

갈대砂床濾過法을 이용한 畜産廢水淨化

I. 處理日數 및 季節別 變化

李德培 · 金鍾九 · 姜鍾國 · 金善寬 · 蘇在敦 · 李景洙*

Purification of Animal Wastewater Using a Reed-Sand-Filter System

I. Retention Period and Seasonal Variation

Deog-Bae Lee, Jong-Gu Kim, Jong-Goog Kang, Sun-Kwan Kim, Jae-Don So, Kyeong-Soo Rhee

Abstract

A reed-sand-filter system was used to purify swine wastewater economically.

Reeds (*Phragmites communis* Trin) were planted on the sand / gravel bed of a 20/30cm layer depth.

After the input of waste-water up to a depth of 10cm, the effluent was monitored for pollutants on the 1st, 3rd, 5th and 7th day thereafter.

As swine wastewater stayed longer, the pollutants in the effluent such as T-N, PO_4^{3-} , COD and BOD were removed more effectively.

The sand-filter system with reeds showed a superior removal efficiency to that without reeds. Especially in summer, the former showed greater purification rates than the latter, being 30% greater in T-N, 37% in PO_4^{3-} , 42% in COD and 30% in suspended solids.

The seasonal purification efficiency was in the decreasing order of July, October and April.

Reeds took up 40.1g N, 10.8g P_2O_5 , 38.9g K_2O , 2.8g CaO, 2.1g MgO per square meter of the above surface area.

Key words: Reed(*Phragmites communis* Trin), Sand filter-system, Swine wastewater, Purification, Retention day

* 湖南作物試驗場(Honam Crop Experiment Station, RDA, 570-080 Iri, Korea)

서 언

현재 우리나라에서 사육되고 있는 가축수는 약 700만두에 이르고 있다.

사람이 하루 1ℓ의 분뇨를 배출한다고 볼 때 소는 사람에게 비해 30배, 돼지는 5배의 분뇨를 배출함으로써 이 축산배설물의 양은 거의 1억 인구에서 배출되는 분뇨의 양에 해당한다. 축산 배설물이 환경에 미치는 영향이 심각해짐에 따라 1981년 12월 환경보전법을 개정하여 축산폐수의 방류수 수질기준을 설정하고 일정규모이상의 대규모 축산시설에 대해서는 축산폐수처리시설을 설치토록 규제하기 시작했으며, 이를 다시 1990년 8월 수질환경보전법에서 축산시설의 면적 또는 사육두수 등을 기준으로 사육시설규모를 정하고, 중소규모의 축산시설에 대해서도 1986년 12월부터 폐기물관리법에 의거 규제를 시작하였다.

축산폐수 정화조의 방류수 수질기준은 상수보호구역같은 특정지역은 BOD 30mg/ℓ이하, 기타지역은 정화조 처리용량에 따라 BOD 60 - 100mg/ℓ이하이어야 하나 1996년 1월 1일 부터 시행되는 배출허용기준은 BOD 30mg/ℓ이하, 부유물 30mg/ℓ이하, 총질소 120mg/ℓ, 총인 16mg/ℓ 이하¹⁵⁾이다.

현재 대규모 축산시설에서 이용하고 있는 표준활성오니법, 집축산화법, 회전원판법, 장기폭기방법 등은 고도의 처리기술과 유지관리비가 과다하게 소요되는 등의 문제점이 있으며, 중소규모 축산시설에서 이용하고 있는 혐기발효조법은 질소, 인의 제거에는 그 효과가 낮은 실정이며 톱밥을 이용한 정화법은 톱밥품귀에 의한 가격상승과 기생충 발생이 많고 호흡기 질환이 증가하는 단점이 있다.

독일인 Kickuth가 고안한 갈대의 근권을 이용한 폐수정화방법(Root Zone Method)은 1985년 부터 1990년까지 영국과 공동연구를 수행하는 도중에 덴마크, 미국 등에서도 시공 및 운행방법에 대한 연구를 하며, 실제 오염물질 농도가 낮은 생활하수정화에 이용하고 있으나, 질소, 인, BOD 농도가 매우 높은 축산폐수의 정화에 활용하려는 연구는 없었다.

한편 우리나라에서도 식물을 이용하여 축산폐수를 정화하고자, 부레옥잠을 중심으로 연구되어 왔으나^{12,13)}, 이 식물은 우리나라 자연조건하에서 월동이 안되며, 정화된 축산폐수중에서도 고사되기 때문에¹¹⁾ 축산폐수정화식물로 활용이 어려운 실정이었다.

화본과 식물인 갈대 (Phragmites communis Trin.)는 세계적으로 가장 넓게 분포하는 수생식물²⁶⁾로서 우리나라의 습지, 물가 또는 해안의 염습지등에서 자라는 다년초로서 최근에는 수중생태계를 파괴하고 있는 오염물질제거에 이용가치가 큰 것²⁵⁾으로 보고되어 있다.

본 연구에서는 사상여과조의 여과기능과 갈대의 양분흡수 및 根圈酸素 공급을 복합한 갈대砂床濾過法을 이용하여 축산폐수 정화시 체류일수와 계절별 정화율 변화양상을 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본시험에 이용한 정화조는 직경 32cm의 폴리에틸렌 흑색 원통을 70cm 길이로 잘라 밀면을 시멘트로 밀봉한 뒤 잔자갈층 30cm층에 모래로 20cm 채운 사상 여과조와 92년 4월 18일 갈대줄기4본을 이식하여 발생한 분얼자를 지하수로 재배한 갈대를 복합이용한 식물사상여과조 였다. 강우차단용 비닐 하우스에 정화조를 배치하고 4.5t FRP 통에 혐기발효된 양돈폐수를 저장한 뒤 설치된 식물사상여과조에 92년 7월, 10월, 93년 4월에 양돈폐수를 10cm 깊이로 투입한 다음 1, 3, 5, 7일후 배출수를 수거하여 그 양과 오염물질 농도를 측정하였다.

물중 오염물질의 분석방법중 생물화학적 산소요구량(BOD)는 미국 공중보건협회 분석법²³⁾에 따랐으며 NH₄-N은 Indolphenol법, NO₃-N은 혼합황산지시약법, PO₄⁻³은 염화제1주석환원법, T-N은 환경저수질분석법에 따랐으며 증발잔유물은 시료일정량을 Dry oven에서 말린뒤 무게차이를 이용하여 측정하였다. 오염물질 정화율은 다음식⁴⁾에 의해 산출하였다.

$$\text{정화율(\%)} = \frac{\text{유입수(양} \times \text{농도)} - \text{배출수(양} \times \text{농도)}}{\text{유입수(양} \times \text{농도)}} \times 100$$

갈대의 질소, 인 등 양분 흡수량은 갈대를 10월 29일 지상부 10cm 높이에서 절단하여 말린 다음 질소를 Kjeldahl법, 인산은 Metavanadate법, 가리, 칼슘, 마그네슘은 원자흡광분석법으로 분석하였다.

본시험에서 이용한 모래의 입경분포는 표 1과 같다.

Table 1. Size distribution of sand used for experiment

Distribution(mm)	>2.0	>1	>0.55	>0.25	Residue
(%)	4.7	45.9	32.0	11.7	5.7

결과 및 고찰

1. 질소 제거율

그림 1은 체류일수에 따른 전질소 제거율을 나타낸 것이다.

체류일수가 1,3,5,7일로 길어질수록 질소제거율은 직선적으로 증가되었다. 한편 계절간 질소제거율의 변이를 보면 갈대 생육이 왕성한 여름(7월)이 가장

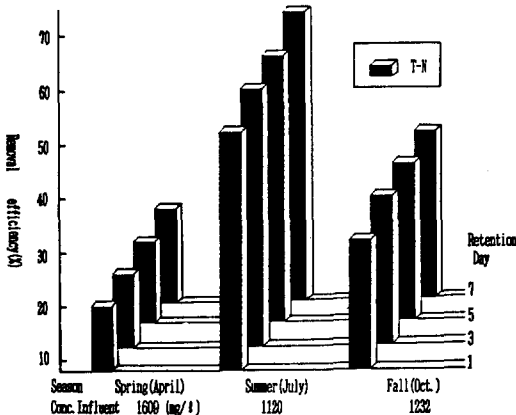


Fig. 1. Removal efficiency of T-N according to the retention time.

높고 다음으로 가을(10월), 봄(4월) 순이었다. 물중에 함유된 질소는 암모니아태, 질산태, 아질산태, 유기태 질소가 있는데 어떤 형태의 질소든지 그 농도가 0.6mg/l 이상이면 수계의 부영양화를 야기시키며³³⁾ 이중 암모니아나 암모니아이온은 1mg 산화에 산소 4.6mg이 요구³²⁾되어 수중 산소농도를 저하시킬 뿐만 아니라 매우 낮은 농도하에서도 다양한 종류의 어류에 치명적이다.

그래서 폐수중 질소농도는 정화시설의 규모산정에 매우 중요한 요인이다.

동물조직이나 찌꺼기내 단백질에 존재하는 유기태 질소는 미생물의 분해작용으로 암모니아나 암모니아이온을 생성하며 다시 *nitrosomonas*와 *nitrobacter*에 의해 질산과 아질산으로 산화된다. 질산태 질소는 표면수에서는 소량 존재하나 지하수에서는 농도가 높으며 이농도가 높은 물을 임산부나 어린이가 마셨을 경우 infant methemoglobinemia 일명 blue baby병을 야기시키는 유독한 물질이어서 음용수중 한계농도를 10mg/l 이하로 규제하고 있는데 이러한 질산태 질소는 질소산화 작용중 안정한 최종산물로서 생물에 의한 흡수나 탈질화 작용에 의해 제거된다고 한다. 한편 Reddy²⁴⁾는 식물에 의한 질소, 인의 제거속도가 식물체 성장속도와 오염물질의 현존량의 함수로서 표시될 수 있다고 제안하였던 바 본 실험에서 나타난 계절별 정화율의 변이는 갈대의 성장과 깊은 관련이 있음을 알 수 있다.

또한 Westlake³⁰⁾는 늪지의 갈대군(Reedswamps)이 온대지역에서 가장 왕성한 생태계중 하나라고 하였는데, 이같은 결과로 볼때 갈대는 다른 식물보다 폐수정화효과가 높을 것으로 생각된다.

표 2를 보면 체류일수가 길어질수록 암모니아태 및 질산태 질소제거율이 향상되었으며 계절별 제거율은 여름이 가장 높고 가을, 봄 순으로 낮았다.

갈대의 근권은 광합성 과정중 광화학적 작용에 의해 생성된 산소가 뿌리를 통해 방출되어 산화층, 무산소층, 환원층이 형성되고, 산화층에서는 암모니아가 질산이온으로 되고 무산소층에서는 질소가스

Table 2. Removal efficiency of NH₄-N and NO₃-N in the reed sand filter system

Retention Day	NH ₄ -N			NO ₃ -N		
	Apr.	July	Oct.	Apr.	July	Oct.
 (%)					
1	16.6	35.0	20.3	21.5	55.1	24.2
3	26.4	47.4	26.8	35.7	63.8	34.3
5	31.1	51.2	35.1	43.0	65.7	41.1
7	34.0	55.6	42.3	45.0	68.6	50.8
Conc. of Influent (mg/l)	234.5	304.4	403.8	15.8	23.7	18.1

로 휘산되는데⁹⁾ 체류일수가 길어질수록 이같은 일련의 화학작용과 갈대가 질소를 활발히 흡수하여 결과적으로, 질소제거율이 향상되었던 것으로 생각된다.

2. 인 제거율

물의 부영양화를 야기시키는 인의 농도는 0.025 mg/l이다³³⁾.

폐하수처리에 적용 가능한 인제거 방법은 칼슘, 알루미늄, 철등의 금속염을 투입하고 생성되는 불용성 침전물을 걸러내는 화학적 방법과 미생물, 식물등을 이용하는 생물학적 처리방법이 있다. 인축적 균체에 있어서 인의 거동개념도는 Levin¹⁸⁾이 제안하였는데 혐기성상태의 저장에 수반하여 인의 방출이 일어나고 호기상태에서 균체의 증식과 폴리인산의 축적이 일어난다는 것이다. 갈대근부의 산화층에서 식물에 의한 인의 흡수가 활발한 반면 환원층에서는 인의 방출이 진행되고, 체류일수가 길어질수록 갈대에 의한 인의 흡수량이 많아져 인의 제거율이 향상되었던 것으로 생각된다.

Claude⁹⁾도 水生植物의 일종인 부들은 근부에 산소를 공급하여 인산의 토양흡착을 극대화 시키며 이같이 흡착된 인을 효과적으로 제거시킨다고 하였다.

세포의 주성분은 탄소, 수소, 산소, 질소 등으로서 인의 비중이 낮아 조류와 박테리아 등을 이용한 생물학적 인의 제거량은 0.5-1mg/l 에 불과하다⁷⁾고 하였는데, 본시험에서는 봄철의 경우 47% 이상, 여름철에는 77% 이상, 가을철에는 61% 이상의 인이 제거되었다(그림 2).

이의 원인에 대해서는 갈대의 월등한 건물생산력과 관련되어 있는 것 같다.

3. BOD 제거율

수질환경보전법이 정하는 방류수질 기준으로 볼 때 공시폐수는 설치신고한 정화조를 통과한 것으로 법규제 농도 이하를 방류하고 있었으나, 1996년 1월 이후는 법규제를 받게 된다.

담수토양에서 식물생존은 지상부의 내부통기 조직과 연결된 뿌리에서 근권으로의 산소 방출을 한다²⁾고 하며, 갈대의 경우 어린 뿌리가 가장 중요한 산소 공급원¹⁶⁾이라고 하였는데, 이같은 산소공급의 결과 근권내 혐기-호기층의 공존이 배출수의 질화작용과 탈질작용을 촉진시키며, 한편 혐기층에서 폐수중 유기물을 이산화탄소와 메탄으로 분해시켜 그 결과 BOD가 낮아진 것⁹⁾으로 생각된다. 갈대 근권내 산소량은 담수토양 중에서 봄에 4-9%에서 여름에 15-19%이며 광합성 과정에서 생성된 산소가 지상

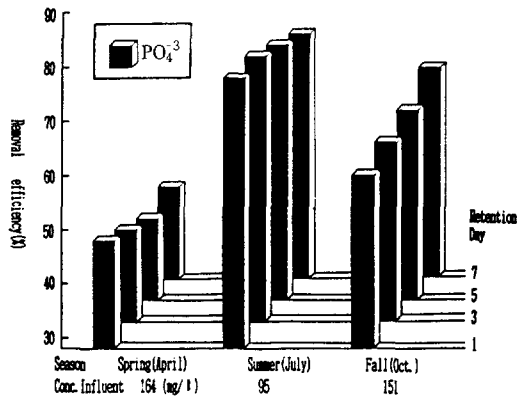


Fig. 2. Removal efficiency of PO₄³⁻ according to the retention time.

부 기관으로 부터 근부로 산소가 이전된다고 한다³⁾.

그림 3은 체류일수와 계절에 따른 BOD 제거율을 나타낸 것이다. 체류일수가 길어질수록 BOD 제거율은 증가되었으며 계절별로는 봄철에 20% 이상, 가을철에 65% 이상 제거되었다.

4. 중발잔유물 및 COD 제거율

표 3을 보면 처리일수가 길수록 중발잔유물이 많이 제거되었고 계절별로는 여름철이 53%, 가을철이 38%, 봄철이 13%이상 제거되었는데, 이는 갈대의 뿌리 발달과 깊은 관련이 있는 것 같다. COD 1kg은 0.3-0.5m³의 methane을 생산할 수 있다고 한다²⁾.

갈대근부의 미생물에 의한 유기물 분해는 물표면에서 1.5cm 깊이 사이에서 주로 일어나는데 그이유는 이 층에 반응기질과 산소가 풍부하여 박테리아의 성장과 활력이 가장 좋기 때문이다¹⁹⁾. 본 실험에서도 갈대뿌리의 생육이 왕성하고 근권산소공급이 많은 여름(7월)이 COD제거율이 가장 높고 다음으로 가

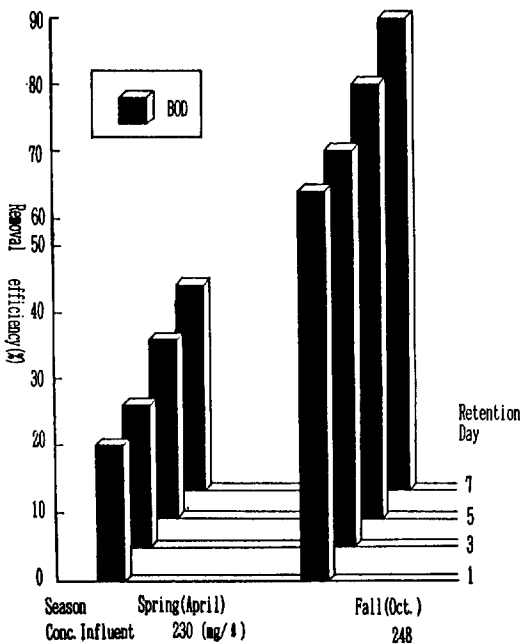


Fig. 3. Removal efficiency of BOD according to the retention time.

Table 3. Removal efficiency of residue after evaporation and chemical oxygen demand (COD) in the reed sand filter system.

Retention Day	Residue after evaporation			COD		
	Apr.	July	Oct.	Apr.	July	Oct.
 (%)					
1	12.7	53.4	37.9	27.5	49.9	26.7
3	18.6	59.1	42.5	32.7	59.4	38.7
5	21.5	63.0	49.9	36.8	66.1	47.0
7	23.0	70.0	57.7	46.4	69.8	60.9
Conc. of Influent (mg/l)	3110	2639	2507	480	320	304

을, 봄 순으로 나타났다.

5. 갈대의 양분흡수량

표 4는 가을에 지상 10cm 부위를 예취한 갈대의 건물중과 양분 흡수량을 나타낸 것이다.

처리일수가 길어질수록 건물중은 약간 증가 하였으며, 질소, 인, 가리 그리고 칼슘 흡수량도 증가하였다. 갈대는 地上部에서 질소를 330-880kg/ha, 인산을 38-74kg/ha, 흡수한다⁶⁾고 하는데 본 시험에서는 체류일수별로 지상부에서 질소는 37-43kg/10a, 인산은 10-11kg/10a 흡수한 것으로 나타났는데 이는 pot 조건에서의 갈대 생육이 왕성하지 못했기 때문이나, 해를 거듭할수록 갈대의 지상부 및 지하

Table 4. Change in dry weight and amount of nutrient absorbed by reed at harvest time.

Retention day	Dry Wt.	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
 g/m ²					
1	1179	37.3	9.9	36.0	2.2	2.1
2	1271	39.8	10.9	38.9	2.9	1.9
5	1299	40.9	11.0	39.9	3.0	2.1
7	1316	42.6	11.3	40.8	3.0	2.1

* Harvested on Oct. 29. 1992

부 생육은 왕성해져서 biomass 증가에 따른 양분 흡수량은 훨씬 증가될 수 있을 것이다. 한편 갈대의 지상부와 지하부중 질소 및 지상부중 인 축적량은 7월이 가장 높고 9월, 11월순으로 낮았으며, 지하부중 인은 9월이 가장 높고 7월, 11월순으로 낮았다⁸⁾고 하며, 갈대의 개체군들은 5-6월 지상부 생장이 빨라지는 반면 9, 10월에는 성장율이 낮아진다^{17,22)}는 연구결과를 볼때 질소와 인의 제거율을 극대화시킬 수 있는 갈대의 적정 수확시기에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

6. 갈대+사상여과, 부레옥잠+사상여과, 사상여과간 정화율비교

표 5, 6을 보면 7월의 갈대+사상여과조와 부레옥잠+사상여과조간 정화율은 큰 차이가 없었으나

부레옥잠은 폐수투입후 약 7일후 완전 고사했기 때문에 축산폐수 정화에 활용할 수 없었으며, 겨울철 평균기온이 1°C이하 이면 월동할수 없기²⁷⁾ 때문에 우리나라의 자연조건에서는 부레옥잠을 이용한 폐수정화에는 많은 에너지 투입이 필요한 실정이다. 갈대+사상여과조에서는 사상여과조에서 보다 암모니아성 질소는 31%, 질산태질소는 23%, 전질소는 27%, 인은 39%, 부유물은 31%, COD는 34%, BOD는 36% 이상 정화되었는데, 갈대 근부의 산화층, 무산소층, 환원층의 공존으로 근권의 호기성 미생물과 통기성 혐기 미생물에게 좋은 생육조건을 제공하여 주고 그결과 근권에서의 유기물 분해와 영양소 제거가 훨씬 효과적이었던 것으로 생각된다. 이러한 상호작용은 Chlorinated hydrocarbons 과 같은 난분해성 화합물을 분해시킬 수도 있게^{14,28)} 한다고 한

Table 5. Comparison of nitrogen removal efficiency among Sand Filter Systems (SFS) with reed, waterhyacinth and without plant.

Purification System	NH ₄ -N		NO ₃ -N		T - N		Evapotrans piration	
	July	Oct.	July	Oct.	July	Oct.	July	Oct.
 % % ℓ/m ² · d			
SFS with reed	55.6	42.3	64.6	50.8	72.8	64.7	10.3	7.3
SFS with waterhyacinth*	53.1	—	70.1	—	73.7	—	5.5	—
SFS without plant	19.7	11.9	25.2	17.8	45.7	36.3	2.5	2.4

— Retention day : 7 (Water depth : 10cm)
 * Died gradually after input of swine wastewater

Table 6. Difference of removal efficiency of PO₄³⁻, residue after evaporation (RE), COD and BOD among Sand Filter Systems (SFS) with reed, waterhyacinth and without plant.

Purification System	PO ₄ ³⁻		RE		COD		BOD	
	July	Oct.	July	Oct.	July	Oct.	July	Oct.
SFS with reed	86.7	78.0	70.0	57.8	69.8	60.9	—	89.8
SFS with waterhyacinth*	86.5	—	66.6	—	65.9	—	—	—
SFS without plant	47.5	39.0	48.5	25.0	27.4	26.8	—	54.0

— Retention day : 7 (Water depth : 10cm)
 * Died gradually after input of swine wastewater

다. 한편 무식물구는 모래층으로의 산소공급이 어려워 혐기발효에 의해서만 오염물질을 제거하기 때문에 정화율이 낮았던 것 같다.

수중 생선 식물의 부위별 기능을 살펴보면 뿌리와 수면 아래의 줄기는 세균이 성장 하는곳이며 여과기능과 부유물 흡착 기능을 수행하며 수면위의 줄기, 잎과 물표면은 햇빛을 차단하여 조류의 성장을 저해시키며,수면에 바람의 영향을 적게하여 물과 대기간의 가스전류를감소시키는 반면 식물의 담수부위와의 가스교환에 매우 중요한 역할을 한다²⁸⁾고 한다.

무식물 사상여과조에서 유입수중 질소농도에 따라 NH₄-N은 48-53%, NO₃-N은 27-36% 제거되었으나, 사초류는 160mg/일, 부들은 170mg/일의 질소를 흡수하여 식물사상여과조의 질소제거율이 월등히 높았다⁴⁾고 한다. Wolverton³¹⁾도 갈대재배구가 무재배구보다 全窒素, 全磷, 암모니아 제거율이 월등히 높다고 하였으며, 평균 증산량은 갈대구가 11.3ℓ/m²일 인데 비해 무식물구는 6.3ℓ/m²일이라고 하였는데 본시험에서도 7월의 증발(산)량은 갈대구가 10.3ℓ/m²일로 가장 많고 다음으로 부레옥잠구가 5.4ℓ/m²일 무식물구 2.5ℓ/m²일로 적었다. 그 결과 갈대구에서 정화수의 배출량을 줄일 수 있었다.

Abe¹⁾ 등도 제오라이트층에 버, 물냉이 등 고등식물을 식재한 경우 인공합성폐수중 질소, 인의 제거율이 향상되었다고 하였다.

적 요

축산폐수의 경제적 정화기술을 개발하고자 砂床 濾過槽(모래층 20cm+자갈층 30cm)에 갈대를 재배한 뒤 혐기발효된 양돈폐수의 투입 1, 3, 5, 7일 후 정화 효과를 계절별로 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 축산폐수 처리일수가 길수록 갈대에 의한 질소 및 인산의 흡수 이용량이 많아지고 근부에서 발생된 산소로 BOD, COD도 낮아져서 정화 효과가 향상되었다.

2. 갈대의 건물생산량은 7일 처리가 가장 높았고

양분흡수량도 처리기간이 경과할수록 증가하는 경향이였다.

3. 갈대사상여과조는 사상여과조 보다도 오염물 질제거율이 높아 여름의 경우 T - N : 30%, PO₄⁻³ : 37%, COD : 42%, 부유물은 30% 더 높은 정화율을 나타내었다.

4. 계절별 축산폐수정화율은 여름철이 가장 높고 가을, 봄 순이었다.

인 용 문 헌

1. Abe K., Y. Ozaki, and N. Kihou. (1993) : Use of higher plants and bed filter materials for domestic wastewater treatment in relation to resource recycling. *Soil Sci.Plant Nutr.*, **39(2)** : 257-267.
2. Armstrong, W. (1979) : Aeration in higher plants. In : *Advances in Botanical Research*, vol. 7 (Ed, by J.R Etherrington), pp. 290-332 . John Wiley, Chichester. *Austr. J.Exp. Agric. Anim. Husb.* **18** : 270-275.
3. Barnes, D. and P. A. Fitzgerald, (1987) : "Anaerobic wastewater Treatment processes" In : *Environmental Biotechnology*, John wiley & Sons.
4. Beverly, D. McIntyre and Susan J. Riha. (1991) : Hydraulic conductivity and nitrogen removal in an artificial wetland System. *J. Environ. Qual.* **20** : 259-263.
5. Claude E. Boyd. (1970) : Vascular aquatic plant for mineral nutrient removal from polluted waters. *Economic Botany.* **23** : 95-103.
6. De Jong, J. (1976) : The purification of wastewater with the aid of rush or reed ponds In: *Biological control of water pollution* (Ed.by J. Tourbier and R.W Pierson, Jr) *U. of pennsylvania press*, Philadelphia : 133-139.
7. Gakstatter, J.H etal, (1978) : "A survey of

- phosphorous and nitrogen levels in treated municipal wastewater." *J. Water Poll. Control Fed*, 50, 91 : 718-722.
8. Haberl, R. and R. Perfler. (1991) : Nutrient removal in a reed bed system. *Wat. Sci. Tech.* **23** : 729-737.
 9. Hans Brix (1987) : Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plant - The root - zone method. *Wat. Sci. Tech.* vol. **19** : 107-118.
 10. Jackson, M. B. & H.C. Drew (1984) : Effect of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In : *Flooding and Plant Growth* (Ed. by T.T. Kozlowski), pp. 47-128. Academic press.
 11. 정광용, 윤순강, 우기대, 김동수. (1991) : 축산폐수정화 실증시험. 농업기술연구소보고서(화학부) 농진청. 39-42.
 12. 김복영, 김규식, 박영대. (1988) : 畜産廢水의 오염물질제거를 위한 수초선발이용연구. 한국환경농학회지 **7(2)** : 111-116.
 13. 김규식, 조일환, 우기대. (1986) : 축산폐수오염의 생물학적 제거방법연구. 농업기술연구소보고서(화학부편) : 26-31.
 14. Kobayashi, H and B.E. Rittmann (1982) : Microbial removal of hazardous organic compounds. *Environ. Sci. Technol.* **16** : 170-183.
 15. 한국수의공중보건학회. (1991) : 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률 시행규칙. 한국수의공중보건학회지 **15(4)** : 323-377.
 16. Krasovskil L.I. V.A. Chaschchukhin (1974) : Oxygen regime of the rootstocks of common reed. *Soviet plant physiology* **21(2)** : 255-259.
 17. 이호준, 양효식. (1993) : 생육지의 토양염분 농도에 대한 갈대 (*Phragmites communis* Trin.) 개체군의 적응. 한국생태학회지 **16(1)** : 63-74.
 18. Levin, G. V. et al. (1965) : *J. WPCF*, **37**, 800.
 19. Magdoff F.R., D.R.keeney, J. Bouma and W.A. Ziehell (1974) : Columms representing moundtype disposal systems for septic tank effluent: II Nutrient transformations and bacterial Pollutions. *J. Environ. Qual* **3** : 228-234.
 20. Mason, C. F. and R. J. Bryant. (1975) : Production, nutrient content and decomposition of *Phragmites communis* Trin. and *Typha angustifolia* L. *J. of Ecology*. **63(1)** : 71-95.
 21. Mikael Pell and Fred Nyberg (1989) : Infiltration of wastewater in a newly pilot sand filter system: I. Reduction of organic matter and phosphorous. *J. Environ. Qual* **18** : 451-457.
 22. Oh. K. H. and B. S. Ihm. (1983) : Seasonal Changes in productivities and soil properties in *Phragmites communis* Trin. communities on the Sumjin river. *Korean J. Ecology* **6** : 90-97.
 23. Rand,M.C.,A.E.Greenberg, and M.J.Taras.(1976) : Standard methods for the exmination of water and wastewater. American Public Health Association 14th Ed.543-550.
 24. Reddy, K. R. (1984) : *Aquatics*, **6(1)**, 15 In 冲陽子. 1991. 水生雜草が有する機能の活用. 農業技術 **46(12)** : 537-542.
 25. Roggo, M., M. Glauser and M. Aragno. (1987) : Methane digestion of a mixture of reeds and sludge from a purification plant. *Bull. Sco. Neuchatel Sci. Nat.* **110** : 101-108.
 26. Schulthorpe, C. D. (1967) : The biology of aquatic vascular plant. 110. Arnold. London.
 27. Stephenson, M., G. Turner, P. Pope, J. Colt, A. Knightm, and G. Tohobanoglous.(1980) : Publication No. 65, The use and potential of aquatic species for wastewater treatment. Pub. by California State Water Resources Control Board.

28. Stowell, R., S. Weber, G. Tchobanoglous, B. Wilson and K. Townzen. (1982) : Mosquito considerations in the design of wetland systems for the treatment of wastewater. Department of Civil Engineering, Univ. of California, Davis, California, and Vector Biology Control Branch, California State Department of Health Services, Sacramento, CA.
29. Tiedje, J. M., A. J. Sexstone, T. B. Parkin, N. P. Revsbech, and D. R. Shelton (1984) : Anaerobic processes in soil. *Plant and Soil*. **76** : 197-212.
30. Westlake, D. F. (1963) : Comparisons of plant productivity. *Biol. Rev.* **38** : 385-425.
31. Wolverton, B. C. (1983) : Hybrid wastewater treatment system using anaerobic microorganisms and reed (*Phragmites communis* Trin) *Economic Botany* **36(4)** : 373-380.
32. 이인선. (1991) : 질소, 인 처리기술. 한국산업미생물학회. **4(1)** : 68-76.
33. 金福賢. (1992) : 조류증식의 원인물질 인산염의 제거로 富營養化 현상을 막는다. 코스모피어. **9월호** : 69-73.