

발포고분자여재가 충전된 파일럿 규모의 비점오염물질 처리장치를 이용한 도로 강우유출수 처리

Road Runoff Treatment using Pilot Scale-NPS Treatment Plant Filling up Expanded Polypropylene Media

김석구 · 오혜철 · 안재환[†]

Seogku Kim · Hyecheol Oh · Jaehwan Ahn[†]

한국건설기술연구원 환경연구실

Environmental Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

(Received October 7, 2014; Revised October 28, 2014; Accepted October 30, 2014)

Abstract : Investigated the processing characteristics of the pollutants and runoff due to storm events in the actual application of the road fields and a Non-Point Sources (NPS) pilot scale equipment. This phenomenon has occurred in the influent bypass the blockage occurs after 90 min the expended polymeric media was filled with filtered column. When entering a treatment tank SS 200 mg/L or more high concentration of effluent treatment efficiency was reduced from the reaction time 60 min. Influent concentration less than SS 180 mg/L was stable handling. The COD_{Cr}/SS ratio were analyzed with 0.67, median value. Showed 92.1% and 82.3% respectively with an average removal rate of the SS and the COD_{Cr}. If the influent concentration of TP is the 0.5 mg/L or less, the quality of the treated water is 0.1 mg/L levels were expressed in a stable process. And when entering the 1.0 mg/L or more of the treated water, had a greater than average 0.2 mg/L. If the influent concentration of TN is 4~10 mg/L, the treatment water quality level was kept a 1.5~3.0 mg/L. The average removal efficiency of TP and TN respectively 73.9%, 50.4%.

Key Words : Road Runoff, Non-Point Sources (NPS), Expanded Polypropylene Media (EPM), Pilot Scale

요약 : 실제 도로현장에 Pilot plant 규모의 비점오염물질 처리장치를 적용하여 강우사상에 따른 유출과 각 오염물질에 대한 처리특성을 조사하였다. 발포고분자 여재를 충전시킨 여과컬럼은 90분 이후에 막힘 현상이 발생되어 유입수의 bypass 현상이 발생되었다. SS 200 mg/L 이상의 고농도가 처리조로 유입될 경우 반응시간 60분부터 유출수의 처리효율이 급격히 저하되었다. 고형물질 농도(SS) 180 mg/L 이하에서는 안정적인 처리가 이루어졌다. COD_{Cr}/SS 비는 중간값 0.67로 분석되었으며, SS의 제거는 COD_{Cr}의 제거와 밀접하게 나타났다. SS와 COD_{Cr}의 평균 제거율은 각각 92.1%와 82.3%로 나타났다. 유입수의 TP 농도가 0.5 mg/L 이하일 경우 처리수질이 0.1 mg/L 수준에서 안정적인 처리를 나타내었고, 1.0 mg/L 이상으로 유입될 경우 처리수의 수질은 평균 0.2 mg/L를 초과했다. TN의 경우 4~10 mg/L로 반응조로 유입될 경우 처리수질은 1.5~3.0 mg/L 수준을 유지하였다. TP와 TN 각각의 평균제거율은 73.9%, 50.4%이다.

주제어 : 도로 강우유출수, 비점오염원, 발포고분자여재, 파일럿 규모

1. 서론

공공수역의 수환경 보전을 위해서는 점오염원의 관리와 함께 비점오염원에 대한 적극적인 관리가 요구된다. 비점오염원 중 하나인 도로노면의 초기우수에는 기름성분과 함께 타이어와 도로의 마모에 의해 유발되는 중금속류를 포함하는 각종 미세한 고형물질 그리고 생태계에 악영향을 주는 PAHs, PCBs 등의 내분비계 장애물질이 함유되어 있는 것으로 보고된다.¹⁻³⁾ ‘2013 도시계획현황’(국토교통부)에 의하면 전국의 도시·군 계획시설 면적(6,721 km²)중에서 도로 등 교통시설은 2,196 km² (32.7%), 하천 등 방제시설은 1,724 km² (25.6%) 그리고 공원 등 공간시설이 1,506 km² (22.4%)로 나타났다.⁴⁾ 매년 자동차의 운행이 증가하는 현실을 고려할 때 도로 등 교통시설에서 배출되는 오염원의 관리는 매우 중요하다. 인구가 집중된 도시지역의 수환경 보전을 위해서는 도로, 주차장, 포장된 대규모 주거단지

등 불투수지역에 대한 최적의 비점오염원 관리가 우선적으로 요구된다.

비점오염원으로서의 초기우수 유출수는 일정하게 배출되는 하수 및 폐수와는 달리 토지이용 특성이 임야나 경작지 등 투수성 지역이나 포장도로, 지붕, 주차장 등과 같은 불투수성 지역 여부에 따라 유출 유량이 크게 달라진다.^{5,6,7)} 강우 유출에 따른 오염발생부하량도 지역특성과 강우사상에 따라 큰 차이가 있으며 특히, 강우 시 초기 유출수에 의한 세척효과로 고농도의 유출수가 발생하고 강우가 지속됨에 따라 오염물의 농도는 점차 줄어들어 아주 낮거나 검출한계 이하가 된다.⁸⁻¹⁰⁾

최근 국내에서도 초기강우 유출에 의하여 인근 수계에 오염물질 유입에 따른 하천수질 악화를 방지하고 상수원 수질개선을 위하여 자연형과 장치형 또는 복합형태의 다양한 오염물질 저감시설을 설치하여 현장적용 가능성을 평가하고 있다. 토지이용이 밀집된 도시지역의 특성상 강우 유

[†] Corresponding author E-mail: jhahn@kict.re.kr Tel: 031-910-0306 Fax: 031-910-0291

출수를 처리하기 위해서는 대용량의 처리장치보다는 고농도의 오염물을 함유한 초기우수만을 선택적으로 처리할 수 있는 소형 처리장치의 개발 및 실용화가 필요하다.¹¹⁾ 이에 본 실험연구에서는 실험실 내에서의 연구를 바탕으로 파일럿 규모의 비점오염물질 저감장치를 실제 도로현장에 적용하여 도로 맨홀에서 차집되는 강우유출수에 대하여 적정 처리여부를 평가하였으며, 강우 시 유출특성과 함께 오염물질별 저감효능을 알아보았다.

2. 실험방법

2.1. 연구 대상지역

본 연구의 대상지역은 경기도 고양시의 지방국도 98번 도로를 선정하여 강우 시 도로에서 발생하는 초기우수에 대하여 실험하였다. 해당 도로는 시간당 평균 2,000대 이상의 자동차가 통행하는 왕복 6차선 도로로서 아스팔트와 시멘트로 포장되어 있는 전형적인 불투수지역이다(Fig. 1). 차량의 운행에 의하여 오염물질이 축적될 것으로 예상되며, 강우 발생 시 축적되어 있는 각종 오염물질들이 강우초기에 고농도 오염물질로 유출되는 초기세척(first flush) 현상이 나타날 것으로 기대되는 지역이다. 집수면적과 유출계수는 700 m²와 0.95이다.

2.2. 실험장치

Fig. 2는 본 파일럿 규모의 실험연구에 이용된 비점오염원 저감장치를 도식화한 것이다. 전반부에 도로노면 유출수가 유입되는 유입부와 유입수중의 거대 고형물질을 걸러내는 스크린이 부착되어 있다. 유입수의 일시 저류 및 침전 기능을 갖는 저류조(용량 1.96 m³)는 18분의 수리학적 체류시간을 유지하고, 오염물질 제거 기능을 갖는 상향류식 여과조(용량 1.44 m³)와 후단에 유출부인 처리수조(용량 0.42 m³)의 체류시간은 13분과 4분으로 설계된 집중형 도시 비점오염 저감시설이다. 상향류식 여과조에는 수개의 여과컬럼이 설치되어 있으며, 여과능이 소진될 경우 교체가 용이하도록 설계되어 있다. 여과컬럼은 폴리프로필렌 재질의 발포성 고분자 여재(expanded polypropylene media : EPM)로 충전되어 있다. Fig. 3은 발포 고분자 여재 사진

으로 비중은 0.1 이하이다. Table 1은 비점오염원 저감장치의 단위공정별 반응조 용량과 체류시간 그리고 설계 기초인자를 정리하였다.

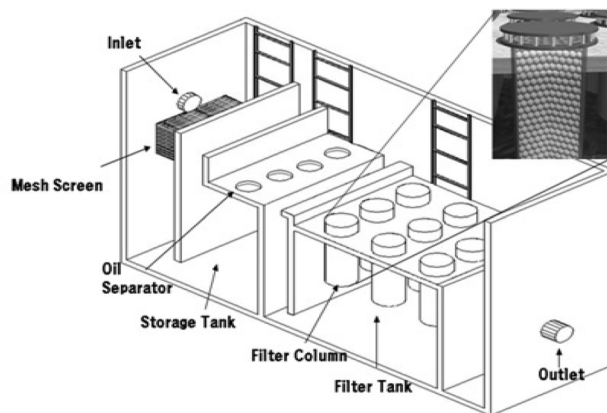


Fig. 2. Pilot plant for NPS removal.



Fig. 3. Photograph of Expanded polypropylene media.

Table 1. Design of reactor volume and HRT

Elements	Volume (m ³)	HRT (min)	Calculated base
Storage tank	1,96	18	Catchment area: 700 m ² Runoff coef.: 0,95 Rainfall intensity: 10 mm/hr Rainfall effluent(Q): 6,65 m ³ /hr
Filtration tank	1,44	13	Filtrated parts flowrate: 17,8 m ³ /hr Filtrated parts depth: 0,6 m Filtrated parts volume: 0,29 m ³
Treatment tank	0,42	4	
Efficiency volume	3,82	35	

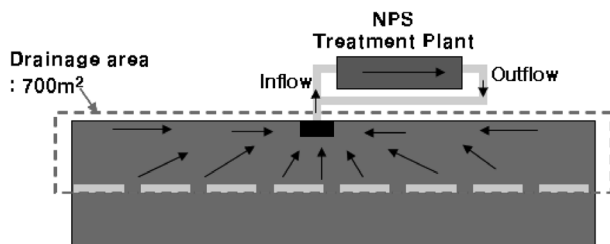
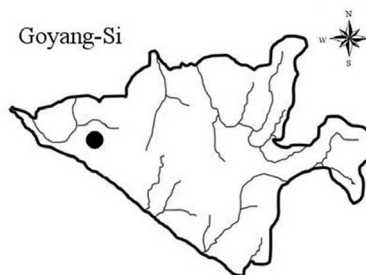


Fig. 1. Location and drainage area of NPS monitoring site.



2.3. 강우 모니터링 및 수질분석

강우 모니터링은 본 연구실에서 설치한 경기도 고양시의 A초등학교와 관공서 옥상에 각각 강우 계측장비를 설치하여 강우량 등의 강우사상을 관측하였다. 모니터링 기간은 2008년 4~6월까지 3개월간 진행하였으며 총 5회의 강우사상에 대한 시료를 채취하였다. 시료채취는 강우 개시 후 도로 노면유출수가 발생하는 시점부터 초기 1시간 동안은 10분 간격으로 시료채수 및 유출유량을 측정하였다. 1시간 이후부터는 30분 간격으로 채수하였다.

일반적으로 도로노면은 차량의 운행으로 인하여 영양염류와 유기물질을 비롯하여 도로 포장면의 마찰에 따른 입자상 물질과 타이어 마모로 발생하는 중금속 등의 함량이 높은 것으로 나타난다. 본 실험에서는 SS, COD_{Cr} 그리고 영양염류인 TN, TP를 대상으로 Standard methods¹²⁾에 따라 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 발포 여재의 물리적 특성

본 시설의 여과기 부분에 충전된 발포 고분자 여재(EPM)는 유입수 중의 부유물질을 여과 및 침전하여 제거하는 기능을 수행한다. 여재의 재질은 폴리프로필렌 성분으로 성형과정에 폴리프로필렌을 발포시킴으로서 비중이 0.1 이하로 낮다. 따라서 수중에서 부상된 상태로 수류에 의해 난류가 변화하여 포착된 입자를 흔들어 떨어뜨리기 때문에 막힘현상을 제어하는 역할을 한다.

상향류식 여과시설의 경우 여재의 종류에 따라 발생하는 손실수두가 중요한 설계인자이다. 손실수두가 높으면 여과시설의 막힘현상(clogging)이 발생할 가능성이 높다. 본 실험에 이용된 EPM 발포여재 EPM₁₀, EPM₁₅, EPM₂₀의 비저항계수(specific resistance)는 1.04×10^5 , 6.94×10^4 , 2.58×10^5 로 나타났다. 따라서 비저항계수가 낮은 EPM₁₅를 이용하여 실험을 진행하였다.

Fig. 4는 반응시간이 경과함에 따라 유출유량의 변화를

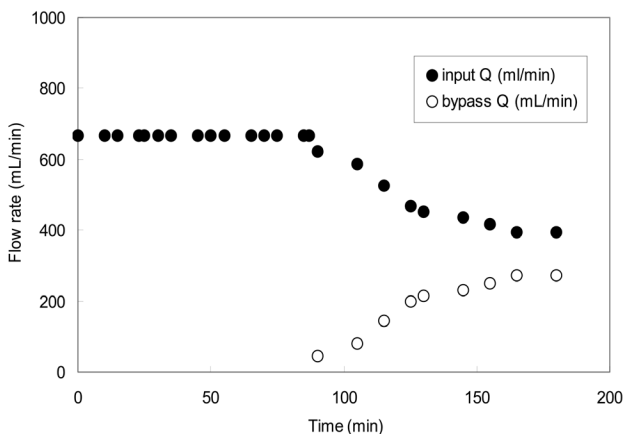


Fig. 4. Effluent and over flow rate of filtration column with filling up EPM₁₅.

Table 2. Rainfall characteristics of the storm events

No.	Event date	Area (m ²)	Antecedent dry period (day)	Rainfall (mm)	Rainfall duration time (min)	Avg. rainfall intensity (mm/hr)	Runoff coef.
①	2008/04/09	700	3	7.0	380	1.0	0.85
②	2008/04/22	700	13	16.0	500	3.0	0.85
③	2008/05/07	700	3	8.0	160	4.9	0.85
④	2008/06/02	700	5	4.0	340	1.9	0.85
⑤	2008/06/04	700	1	7.0	150	2.5	0.85

나타낸 것이다. 반응 초기부터 90분까지는 유입되는 유량이 모두 여과조를 통해 유출되었으나, 90분 이후부터 손실수두로 인해 bypass 되는 유량이 발생하였으며, 180분 이후부터는 유입유량의 59.1%가 여과조를 통하여 유출되고 나머지 40.9%는 bypass되어 유출되었다.

3.2. 강우사상 분석

Table 2는 비점오염원 저감시설의 실험을 수행한 강우사상에 대한 일반 현황에 대하여 나타낸 것이다. 강우 전 건기일수의 범위는 1일에서 13일까지 다양하였으며, 전체 강우는 4.0~16.0 mm의 범위로 측정되었다. 또한 평균 강우강도는 1.4 mm/hr에서 4.9 mm/hr로 나타났다.

Fig. 5는 2008년 4월부터 2008년 6월까지 강우사상의 변화에 따른 노면유출수의 유출경향 수문곡선을 나타낸 것이다. 강우사상②, ③, ⑤(04/22, 05/07, 06/04)는 강우에 따른 유출응답 특성이 빠른 전형적인 유출특성 곡선을 보여주었다. 강우사상 중에서 2008년 5월 7일에서 강우량이 8 mm로 비교적 적음에도 평균 강우강도 4.9 mm/hr(최대 강우강도 28.0 mm/hr)로 초기 유출이 급격하게 나타났다.

3.3. 비점오염물질 유출 및 처리 특성

도로와 같은 불투수면에서의 강우 유출수에 함유된 오염물질은 유출 초기에 지면에 퇴적된 오염물질이 일시에 유출되므로 농도가 매우 높으며 시간이 지남에 따라 급속히 농도가 낮아지는 초기 세척효과가 나타난다.

Fig. 6-9는 각 강우사상별 노면 유출수의 SS, COD_{Cr}, TP, TN의 유출경향과 비점오염물질 저감시설에 의한 처리수의 농도 변화를 나타낸 것이다. 강우가 시작된 이후 1시간 이내에 오염물질의 농도가 감소하는 초기강우에 의한 오염물질 유출현상을 볼 수가 있다.

SS의 유출경향과 저감시설에 의한 처리수의 농도변화를 보면(Fig. 6), 강우사상①과 ⑤는 유출초기에 200 mg/L 이상의 고농도가 지속적으로 처리수로 유입됨에 따라 반응시간 60분부터 유출수의 농도가 증가되기 시작하여 150분(①)과 90분(⑤)에는 유입수와 유출수가 유사한 수준으로

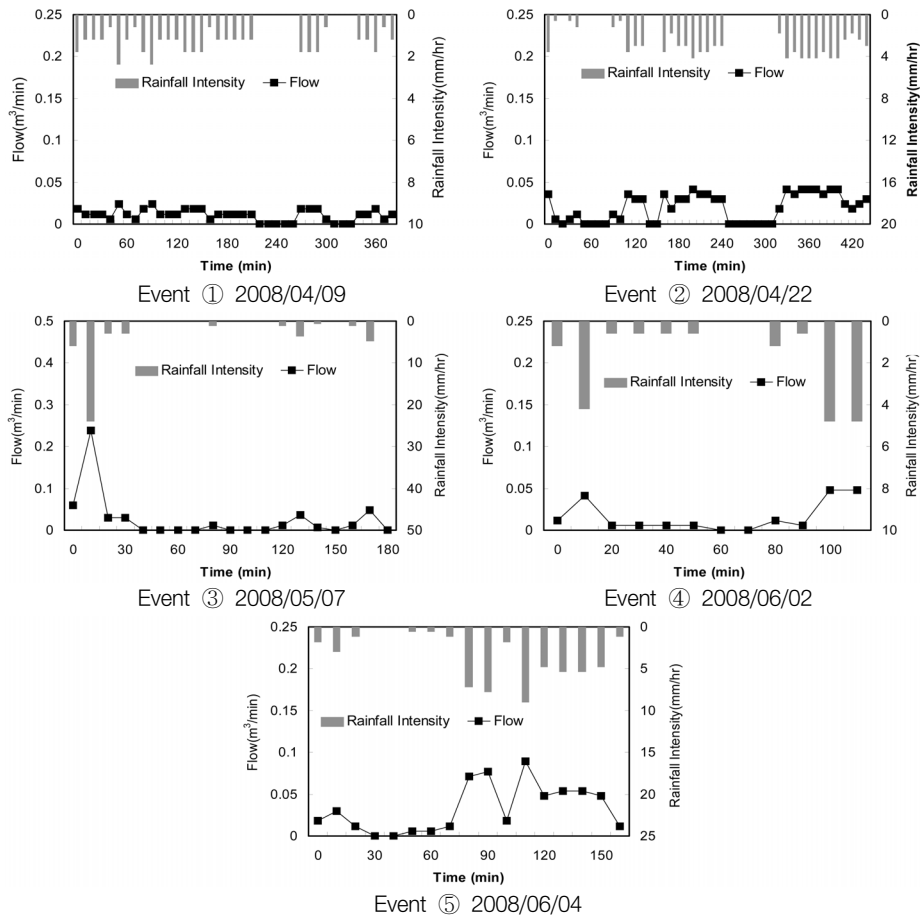


Fig. 5. Runoff characteristics of the storm events (hydrologic curve).

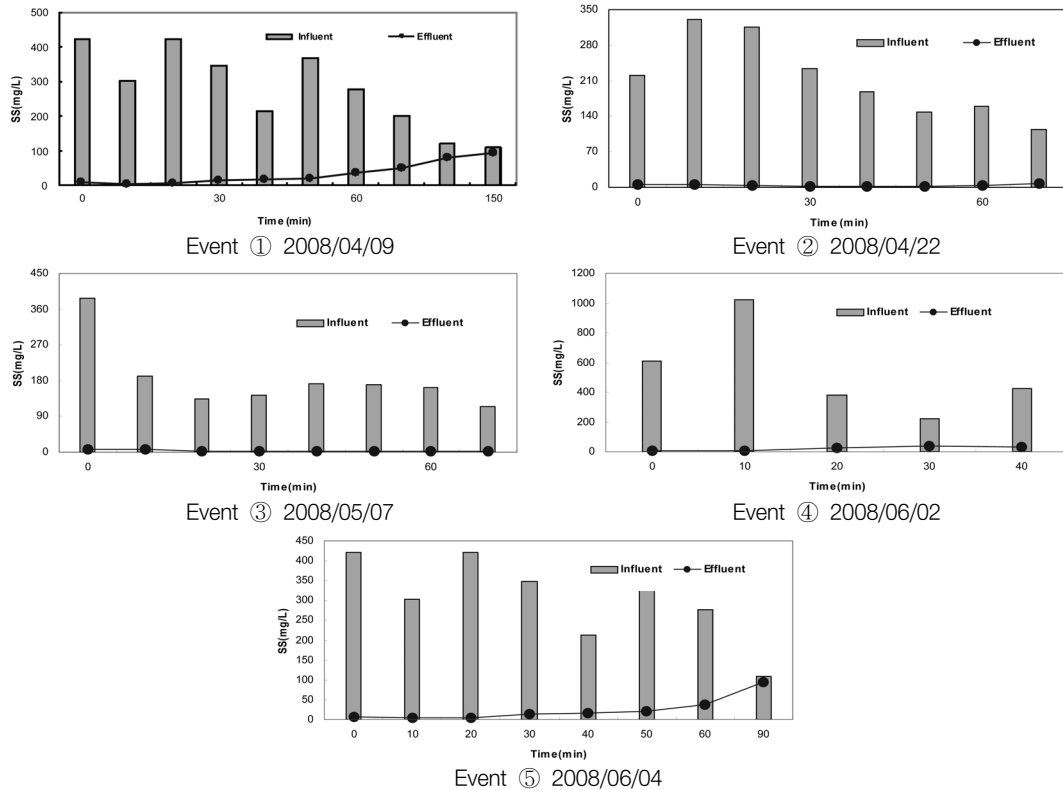


Fig. 6. Suspended solid concentration of influent and effluent.

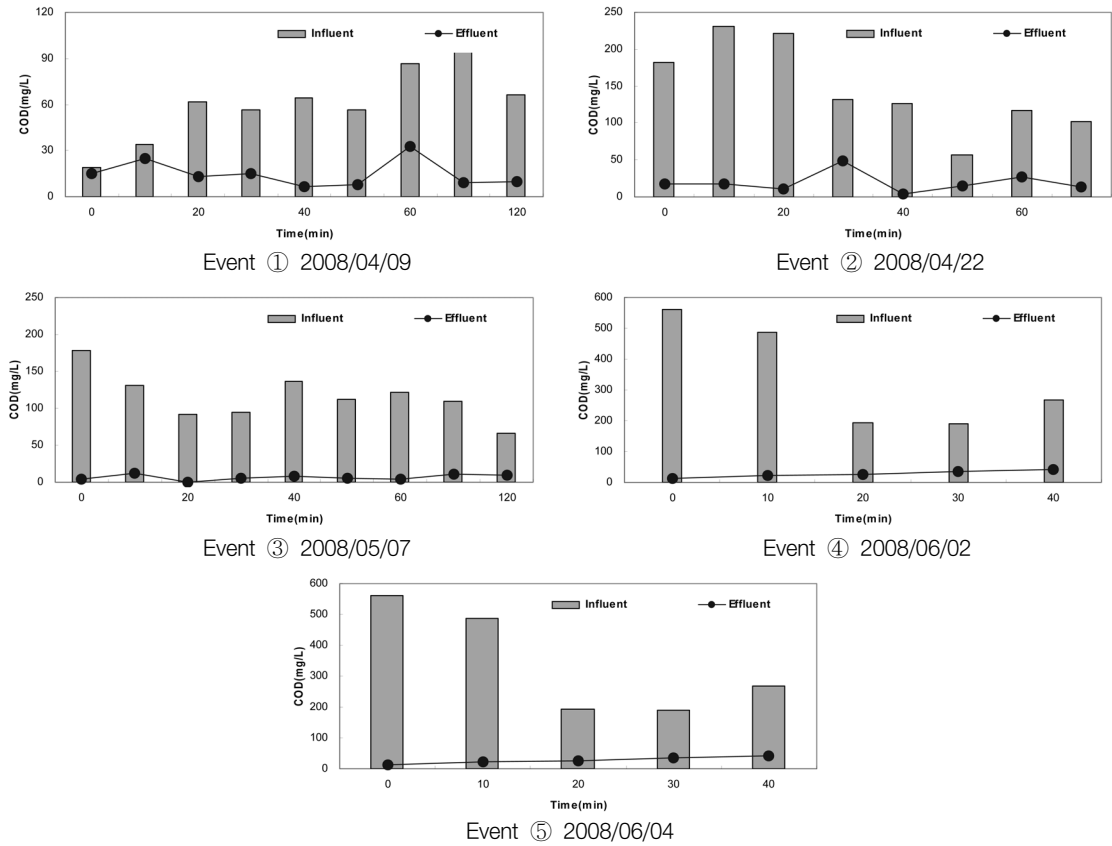


Fig. 7. COD_{Cr} concentration of influent and effluent.

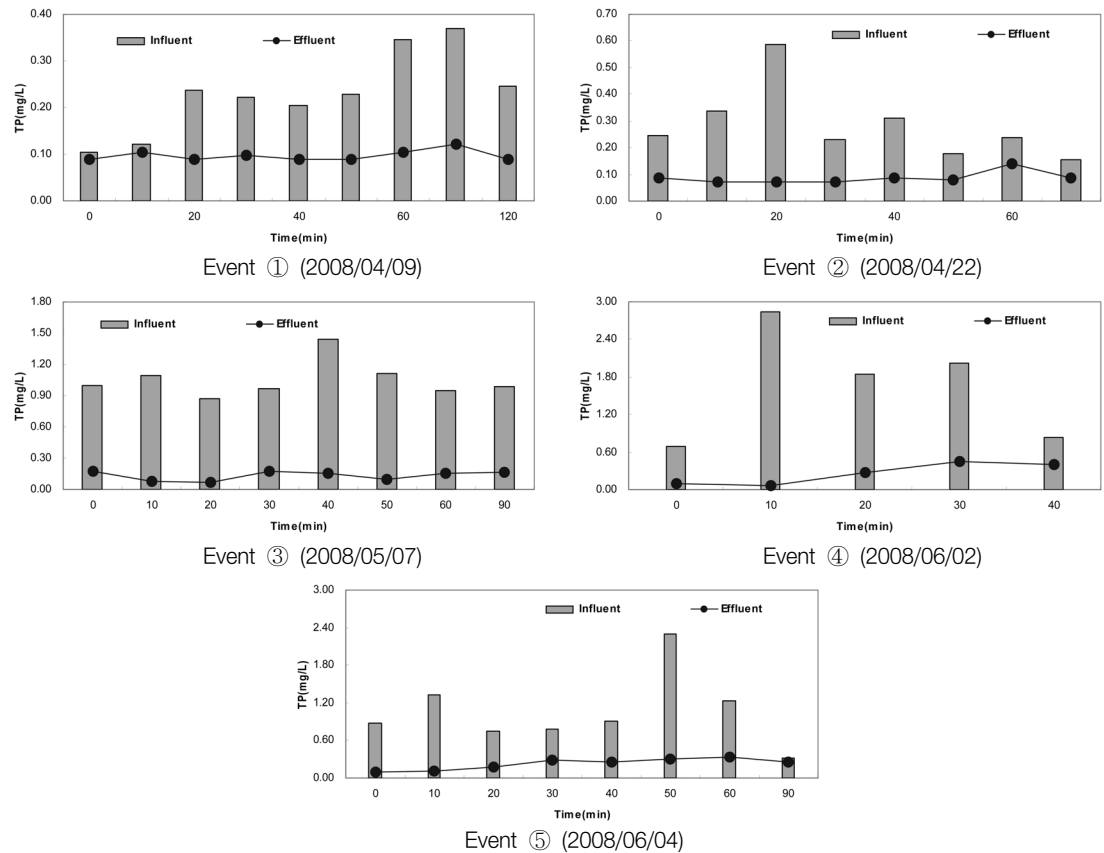


Fig. 8. TP concentration of influent and effluent.

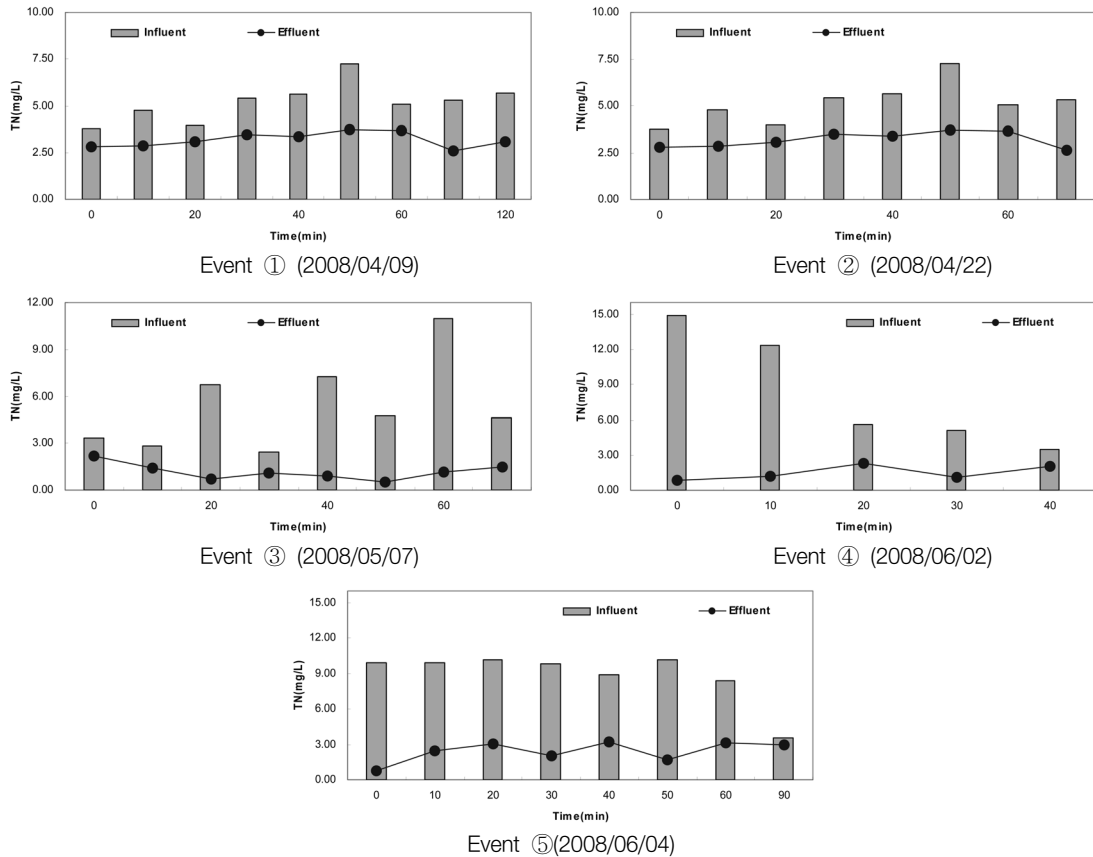


Fig. 9. TN concentration of influent and effluent.

Table 3. Average removal efficiency and EMC's concentration of the pollutants

Items		EMC (mg/L)								Avg. removal efficiency (%)
		Influent				Effluent				
		Med.	Max.	Min.	Avg.	Med.	Max.	Min.	Avg.	
Particulate material	SS	211.97	498.20	118.18	250.36	6.8	56.52	23.95	19.74	92.1
Organic matter	COD _{Cr}	141.02	294.20	67.08	158.87	17.38	69.19	9.23	28.06	82.3
Nutrient salts	TN	5.33	6.58	3.25	5.30	2.94	4.04	1.46	2.63	50.4
	TP	0.75	1.75	0.24	0.81	0.10	0.48	0.08	0.21	73.9

나타나고 있다. 이는 처리장치의 여과조에서 처리능이 소진 되거나, Fig. 4에서와 같이, 90분 이후부터 바이패스에 의하여 처리가 되지 않은 것으로 판단된다. 강우사상③은 초기에만 고농도로 유입되고 이후에는 180 mg/L의 비교적 저농도 유입으로 안정적으로 처리되었다. 강우사상④의 경우 유입시간 10분에서는 거대입자가 포함되어 유입수의 SS농도가 높게 분석된 것으로 사료되며, 처리수질이 큰 차이 없이 안정적인 처리를 나타냈다.

Fig. 7은 유기물질(COD_{Cr})의 유출 및 처리특성을 나타낸 것으로 강우사상①을 제외하고는 SS의 유출 경향 즉, 초기에 유출농도가 높고 시간이 지날수록 농도가 낮아지는 유사한 양상이 관찰되었다. 일부 분석자료를 제외하고는 유입수의 COD_{Cr}/SS 비는 중간값 0.67로 분석되었다. 고농도의 유기물질이 처리조로 유입됨에도 불구하고 대부분 고형물질에 의한 유기물질의 농도분율을 차지함에 따라 유출수의 농도

가 전체적으로 50 mg/L 미만으로 처리되었으며, 평균 82.3%의 제거효율을 보여주었다.

Fig. 8과 9는 영양물질인 TP와 TN의 유출 및 처리특성을 나타낸 것이다. 유출수의 COD_{Cr}/TP와 COD_{Cr}/TN 비율은 각각 중간값 기준으로 26.5와 188.0을 나타내고 있어 일반적인 생활오수와 비교 시 TP는 큰 차이 없이 유사한 비율을 갖으나 TN은 유출농도가 낮아 다른 양상을 보여주었다. 강우사상 ①과 ②에서와 같이 유입수의 TP농도가 0.5 mg/L 이하일 경우 처리수질이 0.1 mg/L의 수준에서 안정적인 처리를 나타내었다. 그러나 강우사상 ③, ④, ⑤와 같이 유입수의 TP농도가 1.0 mg/L 이상으로 지속적 유입될 경우 처리수의 수질은 평균 0.2 mg/L 을 초과하는 것으로 나타났다. TP의 평균제거율은 73.9%이다. Murakami 등은¹³⁾ 토양컬럼에 의한 도로유출수 처리에서 TP가 95% 이상 제거되었으나 TN은 제거가 미미한 것으로 보고되어 도로 유출수중에

서 총인의 현장제거는 비교적 용이한 것으로 사료된다.

TN의 유출 및 처리특성은 Fig. 9와 같다. 강우사상③의 초기 유입수 수질을 제외하고 전체적으로 유입수질이 4~10 mg/L 범위일 경우 처리수질은 1.5~3 mg/L 수준을 유지하며 40% 이하의 제거율을 나타내었다.

3.4. 항목별 처리효율 특성

Table 3은 파일럿 규모의 비점오염물질 저감시설의 처리 효율에 대하여 항목별 유입수 및 처리수의 유량가중평균농도(event mean concentration, EMC)와 평균 처리효율을 나타낸 것이다. 유입수 SS의 EMC는 42.8~192.6 mg/L를 나타내었다. 강 등¹¹⁾의 연구에 의하면 국내 고속도로지역에서 강우유출수의 EMC를 측정하였는데, SS의 경우 27.0~284.8 mg/L를 나타내었다고 보고되어 본 실험연구 결과와 유사하게 나타났다. 모니터링 결과, 처리수 SS의 평균 EMC는 19.7 mg/L를 나타내어 대부분의 고형물이 처리장치 내에서 침전 및 여과를 통하여 제거됨을 확인할 수 있다. 처리효율의 경우 SS는 약 92.1%의 처리 효율이 나타났다. COD_{Cr}의 EMC는 67.0~294.2 mg/L로 다소 높은 결과를 나타냈다. COD_{Cr}의 경우 약 82.3%처리효율이 나타났다. 영양염류인 TN, TP의 경우 각각 50.4%와 73.9%의 양호한 처리효율을 보였다. 오염원 유출농도에서 Ichiki 등도 일본의 비와호 인근의 일일 평균 42,000대의 차량이 통과하는 도로의 강우유출수(집수 구역 232 m²)를 조사한 결과 TN 중간값은 5.6 mg/L(최소 1.5 mg/L, 최대 14.4 mg/L), TP 중간값은 0.23 mg/L(최소 0.03 mg/L, 최대 1.53 mg/L)로 본 실험조사와 매우 유사한 유출수 농도로 조사되었다.¹⁴⁾

본 실험연구는 지방국도 현장에 적용된 Pilot plant 규모의 비점오염물질 처리장치로서 기상과 도로상황(도로 맨홀 부근에 대한 월 1~2회 청소) 등 현장여건이 불안정한 측면이 있었다. 또한 일시적으로 다량의 토사와 협잡물의 유입으로 유입부가 막히는 예기치 못한 사고의 발생으로 모니터링 자료의 연속성 부족과 함께 지속적인 처리실적을 확보하기가 어려운 점이 많았다. 그러나 이러한 상황 또한 현장연구에서 고려해야할 중요한 요인이라고 판단된다. 향후의 연구에서는 현장여건을 고려하여 보다 중장기적인 모니터링 및 처리실적의 확보가 필요하다.

4. 결론

Pilot plant 규모의 비점오염물질 처리장치를 실제 도로현장에 적용하여 강우사상에 따른 유출특성과 각 오염물질에 대한 처리특성을 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 아스팔트와 시멘트 포장도로의 특성상 소량의 강우사상에서도 유출특성이 빠른 전형적인 불투수지역의 유출특성 곡선을 나타냈다.

2) 폴리프로필렌 재질의 발포여재를 충전시킨 비점오염물질 저감장치의 여과킬럼은 90분 이후에 막힘현상으로 인하여 유입수의 bypass 현상이 발생되었다. SS 200 mg/L 이상의 고농도가 처리조로 유입될 경우 반응시간 60분부터 유출수의 농도가 증가되기 시작하여 90분 이후에는 여과부의 막힘현상으로 인해 급격히 처리효율이 저하되었다. SS 180 mg/L 이하는 고형물질 농도에서는 안정적인 처리가 이루어졌다. COD_{Cr}/SS 비는 중간값 0.67로 분석되었으며, SS의 제거는 COD_{Cr}의 제거와 밀접하게 나타났다. SS와 COD_{Cr}의 평균 제거율은 각각 92.1%와 82.3%로 나타났다.

3) 유입수의 TP농도가 0.5 mg/L 이하일 경우, 처리수질이 0.1 mg/L 수준에서 안정적인 처리를 나타내었고, 1.0 mg/L 이상으로 유입될 경우, 처리수의 수질은 평균 0.2 mg/L를 초과했다. TN의 경우 4~10 mg/L로 유출되었으며, 처리수질은 1.5~3 mg/L 수준을 유지하였다. TP와 TN 각각의 평균 제거율은 73.9%, 50.4%이다.

4) 대상지역의 기상과 도로상황의 불안정한 현장여건으로 모니터링 자료의 연속성이 다소 미비한 것으로 나타났다. 그러나 이러한 상황 또한 현장연구에서 고려해야할 중요한 요인 중 하나일 것이다. 앞으로의 연구에서는 현장여건을 고려하여 보다 중장기적인 모니터링 및 처리시설의 운영이 필요한 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 한국건설기술연구원 2014년 주요사업(2014-0216)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

KSEE

Reference

- Zanders, J. M., "Road sediment: characterization and implications for the performance of vegetated strips for treating road runoff," *Sci. Total Environ.*, **339**(1-3), 41~47(2005).
- Mckenzie, E. R., Wong, C. M., Green, P. G., Kayhanian, M. and Young, T. M., "Size dependent elemental composition of road-associated particles," *Sci. Total Environ.*, **398**(1-3), 145~153(2008).
- Egodawatta, P., Thomas, E. and Goonetilleke, A., "Understanding the physical processes of pollutant build-up and wash-off on roof surfaces," *Sci. Total Environ.*, **407**(6), 1834~1841 (2009).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "2013 The present of urban plan," (2013).
- Gilbert, J. K. and Clausen, J. C., "Stormwater runoff quality and quantity from asphalt, paver and crushed stone driveways in Connecticut," *Water Res.*, **40**(4), 826~832(2006).
- Liu, D., Teng, Z., Sansalone, J. J. and Cartiedge, F. K.,

- “Surface characteristics of sorptive-filtration storm water media. I: Low-density ($\rho_s < 1.0$) oxide-coated buoyant Media,” *J. Environ. Eng.*, **127**(10), 868~878(2001).
7. Wallinder, I. O., Hedberg, Y. and Dromberg, P., “Storm water runoff measurements of copper from a naturally patinated roof and from a parking space. Aspect on Environmental fate and chemical speciation,” *Water Res.*, **43**(20), 5031~5038 (2009).
 8. Barrette, M. E., Irsih, L. B., Malina, J. F. and Charbeneau, R. J., “Characterization of highway runoff in Austin, Texas, Area,” *J. Environ. Eng.*, **12**(2), 131~137(1998).
 9. Kayhanian, M., Stransky, C., Bay, S., Lau, S. L. and Stenstrom, M. K., “Toxicity of urban highway runoff with respect to storm duration,” *Sci. Total Environ.*, **389**(2-3), 386~406(2008).
 10. Lee, H. D., Ahn, J. H., Kim, W. J. and Bae, C. H., “Run-off Characteristics of Non-Point Source according to landuse types during rainfall,” *Kor. Soc. Water Environ.*, **17**(2), 147~156(2001).
 11. Kang, S. W., Kim, S. K., Kim, Y. L., Yun, S. L. and Kim, S. J., “Characteristics of runoff pollutants in impervious cover of urban area,” *Kor. Soc. Environ. Eng., Autumn Seminar*, 813~818(2005).
 12. APHA, AWWA, WPCF, “Standard methods for the examination of water and wastewater : 18th ed.”(1992).
 13. Murakami, M., Sato, N., Anegawa, A., Nakada, N., Harada, A., Komatsu, T., Takada, H., Tanaka, H., Ono, Y. and Furu-mai, H., “Multiple evaluation of the removal of pollutants in road runoff by soil infiltration,” *Water Res.*, **42**(10-11), 2745~2755(2008).
 14. Ichiki A., Ido F. and Minami T., “Runoff characteristics of highway pollutants based on a long term survey through a year,” *Water Sci. Technol.*, **57**(11), 1769~1776(2008).