

# 농업수자원으로서의 흡수성 Biofilter 처리수 재이용

## Reuse of Treated Sewage Water from Absorbent Biofilter System as Agricultural Water Resources

권순국<sup>\*1</sup> · 김현욱<sup>\*</sup> · 권용웅<sup>\*</sup> · 조영현<sup>\*\*</sup> · 박상원<sup>\*\*</sup> · 임경래<sup>\*\*</sup>  
Kwun, Soon-kuk · Kim, Hyun-uk · Kwon, Yong-woong  
Cho, Young-hyun · Park, Sang-won · Lim, Kyoung-lae

### Abstract

Absorbent Biofilter Systems (ABS), composed of an anaerobic septic tank, a pump chamber and an absorbent biofilter tank, have been found to economically provide rural on-site wastewater treatment. This study was conducted to assess the potential of ABS effluent as an alternative water resource for agricultural and environmental use, with respect to the removal of pathogenic microorganism and their fertilization effect. A pilot scale ABS was used to compare its removal efficiency of pathogens from effluent water. Overall, more than 95 percent of *Salmonella* and *E. coli* were removed. This result demonstrates that a significant reduction in the pathogenic microorganism of effluents can occur in ABS, which implies the feasibility for the use of ABS effluent in agriculture and environment, with the provision of a further simple disinfection step, in order to satisfy the WHO guidelines for the microbiological quality in agriculture. In addition, because of the abundant nutritional content of ABS effluent, the substitution effect of fertilizer (N, P and K) in paddy irrigation, i.e. 2/3 for nitrogen, 1/3 for phosphorus and 1/5 for potassium would be expected. Based on the experimental data, the ABS effluent could be used as a new alternative water resource for paddy irrigation, as well as for environmental purposes, such as supplying water to ecological parks in rural villages.

*Keywords : Absorbent biofilter, Pathogens removal, Reuse of treated sewage, Fertilizer substitution effect, Alternative water resource*

### I. 서 론

급속한 산업의 발전과 전반적인 생활수준의 향상은 농촌의 생활환경에도 큰 영향을 끼쳐, 농촌의 생활하수는 농업 비점원오염, 축산폐수와 더불어 농촌 소하천 수질오염의 주범으로 지목되었다. 특히 전국각지의 상수취수원의 상류 농촌지역의 생활

\* 서울대학교 농업생명과학대학  
\*\* 서울대학교 대학원  
\*1 Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4582  
fax: +82-2-873-2087  
E-mail address: skkwun@snu.ac.kr

하수는 시급하게 처리되어야 할 중요한 현안문제이다. 그러나 농촌지역은 인구가 분산되어 있으므로 중앙 집중식 대규모 종말처리장보다는 소규모 분산처리 형태의 처리 기술을 적용하는 것이 더 적합할 것이다. 우리나라에서도 최근에 소규모 분산처리 시스템에 대한 많은 연구가 시행된 결과, 여러 가지 종류의 마을단위 소규모 하수처리시스템이 개발되어 보급되고 있다.<sup>12)</sup> 그 한 실례로서 서울대학교 농업수리연구실에서 다년간 연구 개발한 Absorbent Biofilter System (ABS)은 설치비용과 처리 효율 면에서 상당한 효과가 있는 소규모 오수처리 시설로서, 슬러지의 발생이 거의 없고 유지관리가 간편한 장점을 가지고 있으며, 배출수의 질소와 인산의 농도가 높아 작물 재배를 위한 관개용수와 생활환경을 개선하기 위한 친수용수로도 이용할 수 있는 가능성을 갖추고 있다. 만약 농촌지역에 산재해 있는 소규모 하수처리시설로부터 배출되는 하수처리수를 여러 가지 용수로 재이용한다면 부족한 수자원을 보충하는 대체수자원으로서 이용될 뿐 아니라 농촌소하천에 대한 수질오염 방지에도 큰 역할을 하게 될 것으로 생각된다.<sup>8)</sup>

이 연구에서는 분산형 소규모 하수처리 시스템인 ABS로부터 배출된 처리수를 관개용수 또는 친수용수로 이용할 경우, 용수의 안전성을 보장하기 위해 수질 성분 및 중금속과 염분의 함량을 분석하고, 처리수의 *Salmonella* 및 *E. coli*의 잔존율을 파악하며 또한, 용수의 질소, 인산질 비료 대체효과를 파악하기 위해 벼의 유묘(幼苗) 생장 및 생육 수량에 미치는 영향을 검토하고자 한다.

## II. 재료 및 실험 방법

본 연구에서 시험시설로서 이용한 소규모 오수처리 시설은 ABS로 현재 서울대학교 농생대 구내의 여자 기숙사에 설치되어 있다. 흡수성 바이오필터는<sup>4),7)</sup> 캐나다 Waterloo 대학에서 개인 또는 마을 단위 하수를 호기성 조건에서 처리하는 용도로 처

음 개발한 공법이나, 이를 Kwun et. al(2000)이 종래의 모관침윤트랜치법에서 혐기성 (anoxic) 부패조 (정화조)는 그대로 이용하되 트랜치 부분을 표면적이 매우 큰 발포성 플라스틱 여재를 사용하여 표면에 생물막을 형성시킨 흡수성 바이오필터로 대체한 시스템이다(Fig. 1).

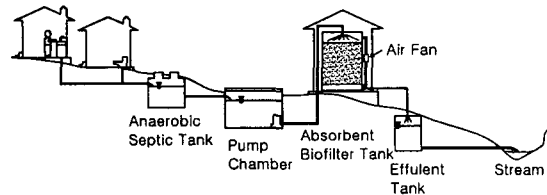


Fig. 1 Schematic diagram of ABS

본 실험을 위한 ABS시설의 운영은 Fig. 1에서와 같이 기숙사에서부터 발생한 오수가 정화조→유량조정조→호기조 (Biofilter조)→방류조를 거쳐 모두 방류되는 비순환 방식과 방류조에서 처리수의 일부가 정화조로 재순환되는 방식의 두 가지로 구분하여 시행하였다.

### 1. ABS 처리수의 수질, 중금속 및 염분 함량 분석

ABS 처리수 (이하 TSW: Treated Sewage Water)중 식물체의 주요 영양분, 미량원소 및 유해한 중금속과 염분의 농도를 분석하여 일종의 액비로 이용하기 위한 기본조건을 규명하고자 하였다.

TSW 분석을 위해 2000년 9월 18일, 11월 23일, 2001년 4월 20일, 6월 20일 등 4회에 걸쳐 서울대 농생대 녹원사에 설치된 ABS시설의 방류조에서 시료를 채취하였다. 취수한 원액을 가지고 2반복으로 pH, EC, Eh, O.M. (Walkley-Black법), Total-N (Kjeldahl법),  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ (원액 20 ml에 MgO를 첨가하여 증류 후 중화적정),  $\text{NO}_3^--\text{N}$  (암모니아성 질소를 증류하고 남은 시료 용액에 Devarda alloy를 첨가하여 증류후 중화적

정), Cl (질산은법), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO, Al, SiO<sub>2</sub>, S, 미량원소, 중금속 (ICP 이용 분석) 등을 분석하였다.

### 2. ABS 처리수의 *Salmonella* 및 *E. coli*의 분포

ABS의 유입수와 유출수에 존재하는 병원성 미생물들의 분포를 알아보기 위해 2000년 9월 1일부터 2001년 6월 18일까지 주기적으로 모두 28회 유입수와 유출수를 취수하여 분석하였다. 취수된 유입수와 유출수는 희석하여 각 시험미생물들의 선택배지에 도말 접종하였고, 온도를 달리하여 2일 동안 배양한 후 성장한 균락을 계수하였다. 즉, 총 박테리아수는 Standard plate count 한천배지(Difco)를 사용하여 35℃에서 2일 배양한 후, 젖산균은 0.02% sodium azide가 첨가된 MRS 한천배지(Difco)를 사용하여 37℃에서 2일간 배양하고, *E. coli*는 EMB 한천배지(Difco)를 사용하여 37℃에서 2일간 배양한 후에 전형적인 균락을 측정하였다. 그리고 *Salmonella*는 m Brilliant green 한천배지(Difco)를 이용하여 2일간 배양한 후 측정하였다.

### 3. ABS 처리수의 벼 재배상 이용성

#### 가. 유묘 생장에 미치는 영향

ABS 처리수를 액비로 공급할 경우 담수직과 재배 조건에서 벼의 유묘의 생장에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. ABS 처리수중 비료성분의 농도와 처리내용은 다음과 같았다(Table 1, 2).

A1은 관개수(수돗물)를 이용하여, A2는 ABS 처리수를 이용하여 씨레질을 하였고, A3는 요소(N 5.5 kg/10a), 용과린(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2 kg/10a), 염화加里(K<sub>2</sub>O 5.7 kg/10a)를 시비한 다음, 관개수로 씨레질을 하였다. 공시품종인 동진벼의 범씨를 물로 씻은 후 침지소독(스포탁 2000배 희석액)하고 2일간 침중 후 2~5 mm정도 최아된 종자를 pot (24.5

cm × 40 cm × 18 cm)당 100립씩 표면에 파종하였다. 유묘출현(파종 후 7일) 후 관개수로 담수(수심 5 cm)를 실시하였다. 유묘생장 과정 중 수시로 관개하여 담수심을 유지하였고, 파종 후 7, 17, 27, 37 및 44일에 25개체씩 초장을 조사하고 44일차에 식물체를 분석하였다. 조사된 자료는 5% 유의수준에서 Duncan 다중검정을 실시하였다.

Table 1 Nutrient concentration of the TSW for experiment

Total-N (mg/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/L)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/L)	pH
91.4	31.9	57.0	8.9	6.0~6.1

Table 2 Treatments of the TSW for experiment

Treatments	
A1 Untreated	: Puddling with irrigation water
A2 TSW (N 5.5kg/10a)	: Puddling after TSW application
A3 N 5.5kg + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 2kg+ K <sub>2</sub> O 5.7kg/10a	: Puddling with irrigation water

#### 나. 생육과 수량에 미치는 영향

이양 벼의 전 생육기간 중 ABS 처리수를 사용하여 질소의 화학비료 시용을 대체할 수 있는 정도를 알기 위하여 실험 설계를 하여 벼의 생육과 수량에 미치는 영향을 평가하였다. 공시품종은 동진벼이며, ABS 처리수 중 비료성분의 농도와 공시 토양의 이화학적 성질은 Table 1, 3과 같다.

Table 3 Physical and chemical properties of soil of the experimental field

Soil particle distribution (%)			Texture (USDA)	pH	O.M. (%)	Total-N (%)	C.E.C. (me/100g)	Exchangeable cation (me./100g)		
Sand	Silt	Clay						Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
61.8	17.6	20.6	SCL	6.1	1.69	0.12	11.0	0.20	4.2	1.1

\* SCL : Sandy clay loam, O.M. : Organic matter, C.E.C. : Cation Exchange Capacity

사양토 포장에 소형 플라스틱 (blue light, 1 m x 1.2 m) 상자로 처리구를 만들고, 처리구별로 기비를 시비한 후, 동진벼 어린 묘 (12일 묘)를 3본(本)씩 (재식거리 15 cm x 25 cm) 이양 (2001년 6월 1일)하였다. 처리구는 3반복 난괴법으로 배치하여 실험을 수행하였다. 재배는 관행 이양재배 방식에 준하였고, 분얼비, 이삭거름, 알거름을 각각 기비의 2/5, 2/5, 1/5 수준으로 시비하였다. B1은 기비 무비구이고, B2, B4는 기비로 요소 (N 5.5 kg/10a), 용광린 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2 kg/10a), 그리고 염화加里 (K<sub>2</sub>O 5.7 kg/10a)를 이양직전에 시비하였으며, B3, B5, B6은 기비로 ABS 처리수 (N 5.5 kg/10a 함유)를 이양 직전에 시비하였다. 추비는 분얼비, 이삭거름, 알거름으로 분시하였으며, 각각

N 2.2 kg/10a, 2.2 kg/10a, 1.1 kg/10a 시비하였고, B1~B3은 추비로 요소를 이용하였으며, B4~B5은 ABS 처리수를 이용하였다. 그리고, B6은 N 5.5kg/10a에 해당하는 ABS 처리수를 이양 후 10~15일 간격으로 알거름 시비시까지 분시하였다. 모든 처리는 15일 간격으로 생육조사를 실시하였으며, 이양 후 125일에 수량조사를 실시하였다. 이양 후 일정한 간격을 두고 출수기까지 벼의 생육 및 식물체의 영양상태를 조사하였고 수확기에 수량형질에 관해 조사하였다. 조사된 자료는 5% 유의수준에서 Duncan 다중검정을 실시하였다(Table 4).

### III. 결과 및 고찰

#### 1. ABS 처리수의 수질, 중금속 및 염분함량

ABS 처리수 성분분석 결과를 살펴보면 pH는 6.0~6.7, EC는 0.58~63 mS/cm, Eh는 160~170 mV, 유기물 함량은 0.01% 수준이었고, 전질소 함량은 50~97 mg/L로 높았고, 이중 대부분은 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N (27~42 mg/L)와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N (3.7~45 mg/L)으로 처리방식 (순환횃수, 처리탱크내 온도 등)에 따라 정도의 차이는 있으나 대체로 비료 가치가 높으며, 그 밖의 비료 성분으로 인산(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 5~22 mg/L, K<sub>2</sub>O 7.8 mg/L, MgO 8 mg/L, CaO 25 mg/L, S 14 mg/L, Fe 0.03 mg/L이었고, 미량의 Al, B, Mo 등이 검출되었다. 한편, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb와 같은 중금속은 분석한계 내에서 검출되지 않아, ABS 처리수는 재배에 이용할 수 있는 기본 조건을 갖추었다고 판단된다. 또한, 생활하수여서 담수 및 하천수 보다 염분의 함량이 다소 높게 나타났으나(Table 5), 일반적으로 벼가 자랄 수 있는 한계 염분농도인 0.3% (3,000 mg/L) 보다 매우 낮았고, 유묘생육 시험결과 염해 증상은 보이지 않았다. 내염성(耐鹽性) 검정은 발아기 검정보다는 유묘기 검정을 실시하는 것이 효율이 높다고 하였다.<sup>3),9),13)</sup>

Table 4 The TSW used for experiment

Treat-ments	Basel	Tillering stage	Panicle initiation stage	Ripening stage	Total
B1	0	2.2 <sup>A</sup>	2.2 <sup>A</sup>	1.1 <sup>A</sup>	5.5
*B2	5.5 <sup>A</sup>	2.2 <sup>A</sup>	2.2 <sup>A</sup>	1.1 <sup>A</sup>	11.0
B3	5.5 <sup>B</sup>	2.2 <sup>A</sup>	2.2 <sup>A</sup>	1.1 <sup>A</sup>	11.0
B4	5.5 <sup>A</sup>	2.2 <sup>B</sup>	2.2 <sup>B</sup>	1.1 <sup>B</sup>	11.0
B5	5.5 <sup>B</sup>	2.2 <sup>B</sup>	2.2 <sup>B</sup>	1.1 <sup>B</sup>	11.0
		----- 6.2 <sup>B</sup> -----			
B6	5.5 <sup>B</sup>	(7 split application per 15 day after transplanting)			11.7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/10a)					
B1	0	0	0	0	0
B2	2.00 <sup>C</sup>	0	0	0	2.00
B3	0.55 <sup>B</sup>	0	0	0	0.55
B4	2.00 <sup>C</sup>	0.66 <sup>B</sup>	0.56 <sup>B</sup>	0.1 <sup>B</sup>	3.32
B5	0.55 <sup>B</sup>	0.66 <sup>B</sup>	0.56 <sup>B</sup>	0.1 <sup>B</sup>	1.87
		----- 2.58 <sup>B</sup> -----			
B6	0.55 <sup>B</sup>	(7 split application per 15 day after transplanting)			3.13

\* A: Urea; B: TSW; C: Fused Superphosphate

Table 5 Chemical properties, nutrient content and heavy-metal content of the TSW for experiment

Chemical properties	pH	EC	Eh	O.M.	Total-N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
		mS/cm	mV	%	mg/L						
	6.35	0.59	163.35	0.01	73.83	34.73	34.90	12.7	7.80		
Micro-nutrient content	Na	Cl	MgO	CaO	S	Al	SiO <sub>2</sub>	B	Mn	Fe	Mo
	mg/L										
	50.83	83.25	8.14	25.23	13.63	0.01	0.98	ND	ND	0.03	ND
Heavy-metal content	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb			
	mg/L										
	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			

\* average value for 4 replication sampled at Sept. 18 2000, Nov. 23 2000, April 20 2001, June 20 2001  
 \* ND : not detected

2. ABS 처리수의 *Salmonella* 및 *E. coli*의 분포

유입수에서 발견되는 *E. coli*, 그리고 *Salmonella*의 분포는 시험기간 동안 ABS의 가동 방법 따라 다소 차이가 있었다(Fig. 2, Table 6).

ABS 처리에 의해 유입수에 존재하는 미생물 제거효과는 Table 6에서와 같다. 2000년 9월 1일부터 12월 11일까지 시행한 혐기/호기조에 의한 재순환 방법에서 총 박테리아, 젖산균, *E. coli*, 그리고 *Salmonella*는 각각 98.4, 98.5, 98.3, 그리고 96.2%씩 제거되었고, 2000년 12월 15일부터 2001년 1월 8일까지 시행한 비순환 시험에서는 각각 93.7, 95.6, 95.6, 그리고 95.7%씩 제거되었으며, 2001년 1월 15일부터 4월 16일까지 시행한 가운데 의한 비순환 시험에서는 각각 95.4, 98.2, 97.7, 그리고 98.6%가 제거되었다. 따라서 ABS에 의해 유입수에 존재하는 젖산균, *E. coli*, 그리고 *Salmonella*가 대폭 제거되는 것으로 확인되었다. 한편, 겨울철에 시행한 비순환 시험에서는 다른 기간에 시행한 방법과 비교하여 미생물 제거효과는 다소 저하되는 경향이 나타났는데 이는 ABS의 가동

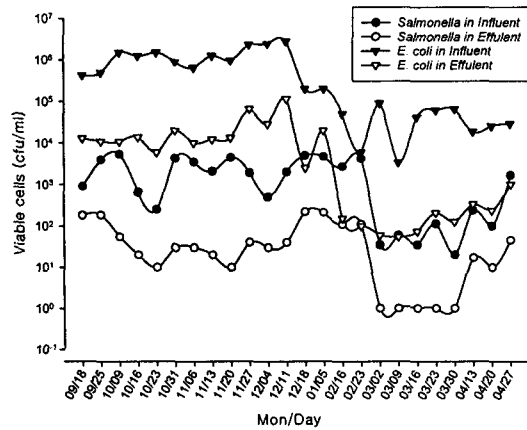


Fig. 2 The chronological distribution of total bacteria, lactic acid, *Salmonella* and *E. coli* in influent and effluent of ABS

Table 6 Removals(%)<sup>1</sup> of bacteria by ABS

Periods	Total bacteria	Lactic acid bacteria	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella</i>
00. 09. 01 ~ 00. 12. 11 (Recirculation of anaerobic and aerobic tank)	98.4	98.5	98.3	96.2
00. 12. 15 ~ 01. 01. 08 (Non-recirculation)	93.7	95.6	95.6	95.7
01. 01. 15 ~ 01. 04. 16 (Non-recirculation with heating)	95.4	98.2	97.7	98.6
01. 04. 20 ~ 01. 06. 18 (Non-recirculation)	93.6	98.5	97.8	97.3

$$^1 \text{Removals(\%)} = 100 \times \frac{(\text{Viable cells in influent}) - (\text{Viable cells in effluent})}{(\text{Viable cells in influent})}$$

온도가 낮아서 나타나는 결과인 것으로 판단된다. 같은 비순환 방법으로 2001년 4월 20일부터 6월 18일까지 시행한 비순환 방법에서는 총 박테리아, 젖산균, *E. coli*, 그리고 *Salmonella*가 각각 93.6, 98.5, 97.8, 그리고 97.3%가 제거되어 앞서 시행한 겨울에서 보다 제거효과는 증가하였다. 이것은 효과적으로 미생물을 제거하기 위해서는 ABS에

정착된 미생물들의 최대 성장 및 활력을 나타낼 수 있도록 최적 온도 환경을 유지가 필요한 것을 의미하며 ABS의 유입수와 유출수의 온도 차이가 클 때 미생물의 제거효과가 크게 나타나는 것에서도 알 수 있었다. 따라서 겨울철에 ABS를 가동하는데 있어 유출수의 온도가 적어도 15℃ 이상은 되도록 ABS내의 온도를 유지해야 할 것으로 판단된다.

또한, 유입수에 존재하는 미생물의 제거 관계에서도 유입수와 유출수의 pH간의 차이가 크게 나타날 때 미생물 제거, 특히 *E. coli*와 *Salmonella*의 제거효과가 크게 나타났다(Fig 3). 이것은 급격한 pH 환경 변화에 의해 *E. coli*와 *Salmonella*가 사멸된 것으로 판단된다. 앞에서 언급한 바와 같이 흡수성 Biofilter에 정착된 미생물의 성장 및 활력이

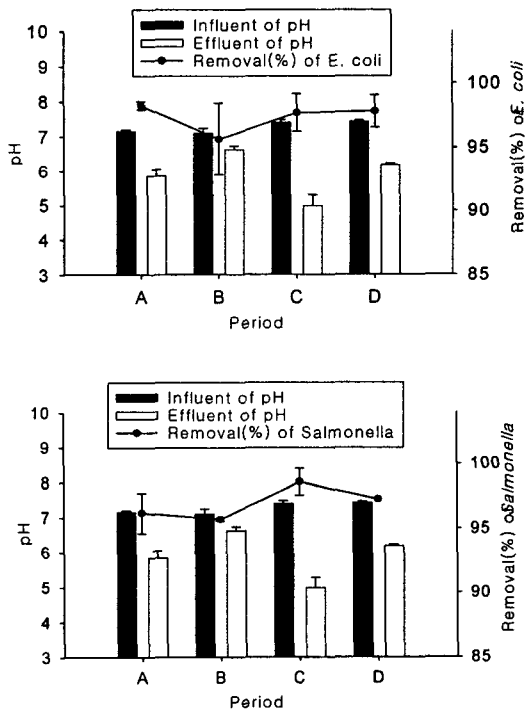
우수할 때 유출수의 pH가 낮을수록 더 효과적인 것이 확인되었다.

유출수 내의 *E. Coli*와 *Salmonella* 수는 유입수에 비해 95% 이상 제거되지만 WHO 권고안<sup>1)</sup>을 충족시키려면 염소처리 등이 요구될 것으로 생각된다. 그러나 Biofilter 내의 통과시간, 온도, pH, 유출수의 여러 환경 요인에 따라 유해 미생물의 생존수가 변할 수 있음에 유의해야 하며, 다만 현실적으로 볼 때 위생상 문제는 크지 않을 것으로 판단된다.

### 3. ABS 처리수의 비 재배상 이용성

#### 가. 유묘 생장에 미치는 영향

담수직과 재배 조건에서 질소를 기준으로 화학비료 (N 5.5 kg/ha) 또는 ABS 처리수 (N 5.5 kg/ha)를 기비로 사용한 후 비를 재배한 결과 ABS 처리수 처리구와 화학비료 처리구의 초장과, 건물중 및 식물체내 질소, 가리의 함량에 거의 차이가 없었다. ABS 처리수로 화학비료의 기비사용을 대체한 경우 ABS 처리수를 질소성분량 기준으로 ha 당 55 kg 공급한 경우 토양에 기비로 요소



A : 00. 09. 01 ~ 00. 12. 11 B : 00. 12. 15 ~ 01. 01. 08  
C : 01. 01. 15 ~ 01. 04. 16 C : 01. 04. 20 ~ 01. 06. 18

Fig. 3 The removal of *E. coli* and *Salmonella* and pH of Biofilter System

Table 7 Effect of the TSW on plant height of cv. Dongjin-byeo in nursery plant

Treatments	Plant height(cm)				
	7 DAS	17 DAS	27 DAS	37 DAS	44 DAS
A1	7.41b	28.0b	34.8b	39.0b	39.3b
A2	9.47a	35.1a	42.4a	46.4a	46.6a
A3	8.6a	34.7a	43.9a	46.6a	47.8a

\* DAS : Days After Seeding

Table 8 Effect of the TSW on dry matter of cv. Dongjin-byeo in nursery plant

Treatments	g/100 plants		
	17 DAS	37 DAS	44 DAS
A1	4.9b	26b	47b
A2	8.7a	49a	63a
A3	8.6a	43a	63a

Table 9 Nutrient and salt content of cv. Dongjin-byeo in nursery plant

Treatments	Total-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Na <sup>+</sup> (%)
A1	0.9ns	0.53b	3.8ns	0.7ns
A2	1.0ns	0.58ab	3.4ns	0.6ns
A3	1.0ns	0.63a	4.1ns	0.7ns

를 사용한 경우에 비하여 거의 동일한 시비효과를 나타내었고 인산의 경우는 다소 부족한 것으로 판단된다(Table 7, 8, 9).

나. 벼의 생육과 수량에 미치는 영향

벼에 있어서 관개수의 높은 삼투압은 식물체의 수분흡수를 저해하며, 특히 Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>의 과잉흡수로 K<sup>+</sup>와 Ca<sup>2+</sup>의 흡수가 감소되어 각종 대사작용을 저해하며 생장이 억제되고 고엽(枯葉)이 심하게 나타날 뿐 아니라, 출수지연, 임실을 저하 및 수량감소가 두드러지게 나타난다.<sup>1),11),14),15)</sup>

논 토양에 화학비료, 화학비료+ABS 처리수를 혼용시비하여 동진벼를 재배한 결과 화학비료와 ABS 처리수를 혼용 시비한 경우가 화학비료만 시비한 경우보다 초장, 분얼수가 크게 나타났으며, 식물체내 질소, 인산, 가리의 함량 차이가 거의 없었다. 식물체내 영양분을 분석한 결과 처리 간에 큰 차이는 보이지 않았으나 ABS 처리수 만으로는 다소 부족하므로 화학비료를 기본으로 하고 ABS 처리수로 부족분을 보완하는 것이 유리하다고 판단된다. 벼에 염처리시 생육기에는 간장(稈長)이 단축되고, 등숙기에는 등숙률이 민감하게 떨어지나<sup>6),10)</sup>, ABS 처리수를 시비한 경우 영화수, 등숙률 및 친립중은 처리간에 유의차가 없었으며, 수량은 기존 화학비료 관행 시비구와 비교하여 거의 차이가 없었다. 또한 기비로 인산, 가리 등을 적절히 시비할 경우 ABS 처리수를 계속적으로 공급하면 요소 시비를 거의 100% 대체할 수 있을 것으로 생각된다 (Table 10, 11, 12, 13).

또한 관행이양재배법(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O-11-7-9kg/10a)에 따라 질소를 기준하여 시비(기비-분얼비-이삭거름-알거름)하고 ABS 처리수 내 전질소함량을 50mg/L이며, ABS 처리수와 금비의 시비효율

Table 10 Effect of the TSW on plant height of cv. Dongjin-byeo in whole plant

Treatments	Plant height in whole plant (cm)					
	15 DAT	30 DAT	45 DAT	60 DAT	75 DAT	90 DAT
B1	27.5c	37.2c	53.4d	69.6d	80.7b	96.7b
B2	29.8b	43.2b	62.8b	76.1b	86.2a	104.7a
B3	30.6b	42.1b	62.8ab	76.3b	86.0a	104.7a
B4	32.7a	46.8a	64.6a	78.1ab	88.2a	103.0a
B5	29.1bc	42.5b	60.5bc	79.5a	87.0a	100.9a
B6	29.0bc	41.7b	62.0b	78.0ab	86.0a	101.7a

\* DAT : Days After Transplanting

Table 11 Effect of the TSW on tillering of cv. Dongjin-byeo in whole plant

Treatments	No. of tiller/hill		
	30 DAT	60 DAT	90 DAT
B1	8.2d	11.8c	12.5c
B2	12.7b	13.0bc	13.6bc
B3	13.3b	14.9b	15.3ab
B4	15.6a	17.2a	17.2a
B5	14.1ab	15.7ab	15.7b
B6	10.9c	15.8ab	15.8b

Table 12 Nutrient and salt content of cv. Dongjin-byeo in whole plant

Treatments	Total-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Na <sup>+</sup> (%)
B1	0.92ns	0.41c	2.36b	0.30ns
B2	0.86ns	0.42bc	2.43ab	0.25ns
B3	0.88ns	0.43bc	2.52ab	0.22ns
B4	0.79ns	0.46ab	2.60ab	0.22ns
B5	0.93ns	0.45b	2.51ab	0.29ns
B6	0.81ns	0.48a	2.89a	0.32ns

Table 13 Effect of the TSW on yield and its components of cv. Dongjin-byeo in whole plant

Treatments	No. of panicle (no./plant)	No. of spikelet (no./panicle)	Ripened Grain (%)	1000 grain weight (g/1000grain)	Crop yield (kg/10a)
B1	10.5c	71.3ns	93.1ns	27.2ns	464.0b
B2	12.6b	69.6ns	93.8ns	26.8ns	564.6ab
B3	13.8ab	69.0ns	94.0ns	26.8ns	627.0a
B4	14.4a	67.1ns	93.4ns	27.6ns	601.0a
B5	13.4ab	68.5ns	93.5ns	26.8ns	595.7a
B6	13.9ab	72.6ns	94.3ns	26.7ns	605.9a

이 같다고 가정하면, ABS 처리수의 벼 생육기간 중 최대 소비가능량은 벼 재배시 필요한 관개 용수의 11~22%에 해당한다. 따라서, ABS 처리수를 벼 재배에 이용함으로써 수질환경 보호 측면 뿐만 아니라 막대한 양의 농업용수 절감 효과 및 화학비료 시비량 중 질소질 비료의 2/3, 인산질 비료 1/3, 가리질 비료의 1/5 정도의 대체로 인한 경제적 효과도 얻을 수 있을 것이다.

#### IV. 요약 및 결론

농촌지역에 적합한 소규모 오수 처리시설로서 효능이 좋은 ABS의 처리수를 농업용수 혹은 친수용수로서 이용하여 대체수자원으로서의 가능성을 알아보고자 ABS 처리수의 성분 분석 및 병원 미생물 분포를 조사하고, 벼 재배상 이용성에 대하여 검토하였던바 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. ABS 처리수 중 중금속은 표준 ICP 분석한계에서 검출되지 않았으며 염분 농도는 50~85 mg/L로 벼가 자랄 수 있는 한계 염농도 0.3% (3,000 mg/L) 보다 매우 낮았다.
2. ABS의 유입수에 존재하는 총 박테리아, 젖산균, *E. coli*, 그리고 *Salmonella*의 제거효율은 ABS의 가동 방법에 따라 약간 차이가 있었으나, 모두 93~98%의 높은 제거율을 보여 농촌 생활하수의

처리수 안전성에서 중요시되는 *E. coli*와 *Salmonella*를 효과적으로 제거할 수 있는 장치로 확인되었다.

3. 유출수 내의 *E. coli*와 *Salmonella* 제거율은 95% 이상이지만 WHO 권고수준을 충족시키려면 염소처리 등이 요구된다.

4. 담수직과 재배시 ABS 처리수와 화학비료를 질소기준으로 N 55 kg/ha를 각각 기비로 사용한 결과 벼의 발아, 초장, 건물중 및 식물체내 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O의 함량 차이가 없었다.

5. ABS 처리수를 논토양에 관개수로 공급할 경우 벼 재배에 필요한 질소질 비료 사용량의 2/3, 인산질 비료의 1/3, 가리질 비료의 1/5 정도 대체할 수 있을 것으로 판단되나, 현실적으로 ABS 처리수의 이용 가능량과 이용 효율을 고려하여 화학비료와 ABS 처리수를 적절히 혼용하는 방안이 유용할 것이다.

6. ABS 처리수의 사용방법과 사용량은 재배양식, 시비효율 및 처리수내 양분 함량에 따라 다를 것이므로 이에 대한 세밀한 연구가 앞으로 수행되어야 할 것이다.

이 연구는 서울대학교 간접연구경비 지원에 의해 수행되었음

#### References

1. Blumenthal, Ursula J., D. Duncan Mara, Anne Peasey, Guillermo Ruiz-Palacio and Rebecca Stott, 2000, Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture : recommendations for revising WHO guidelines, Bulletin of the World Health Organization 78(9): 1105~1116.
2. Cheong J. I., B. K. Kim., H. M. Park and S. Y. Lee. 1995. Varietal difference in agronomic character of rice grown on salty water irrigation. *Kor. J. Crop Sci.* 40: 494-



503. (in Korean)
3. Chu C. C., C. C. Wang, C. Sub, H. Chon, K. C. Yin, C. Y. Chu and F. Y. Bi. 1975. Establishment of an efficient medium for anther culture of rice through comparative experiments on nitrogen sources. *Sci. Sin.* 18: 695-668.
  4. Jowett, E. C. 1995. Replacing the Tile Bed with the Waterloo Biofilter, Alternative Systems: Nutrient Removal and Pathogenic Microbes, Conference Proceedings, Waterloo Center for Ground Research, University of Waterloo, pp. 43-64.
  5. Kim, Hyun-uk, Yong-woong Kwon, Soon-kuk Kwun. 2001. Study on Reuse of Treated Sewage Water and Sewage Treatment Using Absorbent Biofilter System, Report of 2001 SNU Interdisciplinary Cooperative Research, 66. (in Korean)
  6. Kwon, Tae-Oh and Seung-Yeob Lee. 1996. Selection of salt-tolerant calli and variation of salt tolerance in regenerants of rice. *Kor. J. of Plant Tissue Culture* 23(2): 117-122. (in Korean)
  7. Kwun, Soon-kuk and Chun-Gyeong Yoon. 2000. Performance of a small on-site wastewater treatment system using Absorbent Biofilter for Korean rural community. *J. of Environmental Science and Health* A35(9): 1701-1717. (in Korean)
  8. Kwun, S. K., B. Kim, C. G. Yoon and C. Kim. 2000. Development of biofilter system for the sewage treat of Korea rural community. Final Report of Cooperative Research between Industries and Universities, 97-2-15-03-01-3, Korea Science and Engineering Foundation, Korea: 68-72. (in Korean)
  9. Lee, Kang-Soo, Sun-Young Choi and Won-Yul Choi. 1999. Salt tolerance of rice during germination and early seedling stage. *Kor. J. Breed.* 31(3): 301-305. (in Korean)
  10. Lee, Seung-Yeob, Tae-Oh Kwon and Young-Tae Lee. 2000. Salinity tolerance of another culture lines derived from hybrids between Japonica and salt-tolerant Indica rice, Xiangcho V. *Kor. J. of breeding* 32(3): 245-252. (in Korean)
  11. Muns R. 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas line via doubled haploid. *Euphytica*. 91: 285-288.
  12. Rural Development Corporation. 1996. Working guidebook on sewage and wastewater facilities in rural and fishing villages. 342.
  13. Shim, Sang-In, Sang-Gak Lee and Byeung-Hoa Kang. 1998. Screening of saline tolerant plants and development of biological monitoring technique for saline stress: II. Responses of emergence and early growth of several crop species to saline stress. *Kor. J. of Environmental Agriculture* 17(2): 122-126. (in Korean)
  14. Yeo A. R. 1993. Salinity resistance; Physiologies and prices. *Physiol. Plant.* 58: 214-222.
  15. Yoo S. J. and S. S. Choi. 1987. Response of rice growing and yield in difference salt content of saline soil. *Bull. Col. Agri. Wonkwang Univ.* 10: 55-78. (in Korean)
  16. Yoon, Chun G., K. W. Jung, J. H. Ham and J. H. Jeon. 2003. Feasibility Study of UV-Disinfection for Water Reuse of Effluent from Wastewater Treatment Plant. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 45(2): 126-137 (in Korean)