

# 분리막이 결합된 무산소·호기 공정을 이용한 축산폐수처리에서 수리학적체류시간 및 내부반송율이 유기물 및 질소제거에 미치는 영향

황규대<sup>†</sup> · 이봉희 · 이현덕<sup>\*</sup>

경희대학교 환경 응용화학대학 수처리 공정연구실  
\* (주)금호엔지니어링

## Effect of HRT and Internal Recycle Ratio on Removal of Organic and Nitrogen in Swine Wastewater by Anoxic-Oxic Process Combined with Membrane

Whang, gye dae<sup>†</sup> · Lee, bong hee · Lee, hyun duk<sup>\*</sup>

Department of environmental science and engineering in Kyunghee University  
\* Kumho Engineering

(Received 18 August 2004, Accepted 5 October 2004)

**Abstract :** The objective of this study was to determine the optimal operation conditions in an anoxic • oxic process to eliminate both organic and nitrogen matters in swine wastewater. For the purpose of this, the removal efficiency was evaluated with various HRTs and internal recycling ratio. During the whole 580 days of experiment, HRTs had been gradually decreased in an order of 20, 14, 12 and 10days, and the internal recycle ratio was kept at 20Q. So as to determine the effect of the internal recycle ratio on the nitrogen removal, the internal recycle ratio had been gradually increased from 20Q to 50Q while HRT was maintained at 12days. As a result, it was shown that the removal efficiency of organic matter was above 95% regardless of changing of HRTs. The average influent concentration of TCODcr and SCODcr were 24,854 mg/L and 18,920 mg/L, respectively. Average removal efficiency of TKN was shown to be nearly 98% when HRT was kept at 12days; however, the  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  concentration of effluent was shown to be increased when the loading rate of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  was increased to 0.602  $\text{kgNH}_4^+\text{-N/m}^3\text{-day}$  by means of decreasing HRT to 10days. It was concluded that nitrogen loading rates should be more considered rather than organic loading rates in case of determining an optimal HRT. When gradually increasing the internal recycle ratio from 20Q to 50Q, the removal efficiency of organic matters and TKN were 96% and 98%, respectively so that no significant changes in removal efficiency was detected. However, when the internal recycle ratio was kept at 50Q, it was revealed that the  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentration of effluent seemed to drop and the average  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentration of effluent was around 52 mg/L.

**keywords :** Anoxic • oxic process, HRT, Internal recycle ratio

### 1. 서론

급속한 경제발전과 국민소득의 향상으로 식생활 패턴이 바뀌게 되고 그로 인해 육류소비량이 증가하게 되어 축산농가의 사육두수가 매년 증가하고 있다. 그러나 국내 대부분의 축산농가는 영세하고 소규모로 운영되고 있어 축산폐수의 처리시설이 없는 경우가 많아 적정처리가 안된 상태로 배출되어 하천 및 호소의 부영양화를 초래하고 있다. 이러한 축산폐수는 고농도의 유기물과 질소성분을 함유하고 있으며 축산농가의 배출특성에 따라 유입수의 성상의 변화 폭이 커서 적정처리에 어려움이 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 고형물이 제거된 축산폐수를 유기물 및 질소제거를 위해 적용된 무산소·호기 공정의 수리학적 체

류시간(HRT)과 내부반송율 변화가 유기물 및 질소제거 효율에 미치는 영향을 분석하여 적절한 전조건을 도출하고자 하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

Fig. 1에는 운전기간동안에 사용된 반응조의 개략도를 나타내었다.

본 연구에 사용된 무산소·호기 반응조는 용량이 각각 80 L이며, 무산소조는 반응조 상부에 교반기를 설치하여 미생물의 교반을 유도하였으며 호기성 반응조의 하단에는 미세산기관을 설치하여 미생물의 혼합과 호기상태를 유지하기 위하여 공기를 주입시켰다. 또한 고액분리를 위하여 호기성 반응조 내에 중공사형 정밀여과막을 침지시켰다. 설치된 중공사형 정밀여과막은 친수화 코팅처리된 PP(polypropylene)재질로 제조되었다.

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
cool7781@hanmail.net

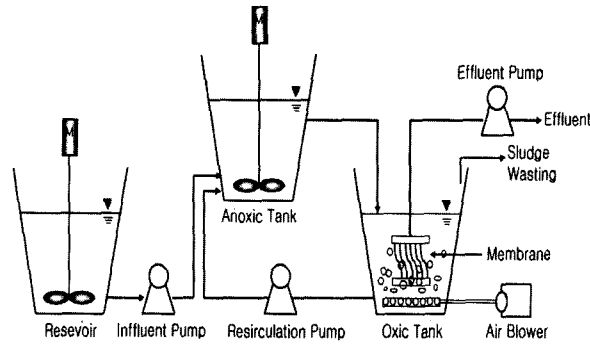


Fig. 1. Anoxic-Oxic Bioreactor.

Table 1. Characteristics of raw wastewater

Item	Range(mg/L)	Average(mg/L)
pH	7.65 ~ 8.56	8.12
TSS	3,260 ~ 9,940	6,784
TCOD <sub>Cr</sub>	21,000 ~ 34,000	24,854
SCOD <sub>Cr</sub>	14,400 ~ 25,600	18,920
TCOD <sub>Mn</sub>	1,900 ~ 6,000	3,599
SCOD <sub>Mn</sub>	1,520 ~ 4,080	2,480
TKN	2,800 ~ 5,600	4,367
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	1,880 ~ 4,200	3,223
Alkalinity	7,420 ~ 14,231	12,536

운전기간동안 반응조 내의 온도는 22±1℃로 유지시켰고 MLSS는 9,000 ~ 10,000 mg/L로 유지시켰다. Table 1에는 반응조 운전기간 동안 사용된 유입수 성상을 나타내었다. 연구를 위하여 경기도 Y시에 소재한 축산농가(슬러리 돈사 형태)에서 채취한 축산폐수를 4℃ 냉장고에서 15 ~ 20일간 중력 침전 시킨 후 상등액을 유효간격 100µm인 채를 통과 시켜 고형물질을 제거한 후 유입수로 사용하였다.

Table. 1에 나타난 바와 같이 일부 항목에서 유입수 농도의 변화폭이 크게 나타난 이유는 축산농가의 유입수 저류조 관리가 불규칙적으로 이루어졌기 때문으로 사료된다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 무산소·호기 반응조 HRT변화에 따른 유기물 및 질소제거

##### 3.1.1. 유기물 제거 특성

Fig. 2는 운전기간동안 유입수의 TSS농도와 반응조내의 MLSS, MLVSS농도를 나타낸 것으로 유입수의 평균 TSS 농도는 6,784 mg/L로 나타났으며 MLSS의 평균 농도는 10100 mg/L, MLVSS의 평균 농도는 7500 mg/L로 나타났다. 반응조의 MLSS 농도를 MBR 시스템의 적정농도인 9000 ~ 10000 mg/L가 유지 되도록 주기적으로 일정량의 슬러지를 폐기하였다. 또한 유입수내의 TSS가 유기물 농도에 미치는 영향을 알아보기 위해 COD<sub>Cr</sub>양으로 계산한 결과 1 g의 입자성 물질이 유발하는 COD<sub>Cr</sub>량은 0.87 gCOD<sub>Cr</sub>/

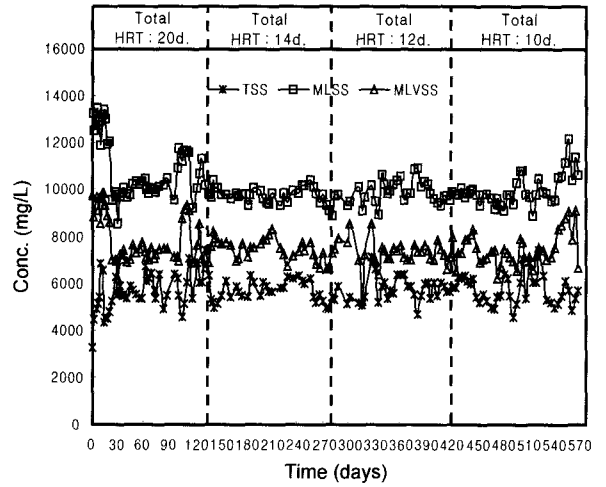


Fig. 2. Variation of influent TSS concentration and MLSS, MLVSS concentration in bioreactor.

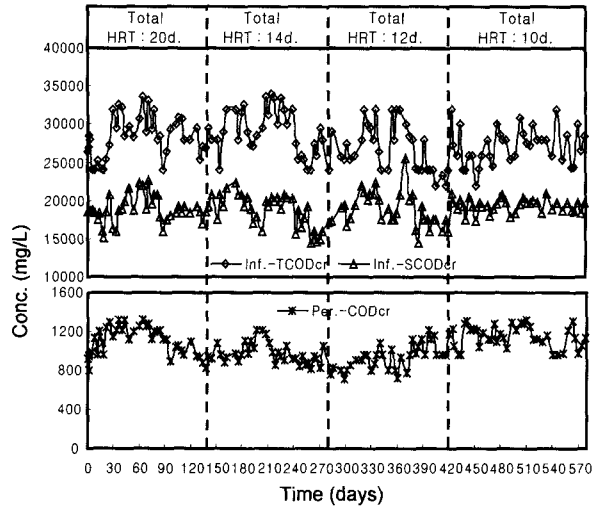


Fig. 3. Variation of COD<sub>Cr</sub> concentration with various HRTs.

gTSS로 입자성 물질의 대부분이 COD<sub>Cr</sub> 유발물질로 나타났다.

Fig. 3에는 운전기간동안의 유입수와 처리수의 TCOD<sub>Cr</sub>과 SCOD<sub>Cr</sub>의 농도 변화를 나타내었다. 유입수의 평균 TSS농도와 TCOD<sub>Cr</sub>의 농도가 각각 6,784 mg/L, 24,854 mg/L로 나타났고 처리수의 COD<sub>Cr</sub>농도는 HRT에 따라 각각 1,096 mg/L, 974 mg/L, 932 mg/L, 1,149 mg/L로 나타났다. 호기 반응조의 F/M비가 0.33 ~ 0.66kgCOD<sub>Cr</sub>/kgMLVSS·day로 비교적 높게 유지되었음에도 불구하고 처리수의 평균 COD<sub>Cr</sub>농도는 약 1040 mg/L를 유지하여 약 95%의 COD<sub>Cr</sub> 제거효율을 나타내었다.

박 등(2000)은 TSS와 TCOD<sub>Cr</sub>농도가 각각 2,782 mg/L, 26,600 mg/L로 조정된 슬러리 돈사 양돈폐수 처리를 위해 MLE공정을 적용한 연구 결과 F/M비를 0.19 ~ 0.22 kgCOD<sub>Cr</sub>/kgMLVSS·day 범위로 운전하였을 때 약 85%의 COD<sub>Cr</sub> 제거효율을 얻을 수 있다고 보고 하였고 김(2001)은 TSS와 TCOD<sub>Cr</sub>의 평균농도가 각각 13,083 mg/L, 41,593 mg/L인 슬러리 돈사의 양돈폐수를 대상으로 한 연구에서 F/M비를

0.26 ~ 0.30 gCODcr/kgMLSS·day 범위로 멤브레인이 결합된 무산소·호기 반응조를 운전했을 때 약 98%의 CODcr 제거효율을 얻을 수 있다고 보고하였다. Knoblock 등(1991)은 General Motors 공장의 오일합유 폐수에 MBR공정을 적용시켜 유기물 부하량 6.3 kgCODcr/m<sup>3</sup>·day와 HRT 52.2시간에서 94%의 CODcr 처리율을 얻을 수 있다고 보고하였으며, Bailey 등(1994)은 CODcr농도가 7.5 ~ 45 g/L인 합성폐수 MLSS농도를 20,000 mg/L, HRT를 16시간으로 유지하며 97%이상의 COD 처리효율을 얻을 수 있다고 보고하였다.

본 연구에서 높은 유기물 부하조건에서도 안정적인 처리수질과 높은 처리효율을 얻을 수 있었던 것은 반응조 내의 침지형 분리막에 의해 완전한 고액분리가 이루어지고 또한 반응조 내 미생물농도를 고농도로 일정하게 유지시킬 수 있었기 때문으로 사료된다. 유입수의 평균 TCODMn과 SCODMn 농도는 각각 3,599 mg/L, 2,480 mg/L로 나타났으며 처리수의 농도는 HRT가 감소되는 단계별로 각각 498 mg/L, 421 mg/L, 425 mg/L, 424 mg/L로 나타나 각각의 단계에서 86%이상의 처리효율을 나타내어 HRT변화가 처리효율에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 본 연구결과 처리수의 COD 유발물질은 대부분이 생물학적 분해가 불가능한 유기물로 판단되며 현재의 축산폐수공공처리시설의 방류수 수질기준인 CODMn농도 50 mg/L를 만족시키기 위해서는 난분해성 유기물 제거를 위한 후속 후속 처리 공정이 필요할 것으로 판단된다. Fatos(1993)에 따르면 고농도 폐수의 처리수에서 COD 유발물질은 제거되지 않은 생분해성 유기물이 아니라 유입 폐수 내 존재하는 난분해성 유기물이거나 미생물의 대사과정에서 생성된 물질이라고 보고하였다.

### 3.1.2. 질소 제거특성

Fig. 4는 운전기간동안 유입수와 유출수의 TKN과 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 농도변화를 나타낸 것이다. TKN의 평균 유입농도는 4,367 mg/L로 나타났으며 처리수의 평균 농도는 각각 61 mg/L, 45 mg/L, 51 mg/L, 249 mg/L로 나타났다. 무산소·호기반응조의 총 HRT를 20일, 14일, 12일로 유지한 1, 2, 3단계에서는 HRT의 변화에 관계없이 98% 이상의 제거효율을 갖는 것으로 나타났지만 HRT를 10일로 유지한 4단계에서는 93.7%의 제거효율을 나타내었다.

각 단계별 TKN용적부하는 각각 0.437 kgTKN/m<sup>3</sup>·day, 0.528 kgTKN/m<sup>3</sup>·day, 0.590 kgTKN/m<sup>3</sup>·day, 0.786 kgTKN/m<sup>3</sup>·day였으며, 부하율이 약 0.590 kg TKN/m<sup>3</sup>·day까지는 TKN 제거효율에 영향을 미치지 않으나 부하율을 0.786 kgTKN/m<sup>3</sup>·day까지 증가시켰을 때에는 제거효율이 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 고농도의 유기물과 질소가 포함된 축산폐수를 처리하기 위한 무산소·호기공정의 최적 HRT를 결정하기 위한 주요인자는 유입되는 유기물 농도보다는 질소 농도인 것으로 나타났다.

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 경우 평균유입농도는 각각 3,223 mg/L로 나타났으며 처리수의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N농도는 각 단계별로 각각 10 mg/L,

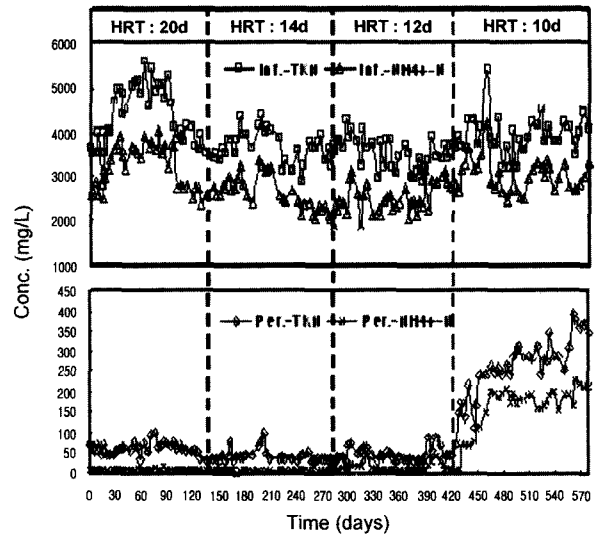


Fig. 4. Variation of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, TKN concentration with various HRTs.

8 mg/L, 19 mg/L, 157 mg/L로 나타나 무산소와 호기반응조의 HRT를 20일, 14일, 12일로 유지하였을 때는 HRT의 변화에 상관없이 98%이상의 제거효율을 나타냈지만 HRT를 10일로 유지한 마지막 단계에서는 호기반응조의 pH가 변화하면서 처리수의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 농도가 증가하기 시작하여 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N농도가 약 230 mg/L에 도달하였다. 운전기간동안 HRT가 가장 짧은 4단계를 제외한 나머지 1, 2, 3 단계에서 호기 반응조의 pH는 평균 8.2로 유지되었는데 이는 호기 반응조에서 질산화과정에 의해 소모된 알칼리도가 무산소조의 탈질과정에서 생성된 알칼리도에 의해 보충되었기 때문으로 판단된다. 일반적으로 질산화는 최적 pH가 약 알칼리성 부근에서 잘 일어난다고 알려져 있다. Abeling 등(1992)은 순수미생물 배양시 Nitrosomonas의 최적 pH범위는 8.3 ~ 8.5이고 Nitrobacter의 경우는 7.3 ~ 8.4범위라고 보고하였고 또한 생물막을 이용한 반응조에서 유입용적부하를 약 0.3kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>·day까지 증가시켰을 때 질산화에 영향을 미친다고 보고하였다. 김(1997)은 장기 포기조를 이용한 침출수 처리 실험에서 0.25 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>·day의 부하율에서 약 70%의 질산화 효율을 얻을 수 있었다고 보고하였다. 이러한 연구결과와 비교하여 호기조에 대한 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 용적부하를 0.422 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>·day까지 증가시켰음에도 99%이상의 질산화 효율을 얻을 수 있었던 이유는 반응조 내 분리막에 의한 완벽한 고액분리로 반응조내 성장속도가 느린 질산화 미생물을 고농도로 유지시킬 수 있었기 때문으로 판단된다.

Fig. 5는 운전기간동안의 처리수의 NO<sub>3</sub>-N 농도변화를 나타낸 것이다. 운전기간동안 처리수의 평균 NO<sub>3</sub>-N 농도는 각각 246 mg/L, 229 mg/L, 111 mg/L, 35 mg/L로 나타났는데 이는 HRT를 20일, 14일로 유지된 1, 2 단계에서는 내부반송율을 20Q로 유지시켰고 3단계에서는 내부반송율을 40Q로 증가시켰으며 마지막 단계에서는 내부반송율을 50Q로 유지시켜 무산소조의 NO<sub>3</sub>-N 부하를 증가시켰기 때문

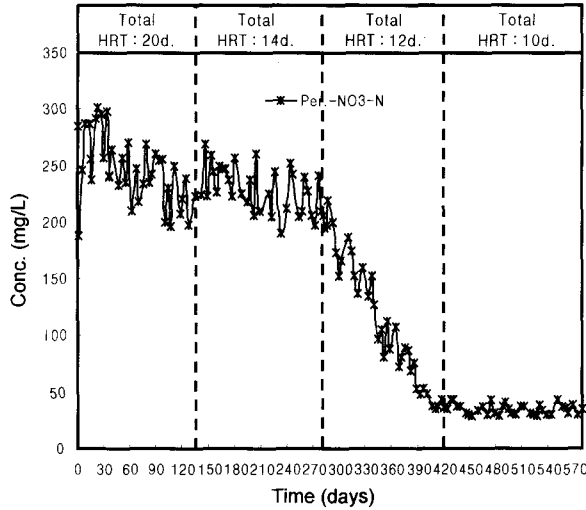


Fig. 5. Variation of NO<sub>3</sub>-N concentration with various HRTs.

으로 사료된다. 각 단계에서 NO<sub>3</sub>-N 제거에 소모된 CODcr량은 6.70 mgCOD/mgNO<sub>3</sub>-N(Removal) ~ 8.22 mgCOD/mgNO<sub>3</sub>-N(Removal)로 나타나 일반적인 탈질반응 시 단위 질량의 NO<sub>3</sub>-N 제거에 소모되는 CODcr량인 2.8 mgCOD/mgNO<sub>3</sub>-N(Removal)보다 매우 높게 나타났는데 이는 유기물이 무산소 반응조에서 반응수의 용존산소제거에 소비되고 또한 호기 반응조에서도 소비되었기 때문으로 사료된다.

3.1.3. 무산소·호기 반응조 HRT 변화에 따른 슬러지 발생량

무산소·호기 공정에서 총 HRT를 각각 20일, 14일, 12일, 10일로 감소시켜 운전한 결과 그에 따른 평균 슬러지 발생량은 각각 47.18 gMLVSS/day, 74.40 gMLVSS/day, 95.03 gMLVSS/day, 118.77 gMLVSS/day으로 증가되는 것으로 나타났다. 이는 HRT가 감소함에 따라서 유입부하량이 증가하고 미생물의 내생호흡 및 입자성 물질의 가수분해가 점차적으로 감소되었기 때문으로 사료된다.

Kurbiel(1968)은 생물 반응조 내 용존성 유기물질 이외에 입자성 유기물질이 유입이 될 경우 생물학적 동역학 계수에 큰 영향을 미친다고 보고하였으며, 황 등(1998)은 유입수의 TSS와 TCODcr의 평균농도가 각각 1,450 mg/L, 3,000 mg/L인 양돈폐수의 TSS농도를 변화시켜 활성슬러지 공정의 동역학적 계수를 도출한 결과 Yt값과 Kd값은 폐수 내에 함유되어 있는 고형물 농도에 따라 Yt값은 0.1871 ~ 0.5209 mgMLVSS/mgCODcr, Kd값은 0.03 ~ 0.183 day<sup>-1</sup>로 나타났다고 보고하였다. 본 연구에서는 입자성 물질을 제외한 용존성 물질을 대상으로 산정된 Yt값 0.187day<sup>-1</sup>과 Kd값 0.03day<sup>-1</sup>을 이용하여 슬러지량을 산출하였으며 이 결과값을 이용하여 폐수내에 존재하는 입자성 물질에 의해 생성되는 슬러지량을 산출하여 유입수의 입자성 물질의 슬러지 전환율을 산정하였다. 운전기간동안 폐 슬러지량과 반응조 MLSS농도를 이용하여 산정된 SRT는 각각 26.7일, 16일, 12.3일, 10일이었으며 유입수내 용존성 유기물질에 의해 생성된 슬러지량은 각 단계별로 각각 14.69 gMLVSS/day,

25.37 gMLVSS/day, 32.54 gMLVSS/day, 41.74 gMLVSS/day로 나타났다.

입자성 물질에 의해 발생하는 슬러지량은 반응조의 적정 미생물 농도를 유지하기 위하여 폐기된 미생물량과 용존성 유기물질로부터 생성된 미생물량의 차이로 계산되었다. 입자성 물질에 의해 생성된 슬러지량은 각각의 단계별로 32.49 gMLVSS/day, 49.03 gMLVSS/day, 62.49 gMLVSS/day, 77.03 gMLVSS/day으로 나타나 모든 운전조건에서 입자성 물질에 의해 생성된 슬러지량이 용존성 물질에 의해 생성된 슬러지량보다 더 많은 것으로 나타났다. 유입수의 입자성 유기물질(VSS) 중 슬러지로 변환된 비율은 각각의 단계별로 72.2%, 83.3%, 85.7%, 93.6%로 산출되어 HRT가 감소될수록 SRT도 감소되어 유입수 입자성 물질은 대부분이 잉여슬러지로 전환됨을 알 수 있었다. 김(2001)은 유입수의 평균 TSS 및 TCOD농도가 각각 13,000 mg/L, 36,000 mg/L인 양돈폐수를 HRT가 20일, SRT가 26.7일로 유지된 무산소·호기 반응조에 주입하여 운전한 결과 실제 슬러지 발생량은 81.62 gMLVSS/day였으며 유입수의 용존성 유기물질에 의해 생성된 슬러지량은 16.10 gMLVSS/day로 나타나 입자성 유기물질의 슬러지 전환율은 약 83%로 나타났다고 보고하였다. 따라서 생물학적 공정을 이용한 축산폐수 처리에서 생물 반응조에 활성 높은 미생물을 고농도로 유지 하고 높은 처리 효율을 얻기 위해서는 유입수 고형물질 제거가 우선적으로 이루어져야 함을 알 수 있다.

3.1.4. 질소 물질수지

Fig. 6은 운전기간동안 반응조 내로 유입되는 질소량을 기준으로 처리수에 포함되어 배출되는 TKN과 NOx-N량, 슬러지에 포함되어 배출되는 질소의 양과 N2 가스로 방출되는 질소의 양의 비율을 타나낸 것이다. 유입수의 단위 gVSS에 포함된 gTKN량은 0.154 gTKN/gVSS로 높게 나타났으며 슬러지 단위 gVSS당 gTKN량은 적용된 HRT 20일,

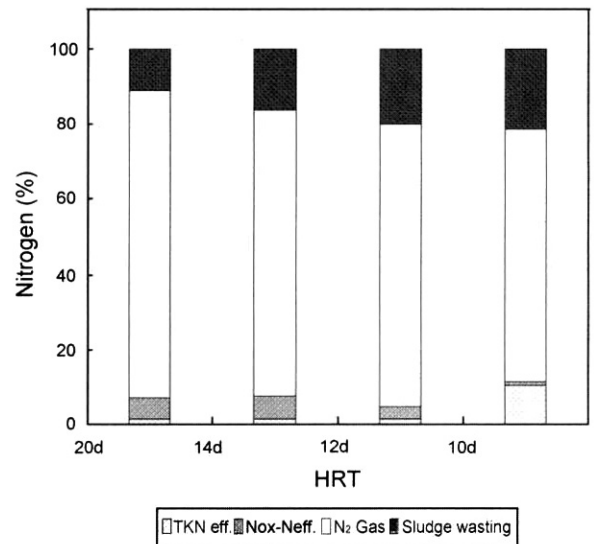


Fig. 6. Nitrogen mass balance.

14일, 12일, 10일에서 각각 0.08 gTKN/gVSS, 0.095 gTKN/gVSS, 0.099 gTKN/gVSS, 0.16 gTKN/gVSS로 나타났으며 HRT 10일에서 이론적인 미생물의 질소함유량인 0.124gTKN/gVSS보다 높게 나타났는데 이는 유입수의 입자성 물질에 함유된 TKN이 완전히 분해되지 않고 슬러지 인출 시 슬러지와 함께 배출되었기 때문인 것으로 사료된다. HRT가 10일로 운전된 4단계에서 N<sub>2</sub>가스로 방출된 질소량의 비율이 가장 낮게 나타나는데 이는 질산화가 저해되어 처리수중에 질소량이 증가되었을 뿐만 아니라 HRT감소로 잉여슬러지로 제거되는 질소량이 증가되었기 때문이다.

### 3.2. 무산소·호기 반응조 내부반송율에 따른 유기물 및 질소제거

#### 3.2.1. 유기물 제거 특성

내부반송율이 유기물 및 질소제거에 미치는 영향을 알아보기 위해 HRT를 12일로 유지하고 운전시작일로부터 42일, 43일 ~ 97일, 98일 ~ 143일, 144일 ~ 188일까지 내부반송율을 20Q ~ 50Q로 점차 증가시키며 운전을 하였다.

Fig. 7은 운전기간동안 유입수와 처리수의 TCODcr 및 SCODcr의 농도 변화를 나타낸 것으로 평균 TCODcr과 SCODcr 농도는 각각 26,882 mg/L, 18,314 mg/L로 나타났으며 이에 따른 용적부하는 4.46 kgTCODcr/m<sup>3</sup>·day로 나타났다. 처리수의 CODcr농도는 각 단계별로 914 mg/L, 996 mg/L, 898 mg/L, 936 mg/L로 나타나 모든 운전조건에서 96% 이상의 제거효율을 나타내어 내부반송율의 증가에 따른 차이는 관찰되지 않았다. 또한 황 등(1999)은 무산소·호기공정을 이용한 축산폐수처리에서 TCODcr의 용적부하가 1.78 ~ 7.57 kgTCODcr/m<sup>3</sup>·day의 범위에서 내부반송율 변화에 관계없이 90%이상의 유기물제거 효율을 얻을 수 있다고 보고하였다.

운전기간동안 평균 유입 TCODMn와 SCODMn 농도는 각각 3,213 mg/L, 2,175 mg/L로 나타났으며 처리수의 농도

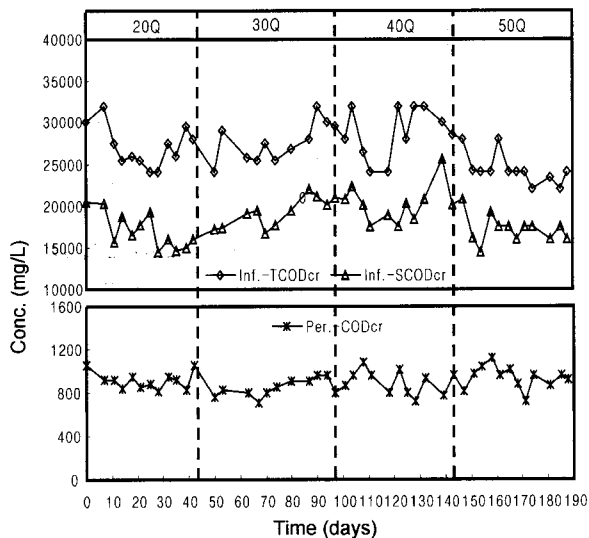


Fig. 7. Variation of CODcr concentration with various internal recycle ratio.

는 각 단계별로 각각 423 mg/L, 441 mg/L, 438 mg/L, 461 mg/L로 나타났다.

#### 3.2.2. 질소 제거 특성

Fig. 8과 Fig. 9는 운전기간동안에 TKN과 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 유입수와 처리수의 농도변화를 나타낸 것이다. TKN의 평균 유입농도는 3,555 mg/L였으며 이에 따른 용적부하는 0.59 kgTKN/m<sup>3</sup>·day로 나타났다. 처리수는 내부반송율 증가에 따라 각 37 mg/L, 58 mg/L, 41 mg/L, 56 mg/L로 나타나 내부반송율 증가에 상관없이 98%이상의 제거율을 나타내었다. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 경우 평균 유입 농도는 2,472 mg/L였으며 처리수의 농도는 각각 10 mg/L, 28 mg/L, 9 mg/L, 21 mg/L로 나타나 TKN과 마찬가지로 내부반송율의 증가에 상관없이 98% 이상의 제거율을 나타내었으며 미생물의 평균 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 제거율은 0.0275 mgNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/mgMLVSS·day를 나타내었다.

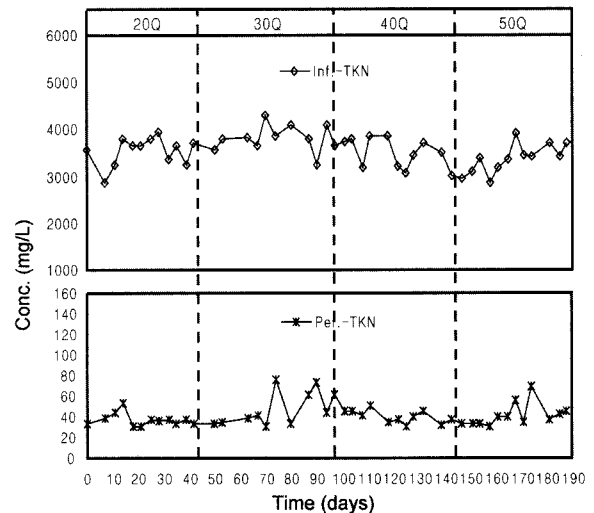


Fig. 8. Variation of TKN concentration with various internal recycle ratio.

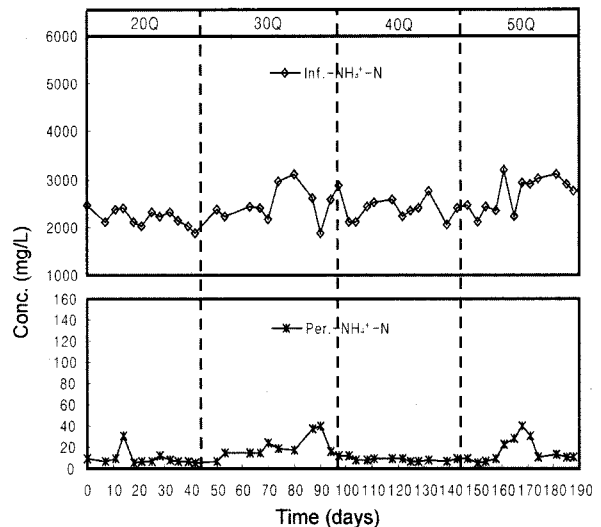


Fig. 9. Variation of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N concentration with various internal recycle ratio.

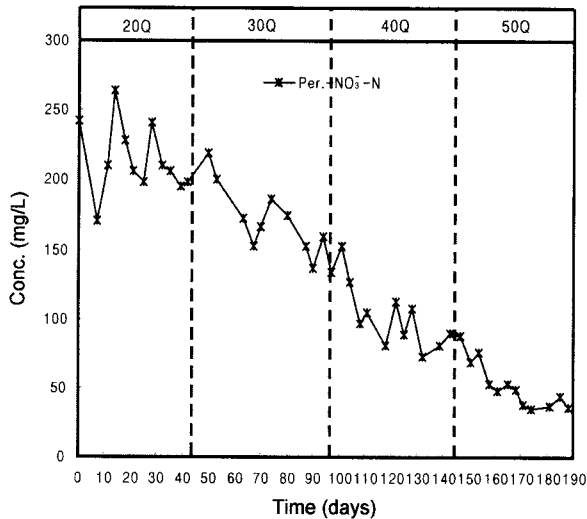


Fig. 10. Variation of  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentration with various internal recycle ratio.

Fig. 10은 운전기간동안의 처리수의  $\text{NO}_3\text{-N}$  농도변화를 나타낸 것이다. 처리수의 평균  $\text{NO}_3\text{-N}$  농도는 반응율에 따라 각각 214 mg/L, 168 mg/L, 101 mg/L, 52 mg/L로 나타나 내부반송율이 증가할수록 처리수의  $\text{NO}_3\text{-N}$  농도가 점차 낮아지는 것으로 나타나 EPA(1993)의 질소 제거효율은 내부반송이 증가할수록 증가한다는 보고와 동일한 결과를 나타내었다. 박 등(2000)은 슬러리 양돈폐수 처리를 위한 MLE 공정에서 내부 반송율을 유입수의 10Q로 유지하였을 때 처리수의  $\text{NO}_3\text{-N}$  농도가 약 20 mg/L로 나타났다고 보고하였으며, 이론적인 값보다 낮은 내부반송율에서 처리수  $\text{NO}_3\text{-N}$  농도가 낮게 나타난 이유는 호기 반응조에서 탈질이 일어났기 때문이라고 추정하였다. 또한 이와 유사하게 Ivan 등(1996)은 T-N 농도가 약 2215 mg/L인 양돈폐수를 회분식 반응조에 주입하여 질산화 효율과 질소제거를 분석한 결과 유입수 T-N의 34.5%가 호기 반응조에서 탈질에 의해 질소가 제거 된다고 보고하였다. 본 연구에서는 호기성 반응조의 DO 농도를 약 6 mg/L로 높게 유지하여 호기반응조의 탈질 가능성은 매우 낮은 것으로 판단되며 내부 반송율을 증가시켜 무산소 반응조의  $\text{NO}_3\text{-N}$  부하를 증가시키고 탈질 반응을 위한 유기물이 충분히 보충되었기 때문에 사료된다. 또한 각각의 단계별 운전조건에 따라서 무산소조에서의 비탈질율(specific denitrification rate, SDNR)을 계산한 결과 평균 0.0385 mg $\text{NO}_3\text{-N}$ /mgMLVSS · day로 나타났다.

#### 4. 결론

1. 총 HRT를 20일 ~ 10일로 감소시키며 무산소 · 호기 반응조를 운전한 결과 TCOD<sub>Cr</sub>은 평균 95% 이상의 제거율을 나타내었고 TCOD<sub>Mn</sub>과 SCOD<sub>Mn</sub>은 평균 86% 이상의 제거율을 나타내어 HRT의 변화가 처리효율에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 하지만 HRT를 감소시켜 호기 반응조에 대한 TKN의 용적부하를 0.437 ~ 0.786 kg TKN/m<sup>3</sup> · day까지 증가시킨 결과 부하율이

약 0.590 kgTKN/m<sup>3</sup> · day까지는 제거효율에 영향을 끼치지 않았으나 부하율을 0.786 kgTKN/m<sup>3</sup> · day까지 증가시켰을 때는 제거율이 감소하는 것으로 나타나 HRT를 결정하는 인자는 유기물부하 보다는 질소부하인 것으로 나타났다.

2. 무산소 · 호기 반응조를 운전한 결과 HRT변화에 따른 슬러지 발생량은 HRT가 각각 20일, 14일, 12일, 10일로 감소함에 따라서 47.18 g/MLVSS/day, 74.40 g/MLVSS/day, 95.03 g/MLVSS/day, 118.77 g/MLVSS/day로 나타났으며, 유입수의 입자상 물질(VSS)중 슬러지로 변환된 비율은 HRT의 감소에 따라 각각 72.2%, 83.3%, 85.7%, 93.6%로 나타나 HRT가 감소함에 따라 SRT도 감소되어 유입수의 입자상 물질이 대부분 잉여슬러지로 전환되는 것으로 나타났다.
3. 운전기간동안 반응조의 총 질소량중 N<sub>2</sub>가스로 방출되는 양은 각각의 단계별 HRT에서 67.5% ~ 81.9%로 나타났으며 슬러지 인출로 제거되는 양은 각각 11.07%, 15.94%, 20.1%, 21.26%로 산출되어 HRT가 감소됨에 따라 잉여 슬러지로 배출되는 질소의 양이 증가되는 것으로 나타났다.
4. 무산소 · 호기 반응조의 내부반송율을 20Q ~ 50Q로 운전한 결과 유기물 제거효율과 TKN의 제거효율이 각각 96%, 98%로 나타나 내부반송율 증가에 따른 차이는 관찰되지 않았다. 하지만  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 내부반송율이 증가할수록 230 mg/L에서 52 mg/L로 감소하였다.

#### 참고문헌

- 김도연, 침지형 분리막과 철의 전기분해가 결합된 무산소 · 호기공정을 이용한 고농도 양돈폐수 처리, 경희대학교 석사학위논문 (2001).
- 김상근, 혐기성 여상과 장기포기조를 이용한 매립지 침출수 중 암모니아성 질소 제거, 인하대학교 석사학위논문, (1997).
- 박성균, 박현수 외, MLE 공정을 이용한 양돈폐수의 질소 제거 특성, *대한상하수도학회지*, **14**, pp. 147~156, (2000).
- 황규대, 김민호, 조철휘, 돈사폐수 처리를 위한 활성슬러지 공정에서 동역학적 계수에 관한 연구, *대한환경공학회지*, **14**, pp. 529~537 (1998).
- 황규대, 조철휘, 정민모, 무산소 · 호기공정을 이용한 축산폐수 처리에서 유입수 C/N비와 내부반송률이 질소 제거에 미치는 영향, *대한환경공학회지*, **21**, pp. 2205~2220 (1999).
- Abeling, C. F. and Seyfried., Anaerobic-aerobic treatment of high strength ammonium wastewater nitrogen removal via nitrate, *Water Sci. Tec.*, **26**, pp. 1007~1015 (1992).
- Fatos Germirli, Fate of residuals in nitrification-denitrification treatment of piggery wastewaters, *Bioresource Technology*, **45**, Issue 3, pp. 205~211 (1993).
- Ivan, M., Alenka, P. and France, M., Nitrification/Denitrification in nitrogen high-strength liquid wastes, *Water Res.*, **30**, pp. 2107~2111 (1996).
- Knoblock, M. D., Sutton, P. M., Mishra, P. N., Gupa, K. and Janson, A., Membrane biological reactor system for

treatment of oily wastewater, *Water Environ. Res.*, **66**, pp. 133~139 (1994).

Kurbiel, J., Metabolism of suspended matter in activated sludge

treatment, *4th international confer on water pollution research*, prague, September (1968).

U.S. EPA, Nitrogen control, *EPA/625/R-93/010* (1993).