

포장지역 강우유출수 관리를 위한 침투도랑 기술개발

이 정 용*+ / Marla C. Maniquiz** / 이 소 영*** / 김 이 형****

Development of Infiltration System for Stormwater Management from Paved Area

Jeongyong Lee*+ / Marla C. Maniquiz** / Soyoung Lee*** / Leehyung Kim****

요약 : 급속한 산업화, 도시화 및 경제성장으로 다양한 개발사업이 발생하였다. 다양한 개발사업으로 인하여 각종 오염물질이 발생하였으며, 발생된 오염물질은 자연적으로 형성된 물순환 시스템이 아닌 인위적으로 형성된 물순환 시스템으로 인하여 하천 및 호소로 직접 유입되어 수질이 악화되고 있는 실정이다. 강우시 다양한 토지이용에서 발생하는 비점오염원이 큰 원인으로 나타나고 있다. 본 연구는 강우시 발생하는 비점오염물질 처리를 위한 저류 및 침투기능을 포함하는 한국형 비점오염저감시설인 Eco-Bio Filter (EBF)를 개발하고자 한다. EBF 시설은 저류 및 침투기능을 포함하며, EBF Test-bed를 공주대학교 천안 캠퍼스 내에 설치하여 다양한 강우사상에 대하여 모니터링을 수행하였다. 현재 모니터링 결과를 활용하여 기술의 문제점을 분석하고 개선하는 과정이 진행되고 있으며, 본 연구에서는 개선된 EBF 기술을 제시하였다. 오염물질별 저감효율을 분석한 결과, 입자상 물질, 질소, 인, 중금속에 대하여 70% 이상의 높은 저감효율을 나타내었다. 이러한 연구결과는 향후 국내 강우특성에 맞으며 도시의 생태를 확장할 수 있는 새로운 비점오염기술을 개발하는데 기초자료로 활용될 것이며, 저영향개발(LID) 중 하나가 될 것이다.

핵심용어 : 물순환 시스템, 비점오염원, Eco-Bio Filter(EBF), 저영향개발(LID)

Abstract : Recently, various development projects have occurred due to rapid industrialization and urbanization. Both industry and population grew rapidly which causes a corresponding rise in pollution. The accumulated pollutants are washed-off during rainy days, highly degrading the water quality of the receiving water body. This is because a lot of non point source (NPS) pollutants were accumulated on the surface during dry periods. This research focuses on the development of Eco-Bio Filter (EBF) system that treats NPS pollutants. It is constructed at Kongju National University campus. The EBF is a type of a structured infiltration system that falls under the category of Low Impact Development (LID) hydrologic design practices. The monitoring of rain events was performed. It includes the development of design, the lessons learned from the post-construction testing and the improvements in the renovation made. After a series of monitoring, the MOE will use the results to apply the design to other areas in the country.

Keywords : Non point sources(NPS), Low Impact Development(LID), Eco-Bio Filter(EBF)

1. 서 론

급속한 산업화, 도시화로 인하여 다양한 개발사업이 추진되고 있으며, 이로 인한 토지이용의 급격

한 변화가 일어나고 있다. 또한 인간 활동의 증가는 다양한 오염물질을 발생시켜 생태계로의 유입을 초래하고 있다. 환경오염 및 파괴 등을 해결하기 위한 정책 및 연구가 활발히 진행되고 있다(강성원

+ Corresponding author : leehyung@kongju.ac.kr
* 정희원 · 공주대학교 건설환경공학부 · 석사과정
** 정희원 · 공주대학교 건설환경공학부 · 박사과정
*** 정희원 · 공주대학교 건설환경공학부 · 박사과정
**** 정희원 · 교신저자 · 공주대학교 건설환경공학부 교수

등, 2005; 양해근, 2006). 환경부에서는 하천과 호소의 수질을 개선하기 위하여 많은 노력을 하고 있으나, 하천과 호소의 수질은 나이지고 있지 않는 실정이다. 이는 인간의 활동 및 포장지역의 증가 등으로 인하여 자연적인 물순환 시스템이 아닌 인간이 인위적으로 만든 배수 시스템으로 인하여 강우시 다량의 비점오염물질을 하천으로 유출시키고 있다. 점오염원에 대한 지속적인 관리에도 불구하고 하천과 호소의 수질이 개선되지 않는 이유는 다양한 토지이용에서 강우시 발생하는 비점오염원이 큰 원인으로 지목되고 있다. 이는 건기시 포장지역에 축적되어 있는 오염물질이 강우시 강우유출수와 더불어 다량의 오염물질이 수계로 직접 유입되는 현상을 나타낸다(노성덕 등, 2004; 이준호 등, 2005; 최지용 등, 1999; 환경부, 2004; US EPA, 2005).

2004년도 기준으로 비점오염원으로부터 하천 수질오염기여율은 4대강에서 40%를 넘어서고 있으며, 2015년까지 대부분의 하천에서는 65% 이상으로 수질오염 기여율이 증가할 것으로 예측되고 있다(환경부, 2006a; 2006b). 2000년 들어 수질에 관련되는 각종 법률 및 제도적 장치를 농도규제가 아닌 오염총량 규제로 변화를 수립하여 4대강에 대한 수질오염총량제를 도입하여 실시하고 있다. 개정된 수질환경보전법에는 비점오염원에 대한 정의뿐만 아니라, 각종 개발사업으로부터 강우시 발생하는 비점오염원의 관리를 명시하고 있다. 또한 일정규모 이상의 개발사업에 대하여 비점오염원 관리를 위한 시설을 설치하도록 명시하고 있다. 특히 강우 발생시 초기강우(first flush)는 비점오염원의 유출농도가 높고 도시지역의 경우 중금속, oil & grease 등의 독성물질을 함유하고 있어 이에 대한 적절한 방안이 요구되고 있다(이은주 등, 2007; 이현동과 배철호, 2002; Lee et al., 2002). 강우유출수에 포함되는 오염물질 중 중금속, oil & grease 등이 수계로 직접 유입되었을 경우 수생태계의 파괴는 물론이고, 수생물에 축적되어 결과적으로 인간에게 악영향을 줄 수 있는 물질을 다량으로 함유하게 된다(김이형과 이선하, 2005; 농림부, 2007; Booth, 1991).

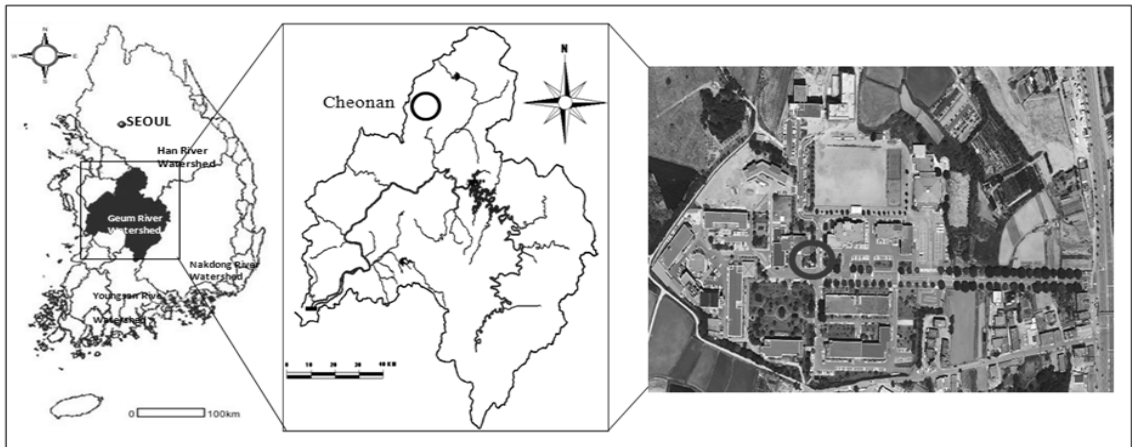
국내에 적용되고 있는 비점오염저감시설은 환경부 비점오염관리업무편람을 통해 살펴보면 장치형, 식생형, 여과형, 침투형, 저류형 및 습지형 등으로 분류할 수 있다. 기존의 개발된 기술은 생태 친화형, 대민친화성, 여가공간의 활용성 등이 매우 낮고, 선진국에서 개발된 기술이 국내의 실정을 고려하지 않은 상황에서 무분별하게 적용되고 있다. 이는 향후 수질오염총량관리제 및 비점오염원을 관리하기에 어려운 상황이며, 이를 해결하기 위한 국내의 강우사상 및 유역특성 등에 맞는 고효율 기술의 개발이 시급히 요구되고 있다.

본 연구에서는 인위적으로 형성된 물순환 시스템의 단점을 보완하며, 도시지역의 비점오염원을 효과적으로 제어하기 위한 신개념의 저영향개발(Low Impact Development; LID)로서 저류 및 침투기능을 포함하는 한국형 비점오염저감시설인 Eco-Bio Filter(EBF)를 개발하였으며, EBF 기술을 평가하기 위해 공주대학교 천안 캠퍼스 내에 Test-bed를 설치하였다. 교내 공주대학교 도로 및 주차장에 적용된 EBF 시설에서 발생한 문제점을 보완하며 개선된 기술을 제시하고자 하며, 이는 향후 국내 강우특성에 맞으며 도시의 생태를 확장할 수 있는 새로운 비점오염기술을 개발하는데 기초자료로 활용될 것이다.

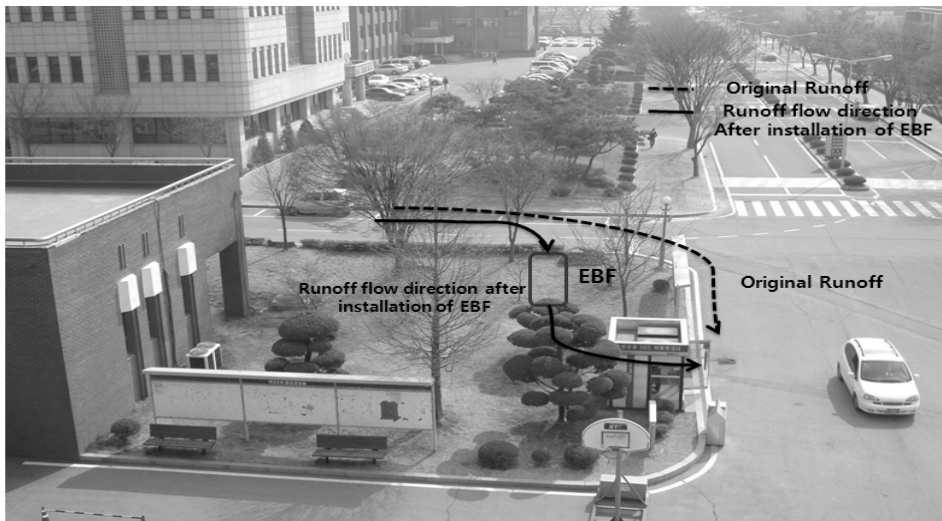
2. EBF Test-bed 설치

2.1 EBF 기술 적용 지점

EBF의 성능을 평가하기 위하여 충청남도 천안시 공주대학교 내에 EBF Test-bed를 설치하였다. EBF 시설의 설치 지점을 그림 1(a)에 나타내었다. 적용 지점은 차량의 통행이 빈번한 도로 및 주차장의 강우 유출수를 효과적으로 집수할 수 있는 곳으로 그림 1(b)와 같이 조경 공간의 일부를 이용하였다. 기존의 직접 배출되는 강우 유출수의 흐름을 변경하여 유출수가 EBF 시설을 통과한 후 배출되는 것으로 설계하였으며, 강우유출수는 모두 포장 지역에서 발생하는 것으로 고려하였다.



(a) EBF location



(b) Pre-existing condition

Figure 1. EBF location and pre-existing condition

2.2 EBF Test-bed 설계 및 시공

EBF 기술은 국내 강우특성에 맞추어 설계된 비점오염저감시설로써 그림 2와 같이 강우시 발생하는 강우유출수가 시설로 유입됨으로서 유속을 감소시켜 체류시간을 지연하고, 강우유출수를 일시적으로 저류시켜 비점오염물질에 대하여 침전, 여과, 흡착 등 다양한 제거 기작이 일어날 수 있게 하는 기술이다. 강우시 도로에서 발생한 강우유출수는 EBF 시설로 유입되기 전 협잡물들을 제거하기 위하여 전

처리조 (Grit chamber)로 유입된 후 침강지 (Sedimentation tank)로 유입되어 입자성 물질 등을 일부 제거한다. 이후 강우유출수는 여재부 (Trench media zone)로 이동하여 오염물질이 여과 및 흡착 될 수 있도록 한 후, 후속 침강지 (Final sedimentation)를 거친 후 배수로로 방류되는 시스템이다. 또한 EBF 시설 바닥에 위치한 침투 파이프 (Perforated pipe)를 통하여 강우유출수가 초기 침강지, 여재부, 후속 침강지를 거치는 동안 침투 현상을 일으켜 추가적인 오염물질 처리를 가능케 한다.

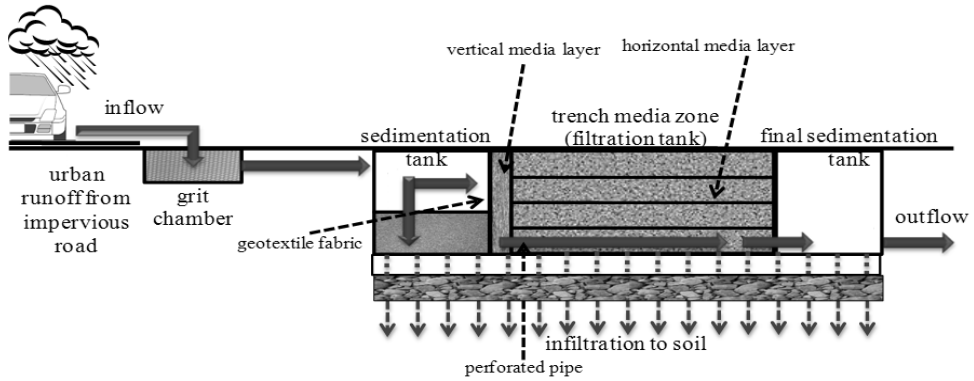


Figure 2. Schematic of the treatment system

그림 3에 EBF Test-bed를 설치하는 모습을 나타내었으며, 표 1에 시설의 주요 설계 제원을 나타내었다. 대상 유역면적은 520 m² 이며, 시설은 길이 5 m, 폭 1 m, 깊이 1.3 m로 3.85 m³의 시설 용량을 가지고 있다. 본 시설은 시간당 25 mm의 강우에 대하여 처리할 수 있는 용량으로 설계되었으며, 3시간의 수리학적 체류시간 갖는다. 또한 여재부는 모래, 자갈, 우드칩으로 충전되었으며, 공극

률은 0.4이다.

Table 1. Summary of Test-bed conditions

	Land use	Pavement type	Area (m ²)	Volume (m ³)	Design Rainfall (mm)	HRT (hr)
EBF	Road	Asphalt	520	3.85	25	3



(a) site preparation and grading



(b) excavation



(c) bed erection



(d) perforated pipe installation



(e) media placement and compaction



(f) completed pilot EBF

Figure 3. Construction photos showing the pilot EBF

3. EBF 시설의 예비 운전

EBF 기술의 Test-bed에 대하여 2009년 5월부터 2009년 7월까지 예비운전을 실시하였다. 대상 기간 동안 총 8회의 강우 조건에 대하여 설치된 EBF 시설의 수리학적 처리능력을 평가하였다. 표

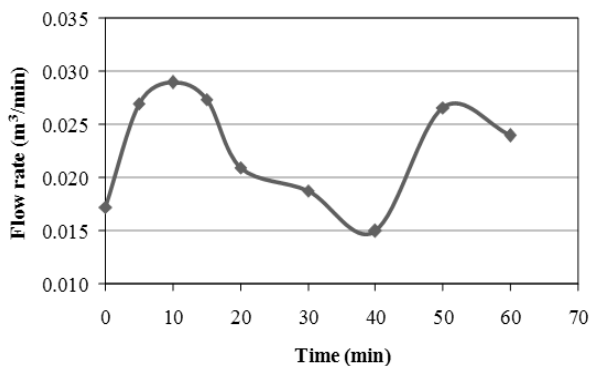
2에 총 대상 일자의 강우사상 및 선행건기일수 등을 정리하였다. 강우 전 건기일수의 범위는 3~12.5 일의 분포를 보이고 있으며, 총 강우량은 0.5~56 mm의 분포를 나타내고 있다. 또한 강우지속시간은 0.7~13 hr으로 나타났으며, 평균 강우강도는 0.1~3.7 mm/hr로 분석되었다.

Table 2. Event Table

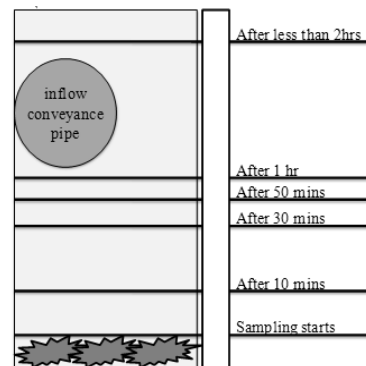
n=8 events	ADD (day)	Total Runoff (mm)	Rainfall Duration (hr)	Avg. Rainfall Intensity (mm/hr)
Mean	7.9	13.5	6.9	1.7
Minimum	3.0	0.5	0.7	0.1
Maximum	12.5	56.0	15.2	3.7
Standard deviation	3.4	19.5	5.4	1.1

EBF 시설 적용 후 초기 2회 모니터링시 강우유출수가 EBF Test-bed로 유입되었으나 유출수는 발생하지 않았다. 이는 시설 내부에 여재부의 공극과 같은 유입수를 저장할 수 있는 충분한 공간이 존재하여 일부 유입수가 바닥면의 침투 파이프를 통하여 하부로 침투되기 때문인 것으로 판단된다. 3회 부터 EBF 시설에서 유출수가 발생하였으며, 3, 4, 8회와 같이 비교적 높은 평균 강우강도 발생시 초기침전지의 용량이 초과되어 침전지내 유입수가 역류하는 현상이 발생하였다. 이 중 4회와 8회의 경우 강우 이전에 10일 이상의 선행 건기일수

를 가졌음에도 불구하고 역류 현상이 발생한 것으로 보아 2.0 mm/hr의 평균 강우강도 이상에는 적용되기 힘든 것으로 판단되었다. 3회의 경우 그림 4(a)에 나타난 바와 같이 초기강우에 높은 유입 유량이 발생하여 그림 4(b)와 같이 침전지 내 수위가 급격히 상승하였으며, 강우 2시간 경과 후에는 수위가 유입수로 상부까지 상승하여 정상적인 처리가 불가능한 상태에 도달하였다. 또한 5, 6, 7회와 같은 낮은 평균 강우강도 적용시에는 강우 유입수의 EBF 시설로의 안정적인 유입, 유출을 확인하였다.



(a) plot of flow rate



(b) water level in the sedimentation tank with respected to time

Figure 4. Observations on 2009.05.21 rain event showing

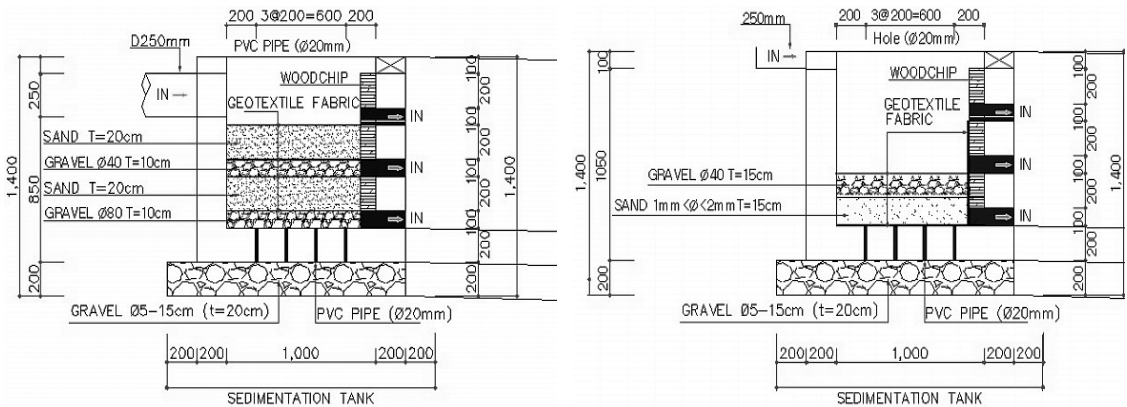
4. 적용 EBF 시설의 기술 개선

예비 운전 기간 동안의 강우시 수리학적 처리능력 평가를 통하여 2.0 mm/hr 이상의 평균 강우강도 조건에서 다량의 강우유출수로 인한 문제점을 발견하였다. 협잡물과 부유물질의 유입으로 인해 전처리조 스크린에 막힘 현상이 발생하였으며, 초기침전조 처리용량 초과 등으로 인하여 강우유출수가 시설로 유입되지 않고 도로로 역류하는 현상을 확인하였다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 초기침전지, 여재부, 최종침전지 등에 대하여 다음과

같이 EBF Test-bed의 기술개선 및 구조변경을 실시하였다.

4.1 초기침전지

예비 운전 기간 동안의 EBF 시설의 강우시 모니터링 결과, 높은 평균강우강도 조건에서 초기침전지의 수위가 빠르게 상승하는 현상이 나타났다. 이는 초기침전지로 연결되는 유입수로의 위치가 여재부의 여재층 보다 아래에 위치하고 있어 발생하는 것으로 판단되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존에 설치되어 있던 PVC 유입관을 제거하고 EBF 시설 표면에 직사각형 모양의 상부가



(a) comparison between the previous

(b) renovated design

Figure 5. EBF in the sedimentation tank

열려있는 수로를 설치하였다. 또한 강우유출수의 원활한 유입을 위하여 자갈, 모래, 자갈, 모래 순의 기존 침전지의 4단계 여재층을 모래, 자갈 순의 2단계로 변경하였다. 그림 5는 EBF 시설의 초기침전지에 대한 시설 변경 전과 후의 구조를 나타낸 것이다.

4.2 여재부

여재부 및 최종 침전지에서는 강우유출수의 흐름이 수리학적으로 문제가 없을 것으로 판단되어 오염물질의 처리효율 향상에 중점을 두고 여재부

부분을 변경하였다. 그림 6과 같이 체류시간을 증가하기 위해 여재부에 설치되어 있던 유공관을 제거하여 시설 용량의 일부를 증가시켰다. 또한 내부 여재를 모래, 자갈, 우드칩 순으로 배치하였으며, 여재부 앞단에 추가적으로 수직카트리지를 3개를 설치하였다. 수직 카트리지로 인하여 침전지를 통과한 강우유출수가 여재부로 유입되기 전 수직카트리지를 통과하면서 1차적으로 오염물질을 저감시킬 수 있으며, 이후 수직카트리지의 교체만으로도 여재부의 수명을 크게 향상시키며 유지 및 보수를 용이하게 할 수 있는 등의 장점을 기대할 수 있다.

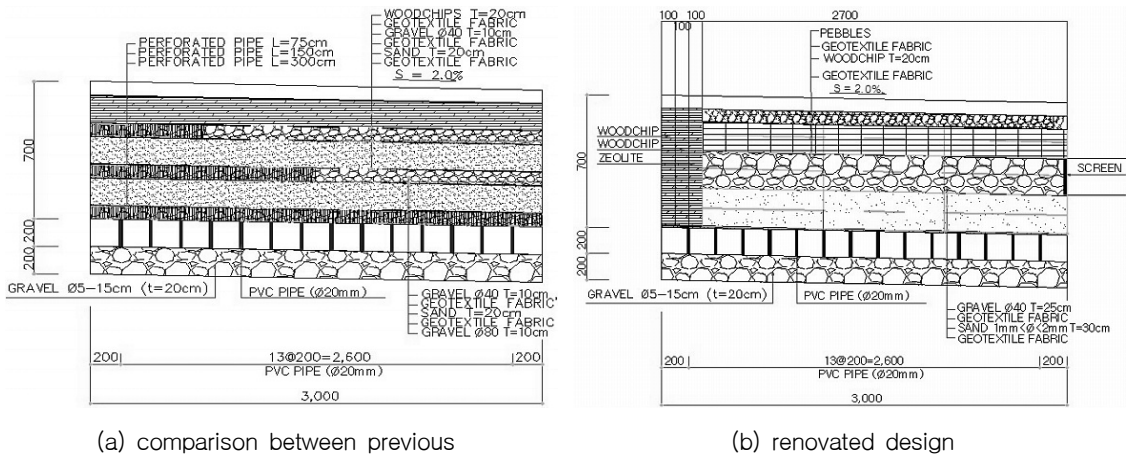


Figure 6. EBF in the bed media zone

4.3 침전지

앞서 설명한 바와 같이 최종 침전지에서도 수리학적 흐름에 대한 문제가 발생하지 않을 것으로 판단하였다. 그러나 최종 유출수의 유량 측정 및 수질 평가를 위한 유출관의 위치가 적절치 못한 것으로 판단되어 이에 대한 시설 개선을 실시하였다. 그림 7과 같이 최종 침전지 하단에 위치하는 직경

10 cm의 PVC 유출관 3개를 바닥으로부터 30 cm 떨어진 위치에 직경 25 cm의 1개 PVC 관으로 변경하였다. 이러한 유출관의 위치 변경은 시설내 유입되는 강우유출수의 체류시간을 증가시켜 침전 효과를 증대 시킬 수 있는 것으로 예상되었다. 또한, 유출 파이프에 스크린을 설치하여 여재부에 구성되어 있는 자갈, 모래 등이 유실되는 현상을 최소화 하도록 하였다.

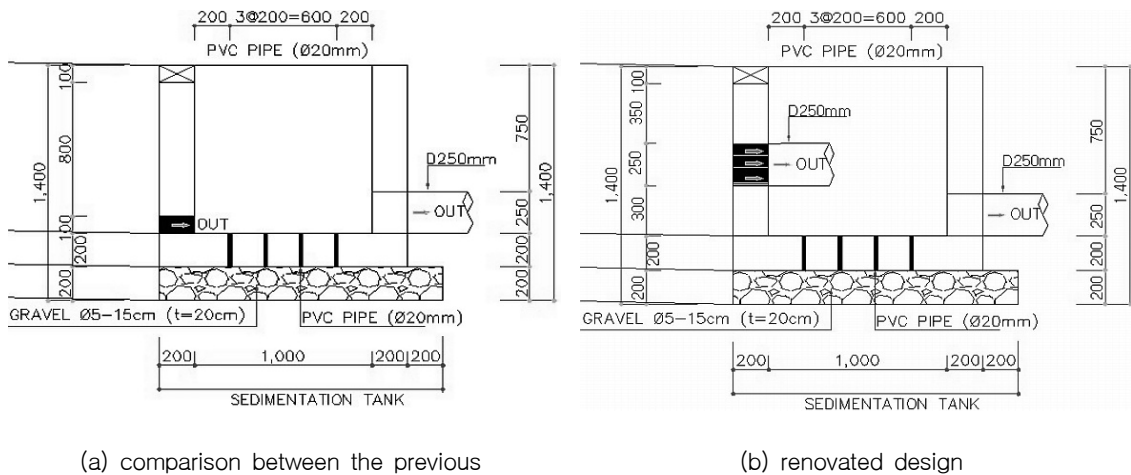


Figure 7. EBF in the final sedimentation zone

5. EBF 시설의 기술개선 후 모니터링

5.1 모니터링 결과

EBF Test-bed의 시설 변경 후 2009년 11월부터 2010년 7월까지 총 6회의 모니터링을 수행하였다. 표 3에 해당 기간 동안의 총 6회의 강우사상에 대하여 정리하였다. 강우 전 건기일수는 2~11.8 일의 분포를 나타냈으며, 총 강우량은

1.5~29.0 mm의 분포를 나타내었다. 또한 강우지속시간은 1.2~6.5 hr로 나타났으며, 평균 강우강도는 0.65~7.69 mm/hr로 분석되었다. 2010년 5월 22일 모니터링의 경우 시설 내로 강우유출수가 유입되었으나 유출수는 발생하지 않았다. 또한 시설 변경 후 2.00 mm/hr 이상의 평균 강우강도가 4회 및 6회에 두 번 적용되었으나, 시설 내로의 안정적인 강우유출수 유입 및 유출이 이루어졌다.

Table 3. Monitoring event data after renovated design of EBF

n=8 events	ADD (day)	Total Runoff (mm)	Rainfall Duration (hr)	Avg. Rainfall Intensity (mm/hr)
Mean	7.0	8.3	3.6	2.1
Minimum	2.0	1.5	1.2	0.4
Maximum	11.8	29.0	6.5	7.7
Standard deviation	3.5	10.2	1.7	2.5

5.2 EMC 및 저감효율 산정

안정적인 운전을 바탕으로 강우시 EBF 시설의 오염물질 제거효율을 평가하기 위하여 유입수 및 유출수에 대한 유량가중평균농도 (Event Mean Concentration, EMC)를 산정하였다. 유입/유출 유량 및 오염물질 농도를 이용한 EMC 산정에 관한 수식을 식 (1)에 나타내었다.

$$EMC(mg/L) = \text{식(1)}$$

$$EMC(mg/L) = \frac{\text{Discharged mass during storm event}}{\text{Discharged volume}} = \frac{\int_0^T C(t) \cdot Q_{TRu}(t) dt}{\int_0^T Q_{TRu}(t) dt}$$

여기에서 C(t)와 Q_{TRu}(t)는 강우 지속시간 t에 대한 오염물질의 농도와 유출율을 의미한다. 산정된 유입 및 유출수에 대한 EMC와 식 (2)를 이용하여 EBF 시설의 오염물질 저감효율을 평가하였다(Kim al., 2003).

Removal Efficiency (%)

$$RE(\%) = \frac{\sum_{t=1}^{t=T} C_{in}(t)q_{in}(t) - \sum_{t=1}^{t=T} C_{out}(t)q_{out}(t)}{\sum_{t=1}^{t=T} C_{in}(t)q_{in}(t)} \quad \text{식 (2)}$$

EBF 시설을 통해 저감된 TSS, TN, TP, BOD, COD_{Mn} 등에 대하여 산정된 유입 및 유출 EMC의 통계분석 결과를 그림 8에 나타내었다. EBF 시설의 유입수의 평균 EMC를 살펴보면 TSS의 경우 355.55 mg/L, COD_{Mn}은 65.29 mg/L, TN은 9.35 mg/L로 분석되었다. TP의 경우 1.16 mg/L, Total Fe는 11.61 mg/L, Total Zn은 0.60 mg/L, Total Pb는 1.98 mg/L로 나타났다. 유출수의 평균 EMC의 경우 TSS는 145.64 mg/L, COD_{Mn}은 43.04 mg/L, TN은 6.01 mg/L로 나타났다. TP의 경우 0.28mg/L, Total Fe는 4.01 mg/L, Total Zn은 0.26 mg/L, Total Pb는 1.65 mg/L로 분석되었다.

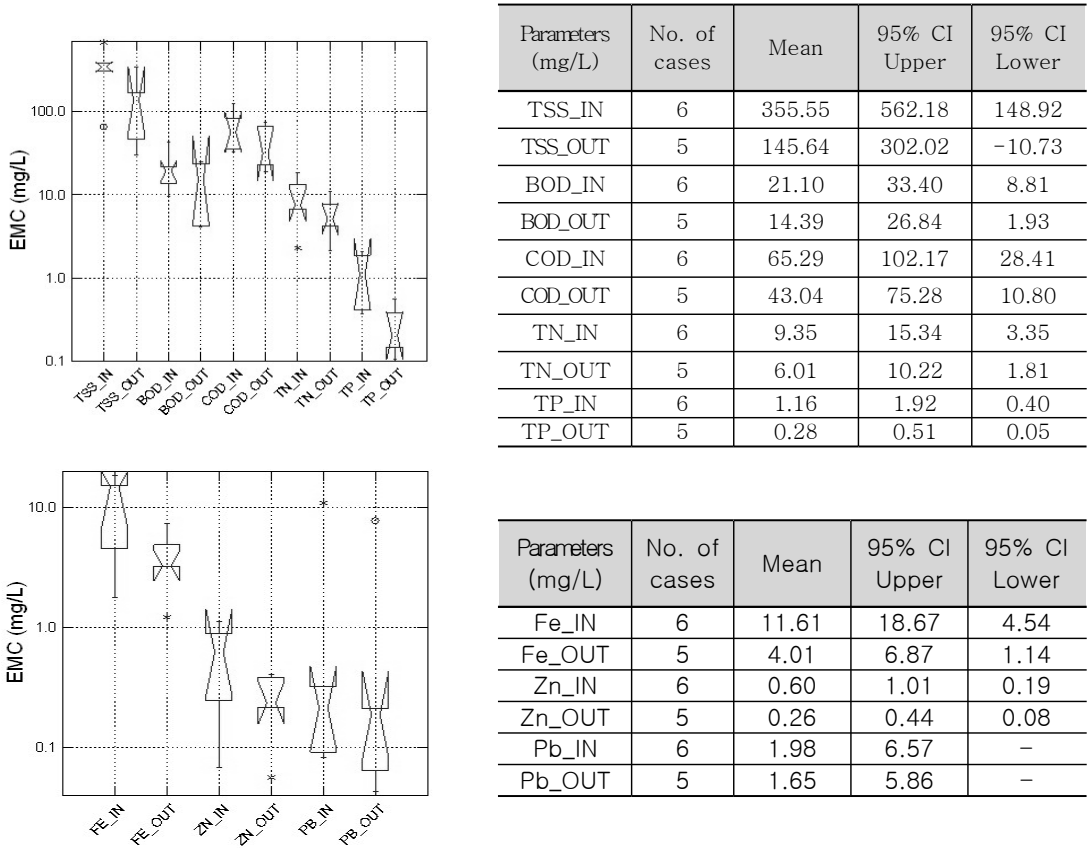


Figure 8. Statistics of EMCs

EBF 시설의 유입수 및 유출수로 산정된 EMC 값을 이용하여 오염물질별 저감효율을 산정하여 그림 9에 나타내었다. EBF 시설의 계절별 평균 오염물질별 평균 저감효율을 살펴보면 TSS의 경우

88.7%, COD는 76.4%, TN은 76.3%의 저감효율을 보였다. TP는 89.3%, Total Fe 87.6%, Total Zn 85.9%, Total Pb 84.1%를 나타내는 것으로 분석되었다.

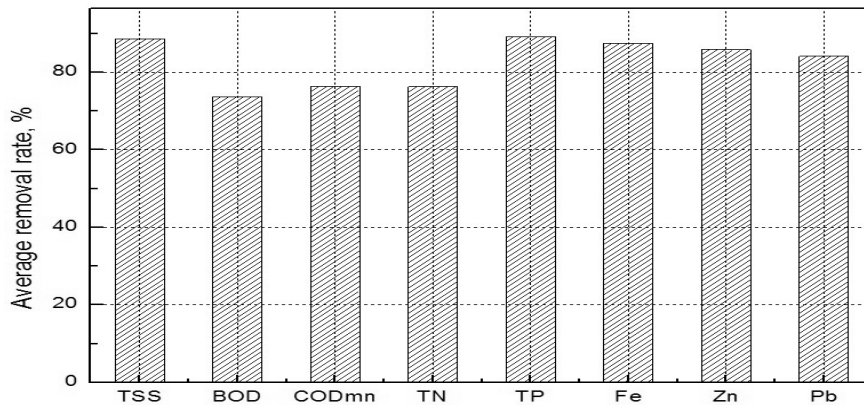


Figure 9. Removal rate constants in EBF with season

6. 결 론

본 연구는 강우시 도로에서 발생하는 강우유출수내 비점오염물질을 저감하기 위해 개발된 EBF 기술에 대한 연구결과를 정리한 것이다. EBF 기술의 적용 가능성을 평가하기 위해 공주대학교 천안 캠퍼스에 Test-bed를 설치하였으며, 2009년 5월 시공이 완료되어 강우시 모니터링을 실시하였다. 모니터링을 통해 EBF 시설의 문제점을 분석하고 보완하였으며, 시설에 대한 구조변경을 실시하여 구조변경 후 EBF 시설의 적용성을 평가하였다.

- ① EBF 시설의 구조변경 전 모니터링 결과 강우 전 건기일수의 범위는 3~12.5일, 총 강우량은 0.5~56mm의 분포를 나타내고 있다. 강우지속시간은 0.7~13hr으로 나타났으며, 평균강우강도는 0.1~3.7mm/hr로 분석되었다. 구조변경 후 모니터링 결과 강우 전 건기일수는 2~11.8일의 분포를 나타냈으며, 총 강우량은 1.5~29.0mm의 분포를 나타내었다. 또한 강우지속시간은 1.2~6.5hr로 나타났으며, 평균강우강도는 0.65~7.69mm/hr로 분석되었다.
- ② EBF 시설의 구조변경 후 유입 및 유출수의 EMC 통계분석을 실시한 결과, 평균 EMC를 살펴보면 TSS의 경우 355.55 mg/L, COD_{Mn}은 65.29 mg/L, TN은 9.35 mg/L로 분석되었다. TP의 경우 1.16 mg/L, Total Fe는 11.61 mg/L, Total Zn은 0.60 mg/L, Total Pb는 1.98 mg/L로 나타났다. 유출수의 평균 EMC의 경우 TSS는 145.64 mg/L, COD_{Mn}은 43.04 mg/L, TN은 6.01 mg/L로 나타났다. TP의 경우 0.28mg/L, Total Fe는 4.01 mg/L, Total Zn은 0.26 mg/L, Total Pb는 1.65 mg/L로 분석되었다.
- ③ 오염물질별 저감효율을 산정한 결과, 평균 저감효율을 살펴보면 TSS의 경우 88.7%, COD는 76.4%, TN은 76.3%의 저감효율을 보였다. TP는 89.3%, Total Fe 87.6%,

Total Zn 85.9%, Total Pb 84.1%를 나타내는 것으로 분석되었다. 대부분의 오염물질 평균 저감효율이 70~80%로 높은 효율을 나타내었다.

- ④ 본 연구를 통하여 개발된 EBF 기술은 구조변경 후 오염물질별 저감효율이 향상된 것으로 분석되었다. EBF 시설은 현재에도 지속적인 모니터링이 수행되고 있으며, 기술적인 문제 및 시설적인 문제에 대한 개선방안 및 수정, 보완이 이루어질 예정이다. 본 기술은 국내 강우특성을 반영한 대표적인 LID 기술로써 향후 도시의 생태를 확장할 수 있는 새로운 비점오염기술을 개발하는데 기초자료로 활용될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 Eco-STAR 과제로 수행된 결과를 정리한 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 강성원, 김석구, 김영임, 윤상린, 김소정(2005). 도시지역 불투수면의 오염물질 유출특성 평가, 대한환경공학회 2005 추계학술연구발표회 논문집, pp. 813~818
- 김이형, 이선하(2005). 주차장 및 교량 강우유출수의 중금속 오염물질 특성과 동적 EMCs, 한국물환경학회지, **21**(4), pp. 385~392
- 노성덕, 이대근, 전양근(2004). 도로상의 비점오염물질 저감을 위한 초기 우수유출수 처리에 관한 연구, 한국물환경학회지, **20**(5), pp. 525~523
- 양해근 (2006) 강우시 비점오염물질의 유출특성에 관한연구; 곡성천 상하류를 대상으로, 대한지리학회지, **41**(4), pp. 418~434
- 이은주, 정용준, 이소영, 김이형(2007). 친환경 리조트 개발사업을 위한 비점오염원관리: 비점저감시설을 통한 오염물질 삭감량 산정, 한국습

- 지학회지, 9(2), pp. 9~20
- 이준호, 조용진, 방기웅(2005). 강우시 도로유출수 수질특성 및 입경분포, 대한환경공학학회지, 27(7), pp. 777~784
- 이현동, 배철호(2002). 비점오염원 유출특성과 저감을 위한 최적관리방안, 한국물환경학회지, 18(6), pp. 569~576
- 최지용, 신은성, 이동훈(1999). 서울 도시지역의 비점오염원 유출특성에 관한 연구, 한국물환경학회지, 15(3), pp. 315~323
- 농림부(2007). 농촌지역 비점오염관리 가이드북.
- 환경부(2004). 관계부처합동 [물관리 종합대책]의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책
- 환경부(2006a). 비점오염원관리 업무편람
- 환경부(2006b). 물환경관리기본계획
- Booth, D.(1991). Urbanization and the natural drainage system-impacts, solutions, and prognoses, Northwest Environ J., 7, pp. 93~118
- Kim, L. H.(2003). Determination of Event Mean Concentrations and First Flush Criteria in Urban Runoff. Environmental Engineering Research, 8(4), pp. 163~176
- J.H. Lee, K.W. Bang, L.H. Ketchum, J.S. Choe, M.J. Yu(2002). First flush analysis of urban storm runoff, The Science of the Total Environment, 293, pp. 163~175
- U.S. Environmental protection Agency Office of Water (US EPA), (2005). National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas. EPA-841-B-05-004. Office of water, Washington DC 20460
- 논문접수일 : 10년 08월 13일
- 심사의뢰일 : 10년 08월 16일
- 심사완료일 : 10년 12월 23일