

## 페타이어와 부직포를 이용한 프리필터에 의한 비점오염원 포함 우수 처리 특성

### Removal Characteristics of Rainwater Including Non-point Pollutants Using Pre-filter of Wasted-tire and Non-woven Fabric

유규선\* · 한학영

Yoo, Kyuseon\* · Han, Hakyoung

전주대학교 공과대학 토목환경공학과

(2005년 8월 17일 논문접수; 2005년 10월 8일 최종 수정논문 채택)

#### Abstract

Pre-filter system that was consisted of wasted-tire, non-woven fabrics, and sponge was developed as a primary treatment process prior to rainwater reservation or a pre-treatment process of rainwater reuse system for reclamation. By using this system, SS concentration, TOC, COD, and turbidity could decreased by 86.7%, 62.6%, 69.1% and 66.5%, respectively.

From the results of particle size distribution of treated water, the particles over than  $30\mu\text{m}$  of diameter were completely removed by pre-filter system. But 90% of particles less than  $20\mu\text{m}$  of diameter were passed through pre-filter. Optimal depth of wasted-tire and non-woven fabrics were 15cm and 2.4cm, respectively.

Pre-filter system was considered as an effective alternative for pre-treatment of rainwater including non-point pollutants and it could be also applied for the treatment of combined sewer overflow (CSO).

**Key words:** rainwater reuse, pre-filter, wasted-tire, non-woven fabric, particle size distribution

**주제어:** 빗물 재이용, 프리필터, 페타이어, 부직포, 입자 크기 분포

#### 1. 서 론

우리나라의 연강수량은 1,283mm로 세계 평균인 973mm에 비해 높지만 1인당 평균 강수량은  $2,705\text{m}^3$ 로 세계 평균인  $26,800\text{m}^3$ 과 비교하면 10.1%에 불과

하여 UN의 국제 인구 행동연구소(PAI, Population Action International)에서는 우리나라를 물 부족 국가로 분류(1인당 사용 가능량을 기준으로  $1,700\text{m}^3$  이상이면 물풍요국,  $1,700\sim 1,000\text{m}^3$ 이면 물부족국,  $1,000\text{m}^3$  미만이면 물기근국)하고 있다(신원우, 2002).

\*Corresponding author Tel: +82-63-220-2579, Fax: +82-63-220-2056, E-mail: k-yoo@jj.ac.kr (Yoo, K.)

지금까지 빗물은 치수에 관심이 집중된 나머지 빠른 배제에 모든 역량을 집중하여 하천과 하수도를 개 보수하고 빗물 배제용 펌프장을 건설하는데 막대한 비용을 들여왔다. 그러나 기상이변에 의한 집중호우와 도시개발에 의해 이러한 시설은 그 용량이 부족하게 되어 홍수피해는 점점 늘어가는 실정이다. 근본적인 대책이 없다면 앞으로 그 피해는 더욱 심각해질 전망이다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 하나의 대안으로써 최근 우리나라에서도 빗물 이용 시설의 설치에 관심을 가지고 적극적으로 빗물 이용 시설의 설치가 이루어지고 있다. 수도법과 수도법 시행령 및 시행규칙에서 빗물이용시설에 관해 규정하고 있는데, 지붕 면적이 2,400m<sup>2</sup> 이상이고, 관람석 수가 1,400석 이상인 운동장 또는 체육관 등의 시설물에 대해 빗물 이용 시설을 설치·운영하여야 한다고 규정하고 있다.

지금까지 여러 빗물이용관련 연구들이 이루어져 왔다. 이동곤 등(2005)은 빗물의 지표 포집 방법 및 포집 수량과 수질의 관계를 제시하였으며 그 예측모델을 개발하였고 한무영과 이순재 (2005)는 저장 빗물의 평균 pH는 7.2인 것을 보고하였고 빗물 내의 대부분 금속성분은 음용수 수질 기준에 미치지 못하는 것으로 보고하였다. 그 외 강우지속시간에 따른 빗물의 수질 분석이 이루어졌는데 생화학적 산소요구량, 화학적 산소 요구량과 더불어 세균학적 안정성도 평가되었다(곽동희 등, 2003; 독고석과 한무영, 2003).

기존의 빗물 관련 연구들의 경우 내리는 빗물을 포집하여 그 수질을 평가하였고 그것을 어떻게 효과적으로 보관하여 사용할 것인가에 초점이 맞추어져 있다고 할 수 있다. 즉 비점오염원을 포함하지 않은 비교적 깨끗한 빗물을 원수로 사용하는 것이었다. 그러나 대단위 주거단지나 도로면을 통하여 흐르는 다량의 빗물도 처리함으로써 하천의 비점오염원에 의한 오염을 방지하고 수자원으로 확보하는 것도 필요하리라 판단된다.

본 연구에서는 단순히 내리는 빗물이 아닌 도로면이나 주차장 등에 내려 비점오염원을 포함하고 있는 우수의 1차 처리와 재이용을 위한 전처리로서 프리필터를 고안하였으며 그 성능을 평가하였다.

## 2. 연구 재료 및 방법

### 2.1. 프리필터의 구성

프리필터라 함은 우수의 장기 보관을 위한 1차 처리용이나 멤브레인이나 기타의 단위공정을 갖는 우수 재이용 시설의 전처리용으로 고안되었다. 위의 목적을 달성하기 위해 프리필터는 페타이어, 부직포, 스펀지로 구성되었다. 페타이어는 포집된 하수에 포함되어 있는 비교적 큰 크기의 부유고형물을 제거하는 역할을 하며 일부 중금속과 유기물을 흡착하여 제거하는 기능을 한다. 부직포 층은 페타이어 층을 통과한 우수 내에 존재할 수 있는 크기가 작은 부유고형물을 제거하는 역할을 한다. 1차 처리를 위한 프리필터의 여재로서는 여러 다른 여재가 있을 수 있으나 페타이어와 부직포는 비교적 저렴한 가격으로, 요구되는 높은 투수성과 오염물 제거능을 가지므로 경제성과 효율성 면에서 우수하기 때문에 선정되었다. 스펀지 층은 우수의 흐름을 고르게 유지하며 부수적으로 부직포 층을 통과한 부유물의 제거를 위해 설치되었다.

### 2.2. 실험방법

#### 2.2.1. 프리필터 여재 결정을 위한 실험

A사와 B사의 부직포를 대상으로 효과적인 부직포의 결정을 위하여 검증 실험을 실시하였다. A사의 제품은 폴리에스터와 프로필렌의 합성으로 만들어졌으며 B사의 제품은 연마석과 합성수지를 포함한 나일론 부직포이다.

지름 5cm의 원통형 반응기에 페타이어와 부직포, 그리고 스펀지를 아래에서부터 채웠다. 각 여재 층의 두께는 스펀지 2.2cm, A사 부직포 0.8~4cm, B사 부직포 0.5~1.5cm, 페타이어는 10~15cm로 하였으며 표면 부하율은 27.7mL/min · cm<sup>2</sup>로 상향류로 운전하면서 각각의 제거 효율을 측정하였다. 실험을 위한 원수는 실제 도로면을 흘러나오는 우수를 포집하여 실험에 사용하였는데, 수질 자료는 Table 1에 나타내었다.

#### 2.2.2. 운전 인자 결정을 위한 실험

프리필터가 최적의 성능을 나타낼 수 있는 운전인

**Table 1.** 프리필터 시스템에 의한 오염물 제거

분석항목	원수	페타이어+A 부직포	페타이어+B 부직포	페타이어+B 부직포+스펀지	
부유고형물(SS, mg/L)	4204	617.5(85.3%)	975(76.8%)	559.5(86.7%)	
총유기탄소(TOC, mg/L)	38.5	12.2(68.3%)	14.5(62.3%)	14.4(62.6%)	
COD(mg/L)	139.37	42.84(69.2%)	34.68(75.1%)	43.13%(69.1%)	
탁도(NTU)	1000 이상	295(70.5%)	564(43.6%)	335(66.5%)	
중금속(mg/L)	As	0.007	0.009	0.004	0.006
	Cd	0.004	0.007	0.006	0.007
	Cr	0.008	0.006	0.005	0.005
	Cu	0.003	0.001	0.010	0.001
	Fe	0.064	0.060	0.034	0.054
	Hg	0.002	0.0	0.0	0.0
	Pb	0.143	0.035	0.036	0.034

자를 결정하기 위하여 유입 유량과 여재 두께에 따른 영향을 살펴보았다. 반응기는 위의 원통형 반응기를 사용하였으며 유량은 상향류(upflow)로 하여 각각 0.53L/min(0.5Q), 1.06L/min(1.0Q), 1.56L/min(1.5Q)으로 변화시키면서 실시하였다.

### 2.3. 분석방법

각각의 SS, COD, TOC, 중금속, 탁도의 제거 효율을 측정하였다. COD와 SS 등은 Standard method (APHA 등, 1992)에 준하여 분석하였다. Turbidity는 HACH 2100p 탁도계를 사용하여 분석하였고 TOC는 "Sievers 820", 중금속은 유도 결합 플라즈마 분광분석기(Inductively Coupled Plasma Spectrometer, Model: JOBIN YVON/Ultima)를 사용하여 측정하였다. 중금속의 경우 수질환경기준에 규정하고 있는 항목을 참고하였으며 비교적 많은 양이 있을 수 있는 철과 구리를 추가하여 총 7가지(비소, 카드뮴, 크롬, 수은, 납, 철, 구리)를 측정항목으로 선정하였다.

## 3. 실험 결과 및 토의

### 3.1. 프리필터 여재의 결정

아래 Table 1의 결과에서 알 수 있는 것처럼 원수의 부유고형물 농도는 4204mg/L로 매우 높았으나 필터를 거치면서 A 부직포를 사용한 경우 617mg/L를 나타내었고 B 부직포를 사용한 경우 975mg/L를 나타내었다. 여기서 A 부직포를 사용한 경우에는 부직포의 공극 크기가 너무 작아 제거율은 뛰어났으나 부직포의 표면 특성상 역세가 전혀 이루어지지 않아 현장

사용의 문제점을 드러내었다. 반면 B 부직포는 역세 효과가 탁월할 뿐 아니라 역세척에 의해 그 성능을 바로 회복할 수 있었다. 여기에 스펀지를 사용한 결과, 부유고형물 농도를 559.5mg/L까지 낮출 수 있었으며 투과성과 역세 능력이 모두 뛰어났다.

유기물의 제거특성을 살펴보기 위하여 총유기탄소(TOC)와 화학적산소요구량(COD), 두 가지 지표를 사용하였다. TOC의 경우, 원수 농도가 38.5mg/L이었으나 페타이어와 B 부직포를 사용한 경우 62.3%가 제거된 14.5mg/L이었고 스펀지를 사용하였을 경우 62.6%의 제거율을 나타내어 공극이 매우 작은 A 부직포를 사용한 경우(68.3%)보다 낮았지만 그 차이가 크지는 않았다. 유기물 농도를 COD로 평가한 결과, 원수 농도가 139.37mg/L이었으나 페타이어와 B 부직포를 사용하였을 때와 스펀지를 사용하였을 때, 각각 75.1%와 69.1%의 제거율을 나타내었다.

탁도를 살펴보면, 원수의 경우 탁도가 1000 NTU 이상으로 분석이 불가능할 정도를 나타낸 반면 페타이어+B 부직포+스펀지의 경우 탁도가 335 NTU를 나타내었다.

중금속 제거율을 살펴보면 원수에서 납과 철의 농도가 높게 나타나 각각 0.064mg/L와 0.143mg/L를 나타내었다. 본 프리필터를 거친 후의 농도는 철의 경우 B 부직포를 사용하였을 때 더욱 뛰어난 효과를 나타내어 50% 정도 제거되는 0.034mg/L(페타이어+B 부직포)와 15.6% 제거된 0.054mg/L(페타이어+B 부직포+스펀지)를 나타내었다. 납의 경우 제거율이 매우 좋아 75.5%의 제거율을 나타내었다.

역세척 능력과 오염물질 제거를 모두 고려하여 중

합평가 할 때 페타이어+B 부직포+스펀지를 사용한 것이 가장 뛰어난 것으로 나타났다. 이때 전체적으로 원수에 대한 부유고형물 제거율은 86.7%, 총유기탄소(TOC)는 62.6%, COD는 69.1%, 철은 15.6%, 납은 75.5%, 탁도는 66.5%를 나타내었다.

### 3.1.1. 프리필터에 의한 고형물 제거 특성

프리필터는 부유고형물의 일부를 제거하고 중금속을 흡착제거하며 일부 유기물의 제거도 도모하여 결과적으로 우수 장기 저장을 위한 1차 처리나 우수 재이용시 후속 처리공정, 예를 들면 정밀여과막이나 한외여과막을 보호하여 운전의 안정성을 높이고 여과막의 수명을 연장시키는 것을 목적으로 개발되었다. 그 가운데 여과막의 수명이나 Flux, Clogging에 가장 큰 문제가 되는 부유고형물의 제거 특성을 살펴보았다. 프리필터 통과 전후의 부유고형물에 대해 입도 분포를 측정하였는데, 그 결과는 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 원수의 경우 입자의 크기가 10~20 $\mu\text{m}$ 인 입자의 수는 약 1400여 개에 이르며 입경이 증가할수록 입자의 수가 감소하여 입자의 크기가 80~100 $\mu\text{m}$ 인 경우는 약 500여 개에 이른다. 이 이상의 입자도 존재하지만 입경분석기의 최대 측정 크기가 100 $\mu\text{m}$ 이므로 보다 큰 입자는 미리 제거하였다.

프리필터를 통과하면서 30~40 $\mu\text{m}$  이상의 입자는 100%의 제거율에 이르고 있음을 알 수 있다. 즉 30 $\mu\text{m}$  이상의 입자는 프리필터를 통과하지 못하게 된다. 그러나 입자 크기가 20~30 $\mu\text{m}$ 인 경우는 90% 이상 제거되는 반면 입경이 10~20 $\mu\text{m}$ 인 입자의 경우 제거율이 10% 정도에 이르고 있다. 다시 말하면 입경이 20 $\mu\text{m}$  미만인 경우 90% 정도는 프리필터를 그대로 통과한다는 것을 알 수 있었다.

### 3.2. 여재의 두께 및 유량에 따른 SS 제거 효율

여재의 두께 및 유량에 따른 SS 제거 효율을 평가하기 위해 각각의 여재를 독립적으로 사용하여 효율을 측정하였다. 페타이어 층의 두께 및 유량에 따른 SS 제거 효율을 아래 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 유량을 0.5Q(=0.53L/min)로 운전하였을 때 페타이어 층의 두께가 증가함에 따라 제거효율도 증가하여 10cm일 때 약 60%에서 15cm일 때

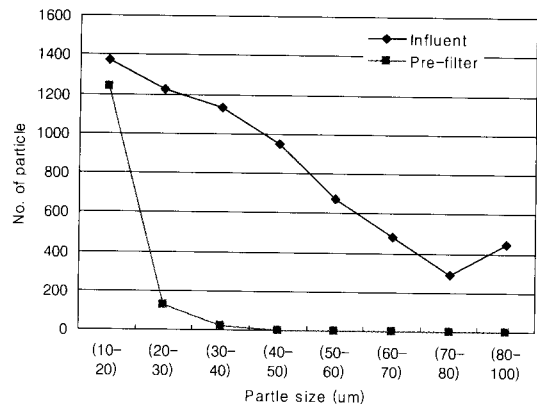


Fig. 1. 프리필터 통과 전후 빗물의 입도 분포.

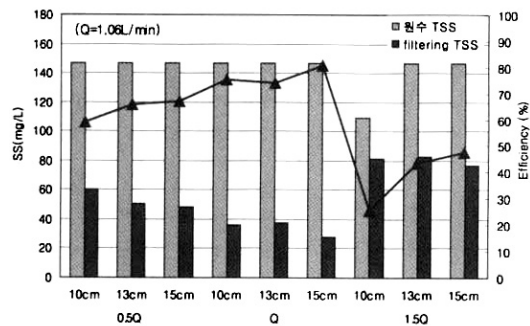


Fig. 2. 페타이어 두께 및 유량에 따른 SS 제거 효율.

68%까지 증가하였다. 유량을 1.0Q로 하였을 때도 비슷한 경향을 나타내었는데 페타이어 층의 두께를 15cm로 하였을 경우 최대 제거율인 81%를 나타내었다. 그러나 유량을 1.5Q로 증가시켰을 경우 제거율이 급격히 감소하여 최대 50%의 제거율을 나타내었다. 이는 유속이 증가함으로 인하여 제거를 위한 충분한 접촉시간을 갖지 못하였기 때문인 것으로 사료된다. 본 결과로부터 적정 페타이어 층의 두께를 15cm로 정할 수 있었다.

부직포(B)의 SS 제거 효율은 사용한 부직포의 개수에 따라 두께가 변하게 되며 그에 따른 제거율의 차이로 평가하였다. 그 결과는 Fig. 3에 나타내었는데 Fig. 2와 비슷한 경향을 나타내었다. 부직포의 두께를 0.8cm에서 4.0cm까지 변화시키면서 실험하였는데 그 두께가 증가함에 따라 제거효율도 증가하는 것으로 나타났으나 두께가 2.4cm 이상으로 증가하는 경우에 효율의 증가폭이 상당히 감소하는 것으로 나타

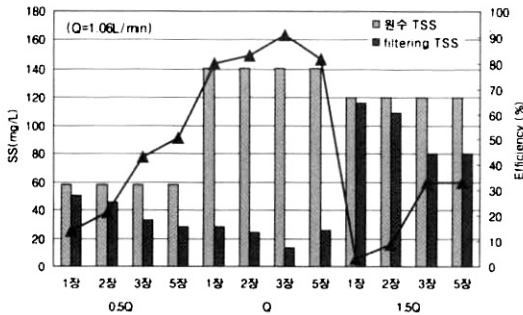


Fig. 3. 부직포 두께 및 유량에 따른 SS 제거 효율.

났다. 유량이 1.0Q일 때 80% 이상의 제거 효율을 보였다. 또한 페타이어와 마찬가지로 유량이 1.5Q로 상승하였을 때 효율이 현저히 떨어지는 양상을 보였다. 부직포의 두께가 3장(2.4cm)을 초과하였을 경우에는 그 효과가 미미하였다.

#### 4. 결 론

빗물이용에 관한 인식이 널리 확산되고 있으며 새로운 자원으로서의 가치가 부각되고 있는 가운데 비점오염원을 포함하는 우수의 재이용을 위한 전처리나 우수의 저장을 위한 1차 처리의 대안으로 프리필터를 고안하여 성능을 측정하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. B 부직포가 A 부직포에 비하여 역세능과 투수성이 우수하였으며 B 부직포를 이용한 결과 비점오염원을 포함한 우수 내의 고형물농도를 86.7%, TOC 농도를 62.6%, COD 농도는 69.1%, 탁도의 경우 1,000 NTU 이상의 고탁도였으나 66.5%를 제거할

수 있었다.

2. 입자 크기를 분석하여 프리필터의 제거 특성을 살펴본 결과, 30 $\mu$ m 이상의 크기를 갖는 입자는 100% 제거되는 것을 알 수 있었다. 그러나 20~30 $\mu$ m 까지의 입자는 90% 제거되지만 20 $\mu$ m 이하의 입자는 10% 정도만이 제거되어 20 $\mu$ m 이하의 입자는 그대로 통과되는 것을 알 수 있었다.

3. 유량에 따른 성능의 차이는 1.0Q(1.06L/min) 유량에서 80%로 최고의 효율을 나타내었으며 부직포는 3장(2.4cm)에서, 그리고 페타이어 층은 15cm에서 최대 효율인 90%와 80%를 각각 나타내었다.

4. 본 연구를 통하여 경제적이며 효율적인 비점오염원을 포함한 우수의 전처리 공정이 개발되었다고 판단되며 이는 전처리 공정 뿐아니라 합류식 관거 월류부하량(CSO) 등의 제어 방안으로써도 효과적일 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- 곽동희, 독고석, 한무영 (2003) 빗물의 용도결정을 위한 세균학적 안전성 및 수질평가. *상하수도학회지*, 17(5), pp. 640-647.
- 독고석, 한무영 (2003) 강우지속시간별 빗물 수질특성 분석. *상하수도학회지*, 17(8), pp. 887-891.
- 신원우 (2002) 우리나라의 빗물이용시설: 현황 및 계획. 제 2회 빗물모으기 운동 워크숍, pp. 18-20.
- 이동곤, 이길수, 왕창근 (2005) 우수의 지표 포집 모델의 개발 및 적용. *상하수도학회지*, 19(2), pp. 173-180.
- 한무영, 이순재 (2005) 갈매중학교 빗물이용시설에서의 저장 빗물 수질 평가. *상하수도학회지*, 19(1), pp. 31-37.
- APHA, AWWA, WEF (1992) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th Ed.