



코튼볼 여재의 여과 특성 실험 연구

An experimental study on the filtration test of cotton ball filters

김성홍¹·김희준²·김동한^{3,*}

Sunghong Kim¹·Heejun Kim²·Donghan Kim^{3,*}

¹조선대학교 토목공학과, 광주광역시 동구 필문대로 309, 61452

²에스알휴먼테크 기술연구소, 경기도 하남시 덕산로 15번길 87, 13017

³서원대학교 환경공학과, 충북 청주시 서원구 무심서로 377-3, 28674

¹Department of Civil Engineering, Chosun University, Gwangju, Dong-gu, Pilmun-daero, 309, 61452

²SRHuman Tech. Inc. R&D Center, Gyeonggi, Hanam, Deoksan-ro 15beon-gil, 87, 13017

³Department of Environmental Engineering, Seowon University, Chungbuk, Cheongju, Seowon-gu, Musimseo-ro, 377-3, 28674

pp. 001-008

pp. 009-016

pp. 017-029

pp. 031-041

pp. 043-053

pp. 055-062

pp. 063-077

pp. 079-086

ABSTRACT

In order to measure the filtration characteristics of a cotton ball shape filter, the experiments of suspended solids(SS) surrogate material selection and filtration performance have been carried out in this study. Between the two materials of powdered activated carbon(PAC) and powdered red-clay, PAC is more suitable surrogate material in terms of experimental criteria and particle size distribution in the non-point source pollutants removal system. As a result of the filtration experiments with the cotton ball shape filter, the initial headloss was about 8 cm, and the headloss slightly increased over filtration time. The Kozeny-Carman equation was used to analyze the changes of pressure and porosity during the filtration. The initial porosity was calculated as 0.945 and it decreased to 0.936 at the end of design filtration time. As the filtration continued, the SS concentration of the filtered water gradually increased and the SS removal rate gradually decreased. When the SS target removal efficiency is assumed to be 80%, the cumulative SS removal capacity is expected as 28.8 kg/m². This means the volume loading rate of the cotton ball shape filter can be 115 m³/m² when the typical SS concentration of non-point source water pollution is assumed as 250 mg/L.

Key words: Cotton ball, Filtration, Kozeny-Carman equation, Non-point source water pollution, Particle size analysis

주제어: 코튼볼, 여과, Kozeny-Carman 식, 비점오염, 입경분석

1. 서론

비점오염원(非點汚染源)이라 함은 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등으로서 불특정 장소에서 불특정하게 수질오염물질을 배출하는 배출원을 말한다(물환경보전법 제2조 제2항). 관거나 수로를 통해 일정한 지점에서 배출되는 점오염원에 비해 강우에 따라 배출되는 것이 특징으로 농도변화나 유량변화가 특히 심해

서 수집과 처리에 많은 어려움이 따른다. 우리나라는 2004년부터 4대강 비점오염원관리 종합대책을 수립하여 제도를 정비하고, 국가 차원에서 시범사업을 실시하며, 조사 연구 및 모니터링을 진행해오고 있으며, 2008년부터 비점오염원 저감시설 설치를 국가보조사업으로 실시하여 비점오염원에 의한 수계오염을 적극적으로 대처하고 있다.

한편, 국제적으로는 물관리정책이 물공급도시(water supply city)에서 점차 물민감도시(water sensitive city)로 변화하면서 보다 자연친화적이고 지속가능한 개발

Received 21 December 2018, revised 19 January 2019, accepted 28 January 2019.

*Corresponding author: Donghan Kim (E-mail: kdh@seowon.ac.kr)

이 조화를 이루는 방향으로 진행되고 있다 (Brown et al., 2016). 물민감도시 시대의 한 축은 저영향개발(LID, Low Impact Development)이다. 저영향개발은 열섬현상, 지표면 포장에 따른 침투 감소로 지하수위 저하 및 홍수량 증가 등 도시 개발에 따라 발생하는 악영향을 최소화하는 개발정책을 말한다. 주요 저영향개발 기술에는 빗물정원, 옥상녹화, 침투도랑이나 침투포장, 비점오염저감시설 등이 있다 (Kang et al., 2009; Ham et al., 2010; Shin and Youk, 2012; Lee et al., 2014; Reddy et al., 2014).

환경부에서는 ‘건강한 물순환 체계 구축을 위한 저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인’을 마련하고 국내 저영향개발에 대한 인식 확산 및 현장 적용을 촉진하기 위해 기술요소의 선정, 설치 및 유지관리 방법 등을 제시하였다. 또한, ‘비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼’을 발간하여 비점오염저감시설의 설치, 관리, 운영의 세부적인 기준을 마련하였다. 이에 앞서 ‘환경영향평가지 저영향개발(LID)기법 적용 매뉴얼’이 작성되어 정책수립이나 개발계획 단계에서 저영향개발기법이 적절히 반영되었는지 여부를 평가할 수 있는 근거가 마련되었다 (Ministry of Environment, 2018). 환경부는 ‘비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼’을 보완하여 안전기준 및 기술개발시 실험 방법을 구체적으로 명시한 개정판을 2016년에 발간하였다. 여기에는 기술개발자가 비점오염저감시설을 새로 개발할 때 실험이 필요한 설계인자와 실험 조건, 성능 기준 및 유지관리에 필요한 적절한 운영인자를 실험을 통해 입증하도록 하였다 (Ministry of Environment, 2016).

비점오염원의 오염물질 종류와 농도는 그 발생원에 따라 매우 다양해서 특정한 기준을 제시할 수는 없으나 이 매뉴얼에 따르면 처리대상 오염물질의 기준으로 부유물질(SS, Suspended Solids)을 선정하고 있으며, 유입농도는 SS 기준 150~350 mg/L 범위 내에서 실험하도록 하고 있다 (Kim and Kang, 2004; Ministry of Environment, 2016; Angrill et al., 2017). 또한, 이 농도 범위에서 여과형 비점오염저감시설의 효율은 SS 제거율 80% 이상이 되는지를 실험을 통해 확인할 수 있도록 정하고 있다. 제거효율 측정은 유입 고형물부하가 4~6 kg/m²의 150%에 도달할 때까지 실시하여야 한다. 그리고 여과시설의 SS 제거율은 SS 입경 분포에 따라 달라질 수 있으므로 실내실험을 수행하는 경우 입경

은 63 μm(sieve #230) 이하의 입자가 전체의 70~80%를 차지하고 나머지가 10~20%를 차지하는 유입수를 사용하도록 하며, 최대 200 μm를 넘지 않을 것을 규정하고 있다 (Ministry of Environment, 2016). 이것은 모래와 같은 입경이 큰 재료를 사용해서 인공 유입수를 조제하여 여과실험을 실시할 경우 실제보다 SS 제거율이 훨씬 더 높게 평가될 가능성이 크기 때문이다.

또한, 이 매뉴얼에서는 비점오염물질 여과장치에서 여과속도는 20 m/hr 이하가 적당하고, 여재층의 두께는 60 cm 정도가 바람직하다고 제시하였다. 여과 전후의 손실수두는 10 cm를 초과하지 않으며, 역세척이 가능하고, 역세척 후 손실수두가 최초의 값으로 환원될 수 있는 여재를 공통 조건으로 규정하고 있다 (Ministry of Environment, 2016).

본 연구는 이러한 배경 하에서 실험을 통해 여과형 비점오염저감시설의 여과성능실험에 적합한 대체물질을 제시하여줌으로써 유사한 실험을 실시하고자 하는데 도움이 되도록 하였으며, 또한 여재로 많이 사용되는 코튼볼 여재의 여과 특성을 실험하고, 여과에 미치는 영향인자를 분석하여 설계에 활용할 수 있도록 하였다.

2. 실험 재료 및 방법

비점오염원에서 발생하는 부유물질이 대부분 흙이나 모래, 도로먼의 타이어 가루, 비산먼지 등 60 μm 이하의 미세입자가 많고, 유기물과 무기물이 섞여 있는 특징이 있다. 본 연구에서는 이를 고려하여 분말활성탄(PAC)과 분말황토를 비점오염원의 대체물질로 선정하였다. 사용한 PAC는 시판하는 국내산 석탄계 활성탄(activated charcoal)이며, 비중이 2.0~2.1 정도로서 흙의 비중 2.6~2.9보다는 작으나 일반적인 유기물의 비중보다는 높은 수준이다. 분말황토 역시 시판하는 국내산 황토이며 325메시 이하의 건조 분말 형태의 황토를 구입하여 사용하였다. 여과형 비점오염저감시설의 여과성능 실험에서 유입수의 SS 기준은 입도분포이다. 따라서 기준에 적합한 입도분포를 가지는 대체재료를 선정하기 위하여 우선 입도분석실험을 실시하였다.

기기의 매뉴얼에 따라 입도분석은 Particle Sizing Systems사의 ACCUSIZER 780을 사용하였다. 입도분석은 1.4 μm에서 210 μm 범위에서 102채널을 사용하였는데,



Table 1. Properties of cotton ball filter

Material	Diameter (cm)	Shape	Density (g/cm ³)	Porosity
Polypropylene	2.0	Round	1.005	0.95

각 채널의 폭은 log 단위 등간격으로 배분하였으므로 작은 입자부분은 채널 폭이 작고(최소 0.07 μm) 큰 입자 부분은 채널 폭이 크게(최대 10.2 μm) 구분되었다 (Particle Sizing Systems, 2001). 본 연구에서 사용한 코튼볼 여재는 Table 1과 같이 폴리프로필렌 재질의 구형 여재로서 입경은 약 2.0 cm이며, 밀도는 1.005 g/cm³, 공극률은 95%로 측정되었다.

코튼볼 여재의 손실수두 측정 및 여과 실험을 위해 27 cm(W) × 27 cm(L) × 160 cm(H) 정방형의 스테인리스제 여과조를 제작하고, 여과조 바닥에서 50 cm 높이에 60 cm 두께로 코튼볼 여재를 충전한 후, 여러 가지 유입 유속에 대하여 손실수두 변화를 측정하였다. 여과속도는 매뉴얼의 제안 속도가 20 m/hr인 점을 감안하여 10 m/hr부터 60 m/hr까지 여과속도에 따른 손실수두 변화를 측정하였다. 실험장치는 Fig. 1과 같이 1.5 m³ 용량의 원수탱크, 저류조, 여과조, 세척수조로 구성되어 있다. 원수탱크는 침전을 막기 위해 교반기를 설치하였고, 유입펌프 및 유량계를 설치하여 원수 유입량을 조절하였다. 여과조는 상향류 여과방식으로 저류조를 거친 유입수가 여과조 아래에서 유입하여 60 cm 두께의 여과조를 거친 후 상부로 유출된다. 유출된 여과수는 저류조에 저장되고 처리수는 외부로 배출된다. 여재층이 폐색되면 세척조의 펌프를 가동하여 여재층 세척을 실시하는데 세척은 하향류 방식이며

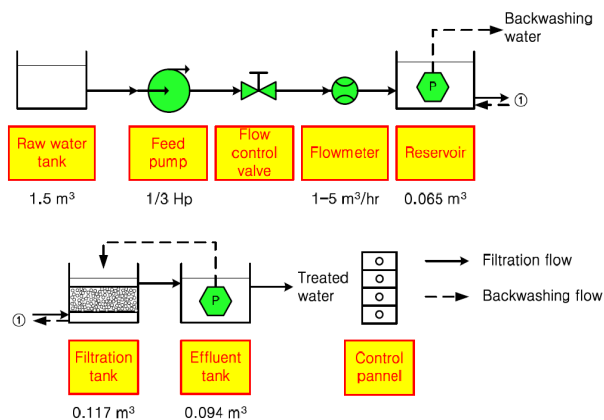


Fig. 1. Experimental devices for the filtration test.

세척수는 저류조에 모았다가 외부로 배출한다. 무부하 손실수두 측정 이후에는 선정된 대체물질로 조절된 유입 원수를 대상으로 한 여과실험을 실시하여 여과 성능 및 영향인자에 대해 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 입도분포와 대체물질 선정 실험

평균입경을 산출하는 방법은 여러 가지가 있다. 가장 쉽고 흔한 방법은 식 (1)과 같은 개수기준 평균입경이 있는데, 이 외에도 식 (2)~(4)와 같이 길이가중평균, 면적가중평균, 체적가중평균 등이 있다 (Particle Sizing Systems, 2001). 여과의 원리는 체작용, 흡착, 침전의 기작이 모두 일어나는데, 체작용은 미세공극보다 큰 입자가 미세공극을 통과하지 못하고 걸러지는 원리이므로 길이보다는 면적차원에 비례할 것이다. 반면에, 흡착과 침전은 여재층 사이의 낮은 유속으로 인해 입자가 여재 표면에 들러붙거나(흡착) 여재에 침전되는 것이므로 부피차원에 비례할 것이다. 따라서 여과에서의 부유물질 평균입경은 개수나 길이가중평균보다는 면적이나 체적가중평균값이 더 적절하다고 볼 수 있다.

$$D^N = \frac{\sum_{i=1}^n N_i D_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (\text{Number-wt. mean}) \quad (1)$$

$$D^L = \frac{\sum_{i=1}^n N_i D_i D_i}{\sum_{i=1}^n N_i D_i} \quad (\text{Length-wt. mean}) \quad (2)$$

$$D^A = \frac{\sum_{i=1}^n N_i D_i^2 D_i}{\sum_{i=1}^n N_i D_i^2} \quad (\text{Area-wt. mean}) \quad (3)$$

$$D^V = \frac{\sum_{i=1}^n N_i D_i^3 D_i}{\sum_{i=1}^n N_i D_i^3} \quad (\text{Volume-wt. mean}) \quad (4)$$

pp. 001-008

pp. 009-016

pp. 017-029

pp. 031-041

pp. 043-053

pp. 055-062

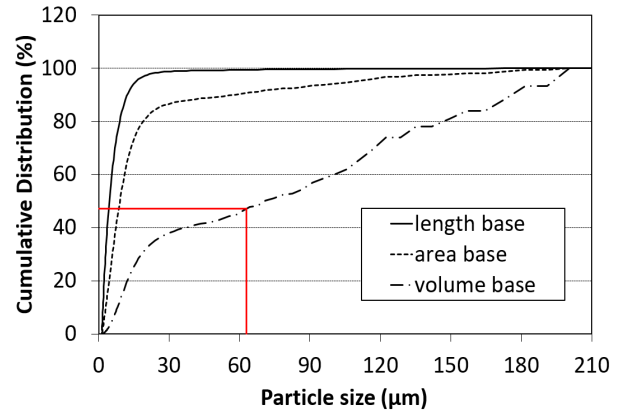
pp. 063-077

pp. 079-086

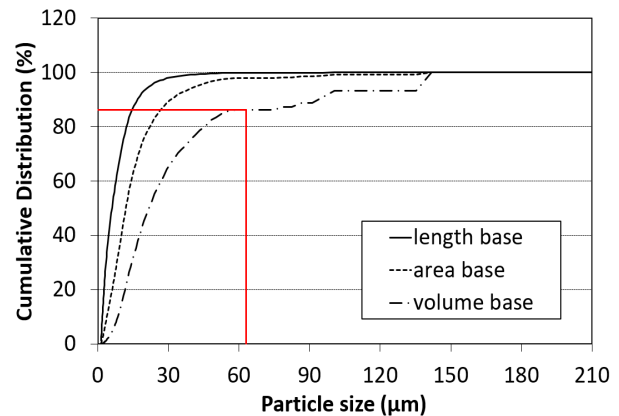
- D^N = number weighted mean particle diameter
- D^L = length weighted mean particle diameter
- D^A = area weighted mean particle diameter
- D^V = volume weighted mean particle diameter
- n = number of channels ($n = 102$ in this experiments)
- N_i = number of particles in channel i with diameter D_i
- D_i = diameter of channel i (use geometrical average)

Fig. 2에 실험에 사용한 분말황토와 PAC의 입도분석 결과를 비교하였고, Table 2에 두 재료의 % 통과 입경, 가중평균입경 및 균등계수를 계산하여 표시하였다. 실험 기준인 63 μm 이하인 입자는 길이 기준에서는 두 재료 모두 80% 이상으로 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 부피를 기준으로 계산해 보면 PAC는 63 μm 이하가 전체의 80%를 초과하여 실험 기준에 적합한 반면, 황토는 47%밖에 되지 않아 실험 재료로서 적합하지 않다고 볼 수 있다.

분말황토는 길이가중평균입경은 3.8 μm 로 작으나 체적이중평균입경은 81 μm 로 매우 크게 나타났다. 이는 상대적으로 큰 입자가 많이 분포하는 것을 의미한다. 반면에 PAC는 길이가중평균입경은 4.4 μm 로 비슷한 수준이지만 체적이중평균입경은 35.5 μm 로 그 차이가 분말황토보다 적다. 균등계수는 60% 통과 입경(d_{60})을 10% 통과입경(d_{10} , 유효입경)으로 나눈 값으로서, 균등계수 값이 1이면 모든 입자가 단일 입경을 가지는 경우이며, 혼합 입경인 경우 균등계수는 1보다 크게 된다. 따라서 균등계수 값이 클수록 큰 입자와 작은 입자가 고르게 섞여 있음을 의미한다. 유효입경과 균등계수 값을 보아도 분말황토와 PAC의 d_{10} 이 약 8 μm 로 비슷한 반면 d_{60} 은 분말황토가 100 μm 로서 PAC의 27 μm 보다 훨씬 크다. 이에 따라 균등



(a) Red clay



(b) PAC

Fig. 2. Particle size distribution of the two surrogate materials.

계수는 분말황토가 12.5로 매우 높은 반면 PAC는 3.2로 훨씬 작다. 이것은 PAC는 큰 입자가 많지 않고, 평균입경 정도의 입자가 상대적으로 많이 분포하고 있음을 의미한다. 따라서 여과 실험에는 큰 입경의 입자 수가 상대적으로 적고, 63 μm 이하가 체적 기준 80% 이상이며, 균등계수가 작은 PAC가 비점오염저감시설의 여과 실험 대체물질로 더 적합한 것으로 판단된다.

Table 2. Various particle size indexes

Parameter	Red clay	PAC	Remark
% less than 63 μm	99.4	99.8	length base
	47.1	86.2	volume base
Mean diameter (μm)	3.8	4.4	length weighted
	81.0	35.5	volume weighted
d_{10} (μm)	8.0	8.5	
d_{60} (μm)	100	27	
Uniformity coefficient (d_{60}/d_{10})	12.5	3.2	

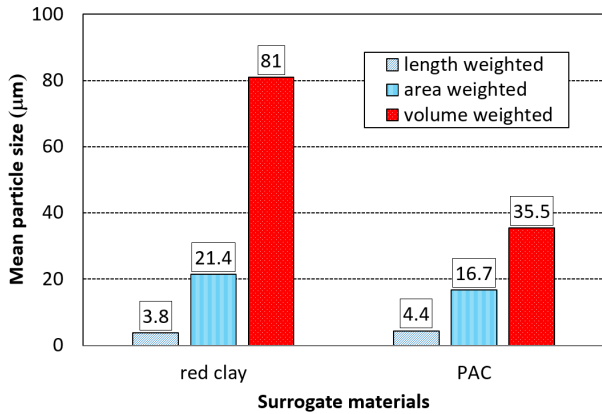


Fig. 3. Various weighted mean particle size.

3.2 무부하 운전에서 여과속도와 손실수두

여과속도에 따른 손실수두 변화를 알아보기 위해 여과조에 깨끗한 새 코튼볼 여재를 충전한 상태에서 청정수(무부하)를 10 m/hr에서부터 60 m/hr까지 10 m/hr 간격으로 점차 증가시켜 가면서 손실수두를 측정하였다. 측정 결과는 Fig. 4와 같으며, 여과속도가 증가할수록 손실수두도 증가하는 것으로 나타났다.

여과층의 손실수두는 식 (5)의 Kozeny-Carman 식으로 해석할 수 있다. Kozeny-Carman 식은 여재로 충전된 충전탑에 유체가 흐를 때 강하하는 압력을 계산하는 식이다. 이 식은 층류 흐름(laminar flow)일 때 유효하며 다음과 같다 (Carman, 1937).

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{180\mu}{\phi_s^2 D_p^2} \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} v_s \quad (5)$$

여기에서, Δp 는 압력강하, L 은 여과층 길이, v_s 는 공탑유속, μ 는 유체 점성계수, ϵ 는 공극률, ϕ_s 는 구형률, D_p 는 입자의 직경(입경)이다.

본 연구에서는 모래와 같은 비교적 균질한 고체상 여재 대신에 섬유볼 형태의 여재를 사용하였고, 코튼볼 여재의 유효 공극의 크기나 입자의 입경은 측정이 불가하므로 Kozeny-Carman 식을 사용하여 여재의 입경을 간접적인 평가방식으로 산정하였다. Kozeny-Carman

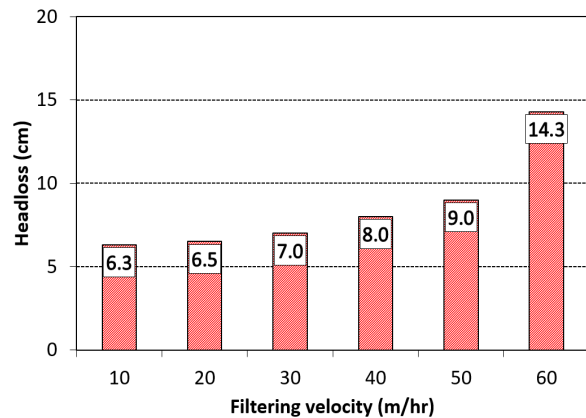


Fig. 4. Headloss changes according to the filtering velocity.

식은 주어진 실험 조건에서 압력강하(손실수두)를 계산하는 식이지만 압력강하를 측정하면 역으로 동일한 손실수두에 상응하는 입경을 산정할 수 있을 것으로 판단했기 때문이다. 본 실험에서 측정한 실험 결과를 Kozeny-Carman 식에 적용하는 방법은 다음과 같은데, 예시로 여과속도 20 m/hr일 때는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta p &= 6.5 \text{ cm} = 0.637 \text{ kPa} \\ L &= 0.6 \text{ m} \\ v_s &= 20 \text{ m/hr} = 0.00556 \text{ m/sec} \\ \mu &= 1 \times 10^{-3} \text{ Nsec/m}^2 \\ \epsilon &= 0.95 \text{ (새 여재에 대한 실험값)} \\ \phi_s &= 1.0 \text{ (가정)} \end{aligned}$$

위의 값을 Kozeny-Carman 식에 대입하면 입경 $D_p = 52.4 \mu\text{m}$ 가 얻어진다.

$$\begin{aligned} D_p &= \sqrt{\frac{180\mu}{\phi_s^2} \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \frac{L}{\Delta p} v_s} \quad (6) \\ D_p &= \sqrt{\frac{180(1 \times 10^{-3})}{1^2} \frac{(1-0.95)^2}{0.95^3} \frac{0.6}{637} (5.56 \times 10^{-3})} \\ D_p &= 5.24 \times 10^{-5} \text{ m} = 52.4 \mu\text{m} \end{aligned}$$

각각의 실험 결과로부터 계산한 입경은 Table 3과 같다.

Table 3. Calculated diameter of the volume equivalent spherical particle

Empty tower velocity (m/hr)	10	20	30	40	50	60
Pressure drop (cm)	6.3	6.5	7	8	9	14.3
Particle diameter (μm)	37.6	52.4	61.9	66.8	70.4	61.2

그러므로 여과 실험에서 여과가 진행되는 동안 증가하는 수두를 측정하고, Kozeny-Carman 식을 적용하면 여과에 따른 공극률의 변화 즉, 폐색 진행 정도를 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

3.3 PAC 제거 실험에서 수두 변화

PAC를 대상으로 여과에 의한 SS 제거율 및 여과 특성을 파악하기 위해 연속실험을 실시하였다. 실험에 사용한 여재는 코튼볼 여재로서 PAC를 대상으로 여러 번의 여과 및 세척 실험을 반복하여 어느 정도 코튼볼에 PAC가 침적된 여재이다. 이는 새 코튼볼 여재를 사용할 경우 실제보다 높은 SS 제거율을 보일 것으로 예상되었기 때문이다.

실험은 회분식으로 실시하였는데, PAC를 250 mg/L 농도로 1.5 m³의 인공초기강우 유입수(이하 유입수)를 제조하고 이것을 본 비점오염저감 실험장치에 20 m/hr 속도로 유입시켜 여과실험을 진행하였다. 여과면적이 0.0729 m²이므로 1회 여과에는 약 1시간이 소요된다. 회분식 여과실험을 3회(4.5 m³) 반복한 후에는 제거율이나 손실수두 변화가 그다지 크지 않아서 유입수 농도를 1,000 mg/L로 증가시켜서 회분식 여과실험을 4회(6 m³) 더 계속하였다.

Fig. 5에 PAC 여과에 따른 수두 및 손실수두 변화를 표시하였다. 무부하시 침전조의 수두는 유출수의 수두보다 8 cm가 더 높았으며, 누적부하량이 증가할수록 손실수두도 점차 증가하였다. 세척조건으로서 당초에는 손실수두가 10 cm가 되면 여과를 중단하고 세척을 실시할 예정이었으나, 누적된 여과에도 불구하고

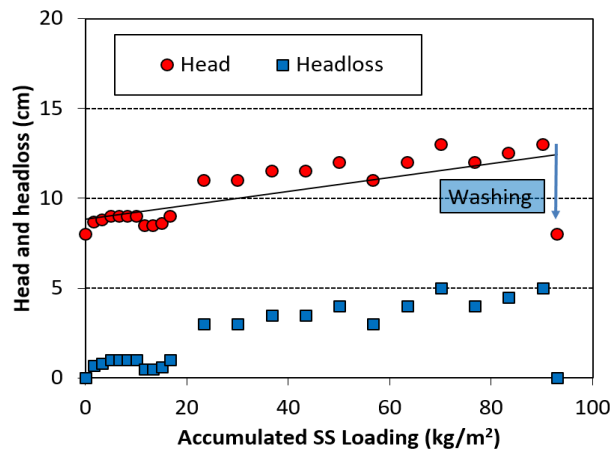


Fig. 5. Head and headloss changes on the filtration experiments.

손실수두는 크게 증가하지 않았으므로 강제적인 손실수두 증가 및 세척 조건을 파악하기 위해 유입수 농도를 증가시킨 것이다. 유입수의 농도를 증가시킨 후에는 여과가 진행될수록 손실수두도 눈에 띄게 증가하여 누적부하량 90 kg/m²일 때 손실수두는 5 cm에 달하였다. 세척을 실시한 후에는 수두차이는 원래의 높이인 8 cm로 다시 낮아져 손실수두가 완전히 회복됨을 확인하였다.

한편, 앞의 무부하 손실수두 실험과 본 여과 실험 결과를 이용하면 여과가 진행되는 동안의 공극률 변화를 역산할 수 있는데, 식 (5)의 Kozeny-Carman 식을 공극률을 기준으로 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} = \frac{\Phi_s^2 D_p^2}{180\mu} \frac{\Delta p}{L} \frac{1}{v_s} \quad (7)$$

그리고 운전 인자는 다음과 같다.

$$D_p = 52.4 \mu\text{m} \text{ (Table 3 결과에 기초)}$$

$$L = 0.6 \text{ m}$$

$$v_s = 20 \text{ m/hr} = 0.00556 \text{ m/sec}$$

$$\mu = 1 \times 10^{-3} \text{ Nsec/m}^2$$

$$\Phi_s = 1.0 \text{ (가정)}$$

실험에서 얻어진 손실수두를 식 (7)에 대입하여 구한 공극률(ϵ)은 Table 4와 같다. 여과가 지속되면 누적부하량도 증가하고 여과에 흡착되어 제거되는 PAC의 양도 증가한다. 이것은 공극의 감소로 이어져 손실수두는 점차 증가하고 공극률은 줄어들게 되는 것이다.

Table 4. Porosity changes calculated from Kozeny-Carman equation and headloss experiments

Filtration time (hr)	0	2	4	6
Accumulated SS loading (kg/m ²)	0	10.01	30.04	70.10
Headloss (cm)	8.0	9.0	11.0	13.0
Porosity	0.945	0.942	0.936	0.931

3.4 PAC 제거율 실험 결과

Fig. 6에 PAC 여과에 따른 여과수의 SS 농도 변화와 제거율을 표시하였다. 실험 초기 유입수 SS 농도 250 mg/L일 때 처리수 SS는 안정적으로 30 mg/L 이하로 나타났고 SS제거율 역시 초기 94% 정도였으며, 이후

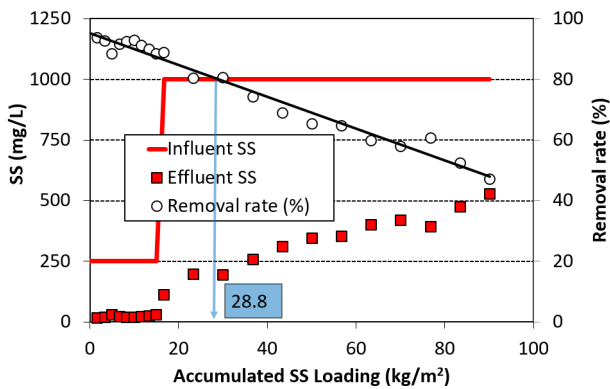


Fig. 6. SS concentration and removal rate.

점점 감소하기는 했으나 누적부하량 15 kg/m²까지는 88% 이상으로 안정하였다. 하지만 SS 농도를 1,000 mg/L로 증가시켜 운전한 결과 처리수의 SS 농도도 급격하게 증가하여 100 mg/L 이상 높아졌고, 이후 부하량이 누적될수록 처리수의 SS 농도도 꾸준히 증가하여 누적 SS 부하량 90 kg/m²에 이르자 처리수의 SS 농도는 530 mg/L, SS 제거율은 47%까지 떨어졌다.

SS 제거율이 80% 밑으로 떨어지면 비점오염여과장치로서의 기능을 상실하는 것이므로 목표 SS 제거율을 80%로 가정하는 경우 누적부하량은 28.8 kg/m²이 최대 여과 가능량이며, 이 경우 여재층에 흡착된 SS량은 25.1 kg/m²이다. 이것은 유입수의 SS가 250 mg/L 농도로 일정하게 유입된다고 가정했을 때 여과 주기는 여과조 1 m²당 115 m³, 층부피(space volume)의 약 190배에 해당한다. 즉, 이 만큼의 비점오염원을 여과한 후에는 세척을 실시하여 여과기능을 회복시켜야 함을 의미한다.

4. 결 론

여과형 비점오염저감장치의 여과성능 측정을 위하여 SS 대체물질 선정 실험을 실시하고, PAC로 조절된 유입수를 대상으로 여과실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 분말황토와 PAC 두 가지의 SS 대체물질 중에서 실험 기준 및 입도분포 측면에서 PAC가 더 적합한 대체물질이다.

2) 코튼볼 여재를 사용한 여과장치에 PAC로 조절된 유입수를 통과시켜 여과실험을 실시한 결과, 최초의 여재 손실수두는 8 cm 정도이고, SS 제거율 80%

이하가 될 때까지의 여과에 따른 손실수두 증가량은 3 cm이었다. 세척 후에 여과수두는 다시 원래대로 완전히 회복되었다.

3) Kozeny-Carman 식을 사용하여 여과의 압력(수두) 변화와 공극률의 변화를 해석하였으며, 여과전의 공극률 0.945에서 역세척이 필요한 시점의 공극률은 0.936으로 소폭 감소하는 것으로 계산되었다.

4) 여과가 지속될수록 여과수의 SS 농도는 점차 증가하고, SS 제거율은 점차 낮아졌다. SS 목표제거율을 80%로 간주하였을 때 코튼볼 여재로 여과 가능한 누적유입부하량은 28.8 kg/m²이다.

사 사

본 연구는 2016년도 조선대학교 교내연구비 지원에 의해 이루어졌습니다.

References

Angrill, S., Petit-Boix, A., Morales-Pinzón, T., Josa, A., Rieradevall, J., and Gabarrell, X. (2017). Urban rainwater runoff quantity and quality—A potential endogenous resource in cities?, *J. Environ. Manage.*, 189, 14-21.

Brown, R., Rogers, B., and Werbeloff, L. (2016). *Moving toward Water Sensitive Cities: A Guidance Manual for Strategists and Policy Makers*, Australia: Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities, Melbourne, 6-18.

Carman, P.C. (1937). Fluid flow through granular beds, *Transactions, Institution of Chemical Engineers*, London, 15, 150-166.

Ham, J., Yoon, C.G., Kim, H.J., and Kim, H.C. (2010). Modeling the effects of constructed wetland on nonpoint source pollution control and reservoir water quality improvement, *J. Environ. Sci.*, 22(6), 834-839.

Kang, Y.H., Jang, D.C., and Kang, S.H. (2009). Evaluation of the non-point source treatment facility using the porous lightweight aggregate and the recycled aggregate, *J. Korean Soc. Water Wastewater*, 23(6), 735-741.

Kim, L.H. and Kang, J.H. (2004). Characteristics of first flush in highway storm runoff, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 20(6), 641-646.

Lee, J.H., Choi, S.G., Kim, T.Y., Ju, Y.J., and Chae, E.J. (2014). *LID (Low Impact Development) Implementation Scheme for Environmental Impact Assessment*, Korea Environment

pp. 001-008

pp. 009-016

pp. 017-029

pp. 031-041

pp. 043-053

pp. 055-062

pp. 063-077

pp. 079-086

- Institute, 5-67.
- Ministry of Environment. (2016). *Non-Point Pollutants Treatment Facilities Implementation and Maintenance Manual*, Ministry of Environment, 198-207.
- Ministry of Environment. (2018). *White Paper of Environment*, Ministry of Environment, 250-254.
- Particle Sizing Systems. (2001). *ACCUSIZER Model 780-User Manual*, Particle Sizing Systems, Santa Barbara, CA, 42-119.
- Reddy, K.R., Xie, T., and Dastgheibi, S. (2014). Removal of heavy metals from urban stormwater runoff using different filter materials, *J. Environ. Chem. Eng.*, 2, 282-292.
- Shin, G.S. and Youk, B.C. (2012). A case of test operation connecting the sewage treatment system in first stage rain-water(undercurrent formula) facilities, *Korean Soc. Civ. Eng.*, 60(2), 63-68.