

산화부상기를 이용하는 축산분뇨처리 방법의 수질정확효율 분석

함상인 · 이정관 · 박민정 · 이병희* · 이용운[†]

전남대학교 환경공학과, *경기대학교 토목환경공학부

Evaluation of Water Purification Efficiency by Livestock Nightsoil Treatment Process with High-rate Oxidation Reactor

Sang-In Ham, Jung-Gwan Lee, Min-Jung Park, Byonghi Lee*, and Yong-Woon Lee[†]

Department of Environmental Engineering, Chonnam National University, Gwangju, Korea

*School of Environmental and Civil Engineering, Kyonggi University, Kyonggi, Korea

The purpose of this study is to investigate experimentally the treatment efficiency of the wastewater treatment equipment established by a method of livestock nightsoil treatment process with high-rate oxidation reactor. The results of this study show that the removal rates of BOD, SS, T-N and T-P are 88.8%, 97.5%, 78.8% and 88.7%, respectively, when the process is operated in the condition of a designed treatment capacity. The efficiency of nitrogen removal is high because the high-rate aerator can supply a lot of oxygen required in the bio-reactor. Also, the efficiency of phosphorus removal is high due to the exclusion outside of the bio-reactor as both the product of struvite and/or hydroxyapatite in the bio-reactor and the absorbate on the inorganic solids suspended.

Key words: Livestock nightsoil, bio-reactor, high-rate aerator, foam breaker

1. 서 론

우리나라의 토양은 지난 수십년 동안 사용한 화학비료와 대기오염에 의한 산성비 때문에 산성화가 심각한 상태이고, 현재 이를 중성화 하는데 사용할 수 있는 중화물질로서 축산분뇨의 발효액비가 크게 주목을 받고 있다. 또한 2006년부터 화학비료의 정부 지원금이 중단 되는 관계로 화학비료에 대한 발효액비의 경제성이 높아져, 앞으로 화학비료 대신에 발효 액비를 사용하는 농가가 늘어날 것이다.¹⁾

축산분뇨를 발효액비로 사용하기 위해서는 악취가 발생하지 않는 수준까지 오염물질의 처리가 이루어져야 하나, 현재 대규모 축사에서 개별적으로 적용하고 있는 축산분뇨처리 공법들의 거의 대부분은 액비의 악취기준을 만족시키지 못하고 있는 실정이다. 또한, 2003년부터 축산폐수공공처리시설의 질소·인 배출허용 기준

으로 60 mg/L와 8 mg/L가 각각 적용되고²⁾ 있으나, 이들 각각의 배출허용 기준을 만족시킬 수 있는 기술이 거의 없어, 대부분의 경우에 하수와 합병처리하는 방식을 채택하게 되었고, 이에 따른 축산폐수의 오염물질 과부하는 하수처리장 운전에도 심각한 문제를 야기시키고 있다.

축산폐수는 미세입자를 포함한 부유물이 많고 유기물 등의 오염물질이 고농도이기 때문에 처리에 어려움이 많은 실정이다. 특히, 이러한 특이성을 가진 축산폐수를 하수처리에 일반적으로 적용되고 있는 생물학적 처리 공법들에만 의존하다 보니, 처리효율이 낮아, 시설물 설치에 막대한 예산을 투입하고도 그 실효성을 거두지 못하고 있는 형편이다. 따라서, 본 연구의 목적은 산화부상기를 이용하는 축산분뇨처리 공법이 발효액비 기준을³⁾ 안정적으로 만족할 수 있는지를 실험을 통해 처리효율을 분석하는 것이다.

[†]To whom correspondence should be addressed
ywlee@jnu.ac.kr

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 실험장치

본 연구의 산화부상기를 이용하는 축산분뇨 처리장치는 충청남도 부여군에 위치한 양돈영농조합법인에서 운영하고 있는 돈사(약 5,000두)의 폐수처리장치이다. 현장실험장치의 공정도(Fig. 1)는 고액분리기, 산화부상기, 전분제거기, 액비저장조의 순으로 구성되어 있다.

고액분리기는 축사원수를 고액 분리하고, 이때 분리액은 산화부상기로 보내진다. 산화부상기는 호기성 고온발효를 통해 미세고형물뿐만 아니라 용존성 오염물질을 처리하며, 전분제거기는 산화부상기 배출수의 잔류 물질을 처리한 후 침전조를 거쳐 액비저장조로 보내지며, 하루 처리용량은 20~30톤이고 최종 처리수는 액비로 사용되고 있다.

2.2. 수질분석 방법

현장실험장치의 각 공정에서 수질분석시료를 채취하여 DO, pH 및 수온은 현장에서 측정하였고 COD, BOD, T-N, T-P, SS는 시료를 ICE BOX에 넣어 실험실로 운반한 후에 수질오염공정시험법과⁴⁾ Standard Methods에⁵⁾ 따라 분석하였으며, 유출수의 유량은 전분제거기 배출구에서 용기법을 이용하여 측정하였다.

2.3. 산화부상기의 오염물질 제거 기작

본 연구 대상 공정은 산화부상기인데, 이것을 구성하고 있는 주요 장치는 생물반응조, 공기공급장치인 고효율 폭기장치, 거품제어 장치이며, 이들 각각의 기작을 살펴보면 다음과 같다.

2.3.1. 생물반응조

생물반응조에서는 일반적으로 유입되는 축산폐수 또는 슬러지를 가온처리하지 않는데, 이는 반응조에서 발생하는 열의 양이 반응조를 운전하는데 충분하기 때문이다. 생물반응조에서는 고효율 폭기장치인 공기주입관에서 일어나는 단열압축 작용에 의해 열이 발생할 뿐만 아니라 유기물 분해과정에서도 열이 발생한다¹⁾. 이러한 열을 이용해서 생물반응조는 외부 에너지를 이용한 가온(加溫)없이도 고온(50~65°C)을 유지할 수 있어 중·저온의 경우에 비해 유기물(BOD)의 처리효율이 높고 처리시간이 단축된다.

2.3.2. 고효율 폭기장치

고효율 폭기장치는 생물반응조의 교반, 공기공급 및 수온상승의 목적으로 설치되나, 생물반응조 내의 생성 거품은 용존산소량을 저감시킬 수 있고, 미세고형물은 침전에 의해 반응조의 수명을 단축할 뿐만 아니라 후처리공정의 효율 감소로 이어질 수 있기 때문에 거품(미세입자 포함) 부상을 촉진하는 기능도 하고 있다. 이와 같이 부상된 거품은 파쇄기에서 제거되고 거품에 포함되었던 미세입자는 관을 따라 반응조 밖으로 배출된다.

2.3.3. 거품제어장치

생물반응조 내로 주입된 공기는 미세기포의 형태로 부상하면서 반응조 내에 용존되고 나머지는 반응조에서 생성된 거품(미세고형물 포함)과 함께 부상한다. 이때 생물반응조 내의 수온이 높게 유지되기 위해서는 부상공기가 대기로 방출될 때 수반되는 열손실이 최소화되어야 하는데, 공기와 함께 부상한 거품이 열을 흡수하는 단열제의 역할을 하여 열손실량이 감소하게 된

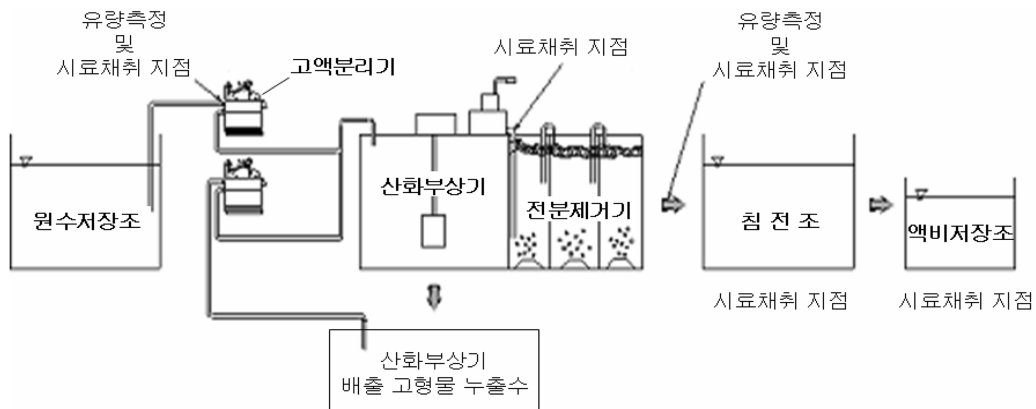


Fig. 1. Livestock nightsoil treatment processes.

다¹⁾. 따라서 일정 양의 거품은 생물반응조 상부에 유지시켜야 하겠으나, 한번 형성된 거품은 인위적 파괴 없이는 없어지지 않기 때문에 거품파쇄기를 이용하여 불필요한 양의 거품은 파쇄시켜 수분으로 제거한다^{3,4)}.

3. 결과 및 고찰

3.1. BOD 제거

저유량 (20 m³/day) 단계 및 고유량 (30 m³/day) 단계의 공정별 평균 BOD농도는 Fig. 2에 있는 바와 같이 저유량 단계의 경우 유입 BOD농도가 28,000 mg/L정도 되지만 침전지 유출수 BOD농도는 7,740 mg/L까지 떨어지는 것으로 나타났다. 고유량 단계에 있어서는 유입 BOD농도가 27,000 mg/L이고 침전지 유출수는 10,000 mg/L정도로 나타나, 저유량 단계보다 그 농도가 높은 것으로 나타났는데, 이는 고유량 단계에 있어서 유입수량의 증가에 의해서 발생된 현상으로 파악된다. BOD제거율은 부하량 기준으로 저유량 유입 단계에서 88.8%, 고유량 유입단계에서는 83.3%의 제거율을 보여주고 있어 저유량 유입단계에서 그 제거 효율이 약간 높은 것으로 나타났다. 본 연구에서는 과망간산칼륨방법으로 COD 분석을 실시하였는데, COD_{Mn}은 실험자체가 유기물 분해 능력이 떨어지는 관계로 BOD와의 차이가 크지 않았다.

3.2. SS 제거

저유량 (20 m³/day) 단계 및 고유량 (30 m³/day) 단계의 공정별 평균 SS농도는 Fig. 3에 있는 바와 같이 저유량 단계의 경우 유입 SS농도가 137,000 mg/L정도

되지만 침전지 유출수 SS농도는 8,700 mg/L까지 떨어지는 것으로 나타났다. 고유량 단계에 있어서는 유입 BOD농도가 141,000 mg/L이고 침전지 유출수는 8,270 mg/L정도로 나타나, 저유량 단계의 경우보다 그 농도가 약간 높은 것으로 나타났는데, 이는 고유량 단계에 있어서 유입수량의 증가에 의해서 발생된 현상으로 파악된다. 부하량 기준으로 산정한 SS제거 효율은 유입유량의 변화 시에도 97.5%로 동일한 것으로 나타났다.

3.3. T-N 제거

Fig. 4는 저유량 (20 m³/day) 및 고유량 (30 m³/day) 단계에서의 각 공정별 T-N 농도를 보여주고 있는데, 유입수의 경우에 저유량 단계의 농도가 고유량 단계보다 높은 것으로 나타났다. 그리고 저유량 단계의 경우에 있어서는 1차 산화부상기에서 유입수에 비해 그 농도가 50% 정도 감소하였다가 이후 공정에서 농도가 변화없이 유지되고 있음을 보여주고 있다. 그러나 고유량 단계의 경우 유입수를 포함하여 각 단위공정별로 그 농도 변화가 크지 않은 것을 보여주고 있다. 저유량 단계의 유입수 농도가 고유량 단계보다 높았음에도 불구하고 부하량에 있어서는 고유량 단계의 부하량이 많은 것으로 나타났다. 그러나 공해공정법의 T-N 분석 방법이 축산폐수와 같은 유기질 질소 함유량이 많은 경우 총 질소 측정에 오차가 많은 것으로 알려져 있어, 이 같은 분석이 타당성이 있는 것으로 판단하기는 어려울 것으로 사료된다. T-N 총량은 각 공정을 거치면서 제거되는 것으로 나타났는데, 부하량 기준으로 볼 때 저유량 단계의 경우에는 78.7%, 고유량 단계의 경우에는 64.1%로 다소 떨어지는 것으로 나타났다.

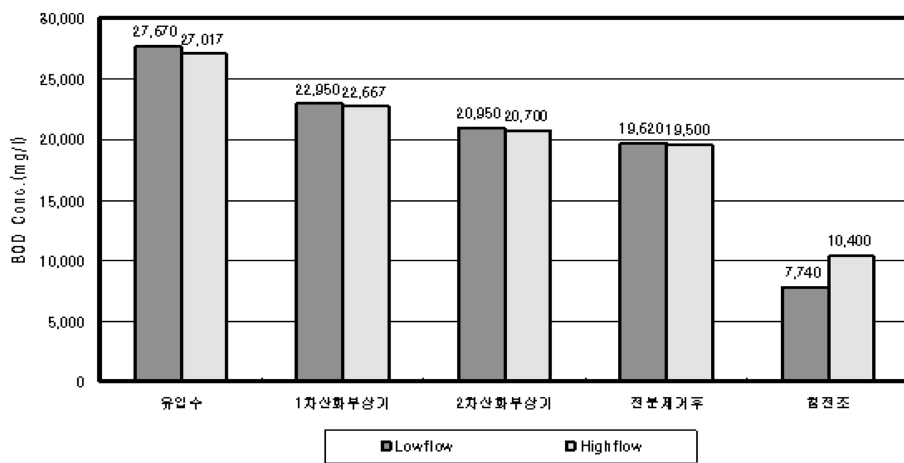


Fig. 2. BOD concentration of low and high flow step.

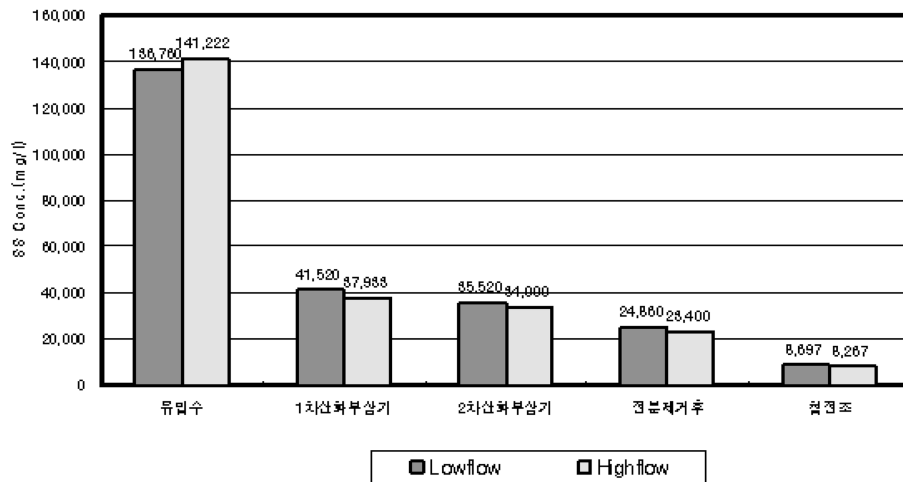


Fig. 3. SS concentration of low and high flow step.

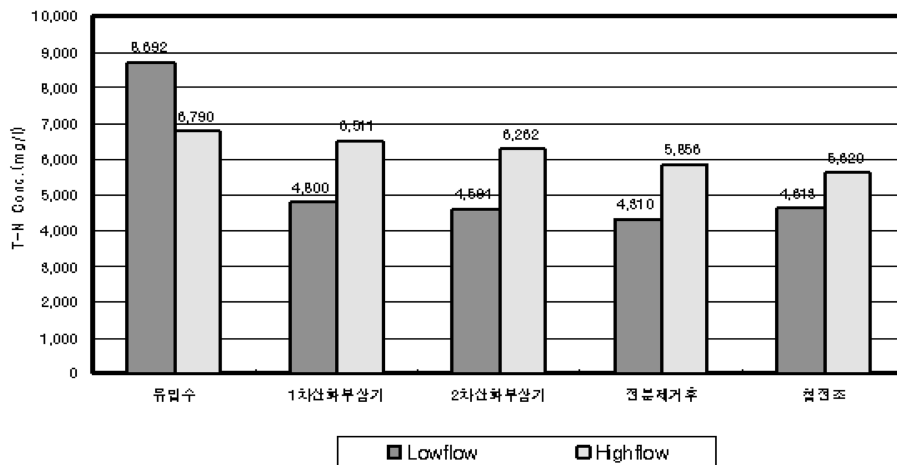


Fig. 4. T-N concentration of low and high flow step.

3.4. T-P 제거

Fig. 5는 유입수를 포함한 각 공정에서의 T-P농도를 보여주고 있는데, 단위공정을 거치면서 감소되고 있음을 보여주고 있다. 부하량 기준으로 T-P제거율을 살펴보면, 저유량 단계에서는 88.7% 그리고 고유량 단계에서도 85.5%로 그 제거율이 우수함을 보여주고 있다.

산화부상기를 이용하는 축산분뇨처리 공법에서 인의 처리효율이 우수한 이유는 인(P)이 인고정 침전물이나 부유제거 고형물의 흡착물로 제거되기 때문이다. 즉, 거품제거장치에서 거품기포가 파포되어 액으로 변하는 관의 내벽에는 고형물질이 필름처럼 부착(Fig. 6)되고, 시간이 지남에 따라 부착 필름의 두께는 점점 두꺼워

진다. 이 부착고형물 덩어리의 주요 구성성분을 나타내는 원소분석 결과를 살펴보면 P 23.9%, Mg 11.2%, Ca 1.1%인 것으로 보아, 이 부착고형물의 덩어리는 인(P) 고정 침전물로 알려진 Struvite($MgNH_4PO_4$)나 Hydroxyapatite($Ca_5OH(PO_4)_3$)인⁶⁾ 것으로 확인된다. 또한 생물반응조 내로 주입된 공기는 미세기포의 형태로 부상하면서 반응조 내에 용존되고 나머지는 반응조에서 생성된 거품(미세고형물 포함)과 함께 부상한다. 이때 생물반응조의 상부로 부상한 거품에 포함된 미세고형물은 파포과정에서 반응조 밖으로 배출되는데, 이 미세고형물의 주요 구성비는 P 9.7%, Mg 6.8%, Ca 3.8%, K 1.5%로서 PO_4^{3-} 가 Mg, Ca 등의 양이온과 결합되어 반응조 밖으로 배출·제거된다.

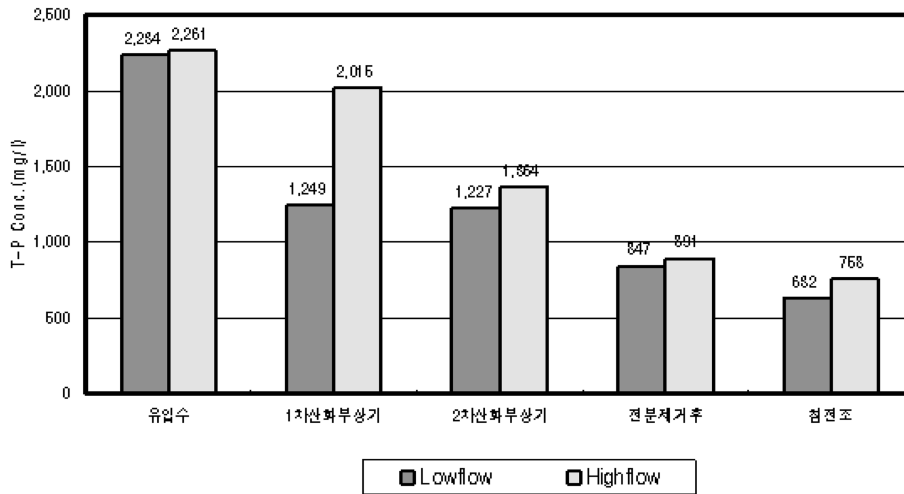


Fig. 5. T-P concentration of low and high flow step.

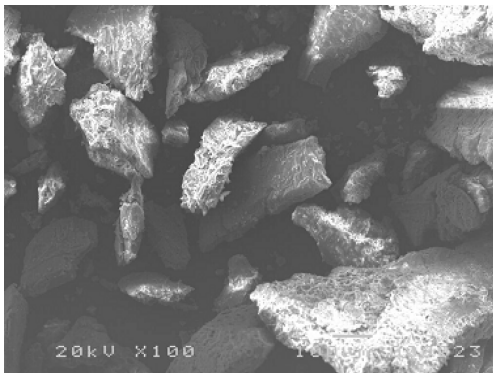


Fig. 6. SEM picture of solid film attached inside form breaker pipe.

4. 결 론

오염물질 항목별 제거효율은 고유량 (30 m³/day)일 때 보다 저유량 (20 m³/day)일 때 높게 나타났으며, 생물반응조(산화부상기와 전분체거기)는 고운을 유지할 수 있어, 중·저온에서 운전되는 다른 공법들에 비해 미생물의 활성도가 증가하여 BOD를 포함한 오염물질들의 처리효율이 높게 나타났다.

중력침전이 어려운 SS는 생물반응조에서 생성된 거품에 흡착되어 미세기포에 의해 부상·제거됨으로서 SS제거효율이 높게 나타났다.

고효율 폭기장치는 생물반응조에서 필요한 양의 산소를 공급할 수 있어, 생물반응조 내에 혐기와 호기상태가 공간적으로 혼재되도록 하여 질소제거 과정인 질산화와 탈질이 동시에 일어나므로서 질소제거효율이 높

게 나타났다.

산화부상기로 유입된 인(P)은 생물반응에 의한 미생물 세포 구성성분으로도 제거되나, 거의 대부분이 산화부상기 밖으로 배출되는 미생물고형물에 흡착·제거될 뿐만 아니라 산화부상기내에서 Struvite나 Hydroxyapatite의 생성물질로서 제거가 일어나기 때문에 인의 제거효율이 높게 나타나고 있다.

감사의 글

본 연구는 환경부지정 광주지역환경기술개발센터의 지원(04-4-10-15)을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 이용운, 이병희. 고효율 호기성 폭기장치에 의한 질소·인 제거 기술, **2005**, 26-51, 광주지역환경기술개발센터.
- 환경부, 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법, **2002**.
- 농촌진흥청, 비료공정규격, **2005**, 농촌진흥청고시 제 2005-1호
- 환경부, 수질오염공정시험법, **2005**.
- APHA, AWWA, and WEF, "Standard methods for the examination of water and wastewater," 20th Edition, **1998**.
- Momberg, G. A. and Oellermann, R. A., *Water Science and Technology*, **1992**, 26(5-6), 987-996.