

## 흡수성 바이오필터 시스템의 오수처리 특성 및 효율

### Sewage Treatment Characteristics and Efficiencies of Absorbent Biofilter Systems

전 기 설\* · 권 순 국\*\* · 김 성 배\*\*

Gi-Seol Cheon · Soon-Kuk Kwun · Song-Bae Kim

#### Abstract

In this study, on-site sewage treatment tests were conducted using the Absorbent Biofilter System (ABS) under different hydraulic loading rates to examine its treatment characteristics and efficiencies and to determine its feasibility as a small on-site sewage treatment system in a rural area. Results showed that the removal rates of BOD and SS were satisfactory at hydraulic loading rates of 100~150 cm/day, meeting the Korean effluent water quality standards for the riparian zone (10 mg/L). In the case of nutrients (N, P), however, the system did not perform well, necessitating further improvement for nutrient removal. A comparative analysis indicated that as a small on-site sewage treatment system, the ABS would be more suitable than other treatment systems in terms of performance stability, maintenance requirement, and cost-effectiveness and could be applied as an alternative treatment system in Korean rural areas.

*Keywords* : On-site sewage treatment system, Biofilter system, Hydraulic loading rate, Sewage

#### I. 서 론

급속한 산업발달과 인구증가로 인하여 각종 용수 사용량이 늘어나고 발생하는 폐수 중의 오염물질 성분이 증가하였다. 이로 인해 전국의 상수원 수질이 악화되고 저수지 및 호소가 부영양화 되어 각종 수질 오염원에 대한 적극적 대책이 필요하다. 이러

한 수질오염에 대한 대책으로 정부에서는 각종 환경기초시설을 설치하여 수질향상에 노력하고 있는데, 특히 도시와 같은 인구밀집지역에서는 대규모 하수종말처리시설을 설치하여 수질오염문제 해결에 적극적으로 대처하고 있다.

하지만, 인구가 분산되어 있는 농촌지역에서는 이러한 대규모 하수종말처리시설의 설치가 부적합하여 소규모 현장 오수처리 시스템의 도입이 불가피한 실정이다. 농촌지역에 보급될 수 있는 소규모 현장 오수처리 시스템의 조건은 다음과 같다(Lee et al., 1998): (1) BOD, SS 처리효율이 높을 뿐만 아니라 영양염류(N, P)의 제거가 가능하고 오

\* 서울대학교 대학원

\*\* 서울대학교 농업생명과학대학

\* Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4582

Fax: +82-2-873-2087

E-mail address: skkwun@snu.ac.kr

나 발생량이 적을 것; (2) 유량 및 수질의 변동에 따른 처리효율의 변화가 적을 것; (3) 설치면적 및 건설비가 적고 최소한의 유지관리를 필요로 할 것.

현재 농촌지역에 보급되어 사용되고 있는 회전원판법(Rotating Biological Contactor System)은 위의 조건을 대부분 만족시키나 SS 처리효율이 좋지 않은 것으로 보고 되어 있고 (Lee & Ryu, 1997), 토양트렌치법(Soil Trench System)은 오수처리효율은 좋으나 넓은 소요면적 요구와 막힘 현상 및 적당한 토양조건 요구 등으로 인하여 우리 농촌현실에 부적합한 것으로 알려져 있다(Won et al., 1991).

최근 들어, 농촌지역에 보급될 수 있는 소규모 현장 오수처리 시스템으로 흡수성 바이오필터 시스템(Absorbent Biofilter System, ARS)에 대한 관심이 높아지고 있다. Joo & Kwun(1999)은 소규모 오수처리용으로 적용 가능한 다양한 여재에 대하여 처리효율 및 처리특성을 비교 실험하였고, Kwun & Yoon (1999), Kwun et al.(2000a, 2000b)은 흡수성 Biofilter를 이용한 처리시스템의 오수처리효율에 대하여 연구하였다. 또한 Kwun & Kim(2002)은 흡수성 바이오필터 시스템과 혐기성 시스템을 조합한 실험실 규모 시설을 이용하여 유기성오염물질과 영양물질의 처리효율 향상에 대한 연구를 실시하였다.

본 연구의 목적은 현장실험을 통하여 흡수성 바이오필터 시스템의 오수처리특성 및 효율을 조사하여 농촌지역의 소규모 현장 오수처리 시스템으로서 적합성 여부를 파악하는데 있다.

## II. 재료 및 방법

### 가. 흡수성 바이오필터 시스템

현장실험에 사용된 흡수성 바이오필터 시스템은 크게 부패정화조(Septic Tank), 유량조정조(Pump Chamber), 바이오필터조(Biofilter Tank), 방류조(Effluent Tank)로 구성되어 있다 (Fig. 1). 부패

정화조는 유입되는 오수의 고형물을 혐기성 분해함과 동시에 침전시켜서 걸러내는 역할을 하며, 이곳에 설치된 수위센서를 이용하여 유량조정조로 상등 오수를 내보낸다. 유량조정조(넓이 2.0 m × 1.5 m, 높이 1.5 m)는 2조의 콘크리트 구조물이 서로 연결된 구조로서 최대 9.0 m<sup>3</sup> 정도의 오수를 수용할 수 있는데, 불규칙한 유입오수 유량을 일정하게 하여 바이오필터조로 공급하는 역할을 한다. 바이오필터조는 원통형(높이 2.6 m, 직경 2.1 m)으로 탱크 내에는 2.0 m 높이까지 발포성 합성수지 여재(Biofilter)로 채워져 있고, 유량조정조로부터 유입되는 오수는 탱크 상부의 노즐에서 분사되어 중력식으로 유하되도록 되어있으며, 탱크 내부는 공기 팬을 이용하여 호기성 상태를 유지하도록 되어 있다. 바이오필터조에 사용된 흡수성 여재(캐나다 Waterloo 대학에서 개발한 Absorbent Aerobic Biofiltration에 사용된 여재, 5.0 × 5.0 × 5.0 cm<sup>3</sup>)는 발포성 합성수지로 외형상 일반 스펀지와 비슷하나, 종래의 살수여상법(Trickling Filter System)에 사용된 입상여재에 비하여 표면적이 약 100배 이상 증가된 것이다 (Jowett & McMaster, 1995). 마지막으로, 방류조는 바이오필터조로부터 중력식 유하에 의해 유입된 처리수를 하수로 배출하는 곳이다.

### 나. 실험방법

흡수성 바이오필터 시스템의 현장 오수처리실험은 서울대학교 농업생명과학대학내의 학생기숙사에서 발생하는 오수를 이용하여 5년 동안(1999-2003년) 실시하였다. 수리부하율(Hydraulic Loading Rate, HLR)의 변화에 따른 흡수성 바이오필터 시스템의 오수처리효율을 조사하기 위하여 수리부하율을 100, 150, 200, 450 cm/day의 4가지 경우로 하여 현장실험을 실시하였다. 수질분석을 위한 샘플링은 유입수의 경우 유량조정조에서 바이오필터조로 넘어오는 파이프에서 실시하였고, 유출수의 경우 바이오필터조와 방류조 사이에서 실시하였다

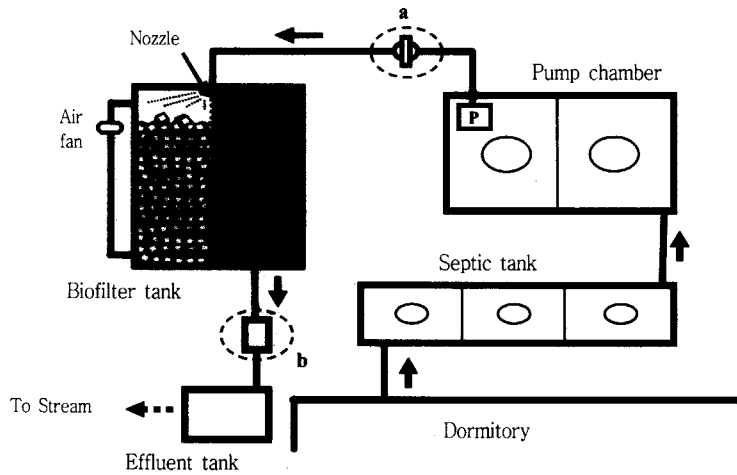


Fig. 1 Schematic diagram of ABS  
(a: Influent sampling point, b: Effluent sampling point)

(Fig. 1). 수질분석은 안정화 기간(흡수성 바이오필터 시스템의 처리효율이 안정되는 기간)을 제외하고 총 87회 실시하였는데, 수질 데이터의 정확도를 높이기 위하여 시료 채취 후 하루 안에 수질분석을 완료토록 하였다 (BOD 제외). 분석항목은 온도, pH, DO, BOD, COD, SS, T-N, Org-N,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ , T-P의 12개 항목으로, BOD, SS, T-P는 공정시험법(Ministry of Environment, 2000)을 이용하여 분석하였으며, 그 외 수질항목은 Standard Methods(APHA, 1995)에 의하였다. 또한, 유량은 유량조정조와 바이오필터조 중간에 설치된 유량계를 이용하여 측정하였으며, 전력량은 전력계를 이용하여 일단위로 측정하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 수리부하율 변동에 따른 BOD와 SS의 처리

##### 가. BOD

각각의 수리부하율 조건하에서 일일 유입부하량의 변화에 따른 BOD의 처리효율을 Fig. 2(a)에

제시하였다 (일일 유입부하량은 유입수 농도를 일정구간으로 나누어, 각 구간별 계급값에 수리부하율을 곱하여 계산함). 100, 150, 200 cm/day의 수리부하율 조건에서는 유입부하량의 변동에 관계없이 85%이상의 높은 BOD 처리효율을 보였다. 그러나 수리부하율 450 cm/day에서는 다른 수리부하율보다 낮은 BOD 처리효율을 나타냈는데, 유입부하량의 변동에 따라 30~70% 정도의 처리효율을 나타내었다.

수리부하율의 변화에 따른 BOD 처리효율의 중위수, 평균값, 최대값, 최소값, 사분위 범위를 Table 1에 정리하여 나타내었다. 수리부하율이 100 cm/day일 때 BOD 처리효율은 평균 93.2%였으며, 사분위 범위는 89.9~97.3%를 나타내었다. 150 cm/day의 경우는 처리효율이 평균 92.9%였으며, 사분위 범위는 89.5~97.3%이었다. 그리고, 200 cm/day의 수리부하율인 경우 처리효율은 사분위 범위로 84.1~90.5%이고 평균은 87.9%로 나타났다. 하지만, 450 cm/day인 경우, 다른 수리부하율에 비하여 상당히 낮은 효율(평균 49.5%, 사분위 범위 35.1~62.7%)을 보였다. 수리부하율의 변동에 따른 BOD 유출수 농도의 변화를 살펴보면

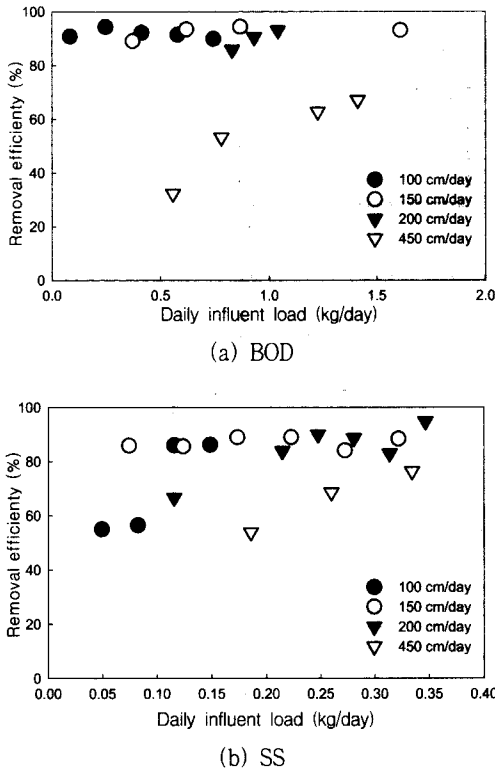


Fig. 2 Relationship between daily influent loads and removal efficiencies

수리부하율이 증가함에 따라 평균 유출수 농도가 증가하는데, 수리부하율 100, 150 cm/day에서는 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률(오분법, Ministry of Environment, 2003)에서 오수처리시설의 수변구역 방류수 수질기준(10 mg/L)을 만족시키고, 200 cm/day 경우 오수처리시설의 방류수 수질기준 중 특정지역이나 기타지역의 기준(20 mg/L; Ministry of Environment, 2003)을 만족시키는 것으로 나타났다. 하지만, 450 cm/day 경우에는 BOD 유출수 농도가 오분법의 방류수 수질기준에 부적합한 것으로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때, 흡수성 바이오필터 시스템의 가동 시 수변구역의 경우 수리부하율이 150 cm/day까지, 특정지역이나 기타지역의 경우 200 cm/day까지는 안전할 것으로 판단된다.

나. SS

각각의 수리부하율 조건하에서 일일 유입부하량의 변화에 따른 SS의 처리효율을 Fig. 2(b)에 제시하였는데, 유입부하량의 변동에 따라 60-90% 정도의 처리효율을 보였다. 수리부하율의 변화에

Table 1 Removal efficiency of BOD and SS in ABS at different hydraulic loading rates. (Unit : mg/L)

HLR (cm/day)		BOD					SS				
		Median	Ave.	Max.	Min.	Interquartile range	Median	Ave.	Max.	Min.	Interquartile range
100	Influent	89.0	94.9	241.5	21.5	64.4-112.1	21.3	24.0	40.0	11.0	14.9-33.0
	Effluent	3.8	6.8	28.2	1.1	2.1-8.7	5.5	6.4	20.0	0.0	2.3-9.6
	Removal (%)	94.9	93.2	98.3	80.4	89.9-97.3	82.2	67.8	100.0	11.4	37.3-90.0
150	Influent	125.6	137.0	338.7	86.4	112.7-145.1	36.0	36.0	69.0	15.0	27.3-44.1
	Effluent	8.9	9.3	25.1	1.3	4.1-12.6	3.0	4.6	14.0	1.0	2.0-6.0
	Removal (%)	93.2	92.9	98.9	84.5	89.5-97.3	88.5	87.3	97.1	63.9	85.0-92.9
200	Influent	132.0	134.4	159.0	114.0	123.2-141.0	44.0	41.3	57.0	18.0	40.0-46.0
	Effluent	15.5	15.7	26.7	6.6	13.1-19.6	5.0	5.7	11.0	3.0	4.5-6.0
	Removal (%)	90.0	87.9	95.8	79.8	84.1-90.5	87.5	84.6	94.7	66.7	83.7-89.8
450	Influent	55.2	61.9	97.8	34.8	40.8-80.7	20.0	18.8	22.5	13.0	17.5-21.0
	Effluent	28.8	27.9	32.3	22.6	25.9-30.1	5.5	5.3	6.0	4.0	5.5
	Removal (%)	53.1	49.5	67.0	29.4	35.1-62.7	72.5	70.3	81.0	53.8	68.6-75.6

따른 SS 처리효율의 중위수, 평균값, 최대값, 최소값, 사분위 범위를 Table 1에 나타내었다. 수리부하율이 100 cm/day일 때 SS 처리효율은 평균 67.8%였으며, 사분위 범위로는 37.3~90.0%를 보였다. 150 cm/day의 경우는 처리효율이 평균 87.3%였으며, 사분위 범위는 85.0~92.9%이었다. 그리고, 200 cm/day의 수리부하율인 경우 처리효율은 사분위 범위로 83.7~89.8%이고 평균은 84.6%로 나타났고, 450 cm/day인 경우 사분위 범위와 평균 처리효율은 각각 68.6~75.6%와 70.3%이었다.

수리부하율의 변동에 따른 SS 유출수 농도의 변화를 살펴보면 수리부하율에 관계없이 평균 유출수 농도나 사분위 범위의 유출수 농도가 모두 오분법의 오수처리시설의 방류수 수질기준인 10 mg/L를 만족시키고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, SS 측면에서 보면 흡수성 바이오필터 시스템은 수리부하율 변동에 관계없이 효율적인 오수처리가 가능함을 알 수 있다.

## 2. 수리부하율 변동에 따른 N·P 처리

### 가. T-N

수리부하율의 변화에 따른 T-N의 처리효율을 Table 2에 나타내었다. 수리부하율 100~450 cm/day의 범위에서 T-N의 유입수 농도는 65.3~117.0 mg/L이었고, 유출수 농도는 52.8~90.9

mg/L이었다. 이때 T-N의 처리효율은 10.4~29.0%로, 토양트렌치법(30% 이하)과 비슷한 낮은 처리효율을 나타냈다 (Kim et al., 1997). 수리부하율의 변동에 따른 T-N 유출수 농도의 변화를 살펴보면 150, 200 mg/L 범위에서 유출수의 농도는 수리부하율에 관계없이 오분법의 분뇨처리시설 및 축산폐수공공처리시설의 방류수 수질기준(60 mg/L)을 초과하고 있다. 한편, 100, 450 cm/day인 경우는 그 시험기간의 유입수 농도가 낮아서 오분법의 기준을 만족하는 것으로 판단된다. 따라서, T-N과 관련하여 방류수 수질기준을 만족하기 위해서는 흡수성 바이오필터 시스템의 처리효율을 높일 수 있는 방안에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

바이오필터조 내에서의 질산화 과정을 알아보기 위하여 유입수와 유출수의 T-N을 암모니아성 질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N), 질산성 질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N), 아질산성

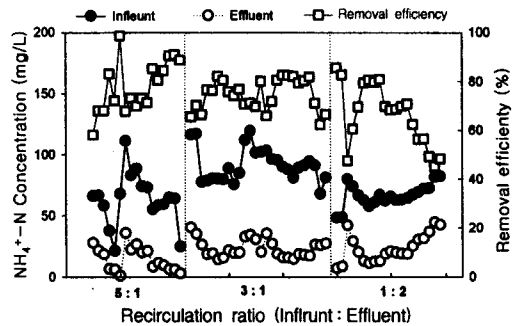


Fig. 3 Temporal variations of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N and Org-N concentrations at the influent and effluent in ABS (HLR = 150 cm/day)

Table 2 Removal efficiency of T-N and T-P in ABS at different hydraulic loading rates (HLR).

(Unit : mg/L)

HLR (cm/day)	T-N		Removal (%)	T-P		Removal (%)
	Influent	Effluent		Influent	Effluent	
100	67.8	57.8	17.9	13.2	10.0	23.3
150	101.0	90.9	10.4	8.7	4.8	44.3
200	117.0	82.0	29.0	15.7	10.7	30.5
450	65.3	52.8	20.2	6.2	5.5	9.7

질소( $\text{NO}_2^-$ -N), 유기질소(Org.-N)로 나누어 분석하였다 (Fig. 3).

수리부하율이 150 cm/day인 조건하에서 유입수와 유출수에서의 평균 암모니아성 질소 농도는 각각 91.6 mg/L와 41.8 mg/L이었다. 이때의 평균 질산화율은 54.3%로 회전원판법의 질산화율(70~90%)에 비하여 낮은 값을 보였다(Lee & Ryu, 1997). 이는 유입농도가 높아서 생긴 결과로 판단되므로 질산화율을 높이기 위해서는 재순환을 통해 유출수와 유량조정조의 유입수를 희석하는 방법으로 유입농도를 낮추어 미생물에 의해 분해가 효과적으로 일어날 수 있도록 한다. 그리고, C/N 비가 3 이상(Jung & Park, 2002)일 때 탈질률이 증가된다고 알려져 있는데 본 연구에 사용된 오수는 C/N 비가 0.9~1.4로 외부 탄소원을 공급하는 것도 하나의 방법으로 판단된다 (Park et al., 1996).

#### 나. T-P

수리부하율의 변화에 따른 T-P의 처리효율을 Table 2에 나타내었다. 수리부하율 100~450 cm/day의 범위에서 T-P의 유입수 농도는 6.2~15.7 mg/L이었고, 유출수 농도는 4.8~10.7 mg/L이었다. 이때 T-N의 처리효율은 9.7~44.3%로, 토양 트렌치법(30% 이하)과 비슷한 처리효율을 나타냈다(Kim et al., 1997). 수리부하율의 변동에 따른 T-P 유출수 농도의 변화를 살펴보면, 유입수농도가 낮은 경우(150, 400 mg/L) 유출수 농도는 오분법의 분뇨처리시설 및 축산폐수공공처리시설의 방류수 수질기준(8 mg/L)을 만족시키지만, 유입수 농도가 높은 경우(100, 200 mg/L)에는 유출수 농도가 방류수 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 앞으로 저수지 및 호소의 부영양화의 방지를 위하여 T-P의 방류수 수질기준이 대폭 하향 조정될 것으로 예상되므로 흡수성 바이오필터 시스템의 농촌지역 보급을 위해서는 T-P의 처리효율을 향상시킬 수 있는 방안이 필요할 것으로 판단된다.

### 3. 기존의 소규모 오수처리시스템과의 비교

현재 소규모 오수처리를 위하여 농촌지역에 널리 보급되어 사용되고 있는 시스템들을 비교하였다 (Table 3). 흡수성 바이오필터 시스템의 BOD 처리효율은 100~200 cm/day의 수리부하율 범위에서 회전원판법(90~95%, Lee & Ryu, 1997)과 비슷한 것으로 나타났고, 접촉산화법(Contact Oxidation System 80~90%, Yang, 1989), 토양트렌치법(82~85%, Won et al., 1991), 토양피복형 접촉산화법(Contact Oxidation System Topped Soil, 75~92%, Choi et al., 1999)에 비하여 우수한 것으로 나타났다. 수리부하율 100~200 cm/day의 범위에서 흡수성 바이오필터 시스템의 SS 처리효율은 회전원판법(45~61%, Lee & Ryu, 1997)보다 우수하고 접촉산화법(71~77%, Oh et al., 1996)과 비슷하며 토양트렌치법(95%, Kim et al., 1997), 토양피복형 접촉산화시스템(87~92%, Choi et al., 1999)보다는 좋지 못한 것으로 나타났다. 소음과 악취(Foul & Smell)의 경우 접촉산화법(송풍기에 의한 소음발생)을 제외하고는 비교된 시스템이 모두 문제가 없는 것으로 알려져 있다 (Shin, 1988). 미국에서는 소규모 하수처리시스템으로서 모래여과법(Sand Filter System)에 대한 연구활동이 활발하게 일어나고 있다. 초창기 BOD와 SS의 처리효율 및 영양염류 처리효율을 개선하기 위해 공극비를 개선하고, 재순환이나 혐기성 과정을 도입에 의하여 모래여과법의 처리효율이 향상되었다(Mote & Ruiz, 1994; Venhuizen, 1998). BOD 및 SS 제거효율은 각각 96%, 89%이었으며, T-N의 경우는 33~71%, T-P는 25~56%로 그 처리효율이 우수한 것으로 나타났다(McCarthy et al., 1998). 현재 모래여과법을 도입하여 우리나라 실정에 맞는 농촌의 소규모 오수처리시스템으로 개선할 수도 있으며, 흡수성 바이오필터 시스템도 모래여과법에 사용된 재순환이나 혐기성 과정을 도입하여 각 항목의 처리효율을 개선할 수 있을 것

Table 3 Comparisons of various on-site sewage treatment systems

Type	ABS	Rotating biological contactor system	Contact oxidation system	Soil trench system	Contact oxidation system topped soil system
BOD removal	89-96%	90-95%	80-90%	82-85%	75-92%
SS removal	76-86%	45-61%	71-77%	95%	87-92%
Noise	none	small	medium	none	none
Foul smell	none	none	none	none	none
Surplus sludge	small	medium	medium	small	none
Requirement area	small	small	medium	large	large
Power consumption	0.250 kWh/m <sup>3</sup>	1.943 kWh/m <sup>3</sup>	-	none	-

로 판단된다.

흡수성 바이오필터 시스템의 잉여오니의 발생률을 추정한 결과(총 실험기간동안 BOD 처리량은 609 kg, SS는 147 kg 이었고, 바이오필터에 남아 있는 잉여오니량을 측정된 결과 약 22kg로 나타남) 3%이하로 오니발생량이 적은 것으로 나타났다. 회전원판법과 접촉산화법은 흡수성 바이오필터 시스템에 비하여 잉여오니 발생량이 많고, 토양트렌치는 비슷하거나 적은 것으로 판단되며, 토양피복형 접촉산화법은 잉여오니 발생이 없는 것으로 알려져 있다 (Shin, 1988). 설치면적의 경우 흡수성 바이오필터 시스템과 회전원판법이 다른 시스템에 비하여 적게 소요될 것으로 판단된다 (Shin, 1988). 전력소비량의 경우 흡수성 바이오필터 시스템 (0.250 kWh/m<sup>3</sup>)은 회전원판법 (1.943 kWh/m<sup>3</sup>)에 비하여 적은 전력량을 필요로 하는 것으로 나타났다 (Shin, 1988). 한편, 접촉산화법과 토양피복형 접촉산화법은 송풍기의 전력이 필요하며, 토양트렌치는 전력이 필요 없는 것으로 알려져 있다. 따라서, BOD, SS의 처리효율, 잉여오니발생량, 전력소비량을 고려하여 우수처리시스템을 선택할 경우, 토양트렌치법, 토양피복형 접촉산화법, 흡수성 바이오필터 시스템, 회전원판법, 접촉산화법의 순서가 될 것으로 판단된다. 하지만, 토양트렌치법과 토양피복형 접촉산화법은 설치면적이 많이 소요되어 농촌지역의 소규모 우수처리시스템으로 부적

합할 것으로 판단된다. 따라서, 기존의 시스템과 비교할 때 흡수성 바이오필터 시스템이 우리나라 농촌지역의 소규모 우수처리 시스템으로서 적합한 것으로 판단된다.

#### IV. 요약 및 결론

현장실험을 통하여 흡수성 바이오필터 시스템의 우수처리특성 및 효율을 살펴본 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 수리부하율의 변화에 따른 BOD와 SS의 처리 효율 살펴보면, 수리부하율 100~150 cm/day의 범위에서 오분법의 우수처리시설 방류수 수질기준을 만족시켰다.
2. 영양염류(T-N, T-P)의 처리효율을 조사한 결과, 처리효율이 낮은 것으로 판명되어 이를 향상시킬 수 있도록 처리시스템의 보완이 필요할 것으로 판단되었다.
3. 기존의 다른 처리시스템과 비교할 때, 흡수성 바이오필터 시스템은 BOD, SS 처리효율이 높고, 부하량 변동에 관계없이 처리효율이 일정하고, 유지관리가 간단하며, 설치면적도 적어 우리나라 농촌지역의 소규모 우수처리 시스템으로서 적합할 것으로 판단된다.

References

1. American Public Health Association(APHA), 1995, Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed., Washington D. C., USA.
2. Choi, H.-L., S.-Y. Koh & J.-W. Lim, 1999, A field assessment of the contact oxidation system topped soil(COSTS) for rural domestic wastewater treatment, *Korean Journal of Animal Science*, 41(2), pp.221-236.
3. Joewtt, E. C. & M. L. McMaster, 1995, On-site wastewater treatment using unsaturated absorbent biofilters, *Journal of Environmental Quality*, 24, pp.86-95.
4. Joo, U.-J. & S.-K. Kwun, 1999, A study on the effect of filter media for sewage treatment in biofilm reactors, *Korean Commission on Irrigation and Drainage Journal*, 6(1), pp.31-38.
5. Jung, K.-J. & K.-H. Park, 2002, A study on the rotating biological contactors with internal recirculation using high hydraulic loading for the denitrification in domestic sewage, *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, 16(1), pp.58-65.
6. Kim, S.-J., Y.-H. Lee, L.-S. Kang & B.-H. Lee, 1997, The application of domestic wastewater treatment in small county by septic tank combined with soil trench process, *Journal of Korean Technological Society of Water and Waste Water Treatment*, 5(2), pp.29-36.
7. Kwun, S.-K. & C. G. Yoon, 1999, Performance for a small on-site wastewater treatment system using the absorbent biofilter in rural areas, *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 18(4), pp.310-315.
8. Kwun, S.-K., C. G. Yoon & B. Kimn, 2000a, Performance of a small on-site wastewater treatment system using absorbent biofilter for korean rural community, *Journal of Environmental Science and Health*, A35(9), pp.1701-1717.
9. Kwun, S.-K. & C.-S. Kim, 2002, Enhanced nutrient removals using conventional anoxic biomechanic aerobic system for on-site wastewater treatment, *Journal of Environmental Science and Health*, A37(5), pp.863-873.
10. Kwun, S.-K., D. Y. Kim, C. G. Yoon, S. H. Kim & C. S. Kim, 2000b, Development of biofilter system for the sewage treatment of Korean rural community, The Korea Science and Engineering Foundation, pp. 68
11. Lee, C.-K. & D.-S. Ryu, 1997, Small scale wastewater treatment in a RBC by using autoxidation process, *Journal of Korean Society of Water Quality*, 13(3), pp.307-315.
12. Lee, H.-I., K.-M. Boo, M.-W. Choi & C.-W. Kim, 1998, Wastewater treatment using submerged aerobic biofilm reactor followed by sand filter, *Journal of Korean Society of Water Quality*, 14(1), pp.57-64.
13. McCarthy, B., R. Axler, S. M. Geerts, J. Henneck, D. Nordman, J. Crosby & P. Weidman, 1998, Performance of alternative treatment systems in northern Minesota, Proceedings of the Eighth International Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems, Orlando, Florida, USA, pp.446-457.
14. Ministry of Environment, 2000, Official test methods for water pollution, Seoul, Korea.
15. Ministry of Environment, 2003, Act on the disposal of swage, excreta and livestock wastewater, Seoul, Korea.
16. Mote, C. R. & E. E. Ruiz, 1994, Design and operating criteria for nitrogen removal in a circulating sand filter, Proceedings of the Seventh International Symposium on Individual and Small Community Sewage Sys-



- tems, Atlanta, Georgia, USA, pp.339-346.
17. Oh, J.-M., I-S. Choi & T.-G. Lee, 1996, The comparison of treatment efficiency of contact oxidation with media, *Journal of Korean Technological Society of Water and Waste Water Treatment*, 4(3), pp.17-24.
  18. Park, Y.-J., M.-W. Lee & J.-M. Park, 1996, Control of External Carbon Source in Denitrification Process, *Theories and Applications at Chem. Eng.*, 2(2), pp.2175-2178.
  19. Shin, C.-E., 1988, Wastewater treatment systems utilizing rotating biological contactors(RBC), *Journal of Korean Air-Conditioning and Refrigerating Engineers*, 17(5), pp.551-560.
  20. Venhuizen, D., 1998, Sand filter/drip irrigation systems solve water resources problems, Proceedings of the Eighth International Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems, Orlando, Florida, USA, pp.356-362.
  21. Won, J.-C., W. NamKoong, Y.-T. Rim & C.-H. Yoon, 1991, Effects of application method, hydraulic loading rate and soil texture on organic removal in a soil trench system, *Journal of Korean Society of Water Quality*, 7(3), pp.176-184.
  22. Yang, H.-R., 1989, A study of an sewage treatment by submerged biofilm reactor, *Journal of Korean Air-Conditioning and Refrigerating Engineers*, 18(3), pp.240-249.