

SBR에서 아세트산의 주입시간변화에 따른 양돈폐수의 질소, 인 제거특성

허 목¹⁾ · 강진연
제주대학교 환경공학과

I. 서론

현재, 국내에서는 1988년 양돈폐수처리 관련시설을 액비화, 매립처분, 퇴비화, 토양침투, 살수여상, 산화구법등으로 표준화 하였으며, 1992년에는 톱밥발효축사, 건조식 톱밥발효시설, 통풍식 및 교반식 톱밥 발효시설 등을 표준화시설에 추가하였다. 그리고 1995년에는 이들 9가지의 양돈폐수 표준화시설에 대한 표준 설계도를 환경부에서 작성제시하였으며, 1999년 환경부, 건설교통부, 농림부, 축협중앙회에서 양돈분뇨 자원화시설에 대한 표준설계도를 작성 제시하고 있다(환경부, 1999). 그러나 양돈폐수는 그 발생원, 수거방법, 급여사료 등에 따라서 폐수의 성상이 달라질 뿐만 아니라 고농도 폐수이기 때문에 최적의 처리방법의 도출은 신중한 기술적 검토를 요구하고 있다.

이에 본 연구에서는 질소에 비해 유기물질의 농도가 상대적으로 낮은 특성을 갖는 양돈폐수를 SBR(Sequencing Batch Reactor ; 연속회분식반응기)에 직접 적용하여, 적정효율을 구할 수 있는 최적 HRT를 도출하고, 이러한 최적의 HRT에서 외부탄소원(acetic acid)의 주입시간을 변화시켜 주입함에 따른 SBR system에서의 질소와 인의 제거특성을 고찰함에 따라 양돈폐수 처리시 기초적 설계 및 운전인자를 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

실험장치는 온도조절이 가능한 항온실에 설치하여 $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 에서 운전하였으며, 유입수는 생폐수의 성상을 유지시키기 위해 $4 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 냉장고에 보관하고, 순환펌프에 의해 내부순환을 하면서 유입되도록 하였다. 식중에 필요한 활성슬러지는 제주도 수질환경사업소의 반응슬러지를 사용하여 약 30일간 적응시킨후 사용하였다.

호기기간 중 DO는 폭기기의 폭기강도에 의해 $2 \sim 3\text{mg/L}$ 가 되도록 조절하며, 혐기기간에서는 산소의 공급을 중단하고 교반기를 사용하여 저속 교반하였다. 반응조내 MLSS는 유입완료시를 기준으로 $4,000 \pm 500\text{mg/l}$, SRT는 $20 \pm 2\text{day}$ 로 운전하였다. 1Cycle Time은 24시간이 되도록 운전하였으며, 유입시간과 배출시간동안 2.0L의 양을 유입, 배출하였다. 반응 후 침전시간과 배출시간은 각각 1시간씩 두었으며, 배출이 끝난 후 또는 전에 슬러지 일령을 맞추기 위해 여유시간을 두어 Fig. 1과 같은 SBR 운전조건으로 실험실적 연구를 수행하였다.

1) 수리학적 체류시간의 변화

수리학적 체류시간(HRT)을 산정함에 있어서, 동력학적 상수를 산출하기 위해 부피/유량의 기준으로 2days, 4days, 8days, 10days로 각각 변화시키면서 운전하였으며, 유입시간은 고농도의 양돈폐수에 의한 충격부하를 방지하고, 미생물의 질화 및 탈질에 지속적인 탄소원을 공급하기 위해 반응시간 중 20시간으로 설정하였다. 한(1999)의 연구에 의하면 유입시간이 증가할수록 유기물 제거효율도 높게 나

타났으며, IETI(1999)에 의하면 원수 주입방법을 single feeding type으로 할 때는 탈질을 위한 외부기질이 100%주입되어야 하나, 연속(continuous) 또는 간헐 주입 방식(intermittent feeding type)으로 할 때는 외부기질의 절감효과가 있는 것으로 연구되었다.

2) 아세트산(acetic acid)의 주입시간의 변화

Run 1의 운전조건에서 탈질에 필요한 외부탄소원을 아세트산(acetic acid)으로 선정하였는데, 이는 타 탄소원들에 비해 값이 저렴하고, 탈질 효율 또한 우수하며, pH가 높은 양돈폐수를 중화시킬 수 있기 때문이다(wilderer, 1987). 또한, 이러한 아세트산(acetic acid)의 주입량은 C/N비를 기준으로 산정하였으며, 이때의 C:N비는 1.45:1로 하였다(Dahab 등, 1988).

이에 따라 본 실험에서의 아세트산 주입시간의 변화는 폐수주입기간인 20시간중 15시간의 무산소기간에 간헐적으로 주입시키는 운전조건(Run 2)과 폐수유입의 종료시로부터 3시간의 무산소기간동안의 간헐주입운전조건(Run 3)으로 Fig. 1과 같이 수행하였다.

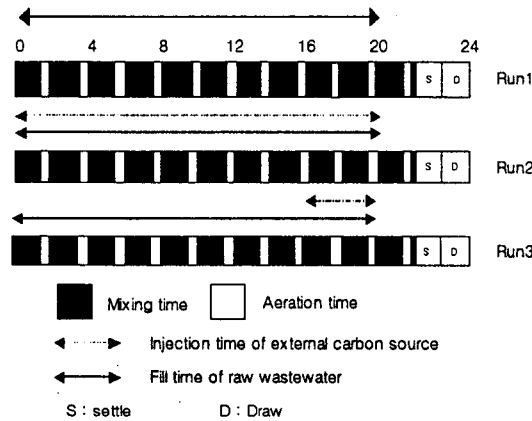


Fig. 1. Operation conditions.

III. 결과 및 고찰

1. 수리학적 체류시간

동력학적 상수 K(maximum specific substrate removal rate ; 반응속도상수, hr^{-1})와 Ks(half-velocity constant ; 반속도 상수, mg/L)의 결정은 회분식 실험 결과와 연속 회분식 운전자료로부터 도출하였는데, Ks와 K는 회분식인 경우 각각 $10.95mg/L$ 과 $8.76 \times 10^{-4}hr^{-1}$ 이고, 연속 회분식 실험에서는 각각 $120.89mg/L$ 과 $4.52 \times 10^{-3}hr^{-1}$ 로 나타났다. 산출된 동력학적 상수에 의해 산출된 적정 수리학적 체류시간은 연속회분식인 경우 7.13days이고, 회분식인 경우는 22.86days로 나타났다. 여기서, 연속회분식 실험과 회분식 실험에서의 결과가 다른 이유로는 회분식인 경우 과잉부하로 인한 것으로 사료된다. 이러한 결과로 연속 회분식 반응기를 사용하여 축산폐수를 처리함에 있어서 침전시간과 배출시간을 고려하고, 농도변화 등의 경우를 고려하여, HRT를 10days로 산정하였다.

2. 아세트산 주입시간의 변화

1) DO, ORP, pH 및 Alkalinity

각 운전조건별 1Cycle 동안의 시간경과에 따른 반응조내 DO농도, ORP, pH의 변화를 살펴보면, 먼저, DO농도는 $2.0 \sim 5.0mg/L$ 정도를 유지하고 있으며, Run 2에서는 다른 운전조건에서와는 달리 시간경과에 따라 폭기시간에서의 DO농도가 증가하지 않는 경향을 나타내고 있다. 이는 아세트산이 주입됨으로 인해 부하의 소모율과 주입율이 거의 비슷하기 때문인 것으로 사료된다.

그러나 Run 3에서는 아세트산이 주입되어도 폭기시간에서의 DO농도가 증가하는 경향을 나타내고 있는데, 이는 반응 후반부에 아세트산이 주입되기 때문에 부하가 발생하여 반응초기에 회복되지 않았다가 점차로 회복되어 DO가 상승하는 것으로 사료된다.

아세트산은 반응시간 중 무산소 기간동안에 주입되는 시간이 15시간까지 일 때(Run 2) pH 8.1~8.4수준을 유지하고 있으며, 아세트산 주입시간이 반응시간 중 무산소기간 3시간 일 때(Run 3) 최고 8.5~8.7수준을 유지하였다. 외부탄소원 주입시간에 따른 pH변화를 살펴보면, 각각의 운전에서 큰 편차를 보여주고 있으며, 주입시간이 짧을수록 pH는 다소 증가하는 경향을 나타내었다.

Run 1과 비교시 외부탄소원인 아세트산을 주입하는 경우, pH는 다소 낮은 경향을 보이는데 이는 A. Mohseni-Bandpi(1998)등의 연구에서와 같이 탈질반응시 pH는 상승하게 되는데, 특히 외부탄소원으로 많이 쓰이는 메탄올과 에탄올 등을 외부탄소원으로 주입하였을 때 pH는 상승하나, 아세트산을 외부탄소원으로 주입하는 경우 pH는 상승하지 않는 것과 같은 것으로 사료된다.

Alkalinity는 아세트산이 주입시간이 3시간일 때(Run 3) 39%소모되어 1220mg/L가 잔존하였는데, 이는 질산화균보다 탈질균이 우점종으로 존재하기 때문이라 사료되며, 주입시간이 길었을 때는 소모율은 증가하여 15시간 일 때(Run 2) 72.1%의 Alkalinity가 소모되어 600.8mg/L가 처리수 중 잔존하였다.

2) 유기물 제거

아세트산의 주입시간에 따른 BOD, COD_{Mn}과 COD_{Cr}의 유입·유출수 농도와 제거효율을 살펴보았을 때, 아세트산의 주입시간에 따른 BOD, COD_{Mn} 그리고 COD_{Cr}의 제거효율은, 아세트산이 반응시간 중 무산소기간인 15시간동안 연속적으로 주입했을 경우(Run 2)가 처리효율이 가장 좋았다.

주입시간이 15시간일 때(Run 2), BOD인 경우 96.1%가 제거되어 125.4mg/L가 잔존하고, COD_{Mn}인 경우 87.7%가 제거되어 179.8mg/L가 잔존하였으며, COD_{Cr}인 경우에는 90.6%가 제거되어 627.5mg/L의 농도를 유지하였다. 그리고 아세트산 주입시간이 3시간일 때(Run 3), BOD인 경우 아세트산을 주입하지 않은 Run 1과 같은 95.9%로 제거되어 128.6mg/L를 유지하였고, COD_{Mn}인 경우 처리효율이 87.3%로 213.5mg/L가 잔존하였으며, COD_{Cr}인 경우에는 89.3%가 제거되어 705.9mg/L의 농도를 유지하였다. 즉, 아세트산을 주입하는 경우가 주입하지 않는 경우보다 유기물 제거효율이 더 높았으며, 또한 아세트산을 주입할 때, 주입시간이 긴 경우가 처리 효율이 더 증가하였고, 보다 안정적인 처리수질을 유지할 수 있었다. 이는 폐수유입기간인 20시간 중 무산소기간인 15시간동안 아세트산을 균등하게 주입시킴으로써 유기물 부하를 경감시키는 효과가 있고, 교반시간 중 탈질·탈인 과정에서 탄소원 소요에 대해서도 적극적으로 대처할 수 있기 때문인 것으로 사료된다. 또한 아세트산을 3시간동안 주입하는 경우에는 탈질원을 공급해줌으로써, 아세트산을 주입하지 않은 경우보다 미생물의 활성을 높여주었기 때문으로 사료된다.

3) 질소 및 인 제거

NH₄⁺-N는 아세트산 주입시간이 15시간일 때(Run 2) 88.7%가 제거되어 55.2mg/L의 처리수질을 나타내고 있으며, 그보다 주입시간이 짧은 Run 3는 아세트산을 주입하지 않은 Run 1보다 질산화율이 더 적어서 52.7%를 제거하여 182.9mg/L가 잔존하였다. 이는 탈질 세균의 활성이 Run 1와 Run 2의 탈질세균보다 활성이 더 좋기 때문에 상대적으로 질화세균보다 우점종이 되었기 때문인 것으로 사료된다. 즉 이러한 결과는 아세트산의 주입시간을 길게 해주면 NH₄⁺-N의 제거에 더 유리하다는 것을 보여준다. T-N은 주입시간이 15시간일 때(Run 2) 86.8%가 제거되어 232.8mg/L의 처리수질을 나타내고 있으며, 주입시간이 3시간일 때(Run 3) 74%만이 제거되어, 주입시간을 길게 했을 때 질소제거에 유리함을 보여주고 있다. 또한 NO₃⁻-N과 NO₂⁻-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. 아세트산의 주입에 따른 T-P의 제거효율을 살펴보면, 주입시간을 15시간으로 한 경우보다, 3시간으로 한 경우가 더 높았다. Run 3에서의 제거

효율은 84.5%로 14.5mg/L로 잔존하게 되었고 Run 2에서는 77.8%로 23.8mg/L로 유지하였는데, 이는 인을 제거하기 위해서는 먼저 탈질이 선행되어야 하는데(Peter 등, 1993), Run 3는 Run 2에서 보다 탈질세균이 질화세균보다 우점종으로 있으므로 질화가 그 만큼 더 잘 이루어졌을 것이며, 이에 따라 인의 제거 또한 Run 2보다 높게 제거된 것으로 사료된다. 즉 인의 제거를 위한 공정이라면 주입시간을 짧게 함으로써, 탈질세균을 우점종으로 하는 것이 유리하다.

IV. 결론

생물학적 처리공정의 하나인 SBR을 이용하여, 양돈폐수중의 유기물과 질소, 인의 동시제거를 목적으로 적정의 수리학적 체류시간(HRT)과 반응기간 중 교반/폭기 시간비(M/A) 및 적정의 교반/폭기 시간비에서의 외부탄소원(acetic acid)의 주입기간(injection time)에 따른 변화에 따른 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 양돈폐수를 처리함에 있어서 HRT의 이론적 산출에 필요한 동력학적 상수 K_s 와 K 는 회분식인 경우 각각 10.95mg/L 과 $8.76 \times 10^{-4}\text{hr}^{-1}$ 이고, 연속 회분식 실험에서는 각각 120.89mg/L 과 $4.52 \times 10^{-3}\text{hr}^{-1}$ 이었으며, HRT는 회분식 22.86days, 연속회분식은 7.13days로 산출되었으며, 이를 고려하여 실제 SBR의 운영·설계시 HRT는 약 10days로 제안하였다.
2. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 과 T-N의 제거효율은 아세트산의 주입시간을 보다 길게 나누어서 주입하는 방법이 더 효과적이었다.
3. 아세트산의 주입시간을 보다 짧은 기간에 행하는 경우가 탈질균의 증식으로 인해서 탈질이 보다 더 효율적으로 이루어지기 때문에 T-P의 제거효율이 보다 더 증가 될 수 있었다.
4. 외부탄소원으로서 아세트산의 주입시간을 보다 길게 하여 균등하게 주입하는 것이 유기물, 질소의 제거에는 보다 효율적이지만, 주입시간을 보다 짧게 하는 것은 탈질효율을 오히려 증가시킬 수 있었다.
5. SBR에서 외부탄소원으로 아세트산을 이용한 본 실험실적 연구에서의 최적운전조건인 HRT 10days, 1cycle time 24hrs, 아세트산 주입시간 15hrs 등의 조건(Run 2)에서 유기물 및 질소 제거에 가장 효율적이었으며, 인의 경우 폐수유입의 종료시로부터 3시간의 무산소기간 동안의 간헐주입운전조건(Run 3)에서 가장 효율적이었다. 각각의 효율을 살펴보면, COD_{Cr} , COD_{Mn} 그리고 BOD_5 인 경우, 각각 90.6%, 87.7% 그리고 96.1%이고, T-N의 경우 86.6%, T-P인 경우는 84.5%로 나타났다.

IV. 참고문헌

- A. Mohseni-Bandpi and D.J.Elliott, 1998, Groundwater Denitrification with alternative carbon sources., *Wat. Sci. & Tech.*, Vol.38, No.6 pp.237~243.
- Dahab M. F., Yamamoto R., 1988, Nitrate removal from water supplies using biological denitrification, *Jr. WPCF.*, 60, 1670~1674
- 한지용, 1999, Removal of nitrogen and phosphorus in sewage by change of operating condition on SBR process., *한국물환경학회*, 15권 2호.
- IETI, 1999, 축산폐수 고도처리 신기술 개발 보완 보고서
- Wilderer, P. A., Jones, W. L., and Dau. U., 1987, "Competition in denitrification system affecting reduction rate and accumulation of nitrite." *Water Res.*, 21(2), 239~245
- Peter, J., K., 1993 Jespersen and M. Henze, Biological phosphorus uptake under anoxic and aerobic condition, *Wat.Res.*, 27(4), pp.617~624.