필터 여재 조건에 따른 강우유출수 침투시설의 폐색 특성

Clogging Characteristics of Stormwater Infiltration System According to Filter Media Conditions

이병식* · 김이형** · 구본홍***

Lee, Byungsik*, Kim, Leehyung**, and Goo, Bonhong***

Abstract

Filter clogging in stormwater infiltration system affects significantly on the removal efficiency and facility lifespan. Although contaminants are removed by clogging process, excessive clogging could reduce removal efficiency and terminate function. Thus, to understand influencing factors on the optimal design, is essential to accomplish effective operation and proper lifespan. In this study, effects of a particle diameter and layering of media on contaminant removal and clogging were examined by conducting a series of 1-D column infiltration tests. Pure, mixed and layered filters built with sand with particle size and gradation of 0.85~2 mm and 2~4.75 mm were tested. It was found from the tests that a pure small particle and a mixed filters clogged faster than a pure large particle filter. The filter layered as a large particle layer with thickness of 325 mm overlying a small particle layer with thickness of 250mm clogged slowly compared the filters involving small particles, but faster than the large particle filter. As a result, it was verified that the filter involved with small particles could be designed to improve removal efficiency. The filter composed of a large and a small particle layers was also verified to be the more efficient filter for the case where a long life span was required in addition to removal efficiency.

Key words : Stormwater Management System, Clogging, Filter Media

요 지

강우유출수 침투시설 운영 중 필터 폐색 현상은 시설의 오염물 처리 효율과 수명에 영향을 미친다. 오염물은 필터 폐색에 의해 제거되지만 과도한 폐색이 발생하면 처리시설의 효율 저감과 기능 정지를 초래할 수 있다. 따라서 처리시설의 효율적 운영과 수명 연장을 위한 적정설계가 요구되며, 이를 위한 영향인자 검토가 요구된다. 이 연구에서는 일차원컬럼침투시험을 통해 여재 입경 및 여재층 구성이 오염물 제거 및 폐색에 미치는 영향을 검토했다. 입도분포 0.85~2 mm와 2~4.75 mm인 2종의 모래 여재를 사용하여 순수, 혼합, 층으로 조성한 필터에 대해 시험했다. 시험결과 순수한 큰 입경 필터와 대비하여 순수한 작은 입경 필터와 혼합 필터에서 폐색이 빠르게 발생했다. 두께 325 mm의 큰 입경 모래층 밑에 두께 250 mm의 작은 입경의 모래층을 조합한 필터에서는 큰 입경 필터보다는 빠르지만 작은 입경이 포함된 필터 보다 폐색이 느리게 발생했다. 결과적으로 작은 입경 여재를 혼합하거나 혹은 층으로 조합하여 제거효율 향상을 모색하는 필터 설계가 가능함을 확인했다. 또한 제거효율 향상과 더불어 시설물 수명 연장이 함께 요구되는 경우에 큰 입경 여재층과 작은 입경 여재층을 조합한 필터가 효과적임을 검증했다.

핵심용어 : 강우유출수 처리시설, 폐색, 필터 여재

*교신저자, 정회원, 공주대학교 건설환경공학부 교수(Tel: +82-41-521-9309, Fax: +82-41-568-0287, E-mail: blee@kongju.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Kongju National University

**정회원, 공주대학교 건설환경공학부 교수(E-mail: leehyung@kongju.ac.kr)

Member, Professor, Department of Civil Engineering, Kongju National University

***대림산업(주) 부장(E-mail: kbh9043@dic.co.kr)

General Manager, Daelim Industrial Co. Ltd.

1. 서 론

비점오염 관리를 위한 도시 내 침투시설은 여재폐색을 통한 처리효율을 유지함과 동시에 폐색에 의한 기능상실의 가능성을 최소화할 수 있도록 설계되어야 한다. 이를 위해서는 필터 폐색 현상의 규명과 폐색에 대한 영향인자 검토가 요구된다(Kandra et al., 2014; Le Coustumer et al., 2012). 대표적인 영향인자로는 필터층과 관련한 식생, 여재의 모양, 크기, 두께, 구성 등을 들 수 있다. 또한 유입수와 관련한 영향인자로서 유입유량, 오염물질 농도, 크기, 부하량 등이 포함된다. 폐색현상 규명과 이들 인자들의 영향을 검토하기 위한 다양한 시험연구들이 지속적으로 수행되고 있다(Lee et al., 2014; Mercado et al., 2015; Segismundo, 2016; Segismundo et al., 2016, 2017; Siriwardene et al., 2007). 이들 연구에도 불구하고 영향인자 조합의 다양성으로 인해 기존에 다루지 못한 침투조건에 대한 지속적인 검토가 요구되고 있다.

이러한 배경에서 본 논문에서는 입도분포 0.85~2 mm와 2~4.75 mm인 2종의 모래여재를 사용하여 제작한 순수(Pure), 혼합(Mixed), 층으로 조성(Layered)한 필터에 대해 1차원 시험실 컬럼 침투시험을 수행했다. 침투시험은 기존 연구에서 주로 적용한 변수위 침투수두 조건에서 나아가 현장조건을 반영한 정수위 조건을 추가하여 각각 수행했다. 시험결과로부터 필터 조건과 유입수 침투 조건에 따른 폐색특성을 검토했다. 이들 결과에 근거하여 오염물 제거 능력을 향상하고 폐색을 저감함으로써 처리시설의 수명 연장을 도모하는 최적의 필터 조건을 탐색하여 제안했다.

2. 일차원 컬럼 침투 시험

2.1 시험방법

일차원 컬럼 침투시험은 선행연구(Segismundo, 2016)에서 개발한 장치를 준용하였고 개념도는 Fig. 1에 보인 바와 같다.

시험대상 필터 여재로는 모래를 선택했다. 모래는 제올라이트, 저회 등의 여재에 비해 입자파쇄가 유발하는 폐색에 대한 저항성이 높은 것으로 확인되었다(Segismundo et al., 2016). 따라서 필터 폐색에 크게 영향을 미치는 입자 파쇄를 최대한 배제한 조건에서 폐색에 대한 여재 입도 조합 및 층 구성의 영향을 조사하기에 적절한 재료로 판단되었다. 모래 여재는 상용 모래를 체가름하여 각각 입경 2~4.75 mm(“큰 입경”으로 칭함)와 0.85~2 mm(“작은 입경”으로 칭함)의 입도분포를 갖는 두 종류로 조제했다. 조제한 큰 입경과 작은 입경 여재에 대해서 곡률계수와 균등계수는 각각 1.60과 0.96, 1.29와 0.96으로, 비중은 동일하게 2.64로 구해졌다. 또한 통일분류법에 따른 흙의 분류에서 두 여재는 모두 입도분포가 나쁜 모래(SP)로 구분되었다.

큰 입경과 작은 입경 여재를 조합하여 여재 입도와 층 구성을 변화시킨 필터에 대한 침투시험을 수행했다. 수행된

침투시험을 필터 조건 및 유입수 침투 수리조건에 대해 구분하여 Table 1에 정리했다. 필터는 비다짐 조건으로 Table 1에 보인 간극비를 목표값으로 제작했다. 필터의 전체 깊이에서 균질한 공극을 확보하기 위해 원형컬럼을 분리하여 아래 부분부터 단계적으로 여재를 채워 나가면서 제작했다. Table 1에서 시험 1과 2는 선행연구(Segismundo, 2016)에서 수행한 기준시험(Base case)으로서 그 결과를 영향인자를 변화시킨 다른 시험결과와 비교했다.

침투시험에서 적용한 침투 수리조건은 침투 중 수두가 변하는 변수위 조건(Table 1에서 Varying)과 일정 수두를 유지하는 정수위 조건(Table 1에서 Constant)이다. 이들 조건은 현장 처리시설이 강우 시 경험하는 침투조건을 모사한 것이다. 변수위 조건에서는 Fig. 1에 보인 혼합수조에서 제조한 인공강우유출수를 강우 시 처리시설 유입수량으로 추정된 유량(Mercado et al., 2015)인 6 ml/sec로 필터 상단 표면에서 살포하여 공급했다. 정수위 조건에서는 필터 상단 표면으로부터 250 mm 높이로 수위를 유지하여 정수위 상태를 만족하도록 인공강우유출수를 지속적으로 공급했다.

침투시험 시 폐색이 발생하여 침투량이 크게 감소하면 시험을 종료했다. 여기서 폐색은 필터에서 유출되는 유출수량이 유입수량의 15 내지 20%까지 감소한 상태로 정의했다. 변수위 조건에서는 “연못현상(ponding)”으로 월류가 발생하는 경우의 폐색을 “빠른폐색(premature clogging)”으로 정의했다. 반면 월류가 발생하지 않는 상태에서 발생한 폐색은 “완전폐색(complete clogging)”으로 정의했다. 필터의 폐색도가 낮아 유출되는 침투유량이 크게 감소하지 않는 경우에는 총침투유량을 설정하여 침투시험의 종료 시점을 지정했다. 총침투유량은 침투시설의 관리주기 동안 침투시설이 통과시키는 강우유출수량으로부터 정한 값인 0.406 m^3 (침투유량을 필터단면적으로 나눈 값인 침투높이로는 80 m)로 적용했다.

침투수는 부유물을 포함한 강우유출수를 모사하기 위해 인공적으로 조제했다. 강우유출수에 포함된 중금속이 대부분 총부유물(TSS)에 흡착되어 있으므로 검토범위를 이에 국한했다. 도로에서 포집된 부유물 중 No.60체를 통과하는 입경 $250 \mu\text{m}$ 이하의 부유물을 순수한 물과 수조에서 혼합했다. 유출수의 농도는 TSS (total suspended solid) 150 mg/l로 조절했다. 부유물 입경과 유출수 농도는 기존연구(Duncan, 1999; Hatt et al., 2007; Siriwardene et al., 2007)에서 적용한 값을 준용하여 적용했다. 또한 미생물에 의한 부유물 오염과 필터 시스템 내에서 발생 가능한 미생물 활동 방지를 위해 차아염소산나트륨 용액을 인공 강우유출수에 혼합했다.

2.2 시험결과 측정

침투시험 중 침투컬럼으로부터의 유출 유량을 시험 시작 2시간 내에는 15분 간격, 2시간 이후에는 30분 간격으로 연속 측정했다. 변수위 조건인 경우에 연못 높이의 변화를

Fig. 1. 1-Dimensional Infiltration Testing Setup

Fig. 2. Sampling and Monitoring Locations

Table 1. Infiltration Testing Cases (Segismundo, 2016; Koo, 2016)

Tested Effect	Test No.	Infiltration Condition	Filter Thickness (mm)	Particle Size (mm)	Layer	Porosity
Base Case	1	Varying	575	2~4.75	Pure, Single	0.509
	2	Constant				
Media Particle Size	3	Varying	575	0.85~2	Pure, Single	0.509
	4	Constant				
Filter Media Combination	5	Varying	575	2~4.75	Layered, 2-Layer top 325mm(2~4.75) bottom 250mm(0.85~2)	0.509
	6	Constant	(325+250)	0.85~2		
	7	Varying	575	2~4.75	Mixed, Single 50% : 50%	0.600
	8	Constant		0.85~2		

함께 측정했다. 또한 각 측정시간에 유입 유출수를 채취하여 TSS 농도 변화를 측정했다. 최종 채취한 시료에 대해서는 입경 250 μm 이하 부유물의 입도분포를 Coulter counter를 이용하여 분석했다(Greenberg et al., 1992).

정수위 조건에서는 공극 폐색 진행에 따른 침투층의 투수성 변화를 조사하기 위해 Fig. 2에 보인 바와 같이 침투층을 깊이 별로 4개 구간(층 1~4)으로 구분했다. 각 구간에 설치한 수두측정장치를 사용하여 측정시간에 따른 구간 별 압력수두의 변화를 측정했다.

침투시험 종료 후에는 필터 컬럼을 5개 부위(Fig. 2, 층 A~E)로 분해하여 시료를 채취하고 각 부위에서 포집된 부유물 양과 입도분포를 측정했다. 입도분포는 채취한 시료를 오븐 건조 후 체가름하여 입경 250 μm 미만의 입자를 선별한 후 Coulter counter로 분석했다.

3. 시험결과 및 분석

일차원 컬럼 침투시험 결과로부터 여재 입도와 층 구성 조합에 따른 필터의 침투 및 폐색 특성 변화를 분석했다.

결과를 바탕으로 처리시설의 부유물 제거 능력 향상 및 수명 유지를 위한 최적 필터 조건을 검토했다.

3.1 폐색 특성

침투시험에서 시험 지속시간 동안 측정한 유량을 초기 유량에 대해 정규화한 값을 정규화침투율(normalized infiltration ratio)로 정의했다. 시간에 따른 정규화침투율의 변화는 필터의 폐색진행을 예시하는 결과이다. 정규화침투율 감소가 매우 빠르게 진행되는 경우에 필터가 빠르게 폐색되어 기능을 상실함을 나타낸다.

필터 폐색의 대표적인 경우로서 Table 1의 시험 1과 2의 경우에 대해서 정규화침투율의 변화를 침투시간과 필터의 처리유량에 상응하는 침투높이에 대해 Figs. 3(a)와 (b)에 각각 나타냈다. 이 결과에서 변수위 침투조건에서는 빠른폐색, 즉 침투율이 15~20%까지 감소되기 전에 월류가 발생하여 시험이 종료되었다. 연못현상은 침투시작 4시간 후(침투높이 16.7 m)에 시작되었다. 반면 정수위 조건에서는 총침투유량이 모두 침투될 때 까지 폐색이 발생하지 않았다.

Fig. 3(a)의 결과에서 필터 폐색은 변수위 시험보다 정수위

(a) Variations in Time

(b) Variations in Infiltration Height

Fig. 3. Variations of Normalized Infiltration Ratio

시험에서 빠르게 진행되는 것으로 나타났다. 이는 Fig. 3(a)와 (b)의 결과를 함께 고려할 때 일정 시간동안 변수위 시험보다는 정수위 시험에서 더 많은 양의 침투수가 필터를 통과하기 때문으로 추정된다. 하지만 Fig. 3(b)와 같이 침투율 감소를 필터가 처리하는 침투유량에 대해서 고려하면 필터폐색은 정수위 및 변수위 침투 수두조건에 관계없이 침투유량 증가에 따라 유사한 정도로 진행함을 알 수 있다. 결과적으로 필터폐색 진행 특성은 침투시간보다는 침투높이에 대한 변화를 근거로 분석하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

여재 입도 조합 및 층 구성에 따른 폐색 진행 특성 변화를 검토하기 위해 Table 1의 모든 시험에 대해서 침투높이(침투유량)에 따른 정규화침투율 변화를 Fig. 4에 비교했다. 시험 결과에서 변수위 침투조건에서 폐색 진행 속도는 시험 7(작은 입경 혼합 필터), 시험 3(작은 입경 순수 필터), 시험 5(작은 입경 층을 포함한 필터), 시험 1(큰 입경 순수 필터)의 순으로 빠른 것으로 나타났다(Fig. 4(a)). 정수위 침투조건에서는 시험 4(작은 입경 순수 필터)가 시험 8(작은 입경 혼합 필터) 보다 빠르게 폐색되었다(Fig. 4(b)).

시험결과에 근거하여 큰 입경 순수 필터의 경우에는 처리효율이 상대적으로 낮은 단점이 있지만 시설 유지 면에서는 가장 유리할 것으로 기대된다. 작은 입경 순수 필터와 작은 입경 혼합 필터는 변수위 및 정수위 조건 모두에서 매우

빠르게 폐색되는 것으로 나타나 이를 필터여재로 적용 시 처리시설의 기대수명이 짧아질 것으로 예상된다. 층으로 조성된 필터의 경우 처리 및 유지관리 면에서 적절한 수준을 나타낸 것으로 판단된다. 층 조성을 최적화할 경우 적정 수준의 처리효율과 기대수명의 처리시설을 얻을 수 있어 현장적용성이 우수한 필터로 기대할 수 있다.

변수위 조건 침투에서는 $\Delta Water Flux$ (침투유량의 유출입량 차이 값)과 $\Delta Sediment Flux$ (부유물의 유출입량 차이 값)의 시간(침투유량)에 따른 누적 변화를 구해 필터 폐색 진행과 오염물처리 상태를 검토할 수 있다. Fig. 5에 Table 1의 시험 1, 3, 5, 7에 대한 결과를 나타냈다.

Fig. 5(a)의 결과에서 변화곡선의 기울기는 필터의 폐색진행 속도를 반영한다. 시험 1(큰 입경 순수 필터)과 시험 5(작은 입경 층을 포함한 필터)의 경우에 유사한 속도로 폐색이 진행되었음을 볼 수 있다. 작은 입경 여재가 필터층 전체에 분포한 시험 3(작은 입경 순수 필터)과 시험 7(작은 입경 혼합 필터)의 변화곡선은 시험 1(큰 입경 순수 필터)과 시험 5(작은 입경 층을 포함한 필터) 변화곡선보다 급한 기울기로 나타나 폐색이 보다 빠르게 진행되었음을 알 수 있다.

Fig. 5(b)의 결과에서 부유물 변화곡선의 기울기가 클수록 부유물이 빠르게 제거됨을 나타낸다. 시험조건에 따라 기울기

(a) Varying Head Condition

(b) Constant Head Condition

Fig. 4. Variations of Normalized Infiltration Ratio

(a) Δ Water Flux

(b) Δ Sediment Flux

Fig. 5. Variations of Water and Sediment Flux in Varying Head Condition

가 크게 변하지 않아 폐색이 발생하기 전까지 부유물 제거 속도는 모든 조건에서 유사한 것으로 나타났다. 또한, 부유물 변화곡선의 변곡점이 침투유량 변화곡선의 변곡점과 거의 일치하는 것으로 나타나 유출유량은 부유물 유출량 변화에 따라 결정됨을 확인할 수 있다.

정수위 조건 침투시험에서는 폐색현상을 필터의 층별 투수성 변화로 나타낼 수 있다. 대표적인 결과로서 Fig. 6(a)에 시험 2(큰 입경 순수 필터)에 대한 결과를 보였다. Fig. 6(a)에서 필터 컬럼의 투수계수 감소는 표면층(층 1)에서 지배적으로 발생하였음을 볼 수 있고 이 추세는 다른 시험의 경우에도 동일하게 나타났다. 이러한 경향은 필터 컬럼 표면에 형성되는 케이크상태의 폐색층으로 인한 투수성 감소에 기인하는 것으로 추정된다. 필터 컬럼의 층 2~4에서는 침투 진행에 따라 투수성이 지속적으로 변동했다. 이는 침투수에 의해 필터 공극을 통한 유로로 이동, 퇴적, 재이동의 현상을 지속하는 부유물의 거동특성을 반영하는 것으로 추정된다.

표면층에서의 투수계수 감소 경향에 필터 조건이 미치는 영향을 보기 위해 모든 시험에 대해 표면층에서의 투수계수 변화를 함께 비교하여 Fig. 6(b)에 보였다. 그림의 결과를 보면 시험 2(큰 입경 순수 필터)의 경우에 표면층에서 투수성 감소가 상대적으로 가장 느리게 발생하였고, 다음으로 시험

6(작은 입경 층을 포함한 필터)에서 느린 감소 추세를 보였다. 시험 8(작은 입경 혼합 필터)과 시험 4(작은 입경 순수 필터)에서는 투수성이 매우 빠르게 감소함을 확인했다.

3.2 부유물 제거 특성

필터 컬럼 5개 부위에서 채취한 전체 시료에 대해서 입경 250 μ m 미만 부유물 양의 깊이 별 백분율을 Fig. 7에 나타냈다. 그림의 결과에서 250 μ m (No.60체) 미만 입경의 부유물은 필터 전체 깊이의 20% 내에서 약 70% 이상 포집되고 깊이가 20% 보다 증가하면 매우 빠르게 감소하는 현상이 나타났다. Figs. 7(a)와 (b)를 비교하면 이러한 추세는 변수위 및 정수위의 침투조건에 관계없이 유사하게 나타남을 볼 수 있다. 침투조건에 상관없이 상대적으로 작은 입경의 여재를 함유한 시험 3, 7과 시험 4, 8의 경우에 상부층에서 걸러지는 부유물의 양이 80% 이상으로 다른 경우보다 많아 표면층 폐색 현상의 가속 원인이 되는 것으로 추정된다.

깊이 별로 걸러진 250 μ m 보다 작은 입자들의 입도분포 결과를 이용하여 필터컬럼의 각 깊이에서 부유물의 크기에 따른 포집량의 변화를 Table 1의 모든 시험들에 대해 Fig. 8에 보였다. 그림의 결과에서 입자크기 100~250 μ m 구간 크기의 부유물은 필터 상부에서 대부분 걸러지는 현상을

(a) Variation of Permeability for Test No. 2

(b) Variation of Permeability in Layer 1

Fig. 6. Variations of Permeability in Constant Water Condition

(a) Varying Head Condition

(b) Constant Head Condition

Fig. 7. Contaminant Removal Percentage According to Filter Depth

(a) Test No. 1 (Large Particle Filter), Varying

(b) Test No. 2 (Large Particle Filter), Constant

(c) Test No. 3 (Small Particle Filter), Varying

(d) Test No. 4 (Small Particle Filter), Constant

(e) Test No. 5 (Layered Filter), Varying

(f) Test No. 6 (Layered Filter), Constant

(g) Test No. 7 (Mixed Filter), Varying

(h) Test No. 8 (Mixed Filter), Constant

Fig. 8. Particle Size Distribution of Removed Contaminant According to Filter Depth

볼 수 있다. 크기가 작은 입자들은 상대적으로 깊은 깊이에서 포집되었다. 0~25 μm 구간 크기의 부유물포집량은 깊이에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 이들 결과로부터 전반적으로 부유물 입자크기가 작을수록 필터 내 깊은 층까지 이동할 확률이 높은 것으로 추정할 수 있다. 필터 조건에 대해서는 입자 크기가 작은 여재를 포함한 필터의 경우에 깊은 층까지 이동하는 작은 입자들의 양이 증가되었다.

또한 Fig 8의 결과에서 침투 조건이 부유물의 이동 깊이에 영향을 미치는 현상을 볼 수 있다. 정수위 조건에서는 100~250 μm 구간 크기의 부유물이 변수위 조건에서 보다 깊은 깊이까지 이동했다. 이 원인으로는 정수위 시험의 경우에 침투조건이 일정수두로 항상 유지되므로 상대적으로 큰 입자들을 이동시킬 수 있는 침투력이 지속적으로 작용하였기 때문으로 추정된다.

3.3 부유물 제거 효율

필터조건에 따른 부유물 제거효율을 검토하기 위해 250 μm 미만 부유물의 입경별 제거율을 변수위 및 정수위 침투조건에 대해 Fig. 9에 각각 보였다.

변수위 조건에서는 25 μm 미만 크기의 부유물 제거율이 상대적으로 낮았다(Fig. 9(a)). 하지만 순수한 작은 입경 여재 혹은 이를 포함한 필터의 경우에는 50 μm 이상 크기의 부유물이 거의 제거되어 정수위 조건의 경우보다 제거율이 높았다. 이는 작은 입자의 여재가 형성하는 공극이 상대적으로 작고 변수위 조건에서는 투수력이 작아 50 μm 이상 크기의 부유물들이 공극에서 퇴적할 확률이 정수위 조건의 경우보다 컸기 때문으로 추정된다.

정수위 조건에서는 모든 필터조건과 부유물 크기에 대해서 제거효율이 95% 이상으로 나타났다(Fig. 9(b)). 정수위 조건에서는 필터층 공극의 폐색 깊이가 입경이 큰 부유물 침투로 인해 증가하였다(Fig. 8). 이 현상으로 인해 상대적으로 작은 입경의 부유물들이 필터 외부로 유출되는 가능성이 감소되고, 결과적으로 부유물 제거율이 전반적으로 상승한 것으로 추정된다.

Fig. 9의 결과에서 부유물 제거율은 작은 입경 여재를

포함한 필터를 정수위 조건에서 운영하는 경우에 가장 높았다. 하지만 제거율의 차이는 다른 경우와 대비하여 크지 않았다. 결과적으로 이 논문에서 시험한 필터들의 부유물 제거 기능은 대체적으로 양호한 수준으로 판단된다.

4. 결 론

강우유출수침투시설 최적화 설계를 위한 필수 자료로서 필터의 폐색 특성과 오염물 제거 효율을 조사하기 위한 일차원 컬럼 침투시험을 수행했다. 필터의 폐색특성과 제거 효율에 영향을 미치는 다양한 영향인자 중에서 여재 크기, 여재 혼합 및 층 구성, 침투 수리조건 등의 인자들을 중점으로 검토하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 큰 입경(2~4.75 mm) 순수 필터와 대비하여 작은 입경(0.85~2 mm) 순수 필터와 작은 입경 혼합 필터에서 폐색이 빠르게 발생했다. 작은 입경 층을 포함한 필터에서는 큰 입경 필터보다는 빠르지만 작은 입경 필터와 작은 입경 혼합 필터의 경우 보다 폐색이 느리게 발생했다.
- (2) 필터 깊이에 따른 부유물 포집 특성에 대한 여재 크기와 침투조건의 영향을 확인했다. 작은 입경 필터는 상부층에서 다른 필터보다 많은 양의 부유물을 포집하여 필터 폐색이 가속화되었다. 정수위 침투조건에서 큰 크기의 부유물이 필터의 깊은 층까지 이동하여 포집되었다.
- (3) 필터의 부유물 제거율은 변수위 침투조건에서 보다 정수위 침투 조건에서 다소 높았다. 작은 입경 여재를 함유한 필터의 경우에 큰 입경 필터보다 제거율이 높게 나타났다.
- (4) 결과적으로 작은 입경 여재를 혼합하거나 혹은 층으로 조합하여 제거효율 향상을 모색하는 필터 설계가 가능함을 확인했다. 또한 제거효율 향상과 더불어 시설물 수명 연장이 함께 요구되는 경우에 큰 입경 여재층과 작은 입경 여재층을 조합한 필터가 효과적임을 검증했다.

(a) Varying Head Condition

(b) Constant Head Condition

Fig. 9. Contaminant Removal Efficiency According to Particle Diameter

감사의 글

본 연구는 BK21+ LID/GSI 인력양성사업 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Duncan, H.P. (1999) *Urban Stormwater Quality: A Statistical Overview*. Cooperative Research Centre of Catchment Hydrology, Report 99/3, Melbourne, Australia.
- Greenberg, A.E., Clesceri, L.S., and Eaton, A.D. (1992) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (18th edn.). American Public Health Association (APHA). Washington, DC, USA.
- Hatt, B.E., Fletcher, T.D., and Deletic, A. (2007) Treatment Performance of Gravel Filter Media: Implications for Design and Application of Stormwater Infiltration Systems. *Water Research*, Vol. 41, No. 12, pp. 2513-2524.
- Kandra, H.S., Deletic, A., and McCarthy, D. (2014) Assessment of Impact of Filter Design Variables on Clogging in Stormwater Filters. *Water Resources Management*, Vol. 28, No. 7, pp. 1873-1885.
- Koo, B.H. (2016) *Studies for the Clogging of Granular Media Filter in LID Infiltration Facilities*. Ph.D. dissertation, Kongju National University.
- Le Coustumer, S., Fletcher, T.D., Deletic, A., Barraud, S., and Poelsma, P. (2012) The Influence of Design Parameters on Clogging of Stormwater Biofilters: A Large-scale Column Study. *Water Research*, Vol. 46, pp. 6743-6752.
- Lee, B., Kim, L.-H., Lee, K.-H., Jeon, P.-G., and Segismundo, E. (2014) Modeling of Suspended Solid Clogging of Porous Media in Urban Stormwater Infiltration Facility. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 14, No. 6, pp. 427-437.
- Mercado, J.M.R., Maniquiz-Redillas, M.C., and Kim, L.-H. (2015) Laboratory Study on the Clogging Potential of a Hybrid Best Management Practice. *Desalination and Water Treatment*, Vol. 53, No. 11, pp. 3126-3133.
- Segismundo, E.Q. (2016) *Experimental Analysis of Particle Breakage and Clogging Potential for Granular Filter Media Used in Stormwater Management Systems*. Master's thesis, Kongju National University.
- Segismundo, E.Q., Kim, L.-H., Jeong, S.-M., and Lee, B.-S. (2017) A Laboratory Study on the Filtration and Clogging of the Sand-Bottom Ash Mixture for Stormwater Infiltration Filter Media. *Water*, Vol. 9, No. 1, p. 32.
- Segismundo, E.Q., Koo, B.-H., and Lee, B. (2016) Effects of Media Breakage on Infiltration Characteristics in Stormwater Management System. *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol. 32, No. 2, pp. 31-41.
- Siriwardene, N.R., Deletic, A., and Fletcher, T.D. (2007) Clogging of Stormwater Gravel Infiltration Systems and Filters: Insights from a Laboratory Study. *Water Research*, Vol. 41, No. 7, pp. 1433-1440.

Received	December 27, 2017
Revised	December 28, 2017
Accepted	January 12, 2018