장치형 비점오염원 저감시설의 여과 및 역세 효율 평가 Evaluation of Filtration and Backwash Efficiency of Non-point Source Pollution Reduction Facility

윤상린 · 이용재* · 안재환 · 최원석* · 이정우 · 오혜철 · 김석구
Sangleen Yun · Yong-Jae Lee* · Jae-Hwan Ahn · Won-Suk Choi*
Jungwoo Lee · Hye-Cheol Oh · Seog-Ku Kim

한국건설기술연구원 환경플랜트연구소 · *엔포텍디에스
Environmental and Plant Engineering Research Institute, Korea Institute
of Civil Engineering and Building Technology
*N4TECHDS CO., LTD.

(Received November 15, 2017; Revised November 27, 2017; Accepted December 5, 2017)

Abstract : Non-point source pollution is the emission source that unspecifically releases pollutants to water system from unspecific places such as cities, agricultural lands, mountains, and construction sites and its discharge path is not easily identified. Also, it is difficult to design and manage the reduction facilities for the emission quantity is primarily affected from weather conditions like rainfall. Since 2006, the significance of non-point source pollution reduction has been grown in Republic of Korea and this reinforces needs for the installation of reduction facilities. However, because the standards for the installation details and reduction efficiency are not clarified by law, people are preferring technologies that do not require particular maintenance and high expenses. The purpose of this study is to examine and maintain the efficiency of non-point source pollutants reduction facility which uses expended polypropylene as a media. The higher the depth of the media, the less range of variations in the reduction efficiency was observed and the final efficiency was also increased. When the media depth was 60 cm, the average reduction efficiency was 94% and 90% where linear velocities were 10 m/hr and 20 m/hr respectively. The results from 180 minutes operation in 10 m/hr and 20 m/hr of linear velocities were slightly different in head loss changes which were caused by media depth variations. The backwash experiments which were conducted in triplicate showed the reduction efficiency decreased as the time went on because of the media clogging. However, it was found that after the backwashing the reduction efficiency was increased as effective as the efficiency of the initial filtration.

Key Words : Non-point Source Pollution, Facility Type, Filtration, Backwashing, Expended Polypropylene Media (EPP)

요약 : 비점오염원은 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등 불특정장소에서 불특정하게 수계에 오염물질을 배출하는 배출원으로, 오염물질의 유출경로가 명확하게 구분되지 않는다. 또한 수집이 어렵고 배출량이 강수량 등 기상조건에 크게 좌우되기 때문에 저감시설의 설계 및 유지관리가 어려운 측면이 있다. 한국의 경우 2006년 이후 비점오염원 처리에 대한 중요성이 심화되어 설치의무는 강화되고 있으나, 설치기준 및 효율에 대한 명확한 기준이 제시되지 못하여 단순히 저렴하며 유지관리가 필요치 않은 처리기술을 선호하고 있는 실정이었다. 본 연구는 발포고분자여재(Expended Polypropylene Media, EPP)를 이용한 여과형 비점오염원 저감시설에 대하여 처리능과 역세척에 의한 처리능의 유지에 대한 연구를 진행하였다. 여재층 높이가 증가할수록 처리효율의 변화폭은 줄었으며, 처리효율은 상승하는 것으로 나타났다. 60 cm의 여재층 높이에서 10 m/hr의 선속도의 경우 평균 처리효율은 94%로 나타났으며, 20 m/hr의 선속도의 경우 평균 처리효율이 90%로 나타났다. 여과 선속도 10 m/hr와 20 m/hr에서 180분 동안 운전 결과, 손실수두의 변화는 여재층 높이에 따른 차이가 조금 다른 양상으로 나타났다. 총 3회 반복한 역세척 실험 동안 여과시간이 경과함에 따라 처리효율은 여재가 폐색됨에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 그러나 역세척 과정 이후에는 이전 여과과정의 초기 시점의 처리효율과 거의 유사하게 회복하는 것으로 확인하였다.

주제어 : 비점오염원, 장치형, 여과, 역세척, 발포고분자여재

1. 서론

환경기초시설의 확충에도 불구하고 도시화와 산업화로 인한 불투수면과 비점오염원의 증가는 하천 수질관리를 어렵게 하고 있다. 비점오염원은 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등 불특정장소에서 불특정하게 수계오염물질을 배출하는 배출원으로, 오염물질의 유출 및 배출 경로가 명확하게 구분되지 않아 수집이 어렵고 발생량/배출량이 강수량 등

기상조건에 크게 좌우되기 때문에 저감시설의 설계 및 유지관리가 어려운 측면이 있다.¹⁻⁴⁾

비점오염물질은 비점오염원으로부터 배출되는 수질오염물질로서 비점오염 저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼에 의하면 유출경로와 수질오염물질의 유사범주를 고려하여 토사, 영양물질, 박테리아, 바이러스, 기름 그리스, 금속, 유기물질, 농약, 혐잡물로 크게 8가지 종류로 분류된다.⁴⁾

우리나라의 경우 2010년 기준으로 하천 오염부하의 약

* Corresponding author E-mail: leen70@kict.re.kr Tel: 031-910-0316 Fax: 031-910-0291

68% (BOD 기준)가 비점오염물질에 의한 것으로 나타났으며, 각종 개발 사업에 따른 불투수면 확대 및 기후변화에 따른 강우특성 변화 등으로 2020년에는 약 72%에 달할 것으로 전망되는 등 비점오염원 부하율은 계속 증가되고 있다.^{5,6)} 특히 비점오염원 관리에 있어서는 부유물질(SS)의 관리가 일반적이다. Adams and Papa (2000)가 정의한 바에 따르면 비점오염 관리대상 물질로 가장 당한 비점오염 관리 대상 물질이 부유물질(SS)임을 확인할 수 있었다. 따라서 환경영향 평가 시에도 좀 더 타당하고 합리적인 수질 관리를 위해서는 관리대상 수질항목의 다양성이 요구되지만, 특히 부유물질(SS) 관리의 중요성이 인식되고 있다.⁷⁻⁹⁾

국내에 보급된 여재와 스크린 등을 조합한 장치형 비점오염원 저감시설로서 Continuous Deflective Separation, Storm-Filter, M-Filter, Stormsys, Aqua-Filter, EcoTank, StormSolution 등이 주류를 이루고 있다.¹⁰⁻¹⁴⁾

장치형 비점오염원 저감시설의 대부분은 여재를 이용하는 비점오염원 저감시설로서 여재 막힘 현상으로 인하여 처리효율이 감소하고 여재 교체 비용이 많이 소요되는 문제점이 지적되고 있다.¹⁴⁾ 이에 환경부는 장치형 비점오염원 저감시설 여과부의 성능개선을 위하여 역세척 시스템의 장착과 여과 성능 회복율에 대한 평가를 필수사항으로 하는 2015년 8월에 “비점오염원 저감시설 성능검사제 도입계획”을 발표하였다.

장치형 비점오염원 저감시설은 여재교체 비용이 운영비용의 대부분을 차지하고 있다.¹⁴⁾ 여재에 의한 처리효율의 안정성을 확보하기 위해서는 역세척이 가능한 비점오염원 처리장치의 개발이 필요하다. 이에 본 연구는 하천 수질 관리를 위한 발포고분자여재(Expendable Polypropylene Media, EPP)를 이용한 비점오염원 저감 시설의 설계에 있어 역세척 장치의 적용을 통한 비점오염원 저감시설의 처리능력 평가를 평가하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 설계 강우강도 설정

설계 강우강도는 오염부하율과 모형 도도에 의해 설정하였다. 미국, 일본 및 국내에서 선행된 초기우수 관련 연구에서 불투수면으로 침적되었던 입자들이 강우 시작과 함께 다량 유출되는 것으로 보고되고 있으며, 그 기준 강우강도는 10 mm/hr로서, 그 이하의 강우강도로 진행될 때에는 오염물질의 유출에 크게 영향을 주지 않는 것으로 보고되고 있다. 따라서 오염부하율에 따라 10 mm/hr의 강우강도를 기본값으로 하여 실험을 수행하였다.

2.2. 여재의 특성

장치형 비점오염원 저감시설의 여재로서 사용한 발포고분자여재(EPP)는 여과 및 흡착작용의 기능을 가지며, 주로 폐플라스틱의 재활용에 의해 얻을 수 있는 1~3 mm 크기의 입

Table 1. Characteristics of expended polypropylene media (EPP)

Particle size	Porosity	Permeability coefficient	Specific surface area	Unit weight
1.5~3.0 mm	82.3%	4.7 cm/s	813 m ² /m ³	34 kg/m ³

자로 구성된다. EPP는 석유계 연료에 의해 발생하는 오염물질(PAHs 등)이나 유분 등의 흡착처리가 가능하며, 비중이 가볍고 내마모성이 있다. 또한 비표면적과 공극률이 다른 비점오염원 처리 여재에 비해 비교적 커서 높은 총 부유물질 제거효율을 기대할 수 있다. 또한 EPP는 고형연료(RDF)로서 열에너지의 회수 연료로 이용되는 경우도 있다. EPP의 입도크기는 1.5~3.0 mm의 범위로 나타났으며, 공극률은 82.3%로 나타났다. 또한 진비중은 0.06으로 물보다 낮은 값으로서 부양성을 갖는 특징을 가지고 있다(Table 1).

2.3. 여과성능평가

장치형 비점오염원 저감시설의 여과형은 크게 유입형태에 따라 상향류식과 하향류식으로 분류할 수 있다. 본 연구는 상향류에 의한 여과 방식으로 실험 장치를 제작하였으며 이에 대한 여과성능 평가를 진행하였다. Fig. 1은 실험장치의 모식도와 사진을 나타낸 것이다. 실험 장치는 유입수에

Fig. 1. A schematic diagram of the filtration system.

의한 여재의 유동과 오염물질 포획을 쉽게 관찰할 수 있도록 아크릴 소재로 제작하였으며, 여재층의 상·하부는 여재의 입경보다 작은 12 메시(mesh) 규격으로 약 1 mm의 격자 간격으로 된 평직금망을 사용하였다. 유입수는 여과형 실험 장치의 칼럼 수에 맞춰 분배조를 통해 실험 장치로 유입되며, 분배조의 유출부는 칼럼의 유입부 상단에 위치한다. 여재부의 단면적은 정사각형 모양으로 한 변의 길이가 17 cm로서 단면적은 289 cm²이다.

실험은 2 m³의 유입수조에 수중펌프를 설치하고 호스에 'T' 자형 커넥터와 밸브를 설치하여 바이패스가 가능하도록 제작하였으며, 실험 장치에 유입되는 설계 유량 이외는 일부 다시 유입수조로 유입되도록 제작하였다. 유입수는 실험 장치의 침전·저류조 유입부를 거쳐 여과부 하단을 통과하여 상향류의 방식에 의해 처리되어 유출된다. 실험 과정에서 유입수 및 처리수에 대한 샘플링은 초기에는 10분 간격, 1시간 이후에는 20분 간격으로 시료를 채수하였으며, 시료의 SS 농도 분석은 수질오염공정시험기준(환경부, 2015)에 따라 수행하였다. 또한 10분 간격으로 손실수두를 확인하여 여과 지속시간에 따른 수두 변화를 확인하였다. 유입수의 제조는 도로노면의 유출수를 재현하기 위해 측구에 쌓인 도로노면분진을 채집한 후 200번 체(850 μ m)를 통과 시킨 분진을 수돗물과 혼합하여 만들었다. 실험과정 중 가급적 동일한 유입수 조건을 유지하기 위해 일정간격으로 유입수조 내부를 교반하여 분진이 잘 혼합하도록 하였다.

여과 실험 중 유량변화와 설정한 선속도의 유지를 확인하기 위해 여재층을 통과한 처리수가 5 L 용기를 채우는 시간을 일정한 간격으로 기록하였다.

입도분석은 Malvern 사의 입도분석기 Mastersizer 2000을 이용하여 습식 방법으로 채수한 시료를 비커로 옮겨 담아 샘플 분산기를 통해 광학기기로 보내어 레이저 회절에 의한 입자의 평균 입경크기 및 그 분포를 측정하였다.

2.4. 역세척 시스템 개발 및 평가

역세척 실험은 물과 공기에 대한 내부 밀폐가 중요하기 때문에 역세척 실험장치의 두께를 비교적 두껍게 하여 10 mm의 아크릴 재질로 만들었다. 실험 장치는 2개의 칼럼으로 구성되며, 각각 유입부와 여재부로서 여과와 역세척이 가능하도록 제작되었다. 여재부 상단은 공기주입이 가능하도록 밸브가 설치된 호스를 연결하였으며, 유출부는 공기압에 의해 닫혀 공기주입 시 여재부 상단이 밀폐가 되도록 제작하였다. 공기주입 파이프는 에어탱크와 연결되어 있으며, 에어탱크는 컴프레서를 사용하여 공기를 주입하였다.

역세척에 대한 공기주입(세척)량은 0.5 kg/cm²의 압력으로 공기를 주입하여 실험을 진행하였다. 0.5 kg/cm²의 압력 주입 시, 여과 및 역세척 실험장치의 여재부 면적, 실험조건(공기주입밸브 5 mm 등)에 대한 산정결과, 공기 주입(세척)량은 약 10.44 m³/hr로 나타났다. 이는 여재부 면적 당 공기량으로 산정할 경우, 약 261 m³/m²/hr로 도출된다. Table 2는 역세척 실험에 대한 실험 인자를 나타낸 것이다.

Fig. 2. A schematic diagram of the backwashing system.

Table 2. Experimental factor of backwashing

Experimental factor	Method
Injection pressure	over 0.5 kg/cm ²
Valve diameter	5 ~ 40 mm
Pipe length	3 ~ 20 m
Number of backwashing	1 ~ 3 Time
Number of air injections	1 ~ 3 time /backwashing 1 time
Settling time	0 ~ 60 min

3. 결과 및 고찰

3.1. 유입수의 농도 및 입도분포 특성

유입수의 농도는 150~350 mg/L로 범위를 두었다. 또한 동일한 입자를 적용한 유입수를 사용할 경우 왜곡이 발생할 우려에 때문에 입경 구성비에 따라 63 μ m 미만은 70~80%, 63~200 μ m의 범위는 20~30%로 입자의 입경이 구성하였다.

SS 분석은 여과 실험 과정에서 채수한 유입수를 수질오염 공정시험법의 유리섬유 여지의 여과에 의한 방법으로 수행

Fig. 3. Average concentration of influent SS according to experimental conditions.

Fig. 4. Average particle size distribution curve of influent.

하였으며, 입도분석은 Malvern 사의 입도분석기 Mastersizer 2000을 사용하여 총 5번 분석 후 평균값을 산출하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 실험에 사용된 유입수에 대해 SS 분석과 입도 분석을 나타낸 것이다.

각각의 실험 조건별 실험시간에 따른 유입수의 SS 농도는 10 m/hr의 선속도에서 1차 137~302 mg/L, 2차 239~315 mg/L, 3차 193~285 mg/L의 범위로 나타났다. 20 m/hr의 선속도는 1차 147~301 mg/L, 2차 213~284 mg/L, 3차 188~231 mg/L의 범위로 나타났다. 선속도별 유입수의 평균 SS 농도는 10 m/hr에서 256.4 mg/L, 20 m/hr에서 231.4 mg/L

로 나타났다(Fig. 3).

Fig. 4는 실험에 사용된 유입수에 대해 SS 입도분포를 나타낸 것이다. 입도분석을 위한 임의의 유입수 시료에 대해 총 5회 분석을 하여 부피비 70~80%에 속하는 입경의 크기를 확인한 결과, 약 52 μm에서 91 μm까지 범위로 나타났다. 입도분석에 대한 부피비 70~80%에 속하는 평균 입경 크기는 약 59 μm에서 80 μm의 범위를 보였으며, 통과백분율 50%에 해당하는 입경의 크기(D50)는 30.4~34.6 μm의 범위로 나타났으며, 90%에 해당하는 입경의 크기(D90)는 108.0~165.5 μm의 범위로 나타났다.

(a) Media layer height (20 cm)

(b) Media layer height (40 cm)

(c) Media layer height (60 cm)

Fig. 5. Variation of loss head by linear velocity with change of media layer height.

3.2. 여과속도별 처리효율 평가

여과 선속도 10 m/hr와 20 m/hr에서 120분 동안 여과 운전한 결과, 측정된 손실수두의 변화는 여재층 높이별로 조금 다른 양상으로 나타났다. 10 m/hr 선속도에서 초기 수두부터 후기 수두까지의 변화는 여재층의 높이에 따라서 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 20 m/hr의 선속도에서 초기의 평균 수두가 여재층의 높이(20~60 cm)에 따라 1.7 cm, 4.2 cm, 6.3 cm로 나타났으며, 후기의 평균 수두는 3.4 cm, 5.5 cm, 7.6 cm로 나타났다(Fig. 5).

단위면적당 고형물 부하량의 증가에 따른 여재의 처리효율의 선속도별 차이를 알아보기 위해 여재층 높이별로 비교·분석하였다. 20 cm의 여재층 높이에서 선속도 10 m/hr 일 경우, 처리효율의 변화가 1~2%의 범위로 나타나 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 20 m/hr에서 초반 1.59 kg/m²의 누적 고형물 부하량이 유입했을 때와 후반 6.15 kg/m²의 누적 고형물 부하량이 유입했을 때, 처리효율이 저하하는 모습을 보였다. 이는 비교적 낮은 높이로 구성된 여재 입자들이 20 m/hr의 높은 선속도에서 여재 입자간 안정화를 이루지 못하여 오염물 미세입자를 포획하는 기작이 발생하지 않

을 것으로 판단된다.

여재층 높이가 증가할수록 처리효율의 변화폭은 줄어들며, 처리효율은 상승하는 것으로 나타났다. 60 cm의 여재층 높이에서 10 m/hr의 선속도의 경우 평균 처리효율은 94%로 나타났으며, 20 m/hr의 선속도의 경우 평균 처리효율이 90%로 나타났다. 이는 구 등¹⁵⁾이 여재층 높이 50 cm에서 평균 약 89%의 효율을 보인 것보다 다소 높게 나타난 것으로서 약간의 여재층 높이 상승에도 효율이 증가한 것을 알 수 있다. 그러나 20 m/hr 선속도의 경우 20 cm와 40 cm의 여재층 높이로 실험한 결과와 마찬가지로 고형물 부하의 증가에 따라 처리효율은 약간의 하향세를 보였다.¹⁵⁾ 이는 비점오염원 처리장치의 설계 선속도의 선정에 있어서 선속도 10 m/hr에서 20 m/hr로 설계하는 것이 처리효율의 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다(Fig. 6).

Fig. 7은 여재층 높이별로 시간경과에 따라 평균 처리효율을 회귀분석으로 나타낸 것이다. 앞서 서술한 내용과 같이 선속도에 무관하게 여재층의 높이가 증가함에 따라 증가하는 기울기는 완만해지고 있다. 10 m/hr의 선속도일 때 로그 추세선에 대해 여재층 높이와 처리효율의 상관관계는 R² 값 0.9234로 유의한 것으로 나타났으며, 20 m/hr의 선속

Fig. 6. Change of processing efficiency by linear velocity according to media layer height.

Fig. 7. Processing efficiency regression analysis according to the height of media layer per linear velocity.

Table 3. Change in treatment efficiency when the height of the media layer exceeds 60 cm by the trend equation

Media height (x)	Treatment efficiency (y)	
	Linear velocity 10 m/hr ($y = 0.0876 \ln(x) + 0.5778$)	Linear velocity 20 m/hr ($y = 0.1549 \ln(x) + 0.2604$)
70 cm	95%	92%
80 cm	96%	94%
90 cm	97%	96%
100 cm	98%	97%

도에서는 R^2 값이 0.913으로 나타났다.

Table 3은 60 cm 이상의 여재층 높이에 대한 처리효율에 대한 예측 결과를 나타낸 것이다. 선속도에 따른 여재층 높이와 처리효율의 상관관계가 유의하다고 볼 때, 선속도 10 m/hr 조건에서 여재층 높이 70 cm일 때 95%의 처리효율을 예측할 수 있었다. 또한 선속도 20 m/hr 조건에서 여재층 높이 70 cm일 때 92%, 높이 90 cm일 때 96%의 처리효율을 추정 값을 확인하였다. 이는 여재 높이 설계에 있어 최적화에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

3.3. 역세척 성능 평가

역세척의 효율평가는 총 3회에 걸쳐 Table 2의 운전조건으로 처리효율 및 효과를 분석하였다. 역세척은 5 kg/cm^2 의 압력으로 공기를 주입하여 $10.44 \text{ m}^3/\text{hr}$ 의 공기 주입(세척)량을 설정하였다. 1차 역세척 실험의 경우 사용된 유입

Fig. 8. Changes in mean influent, treatment water and treatment efficiency according to the operating time.

수의 농도는 평균 $283 \pm 50 \text{ mg/L}$ 로 나타났으며, EPP 여재를 상향류를 통해 여과된 처리수의 평균 농도는 $38 \pm 5 \text{ mg/L}$ 로 나타났다. 또한, 평균 SS 처리효율은 86%으로 나타났으며, $\pm 2\%$ 의 편차를 갖는 것으로 나타났다.

2차 역세척 실험의 경우 사용된 유입수의 농도는 평균 $290 \pm 26 \text{ mg/L}$ 로 나타났으며, EPP 여재를 상향류를 통해 여과된 처리수의 평균 농도는 $36 \pm 5 \text{ mg/L}$ 로 나타났다. 또한, 평균 SS 처리효율은 87%으로 나타났으며, $\pm 2\%$ 의 편차를 갖는 것으로 결과가 도출되었다. 마지막으로 3차 역세척 실험의 경우 유입수의 농도는 평균 $295 \pm 21 \text{ mg/L}$ 로 나타났으며, EPP 여재를 상향류를 통해 여과된 처리수의 평균 농도는 $37 \pm 5 \text{ mg/L}$ 로 나타났다.

Fig. 8은 3회의 여과 및 역세척 실험과정 동안 유입수 및 처리수의 변화와 처리효율을 나타낸 것이다. 총 3회의 역세척 실험과정 동안 사용된 유입수의 농도는 평균 $289 \pm 25 \text{ mg/L}$ 로 나타났으며, EPP 여재를 상향류를 통해 여과된 처리수의 평균 농도는 $37 \pm 4 \text{ mg/L}$ 로 나타났다. 여과 및 역세척 과정으로 인한 3회 반복실험의 평균적인 SS 처리효율은 87%으로 나타났으며, $\pm 1\%$ 의 편차를 갖는 것으로 나타났다.

Fig. 9는 연속운전시 여재의 수두손실 변화를 나타낸 것이다. 1사이클의 여과시간은 3시간이며, 여과-역세의 총 3 사이클로 1번의 역세척 실험을 실시하였다. 1번의 역세척

Fig. 9. Comparison of the change of loss head according to operation time (by backwashing experiment).

실험에 여과과정은 총 4사이클이며, 그 사이에 역세척 과정을 수행하였다.

여과-역세척의 운전을 3사이클 수행하는 동안 손실수두는 역세척에 의해 여과 초반의 손실수두와 비슷하게 회복하는 것을 확인할 수 있었다. 1차 역세척 실험에서 1사이클의 여과 과정 손실수두는 5.6 cm부터 9.8 cm까지 상승하는 것으로 나타났다. 2사이클의 여과 과정 손실수두는 5.7 cm부터 10.8 cm까지 상승하였으며, 3사이클의 여과 과정 손실수두는 6.0 cm부터 10.9 cm까지 상승하였다. 마지막 4사이클의 여과 과정 손실수두는 6.1 cm부터 11.6 cm까지 상승하여, 사이클의 증가와 함께 역세척 이후 회복하는 손실수두는 조금씩 높아지는 것으로 나타났다. 또한 사이클의 증가에 따라 여과 과정에서 손실수두가 증가하는 기울기도 조금씩 가파르게 변화하였다.

2차 역세척 실험에서 1사이클의 여과 과정 손실수두는 5.4 cm부터 10.9 cm까지 상승하는 것으로 나타났다. 2사이클의 여과 과정 손실수두는 5.2 cm부터 10.6 cm까지 상승하였으며, 3사이클의 여과 과정 손실수두는 5.4 cm부터 10.6 cm까지 상승하였다. 마지막 4사이클의 여과 과정 손실수두는 5.6 cm부터 10.6 cm까지 상승하여, 손실수두의 증가 기울기가 1차 역세척 실험보다 미세하게 완만한 것으로 나타났다.

3차 역세척 실험에서 1사이클의 여과 과정 손실수두는 5.8 cm부터 10.8 cm까지 상승하는 것으로 나타났다. 2사이클의 여과 과정 손실수두는 6.0 cm부터 11.1 cm까지 상승하였으며, 3사이클의 여과 과정 손실수두는 5.5 cm부터 11.1 cm까지 상승하였다. 마지막 4사이클의 여과 과정 손실수두는 5.9 cm부터 12.0 cm까지 상승하였다.

총 3회 반복한 역세척 실험과정 동안 여과시간이 경과함에 따라 처리효율은 여재가 폐색됨에 따라 감소하는 경향을 나타냈으며, 역세척 과정 이후에는 이전 여과과정의 초기 시점의 처리효율과 거의 유사하게 회복하는 것으로 확인되었다.

3차례 반복한 역세척 실험에서 나타난 손실수두의 비교를 위해 한 그래프에 총 3차 실험 동안의 손실수두 변화를 겹쳐 표현하였다. 1사이클은 1차 실험 외에 비슷한 추세로 손실수두가 증가하였으며, 2사이클부터 차수마다 손실수두의 차이가 발생하는 것으로 나타났으며, 각 사이클의 여과 과정에서 처리효율, 평균 초기손실수두, 평균 중기손실수두, 평균 고형물 부하량은 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Average data according to filtering operation (Treatment efficiency, loss head, solids load)

Cycle	Average treatment efficiency	Average initial loss head	Average medium-term loss head	Average solids load
1 Cycle	87.3%	5.6 cm	10.5 cm	16.6 kg/cm ²
2 Cycle	87.5%	5.6 cm	10.8 cm	18.1 kg/cm ²
3 Cycle	87.2%	5.6 cm	10.9 cm	17.4 kg/cm ²
4 Cycle	86.8%	5.9 cm	11.4 cm	17.6 kg/cm ²
Average	87.2%	5.7 cm	10.9 cm	17.4 kg/cm ²

Fig. 10. Loss head variation with solids load (by backwashing experiment).

평균 처리효율은 1사이클 여과 과정에서 다소 불안정한 값을 보이다가, 2사이클 여과 과정 이후 큰 편차를 보이지 않는 것으로 나타났다. 또한 각 역세척 시점에서 미세하게 처리효율이 증가하는 것으로 나타났으나, 실험이 진행됨에 따라 처리효율은 감소되는 경향이 나타났으며, 손실수두는 전반적으로 비슷한 증가 기울기를 보이는 것으로 나타났다.

고형물 부하에 따른 손실수두의 변화를 알아보기 위해 3회 반복실험의 평균 고형물 부하량에 따른 손실수두를 Fig. 10에 나타냈다. 각 여과 운전수의 평균 고형물 부하량은 Table 4에 나타낸 것과 같이 1 사이클에 16.6 kg/cm², 2 사이클에 18.1 kg/cm², 3 사이클에 17.4 kg/cm², 4사이클에 17.6 kg/cm²로 나타났다.

고형물 부하 기간에 따른 손실수두는 대부분 역세척 과정 이후에 초기의 손실수두로 회복하는 것으로 나타나 역세척에 의한 처리장치의 안정적인 처리능력을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 하천 수질 관리를 위한 발포고분자여재를 이용한 비점오염원 저감 시설의 설계에 있어 안정적인 처리 및 역세척에 의한 안정적인 처리효율 확보를 위한 연구를 진행하였다. 연구결과, 여재의 높이별 처리효율 평가 및 회귀분석에 의한 여재층별 평가에 있어 최적의 여재층(60 cm), 설계 선속도(10 m/hr~20 m/hr)를 설정할 수 있었으며, 역세척에 의한 처리효율이 회복율을 확인할 수 있었다.

1) 여재층 높이가 증가할수록 처리효율의 변화폭은 줄었으며, 처리효율은 상승하는 것으로 나타났다. 60 cm의 여재층 높이에서 10 m/hr의 선속도의 경우 평균 처리효율은 94%로 나타났으며, 20 m/hr의 선속도의 경우 평균 처리효율이 90%로 나타났다. 연구결과, 선속도 10 m/hr에서 20

m/hr로 설계하는 것이 처리효율의 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 10 m/hr 선속도에서 초기 수두부터 후기 수두까지의 변화가 여재층에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다. 하지만 20 m/hr의 선속도에서 초기의 평균 수두가 여재층의 높이 (20 ~60 cm)에 따라 1.7 cm, 4.2 cm, 6.3 cm로 나타났으며, 후기의 평균 수두는 3.4 cm, 5.5 cm, 7.6 cm로 나타났다.

3) 여재층 높이에 대한 처리효율에 대한 예측 결과, 선속도에 따른 여재층 높이와 처리효율의 상관관계가 유의하다고 볼 때, 선속도 10 m/hr 조건에서 여재층 높이 70 cm일 때 95%의 처리효율을 예측할 수 있었다. 또한 선속도 20 m/hr 조건에서 여재층 높이 70 cm일 때 92%, 높이 90 cm일 때 96%의 처리효율을 추정 값을 확인하였다.

4) 유입수의 농도는 평균 289 ± 25 mg/L에서의 총 3회의 역세척 실험 결과, 처리수의 평균 농도는 37 ± 4 mg/L로 나타났다. 여과 및 역세척 과정으로 인한 3회 반복실험의 평균적인 SS 처리효율은 87%으로 나타났으며, $\pm 1\%$ 의 편차를 갖는 것으로 나타났다.

5) 고형물 부하 기간에 따른 손실수두는 대부분 역세척 과정 이후에 초기의 손실수두로 회복하는 것으로 나타나 비점오염원 처리장치의 여재 막힘 현상으로 인하여 처리효율이 감소 및 여재 교체 비용이 많이 소요되는 문제점을 해소할 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(2017-0100)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

KSEE

References

1. Ministry of Environment, Study on Improvement of Non-point Pollution source Installation Reporting System(2007).
2. Ministry of Environment, The second non-point pollution source comprehensive measures(plan) ('12~'20), (2012).
3. Relevant Ministry, Comprehensive measures for nonpoint pollution source management(2012).
4. Ministry of Environment, Installation and management of non Point source treatment facilities and operation manual, (2016).
5. Lee Jin Hee, Korea Environment Institute, Basic research for development of non-point pollution impact assessment method in development project(2015).
6. National Institute of Environmental Research, Pollution loading amount estimation and prospect(2010).
7. Adams, B. J. and Papa, F., "Urban Stormwater Management Planning with Analytical Probabilistic Models," John Wiley & Sons, New York, USA.(2000).
8. Eiswerth, B. A., "An Evaluation Soil Erosion Hazard : A Case Study In Africa Using Geomatics Technologies," Ph d, Uni of Arizona, 233-237(2003).
9. Choi, Y. H., "Characteristics Evaluation of non Point source treatment facilities in construction site," *Korean Soc. Hazard. Mitigat.*, **9**(2), 52~62(2009).
10. CDS Tech, <http://www.cdstech.com>, (2012).
11. Downstream Defender, <http://www.hydro-international.biz>, (2012).
12. StormFilter, www.stormwater360.com(2012).
13. Ministry of Environment, "Monitoring and maintenance of non-point pollution abatement facilities in 4 rivers," 62~101(2011).
14. Lee, J. H. and Bang, K.-W., "Performance Evaluation of Backwash Hydrodynamic Separator Filter for Treatment of Micro Particles," *Korean Soc. Environ. Eng.*, **34**(10), 694~701(2012).
15. Koo, B. J., Choi, G. W., Choi, W. S. and Song, C. S., "Comparison of Filtering Characteristics of Various Media considering Particle Size Distribution of Road Runoff This study investigate," *J. Korean Soc. Water and Wastewater*, **27**(3), 299~312(2013).