

1차 화학 처리된 닭 가공 폐수의 생물학적 처리에 의한 유기물 및 질소제거에 관한 연구

Study on Organic Matter and Nitrogen Removal by Biological Treatment of Wastewater Processing of Chicken, which is the Primary Chemical Processing

한 형 석* / 최 용 구** / 송 진 호*** / 김 호****

Han, Hyung Suk / Choi, Yong Gu / Song, Jin Ho / Kim, Ho

Abstract

A company, which is chicken butchery-plant, was scheduled to increase up to twice output. We researched the way to increase up to twice the processing efficiency at the target biological treatment tank of A company. We performed for this study to obtain the reason why organic matter and nitrogen removal efficiency is increased when MLSS concentration is increased. It's performed at the target of pressure flotation water on SBR system. We performed the research which MLSS was 12,700 mg/L for 30hours (in aerobic condition for 25 hours and in anoxic condition for 5 hours). As a result, the nitrification was happened completely in aerobic condition within 25 hours. Denitrification efficiency was also over 90% when C/N ratio was over 3:1. After the experiment, we changed the concentration of MLSS 5,600 to 12,700 mg/L. In condition MLSS was about 11,000 mg/L and HRT were 30 hours meet the Effluent quality standard.

Keywords : waste water of poultry butchering, MLSS, C/N ratio, nitrification

요 지

도계량을 현재의 2배까지 증가시킬 예정인 닭 가공 업체인 A사의 생물학적 처리조를 대상으로 하여 처리효율을 2배까지 높이는 방안을 모색하였다. 이를 위해 MLSS 농도가 증가할 경우 이에 따른 유기물 및 질소 제거 효율 증가에 대한 근거를 확보하고자 연구를 진행하였다. 연구는 닭 가공 폐수를 1차 화학 처리한 가압부상처리수를 대상으로 진행되었으며 SBR 형태로 진행되어 호기조 상태 25시간 운전 후, 무산소조 상태 5시간으로 운전되었다. MLSS 12,700 mg/L로 진행된 실험 결과 호기조 상태 25시간 이내에 질산화가 완벽하게 일어났으며 C/N비 3:1 이상 실험군에서의 탈질 효율도 90%를 초과하였다. 후에 진행된 MLSS 농도 대비 유기물 및 질소 제거 효율 비교에서는 MLSS 농도를 5,600에서 12,700 mg/L까지 변화시켰으며 MLSS 농도 10,800 mg/L 실험군에서 유기물과 총 질소 농도 모두 배출허용기준치를 만족하는 결과를 보였다.

핵심용어 : 닭 가공 폐수, 미생물 농도, C/N 비, 질산화

* 교신저자, 그린프라(주) 대리 (e-mail: hanarayo@naver.com, Tel: 031-321-6600)

Corresponding Author, Deputy, GREENPLA Co. Ltd., 51, Goan-ro, Baegam-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea

** 그린프라(주) 연구원 (e-mail: cyg34@naver.com)

Research Engineer, R&D Team, GREENPLA Co. Ltd., 51, Goan-ro, Baegam-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea

*** 그린프라(주) 대표이사 (e-mail: jhsong65@hanmail.net)

President, GREENPLA Co. Ltd., 51, Goan-ro, Baegam-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea

**** (사)고등기술연구원 수석연구원 (e-mail: hokim0505@gmail.com)

Senior Research Engineer, INSTITUTE FOR ADVANCED ENGINEERING, 51, Goan-ro, Baegam-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea

1. 서 론

인류의 경제활동이 활발해지면서 외식 문화가 발전함에 따라 도축산업 또한 번창하고 있다. 특히 외식 산업 중 많은 부분을 차지하고 있는 것이 육계(肉鷄)와 관련이 있는 산업으로 현재 우리나라 외식 산업에 상당 부분을 차지하고 있다(No, 2001).

2011년도 육계산업 전망(Nam, 2011)에 따르면, 2010년 11월까지 육용 종계 평균 사육 마리수는 전년 동기간에 비해 8.3%가 증가한 645만 마리로 나타났으며 종계 사육 마리수 증가 및 육용 종계 배합사료 생산량이 증가한 것으로 보아 2010년 육용 실용계 병아리 생산은 5.2%, 육계 평균 사육 마리수는 5% 증가할 것으로 추정된다. 이러한 추세를 보면, 당분간 육용 실용계 병아리 생산 및 육계 사육 마리수는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

이러한 추세에 따라 닭 가공 업체인 A사는 연평균 도계량을 현재의 2배까지 증가시킬 예정이며 이에 따라 현재 폐수처리장의 처리용량을 증설하는 것이 시급한 현실이나 협소한 공간 부지로 인해 증설 공간이 부족한 문제가 있어 생물학적 처리조에 대한 증설은 불가능한 상태에 있다. 또한 복날(伏—)로 대표되는 하절기 보양식 문화 때문에 하절기 도계량이 일시적으로 급증하여 연중 평균 폐수 발생량 대비 80% 수준까지 증가하는 현상이 반복되고 있으며 충분한 처리시간을 확보하지 못하는 문제점이 발생되고 있다.

따라서 현재 MLE 형태로 운전되고 있는 생물학적 처리조를 대상으로 하여 동일 공간에서 처리효율을 높일 수 있는 방안을 검토하였으며 미생물 농도(MLSS)를 증가시

키고 수리학적 체류시간을 감소시켜 일시적 부하 증가문제와 향후 폐수량 증가계획에 대한 대비를 합리적으로 할 수 있을 것으로 판단하였다.

이를 위해서 현장에는 미생물 유출을 막아 미생물 농도를 높이기 위해 MBR (Membrane bio reactor)을 적용하기로 하였으나(Fig. 1) 이를 현장에 적용하기 전에 SBR (Sequence Batch Reactor, 연속회분식반응조) 공정의 실험을 통해 미생물 농도 증가에 의한 유기물 및 질소 제거 효율에 대한 근거를 확보하고 어느 수준의 미생물 농도에서 방류수가 배출허용기준치를 만족하는지에 대한 확인을 하기 위해 연구를 진행하였다.

또한 현재까지 국내에서는 닭 가공 폐수에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지 않으며, Kim and Kim (2011)이 보고한 내용에서는 MLSS 농도 약 2,000~5,000 mg/L 수준에서 연구된 결과이기 때문에 고농도 MLSS에 의한 닭 가공 폐수 내 유기물 및 질소 거동에 대한 자료가 많지 않은 현실이다. 따라서 본 연구에서는 5,600 mg/L 이상의 MLSS 농도에서 1차 화학 처리된(가압부상처리) 닭 가공 폐수 내 유기물 제거 및 질소 형태변화에 대한 연구결과를 얻었기에 이를 보고하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 SBR 반응기의 개략도는 Fig. 2와 같다. 실험에 사용된 회분식 반응기는 플라스틱 재질을 이용하여 반지름 13.5 cm, 높이 35.0 cm의 2개조로 제작하였으며 유효용량은 15 L, 총 용량은 20 L이다. 유입수 및 의

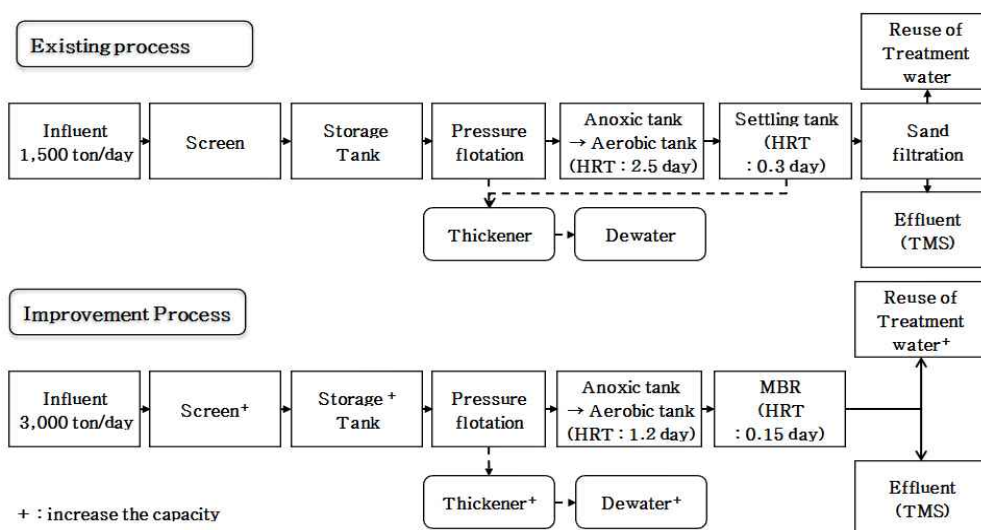


Fig. 1. Comparison Existing and Improvement Process in A Company

부탄소원의 경우 주입시간에 맞추어 수동으로 주입하였다. 반응조 내의 산소공급은 산기석을 이용하였고 On/Off timer를 통해 산소공급장치를 제어해 폭기/비폭기 시간을 조절하였고, 반응조 내의 완전혼합을 위해 교반기를 설치하여 80 rpm의 교반 강도를 유지하였다. 반응조에는 DO meter (Istek, DO Meter DO-300L), pH meter (Orion, 230A), ORP meter (Istek, 735P)를 설치하여 주기적으로 DO, pH, ORP를 측정하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 수리학적체류시간(HRT)의 결정

A사의 현재 생물학적 처리 공정 조건은 Table 1에서와 같이 총 유효용량 4.202 m³, HRT는 호기조 2.1일, 무산소조 0.4일, 침전조 0.3일로 총 2.8일이다.

생물학적 처리조의 증설 없이 현재 처리 용량의 2배를 원활히 충족하기 위해서는 2.8일의 절반인 1.4일 이내의 체류시간 동안 배출허용 기준을 만족하는 방류수 수질을 얻어야 하기 때문에 SBR 형태의 적용 실험 HRT는 총 30 시간으로 결정하였다.

2.2.2 시료 채취 및 분석 방법

시료 채취는 시간의 흐름에 따른 유기물 제거 효율 및

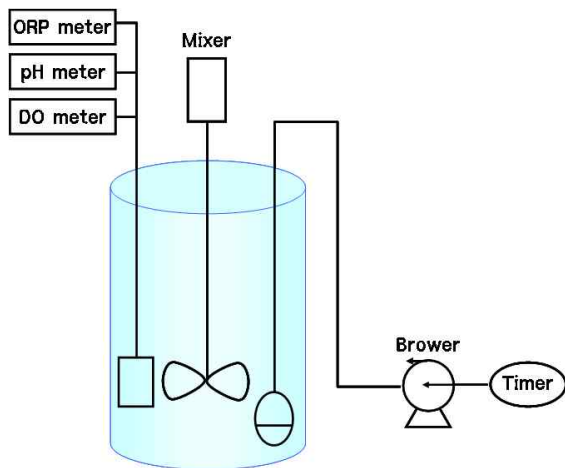


Fig. 2. Schematic Diagram of Lab Scale SBR Process

질소 상태변화를 관찰하기 위해 호기조 상태에서 4~5회, 무산소조 상태 종료 시 1회 실시하였고 반응기 중앙 하부에서부터 5 cm 위에서 진행하였다. MLSS와 MLVSS 값은 호기조 상태에서 채취한 시료 중 무작위로 3개의 시료를 선택해 측정 후 평균값을 내어 나타내었다. MLSS와 MLVSS를 제외한 항목을 측정할 때에는 미생물에 의한 영향을 배제하기 위해 1.2 μm pore size의 GF/C 여과지로 시료를 여과해 여과액을 분석하였다.

COD_{Mn}, T-N, T-P, SS의 경우 수질오염 공정 시험방법(Ministry of Environment, 2004)에 준하여 측정하였고, COD_{Cr}, MLSS, MLVSS의 경우 Standard Methods (APHA et al., 1998)에 준하여 측정하였으며, NH₃-N, NO₃-N, NO₂-N의 이온성 물질은 Metrohm사의 Ion chromatography를 이용하여 측정하였다. Org-N은 T-N 농도에서 NH₃-N, NO₃-N, NO₂-N 농도의 합을 빼서 계산하였다.

2.2.3 시료 및 미생물

실험에는 A사의 가압부상처리수를 사용하였으며, 미생물 또한 A사의 반송슬러지를 미생물배양조에서 A사의 가압부상처리수를 이용하여 약 1주일간 순응시킨 후 사용하였다. Table 2는 A사의 폐수처리장 유입수 및 가압부상처리수의 성분분석 결과이며, 4월부터 8월까지 10차례 현장에서 시료를 채취하여 분석하였다. 닭 가공 폐수는 유기물, 암모니아 및 SS가 다량 함유되어 있었으며 계절별, 취수 시간별 농도 차이가 심하였고 이를 응집 후 가압부상 처리한 가압부상처리수 또한 닭 가공 폐수의 영향을 받아 농도 차이가 심하였다.

2.2.4 실험 방법

실험을 위해 미생물 배양조 내 액체(슬러지+가압부상처리수)를 원심분리기를 이용하여 미생물을 분리하였다. 이렇게 분리된 미생물은 SBR 반응조의 MLSS 농도를 대략 결정하기 위해 무게를 제어 일정량이 SBR 반응조에 투입되고 그 후에 원수(A사 가압부상처리수)를 15L 주입하였다. SBR 반응기의 운전은 호기조 상태를 유지하며 25시간을 진행한 후, blower를 끄고 무산소조 상태를 유지하여 5시간 동안 운전하였으며 1cycle의 실험 종료 후 원심분리를 이용하여 미생물과 유출수를 분리하였다. HRT 0

Table 1. Operating Condition of Biological Reactor in A Company (Using a settling tank of MLE Process)

| | Aerobic tank | Anoxic tank | Settling tank |
|--------------------------------------|--------------|-------------|---------------|
| Effective capacity (m ³) | 3,175 | 612 | 415 |
| HRT (days) | 2.1 | 0.4 | 0.3 |

시간일 때의 시료 채취는 미생물에 원수 주입 5분 후에 이루어졌다. pH는 NaOH 1M과 HCl 1M 용액을 이용하여 주기적으로 조정하였으며 실험을 진행하는 동안 수온은 20~25°C 사이를 유지하였고, 조건은 Table 3과 같다.

실험은 다음과 같은 순서로 진행되었다.

- 1) 예비 실험을 통해 본 실험에 앞서 나타날 수 있는 문제점을 도출하였다.
- 2) MLSS가 극적으로 높아졌을 때 HRT 30시간 이내에 배출허용기준치를 만족하는 방류수 수질을 얻을 수 있는가에 대한 확인을 위해 MLSS 13,567 mg/L에서 1차 실험을, 12,700 mg/L에서 2차 실험을 진행하였다. 또한, 무산소조 상태에서 탈질을 위한 적정 C/N 비를 찾아보기 위해 C/N 비를 2:1에서 5:1까지 변화시켜 주었다.
- 3) 1, 2차 실험결과 HRT 30시간 이내에 유기물 및 질소 농도가 배출허용기준치를 만족하여 가능성을 확인하였다. 그 후에 지나치게 높은 MLSS 농도에서 유도되는 낮은 F/M비에 의해 혼합액의 조성 변화나 점성도 등의 특징이 변화되어 막오염이 크게 증가되는 현상이 발견되었다는 연구(Bae et al., 2004) 등의 기존 연구결과와 MLSS가 지나치게 높아질 경우 내생 상태와 기질 부족으로 인한 경쟁으로 인해 더 이상의 효율 증가를 기대하기 어렵다는 논리, 그리고 실제 플랜트에서의 Blower 용량 및 산기관 개수 산정을 위해 필요한 MLSS 및 MLVSS 농도 설계인자를 파악하기 위해 MLSS 농도를 5,600 mg/L에서 12,700 mg/L까지 변화시켜가며 유기물 및 질소 제거 효율을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 1~2차 실험 결과

예비 실험에서 체류시간이 20시간 일 때 질산화는 약 90%의 효율을 보였으며 25시간에는 99%의 효율을 나타내었으나, 무산소조 형태로 전환 후 5시간 동안 탈질률은 11%에 그쳤다. 탈질률은 질산성질소의 제거량으로 산출하였다. Jewell and Cummings (1975)은 산업폐수를 연속식 무산소 반응조에 주입한 연구 결과에서 1g NO₃-N 제거 당 COD 소모량이 2.8g이라고 하였다. Timmermans and Haute (1983)은 생물학적 탈질 공정에서 유기 탄소원의 존재는 필수적이며 COD/NO₃-N 비가 2~3일 때 활발한 탈질 반응이 일어난다고 보고하였다. 이러한 근거에 따라 질산화조 상태에서 유기탄소원의 소모가 빨리 이루어짐에 따라 상대적으로 무산소조 상태에서 탈질에 필요한 탄소원이 부족한 것으로 판단하였다. 따라서 무산소조 상태로 전환시 일정량의 닭 가공 폐수를 주입함으로써 부족한 탄소원을 보충하여 탈질률을 증가시키는 방법을 적용하였다.

1차 실험에서의 초기 질소농도는 120 mg/L로 25시간 후에 질산성질소로 100% 질산화 된 후 닭 가공 폐수 주입량이 없을 경우 탈질률은 13.8%이며 NO₃-N 기준으로 C/N비를 2:1로 조절해준 반응조의 탈질률은 41.7%를, C/N비 3:1 반응조의 탈질률은 59.9%를 나타내었다. 1차 실험 결과에서는 C/N비를 3:1로 조절해주었음에도 불구하고 탈질률이 60%를 초과하지 않았다. 1차 실험에서 HRT에 따른 유기물 제거 및 질소 형태변화에 대한 결과를 Table 4와 Fig. 3에 나타내었으며 C/N 비에 따른 탈질

Table 2. Characteristics of Pressure Flotation Treatment Water of A company

| Composition | pH | COD _{Cr} | COD _{Mn} | T-N | T-P | NH ₃ -N | SS |
|-----------------------------------|---------|-------------------|-------------------|------------|----------|--------------------|--------------|
| | | mg/L | | | | | |
| Waste water of poultry butchering | 6.2±0.3 | 4317.1±1078.3 | 582.9±199.6 | 331.4±62.6 | 33.0±4.8 | 188.4±48.2 | 1933.7±536.1 |
| Pressure flotation water | 6.1±0.3 | 734.0±132.1 | 156.1±90.7 | 152.8±32.3 | 6.6±1.7 | 92.3±9.9 | 63.4±45.3 |

Table 3. Operating Condition of Lab Scale SBR

| | SRT | HRT | DO | pH | ORP |
|-------------------|------|------|-------|-----------|--------|
| | hour | hour | mg/L | | |
| Aerobic condition | 30 | 25 | 2~3 | 6.5 ~ 7.0 | 0~139 |
| Anoxic condition | | 5 | 0~0.1 | 7.0 ~ 7.5 | 0~-474 |

Shift operation in a single reactor : Aerobic condition → anoxic condition

Table 4. The Variation of Organic Matter and Nitrogen with HRT -1st

| HRT | COD _{Cr} | COD _{Mn} | T-N | NH ₃ -N | NO ₂ -N | NO ₃ -N | Org-N |
|-----|-------------------|-------------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| hr | mg/L | | | | | | |
| 0 | 680.0 | 148.0 | 120.0 | 67.0 | 0.0 | 9.1 | 44.0 |
| 5 | 493.0 | 113.0 | 120.0 | 39.1 | 0.0 | 42.2 | 38.8 |
| 20 | 212.0 | 72.0 | 120.0 | 10.0 | 0.0 | 112.1 | -2.1 |
| 25 | 125.0 | 50.5 | 120.0 | 0.0 | 0.0 | 120.0 | 0.0 |



| shift operation : Aerobic condition → anoxic condition | | | | | | | |
|--|--------------------|------|-------------------------|--------------------------|------------------------|--|--|
| HRT | Composition | | Raw water dosage (ml/L) | | | | |
| | | | 0.0 | 57.1 (C/N ratio = 2 : 1) | 85.7 (C/N ratio=3 : 1) | | |
| 30 hr | COD _{Cr} | mg/L | 99.0 | 93.0 | 102.0 | | |
| | COD _{Mn} | | 30.8 | 25.7 | 57.7 | | |
| | T-N | | 110.0 | 86.0 | 75.0 | | |
| | NH ₃ -N | | 0.0 | 10.7 | 16.1 | | |
| | NO ₂ -N | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | |
| | NO ₃ -N | | 103.4 | 70.0 | 48.8 | | |
| | Org-N | | 6.6 | 5.3 | 10.1 | | |

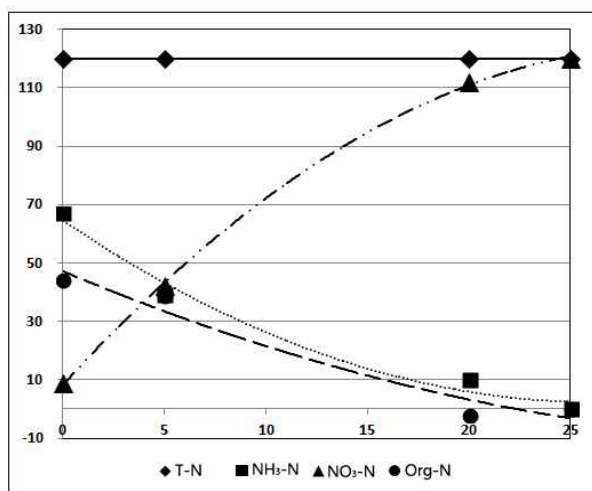


Fig. 3. Changing a form of Nitrogen at Aerobic Condition according to Time - 1st

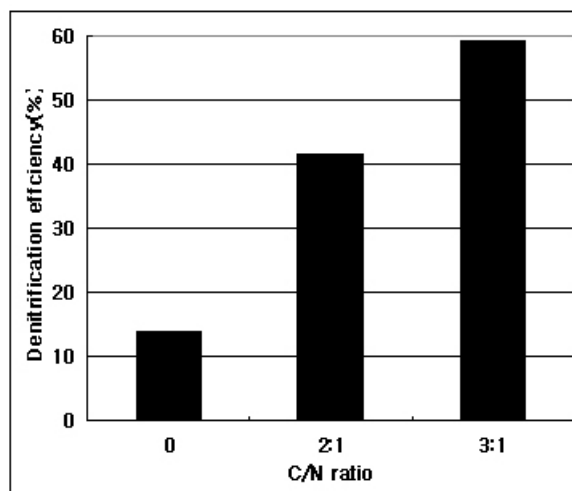


Fig. 4. Changing Denitrification Efficiency according to Pouring in Raw Water - 1st

를 비교를 Fig. 4에 나타내었다.

McClintock et al. (1998)은 도시하수를 회분식 반응조에 주입한 연구 결과에 의하면 1gNO₃-N 제거당 COD 소모량이 4.77g이라고 보고하였으며, Jung et al. (2008)은 탈질에 C/N 비가 미치는 영향을 비교한 결과, C/N 비가 낮게 되면 반응 후반에 미생물의 성장과 관련된 문제의

발생으로 원하는 처리결과를 얻지 못하여 C/N 비를 5 이상으로 설정하는 것이 바람직하다고 하였다. 따라서 존재하는 질산성질소의 농도를 기준으로 C/N비가 5:1이 되면 완전한 탈질을 유도할 수 있을 것으로 판단하여 2차 실험은 탄소원 보충을 위한 닭 가공 폐수의 주입량을 증가시켜 실험을 진행하였으며 C/N비를 3:1과 5:1로 조정하

여 비교 평가하였다. 실험 결과 질산화는 단축된 시간인 13시간 안에 완전히 이루어짐을 확인하였고 원수를 C/N 비 5:1로 주입한 반응조와 3:1로 주입한 2개 반응조에서 완전 탈질이 이루어졌으며 C/N비를 5:1로 조정한 반응조에서도 잔존하는 COD_{Mn}의 농도가 28mg/L를 나타내어 잔류 유기물이 A사의 배출허용기준치인 90mg/L 이 내인 것을 확인하였다.

닭 가공 폐수 주입 전 초기 C/N비는 4.5:1이며 탈질률이 낮은 1차 실험의 C/N비가 5.7:1임을 고려할 때 오히려 낮은 C/N비율을 보였음에도 불구하고 질산화율 및 탈질률이 높은 것을 알 수 있다. Jung et al. (2005)은 탈질을 위한 탄소원 투입 실험에서 탈질률(denitrification)은 순응기간에 따라 커지는 것이 확인되었다고 보고하였으며 따라서, 실험이 반복 진행되면서 A사 가압부상처리수에 대한 순응이 충분히 이루어져 처리 효율이 증가한 것으로 판단된다.

1차 실험에서의 C/N 비 2:1과 3:1, 그리고 2차 실험에서의 C/N 5:1 실험군에서 실험 종료 후(무산소조 5시간 후) 암모니아성 질소와 유기성 질소가 존재하는 것은 닭 가공 폐수의 유입으로 인한 질산화 되지 않은 질소원이 함유되어 있기 때문이다. 2차 실험에서 HRT에 따른 유기물 제거 및 질소 형태변화에 대한 결과를 Table 5와 Fig.

5에 나타내었으며 C/N 비에 따른 탈질률 비교를 Fig. 6에 나타내었다.

3.2 MLSS 농도에 따른 유기물 제거 및 질소 형태 변화

앞선 1~2차 실험결과 탈질을 위한 원수 주입은 C/N비 3:1 수준으로도 90% 이상의 탈질률을 확보할 수 있다고

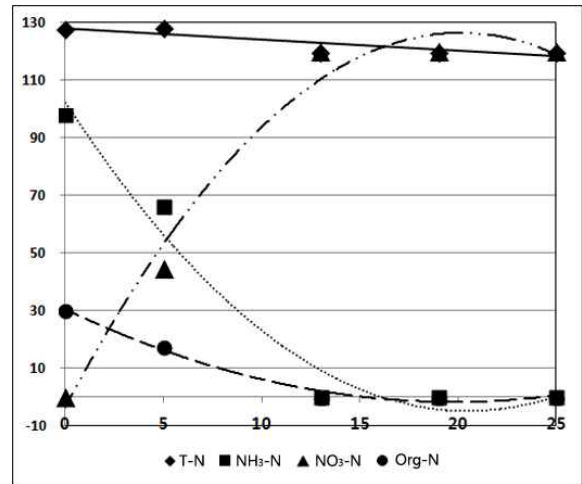


Fig. 5. Changing a form of Nitrogen at Aerobic Condition according to Time - 2st

Table 5. The Variation of Organic Matter and Nitrogen with HRT -2st

| HRT | COD _{Cr} | COD _{Mn} | T-N | NH ₃ -N | NO ₂ -N | NO ₃ -N | Org-N |
|-----|-------------------|-------------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| hr | mg/L | | | | | | |
| 0 | 580.0 | 120.0 | 128.0 | 98.0 | 0.0 | 0.0 | 30.0 |
| 2 | 304.0 | 87.4 | 128.0 | 66.2 | 0.0 | 44.6 | 17.2 |
| 13 | 74.0 | 29.2 | 120.0 | 0.0 | 0.0 | 120.0 | 0.0 |
| 19 | 69.0 | 23.5 | 120.0 | 0.0 | 0.0 | 120.0 | 0.0 |
| 25 | 64.0 | 25.4 | 120.0 | 0.0 | 0.0 | 120.0 | 0.0 |



| shift operation : Aerobic condition → anoxic condition | | | | | | | |
|--|--|------|-------------------------|------------------------|-------------------------|--|--|
| HRT | Division | | Raw water dosage (ml/L) | | | | |
| | | | 0.0 | 92.5 (C/N ratio = 3:1) | 155.0 (C/N ratio = 5:1) | | |
| 30 hr | COD _{Cr} COD _{Mn} T-N NH ₃ -N NO ₂ -N NO ₃ -N Org-N | mg/ℓ | 61.0 | 69.0 | 78.0 | | |
| | | | 16.3 | 21.3 | 26.0 | | |
| | | | 15.5 | 13.0 | 25.0 | | |
| | | | 0.0 | 0.0 | 7.2 | | |
| | | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | |
| | | | 12.5 | 0.0 | 0.0 | | |
| | | | 3.0 | 13.0 | 17.8 | | |

판단하여, 무산소조 상태로 전환시 C/N비 3:1의 닭 가공 폐수를 주입하였다. 각 실험군별 MLSS 농도 및 유입수의 오염물질 농도를 Table 6에 표시하였다.

3.2.1 MLSS 농도에 따른 유기물 제거 효율 변화

Fig. 7은 MLSS 농도 변화에 따른 잔류 유기물의 양 (COD_{Mn})을 Fig. 8은 MLSS 농도 변화에 따른 유기물 제거율을 나타낸 것이다. 30시간의 HRT에서 MLSS 농도가 약 7,800 mg/L 일 때부터 A사의 배출허용기준 이하의 유기물 농도를 보였다. 하지만 MLSS 8,000 mg/L 이하에서는 유기물의 제거효율이 COD_{Cr}과 COD_{Mn}의 경우 모두 50%를 넘지 못하였기 때문에 유기물의 안정적인 제거를 위해서는 MLSS 농도가 10,000 mg/L 이상 되어야 할 것으로 판단된다.

이 결과는 Bae et al. (2004)가 보고한 COD 제거효율과는 상이한 결과이지만, 생물학적으로 분해가 빠른 glucose로 제조한 폐수와 생물학적으로 분해가 어려운 유기물도

포함되어 있는 실 폐수의 성상 차이에 의한 것으로 보여진다. 결과적으로 유기물 제거효율은 MLSS 농도가 높아짐에 따라 비례하여 증가하였으며 실험이 진행됨에 따라 미생물이 기질에 대한 적응력이 높아짐으로써 효율이 증가한 점도 간과할 수 없겠다.

3.2.2 MLSS 농도에 따른 질소 형태 변화

MLSS 농도별 시간에 따른 질소 형태 변화를 Fig. 9에 나타내었다. 암모니아성 질소의 경우 MLSS 약 8,000 mg/L에서부터 질산화 과정에서 80% 이상 제거되는 경향을 보였다. 하지만 A사 가압부상처리수의 경우 NH₃-N/T-N 비는 약 0.60이고 초기 NO_x-N의 농도는 모두 0 mg/L였다. 따라서 유기성 질소의 비율이 약 40%이었으며 MLSS 농도가 8,000 mg/L 이하에서는 상대적으로 생물학적 반응속도가 느린 유기성 질소의 질산화는 거의 일어나지 않아 총 질소 대비 질산화 효율은 크게 높지 않았다.

MLSS 농도별 질산화량과 T-N 대비 질산화율, MLVSS/MLSS, 그리고 질산화속도의 값을 Table 7에 나타내었다.

Table 6. Characteristics of Raw Water

| MLSS | COD _{Cr} | COD _{Mn} | T-N | NO ₂ -N | NO ₃ -N | NH ₃ -N | Org-N |
|--------|-------------------|-------------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| mg/L | | | | | | | |
| 5,600 | 399.0 | 150.3 | 110.0 | 0.0 | 0.0 | 77.8 | 32.2 |
| 7,800 | 410.0 | 164.2 | 150.0 | 0.0 | 0.0 | 78.5 | 71.5 |
| 9,300 | 340.0 | 152.7 | 140.0 | 0.0 | 0.0 | 74.6 | 65.4 |
| 10,800 | 430.0 | 168.5 | 148.0 | 0.0 | 0.0 | 80.6 | 67.4 |
| 12,700 | 550.0 | 188.5 | 138.0 | 0.0 | 0.0 | 98.0 | 40.0 |

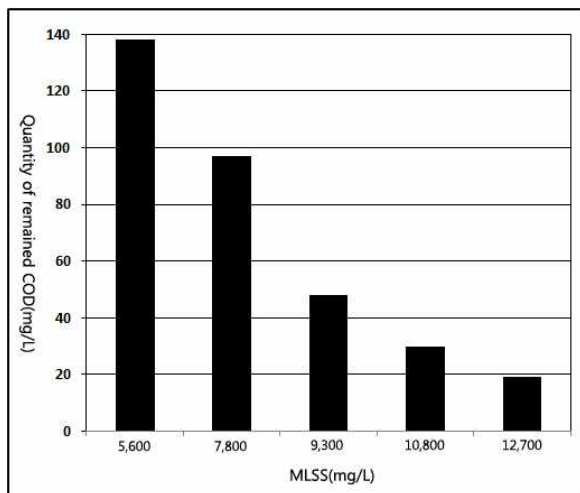


Fig. 7. Quantity of Remained COD at Various MLSS Concentration

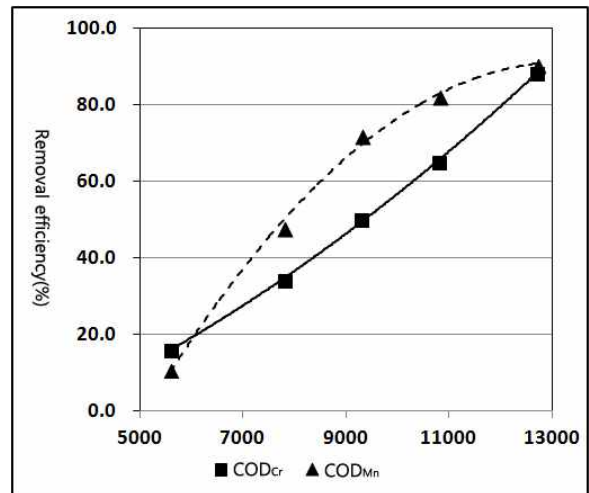


Fig. 8. COD Removal Efficiency at Various MLSS Concentration

호기조 상태 및 무산소조 상태에서 $\text{NO}_x\text{-N}$ 은 모두 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 형태로 존재하였다. 질산화량, 질산화율 및 총 질소 제거량 모두 MLSS 농도가 증가하면서 같이 증가하는 경향을 보였다. 질산화 속도는 MLSS 농도 약 8,000 mg/L부터

0.0115~0.0119의 값으로 비슷한 수준을 유지하였다. 따라서 질산화량을 증가시키기 위해서는 MLSS의 농도를 높이는 것이 효율적인 방법이라는 것을 증명해주었다. 하지만 MLSS 농도가 곧 활성화된 미생물의 농도라고 보기는 어

Table 7. Quantity of Nitrification and Nitrification Rate at Various MLSS Concentration

| MLSS (mg/L) | Quantity of nitrification (mg/L) | Nitrification rate ($\text{NO}_3\text{-N}/\text{T-N}$) | MLVSS/MLSS | $\text{gNO}_3\text{-N}/\text{gMLVSS-day}$ |
|-------------|----------------------------------|--|------------|---|
| 5,600 | 36.3 | 0.33 | 0.83 | 0.0081 |
| 7,800 | 70.0 | 0.47 | 0.81 | 0.0115 |
| 9,300 | 80.1 | 0.57 | 0.78 | 0.0115 |
| 10,800 | 103.1 | 0.70 | 0.84 | 0.0118 |
| 12,700 | 111.8 | 0.81 | 0.77 | 0.0119 |

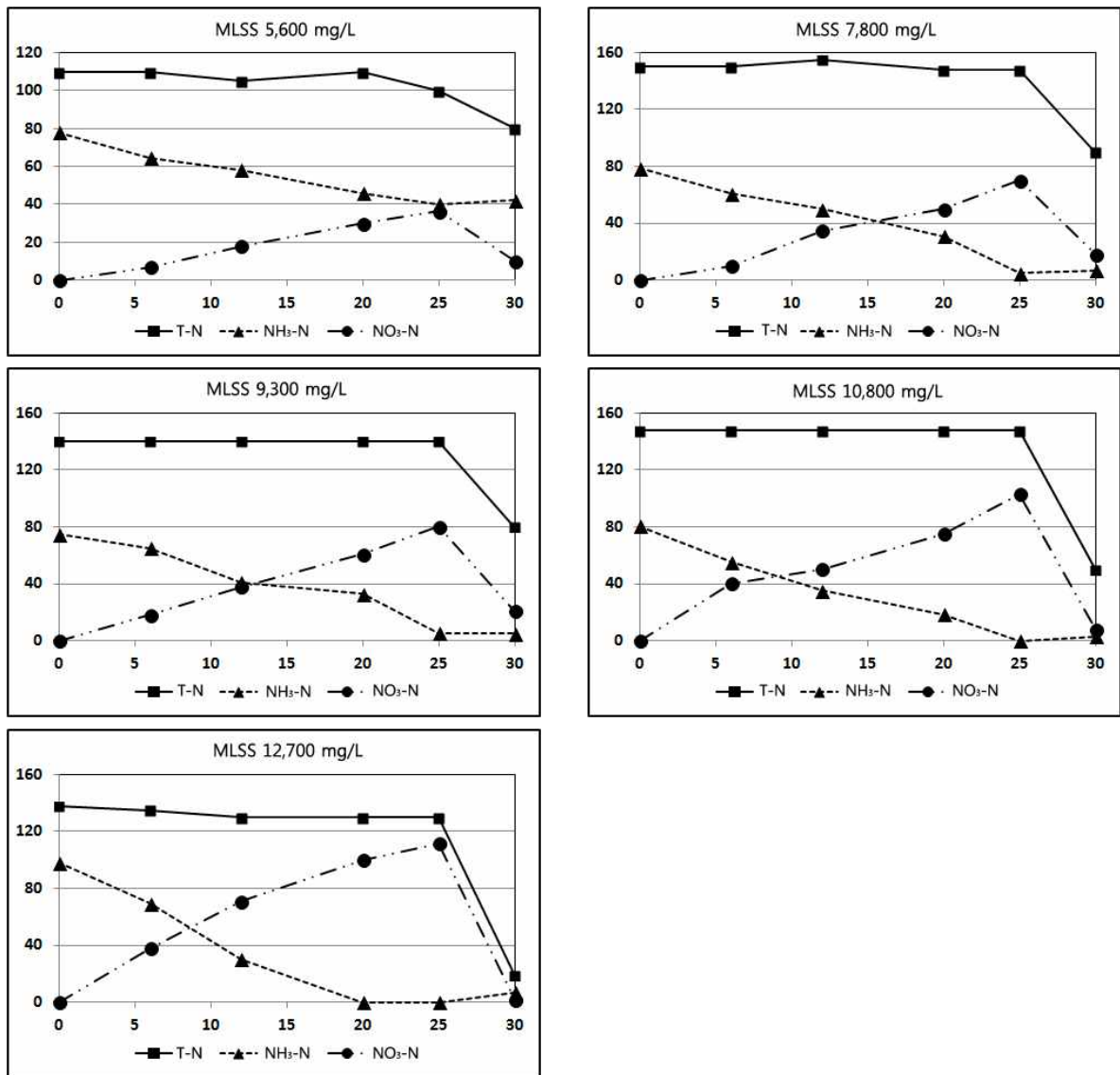


Fig. 9. Changing a form of Nitrogen at Various MLSS Concentration according to Time

Table 8. Concentration of Major Pollutant in Effluence

| Disivion | | Effluent quality standard | MLSS Concentration(mg/L) | | | | |
|------------------------------|-------|---------------------------|--------------------------|-------|-------|--------|--------|
| | | | 5,600 | 7,800 | 9,300 | 10,800 | 12,700 |
| CODCr | mg/ ℓ | - | 335 | 270 | 170 | 150 | 65 |
| CODMn | | 90 | 134 | 86 | 43 | 30 | 18 |
| T-N | | 60 | 80 | 90 | 80 | 50 | 19 |
| CODMn removal efficiency (%) | | | 10.8 | 47.6 | 71.8 | 82.2 | 90.5 |
| T-N removal efficiency (%) | | | 27.3 | 40.0 | 42.9 | 66.2 | 86.2 |

려우며 따라서 MLVSS/MLSS 비율이 중요하다. MLVSS/MLSS의 값은 0.77~0.83이었는데, 이는 MLVSS/MLSS의 비율이 평균 0.79라고 보고한 Lee et al. (2011) 보고와는 비슷한 수준이었으나 0.90~0.91이라고 보고한 Jung et al. (2006)의 보고보다는 낮은 수준이었다. MLVSS 대비 질산화 미생물 분율은 Carrera et al. (2004)의 연구에서는 5.9, 9.9 및 12.0%, You et al. (2003)의 연구에서는 4.1~11.4% 사이라고 보고하였는데, 연구 환경에 따라 질산화 미생물 분율은 크게 차이가 나지만 MLVSS 농도에 비해 하며, 따라서 더 높은 비율의 MLVSS/MLSS를 확보할 경우 질산화율의 증가를 기대할 수 있다.

A사의 가압부상처리수는 T-N 평균 농도가 약 150 mg/L였으며, 배출 허용 기준을 만족시키기 위해서는 약 60% 이상의 제거효율을 보여줘야 한다. 시간별 질소 형태 변화에서 알 수 있듯이 탈질의 경우 비폭기 시간인 5시간 동안 질산화가 일어난 질산성 질소의 대부분이 제거되는 것을 알 수 있었으며, 25시간 동안 일어나는 질산화의 효율이 중요하다. 따라서 안정적인 유출수의 수질을 확보하기 위해서는 질산화율 0.7, 총 질소 제거율 70% 이상을 보인 MLSS 11,000 mg/L 정도의 미생물 농도를 확보해야 할 것으로 보인다.

3.3 MLSS 농도에 따른 유출수 성상

실험 종료 후 유출수의 주요 오염물질 분석 결과 및 초기 농도 대비 유기물과 질소 제거율을 Table 8에 나타내었다.

4. 결 론

본 연구는 A사의 생물학적 처리조를 대상으로 기존 2.8 일의 HRT의 절반 수준인 30시간의 HRT에서 배출허용 기준치를 안정적으로 만족할만한 방류수 수질을 얻을 수 있는지에 대한 확인을 위해서 진행되었다.

실험결과 MLSS 농도가 증가하면서 비례적으로 유기

물 제거율과 질소 제거율이 높아졌으며, MLSS 농도 10,800 mg/L 실험군에서 유기물과 총 질소 농도 모두 배출허용기준치를 만족하는 결과를 보였기 때문에 현장 운전 시에 MLSS 농도 11,000 mg/L 이상을 확보한다면 안정적으로 HRT 30시간에서 배출허용기준치를 만족할만한 방류수 수질을 얻을 수 있을 것으로 보인다.

다만 현장 적용 시에는 고농도의 MLSS에 의해 막 오염 문제가 발생할 수 있기 때문에 적정 MLSS 농도를 유지하며 MLSS/MLVSS 비를 증가시켜 질소 제거량에 주요 결정 인자인 질산화 속도를 증가시키는 것이 유리하며 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 차세대 에코이노베이션기술 개발사업의 일환으로 수행되었습니다. 원활한 연구수행을 위해서 도움을 아끼지 않으신 차세대 에코이노베이션기술 개발사업 관계자 여러분들께 감사드립니다.

References

- APHA, AWWA and WPCF. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th Ed, Washington, D.C.
- Bae, T.E., Jang, G.G., and Tak, T.M. (2004). "Effects of Biomass Concentration and Sludge Loading Rate on Bioactivity and Membrane Fouling in a Submerged Membrane Bioreactor System." *Membrane Journal*, Vol. 14, No. 4, pp. 289-297.
- Carrea, J., Vicent, T., and Lafuente, L. (2004). "Effect of influent COD/N ratio on biological nitrogen removal (BNR) from high-strength ammonium industrial wastewater." *Process Biochemistry*, Vol. 39, No. 12, pp. 2035-2041.

- Jewell, W.J., and Cummings, R.J. (1975). "Denitrification of concentrated nitrate wastewaters." *J. Water Pollute Control Fed*, Vol. 47, No. 9, pp. 2281-2291.
- Jung, G.T., Park, S.H., Park, J.H., Bhang, S.H., Lim, E.T., and Park, D.H. (2008). "Study of factors influenced on denitrification in wastewater treatment." *Korean J. Biotechnol. Bioeng*, Vol. 23, No. 6, pp. 535-540.
- Jung, I.C., Jo, H.G., Lee, D.H., Kang, D.H., Lim, T.K., Lee, S.H., and Kim, C.W. (2005). "Development and Full-scale Application of the Alternative Carbon Source Based on the Substrate Compatibility." *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 27, No. 5, pp. 491-498.
- Jung, K.E., Bae, M.S., Lee, J.H., Cho, Y.K., and Cho, K.M. (2006). "Effects of MLSS Concentration and Influent C/N Ratio on the Nitrogen Removal Efficiency of Alternately Intermittently Aerated Nonwoven Fabric Filter Bioreactors." *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 28, No. 5, pp. 501-510.
- Kim, H.Y., and Kim, J.B. (2011) "The Study on Nitrogen (N) Removal of Butchery Wastewater using Microbiological Juvantia." *Journal of Nakdonggang Environmental Research Institute*, Vol. 15, No. 1, pp. 96-113.
- Lee, S.H., and Jung, L.J., Kwon, J.H., and Lee, S.H. (2011) "Effect of Microbubble Ozonation Process on Performance of Biological Reactor System for Excess Sludge Solubilisation." *Journal of KSEE*, Vol. 33, No. 2, pp. 113-119.
- Ministry of Environment. (2004). *Standard methods*. Donghwa publication., pp. 204-298.
- Nam, K.S. (2011). "The outlook for Poultry industry in 2011-Chicken demand trends and outlook in 2011." *Monthly Korean Chicken*, Vol. 17, No. 1, pp. 68-71.
- No, H.S. (2001). *Application of Aeration-Electro Coagulation Process to the Treatment of Fowl-Slaughter Wastewater*. Master's thesis, Inha University, pp. 1.
- McClintock, S.A., Sherrard, J.H., Novak, J.T., and Randall, C.W. (1988). "Nitrate versus oxygen respiration in the activated sludge process." *J. Water Pollute Control Fed*, Vol. 60, No. 3, pp. 342-350.
- Timmermans, P., and Haute, A.V. (1983) "Denitrification with methanol : Fundamental study of the growth and denitrification capacity of Hyphomicrobium sp." *Water Res*, Vol. 17, No. 10, pp. 1249-1255.
- You, S.J., Hsu, C.L., Chuang, S.H., and Ouyang, C.F. (2003). "Nitrification efficiency and nitrifying bacteria abundance in combined AS-RBC and A2/O systems." *Water Res*, Vol. 37, No. 10, pp. 2281-2290.

| | |
|------------------------|------------------|
| 논문번호: 13-099 | 접수: 2013.12.12 |
| 수정일자: 2014.01.20/01.29 | 심사완료: 2014.01.29 |