



복합형 공정을 이용한 양돈폐수의 고도처리

김충곤, 강선홍, 신현곤*

광운대학교 환경공학과, 신홍대학 환경과학계열*

(2004년 8월 22일 접수, 2004년 9월 17일 채택)

Advanced Treatment of Swine Wastewater using Hybrid-process

Choong-Gon Kim, Seon-Hong Kang, Hyun-Gon Shin*

Dept. of Environmental Eng./Kwangwoon Univ., Division of Environmental Science/Shinheung College*

ABSTRACT

This study is performed to examine the removal efficiency of organic materials, $\text{NH}_4\text{-N}$ and P in Swine-Wastewater Treatment using Hybrid-process. It named SBR process, Hybrid-process as Run I (SBR), and Run II (Struvite Tank-SBR), and compared the removal efficiency of each Run.

The removal efficiency of the organic materials in each Run is like this; In Run I, TS, VS and COD was 43%, 39%, and 70%, respectively. And in Run II, TS, VS, and COD was 52%, 52%, and 82%, respectively. It shows that the removal efficiency of Run II using Struvite Tank is higher.

And as for the removal efficiency of $\text{NH}_4\text{-N}$ and T-P in each Run, Run II using Struvite Tank was 90% and 57%, higher than 56% and 49% of Run I. Especially for $\text{NH}_4\text{-N}$, Run II showed much higher efficiency, and this proved that Struvite Tank was very efficient process of all for the removal of N and P. As a result of this study, Hybrid-process that combines Struvite Tank and SBR is proved to be a very good process in Swine Wastewater Treatment.

Keywords : Hybrid-process, Struvite, SBR, swine wastewater

초 록

본 연구는 복합형공정을 이용한 고농도 양돈폐수의 유기물 및 질소·인 제거율을 검토하기 위한 것으로 단일 SBR공정과 복합형 공정을 각각 Run I(SBR), Run II(Struvite Tank - SBR)로 명명하고 고도처리 반응기의 유무에 따른 각 Run별 처리효율을 비교하였다.

각 Run별 유기물 제거율을 살펴보면 Run I의 경우 TS 제거율은 43%, VS 제거율은 39%, SS 제거율은

88%, COD 제거율은 70%이고 Run II의 TS 제거율은 52%, VS 제거율은 52%, SS 제거율은 88%, COD 제거율은 82 %으로 struvite tank가 설치된 Run II의 유기물 제거율이 더 높았다. 또한 각 Run별 암모니아와 T-P제거효율은 Struvite Tank를 설치한 Run II의 암모니아와 T-P의 제거율이 각각 90%와 57%로, Run I의 56 %와 49%보다 효율이 높았다. 특히 암모니아의 경우 Run II가 Run I 보다 매우 높은 효율을 보였으며, Struvite Tank의 설치가 질소와 인의 제거에 매우 효율적인 공정임을 알 수 있었다. 따라서 본 실험 결과 고도처리반응기(Struvite Tank)와 SBR(Sequencing Batch Reactor)을 조합한 복합형 공정인 고농도의 양돈폐수처리에 매우 적합한 공정으로 판단되어진다.

주제어 : 복합형 공정, Struvite, SBR(Sequencing Batch Reactor), 양돈폐수

1. 서론

우리나라의 양돈농가는 가축사육 의존도는 크나, 그 대부분이 소규모의 영세농가로서 보통 규제규모 미만의 가축을 사육하고 있기 때문에 이때 발생하는 축산폐수는 대부분 처리시설을 거치지 않고 바로 하천으로 방류되고 있고, 이로 인해 하천오염이 가중되고 분류 수질의 부영양화 원인으로 대두되고 있는 실정이다. 이에 따라 규제미만의 축산농가에 대한 관리와 부영양화 원인물질이 되는 질소·인에 대한 규제 강화 그리고 축산폐수 공공처리시설의 확충 및 개별농가에 대한 지원 등 정부차원의 축산폐수 오염저감을 위한 노력이 수행되어지고 있다¹⁾.

현재 적용되는 축산폐수 처리방법은 활성슬러지와 그 변법인 장기포기법, 산화구법, 라군법, 살수여상법 그리고 호기성 소화와 액상부식, 혐기성 소화 등의 생물학적 처리방법이 있다. 생물학적 처리법의 효율을 향상시키기 위하여 전처리로 부유물질을 제거하기 위한 물리적 처리방법 그리고 생물학적 처리에 의하여 방류수 수질 기준을 만족하지 못하는 경우 고도처리로 생물학적 질소·인 제거, 막분리 그리고 고도산화 등의 화학적 처리방법이 병행되고 있다.

또한 최근에는 Struvite(Magnesium Ammonium Phosphate, MAP)²⁾ 결정화를 이용한 제거 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 방법은 산업화되지 않은 방법이나 질소와 인을 함께 간단히, 효율적으로 제거 할 수 있으며,

생물학적 처리방법과 연계가 가능하고 Struvite결정은 부생산물로 비료원료로도 사용이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

따라서 본 연구는 생물학적 처리와 연계가 가능한 고도처리 반응기(Struvite Tank)³⁾를 SBR(Sequencing Batch Reactor)⁴⁾에 결합시킨 복합형 공정과 단일 SBR공정의 처리효율을 비교·검토하여 양돈폐수에서 발생하는 고농도의 유기물 및 질소·인의 제거에 적합한 복합형 공정 개발을 위하여 기초연구를 수행하였다.

2. 실험 시료 및 방법

2.1 실험시료

본 연구에 사용된 양돈폐수는 경기도 동두천시 봉암리 소재 년 800두의 소규모 축사로 3차래에

[Table 1] The Feed Swine Wastewater Composition

Parameter	Average	Range
pH	8.6	8.41-8.81
TS	6,785	5,500-8,070
SS	5,350	4,000-6,700
TCODcr	6,995	5,130-8,860
Alkalinity	6,136	4,640-7,630
NH ₄ ⁺ -N	717	175-1260
VFA	690	190-1190
TP	146	26-266

주) pH를 제외한 항목의 단위는 mg/L 임.

걸쳐 고액분리를 하는 재래식 돈사에서 채취하였으며, 본 연구에는 3차 고액 분리된 시료를 사용하였다. 고액분리조가 외부에 있어서 강우량에 따른 시료의 성상 변화가 심한 것으로 나타났다. 본 실험에 사용된 시료의 성상은 [Table 1]과 같다.

2.2 실험장치

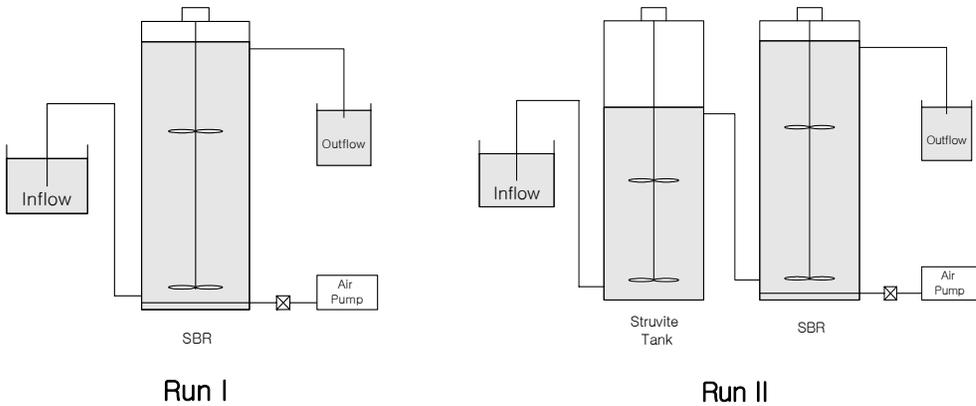
본 연구에 사용된 반응기는 각 Run별 유기물 및 질소·인의 제거 특성을 비교해 보기 위해 [Fig.1]과 같이 SBR, Struvite Tank - SBR 의 두가지 조합으로 실험하였고 각각을 Run I, Run II 로 명명하였다.

각 반응기는 원형으로 직경 10cm, 높이 40cm, 유효 용적은 2 L이고 아크릴로 제작되었다. 반응조 내 교반은 혼합이 양호하게 이루어지고 미생물에 전단력을 주지 않을 정도인 30 rpm으로 운전하였다. 반응조 온도를 일정하게 유지하기 위해 수중

히터를 이용하여 반응기가 설치된 항온조를 35±1 °C로 유지하였다.

2.3 운전 방법

각 SBR의 HRT는 6일로서 3cycle/day로 운전하였으며 유기물 제거 및 인의 용출과 탈질 반응을 위하여 1시간의 무산소 조건을 설정하였다. Struvite Tank의 HRT는 4일로서 SBR과 같이 3cycle로 운전하였고, SBR의 유출 수질이 안정화 되는 시점부터 Struvite Tank에 Struvite 결정 형성을 위한 MgSO₄ · 7H₂O를 혼합단계에서 15분간 주입하였다. 주입한 MgSO₄ · 7H₂O 용액의 몰농도는 Mg⁺² : NH₄⁺ : PO₄⁻³ = 1 : 1 : 1.5)의 비율에 맞추었고 완전한 혼합을 위하여 액체 상태로 만들어 cycle당 50 mL의 양으로 주입하였다. 각 반응기의 운전모드는 [Fig. 2]와 같다. 또한 SBR은 폭기를 위한 산기관을 반응기 하단에 설치하였다.



[Fig.1] The diagrams of Run I and II.

Fill (15min)	Mixing & Aeration (270min)	Mixing (60min)	Settle (120min)	Draw (15min)
Operation mode of SBR				
Fill (15min)	Mixing & Chemical Feeding (330min)	Settle (120min)	Draw (15min)	
Operation mode of Struvite Tank				

[Fig.2] The reaction time for SBR and struvite tank.

2.4 시료 분석

시료는 각 반응기의 상정수를 3일에 한번씩 채취하여 TS, SS, VS, TCODcr, VFA, Alkalinity, 질소 성분, 인 성분 등을 분석하였다. TS, VS, SS, TCODcr, NH₃-N는 Standard methods6)에 따라 실험하였고, VFA는 HP 사의 Gas Chromatography 중 HP6850 Series을, T-P는 Shimadzu 사의 UV-1201 model를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 pH 변화

본 실험에서 나타난 각 Run별 pH 변화는 [Fig. 3]과 같다.

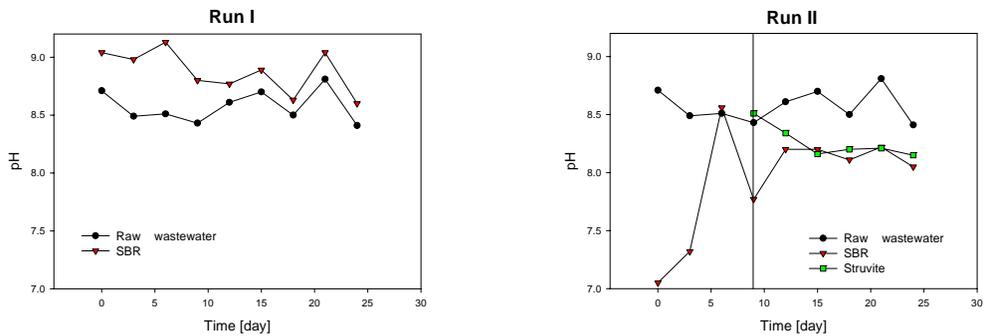
Run I의 SBR 유출수 pH는 유입수의 pH보다 다

소 높게 나타났으며, Run II의 SBR 유출수 pH는 유입수의 pH 보다 낮게 나타났다. 또한 Struvite(Magnesium Ammonium Phosphate, MAP) 침전법에서 Struvite결정은 pH 8이상에서 생성되기 쉽다고 보고된 문헌⁷⁾에서와 같이 본 실험에 있어서 Run II의 Struvite Tank 유출수의 pH는 8.2-8.6으로 나타났고, 따라서 Struvite결정형성 조건에 적합한 것으로 나타났다.

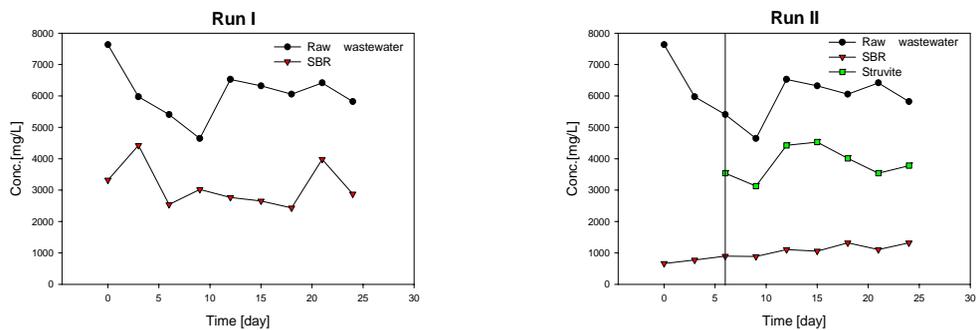
3.2 알칼리도 변화

본 실험을 통해 나타난 알칼리도 변화는 [Fig. 4]와 같다.

Run I의 SBR 유출수의 알칼리도는 질산화에 의한 알칼리도 소모가 일어나 원수보다 낮게 나타났다. 그러나 SBR 유출수의 알칼리도는 2000 mg/L 이상으로 유지되어 pH 저하는 일어나지 않았다.



[Fig.3] Change of pH concentration on Run I and Run II.



[Fig.4] Change of alkalinity concentration on Run I and Run II.

반면 Run II의 경우 SBR 유출수의 알칼리도가 약 1000 mg/L 정도로 낮은 값을 나타냈으며 이에 따라 다소 pH 저하(Fig. 3참조)가 일어난 것으로 사료된다. Run II 유출수의 알칼리도가 Run I에 비해 상당히 낮은 것은 Struvite Tank 설치에 의해서 SBR로 유입되는 알칼리도 농도가 떨어졌기 때문으로 보여진다.

3.3 TS 및 VS 농도 변화 및 제거율

본 실험결과 TS, VS의 농도 변화 및 제거율은 [Fig. 5] 와 [Fig. 6]에 나타내었다.

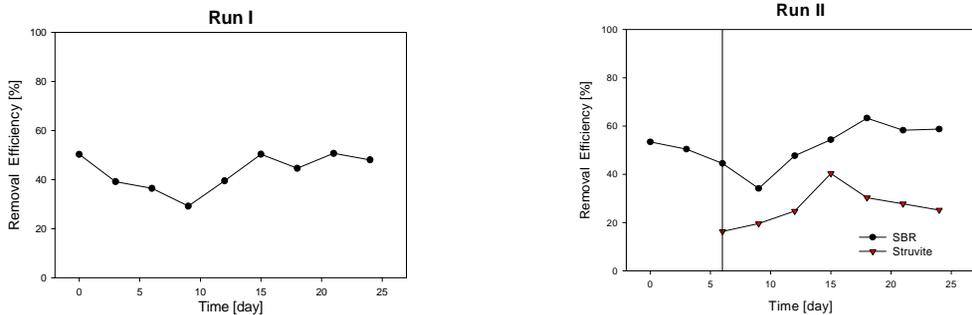
Run II의 TS 제거율은 52%, VS 제거율은 52%이고 Run I의 TS 제거율은 43%, VS 제거율은 39%로서 Run II의 제거율이 Run I에 비해 비교적 높은 값을 가졌다. 이것은 Run II의 Struvite Tank가 저류조 역할을 하여 SBR의 유입부하를

낮춰주었기 때문으로 사료된다.

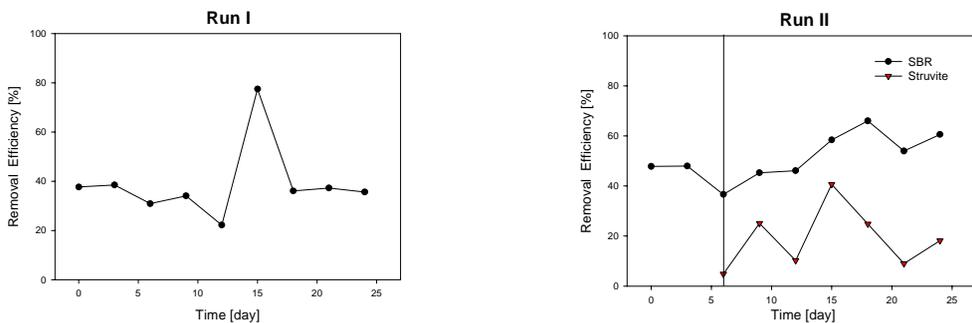
3.4 유기물의 농도변화 및 제거율

각 Run별 COD 제거율은 [Fig. 7]과 같이 나타났다.

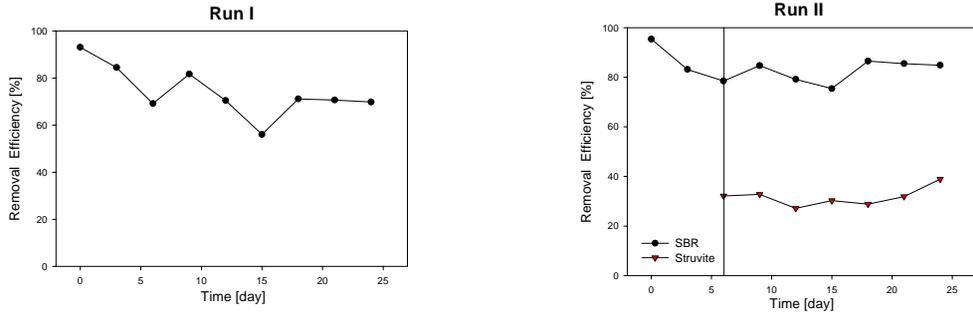
Run II의 SBR 유출수의 COD 농도는 TS, VS의 경우와 마찬가지로 Run I의 SBR 유출수 보다 낮게 나타났으며, 각 Run별 COD 제거율에 있어서는 Run I이 70%, Run II는 82%로 Run II에서 비교적 처리효율이 높았다. 또한 Run II에서 Struvite Tank의 COD값을 보면 Struvite Tank 내에서 비교적 유기물 제거가 발생하지 않은 것으로 나타났다. 이는 Struvite 침전법이 무기물 즉 암모니아나 인의 동시 제거가 발생되고 유기물의 감소에는 큰 영향을 미치지 않는다는 보고⁷⁾와 일치하는 결과로 Struvite 침전법이 고농도의 질소 함



[Fig.5] Change of TS removal efficiency on Run I and Run II.



[Fig.6] Change of VS removal efficiency on Run I and Run II.



[Fig.7] Change of COD removal efficiency on Run I and Run II.

유 폐수처리의 경우 C/N비를 크게 향상시킬 수 있다는 점과 후속 생물학적 처리 시 효율향상 및 추가 운전경비의 감소를 유도할 수 있다는 점에서 적합한 방법이라 하겠다. 따라서 Run II에서 Struvite Tank의 COD값의 감소는 Struvite 침전에 의한 감소보다는 원수가 직접 Struvite Tank에 초기 유입되므로 유기물 저류 현상에 의해 기인된 것으로 사료된다.

3.5 질소 농도변화 및 제거율

각 Run별 암모니아 제거율은 [Fig. 8]과 같다.

각 Run별 최종유출수의 암모니아 제거율은 Run I이 56%, RunII가 90%로 나타났으며, Run I에 비해 RunII에서 매우 높은 암모니아 제거율이 관찰되었다. 특히 Run II에 있어서 매우 높은 암모니아 제거율은 Struvite Tank에서의 struvite 침전에 의한 암모니아 제거로 상당한 농도가 제거되었고

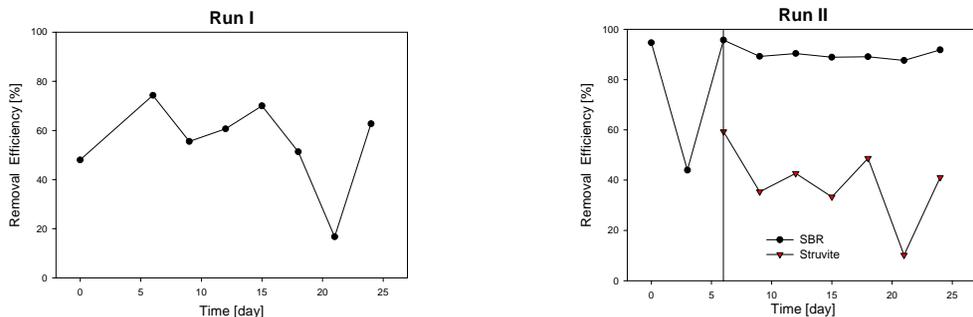
이는 후속공정인 SBR의 유입부하를 줄여주어 전체 제거율의 감소를 가져온 것으로 사료된다⁸⁾.

또한 최종유출수의 농도에 있어서 Run I의 경우 암모니아가 질산화 되기는 하지만 유출 농도가 400 - 600 mg/L 정도를 나타냈고, Run II에서 SBR의 유출 암모니아 농도는 Run I에 비해 크게 낮게 관찰되었다. 이는 질산화 및 탈기와 더불어 struvite 결정 생성 등의 복합작용에 의해 암모니아가 큰 폭으로 감소된 것으로 사료된다. 이 결과를 통해서 Struvite Tank의 유무에 따라 최종 유출수의 암모니아 농도가 상당히 차이를 나타냄을 알 수 있다.

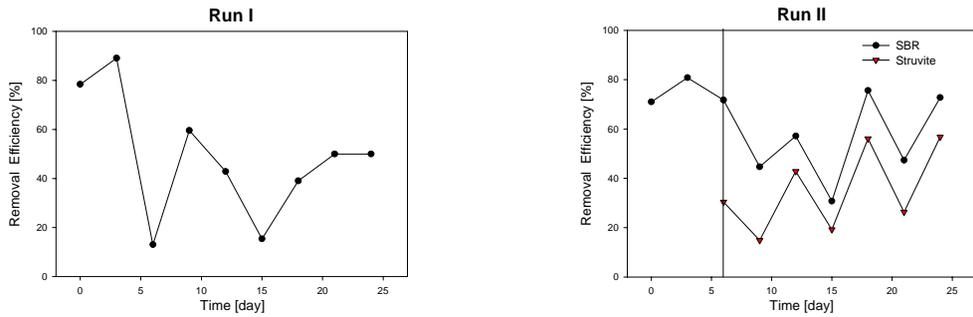
3.6 인 농도변화 및 제거율

각 Run별 T-P 제거율은 [Fig. 9]와 같다.

본 실험기간 중에 나타난 T-P 농도는 Run II의 최종 유출수 농도가 Run I의 최종 유출수 농도보



[Fig.8] Change of NH₄⁺-N removal efficiency on Run I and Run II.



[Fig.9] Change of T-P removal efficiency on Run I and Run II.

다 다소 낮게 나타났으며, Run I의 T-P 제거율은 49 %, Run II는 57 %을 나타냈다. 이는 Run II의 경우 주입한 약품에 의해 struvite tank에서 struvite 결정이 생성되고 원수 보다 낮은 부하의 T-P가 SBR로 유입되어 나타난 결과로 사료된다.

또한 Run II의 최종유출수 T-P 농도는 struvite 형성을 위해 약품을 주입한 시점부터 실험 종료까지 16 mg/L를 나타냈고, 이는 축산폐수공공처리 시설의 배출허용농도(8 mg/L)를 초과한 값이지만 SBR 반응조 앞에 혐기성 소화조를 두어 SBR 유입수의 혐기 상태를 보다 확실하게 만들어 줄 경우 SBR의 T-P 제거율은 향상될 것으로 생각된다.

Run II에 있어서 Struvite Tank내에서의 T-P 제거율은 비교적 낮게 나타났다. 이는 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 의 농도를 일률적으로 $Mg^{+2} : NH_4^+ : PO_4^{-3} = 1 : 1 : 1$ 의 비율로 맞추었기 때문인 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 복합형 공정을 이용한 고농도 양돈폐수의 유기물 및 질소·인 제거를 검토하기 위한 것으로 단일SBR공정과 복합형 공정의 처리효율을 비교한 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각 Run별 유기물 제거 결과를 보면 Run I의 TS 제거율은 43%, VS 제거율은 39%, SS 제거율은 88%, COD 제거율은 70%이고 Run II의 TS 제거율은 52%, VS 제거율은 52%, SS 제거율은 88%, COD 제거율은

82%으로 Struvite Tank가 설치된 Run II의 유기물 제거율이 더 높았다. 이것은 Struvite Tank에 의한 저류작용으로 후속 SBR에 유입되는 유기물의 부하를 줄여 주었기 때문으로 사료된다

2. 암모니아와 T-P제거효율은 Struvite Tank를 설치한 Run II의 암모니아와 TP의 제거율이 각각 90%와 57%로, Run I의 56%와 49%보다 효율이 높았다. 특히 암모니아의 경우 Run II가 Run I 보다 매우 높은 효율을 보였으며, Struvite Tank의 설치가 질소와 인의 제거에 매우 효율적인 공정임을 알 수 있었다. 본 실험 결과 고도처리반응기(Struvite Tank)와 SBR(Sequencing Batch Reactor)을 조합한 복합형 공정이 고농도의 양돈폐수처리에 매우 적합한 공정으로 판단되어진다.

참고 문헌

1. 환경부, “환경백서”, pp 425~428 (2000)
2. Vernon L. Snoeyink and David Jenkin. “Water Chemistry Ammonium”, John Wiley & Son. Inc., pp 306~310 (1980)
3. Schulze-Rettmer, R, “The simultaneous chemical precipitation of ammonium and phosphate in the form of Magnesium - Ammonium - Phosphate”, Water Sci & Tech., 23. pp 658-667 (1991)

4. 김충곤, 임제현, 강선홍, “혐기-호기 소화공정의 조합에 의한 양돈폐수 처리” 한국물환경학회지, 18(5), pp 519~526 (2002)
5. Okada, M. et al, “Performance of Sequencing Batch Reactor Activated Sludge Process for Simultaneous Removal of Nitrogen, Phosphorus and BOD as Applied to Small Community Sewage Treatment”, Water Sci. & Tech., Vol.18, pp 363-370 (1986)
6. Fujimoto, N., Mizuochi, T. and Togami, Y, “Phosphorus fixation in the sludge treatment system of a biological phosphorus removal process”, Water Sci & Tech., Vol23, pp 635-640 (1991)
7. APHA, Standard methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Ed., Washington D.C., USA, (1998)
8. Schulze-Rettmer, R, “The simultaneous chemical precipitation of ammonium and phosphate in the form of Magnesium - Ammonium - Phosphate”, Water Sci & Tech., 23. pp 658-667 (1991)
9. 김충곤, 임제현, 강선홍, “Package형 반응기에 미치는 온도의 영향에 관한 연구” 한국물환경학회지, 19(5), pp 485~492 (2003) 