

하수처리수 재이용을 위한 가압식 구조토 여과의 처리성능평가

임병란^{1a,*} · 김희서^{1b} · 고연실^{1c} · 김현갑^{1d} · 김종학² · 이태진^{1e}

¹서울과학기술대학교 환경공학과

²(주)케이원에코텍

Characteristics of Filtration Treatment Using Diatomite Filter Aids for Sewage Water Reuse

Lim Byung Ran^{1a,*} · Kim Hee Seo^{1b} · Go Yeon Sil^{1c} · Kim Hyun Kab^{1d} · Kim Jong Hak² · Lee Tae Jin^{1e}

¹Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Science and Technology,

²K-1 EcoTech

(Received 16 November 2018, Revised 21 March 2019, Accepted 28 March 2019)

Abstract

The purpose of this study was to investigate treatment characteristics of diatomite filtration, that would allow water recovery from biologically-treated effluent for reuse. Diatomite, Celpure 100, and acid clay were used as filter-aids, with a support filter manufactured from polyethylene (PE), and polypropylene (PP). This pre-coating process using diatomite filter-aids, is used in the filtration range of pressure filters, and has consistently provided high-quality separation. The results showed that variations in average removal efficiency of SS, and T-P from biologically treated effluent by the diatomite-coated PE filter, were approximately 82.2 ~ 88.9 % and 4.8 ~ 21.1 %, respectively. T-P treatment efficiency of the PP filter pre-coated with diatomite and Celpure[®]100 at 57.64 g/m², was approximately 24 ± 10 % and 40 ± 15 % on average, respectively. Particle size distribution of secondary effluent varied from 0.05 to 200 μm, and d₅₀ value was 20.76 μm. The size distribution of particles in the diatomite filtrate ranged from 1.26 to 101.1 μm when pre-coated with diatomite filter-aid, at a content of 57.64 g/m². Diatomite filter aids, i.e., the particles that form the pre-coating layer, capture very fine particles as well as macromolecules, owing to their complex structure with numerous fine microscopic pores, and surface properties. The filtration process using diatomite and Celpure[®]100 as filter aids, has been successfully applied, to recover water from sewage for reuse. The disadvantage of the process, is that the particle size of the filter-aid is spent, because of pressurization.

Key words : Diatomite, Filter-aids, Filtration, Treatment characteristics, Sewage reuse

^{1a,*} Corresponding author, 연구교수(Research Professor), limbr@seoultech.ac.kr, https://orcid.org/0000-0002-4960-9605

^{1b} 석사과정(M.S. Student), heeseo@seoultech.ac.kr, https://orcid.org/0000-0001-5812-8945

^{1c} 석사과정(M.S. Student), rdt1595@naver.com, https://orcid.org/0000-0001-7271-8220

^{1d} 박사(Ph.D.), hjsbyb@seoultech.ac.kr, https://orcid.org/0000-0001-7488-4847

² 대표이사(Director), cch777@hanmail.net, https://orcid.org/0000-0002-4046-6476

^{1e} 교수(Professor), leetj@seoultech.ac.kr, https://orcid.org/0000-0001-9532-5358

1. Introduction

가뭄으로 하천의 건천화가 심해지는 등 물 부족현상에 대한 스트레스가 날로 증가하고 있다. 하수처리수 재이용에 대한 관심과 다양한 노력이 세계적으로 계속되고 있으나 하수처리시설의 세척수, 냉각용수, 청소수 등 장내용수로만 대부분 활용되고 있는 현실이다. 최근 하천의 수질개선, 건천화된 도심하천의 수생태계 복원 등 대체수자원으로 하수처리수 재이용을 높이기 위해 사용하는 목적에 따라 다양한 처리 공법이 이용되고 있다(Cho et al., 2013; Lee et al., 2016). 특히 하수처리수 재이용을 위한 총인 및 부유물질 제거를 위하여 급속여과법, 부상분리, 약품응집 디스크 필터, 중력식 섬유여과 등이 다양하게 연구되어 왔다(Jung et al., 2016; Mo et al., 2016; Park et al., 2005). 이러한 여과공정은 여과필터의 폐색의 문제, 여과성능의 문제, 유입오염부하변화에 따른 처리효율 저하 등의 문제점이 발생되고 있다. 하수처리시설의 고도처리기술 도입으로 최종 처리수의 수질이 우수하여 재래식 방법만으로도 처리한 후 재이용하는 경우도 많이 있으며, 하수 재이용시설에 처리효율이 높다는 장점을 가진 분리막을 적용하는 기술도 증가하고 있으나 원수의 수질, 운전인자, 멤브레인 특성에 따라 재이용수 수질이 상이하고 경제성이 높은 단점이 있다. 여과기술 중 천연소재 규조토를 이용한 가압여과방식은 여과필터표면에 여과보조제를 부착시킴으로써 기존의 여과기술(여과공극 10~20 μm)보다 기공 크기를 제어(여과공극 0.5 μm) 하게 되어 미세한 입자들까지 처리가 가능하다 것과 장치도 콤팩트하면서 소비전력과 부지설치면적이 적게 소요된다는 장점이 있다(Lee et al., 2007; Shin et al., 2004). 규조토는 미세 규조류의 유해가 해저에 쌓여 생성된 것으로 백색이며 평균 50~100 μm 크기의 규조류 껍데기로 이루어진 비정질 실리카로 구성되어있다(Ibrahim and Selim, 2011). 비중은 0.5이고 껍데기의 일차 및 이차 공극 때문에 매우 낮은 밀도를 가지고 있어 흡착제, 첨가제, 여과보조제 등으로 많이 활용하고 있다(Al-degs et al., 2000; Bae et al., 2014; Yoon et al., 1989; Zhao et al., 2014). 규조토를 이용한 수질 정화는 정수처리지침에 따라 인가된 기술로 미국 EPA(Environmental Protection Agency)도 명시되어 있으며, 규조토여과법은 좁은 면적에 설치가 가능하며, 여과수량도 많고, 여과수질도 양호하여 정수장의 급속모래여과를 대체할 수 있다고 하였다(Shin et al., 2004). 규조토보조제를 이용한 여과시스템을 적용하여 수인성 전염병을 유발하는 Giardia 포낭과 Cryptosporidium 제거를 완속여과법과 비교하였을 때 동일하게 99.9% 이상으로 높은 제거효율을 얻을 수 있기 때문에 식품 등 다양한 산업에 응용되고 있다(Schuler et al., 1991). 또한 수영장용수 정화, 제지폐수, 공업용수 내 부유물질 및 색도(Erdogan et al., 1996), 탁도(Boittelle et al., 2008) 등을 90% 이상 효과적으로 제거하기 위한 연구를 수행한 바 있다. 하지만, 재이용수 생산에 있어서 원수의 부유물질농도에 따라 여과시스템의 처리성능 및 여과시간에 영향을 미치기 때문에 가압여과에서 사

용되고 있는 여과보조제 종류, 여과층 두께, 여과속도 및 필터소재 선택이 매우 중요한 역할을 한다.

따라서 본 연구에서는 안정적인 재이용수 수질을 얻기 위해 다공성 구조토를 이용한 가압식 표면여과장치를 이용하여 필터소재 및 여과보조제종류에 따른 이차처리수의 처리성능을 비교해 보았으며 하수처리수 재이용을 위한 여과시설로 적용 가능성을 검토하고자 한다.

2. Materials and Methods

2.1 여과필터 및 여과보조제

여과필터는 현재 하수처리시설 내 재이용수 생산시설 현장에서 적용하고 있는 폴리에틸렌(Polyethylene, PE)과 효과적인 여과필터소재를 선정하기 위하여 M사가 제조한 폴리프로필렌(Polypropylene, PP)을 대상으로 여과성능을 검토하였고, 여과보조제로는 대부분 SiO₂ 86~93% 함유되어 있는 다공성 구조토(Diatomite)와 구조토를 더 미세하게 분말화한 Celpure[®]100(SiO₂ 96~98%) 그리고 SiO₂ 65~70%가 함유되어 있는 산성백토(Acid clay) 등을 그린워터케미칼(주)에서 구입하여 사용하였다. 여과보조제의 추가적인 성분으로는 Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO 등이 함유되어 있으며, 다공성이 커서 80~90%의 공극율을 가지고 있는 구조이다(Khraisheh et al., 2004). 본 연구에 사용한 여과보조제의 입도분포는 Fig. 1과 같다. 여재의 입도분포는 부유물질 등 오염원 제거 효율에 영향인자로 구조토의 d₅₀은 77.64 μm, Celpure[®]100의 d₅₀은 20.17 μm이었고 산성백토의 d₅₀은 33.20 μm을 나타내었다.

2.2 실험방법

여과장치는 실험실용 흡입여과기와 진공펌프(DOA-P704-AC, Gast Manufacturing, INC.)를 이용하였으며(Fig. 2), 여과필터를 47Φ사이즈(여과면적 17.35 cm²)로 자른 후 휠타서포트에 올려놓고 여과보조제를 물과 혼합한 후 필터위에 pre-coat층을 형성시킨 다음 U하수처리시설의 하수원수 및 2차 처리수를 300 mL 이상 여과하였다. 본 실험결과에 대한 신뢰도를 높이기 위하여 동일한 시료와 조건에서 2~3회 반복적으로 여과실험을 수행하였고, 여과수의 수질은 수질오염공정시험기준에 따라 COD_{Mn}, T-P, SS 등을 3회 이상 분석하였다. 여과보조제 및 하수 2차처리수의 입도분포는 입도분석기를(LS I3-320, Beckman counter)이용하여 측정하였고, 주사전자현미경(TESCAN VEGA3, Tescan)을 이용하여 여과보조제 및 여과 후 여과보조제의 표면을 분석하였다.

3. Results and Discussion

3.1 폴리에틸렌 여과필터를 이용한 하수 2차처리수의 처리효과

현재 현장에서 적용되고 있는 폴리에틸렌 필터를 사용하

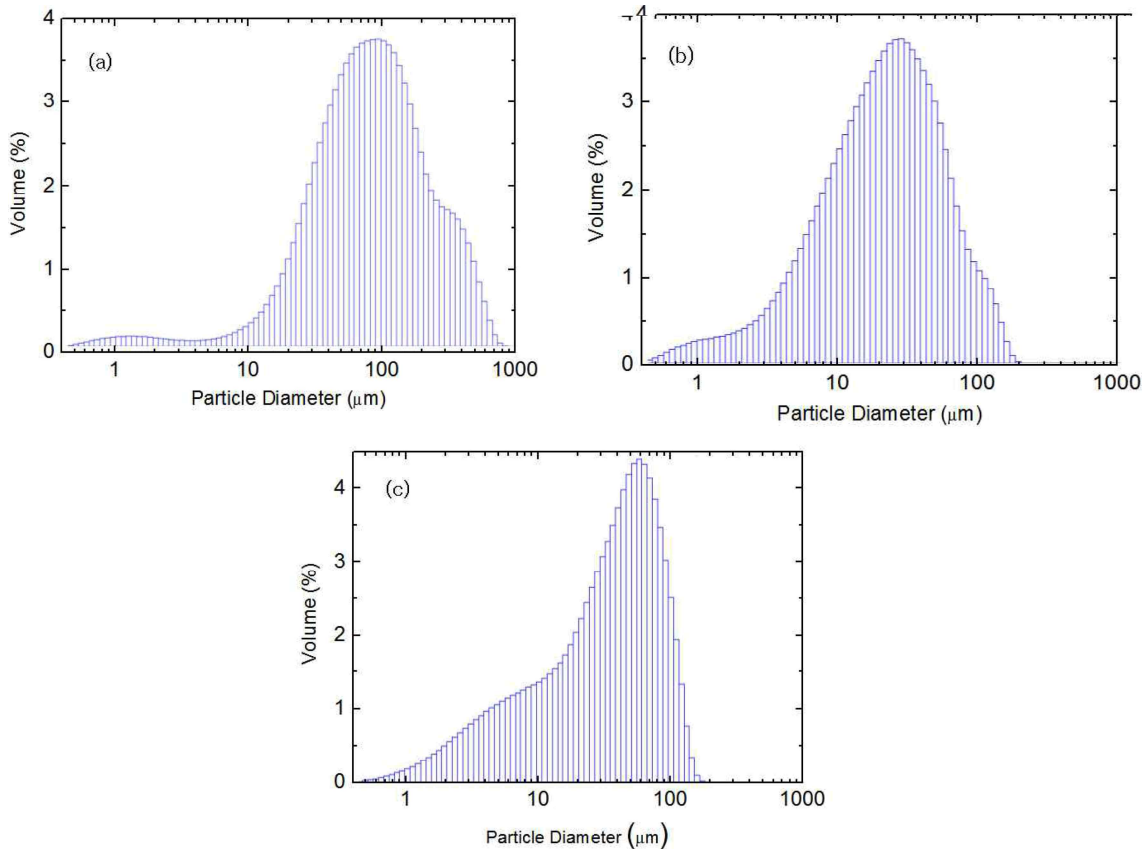


Fig. 1. Particle size distribution of filter-aid: (a) Diatomite, (b) Celpure[®]100, (c) Acid clay.

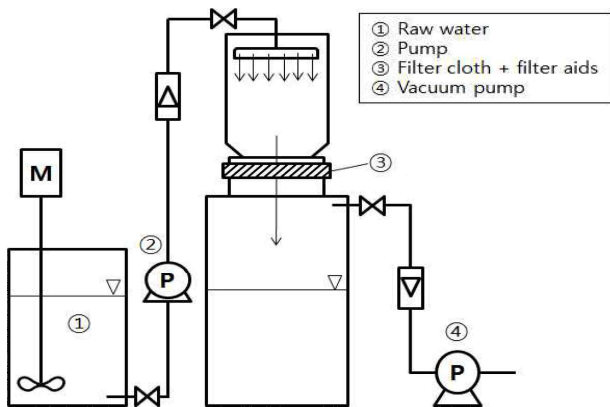


Fig. 2. Schematic diagram of lab-scale apparatus.

여 여과보조제 종류에 따른 처리효율을 검토하고자 여과보조제량은 57.64 g/m²로 pre-coat층을 형성시킨 다음 하수 2차처리수를 여과하였다. 폴리에틸렌 여과필터에 규조토 여과보조제량을 57.6 ~ 288.2 g/m²까지 변화시켜 pre-coat층을 형성시킨 후 하수 2차 처리수 처리특성을 2~3회 반복하여 실험한 결과의 평균값을 Table 1에 나타내었다. 여과보조제량이 증가함에 따라 여과하는 시간 및 유량이 감소되는 것으로 보아 여과보조제의 작은 입자들로 인해 여과필터의 공극이 막혀서 효율이 저하된 것으로 판단된다(Du et al., 2011). 여과필터로만 이용하여 실험한 결과 SS제거효율은 약 44 ± 2 % 정도 이었으나 규조토를 표면에 일정한 두께로

코팅한 후 여과한 경우 SS제거효율은 82.4 ~ 87.8 %로 향상되었다. 그러나 규조토의 양이 많은 경우 ± 5 % 이하의 편차를 갖는 것으로 나타났다. COD의 경우 여과보조제의 양이 증가함에 따라 코팅두께도 증가되어 처리수의 농도가 약간 감소되는 것을 알 수 있었으나 큰 차이가 없었다. 본 실험시 유입원수의 평균 T-P농도는 0.123 mg/L이었고 규조토보조제 양을 57.6 g/m²로 pre-coat 하였을 때 제거효율은 약 21.1 ± 2 %로 나타났다. 여과보조제의 양이 증가할수록 감소한 이유는 여과보조제의 코팅과정 중에 보조제의 쏠림 현상이나 여과과정 중에 압력에 의해 PE여과필터의 조직이 부분적으로 뒤틀려 여과보조제로 사용한 규조토의 미세 입자나 여과 과정 중 포획된 입자가 유실되어 처리수에 영향을 미친 것으로 판단된다. 탁도의 경우 보조제량이 증가하여도 변화폭이 크지 않은 것은 여과처리수내 유실된 규조토 미세입자수가 상대적으로 적어 수질과 달리 탁도에 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다(Shim et al., 2001). Du et al. (2011)은 과잉으로 여과보조제를 첨가할 경우 여과보조제의 케익층이 두꺼워 저항력이 높아져서 여과횟수가 줄어드는 것으로 보고하였다. 그러므로 여과보조제의 최적량은 제거대상원수의 부유 고형물의 크기, 양 및 유형에 따라 차이가 있을 것으로 사료된다.

여과보조제 종류에 따른 여과속도 및 수량을 파악하기 위하여 PE필터에 규조토, Celpure[®]100, 산성백토 여과보조제량을 172.9 g/m²로 pre-coat층을 형성시킨 다음 하수 2차

Table 1. Treatment characteristics with pre-coating diatomite amount on PE filter

Items		Biologically treated effluent	Only PE filter	Amount of pre-coating diatomite (g/m ²)		
				57.6	115.3	288.2
Permeability flow rate(mL/sec)		-	60	13.6	11.5	9.1
SS	Ave. Conc. (mg/L)	9.0	5.0	1.1	1.1	1.6
	Removal (%)	-	44.4(± 2 %)*	87.8(± 2 %)	87.8(± 2 %)	82.2(± 5 %)
Turbidity	Ave.(NTU)	1.4	1.4	0.7	0.6	0.6
	Removal (%)	-	0(± 2 %)	50(± 2 %)	57.1(± 2 %)	57.1(± 5 %)
COD	Ave. Conc. (mg/L)	10.8	8.0	8.0	8.0	8.8
	Removal (%)	-	25.9(± 2 %)	25.9(± 2 %)	25.9(± 2 %)	18.5(± 5 %)
T-P	Ave. Conc. (mg/L)	0.123	0.121	0.097	0.098	0.117
	Removal (%)	-	1.6(± 2 %)	21.1(± 2 %)	20.3(± 2 %)	4.8(± 5 %)

* () : Standard deviation, $p < 0.05$

처리수를 간헐회분식으로 1회여과시 500 mL씩 여과하면서 여과시간을 측정하여 Fig. 3에 나타내었으며, 이때 유입수 농도는 유입수의 SS농도가 3~4 mg/L이었다. 산성백토의

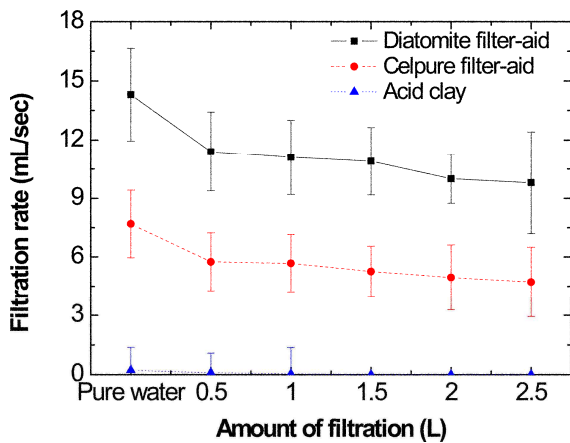


Fig. 3. Filtration rate of PE filter, with filter-aids at 172.9 g/m² (Error bars: Standard deviation, $p < 0.05$).

경우는 0.5 L 여과하는데 1 hr 이상 소요되어 이후는 실험을 진행할 수 없었으며, Fig. 1에서도 나타남과 같이 평균입경이 큰 규조토가 Celpure[®]100보다 여과속도가 빠른 것으로 나타났다. 이와 같이 동일한 농도에서 여과보조제의 입자에 따라 여과속도가 다른 것을 알 수 있었으며, 여과 횟수가 증가할수록 하수처리수내 부유물질의 영향으로 여과저항이 증가하여 서서히 여과속도가 느려지는 것을 알 수 있었다(Ediz et al., 2010). 이때 처리수의 SS농도는 규조토여과의 경우 1.6 mg/L이었으며, Celpure[®]100의 경우는 1.0 mg/L로 규조토보다 약간 양호 수질을 나타내었다. 이는 일반 규조토보다 Celpure가 투과성이 느리고 밀도도 작아 고형물을 포집할 수 있는 용량이 크기 때문인 것으로 판단된다(Michen et al., 2011; San and Imaretli, 2011).

하수 2차 처리수와 규조토여과수중의 입자의 입도분포를 측정하여 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 하수 2차 처리수중 입자의 입도분포는 0.05~200 μm로 나타났으며 2~5 μm는 약 23% 정도이었고, 15~80 μm 입자는 60% 이상 차지하는 것으로 나타났다. 여과보조제 규조토를 57.64 g/m²로 pre-coat 하였을 때 여과수중의 입자의 입도분포를

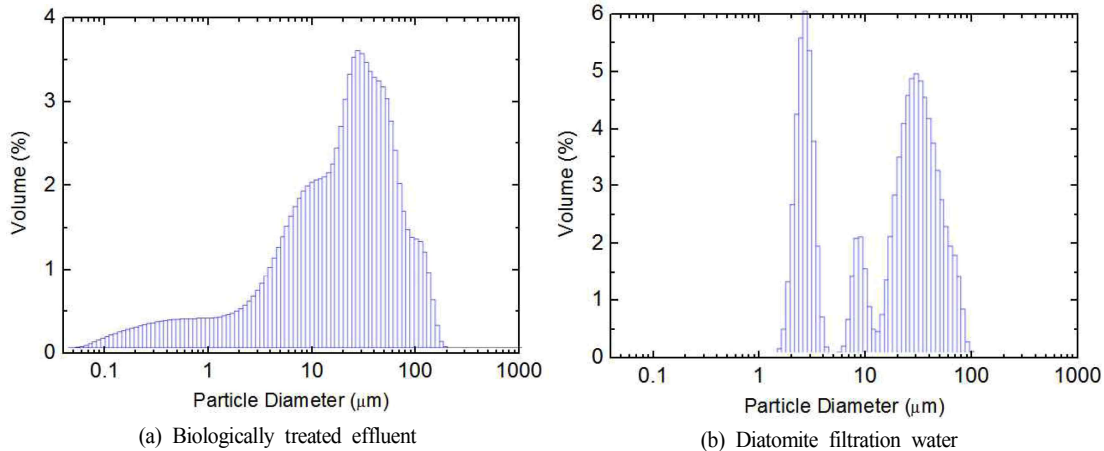


Fig. 4. Particle size distribution of biologically treated effluent and diatomite filtration. (a) Secondary effluent, (b) Diatomite filtration water

보면, 100 μm 이상과 0.05~2 μm 범위는 모두 제거되었으나 2~4 μm , 20~100 μm 의 경우 증가되는 경향을 나타내어 이는 여과 시 유실된 구조토여과보조제 입자인 것으로 판단된다.

3.2 폴리프로필렌 여과필터를 이용한 2차처리수 처리효과

하수 처리수 재이용수의 수질을 향상시키기 위하여 새로운 여과필터를 탐색하기 위하여 시중에 판매되고 있는 여과필터 종류별 처리효과를 검토하였다. 폴리프로필렌(PP)여과필터를 이용하였으며 여과보조제로는 구조토, 산성백토, Celpure[®]100을 이용하였고, 여과보조제량은 57.6 g/m²로 동일하게 pre-coat층을 형성시킨 후 하수 2차 처리수를 여과하여 수질을 비교하였다. 폴리프로필렌 여과필터만 사용하였을 경우 여과속도는 60 mL/sec이었으며, 구조토를 여과보조제로 pre-coat층을 형성시킨 경우 입자분포가 고르지 않아 부분적으로 코팅되었고 여과필터 표면 모서리로 몰려있는 경향이 많았으며, 여과속도는 8.82 mL/sec이었다. 여과보조제 Celpure[®]100의 경우는 입자사이즈가 미세하여 코팅은 양호하였으나, 여과속도는 7.69 mL/sec로 약간 감소하였다.

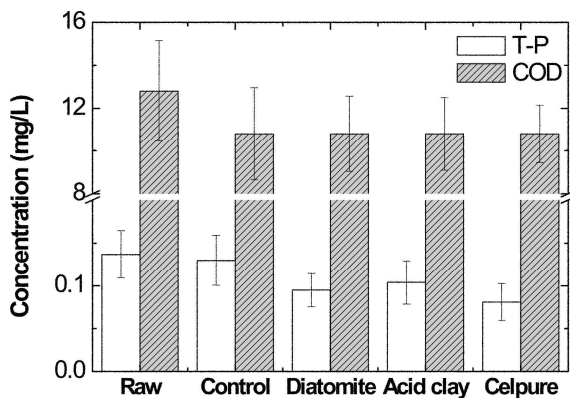
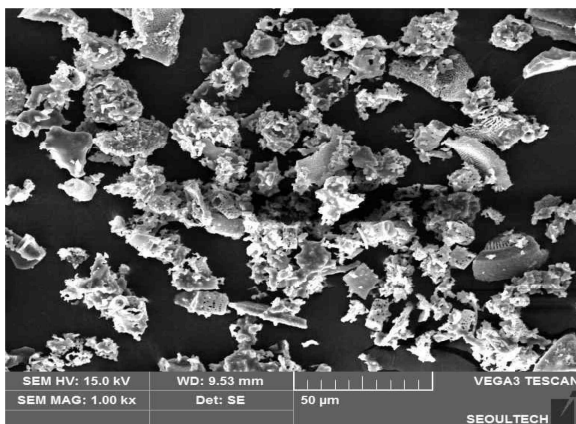


Fig. 5. Change of COD and T-P concentration with pre-coating filter aids on PP filter (Error bars: Standard deviation, $p < 0.05$).

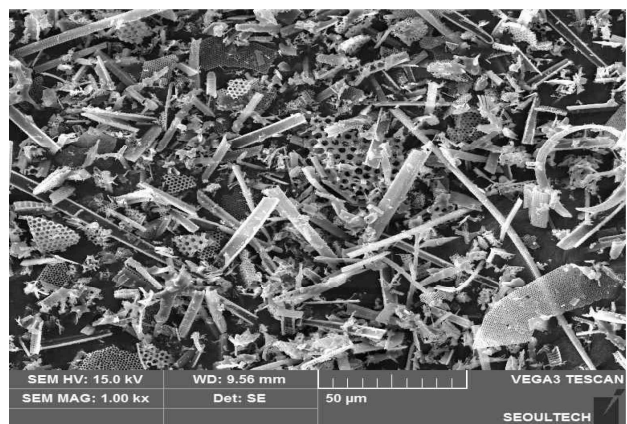
산성백토의 경우 여과속도는 1.94 mL/sec이었고, 코팅된 산성백토가 여과 시 여과필터를 통과하는 양이 많아 탁도를 높이는 것으로 나타났다. 이와 같이 여과보조제의 입경분포가 pre-coat할 때 여과필터의 공극을 채워 여과속도에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 PP 여과필터에 3종류의 여과보조제를 사용하여 여과한 처리수의 결과를 나타낸 것이다. 유입원수의 SS농도는 7.4~9.0 mg/L이었으며, 처리수의 농도는 1.0~1.4 mg/L 이하로 제거효율은 82.9~87.8%를 나타내었다. COD농도는 평균 12.8 mg/L이었고, 처리수는 여과보조제에 따라 큰 차이는 없는 것으로 나타났으며 평균 10.8 mg/L로 평균 15.6% 제거되는 것으로 나타났으며, $\pm 8\%$ 이하의 편차를 갖는 것으로 나타났다. 주암호 물을 대상으로 구조토여과를 수행한 Shin et al. (2004)의 연구에 비해 제거효율은 낮게 나타났는데 이는 구조토의 사용량, 피복상태 등에 따라 처리효율이 상이한 것으로 보고하였다. T-P의 경우 유입원수의 농도는 평균 0.137 mg/L이었고, 처리수 농도는 구조토의 경우 평균 0.095 mg/L로 약 24% 제거되었으며, $\pm 10\%$ 이하의 편차를 갖는 것으로 나타났다. Celpure[®]100은 평균 0.081 mg/L로 제거효율은 약 40%정도로 높게 나타났으나, $\pm 15\%$ 이하의 편차를 갖는 것으로 나타났다. 이는 Celpure[®]100 여과보조제의 입도분포가 구조토보다 조밀하기 때문에 거대한 입자뿐만 아니라 미세한 입자도 제거되어 유입되는 원수의 입자성 인 제거효율이 우수한 것으로 판단된다(Michien et al., 2011).

구조토 및 Celpure[®]100 여과보조제를 이용하여 pre-coat한 여과필터의 여과전·후 SEM사진을 Fig. 6~Fig. 7에 나타내었다. Fig. 6(a)와 (b)에 나타낸 바와 같이 구조토와 Celpure[®]100 여과보조제를 보면 다공성면서 골격구조가 복잡하고 다양한 형태를 나타내고 있었으며, 특히 Celpure[®]100은 구조토보다 좀 더 불규칙하고 여러 종류가 혼합되어 있었으며 불순물 등이 거의 없는 것으로 나타났다. 하수 2차 처리수를 여과한 결과, Fig. 7(a)와 (b)와 같이 부유물질이 여과보조제 표면 및 공극에 포집된 것을 알 수 있었다(Tremblay, 2017).

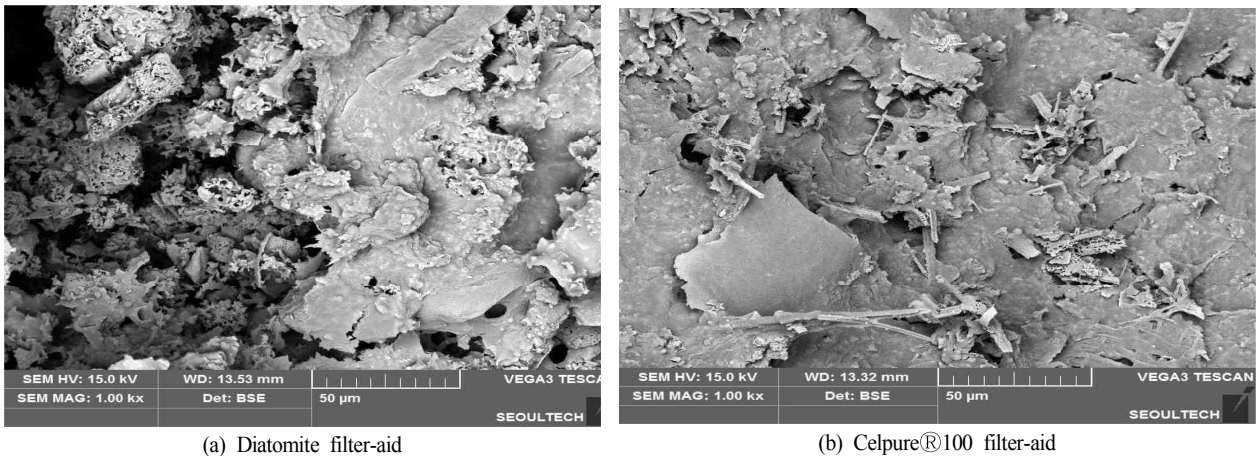


(a) Diatomite filter-aid



(b) Celpure[®]100 filter-aid

Fig. 6. SEM micrographs of diatomite (a) and Celpure[®]100 filter-aids (b).



(a) Diatomite filter-aid

(b) Celpure®100 filter-aid

Fig. 7. SEM micrographs of side-view of precoat filters after filtration run. (a) Diatomite filter-aid, (b) Celpure®100 filter-aid

4. Conclusion

본 연구에서는 하수처리수를 재이용하는데 있어서 양질의 수질을 얻기 위해 여과보조제로 규조토를 이용한 규조토여과의 성능을 파악하기 위하여 여과필터 및 여과보조제에 종류에 따른 영향을 검토하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

폴리에틸렌 여과필터에 여과보조제로 규조토를 57.6 ~ 288.2 g/m²까지 변화시켜 여과한 결과, 평균 SS제거효율은 82.2 ~ 88.9%이었으며, T-P제거효율은 약 4.8 ~ 21.1%로 ± 5% 이하의 편차를 갖는 것으로 나타났다. 여과보조제 양이 증가할수록 감소하는 경향이 나타났는데 이는 코팅과정 중에 보조제의 쏠림현상이나 여과과정 중에 압력에 의해 PE여과필터의 조직이 부분적으로 넓어져 여과보조제로 사용한 규조토의 미세 입자가 유실되어 처리수에 영향을 미친 것으로 판단된다. 여과보조제에 따라 여과특성을 알아보기 위하여 규조토, 산성백토, Celpure®100을 각각 57.6 g/m²로 코팅 후 하수 이차처리수를 여과속도를 검토한 결과, 입도분포가 작고, 밀도는 낮을수록 고형물을 포집할 수 있는 능력은 크나, 투과속도는 느린 것으로 나타났다.

여과필터 종류에 따라 처리효율에 미치는 영향을 검토하기 위하여, 폴리프로필렌 여과필터를 사용하여 여과보조제 양을 동일하게 57.6 g/m²로 코팅한 후 여과효율을 비교하였다. 그 결과, T-P의 경우 유입원수의 농도는 평균 0.137 mg/L이었고, 처리수 농도는 규조토의 경우 평균 0.095 mg/L로 약 24% 제거되었으며, ± 10% 이하의 편차를 갖는 것으로 나타났다. Celpure®100은 평균 0.081 mg/L로 제거효율은 약 40%정도로 높게 나타났으나, ± 15% 이하의 편차를 갖는 것으로 나타났다. 이는 Celpure®100 여과보조제의 입도분포가 규조토보다 골격구조가 복잡하고 다공성으로 밀도도 작기 때문에 유입되는 원수의 크고 작은 입자성 물질을 잘 포집할 수 있어 인 제거효율이 우수한 것으로 판단된다.

이상의 연구결과로부터 수질만 고려해 보았을 때 여과보조제로는 Celpure®100을 사용하는 것이 하수처리수 재이용 생산시스템으로써 적용가능성이 높게 나타났으나 수질 및

경제성을 고려한다면 일반 규조토를 활용하는 것이 유리할 것으로 사료된다. 그리고 향후 장기간 운전 시 유실되는 여과보조제의 손실을, 막힘현상, 현장적용 시 여과보조제의 코팅방법 등을 추가적으로 연구할 할 필요가 있다.

Acknowledgement

This work was supported by R&D Center for Advanced Technology of Wastewater Treatment and Reuse (RE201607015).

References

- Al-degs, Y. S., Tutunju, M. F., and Shawabkeh, R. A. (2000). The feasibility of using diatomite and Mn-Diatomite for remediation of Pb²⁺, Cu²⁺ and Cd²⁺ from water, *Separation Science and Technology*, 35(14), 2299-2310.
- Bae, B. S., Ha, J. H., Song, I. H., and Hahn, Y. D. (2014). Characterization of the silica coated diatomite based ceramic filter for water treatment, *Journal of Korea Powder Metallurgy Institute*, 21(1), 21-27. [Korean Literature]
- Boittelle, C., Christian, P., Vladan, M., and Martine, M. P. (2008). Advances in the Precoat Filtration Process, *Separation Science and Technology*, 43, 1701-1712.
- Cho, I. H., Lee, S. J., and Kim, J. T. (2013). Trends and directions in the development of wastewater reclamation and reuse technology for alternative water resources, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 29(1), 127-137. [Korean Literature]
- Du, L., Xu, C., Li, W., and Zhu, Q. (2011). A study on enhancement of filtration process with filter aids diatomaceous earth and wood pulp cellulose, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 19(5), 792-798.
- Ediz, N., Bentli, I., and Tatar, I. (2010). Improvement in filtration characteristics of diatomite by calcination, *International Journal of Mineral Processing*, 94, 129-134.
- Erdogan, B., Demirci, S., and Akay, Y. (1996). Treatment of sugar beet juice with bentonite, sepiolite, diatomite and quartamin to remove color and turbidity, *Applied Clay*

- Science*, 11, 55-67.
- Ibrahim, S. S. and Selim, A. Q. (2011). Evaluation of egyptian diatomite for filter aid applications, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 47, 113-122.
- Jung, J. H., Lee, S. C., Sung N. C., and Choi, Y. I. (2016). Possible uses of reclaimed wastewater effluent treated using birm filtration along UF, and analysis on membrane fouling, *Journal of Environmental Science International*, 25(11), 1467-1474. [Korean Literature]
- Khraisheh, M. A. M., Al-degs, Y. S., and McMinn, W. A. M. (2004). Remediation of wastewater containing heavy metals using raw and modified diatomite, *Chemical Engineering Journal*, 99(2), 177-184.
- Lee, E. G., Kim, H. S., Choi, S. I., and Han, G. N. (2007). Evaluation on field applicability of pre-coat filter system using diatomite for the river water reuse, Proceedings of the 2017 Autumn Co-Conference of the Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, 1190-1193. [Korean Literature]
- Lee, J. Y., Kim S. J., Kim J. S., Kang, M. K., and Lee, S. I. (2016). A study on treated sewage reuse by using electro-coagulation, *Journal of Water Treatment*, 24(6), 53-63. [Korean Literature]
- Michen, B., Diatta, A., Fritsch, J., Aneziris, C., and Graule, T. (2011). Removal of colloidal particles in ceramic depth filters based on diatomaceous earth, *Separation and Purification Technology*, 81(1), 77-87.
- Mo, S. Y., Lee, P. E., Kim, B. S., and Lee, T. J. (2016). A study of sewage treatment with a self-cleaning filtration unit, *Journal Korean Society of Environmental Engineering*, 38(6), 309-316. [Korean Literature]
- Park, K. Y., Maeng, S. K., Kim, K. P., Kweon, J. H., Yoon, H. H., and Ahn, K. H. (2005). Synthetic permeable medium filtration for secondary effluent reclamation, *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, 19(1), 3-7. [Korean Literature]
- San, O. and Imaretli, A. (2011). Preparation and filtration testing of diatomite filtering layer by acid leaching, *Ceramics International*, 37, 73-78.
- Schuler, P. F., Ghosh, M. M., and Gopalan, P. (1991). Slow sand and diatomaceous earth filtration of cysts and other particulates, *Water Research*, 25(8), 995-1005.
- Shin, D. Y., Ji, S. N., Moon, O. R., Kim, J. Y., Suh, D. W., and Cho, Y. K. (2004). A study on the diatomaceous earth filtration of settling basin effluent, *Korean Journal Environmental Health Sciences*, 30(5), 410-416. [Korean Literature]
- Shim, Y. S., Yu, M. J., and Han, I. S. (2001). Evaluation of filtration process using particle size distribution, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 23(7), 1103-1112. [Korean Literature]
- Tremblay, K. and Roebuck, A. Y. (2017). Highly permeable twinned alumina nanoparticles for the precoat filtration of fine colloids, *Separation and Purification Technology*, 182, 197-206.
- Yoon, S. H., Nah, J. B., Koag, E. Y., and Seo, D. S. (1989). Improvement of filtration characteristics of diatomite filter-aid by polyelectrolyte adsorption, *Hwahak Konghak*, 27(6), 855-861. [Korean Literature]
- Zhao, S., Huang, G., Fu, H., and Wang, Y. (2014). Enhanced coagulation/flocculation by combining diatomite with synthetic polymers for oily wastewater treatment, *Separation Science and Technology*, 49, 999-1007.