ORIGINAL PAPER 원저

SBR에서 아세트산을 이용한 양돈폐수의 질소 · 인 제거 특성

허목, 강진영
제주대학교 환경공학과
(2004년 2월 21일 접수, 2004년 3월 15일 채택)

Removal Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in swine wastewater by Using Acetic acid on the SBR Process

Mock Huh, Jin-Young Kang

Dept. of Environmental Engineering, Cheju National University

ABSTRACT

This study was performed : 1) to find the suitable HRT(hydralic retention time), 2) to evaluate the effects of the ratio of mixing/aeration time and injection time of external carbon source, for the removal of organics, nitrogen and phosphorus in swine wastewater by SBR(sequencing batch reactor process), which is one of the biological treatment process.

The result of this study were summarized as follows : (1) As the ratio of mixing/aeration time was higher, NH_4^+-N removal efficiency was increased and it was increased with increasing injection time of external carbon source because nitrification was affected by denitrification microbes propagation when injection time of external carbon soruce was shorted. T-N removal efficiency was increased with increasing the ratio of mixing/aeration time and injection time of external carbon source. (2) The T-P removal efficiency showed a great difference in each operating condition, and it was increased with increasing the ratio of mixing/aeration time increased and when the injection time of external carbon source was shorted because denitrification was done with effect by denitrification microbes propagation. (3) The highest removal efficiency of organic and nitrogen were obtained by the operating condition of Run 4-1(the ratio of mixing/aeration time : 16.5/5.5, injection time of external carbon source : 15hours) and T-P were obtained by the operation condition of Run 4-2(the ratio of mixing/aeration time : 16.5/5.5, injection time of external carbon source : 3hours), and efficiency(effluent concentration)of BOD_5, COD_{Mn}, COD_{Cr}, T-N and T-P in the treated water was 96.1%, 87.7%, 90.6%, 86.6% and 84.5%, respectively.

초 록

본 연구는 생물학적 처리공정의 하나인 SBR을 이용하여, 양돈폐수중의 유기물과 질소, 인의 동시 제거를 목적으로 적정의 수리학적 체류시간(HRT)과 반응기간 중 교반/폭기 시간비(M/A) 및 적정의 교반/폭기 시간비에서의 외부탄소원의 주입기간(Injection Time)에 따른 변화에 따른 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다. (1) NH_4^+-N의 제거효율은 M/A가 0.0/22.0일 때(Run 1) 가장 효율이 좋았으며, 외부탄소원을 주입했을 경우 탈질균의 증식으로 인해서 질산화가 잘 이루어지지 않기 때문에 주입시간이 길어질수록 증가하였다. T-N의 제거효율은 M/A가 증가할수록, 외부탄소원 주입시간이 길어질수록 증가하였다. (2) T-P의 제거효율은 운전조건에 따라 큰 차이를 보이고 있으며, M/A가 증가할수록 제거효율은 증가하였으며, 외부탄소원의 주입기간을 두고 보았을때, 주입기간을 짧게 할 경우 탈질균의 증식으로 인해서 탈질이 더 효율적으로 이루어지기 때문에 그 제거효율은 증가하였다. (3) 총 반응시간 22시간 중 M/A 16.5/5.5, 무산소 기간의 16.5시간 중 15시간동안 외부탄소원을 주입했을 경우(Run 4-1)의 운전조건에서 유기물 및 질소 제거에 가장 효율적이었다. 각각의 효율을 살펴보면, COD_{Cr}, COD_{Mn} 그리고 BOD_5인 경우, 각각 90.6%, 87.7% 그리고 96.1%이고, T-N의 경우 86.6%, T-P인 경우는 84.5%로 나타났다.

핵심용어 : 수리학적 체류시간, 아세트산, 주입시간, 교반/폭기 시간

1. 서론

현재, 국내에서는 1988년 양돈폐수처리 관련시설을 액비화, 매립처분, 퇴비화, 토양침투, 살수여상, 산화구법 등으로 표준화 하였으며, 1992년에는 톱밥발효축사, 건조식 톱밥발효시설, 통풍식 및 교반식 톱밥 발효시설 등으로 2차 표준화시설에 추가하였다. 그리고 1995년에는 이들 9가지의 양돈폐수 표준화시설에 대한 표준 설계도를 환경부에서 작성제시하였으며, 1999년 환경부, 건설교통부, 농림부, 축협중앙회에서 양돈분뇨 자원화시설에 대한 표준설계도를 작성 제시하였다(환경부, 1999). 그러나 양돈폐수는 그 발생원, 수거방법, 급여사료 등에 따른 발생폐수의 성상변동폭이 크다는 점과 고농도의 유기물과 영양염을 함유하고 있어 방류수역에의 수질환경적 영향이 크다는 점 등을 고려한 보다 경제적, 효율적, 안정적인 처리기술의 도입이 시급히 요구되고 있다.

특히, 이러한 양돈폐수를 생물학적으로 처리함에 있어 연속식 공정으로 질소를 제거하려는 경우, 후탈질 공법을 이용한다면 고농도 질소의 제거를 위해서 과량의 외부기질의 주입이 필수적이므로 이에 따른 비경제성이 지적될 수 있으며, 전탈질공법에서는 과량의 내부반송에 따른 문제점들이 지적되고 있다(IETI, 1999). 따라서 고농도 암모니아를 함유한 양돈폐수를 연속식 공정으로 처리코자 한다면 원수로 탈질 가능한 양만큼만 반송시켜 전탈질을 하고, 나머지는 다시 외부기질을 이용한 후탈질조로 돌려서 전탈질과 후탈질을 동시에 채택하는 새로운 2단계 공법을 이용할 수 있겠지만 이는 시설이 너무 복잡해질 수 있다. 뿐만 아니라 양돈폐수인 경우 C/N비가 낮기 때문에 내부반송을 적정 수준까지 낮춘다는 것도 곤란하다. 그러나 연속회분식 반응조(Sequencing Batch Reactor, 이하 'SBR'로 기술)는 우선 단일 반응조에서 유기물 제거뿐만 아니라 질산화와 탈질화가 함께 이루어질 수 있기 때문에 내부 반송과 같은 시설이 필요 없어 시설비 절감 효과를 노릴 수 있고, 운전방법에 따라서 원수를 탈질기질로 활용할 수 있기 때문에 외부기질의 비용면에서 경제적이다. 또한 양돈폐수와 같이 그 폐수의 성상변화에 의한 충격부하와 유량변동에의 적응능력이 우수하며, 슬러지의 반송이 불필요한 점 등의 각종 경제성과 유지관리상의 장점 등을 고려할 때, 소규모 국내 양돈 시

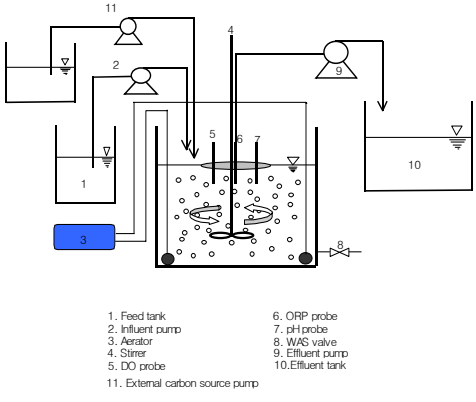
설에서의 폐수정화시설로써 SBR의 적용가능성에 관한 기술적 검토가 필요하다고 판단된다.

이에 본 연구에서는 질소에 비해 유기물질의 농도가 상대적으로 낮은 특성을 갖는 양돈폐수를 SBR공정에 직접 적용하여, 유기물 및 질소와 인을 함께 제거하기 위한 SBR공정에서의 반응기간 중 교반/폭기 시간비(Mixing/Aeration Time, 이하 'M/A'로 기술)를 변화시켜서 최대효율의 최적 M/A를 도출하고, 이 최적M/A 조건에서 아세트산(Acetic acid)의 주입기간을 변화시켜 주입함에 따른 질소와 인의 제거특성을 살펴봄으로써 SBR system에 의한 양돈폐수 처리시 기초적 설계 및 운전인자를 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용한 SBR 실험장치를 [Fig. 1]에 나타냈다. 반응조는 두께 5mm의 투명아크릴로 제작된 원형조로 사용하였고, 반응조의 총용적은 35 ℓ (D=0.29m)로 실용적은 20L로 운전하였다. 유입 및 유출은 직경 5mm의 실리콘 튜브 및 미량펌프를 사용하였다. 또한 외부탄소원으로 아세트산(Acetic acid)을 주입하는 경우에도 2mm의 실리콘 튜브 및 미량펌프를 사용하였다. 교반(Mixing) 시간에서의 반응조내 원활한 혼합을 위해 교반기를 설치하여 교반하였고, 폭기(Aeration) 시간에서의 공기공급을 위해서는 폭기기 및 산기기를 사용하였으며, 산기기는 반응조 양쪽에 각각 배치하여 내부순환에 의한 공기공급의 효율화를 기했다. 또한, 잉여슬러지를 제거하기 위해서 반응조 하단에 배출밸브를 설치하였다. 장치에 설치된 미량펌프의 운전과 폭기 및 교반은 운전조건[Fig. 2]에 의해 타이머로 자동제어되도록 하였으며, DO 및 pH/ORP측정을 위한 전극을 반응조내에 각각 설치하였다. 처리수의 배출은 슬러지의 동반유출을 막기위해 부자를 설치한 부상배출 방식을 이용했다.

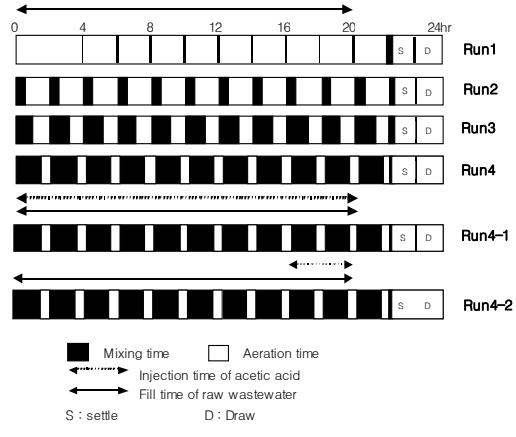


[Fig. 1] Schematic flow diagram of SBR.

2.2 실험방법

각 운전 조건의 유입수와 처리수에 대하여 [Table 1]과 같이 12개 항목을 분석하였다. 여기서 BOD는 20℃에서 5일간의 BOD를 측정하였고, COD는 $K_2Cr_2O_7$에 의한 방법 및 산성 100℃에서 $KMnO_4$에 의한 방법을 사용하여 측정하였다. T-N과 T-P는 고압멸균기(Autoclave)를 이용하여 전처리 하였으며, NH_4^+-N, NO_2^--N, NO_3^--N은 GF/C여지로 여과 후 분석하였다.

반응조내에 대해서 pH, ORP, 그리고 DO는 15분 간격으로 각각 연속측정하였으며, 혼합액중 MLSS 및 SVI을 측정하였다. 이상의 항목에 대한 분석은 수질오염공정시험방법(1997) 및 Standard Method (1995)에 준하여 실시하였다.



[Fig.2] Operation condition.

[Table.1] Analytical Items and Methods

Item	AnalyticalMethods
pH/ORP	Electrode Method(Istek 740 ; Korea)
DO	Electrode Method(Orion 810 ; USE)
$TCOD_{Cr}$	Titrimetric Method(Open Reflux Method)
$TCOD_{Mn}$	Titrimetric Method($KMnO_4$, Acidic)
TBOD	Winker Azide Modification Method(20℃, 5day)
TSS	Gravimetric Method(Dry oven, 105℃)
T-N	Spectrophotometric Method($K_2S_2O_8$, 220nm)
NH_4^+-N	Spectrophotometric Method(Indo-Phenol, 630nm)
NO_2^--N	Spectrophotometric Method(Diazo, 540nm)
NO_3^--N	Spectrophotometric Method(Cadmium Reduction Method, 630nm)
T-P	Spectrophotometric Method
Alkalinity	Titration Method(as $CaCO_3$)

2.3 실험조건

실험장치는 온도조절이 가능한 항온실에 설치하여 20±0.5℃에서 운전하였으며, 유입수는 생폐수의 성상을 유지시키기 위해 4±1℃의 냉장고에 보관하고 순환펌프에 의해 내부순환을 하면서 유입되도록 하였다. 식종에 필요한 활성슬러지는 제주시 수질환경사업소의 반송슬러지를 사용하여 약 30일간 적응시킨후 사용하였다.

호기시간에서 DO는 폭기기의 폭기강도에 의해 2~3mg/L가 되도록 조절하며, 혐기기간에서는 산소의 공급을 중단하고 교반기를 사용하여 저속 교반하였다.

반응조내 MLSS는 유입완료시를 기준으로 4,000±500㎎/ℓ, SRT는 20±2day로 운전하였다. Cycle Time은 24시간이 되도록 운전하였으며, 유입시간과 배출시간동안 2.0L의 처리량을 유입, 배출하였다. 반응 후 침전시간과 배출시간은 각각 1시간씩 두었으며, 배출이 끝난 후 또는 전에 슬러지 일령을 맞추기 위해 여유시간을 두었다.

생물학적 탈질에 필요한 외부탄소원을 아세트산으로 선정하였는데, 이는 타 탄소원에 비해 값이 저렴하고, 반응기간 중 무산소-혐기-호기성상태로 운전되어질 때 외부탄소원으로써 가장 효율이 좋으며, 특히 pH가 높은 양돈폐수를 중화시킬 수 있기 때문이다(wilderer, 1987). 또한, 이러한 아세트산을 주입함에 있어 그 기준을 C:N비로 하였으며, 이때의 C:N비는 1.45:1로 하였다(Dahab 등, 1988).

실험은 [Fig. 2]에 나타낸 것과 같이 진행하였으며, 반응시간 22시간중 M/A를 각각 0.0/22.0(run 1), 5.5/16.5(run 2), 11.0/11.0(run 3), 16.5/5.5(run 4)로 시간비를 설정하였으며, 이중 최적 M/A조건으로 1차 실험에서 도출된 Run 4의 운전조건에서 외부탄소원인 아세트산의 주입을 폐수의 유입시간과 동일하게 운전하는 조건(Run 4-1)과 폐수 유입시간의 후반에 집중적으로 주입하는 운전조건(Run 4-2)으로 실험을 단계적으로 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 반응조내 DO, pH, ORP의 시간적 변화 및 Alkalinity

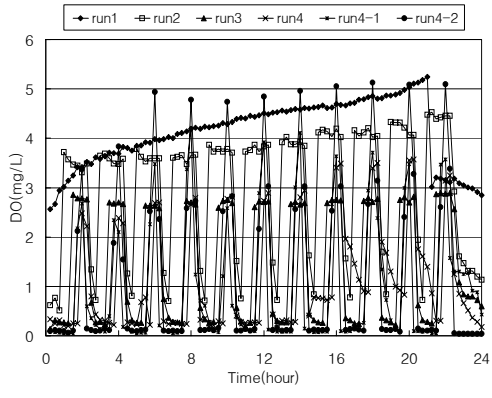
각 운전조건별 1cycle 동안의 시간경과에 따른

반응조내 DO 농도의 변화를 [Fig. 3]에 나타내었다.

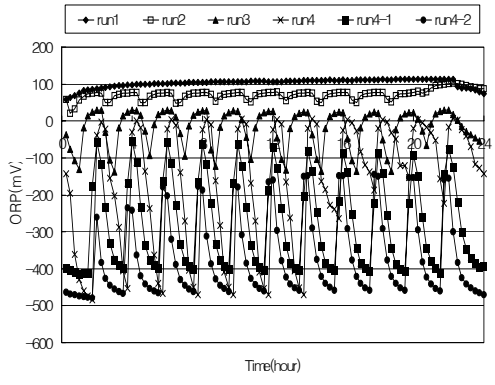
전체적으로 폭기시간(Aeration Time)중의 DO 농도는 2.5~5.0mg/ℓ를 유지하고 있으며, 반응시간의 경과에 따라 폭기 시간중의 DO농도는 점차 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 유입초기에 유기물이 상당량 제거되어, 반응조내 용량에 대한 유입수의 부하가 상대적으로 감소함에 따라 산소소모율(섭취율)이 낮아지기 때문에 DO농도가 증가하는 것으로 사료된다. 폭기를 중단한 교반시간(Mixing time)중에는 폭기중단 후 10여분 이내에 무산소(anoxic)상태를 유지하였다. 그러나 M/A를 16.5/5.5로 운전한 경우, 운전기간 후반부에 DO농도가 잘 떨어지지 않고 있는데, Jeill Oh(1999)등에 의하면 무산소기간에 탄소원이 부족할 경우 아질산염이 축적되어진다고 하였고, 본 운전에서도 이 기간과 비슷하게 아질산염이 축적되는 것으로 보아 탈질에 있어서 탄소원이 부족하여 나타난 것으로 사료된다. 침전시간 전 15분 동안의 교반기간에는 DO농도가 급격히 낮아지며 배출종료 후에는 0~3.0mg/ℓ를 유지하였다. 그러나 M/A를 16.5/5.5(Run 4)로 운전하더라도 폭기시간에서 DO농도는 질산화를 위한 농도인 2㎎/ℓ이상(EPA, 1975)을 정상적으로 유지하였으나, 5.5/16.5 (Run 2)의 운전조건에서는 교반시간 동안 무산소상태가 곤란하였다. 즉, 반응공정 중 M/A가 16.5/5.5(Run 4)일 경우 폭기시간 부족에 의한 DO농도의 저하는 없었으나, 5.5/16.5(Run 2)의 조건에서는 폭기시간에 대한 교반시간의 부족이 제한인자가 되어 질소 및 인의 제거에 악영향을 미칠 것으로 사료된다.

산환환원 수준을 나타내는 ORP를 통해 반응조내의 무산소상태에서 생화학적 반응의 상태를 파악할 수 있는데(Koch와 Oldham, 1985), 운전시간 경과에 따라 DO 농도 증감에 비례하여 ORP도 증감하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 [Fig. 4]에서와 같이 M/A가 5.5/16.5(Run 2), 11.0/11.0(Run3), 16.5/5.5(Run 4)의 운전조건에서는 폭기, 교반조건의 변화에 따라 ORP의 변화가 관찰되었지만, 0.0/22.0(Run 1)의 운전조건에서는 이러한 경향은 없었다. 즉, M/A가 커질수록 ORP의 전위차도 커서 M/A가 16.5/5.5(Run 4)의 시간비 일 때 ±250mV 이상의 전위 차를 나타내었다. 그리고 [Fig. 5]에서와 같이 전 운전조건에서 교반시간에는 pH가 증가하고 폭기시간에는 감소하였으며, 반응시간의 경과에 따라 폭기시간에서의 pH는 점점 낮아졌다. 최적 M/A조건으로 도출되어진 16.5/5.5(Run 4)에서, pH는 8.6~8.9의 수준을 유지하고 있어 pH로 인한 질소·인 제거 미생물에의 영향이 다소 있을 것으로 사료되었으나 유기물, 총질소 그리고 총인제거율의 결과를 고려할 때 그 영향은 무시할 수 있는 수준으로 판단된다.

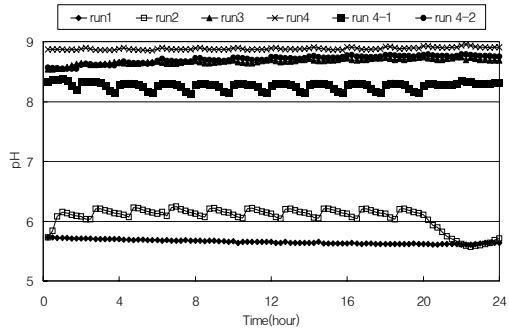
그러나 M/A가 작은 Run 1 ~ Run 2의 운전조건



[Fig. 3] Variation of DO during one cycle of each Run.



[Fig. 4] Variation of ORP during one cycle of each Run.

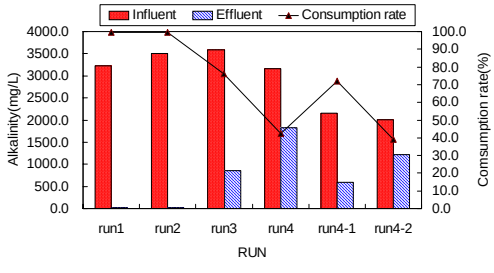


[Fig. 5] Variation of pH during one cycle of each Run.

에서는 pH 5.5까지 저하하여 미생물에 악 영향이 우려되었다.(Dawson과 Murphy, 1972; 八木 등, 1984) . 그리고 외부탄소원의 주입에 따른 pH의 변화는 반응시간 중 무산소 기간동안에 주입되는 시간이 15시간까지 일 때(Run 4-1), pH 8.1~8.4수준을 유지하고 있으며, 외부탄소원 주입시간이 반응시간 중 무산소기간 3시간 일 때(Run 4-2), 최고 8.5~8.7의 수준을 유지하였다. 즉, 외부탄소원의 주입시간을 변화시킴에 따라 pH의 변화에 영향이 있음을 알 수 있었으며, 주입시간이 짧을수록 pH는 다소 증가하였다.

그리고 A. Mohseni-Bandpi(1998)등의 연구에서와 마찬가지로 외부탄소원을 메탄올, 에탄올을 이용하였을 때는 생물학적 탈질에 의해 pH는 보다 상승하게 되나, 본 연구에서는 아세트산을 사용하였기에 외부탄소원을 주입함에 따라 pH의 상승을 억제하는 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

[Fig. 6]에서와 같이 Alkalinity는 M/A가 4.5/1.5(Run 4) 일 때 42.4% 소모되어 1820.0 mg/ℓ가 잔존하였으나, M/A가 작을수록 소모율도 증가하여 0.0/22.0(Run 1) 일 때 99.7%의 Alkalinity가 소모되어 8.3mg/ℓ (as $CaCO_3$)가 처리수 중 잔존하였다. 그러므로 Alkalinity의 소모에 의한 pH 저하를 방지하기 위해서는 탈질 공정을 확보할 수 있는 충분한 교반시간을 두어야 한다는 것을 알 수 있었다.



[Fig. 6] Variation of alkalinity and its consumption rate in each Run.

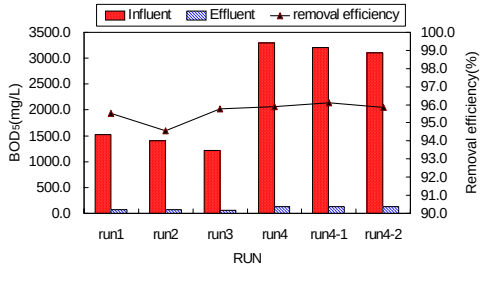
3.2 유기물 제거

[Fig. 7]에 각 운전조건의 변화에 따른 BOD의 유입·유출수 농도와 제거효율을 나타내었다

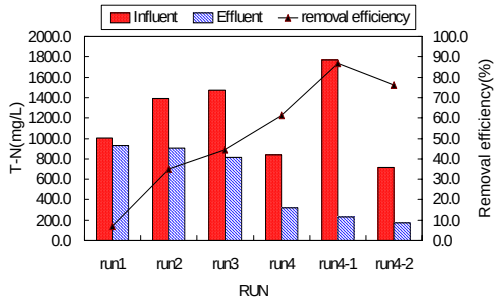
유기물 제거효율은 5.5/16.5(Run 2)의 조건을 제외한 조건들에서 모두 95%이상의 BOD제거효율을 확보할 수 있었으며, M/A의 변화에 따른 BOD제거효율의 뚜렷한 경향을 확인할 수는 없었다.

한 등(1999)에 의한 M/A의 시간비가 작아짐에 따라 BOD제거율도 증가하였던 결과와 다르게 나타났는데, 이는 pH의 저하와 알카리도의 소모로 인한 질산화와 탈질화의 저해로 인한 것으로 사료된다.

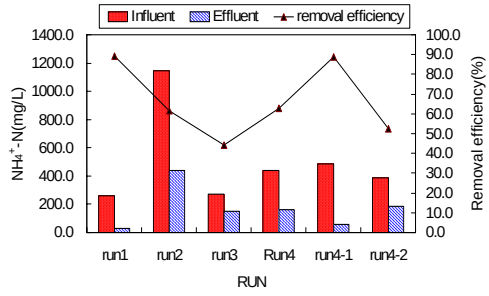
[Fig. 7]에서와 같이 M/A를 16.5/5.5의 수준으로 폭기시간을 줄이더라도 BOD5는 95.9% 이상 제거되었는데, 이는 교반시간 중 무산소상태가 효율적으로 유지되어 탈질·탈인 과정에서의 탄소원 소요에 의해 유기물 제거가 이루어진 것으로 사료된다(Ekama 과 Marais, 1984; Shin 과 Park, 1991). 또한, Run 1 ~ Run 4를 비교시, Run 1에 비해 Run 2의 제거율이 낮았지만 Run 3와 Run 4



[Fig. 7] Variation of BOD and removal efficiency in each Run.



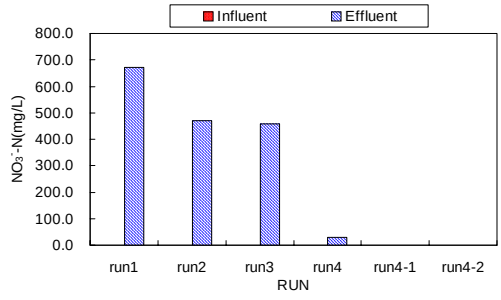
[Fig. 8] Variation of T-N concentration and removal efficiency in each Run.



[Fig. 9] Variation of NH_4^+-N concentration and removal efficiency in each Run.

는 Run 1에 비해 높은 제거율을 나타내었다. 즉, 폭기시간과 교반시간을 잘 조합하여 반복운전을 했을 경우 탈질·탈인 촉진에 의한 탄소원이 소비되어지기 때문에 폭기시간이 줄어들더라도 유기물 제거는 무리 없이 진행되는 것으로 보여진다. 외부탄소원의 주입시간에 따른 BOD_5의 제거효율은, 외부탄소원이 반응시간중 교반시간의 15시간동안 연속적으로 주입했을 경우(Run 4-1)가 처리효율이 가장 좋았다.

Run 4-1의 조건에서 BOD5인 경우 96.1%가 제거되어 125.4mg/L의 배출수농도를 유지하였고, 외부탄소원 주입시간이 3시간일 때(Run 4-2) 외부탄소원을 주입하지 않은 Run 4와 같은 95.9%로 제거되어 최종 BOD128.6mg/L를 유지하였다. 즉, 외부탄소원을 주입하는 경우가 주입하지 않은 보다 유기물 제거효율은 약간 더 높았으며, 또한 외부탄소원을 주입할 때, 주입시간이 긴 경우가 처리 효율이 더 증가하였고, 보다 안정적인 처리수질을 유지할 수 있었다. 이는 총 22시간 반응시간 중 20시간동안에서의 무산소기간인 15시간동안 외부탄소원을 균등하게 주입시킴으로써 유기물 부하를 경감시키는 효과가 있고, 교반시간 중 탈질·탈인 과정에서의 탄소원 소요에 대해서도 적극적으로 대처할 수 있기 때문인 것으로 사료된다. 또한 외부탄소원을 3시간동안 주입하는 경우에는 탈질원을 공급해줌으로써, 외부탄소원을 주입하지 않은 경우보다 미생물의 활성을 높여주었기 때문으로 사료된다.



[Fig. 10] Variation of NO_3^--N concentration in each Run.

3.3 질소·인 제거

[Fig. 8, 9, 10]은 T-N, NH_4^+-N, NO_3^--N의 유입·유출수 농도 및 제거효율을 나타내었다.

T-N의 제거는 M/A가 16.5/5.5(Run4) 일 때 61.5%가 제거되어 322.8mg/L의 처리수질을 나타내고 있다. 반응공정 중 교반시간이 있는 운전조건(Run 2, 3, 4)에서는 34.8~61.5%의 제거효율을 나타내지만, 교반시간이 없는 운전조건(Run 1)에서는 제거효율이 급격히 하강하여 7.1%만이 제거된 933.4mg/L의 처리수질을 나타내고 있다. 그리고 외부탄소원 주입시간에 따른 T-N 제거효율은 주입시간이 15시간일 때(Run 4-1) 86.8%가 제거되어 232.8mg/L의 처리수질을 나타내고 있으며, 주입시간이 3시간일 때(Run 4-2) 74%만이 제거되어, 외부탄소원의 주입시간을 보다 길게 함이 생물학적 질소 제거에 보다 유리함을 알 수

있었다.

NH_4^+-N는 M/A가 감소함에 따라 제거효율은 상승하여, M/A가 0.0/22.0 일 때(Run 1) 대부분의 NH_4^+-N가 산화되어 처리수질은 27.8mg/L를 나타내고 있다.

외부 탄소원의 주입 시간에 따른 NH_4^+-N는 외부탄소원 주입시간이 15시간일 때(Run 4-1) 88.7%가 제거되어 55.2mg/L의 처리 수질을 나타내고 있으며, 그보다 주입시간이 짧은 Run 4-2는 Run 4보다 질산화율이 더 적어서 52.7%를 제거하여 182.9mg/L가 잔존하였다. 이는 탈질세균의 활성이 Run 4와 Run 4-1에서 보다 활성이 더 좋아서 상대적으로 질화세균보다 우점종이 되었기 때문으로 사료된다. 즉, 이러한 결과는 외부탄소원의 주입시간을 길게 해주면 NH_4^+-N의 제거에서도 더 유리했다.

탈질의 정도를 나타내는 NO_3^--N는 M/A 16.5/5.5(Run 4)일 때 30.1mg/L가 처리수 중 잔존하고 있으나, M/A가 감소함에 따라 탈질율이 저하하여 0.0/22.0 일 때(Run1) 672.3mg/L가 잔존하고 있다. NO_2^--N는 M/A가 0.0/22.0(Run 1) 일 때 84.3mg/L로 가장 높았고, 그 외에 11.0/11.0(Run 3)일 때가 5.6mg/L로 나타났으며, 그외에는 0.8mg/L이하로 잔존했다.

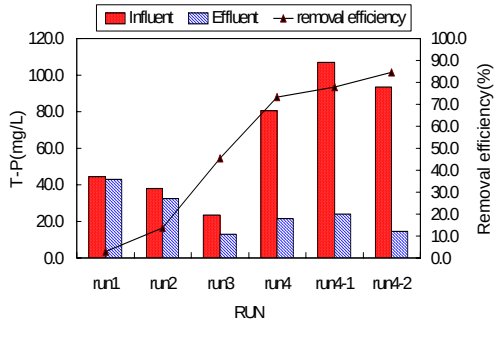
그러므로, NH_4^+-N제거효율이 다소 낮더라도 M/A를 16.5/5.5(Run 4)로 운전하여 탈질의 효율화를 통한 T-N제거효율의 상승을 유도해야 한다. 외부 탄소원의 주입에 따른 NO_3^--N과 NO_2^--N인 경우, 둘 다 1mg/L이하로 검출된 것으로 보아 탈질에는 그다지 어려움이 없었으나, 질산화에 있어 어려움이 발생하는 것으로 보아 질산화를 먼저 선행시킬 수 있는 방안을 강구하여야 할 것으로 사료된다.

[Fig. 11]은 T-P의 유입·유출수의 농도 및 제거 효율을 나타내었다.

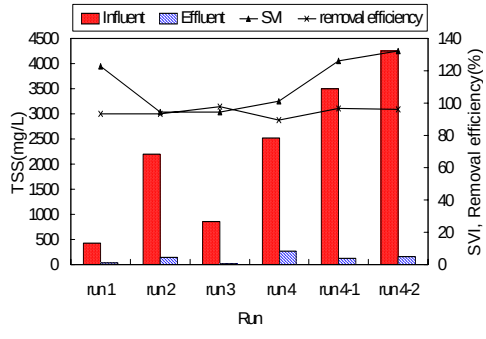
T-P의 제거효율은 72%미만으로 M/A에 따라 다르게 나타나고 있으며, 특히 M/A가 작은 조건(Run 1, 2)에서는 15%정도로 매우 낮은 제거효율을 나타내었다. 이는 [Fig. 10]에서 나타난 바와 같이 질산화과정에서 생성되어 탈질을 통해 제거되지 못하고 반응조내 잔존하는 산화질소에 의해 인 방출이 저해된 것으로 사료된다.

그러므로, 인 제거의 방해요소인 산화질소를 제거하기 위해서는 M/A의 변화이외에도 생물학적 탈질을 선행시킬 수 있는 방안을 강구하여야 할 것으로 사료된다.

외부탄소원의 주입에 따른 T-P의 제거효율을 살펴보면, 주입시간을 15시간으로 한 경우(Run 4-1)보다, 3시간으로 한 경우(Run 4-2)가 더 높았다. Run 4-2에서의 제거효율은 84.5%로 14.5mg/L로 잔존하게 되었고 Run 4-1에서는 77.8%로 23.8mg/L로 유지하였는데, 이는 인을 제거하기 위해서는 먼저 탈질이 선행되어져야 하는데, Run 4-2는 Run 4-1에서 보다 탈질세균이 질화세균보다 우점종으로 있으므로 질화가 그 만큼 더 잘 이루어졌을 것이며, 이에 따라 인의 제거



[Fig. 11] Variation of T-P concentration and removal efficiency in each Run.



[Fig. 12] Variation of TSS concentration, removal efficiency and SVI in each Run.

또한 Run 4-1보다 높게 제거된 것으로 사료된다. 즉, 인의 제거를 위한 공정이라면 주입시간을 짧게 함으로써, 탈질세균을 우점종으로 하는 것이 유리하다.

3.4 TSS제거 및 SVI

[Fig. 12]는 각각의 운전에서 TSS농도 및 제거효율과 SVI를 보여주고 있다.

일반적으로 M/A가 증가할수록 TSS제거효율은 감소하고 있는데, 한(1999) 등의 연구에서 보면 M/A가 점점 작아질수록 TSS의 처리효율은 증가하였던 것과 마찬가지로 여기서 보면, 교반/폭기비가 가장 큰 Run 4에서 처리수질이 가장 나쁜 결과를 나타내고 있다.

또한, 한(1999)등에 의하면 실험초기에 침전시간 전 교반의 영향을 비교하기 위한 실험을 수행하였는데, 침전시간 전 교반을 선행하지 않은 경우 침전기간 중 슬러지부상(Sludge rising)에 의해 처리수질이 악화되거나 침강성이 저하되는 등의 이상현상이 있었으나, 침전시간 전 15분 동안의 교반시설을 둠으로써 이상현상은 전혀나타나지 않았다. 이러한 현상은 M/A를 0.0/22.0으로 운전한 Run 1에서 두드러지게 나타났으며, Run 1과 같이 반응시간 중 폭기만 진행시킬 경우에는 침전시간 전 교반시간을 둠으로써 이상현상을 방지할 수 있다는 연구결과의 토대로 본 실험에서도 침전시간 전 15분 동안 교반시간을 두었다.

본 실험에서 슬러지 농축 침강성을 나타내는 슬러지용량지표(Sludge Volume Index : SVI)는 94~132정도로 큰 차이를 나타내지는 않았으며, 운전기간 중 사상균에 의한 Sludge Bulking 현상은 일어나지 않았다. 표준활성슬러지공정에서 침강성이 안정되어있는 SVI값이 50~150임을 감안하면 전체적으로 양호한 침강성을 나타내고 있다.

4. 결론

생물학적 처리공정의 하나인 SBR을 이용하여, 양돈농가에서 배출되는 폐수중에 유기물과 질소, 인의 동시제거를 목적으로 반응기간 중 교반/폭기 시간비(M/A) 및 적정의 교반/폭기 시간비에서의 외부탄소원의 주입기간의 변화에 따른 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. NH_4^+-N의 제거효율은 M/A가 0.0/22.0일 때 가장 효율이 좋았으며, 외부탄소원을 주입했을 경우 탈질균의 증식으로 인해서 질산화가 잘 이루어지지 않기 때문에 주입시간이 길어질수록 증가하였다. T-N의 제거효율은 교반/폭기 시간비(M/A)가 증가할수록, 외부탄소원(Acetic acid)의 주입시간이 길어질수록 증가하였다.
2. T-P의 제거효율은 운전조건에 따라 큰 차이를 보이고 있으며, M/A가 증가할수록 제거효율은 증가하였으며, 외부탄소원의 주입시간을 짧게 할 경우 탈질균의 증식으로 인해서 탈질이 더 효율적으로 이루어지기 때문에 그 제거효율은 보다 증가하였다.
3. 총 반응시간 22시간 중 교반/폭기 시간비(M/A) 16.5/5.5, 무산소 기간의 16.5시간 중 15시간동안 외부탄소원을 주입했을 경우(Run 4-1)의 운전조건에서 유기물 및 질소제거에 가장 효율적이었으며, 인의 경우 무산소기간의 16.5시간중 3시간 동안 주입한 경우(Run 4-2)의 운전조건에서 가장 효율적이었다. 그 각각의 최고 제거효율은 BOD5는 96.1%이고, T-N 및 T-P인 경우 각각 86.6%, 84.5%로 나타났다.

5. 참고 문헌

1. A. Mohseni-Bandpi and D.J.Elliott, Groundwater Denitrification with alternative carbon sources., *Wat. Sci. & Tech.,* Vol.38, No.6 pp. 237~243 (1998).
2. Dawson, R. N. and K. L. Murphy, The temperature dependency of biological denitrification, *Wat. Res.,* 6, pp. 71~83 (1972).
3. Ekama, G. A. and G.V.R, Marais, Carbonaceous material removal, in theoy,

design and operation of nutrient removal activated sludge processes., Wat. Res., pretoria, pp. 3~4 (1984).
4. 한지용, Removal of nitrogen and phosphorus in sewage by changeof operating condition on SBR process., 한국물환경학회, 15(2), pp. 241~255 (1999).
5. 허목, 강진영, 김부길, SBR에서 양돈폐수의 영양염류제거시 교반/폭기시간 비의 영향, 대한환경공학회지, 24(1), pp. 171~180 (2002).
6. 허목, 이용두, 강진영, SBR에서 아세트산주입시간변화에 따른 양돈폐수의 질소,인 제거특성, 폐기물자원화, 11(1), pp. 132~137 (2003).
7. Jeill Oh and JoAnn Silverstein, Member, ASCE., Acetate limitation and nitrite accumulation during denitrification., J. ENVIRON. ENG., MARCH (1999).
8. Koch, F. A. and W. K. Oldham, Oxidation-Reduction Potential: A tool for monitoring, control and optimization of biological nutrient removal system, *Wat. Sci. & Tech.,* 17(11/12), pp. 259~281 (1985).
9. Wilderer, P. A., Jones, W. L., and Dau. U., "Competition in denitrification system affecting reduction rate and accumulation of nitrite." Water Res., 21(2), pp. 239~245 (1987).
10. 八木橋一郎 外, 活性汚泥の硝化菌および脫窒に關する硏究, *下水道協會誌,* 21(245), pp. 38~43 (1984).

"이 논문은 2003년도 제주대학교 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음"