

# 여과재를 활용한 건물옥상유출 초기빗물의 부유물질 저감 Reduction of Suspended Solids in First Flush from a Building Rooftop using Various Media

김성범 · 이원태\*

Seongbeom Kim · Wontae Lee\*

금오공과대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(Received January 24, 2017; Revised February 28, 2017; Accepted March 16, 2017)

**Abstract :** We analyzed the water quality of first flush and rainfall runoff from a building rooftop, and investigated the removal of suspended solids (SS) in first flush using various media to develop a first flush filtration system. Particle size distribution exhibited most of particles in first flush from the rooftop ranged from 10 to 30  $\mu\text{m}$ . SS concentrations maxed in 10~20 min and decreased afterwards. Dissolved organics and inorganic materials in runoff also showed highest levels in first flush (10 min). Filtration tests using anthracite (AC), polyurethane (PU), polypropylene (PP) showed about 50% of SS removal during the first 10 min operation, but the removal rates dramatically decreased after 20 min of filtration. Based upon the results from rinse and run cycle tests, only AC could achieve nice cycles without distinct decrease of SS removal. SS removal rates increased with higher depth of media bed and lower flowrate. The system achieved over 50% of SS removal with a media depth of 30 cm and flowrate < 12 L/min.

**Key Words :** First Flush, Rainwater, Media, Filtration, Suspended Solids

**요약 :** 건물의 우수관에 연결하여 초기빗물의 부유물질을 처리할 수 있는 장치를 개발하기 위하여 건물옥상 유출 빗물의 수질특성 변화를 파악하고 다양한 여재를 활용해 초기빗물의 부유물질 제거를 연구하였다. 건물옥상 유출빗물의 입자성 물질은 대부분 10~30  $\mu\text{m}$ 의 크기로, 부유물질 농도는 강우시 초기 10~20분까지 높았고 점진적으로 감소하였다. 옥상유출빗물의 용존성 유기물과 무기물의 농도도 유출 초기에 높게 나타났다. Anthracite (AC), Polyurethane (PU), Polypropylene (PP) 여재로 여과시 초기에 50%의 부유물질을 제거할 수 있었으나 20분 이상 여과시 제거율이 급격히 낮아졌다. 세척후 반복여과를 고려하면 AC 여재만 9회까지 재사용가능하였다. 여재층의 높이가 높을수록, 통과유량이 적을수록 시간에 따른 SS 제거율 감소폭은 적었고, 여재층 30 cm, 유량 12 L/min 이하로 운전할 경우 초기빗물(SS = 450 mg/L)의 SS 제거율 50%를 달성할 수 있었다.

**주제어 :** 초기빗물, 빗물, 여재, 여과, 부유물질

## 1. 서론

최근 기후변화로 인한 가뭄 등으로 인해 국지적 가용 수자원의 부족이 사회적으로 문제가 되고 있다. 2003년 미국의 PAI (population action international)가 발표한 ‘물 스트레스 국가’ 보고서에 의하면 우리나라의 1인당 연간 사용 가능한 가용 수자원량은 1,453  $\text{m}^3$ 으로 153개 국가 중 129위였다.<sup>1)</sup> 경제협력기구(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)도 우리나라를 물 스트레스가 심각한 수준의 국가로 분류하였으며, 세계자원연구소(World Resources Institute, WRI) 또한 우리나라가 세계에서 두 번째로 물 부족이 심각한 국가라고 보고하였다.<sup>2,3)</sup>

이에 환경부는 ‘물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률’을 공포 및 시행하며 공공하수처리수 재이용, 중수도, 빗물 이용 등을 확대하고 있다.<sup>4)</sup> 이 중 빗물 이용은 장치설치가 쉽고 다수의 지자체에서 설치비를 지원하고 있으며, 또한 하수처리수 재이용과 같은 부정적 인식이 없어 사용이 증가하는 추세로 대체수자원 이용 확산의 중요한 역할을 하고 있다. 빗물 이용은 2010년에 연간 사용량이 43,179톤으로

미미하였으나, 2014년에는 6,607,426톤으로 150배 이상 증가하였다.<sup>5)</sup>

빗물은 여러 가지 방법으로 이용될 수 있으나, 공공기관이나 공동주택 등에서는 건물 옥상에서 유출되는 빗물을 지하 혹은 지상의 저류조로 수집하고, 지표면에 축적된 오염물질이 비에 씻겨 저류조로 유입될 수 있으므로 저장된 빗물을 처리해서 사용한다. 지표면에 축적된 오염물질이 비가 올 때 일시적으로 유출되는 현상을 초기세척효과(first flush effect)라 하고, 이러한 초기세척효과에 의해 오염물질을 다량 함유하며 유출되는 물을 초기빗물 또는 초기우수라 정의한다.<sup>6)</sup> 강우시 초기빗물의 오염부하량은 강우강도, 강우 지속시간, 선행무(無)강우일수 등에 영향을 받을 수 있는데, 일반적으로 선행무(無)강우일수가 증가함에 따라 초기빗물의 오염물질 부하량도 증가한다.<sup>7,8)</sup> 건물 옥상에서 유출되는 빗물은 도로나 주차장에서 유출되는 빗물과 달리 중금속, 기름 등 오염물의 함량이 낮아 초기빗물만 배제 또는 처리하고 일정 시간 또는 유량 유출 후에 내려오는 빗물만 저류조로 보내어 사용하는 방법을 활용할 수 있다.<sup>9-12)</sup> 이렇게 할 경우 상대적으로 낮은 에너지 소모로 빗물 활용을 극

\* Corresponding author E-mail: wtlee@kumoh.ac.kr Tel: 054-478-7636 Fax: 054-478-7859

대화 할 수 있다.<sup>13)</sup> 다만, 이를 위해서는 초기빗물을 수리학적적으로 적절히 배제할 수 있는 장치와 경제적이고 유지관리가 용이한 처리장치의 개발이 필요하다.

본 연구는 연구진이 개발한 건물 옥상유출 초기빗물 배제시스템으로 배제한 초기우수를 처리하기에 적합한 처리장치를 개발하기 위하여 수행하였다.<sup>14)</sup> 먼저 강우량 및 강우시간 경과에 따른 옥상표면 유출빗물의 수질특성을 파악하고, 이를 바탕으로 고안된 여과시스템으로 다양한 여재를 활용하여 초기빗물에 포함된 오염물질의 제거 가능성을 분석하였다.

## 2. 실험 및 분석 방법

### 2.1. 유출빗물 수질특성 분석

강우시 건물옥상에서 유출되는 빗물의 수질특성은 강우강도, 강우지속시간, 선행무(無)강우일수 등의 강우 및 기 후 특성에 따라 변화가 심하다. 본 실험을 수행하기 전 예비실험시 3차례에 걸쳐 초기빗물의 부유물질(SS) 농도를 분석한 결과 110~920 mg/L의 큰 범위를 나타냈다. 따라서 본 실험에서는 표면에 닿기 전 빗물을 채수하여 모의강우를 모사하여 유출수 실험을 실시하였다.<sup>15)</sup> 실험은 2013년 5~7월에 걸쳐 구미지역 건물옥상에서 수행하였다. 선행무(無)강우일수가 10일 이상 지난 옥상 표면에 4 m<sup>2</sup>의 면적을 선정하여 모아둔 빗물을 강우강도 5 mm/hr로 골고루 뿌려준 후 우수관으로 유출되는 빗물을 시간별로 채수하였다. 한 번의 실험에 사용한 빗물의 양은 약 120 L(표면적 4 m<sup>2</sup>, 강우강도 5 mm/hr, 강우지속시간 3 hr)이었고, 실험은 3회(다른 날) 반복 수행하여 평균값으로 빗물의 수질특성으로 판단하였다.

### 2.2. 여재를 활용한 부유물질 제거

여재를 활용한 초기빗물의 부유물질 제거실험은 모의 빗물과 빗물여과장치를 이용하여 상온에서 실시하였다.<sup>14)</sup> 모의 빗물은 건물옥상에서 우수관으로 유출되는 빗물을 모아 제조하였다. 장시간에 걸쳐 모인 빗물은 초기빗물에 비하여 pH, 전기전도도(EC) 등은 큰 차이가 없었으나 부유물질 농도가 낮았다. 초기빗물의 수질특성은 Table 1의 유출빗물 특성에서 20분까지의 수질특성을 기준으로 잡았다. 본 실험에 사용된 모의 초기빗물의 부유물질 농도를 실제 초기빗물의 부유물질 농도와 같게 만들기 위하여 (1) 카울린(1~10 μm), (2) 벤토나이트(2~20 μm), (3) #400 mesh (37 μm) 체를 통과한 일반토양(황토)을 사용하여 SS 농도 450 mg/L 가 되도록 제조하였다.<sup>15)</sup>

초기빗물의 부유물질 제거실험에 사용한 여과장치는 높이 400 mm, 직경 100 mm의 원통형 장치로 유량 조절이 가능하고 일정량의 물이 골고루 분산되도록 제작하였다. 실험에 사용한 여재는 Anthracite (AC)와 Polyurethane (PU), Polypropylene (PP) 3종을 사용하였는데, PP 여재는 직경 10,

15, 20 mm의 세 가지 크기 여재로 나누어 실험을 진행하였다.<sup>16,17)</sup> AC는 직경 0.9~1.1 mm, 공극률 50% 이상의 제품을 사용하였으며 다량의 탁도 제거 및 세척이 용이하다는 특징을 지니고 있다. PU는 15 mm로 제작하여 사용하였고, 공극률 65% 이상의 다공성물질로 다량의 오염물질의 제거가 용이하다. PP는 화학반응이 잘 일어나지 않고 변형이 없기 때문에 각종 오염물질을 제거할 수 있는 것으로 알려져 있다.

선정된 여재를 이용하여 초기빗물의 부유물질 제거율을 분석하기 위해 여재별로 여재층의 높이(10~30 cm) 및 유입 빗물의 유량(8~20 L/min)을 변경하며 부유물질 제거율 분석을 실시하였다. 또한 여재를 반복해서 사용해야 하므로, 여과실험 후 여재를 세척(10분간 세척)하고 다시 여과실험을 반복하여 9회 실험하였다.

### 2.3. 분석 방법

수질분석항목은 pH, 부유물질(SS), 탁도(turbidity), 입도분포, 전기전도도(EC), UVA<sub>@254nm</sub>, FEEM (Fluorescence Excitation-Emission Matrix) 등을 포함한다. pH는 pH meter (SG/Orion Star A325, Thermo Fisher Scientific, USA)로 측정하였으며, EC는 EC meter (SG/Orion Star A212, Thermo Fisher Scientific, USA)로 측정하였다. 부유물질(SS)은 수질오염공정시험기준에 따라서 유기물이 제거된 1.2 μm 공극의 GF/C 필터로 여과 전후의 무게차를 이용하여 측정하였다.<sup>18,19)</sup> 탁도는 Turbidity meter (US/HI 98703, Hanna, USA)로 측정하였다. UVA<sub>@254nm</sub>는 분광광도계(UV-VIS Spectrophotometer HS-3300, HUMAS, KOR)로 측정하였다. 입도분포는 입도분포측정장치(PSA Mastersizer 2000, Malvern, UK)를 이용하여 분석을 실시하였다. FEEM은 형광분광광도계(Spectrofluorophotometer RF-5301, SHIMADZU, Japan)로 분석하였다.<sup>20)</sup>

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 건물옥상표면 유출빗물의 수질특성

강우시 건물 옥상에서 유출되는 빗물의 수질특성 변화를 분석하기 위하여 모의강우 실험을 통해 유출시킨 빗물의 수질특성을 분석하였다. Table 1은 옥상표면에 닿기 전 빗물(rainwater)과 강우지속시간에 따른 유출빗물의 특성을 나타내고 있다. 옥상표면에 닿기 전 빗물은 pH가 4.3으로 수돗물의 공급기준(5.8~8.5) 보다 낮았다. 탁도는 3 NTU, 부유물질은 3.5 mg/L로 낮았으나 전기전도도는 141 μS/cm로 다소 높았다. 이러한 빗물의 결과는 선행된 다른 연구와 유사한 값을 나타낸다.<sup>21,22)</sup>

빗물이 옥상표면과 접촉한 후 pH가 급격히 증가하였다. 강우시 10분 후에 유출된 빗물의 pH가 9.6으로 옥상표면에 닿기 전 빗물에 비하여 높은 pH를 나타내었고, 이후 급격한 변화 없이 실험(3시간) 동안 지속적으로 높게 유지되었다(pH 9.6~9.8). pH가 급격히 높아진 것은 옥상표면 시멘트의

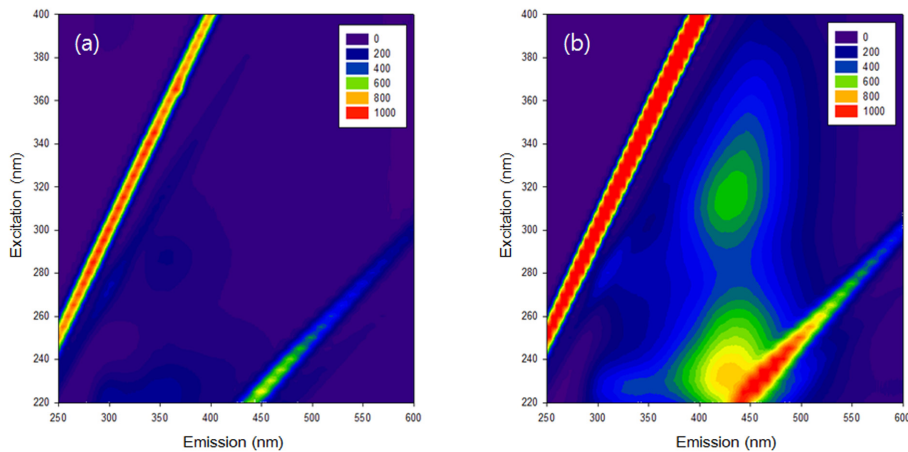
**Table 1.** Water quality of rainwater and runoff from a building rooftop (rainfall intensity = 5 mm/hr)

Time of concentration (min)	pH	EC (μS/cm)	UVA <sub>@254nm</sub>	SS (mg/L)	Turbidity (NTU)
0 (rainwater)	4.3	141	0.043	3.5	3
10	9.6	195	0.073	326	221
20	9.7	168	0.060	448	240
30	9.7	151	0.050	207	101
60	9.8	145	0.047	155	60
120	9.8	144	0.043	143	43
180	9.8	142	0.043	66	24

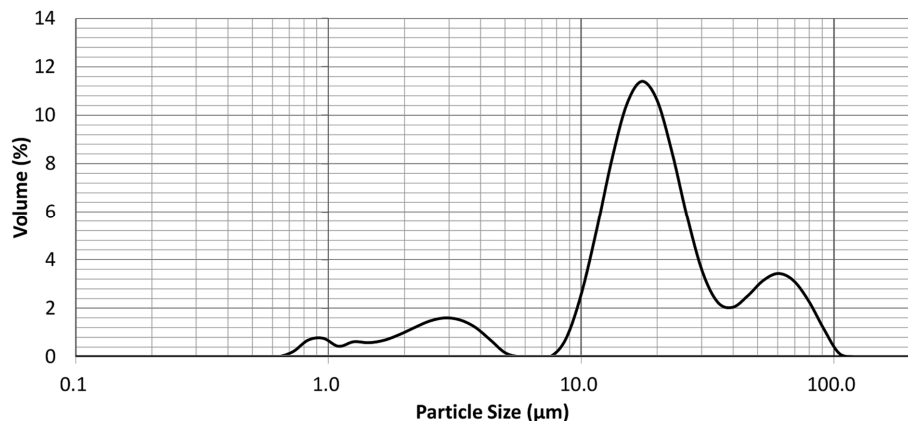
수화반응 및 탄산화 현상 때문으로 판단된다.<sup>23)</sup> 전기전도도 (EC)는 강우 초기 10분 후에 유출된 빗물에서 195 μS/cm로 높아졌으나 이후 점진적으로 낮아져 3시간 후 유출된 빗물은 142 μS/cm로 옥상표면에 닿기 전 빗물(141 μS/cm)과 유사한 값을 나타냈다. 전기전도도는 초기 옥상표면에 있는 오염물질 때문에 증가하나 시간이 지날수록 오염물질이 저감되어 원수와 비슷한 성질을 나타내는 것으로 판단된다.<sup>21,22)</sup> 이로써 강우 유출수의 pH는 상승하여 유지되지만, 바람에 의해 옥상표면에 침적된 무기(이온성)물질은 5 mm/hr 강도의 강우시 초기 30분 안에 대부분 유출됨을 알 수 있었다.

본 실험에서 유기물의 척도로 사용된 UVA<sub>@254nm</sub> 값의 유출시간 경과에 따른 변화를 보면 유기물도 5 mm/hr 강도의 강우시 초기 30분 안에 대부분 유출됨을 알 수 있었다. 유기물의 정성분석을 위해 분석한 FEEM 결과를 보면 옥상표면의 유기물의 상당 부분이 휴믹성 물질임을 알 수 있다(Fig. 1). FEEM 분석결과 옥상표면에 닿기 전 빗물에서는 휴믹산(humic acids)/펄빅산(fulvic acids)이 거의 검출되지 않았으나, 10분후 옥상표면 유출수는 휴믹산(humic acids)/펄빅산(fulvic acids) 유기물의 형상이 뚜렷하게 나타났다.

옥상표면 유출수의 입자성 물질은 강우 20분 후 유출수에서 최대값을 나타내고 점진적으로 감소하였다. 다만, 용존유기물 농도와 달리 실험시간(3시간) 후에도 빗물에 비하여 높은 농도를 유지하였다. 탁도는 10분 유출수에서 195 NTU로 높아지고, 20분 유출수에서 가장 높은 240 NTU를 나타낸 후 감소하여 3시간 후에는 24 NTU로 낮아졌다. 부유물질(SS)은 탁도와 유사한 경향을 나타내어 10분 유출수에서 326 mg/L, 20분 유출수에서 448 mg/L로 높아진 후 감소하여 3시간 후에는 66 mg/L으로 낮아지는 경향을 보였다. 입자성 물질의 농도가 최대인 20분 유출수의 입도분포를 분석해본 결과, 대부분의 입자가 10~30 μm의 크기로 나타났다(Fig. 2). 이러한 결과를 바탕으로 초기빗물의 부유물



**Fig. 1.** FEEM of (a) rainwater (0 min) and (b) first flush (10 min) from a building rooftop after the rainfall (rainfall intensity = 5 mm/hr).



**Fig. 2.** Particle size distribution of first flush (20 min) from a building rooftop after the rainfall (rainfall intensity = 5 mm/hr).

질 제거 실험을 위한 빗물을 제조하였다. 유출빗물 특성에서 20분까지의 수질특성을 기준으로 잡아 SS 농도를 450 mg/L로 맞춘 빗물을 제조하여 이후 실험을 진행하였다.

### 3.2. 초기빗물의 부유물질 제거

초기빗물의 수질이 강우 특성에 따라 조금씩 달라지고 초기 짧은 시간만 채수하기 때문에 다량을 채수하는 것도 힘든 점이 있어 “2. 실험 및 분석방법”에서 설명했듯이 본 실험에서는 제조된 모의 초기빗물로 부유물질 제거실험을 진행하였다.

Fig. 3은 초기빗물 부유물질의 각 여재별 제거율을 확인하기 위하여 초기빗물처리장치에 여재를 10 cm 높이로 채운 후 유입 유량을 10 L/min으로 하여 모의 빗물을 주입하여 실험한 결과이다. 유출 10분 후에 시료를 채수하여 부유물질(SS)을 분석한 결과, AC와 PP (d = 10 mm)가 부유물질의 종류(카올린, 벤토나이트, 일반토양(황토))에 관계 없이 50% 이상의 제거율을 보였다.

전반적으로 벤토나이트로 제조한 초기빗물의 부유물질 제거율이 카올린이나 일반토양(황토)으로 제조한 초기빗물의 부유물질 제거율보다 높게 나타났다(Fig. 3). 이것은 벤토나이트의 입자크기가 상대적으로 크고 고르게 분포되어 있기 때문으로 판단된다. PU 여재의 부유물질(SS) 제거율은 벤토나이트로 제조한 빗물에서 51.7%, 카올린으로 제조한 빗물에서 44.6%이었고, 일반토양(황토)으로 제조한 빗물에서 40.2%로 가장 낮게 나타났다. AC를 여재로 하여 실험한 SS 제거율 결과는 모의 빗물의 부유물질 성상에 따라 카올린 49.4%, 벤토나이트 51.7%, 일반토양 46.5%로 나타났다. PP는 3가지 직경의 여재로 실험을 실시하였으며 직경이 작을수록 SS 제거율이 높은 것을 확인하였다. 직경 20 mm와 15 mm인 PP여재의 경우 모의빗물의 부유물질 성상에 의한 제거율 차이는 없었다. 다만, 직경 10 mm PP여재는 PU와 AC와 마찬가지로 벤토나이트의 제거율이 가장 높았다(카올린 49.4%, 벤토나이트 53.8%, 일반토양 48.8%). 부유물질로 주입한 물질의 종류에 따른 제거율의 차이가 크지 않았으며

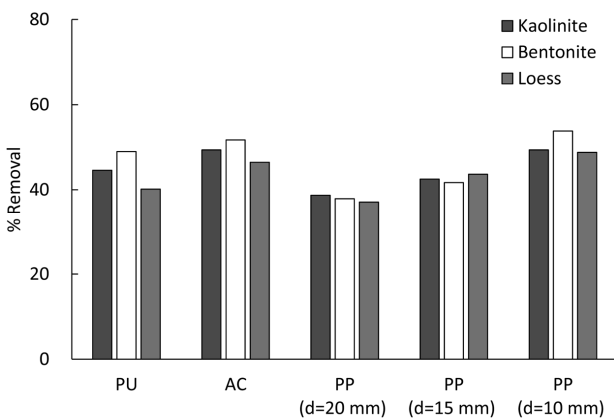


Fig. 3. Removal of Kaolinite, Bentonite, and Loess by filtration with various media (media height = 10 cm, filtration time = 10 min).

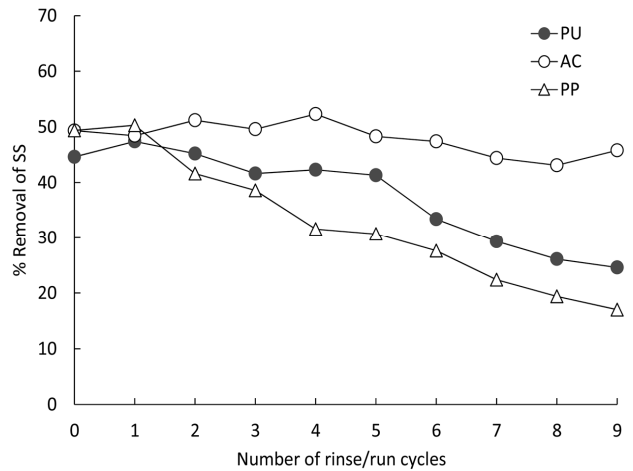


Fig. 4. Effect of the number of rinse/run cycles on the removal of SS by media filtration (media height = 10 cm, filtration time = 10 min).

로, 이후 부유물질 제거실험에서는 상대적으로 입자크기가 작고 혼합이 용이한 카올린을 사용하였다.

여재를 이용한 여과장치의 특성상 현장 적용을 고려하여 세척 후 반복 실험을 실시하였다. 세척 실험은 여재의 종류별로 10 cm 높이로 쌓은 후 10 L/min으로 10분 간 모의 빗물을 주입하여 실시하였으며 모의 빗물은 카올린을 이용하여 SS가 450 mg/L가 되도록 하였다. 세척은 1회 실험 후 장치에서 분리하여 흐르는 물로 10분간 세척하였다. Fig. 4는 초기 실험(세척 0회) 및 세척 후 실험을 9회 반복한 결과이다. PU 여재로 모의 빗물의 SS 제거를 세척/여과 반복실험한 결과, 세척 후 여과를 6회 반복하였을 때부터 SS 제거율이 33.4%로 급격히 낮아졌으며 9회 반복 실험한 후에는 24.6%로 낮아졌다. AC의 경우 9회 이상 재사용 및 세척 실험을 진행하여도 제거율이 40% 이상 유지되었다(최저 제거율 43.1%). PP (d = 10 mm) 여재의 경우 3회 이상 세척 후 반복 사용하였을 때 SS 제거율이 38.6%로 낮아졌고 지속적으로 제거율이 감소하여 9회 세척 및 재사용시 17%의 낮은 SS 제거율을 나타냈다. 3종의 여재에 대한 세척 후 재사용 효과를 보았을 때 AC가 가장 적합하였다. 세척 방법(시간, 세척유량 등)에 따라서 SS 제거율의 변화가 생길 것으로 판단되나 장기적으로 세척 후 SS 제거율이 좋은 AC를 이후 실험에 사용하였다.

여재층의 높이에 따른 SS 제거율을 분석하기 위하여 초기빗물 처리장치에 AC여재의 높이를 10, 15, 20, 30 cm로 변경하며 모의 빗물(카올린, SS농도 450 mg/L)을 10 L/min으로 주입하며 SS 제거율을 평가하였다(Fig. 5). SS 제거율 측정 결과, 여과 시간이 길어질수록 SS 제거율이 낮아졌다. 여재 높이별(10, 15, 20, 30cm) SS제거율은 여과시간 15분까지 여재 높이에 관계없이 감소율이 유사하였다. 다만, 여과 20분 후부터는 여재의 높이가 작을수록 SS 제거율 감소폭이 커졌다. 여과 20분 후 SS 제거율이 여재 높이(10, 15, 20, 30 cm)별로 19%, 25%, 28%, 32%이었으며, 여과 30분에는

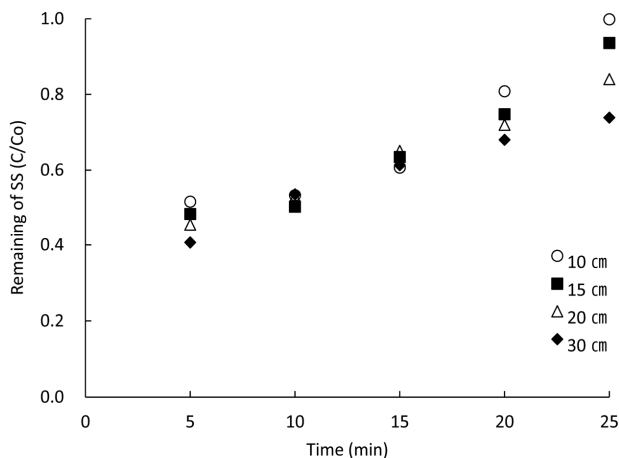


Fig. 5. Removal of SS by anthracite filtration with different heights (flowrate = 10 L/min).

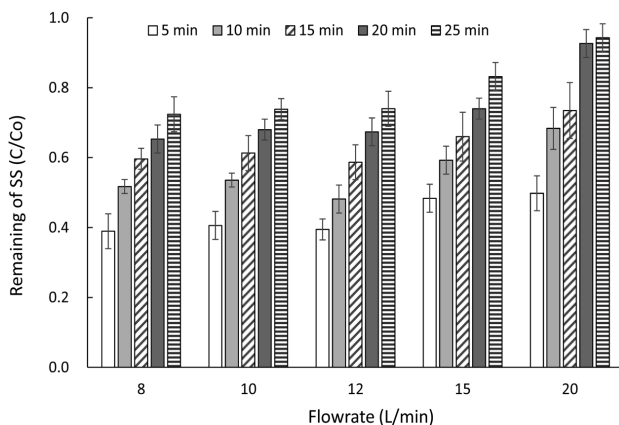


Fig. 6. Removal of SS by anthracite filtration with different flow-rates (media height = 30 cm).

SS 제거율이 0%, 6%, 16%, 26%로 낮아졌다. 여과층의 높이가 클수록 여과시간에 따른 폐색 가능성이 줄어들기 때문에 판단된다. 따라서 이후 실험은 AC 여재를 30 cm 높이로 진행하였다.

초기빗물 처리장치로 유입되는 유량의 변화에 따른 SS 제거율 분석을 위하여 AC 여재를 30 cm 높이로 주입 후 유입 유량을 8, 10, 12, 15, 20 L/min으로 변경하며 실험을 실시하였다(Fig. 6). 시료는 여과 시간 5, 10, 15, 20, 25분에 채수하였다. 모든 유량에서 여과시간이 경과됨에 따라 SS 제거율이 낮아지는 경향을 나타내었다. 8 L/min으로 모의 빗물을 주입한 경우, SS의 제거율이 61% (5분 여과)에서 28% (25분 여과)로 낮아졌으며, 여과 유량 10 L/min과 12 L/min의 SS 제거율은 각각 59~26%, 61~26%의 변화를 보였다. 여과 유량 8~12 L/min에서는 여과시간에 따른 SS 제거율 감소는 유사한 경향을 나타내었다. 그러나 여과 유량 15 L/min부터 여과시간이 길어질수록 SS 제거율이 17% (25분 여과)로 급격히 낮아졌고, 여과 유량 20 L/min 경우에는 SS 제거율이 6% (25분 여과)로 급격히 감소하였다. 유량이 커질수록 여재의 폐색이 급격히 일어나는 것으로 판단된다. 초기

빗물 여과장치를 통해 SS 제거율 50%를 달성하기 위해서는 유량 12 L/min, 여과지속시간 10분 이하로 운전할 필요가 있다. 본 실험에 사용된 여재를 이용하면 초기빗물(SS = 450 mg/L)의 부유물질을 60% 이상 제거하는 것은 어렵다. 따라서 저류된 빗물의 사용시 목적에 따라 더 높은 SS 제거가 필요할 경우에는 디스크필터 등을 활용하여 처리한 후 사용해야 한다.

#### 4. 결론

건물의 우수관 연결을 통해 초기빗물의 부유물질 처리에 적합한 장치를 개발하기 위하여 건물옥상 유출 빗물의 수질특성 변화를 파악하고 다양한 여재를 활용해 초기빗물의 부유물질 제거실험을 해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 옥상유출 빗물은 pH가 9.6 이상으로 높고, 초기빗물의 경우 옥상표면에 침적된 오염물질의 세척효과에 의해 전기전도도와 부유물질 농도가 급격히 증가한다. 초기빗물의 유기물 특성을 보면 휴믹성 물질이 다량 함유되어 있음을 알 수 있다. 용존성 유기물과 무기물은 강우 후 10분에 가장 높은 농도를 나타냈고, pH를 제외한 항목은 강우시간이 지속될수록 원수(표면에 닿기 전 빗물)에 가까운 값을 나타내었다.

2) 부유물질의 농도는 20분 유출수에서 가장 높았고, 3시간 유출시 점진적으로 감소하였으나 빗물과 같은 수준으로 낮아지지는 않았다. 본 실험대상지역의 초기빗물 내 입자성 물질은 대부분 10~30  $\mu\text{m}$ 의 크기이었다.

3) 3종의 여재(PU, AC, PP)를 넣은 여과장치는 초기에 50%의 부유물질을 제거할 수 있었으나 20분 이상 여과시 제거율이 급격히 낮아졌다. 또한 여재를 세척 후 재사용 할 경우, AC 여재만 9회 반복하여도 SS 제거율이 40% 이상 지속되었고 나머지 여재는 세척 후 반복여과시 SS 제거율이 급격하게 낮아졌다.

4) 여재층의 높이가 높을수록, 그리고 통과유량이 적을수록 시간에 따른 SS 제거율 감소폭은 적었다. 본 연구에 사용된 여과장치를 이용해 초기빗물(SS = 450 mg/L)의 SS 제거율 50%를 달성하기 위해서는 여재층 30 cm, 유량 12 L/min 이하로 운전해야 한다. 저류된 빗물의 사용시 목적에 따라 더 높은 SS 제거가 필요할 경우에는 디스크필터 등을 활용하여 처리한 후 사용해야 할 것이다.

#### Acknowledgement

이 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 지원된 논문임.

## References

- Kim, S. H., Kim, E. M. and Lim, Y. M., "A Research on the Development of a GIS-Based Real-Time Urban Water Management System," *J. Korea Academia-Industrial*, **12**(11), 5290~5299(2011).
- "Water The Environmental Outlook to 2050," OECD Global Forum on Environment : Making Water Reform Happen, (2011).
- Suh, J. S., Kim, Y. H., Han, K. H. and Kim, D. W., "Legal Improvements for SWG Application Relevant to the Water Loop System with Multi-Water Resources," *KCID J.*, **21**(1), 127~140(2014).
- Korea Ministry of Environment, "Law on Reuse Promotion and Support of Water," (2017).
- Korea Ministry of Environment, "Sewer statistics," (2015).
- Hathaway, J. M., Tucker, R. S., Spooner, J. M. and Hunt, W. F., "A Traditional Analysis of the First Flush Effect for Nutrients in Stormwater Runoff from Two Small Urban Catchments," *Water, Air, & Soil Pollut.*, **223**(9), 5903~5915 (2012).
- Choi, S. Y., Ko, K. B., Lee, J. Y. and Lim, S. H., "Water Quality of the First Flushes in the Surface Runoff at an Intersection," *J. Environ. Sci. Int.*, **15**(4), 359~364(2006).
- Roh, S. D., Lee, D. K. and Chun, Y. K., "A Study on the Early-stage Storm Runoff Treatment for the Reduction of Non-point Pollution Materials on the Road," *J. Korean Soc. Water Qual.*, **20**(5), 525~533(2004).
- Korea Ministry of Environment, Manual : Operation, Installation and Management of Non Point Source Pollution(2014).
- Brodie, I. M. and Egodawatta, P., "Relationships Between Rainfall Intensity, Duration and Suspended Particle Washoff from an Urban Road Surface," *Hydrol. Res.*, **42**(4), 239~249 (2011).
- Liesl, L. T. and Schiff, K. C., "Effects of Rainfall Intensity and Duration on First Flush of Stormwater Pollutants," Southern California Coastal Water Research Project Annual Report 2002, 209~215(2001).
- Schiff, K. C., Tiefenthaler, L. L., Bay, S. M. and Greenstein, D. J., "Effects of Rainfall Intensity and Duration on the First Flush from Parking Lots," *Academic Editor: Brigitte Helmerich*, **8**(8), 320~330(2016).
- Kim, S. G., Lee, T. S., Kim, Y. C. and Han, C. B., "Study on Water Quality Characteristics of Collected Rainwater from Different Harvesting Methods," *KSWST J. Water Treat.*, **24**(2), 89~99(2016).
- Lee, W. T. and Kim, S. B., "10-1682756," 11~29(2016).
- Lee, S. Y., Choi, J. Y., Hong, J. S., Choi, H. S., Kim, L. H., "Cost-Effective Assessment of Filter Media for Treating Stormwater Runoff in LID Facilities," *J. Wetlands Res.*, **18**(2), 194~200(2016).
- Won, C. H., Shin, M. H., Choi, Y. H., Shin, J. Y., Park, W. J. and Choi, J. D., "Simulations of Runoff using Rice Straw Mats and Soil Amendments," *J. Korean Soc. Agric. Eng.*, **54**(2), 95~102(2012).
- Kus, B. G., "Cost Effective filtration System to Improve the Water Quality in Rainwater Tanks," University of Technology, Sydney, Australia(2014).
- Han, C. B., Lee, T. S., Seo, G. T. and Kang, M. A., "Characteristic Quality of Rain Water by Various Materials for Collection and Storage," *KSWST J. Water Treat.*, **21**(1), 13~21(2013).
- Korea Ministry of Environment, "Environmental Standard or Water Quality,"(2015).
- Han, S. G. and Kim, J. M., "Study on Radioactive Material Management Plan and Environmental Analysis of Water (II) Study of Management System in Water Environment of Japan," *J. Korean Soc. Radiol.*, **38**(3) 305~313(2015).
- Lee, K. C., Gegal, B. C., Choi, L. W. and Lee, W. T., "Formation Characteristics and Control of Disinfection Byproducts in a Drinking Water Treatment Plant Using Lake Water," *J. Korean. Soc. Environ. Eng.*, **37**(5), 269~276(2015).
- Park, G. J., Park, M. S., Kim, H. S., Lim, Y. S. and Kim, S. P., "Development of Domestic Rainwater Treatment System and its Applicaton in the Field," *J. Wetlands Res.*, **18**(1), 24~31(2016).
- Lee, J. S., Jung, G. B., Shin, J. D. and Kim, J. H., "Chemical Properties of Rainwater in Suwon and Taean Area during Farming Season," *Korea J. Agric. Forest Meteorol.*, **6**(4), 250~255(2004).
- Hyun, K. H., Choi, J. J. and Choung, Y. K., "The Effect of Impermeable Surface and Rainwater Infiltration Facilities on the Runoff pH Housing Complexes," *Korea Environ. Impact Assessment Inst.*, **19**(1), 39~47(2010).