

UASB를 이용한 혐기성 하수처리공정에서 ABF 유출수 반송에 따른 유기물질과 질소 및 인 제거

Removal of Organic Matter, Nitrogen and Phosphorus in an UASB Sewage Treatment Process with Recycle of Aerated Bio-Filter Effluent

전동걸 · 변병수* · 임현숙 · 전항배[†]

Dong-Jie Tian · Byeong-Su Byun* · Hyun-Suk Lim · Hang-Bae Jun[†]

충북대학교 환경공학과 · *한국환경관리공단

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University

*Korea Environment Corporation

(2013년 4월 15일 접수, 2013년 5월 22일 채택)

Abstract : Nitrogen and phosphorus removal was investigated in an UASB-ABF (Up-flow anaerobic sludge blanket - aerated bio-filter) anaerobic sewage treatment system. Successful removal of nitrogen and phosphorus with organic matters was possible in the UASB-ABF system from the results of 160 days operation with the influent raw domestic sewage. Removal efficiencies of organic matter (as TCOD) showed 64% in UASB without recycle of the ABF effluent, however, they increased to 92%, 95%, 96% with 120%, 180% and 240% recycle of the ABF effluent, respectively. Increase of the organic matter removal was not prominent at recycle ratio above 180%. Apparent increase in TN removal occurred with recycle of the ABF effluent. TN removal efficiency was 18% without recycle, but it increased to 82% with 240% recycle of the ABF effluent. And stable nitrification above 95% was possible as a result of efficient removal of organic matter in the UASB with and without recycle of the effluent. Removal of both TP and PO₄³⁻-P also increased remarkably with recycle of the effluent. Without recycle of the effluent, that is at strict anaerobic condition in UASB, TP was not removed, however, its removal efficiency increased to 51%, 63%, 71% at recycle ratios of 120%, 180%, 240%, respectively mainly at UASB.

Key Words : Anaerobic Sewage Treatment, UASB, ABF, Nitrogen and Phosphorus Removal

요약 : UASB-ABF (Up-flow anaerobic sludge blanket-aerated bio-filter) 시스템을 이용한 하수의 혐기성처리 방법에서 질소와 인을 제거하는 공법에 대하여 연구하였다. 160일간의 UASB-ABF 시스템을 운영한 결과 유출수 반송을 통하여 TCOD뿐만 아니라, TN과 TP를 효율적으로 제거할 수 있었다. 무반송의 경우 UASB 반응조에서 유기물 제거효율은 64%에 머물렀으나, 반송률 120%, 180%, 240%로 증가한 결과 각각 92%, 95%, 96%로 향상되었다. 반송률 180% 이상에서는 유기물 제거효율 증가 폭은 크지 않았다. ABF 유출수 반송으로 TN 제거효율이 크게 향상되었다. TN 제거효율은 무반송 조건일 때 18%에서 82%로 향상되었으며, UASB에서 지속적인 유기물질 제거로 인하여 ABF에서 질산화효율은 안정적으로 95% 이상으로 나타났다. ABF 유출수 반송으로 TP 및 PO₄³⁻-P 제거효율이 모두 향상되었다. TP의 경우 무반송에서는 거의 제거되지 않았으나, 반송률이 120%, 180%, 240%에서는 각각 51%, 63%, 71%로 향상되었고, 주로 UASB에서 제거되었다.

주제어 : 혐기성 하수처리, UASB, ABF, 질소 인 제거

1. 서론

활성슬러지법은 호기성 미생물을 이용하여 유기물질을 최종적으로 이산화탄소와 물로 산화시켜 제거하는 전통적인 공법이다. 활성슬러지 공정은 1차 침전지와 2차 침전지에서 각각 생물리지와 잉여슬러지가 발생하게 된다. 이러한 슬러지는 대부분 혼합하여 혐기성 소화시켜 메탄가스로 회수하고 있다.

최근 호기성 활성슬러지 공법은 슬러지 발생량을 줄이고, 질소와 인을 제거할 수 있는 다양한 고도처리공법으로 진화되어 사용되고 있다. 그러나 슬러지 발생량을 줄이는 기술은 대부분 과다한 폭기 에너지를 이용하여 유입 BOD를 이산화탄소로 방출시키는 것으로, 지구온난화를 고려할 때 지양되어야 할 기술이다.

이와는 달리 혐기성 하수처리는 호기성 처리에 비해 폭기를 위한 전기 사용이 불필요하고, 메탄가스를 생산해내기 때문에 이산화탄소 발생량을 크게 줄일 수 있다. 그러나 혐기성 공법은 고농도 유기성 폐수에 적합하고, 방류수 수질 농도를 낮게 할 수 없는 등 단점도 많기 때문에 호기성 공법과 적절하게 조합하여 사용할 필요가 있다. 혐기성 처리 기술은 정화조와 유사한 형태로 소규모 생활하수 처리에 활용되기도 하였으며, 암모니아 제거를 위한 호기성 처리공법과 조합하여 활성슬러지 공법에 준하는 방류수 수질을 확보할 수 있는 기술이 개발되고 있다. UASB-AS (Activated Sludge) 시스템을 이용한 Von Sperling¹⁾은 체류시간이 각각 4시간, 2.8시간으로 운영하여 85-93%의 TCOD 제거효율, 그중 81-94%의 TCOD가 UASB에서 제거되었고 최종 AS에서의 유기물 산화는 4-9% 범위이었다. 또한 같은 공법을

[†] Corresponding author E-mail: jhbcbe@chungbuk.ac.kr Tel: 043-261-2470 Fax: 043-271-7976

사용한 Motta²⁾는 체류시간을 3.2시간, 2.3시간으로 운영하였으 며, 그 결과 TCOD 제거효율이 87%이었고, 그중 UASB에서 TCOD 제거효율은 Von Sperling¹⁾에 비해 낮은 34%이었다. 그 외 UASB-SBR (Sequencing Batch Reactor) 시스템을 이용한 Sousa³⁾와 Guimaraes⁴⁾는 95%, 92%의 TCOD 제거효율을 나타내었으며, UASB-JLR (Jet Loop Reactor) 시스템을 이용한 Tai⁵⁾는 87-95%의 TCOD 제거효율을 나타내었다. 이와 같이 혐기성 하수처리는 효율적인 유기물 제거는 가능하지만 질소 인 제거에 있어서는 수준이 좀 떨어지는 편이다.

따라서, 본 연구에서는 UASB를 이용한 혐기성 하수처리 공정으로 호기성 하수처리 공정과 동등한 유기물 제거, 질소, 인 제거를 확보하면서 에너지 절감 및 이산화탄소 감축(불필요한 유기물 산화, 폭기 에너지 제어)을 도모할 수 있는 혐기성-호기성 조합 하수처리 공정의 가능성을 제시하고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 원수 수질특성

실험에 사용한 시료는 유사만 제거된 C시 하수처리장 1차 침전지로 유입하는 하수를 채수하여 사용하였으며, 성상은 Table 1과 같다. 유입하수의 TCODcr는 약 380 mg/L이었고, SCODcr는 약 110 mg/L이었다. 총질소(TN)와 암모니아성 질소(NH₄⁺-N)는 각각 51 및 33 mg/L이었고, 유입 하수의 C/N비는 약 6.9 정도이다.

Table 1. Characteristics of the sewage used in this study

Parameters	Range	Average
TCOD _{cr} (mg/L)	320 - 450	380
TS (mg/L)	320 - 480	380
TN (mg/L)	25 - 44	35
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	20 - 28	23
pH	6.8 - 7.8	7.3
Alk. (as CaCO ₃)	80 - 180	140

2.2. 실험장치

Fig. 1은 UASB 타입의 혐기성 반응조와 호기성 여과지(ABF)로 구성된 복합 혐기성 하수처리공정 구성도이다. 하수의 원수는 UASB 하단에 설치된 유입구를 통하여 상향류로 유입되며, 유입하수의 원활한 분배와 슬러지층의 유동을 위하여 UASB 바닥에 임펠러를 설치하였고, 10 rpm으로 교반시켜 주었다. 자세한 각 반응조의 운전조건은 Table 2와 같이 UASB 반응조와 ABF 체류시간이 각각 3시간이었으며, UASB의 표면부하율은 약 21.6 m/d 정도이었다. UASB 내에 축적된 슬러지는 UASB 반응조 중간에 설치된 배출구를 통하여 매일 일정량을 인출해 주었다.

ABF 반응조에는 sus 재질의 환상형 미디어를 충전 시켜

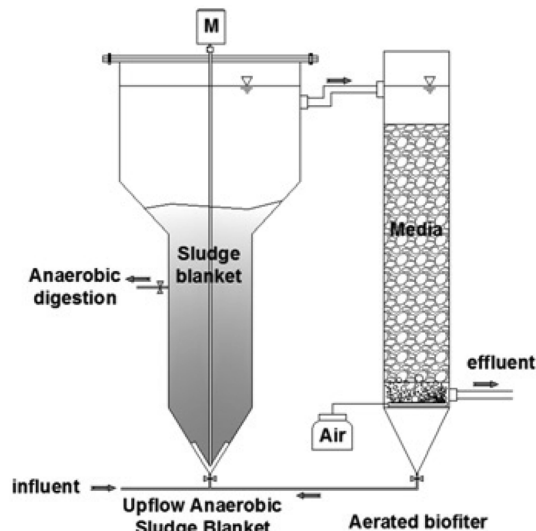


Fig. 1. Schematic diagram of lab-scale UASB-ABF system.

Table 2. Specifications and operating conditions of UASB and ABF

Parameters	Upflow anaerobic sludge blanket (UASB)	Aerated biofilter (ABF)
Flow rate (mL/min)	25.0	25.0
Volume (L)	4.5	4.5
HRT (hr)	3.0	3.0
Recycle ratio (%)	0 ~ 240%	
DO (mg/L)	0~0.2	>5.0
Temperature (°C)	20.0 ± 3.0	

부착성 호기성 미생물을 배양시켰으며, 하향류로 운전하였다. ABF의 유출수는 미디어층 아래에서 유출되며, 바닥에 침전되어 축적된 슬러지는 UASB 반응조로 반송시켜 주었다. 반송률은 실험 목적에 따라 원수유량 대비 0-240%로 변경하며 실험하였고, 각 경우에 오염물질의 제거특성을 관찰하였다. 반송률을 180%로 할 경우 UASB의 실수리학적 체류시간은 3시간에서 1.1시간으로 감소하며, 표면부하율은 60 m/d로 증가하게 된다. ABF의 경우 DO 농도는 5.0 mg/L 정도를 유지시켰으며, 온도는 실온으로 질산화가 정상적으로 이루어질 수 있는 20 ± 3°C 범위이었다.

2.3. 분석방법

유입하수 중의 TCOD는 150번 채로 여과 후 측정하였고, SCOD를 포함한 기타의 항목은 0.1 μm 멤브레인으로 여과 후 분석하였다. 암모니아성 질소는 Nessler법(NH₄⁺-N Distillation method, hach, USA)을 이용하여 측정하였고, CODcr은 closed reflux 및 colorimetric method를 이용하여 측정하였다. 질산성 질소(NO₃⁻-N)와 아질산성 질소(NO₂⁻-N) 및 인산염(PO₄³⁻-P) 등의 음이온 농도는 Ion Chromatography (Metrohm modular, Switzerland)를 이용하여 측정하였으며, 기타 TS 및 TVS와 TN, TP는 Standard method⁶⁾에 준하여 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. UASB에서 유기물질 제거

Fig. 2와 3은 반송률을 각각 0%, 120%, 180% 및 240%로 변화시켜가며 TCOD 및 SCOD의 제거특성을 관찰한 결과이다. 유입하수의 평균 TCOD 및 SCOD는 각각 380 mg/L 및 87 mg/L이었다. 운전초기 ABF 유출수를 반송하지 않을 경우 UASB 반응조 내 TCOD 및 SCOD 제거효율은 37~44%로 낮았으나 63%까지 향상되었고, 혐기성 여과조를 거친 최종 UASB-ABF 시스템에서는 유입 TCOD가 94%까지 제거되었다. Table 3과 같이 유입하수 내 SCOD가 87 mg/L로

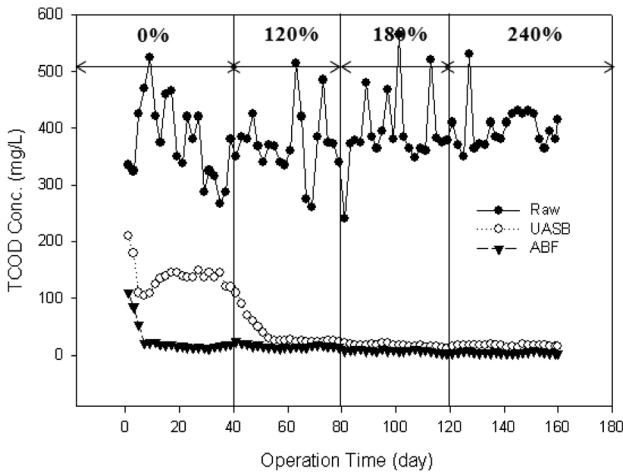


Fig. 2. TCOD removal in each stage of the system at different recycle ratios.

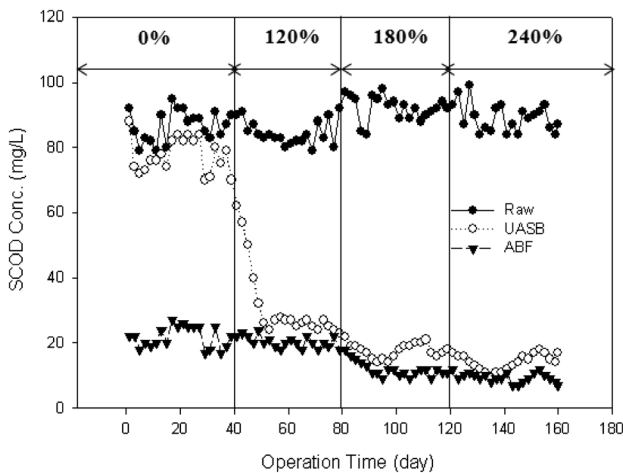


Fig. 3. SCOD removal in each stage of the system at different recycle ratios.

TCOD의 약 23%이고, UASB에서 SCOD의 약 10% 미만이 제거되고 약 80%의 부유성 COD (SSCOD) 또한 UASB에서 제거되면서 UASB 내에는 3.06 g/d의 유기물이 축적되었다. 이러한 제거효율은 UASB 형태의 반응조에 완속교반 장치를 부착함으로써 부유성 물질(SS)의 제거효율을 향상시킨 결과로 해석할 수 있다. UASB 반응조의 짧은 수리학적 체류시간(HRT 3 hr)과 미생물 체류시간(SRT)으로 말미암아 SCOD의 제거효율은 낮게 나타났다.

ABF 반응조에서는 나머지 SSCOD의 90%가 제거되었으며, 72%의 SCOD가 제거되었다. 아직 매디아에 생물막이 완전히 부착되기 전이기 때문에 SCOD의 제거효율은 높지 않으나, SSCOD의 제거효율은 양호한 것으로 나타났다. 이는 사용한 매디아가 넓은 표면적을 제공해 주었기 때문으로 생각되며, 운전초기에는 활성슬러지를 100 mg/L 정도가 되도록 접종해 주며 실험하였다.

혐기성 반응조에서 입자성 유기물은 응집 및 침전에 의해 대부분 제거된다. 그러나 질산성 질소의 반송으로 인하여 혐기성 반응조가 무산소 조건으로 바뀌면서 단순한 침전 외에 미생물 슬러지 플록에 의한 흡착-침전 및 혐기성 탈질반응과 같은 일련의 동화-이화작용에 의해 SSCOD뿐만 아니라 SCOD도 효과적으로 제거되는 것으로 나타났다. 운전 40일 이후 ABF 유출수를 원수 유량 대비 120%, 180%, 240%를 UASB 반응조로 반송시켜 줄 경우 UASB 반응조에서 TCOD 제거효율은 크게 향상되었다. TCOD 제거효율은 반송률 120%에서 92%, 반송률 180%에서 95%, 반송률 240%에서 96%로 향상되었다. 특히, SCOD의 경우 반송이 없을 경우 혐기성 반응조인 UASB에서 10% 정도 제거되었으나, 120%, 180%, 240% 반송과 함께 제거효율이 각각 66%, 82%, 86%로 증가하고 있다(Fig. 3). 이는 UASB 반응조에서 반송된 ABF 유출수에 포함된 질산성 질소가 탈질되면서 분해되기 쉬운 COD가 제거된 것으로 생각된다. 또한, 반송과 함께 SSCOD 제거효율이 99%로 급격하게 향상되고 있는데, 이 또한, 탈질 미생물에 의한 SSCOD의 응집 특성이 향상되었기 때문으로 해석할 수 있다. 탈질특성을 나타내는 타가영양 미생물(heterotrophes)로 구성된 활성슬러지는 미생물의 세포외물질(extra cellular polymeric substance, EPS)로 인하여 응집특성이 양호한 것으로 알려져 있다.⁷⁾

3.2. UASB에서 입자의 제거특성

많은 연구자들은 혐기성 슬러지 블랭킷에서 고형물 또는 입자 제거 메커니즘에 대해 연구를 수행한 바 있다. Pavoni⁸⁾와 Erikson⁹⁾는 미생물 플록 형성과정을 설명하는 가장 근

Table 3. COD removal at each recycle ratio in the UASB-ABF system (mg/L)

Parameters	Raw				UASB				ABF			
	0	120	180	240	0	120	180	240	0	120	180	240
Total COD (TCOD)	380	368	400	396	140	31	20	17	28	25	16	11
Soluble COD (SCOD)	87	85	92	90	79	29	17	13	22	22	10	8
Suspended COD (SSCOD)	293	283	308	306	61	2	3	4	6	3	6	3

Table 4. COD removal at each recycle ratio in the UASB-ABF system (mg/L)

Parameters	Raw				UASB				ABF			
	0	120	180	240	0	120	180	240	0	120	180	240
Recycle ratio	0	120	180	240	0	120	180	240	0	120	180	240
Total COD (TCOD)	380	368	400	396	140	31	20	17	28	25	16	11
Soluble COD (SCOD)	87	85	92	90	79	29	17	13	22	22	10	8
Suspended COD (SSCOD)	293	283	308	306	61	2	3	4	6	3	6	3

접한 기작으로 가교 역할을 하는 세포의 중합물질 EPS라고 보고하였다. 따라서, Goodwin¹⁰⁾도 EPS와 슬러지 침전성이 직접적인 관련성이 있다고 밝혔다.

Table 4에서와 같이 반송률 증가로 UASB 반응조 내 SS-COD의 제거효율이 크게 향상된 것으로 나타났으며, 특히, Fig. 4, 5와 같이 UASB 반응조로 240%의 ABF 유출수를 반송시켜 줄 경우 1.0 μm 이상의 입자들은 거의 다 제거되며, 1.0 μm 이하의 입자들도 50-80% 이상 제거되었다. 이는 기존 문헌상에서 언급된 EPS의 특성변화에 기인된 것으로 사료된다. EPS의 증가는 혐기성 슬러지의 점도, 전하 등의 물리적 특성을 변화시키고, 생물흡착 또는 플록형성(Biofloc-

ulation) 작용을 향상시킬 수 있다고 하였다.^{8,9)} 본 실험에서는 ABF 유출수 반송으로 UASB 반응조가 완전 혐기성 조건에서 무산소성 조건으로 바뀌면서 슬러지 블랭킷층내 EPS를 증가시켜 입자들의 제거효율이 증대된 것으로 판단된다.

3.3. 질소 제거특성

Fig. 6, 7 및 8은 UASB-ABF 시스템의 각 반송률에 따른 TN, NH₄⁺-N 및 NO_x-N 제거 거동을 나타낸 것이다. ABF 반응조에서의 반송률이 커질수록 TN의 제거효율은 향상되었다. 반송률이 0%인 초기 운전조건에서 TN 제거효율은 18%

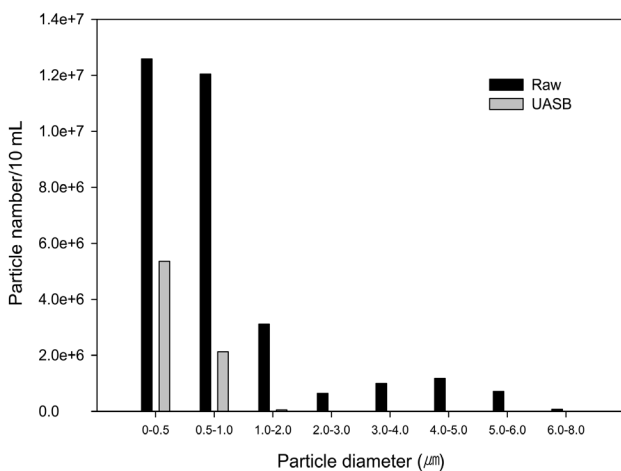


Fig. 4. A removal of particles from 0~0.5 to 6.0~8.0 μm at recycle ratio of 240%.

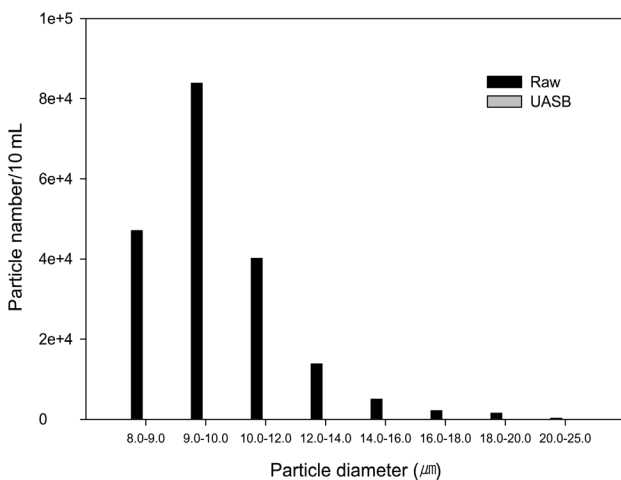


Fig. 5. A removal of particles from 8.0~9.0 to 20.0~25.0 μm at recycle ratio of 240%.

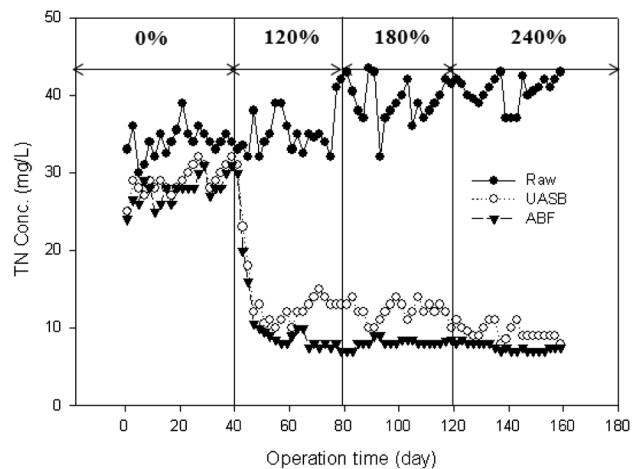


Fig. 6. Removal of TN at each recycle ratio in UASB-ABF system.

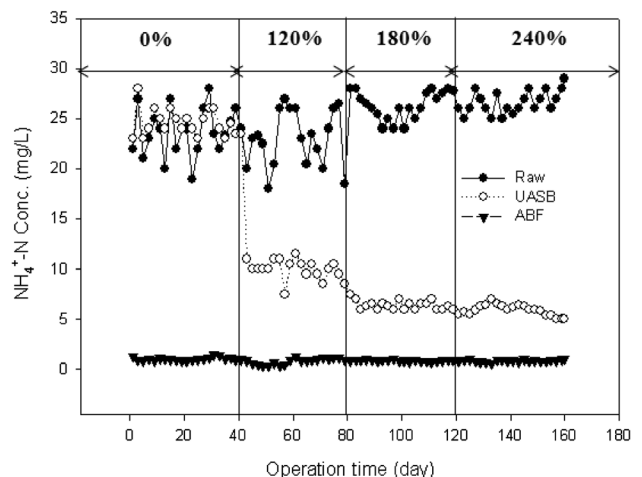


Fig. 7. Removal of NH₄⁺-N at each recycle ratio in UASB-ABF system.

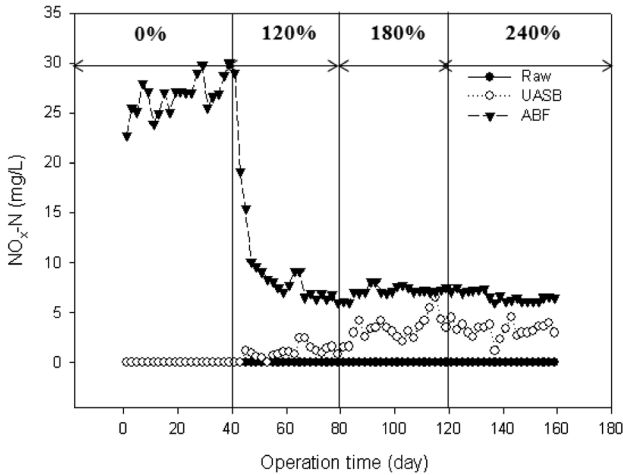


Fig. 8. Removal of NO_x-N at each recycle ratio in UASB-ABF system.

로 낮았으나, 반송률 240%에서는 TN 제거효율이 82%까지 향상되었다. ABF 반응조의 질산화 효율은 반송률에 큰 관계없이 90% 이상 높게 나타났다. 240%의 반송률에서는 무반송일 때 92~94% 정도이었던 질산화 효율이 96~98%로 4% 정도 증가하였다. 질산화 미생물은 성장속도가 느려 부착성 생물막 반응조에서 효과적으로 배양할 수 있음을 증명해 주고 있으며, 유입 TCOD가 ABF 유출수 반송으로 인해 UASB 반응조에서 95% 이상 높은 제거율로 제거되기 때문에 안정적으로 배양된 것으로 생각된다. 반송이 없을 경우에도 ABF에서 암모니아는 90% 이상 제거되지만, Fig. 8과 같이 질산성 질소로 배출되기 때문에 TN 제거효율은 높지 않다.

반송이 없는 UASB 반응조는 완전 혐기성 조건이기 때문에 Fig. 7과 같이 UASB 유출수내 암모니아농도는 원수와 거의 같거나 약간 크지만, ABF 유출수를 120% 반송해 줄 경우 희석효과에 의해 반 이하로 감소하게 되며, 반송률에 따라 점차 감소하고 있다. 질산성 질소의 경우 혐기성 UASB 반응조에서 반송이 없을 경우 거의 검출되지 않다가, 반송률이 증가하게 되면, 반송률에 따라 UASB 반응조에 약 5 mg/L 범위의 질산성 질소가 증가하게 된다. 따라서, 혐기성 하수처리 공정에 호기성 공정을 도입하여 혐기성인 UASB 반응조로 일정량의 질산성 질소를 반송시켜 탈질화에 의해 질소 제거를 수행함으로 반송률이 180% 이상이 되면, 반송수내 질산성 질소뿐만 아니라 잔류 용존산소에 의해서도 SCOD가 제거되기 때문에 질산성질소가 충분히 탈질되지 못하고 유출된 것으로 생각된다. 그러므로 120% 이상의 큰 반송률에서는 추가적인 질소제거 효율을 얻기 어렵기 때문에 120% 정도의 반송률로 운전하는 것이 운영비용을 절감할 수 있는 최적의 조건으로 판단된다.

또한, Table 4에서와 같이 ABF 유출수를 반송시켜 줌으로써 UASB 반응조에서 탈질 미생물을 활성화시켜 탈질반응에 의해 쉽게 분해되는 SCOD가 제거되고, 미생물 플록에 의한 입자성 유기물(SSCOD) 제거효율이 향상됨을 알 수

있다. 체류시간이 3시간 정도로 짧은 UASB를 이용하여 하수처리공정에서 메탄가스를 회수하는 것은 효율적이지 못할 뿐 아니라 후속공정에서 질소를 효과적으로 제거할 수 없기 때문에 UASB 반응조를 혐기성 탈질공정으로 활용하여 질소와 유입 COD를 효과적으로 제거할 수 있다. 이때 제거된 유기물질은 탈질반응에 필요한 유기탄소원으로 활용되고, 생성된 잉여슬러지는 유입 SSCOD를 응집시켜 UASB 반응조 내에 축적된다. 즉, 잉여슬러지와 생슬러지가 UASB 반응조에서 함께 발생하게 되며, 이 혼합슬러지를 별도로 혐기성 소화조로 이송시켜 충분한 체류시간과 온도조건에서 메탄가스로 전환시킬 수 있다.

이러한 새로운 형태의 하수처리공법은 COD 제거를 호기성 공법으로 제거하지 않기 때문에 산소 요구량을 발생시키지 않으며, ABF에서 질산화 미생물과의 경쟁반응을 최소화시켜 질산화 효율을 향상시킬 수 있을 뿐 아니라, ABF에서 잉여슬러지 생성을 최소화시킬 수 있기 때문에 생물막공정의 막힘 문제가 발생하지 않는다. 또한, ABF는 질산화 뿐 아니라 여과기능도 있기 때문에 유출수의 COD 및 SS 농도를 낮출 수 있다(Table 4, Fig. 4). 즉, 본 연구에서 UASB는 고농도 슬러지층을 이용하여 혐기성 탈질과 고액분리를 달성할 수 있는 효율적인 유기물질 분리공정이며, 이는 기존의 1차 침전지와 탈질공정의 역할을 함께 하는 새로운 개념의 반응조이다.

3.4. 인 제거 특성

Fig. 9와 10은 UASB-ABF 시스템에서 다양한 반송률에 따른 TP, PO₄³⁻-P 제거 거동을 나타낸 것이다. 유입 원수 내 TP 농도는 3.0~4.0 mg/L 범위이었으며, 용존성 PO₄³⁻-P는 2.0~2.3 mg/L로 TP의 60% 정도이었다. ABF 유출수 반송이 없는 조건에서 UASB 반응조는 완전 혐기성 상태를 유지하기 때문에 UASB 반응조 내 TP 및 PO₄³⁻-P 농도는 유입 원수에 비해 오히려 높게 나타나기도 하며, 최종 유출수에서도 거의

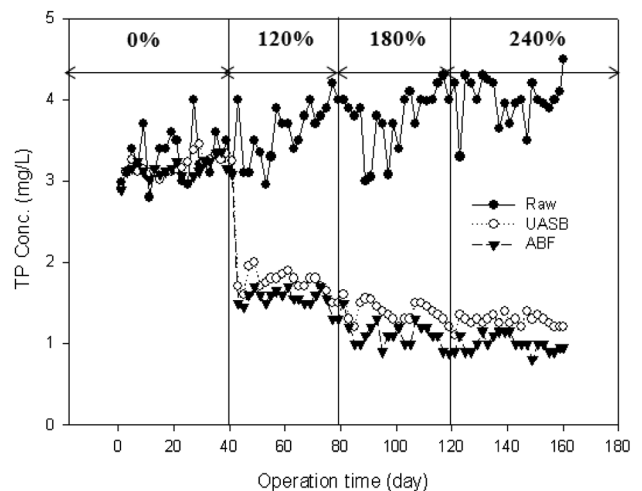


Fig. 9. Variations of TP each recycle ratio in UASB-ABF system.

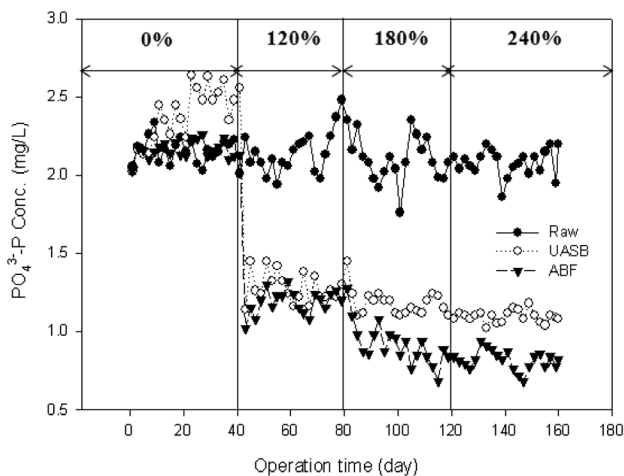


Fig. 10. Variations of $PO_4^{3-}P$ each recycle ratio in UASB-ABF system.

제거되지 않았다(Fig. 9, 10). 그러나 반송률이 120%, 180%, 240%로 증가될 경우 UASB 반응조에서 TP 제거효율은 각각 51%, 63%, 71%로 향상되고 있으며, 최종 ABF 반응조를 거치면서 약 6~8%정도 더 향상되고 있다. TP 및 $PO_4^{3-}P$ 는 주로 UASB 반응조에서 제거되고 있으며, 이는 UASB가 완전 혐기성 조건에서 무산소 조건으로 바뀌면서 유기물의 혐기성 분해에 의한 인의 방출이 방지되고, 타가 영양 미생물인 탈질 미생물이 증식하면서 제거될 뿐 아니라 입자성 유기물질이 응집될 때 함께 제거되기 때문인 것으로 생각된다.

그러나 최종 유출수에서 TP의 농도를 안정적으로 1.0 mg/L 이하로 낮추기는 어려운 것으로 조사되었으며, 그 이하로 유지하기 위해서는 화학적 인 제거 공법을 병행해야 할 것으로 생각된다. 혐기성 하수처리공정으로 유기물질을 효율적으로 제거하는 것은 가능하지만, 질소와 인을 제거할 수 있는 기작은 없기 때문에 본 연구에서와 같이 ABF 유출수를 반송함으로써 질소 및 인의 제거효과를 도모할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결론

하수를 혐기성으로 처리하는 다양한 공법들이 연구되고 있다. 그러나 기존의 공법들은 주로 혐기성 공법을 도입하여 하수 내 유기물질을 메탄가스로 전환시키려는 목적으로 개발되어 질소와 인을 제거하는 기능이 없기 때문에 별도의 질소와 인 제거공정을 추가해야 하는 문제점이 있었다. 본 논문에서는 기존의 UASB 반응조를 혐기성 하수처리공법의 주된 공정으로 도입하되 호기성 생물막공정의 유출수를 UASB로 반송시켜 질소와 인을 함께 제거할 수 있는 공법을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 160일간의 UASB-ABF 시스템을 운영한 결과 유출수

반송을 통하여 TCOD뿐만 아니라, TN과 TP를 효율적으로 제거할 수 있었다.

- 2) 무반송의 경우 UASB 반응조에서 유기물 제거효율은 64%에 머물렀으나, 반송률 120%, 180%, 240%로 증가한 결과 각각 92%, 95%, 96%로 향상되었다. 반송률 180% 이상에서는 유기물 제거효율 증가폭은 크지 않았다.

- 3) ABF 유출수 반송으로 TN 제거효율이 크게 향상되었다. TN 제거효율은 무반송 조건일 때 18%에서 82%로 향상되었으며, UASB에서 지속적인 유기물질 제거로 인하여 ABF에서 질산화효율은 안정적으로 95% 이상으로 나타났다.

- 5) ABF 유출수 반송으로 TP 및 $PO_4^{3-}P$ 제거효율이 모두 향상되었다. TP의 경우 무반송에서는 거의 제거되지 않았으나, 반송률이 120%, 180%, 240%에서는 각각 51%, 63%, 71%로 향상되었고, 주로 UASB에서 제거되었다.

사 사

본 연구는 2011년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

KSEE

참고문헌

1. Von Sperling, M., Freire, V. H. and Chernicharo, C. A. L., "Performance evaluation of a UASB-Activated sludge system treating municipal wastewater," *Water Sci. Technol.*, **43**(11), 323~328(2001).
2. Motta, E. J., Silva, E., Bustillos, A., Padron, H. and Luque, J., "Combined anaerobic/aerobic secondary municipal wastewater treatment: pilot-plant demonstration of the UASB/Aerobic solids contact system," *Environ. Eng.*, **133**(4), 397~403(2007).
3. Sousa, J. T. and Foresti, E., "Domestic sewage treatment in an upflow anaerobic sludge blanket-sequencing batch reactor system," *Water Sci. Technol.*, **33**(3), 73~84(1996).
4. Guimaraes, P., Melo, H., Cavalcanti, P. and Van Haandel, A., "Anaerobic-aerobic sewage treatment using combination UASB-SBR activated sludge," *Environ. Sci. Technol.*, **A38**(11), 2633~2641(2003).
5. Tai, C., Singh, K. and Grant, S., "A novel two stage integrated anaerobic-aerobic bio-treatment system for low strength wastewater," *Proceeding of the 10th world congress on anaerobic digestion-anaerobic digestion*, **2**, 1051~1057(2004).
6. APHA, "Standard methods for examination of water and wastewater," 20th ed. Public Health Association, Washington, D. C., USA(1998).
7. Jun, H. B., Park, S. M., Park, J. K. and Lee, S. H., "Equalization characteristics of an upflow sludge blanket-aerated

- biofilter (USB-AF) system,” *Water Sci. Technol.*, **51**(10), 301~311(2005).
8. Pavoni, J. L., Tenny, M. W. and Echelberger, Jr. W. F., “Bacterial extracellular polymers and biological flocculation,” *Water Pollut. Control Fed.*, **44**(3), 414~431(1972).
 9. Eriksson, L. and Alm, B., “Study of flocculation mechanism by observing effects of a complexing agent on activated sludge properties,” *Water Sci. Technol.*, **24**(7), 21~28(1991).
 10. Goodwin, J. A. S. and Forster, C. F., “A further examination into composition of activated sludge surface in relation to their settlement characteristics,” *Water Res.*, **19**(4), 527~533 (1985).