

생물학적 호기성필터를 이용한 소규모 하수처리시스템에 관한 연구

박찬규*† · 조은영* · 김영희** · 박성진***

Study on a Small-scale Wastewater Treatment System using Biological Aerated Filter

Chan G. Park*†, Eun Y. Jo*, Young H. Kim**, Sung J. Park***

Key Words : Biological aerated filter(생물학적 호기성 필터), Small-scale wastewater treatment plant(소규모 폐수처리시설), TN(총 질소), TP(총 인)

ABSTRACT

The biological aerated filter (BAF) reactor is regarded as an effective biological wastewater treatment method. It can remove pollutants by carrier filtration and biodegradation. Due to its advantages, which include high biomass retention, tolerance to toxicity, excellent removal efficiency, and slurry separation, BAF has been widely used to remove COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, phosphorus, and other harmful organic substances.

In this study, the BAF reactor was used to remove organic contaminants of domestic wastewater of Korea at both the bench- and pilot-scale. The main objectives of this study are to: (i) investigate the removal efficiency of organic contaminants (ex. COD, nitrate, phosphorus) in BAF reactors at both scales; (ii) characterize the small-scale wastewater treatment plant using the BAF reactor.

The concentration of COD in the influent increased from 69 to 246 mg/L. During the operation period, the final effluent concentration of COD remained maximum 4.0 mg/L, and the average removal efficiency was above 88%. The present study investigated the removal efficiencies of COD, TN, TP and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ from smelting wastewater by BAF system. When treating wastewater in both bench and pilot-scale reactors, the BAF worked well.

1. 서론

2010년 환경부는 폐수 배출시설 적용 기준 적용 및 비점 오염 시설 신고제도 개선 등을 주요 내용으로 하는 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 시행규칙을 개정·공포함에 따라 수질보전의 중요성이 큰 상수원보호구역 및 수변구역의 경우, TP는 10배 ($2 \rightarrow 0.2$ mg/L), COD는 2배 ($40 \rightarrow 20$ mg/L)로 TP는 2012년부터, COD는 2013년부터 강화된 기준이 적용되고 있다. 또한 양질의 안정적인 대체수자원을 확보를 통해 물 수급의 지역적 불균형 완화, 하천유지용수량을

통한 하천의 수생태계 회복 및 수질개선을 위해 하·폐수 재이용율은 계속 증가하고 있으며, 2009년을 기준으로 빗물, 중수도, 하수처리수 재이용량은 9.4억 톤이나 2020년까지 25.7억 톤의 재이용을 목표로 하고 있는 실정이다.

더불어 최근 산업발달 및 생활수준의 향상에 따라 방류수역의 수질오염 심화, 환경오염에 대한 시민 의식의 향상 등으로 과거의 2차 처리공정만으로는 방류수역의 수질개선 효과가 이루어지지 못하고 있으며, 수자원 부족으로 처리수의 재활용에 대한 필요성이 대두되고 있어 고도처리의 필요성은 날로 늘어가고 있는 실정이다. 통상적인 2차 처리를 통한

* 한국산업기술시험원 (Korea testing laboratory)

** 호서대학교 벤처전문대학원 (Hoseo graduate school of venture) · (주)일신종합환경 (Ilshin environmental engineering Co., Ltd.)

*** ㈜이노엔스 (Innoens Co., Ltd.)

† 교신저자(Corresponding Author), E-mail : pcg6189@hotmail.com

BOD, SS 등의 유기물만의 제거는 방류수역에서의 영양염류에 의한 조류 및 수서 식물의 성장을 촉진시켜 DO의 고갈로 인한 하천의 자정능력의 저하를 초래하게 되므로 궁극적으로 방류수역의 수질개선을 위해서는 유기물뿐만 아니라 영양염류, 아질산성 질소 및 질산성 질소와 단백질, ATP 등과 같은 유기인, 인산염의 처리 또한 필요하다.

생물학적 폐수처리공정에서 일반적으로 사용되고 있는 활성슬러지법은 비교적 처리효율이 안정되지만, 대부분 유기물 제거를 목적으로 개발되어 부영양화의 원인물질인 질소의 제거효율은 저조한 실정이다. 또한 활성슬러지법은 고도의 유지관리기술과 넓은 부지면적을 필요로 하며 잉여슬러지가 많다는 단점을 가진다. 따라서 최근에는 이러한 단점을 보완한 질소제거공정이 다양하게 변화하여 SBR, A2O, Bardenpho, UCT, VIP, BAF 등의 다양한 공정이 개발되었다.^{1)~5)} 특히 생물여과공정(Biological Aerated Filter, BAF)은 일종의 생물막 공정으로 충진여재에 부착된 미생물에 의한 유기물 제거 및 질산화와 생물여재층에 의한 물리적 여과가 동시에 일어나는 공정이다. 이러한 생물여과공정은 생분해와 여과를 통해 오염물질을 제거한다. 높은 미생물 체류시간, 독성에 대한 내성, 훌륭한 제거효율, 현탁액 분리라는 이점 때문에 BAF 공정은 COD, NH₄⁺-N, 인, 기타 유해성 유기물질을 제거하기 위해 사용되어왔다. 최근 BAF 공정은 중금속을 함유한 폐수 처리에 단독 혹은 타 기술과 결합하여 이용되고 있다. 다수의 연구에서 BAF 반응조는 고도처리를 수행하는데 적합하다고 보고되고 있다.⁶⁾

본 연구에서는 국내 생활폐수의 유기오염물질의 제거를 위해 bench scale의 BAF 반응조를 운전하였다. 따라서, 본 연구의 목적은 bench scale의 BAF 반응조에서 유기오염물질의 제거효율 조사하고, 이를 통하여 BAF 이용한 소규모 하수처리시스템을 특성화하고자 한다.

2. 연구 재료 및 방법

2.1. 연구 재료

본 시험에 사용한 원수는 합성원수로서 증류수에 glucose, peptone, (NH₄)₂SO₄, KH₂PO₄와 기타 미량 무기물질을 첨가하여 제조하였으며, 원액을 매일 제조하여 증류수로 희석하여 실험에 사용하였다. 시험 기간 중 온도는 항온(약 20 ± 2°C)을 유지하였으며, 유기물 농도는 COD 기준 평균 138 mg/L로 조절하였고 기타 영양염류도 일반적인 하수성상의 범위 내에서 유입농도를 유지하였다. 유입수의 COD 농도는 69~246 mg/L, NH₄⁺-N 농도는 22~48 mg/L, TN은 27~54 mg/L, TP는 1.5~8.1 mg/L의 범위로 환경부의 500 m³/일 미만 소규모 처리시설 유입하수 성상 중 평균 오염물질 유입농도 이상 및 최대 오염물질 유입농도 이하의 범위에 해당하였다(Table 1).

Table 1 Characteristics of influent(unit: mg/L)

Influent		BOD	COD	TN	TP
Nationwide wastewater treatment plant*	Max.	612.0	362.0	177.6	19.2
	Min.	8.5	8.5	8.0	0.2
	Avg.	135.1	71.7	36.4	3.3
Nationwide wastewater treatment plant under 500m ³ /day*	Max.	244.4	152.9	79.2	10.1
	Min.	11.7	9.7	8.0	1.0
	Avg.	107.0	50.9	24.0	2.7
Synthetic wastewater used in this study		110~250	50~150	25~80	3~10

*Ministry of environment(2002)

2.2. 연구 방법

BAF를 이용한 소규모 폐수처리시스템은 총 부피 25 m³/일로 설계되었다(Fig. 1). Bench 규모의 소규모 패키지 하수처리 공법은 크게 BAF, 분리막여과조, 탈질/인흡착 여과기로 구성되었으며, 별도의 유량조정조를 구비하였다.

Table 2에 BAF 공정의 유량 및 혐기조, 무산소조, BAF+Membrane반응조의 수리학적 체류시간 및 슬러지반출률을 나타내었다. BAF를 이용한 폐수처리시스템의 최대 수리학적 체류시간은 20 h로 운전되었다.

본 공정의 성능평가는 유입 및 유출수의 수질분석을 통해 이루어졌으며 KS I ISO 5663에 준하여 BOD, COD, TN, TP의 4가지 항목을 분석하였다.

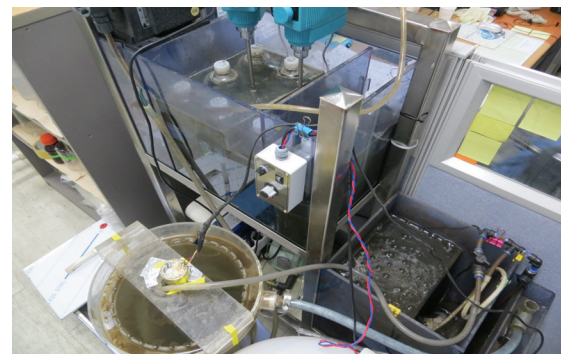
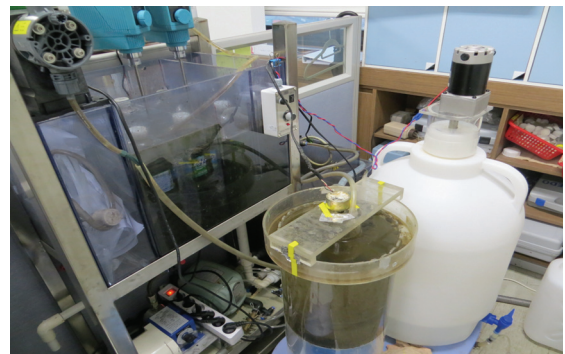


Fig. 1 Bench-scale wastewater treatment system using BAF.

Table 2 Operation factor of wastewater treatment system using BAF

Contents	Reactor	Operating range
Flow rate	-	40~79 L/day
Hydraulic Retention Time	Anaerobic	1.8~3.6 hr
	Anoxic	1.8~3.6 hr
	BAF+Membrane	6.2~12.9 hr
Returned activated sludge	-	100~150%

2.3. 공정구성

BAF를 이용한 폐수처리시스템의 공정 구성은 크게 BAF 반응조, 분리막여과조, 탈질/인흡착 여과기의 3단계로 구성되었다(Fig. 2).

2.3.1. BAF (biological aerobic filter)

BAF는 반응조 내에 충전되어 있는 여재를 통해 미생물에 의해 유입수를 처리한다(Fig. 3, Fig. 4). 반응조 내에 공기를 순환시켜 미생물의 적정 용존산소농도를 유지시키며, 여재를 통과하면서 여재층에 형성된 미생물들에 의해 유기물의 산화분해 및 질산화가 이루어지는 공정으로 하수는 분사노즐을 통하여 골고루 반응조에서 상향류로 유입된다.

2.3.2. 분리막여과

분리막여과조는 BAF에서 탈착된 미생물을 분리하여 후단의 탈질/인흡착 여과기의 운전 성능을 향상시키며 분리공정에 의한 오염물질의 추가 제거를 목표로 한다.

2.3.3. 탈질/인흡착 여과기

탈질/인흡착 여과 단계는 생물학적 처리공정 후단에 설치되어 생물학적 처리공정 처리수내에 존재하는 총인과 질산성질소를 제거하기 위한 공정으로서 인제거를 위한 코팅약품의 급속혼합과 질산성질소를 제거하기 위한 메탄올주입으로 미디어표면의 인 슬러지를 제거하기 위한 슬러지 탈리장

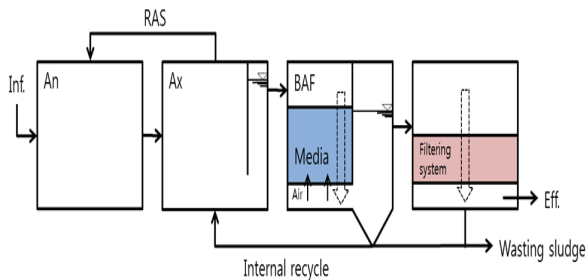


Fig. 2 Process of wastewater treatment system using BAF.

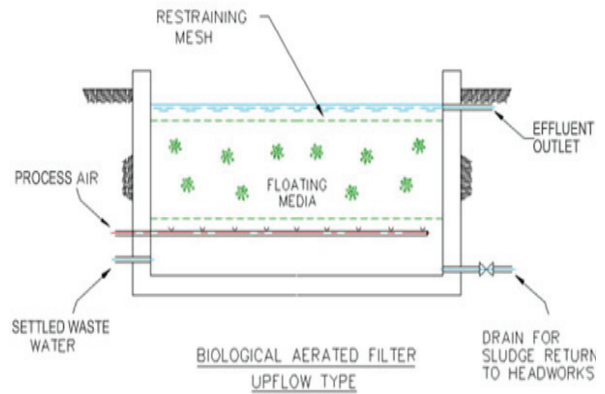


Fig. 3 BAF reactor.

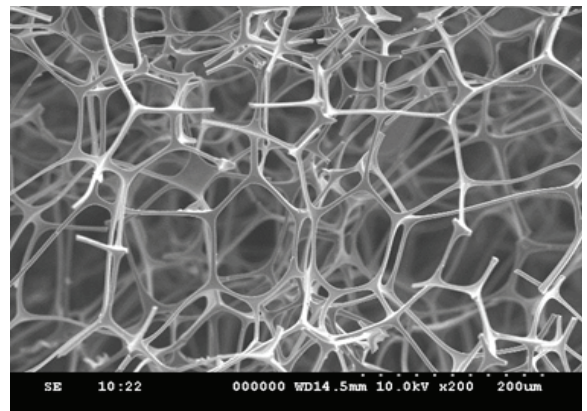


Fig. 4 SEM micrograph of media.

치가 설치된 연속반응식 탈질/인흡착 여과기로 구성되어 있다. 유입수에 철염을 주입하여 급속혼합과정을 통하여 철수산화물(HFO, hydrous ferric oxides)을 생성시키고 이를 인 제거 여과기내부에 충전 되어 있는 미디어의 표면에 코팅하여 하수중의 용존성 인과 반응시켜 고형화 시킴으로서 슬러지의 형태로 인을 제거할 수 있는 기술이다. 여과기내부에 철수화물로 코팅된 미디어를 충전 함으로서 유입수중의 용존성 인과 반응할 수 있는 표면적을 극대화하여 적은 약품의 투입과 낮은 슬러지 발생으로 경제적이면서 효율적으로 인을 제거할 수 있다. 또한 질산성질소의 동시제거를 위하여 외부탄소원으로 메탄올을 주입하여 탈질미생물의 적정 성장을 통해 생물학적 처리수로부터 총질소를 제거하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유기물 제거

유입수 및 유출수의 성상과 최대 제거효율을 Table 3에 나타내었다. 운전 기간 동안 최종 유출수의 COD 농도는 최대 4.0 mg/L이었으며, 평균 제거효율은 88% 이상으로 매우

안정적이었다. 최대 98%(유출 COD 4 mg/L 이하)의 제거율을 나타냈다(Fig. 5). 유기물질의 제거효율은 시험기간 동안 나타났던 체류시간 감소, 슬러지 반송을 감소에 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

3.2. 질소 제거

운전개시 6일 전후로 공기공급관 막힘현상이 발생하여 질산화 효율이 저하되었다가 장치개선으로 질산화율이 회복되는 결과를 보였다. 운전개시 13일 전후로 체류시간이 12시간에서 6시간으로 감소하고 이후 슬러지반송이 효율적으로 이루어지지 않아 질소제거효율이 20%이하로 나타났다. 운전 27일 전후로 슬러지 반송라인 성능개선과 동시에 공기공급설비의 개량으로 질산화율 및 탈질산화율이 점진적으로 회복되었으며, 총질소 제거효율이 10%에서 80%(유출 T-N 농도 8 mg/L 이하)까지 증가하였다(Fig. 6).

3.3. 인 제거

운전초반 공기공급관 막힘 현상, 체류시간 감소 및 슬러지 반송 불량 등의 원인으로 인 제거 효율이 30%미만으로 나타났다. 운전개시 27일 전후로 슬러지 반송라인 성능개선과 동시에 공기공급설비의 개량으로 인 제거효율이 점진적으로 회복되어 총 인 제거효율이 최대 79% (유출 TP 농도 0.7

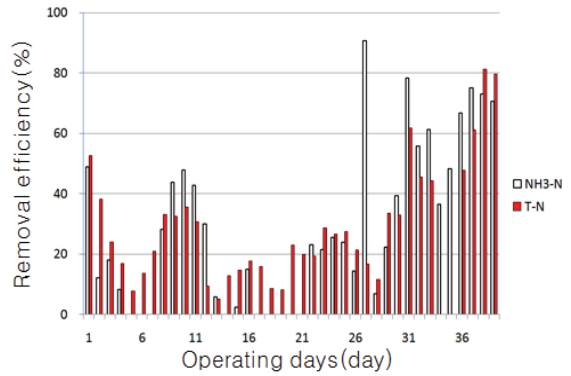


Fig. 6 Removal efficiency(%) of TN and NH₃-N by wastewater treatment system using BAF.

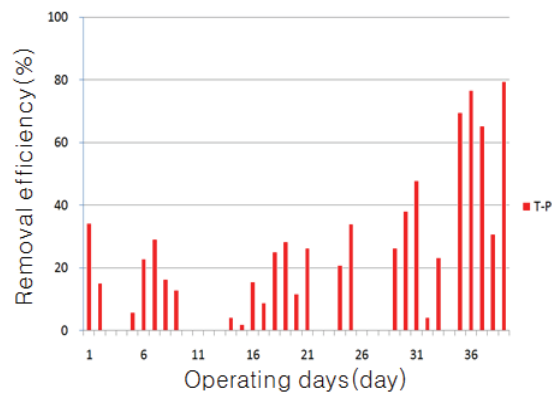


Fig. 7 Removal efficiency(%) of TP by wastewater treatment system using BAF.

Table 3 Characteristics of influent and effluent

Contents	Influent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Maximum removal efficiency (%)
	Range	Avg.	Range	Avg.	
COD _{Cr}	69~246	138±33	4~33	17±6	98
NH ₃ -N	22~48	37±5	4~43	25±11	91
TN	27~54	45±8	8~48	32±11	81
TP	1.5~8.1	4.8±1.3	0.7~9.5	4.3±2.0	79

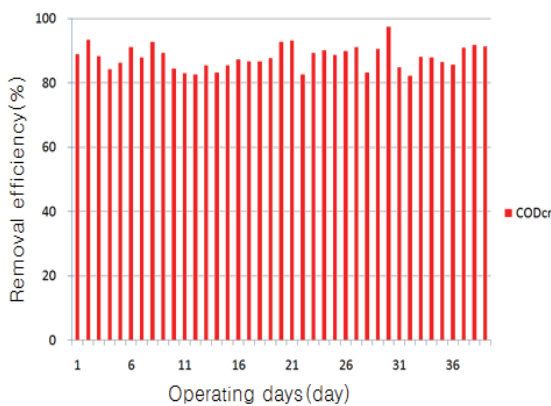


Fig. 5 Removal efficiency(%) of COD by wastewater treatment system using BAF.

mg/L 이하)로 나타났다(Fig. 7). 그러나 높은 인제거 효율에도 불구하고 강화된 방류수 수질기준인 0.2 mg TP/L를 만족하지 못하여 추가적인 인 제거 설비가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 BAF 시스템을 이용한 폐수처리시의 COD, T-N, T-P, NH₄⁺-N 제거 효율을 조사하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 운전기간 중 유기물 제거효율은 평균 88% 이상으로 매우 안정적으로 나타났으며 Bench scale의 반응조에서 BAF를 이용한 폐수처리 공정이 안정적으로 운전되는 것을 확인하였다.
- 2) 질소 및 인제거의 경우 초반 공기공급관 막힘 현상으로 인해 제거효율이 불량하였으나 운전개시 27일 전후로 점차 회복되어 평균 80%, 79%의 제거효율을 보였다.
- 3) 인의 경우, 평균 79%로 양호한 제거효율을 보였으나 환경부 방류수처리기준인 0.2 mg TP/L에 미치지 못하여 후단에 탈질/인흡착여과기를 추가하여 BAF 공정을

설계하였다.

- 4) 본 연구에서는 Bench-scale에서 BAF를 이용한 폐수 처리 시스템의 충분한 가능성을 확인하였으며 향후 Pilot 및 실제 처리시설에도 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCES

- (1) Frank, R., 1992, "Nitrification and Phosphorus Precipitation with Biological Aerated Filters," JWPCF, Vol. 62, pp. 169~176.
- (2) Tom, S., Allan, M., and John, U., 1993, "The Small Footprint Wastewater Treatment Process," Chemistry & Industry, Vol. 19, pp. 533~536.
- (3) Tschui, M., 1994, "Tertiary Nitrification in Aerated Pilot Biofilters," Water science & Technology, Vol. 29, No. 10, pp. 53~60.
- (4) Yukio, I. and Akihiro, T., 1984, "Nitrogen Removal from Municipal Wastewater by a Single Submerged Filter," JWPCF, Vol. 56, pp. 251~258.
- (5) 박정진, 정영록, 유재철, 허성호, 최원석, 변입규, 이태호, 박태주, 2006, "Modified BAF 공정을 이용한 독립적인 무산소조에서 탈질미생물 군집의 특성," 대한환경공학회지, Vol. 28, No. 7, pp. 752~756.
- (6) Sun, F. and Sun, W. L., 2012, "A Novel Wastewater Treatment Process: Simultaneous Nitrification, Denitrification and Phosphorus Removal," Chemical Engineering Journal, Vol. 210, No. 1, pp. 263~270.