



합류식 하수관거 월류수 처리를 위한 섬유사 여과 장치의 처리특성

Performance of fiber media filter device for combined sewer overflows treatment

손상미¹ · 주티담롱판¹ · 박기영^{1*} · 박철휘²

Son, Sang Mi¹ · Jutidamrongphan, Warangkana¹ · Park, Ki Young^{1*} · Park, Chul-hwi²

1 건국대학교 사회환경시스템공학과, 2 서울시립대학교 환경공학부

(2010년 3월 11일 접수 ; 2010년 4월 2일 수정 ; 2010년 4월 9일 채택)

Abstract

A compressible media filtration process with synthetic fiber media was studied for combined sewer overflows (CSOs) treatment. Since the operation performance of fiber media filtration was dependent on the pattern of CSOs, the flow rate of CSOs was investigated and it was characterized by a big fluctuation. Thus, in this study, the fiber media filtration process was tested with wide range of filtration velocity. The removal efficiency was proportion to the increase in compressibility. As the filtration velocity was increased, the treatment efficiency was decreased and consequently leveled off when the velocity exceeded $750 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$. An exponential equation was introduced to express the relationship between the removal efficiency and up-flow velocity. At column test, six repetition of filtration and backwash cycle did not after the filtering velocity under the constant pressure condition.

Key words : CSOs; fiber filter; Filtration; permeable media; synthetic media

주제어 : 합류식하수관거 월류수; 섬유사여과; 여과; 침투성여재; 합성여재

1. 서론

우리나라는 수원을 대부분 지표수에 의존하고 있어 호소 및 하천의 수질관리는 대단히 중요하다. 그러나 많은 재원을 투자하여 하수 관거 정비 및 하폐수 처리장 고도화 등의 시책을 지속적으로 펼치고 수질규제를 엄격히 하여 운영하고 있음에도 불구하고 지표수의 수질 개선은 아직 뚜렷한 진전을 보이지 않고 있는 실정이다. 이렇게 많은 노력에도 불구하고 수질이 획기적으로 나아지지 않는 주된 원인으로서는 많은 전문가들은 비점오염원의 관리의 취약을 꼽고 있다 (환경부, 2006). 비점오염원은 오염물질의 유출이 강우시에만 집중

되고, 오염원이 넓은 지역에 분산되어 있기 때문에 제어 가능한 오염원으로서의 중요성이 인식되지 못하였다. 특히, 강우초기에 지표면의 오염물질이 유출되는 초기우수(first-flush) 유출수는 오염물질의 유출농도가 높다. 그렇지만, 초기우수를 포함한 우수가 포함된 합류식 하수관거 월류수(CSOs)는 강우시 유출량이 증가하게 되며 우수와 초기우수는 하천으로 그대로 방류된다(Westrelin and Bourdelot, 2001). 미국은 1990년말 200여 기초자치단체의 약 10만여개 공장에 대해 초기우수를 방류할 경우 오염총량(NPDES)의 허가를 받도록 관련 법안을 공포하였으며 초기우수에 의한 오염저감 방지계획을 제출토록 하였다. 국내

* Corresponding author Tel:+82-2-450-3736, Fax:+82-447-3637, E-mail: kypark@konkuk.ac.kr(Park, K.Y.)

의 경우 2002년 개정된 낙동강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률 제18조에 의하여 산업단지의 개발사업 시행자는 초기 우수 등의 저류를 위한 완충저류시설의 설치를 의무화하였으며 하수관정비 BTL사업에서도 합류식 하수관거 월류수 및 분류식 관거의 우수처리 시설이 시범사업으로 시행되고 있다(워터저널, 2004).

한편 우리나라는 CSOs 및 초기우수의 유출 특성 및 처리 시설에 대한 기초적 연구가 매우 부족한 실정이다(방기웅과 이준호, 2001). CSOs 처리방안으로 발생원제어, 차집용량의 확대, 하수 유량제어, 분류식 하수관거로의 교체, 스월조 절조, 화학적 처리법 등이 제시되고 있다(한정균등, 2009). 그 중 하이드로사이클론의 원리를 사용하는 와류형장치가 많이 보고되어 있다. 와류형처리 장치는 CSOs의 특성이나 장치의 구성형태, 크기, 부하 등에 따라 차이가 있지만 대체로 부유고형물(SS)의 제거효율은 그다지 높지 않은 것으로 보고되고 있다(Geiger, 1998; 한정균등 2009).

침강분리공정의 이러한 처리의 한계 때문에 이를 보완하기 위하여 여과공정을 CSOs처리에 도입하는 연구도 많이 진행되어 왔다(Tanaka et al, 1995). 여과공정은 오랫동안 연구 되어왔던 분야로 특히, 상수분야에서는 소독 전처리로 꼭 필요한 공정이다. 대표적인 여과장치로는 모래여과로 음용수의 처리로 주로 많이 사용되어 왔다. 하수처리장 3차 처리 장치로 모래여과가 도입 및 연구되어 왔으나 하수처리장의 방류수의 경우 상수와는 달리 부유물질이 많고 필터 공극사이에 막힘현상을 유발 할 수 있는 Clogging 유발물질들이 많은 관계로 모래여과의 도입이 어렵다(Maeng et al., 2006; Park et al., 2006). 따라서 하폐수처리에서는 섬유사 및 드럼과 같은 막힘 현상을 최대한 줄이면서 제거 효율면에서 뛰어난 여과장치의 연구개발이 진행되고 있다(Caliskaner et al., 1999, Jimenez et al., 2000 Gimbel et al., 2002). CSOs는 하수원수보다도 더 나쁜 수질특성을 가지고 있고 유량변동이 심하여 이러한 하폐수 처리 공법을 그대로 이용하기에는 어려움이 있다.

본 연구에서 섬유사로 구성된 여재를 사용한 상향류식 여과시스템으로 CSOs를 처리하였다. 여과 처리시스템의 운전 조건 및 SS, T-P, COD 등의 기본적인 수질의 특성을 연구하였다.

2. 실험재료 및 방법

본 연구는 서울 중랑하수처리장에서 실제 CSOs를 대상으로 아크릴로 제작된 실험실 규모의 지름 170mm (내경, 150mm) 반응조를 사용하여 실시하였다. Fig. 1은 현장에 설치한 실험장치의 모습이다. 반응조에는 유량계와 압력계

를 부착하여 실험하였다. 여재는 충전후 압축이 가능하도록 하였으며 여층은 약 1 m의 높이로 운전하였다. 본 실험에서는 상향류로서 여과하는 방식을 채택하고 유속을 240~1,200 m³/m²/d 변화시키면서 처리효율을 실험하였다.



Fig. 1 Experimental setup of lab-scale filtration device

본 여과실험에 사용된 여재는 합성수지제 섬유사로 이루어진 지름 50 mm 정도의 구형여재 (Sphere media)의 여재를 사용하여 실험하였다. 섬유사로 충전한 다음 공극률은 약 98.5% 이었고 압축후 회복률은 약 92%이었다. Table 1에는 본 연구에서 사용된 섬유사 여재의 주요 특성에 대하여 정리하였다.

Table 1 Property of filter media

	Property
Material	Fiber
Shape(diameter, mm)	Sphere(50)
Void (%)	98.5
Density (kg/m ³)	16
Tesile strength (kfg/cm ²)	105
Compression recovery (%)	92
Compression (%)	50

여과후 여재의 특성 파악하기 위하여 여과속도 변화와 역세의 관계를 여재시험 방법을 응용하여 1 L 원통형 주상 실험을 통하여 실시하였다(Wakeman, 2007). 또한 CSOs의 특성을 바탕으로 적정한 여과 운전조건 및 효율을 제시하기 위하여 CSOs의 특성이 모니터링되었다. 강유지속시간에 따라 부유고형물(SS), 탁도 (turbidity), T-P 및 COD 가 측정되었으며 분석방법은 Standard Methods (APHA, 1998)에 따랐다.

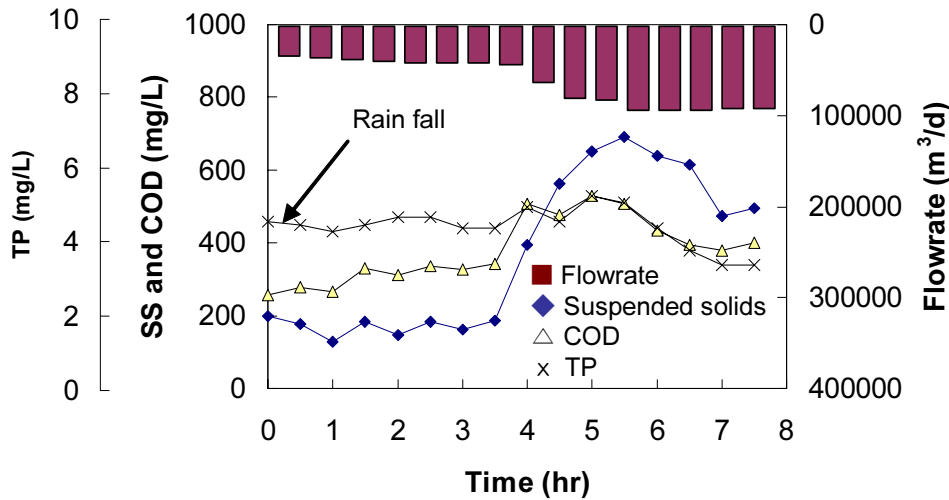


Fig 2. Variation of flowrate and water quality after rain fall

3. 실험결과

3.1. CSO유입 특성

전형적인 CSOs의 유량 및 부유고형물의 변화 양상은 초기우수 (first-flush)라 불리는 강우 개시후 강우 양상은 유하거리 등 지역적 특성에 따라 지체시간이 다소 차이는 보이지만 매우 특이하다. 또한 이 기간 농도는 평상시의 약 2~4배에 이르고 유량도 5~6배에 이른다. 따라서 강우시간에 따라 농도와 유량이 다르기 때문에 처리공정의 운전 방식도 달라진다 (El Samranil, 2008). 따라서 기존의 최적화된 수리학적 체류시간 등을 적용하는 처리장치는 대응하기가 상당히 어려움을 알 수 있다. 본 연구에서도 Fig. 2.와 같이 조사시 좀 지체시간이 길어지기는 하였지만 유량과 수질이 변화하는 양상은 강우 개시후 SS와 유량이 4배가량 증가하였다. 반면에 COD와 T-P는 그다지 많이 증가하지 않는 양상을 보인다. 따라서 실제 CSOs의 수질은 T-P의 농도는 차이가 많이 나지 않지만 비율이 SS와 같은 부유고형물에 비하여 비교적 낮다. CSOs 처리장치의 적용은 이러한 CSOs의 수량적 및 수질적 특성을 반영하여야 할 것으로 생각된다.

3.2 여재(Media)의 압축

섬유사와 같은 합성수지 여재는 그 특성상 여과 층을 늘려 원하는 비율로 압축할 수가 있다. 압축에 따라 여재의 공극률이 작아져 매우 작은 여재를 사용하는 효과를 거둘 수 있다. 압축여재를 사용하면 일반적으로 더 나은 처리효과를

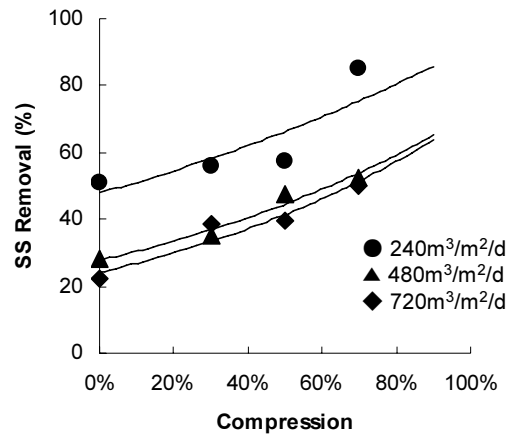


Fig. 3 Effect of media compression on SS removal

거둘 수 있다. Fig. 3. 은 압축률에 따른 여과의 효과를 나타낸 것인데 압축이 강화됨에 따라 SS의 제거효율이 증가됨을 볼 수 있다. 통상의 모래여과의 여과선속도인 $240 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ 로 운전했을 경우 압축을 전혀 하지 않으면 약 50%정도의 처리효율이 나온다. 같은 부피의 여재를 70%정도 압축하면, 처리효율은 80%정도로 높아졌다. 그러나 압축효과와 함께 통수 속도의 효과가 더욱 더 크게 나타났으며 통수속도가 $480 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ 이상에서는 통수 속도가 증가하여도 처리효율의 저하는 많이 나지 않았다. 물론 이러한 처리효율의 절대값은 강우유입이 없을 때, 강우유입량이 최대일 때 등 유입원수의 상태에 따라 변화하지만 처리효율의 변화 추세는 동일한 경향을 보인다.

3.3 여과속도

합성수지 여재를 이용한 여과는 상당히 큰 여과선속도에 서도 양호하게 운전할 수 있는 특성을 지닌다. 본 실험에서 는 여과속도를 430 m³/m²/d에서 여과속도를 1,200 m³/m²/d까지 변화시키면서 주요 수질인자를 측정하였다. **Table 2**는 실험결과를 보여주는데 여과선속도가 낮아지면 오염물질의 제거효과가 높아지는 것이 뚜렷하다. 그러나 여 과속도 860m³/m²/d과 1,200 m³/m²/d은 큰 차이를 보이지 않았다. 본 실험의 결과로부터 섬유사와 같은 합성수지 여재 에 의한 CSOs여과는 매우 유속이 빠를 경우에도 일정정도 이상의 여과처리 효과가 있어 유량 변동이 심한 초기우수의 유량에 대응할 수 있을 것으로 생각된다.

Fig. 4는 통수속도에 따른 여과장치의 효율에 관하여 살펴 본 것이다. 부유고형물은 통수속도가 증가함에 따라 제거효

율이 낮아지지만 약 750 m³/m²/d이상에서는 처리효율의 저하가 심각하지 않음을 보여준다. T-P도 유사한 경향을 보이지만 SS에 비하여 상당히 처리 효율이 낮은 편이다. 이것을 Fujita(1977)이 제시한 여과의 처리효율과 통수 속도에 관한 식을 응용하여 지수형태의 식(1)을 도출하고 이 관계식을 이용하여 **Fig. 4**에 도시해 보았다.

$$\eta = \frac{k}{v^a} \quad \text{식 (1)}$$

여기서, η : 처리효율, v : 통수속도, k 및 a : 상수

a 는 일반적으로 0.3~0.5이며 여재의 종류에 따라 다르다 (Fujita, 1977). 일반적으로 모래여재인 경우 0.5-0.67의 범위를 가지는데 섬유사를 사용한 본 실험에서는 약 0.4의

Table 2. Effect of filtration velocity on CSOs treatment efficiency

		Filtration velocity (m ³ /m ² /d)			
		430	650	860	1,200
Removal (%)	T-P	25.4	24.1	15.9	13.4
	SS	48.1	35.2	35.2	33.9
	Turbidity	50.9	39.1	43.8	40.9
	COD	34.5	57.1	42.9	42.9

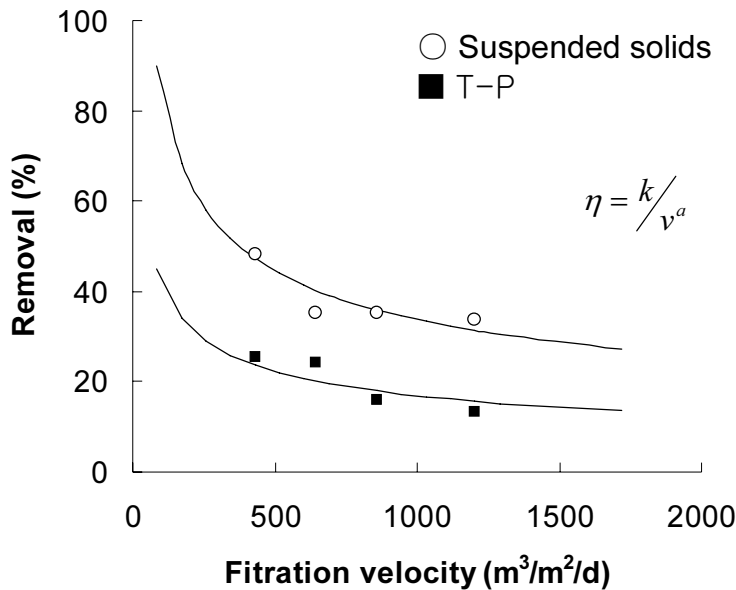


Fig. 4 Relationship between filtration velocity and removal efficiency

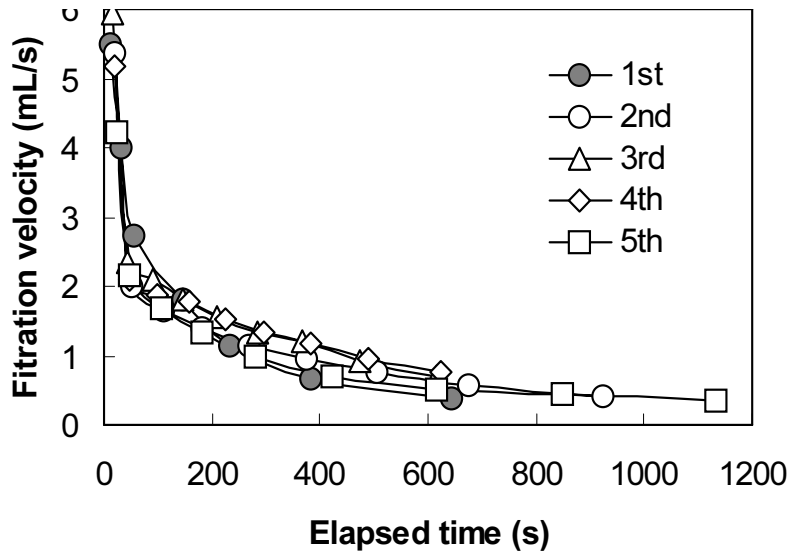


Fig. 5 Filtration velocity change after backwashing

값으로 계산되었다. 또한 k는 수질항목에 따라 처리효율이 차이가 나는데 본 실험에서는 SS의 경우 90, T-P의 경우 45의 값으로 SS가 T-P에 비하여 처리효율이 높았다. 유속을 $400 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ 이하로 할 경우 처리효율의 급격한 증대를 기대할 수 있으며 앞서 언급했듯이 $750 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ 이상에서는 거의 유사한 처리 효율을 기대할 수 있다.

3.4 역세척후 여과속도

합성여재는 모래여과와 달리 많은 종류가 나와 있고 막힘의 경향과 역세척후 여과 유속변화가 달리 나타난다. 본 연구에서는 역세척의 섬유사 여재의 여과 특성을 알아보기 위하여 여재 시험법중의 하나를 채택하여 시험하였다. 본 연구에서는 여과후 폐색이 진행된 여재를 꺼내어 원통형의 1 L의 주상시험관을 통하여 대기압하의 일정 압력에서 여과유속변화를 시험하였다. Fig. 5에서 보듯이 여상은 여과가 진행됨에 따라 정압하에서 여과속도의 저하가 일어난다. 이렇게 유속이 떨어진 여재를 역세한 후 다시 여과실험을 몇 회 반복하였다. 총 5회의 반복 실험 결과 유속의 변화가 거의 일어나지 않았다.

4 결론

섬유사 여재로 충전된 합성수지 압축여재 여과공정을 CSOs 처리에 적용하여 일련의 실험 후 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) CSOs는 발생하는 수량의 변동이 심하므로 CSOs 처리장

치는 이러한 변동 특성을 반영하여야 할 것으로 생각된다.

- 2) 여과선속도인 $240 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ 에서 운전했을 경우 70% 압축 후 처리효율이 약 50%정도에 80%정도로 높아졌다.
- 3) 처리수질의 경우, 여과 속도가 낮아질수록 제거효율이 높았다. 그러나 여과속도 $750 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ 이상에서는 거의 변화하지 않는 경향을 보였다.
- 4) 지수식으로 표시한 여과속도와 k값은 수질항목에 따라 처리효율이 차이가 있었으며 SS의 경우 90, T-P의 경우 45의 값으로 SS가 T-P에 비하여 처리효율이 높았다.
- 5) 6번의 여과와 역세 반복시 유속의 변화가 거의 일어나지 않았다.

사 사

본 연구는 2007년도 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업으로부터 지원받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 방기웅, 이준호 (2001) Swirl 농축분리기를 이용한 합류식 하수관 월류수처리. *대한환경공학회*, 23(1), pp. 21-30.
- 워터저널 (2004) 스페셜리포트 Part 3: 비점오염 처리기술. *워터저널* 2004년 10월호.
- 한정균, 주재영, 이범준, 나지훈, 박철휘 (2009) 합류식하수처리를

- 위한 와류형 분리장치의 최적운전조건. *상하수도학회지*, **23**(5), pp. 557-564.
- 환경부 (2006) *비점오염원 업무편람*.
- APHA, AWWA, WEF (1998) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th edn, American Public Health Association, Washington DC, USA.
- Caliskaner, O., Tchobanoglous, G. and Carolan, A. (1999) High-rate filtration with a synthetic compressible media. *Water Environ. Res.*, **71**(6), 1171-1177.
- El Samrani, A.G., Lartiges, B.S. and Villie ´ ras F. (2008) Chemical coagulation of combined sewer overflow: Heavy metal removal and treatment optimization. *Water Res.*, **42**(4/5), pp. 951-960s.
- Fujita, K. (1977) Mathematical expression of rapid filtration process. *JWWA*, **510**, 12--29.
- Geiger, W. F. (1998) Combined sewer overflow treatment: Knowledge or speculation, *Water Sci. Technol.*, **38**, 1-8.
- Gimbel, R., Nahrstedt, A. and Esperschidt, K. (2002) Modelling and pilot plant investigations of high rate deep bed filtration with permeable synthetic filter medium. *Water Sci. Technol: Water Supply*, **2**(1), 223-232.
- Jimenez, B., Chavez, A., Leyva, A. and Tchobanoglous, G. (2000) Sand and synthetic medium filtration of advanced primary treatment effluent from Mexico city. *Water Res.*, **34**(2), 473-480.
- Maeng, S.K., Ahn, K.H., Kim, K.P. and Song, K.G. and Park, K.Y. (2006) Compressible synthetic dual-medium filtration of wastewater effluents for water reuse, *Water Practice and Technology*, **1**(3), IWA publishing online.
- Park, K.Y., Maeng, S.K., Kim, K., Kweon, J.H. and Ahn K.H. (2006) A high filtration system with synthetic permeable media for wastewater reclamation. *Water Sci. Technol.*, **53**(7), 185-190.
- Tanaka, Y., Miyajima, K., Funakosi, T. and Chida, S. (1995) Filtration of municipal sewage by ring shaped floating plastic net media. *Water Res.*, **29**(5), pp. 1387-139.
- Wakeman, R. (2007) Filter media: testing for liquid filtration. *Filtration and Separation*, April 2007, pp. 32-34.
- Westrelin, J.-L and Bourdelot, J.-C. (2001) High rate primary treatment of waste and stormwaters with DENSADEG. In: *Second World Water Congress of the International Water Association (IWA)*, Berlin, Germany.