

준협기-호기 생물막 공정을 이용한 돈사폐수 처리

임재명 · 한동준

강원대학교 환경공학과 · 강원대학교 토목공학과

Treatment of Piggery Wastewater by Anoxic-Oxic Biofilm Process

Jay-Myoung Rim · Dong-Joon Han

Department of Environ. Engineering, Kangwon National University., Chooncheon, 200-701, Korea

**Department of Civil Engineering, Kangwon National University, Chooncheon, 200-701, Korea*

Abstract

This research aims to develop biofilm process for the nutrient removal of piggery wastewater. The developed process is the four stage anoxic-oxic biofilm process with recirculation of the final effluent. In summery, the results are as follows :

1. Nitrification in the piggery wastewater built up nitrite because of the high strength ammonia nitrogen. The nitrification of nitrobacter by free ammonia was inhibited in the total ammonia nitrogen loading rate with more than $0.2 \text{ kgNH}_3\text{-N/m}^3 \cdot \text{d}$.
2. The maximal total ammonia nitrogen removal rate was obtained at 22°C and without being affected by the loading rate. But total oxidized nitrogen production rate was largely affected by loading rate.
3. Autooxidation by the organic limit was a cause of the phosphorus release in the aerobic biofilm process. But the phosphorus removal rate was 90 percent less than the influent phosphorus volumetric loading rate of above $0.1 \text{ kgP/m}^3 \cdot \text{d}$. Therefore, the phosphorus removal necessarily accompanied the influent loading rate.
4. On the anoxic-oxic BF process, the total average COD mass balance was approximately 67.6 percent. Under this condition, the COD mass removal showed that the cell synthesis and metabolism in aerobic reactor was 42.8 percent and that the denitrification in anoxic reactor was 10.7 percent, respectively.

I. 서론

최근 국내에서는 도시하수를 비롯한 다양한 폐수에 질소와 인의 규제가 시작되면서 이를 제거하기 위한 많은 생물학적 처리공법들이 연구되고 있다. 특히 국외에서 이미 개발된 A/O, A²/O, Bardenpho, UCT, VIP, 그리고 Phostrip공정과 같은 공법을 적용하고 있으며, 또한 실제

현장에 적용되고 있는 실정이다. 이들 대부분 공정들은 공통적으로 활성슬러지공정을 기본으로 하고 있어 미생물의 부유성장조건에서 이루어지고 있다. 그러나 최근에는 부유성장조건에서의 문제를 해결하기 위하여 생물막 공법에 대한 관심이 고조되어 있고, 많은 연구가 이루어지고 있다.

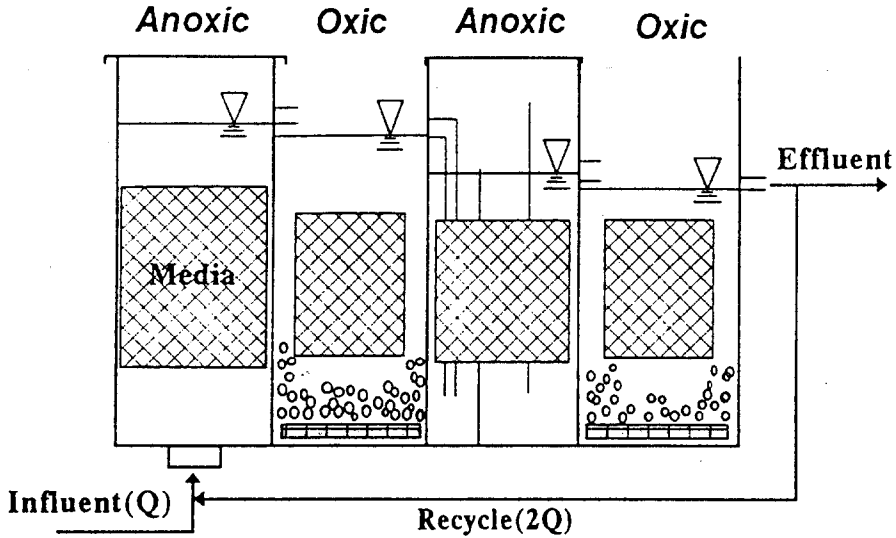


Fig. 1. Schematic diagrams of anoxic-oxic BF-BNR process

본 연구에서 대상으로 한 돈사폐수는 유기물농도에 있어 일반 도시하수의 약 10 ~ 20배 정도 높아 전국 총 발생량의 1 % 정도지만 BOD부하에 있어서는 약 10 % 정도를 차지하고 있다. 또한 영양소 농도에 있어서도 도시하수의 약 20 ~ 40 배 정도로 매우 높음을 알 수 있다. 그리고 돈사폐수는 COD/TKN이 약 4.3, COD/TP가

약 15, 그리고 COD/PO₄-P가 약 60으로 질소의 성분이 인의 성분보다 상대적으로 매우 높은 것으로 알려져 있다.¹¹⁾

따라서 본 연구에서는 돈사폐수의 유기물과 질소를 제거하기 위하여 부유성장공정으로 Barnard²⁾에 의하여 개발된 Bardenpho공정을 수정하여 생물막공정에 의한 영양

Table 1. Seasonal variations of piggery wastewater.

(unit : mg/ℓ)

Season (Month)	Spring (3 - 5)	Summer (6 - 8)	Autumn (9 - 11)	Winter (12 - 2)
Constituents				
pH	8.4~9.5	8.0~8.7	8.1~9.3	8.7~9.4
SS	540~760	320~1254	250~440	240~520
SCOD _{cr}	1800~2600	1500~2200	1800~2300	1800~2500
TCOD _{cr}	2800~3400	2400~2700	2600~3100	2800~3300
TKN	670~790	400~550	580~700	650~800
NH ₃ -N	580~710	310~450	510~660	530~680
T-P	180~200	130~170	170~200	170~200
PO ₄ -P	40~50	70~80	40~55	30~40
Alkalinity(asCaCO ₃)	1800~2900	1200~1800	1900~2700	2200~2900

Table 2. Operational conditions of anoxic-oxic BF BNR process.

Item	Operating Conditions
Reactor Volumn(ℓ)	9.092
Anoxic 1	2.492
Oxic 1	4.400
Anoxic 2	0.850
Oxic 2	1.350
Media Specific Area(m ²)	0.040
Anoxic 1	0.016
Oxic 1	0.001
Anoxic 2	0.011
Oxic 2	0.012
Influent Flow Rate (L/day)	1.5 - 6.1
Hydraulic Retention Time (days)	2 - 6
Volumetric Loading Rate (kgCOD/m ³ /d)	0.5 - 1.4
Specific Area Loading Rate (kgCOD/m ² /d)	0.11 - 0.32
Operating Temperature (℃)	14 - 27
Operation Period (days)	322

염류 제거를 수행하였다. 기존 Bardenpho공정에서의 내부반송은 적용하지 않았으며, 또한 침전지의 슬러지반송 대신 유출수가 초기 탈질조로 반송된다.

II. 실험재료 및 방법

1. 폐수의 성상

본 실험에 이용된 돈사폐수는 Table 1에 제시된 바와 같이 계절의 온도변화에 따라 모든 항목에서 큰 차이를 나타내고 있다. 약 320일의 운전기간 동안 온도는 14~27℃ 범위로 TCOD와 SCOD는 각각 2,400~3,400mg/ℓ 과 1,500 ~ 2,500mg/ℓ 로 많은 차이를 보였다. 또한 TKN과 T-P의 경우도 각각 400 ~ 800mg/ℓ 과 130 ~ 210mg/ℓ 의 범위를 보여 주었다. 시료는 400두 규모의 세멘트형 돈사에서 발생하는 폐수로서, 시료 채취는 돈사 외부에 설치된 콘크리트 저류조에서 이루어져 1차침전을 거친 폐수로 간주할 수 있으며, 계절변화에 따른 성상의 차이는 돈사내의 용수사용량과 직접적인 관계가 있으며, 또한 폐수 저류조내에서의 유기물 분해등으로 인한 변화로 판단된다.

2. 실험장치

본 실험에서 이용된 반응조는 준협기-호기 혼합공정 (anoxic-oxic biofilm process ; Ax-Ox BF BNR process) 이루어졌다. 실험에 이용된 반응조의 모식도는 다음 Figure 1 에 제시하였다.

일반적으로 질산화 후 최종 질소 제거를 위한 탈질 (denitrification)반응조에서는 탄소원의 제한으로 methanol 과 acetate와 같이 외부탄소원을 주입하는 경제적 부담을 가져오며, 또한 endogenous mass에 의한 탈질화를 수행할 경우 제거 효율이 저조해질 수 있다. 따라서 본 실험에서는 질산화된 최종 유출수를 초기 anoxic 반응조로 반송시키므로써 원폐수의 유기탄소원에 의한 전탈질 (pre-denitrification)공정을 우선적으로 유도하였으며, 두 번째 반응조에서 endogenous mass에 의한 후탈질 (post-denitrification)공정을 위하여 반응조를 배치하였다.

3. 실험 방법

질산화된 최종 유출수는 초기 준협기조(Ax.1)에 유입유량의 2 배(2Q₁)로 반송되었는데, 이는 일반적으로 Bardenpho공정에서 탈질을 위한 질산화 유출수의 반송비는 유입유량의 약 4배 정도가 적용되나, 본 실험에서는

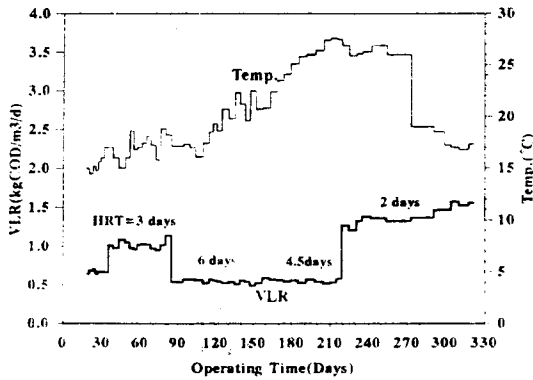


Fig. 2. Variations of HRT and VLR with operating time.

생물막 반응조내의 유속 증가로 인한 생물막 탈리등의 특성을 고려하여 2 Q로 결정하였다. 반응조내의 총 수리학적 체류시간(HRT)은 3, 6, 4.5 그리고 2일의 순으로 미량펌프에 의한 유량조절로 수행되었고, 유기물 용적부하(VLR)는 수리학적 체류시간에 따라 0.5~1.6 kgCOD/m³·d의 범위에서 운전되었다.

Table 2 에는 준협기-호기 생물막공정의 운전조건을 요약하여 제시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 유기물 제거

준협기-호기생물막공정은 4 stage Bardenpho공정과 동

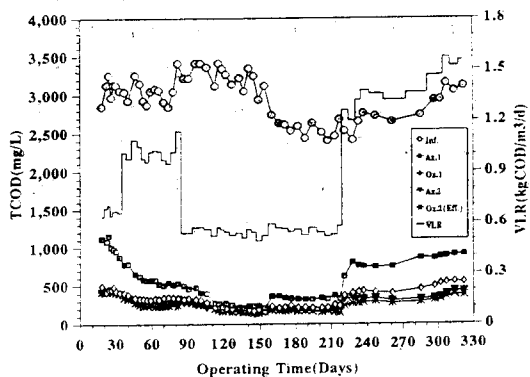


Fig. 3. Variations of TCOD concentration with operating time

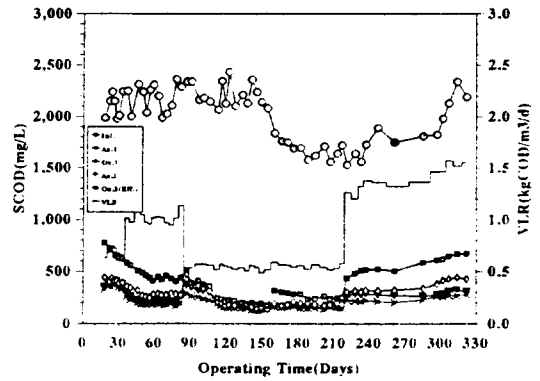


Fig. 4. Variations of SCOD concentration with operating time

일한 준협기(Ax.1)-호기(Ox.1)-준협기(Ax.2)-호기(Ox.2)조건의 순서로 배열되었다. 본 공정에서의 유기물 제거는 모든 반응조에서 유도될 수 있으나, 특히 질산화를 위해서는 초기 반응조에서 이루어지는 것이 바람직하다. 초기 준협기성 반응조(Ax.1)의 하부에는 고밀도의 미생물 군으로 판단되는 입자상 형태의 슬러지를 관찰할 수 있었다.

Figure 2 는 실험기간 동안의 반응조내의 온도변화와 유기물용적부하를 나타내고 있다. 총반응조의 운전은 약 320일 동안 이루어졌으며, 반응조의 총 HRT는 2 ~ 6일 범위에서 운전되었다. 또한 반응조의 온도는 14 ~ 27 °C, 유입 유기물 용적부하는 0.5 ~ 1.6 kgCOD/m³·d 범위였다.

Figure 3과 Figure 4는 운전시간에 따른 TCOD와 SCOD의 유입, 유출수의 농도변화를 나타낸 것으로 유입수의 수질은 계절에 따라 큰 차이를 보여 주고 있으나 유출수는 비교적 안정된 수질을 나타내고 있다. 이는 생물막공정에 의한 유기물 제거의 장점이며, 특히 본 공정은 4단계로 구성된 혼합공정으로서 생물막의 탈리로 인한 수질악화 등이 어느정도 완충되고 있음을 알 수 있다. 유기물 농도를 기준하여 볼때 초기 준협기성 반응조(Ax.1)에서 대부분 제거되는 것으로 나타났는데, 이는 heterotrophs에 의한 기질 제거도 있지만 최종 유출수의 반송에 의한 회석과 탈질에 의한 유기탄소원의 제거가 일어남을 알 수 있다. 따라서 본 공정과 같은 시스템에서는 초기 설치되는 준협기성 반응조의 설계가 유기물 제

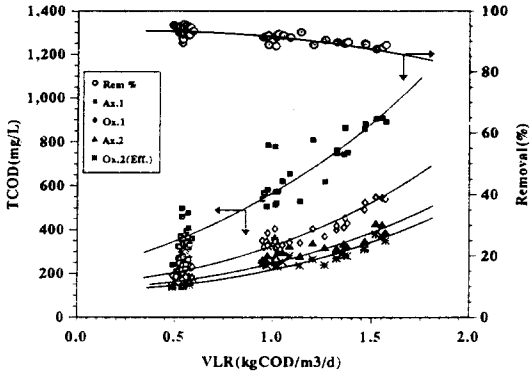


Fig. 5. Effluent TCOD concentration and total removal percentage with VLR

거 및 공정의 안정성에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

Figure 5와 Figure 6은 유기물 용적부하에 대한 유출수 농도와 총 제거율을 나타내고 있다. 유기물 용적부하 0.5 kg/m³·d 내외에서는 Ax.1반응조에서의 유기물제거가 많아 전체적인 유출수에 있어 안정된 수질을 보이고 있다. 부하량이 증가함에 따라 각 반응조별 유출수의 농도는 많은 차이를 보이고 있으나 최종 유출수에 있어서는 변화폭이 작게 나타났다. 이는 본 공정과 같은 복합공정에서 흔히 볼 수 있는 후속 반응조에서의 완충작용으로 판단된다. 따라서 유기물제거만을 고려하면 다단의 복합공정이 유리함을 알 수 있다.

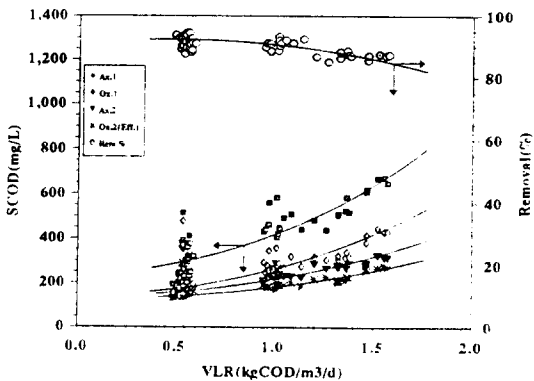


Fig. 6. Effluent SCOD concentration and total removal percentage with VLR

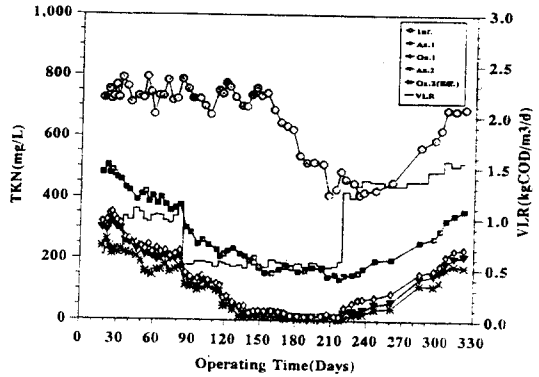


Fig. 7. Variations of TKN concentration with operating time

2. 질소제거

본 공정에서의 질소제거는 생물학적 질산화와 탈질반응, 암모니아성 질소의 탈기, 그리고 미생물의 세포합성 등으로 이루어질 수 있다. 질산화를 위하여 호기성 반응조 2개(Ox.1, Ox.2)가 설치되었고, 탈질은 전탈질(Ax.1)과 후탈질 반응조(Ax.2)에서 각각 원폐수와 endogenous mass의 유기탄소원 소모에 의하여 진행되었다.

Figure 7과 Figure 8은 운전시간에 따른 TKN과 NH₃-N의 유입수와 유출수의 농도 변화를 나타내고 있다. 질소 제거는 유기물 제거와는 달리 준협기성 반응조인 Ax.1에서는 거의 반응 용량에 의한 회색으로 유출수의 농도가 낮게 나타났으며, 대부분 호기성반응조(Ox.1)

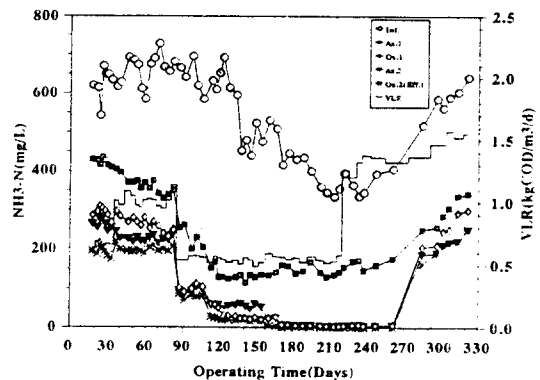


Fig. 8. Variations of NH₃-N concentration with operating time

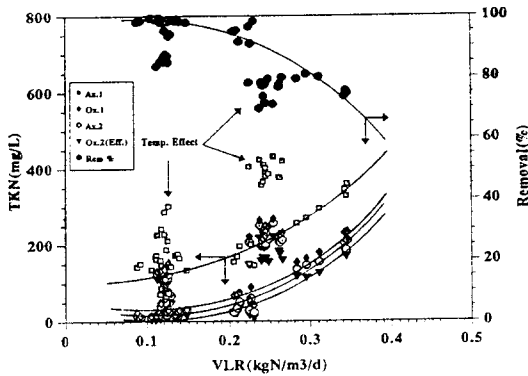


Fig. 9. Effluent TKN concentration and total removal percentage with VLR.

에서 질산화에 의한 암모니아성 질소의 전환이 이루어졌다. 이러한 결과는 유기물 제거가 준혐기성 반응조에서 활발히 진행되어 호기성 반응조에서는 유기물 제한에 따른 질산화 미생물의 활성도가 활발하였음을 알 수 있다. 그러나 HRT가 2일에서 운전된 220일 이후 자료에서 유기물은 Figure 3과 같이 비교적 안정한 것으로 나타났으나, TKN과 총 암모니아성 질소의 수질은 270일 이후부터 급격히 악화되는 것으로 나타났다. 이는 반응조의 온도가 약 26°C에서 17 ~ 19°C 내외로 급격히 감소함에 기인된 것으로 생물학적 질소 제거는 온도의 영향을 크게 받을 수 있다.

Figure 9와 Figure 10은 유입 TKN과 총 암모니아성 질

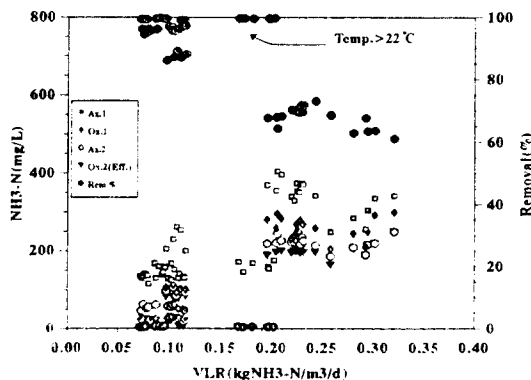


Fig. 10. Effluent NH₃-N concentration and total removal percentage with VLR

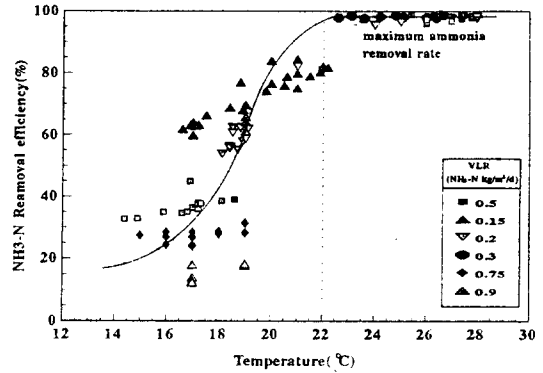


Fig. 11. Total ammonia-nitrogen removal rate with ambient temperature.

소의 용적부하에 따른 유출수 농도와 총 제거율을 나타낸 것으로, 반응조내의 온도에 따른 유출수와 제거율이 큰 차이를 보이고 있다. 이는 돈사폐수가 고농도의 암모니아성 질소를 함유하고 있고, 높은 온도와 pH에 의한 탈기(stripping)와 질산화 미생물의 활성도에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

Figure 11은 운전기간 동안의 총 암모니아성(NH₃+NH₄⁺) 질소의 제거 효율을 반응조내의 온도에 따라 정리한 것으로, 인위적인 온도조절은 없었으며, 약 320여일 동안 계절의 변화로 인한 room temperature 변화로 고찰하였다. 총 암모니아성 질소의 제거 효율은 온도 변화에 대하여 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 특히 22°C 이상에서는 총 암모니아성 질소의 용적부하 0.2, 0.3, 그리고 0.5 kgNH₃-N/m³·d

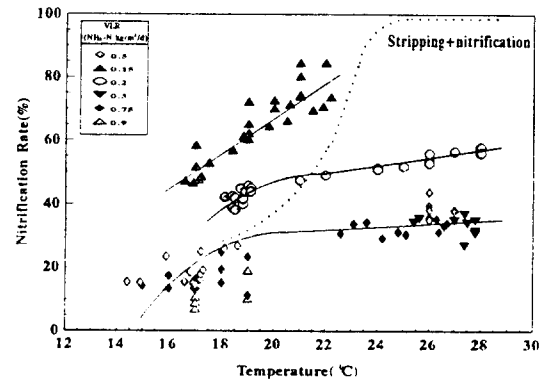


Fig. 12. Nitrification rate with ambient temperature.

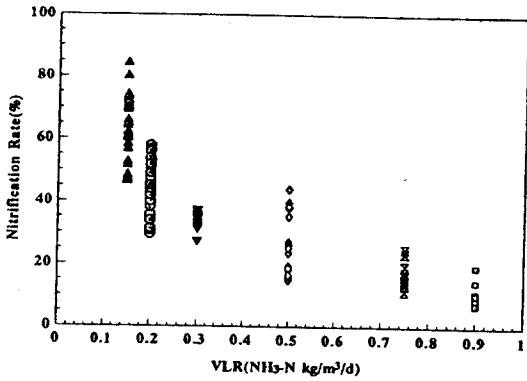


Fig. 13. Nitrification rate with total ammonia nitrogen VLR

에 대해 95 % 이상의 최대 제거효율을 나타내어 부하별 총 암모니아성 질소 제거에 있어 온도에 대한 영향이 큰 것을 알 수 있다. 그러나 22℃ 이하에서는 총 암모니아성 질소의 용적부하 0.15 ~ 0.2 kgNH₃-N/m³·d 낮은 부하에서 약 50 ~ 70 %의 낮은 제거효율을 나타내었고, 0.5 kgNH₃-N/m³·d 이상의 부하에서도 온도에 의한 영향으로 제거효율이 낮음을 보여 주고 있다.

Eckenfelder³⁾에 의하면 질산화는 5 ~ 45℃ 범위에서 가능하다고 하였으며, 최적온도는 25~35℃임을 제시하였는데, 본 실험 결과에서도 22℃ 이상에서는 부하에 관계없이 높은 제거 효율을 보여 주고 있다.

Figure 12와 Figure 13은 반응조내의 온도 변화와 총

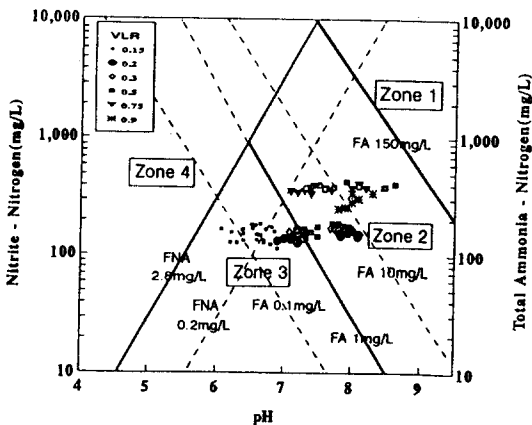


Fig. 14. Nitrification inhibition zone with pH and VLR

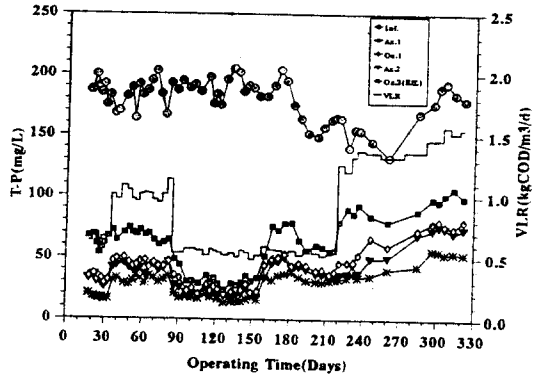


Fig. 15. Variations of T-P concentration with operating time

암모니아성 질소의 용적부하에 질산화율을 나타낸 것으로 용적부하의 변화는 0.15, 0.2, 0.3, 0.5, 0.75, 그리고 0.9 kgNH₃-N/m³·d에서 수행되었다. 본 실험에서 질산화율은 산화질소 생성율인 유입 암모니아성 질소에 대한 생성된 NO_x-N의 농도를 이용하여 산정하였는데, 이는 호기성 생물막에서는 호기성 탈질등의 unknown nitrogen이 많은 부분을 차지함에 따라 유입 암모니아 농도에 대한 제거된 암모니아 농도로 질산화율을 결정하는 것은 타당하지 않을 것으로 판단하였다⁴⁾.

질산화율은 비교적 총 암모니아성 질소 제거효율 보다는 전체적으로 완만한 경사를 보였으며, 온도의 영향이 비교적 작게 나타났고, 유입 부하에 영향을 받는 것으로

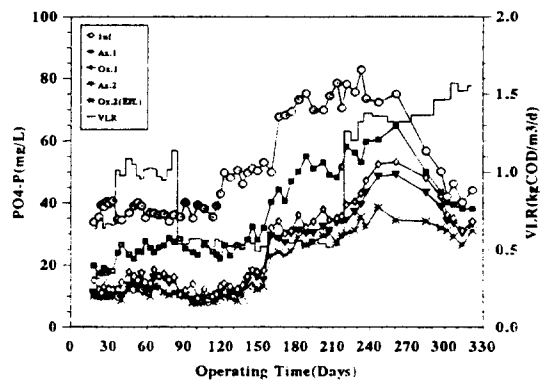


Fig. 16. Variations of PO₄-P concentration with operating time

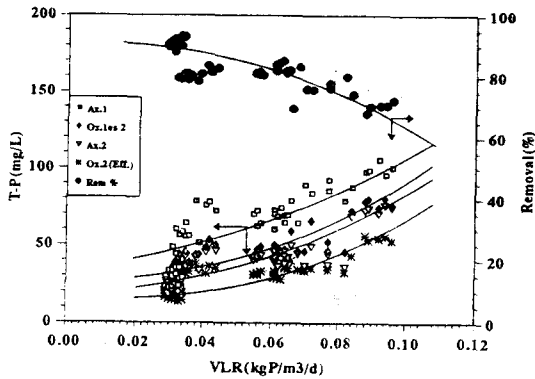


Fig. 17. Effluent T-P concentration and total removal percentage with VLR

나타났으며, 가장 낮은 0.15 kgNH₃-N/m³·d에서는 온도의 영향이 있는 것으로 나타났다. 전체적으로 질산화율은 온도의 영향보다 부하의 영향을 많이 받는 것으로 판단된다.

돈사폐수와 같이 고농도 암모니아성질소를 함유하고 있는 폐수는 질산화과정에서 완전한 nitrification이 진행되지 않고 nitritation에서 중단하여 NO₂⁻-N이 반응조에 축적되는 현상이 일어나게 된다⁴⁾. 이러한 nitrite build-up은 반응조내의 pH를 저하시키고 인의 용출 등의 문제와 Nitrobacter 등에 피해를 가져다 준다. 따라서 Figure 14는 free ammonia(이하 FA)에 의한 질산화 미생물의 피해 정도를 나타낸 것으로 Anthonisen⁵⁾이 제시한 지

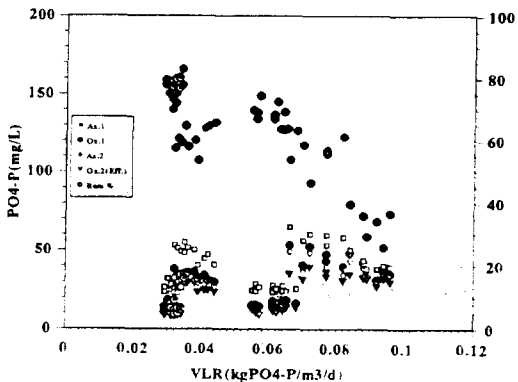


Fig. 18. Effluent PO₄-P concentration and total removal percentage with VLR

해 도표에 본 실험 결과를 적용한 것이다. 그 결과 암모니아 부하율 0.2 ~ 0.3 kgNH₃-N/m³·d 부터는 Zone 2 지역에 존재하게 되어 FA에 의한 Nitrobacter의 질산화 저해 현상을 보여 주었다. 그러나 부하율 0.2 ~ 0.3 kg NH₃-N/m³·d에서도 반응조내의 pH에 의해 완전한 질산화를 유도할 수 있는 것으로 나타났으며, 그 이하의 낮은 부하율에서는 완전한 질산화가 가능함을 보여주었다. 따라서, 본 실험과 같이 고농도 암모니아성 질소폐수의 완전한 질산화를 유도하기 위해서는 pH와 FA 농도의 조절이 필요함을 알 수 있다.

3. 인 제거

준협기-호기 혼합공정에서의 인 제거는 일반 생물학적 인 제거 공정에서 이루어지는 인축적 미생물에 의한 과잉 섭취의 기본이론 적용은 다소 불가능하지만, 반응조내의 많은 미생물의 확보로 세포합성에 의한 인 소모율을 부유성장 공정보다 높게 유지할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 생물막에서의 세포합성에 의한 인 제거는 미생물의 SRT가 길고 유기물의 제한시 내생단계에서 자산화(auto-oxidation)에 의한 인의 용출(release)이 일어날 수 있는 문제를 야기시킬 수 있다⁴⁾.

Figure 15와 Figure 16은 운전시간에 따른 T-P와 PO₄-P의 농도변화를 나타낸 것으로 유입수의 T-P와 PO₄-P의 농도는 온도에 따라 서로 상반되는 것으로 나타났다. 이는 유입수의 시료채취를 농장 저류조에서 실시되어 여름철 온도상승으로 인한 저층의 혐기성분해로 인의 조성이 달라진 것으로 판단된다. 각 반응조에서의 인 제거에 있어 T-P의 경우는 준협기 반응조인 Ax.1에서 대부분 제거되는 것으로 나타났다. 이는 반송수에 의한 희석 효과도 있지만 돈사폐수에는 입자상 인이 상대적으로 높은 것에 기인된다. 그러나 PO₄-P의 경우는 호기성 반응조인 Ox.1에서의 제거율이 높음을 알 수 있다. 특히 Ax.1반응조에서 PO₄-P의 유출수 농도는 반응유량 2Q를 고려하여 보면 오히려 PO₄-P의 농도가 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 준협기성 반응조 내부의 혐기성조건으로 간주되는 영역에서 인의 용출이 다소 있는 것으로 판단된다.

Figure 17과 Figure 18은 용적부하에 대한 T-P와 PO₄-P의 유출수 농도와 총 제거효율을 나타낸 것으로, T-P의 경우는 부하량 변화에 따라 제거경향이 비교적

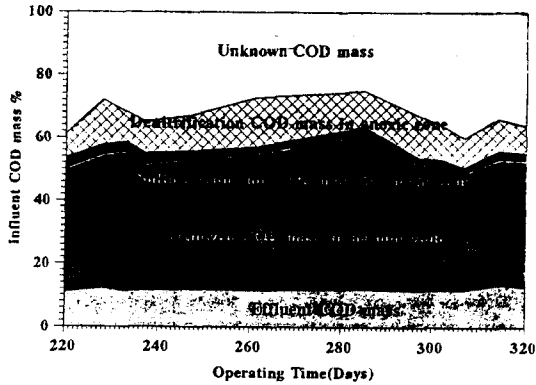


Fig. 19. COD mass balance in anoxic-oxic BF BNR process.

잘 나타나고 있으나, PO₄-P의 경우는 일정하지 않는 것으로 나타났다. 이는 유입수의 성상에 있어 T-P와 많은 차이를 보이고 있으며, 수리학적 체류시간이 길게 유지된 부하에서는 호기성 생물막공정의 특성으로 간주되는 유기물제한으로 미생물의 자산화에 의한 PO₄-P의 용출이 일어난 것으로 판단된다.

4. COD Mass Balance

준협기-호기 공정에서 유기물(COD)의 거동은 미생물의 cell합성과 신진대사 에너지, 질산화된 질소의 탈질반응을 위한 전자공여체(electron donor), 유출수의 COD, 유출수내의 VSS, 그리고 SO₄²⁻의 환원등으로 고찰될 수 있다. 다음 Table 3 은 준협기- 호기 공정의 물질수지를 위한 산정 방법을 각각 제시하였다.

Figure 19 는 평균 HRT가 2일이고, 유기물 용적부하가 1.4 kgCOD/m³·d로 운전된 약 100일 동안의 분석 자료를 이용하여 COD에 대한 mass balance를 산정한 결과이고, Table 4 에는 각 반응 기작별 평균 제거된 COD mass를 나타내었다. 총 유입 COD 량에 대한 산정 가능한 COD는 약 67.6 %였고, 약 32.4 %의 mass는 정확히 산정할 수 없었다. 그러나 unknown mass는 대부분 초기 준협기성(pre-denitrification)반응조에서 탈질 반응이 외에 heterotrophs의 유기물 산화와 생물막에서의 흡착, 그리고 반응조 하부의 혐기성분해 등으로 COD가 제거된 것으로 판단할 수 있다. 그리고 유입 COD mass는 호기성반응조에서 약 42.8 %가 cell 합성과 신진대사로 가장 많이 산화되는 것으로 나타났으며, 준협기성 반응조에서는 탈질을 위한 electron donor로 약 10.7 %가 이용되는 것으로 나타났다. 그리고 유출수의 미처리된 상태 COD

Table 3. Equations for COD mass balance in anoxic-oxic BF BNR process

Input COD Mass (mgCOD/d) : $Q \cdot \text{COD}_{\text{inf}}$

Output COD Mass (mgCOD/d)

Effluent COD mass(M_{eff}) : $Q \cdot \text{COD}_{\text{eff}}$

Wasting COD mass(M_{was}) : $Q \cdot \text{VSS}_{\text{eff}} \cdot f_{\text{cv}}$
 (where, $f_{\text{cv}} = 1.48 \text{ mgCOD/mgVSS}$)

Oxidized COD mass in aerobic reactor(M_{aer}) :
 $\text{OUR} \cdot V_{\text{aer}} \cdot 24 - 4.57 \cdot (1+r) \cdot Q \cdot (\text{TKN}_i - \text{TKN}_e)$
 (where, $4.57 = O_{\text{consumed}}/\text{NO}_x - N_{\text{formed}}$)

Denitrification COD mass in anoxic reactor(M_{deni}) :
 $2.5 \cdot \{r \cdot Q \cdot (\text{NO}_x - N)_i - (1+r) \cdot Q \cdot (\text{NO}_x - N)_e\}$
 (where, $2.5 = O_{\text{consumed}}/\text{NO}_x - N_{\text{deni}}$, experimental value)

Sulfate reduction COD mass in anoxic reactor(M_{SO₄}) :
 $0.67 \cdot \{r \cdot Q \cdot (\text{SO}_4)_e + Q \cdot (\text{SO}_4)_i - (1+r) \cdot Q \cdot (\text{SO}_4)_e\}$
 (where, $0.67 = O_{\text{consumed}}/(\text{SO}_4)_{\text{reduced}}$)

Table 4. Results of COD mass balance calculation in anoxic-oxic BF BNR process.

Input COD mass (mgCOD/d)		12,720
Output COD mass (mgCOD/d)		8,599
M_{eff}	1,376 (10.8%)	
M_{was}	138 (1.1%)	
M_{aer}	5,460 (42.8%)	
M_{deni}	1,346 (10.7%)	
M_{SO4}	333 (2.6%)	
$\% \text{ COD mass balance} = \frac{\text{output COD mass}}{\text{input COD mass}} \times 100 = 67.6 \%$		

는 약 10.8 % 이고, 그 외 COD는 10%미만으로 나타났

다. Arkey와 Marais⁶⁾의 anoxic-oxic공정에서 COD와 N의 mass balance 연구결과, 이들은 COD balance에 있어 호기성반응조에서는 약 95 %, 전탈질(pre-dnitrification)반응조에서는 약 96.9 %, 후탈질(post-denitrification)반응조에서는 약 97.7 %의 제거된 COD를 산정할 수 있었다.

그리고 Barker와 Dold⁷⁾는 anoxic-oxic공정에서의 COD mass balance는 거의 100% 산정할 수 있음을 제시한 바 있다. 이들이 적용한 공정은 대부분 부유성장 공법으로 비교적 물질수지에 있어 용이하지만 본 공정과 같은 생물막 공정에서는 다소 어려운 점이 있는 것으로 나타났다.

5. 적정 운전인자의 결정

본 실험에서 도출된 운전자료를 토대로 현재 국내의 축산폐수 처리시설의 방류수 수질기준을 만족 시킬 수 있는 적정 부하 및 수리학적 체류시간등을 결정하고자 하였다.

다음 Table 5에는 anoxic-oxic BF process의 운전결과를 요약하여 제시하였다. HRT 1.5 ~ 6일의 범위에서 총 유기물 제거율은 약 89.2 ~ 94.4 %의 높은 제거율을 나타내고 있으며, 총 질소는 약 72.6 ~ 85.7 % 범위로 나타났다. 질소의 제거는 부하별로 다소차이가 있는데, 이는 온도에 의한 영향을 많이 받은 것으로 판단된다. 부유성장 system의 Bardenpho공정을 이용한 돈사폐수처

리 연구결과⁸⁾와 비교할 때 약 4 ~ 5 배의 높은 부하로 적용된 것을 알 수 있다. 총인(T-P)의 제거율은 약 73.3 ~ 91.1 %의 범위로 재래적인 생물학적 처리공정보다 매우 높은 제거율을 보이고 있다. 이는 돈사폐수에 함유된 인 성분중 입자상 인의 함량이 높아 생물막에서 물리적 제거가 많이 일어난 것으로 판단된다.

1996년 1월부터 시행되고 있는 축산폐수처리시설의 방류수 규제농도는 BOD 30mg/l, SS 30mg/l, TN 120mg/l, 그리고 TP는 16mg/l이하로 적용되고 있다. 본 실험 결과를 요약한 Table 5에 의하면 규제농도를 만족하기 위한 anoxic-oxic BF process의 운전은 유기물과 질소를 기준으로 할때, HRT 4.5일, 즉 COD용적부하 0.55 kgCOD/m³·d, 표면적부하 0.13 kgCOD/m²·d 이하에서 수행되어야 하는 것으로 나타났다. 그러나 인의 농도에 있어서는 규제 기준을 만족하지 않는 것으로 나타나, 별도의 인(P)처리 공정이 필요할 것으로 판단된다. 또는 유출수내 인의 농도가 높게 나타나는 것은 저부하의 경우 생물막에서 기질제한으로 인한 인의 용출(release)영향으로 판단된다.

IV. 결 론

준협기-호기 시스템의 생물막공정을 이용하여 돈사폐수를 처리한 결과 다음과 같은 결론이 도출되었다.

Table 5. Experimental results of piggery wastewater treatment in anoxic-oxic BF BNR process.

Conditions		Hydraulic Retention Time(days)			
		2	3	4.5	6
COD VLR (kgCOD/m ³ /d)		1.40	1.01	0.55	0.54
COD SLR (kgCOD/m ² /d)		0.32	1.23	0.13	0.12
T-N VLR (kgN/m ³ /d)		0.27	0.25	0.12	0.12
T-P VLR (kgP/m ³ /d)		0.08	0.06	0.04	0.03
Temp.(°C)		22	17	25	19
Influent (mg/L)	pH	8.6	9.0	8.4	9.0
	COD	2,804	3,045	2,565	3,240
	T-N	540	740	546	732
	T-P	165	183	172	190
Effluent (mg/L)	pH	7.4	6.6	6.5	5.9
	COD	303	261	167	180
	T-N	119	203	78	130
	T-P	44	32	33	17
Removal rate (%)	COD	89.2	91.4	93.4	94.4
	T-N	78.0	72.6	85.7	82.2
	T-P	73.3	82.5	80.8	91.1

- 1) 유기물제거가 초기 준협기성 반응조에서 대부분 일어나 초기 준협기성 반응조의 설계가 유기물제거 및 후속 영양염류제거에 큰 영향을 미치게 된다.
- 2) 암모니아성 질소의 제거는 22°C 이상에서 부하에 관계 없이 최대 제거효율보였으며, 온도의 영향이 크게 나타났고, 질산화율은 온도의 영향보다 부하의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.
- 3) 암모니아성 질소 부하율 0.2 ~ 0.3 kgNH₃-N/m³·d 이상에서는 FA에 의한 *Nitrobacter*의 질산화 저해로 nitrite build-up 현상이 나타났다.
- 4) 총인(T-P)의 제거는 돈사폐수의 특성과 생물막의 많은 미생물확보에 의하여 0.1 kgP/m³·d 이하의 부하에서 60 ~ 90%의 높은 제거효율을 얻을 수 있었다.
- 5) Anoxic-oxic BF process에서의 COD mass balance 산정 결과 유입COD에 대하여 약 67.6%로 나타났다. 그 중 호기성 반응조에서의 cell합성과 에너지대사로 약

42.8%가 제거되는 것으로 나타났으며, 준협기성 반응조에서 탈질반응으로 약 10.7%가 이용된 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. 임재명, 한동준, 강성환, 우영국 : UBF반응조를 수정한 영양염류제거공정 개발, 대한환경공학회 추계학술발표, 1996.
2. Barnard, J. L : Biological Nutrient Removal without the Addition of Chemicals, *Water Res.*, 9, 485, 1975.
3. Eckenfelder, W. W : Industrial Water Pollution Control by McGraw-Hill, Inc, 1989.
4. 한동준 : 영양염류제거를 위한 반응특성 및 UBF 및 Anoxic-Oxic공정이 연계된 생물막공정개발, 강원대학교 박사학위논문, 1996.

5. Anthonisen, A. C., Loehr, R. C., Prakasam, T. B. S., and Srinath, E. G : Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid, *JWPCF*, 48, 5, 835-851, 1976.
6. Arkley, M. J., and Marais, G. v. R : The Effects of The Anoxic Zone on Sludge Production and Settleability in The Activated Sludge Process, Research Report W38, Dept. of Civil Eng., University of Cape Town, 1981.
7. Barker, P. S., and Dold, P. L : COD and Nitrogen Mass Balance in Activated Sludge Systems, *Wat. Res.*, 29, 2, 633-643, 1995.
8. 이상태 : Anoxic-Oxic 공정에 의한 돈사폐수처리, 강원대학교 석사학위논문, 1993.