수 있듯이 중금속 제거효율은 P-F가 다른 두 여재 보다 높은 것으로 나타났다. 이는 P-F가 상대적으로 다른 두 매질 보다 비표면적이 큰 Fiber 형태로 이루어져 중금속의 흡착에 큰 영향을 준 것으로 사료된다. P-F에서 Zn의 제거율은 강우강도 1mm/hr에서 85%를 나타냈고, 20mm/hr의 강우강도에서는 약 90%의 제거율을 나타냈다. Pb, Cr, Cu의 제거율은 강우강도의 변화와 상관없이 80% 이상의 제거율을 나타냈다.

PAHs의 제거율은 Fig. 5에서 알 수 있듯이 여재에 관계없이 66~97%로 나타나 PAHs의 제거가 양호한 것으로 판단된다.

4. 결론

도로노면의 경우 도시 내에서 차지하는 면적이 클 뿐만 아니라, 차량 등의 이동으로 오염물질의 퇴적이 발생하여 비점오염원으로서 관심의 대상이 되어왔다. 비점오염원 유출수는 초기에 다량의 오염물질을 함유하고 있는 특징이 있어 이의 처리가 필요하다. 본 연구에서는 도로면 유출수 처리장치 개발을 위해 여재에 따른 도로면 유출수의 배수 및 처리특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 처리장치의 배수능 실험 결과, J-P는 강우강도 10mm/hr 이하에서 도로면 유출수가 월류되지 않고 여과부를 통하여 처리되는 것으로 나타났다. P-F와 J-P는 1mm/hr 강우에서부터 월류되는 현상이 나타났으며, 강우강도 10mm/hr에서는 P-F는 24%, B-P는 29%의 월류현상을 나타내, J-P가 배수의 안전성 확보에 용이할 것으로 판단된다. 또한, 강우강도 10mm/hr에서 24시간 연속운전 한 결과, 소수성인 J-P가 안정된 배수능이 나타나, 24시간 연속운전 후 97%의 배수능이 나타났다. 운전의 안정성 면에서 J-P가 우수한 것으로 나타났다.
2. 여재에 따른 강우강도(1~20mm/hr)별 처리특성 실험 결과, SS 제거율은 J-P와 P-F는 94%, B-P 77% 나타났다.

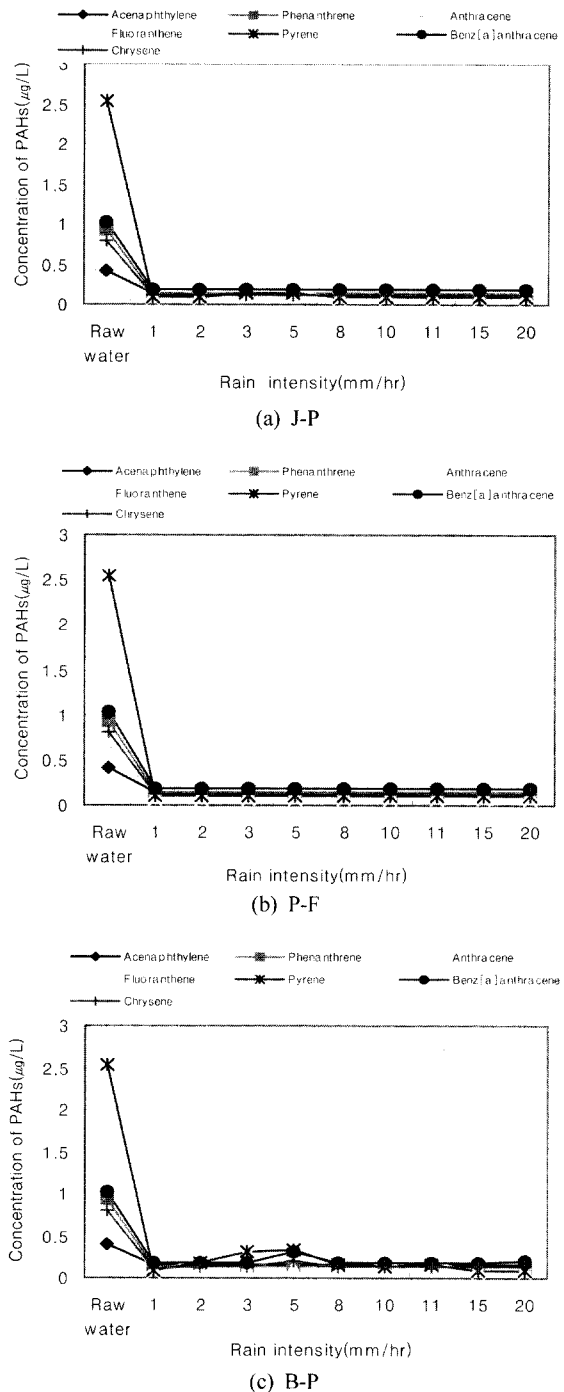


Fig. 5. PAHs removal efficiency by media.

J-P는 배수능과의 연관성을 고려하면 시간이 경과함에 따라 여재의 흡착능과 더불어 여재에 Trap된 SS에 의해 이차적인 여과효과로 인하여 제거율의 안정성이 높은 것으로 나타났다. P-F와 B-P는 높은 강우강도에서 배수능이 저하되는 현상이 나타나 처리용량과 처리효율 면에서 J-P보다 불리한 것으로 판단된다.

중금속 제거효율은 P-F가 다른 두 여재보다 높은 것으로 나타났다. 이는 P-F가 상대적으로 다른 두 여재보다 비표면적이 큰 Fiber 형태로 이루어져 중금속의 흡착에 영향을 준 것으로 판단된다. P-F에서 Zn의 제거율은 강

우강도 1mm/hr에서 85%를 나타냈고, 20mm/hr의 강우 강도에서는 약 90%의 제거율을 나타냈다. Pb, Cr, Cu의 제거율은 강우강도의 변화와 상관없이 80% 이상의 제거율을 나타냈다.

PAHs의 제거율은 여재에 관계없이 66~97%로 나타나 PAHs의 제거가 양호한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부의 차세대 핵심환경기술개발사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 이평구, 김성환, 윤성택, 도로면 우수관 퇴적물의 중금속오염 (I): 서울시 동부지역, *한국지하수도양환경학회지*, **6**(4), pp. 25-40 (2001).
- 최지용, 신창민, 비점오염원 유출 저감을 위한 우수 유출수 관리방안, *KEI 연구보고서* (2002).
- 최지용, 비점오염원의 제도적 관리방안 연구, *한국환경정책·평가연구원 연구보고서* (1999).
- 최지용, 신응성, 이동훈, 서울 도시지역의 비점오염원 유출 특성에 관한 연구, *한국물환경학회지*, **15**(3), pp. 315-323 (1999).
- 海老瀬 潛一, 汚染物質の降雨時流出特性と 流出負荷量, *水質汚濁研究*, **8**(8), pp. 31-36 (1985).
- Barrett, M. E., Irish, L. B., Malina, J. F., and Charbeneau, R. J., Characterization of highway runoff in Austin, Texas, area, *J of the Environmental Engineering*, ASCE, **124**(2), pp. 131-137 (1998).