

섬유여재 여과장치에 의한 건설사업장 흙탕물 처리에 관한 연구

김영철*

한서대학교 환경·토목·건축공학과

Treatment Study of the Turbid Water from Construction Sites by Using Synthetic Fiber Filter Device

Youngchul Kim

Dept. of Environmental, Civil and Architectural Engineering, Hanseo University, Korea

(Received : 29 October 2024, Revised : 12 November 2024, Accepted : 12 November 2024)

요약

본 연구에서는 건설사업장에서 발생하는 흙탕물을 빠른 속도로 처리하기 위하여 합성섬유 여재를 이용한 여과장치를 고안하였다. 약1,400m/day의 평균 여과속도에서 TSS 200mg/L에 해당하는 인공흙탕물을 처리한 결과 여과효율은 초기 80% 정도를 보였으며 수두손실이 증가함에 따라 감소하였다. 전체 운전시간동안의 평균 여과효율은 62% 수준이었다. 여과속도를 증가시키에 따라 손실수두는 증가하는 반면에 여과효율은 감소하는 전형적인 여과현상을 보였다. 여과속도에 따른 평균 여과효율은 750m/day에서 74.7%, 1,500m/day에서 62.6%, 2,250m/day에서 42.5%를 기록하였다. 한계 역류량에 도달한 후 여재에 대한 세척속도는 약 20,000m/day의 속도로 여과 진행방향과 동일한 하향류 방식으로 실시하였다. 750m/day의 여과속도로 운전한 여재에서 고형물 회수율은 78~92%, 평균 85%의 회수율을 보였다. 1,500m/day와 2,250m/day의 속도로 운전된 여재에서는 각각의 평균 회수율이 80%, 74%로 나타났다. 여재의 충전밀도가 증가할수록 여재 내부에 역류된 고형물의 회수율은 감소하였다. 본 연구를 통하여 개발된 흙탕물 처리필터는 처리속도와 성능 측면에서 강우시 대량의 흙탕물이 발생하는 특성을 갖는 개발현장에 적합하다.

핵심용어 : 건설사업장, 여과장치, 여과속도, 흙탕물

Abstract

In this study, synthetic fiber filter system was devised to treat a turbid water occurred from construction sites at a very faster speed. Operation results at the average filtration rate = 1,400m/day and TSS = 200mg/L of the raw turbid water show that the initial removal efficiency was about 80%, but gradually decreased as the head loss increased. Average efficiency was about 62% for the entire operational period. As the filtration rate increased, head loss increased and efficiency decreased. With respect to filtration rates 750m/day, 1,500m/day, and 2,250m/day, filtration efficiency was 74.7%, 62.6%, and 42.5%, respectively. As the head loss increased to a critical point, operation was stopped and filter fiber was washed inside the filter module in the same downward direction as used in filter operation by using 20,000m/day washing rate. Solid recovery was about 85% for the 750m/day operation phase, and 80% and 74% for the 1500m/day and 2,250m/day, respectively. As the packing density of synthetic fiber increased, solid recovery was greatly decreased. Fiber filter module developed in this study has great merits in terms of filtration rate and its performance, especially in the construction site to treat a turbid stormwater during rainfall event.

Key words : Construction site, Filter device, Filtration rate, Turbid water

*To whom correspondence should be addressed.

Dept. of Environmental, Civil and Architectural Engineering, Hanseo University, Korea
E-mail : ykim@hanseo.ac.kr

• Youngchul Kim Dept. of Environmental, Civil and Architectural Engineering, Hanseo University, Korea (ykim@hanseo.ac.kr)

1. 서론

우리나라에서 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙 제26조 2항에는 건설사업장에서 공공수역에 유출하거나 버리는 행위가 금지되는 토사의 기준(흙탕물)을 공공하수도 중 하수관로 등에 유출되거나 버려지는 1천 킬로그램 이상의 토사량으로 정하고 있다. 그리고 농도기준으로 토사 유입 후의 부유물질(SS) 농도에서 토사 유입-전후의 부유물질 농도를 뺀 값이 100mg/L 이하로 규정하고 있다. 이 기준은 미국의 일부 주에서 적용하고 있는 방법으로 규제항목으로 우리나라와는 달이 부유물질 대신 흙탕물의 탁도(NTU)를 기준으로 하고 있다(Korea Environment Corporation(KEC), 2008), Kim et al., 2019).

미국의 EPA 연구결과에 따르면 미국전역의 수계에서 수질 훼손의 가장 큰 원인으로 토사를 함유한 흙탕물을 지목하고 있으며(US EPA, 2003), 하천과 호수 및 연안수역의 탁도와 토사, 실트질 농도가 년 간 수질보고서에 지속적으로 수집되어 보고되고 있다. 미국 하천의 수생태계 관련 문제 중 40% 정도가 흙탕물 스트레스(Sediment Stress)에 의해 발생된 산란채와 시식채 교란 등의 문제를 안고 있다고 보고하고 있다(US EPA, 2001).

흙탕물을 구성하고 있는 토양입자는 대부분 미세한 Silt 또는 Clay로 대부분으로 이들은 강우에 의하여 유출되는 동안 인체 및 생태계에 위해를 끼칠 수 있는 각종 중금속이 흡착되어 수계로 유입되며, 하천이나 호수, 연안수역의 바닥에 침강하여 퇴적물을 형성하여 단기적으로는 생물축적을 통해 생태계에 위해를 주며 장기적으로는 수계의 내부 오염원으로 작용하게 된다(Salomons et al., 1984).

현재 국내 건설사업장 (토사배출사업장)에서 적용하고 있는 흙탕물 유출방지기술은 토사트랩, 침강지, 식생 여과대, 자갈여과, 실트 방지막 등과 같은 원시적인 형태의 BMPs 기술과 흙탕물에 함유된 각종 토사의 침전 제거를 위한 토공으로 조성한 물막이 댐이다. 이와 같은 간이 처리기술로는 새로 제정된 엄격한 흙탕물 배출기준을 만족시키기는 대단히 어려운 것이 사실이다.

또한 물막이 댐과 같은 침강지는 침전기작으로 미세한 입자의 제거에는 한계가 있다. 또한 침강지를 설치하는 데에는 넓은 부지면적이 필요하여 도시지역에서는 건설하기 어려운 문제를 안고 있다(Wood et al., 2005). 따라서 흙탕물을 적절하게 처리하여 탁도를 획기적으로 감소할 수 있는 기술이 필요하다.

일본에서는 건설현장에서 발생하는 탁수를 처리하기 위하여 기계적인 응집-침전 및 여과시설을 운영하고 있다(KEC, 2008). 여과(Filtration)는 물로부터 입자상 물질을 제거하고자 할 때 적용되는 가장 기초적이면서 일반적인 처리공정 중의 하나이다. 여과에 사용되는 여재는 모래, 활성탄, 부직포, 분리막, 섬유 등의 다양한 여재가 사용되고 있으며 여재의 성질 및 특성에 따라 여과방법 및 여과효율이 달라진다

(Nicolaisen, 2002). 섬모상 여재는 여재의 공극이 커 고속여과에 적합하며 고속여과로 운전되기 때문에 단위시간당 처리수량이 크고 시설 설치에 필요한 부지 요구면적이 작아 경제적이다(Park et al., 2015).

본 연구에서는 기존의 급속모래여과 속도의 10배 이상으로 흙탕물을 처리할 수 있는 나일론 합사 섬모상 여재를 충전한 여과장치를 고안하여 여과 성능 및 특성을 분석하고 평가하였다.

2. 연구방법 및 재료

2.1 실험장치의 구성

본 연구에서 사용한 실험 장치는 아크릴로 제작한 파일럿 규모의 여과장치로 Fig. 1과 같다. 여과장치는 유입수 저류탱크, 세척수 탱크, 여과모듈로 구성되어있다. 유입 흙탕물 저류탱크와 세척수 저류탱크는 1m³ 크기의 일체형 구조로 제작하였다.

흙탕물 저류탱크는 0.7m³ 규모이며 수중펌프와 직경 20mm의 PVC 파이프를 연결하여 여과장치에 공급하였다. 유입속도 조절을 위해 PVC파이프 중간에 볼(ball) 밸브를 설치하였고, 흙탕물에 함유된 토사의 침전을 방지하기 위해 혼합장치를 설치하였다. 세척탱크는 0.3m³ 규모로 흙탕물 탱크와 마찬가지로 수중펌프와 PVC파이프를 여과부에 연결하여 세척수를 공급하도록 하였다.

여과장치는 지름 70mm, 높이 400mm의 규모의 아크릴 원통형으로 제작하였다. 상·하부에는 유입과 유출이 원활하게 이루어질 수 있도록 각각 5cm의 여유고를 두었고 중간부 30cm에 섬모상 여재를 충전한 후 처리실험을 수행하였다. 상·하부 여유고와 중간부에 맞닿는 지점에 유공판을 설치하여 유량이 균등하게 분배될 수 있도록 설계하였다. 또한, 운전 중 모듈내부의 손실수두를 측정하기 위해 압력계를 설치하였다.

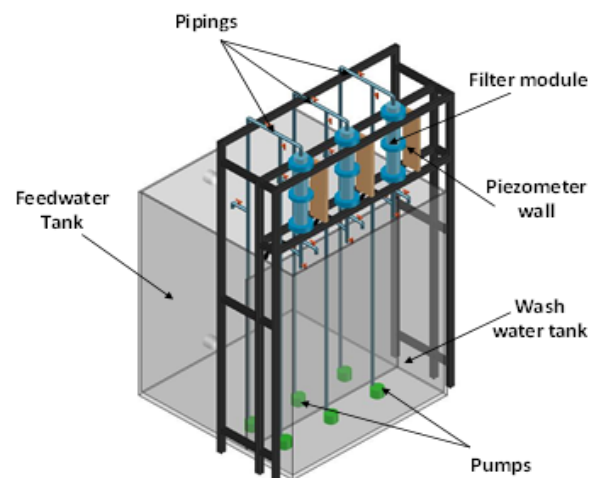


Fig. 1. Photo of the filter system and filter module



Fig. 2. Photo of the fiber media used in this study

2.2 여재 및 유입원수의 특성

본 실험에 사용된 여재는 2mm의 폴리에틸렌 로프사 재질 내심에 600 데니아 나이론/폴리에틸렌 모노사를 엮어 만든 고정상 이중 나선 로프형 여재로 Fig. 2에 보는 바와 같이 선형다발 형태로 제작하였으며 여재의 표면은 (-) 성질의 전하를 띠고 있다. 공극율은 90~95%, 충전밀도는 112g/L이었다.

본 연구에서 적용된 섬유가 갖는 전기적인 특성은 응집제의 주입으로 체거름 작용뿐만 아니라 침전, 충돌, 차단, 확산, 응결 등의 복합적인 여과작용이 발생하여 여과효율을 크게 향상시키며 섬유여재와 중화된 입자 사이의 부착 뿐 만 아니라 여재표면에 부착된 입자 표면에 다른 입자들이 다시 부착되는 현상, 즉 전체 여재깊이에 걸친 여과기능의 성숙과정이 핵심적인 여과현상으로 보고되고 있다(Niu et al., 2015).

본 여과장치의 특성은 여과 진행방향과 세척방향이 동일하게 하향류로 형태로 운전하였는데 그 이유는 여재의 결을 수지상(나무가지) 형태로 제조하여 하향류 물과 함께 유입되는 입자상 물질이 여재와의 충돌의 기회를 최대한 제공할 수 있도록 유도하였으며 세척시 고압의 하향류로 유입되는 세척수에 의해 수지상 여재가 수류방향으로 펼쳐지도록 함으로서 세척이 용이하게 일어나도록 고안하였다(Guerra, 2013).

유입원수는 일반적으로 의류 및 직물을 염색하는데 사용하는 50 μ m 이하의 상염용 황토를 수돗물과 희석하여 제조한 인공 흙탕물을 사용하였다. 인공흙탕물은 입자상 물질의 침전을 예방하기 위해 수중 펌프를 사용하여 지속적으로 혼합하였다.

2.3 운전방법

(1) 여과방법

Fig. 1에 나타난 것처럼 여과는 유입탱크의 인공흙탕물을 수중펌프를 이용하여 하향류로 여과부에 공급하고 여과공정을 거쳐 배출되는 형태이다.

여과실험은 매 10분마다 유입수 및 여과수의 pH, 알칼리도, 탁도, 여과속도, 수두손실, 수운을 측정하고 매 30분 간격으로 채취된 시료의 입도분석을 실시하였다. 또한 응집제의 주입은 인공흙탕물을 제조한 후 2L의 비커에 응집제를 희석하여 유입원수 탱크의 혼합지점에 순간적으로 주입하였다.

(2) 세척방법

세척의 경우에도 여과와 마찬가지로 수중펌프를 이용하여 세척 탱크의 세척수를 약 20,000m/day(세척속도 = 세척유량/면적 = $1.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec} \div 3.85 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 0.259 \text{ m/sec} \times 86,400 \text{ sec/day} = 22,377 \text{ m/day} \div 20,000 \text{ m/day}$)의 빠른 속도로 여과장치에 주입하여 일명 '간헐적 충격세척(하향류식)'을 실시하였다.

연속적으로 1L씩 2회의 고속세척을 실시하였다. 세척시 발생할 수 있는 내부 진공상태를 회피하기 위하여 세척모드 이후 즉시 필터 상부에 장착된 감압밸브를 열고 신속하게 배출하는 방식으로 세척을 수행하였다.

세척은 세척 수 2L를 기준으로 배출수를 채취하여 탁도 및 입도분포를 측정하였고 전체 10 - 15회의 반복적인 세척을 실시하였다. 세척수량은 여과수량의 약 5~7%인 20 - 25L를 사용하였다.

2.4 분석방법

여과효율은 TSS와 탁도의 분석결과를 바탕으로 식 (1)과 같이 산출하였다.

$$\text{Removal efficiency}(\%) = (C_f - C_e) / C_f \times 100 \quad (1)$$

여기서, C_f = 유입 흙탕물의 탁도 또는 TSS 농도

C_e = 여과의 탁도 또는 TSS 농도

여과장치의 입자 역류속도는 다음 식 (2)를 이용하여 산정하였다.

$$\text{Particle remaining mass}(g) = (PR_{t_1} + PR_{t_2}) / 2 \times (t_1 - t_2) \times 1/1000 \quad (2)$$

여기서, PR_{t_1} = 시간 t_1 후에 역류량(mg/min)

PR_{t_2} = 시간 t_2 후에 역류량(mg/min)

t_1, t_2 = 여과시간(min)

한계 역류량 도달 후 여재 세척시 발생하는 입자상 물질의 회수율은 총회수량을 총 역류량으로 나누어 산출하였으며, 총회수량은 각각의 세척시 측정된 TSS 농도와 세척수량을 이용하여 산출된 양을 합산하여 산출하였다.

$$\text{Particle recovery}(\%) = \text{Total recovery}(g) / \text{Total detention}(g) \times 100 \quad (3)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 고속섬유필터의 여과특성

전술한 바와 같이 본 연구의 목적은 흙탕물 처리를 위하여 일반적인 급속 모래여과속도 120m/day(Crites and Tchobanoglous, 1998)의 10배 이상의 여과속도에서 운전 가능한 여과장치를 개발하는데 있다. 본 절에서는 여과보조제(응집제)를 주입하지 않은 상태에서 다양한 운전변수 조건에서 진행한 고속필터 운전결과를 제시하였다.

Fig. 3에는 평균 1,430m/day의 여과속도에서 50NTU (TSS 200mg/L에 해당)의 인공흙탕물을 유입원수로 사용한 실험 과정을 운전예시로 제시하였다. 그림에는 여과지속시간에 따른 여과속도, 여과효율, 원수 및 여과수의 탁도, 수두손실을 나타내었다. 여과는 1개의 Phase 당 90분에 걸쳐 진행되었으며 여재세척 후 다음 Phase의 운전을 연속하여 실시하였다.

고속필터의 공극율은 약 90%이었으며, 여과효율은 초기 80% 내외에서 수두손실이 증가함에 따라 감소하였으며 전체 운전시간동안의 평균 여과효율은 62% 수준이었다. 여과수의 탁도를 살펴보면 여과초기 약 20NTU의 탁도를 보였으나, 여과기작이 점진적으로 성숙되면서 30분까지 약 10NTU의 여과수가 유출되었다. 이후 지속적으로 탁도가 증가하여 종

료시점에는 30NTU 이상의 탁도를 보였다.

수두손실의 경우에는 여과개시 50분 이후부터 발생하였으며 시간이 경과함에 따라 증가하여 최종적으로 약 6~8cm 내외의 수두손실을 나타내었다. 입상여과에서는 수두손실이 한계치를 넘어서면 여과장치의 운전성능에 영향을 미치기 시작하는 것으로 알려져 있는데(Droste, 1996), 본 연구에서는 손실수두가 발생되기 이전에 여과수의 탁도 증가하였다.

한편 관측된 수두손실은 공극율 40~50% 수준으로 120m/day의 여과속도로 운전되는 급속모래여과의 여과말기 수두손실 2.5~3.0m(Kawamura, 2003)와 비교하면 미미한 수준인데 그 이유는 입상여과보다도 섬유여과에서 수두손실은 여과속도보다는 공극율에 의해 훨씬 크게 지배되기 때문인 것으로 판단된다.

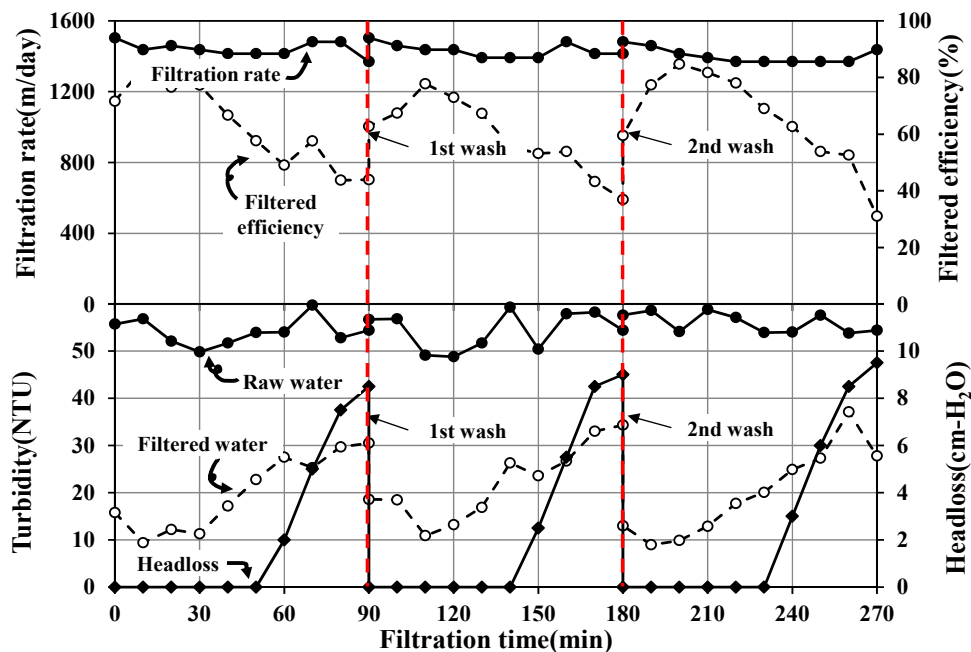


Fig. 3. Filter performance during filtration of yellow clay (No aid)

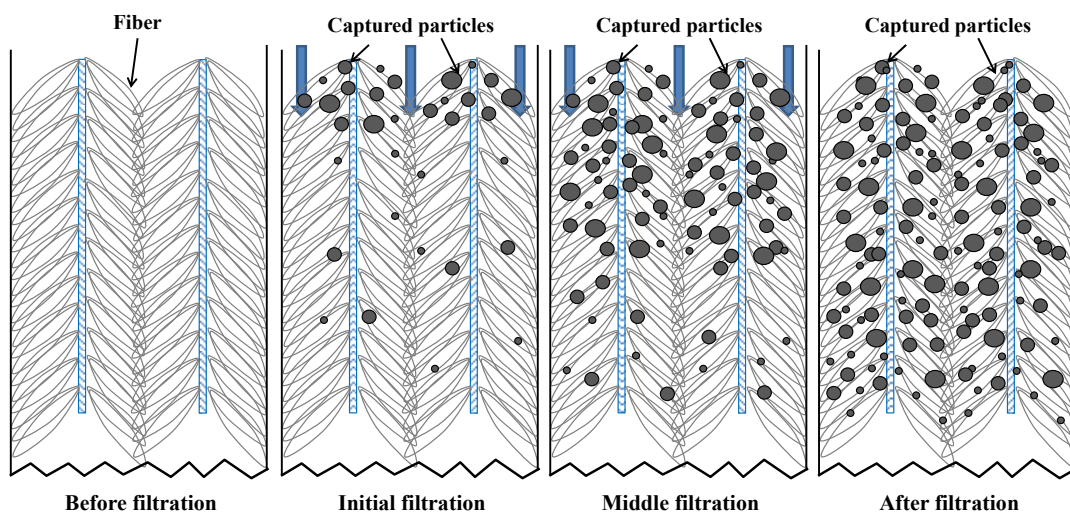


Fig. 4. Schematic diagram of the filter ripening and clogging procedure

Fig. 4와 Fig. 5에는 섬유필터에서 여과진행 모식도와 여과 실험 중 촬영된 운전사진을 제시하였다. 여과 초기에는 입자상 물질이 주로 상부에 포획되고 운전시간이 경과함에 따라 여과대가 하부로 진행된 후 최종적으로 전체 여층이 포획상태에 이르는 전형적인 심층여과(depth filtration)의 양상을 보여주고 있다.

3.2 여과속도에 따른 효율변화

여과공정에서 가장 중요한 설계 및 운전변수 중 하나는 여과속도이다. 여과속도가 증가할수록 입자가 여과장치 내부에 머무는 시간이 짧아 입자가 여재의 표면으로 접근할 수 있는 기회가 감소한다. 따라서 여과기작에 의해 제거되는 입자상

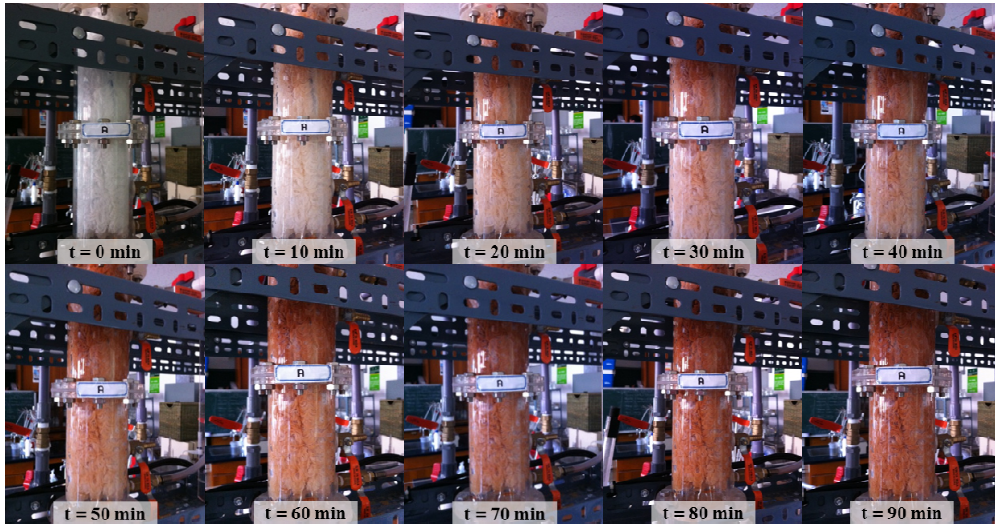


Fig. 5. Photos of the filtration front progress with respect to filter running time

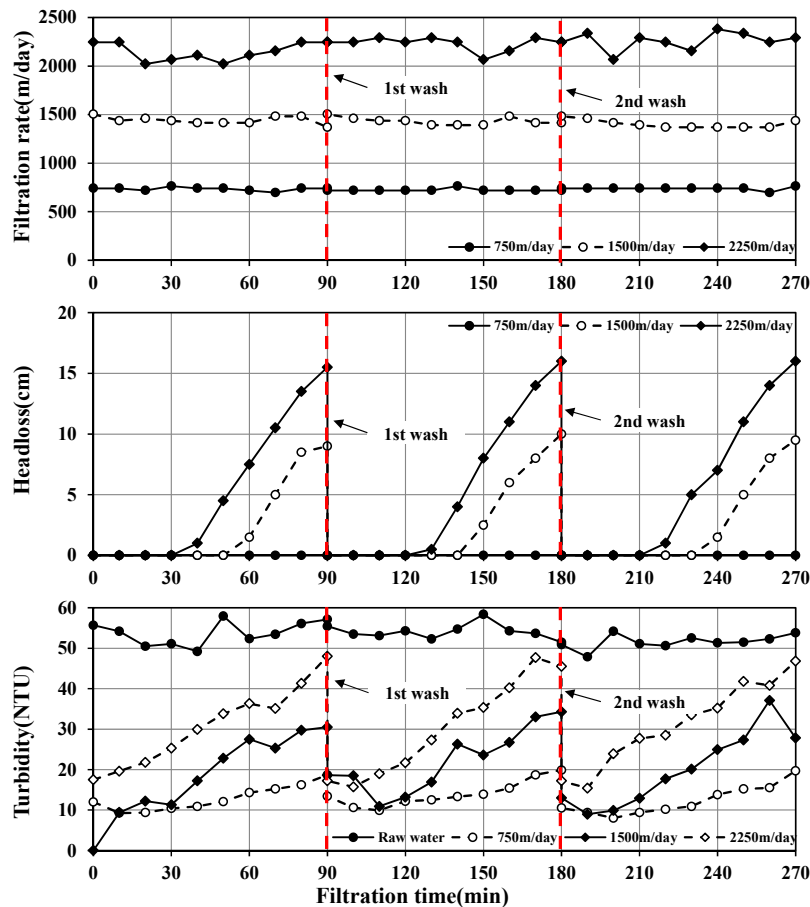


Fig. 6. Effect of the different filtration rate on the operational parameters

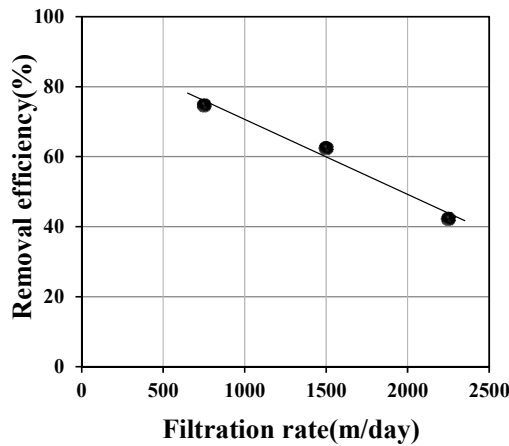


Fig. 7. Filtration rate versus filter efficiency

물질의 양이 줄어들고 따라서 여과효율이 감소하게 된다.

Fig 6에는 여과속도의 변화에 따른 영향을 파악하기 위해 여과시간에 따른 여과속도, 손실수두, 유입원수 및 여과수의

탁도, 여과효율을 제시하였다.

3개의 각각 다른 여과속도(750, 1,500, 2,250m/day)에 대하여 시험을 수행하였다. 손실수두의 경우 750m/day에서는 전혀 발생하지 않았다. 여과속도 1,500m/day에서는 여과시간이 60분경과 후 부터 발생하였으며, 최종적으로 10cm의 손실수두를 보였다. 여과속도 2,250m/day에서는 여과시간 40분이 경과된 후 손실수두가 발생하였으며, 최종 손실수두는 16.5cm로 여과속도의 증가와 함께 손실수두 또한 큰 폭으로 증가하였다.

여과속도에 따른 처리수의 탁도를 살펴보면 750m/day에서 9.1~19.4NTU, 1,500m/day에서 11.0~33.3NTU, 2,250m/day에서 18.8~45.3NTU의 탁도를 보였다.

Fig. 7에는 여과속도와 여과효율의 관계를 도시하였다. 여과속도에 따른 평균 여과효율은 750m/day에서 74.7%, 1,500m/day에서 62.6%, 2,250m/day에서 42.5%로 나타났다 (Fig. 7). 여과속도가 증가함에 따라 손실수두와 여과수의 탁도는 증가하고, 여과효율은 감소하는 전형적인 여과현상을 보였다.

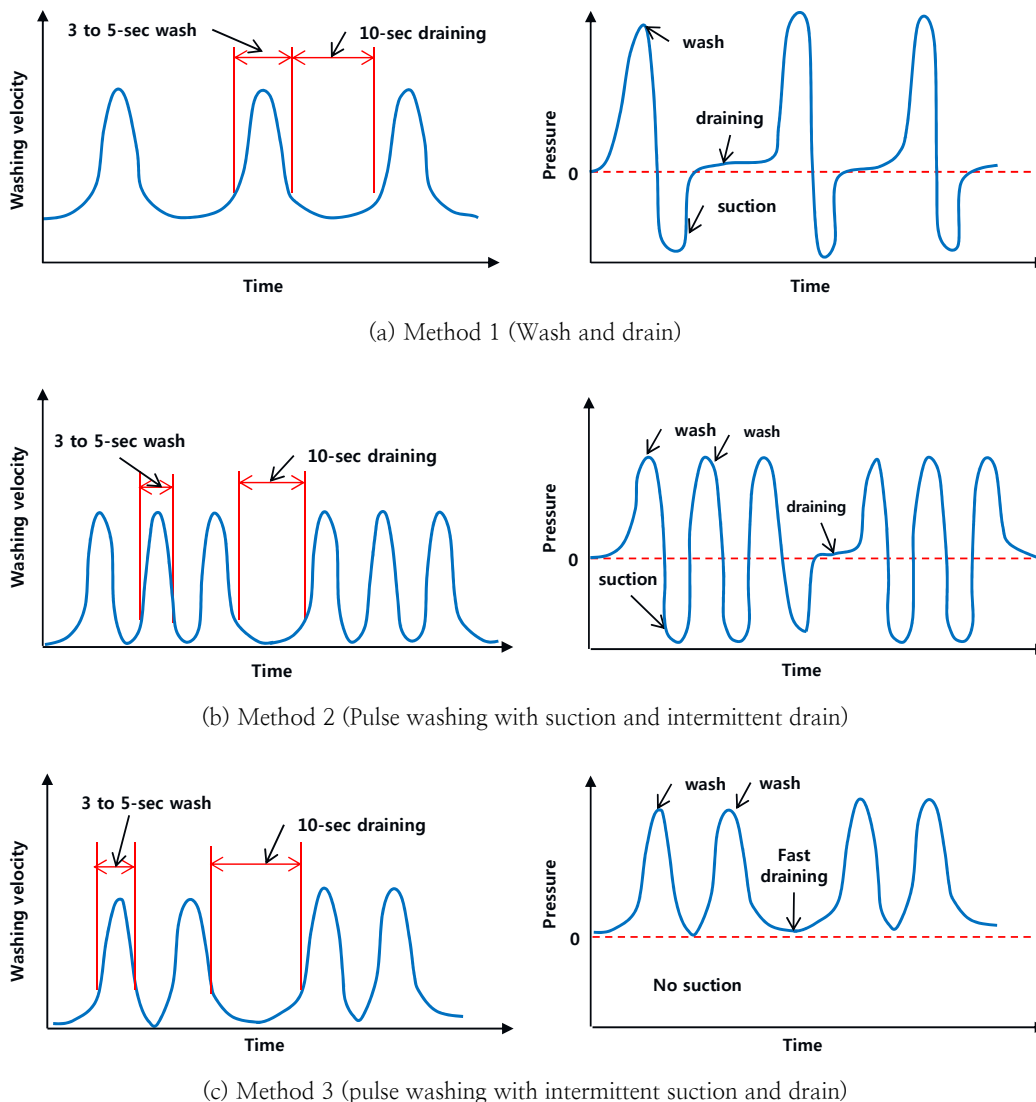


Fig. 8. Schematic diagram of the cleaning methods used in this study(Guerra, H, 2013)

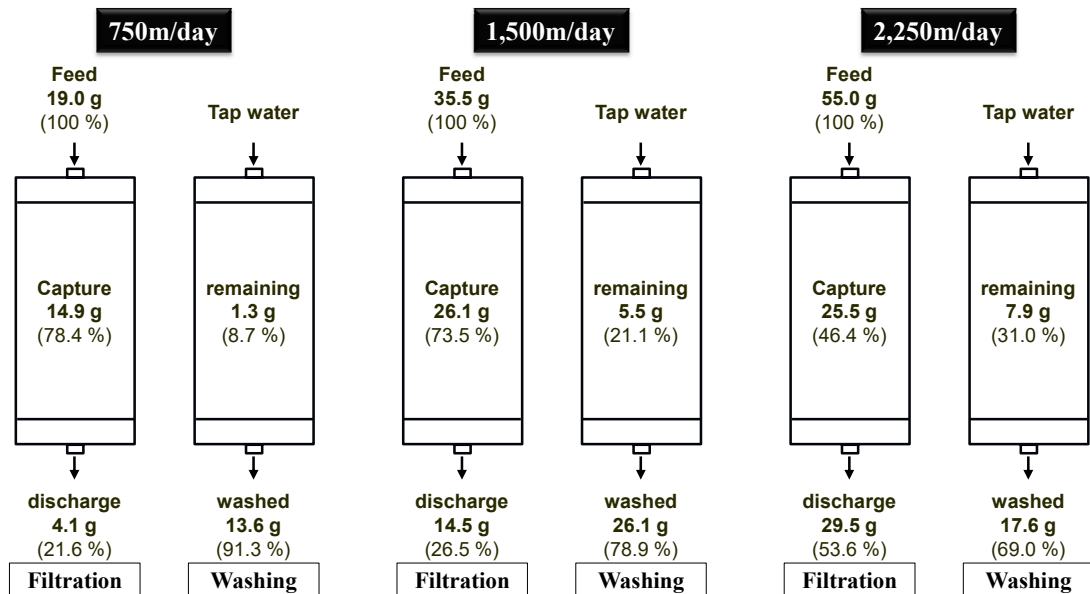


Fig. 9. Example of solids balance for the filtration and filter cleaning

3.3 여재의 세척

여과공정을 통하여 입자상 물질을 탁월하게 제거하였어도 파괴점(breakthrough)에 도달 후 적절한 수준의 여재세척이 이루어지지 않는다면 지속적인 여과성능을 담보할 수 없다.

본 연구에서는 여재세척을 위하여 간헐적 충격 세척방법(pulse washing)을 채택하였는데, 이 방법은 Guerra (2013)에 의해 제안된 세 가지 세척방법 중 하나로 가장 효율적인 방법으로 판명된 바 있으며 본 연구에서도 Fig. 8(c)와 같은 방법인 간헐적인 충격흡입 후 배수단계를 실시하여 여재세척을 진행하였다.

세척 후 회수율은 앞서 제시한 (식3)을 이용하여 여과 전, 후, 그리고 세척수에 함유된 고형물 농도와 유량자료를 바탕으로 고형물 수치를 통하여 산출하였으며, (100-% 회수율)은 세척되지 않고 여재에 남아있는 고형물 양을 나타낸다. Fig. 9에는 여과속도 750m/day~2,250m/day 범위에서 실시된 세척자료를 가지고 실시한 고형물 수치 계산 예를 나타내었다.

Fig. 10에는 사용된 세척수량에 따른 회수율을 나타내었다. 세척 속도는 약 20,000m/day의 속도로 여과 진행방향과 동일한 하향류 방식으로 실시하였다. 750m/day의 여과속도로 운전한 필터에서 회수율은 78~92%, 평균 85%의 회수율을 보였다. 1,500m/day와 2,250m/day의 속도로 운전된 필터에서는 각각의 평균 회수율이 80%, 74%로 나타났다.

동일한 유입수 농도조건에서 여과속도가 낮은 경우에 입자상 물질의 회수율이 좋았는데 여재 내부에 포획된 입자상 물질의 양이 적어 입자와 입자 사이에 결속력이 약했기 때문으로 판단된다. 또한 큰 여과속도 조건에서 관성력의 영향으로 선형여재의 종단면의 깊숙한 사이트에서 여과가 진행되었기 때문으로 사료된다.

세척초기에는 매우 빠르게 회수가 진행되었으나 세척 횟수

의 증가(세척수량의 증가)에 따라 회수율은 급속히 감소하였다. 초기 5L의 세척수로 평균적으로 65%가 회수되었고(1,500m/day로 운전된 필터), 이후 추가적인 25L의 세척수를 통하여 약 15%가 회수되어 전체적으로 80%의 효율을 나타내었다.

Fig. 11에는 15회의 간헐적 충격 세척에 의해 회수된 세척 배출수의 탁도자료를 나타내었다. 세척 초기(1~2회)에서 1000~4000 NTU의 고농도 세척수가 유출되고 이후 서서히 감소하여 10회 이후의 세척에서는 세척 배출수가 여과수의 탁도 수준(15~30NTU)으로 배출되었다. 따라서 추후의 여과 실험에서는 세척횟수를 15회에서 10회로 감소하여 세척수의 용량을 20L로 결정하였다. 1500m/day 여과속도 기준으로 90분 동안 운전하였을 때 생산되는 여과수량은 320~350L이었으며 이 값을 기준으로 세척수량의 비율을 산출한 결과 약 6%이었다.

3.4 충전밀도의 영향

여재의 충전 밀도 또한 여과속도와 마찬가지로 여과장치의 성능을 결정짓는 중요한 요인이다. 여재의 충전밀도가 증가할수록 효율이 증가하였는데 그 이유는 공극의 크기가 작아졌고 공극율이 감소하여 입자가 여재와 접촉 충돌할 수 있는 기회가 증가되기 때문에 미세 입자의 역류량이 증가한 것으로 사료된다(Wang, 2001).

그러나 상기에 제시된 여과성능 인자만을 가지고 여재의 충전밀도를 평가할 수 없다. 그 이유는 충전밀도가 증가하면 공극율 및 공극의 크기가 축소되어 공극유속이 증가하므로 수두손실이 증가하게 된다. Fig. 12에는 여재 충전밀도 변화에 따른 공극율의 변화 및 여과말기의 평균 수두손실을 보여주고 있다. 충전밀도에 따른 수두손실은 충전밀도 112g/L, 공극율 92%에서는 거의 없었고, 충전밀도 125g/L에서 공극율은

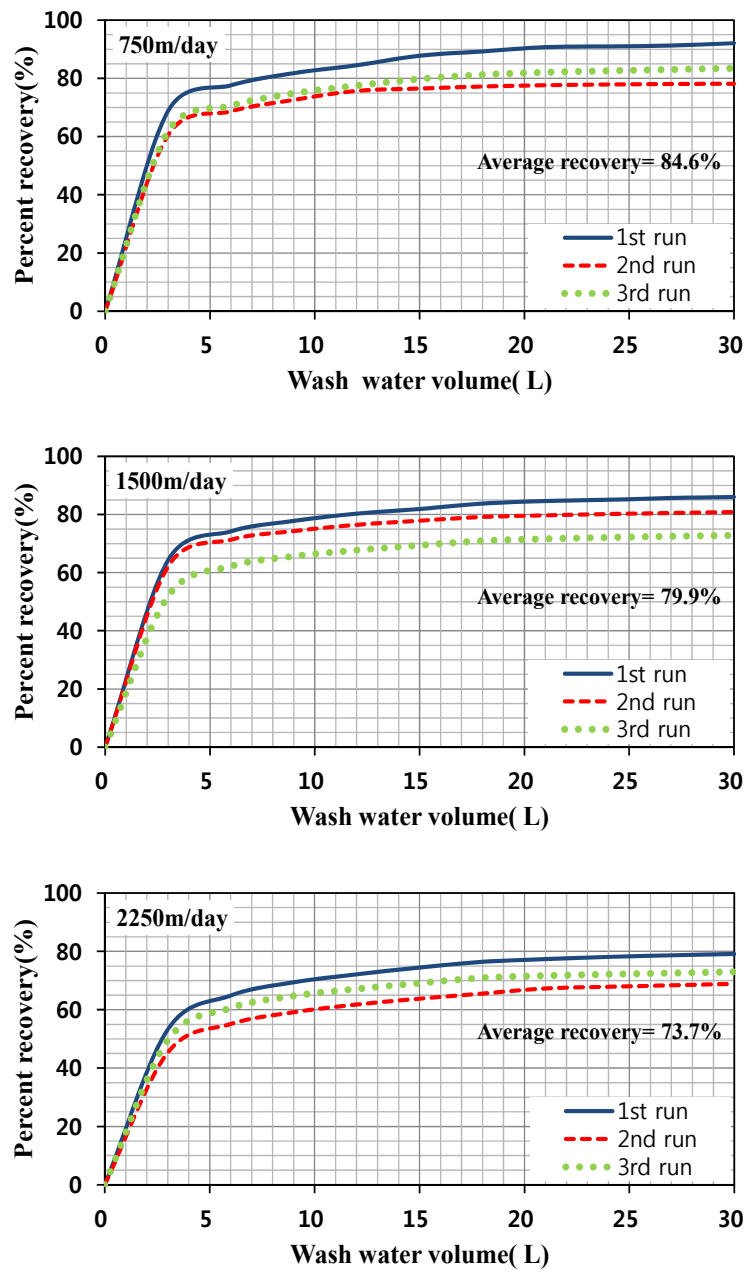


Fig. 10. Solids recovery during filter cleaning from different filtration rate

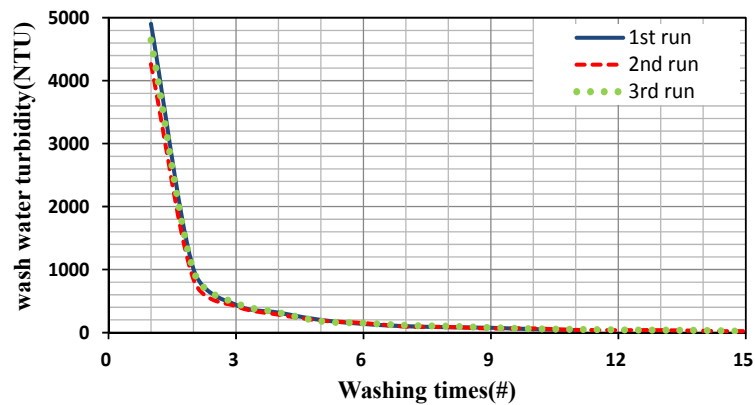


Fig. 11. Turbidity of the wash water and samples of the wash water during each washing cycle

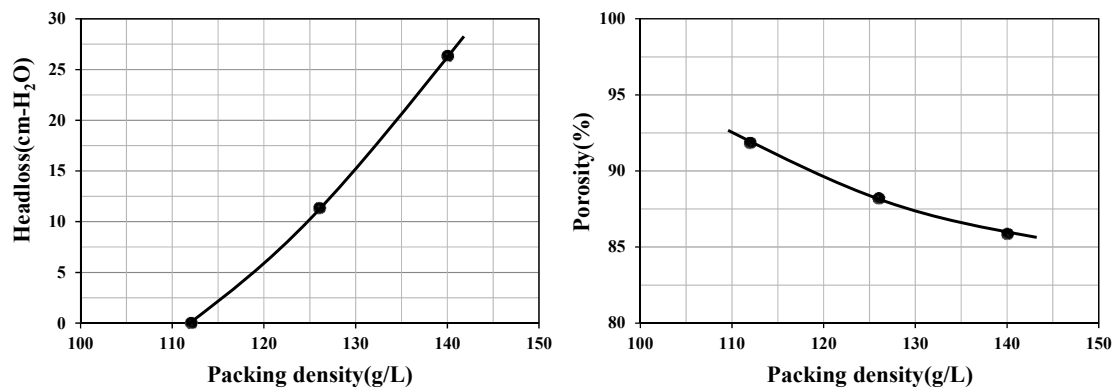


Fig. 12. a; Fiber packing densities versus porosity, b; Fiber packing density versus head loss at the end of filter running

88%로 감소하였으며 이때의 수두손실은 10cm, 충전밀도 140g/L에서 공극율은 86%, 수두손실은 25cm를 나타내었다.

한편 여재 충전밀도의 증가는 여과종료 후 실시되는 세척 효율에도 영향을 미치게 된다. 여재의 충전밀도가 증가할수록 여재 내부에 역류된 고형물의 회수율은 감소하였다. 이는 여재의 높은 충전밀도로 유수흐름에 대한 저항력이 증가하여 세척수가 역류된 고형물 입자에 의해 축소된 간극을 통과하는 과정을 방해하기 때문이다.

섬유여재의 충전밀도 증가는 전체적인 섬유여과 장치의 성능을 향상시킬 수 없다는 결론을 도출하였다. Lee et al. (2010)은 1,440m/day의 여과속도에서 수행한 여과시험을 통하여 낮은 충전 밀도에서 여재 층의 오염도가 낮아서 세척이 수월하다는 결과를 제시하였다. 여재의 충전밀도를 110에서 140g/L까지 증가시키면서 실시한 시험결과 적정 처리효율을 얻으면서 안정적인 역류고형물의 세척이 가능한 여재 충전밀도는 125g/L 정도가 적절한 것으로 사료된다.

4. 결 론

토사배출사업장(건설사업장)에서 발생하는 흙탕물은 수계로 유입되어 수생태계를 교란하는 일차적인 요인으로 지목되고 있다. 본 연구에서 수행한 흙탕물을 처리하기 위한 섬유상 여과장치를 운전한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 여과속도 1,430m/day에서 인공 흙탕물 유입원수 50NTU를 처리한 결과 여과효율은 초기 80% 내외를 보였으나 수두손실이 증가함에 따라 점진적으로 감소하였으며 여과 지속시간 동안의 평균 여과효율은 62% 이었다. 수두손실은 여과개시 50분 후부터 나타나기 시작하였으며 여과시간에 따라 증가하여 최종적으로 6~8cm의 수두손실을 보였다.

2) 여과속도가 증가함에 따라 손실수두와 여과수의 탁도는 증가하고, 여과효율은 감소하는 전형적인 여과현상을 보였다. 여과속도에 따른 여과효율을 정리하면 750m/day의 증속도에서 74.7%, 1,500m/day의 고속도에서 62.6%, 2,250m/day의 초고속도에서 42.5%를 보였다.

3) 섬유여과 장치가 한계역류량에 도달한 후에는 여재세척을 실시하였다. 모듈내부 여재의 세척은 20,000m/day의 속

도로 여과진행 방향과 동일하게 하향류 흐름방식으로 실시하였다. 여과속도 750m/day의 속도로 세척한 결과 고형물 회수율은 78~92%, 평균 85%의 회수율을 보였다. 여과속도 1,500m/day와 2,250m/day로 운전된 모듈에서는 평균 회수율이 각각 80%와 74%로 나타났다.

4) 여재의 충전밀도가 증가할수록 처리효율은 증가하지만 세척 작업시 여재 내부에 역류된 고형물의 회수율은 크게 감소하였다. 충전밀도에 따른 수두손실은 충전밀도 112g/L, 이때의 공극율 92%에서는 거의 발생하지 않았고, 충전밀도 125g/L, 공극율 88%에서의 수두손실은 10cm, 충전밀도 140g/L 그리고 공극율 86%에서의 수두손실은 25cm 정도 발생하였다. 섬유여재의 충전밀도 증가를 시키는 것은 모든 측면에서 여과장치의 성능을 증가시킬 수 없으며, 적정 처리 성능을 얻으면서 양호한 여재세척이 가능한 충전밀도는 대략 125g/L 정도일 것으로 판단된다.

5) 본 연구를 통하여 개발된 흙탕물 처리 필터는 강우시 개발현장에서 대량으로 발생하는 흙탕물을 처리하는데 처리속도와 성능 측면에서 탁월한 장점을 갖고 있다. 장래에 개발현장에 파일럿 규모의 시설을 적용하여 처리효과를 검증할 계획이다.

References

- Crites, RW and Tchobanoglous, G (1998). Small and Decentralized Wastewater Management Systems, WCB/McGraw-Hill, Inc. New York, USA.
- Droste, RL (1996). Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment, Wiley, USA.
- Guerra, HB (2013). *High speed filtration using a highly porous fiber media for advanced and compact water treatment*, Marster's Thesis, Hanseo University, Seosan, Korea. [Korea Literature]
- Kawamura, S (2000). Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- Kim, Y, Kim, LH and Hwang, SW (2015). Review on soil

- erosion and loss management system of the calgary city government, Albert, Canada, *J. of Wetlands Research* 17(2), pp. 163-175. [Korea Literature]
- Korea Environment Corporation(KEC) (2008). *A Report on Soil Erosion and Loss Management at the Construction Sites*, Korea Environment Corporation [Korea Literature]
- Lee, JJ, Johir, MA, H, Chinu, KH, Shon, HK, Vigneswaran, S, Kandasamy, J, Kim, CW, Shaw, K (2010). Novel pre-treatment method for seawater reverse osmosis: Fiber media filtration, *Desalination*, 250(2), pp. 557-561.
- Nicolaisen, B (2002). Developments in membrane technology for water treatment. *Desalination*, 153(1-3), pp. 355-360
- Niu, S, Park, K, Guerra, BH, and Kim, Y (2015). Experimental study on non-woven filamentous fibre micro-filter with high filtration speed, *Water Sci. Technol.*, 71(9), pp. 1414-1422.
- Park, K, Cheng, J, Kim, Y (2015). Treatment study of the turbid water by high-speed synthetic fiber filter system, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 31(3), pp. 262-271. [Korea Literature]
- Salomons, W, and Forstner, U (1984). *Metals in Hydrocycles*, Springer Verlag, Berlin, New York, New York, USA.
- US EPA (2001). *The Biological Effect of Suspended and Bedded Sediments(SABS) in Aquatic Systems: A Review*, Washington DC, USA.
- US EPA (2003). *Developing Water Quality Criteria for Suspended and Bedded Sediments*, Washington DC, USA.
- Wang, C (2001). Electrostatic forces in fibrous filters-a review, *Powder Technology*, 118(1-2), pp. 166-170.
- Wood, J, He, C, Rochfort, Q, Marslaek, J, Seto, P, Yang, M, Chessie, P, Kok, S (2005). High-rate stormwater clarification with polymeric flocculent addition, *Water Sci. Technol.*, 51(2), pp. 79-88.