

상향류식 혐기성반응조와 산발효조의 병합처리시 유기물질과 질소거동에 관한 연구

오대민 · 이영신

한서대학교 환경공학과

(2008년 11월 5일 접수; 2009년 2월 17일 수정; 2009년 3월 12일 채택)

A Study on the Behaviour of Organics and Nitrogen Using Upflow Anaerobic Reactor When Acid Fermenter is Added

Dae Min Oh and Young Shin Lee

Department of Environmental Engineering, Hanseo University, Chungnam 356-706, Korea

(Manuscript received 5 November, 2008; revised 17 February, 2009; accepted 12 March, 2009)

Abstract

This study was aimed to behaviour of organics and nitrogen on the upflow anaerobic reactor when a acid fermenter is added. Upflow anaerobic reactor (UAR) reaction will result which operates, COD removal efficiencies of reactor with nitrate loading rate 0.11, 0.66g/L/d were over 77%, but one with 1.0g/L/d was 73.5%. Especially, on NLR 0.11g/L/d, COD removal was 77% and nitrate removal efficiency was 93% simultaneously. The other side upflow anaerobic reactor and acid fermenter (UAR+AF) reaction will result witch operates, COD removal efficiencies of reactor with nitrate loading rate 0.11, 0.66g/L/d were over 85%, but one with 1.0g/L/d was 80%. Especially, on NLR 0.11g/L/d, COD removal was 85% and nitrate removal efficiency was 98% simultaneously. Also, without in reaction condition increase of influent nitrate concentration resulted in the linear decrease of nitrate removal efficiency and nitrate removal efficiency at influent nitrate-nitrogen 800mg/L was 50%. Alkalinity was increased theoretically by denitrification at low nitrate-N concentration, however, it was not increased theoretically at high nitrate-N. 40% nitrate-N of UAR was denitrified until 70% height of reactor and 90% nitrate-N of UAR+AF was denitrified until 30% height of reactor Upflow anaerobic reactor was to occur accumulate acid, which TVA/Alkalinity is 0.3~0.47. Increase of NLR resulted increase of effluent alkalinity and TVA production

Key Words : Upflow anaerobic reactor, Acid fermenter, Organic, Denitrification

1. 서 론

생물학적 폐수처리 방법 중 혐기성 공법은 호기성 공법에 비하여 고농도의 폐수처리에 적합하며,

슬러지 생성량 및 영양물질 요구량이 적고, 부산물로 CH_4 를 회수할 수 있는 장점을 가지고 있으나 체류시간이 길어야 한다는 단점으로 인하여 주로 슬러지의 처리에 이용되어 왔다. 그러나 근래에는 체류시간의 단축 및 저농도 폐수의 처리에 중심을 두고 혐기성 처리에 대한 연구가 활발하게 수행되어 왔다^{1~6)}.

특히, 상향류식 혐기성공법은 재래식 혐기성 처리공법에 비해 높은 유기물 부하에서 적용이 가능하여 반응조 용량을 최소화할 수 있으며, 활성이 뛰어난 혐기성 미생물을 고농도로 유지할 수 있어 짧은 체류시간으로 고농도의 폐수를 처리할 수 있는 기술로서 근래에 들어와 활발히 연구되고 있으며 보급이 급속히 확산되고 있다⁷⁾. 이러한, 상향류식 혐기성공법은 유기물농도가 높은 유입수로 슬러지 하부의 충격부하가 높고 유입수의 불충분한 알칼리도로 인해 슬러지 하단의 pH를 6.6 이하로 저하시키게 되어 운전이 어려워지는 단점이 있다. 또한, 상향류식 혐기성반응조를 통과한 유출수가 방류수 수질기준에 적합하지 못하는 특성이 있으며, 고농도 폐수의 경우 반응조내의 고효율의 유기물 제거로 후단에 설치될 영양염류제거공정의 탄소원 부족현상이 생겨 외부탄소원의 투입이 불가피하여 경제성면에서 적절치 못한 특성이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 상향류식 혐기성반응조내에서 충분한 유기물질과 탈질을 하도록 하여 유기물과 질소제거를 동시에 처리할 수 있도록 하는 것이 중요하다⁸⁾.

따라서, 본 연구는 하수처리시 상향류식 혐기성 반응조로 운전했을 때와 상향류식 혐기성반응조와 산발효조를 병합처리시 처리결과를 비교하여 충분한 유기물질과 탈질이 유지되는지 여부와 유기물질과 질소성분의 거동특성을 평가하고 이에 따른 운전조건을 도출하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험장치

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 실험실규모로 상향류식 혐기성반응조와 산발효조를 제작하여 운전하였다. 상향류식 혐기성반응조는 유효용적이 6 L이며, 내부 직경이 8 cm이고, 높이가 120 cm인 원통형 반응조로 아크릴로 제작하였다. 반응조의 흐름은 plug flow 흐름이 되도록 하였으며, 반응조하부에 유입수의 분산투입을 위해 다공성 투입구를 제작하였다. 또한, 반응조 높이별 슬러지상태를 파악하기 위해 20 cm간격으로 유출부를 제작하였다. 산발효조는 상향류식 혐기성반응조에 고부하로 인한 충격부하가 직접적으로 가해지는 것을 막고 유출수의 재순환과 산발효미생물로 인한 처리효율을 증가시키

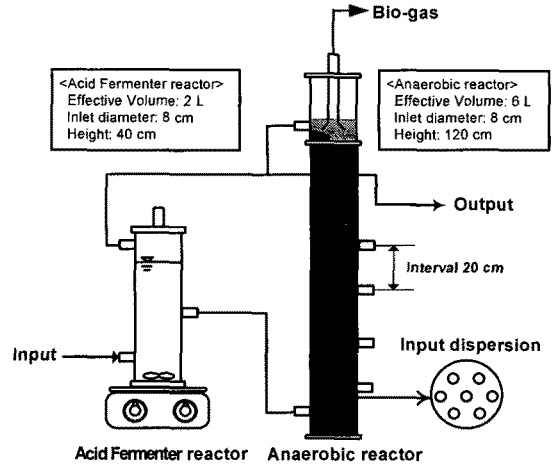


Fig. 1. Schematic diagram of Anaerobic treatment process.

기 위해 설치하였으며, 반응조로 내부직경 8 cm, 높이가 40 cm인 원통형반응조로 제작하였다. 반응장치의 유입 및 유출과 상향류식 혐기성반응조의 선속도 유지를 위해 미량유량조절펌프를 이용하였다.

2.2. 실험방법

본 실험에 사용된 식중슬러지는 실제 상향류식 혐기성공법으로 주정폐수를 처리하고 있는 상향류식 혐기성반응조에서 채취하였으며, 식중슬러지의 용적비는 반응조의 약 50%가 되도록 주입하였다. 초기 식중슬러지의 크기는 1.1~3.2 mm(평균 1.67 mm)이며, 식중슬러지의 VSS농도는 12.5 gVSS/L, VSS/TSS 비율은 0.69를 나타내었다. 또한, 식중시 미생물에게 충격부하가 가해지는 것을 방지하기 위해 3 일에 걸쳐 반응조에 유입수를 투입하였으며, 적정 선속도의 유지를 위한 반응을 하였다.

실험에 주입된 유입수는 인공하수를 제조하여 이용하였으며, 미생물 성장에 필요한 미량원소를 첨가하여 Table 1과 같이 만들어 사용하였다. 이 때, 유입수의 pH는 6.7 이상을 유지하였다.

또한, 본 연구에서는 산발효조 투입유무에 따라 유기물질과 탈질에 대해 평가하기 위해 유입부하율을 2.1-2.3 kgCOD/m³/d로 유지하여 연속으로 주입되도록 한 뒤, 탈질효율을 위해 KNO₃를 유입수에 투입하여 NLR (Nitrogen Loading Rate)을 0, 0.11, 0.66, 1.00 g/L/d로 변경하며 운전하였다. 이 때 상향류식 혐기성반응조의 선속도는 Table 2와 같이 운전

Table 1. Components of synthetic wastewater

(Unit: mg/l)

Component	Conc.	Component	Conc.
Glucose	1,700	CaCl ₂	27.5
Glutamic acid	100	FeCl ₃ · 6H ₂ O	0.5
KH ₂ PO ₄	8.5	NH ₄ Cl	200
K ₂ HPO ₄	21.5	NaHCO ₃	275
MgSO ₄ · 7H ₂ O	22.5		

Table 2. Operation condition

Operation condition	1 step (UAR)					2 step (UAR+AF)				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
Period (day)	40	30	20	40	30	40	30	20	40	30
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	0	100	100	500	800	0	100	100	500	800
NLR (g/L/d)	0	0.11	0.11	0.66	1.00	0	0.11	0.11	0.66	1.00
Upflow velocity (m/h)	1.5	1.5	5.0	1.5	1.5	1.5	1.5	5.0	1.5	1.5

* UAR: Upflow Anaerobic treatment Reactor, AF: Acid Fermenter

하였다. 수질분석은 Standard methods⁹⁾에 준하여 pH, CODcr, Alkalintiy, TVA를 분석하였고, 수질오염공정시험법¹⁰⁾에 의거하여 T-N, NO₃⁻-N를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유기물질 및 질소거동

① 운전조건에 따른 유기물질거동

반응조의 전체 운전조건에 따른 질산성질소 주입량변화로 인한 유기물질 거동을 Fig. 2에 나타내었다. 상향류식 혐기성반응조의 슬러지가 쉽게 순송되

어 반응시작 7일이 경과된 후 유출수의 COD제거효율이 상향류식 혐기성반응조로 운전시 약 83%, 상향류식 혐기성반응조와 산발효조 병합 운전시 89.0%를 나타내었다.

상향류식 혐기성반응조로 운전시 P1조건에 COD 제거효율은 평균 83.1%를 나타내었으며, P2 및 P3 조건에는 78.8%를, P4와 P5조건에는 각각 77.9%, 73.5%를 나타내었다. 상향류식 혐기성반응조와 산발효조 병합 운전시 P1조건에 COD 제거효율은 평균 89.4%를 나타내었으며, P2 및 P3조건에는 86.1%를, P4와 P5조건에는 각각 86.1%, 80.3%를 나타내

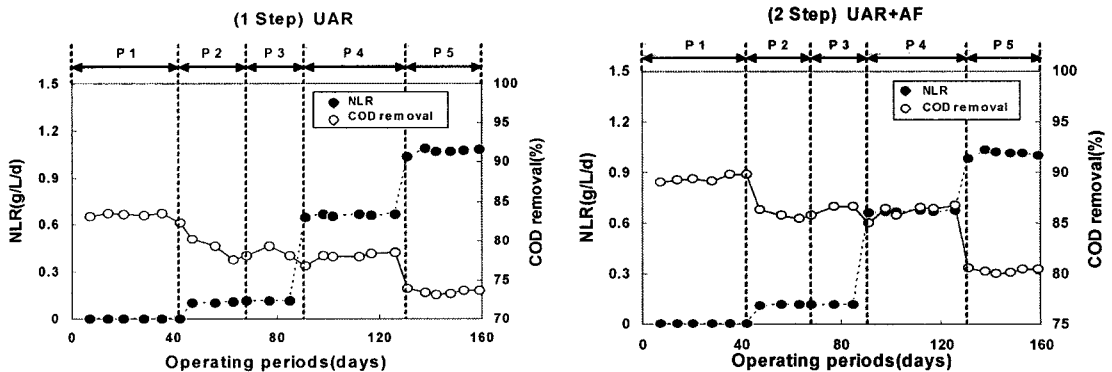


Fig. 2. The behaviour of COD (Organic matter) at Anaerobic treatment system.

었다.

② 질소부하에 따른 유기물질과 질소거동

Fig. 3은 질소부하에 따른 유기물질과 질소의 거동에 관한 결과로 유입수의 질소부하가 증가함에 따라 COD제거효율과 질산성질소 제거효율이 감소되는 경향을 나타내었다. COD 제거효율은 상향류식 혐기성반응조로 운전시 78~80%를 보였으나 질소부하가 증가되면 73%로 저하되는 특징을 나타내었으며, 상향류식 혐기성반응조와 산발효조 병합운전시 85% 제거효율을 유지하였으나 질소부하가 증가됨에 따라 80%로 저하되는 것으로 나타났다. 그러나, 두 조건 모두 유입 질산성질소농도가 약 500 mg/L까지는 유기물제거효율을 각 반응기간에 따라 78~80%, 85%이상 유지하여 유기물제거효율에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한, 질산성질소의 경우 유입 질산성질소의 농도증가에 선형적으로 감소하는 경향을 나타내어 유입 질산성질소

농도 800 mg/L에서는 질산성질소의 처리효율이 50%이하로 감소되었다.

또한, Fig. 4에 나타난 것처럼 질소부하가 증가됨에 따라 상향류식 혐기성반응조로만 운전시 pH는 6.7-7.7로 나타났으며 상향류식 혐기성반응조와 산발효조 병합운전시 pH 6.6-8.1로 나타났다. 하지만, 두 조건 모두 질소가 고부하로 유입될 때 유기물 제거 및 질소제거율이 감소되었으나, 산발효조와 병합운전시 반응조내 유기산이 축적되어 나타나는 현상인 pH 감소가 나타나지 않아 상향류식 혐기성반응조로만 운전할 때보다 유기물 및 질소의 처리효율이 높게 나타났다. 이러한 현상은 일정한 질소부하이상으로 유입할 경우 반응조내 유기산이 축적됨으로써 혐기성미생물의 활성을 저하시켜 유기물을 메탄발효시키는 분해능력을 떨어뜨려 나타나는 현상으로 판단되나, 산발효조 도입으로 반응조내 적절한 pH 유지로 유기물과 질소의 처리효율이 향상

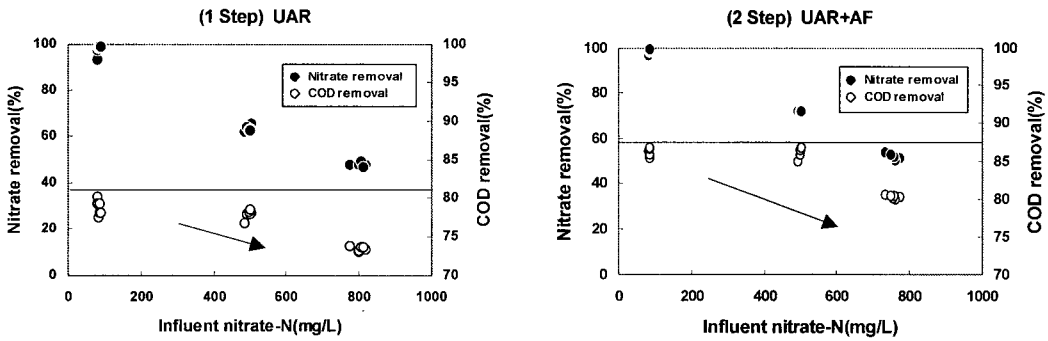


Fig. 3. The change of nitrate and COD removal as nitrate concentration.

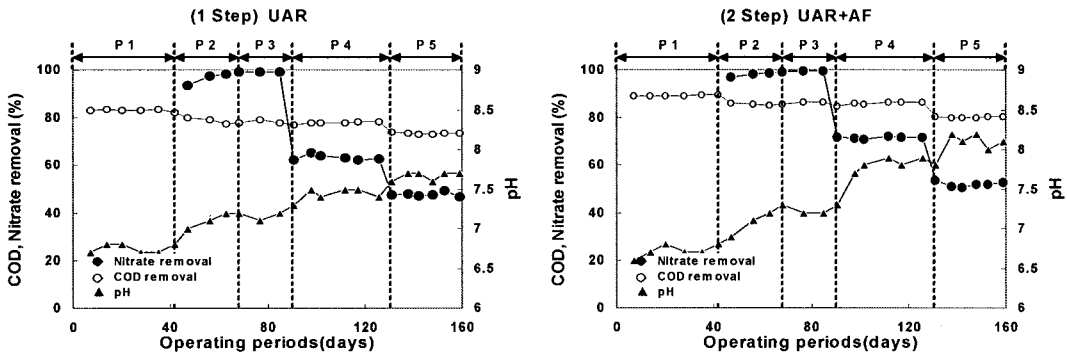


Fig. 4. The behavior of pH, nitrate and COD removal during operating periods.

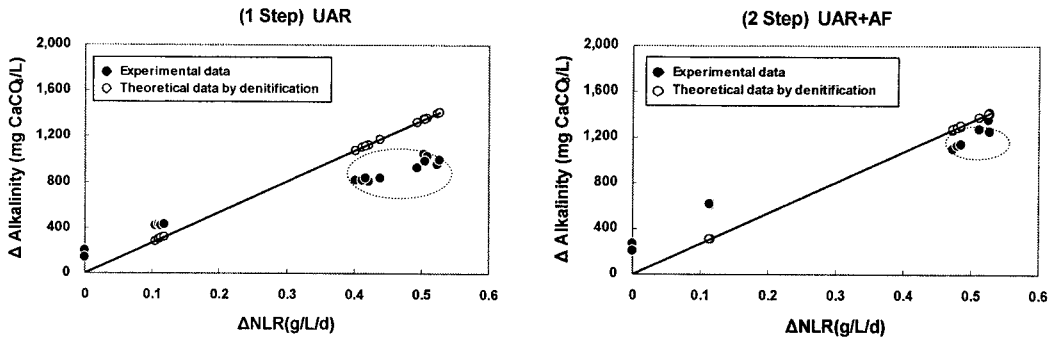


Fig. 5. Generation of alkalinity at removed Nitrogen loading rate.

되는 것으로 나타났다.

3.2. 탈질특성

① 탈질과 알카리도의 관계

탈질과정에서는 1 mg의 질산성질소가 탈질되면서 3.57 mg as CaCO₃의 알카리도를 생성하므로 본 반응에서 알카리도의 생성정도는 질산성질소의 탈질반응의 진행정도를 알아보는 척도로 사용될 수 있다⁹⁾. Fig. 5는 슬러지의 이론적인 질소소모량에 따른 알카리도의 생성관계를 나타낸 그림이다.

질산성질소가 투입되지 않은 상태에서 반응조내 미생물은 상향류식 혐기성반응조로 운전시에 약 170 mgCaCO₃/L의 알카리도가 생성하였으며, 상향류식 혐기성반응조와 산발효조 병합 운전시 유기물의 산발효과정을 통해 230 mgCaCO₃/L의 알카리도가 생성하였다. 또한, 질소부하가 0.11 g/L/d에서 상향류식 혐기성반응조로 운전시 427 mgCaCO₃/L의 알카리도를 나타내었으며, 상향류식 혐기성반응조와 산발효조 병합 운전시 610 mgCaCO₃/L의 알카리도를 나타내었다. 이러한 경향은 이론적으로 탈질에 의해 생성되는 알카리도의 양과 유사한 관계를 나타내며 증가하였으나, 질소부하가 0.40~5.3 g/L/d가 되었을 때 이론적인 양보다 생성되는 알카리도가 적게 나타났다. 반면, 상향류식 혐기성반응조와 산발효조 병합 운전시 상향류식 혐기성반응조로만 운전할 때 보다 이론적으로 생성되는 알카리도값에 가깝게 나타났다. 따라서, 상향류식 혐기성반응조의 단점인 반응조로 유입되는 낮은 알카리도로 인해 반응조내 pH가 낮아져 운전불능에 따른 문제점을 상향류식 혐기성반응조와 산발효조 병합 운전시

극복할 수 있을 것으로 판단된다.

② 혐기성반응조의 높이에 따른 탈질변화

Fig. 6는 상향류식 혐기성반응조의 높이에 따른 탈질변화를 나타낸다. 여기서, 빠른 선속도 유지를 위해 원통형으로 제작된 상향류식 혐기성반응조는 반응조의 높이에 따라 탈질반응이 다르다는 것을 알 수 있다. 반응조내에 입상슬러지는 약 50% 충전되었으며, 1.5 m/h의 선속도를 유지한 결과 입상슬러지층은 팽창하여 52.5%로 되었다. 이 실험은 유입 질산성질소의 부하가 0.11 g/L/d인 P2조건에서 수행되었다. 탈질반응은 상향류식 혐기성반응조로 운전시 질산성질소의 40%이상이 반응조 높이 70%이상이서 수행되고 있었으며, 상향류식 혐기성반응조와 산발효조 병합운전시 질산성질소의 90%이상이 반응조 높이 30%이하의 저층에서 수행되었다. 상향류식 혐기성반응조로 운전시 질산성질소 5.3 mg/L가 유입되어 2.1 mg/L로 유출되었으며, 상향류식 혐기

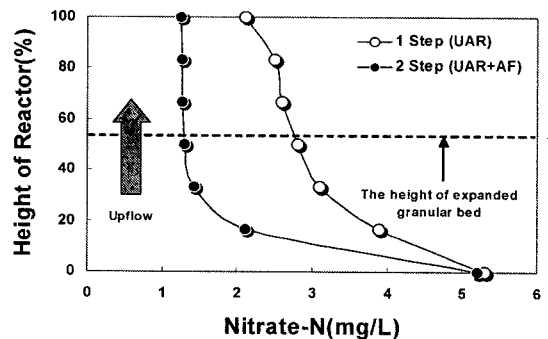


Fig. 6. The change of denitrification in Anaerobic treatment system as the height of reactor.

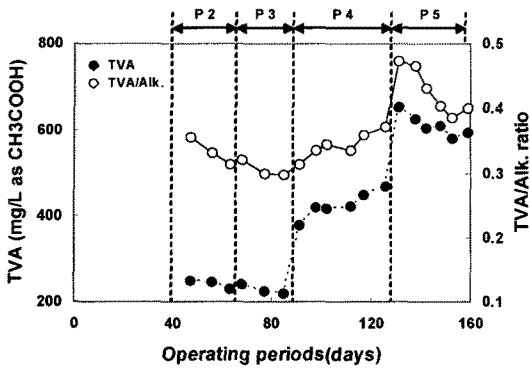


Fig. 7. The behavior of TVA and TVA/Alkalinity ratio during operating periods.

성반응조와 산발효조 병합 운전시 질산성질소 5.2 mg/L가 유입되어 1.25 mg/L로 유출되었다.

3.3. 반응조내 TVA거동

상향류식 혐기성반응조내의 미생물의 반응속도를 높이고 안정된 처리효율을 위해 본 연구에서는 상향류식 혐기성반응조와 산발효조를 병합 운전하여 반응조내의 TVA (Total Volatile Acid) 거동을 살펴보았다. 반응조내의 높은 유기물 농도와 충분한 알카리도를 유지하지 못하면, 반응조내 낮은 TVA에서도 소화저해현상이 나타난다.

이 실험은 혐기성반응조의 유출부에서 채취하여 측정하였으며, P2-P5조건에서 수행되었다. 상향류식 혐기성반응조내 TVA/Alkalinity가 0.3~0.47로 나타나 반응조내 산축적이 일어나고 있음을 알려주며, 질소부하가 증가함에 따라 유출수 알카리도가 증가되고 TVA생성량도 증가현상을 보였다.

4. 결론

상향류식 혐기성반응조만 운전했을 때와 상향류식 혐기성반응조와 산발효조 병합운전 했을 때의 유기물질과 질소성분의 거동특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 운전조건에 따른 유기물질 거동은 상향류식 혐기성반응조로 운전시 P1조건에 COD 제거효율이 평균 83.1%를 나타내었으며, P2 및 P3조건에는 78.8%를, P4와 P5조건에는 각각 77.9%, 73.5%를 나타내었다. 상향류식 혐기성반응조와 산발효조 병합운전

시 P1조건에 COD 제거효율은 평균 89.4%를 나타내었으며, P2 및 P3조건에는 86.1%를, P4와 P5조건에는 각각 86.1%, 80.3%를 나타내었다.

2) 질소부하에 따른 유기물질과 질소거동은 유입수의 질소부하가 증가함에 따라 COD제거효율과 질산성질소제거효율이 감소되는 경향을 나타내었다. 또한, 산발효조와 병합운전시 상향류식 혐기성반응조내 유기산축적으로 인한 pH 저하현상이 나타나지 않아 상향류식 혐기성반응조로만 운전할 때보다 유기물 및 질소의 처리효율이 향상되는 것으로 나타났다.

3) 탈질과 알카리도와와의 관계는 투입된 질산성질소가 저농도에서는 탈질됨에 따라 알카리도가 이론적인 증가량과 유사하게 생성되었으나, 탈질되는 질산성질소의 양이 증가함에 따라 알카리도의 증가는 이론적인 양보다 적은 양의 증가를 나타내었다. 반면, 상향류식 혐기성반응조와 산발효조병합 운전시 상향류식 혐기성반응조로 운전할 때보다 이론적으로 생성되는 알카리도값에 가깝게 나타났다.

4) 혐기성반응조 높이에 따른 탈질변화는 상향류식 혐기성반응조로 운전시 질산성질소의 40% 이상이 반응조 높이 70%이상에서 수행되고 있었으며, 상향류식 혐기성반응조와 산발효조 병합운전시 질산성질소의 90% 이상이 반응조 높이 30%이하의 저층에서 수행되었다

5) 상향류식 혐기성반응조내 TVA/Alkalinity는 0.3~0.47로 산축적현상이 일어나고 있으며, 질소부하 증가에 따라 유출수 알카리도와 TVA생성량도 증가현상을 보였다.

감사의 글

본 연구는 08년도 한서대학교 교비 학술연구지원 사업에 의해 연구된 결과로 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고 문헌

- 1) McCarty P. L., 1964, Anaerobic waste treatment fundamentals Part 1, Public Works, 95, 107-112.
- 2) Min K. S., Ahn Y. H., Park S. M., 2002, Dilute wastewater treatment using an upflow anaerobic

- sludge bed reactor, *Journal of KSEE*, 24(8), 1379-1389.
- 3) Langenhoff A. A., Stuchey D. C., 2000, Treatment of dilute wastewater using an anaerobic baffled reactor: effect of low temperature, *Water Res.*, 34(15), 3867-3875.
 - 4) Nachaiyasit S., Stuchey D. C., 1997, Effect of low temperatures on the performance of anaerobic baffled reactor(ABR), *Journal of Chem. Technol. Biotechnol.*, 69, 276-284.
 - 5) Uemura S., Harada H., 2000, Treatment of sewage by a UASB reactor under moderate to low temperature conditions, *Bioresour. Technol.*, 72, 275-282.
 - 6) Singh K. S., Harada H., Viraraghavan T., 1996, Low-strength wastewater treatment by a UASB reactor, *Bioresour. Technol.*, 55(96), 187-194.
 - 7) Song K. B., Bae J. H., Cho K. M., 1996, Operational characteristics of UASB and ABR-I: Organic removal efficiency, *Journal of KSEE*, 18(2), 159-170.
 - 8) Lee Y. S., Kang S. W., Oh D. M., 2004, Study on removal of organics and denitrification in expanded granular sludge blanket, *Journal of Korean Society of Urban Environment*, 4(1), 35-40.
 - 9) APHA., AWWA., WEF., 1995, *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, 19th ed., APHA, 4-75.
 - 10) 최규철, 권오익, 김동욱, 김용환, 박광하, 이우식, 이정연, 전세진, 정수경, 2004, *수질오염공정시험 방법 주해*, 동화기술, 788pp.
 - 11) Lee H. M., Yang B. S., 1993, Effect of effluent recycling on the operating performance of UASB reactor, *Journal of the environmental science*, 2(1), 299-310.
 - 12) Yoon S. Y., Park S. C., 1995, A study on organic matter removal by UASB, *Journal of Korean Solid Waste Engineering Society*, 12(4), 450-457.
 - 13) Yu H. Q., Fang H. H. P., Tay J. H., 2001, Enhancement of granulation in upflow anaerobic sludge blanket(UASB) reactors by aluminum chloride, *Chemosphere*, 44, 31-36.
 - 14) De Smul. A., Goethals L., Verstraete W., 1999, Effect of COD to sulphate ratio and temperature in expanded-granular-sludge-blanket reactors for sulphate reduction, *Process BioChemistry*, 34(4), 407-416.
 - 15) Ahn Y. H., Min K. S., Yun Z., 2000, Enhancement of reactor performance and pelletization by reactor modification in UASB system, *Journal of Environment Science Health*, 35(9), 1719-1733.