

진동막 분리장치를 이용한 축산폐수의 질소·인 제거에 관한 연구

지은상·김재우*·신대윤**

아주환경 주식회사·경원전문대학 환경공학과*·조선대학교 환경공학과**

The removal of nitrogen & phosphorus for the swine wastewater by VSEP membrane system

Eun-Sang Chi·Jae-Woo Kim*·Dae-Yewn Shin**

AJU Environmental Systems Inc.,

Department of Environmental Hygiene, Kyungwon Junior College,*

*Department of Environmental Engineering, Chosun University**.*

Abstract

Conventional membrane systems was difficult to treatment for the swine waste water. Technological advances in membrane filtration systems have created opportunity for the swine wastewater to treat effluent streams in order to meet stricter environmental constraints. "Vibratory Shear Enhanced Processing(VSEP)" developed by new logic international makes it possible to filter effluent streams without the fouling problems exhibited by conventional membrane systems. Various kinds of waste water occurred to and swine wastewater experiment with "VSEP" set up conventional reverse osmosis membrane (ACM-4, ESPA, BW-30).

The results were as follows : Treatment efficiency for the input COD(Form 332mg/ℓ to 4,968mg/ℓ) was 98% ~ 99.8%. Treatment efficiency for the input SS(Form 140mg/ℓ to 4,040 mg/ℓ) was 100%(All together). Treatment efficiency for the input T-N(Form 155mg/ℓ to 934 mg/ℓ) was 97% ~ 99.8%. Treatment efficiency for the input T-P(Form 28.6mg/ℓ to 132mg/ℓ) was 99.7% and up.

ESPA membrane excels three types of reverse osmosis membranes applied VSEP in removal efficiency.

I. 서 론

양돈폐수는 유기물질 뿐만 아니라 영양염류인 질소와 인을 다량으로 함유하고 있어 기존 폐수처리 시설로는 만족할 만한 처리효율을 얻기가 힘들다. 이러한 양돈폐수를 발생시키는 국내 양돈업은

대부분 소규모이어서 양돈 폐수처리 시설 및 운전 관리에 막대한 투자를 할 수 있는 경제적인 여건이 형성되어 있지 못할 뿐만 아니라 기존에 설치된 시설에도 인력수급에 차질이 있어 원만한 운영이 제대로 이루어지지 못하고 있다. 또한, 현재가 동중이거나 계획중인 양돈폐수 처리장은 대부분

활성슬러지법을 이용한 생물학적 처리공정을 적용하고 있어서 질소와 인의 제거가 제대로 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서 기존의 활성슬러지법을 적용하여 처리된 양돈폐수는 다량의 질소와 인을 포함하고 있으며, 이는 하천과 호소에서 부영양화를 발생시키는 주요한 원인으로 작용하고 있다¹⁾.

정부에서도 1991년부터 국고지원 사업으로 양돈폐수처리시설 설치사업을 추진하여 1994년 말 현재 이천군, 김해군, 안동시에 3개의 처리시설이 설치, 가동되고 있으며, 설계 중이거나 공사 중인 시설은 총 83개소나 된다. 그러나 국내 축산업은 규모가 대부분 영세하고 폐수처리시설 및 처리시설의 처리효율이 낮아 실질적인 오염저감 효과는 미비한 상태이다.

양돈폐수는 자체 pH가 매우 높아 자연적인 암모니아 탈기가 진행되기 때문에 암모니아로 인한 악취가 심하며, 유기물질의 농도가 높아 생물학적으로 처리할 때 2차 오염의 전구 물질로 작용할 수 있는 Humic acid와 Fulvic acid를 발생시켜 폐수 자체의 색도를 높이는 문제점이 있다. 또한 분과노의 분포비에 따라 콜로이드 입자성 물질이 많아 1차 침전지의 침전효율이 낮을 뿐만 아니라, 산소 전달효율도 저하시킨다. 또한 유입수의 고형물에 포함된 질소와 인 농도는 유입수 고형물 농도에 따라 심하게 변화하여 생물학적 처리과정에서 미생물의 충격요인으로 작용한다. 양돈폐수를 처리하는 처리시설로서는 정화조에 침전된 고형물질을 퇴비화 하는 간이 정화조 시설이 가장 많으며, 그 다음으로 저장 액체비료화 순으로 대부분 자연처리방식을 택하고 있으며, 최근에는 톱밥 비용 상승으로 간이 정화조 설치가 감소되고 있는 추세이다^{2,3)}.

특히, 돈사폐수를 효과적으로 처리하기 위해서는 운전관리 및 유지가 간편하고 기존 처리시설에 적은 개·보수를 통하여 적용 가능성이 높은 처리공정을 시급히 개발되어야 할 것이다.

따라서, 이를 위한 기존의 막분리 기술은 정밀여과(MF : Micro filter), 한외여과(UF : Ultra filter), 나노필터(NF : Nano filter), 역삼투막(RO : Reverse osmosis) 등등의 분리막이 있었으나, 이들의 문제

점은 파울링(Fouling), 저용량에 적용, 폐수처리 농도한계, 분리막의 수명, 운전비용 등등의 문제점들에 의하여 특히, 돈사폐수와 같은 고농도의 COD와 난 분해성인 질소와 인을 처리하는데 있어서 적용하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 기술로써 진동막 분리장치(VSEP : Vibratory shear enhanced processing)를 선정할 수 있다.

진동막 분리장치(VSEP)는 멤브레인 표면에 고진동의 진단파를 부여함으로써 막의 오염이 없고, 역세척(Back-washing)이 필요 없으며, 기존의 Cross flow filtration에 비해 10배 빠른 여과속도를 나타낼 수 있는 새로운 개념의 여과장치이다. 에너지의 99%가 Shear wave로 전환시켜, 높은 여과 효율을 얻을 수 있는 VSEP은 청결 유지와 분리막의 교체 등에 드는 운전 경비도 절감할 수 있다⁴⁻⁶⁾. 또한 VSEP은 공정수 또는 폐수를 물리적인 여과 공정을 거친 후 고온에서 재사용하는 것이 가능하므로 BC유 및 Steam의 절감효과도 있으며, 원폐수를 여과하여 재사용할 경우 기존의 폐수처리 공정을 거치지 않으므로 폐수처리에 사용되는약품 사용비와 인건비, 운전경비도 절감할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존의 분리막 중 3 종류(ACM-4, ESPA, BW-30)의 역삼투막을 원형으로 제작하여⁷⁾, 이를 진동막 분리장치에 각각 장착하고, 각각의 분리막에 대하여 기존의 분리막 기술로써 처리가 어려웠던 돈사폐수의 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총 질소(T-N), 총 인(T-P) 등을 측정하여 처리율을 알아보았다.

II. 실험장치 및 조건

본 실험은 A축가에서 배출되는 양돈폐수를 실험 대상으로 하였으며, 실험장치 즉 역삼투막(ACM-4)을 장착한 진동막 분리 장치의 처리효율을 알아보기 위하여 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총 질소(T-N), 총 인(T-P)에 대하여 각각 서로 다른 여러 가지의 유입농도에 대한 각각의 처리율을 알아보았으며, 또한 역삼투막인 ACM-4, ESPA, BW-30을 각각 장착한 진동막 분리장치의

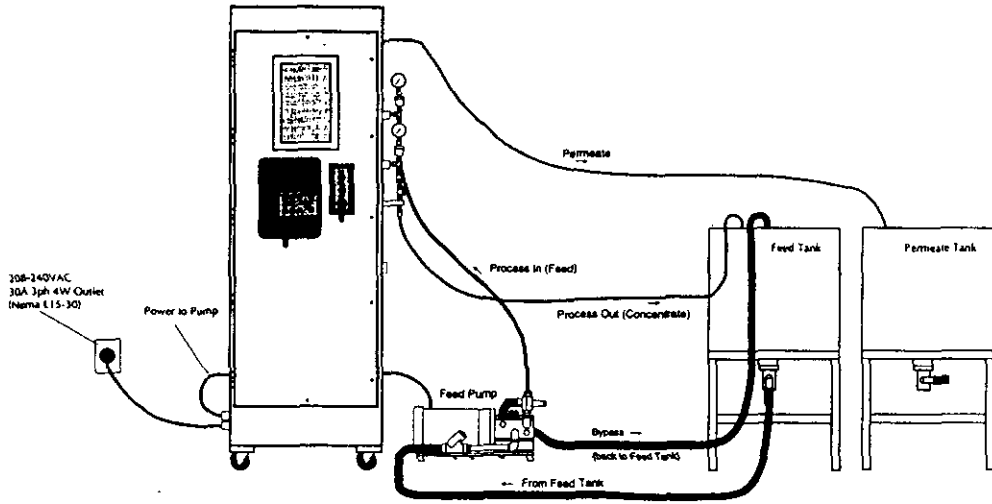


Fig. 1. A development figure of VSEP series L. for experimental equipment.

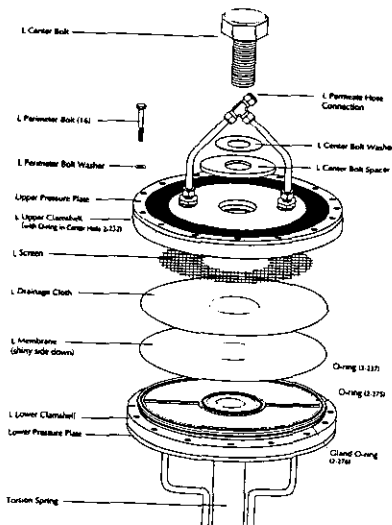


Fig. 2. Assembly figure of series L. filter pack.

처리효율을 알아보기 위하여 많은 인자를 비교하

였으며, 이에 대하여 사용된 분리막의 성능을 평가 하였다.

Fig. 1은 본 실험에 사용된 실험장치인 진동막 분리장치(VSEP series L.)에 대한 대략적인 전개도이며, 이는 오염물질을 처리하는 주 반응기인 본체와 원 폐수를 본체에 공급하는 Feed Pump와 원 폐수를 저장하는 Feed Tank와 처리수를 저장하는 저류탱크로 크게 4가지로 구분할 수 있다.

Fig. 2는 이 진동막 분리 장치(VSEP series L.) 내부에 원형인 기존의 여과막을 장착할 여과장치의 조립도를 대략적으로 나타낸 것이다.

III. 실험결과 및 고찰

Table. 1은 A축가에서 발생된 돈사폐수를 역삼투막(ACM-4)을 장착한 진동막 분리장치를 이용하여 처리한 결과를 날짜별로 화학적 산소요구량

Table 1. Water quality analysis of the COD & SS for the Before and After Treatment by VSEP membrane system. (Unit : mg/ ℓ)

Day Classification	1day		2day		3day		4day		5day		6day		7day	
	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P
Before treatment	193	31.17	155	132	564	28.6	403	106	295	42.8	583	96.8	934	46.18
After treatment	0.78	0.019	0.158	0.07	0.7	0.089	0.59	0.05	7.1	0.03	10.2	0.004	7.1	0.007

(COD)과 부유물질(SS)를 각각 처리전과 처리 후의 분석결과를 나타낸 것이다.

Table. 1에서 나타낸 것과 같이 처리전 유입폐수의 부유물질(SS)은 저농도인 140mg/ℓ에서 고농도인 4,040mg/ℓ에 대하여 진동막 분리장치를 이용하여 처리한 결과 모두 다 부유물질이 100% 제거되었으며, 처리전 유입폐수의 화학적 산소요구량(COD)은 저농도인 332mg/ℓ에서 고농도인 4968mg/ℓ에 대하여 처리 후 상당히 많은 량의 COD 값이 떨어져 있음을 알 수 있었다. 이는 부유물질(SS)와 화학적 산소요구량(COD)의 저농도에서 고농도까지 진동막 분리장치를 이용할 경우 처리가 잘된다고 사료된다.

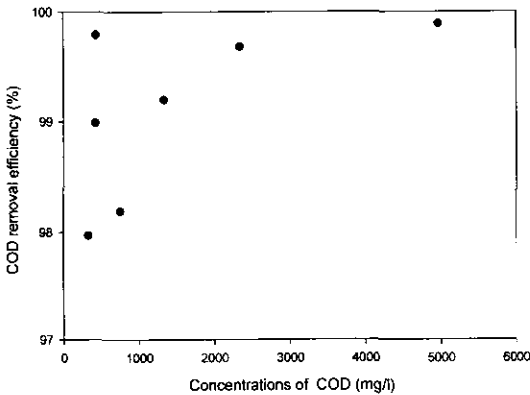


Fig. 3. COD removal efficiency vs. concentrations of COD for input water.

Fig. 3은 역삼투막(ACM-4)을 장착한 진동막 분리장치를 이용하여 처리함에 있어서 유입수의 COD 농도에 대한 COD제거율을 나타낸 것이다. Fig. 3에서 나타낸 것과 같이 저 농도에서는 98%

에서 99.8%까지 제거됨을 알 수 있었으나, 고 농도로 갈수록 더욱 더 많이 제거됨을 알 수 있었다. 이는 현재까지 알려진 공법으로 고 농도의 COD값을 갖는 축산폐수를 처리하기에 많은 어려움을 갖고 있었으나 본 연구에서 사용한 진동막 분리장치를 이용한다면 상당히 쉽게 고 농도의 COD값을 제거할 수 있다고 사료된다.

Table. 2는 A축가에서 발생된 돈사폐수를 진동막 분리장치를 이용하여 처리한 결과를 날짜별로 총 질소(T-N)과 총 인(T-P)를 각각 처리전과 처리 후의 분석결과를 나타낸 것이다.

Table. 2에서 나타낸 것과 같이 처리전 유입폐수의 총 질소(T-N)는 저농도인 155mg/ℓ에서 고농도인 934mg/ℓ에 대하여 진동막 분리장치를 이용하여 처리한 결과 대부분이 적은 수치의 총 질소값을 나타내었으며, 처리전 유입폐수의 총 인(T-P)은 저농도인 28.6mg/ℓ에서 고농도인 132mg/ℓ에 대하여 처리 후 상당히 낮은 총 인(T-P)의 값을 나타냄을 알 수 있었다.

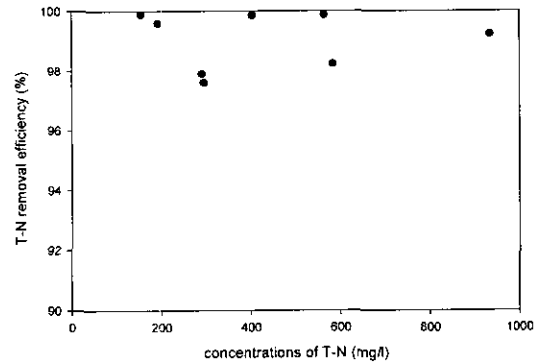


Fig. 4. T-N removal efficiency vs. concentrations of T-N for input water.

Table. 2. Water quality analysis of the T-N & T-P for the Before and After Treatment by VSEP membrane system.

(Unit : mg/ℓ)

Day	1day		2day		3day		4day		5day		6day		7day	
	COD	SS	COD	SS	COD	SS	COD	SS	COD	SS	COD	SS	COD	SS
Before treatment	421	260	432	140	332	160	758.5	330	1,332	650	4,968	4,040	2,340	2,140
After treatment	4.22	0	0.89	0	6.72	0	13.67	0	10.61	0	5.33	0	7.23	0

Fig. 4은 역삼투막(ACM-4)을 장착한 진동막 분리장치를 이용하여 처리함에 있어서 유입수의 총 질소(T-N)농도에 대한 총 질소(T-P)제거율을 나타낸 것이다. Fig. 4에서 나타낸 것과 같이 유입수의 총 질소의 농도가 저 농도에서는 처리후 제거율이 97%에서 99.8%까지 제거됨을 알 수 있었고, 고 농도로 갈수록 제거율이 훨씬 더 높은 값으로 안정화되었음을 알 수 있었다. 이는 현재까지 알려진 공법으로 처리하기가 어려웠던 오염물질로 분류된 총 질소(T-N)를 본 연구에서 이용한 진동막 분리장치를 이용한다면 쉽게 처리할 수 있음을 알 수 있었다.

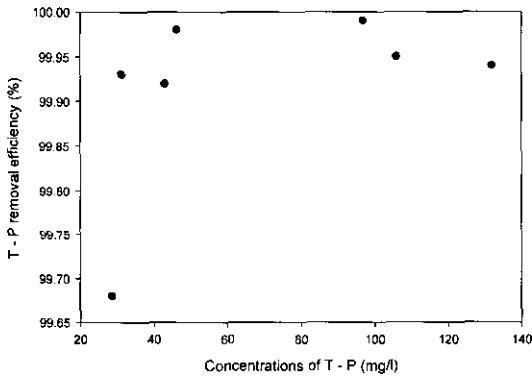


Fig. 5. T-P removal efficiency vs. concentrations of T-P input water.

Fig. 5는 역삼투막(ACM-4)을 장착한 진동막 분리장치를 이용하여 처리함에 있어서 유입수의 총 인(T-P)농도에 대한 총 인(T-P)제거율을 나타낸 것이다. Fig. 5에서 나타낸 것과 같이 유입수의 총 인의 농도가 저 농도에서는 고농도에 이르기까지 처리 후 제거율이 99.7%이상 제거됨을 알 수 있었다. 이는 현재까지 알려진 공법으로 처리하기가 어려웠던 오염물질로 분류된 총 인(T-P)를 본 연구에서 이용한 진동막 분리장치를 이용한다면 쉽게 처리할 수 있음을 알 수 있었다.

Table. 3은 진동막 분리장치에 3종류(ACM-4, ESPA, BW-30)의 역삼투막을 각각 장착하여 실험한 후 처리전과 처리후 수질 분석하여 나타낸 것이다. Table. 3에서 나타낸 것과 같이 화학적 산소 요구량(COD)은 ACM-4 막은 98.05% 제거되었으

Table 3. Treatment water by the membrane types applied VSEP.

kinds \ type	Raw waste -water	ACM-4	ESPA	BW-30
COD (mg/ℓ)	185	3.6	0.6	2.6
SS (mg/ℓ)	22.6	0.5	0.3	0.9
T-N (mg/ℓ)	116.03	11.75	3.75	4.29
T-P (mg/ℓ)	52.20	0.07	0.03	0.04
TDS (mg/ℓ)	1,300	38	43	28.4
Conductivity (μs/cm)	1,987	51.3	63	47
Na ⁺ (mg/ℓ)	113	4.3	2.98	4.11
NH ₄ ⁺ (mg/ℓ)	79.55	1.20	1.50	0.89
K ⁺ (mg/ℓ)	434.4	8.5	7.5	7.5
Mg ⁺⁺ (mg/ℓ)	24.60	0.20	0.13	0.12
Ca ⁺⁺ (mg/ℓ)	41.14	3.11	2.50	2.19
F ⁻ (mg/ℓ)	0.25	ND	ND	ND
Cl ⁻ (mg/ℓ)	146.43	8.50	7.43	5.10
NO ₃ ⁻ (mg/ℓ)	2.39	ND	ND	ND
PO ₄ ⁻³ (mg/ℓ)	68.30	1.20	0.40	0.13
SO ₄ ⁻² (mg/ℓ)	188.13	5.90	4.40	4.65

며, ESPA 막은 99.67% 제거되었고, BW-30 막은 98.59% 제거되었다. 또한 부유물질(SS)은 ACM-4 막은 97.78% 제거되었으며, ESPA 막은 98.67% 제거되었고, BW-30 막은 96.02% 제거되었다. 그리고 총 질소(T-N)는 ACM-4 막은 89.87% 제거되었으며, ESPA 막은 96.74% 제거되었고, BW-30

막은 96.30% 제거되었다. 총 인(T-P)은 ACM-4 막은 99.86% 제거되었으며, ESPA 막은 99.94% 제거되었고, BW-30 막은 99.92% 제거되었다. 따라서 진동막 분리장치에는 3종류의 역삼투막을 장착시켜 난 분해성 폐수로 알려져 온 돈사폐수를 처리한 결과 모두 다 높은 처리율을 나타냈으며, 특히 이 중에서 ESPA 막이 가장 양호한 처리율을 나타냈다. 따라서 본 연구에 사용한 (ACM-4, ESPA, BW-30)막이 각각의 인자에 높은 처리효율이 있음을 알았으며, 특히 ESPA 막이 진동막 분리장치에 장착하는 것이 가장 효율적이라고 사료된다.

IV. 결 론

난 분해성으로 분류되어 왔었던 축산폐수(A축가에서 배출된 돈사폐수)를 진동막 분리장치를 이용하여 처리한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 유입수의 화학적 산소요구량(COD)가 저농도인 332mg/l에서 고농도인 4,968mg/l에 대하여 처리한 결과 98%에서 99.8%까지 처리율을 나타내었다.
2. 유입수의 부유물질(SS)은 저농도인 140mg/l에서 고농도인 4,040mg/l에 대하여 처리한 결과 대부분이 100% 처리되었다.
3. 유입수의 총 질소(T-N)가 저농도인 155mg/l에서 고농도인 934mg/l에 대하여 처리한 결과 97%에서 99.8%까지 처리율을 나타내었다.
4. 유입수의 총 인(T-P)가 저농도인 28.6mg/l에

서 고농도인 132mg/l에 대하여 처리한 결과 99.7%이상 처리율을 나타내었다.

5. 진동막 분리장치에 장착시킬 3종류의 역삼투막 중 ESPA 막이 가장 양호한 처리율을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. Ng, W. J. and Chin. K. K.: Random packed anaerobic filter in piggery wastewater treatment, *Biological wastewater*, 20, pp. 157-166, 1987.
2. 정기섭: 하수처리장의 질소·인 제거기술, *첨단환경기술*, pp. 86-93. 2. 19-99.
3. 황병호: 탈질을 위한 질산성질소-산소의 전환계수 결정, *첨단환경기술*, pp. 132-139, 9. 1998.
4. Culkin, B.: Vibratory shear enhanced processing: A new separation technology for the paint and coating industry, *Paint and Coating Industry*, pp. 220-221, 1990.
5. Austin, G.T.: *Shreve's chemical process industries*, fifth edition, McGraw-Hill book company, pp. 633-665, 1984.
6. Reynolds Richards: *Unit operation and processes in environmental engineering*, PWS Publishing Company, 1996.
7. Blpin S. pareKh: *Reverse osmosis technology*, Marcel Dekker, Inc., 1988.