

다양한 강우사상에 대응 가능한 침투여과형 기술개발

최지연 · 김순석* · 이소영** · 남귀숙*** · 조혜진**** · 김이형+

공주대학교 건설환경공학부

* (주)에스엠 엔지니어링

** 국립환경과학원 수질통합관리센터

*** 한국농어촌공사 농어촌연구원

**** 한국건설기술연구원 SOC성능연구소 도로교통연구실

Development Hybrid Filter System for Applicable on Various Rainfall

Jiyeon Choi · Soonseok Kim* · Soyoung Lee** · Guisook Nam*** · Hyejin Cho**** · Lee-Hyung Kim⁺

Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University

* *SM Eng*

** *Water Quality Control Center, National Environmental Protection Institute*

*** *Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation*

**** *Highway & Transportation Research Division SOC Research Institute, Korea Institute of Construction Technology*

요 약

도시화로 인한 불투수층의 증가는 강우시 유출량 증가, 침투량 감소, 증발산량 감소 등을 유발시키고, 다량의 비점오염물질을 유출시킨다. 이러한 도시화에 의한 환경영향을 최소화하기 위하여 환경부는 2012년 이후 그린빗물인프라(Green Stormwater Infrastructure, GSI)기법을 정책적으로 도입하여 자연적 물순환을 구축하고 비점오염 유출저감을 저감하고자 한다. 본 연구에서는 자연적 물순환 구축을 통한 비점오염저감을 위하여 다양한 강우사상에 적용 가능한 침투여과기술을 개발하고자 한다. 기술의 실제 적용성 평가에 앞서 연구실 규모의 기술평가를 실시하였으며, 8회의 유량변화를 통한 평가를 수행하였다. 연구실 실험결과, 시설의 침투수, 저류수 및 유출수의 오염물질별 평균 EMC의 저감효율은 모든 오염물질 항목에서 50~90%의 범위로 높게 나타났는데 이는 높은 침투유량(약 35%)과 저류량(39%)에 의한 유출저감에 의해 나타났다. 침투여과시설의 지속적 효율은 막힘현상의 최소화로 나타나는데 본 기술의 공극 막힘현상은 누적 TSS 양이 8.3~9.0 kg/m²의 범위에 도달할 때 발생하였으며, 이 값은 타 연구결과에 비해 큰 값으로 나타나 장기간 높은 효율을 유지할 수 있는 것으로 분석되었다. 초기침강지를 설치하지 않은 상태에서도 시설로부터 유출되는 시료내 평균 입경크기는 10 μm로 나타났기에 침강지를 설치할 경우 입자제거에 효과적일 것으로 판단된다.

핵심용어 : 침투여과, 다양한 강우사상, 물순환 시스템, 비점오염원

Abstract

The urbanization affects significantly on a natural water circulation system by increasing the imperviousness rate. It is also negatively affecting on urban temperature, environmental pollution, water quality, and aqua-ecosystems. The Korea MOE (Ministry of Environment) adapted a new environmental policy in order to reduce the impact of urbanization, which is the Green Stormwater Infrastructure (GSI) program. The GSI can be achieved by protecting conservable green spaces, enlarging more green spaces, and constructing more permeable pavements. The GSI is including many different techniques such as bioretention, rain garden, infiltration trench and so on. Also It is the infrastructures using natural mechanisms of soils, microorganisms, plants and animals on a water circulation system and pollutant reduction. In this research, a multi functional GSI technology with infiltration-filtration mechanisms has been developed and performed lab-scale tests to evaluate the performances about infiltration rate restoration and pollutant reduction. The most of pollutants including metals, organics and particulates were reduced about 50~90% due to water infiltration and storage functions. The clogging was found when the TSS loading rate was reached on 8.3~9.0 kg/m², which value is higher than the values in literatures. It means the new technology can show high performances with low maintenances.

Keywords : Green Stormwater Infrastructure(GSI), Infiltration-filtration, LID, NPS, Water circulation system

1. 서론

최근 도시화와 고도의 산업화에 따른 인구과밀화, 에너지의 과사용, 환경을 고려치 않은 무분별한 개발로

인하여 녹지공간이 크게 감소되었다(Kang and Lee, 1996). 도시지역의 대부분은 불투수층으로 존재하며 이러한 불투수층은 강우유출량의 증가, 침투량의 감소, 증발산량의 저하 등과 같은 자연적인 물순환 체계를 왜곡

+ Corresponding author : leehyung@kongju.ac.kr

함과 동시에 생태축을 단절시켜 생물종 다양성 저하, 도시 내 열섬현상 및 하천의 건천화, 기후변화로 인한 홍수 및 가뭄 유발 등과 같은 문제점을 야기한다(Perdikaki and Mason, 1999; Kim *et al.*, 2006; Son *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2009). 산업화에 따른 국가경제발전은 차량수요를 증가시켰으며, 이에 따라 도로망이 지속적으로 확충되었다. 국내 지형특성상 국토의 67%가 산지로 구성되어있어(Kim *et al.*, 2008) 도로를 건설할 경우 야생동·식물의 서식지 훼손 및 이동경로 단절, 토사 발생 등 직접적으로 주변 환경을 저해시키며 강우시 도로면으로부터 발생하는 비점오염원은 인근 수계 및 수생태계에 치명적인 악영향을 끼친다. 또한 도로 노면에서의 배수가 원활히 이루어지지 않을 경우 주변 농경지의 침수피해, 주행성과 쾌적성 저하 및 포장구조의 손실될 수 있다. 이러한 다양한 환경적 영향을 최소화하기 위하여 환경부는 ‘수질 및 수생태계보전에 관한 법률’에 개발사업 비점오염저감시설 설치신고제도, 비점오염관리지역 지정제도 및 수질오염총량관리제도 등을 명시하여 비점오염원에 대한 관리기반을 구축하였다(Choi *et al.*, 2013). 또한 환경부를 비롯한 국무총리실, 국토교통부 외 5개의 정부관계부처가 합동으로 제 2차 비점오염원관리 종합대책을 수립하여 각 부처가 비점오염원 관련 정책을 범정부적으로 연계하여 비점오염관리에 효율적으로 업무를 추진하고 있다(MOE, 2012).

일반적으로 비점오염저감시설은 주로 오염물질을 저감하는 최적관리기법(Best management practice, BMP)으로 장치 및 자연형 시설로 구분하여 적용을 하였으나, 개발이전의 자연적인 수문학적 체계를 재현할 수 없으며 낮은 오염물질 저감효율 및 유지관리의 어려움 등 여러 가지 문제점을 초래하였다. 따라서 환경부는 2012년 저영향개발(Low Impact Development, LID)과 그린빗물인프라(Green Stormwater Infrastructure, GSI) 기법을 비점오염관리에 전면적으로 도입하였다. 일반적으로 LID는 개발계획과정과 인프라시설을 모두 포함하는 반면 GSI기법은 인프라시설만 포함하고 있기에 환경부의 비점오염관리에 매우 효율적인 기법이라 평가된다. GSI는 인프라시설에 생태공간(Green Infrastructure)을 접목하는 기법을 의미하며 토양, 미생물, 식물 및 동물 등의 자연적 기작을 활용하여 분산적 빗물관리 및 비점

오염물질을 저감하는 기법을 의미한다(SPU, 2013). 이렇게 비점오염관리방안에 대한 선진적 정책은 도입되고 있으나 기술적으로 뒷받침이 되지 못하여 국내의 기후와 토양특성에 맞지 않은 외국의 기법들이 무분별하게 도입되어 설치됨으로써 또 다른 문제점을 야기하고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 실정에 적합하고 자연적 물순환 체계 구축 및 생태 공간 확대를 위한 침투여과형 시설을 개발하고자 하며, 실험적 검증을 통해 적용성 평가를 수행하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 침투여과형 시설의 설계

본 연구에서 개발하고자 하는 침투여과형 시설은 포장지역에서 발생하는 비점오염물질의 저감과 더불어 강우유출수의 관리를 통해 물의 재이용 및 자연적 물순환을 가능하게 하는 시설이다. 본 시설은 다양한 강우사상에 적합한 모듈화된 3단형 구조로 여과침투조, 여과저류조 및 최종침강지로 구성된다. 여과침투조에서는 5 mm 이하의 초기 강우유출수를 처리 할 수 있는 용량으로 여재를 통해 오염물질을 저감 후 침투되는 기작을 가지고 있으며 5 mm 이상의 강우시 여과침투조에서 여과저류조로 월류 된다. 여과저류조는 여과침투조의 후속공정으로 5 mm 이상 20 mm 이하의 강우유출수를 처리 할 수 있는 용량으로 설계되었으며 유입되는 강우유출수는 초기강우유출수보다 상대적으로 오염물질의 농도가 낮기에 저류시설과 연계를 통하여 물의 재이용을 도모할 수 있다. 최종침강지의 경우 20 mm 이상의 강우시 여과저류조에서 월류된 강우유출수가 유입되며 유입된 강우유출수를 신속히 유출부로 배출하는 월류부의 기능을 가지고 있다. Fig. 1은 침투여과형 시설의 설계도면을 보여주고 있으며 시설의 자세한 제원은 Table 1에 정리하여 나타내었다. 시설에 사용된 여재는 모래(2~5 mm), 자갈(10~20 mm) 및 Bottom ash(1~2 mm)로 여과침투조의 경우 모래와 자갈, 여과저류조의 경우 모래, 자갈, Bottom ash를 충전 하였으며 여재층 사이에 geotextile을 두어 시설의 운영시 여재간의 혼합을 방지하였다.

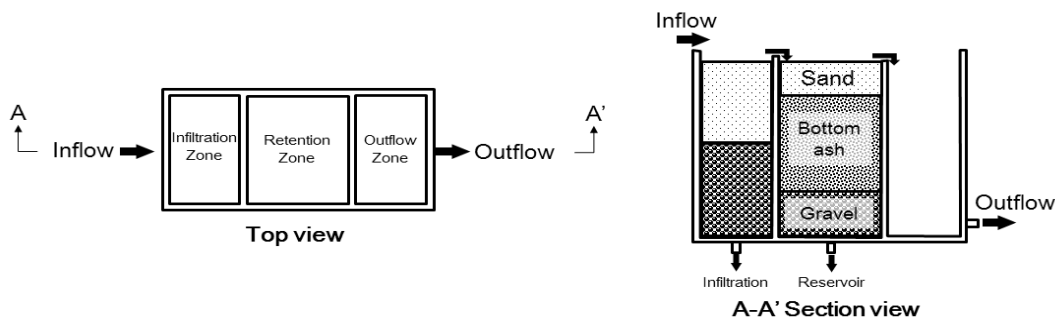


Fig. 1. Design schematic of the hybrid filter system

Table 1. Design specifications of the hybrid filter system

Parameters	Infiltration zone	Retention zone	Outflow zone
Aspect ratio of length, width, and height (L:W:H)	0.6:1:1.7	0.8:1:1.6	0.6:1:1.6
Total volume (m ³)	0.012	0.016	0.011
Storage volume (m ³)	0.008	0.009	0.011
Surface area (m ²)	0.03	0.04	0.03
Void ratio	0.67	0.56	1.00

2.2 침투여과형 시설의 운영 및 모니터링 방법

침투여과형 시설은 lab-scale 규모로 2011년 7월부터 11월까지 8회 운영하였다. 침투여과형 시설의 유입수는 인공 강우유출수로써 75 μm이하의 도로퇴적물과 수돗물을 혼합하여 제조하였다. Kim과 Sansalone (2008)에 의하면 도로 강우유출수중 TSS의 25~80%가 75 μm이하로 분포하고 있기에 강우유출수의 특성을 반영하여 75 μm이하의 도로퇴적물을 선택하여 사용하였다. Table 2는 시설의 운영 인자를 정리하여 나타낸 것으로 시설

의 운영은 4시간 동안 수행되었으며 유입유량의 경우 500 m²의 유역면적내에 5 mm/hr부터 40 mm/hr까지의 다양한 강우강도를 모의하기 위하여 0에서 30분까지는 0.17 L/min, 30분에서 2시간까지는 0.67 L/min, 2시간부터 4시간까지는 1.3 L/min로 산정하였다. 또한 침투발생과 저류시설로의 이송을 모의하기 위하여 침투속도는 0.43 L/min, 저류속도는 0.6 L/min으로 설정하였다. 시설의 평가를 위하여 유량측정과 더불어 유입수, 침투수, 저류수 및 유출수의 시료 채취도 수행되었다.

Table 2. Summary of hybrid filter system test condition

Parameters	Inflow	Infiltration	Retention	Outflow
Operation time	4 hr			
Flow regime (L/min)	· 0min ~ 30min : 0.17 · 30min ~ 2hr : 0.67 · 2hr ~ 4hr : 1.3	0.43	0.6	-
Flow check	every 10 min			
Collecting sample	✓	✓	✓	✓
Sampling time	0 min, 15 min, 30 min, 1 hr, 2 hr, 3 hr, 4hr			

2.3 분석방법

침투여과형 시설의 운영을 통해 채취된 시료들은 수질오염공정시험법에 준하여 TSS, COD_{Cr}, Total Cr, Total Fe, Total Ni, Total Cu, Total Zn, Total Cd 및 Total Pb의 수질분석을 수행하였다. 수질분석결과를 활용하여 EMC, 부하량(flux), 물수지 및 물질수지를 산정하였으며 식 (1)부터 (7)에 나타내었다. 식 (1)은 유량가중평균농도(Event Mean Concentration, EMC)의 산정 수식으로 분자 부분은 전체 오염물질 양, 분모 부분은 전체 유출유량을 나타내고 있다. 식 (2)는 부하량 산정 수식으로 단위시간 및 면적당의 여과되어지는 수량을 의미한다. 단위는 m³/m²/day로 나타내며 강우사상에 대한 유입, 침투, 저류, 유출수의 총량을 산정하고 각각의 총량을 단면적으로 나누어 분석하였다. 식 (3)은 물수지(water balance) 산정 수식으로 유입량(Q_{in})은 침투량(Q_{inf}), 저류

량(Q_{res}), 저장량(Q_{ret}) 및 유출량(Q_{out})을 포함한다. 식 (4)부터 (7)은 물질수지 산정 수식으로 물질수지의 산정으로 시설의 운영에 저해하는 막힘 현상, 과부하, 낮은 저감효과 등의 문제점을 판단할 수 있으며 유입, 침투, 저류, 유출수의 EMC를 이용하여 산정된다. 또한 수질의 입도분석을 위하여 측정범위가 0~2,000 μm인 입도분석기(LS 230)를 이용하였으며 수질시료 입자의 평균값, D₁₀을 분석하였다.

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

$$Flux(m^3 / m^2 / day) = \frac{\sum_{t=0}^T q_{run}(t)}{A} \tag{2}$$

$$Q_{in} = Q_{inf} + Q_{res} + Q_{ret} + Q_{out} \quad (3)$$

$$INFlow\ Mass\ (kg) = \sum_{t=1}^{t=T} C_{IN}(t)q_{IN}(t) \quad (4)$$

$$INFFlow\ Mass\ (kg) = \sum_{t=1}^{t=T} C_{INF}(t)q_{INF}(t) \quad (5)$$

$$RESFlow\ Mass\ (kg) = \sum_{t=1}^{t=T} C_{RES}(t)q_{RES}(t) \quad (6)$$

$$OUTFlow\ Mass\ (kg) = \sum_{t=1}^{t=T} C_{OUT}(t)q_{OUT}(t) \quad (7)$$

여기서, $C(t)$ = pollutant concentration, $q_{run}(t)$ = the runoff rate at time t , T = time, A = surface area, Q_m = inflow, Q_{inf} = infiltration flow, Q_{res} = reservoir flow, Q_{ret} = retention flow, Q_{out} = outflow를 나타낸다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 EMC 산정 결과

침투여과형 시설의 수질분석을 통하여 Table 3에 유입수, 침투수, 저류수 및 유출수에 대한 평균 EMC 산정결과를 정리하여 나타내었다. 유입수의 오염물질별 평균 EMC를 살펴본 결과, TSS는 267.3 mg/L, COD_{Cr}의 경우 67.2 mg/L로 조사되었으며 중금속의 경우 Total Fe에서 8,123 µg/L로 가장 높은 농도를 보이고 있으며 이외 중금속의 경우 125.8~527.3 µg/L의 농도범위를 나타냈다. 침투수, 저류수 및 유출수의 오염물질별 평균 EMC의 범위를 살펴보면, TSS와 COD_{Cr}의 경우 14.8~97.2 mg/L, 7.1~24.3 mg/L로 나타나 오염물질이 90%이상의 저감되어지는 것으로 분석되었다. 중금속의 경우도 12.4.6~3,178 µg/L의 농도범위를 보여 50~90% 정도 오염물질이 저감되어지는 것으로 나타났다. 유출수 EMC의 경우 오염물질이 처리되지 않은 유입수가 여과침투조 및 여과저류조로 유입되지 못하고 바로 최종침강지로 유통되어 침투수 및 저류수 EMC보다 높게 나타난 것으로 판단된다.

Table 3. EMC of water quality parameters with mean and S.D.

Parameter	Unit	In	Inf	Res	Out
TSS	mg/L	267.3±95.5	53.4±62.8	14.8±8.9	97.2±47.1
COD _{Cr}		67.2±20.0	9.6±4.8	7.1±2.0	24.3±14.4
Total Cr	µg/L	228.8±54.3	208.4±52.1	216.7±38.7	215.7±49.6
Total Fe		8,123±1,749	1,428±914.4	1,123±424.1	3,178±1,155
Total Ni		196.8±49.6	189.5±49.5	191.6±41.7	194.2±45.2
Total Cu		169.3±54.2	146.3±59.1	154.1±50.8	160.6±55.2
Total Zn		527.3±135.6	194.4±69.4	170.5±47.5	265.0±84.1
Total Cd		125.8±50.0	124.6±50.2	127.9±45.2	128.6±49.0
Total Pb		234.0±57.0	196.8±70.0	204.4±56.7	204.0±55.2

3.2 부하량 변화에 따른 분석

부하량은 저감시설의 운영에 저해하는 막힘 현상, 오염물질의 축적 및 감소하는 효율 등의 문제를 야기시킨다. 또한 저감시설을 평가하는데 중요한 인자로 사용되며 오랜 시간동안 발생하는 부하량은 수질 문제에 영향을 끼친다(EPA, 1999). Fig. 2는 누적 TSS 부하량을 이용하여 여과침투조와 여과저류조의 공극비 변화와 투과속도(water flux) 및 TSS 부하량의 변화에 대하여 나타내었다. Fig. 2 (a)를 살펴보면, 모래와 자갈만 충전한 여과침투조에 비해 입경이 작은 bottom ash를 추가 충전한 여과저류조의 경우 공극비가 작은 것으로 나타났다. 유입 누적 TSS 부하량이 증가할수록 여과침투조와 여과저류조의 공극비는 점점 감소하는 경향을 나타내는데 이는 시설의 운영으로 유입되는 오염물질이 여

체층 표면에 퇴적물로 축적되어 공극이 막혀 공극비가 감소되는 것으로 판단된다(Campos *et al.*, 2006). Fig. 2 (b)의 경우 누적 TSS 부하량과 여과침투조와 여과저류조의 투과속도(water flux) 및 평균 TSS 부하량의 변화를 나타낸 그림으로 유입 누적 TSS 부하량이 증가할수록 침투 및 저류의 평균 투과속도는 일정한 반면, 침투 및 저류의 평균 TSS 부하량이 증가하는 경향을 보이고 있다. 누적 TSS 부하량이 280 g과 330 g에서 침투 및 저류 평균 TSS 부하량이 급격하게 증가 되는데 이는 여과침투조 및 여과저류조에 TSS가 여과깊이까지 침투되어 일부가 유출되었기 때문으로 판단된다(Kau *et al.*, 1995). Pitt *et al.*(2008)에 의하면 비점오염저감시설 중 여과시설에서 막힘현상이 발생하는 누적 TSS 부하량은 1.2~4.0 kg/m²으로 산정한 것으로 조사되었는데 본 연구 결과의 경우 8.3~9.0 kg/m²으로 산정되어 기존 여과시설

에 비해 많은 양의 오염물질의 처리가 가능한 것으로 분석되었다.

Fig. 3은 여과침투조와 여과저류조의 공극비와 투과 속도 및 평균 TSS 부하량의 관계를 나타내고 있다. Fig. 2와 같이 공극비가 작아질수록 침투 및 저류의 평

균 TSS 부하량이 증가하는 경향으로 분석되었으며 이는 TSS 부하량이 증가하여 시설 내부에 퇴적물의 축적으로 공극이 막히는 것으로 판단된다. 한편, 투과속도의 경우 공극비의 변화에 영향을 미치지 않은 것으로 분석되었다.

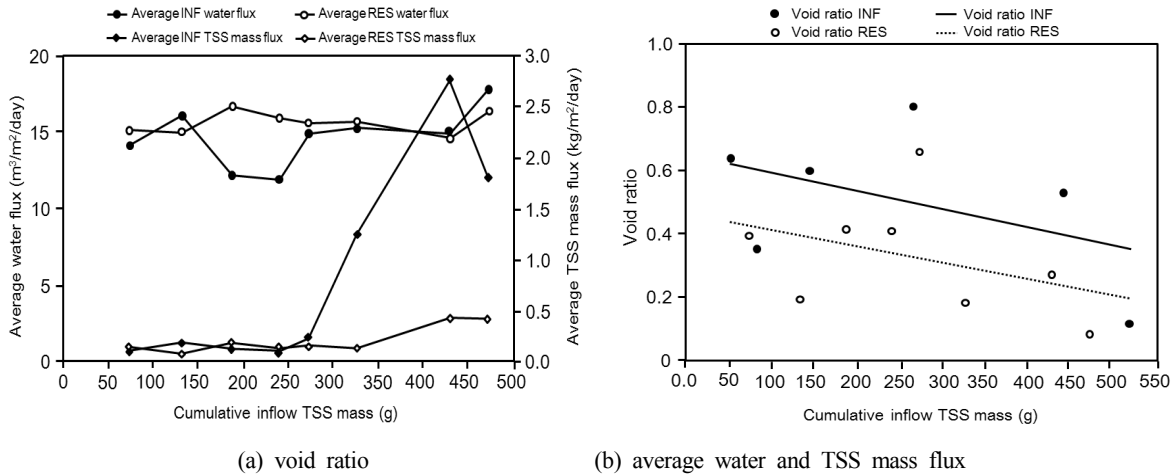


Fig. 2. Relationship between cumulative inflow TSS mass with void ratio, the average water and TSS mass flux

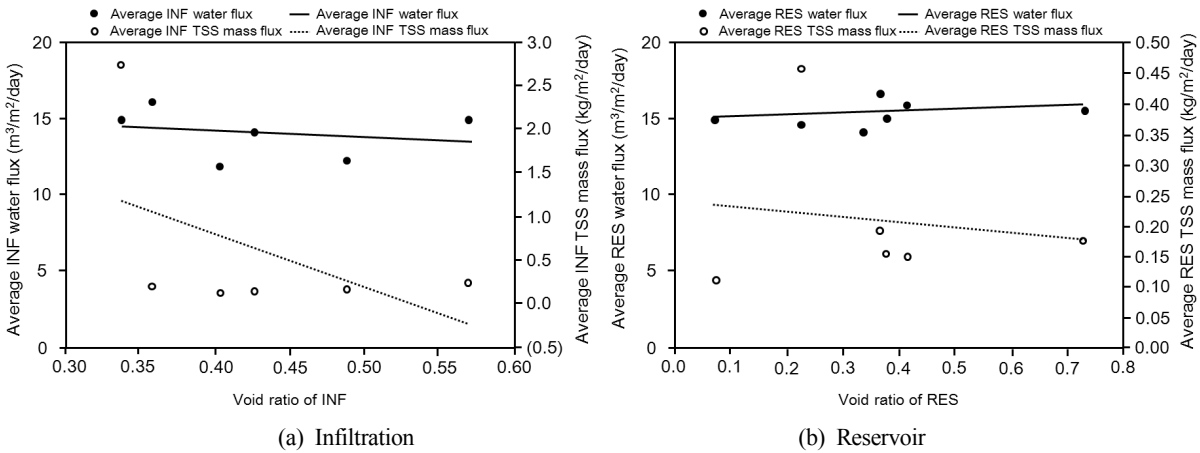


Fig. 3. Relationship between void ratio with its corresponding average water and TSS mass flux

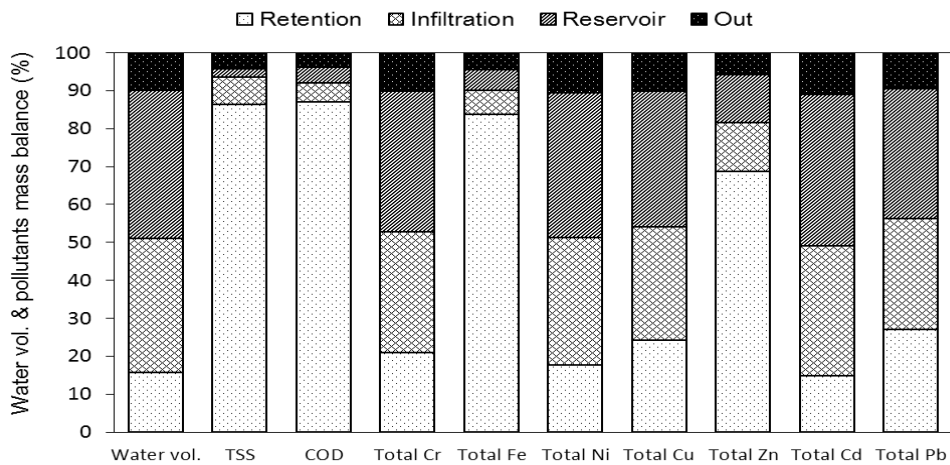


Fig. 4. Water volume and pollutant mass balance

3.3 물수지 및 물질수지 산정

식 (3)부터 (7)을 이용하여 침투여과형 시설의 물수지 및 물질수지를 산정하였다. Fig. 4는 물수지 및 물질수지 산정 결과로 침투, 저류, 유출, 저장되는 양을 백분율로 환산하여 나타낸 것이다. 물수지 산정결과, 침투량은 유입량의 35%, 저류량은 39%, 유출량의 경우 10%, 저장량은 16%로 분석되었다. 이는 유입된 양의 35%는 지하로 침투되어 주변 지역의 열섬현상 방지, 지하수 충전 등 자연적인 물순환 효과를 촉진하고 유입량의 39%는 시설과 연계되어 있는 저류시설로 이동되어 물의 재이용을 도모하며 유출량이 유입량의 10%로 강우시 관거의 부하를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

평균 물질수지의 경우 유입 오염물질의 21%는 침투, 23%는 저류를 통해 저장되며 48%는 시설내 체류되고 8%만이 유출되는 것으로 분석되었다. 오염물질별로 물질수지를 살펴보면, 시설내 축적되거나 체류하여 저장되는 오염물질 중 TSS와 COD_G가 86~87%로 가장 높았으며 중금속의 경우 Total Fe에서 84%로 높은 저장율을 나타내고 있다. 한편, Total Cr, Total Ni 및 Total Cd의 경우 유입 오염물질의 20% 미만이 시설내 체류되고 대부분 유출되기에 여과기작만으로는 오염물질을 저장하는데 한계가 있음을 보여주고 있다. 이에 오염물질의

흡착, 흡수, 이온교환, 미생물 서식 등 생물·화학적 기작을 가진 여재의 사용이나 식재를 추가적으로 고려할 경우 오염물질 저감에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

3.4 입도분석 결과

본 시설의 운영을 통하여 수질시료의 입도분석을 실시하였으며 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 유입수의 경우 75 μm 이하의 퇴적물을 사용하였으나 평균 20.0 μm로 분석되었으며 유효경의 경우 2.71 μm로 나타났다. 여과침투조를 거쳐 오염물질이 저감된 침투수의 경우 평균 12.3 μm로 조사되었으며 유효경의 경우 7.83 μm로 분석되었다. 여과저류조의 저류수도 침투수와 유사한 결과로 평균 11.3 μm, 유효경은 2.09 μm로 나타났으며 유출수의 경우 평균 9.0 μm, 유효경은 2.18 μm로 저류수와 침투수보다 작거나 비슷한 범위로 조사되었다. 따라서 본 시설을 통하여 최대 10 μm의 입자크기까지 저감 가능한 것으로 분석되었으며 초기침강지 등 전처리 시설을 설치할 경우 전처리시설에 의해 큰 입자가 제거되어 여재부의 수명을 연장시켜 여재 교체 등 유지관리 주기를 늘려 비용효율적인 시설의 운영이 가능할 것으로 판단된다(Clark and Pitt, 1999; Semple *et al.*, 2004).

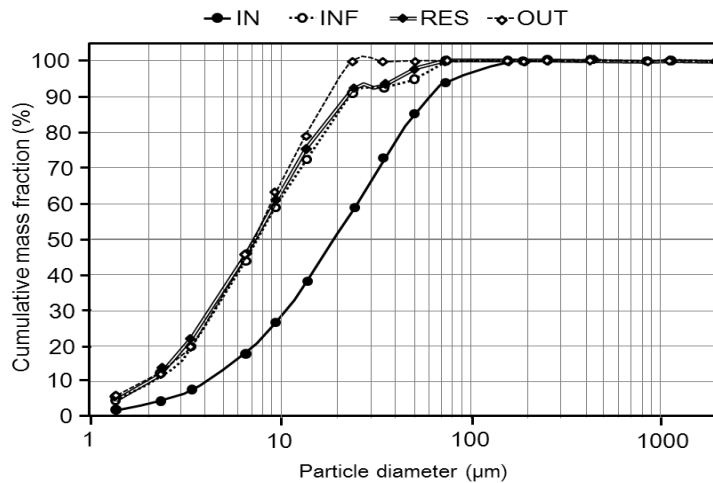


Fig. 5. Particle size distribution of water samples

4. 결론

본 연구는 다양한 강우사상에 대응가능하면서 유출 저감을 통한 비점오염물질을 저감할 수 있는 침투여과 기술을 개발하기 위하여 수행되었다. 기술개발 이후 기술의 실제적용에 앞서 시설의 적용성 평가를 위하여 lab-scale 규모로 총 8번의 실험을 수행하였다. 모든 오염물질 항목에서 약 50~90% 범위의 오염저감량을 보였

는데 이는 본 기술이 가진 높은 침투량과 저류량에 기인한다. 유입 누적 TSS 부하량과 침투 및 저류의 평균 TSS 부하량의 변화를 통하여 막힘현상을 유발하는 TSS 양을 산정한 결과 8.3~9.0 kg/m²로 나타났으며, 이는 기존 여과시설에 비해 매우 큰 값으로 적은 유지관리로 많은 양의 오염물질 처리가 가능함을 보여준다. 본 기술의 물수지를 산정한 결과 유입량 대비 침투량은 35% 및 저류량은 39%로 나타났으며, 이 값이 높은 오염물

질 제거에 기인하는 것으로 나타났다. 또한 침투조와 여과조에서 투과된 여과수는 수질이 양호하여 지하수 충전 또는 재이용 등에 활용 가능한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부의 Eco-STAR 과제(과제번호: 07-II-6)로 수행된 결과를 정리한 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

Reference

- Campos, LC, Smith, SR and Graham, NJD (2006). Deterministic-based model of slow sand filtration I: Model development, *Journal of Environmental Engineering*, 132(8), pp. 872-886.
- Choi, JY, Son YG, Lee SY, Lee, YH and Kim, LH (2013). Development of tree box filter LID system for treating road runoff, *Journal of Wetlands Research*, 15(3), pp. 407-412. [Korean Literature]
- Clark, S and Pitt, R (1999). *Stormwater treatment at critical areas: Evaluation of filtration media*, Report-00, EPA, No. CX 824933, The University of Alabama at Birmingham, Birmingham, Alabama, USA.
- Environmental Protection Agency (EPA) (1999). *Preliminary data summary of urban stormwater best management practices*, EPA 821-R-99-012, Environmental Protection Agency, USA.
- Kang, HK and Lee, KJ (1996). Establishment of Ecological Space for the Connection of Green corridor -A Case Study of Ecobridge in Pundang, Songnam City, *Korean J. Environ. Ecol.*, 10(1), pp. 24-38. [Korean Literature]
- Kau, SM and Lawler, DF (1995). Dynamics of deep-bed filtration-velocity, depth, and media, *Journal of Environmental Engineering*, 121(12), pp. 850-859.
- Kim, DY, Lee, SH, Im, SJ and Kwon, TH (2008). Analysis of correlation properties of daily rainfall amounts between flat regions and mountain regions, *Journal of Agriculture & Life Science*, 42(2), pp. 13-19. [Korean Literature]
- Kim, JY and Sansalone, JJ (2008). Event-based size distributions of particulate matter transported during urban rainfall runoff events, *Water Research*, 42(10-11), pp. 2756-2768.
- Kim, LH, Lee, EJ, Ko, SO, Kim, SG, Lee, BS, Lee, JK and Kang, HM (2006). Determination of First Flush Criteria in Highway Stormwater Runoff using Dynamic EMCs, *Journal of Korean Society on Water Quality*, 22(2), pp. 294-299. [Korean Literature]
- Lee SY, Maniquiz, MC, Choi, JY and Kim, LH (2009). Determination of EMCs for Rainfall Ranges from Transportation Landuses, *Journal of Wetlands Research*, 11(2), pp. 67-76. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE) (2012). *The Strategy of NPS Control in Korea*, Ministry of Environment, Korea. [Korean Literature]
- Perdikaki, K and Mason, CF (1999). Impact of road run-off on receiving streams in eastern England, *Water Research*, 33(7), pp. 1627-1633.
- Pitt, R, Khambhammettu, U, Andoh, R, Lemont, L, Osei, K and Clark, SE (2008). *Laboratory and field tests of the Up-FloTM Filter*, In Proceedings of the 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK.
- Seattle Public Utilities (SPU) (2013). *Green Stormwater Infrastructure*, Seattle Public Utilities, Seattle, USA.
- Sample, E, Blick, SA., Kelly, F and Skupien, JJ (2004). *New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual*, New Jersey Department of Environmental Protection, Division of Watershed Management, New Jersey, USA.
- Son, HG, Lee EJ, Lee, SY and Kim, LH (2008). Determination of nonpoint pollutant unit loads in toll-gate of highway, *Journal of Wetlands Research*, 10(1), pp. 69-75. [Korean Literature]

- 논문접수일 : 2013년 10월 25일
- 심사의뢰일 : 2013년 10월 25일
- 심사완료일 : 2013년 10월 29일