

## SAB 고율미생물반응기를 이용한 축산폐수처리의 성능 평가

임봉수<sup>†</sup> · 김도영 · 박성순<sup>\*</sup>

대전대학교 환경공학과

<sup>\*</sup>신강하이텍주)

### Estimation of Cattle Wastewater Treatment using Singang Advance Biology Reactor (SAB)

Bongsu Lim<sup>†</sup> · Doyoung Kim · Sungsoon Park<sup>\*</sup>

Department of Environmental Engineering, Daejeon University

<sup>\*</sup>Singang Hi-Tech Co., Ltd

(Received 4 June 2009, Revised 17 August 2009, Accepted 18 August 2009)

#### Abstract

This study was carried out to evaluate the high rate biological reactor such as lab scale reactor before the application in site, and to get the basic data for possibility using liquid fertilizer with the effluent from biological reactor when the centrifugal machine was applied. The total volume of this reactor in 6 L, in composted of anoxic reactor (2 L), aerobic reactor (2 L), and nitrification reactor (2 L). BOD removal efficiency rates when centrifugal machine was applied after effluent from biological reactor are over than 95%. This biological reactor was required post process to satisfy the effluent standards, and was need centrifugal machine to control the washout of microbes in the reactor. T-N removal efficiency rate in HRT 24 hr with centrifugation is 80.0%, and it is desirable to operate less than 1.3 kgN/m<sup>3</sup> · d for 70% of T-N removal efficiency rate. T-P removal efficiency rate in HRT 24 hr is 68.2%, and become higher 71.3% after centrifugation. Considering in the 28.6% T-N removal efficiency rate, the nitrogen contents of the effluent from reactor is 0.34% to satisfy the liquid fertilizer.

**keywords** : Cattle wastewater, Centrifugal separator, High rate biological reactor, Liquid fertilizer

### 1. 서론

고농도 폐수에는 식품폐수 및 축산폐수, 제지폐수, 각종 석유화학폐수 등이 속한다. 최근 국내에서 축산분뇨를 처리하는 기술은 유기물과 질소를 동시에 제거하여야 하기 때문에 재래식 활성슬러지를 대신할 수 있는 A2O, 수정 Bardenpho, UCT 등이 적용되고 있다.

이 공정들은 약간의 차이는 있으나 혐기 반응조 및 무산소 반응조를 추가하여 연속흐름 반응기에서 공간적으로 혐기조, 무산소조 및 포기조를 순서대로 구분하여 유기물(탄소), 질소, 인 제거를 달성하고자 하는 공법이다. 이 고도처리 공법들은 슬러지 반송유량이 보통 원수 유량의 최대 4배까지도 되기 때문에 대규모 처리장에서는 펌프의 시설 및 운전비용의 문제가 있다. 또한 원폐수의 수질변화에 따라 운전조건을 변경하는데 유연성이 부족하다는 문제점도 제기되고 있다. 이 외에 SBR(Sequence Batch Reactor)이 축산분뇨에 많이 사용되고 있으며 회분식이라는 문제점에 대하여 예비조를 두거나 2개 이상의 SBR을 설치함으로써 계속 유입되는 폐수를 연속 흐름의 형식으로 처리할 수 있다.

미국의 고농도 폐수처리기술은 넓은 부지를 사용하지 않는 유지관리비용을 추구하고 있어, 저율(Low-rate) 또는 중율(Medium-rate) 방식의 혐기성 설비와 후단의 라군으로 구성되어 있으며 혐기성 설비 없이 라군으로 독자적으로 처리하는 경우도 많다. 유럽은 혐기성의 경우 UASB, EGSB(Expanded Granular Sludge Bed)를 주로 사용하고 있고 생물학적 영양소처리는 변법 SBR을 많이 사용하고 있으며 가압부상의 기술이 많이 발달되어 있다(환경부, 2001).

고농도 폐수의 하나인 축산폐수의 경우, 유럽에서는 대부분의 축산농가는 축산분뇨를 액비화하여 토지살포를 하고 있으며, 혐기성소화에 의한 축산분뇨처리도 일부 사용하고 있다. 그러나 유럽의 경우도 토지살포로 인한 지하수중의 질산염 증가로 질소, 인의 액비살포기준이 점차 강화되고 있어, 축산폐수의 고도처리에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 덴마크에서는 축산분뇨의 혐기성처리시 메탄발효 후 슬러지를 역삼투 방식으로 40%의 고형물과 60%의 수분으로 분리하기 위한 실증 연구를 수행하였으나 역삼투압 방식의 운전 공정에 문제가 야기되어 현재의 판단으로 포기상태이다. 그 외, 진공압으로 증발방법, 벤토나이트로 응집, 지오라이트에 의한 이온교환 등의 방식이 연구되었고 상용화도 이루어졌다. 독일에서는 방류수 수질까지 가능한 분뇨의 정화 방법에 관하여는 여러 가지 공정이 현재 pilot

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.

bslim@dju.kr

또는 실제규모의 시설에서 조사되고 있다. 일반적으로 이러한 공정들은 4개 또는 그 이상의 처리단계, 즉 고액분리, 혐기/호기 발효, 암모니아 추출, 침전, 역삼투압 등으로 되어 있다.

상기 국·내외의 상황들을 종합해보면 현재까지 생물학적 고농도 유기물 함유폐수처리의 기술들이 대부분 고도처리의 필요성에 따라 농도나 성상에 따라 혐기성 공정후 활성슬러지법을 이용하는 생물학적 영양소제거(Biological Nutrient Removal, BNR) 공정을 적용하거나 BNR 공정만을 적용하는 단계까지 도달해 있다.

그러나 지금까지의 BNR 공정들은 시설비 및 유지관리비가 많이 소요되고 악취발생의 문제점이 있으며, 특히 소용량의 시설에 적용하기 곤란한 문제점들을 가지고 있다. 따라서 BNR공정을 수행하면서도 부지절약을 위한 집적화가 가능하고 에너지 절약이 가능하며, 악취발생을 저감할 수 있으며, 고농도 소규모 시설에 적용가능한 처리기술에 대한 개발이 필요하다.

본 연구는 고농도폐수인 축산(한우)폐수를 대상으로 고율미생물 반응기(Singang Advance Biology Reator, SAB)를 현장에 활용하기 전에 실험실에서 소규모 반응조를 운전하여 그 처리성능을 평가하고 후단에 필요시 원심분리기 적용할 경우 처리수의 액비 활용 여부를 진단하기 위한 기초 자료를 얻기 위한 것이다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 실험장치

본 연구에서 사용된 공정은 A/O공정과 비슷한 고율미생물반응기를 사용하였고 반응조는 아크릴로 제작하였으며, 유입과 반송은 미세유량조절 펌프를 사용하였고, 전체 공

은 유입수가 수리학적으로 자연유하하도록 설치하였다.

Fig. 1은 반응조의 모식도를 나타내며 전체 공정의 용량은 6 L이며 제작된 반응조는 탈질조(무산소조), 활성화조(포기조), 질산화조(포기조)의 단위공정으로 구성되었고 각 단위공정의 용적은 각각 2 L이며, 부피비율은 무산소조 : 포기조의 비율이 1:2인 셈이다. 각 반응조의 흐름을 원활히 하기 위해 지름 20 mm의 격벽 구멍을 설치하였다. 탈질효과를 위해서 질산화조에서 무산소조로 내부반송을 하였다. 활성화조와 질산화조에서의 산소공급은 확산석을 이용한 Air Diffuser 장치를 이용하였다.

### 2.2. 운전방법

Table 1은 Mode별 운전조건을 나타낸 것으로, 내부반송율 200%이며 반응조내 미생물 농도를 유지시키면서 체류시간의 변화를 주어 각 Mode에 따른 처리효율을 비교하였다. 모두 Mode IV의 경우는 탈질조를 모두 질산화조로 활용하여 전체 반응조를 포기하여 운전하였다.

Table 2는 고율미생물반응조내에서 각 조의 실측된 운전상태를 나타낸 것이다. 실제 현장에서는 탈질조의 경우 DO가 0.2 mg/L, 활성화조와 질산화조의 경우 2.0 mg/L로 예상하여 운전되고 있으나, 본 연구에서는 실제 현장보다 높은 DO농도를 유지하고 있다. 이는 Lab scale 반응조인 이유로 실제 규모와의 차이로 인한 본 연구의 반응조가 산소

Table 1. Operating conditions by Mode

	Aeration in denitrification tank	Total HRT (hr)	Real HRT (hr)
MODE I	No	24	26.5
MODE II	No	18	16.6
MODE III	No	12	11.1
MODE IV	Yes	24	24.8

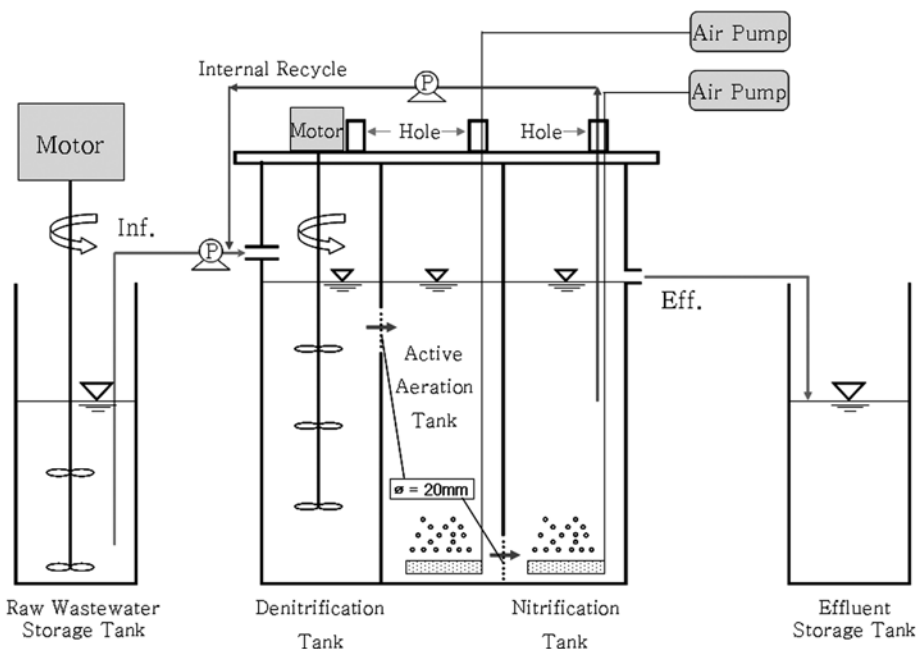


Fig. 1. Scheme of experimental equipment.

전달효율이 높은 이유라 판단된다.

Mode IV의 경우는 탈질조에서 DO 1.6 mg/L로 다른 Mode 보다 높는데 이는 탈질조 조건의 운전이 아닌 인위적인 포기조건으로 운전했기 때문에 DO가 높아진 것으로 판단되며, 활성화조 DO 5.0 mg/L, 질산화조 DO 5.7 mg/L로 DO가 높아지는 현상을 나타내고 있어 연속적인 포기공정으로 인한 이유라 판단된다. Mode IV의 pH 또한 8.4~8.5로 다른 Mode보다 0.4~1.2 정도 높음을 알 수 있다. 단, Mode IV의 반응조내 온도는 실제 현장에서는 50~60°C를 유지하는데 비해 떨어지는 것을 볼 수 있는데 작은 규모로 제작된 반응조의 크기로 인해 외부의 기온이 영향을 준 것으로 판단된다. 반응조 운전온도는 18~25°C로 운전되었으며, 시료분석 방법은 Standard method (APHA, 2005)에 의해 실시되었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 유입수 성상

대상 시료는 대전시 산내동 한우사육축사에서 배출되는 축산폐수(본 논문에서 축산폐수는 한우폐수임)를 채취하여 사용하였으며, 축산폐수중 액비의 사용여부 진단을 위해 뇨를 대상 폐수로 결정하였으나 뇨 만을 채취하기 어려운 점을 감안하여 축사에서 배출되는 분을 채취하여 실험실에서 물로 희석하여 NO. 60(공극 250 μm)의 채로 큰 험잡물을 제거한 뒤 사용하였다. 실제 한우 축산폐수에서 뇨의 배출량이 분의 1/2 정도이며(국립축산과학원, 2008) 뇨의 채취가 어려운 점을 감안하여 COD 기준으로 약 10배 높은 분(국립축산과학원, 2008)을 채취하였다. 이 경우 분은 거의 뇨가 없는 상태이므로 분과 물을 1:10 비율로 섞어 뇨의 농도에 맞추어 사용하였다. 대상 시료의 성상은 Table 3에서와 같이 평균 BOD 6,400 mg/L, COD 9,900 mg/L, SS 9,450 mg/L, T-N 347 mg/L, T-P 227 mg/L로 분석되었다. 본 대상 시료는 국립축산과학원(2008)의 자료에 나타난 뇨의 성상(BOD 6,686 mg/L, COD 7,696 mg/L, SS 1,412 mg/L, T-N 4,801 mg/L, T-P 25 mg/L)과 비교할 때 BOD와 COD는 비슷하며 SS와 T-P는 매우 높고, T-N은 매우 낮은 것으로 나타났다. 본 연구에서 사용된 폐수의 성상이 실제 뇨 폐수와 SS, T-N, T-P, 기타 성상에서 차이가 있으나 일반적으로 분이 뇨보다 대부분의 성분이 높은 것으로 나타남으로(김정대 등, 2002) 본 연구에서의 고농도 유기물 제거와 질소 제거 및 처리후 질소의 액비 사용여부를 판단하기 위한 시료로는 문제가 없을 것으로 판단된다. 또한

Table 3. Composition of influent (unit : mg/L)

	Influent		
	Min.	Max.	Avg.
TBOD	6,200	6,600	6,400
SBOD	3,700	4,800	4,250
TCODcr	9,300	10,500	9,900
SCODcr	4,200	6,400	5,300
TSS	6,500	12,400	9,450
VSS	5,700	6,800	6,250
T-N	303	390	347
NH <sub>4</sub> -N	115	180	148
NO <sub>3</sub> -N	46	90	68
T-P	204	250	227

유입수내 NH<sub>4</sub>-N은 평균 148 mg/L, NO<sub>3</sub>-N은 평균 68 mg/L로 선행연구(환경부, 2007b)의 유입수 NH<sub>4</sub>-N 평균 2,657 mg/L, NO<sub>3</sub>-N 평균 107 mg/L와 비교해 볼 때 본 연구의 대상시료가 NH<sub>4</sub>-N은 약 18배 낮고, NO<sub>3</sub>-N은 1.6배 낮은 것으로 나타났다.

#### 3.2. 유기물 제거

Mode별 COD 처리의 운전결과를 Table 4에 나타내었다. Mode별 TCOD 처리효율은 체류시간이 길어짐에 따라 처리효율이 높아졌으며 SCOD도 TCOD보다 양호하지만 유사한 경향을 띠고 있다. 이 이유는 처리수가 침전공정 없이 질산화조 상류부에서 유출된 것으로 질산화조의 미생물농도가 처리수에 포함되어 측정하였기 때문에 TCOD 처리효율은 낮은 편이고 SCOD 처리효율은 높은 편이라 판단된다.

Table 5는 Mode별 BOD 처리의 운전결과를 나타내었고, Fig. 2는 이에 따른 Mode별 COD와 BOD의 처리효율을 그림으로 각각 나타내었다. SBOD 처리효율은 각 Mode 별로 매우 양호한 처리효율로 나타났다. Mode IV는 SBOD가 TBOD에 비해 매우 높게 나타났으며, COD의 경우처럼 질산화조의 미생물이 유출수에 포함되지 않았기 때문에 양호한 것으로 판단된다. 특히 Mode III의 경우는 유출수 SS 농도가 7,300 mg/L 임에 비해 Mode I의 경우 처리수의 SS는 5,400 mg/L로 1.3배 증가한 것으로 나타났는데 이는 Mode III의 운전시 적절한 폐슬러지를 폐기하기 않았기 때문에 높아진 것으로 판단된다.

Mode IV는 포기조건만으로 운전한 것으로 같은 시간의 Mode I에 비해 처리효율이 낮은 것으로 나타났다. 동일한 체류시간에서 Mode IV의 경우가 Mode I에 비해 유기물질

Table 2. Operating conditions of SAB

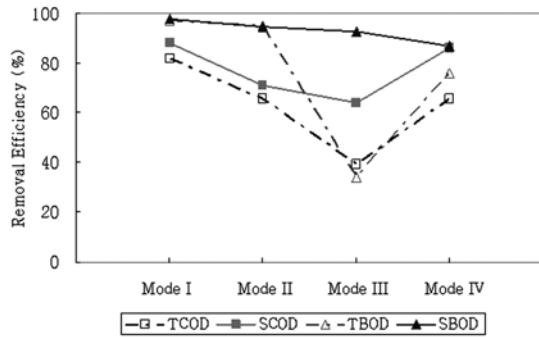
	Denitrification tank				Activation tank				Nitrification tank			
	DO (mg/L)	pH	Temp. (°C)	MLSS (mg/L)	DO (mg/L)	pH	Temp. (°C)	MLSS (mg/L)	DO (mg/L)	pH	Temp. (°C)	MLSS (mg/L)
MODE I	1.0	8.0	23.2	12,400	1.2	8.0	23.1	11,800	2.1	7.9	23.1	10,800
MODE II	0.46	7.2	24.3	11,800	2.3	7.2	24.3	11,900	2.8	7.1	24.3	10,200
MODE III	0.35	8.0	24.1	12,000	3.1	8.0	24.1	10,700	3.7	8.1	24.1	12,200
MODE IV	1.6	8.4	18.2	11,200	5.0	8.5	18.2	12,000	5.7	8.5	18.2	12,500

**Table 4.** COD removal efficiency by Mode

	Influent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Removal efficiency (%)	
	TCOD	SCOD	TCOD	SCOD	TCOD	SCOD
I	9,700	6,400	1,800	760	81.7	88.1
II	9,500	4,200	3,300	1,200	65.5	71.1
III	9,300	5,900	5,700	2,100	39.0	64.1
IV	10,500	4,800	3,600	850	65.6	85.9

**Table 5.** BOD removal efficiency by Mode

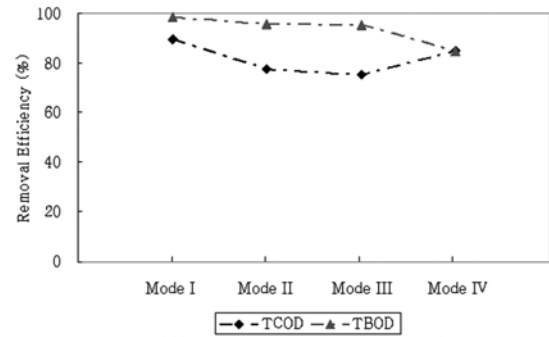
	Influent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Removal efficiency (%)	
	TBOD	SBOD	TBOD	SBOD	TBOD	SBOD
I	6,400	4,000	170	88	97.3	97.8
II	6,700	3,900	330	213	95.1	94.6
III	6,200	3,700	4,100	275	34.1	92.6
IV	6,500	4,800	1,600	633	75.8	86.8



**Fig. 2.** Organic removal efficiency by Mode.

이 낮게 나타난 것은 Mode I의 탈질반응조에서 탈질시 유기물질이 더 많이 처리되었기 때문이다.

Table 6은 Mode별 유출수를 원심분리한 후(G=3000 고정) 최종처리효율을 나타낸 것이다. Fig. 3은 이에 대해 Mode별 유기물질 처리효율을 그림으로 나타낸 것이다. Mode I과 Mode II의 경우 TBOD는 거의 차이가 없음을 볼 수 있으며, TCOD는 Mode I이 약 7%, Mode II가 약 12% 더 처리되는 것으로 보인다. Mode III의 경우는 원심분리전보다 처리효율이 TCOD는 약 2배, TBOD는 약 2.8 배 높아짐을 볼 수 있다. 이는 체류시간이 짧아짐에 따라 반응조내 SS성분이 처리되지 않고 그대로 유출되어 원심분리의 수질이 높았기 때문이다. 또한 Mode II와 Mode III에서 볼 수 있듯이 원심분리후 처리효율이 매우 비슷한 것으로 나타나, 만약 실제 현장조건에서 폐수 성상의 변화 또는 운전상 문제가 발생되어 유출수내에서 이와 같은 SS 성분이 높아질 경우 원심분리공정을 적용하는 것은 일시적



**Fig. 3.** Organic removal efficiency after centrifugation.

인 해결방안이 될 수 있으리라 판단된다.

Mode IV의 경우도 마찬가지로 원심분리후 처리수에 미생물의 영향을 제거하였으므로 TBOD 9%, TCOD 19% 정도로 처리효율이 향상됨을 볼 수 있다. 이 경우에도 탈질반응조가 있는 공정이 없는 공정보다 BOD 처리효율이 높은 것은 탈질시 유기물질이 어느정도 처리되어 그 영향을 준 것으로 판단된다.

Fig. 4는 유기물질 부하율(kgBOD/m<sup>3</sup>·d)에 따른 유기물질 처리효율을 나타낸 것으로 어느정도의 부하율까지 처리 가능한가를 평가하기 위한 것이다.

실제 현장에 설치된 고율미생물 반응기(특허출원 제 102868호)는 기존의 송풍기를 이용한 포기 방식이 아닌, 각 반응기 내부에 설치된 교반, 펌핑, 에어레이터 역할을 하는 회전수를 조절할 수 있는 수중펌프를 설치하고 이젝터를 사용하여 수중 펌프 유입수와 공기를 혼합시켜 산소의 이용율을 최대한으로 높이도록 한다. 기존의 혐기성 공정과

**Table 6.** Organic removal efficiency after centrifugation

	Influent (mg/L)		After centrifugation (mg/L)		Removal efficiency (%)	
	TCOD	TBOD	TCOD	TBOD	TCOD	TBOD
I	9,700	6,400	1,030	110	89.4	98.3
II	9,500	6,700	2,200	290	77.4	95.7
III	9,300	6,200	2,300	300	75.3	95.2
IV	10,500	6,500	1,600	1,000	84.8	85.0

\* Centrifugation condition (G=3000)

BNR공정을 동시에 수행하면서 처리효율을 높이며 단위 부하 용량을 높게(BOD Loading  $20 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ )하여 필요 부지면적을 줄이고 유지관리비를 적게 한다. 또한, 유입폐수의 각종 부하, pH 변동 및 저해물질에 대한 Stress 대처 능력이 우수하고 Shock 발생 시 회복기간이 짧고, 침전조를 사용하지 않고 기계 설비인 원심분리기(Centrifugal Separator)를 사용하여 침전조 운영에 따른 각종 문제점을 예방할 수 있는 시설로 설계되었다(환경부, 2007a).

본 연구에서 고율반응조의 처리수를 원심분리하여 BOD 처리효율을 보면  $13.4 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$  부하에서 약 95%까지 처리가능하다. 본 처리공정의 설계시 처리효율을 BOD 부하율  $20 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 에서 BOD 85%로 목표하고 있는데 본 실험에서도 충분히 목표효율에 만족할 것으로 나타났다. 또한 pilot scale 운전결과를 보면 BOD 부하율  $10.1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 에서 처리효율이 83% 나타나 lab scale의 실험인 본 연구가 좀더 좋은 결과를 나타내고 있다.

강성환과 임재명(1999)은 활성슬러지내 미생물 농도  $8,240 \text{ mg/L}$ 에서 체류시간 6.2 hr, BOD 부하율  $10.1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 로 양돈폐수처리를 위해 운전한 결과 SCOD는 모두 처리되고, 분해가 느린 COD의 경우는 약 70%의 처리효율을 보인다고 보고한 바 있다. 따라서 본 연구에서 BOD 부하율이 높음에도 불구하고 비교적 좋은 처리효율을 보이는 것은 고율미생물반응조내에서 SBOD의 성분은 거의 모두 처리되며, 남은 부유성 BOD성분은 원심분리로 인해 제거된 것으로 판단된다.

SBOD의 경우는 여지를 통과한 후의 수질을 분석한 결과 이므로 원심분리후의 BOD의 경우와 거의 유사한 결과를 가지는 것을 볼 수 있다. SCOD의 경우는 SBOD에 비해 부하율이 증가할수록 처리효율이 감소하는 것으로 나타나고 있는데 이는 원수내에 NBDCOD 물질이 함유되어 미생

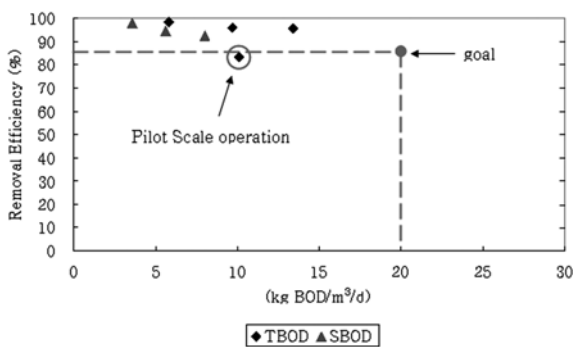


Fig. 4. BOD removal efficiency of organic loading rate (inclusion centrifugation).

물에 의한 생물학적 처리가 충분하지 못했기 때문이다.

한편 유출수의 원심분리후의 수질은 체류시간이 가장 긴 Mode I의 경우에도 축산폐수종말처리시설의 방류수 수질 기준인 BOD  $30 \text{ mg/L}$ , CODmn  $50 \text{ mg/L}$ , SS  $30 \text{ mg/L}$ 와 비교해 볼 때 초과되므로 추가적인 수처리공정이 필요한 것으로 판단된다.

### 3.3. 질소제거

#### 3.3.1. 질산화

Table 7은 Mode별 T-N과  $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 처리효율을 나타낸 것이며 Fig. 5는 이에 대한 결과를 그림으로 도시한 것이다. 체류시간이 길수록 T-N처리효율은 높아지는 반면 질산화율은 Mode III가 조금 떨어지지만 거의 비슷한 결과를 나타내고 있다. Mode III의 경우 총질소처리효율이 낮은 것은 질산화된  $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 내부반송된 후 탈질조에서 탈질을 위한 충분한 체류시간이 확보되지 않기 때문인 것으로 사료된다.

A2/O공정에서 일반적인 T-N 처리효율은 40~70%로 보고되고 있어(고광백 등, 2004) 본 연구가 비교적 처리효율이 양호한 것으로 판단된다. Mode IV의 경우는 T-N처리효율이 28.6%로 낮으며 질산화율은 76.3%로 높은 편이다. 이는 전체공정이 포기로 인해 질산화가 잘 이루어지고, 상대적으로 탈질은 인위적으로 일어날 수 있는 조건을 주지 않아 질소처리가 낮은 결과라 판단된다.

Table 8은 반응조에서 최종배출되는 유출수를 원심분리한 후 수질결과를 나타내고 있다. 유출수를 원심분리한 후 수질을 Table 7과 비교할 때 Mode별로 T-N이 유출수보다 각각 6.1%, 15.3%, 12%, 45.4% 더 처리된 것으로 나타났다. 특히 Mode IV의 경우 매우 큰 폭으로 증가된 것을 알 수 있으며, 이것은 유출수내 부유물질이 상대적으로 많아 원심분리로

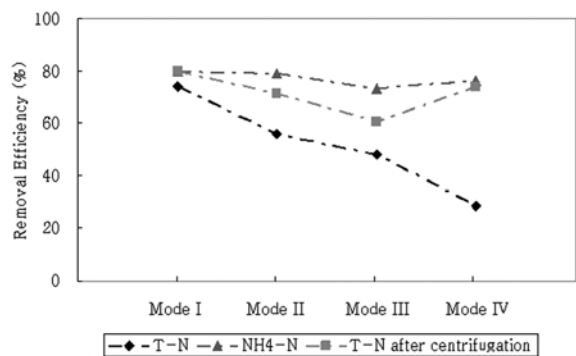


Fig. 5. Nitrogen removal efficiency by Mode.

Table 7. Nitrogen removal efficiency by Mode

	Influent (mg/L)			Effluent (mg/L)			Removal efficiency (%)	
	T-N	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	T-N	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	T-N	$\text{NH}_4\text{-N}$
I	387	115	90	101	23	55	73.9	80.0
II	307	157	65	135	32	90	56.0	79.2
III	256	180	46	133	48	53	48.0	73.3
IV	388	152	73	277	36	147	28.6	76.3

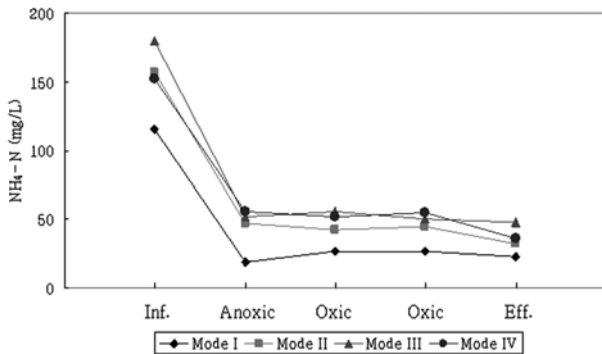
**Table 8.** Total nitrogen removal efficiency after centrifugation

	Influent (mg/L)	After centrifugation (mg/L)	Removal efficiency (%)
I	390	78	80.0
II	307	88	71.3
III	303	120	60.4
IV	388	101	74.0

인해 부유물질과 함께 유기질소가 처리된 것으로 판단된다.

Mode별 질산화조에서의 질산화율(Specific Nitrification Rate, SNR)은 Mode I이 1.98이고 Mode II가 2.95로 가장 높으며 Mode III가 1.36으로 가장 낮게 나타났다. 각각의 Mode에서 충분히 질산화가 이루어지는지 판단하기 위해 유기성 질소와 NH<sub>4</sub>-N이 모두 질산성 질소로 전환한다고 가정할 때 Mode I은 원수 중 T-N에서 NO<sub>3</sub>-N을 뺀 농도가 297 mg/L, MLVSS가 8,000 mg/L인 조건에서 19 hr로 계산되었는데 실제운전 1 8hr으로 어느정도 충분히 질산화가 이루어진 것이다. Mode II는 T-N에서 NO<sub>3</sub>-N을 뺀 농도가 242 mg/L, MLVSS가 6,500 mg/L인 조건에서 13 hr로 계산되었는데 실제운전 11 hr는 질산화가 충분히 이루어지기에는 조금 부족하며, Mode III는 T-N에서 NO<sub>3</sub>-N을 뺀 농도가 190 mg/L, MLVSS가 7,200 mg/L인 조건에서 19 hr로 계산되었는데 실제운전 7 hr는 질산화가 충분히 이루어지기에는 매우 부족한 시간으로 판단된다.

Table 7의 실험자료에서 유입 암모니아에 대한 유출 NH<sub>4</sub>-N의 질산화된 비율을 측정된 결과 Mode I은 80%, Mode II는 79%, Mode III는 73%인 것이 상기 사실을 뒷받침해 주고 있다.



**Fig. 6.** Variation of NH<sub>4</sub>-N by each unit process.

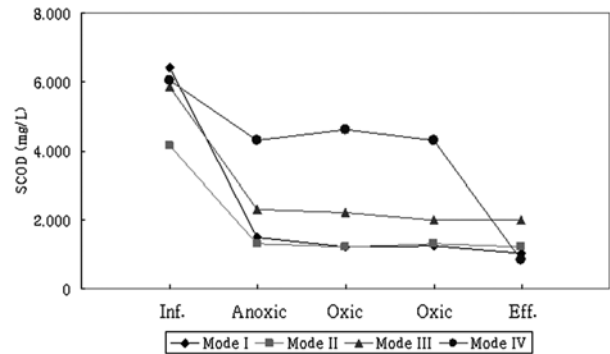
Fig. 6은 단위공정에 따른 유출 NH<sub>4</sub>-N의 변화를 나타내고 있는데 Mode와 상관없이 무산소조에서부터 고르게 낮은 농도를 나타낸다. 이는 두 번의 호기 공정을 거쳐 무산소조로 내부반송율이 2배로 증가하여 유입수에 영향이 일부 있는 것으로 생각되나, 일반적으로 탈질조에서 NH<sub>4</sub>-N 농도가 급격히 감소되는 것으로 특이한 현상이다.

**3.3.2. 탈질**

Table 9는 단위공정별 SCOD의 변화를 나타낸 것이다. 탈질조인 무산소조에서 용존성 유기물질이 60% 이상으로 처리됨으로 탈질을 위해 전체반응에서 유기물질처리의 대부분이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한 활성화조와 질산화조가 모두 NH<sub>4</sub>-N을 NO<sub>3</sub>-N으로 질산화시키는 역할을 주로 하고 있어 비슷한 농도를 유지하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8은 공정별 NO<sub>3</sub>-N의 변화를 나타낸 것으로 각각의 Mode에서 탈질조의 NO<sub>3</sub>-N 농도가 높은 것을 알 수 있다. 이는 원수가 유입되어 NH<sub>4</sub>-N이 활성화조와 질산화조를 거치는 과정에 NO<sub>3</sub>-N으로 질산화되어 탈질조로 내부반송율이 2배 이루어져 희석된 것으로 사료된다. 또한 Mode IV에서는 탈질조에서 NO<sub>3</sub>-N의 농도가 181 mg/L로 다른 Mode(60~114 mg/L)보다 높게 나타난 것은 탈질조에서 포기를 함으로써 탈질이 이루어지기보다는 질산화가 더욱 많이 이루어진 이유라 사료된다.

Table 10은 Mode별 탈질율(Specific Denitrification Rate, SDNR)을 나타내고 있다. Mode II가 HRT 18 hr임에도 불구하고 HRT 24 hr의 Mode I보다 높은 것을 알 수 있다.



**Fig. 7.** Variation of SCOD by each unit process.

**Table 9.** Comparison of SCOD and NO<sub>3</sub>-N by each unit process

Mode		Influent (mg/L)	Denitrification tank (mg/L)	Activation tank (mg/L)	Nitrification tank (mg/L)	Effluent (mg/L)
I	SCODcr	6,400	1,500	1,200	1,250	1,040
	NO <sub>3</sub> -N	90	60	50	50	55
II	SCODcr	4,150	1,300	1,200	1,300	1,200
	NO <sub>3</sub> -N	65	114	103	130	90
III	SCODcr	5,850	2,300	2,200	2,000	2,000
	NO <sub>3</sub> -N	46	70	56	49	53
IV	SCODcr	6,050	4,300	4,600	4,300	853
	NO <sub>3</sub> -N	73	181	166	154	147

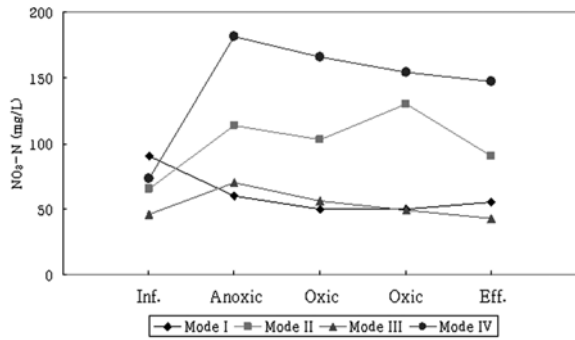


Fig. 8. Variation of NO<sub>3</sub>-N by each unit process.

Table 10. Comparison SDNR by Mode

Mode	I	II	III
SDNR (mgNO <sub>3</sub> -N/gMv/hr)	0.52	3.16	1.26
MLVSS (mg/L)	8,000	7,500	7,200
Real denitrification time (hr)	8.8	5.5	3.7

Fig. 9는 질소 부하율에 대한 질소 처리효율을 나타낸 것으로 어느 정도의 부하율까지 처리 가능한가를 평가하기 위한 것이다. 본 연구에서 유출수를 원심분리한 T-N 처리 효율을 보면 1.1 kg/m<sup>3</sup>·d 부하에서 80%까지 처리 가능하며, 1.3 kg/m<sup>3</sup>·d 부하에서 약 71% 처리 가능하다. 반면 1.6 kg/m<sup>3</sup>·d 부하에서는 약 60%의 처리효율로 저조함을 나타내고 있다.

실제 Pilot Scale의 고율미생물반응기가 설치되어 운전된 결과를 보면 T-N의 부하량이 9.3 kg/m<sup>3</sup>/d일 때 T-N 처리 효율이 54%로 본 연구에서의 T-N 처리효율보다 매우 저조한 것으로 나타났다(환경부, 2007b). 따라서 본 처리공정의

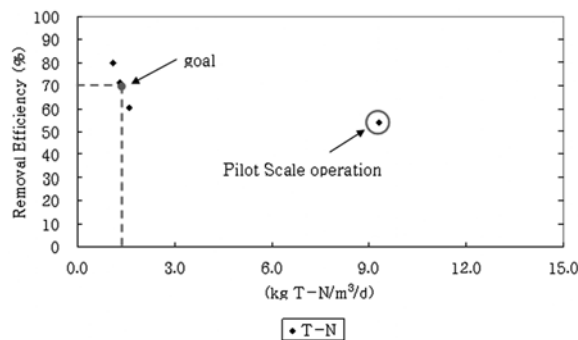


Fig. 9. Nitrogen removal efficiency of nitrogen loading rate (inclusion centrifugation).

Table 11. Phosphorus removal efficiency by Mode

Mode	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	After centrifugation (mg/L)	Removal efficiency (%)	
				Effluent	After centrifugation
I	220	70	61	68.2	71.3
II	204	122	115	40.1	43.8
III	240	118	88	50.7	63.2
IV	250	146	40	41.6	83.9

목표 T-N 처리효율 70%를 본 실험에서 만족하기 위해서는 약 1.3 kg/m<sup>3</sup>·d 부하 이하로 운전하는 것이 바람직하다.

### 3.4. 인 제거

Table 11은 본 연구에서의 인 처리효율을 나타내고 있으며, Fig. 10은 Mode별 원심분리 공정의 전·후의 인 처리효율을 도시화한 것이다.

본 연구에 사용된 반응조의 경우 별도의 혐기조를 두지 않았기 때문에 인 처리효율은 매우 낮아야 하나 실제로 Mode II를 제외하고는 인 처리 공정이 있는 일반적인 A2/O공정의 인 처리효율 50~68%(조남운, 2001)과 비슷한 인 처리효율을 나타내고 있다. 이는 매우 고농도인 한우 분뇨이기 때문에 유기물을 처리하여 미생물을 생성하는 과정에 인의 세포전환에 다량으로 사용된 것으로 사료된다.

Mode I과 동일한 체류시간의 Mode IV는 인 처리효율이 41.6%로 낮은 것을 볼 수 있는데 이는 전체 공정이 호기성 조건으로 운전되었고 유기물질의 처리효율도 Mode I보다 떨어지기 때문에 인도 이와 마찬가지로 나타난 것이라 사료된다.

또한 유출수를 원심분리한 후 처리효율을 보면 원심분리하기 전에 비해 각 Mode별로 3.1%, 3.7%, 12.5%, 42.3% 더 처리된 것으로 나타났다. 이는 유출수로 반응조내의 미생물이 유출된 것으로 볼 수 있으며, 원심분리후에 미생물에 유발되는 유기인이 처리되었기 때문으로 판단된다.

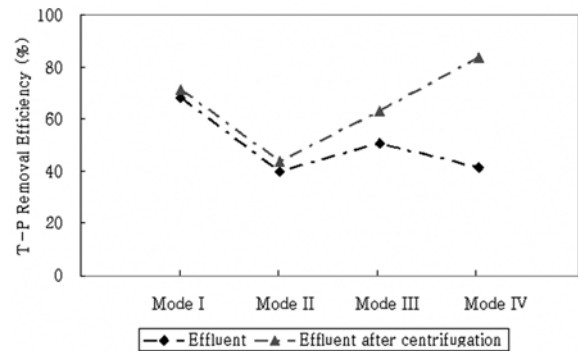


Fig. 10. Phosphorus removal efficiency by Mode.

### 3.5. 유출수의 액비사용검토

가축분뇨의 액비화는 액상분뇨의 처리에 매우 효과적이며, 퇴비화에 소요되는 부재료 구입에 소요되는 운영비용을 절감할 수 있고, 부수적으로 대체연료인 메탄가스를 생산하므로써 대기오염을 경감하고 온실가스의 배출을 저감시키는 장점이 있다. 그러나 액비화는 액비를 장거리 이송하거

나 살포시 취급이 되비보다 상대적으로 불리하며, 액비를 판매한다는 것은 현실적으로 거의 불가능하다는 단점이 있다(농촌진흥청, 2002). 또한 김승희 등(2006)은 지속적인 살포시 영양염류와 염도 및 기타 오염물질의 축적으로 인한 토양 및 지하수 오염을 야기시키고 식물성장에 지장을 초래할 수 있다고 발표하고 있으나 비료공정규격(농촌진흥청, 2007)에 사용시기, 살포시 면적, 기타규격을 결정하고 있어 토양 및 지하수의 오염에 대비하고 있다.

축사의 뇨폐수를 정화처리 후 방류할 경우 현행 수질규제기준을 충족시키는데 한계가 있으므로, 가축분뇨의 액비화는 슬러리 축사의 분뇨 뿐만 아니라 정화처리 후 방류수도 이용할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 정화처리 시설을 설치한 축산농가도 정화 후 방류수의 액비화는 환경측면에서 매우 바람직한 수단이라고 판단된다.

Table 12는 본 연구에서의 고율미생물반응기를 거친후 유출수내 질소 함유율을 나타내며 유출수의 원심분리 전·후로 분석하여 원심분리 공정의 설치 유무를 검토하였다. 처리수가 액비로의 사용여부에 대해서 살펴보면 액비는 질소 함유율이 질소 전량 0.3%이상(농촌진흥청, 2007) 되어야 하지만 본 연구에서의 Mode별 유출수의 원심분리 공정 전·후 모두 질소 함유율이 액비로 사용하기에는 매우 낮은 것을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서의 질소 함유율로 액비의 사용여부를 평가에는 다소 무리가 있다. 그러나 고율미생물반응기 유출수에는 다량의 미생물이 포함되어 있으므로 토지에 살포할 경우 미생물에 의한 토지개량효과를 크게 기대할 수 있고, 한우폐수는 타 축산폐수와 달리 염분과 중금속의 문제점이 적은 것으로 예상되므로 토양에 살포해도 큰 문제점은 없다고 판단된다.

만약 실제 한우 뇨 폐수를 대상으로 고율미생물반응기를 적용한다고 가정할 때 한우 뇨 폐수의 평균 질소 농도 4,800 mg/L(국립축산과학원, 2008)와 본 연구에서 질소처리효율이 가장 낮은 Mode IV의 질소처리효율 28.6%를 적용하면 고율미생물반응기 유출수내의 질소함유율은 0.34%로 액비기준을 만족한다. 따라서 토양살포목적으로 고율미생물반응기를 적용할 경우 질소처리효율을 최소화 하는 방식, 즉 세 개의 반응기를 전부 포기하고 후속 고액분리공정이 없는 운전방식이 바람직하다.

**Table 12.** Contents of nitrogen in effluent

	Total nitrogen (%)	
	Before centrifugation	After centrifugation
Mode I	0.010	0.007
Mode II	0.013	0.012
Mode III	0.019	0.012
Mode IV	0.028	0.015

### 4. 결론

본 연구에서는 고농도폐수인 축산(한우)폐수를 대상으로 SAB 고율미생물반응기를 체류시간별 운전한 결과, 다음과

같은 결론을 얻었다.

- 1) 원심분리 후의 처리수의 BOD 처리효율은 95% 이상으로 양호하게 나타났으며 유기물질 부하율은 13.4 kgBOD/m<sup>3</sup>·d 정도 가능하며, 미생물의 유출에 의한 영향을 제거하기 위해서는 원심분리공정을 도입할 필요가 있지만 방류수 수질기준을 초과하므로 추가적인 수처리공정이 요구된다.
- 2) 원심분리후의 처리수에 대한 T-N 처리효율은 체류시간 24시간 운전시 80.0%로 나타났으며, 본 처리공정의 목표 T-N 처리효율 70%를 만족하기 위해서는 1.3 kgN/m<sup>3</sup>·d 이하의 부하로 운전하는 것이 바람직하다.
- 3) T-P 처리효율은 체류시간 24시간 운전시 68.2%로 나타났으며, 원심분리 후 처리효율을 보면 71.3%로 처리효율이 증가되었는데 원심분리 후 미생물에 유발되는 유기인이 처리되었기 때문이다.
- 4) 액비 사용을 위해 T-N 처리효율 28.6%를 감안하여 일 반적인 한우 뇨 폐수(T-N 4,800 mg/L)에 적용해 보면 질소함유율은 0.34%로 액비조건을 만족한다.

### 사 사

본 연구는 2006년도 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업의 지원(2006-13007-0004-2)을 받아 수행되었음.

### 참고문헌

강성환, 임재명(1999). 축산폐기물 처리를 위한 고부하 활성 슬러지 공정에서의 유기물 특성 변화. *한국폐기물학회지*, 16(5), pp. 71-78.

고광백, 김영관, 윤주환, 임재명, 한무영, 문병현, 민경석, 안영호, 유규진, 이병현, 이상호, 이인형, 임봉수(2004). *폐수처리공학 II*, 동화기술.

국립축산과학원(2008). *가축분뇨배설량*.

김승희, 송기철, 박정관, 박무용(2006). NaCl 염면살포에 따른 과수의 피해양상과 기작에 관한 연구. *한국환경농학회지*, 25(4), pp. 352-358.

김정대, 박준석, 남궁완(2002). 자원순환 및 Zero Emission 개념에서 강원도내 가축 분뇨의 퇴비화 가능성 검토. *2002 춘계 학술대회 세미나 및 학술발표 연구논문집*, 유기성자원학회, pp. 162-166.

농촌진흥청(2002). *부산물 퇴비 및 유기질 비료의 화학비료 대체*.

농촌진흥청(2007). *비료공정규격*.

조남운(2001). 간헐포기를 결합한 MLE공정과 A2/O공정의 영양소제거 특성의 비교. 석사학위논문, 대전대학교.

환경부(2001). *미국·일본 축산폐수 관리 실태 조사*.

환경부(2007a). *고율미생물반응기(SAB)를 이용한 가축분뇨 처리 및 자원화 기술개발*.

환경부(2007b). *한미 FTA 발효 등에 대비한 가축분뇨 관리 대책*.

APHA (2005). *Standard Methode for Examination of Water and Wastewater, 21st ed.*, Washington, D.C.