

## 재순환에 의한 흡수성 바이오필터 시스템의 오수처리효율 향상

### Enhancement of Sewage Treatment Efficiencies by Recirculation in Absorbent Biofilter System

권순국<sup>\*a</sup> · 전기설<sup>\*\*</sup> · 김성배<sup>\*</sup>

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

#### Abstract

An Absorbent Biofilter System (ABS) combined with the recirculation process was investigated for the feasible application in additional removing of organics (BOD, SS) as well as nutrients (TN, TP) from small community wastewater in Korea. Polyurethane biofilter media with high porosity and large surface area were used for the aerobic system. A part of treated wastewater was recirculated into the anoxic septic tank to promote removal of nutrients. The concentrations of BOD and SS of treated wastewater satisfied the regulations for small on-site wastewater treatment facility (10 mg/L) during the overall experimental period. The effluent concentrations of BOD and SS were decreased with enhancement of removal efficiencies of 95.7 and 96.7%. The nitrogen and phosphorus removal efficiencies by the recirculation increased to 52.9% and 43.2% in average during the overall experimental period, respectively. With the improvement, these values were increased as much as additional 42 and 18% compared with those of non-recirculation. The rates of nitrification and denitrification were enhanced showing 65~77% and 42~92%, respectively. The described process modification is a low cost and effective method of enhancing nitrogen and phosphorus removal, especially on existing systems without changing major design components of a treatment facility.

*Keywords* : On-site sewage treatment system, Absorbent biofilter system, Recirculation, Sewage

#### I. 서 론

최근 농촌의 생활환경 개선과 더불어 하수량이 늘어나고 부대시설도 증가되어 오염원이 다양하게 되었지만 농촌마을의 하수 및 분뇨 처리시설은 도시에 비하여 아주 미비한 실정이다. 현재 농촌에서 채택되고 있는 소규모 현장 오수처리 시스템은 여러 가지 방식이 있으나 대부분 생물학적 처리방법

\* 서울대학교 농업생명과학대학

\*\* 서울대학교 대학원

a Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4582

Fax: +82-2-873-2087

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

들이 많이 사용되고 있는데, 거의 모든 방법들이 조금씩 문제가 있는 것으로 알려져 있다(Kwun & Yoon, 1999; Kwun et al., 2000; Cheon et al., 2004).

저자 등은 소규모 현장 오수처리 시스템의 운영에서 가장 큰 문제가 되고 있는 슬러지의 발생이 거의 없으며, 처리 효율도 비교적 높은 것으로 알려진 흡수성 바이오필터 시스템 (absorbent biofilter system, ABS)에 대해 다년간 연구하여 유기성 물질 (BOD, SS)의 처리효율이 높음을 입증하였으나, 영양물질 (TN, TP)의 처리 효율은 여타 처리방법과 비슷하였다고 보고한 바 있다 (Joo & Kwun, 1999; Kwun et al., 2000; Kwun & Yoon, 1999; Cheon et al., 2004).

폐쇄성 구역의 부영양화 원인물질로 알려진 영양물질을 ABS와 같은 현장 오수처리 시스템에서 효율적으로 처리하기 위해서는 여러 가지 방법이 있겠으나 그 중 ABS의 시스템 구성으로 보아 혐기-호기 재순환 시스템을 도입하는 것이 가장 유리할 것으로 생각되어 실험실 규모 (bench-scale)의 연구가 실시되어 질소와 인의 평균 처리효율이 순

환비 2의 경우, 65.3, 84.1%라는 획기적인 결과를 얻었다 (Kwun & Kim, 2002).

본 연구의 목적은 ABS를 이용한 소규모 현장 오수처리 시스템에서 영양염(TN, TP) 제거효율을 향상시킬 목적으로 실시된 이전 연구(Kwun & Kim, 2002)에서 얻은 연구결과가 ABS 원형 시스템에서도 그대로 재현 되는지를 검증하고자 실시되었으며 이와 함께 유기성 물질 (BOD, SS) 처리효율 향상 정도도 파악하는데 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 흡수성 바이오필터 시스템

이 연구에 이용된 ABS는 서울대학교 농업생명과학대학 (구 수원캠퍼스) 학생기숙사에 설치되어 있다. ABS의 구성을 살펴보면 혐기부패조 (anoxic septic tank), 펌프조 (pump chamber), 바이오필터조 (biofilter tank), 방류조 (effluent tank), 유량조정조 (equalization tank)로 되어 있다 (Fig. 1). 혐기부패조는 유입되는 오수의 고형물을 혐기

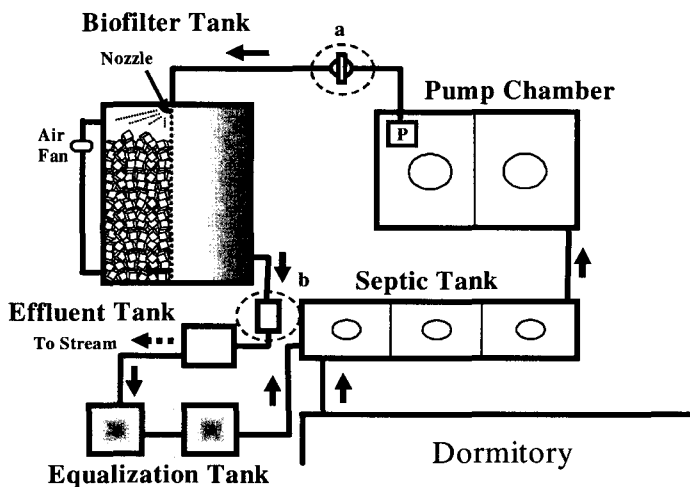


Fig. 1 Schematic diagram of ABS with recirculation  
(a: influent sampling point; b: effluent sampling point)

성 분해함과 동시에 침전시켜서 걸러내는 역할을 하며, 이곳에 설치된 수위센서를 이용하여 펌프조로 상등 오수를 내보낸다. 펌프조 (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, 펌프조로부터 유입되는 오수는 탱크 상부의 노즐에서 분사되어 증력식으로 유하되도록 되어있으며, 탱크 내부는 공기 팬을 이용하여 호기성 상태를 유지하도록 되어 있다. 바이오필터조에 사용된 흡수성 여재 (5.0 × 5.0 × 5.0 cm)는 외형상으로 일반 스펀지와 비슷하나, 종래의 살수여상법 (trickling filter system)에 사용된 입상여재에 비하여 표면적이 약 100배 이상 증가된 것이다 (Jowett & McMaster, 1995). 방류조는 바이오필터조로부터 증력식 유하에 의해 유입된 처리수를 하수도로 배출하며, 유량조정조는 재순환되는 바이오 필터의 유출수를 과격한 흐름 없이 일정하게 혐기부패조로 유입시키는 역할을 한다.

## 2. 실험조건

바이오필터 시스템의 오수처리효율을 향상시키기 위한 재순환 실험 (recirculation experiment; RC)은 서울대학교 농업생명과학대학내의 학생기숙사에서 발생하는 오수를 이용하여 실시하였다. 실험에 적용한 2가지 순환비 (recirculation ratio, 유입수 : 유출수)는 1 (1:1), 2 (1:2) 이었으며, 이때 수리부하율 (hydraulic loading rate, HLR)은 순환비 1 일 때 100, 150 그리고 순환비 2 일 때 450 cm/day이었다. 한편, 재순환 실험과의 처리효율 및 특성을 비교하기 위하여 비슷한 시기에 동일한 수리부하율에서 실시한 비순환 실험 (non-recirculation experiment; NC)자료를 이용하였

Table 1 Analyzing method for water quality constituents

Constituent	Method or Instrument
Temp.	On-site measurement
PH	pH meter(NeoMet model 815PDC)
DO	Sodium azide modification of the Winkler method
BOD	BOD <sub>5</sub> method
SS	GF/C method
COD	Cr method
Org.-N	Semi-micro-kjeldahl method
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Semi-micro-kjeldahl method
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	Photometer SQ200 of MERCK Inc.
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Photometer SQ200 of MERCK Inc.
TN	Org.-N + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N
TP	Molybdenum blue method

다 (Cheon et al., 2004).

재순환 실험기간은 수리부하율 100 cm/day (17회)는 1999년 7~8월과 2001년 7~8월이며, 150 cm/day (26회)는 1999년 9~11월 이었다. 그리고, 수리부하율 450 cm/day (20회)는 2000년 9~11월에 수행되었다. 여기서, 실험기간은 수리부하율과 재순환 조건의 변동에 따른 안정화 기간은 제외된 것이다.

## 3. 수질 시료 샘플링 및 분석방법

수질분석을 위한 표본시료 채취는 유입수의 경우 펌프조에서 바이오필터조로 넘어오는 파이프에서 실시하였고, 유출수의 경우 바이오필터조와 방류조 사이에서 실시하였다 (Fig. 1). 수질분석은 수질 데이터의 정확도를 높이기 위하여 시료 채취(1회 2L) 후 하루 안에 수질분석을 완료토록 하였다 (BOD 제외). 분석항목은 온도, pH, DO, BOD, COD, SS, TN, Org-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, TP의 12개 항목으로, BOD, SS, TP는

공정시험법 (Ministry of Environment, 2000)을 이용하여 분석하였으며, 그 외 수질항목은 Standard Methods (APHA, 1995)에 의하였다(Table 1). 또한, 유량은 펌프조와 바이오필터조 중간에 설치된 유량계를 이용하여 측정하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 재순환에 따른 BOD와 SS의 처리

##### 가. BOD

재순환에 의한 흡수성 바이오필터 시스템의 BOD 처리효율 향상 결과를 Table 2에 나타내었다. HLR이 100 cm/day일 때, 유입수의 BOD 중위수 농도는 146.1 mg/L이고 유출수 중위수농도는 2.3

mg/L이며, 처리효율은 98.3%로 비순환의 경우보다 3% 정도의 처리효율 향상 효과가 발생하였다. 또한, HLR이 150 cm/day에서 유입수와 유출수의 농도는 각각 104.3 mg/L와 5.9 mg/L로 94.3% 처리효율로 분석되었으며, 비순환 시에 비하여 약 1% 정도 처리효율이 향상되었다. 또한, HLR = 450 cm/day는 BOD에 대한 처리효율의 중위수가 90.9%로 (유입수 농도 = 108.3 mg/L; 유출수 농도 = 8.7 mg/L) 비순환 시와 비교하여 처리효율이 크게 (약 38% 정도) 향상 되었다. 이 처리효율은 실험실 규모 실험에서 실시한 95.2~98.8%와 비슷한 결과를 나타내었다 (Kwun & Kim, 2002). 한편, 재순환 시 유출수의 BOD 중위수는 2.3~8.7 mg/L로 이 값들은 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률 (이하 오분법, Ministry of Environ-

Table 2 Removal efficiencies of BOD and SS under RC and NC conditions (unit: mg/L)

HLR <sup>1</sup> (cm/day)	Experiment Condition		BOD				SS			
			Median <sup>4</sup>	Ave.	Max.	Min.	Median	Ave.	Max.	Min.
100	RC <sup>2</sup>	Influent	146.1	140.2	187.3	99.8	42.3	41.6	45.3	34.8
		Effluent	2.3	2.7	6.5	1.2	1.1	1.1	1.5	0.5
		Removal (%)	98.3	98.1	-	-	97.4	97.4	-	-
	NC <sup>3</sup>	Removal (%)	94.9	93.2	98.3	80.4	82.2	67.8	100.0	11.4
150	RC	Influent	104.3	110.6	152.3	71.3	49.3	51.2	82.5	36.0
		Effluent	5.9	5.7	12.5	0.9	1.5	2.0	6.0	0.0
		Removal (%)	94.3	95.0	-	-	97.6	96.1	-	-
	NC	Removal (%)	93.2	92.9	98.9	84.5	88.5	87.3	97.1	63.9
450	RC	Influent	108.3	107.7	164.7	89.1	24.5	27.5	42.0	17.0
		Effluent	8.7	10.9	28.1	1.6	1.5	1.3	4.0	0.0
		Removal (%)	90.9	90.1	-	-	95.8	94.5	-	-
	NC	Removal (%)	53.1	49.5	67.0	29.4	72.5	70.3	81.0	53.8
Overall	RC	Influent	114.1	118.7	187.3	71.3	42.0	41.3	82.5	17.0
		Effluent	4.9	6.7	28.1	0.9	1.3	1.6	6.0	0.0
		Removal (%)	95.7	94.2	-	-	96.7	95.8	-	-
	NC	Removal (%)	92.4	86.1	-	-	85.5	82.2	-	-

<sup>1</sup> HLR: Hydraulic loading rate, <sup>2</sup> RC: Recirculation, <sup>3</sup> NC: Non-recirculation

<sup>4</sup> Median numbers are usually adopted rather than average (or mean) because water quality data have a tendency of skewed distribution.

ment, 2003)에서 오수처리시설의 수변구역 방류수 수질기준 (10 mg/L)를 만족시킴을 알 수 있었다.

나. SS

Table 2에 나타난 바와 같이 재순환에 따라서 바이오필터 시스템의 SS 처리효율은 대폭 향상되었다. 즉, 수리부하율이 100 cm/day일 때, 유입수의 SS 중위수농도는 42.3 mg/L이었으며, 유출수 중위수농도는 1.1 mg/L 으로서, 처리효율은 97.4%, 이는 비순환의 경우보다 약 15% 정도 처리효율이 향상된 것이다. 또한, HLR 이 150 cm/day에서는 97.6% 처리효율을 보였으며, 비순환 시에 비하여 약 9% 정도의 처리효율 향상이 나타났다. 그리고, HLR이 450 cm/day일 때 SS에 대한 처리효율 중위수가 95.8%로 비순환 시와 비교하여 처리효율이 약 23% 정도 향상 되었다. 따라서 재순환을 통하여 SS의 처리효율은 비순환에 비하여 11.2% 정도

향상됨을 알 수 있었다.

유출수의 SS 농도는 중위수나 평균 모두 2 mg/L 이하로 오분법의 수변구역 방류수 수질기준인 10 mg/L를 만족하였다.

2. 재순환에 따른 질소와 인의 처리

가. TN

재순환에 따른 TN의 처리효율은 HLR이 100 cm/day일 때, 유입수와 유출수의 중위수 농도가 각각 107.0, 72.3 mg/L로서 처리효율은 29.8%로 비순환시의 17.9%에 비하여 12%정도 향상된 것으로 분석되었다. 그리고, HLR이 150 cm/day 경우, 처리효율의 중위수가 68.4%로 비순환 시에 비하여 58%만큼 처리효율이 향상되었고 HLR이 450 cm/day에서도 중위수처리효율이 61.4%로 비순환 시와 비교하여 31% 정도 향상되는 등 모든

Table 3 Removal efficiencies of TN and TP under RC and NC conditions (unit: mg/L)

HLR (cm/day)	Experimental condition		TN		TP	
			Median	Ave.	Median	Ave.
100	RC	Influent	107.0	108.9	14.2	13.1
		Effluent	72.3	73.1	10.5	10.4
		Removal (%)	29.8	32.5	19.9	19.3
	NC	Removal (%)	17.9	16.1	24.9	23.3
150	RC	Influent	79.9	81.0	17.6	17.8
		Effluent	31.5	43.5	10.2	10.1
		Removal (%)	68.4	65.3	43.3	42.7
	NC	Removal (%)	10.4	8.5	45.1	44.3
450	RC	Influent	80.9	81.3	7.5	7.8
		Effluent	30.8	33.7	4.1	3.9
		Removal (%)	61.4	59.3	47.2	50.8
	NC	Removal (%)	30.6	20.2	7.0	9.7
Overall	RC	Influent	83.5	89.4	15.2	13.4
		Effluent	38.4	47.5	9.2	8.3
		Removal (%)	52.9	48.2	43.2	39.2
	NC	Removal (%)	11.4	17.6	25.6	26.5

처리 HLR에서 질소의 중위수 처리효율이 52.9%로 비순환 조건에 비하여 크게 향상되었다.

한편 기존의 Sand Filter의 경우 재순환 시스템을 도입하여 여름에는 79%, 겨울에는 43%의 높은 질소 처리효율을 얻었으며 (Christopherson et al., 2001), 재순환을 도입한 다른 연구에서는 대부분 처리효율이 60~66%인 것으로 보고되었다 (Bruen & Piluk, 1994; Venhuizen, 1998). 그리고, 노르웨이의 Nordre Follo Plant에서 재순환 시킨 Biofilm Reactor의 질소 처리효율은 50~70%로 보고되었다 (Rusten et al., 1995). 또한 흡수성 바이오필터 시스템의 실내 재순환 실험에서는 질소제거 효율이 순환비 2일 경우 65.3%로서 (Kwun & Kim, 2002), 다른 연구자의 결과와 비슷하였다. 본 연구에서는 실외에 설치된 원형 ABS에서 실험하였기 때문에 기존의 여타 연구자의 처리효율에 비하여 다소 낮아졌으나 실내실험의 질소 처리효율 향상 효과 (Kwun & Kim, 2002)를 확인할 수 있었다.

한편, 부패정화조 내에서의 탈질률을 추정하기 위하여 질산성 질소 ( $\text{NO}_3^-$ -N)의 농도변화를 분석한 결과, HLR이 100 cm/day에서 탈질률은 중위수가 80%, HLR 150 cm/day일 때 93%, HLR 450 cm/day에서 42%로 나타났다. 특히, 수리부하율 450 cm/day에서의 탈질률이 떨어지는 현상은

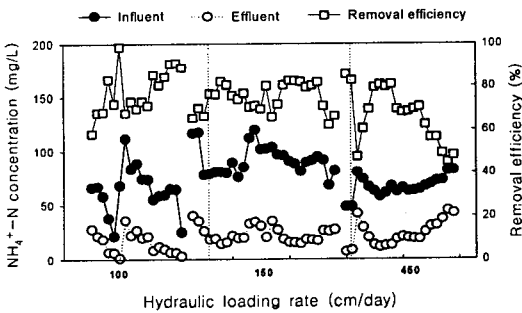


Fig. 2 Observed concentrations of  $\text{NH}_4^+$ -N at the influent and effluent of Biofilter Tank and removal efficiencies under recirculation condition

탈질에 필요한 시간이 충분하지 않았기 때문으로 판단된다 (Lee et al, 2003). 또한, 탈질과정에서 C/N비가 탈질물에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 예를 들면, 회전원판법을 이용한 하수 처리 실험에서 C/N비가 3 이상일 때 높은 탈질률을 보이고 3 이하에서는 탈질률이 상당히 감소하는 것으로 보고되었다 (Jung & Park, 2002). 본 연구에 사용된 오수의 경우 C/N비가 3 이하인 것으로 분석되었다. 따라서, 탈질률을 높이기 위한 방안으로 탈질시간을 증가시키거나 외부로부터 탄소원을 공급하여야 할 것이다.

재순환에 따른 바이오필터조 내에서의 질산화율을 알아보기 위하여 유입수와 유출수의 암모니아성 질소 ( $\text{NH}_4^+$ -N)농도의 변화를 분석하였다 (Fig. 2). HLR이 100 cm/day일 때 질산화율은 중위수가 73%, HLR 150 cm/day에서는 76%, HLR 450 cm/day에서는 69%이었다. 이러한 결과는 비순환의 중위수 질산화율 56%와 비교하여 약 13~20% 증가되었는데, 이는 단순히 재순환으로 인하여 유입수 농도가 낮아져서 질산화율이 향상된 것으로 생각되었다. 회전원판법의 경우 질산화율은 70~90% 범위 (Lee and Ryu, 1997)이며, Sand Filter의 경우 83~98% 정도로 보고 되어있어 (Christopherson et al., 2001), 재순환 실험에서 얻어진 질산화율은 회전원판법의 질산화율과 비슷하며, Sand Filter보다는 작은 것으로 나타났다. 그리고, 실내실험에서 얻어진 99.7~100%의 질산화율 (Kwun & Kim, 2002)에 비해서는 아주 작은 값을 나타냈다.

#### 나. TP

재순환에 의한 TP의 처리효율은 Table 3에 나타내 것과 같이 HLR 450 cm/day에서 중위수가 47.2%로 비순환시의 처리효율 보다 크게 향상된 반면에 HLR 100, 150 cm/day에서는 별로 처리효율이 향상되지 않았다. 그러나 HLR의 구분 없이 전체적으로 볼 때 TP의 제거효율은 43.2%로서 비순환의 제거효율 25.6%에 비하여 약 18% 증가하

여 재순환의 효과가 어느 정도 인정되었다.

TP는 처리기작으로 보아서 TN과는 완전히 다르다. TN의 처리기작은 주로 질산화-탈질 작용이 중심이 되는 반면 TP는 혐기상태에서 자주 발생하는 인 과잉섭취 기능을 이용하여 다량의 인을 섭취한 슬러지 (미생물)을 제거하여야 하나 이번 실험에서는 이러한 과정이 미비했기 때문에 생각되었다. 그리고 HLR 450 cm/day에서의 TP 처리효율 향상은 희석 효과도 포함되어 있는 것으로 추정된다.

따라서 실험실이 아닌 현장에서 혐기-호기 상태를 이용한 오수의 재순환에 의한 TP 제거 효율을 높이기 위해서는 혐기부패조에서 인 과잉 섭취 슬러지의 바이오필터 조로 재유입을 방지하고 이를 제거할 방안을 강구해야 할 것이다 (Converti et al., 1993; Jeon et al., 2001; Rensink et al., 1996).

#### IV. 요약 및 결론

실내에서 흡수성 바이오필터 시스템의 재순환 실험결과를 토대로 현장에서 실시한 재순환 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. BOD의 경우 95.7%로 비순환 조건에 비하여 처리효율이 전반적으로 향상되는 경향을 보였으며, SS의 처리효율도 96.7%로서 BOD와 비슷한 경향이었다.

2. 재순환에 의한 BOD, SS 유출수 중위수가 각각 2.3~8.7, 1.1~1.5 mg/L로 오분법에서 오수처리시설의 수변구역 방류수 수질기준 10 mg/L를 모두 만족하였다.

3. 순환 조건의 질산화율이 65.1~77.1%로서 비순환 조건과 비교하여 11~23% 증가하였으며, 탈질률도 42~92%로 나타나 ABS 혐기-호기 재순환 시스템의 질소처리 기작을 확인할 수 있었다.

4. 순환 시스템의 질소 처리효율은 비순환에 비하여 42% 정도, 인의 처리효율도 18% 정도 향상되어 실험실 규모의 혐기-호기 재순환에 의한 유

기물 및 영양염 제거능력 향상이 야외의 원형 ABS에서도 확인되었다.

5. 이상의 결과로 볼 때, 농촌의 소규모 현장 오수처리시설에서 유기물과 영양염 제거효율을 향상시키기 위하여, ABS의 현재 시스템 구성에서 추가의 시설과 비용 없이 이용할 수 있는 혐기-호기 재순환시스템의 도입은 방류수 수질개선에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

이 연구는 바투환경기술 (주)의 연구비 지원에 의하여 수행되었음

#### References

1. American Public Health Association(APHA), 1995, Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed., Washington D. C., USA.
2. Bruen, M. G. & R. J. Piluk, 1994, Performance and costs of on-site recirculating sand filters, On-Site Wastewater Treatment, *Proceedings of the Seventh International Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems*, Atlanta, Georgia, USA, pp.329-338.
3. Cheon, G.-S., S.-K. Kwun & S.-B. Kim, 2004, Sewage Treatment Characteristics and Efficiencies of Absorbent Biofilter Systems, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 46(5), pp.131-139.
4. Christopherson, S. H., J. L. Anderson & D. M. Gustafson, 2001, Evaluation of recirculating sand filters in Minnesota, On-Site Wastewater Treatment, *Proceedings of the Ninth International Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems*, Fort Worth, Texas, USA, pp.207-214
5. Converti, A., M. Zilli, R. H. Poloniecki, M. D. Borghi & G. Ferraiolo, 1993, Influence of nutrient concentration in new operating cri-

- teria for biological removal of phosphorus from wastewaters, *Water Research*, 27(5), pp.791-798.
6. Jeon, Che-Ok, Dae Sung Lee & Jong-Moon Park, 2001, Enhanced biological phosphorus removal in an anaerobic-aerobic sequencing batch reactor: characteristics of carbon metabolism, *Water Environment Research*, 73(3), pp.295-30.
  7. 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.
  8. Jowett, E. C. & M. L. McMaster, 1995, On-site wastewater treatment using unsaturated absorbent biofilters, *Journal of Environmental Quality*, 24, pp.86-95.
  9. 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.
  10. 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.
  11. 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.
  12. Kwun, S.-K., D. Y. Kim, C. G. Yoon, S. H. Kim & C. S. Kim, 2000, Development of biofilter system for the sewage treatment of Korean rural community, 97-2-15-03-01-3 The Korea Science and Engineering Foundation, pp.68.
  13. 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.
  14. Lee, H.-I., J.-H. Jeong, J.-H. Ko & C.-W. Kim, 2003, Nitrification and denitrification of high strength organic wastewater using biofilm reactor, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 25(4), pp.517-522.
  15. Ministry of Environment, 2000, Official test methods for water pollution, Seoul, Korea.
  16. Ministry of Environment, 2003, Act on the disposal of swage, excreta and livestock wastewater, Seoul, Korea.
  17. Rensink, J. H., E. Egger & H. J. G. W. Donker, 1996, High biological nutrient removal from domestic wastewater in combination with phosphorus recycling, *Journal of Korea Technological Society of Water and Waste Water Treatment*, 4(2), pp.69-72.
  18. Rusten, B., L. J. Hern & H. Ødegaard, 1995, Nitrogen removal from dilute wastewater in cold climate using moving-bed biofilm reactors, *Water Environment Research*, 67(1), pp.65-75.
  19. 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.