

젖소 착유세정폐수의 효율적인 정화처리를 위한 기초연구

장영호^a · 이수문^b · 김용수^c · 강진영^{d,†}

경기도보건환경연구원 물환경연구부

Preliminary Studies for Efficient Treatment of Wastewater Milking Parlor in Livestock Farm

Young Ho Jang^a · Soo Moon Lee^b · Woong Su Kim^c · Jin Young Kang^{d,†}

Department of Water Environmental Research, Gyeonggi-do Institute of Health and Environment
(Received 20 August 2020, Revised 09 November 2020, Accepted 16 November 2020)

Abstract

This study examined the wastewater at a livestock farm, and found that the dairy wastewater from the milking parlor had a lower concentration than the piggery wastewater, and that it was produced at a rate under 1.3 m³/day in a single farmhouse. The amount of dairy wastewater was determined based on the performance of the milking machine, the maintenance method of the milking parlor, and the amount of milk production allocated for each farmhouse, not by the area. The results confirmed that both dairy wastewater treatment processes, specifically those using Hanged Bio-Compactor (HBC) and Sequencing Batch Reactor (SBR), can fully satisfy the water quality standards of discharge. The dairy wastewater has a lower amount and concentration than piggery wastewater, meaning it is less valuable as liquid fertilizer, but it can be easily degraded using the conventional activated sludge process in a public sewage treatment plant. Therefore, discharging the dairy wastewater after individual treatment was expected to be a more reasonable method than consigning it to the centralized wastewater treatment plant. The effluent after the SBR process showed a lower degree of color than the HBC effluent, which was attributed to biological adsorption. In the case of the milking parlor in the livestock farm, the concentrations of the effluents obtained after HBC and SBR treatments both satisfied water quality standards for the discharge of public livestock wastewater treatment plants at 99% confidence intervals, and the concentrations of total nitrogen and phosphorous in untreated wastewater were even lower than the water quality standards of discharge. Therefore, we need to discuss strengthening the water quality standards to reduce environmental pollution.

Key words : Hanged Bio-Compactor process, Milking parlor wastewater, Sequencing Batch Reactor, Water quality standard

^a 연구사(Researcher), jh0424@gg.go.kr, <https://orcid.org/0000-0001-9689-590X>

^b 연구사(Researcher), soomoon@gg.go.kr, <https://orcid.org/0000-0003-0842-4804>

^c 연구관(Senior researcher), kimwoong@gg.go.kr, <https://orcid.org/0000-0002-6827-9306>

^{d,†} Corresponding author, 연구사(Researcher), kjy08300@gg.go.kr, <https://orcid.org/0000-0003-3265-7712>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. Introduction

최근 낙농업계에서는 밀집사육보다는 우유생산성을 고려한 경제적인 사육방식이 증가하면서 중·대규모 사육으로 전환됨에 따라 축산폐수의 관리에 대한 중요성이 커지고 있다. 축산폐수의 발생량은 산업폐수 및 생활하수에 비해 비교적 소량이나, 유기물질 등의 농도가 높아 수계에 대한 오염 부하량은 전체의 9%이상으로 알려져 있다. 2017년 우리나라에서 사육되는 4대 축종(한우우, 젖소, 돼지, 닭)의 총 사육 마리 수는 약185,253천 두 이며 이 중 가축이 배설하는 가축분뇨의 양은 4,846만 톤에 달한다. 이렇게 발생한 가축분뇨 중 91%는 퇴·액비로 자원화하고 8%는 정화처리를 통해 처리되며, 1%정도가 자연증발 되는 것으로 추정된다(Lee et al., 2019).

가축사육 과정에서 발생하는 폐수를 적정처리하기 위해 「축산법 시행령 별표 1」 축산업의 허가 및 등록기준에는 개별 가축농가 마다 폐수의 저장시설과 정화처리시설을 갖추도록 하고 있다. 가축사육 우사로 깔집우사가 보편화되어 있는 한우와 젖소 등의 축종에서 발생된 가축분뇨는 퇴비 등 비료자원으로 재활용되고 있으나, 액상형태로 발생하는 고농도의 유기성 양돈폐수는 정화처리(대규모 허가대상, 신고대상 미만 소규모 농가는 자원화(퇴비, 액비)하여 경종에 이용되고 있다. 한편, 환경부(ME, 2017)에 따르면 젖소농가는 우유생산 쿼터(kg)를 기반으로 하는 사육방식으로 인해 가축농가 당 가축사육두수가 59 두(2016년)에서 54 두(2017년)로 감소하고 있으며, 착유세정폐수는 양돈폐수와 달리 사육농장의 면적과 무관하게 소량 발생하는 특징을 보인다(Min et al., 2009). 하지만 착유세정폐수의 경우 기존 가축분뇨 공공처리시설의 용량 부족 등의 이유로 인해 대부분 개별 정화처리에 의존하여 처리하고 있으나, 이와 관련된 발생특성 조사, 정화처리 공정연구 등 기반연구가 부족한 것이 현실이다. 전국적으로 젖소 농가는 7,332 농가에서 432,142 두가 사육되고 있으며(ME, 2017), 가축농가의 소득안정화 및 가축분뇨의 효율적 관리와 자원화를 목적으로 2014년부터 환경부 등 3개 부처 합동으로 무허가 축사에 대해 양성화·적법화를 전국적으로 시행하고 있다. 이와 관련하여 농가 및 낙농협회에서는 농가의 소득향상과 환경오염 저감을 위해 착유세정폐수도 소규모 양돈폐수와 같이 지자체에서 운영하고 있는 가축분뇨공공처리장과 공동자원화시설에서 위탁처리토록 요구하고 있으나 지자체에서는 시설용량이 부족하여 난색을 표명하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 착유세정폐수의 정화처리방안 마련을 위해 발생특성을 조사하고, 정화처리에 적합한 방안을 제시하고자 하였다. 착유세정폐수 처리방안으로 기존 생물처리공정의 단점을 보완하기 위해 분리막을 이용한 물리적 처리공정이나 응집/응결반응을 이용한 화학처리, 그리고 이를 조합한 물리·화학적 처리방안 등이 제안되고 있으나(Sarkar et al., 2006), 비용 등의 문제로 아직까지 생물처리공정이 가장 널리 사용되고 있는 것이 사실이다. 따라서 본 연구에서는 기존 재래

식 활성슬러지공법 중에서 무인 자동운전이 가능한 SBR 공법(Sequencing Batch Reactor Process)과 현수미생물집축산화공법(Hanged Bio-Compactor, 이하, HBC 공법)의 정화처리 성능을 조사하였으며, 착유세정폐수의 종합적인 관리방안을 제시함은 물론 정화처리 공법의 장기간(2019. 3.~2019. 9.) 동안 면밀한 조사를 통해 공법별 방류수질 검증, 표준 설계인자 도출 및 적정 운영방법 등을 마련하여 정보를 공유하고 관련기술을 보급하고자 하였다.

2. Materials and Methods

2.1 대상선정

본 연구에서는 소규모·저농도로 발생하는 착유세정폐수의 발생특성을 파악하기 위해 탕방식 착유기로 운영 중인 젖소 사육농가 4개소를 대상으로 사육두수 및 발생특성 등을 조사하였고, 공법별 처리효율을 비교하기 위해 SBR 공법 및 HBC 공법이 적용된 사육농가 1개소를 각각 선정하여 방류수질을 관찰하였다. 기본설계에 적용할 폐수 발생량이 농가마다 실측자료가 없어 젖소 사육마리 당 축사 면적기준(환경부고시, 12 m²/두)과 착유우 마리 당 세정폐수발생량(환경부고시, 7.6 L/두)을 고려하여 농장마다 안전율(50% 미만)을 부여하여 2.0 m³/day으로 적용하였으며, 기본설계에 적용한 착유세정폐수의 원수농도는 예비조사결과(BOD 737.0 mg/L, SS 490.0 mg/L, T-N 156.0 mg/L, T-P 15.0 mg/L)를 근거로 반응기 용량을 산정하였다. 착유세정폐수의 효율적인 처리를 위해 전처리시설로 침전분리조(2 set, HRT 2 day 이하)와 유량조정조(HRT 1 day 이하)를 설치하였다. HBC 공법은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 분리단계 공정으로 콘크리트 재질로 설치(W 3.0 m × L 7.4 m × He 2.0 m)하였으며, 단위공정의 용량산정과 HBC 접촉여재의 충전량(m) 등의 설계제원은 Kim (2007)의 연구결과 등을 참고하여 Table 1과 같이 적용하였다.

Table 1. Dimensions of HBC process

| Division | Vol.(m ³) | HRT(hr) | Media(m) |
|-----------|--|---------|-----------|
| Aerobic 1 | 5.0 | 60.0 | 300 ~ 500 |
| Aerobic 2 | 2.5 | 30.0 | 210 ± 10 |
| Total | 7.5 | 90.0 | 500 ~ 720 |
| Loading | 0.5kg ~ 0.8kg(BOD+SS)/m ³ · day | | |
| HBC media | <5g ~ 8g(BOD+SS) + 1.2g NH ₄ ⁺ -N> /m required HBC Media | | |

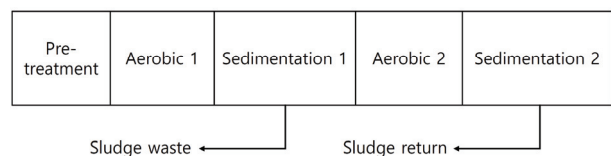


Fig. 1. Schematic diagram of HBC process.

SBR 공법은 영양물질(T-N, T-P)의 제거효율 안정화를 위해 Fig. 2에 나타난 바와 같이 환원반응조(탈인, 탈질)반응조를 산화조(SBR 반응조)와 별도로 분리하여 설치(W 2.5 m × L 4.8 m × He 2.0 m)하였다. 착유실에서 발생한 착유세정폐수는 전처리조(침전분리조, 유량조정조)에서 HBC 공법과 같은 방법인 Air lift 펌프로 혐기조로 이송시켰으며 무산소조는 폐기 우유발생 등 충격부하에 대비하여 간헐포기 운전이 가능하도록 포기시설과 교반시설을 두루 갖추었다.

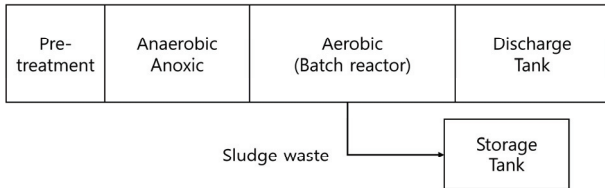


Fig. 2. Schematic diagram of SBR process.

SBR반응조는 원수유입/반응(간헐포기)/침전/방류, 4단계 운영 Cycle이 주기적으로 반복될 수 있도록 자동 운영모드 등 전기계장을 마련하였으며, 단위공정의 설계제원은 Table 2와 같이 적용하였다.

Table 2. Dimensions of SBR process

| Division | Vol.(m ³) | HRT(hr) |
|--------------------|-----------------------|---------|
| Aerobic | 3.3 | 39.6 |
| Anaerobic / Anoxic | 1.6 / 1.0 | 31.2 |
| Sedimentation | 0.2 | 2.4 |
| Sum | 6.1 | 73.2 |
| Total(SF, 15%) | 7.0 | 84.0 |

착유세정폐수의 실제 발생량을 조사하기 위해 SBR 공법이 적용된 4개 농가마다 SBR 공법 운영주기 횟수가 누적작성될 수 있는 자동 카운터기를 설치하였으며, 폐기 슬러지를 액비로 자원화하기 위해 4.0 m³ 규모의 저장조를 별도로 마련하였다. 착유세정폐수의 공법별 처리특성을 조사하고자 시설여건 및 접근성 등을 고려하여 SBR 공법은 여주시 소재 Y농장으로, HBC 공법은 용인시 소재 C농장을 연구대상으로 선정하였다. 아울러, 연구 자료의 신뢰성과 대표성을 확보하고자 농장별로 원수 및 방류수 등을 8일~10일 간격으로 채수하였으며, SBR 공법의 슬러지저장조(액비저장조)는 6개월 간 충분히 간헐포기(호기성 소화) 후 유기물질이 안정화된 상태에서 채수하여 질소성분 및 미량 원소에 대해 수질 분석을 수행하였다.

2.2 분석항목 및 방법

본 연구에서는 선정된 공법의 성능검증을 위해 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」 시행규칙 제11조(정화시설의 방류수수질기준)·시행규칙 별표 4에서 제시하고 있는 항목(BOD, SS, T-N, T-P)과 심미적 항목(색도)에 대해 수질오염

공정시험기준에 준하여 분석하였으며, 액비생산시설의 비료 성분과 미량 미네랄 중금속의 성분조사를 위해 ICP(Thermo Fisher Scientific iCAP 7600 DUO)를 사용하였다.

3. Results and Discussion

3.1 착유세정폐수의 발생특성

본 연구에서는 착유세정폐수의 발생특성을 파악하고자 착유시스템의 점유율이 높은 탠덤방식 착유기로 운영 중인 4개 농장을 대상으로 조사하였으며, 착유세정폐수의 발생량은 Table 3과 같이 조사되었다. 실제 착유세정폐수 발생량은 운영모드에 별도로 설치한 누적작성 카운터기에 표시된 운영 횟수와 SBR 공법 1주기(Cycle) 당 폐수발생량(W 2.5 m × L 2.0 m × He 0.3 m = 0.75 m³)을 곱한 합산 유량을 운전기간(180일)으로 나누어 1일 평균 폐수발생량을 종합적으로 조사하였으며, 착유세정폐수의 1일 폐수발생량은 0.8 m³~1.3 m³으로 조사되었다. 이러한 연구결과는 Choi et. al. (2008)의 연구결과(928.4 L/day±107.4 L/day) 및 착유세정수 정화처리 기술지침서 에서 제시한 1일 폐수발생량(50두 기준 0.871 m³)과 비슷한 수준으로 평가된다. Table 3에 나타난 바와 같이 착유세정폐수 발생량에 영향을 줄 수 있는 인자로는 실제 우유생산 킬로그램(kg)에 적정한 수준으로 사용되는 실제 착유우 사육두수, 1일 착유횟수와 착유기 개수, 착유 전 선행세척유무, 그리고 착유실 청소방법 등과 밀접한 관계가 있을 것으로 판단되나, 조사결과 실제 폐수발생량과 밀접한 관계가 있는 요소로는 우유생산 킬로그램(kg)과 연계된 착유우 사육두수, 착유실 청소형태인 것으로 조사되었다. 결론적으로 축사면적이 매치된 착유우 사육두수(12 m²/두)와 1일 착유세정폐수 발생량(7.6 L/두·day)을 산술 계산으로 산정하는 기존 방식은 폐수발생량이 과다하게 산정될 수 있기 때문에 착유세정폐수 정화처리시설의 설계유량 산정은 우유생산 킬로그램(1,000 kg±200 kg)을 고려한 실제 착유우 사육두수(80두 이내), 1일 청소횟수(2회)를 기본요소로 부여하고 안전율(50% 이내)을 고려할 경우 2.0 m³/일 미만으로 처리시설을 설치하는 것이 현실적일 것으로 판단된다. 착유세정폐수는 주로 착유기, 착유실 바닥 등의 세척 단계에서 발생하며 착유기 세척 과정에서는 세균 및 관내 이물질 세척을 위해 강산과 강알칼리성 등 화학약품 사용되는 특징이 있으며, 계절 및 착유실 청소방식에 따라 BOD 등 발생농도가 편차가 있는 것으로 보고되고 있다(NIAS, 2016).

본 연구에서는 착유세정폐수의 원수 발생특성을 조사하고자 Y농장, C농장의 원수를 혼합시설이 갖춰진 유량조정조에서 8일~10일 간격으로 6개월 간 채수하여 수질분석을 하였으며, 수질분석 결과는 Table 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다. NIAS (2016) 등 선행연구자들의 연구결과에서 언급한 바와 같이 착유세정폐수는 계절적 그리고 착유실의 관리방법에 따라 편차가 다소 발생하였으며, Y농장의 경우 착유실의 분뇨를 인력으로 수거하는 데 반해 C농장의 경우 착유실 바닥을 일 2회 물세척하기 때문에 영양물질(T-N, T-P) 농도가 높은 것으로 조사되었다. 발생한 착유세정폐수의 원수특

Table 3. Characteristics of milking parlor wastewater in livestock

(Unit : m³/day)

| Division | J Farm | K Farm | O Farm | Y Farm |
|---|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
| Raising area(m ²) ^a | 2644.6 | 2644.6 | 1322.3 | 1652.9 |
| Raising livestock of Ministry of Environment standard (a÷12) ^b | 220.4 | 220.4 | 110.2 | 137.7 |
| Actually number milch cow ^c | 36 | 40 | 21 | 26 |
| Milking times for day | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Milk production quata | 1,215 kg | 1,100 kg | 750 kg | 800 kg |
| Number of milking machine | 8 | 6 | 4 | 6 |
| Actually wastewater amount | 1.3 | 1.2 | 1.2 | 0.8 |
| Raising livestock standard (c×7.6 L) | 0.27 | 0.30 | 0.16 | 0.20 |
| Amount of Ministry of Environment standard (b×7.6 L) | 1.67 | 1.67 | 0.84 | 1.05 |
| Washing number before milking | 1 | 1 | 0 | 1 |
| Washing number of milking room for day | 2 | 2 | 2 | 1 |

※ Note : 7.6L Wastewater milking parlor/a milch cow · day, 12.0 m² raising area/a milch cow

성 조사결과 착유세정폐수 중 유기물(BOD, SS) 농도는 NIAS (2016) 등의 연구결과보다 낮게 조사되었으며, 이것은 본 연구에서는 시료채수 지점을 전처리시설(침전분리조)을 거친 공정수를 유량조정조에서 채수하였기 때문에 유기물질 등이 침전 및 산화분해가 진행되었기 때문인 것으로 예상된다.

Table 4. Characteristics of milking operation wastewater in SBR & HBC processes

(Unit : mg/L)

| Result analysis in SBR process(Y Farm, n=16) | | | | |
|--|--------------|--------------|-------------|------------|
| Division | BOD | SS | T-N | T-P |
| Average | 394.5 | 298.7 | 36.4 | 6.1 |
| Max. | 1067.0 | 494.4 | 92.8 | 12.1 |
| Min. | 223.1 | 143.5 | 17.8 | 2.3 |
| Result analysis in HBC process(C Farm, n=10) | | | | |
| Division | BOD | SS | T-N | T-P |
| Average | 559.6 | 399.8 | 136.1 | 18.3 |
| Max. | 798.9 | 598.5 | 300.9 | 44.0 |
| Min. | 371.7 | 212.0 | 99.6 | 13.1 |
| NIAS (2016) | 896.8 | 514.0 | 43.4 | 7.5 |

그 외에는 임신 착유우 생산 우유(건우유) 또는 젖소의 질병에 의해 발생하는 폐기 우유의 처리방법에 따라 원수의 농도 편차가 발생하는 것으로 조사되었다. 다양한 원인에 의해 발생한 폐기 우유를 퇴비사에 보내지 않고 그대로 버리는 경우 고농도 유기물의 유입으로 인한 충격부하가 발생하여 하수처리시설에 영향을 미치므로, 이에 대한 농가차원의 대책 마련이 필요하다. 한편, 다른 연구에 의하면 pH조정 여부에 따라서 BOD 등 제거효율(조정 전 58%, 조정 후 96%)이 크게 차이가 나는 것으로 알려져 있기 때문에(Gu, 2018), 발생하는 착유세정폐수의 pH를 주기적으로 관찰하여 생물학적 처리공정의 적정 pH 범위인 6~8 이내로 유지될 수 있도록 관리하여야 한다.

3.2 공법별 방류수질 검증결과

3.2.1 HBC 접촉산화공법의 운전특성

재래식 접촉산화공법의 한 종류인 HBC 공법은 생물반응조에 HBC 접촉여재를 50% 이상 충전하여 하·폐수 내 유기물질 및 영양물질을 효과적으로 제거하는 공법으로 접촉여재에 활성미생물을 부착시켜 공정을 운영하기 때문에 침전조에서의 슬러지 유실이나 충격부하로 인한 슬러지 Wash out이 발생되지 않아 유지관리가 용이하기 때문에 소규모 개인하수처리시설 등에 보편적으로 적용되고 있다. 접촉산화공법은 분리단계(접촉산화조 1조 → 1차 침전조 → 접촉산화조 2조 · 3조 → 최종 침전조), 즉, 1차 침전조를 추가로 설치하여 접촉산화조 2조 · 3조를 빈부하 상태로 운전하면 BOD(95%이상), T-N(41%), T-P(43%)가 제거되는 것으로 보고되었다(Kim, 2007). 본 연구에서는 침전조로 접촉산화조를 공간적으로 분리한 분리단계 HBC 공법으로 공정을 구성하였으며, HBC 접촉여재 충전량은 8 g(BOD + SS)/required HBC(m)를 충전하였다(ME, 1992). HBC 공법으로 착유세정폐수를 정화처리에 적용한 결과 Fig. 3에 나타난 바와 같이 매우 안정된 처리효율(BOD 98.1%, SS 91.6%, T-N 63.9%, T-P 31.7%)을 얻을 수 있었으며, 이와 같은 처리효율은 다른 연구결과(BOD 제거효율 75%~90%, 질소·인 제거효율 50%~70%와 비슷한 수준으로 평가된다(Lee et al., 2009). 일반적으로 인을 과잉섭취(Luxury uptake) 한 슬러지를 폐기하여 처리하는 생물학적 인 제거공정 특성 상 접촉산화공법은 SBR 공법 등 부유미생물 공법에 비해 슬러지발생량이 1/20 수준으로 적기 때문에 인 제거효율이 다소 떨어지는 단점이 존재하며(Kim, 2007), 착유세정폐수 내에 포함되어 있는 폐기 우유성분 및 분뇨의 산화과정에서 색도성분이 완전히 분해되지 않고 방류되어(350 도±50 도) 심미적인 거부감이 존재하는 것으로 조사되었다.

본 연구에서는 폐기우유 유입으로 발생될 수 있는 문제를 완화하고자 전처리시설(침전분리조 설치)을 설치하여 충격부하를 경감시키고, 정화처리 효율이 안정적으로 유지될 수 있도록 접촉여재를 충분히 충전하였으며, 접촉산화조 내 송풍

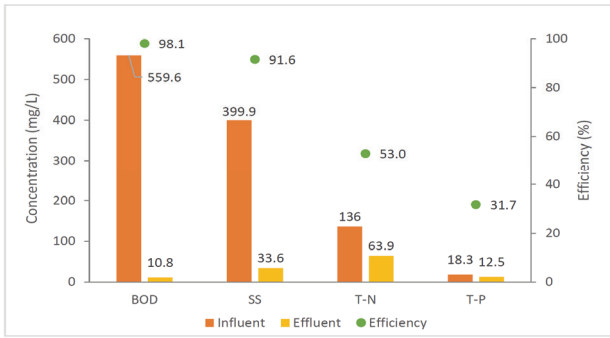


Fig. 3. Characteristics of milking wastewater treatment in HBC process.

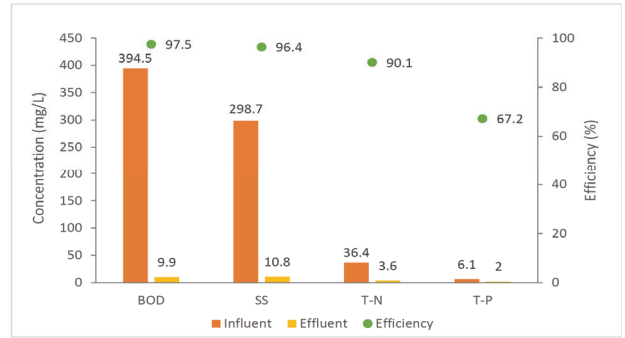


Fig. 4. Characteristics of milking wastewater treatment in SBR process.

기 가동시간을 임의로 조절할 수 있는 전기적인 안전장치를 마련하였다.

3.2.2 SBR 공법의 운전특성

활성슬러지공법 중 회분식(Batch) SBR 공법은 단일반응조에서 운영주기(주입/반응/침전/방류)를 주기적으로 반복하여 하·폐수를 처리하는 공법으로 무인 자동운전이 가능하기 때문에 소규모로 발생하는 하·폐수의 고도처리공정으로 보편적으로 적용되고 있다. 본 연구에서는 앞 절(2.1)에 설명한 바와 같이 영양염류(T-N, T-P)의 제거효율 향상을 위해 혐기조와 탈질조를 SBR 반응조와 공간적으로 분리하여 설치하였으며, 탈질조는 포기조로 가변운영이 가능하도록 부대설비를 갖추었다. 착유세정폐수를 SBR 공법으로 장기간(19. 3. 20. ~ 19. 9. 27.) 운영한 결과 Fig. 4에 나타난 바와 같이 매우 안정된 처리효율(BOD 97.5%, SS 96.4%, T-N 90.1%, T-P 67.2%)을 얻을 수 있었다.

SBR 공법은 재래식 고도처리공법으로 운영주기를 반복하면서 질산화와 탈질반응을 원활하게 유도할 수 있어 질소제거에 효율적인 공법이며, 본 연구에서는 혐기조와 탈질공정을 공간적으로 별도로 분리하여 생물학적 고도처리 효율 즉, T-N 제거효율(90.1%), T-P 제거효율(67.2%)을 단일공정보다 안정화시킬 수 있었다. 생물학적 처리방법에서 인(T-P) 제거

는 혐기조에서 인 성분의 과잉방출과 포기조에서 과잉섭취 그리고 인이 농축된 슬러지를 운영주기 마다 폐기하여야만 가능하다. 본 연구에서는 질산화와 인(T-P) 제거효율 향상을 위해 미생물농도를 3,500 mg/L±500 mg/L 범위에서 운영될 수 있도록 슬러지일령(Sludge retention time, SRT)을 50 day±10 day로 운영하였으며, 이 때 운영주기마다 20 L±5 L의 슬러지를 저장조로 인출하였다. 한편, SBR 공법 등 부유미생물 공법은 처리과정에서 집축산화공법보다 색도 유발물질(우유, 분뇨 등)이 부유미생물과의 생흡착(Bio-adsorption)으로 인해 상당량 제거되기 때문에 최종방류수 내 색도농도는 HBC 공법(350 도±50 도)보다 상대적으로 낮은 80 도±20 도 수준으로 방류되는 것으로 조사되었다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 착유과정에서 발생한 고농도 유기물질인 폐기우유가 별도 수거되지 않고 착유세정수 정화처리시설로 유입되어, 원수 중 BOD농도가 3배 (BOD 1,067.0 mg/L)이상 증가하여 방류수 농도값에 이상치(BOD 75.0 mg/L)가 발생하였고, 이와 같은 충격부하가 발생할 경우 산소공급량을 증가시켜 유기물 부하량 변동에 대응하여야 한다.

본 연구에서는 가변운영조(무산소조)를 교반모드에서 포기모드로 전환하고 SBR반응조의 간헐포기 모드(포기/비포기)의 운영시간을 30 min/30 min 간격에서 40 min/20 min으로 변경하여 방류수질을 단시간에 개선할 수 있었다. SBR 공법

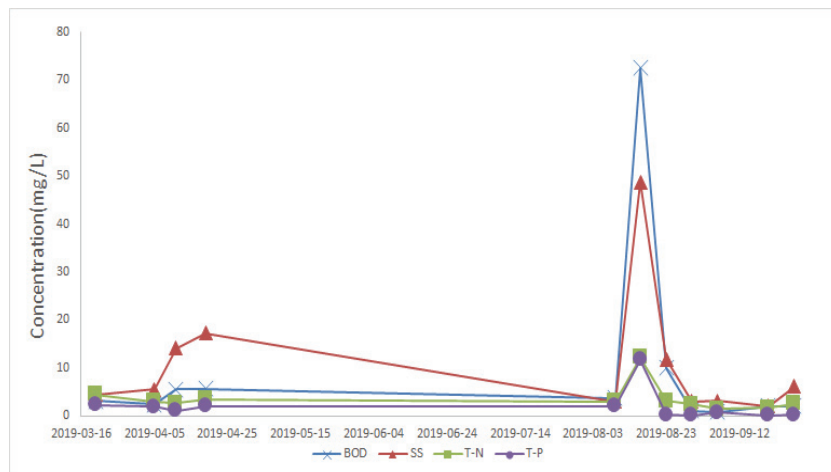


Fig. 5. Characteristics of milking wastewater treatment in shock loading.

운영과정에서 운영주기마다 슬러지가 약 20L씩 인출하였으며, 본 연구에서는 폐기된 슬러지를 저장조(4.0 m³)에서 장기간(6개월) 호기성 발효시킨 후 액비자원으로 재활용이 가능한지 여부를 조사하였다. Y시 공동자원화시설에서 생산된 액비와 본 연구에서 생산된 폐기 슬러지 액비의 성상은 Table 5와 같이 조사되었다.

비교를 위해 선정된 Y시 소재 가축분뇨 공동자원화센터(100 m³/day)는 소규모 고농도의 양돈폐수를 액비자원으로 생산하여 경종농가에 농사철(봄, 가을)에 공급하는 시설이며, 비교 결과 두 시설 모두 충분한 기간(6개월) 동안 호기성 발효과정을 거치면서 유기물질을 매우 안전한 수준까지 산화시키는 것으로 확인되었다. 수질 분석결과 폐기 슬러지 액비의 비료성분(N, P, K)을 포함한 중금속 농도는 공동자원화센터 액비에 비해 1/10수준으로 낮은 것으로 조사되어 비료료써의 가치는 상대적으로 낮은 것으로 예상되나, 그럼에도 농가의 폐기물 위탁처리 비용절약 및 생산된 액비의 자체이용으로 인한 행정비용 절감 등을 고려하면 폐기슬러지의 액비재이용은 자원의 순환과 재활용 측면에서 상당히 바람직한 수단으로 판단된다.

3.3 축유세정폐수의 효율적인 관리방안

3.3.1 축유세정폐수의 최적 관리방안

경기도 내 액상상태의 가축분뇨는 Table 6에 나타난 바와 같이 발생하고 있으며, 정화처리시설의 방류기준은 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행령 별표1, 2」에 따라 축사면적 기준으로 허가대상(돼지 1,000 m² 이상, 젖소 900 m² 이상)과 신고대상(돼지 50 m²~1,000 m², 젖소 100 m²~900 m²)로 구분하고 가축농가의 지역(특정지역, 기타지역)으로 구분하여 방류수수질기준을 지정고시하고 있다.

아울러, 개별농가에서 무방류시스템 즉, 액비로 생산하여 농지에 살포하는 경우에는 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙 별표 3」에 마리 당 농지면적(돼지 : 초지 140 m² 이상, 논 260 m² 이상, 밭·과수원 170 m² 이상, 젖소 : 초지 1,330 m² 이상, 논 2,550 m² 이상, 밭·과수원 1,650 m² 이상)를 적용하도록 규정하고 있다. 경기도 내에서 액상폐수로 발생되는 돼지와 젖소 사육농가는 Table 7에 나타난 바와 같이 농가별 허가요건에 따라 대부분(83.5%) 무방류의 자원화시스템(퇴비, 액비)으로 관리되고 있으며, 대규모 농가 위주로 정화방류시스템(10.9%)을 갖추고 있는 것으로 조사되었다.

팔당호 등 공공수역의 수질개선을 위해 경기도에서는 농가 규모가 작은 신고대상 이하의 양돈폐수는 가축분뇨공공처리장(15개 지자체, 3,130 m³/day)이나 공동자원화센터(8개 지자체, 1,434 m³/day)에서 시·군별로 위탁처리를 하고 있으나, 액상형태의 가축분뇨발생량이 적은 지자체를 제외하고는 공공시설의 시설용량이 부족하여 고농도의 양돈폐수의 발생량(11,525 m³/day)에 대비한 공공 위탁처리도 어려운 현실이다. 더욱이 공공처리시설이 없거나 부족한 일부 지자체에서는 소규모 양돈농가도 개별 자원화시설(퇴비, 액비)과 정화처리에 의존하고 있어 무분별한 액비 살포로 인한 비점오염원 증가 등 환경오염이 가중되고 있는 실정이기 때문에 가축분뇨 공공자원화시설 등 공공 재정투자가 필요하다. 환경적 측면을 고려했을 때 신고대상 소규모 양돈농가와 같이 축유세정폐수를 공공처리장에서 위탁 처리하는 방향도 제도적으로 접근할 수 있는 방안이나, 앞 절(3.2, 3.3)에서 설명한 바와 같이 상대적으로 적은 용량이 낮은 농도로 발생하는 축유세정폐수의 특성 상 기존 재래식 활성슬러지공법으로 원활하게 처리되기 때문에 농가에서 개별처리 후 방류하는 시스템

Table 5. Characteristics of liquid manure

(Unit : mg/L)

| Division | BOD | SS | T-N | T-P | K | Zn | Fe | Cu |
|---------------------|------|-------|-------|-------|----------|--------|--------|--------|
| SBR process | 4.1 | 1,543 | 92.2 | 18.6 | 214.31 | 5.676 | 4.757 | 0.460 |
| Y Combined disposal | 43.8 | 3,942 | 1,806 | 143.8 | 3,266.28 | 65.416 | 40.849 | 10.703 |

Table 6. Number of livestock and wastewater production in Gyeonggi-do, 2018

(Unit : Number, m³/day)

| Division | Total | Pig | dairy cattle | etc. |
|-----------------------|--------|--------|--------------|--------|
| No. raising livestock | 13,767 | 1,908 | 2,600 | 9,259 |
| Wastewater production | 29,813 | 11,525 | 7,504 | 10,784 |

Table 7. Status of livestock wastewater treatment in Gyeonggi-do, 2018

(Unit : m³/day)

| Total | Public treat. | Individual treatment | | | |
|---------|---------------|----------------------|---------|---------------|--------|
| | | Resource recovery | | | |
| | | Total | Compost | liquid manure | Treat. |
| 29,813 | 1,687 | 24,884 | 23,609 | 1,275 | 3,242 |
| Percent | 5.7% | 94.4% | 79.2% | 4.3% | 10.9% |

템으로 제도화 하는 것이 경제적·제도적 측면에서 현실적으로 타당할 것으로 판단된다.

3.3.2 착유세정폐수의 원수특성 고찰

우리나라의 가축분뇨 관리시스템은 선진국과 같이 비료자원으로 재이용 할 수 있는 자원개념으로 관련 제도가 정비되어 있고, 관리체계는 일본과 같이 자원화와 정화처리로 이원화하여 관리하고 있다. 또한 앞 절(3.3.1, Table 7)에서 설명한 바와 같이 가축분뇨의 관리 형태는 정화처리보다 자원화에 의존도가 높으며, 생산된 퇴비 및 액비의 상품 질을 높이기 위한 생산방법과 액비살포로 인한 환경오염 저감을 위해 시비방법 등을 법령으로 제정 고시하고 있다. 한편, 가축분뇨의 정화처리 관리시스템은 「가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률」에서 제시하고 있으며, 정화처리의 경우 사육면적에 따라 허가대상과 신고대상 그리고 지역(특정, 기타)으로 구분하여 축종과 관련 없이 Table 8에 나타난 바와 같이 「가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙 별표 4」에서 지정 고시한 방류수수질기준을 준수하도록 하고 있다.

젖소농가는 가축분뇨 발생원단위로 분(19.2 kg/두·day, 뇨(10.9 kg/두·day), 세정폐수(7.6 kg/두·day)가 제시되고 있으며(환경부고시 제1999-109호), 분뇨는 퇴비로 자원화 되고, 실제 처리대상 폐수는 착유세정폐수이기 때문에 양돈폐수(BOD 17,468 mg/L)에 비해 발생량과 농도가 적고 낮다(Oh, 2007). 따라서 착유세정폐수의 방류수수질기준을 고농도 양돈폐수와 같은 수준으로 적용하는 것은 수질관리 측면에서 적합하지 않다고 판단된다. 아울러, Table 4에 나타난 바와 같이 착유실 내의 소량의 분뇨를 수거하는 착유실을 청결하게 관리하는 경우 영양염류(T-N, T-P)의 원수농도가 방류기준보다 낮아 현행 방류수수질기준은 재래식 활성슬러지공정의 처리효율과 양돈폐수와와의 형평성 측면에서 적절하지 않은 것으로 판단된다. 본 연구를 통해 SBR 공법 등 착유세정폐수의 정화처리공법별 운영결과, 최종방류수의 99% 신뢰구간(평균 + 2.56 × 표준편차/n^{0.5})에서의 상위 방류농도가 Table 9와 같이 가축분뇨공공처리장의 방류수 기준 이내로 장기간동안 안전하게 유지되는 것으로 조사되었다.

따라서 「가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙 별표 4」의 방류수수질기준은 보편적으로 적용 가능한 재래식 활성슬러지공법별 처리성능과 현재 착유세정폐수 정화처리 방류실태 등을 면밀히 조사하여 적어도 공공처리장 방류기준 수준으로 방류수수질기준을 강화하는 것이 합리적인 제도운영이라고 판단된다.

4. Conclusion

젖소 농가 착유세정폐수에 대해 발생부하량과 공법별 정화처리 방안에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 착유세정폐수 일일 발생량은 농가 당 2.0 m³ 미만(50 두 ~ 80 두 기준, 안전율 50%)으로, 착유실 세척방법(횟수), 착유기 개수, 유유산 퀴터량(kg)등에 따라 발생량이 결정되는 것으로 확인되었다. 발생한 착유세정폐수의 농도는 유량조정조에서 BOD 223.1 mg/L ~ 1067.0 mg/L, SS 143.5 mg/L ~ 598.5 mg/L, T-N 17.8 mg/L ~ 300.9 mg/L, T-P 2.3 mg/L ~ 44.0 mg/L로 조사되었다.
2. 착유세정폐수의 처리공법별 제거효율을 비교한 결과 HBC 공법의 경우 BOD 제거율 98.1%(10.8 mg/L), SS 제거율 91.6%(33.6 mg/L), T-N 제거율 60.4%(63.9 mg/L), T-P 제거율 31.7%(12.5 mg/L)의 처리결과를 얻었고, SBR 공법의 경우 BOD 제거율 99.4%(3.3 mg/L), SS 제거율 96.8%(8.0 mg/L), T-N 제거율 82.5%(8.7 mg/L), T-P 제거율 33.3%(4.4 mg/L)의 처리결과를 얻을 수 있었다. 반면, 색도의 경우 HBC 공법(350 도±50 도)보다 SBR 공법이 매우 안정된 수준(80 도±20 도)으로 방류되는 것으로 조사되었다.
3. SBR 공법에서 발생된 폐기 슬러지를 장기간(6개월) 간헐포기하여 액비로서의 가치를 평가한 결과, 공동자원화시설에 생산된 액비와 비교할 때 비료가치는 1/10 수준이지만 슬러지 처리비용절감 및 자원 재이용 측면에서 액비 재활용에 대한 가치가 높은 것으로 평가되었다.
4. 젖소 농가의 착유세정폐수의 효율적인 관리방안으로써 비용/효과측면을 고려해볼 때 개별 정화처리가 유용한 관리

Table 8. Effluent standard of livestock wastewater treatment process

(Unit : mg/L)

| Division | | BOD | SS | T-N | T-P |
|------------------|------------|-----|-----|-----|-----|
| Public treatment | | 30 | 30 | 60 | 8 |
| Special area | Permission | 40 | 40 | 120 | 40 |
| | Report | 120 | 120 | 250 | 100 |
| Etc area | Permission | 120 | 120 | 250 | 100 |
| | Report | 150 | 150 | 400 | 100 |

Table 9. Processing status of livestock wastewater treatment process

(Unit : mg/L)

| Division | BOD | SS | T-N | T-P |
|------------------|------|------|------|------|
| Public treatment | 30 | 30 | 60 | 8 |
| HBC process | 20.2 | 31.8 | 63.1 | 11.2 |
| SBR process | 10.6 | 13.3 | 7.5 | 5.6 |

수단으로 평가되며, 방류수수질기준 또한 현실 가능한 수준인 가축분뇨 공공처리장 수준으로 강화하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 국립환경과학원의 지원사업(706-100-1942-304-210)으로 수행되었음.

References

Choi, D. Y., Kwag, J. H., Park, C. H., Jeong, K. H., Kim, J. H., Yoo, Y. H., Jeong, M. S., Han, C. B., and Choi, H. L. (2008). Estimation of influence of milking system type on milking center effluent amount and its characteristics, *Journal of Animal Environmental Science*, 14(3), 149-158. [Korean Literature]

Gu, H. J. (2018). *Performance of biological treatment process for wastewater produced from milking room of cow farm house*, Master's Thesis, Hanbat national University, Daejeon, Korea. [Korean Literature]

Kim, D. S. (2007). *A study on the aeration process according to HBC standard unit or design factor*, Master's Thesis, University of Seoul, Seoul, Korea. [Korean Literature]

Lee, G. H., Kim, J. S., Jung, S. Y., and Lee, S. R. (2009). Verification of purification efficiency of livestock wastewater treatment system(KEMS - CLEAN) to waste water from milking parlor, *Proceedings of the 2009 Co-Conference of*

the Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, 417-418. [Korean Literature]

Lee, S. H., Lee, D. J., Jeong, G. H., and Lee, D. H. (2019). The study on the treatment of livestock manure by small livestock farm, *Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery*, 24(1), 582-582. [Korean Literature]

Min, B. R., Seo, K. W., Choi, H. C., and Lee, D. W. (2009). Surveying for barn facilities of dairy cattle farms by holding scale, *Journal of Animal Environmental Science*, 15(3), 251-262. [Korean Literature]

Ministry of Environment (ME). (1992). *A business handbook of sewage, excrements and livestock wastewater*, Ministry of Environment. [Korean Literature]

Ministry of Environment (ME). (2017). *The statistics of livestock manure treatment 2017*, Ministry of Environment. [Korean Literature]

National Institute of Animal Science (NIAS). (2016). *Technical specification for the treatment of dairy wastewater*, 11-1390906-000304-01, National Institute of Animal Science. [Korean Literature]

Oh, S. M. (2007). *Estimation of Biodegradability and BIogas Recovery from Two-Phase Anaerobic Process treating Piggery Wastewater*, Master's Thesis, University of Seoul, Seoul, Korea. [Korean Literature]

Sarkar, B., Chakrabarti, P. P., Vijaykumar, A., and Kale, V. (2006). Wastewater treatment in dairy industries – possibility of reuse, *Desalination*, 195(1-3), 141-152.