

비개질/개질 생물막을 이용한 오수고도처리공정에서 혐기조와 무산소조의 원수 분배율에 따른 유기물 및 질소 제거

선 옹 호

삼지대학교 환경공학과

(접수 : 2005. 6. 7., 게재승인 : 2005. 8. 24.)

The Removal of Organics and Nitrogen with Step Feed Ratio Change into the Anoxic and Anaerobic Reactor in Advanced Sewage Treatment Process Using Nonsurface-modified and Surface-modified Media Biofilm

Yong Ho Seon

Department of Environmental Engineering, Sangji University, Wonju, Kangwon-Do 220-702, Korea

(Received : 2005. 6. 7., Accepted : 2005. 8. 24.)

This study was accomplished using attached A^2/O process that contains nonsurface-modified and surface-modified polyethylene media inside the Anaerobic/Anoxic, Oxidic tank, respectively. We could make the hydrophobic polyethylene media have hydrophilic characteristics by radiating ion beam on the surface of the media. The objectives of this study is to investigate the removal efficiencies of the organics and nitrogen when the step feed ratio of raw wastewater into anaerobic and anoxic tank is changed. In this case, we assumed that the denitrification rate can be improved because the nitrifiers in anoxic tank can perform denitrification using RBDCOD instead of artificial carbon sources (for example, methanol, etc.). The wastewater injection rate into anaerobic/anoxic tank was set up by the ratio of 10 : 0, 9 : 1, 8 : 2, 6 : 4, and the results of BOD removal efficiency showed similar trends with 93.3%, 92.6%, 92.4% and 91.6% respectively. But the BOD removal efficiency (utilization of the organics) in the anoxic tank was in the order of 9 : 1 (84.8%), 10 : 0 (77.0%), 8 : 2 (75.3%), and 6 : 4 (61.1%). The T-N removal efficiency was most high when the ratio is 9 : 1 (67.4%), and other conditions, 10 : 0, 8 : 2, 6 : 4, showed 61.3%, 60.7%, 55.5%, respectively; the ratio 6 : 4 was found to be lowest T-N removal efficiency, lower than the ratio 9 : 1 by 12%. Though the nitrification rate of the ratio 10 : 0, 9 : 1, and 8 : 2 showed similar levels, the ratio 6 : 4 showed considerable inhibition of nitrification, ammonia was the great portion of the effluent T-N. The advantages of this process is that this process is cost-saving, and non-toxic methods than injecting the artificial carbon source.

Key Words : Organics, nitrogen, anoxic/anaerobic reactor, step feed ratio, nonsurface-modified/surface-modified polyethylene media

서 론

현재 심각한 하천 및 호소의 부영양화로 인해 오·폐수 처리는 유기물 제거 뿐만 아니라 질소, 인에 대한 고도처

리를 요구하고 있으며 정부에서도 질소 및 인에 대한 법적 규제를 강화하고 있다. 부영양화는 자연적으로 발생하기도 하지만 주로 인위적인 요인으로 가속화되는 경우가 대부분이며(1), 이러한 인위적인 부영양화 물질을 제거하기 위해서는 새로운 오·폐수 처리시스템에서 이들 물질의 제거가 필수적이다.

현재 국내 하수처리장의 대부분이 유기물 제거만을 목표로 하는 재래식 활성슬러지 공법을 사용하고 있다. 이런 시스템의 질소 제거율은 20% 정도로 매우 낮아 유입하수의 질소 제거에 한계를 드러낸다(2-3). 이를 보완하는 새로

† Corresponding Author : Department of Environmental Engineering, Sangji University, 660-Woosan-Dong, Wonju, Kangwon-Do 220-702, Korea

Tel : +82-33-730-0445, Fax : +82-33-730-0403

E-mail : yhseon@mail.sangji.ac.kr

운 부유성장 공법인 A/O, A²/O, UCT 등의 공법은 높은 질소 제거율을 보여 주나 이 공법들은 운전시 부하변동이 큰 경우에는 대처하기 어렵고, 잉여슬러지가 다량으로 발생하는 등 여러 가지 문제점을 가지고 있어 이의 대안으로 최근 들어 미생물 부착 담체를 이용한 생물막 공법이 다양하게 적용되고 있다.

생물막 공법은 부유성장식 공법인 활성슬러지 공법보다 미생물량이 많아서 반응조 용적을 줄일 수 있고 침전지가 필요 없으며 충격부하에 강하고 활성슬러지의 큰 문제점 중의 하나인 벌킹 (bulking) 현상이 나타나지 않는다. 또한 생물막 공법은 슬러지 연령이 길고, 슬러지의 자기산화가 촉진되기 때문에 잉여슬러지량이 부유성장식 공법에 비해 매우 적고, 미생물이 담체에 부착되어 있으므로 미생물종이 다양하게 출현하며, 유지관리가 쉽고, 생물막을 형성하고 있는 미생물들이 호기성, 혐기성, 혐기성 미생물이 공존하는 특성을 보이며, 미생물이 담체에 고정되므로 반응기내의 미생물 농도를 높게 유지할 수 있어 효과적인 처리효율을 기대할 수 있다는 장점이 있다(4). 이러한 장점들로 인하여 생물막을 이용한 수처리 공법은 활성슬러지 공법을 대체할 신공법으로 그 입지를 굳히고 있다.

생물막을 이용한 공법은 생물막을 형성하는 기간이 필요하여 시운전 기간이 긴 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 화학적 전처리법인 양이온처리법을 소수성이 강한 플라스틱 담체의 표면에 도입하여 친수성을 가지게 함으로써, 표면전하를 증가시켜 정전기적 반발력을 감소시킴으로써 미생물 부착의 친화성을 증가시킬 수 있는 방법이 연구되고 있으며, 이러한 표면개질담체를 사용할 시 생물막 형성기간이 기존공정보다 2~3배 짧게 나타났다(5). 또한 담체의 표면을 친수성으로 개질하였을 경우 질산화가 더 잘 이루어지고 생물막이 균일하게 형성된다는 사실이 보고된 바 있다(6).

생물학적인 질소 제거 방법은 전탈질 방법과 후탈질 방법으로 나눌 수 있으며, 현재는 전탈질 방법이 주로 사용되고 있다. 이는 후탈질 방법의 경우 탈질에서 중요한 탄소원이 대부분 질산화조에서 제거됨으로써 무산소조에서는 탈질에 필요한 탄소원이 절대적으로 부족하여 메탄올, 초산과 같은 외부탄소원을 필수적으로 공급해 주어야 하기 때문이다. 이러한 외부탄소원은 고가이며 폭발 위험성이 있어 현재 내부탄소원을 이용하는 전탈질 방법이 선호되고 있다. 그러나 이 방법의 경우 혐기조를 거쳐 무산소조로 이동함에 따라 RBDCOD (readily-biodegradable COD)(7)가 상당량 감소하게 된다. 이는 혐기조 내의 미생물들이 쉽게 분해가능한 유기물을 먼저 이용하기 때문이다. 그 결과 무산소조 내의 미생물이 이용할 수 있는 쉽게 분해가능한 탄소원이 부족하여 탈질에 영향을 줄 수 있다.

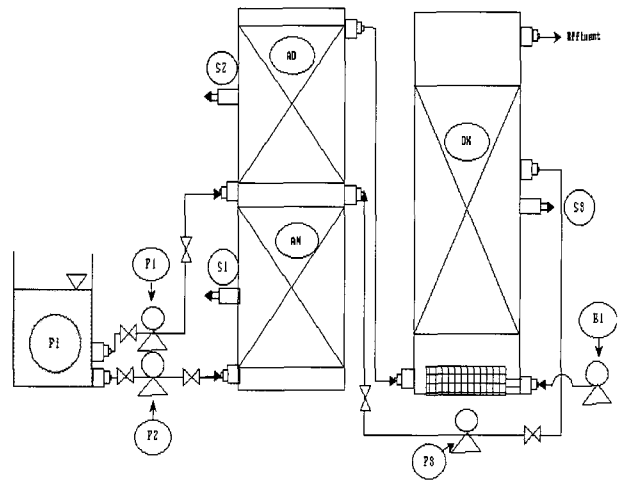
따라서 본 연구에서는 비개질 담체를 충전한 혐기조 및 무산소조와 개질 담체를 충전한 호기조로 구성된 새로운 오수처리공정에서 이러한 RBDCOD를 외부탄소원이 아닌 오수 자체를 혐기조와 무산소조로 분할하여 주입하여 성능 실험을 수행한 후 원수 분배율에 따른 유기물 및 T-N의 제거 특성에 대해 연구하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 장치

본 연구는 혐기/무산소/호기 (Ananerobic/Anoxic/Oxic) 반응조를 사용하였으며, 그 구성은 Fig. 1에 나타내었다. 반응조는 아크릴 재질로 제작하였으며, 컬럼형으로 제작 설치하였다. 각 반응조의 용적은 혐기조 7.3 L, 무산소조 5.3 L, 호기조 8.4 L로서 전체용적은 21 L가 되게 하였다. 반응조의 각 조별 구성은 유입부와 담체충진부, 그리고 유출부로 이루어져 있다.

혐기/무산소조에서는 혐기성, 탈질 미생물에 적합한 비개질 여재를 사용하였으며, 호기조에서는 호기성, 질산화 미생물에 적합한 개질 여재를 사용하였다. 충전 여재는 지름 약 15 mm, 길이 25 mm 정도의 폴리에틸렌 계열의 원통형으로 제작하였으며, 각 반응조별 여재 충전율은 반응조 부피의 70%로 하였다. 담체 충전부 부분의 시료를 채취하기 위해 여재 충전부의 중간지점에 시료채취구를 설치하였다.



Symbol	Name	Material or Remark
F1	Feed Tank	PE
P1	Feed Pump	Peristaltic
P2	Feed Pump	Peristaltic
P3	Recycle Pump	Peristaltic
B1	Air Pump	-
S1	Sampling Point	-
S2	Sampling Point	-
S3	Sampling Point	-

Figure 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

실험방법

본 연구에 사용된 원수는 S대학교 학생식당에서 발생하는 오수를 사용하였으며, 부하 변동이 너무 심할 경우 비교하기가 곤란하므로 COD_{Cr}을 기준으로 임의로 300~600 mg/L가 되도록 농도를 조절하였다.

혐기조와 무산소조로 유입되는 원수는 정량펌프를 사용하여 일정하게 공급하였으며, 호기조는 정량공기펌프를 사용하여, 호기조에 약 1.5 L/min으로 공기가 공급되도록 하였다.

운전초기에는 HRT를 약 20시간으로 조정하여 운전하고, 5일간 미생물 식종을 실시 (W시 하수처리장 포기조 슬러지를

사용)하였고, 약 30일간 미생물이 정상화될 때까지 운전하였다. 그 후 체류시간을 본 반응기에 적합한 12 hr로 하였으며 호기조에서 무산소조로의 반응 (Q₁/Q₂)은 1.0으로 하였다. 또한 실내 에어컨으로 온도조절을 하여, 수온을 20 ± 2℃로 유지하였다. 완전 정상상태가 된 후 혐기조/무산소조의 원수 분배율을 10 : 0, 9 : 1, 8 : 2, 6 : 4로 변화시켜 3일에 한번씩 샘플링을 하여 원수 분배율에 따른 탈질 및 유기물 제거효과를 관찰하였다. 그리고 분배율 조건을 바꿀 경우, 역세를 행하고 3일간 적응기를 거치게 한 후 실험을 진행하였다. 본 연구에 사용된 원수의 전체 성상은 Table 1과 같다.

Table 1. Wastewater characteristics used in this experiment

Parameter	Concentration Range		
	Average	Maximum	Minimum
pH	6.76	7.73	6.07
Temp	20.6	22.7	18.5
DO	0.50	0.84	0.20
ORP	-139.1	-206.6	-72.5
COD _{Cr}	445.48	664.51	231.98
BOD ₅	180	390	76
SS	191.2	400	67.8
T-N	56.2	86.6	35.4
T-P	10.50	14.06	5.19
NH ₄ ⁺ -N	35.1	45.3	17.5
NO ₃ ⁻ -N	0.4	0.9	0.1
NO ₂ ⁻ -N	0.005	0.1	N.D
Alkalinity	245.77	304.15	127.19

실험 후 분석 수집된 자료는 Microsoft excel PC용 스프레드 시트를 이용하여 해석하였다. 실험 항목 중 pH, 온도, DO, ORP는 바로 측정하였으며 온도는 수온온도계를 사용하고, pH, DO, ORP는 pH meter (ORION Model 290A), DO meter (YSI 55), ORP meter (Orion 250A)를 사용하였다. 생물화학적 산소요구량 (BOD)은 수질오염공정시험방법(8)에 의하여 5일 배양한 시료의 DO 차이로부터 측정하였으며 이를 위해 DO meter (YSI Model 58)을 사용하였다. 부유물질 (SS) 농도는 수질오염공정시험방법(8)에 의하여 유리섬유여지법으로 측정하였다. 화학적 산소요구량 (COD_{Cr})은 Standard Method(9)에 의한 중크롬산 칼륨법을 사용하였고, 총질소 (T-N) 및 총인 (T-P)은 수질오염공정시험방법(8)에 의하여 자외선 흡광도법과 아스코르빈산 환원법을 이용하여 측정하였다. NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, NO₂⁻-N은 Standard Method(9)에 의한 방법을 사용하였으며 Alkalinity는 수질오염공정시험방법(8)에 의한 적정방법을 사용하였다.

결과 및 고찰

pH

pH는 오수에 대한 중요한 수질항목이며 미생물의 증식 및 대사반응, 대사산물의 종류와 양에 영향을 크게 미치는 환경인자 중의 하나이며 미생물이 생존하기 위해 pH 6.0~9.5의 범위내로 유지되어야 하는 것이 보통이며 최적 pH는 6.5~7.5 정도로 알려져 있다.

Fig. 2은 혐기조와 무산소조로의 원수 분배율을 달리 하였을 때 원수와 처리수에서의 pH 변화를 나타낸 것이다. 원수

의 pH는 6.07~7.73, 평균 6.76으로 미생물의 최적 생존 조건에 해당된다. 이러한 pH 조건은 탈질이 이루어지기에 최적의 조건 (약 알칼리성)은 아니지만, 저해할 만한 수준으로 떨어지거나 높아지는 않는 모습을 보였다. 또한 반응기를 거친 최종 처리수의 pH는 6.38~7.67의 범위이며 평균 7.12로서 방류하는데 이상적인 pH 범위를 나타내었다. 이처럼 처리수의 pH가 증가하는 이유는 질산염에서 질소가스로의 변환과정 중 알칼리도가 생성되어(10) pH가 상승되는 이유이라 생각되어진다.

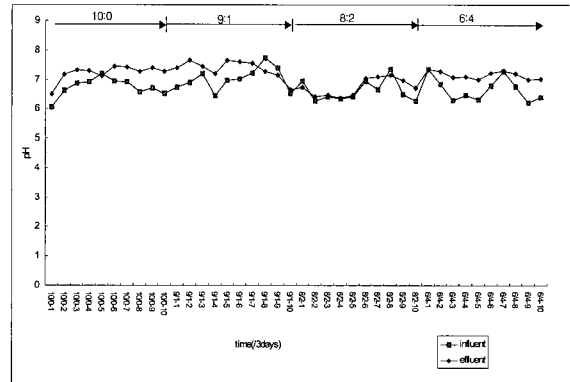


Figure 2. pH variations in each condition.

산화환원전위 (ORP)

ORP의 변화는 각 반응조의 상태를 설명할 수 있는 지표가 될 수 있다. Fig. 3은 원수 분배율을 달리 하였을 때 각 반응조에서 ORP 변화를 나타낸 것으로 원수의 ORP는 전체 평균 -139.1로서 혐기조가 혐기상태를 유지하는데 도움이 될 수 있는 (-)값을 보였다. 무산소조에서의 ORP는 탈질에 많은 영향을 줄 수 있는데, 분배율 10 : 0, 9 : 1, 8 : 2, 6 : 4 경우에 각각 평균 -99.5, -49.0, -60.6, -76.9로서 탈질에 악영향을 줄 수 있는 ORP 값은 나타나지 않았다. 또한 호기조에서 ORP는 (+)값을 보여 호기조 상태가 정상임을 보여주고 있다.

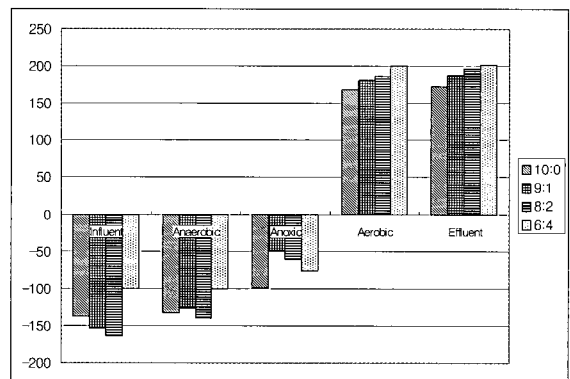


Figure 3. ORP changes in each different condition.

DO, 수온

호기조에서 DO 농도가 0.5 mg/L 이하로 떨어지게 되면 유기물 제거에 심각한 영향을 주게 된다. 그래서 보통 재래식 활성슬러지에서는 2~3 mg/L의 DO 농도를 유지한다. 또한 DO가 2 mg/L 이하로 떨어지면 질산화작용에 커다란 영

향을 주므로 이보다 높은 용존산소를 유지해야 한다. 따라서 본 연구에서는 호기조에서 원활한 유기물 및 질소제거를 위하여 3.8~7.3 mg/L의 농도 범위를 유지하였으며, 평균 DO는 5.8 mg/L를 보여주어 유기물 제거 및 질산화에 필요한 DO를 공급하였다.

수온은 물의 물리적 성질 중에서 가장 중요한 요소로, 수서생물, 화학반응 및 반응속도, 물의 이용 등에 영향을 미친다. 호기성 소화와 질산화는 수온이 50℃로 올라가면 멈춘다. 수온이 약 15℃로 떨어지면 메탄생성 박테리아는 거의 활동하지 못하게 된다. 질산화 박테리아는 약 5℃가 되면 신진대사 기능이 중단된다. 2℃가 되면 질산화 박테리아 뿐만 아니라 타 박테리아의 신진대사 기능이 완전히 정지된다. 보통 질산화 미생물이 질산화를 이루는데 최적의 온도는 30℃로 알려져 있으며, 8~30℃의 범위에서 성장하는 것으로 알려져 있다. 이처럼 온도는 생물화학적 방법으로 오·폐수를 처리할 때의 중요인자중의 하나이다. 본 연구에서는 원수의 온도 범위가 18.5~22.7℃를 보였으며 평균 20.6℃로 본 수온 범위에서는 수온의 변화가 질화반응에 크게 영향을 주지 않을 것으로 사료된다.

생물화학적 산소요구량 (BOD₅)

BOD는 유기물 오염을 나타내는 지표로서 가장 광범위하게 이용되는 것이 BOD₅이다. BOD는 미생물이 유기물을 생화학적으로 산화할 때 소비하는 용존산소의 양을 측정하여 산정할 수 있다. 즉 어떠한 유기물을 미생물에 의하여 호기성 상태에서 분해 안정화시키는데 요구되는 산소량을 나타낸 것이며 BOD가 높으면 유기물의 오염도가 높음을 의미한다. 실제 수중의 유기물 형태나 그 농도를 측정하는 일은 사실상 어렵고 측정이 가능하다 하더라도 시간이 오래 걸리기 때문에 산소의 소비량으로써 간접적으로 수질을 평가하게 되는데, BOD 측정은 중요한 의미가 있다. 보통 BOD 실험 결과는 유기물의 생물학적 분해에 필요한 산소량 산정과 오수처리시설 규모의 결정, 처리공정의 효율 측정, 처리된 유출수의 수질이 법적 규제를 충족시키는지의 여부 판단에 사용된다.

혐기조와 무산소조로의 원수 분배율을 달리 하였을 때 원수와 처리수에 나타나는 BOD₅와 제거율의 변화는 Fig. 4에 나타나 있다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 조건을 달리 하였을 때 BOD₅의 제거율은 커다란 변화를 나타내지 않고 거의 일정한 수준을 보여주었다. 이는 호기조의 용량이 조건을 달리 하였을 때도 충분히 견딜 수 있었기 때문으로 판단된다.

분배율을 달리하였을 때의 결과를 살펴보면, 혐기조/무산소조의 분배율이 10:0이었을 때의 원수의 농도 범위는 76.0~390.0 mg/L, 평균 209.8 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 8.3~17.2 mg/L로서 평균 12.5 mg/L, 그리고 처리효율은 평균 93.3%를 나타내었다. 분배율이 9 : 1로 되었을 때 원수의 농도 범위는 98.1~219.0 mg/L, 평균 178.6 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 10.2~15.3 mg/L로서 평균 12.4 mg/L, 그리고 처리효율은 평균 92.6%를 나타내었다. 원수 분배율을 8 : 2로 하였을 경우, 원수의 농도 범위는 76.2~299.0 mg/L, 평균 144.8 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 6.2~13.6 mg/L로서 평균 9.6 mg/L, 그리고 처리효율은 평균 92.4%를 나타내었다. 마지막으로 분배율을 6 : 4까지 낮추었을 경우

원수의 농도 범위는 116.1~288.0 mg/L, 평균 185.4 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 5.6~20.9 mg/L로서 평균 15.2 mg/L, 그리고 처리효율은 평균 91.6%를 나타내었다.

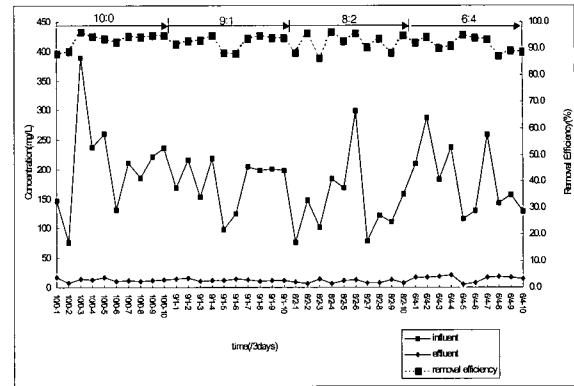


Figure 4. Influent and effluent BOD₅ concentration according to the ratio into Anaerobic/Anoxic tank.

원수내의 미생물에 의해 쉽게 사용될 수 있는 BOD₅의 양, 즉 탈질에 유용하게 사용되는 유기물의 양은 혐기/무산소조까지의 BOD₅ 제거율을 통하여 간접적으로 알 수 있다. Fig. 5는 각 분배율에서 혐기/무산소조까지의 BOD₅의 제거율을 나타낸 것이다. 본 연구에서 나타난 것은 혐기조/무산소조 분배율이 9:1에서 BOD₅의 제거율(유기물 이용능)이 가장 높게 나타났으며, 10:0과 8:2의 경우는 거의 비슷한 수치를 보여주었다. 하지만 6:4의 경우 유기물 이용능이 상당히 저조하게 나타났다. 먼저 분배율을 10:0로 하였을 때를 살펴보면 무산소조까지의 원수의 BOD₅ 제거율은 68.6~90.6%이고 평균 77.0%의 제거율을 보였다. 9:1의 경우 77.1~87.4%의 범위를 보이며 평균 84.8%를 나타냈으며, 8:2의 경우에는 65.7~84.3%의 범위였고 평균 75.3%를 나타냈다. 또한 6:4의 경우는 39.2~85.1%, 평균 61.1%를 나타내어 가장 낮은 BOD₅의 제거율을 보였다.

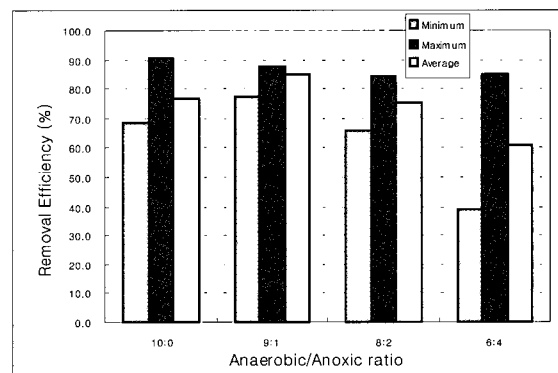


Figure 5. BOD₅ removal percent in each condition.

화학적 산소요구량 (COD_{Cr})

COD는 수중의 산화 가능한 물질 즉, 오염원으로 될 수 있는 물질이 산화제에 의해 화학적으로 산화되는데 필요한 산소량을 나타낸 것으로 BOD와 더불어 폐수의 유기물 함유도를 측정하기 위한 중요한 척도이다. 미생물의 성장에 유해한

독성물질이 포함되는 산업폐수 및 우수 중의 유기물 측정에도 이용할 수 있다. 이 방법에서는 강한 산화제를 이용하여 시료 내에 산화가 가능한 유기물을 화학적으로 산화시킨 후 이때 소모된 산소요구량을 산정하는 방안이다. 산화제로서는 중크롬산칼륨이 우수한 것으로 알려져 있다. COD_{Cr} 농도가 BOD 농도보다 높은 이유는 리그닌 같은 생물학적으로 산화되기 어려운 많은 유기물이 화학적으로 산화되고, 중크롬산에 의해 산화되는 무기물이 시료의 유기물 함량을 상승시키고, 어떤 유기물은 BOD 측정에 사용되는 미생물에 독성을 줄 수 있는 사실에 기인한다.

Fig. 6은 혐기조와 무산소조로의 원수 분배율을 달리하였을 때 원수와 처리수에 나타나는 COD_{Cr} 변화를 나타낸 것이다. 분배율을 달리 하였을 때 BOD₅와 같이 COD_{Cr} 제거율의 변화는 그다지 크게 나타나지 않았다. 이는 BOD의 경우와 마찬가지로 호기조의 용량이 조건을 달리 하였을 때도 충분히 견딜 수 있었기 때문으로 판단된다.

각 조건별 데이터를 살펴보면, 혐기조/무산소조의 분배율이 10 : 0의 경우 원수의 농도 범위는 232.0~543.0 mg/L, 평균 435.0 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 57.2~70.4 mg/L로서 평균 57.2 mg/L, 그리고 처리효율은 평균 86.8%를 나타내었다. 또한 분배율이 9 : 1로 되었을 때 원수의 농도 범위는 274.1~497.0 mg/L, 평균 425.6 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 37.8~73.4 mg/L로서 평균 52.1 mg/L, 그리고 처리효율은 평균 87.6%를 나타내었다. 원수 분배율을 8:2로 하였을 경우, 원수의 농도 범위는 302.4~625.6 mg/L, 평균 422.7 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 39.6~65.0 mg/L로서 평균 49.9 mg/L, 그리고 처리효율은 평균 87.2%를 나타내었다. 마지막으로 분배율을 6 : 4까지 낮추었을 경우 원수의 농도 범위는 394.1~664.5 mg/L, 평균 508.4 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 40.0~72.1 mg/L로서 평균 57.6 mg/L, 그리고 처리효율은 평균 88.7%를 나타내었다.

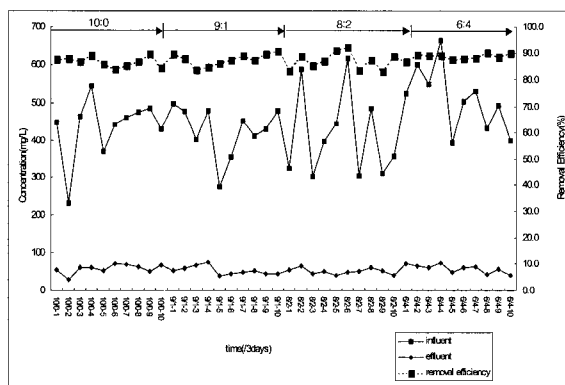


Figure 6. Influent and effluent COD_{Cr} concentration according to the ratio into Anaerobic/Anoxic tank.

부유물질 (SS)

부유물질은 무기물과 유기물을 함유하는 0.1 μm 이상의 입자로서 BOD 및 COD와 같이 오염지표의 하나이지만, 빛의 투과율과의 관계에서도 중요한 항목이다. SS 농도가 증가하면 빛의 투과율이 낮아지고 수중 동식물의 생육에 악영향을 미친다. SS 농도가 50 ppm 이하이면 어류의 빈사 등은 피할

수 있지만, 수역의 정상 생활활동을 유지하기 위해서는 25 ppm 이하인 것이 바람직하다. 또한 물속에 체류하면서 분해되어 BOD 증가의 원인이 되기도 한다. 따라서 SS 농도의 측정은 우수의 처리효율 및 생활우수의 강도를 평가하는데 중요한 인자 중의 하나가 된다.

Fig. 7은 각 분배율에 따른 SS 제거율을 나타낸 것이다. 분배율을 달리 하였을 경우 SS의 제거율도 커다란 변화를 나타내지 않고 거의 일정한 수준을 보여준다. 이러한 결과를 살펴보면, 혐기조/무산소조의 분배율이 10 : 0이었을 경우 원수의 SS 농도 범위는 60.8~400.0 mg/L, 평균 190.6 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 2.0~8.0 mg/L로서 평균 6.1 mg/L이며 처리효율은 평균 96.0%를 나타내었다. 분배율이 9 : 1일 경우 원수의 농도 범위는 102.5~350.0 mg/L, 평균 196.3 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 2.0~6.2 mg/L로서 평균 3.6 mg/L, 그리고 처리효율은 평균 97.8%를 나타내었다. 원수 주입 분배율을 8 : 2로 하였을 경우, 원수의 농도 범위는 115.3~282.9 mg/L, 평균 150.9 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 2.0~4.9 mg/L로서 평균 3.4 mg/L이며 처리효율은 평균 97.6%를 나타내었다. 마지막으로 분배율을 6 : 4까지 낮추었을 경우 원수의 농도 범위는 105.7~233.3 mg/L, 평균 180.3 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 2.1~14.3 mg/L로서 평균 6.1 mg/L, 그리고 처리효율은 평균 96.6%를 나타내었다.

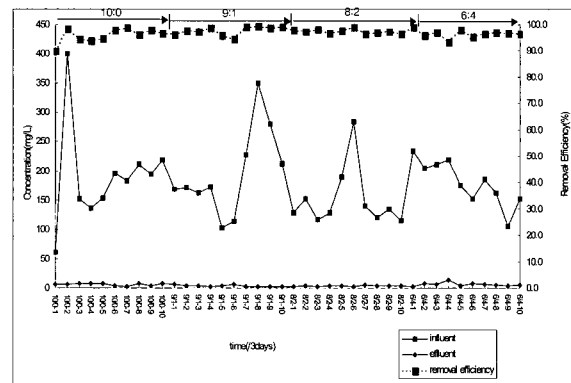


Figure 7. Influent and effluent SS concentration according to the ratio into Anaerobic/Anoxic tank.

질소제거

질소는 미생물과 식물의 성장에 필수적인 것으로서 영양소이나 하천이나 호소에서는 부영양화를 일으키는 원인물질이다. 이러한 수역에서의 조류의 성장을 조절하려면 우수 내의 질소를 제거하거나 감소시킨 후 처리수를 배출하여야 할 것이다. 질소화합물의 주요 발생원은 식물과 동물의 질소 성분, 질산나트륨, 대기 중의 질소 등이다. 우수 중의 질소는 40%의 유기질소로 구성되며 이는 호기성 상태에서 질산화과정에 의해 아질산성 질소와 질산성 질소로 전환된다. 질소의 형태는 유기질소, 암모니아, 질산염, 아질산염으로 구성된다.

암모니아의 질산으로의 전환은 호기조에서 발생한다. DO 농도가 1 mg/L 이하에서는 산소섭취를 둘러싸고 nitrifier와 heterotrophs 간의 경쟁에서 질산화 미생물이 상당한 타격을 입기 때문에 본 실험에서는 호기조의 평균 DO 농도를 5.8

mg/L 정도로 유지하였다(12).

암모니아 제거율은 Fig. 8에 나타내었다. 원수 주입 분배율이 10 : 0~8 : 2까지 암모니아의 제거효율은 별 차이를 나타내지 못했다. 하지만 원수 분배율을 6 : 4까지 낮추자 암모니아의 질산전환율이 급격하게 감소하였고, 이로 인하여 알칼리도 소모량이 급격하게 줄어들었다.

각 비율에 대하여 자세히 살펴보면, 혐기조/무산소조로의 분배율이 10 : 0이었을 때의 원수의 암모니아 농도 범위는 17.5~40.0 mg/L, 평균 34.6 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 2.4~4.0 mg/L로서 평균 3.6 mg/L, 그리고 제거율은 평균 89.6%를 나타내었다. 분배율을 9 : 1로 유지하였을 때 원수의 농도 범위는 36.0~45.3 mg/L, 평균 39.9 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 2.4~3.7 mg/L로서 평균 3.0 mg/L, 그리고 제거율은 평균 92.5%를 나타내었다. 원수 주입 분배율을 8 : 2로 하였을 경우, 원수의 농도 범위는 25.8~39.0 mg/L, 평균 35.5 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 1.5~4.3 mg/L로서 평균 2.7 mg/L, 그리고 제거율은 평균 91.9%를 나타내었다. 마지막으로 분배율을 6 : 4까지 낮추었을 경우 원수의 농도 범위는 23.8~35.5 mg/L, 평균 30.6 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 10.8~18.0 mg/L로서 평균 13.4 mg/L, 그리고 제거율은 평균 56.2%를 나타내었다.

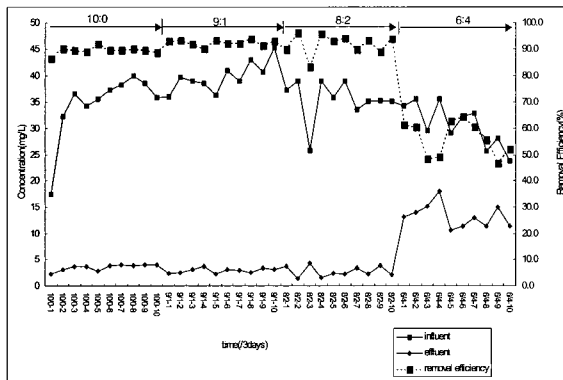


Figure 8. Influent and effluent $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration according to the ratio into Anaerobic/Anoxic tank.

Fig. 9는 호기조에서의 분배율에 따른 질산성 질소 변화를 나타낸 것이다. 질산성 질소는 혐기조/무산소조로의 원수 분배율을 8 : 2까지 하였을 때는 특이점을 보이지 않았다. 하지만 분배율을 6 : 4로 낮추었을 때, 암모니아의 질산화가 현저히 낮아졌다.

혐기조/무산소조로의 분배율이 10 : 0이었을 때 원수의 질산성 질소 농도 범위는 0.1~0.6 mg/L, 평균 0.4 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 4.6~11.4 mg/L로서 평균 7.6 mg/L을 나타내었다. 분배율을 9 : 1로 유지하였을 때 원수의 농도 범위는 0.5~0.9 mg/L, 평균 0.6 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 7.0~10.3 mg/L로서 평균 8.2 mg/L을 나타내었으며, 원수 분배율을 8 : 2로 하였을 경우, 원수의 농도 범위는 0.2~0.6 mg/L, 평균 0.4 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 6.1~10.1 mg/L로서 평균 7.5 mg/L을 보여주었다. 마지막으로 분배율을 6 : 4까지 낮추었을 경우 원수의 농도 범위는 0.2~0.6 mg/L, 평균 0.4 mg/L이었으며, 처리수의 농도

범위는 2.4~3.4 mg/L로서 평균 3.0 mg/L을 나타내었다.

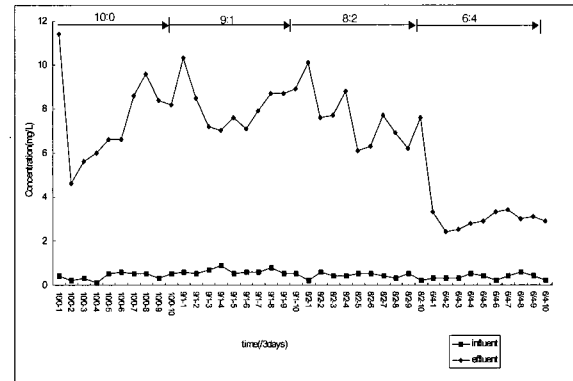


Figure 9. Influent and effluent $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration according to the ratio into Anaerobic/Anoxic tank.

Fig. 10은 각 반응조건에 따른 T-N 제거율을 나타낸 것이다. T-N 제거율은 분배율 9 : 1일 때가 67.4%로 가장 높았으며, 분배율 10 : 0과 8 : 2의 경우는 거의 비슷한 모습을 보여주었다. 하지만 원수 분배율을 6 : 4까지 낮추었을 때, 분배율 9 : 1 경우에 비하여 약 12% 가량 T-N 제거율이 떨어진 것으로 나타났다.

혐기조/무산소조의 분배율이 10 : 0이었을 경우 원수의 T-N 농도 범위는 38.8~86.6 mg/L, 평균 60.9 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 14.5~27.0 mg/L로서 평균 23.0 mg/L이며 T-N 제거율은 평균 61.3%를 나타내었다. 분배율을 9 : 1로 유지하였을 때 원수의 농도 범위는 47.5~69.4 mg/L, 평균 59.3 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 13.2~20.5 mg/L로서 평균 19.1 mg/L, 그리고 제거율은 평균 67.4%를 나타내었다. 원수 분배율을 8 : 2로 하였을 경우, 원수의 농도 범위는 50.4~64.1 mg/L, 평균 57.9 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 19.4~27.4 mg/L로서 평균 22.7 mg/L, 그리고 제거율은 평균 60.7%를 나타내었다. 마지막으로 분배율을 6 : 4까지 낮추었을 경우 원수의 농도 범위는 35.4~58.9 mg/L, 평균 46.6 mg/L이었으며, 처리수의 농도 범위는 16.4~23.6 mg/L로서 평균 20.7 mg/L, 그리고 제거율은 평균 55.5%를 나타내었다.

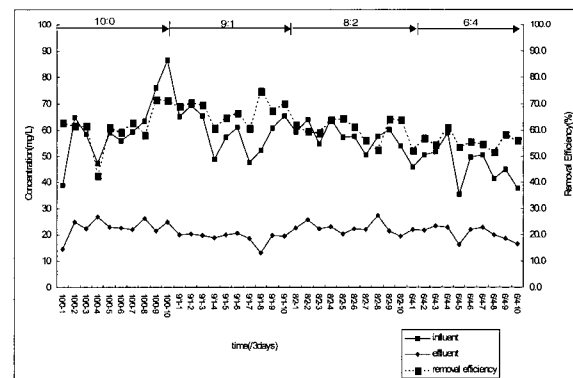


Figure 10. Influent and effluent T-N concentration according to the ratio into Anaerobic/Anoxic tank.

요 약

본 연구는 고정 생물막을 이용한 혐기/무산소/호기 공정으로 구성된 반응기에서 폴리에틸렌 재질의 표면을 이온빔으로 조사하여 소수성 표면을 친수성으로 만든 표면개질담체를 호기조의 여재로 사용하고 혐기/무산소조의 여재로는 표면 개질을 하지 않은 담체를 사용하여, 외부 탄소원 대신 원수내의 RBDCOD를 탄소원으로 이용하고자 혐기조와 무산소조에 원수를 분할 주입하였을 때 나타나는 유기물 및 T-N 제거 특성을 알아보았다. 혐기/무산소조로의 원수 분배율이 각각 10 : 0, 9 : 1, 8 : 2, 6 : 4로 설정하였으며, 각각의 분배율에 대하여 93.3%, 92.6%, 92.4%, 91.6%의 BOD₅ 제거율 (유기물의 제거능)을 보였다. 하지만 무산소조까지의 BOD₅ 제거율 (유기물 이용능)은 9 : 1에서 84.8%로 가장 높은 것으로 나타났다. 분배율 10 : 0, 8 : 2는 각각 77.0%, 75.3%로서 거의 비슷한 수준이었고, 분배율 6 : 4 경우에 61.1%로 가장 낮은 수치를 나타내었다. T-N 제거율은 9 : 1의 분배율로 분할하였을 때가 67.4%로 가장 제거 효율이 높았으며, 분배율 10 : 0, 8 : 2 경우는 각각 61.3%, 60.7%로 비슷한 경향을 보였으나 분배율을 6 : 4로 하였을 때는 55.5%의 제거율을 나타내 분배율 9 : 1의 경우와는 약 12%의 차이를 보였다. 또한 10 : 0, 9 : 1, 8 : 2의 분배율에서는 질산화가 거의 비슷한 수준으로 발생하였지만, 6 : 4로 주입하였을 경우에는 질산화의 저해가 나타나고, 방류수 중의 대부분의 질소성분이 암모니아 성분으로 방류되었다. 이 공정에서 탄소원으로 생하수를 이용하는 것이 메탄올과 같은 독성 탄소원에 비해 독성을 지니지 않고 약품비용이 들지 않는다는 측면에서 유리할 것으로 사료된다.

감 사

이 논문은 2003년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의한 것으로 이에 감사를 드립니다.

REFERENCES

1. Edward A. L.(1993), Aquatic pollution, 2nd ed., p.55, John Wiley & Sons, Inc., New York.
2. Ministry of Environment (2002), Statistics of Sewerage, p.475, Ministry of Environment, Seoul.
3. Metcalf & Eddy (1993), Wastewater Engineering : Treatment, disposal, reuse, 3rd ed., pp691~694, McGraw-Hill, New York.
4. Jang, A, H. S. Kim, and I. S. Kim (2000), Effect of Nitrate and Nitrite Load on Denitrification Reaction in Anoxic Biofilm Reactor, *J. of KSEE* 22(9), 1617-1625.
5. Yang, D. C., J. H. Kim, and Y. J. Y (1997), Development of Support by Chemical Modification for the Immobilization of Activated Sludge, *Hwahak Konghak* 35(1), 129-134.
6. Han, S., Y. H. Seon, and S. K. Koh (2002), Microbe Adhesion and Organic Removal from Synthetic Wastewater Treatment using Polypropylene Media Modified by Ion-Assisted Reactions, *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* 17(3), 235-240.
7. EPA (1993), Manual Nitrogen Control, EPA/625/R-93/010
8. Ministry of Environment (2002), Korean Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, p.691, Dong Hwa Technology Publishing Co., Seoul.
9. APHA (1998), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed., p.5-17, American Public Health Association, Washington DC.
10. Wett, B. and W. Rauch (2003), The Role of Inorganic Carbon Limitation in Biological Nitrogen Removal of Extremely Ammonia Concentrated Wastewater, *Wat. Res.* 37, 1100-1110
11. Sears, K., J. A. Oleszkiewicz, and P. Lagasse (2003), Nitrification in Pure Oxygen Activated Sludge Systems, *J. Envir. Engrg.* 129(2), 130-135.
12. Wild, H. E., C. N. Sawyer and T. C. McMahan (1971), Factors affecting nitrification kinetics, *JWPCF.* 43, 1845-1854