大韓環境工學會誌 · 논문 · pp. 687~692. 2006.

유동여재 A_2O공정에서 외부탄소원으로 메탄올을 이용한 낮은 C/N비 하수의 생물학적 질소제거 특성

윤조희† · 김민수 · 김승현*

경남대학교 환경공학과 · *경남대학교 토목공학과

(2006년 4월 20일 접수, 2006년 6월 29일 채택)

Characteristics of Biological Nitrogen Removal for Low C/N Ratio Municipal Wastewater Using Methanol as an External Carbon Source in A_2O Fluidized Media Process

Cho-Hee Yoon† · Min-Soo Kim · Seung-Hyun Kim*

*Department of Environmental Engineering, Kyungnam University · *Department of civil Engineering, Kyungnam University*

ABSTRACT : This experiment was performed to evaluate the characteristics of BNR system performance, behavior of pollutants as organic and nitrogen at each basin and the effects of C/N ratio on biological nitrogen removal with methanol as an external carbon source for a low C/N ratio municipal wastewater. A lab-scale A_2O system by employing the aerobic basin with the fluidized polyurethane media, which was 10~20 mm cube type like a sponge, was used. The aerobic basin was hybrid type to be suspended and fixed biomass. The obtained results from this study were as follows; When no methanol was added, suspended biomass was 3 times more than that of the fluidized media in this system(total biomass 80 g). Biomass growed by an external carbon was firstly attached on media, and then suspended. COD_{Cr} concentration for the effluent was a range of 13 to 29 mg/L regardless of pouring an external carbon. For nitrogen, the effluent concentration was 20.0~35.9 mg/L(removal efficiency; 18%) in case of no addition of an external carbon, but was 2.5~9.0 mg/L(removal efficiency ; 71~83%) with addition of methanol. For the characteristics of pollutants removal, most of COD_{Cr} were removed at the anaerobic basin when no external organic carbon was added, and were removed at the anoxic basin in case of adding external organic carbon but at the aerobic basin in case of adding excess external organic carbon. On the other hand, most TIN(total inorganic nitrogen) were removed at the anaerobic basin when no external organic carbon was added, but when an external organic carbon was added, they were removed at the anaerobic basin under unstable condition and at the anoxic basin under stable condition.

Key Words : *Low C/N Ratio, A_2O Process, External Carbon Source, Nitrification-Denitrification, Fluidized Media*

요약 : 실험은 C/N 비가 낮은 실제하수 유입시 적용한 유동여재 A_2O시스템의 생물학적 탈질특성을 파악하고 외부 탄소원(메탄올) 주입량(C/N비) 변화에 따른 오염물질 제거특성, 각 반응조의 유기물, 질소 거동 특성을 검토하였다. 실험장치는 실험실 규모로 호기조에 유동여재를 투입하여 부유와 부착 미생물이 공존하는 혼합형 형태이다. 유동여재는 10~20 mm정도의 육면체로 된 스폰지 형태의 폴리우레탄 재질이다. 실험에서 얻어진 결과는 다음과 같다. 외부탄소원을 주입하지 않는 하수처리의 경우, 부유성 미생물양이 부착성 미생물양 보다 약 3배 가량 많았다(총 미생물량 80 g). 무산소조에 주입되는 외부탄소원에 의해 성장되는 미생물은 우선적으로 호기조 접촉여재에 일정량 부착된 후에 부유성 상태 미생물로 유지되었다. 유출수 COD_{Cr} 농도는 외부탄소원 주입여부에 관계없이 13~29 mg/L으로 안정하게 유지되었다. 유출수의 총무기성 질소(TIN)농도의 경우, 미주입시에는 20.0~35.9 mg/L(제거효율 18%)이었으나 주입시에는 2.5~9.0 mg/L(제거효율 71~83%)로 염분의 영향은 없었다. 각 반응조의 유기물(COD_{Cr}) 제거특성은 외부탄소원 미주입시에는 대부분이 혐기조에서 제거되었으며, 외부탄소원 주입시에 대부분이 무산소조에서 제거되었다. 과잉주입의 경우 대부분이 호기조에서 제거되었다. 총 무기성 질소(TIN)의 경우, 외부탄소원 미주입시 대부분이 혐기조에서 제거되었으며, 외부탄소원 주입시 불안정한 상태에서는 혐기조에서, 안정한 상태에서는 무산소조에서 대부분 제거되었다.

주제어 : 낮은 C/N비, A_2O공정, 외부 탄소원, 질산화-탈질화, 유동상 여재

1. 서 론

우리나라의 기존 하·폐수처리장에서 고도처리는 선진국과 비교하여 상대적으로 유기물 농도가 낮아 장기적으로 하수도 정비가 필수적이며, 단기적으로 생물학적 처리공정의 개선과 함께 무산소조의 적절한 COD/TN(이하 C/N)비 유지가 중요하다. 낮은 C/N비 하수의 생물학적 탈질방법으로, 현재 가장 보편적인 방법은 외부유기물 공급(수소공여체, 전자공여체)에 의한 C/N비의 조절법[1,2]이며, 최근에는 황을 이용한 황 탈질 공법,[3] 전기분해의 수소공급을 통한 탈질법[4,5] 등도 제안되고 있다. 그러나 후자의 경우는 pH 조절, 약품비

† Corresponding author
E-mail: chyoon@kyungnam.ac.kr
Tel: 055-249-2663 Fax: 055-249-2655

과다 등 해결해야 할 문제점들을 많이 내포하고 있어, 메탄올,[6] 초산[7] 등 유기물을 사용하는 전자의 방법이 일반적이다. 최근에는 음식물 쓰레기의 산발효,[8] 슬러지 발효[9] 등을 통한 유기물 공급법 등도 제안되고 있다. 외부탄소원을 주입시 안정적인 탈질율을 얻기 위해 C/N비 제어법,[10,11] 산화환원전위(ORP) 제어법[12] 등이 이용되고 있으나 정량화되어 있는 경우가 그다지 많지 않아 이에 대한 운전기법의 개발이 시급하다. 특히, 기존 활성 슬러지법을 개량하여 고도처리시설을 설치 운전할 경우에는 부지면적의 제한 등 공정개선에 문제점을 가지고 있어 공정 및 운전기법의 개발이 더욱 시급하다. 이러한 문제점의 해결방안으로 고농도의 미생물을 유지하여 하수와 미생물과의 접촉을 늘리는 접촉여재 유동상 공법,[13] 탈질에 우수한 미생물군집이 우점이 될 수 있는 환경조성 방안 등이 제시되고 있다.[14]

본 연구는 유입하수의 COD_{Cr}/TN비가 1.2로 일반 도시하수에 비해 극히 낮은 값을 가지는 M도시 기존하수처리장 공법을 호기조에 유동 접촉여재를 충전한 A_2O공법으로 개선하여 질소제거 능력을 향상시키는데 필요한 기초자료를 제공하고자, 기존 유입하수에 대하여 적용된 공법의 처리성능을 파악하고, 외부 탄소원으로 메탄올 주입량 변화에 따른 오염물질의 제거효율 및 미생물 거동, 각 반응공정별 유기물 및 질소 거동 등에 대하여 분석 · 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 유입 하수성상

실험에 사용된 M하수종말처리장의 초침 월류수의 성상은 평균값으로 COD_{Cr} 49.1 mg/L, BOD_5 17.0 mg/L, TN 39.6 mg/L, TP 2.6 mg/L, SS 25.0 mg/L, 알카리도 150.9 mg/L이며, BOD_5/COD_{Cr} = 0.35, COD_{Cr}/TN = 1.24, TN/TP = 18.6, BOD_5 : TN : TP = 17.0 : 39.6 : 2.6로 생분해성 유기물이 질소성분에 비하여 극히 낮고 염분농도(2.0‰)가 높다. 또한 TN중에는 NO_2^--N, NO_3^--N이 각각 3.69 mg/L, 6.20 mg/L로 NO_{2+3}^--N 농도가 9.89 mg/L로 일부분이 질산화가 진행된 하수이었다. Table 1에 하수 성상을 정리하였다.

2.2. 실험 장치 및 방법

Fig. 1은 실험장치의 개략도이다. 각 반응조의 유효용적은 혐기조 6.5 L, 무산소조 11.28 L, 호기조 12.72 L, 침전조가 15 L이다. 혐기조와 무산소조는 용액의 완전 혼합을 위하여 교반기를 설치하였고, 호기조는 벌크액의 완전혼합과 필요한 공기를 공급할 수 있도록 하단에 산기장치를 설치하였다. 호기조에는 미생물량을 증가시키기 위하여 폴리우레탄으로 된 스폰지형 육면체(길이 10~20 mm) 유동상 접촉여재를 충전하였다. 여재의 유출을 방지하기 위하여 호기조의 유출구에 스크린을 설치하였다. 원수공급, 외부탄소원 공급, 폭기조에서 무산소조로 행하여지는 내부순환(Internal Recycle: IR)과 침전조에서 혐기조로 행해지는 슬러지 반송(Return Activated Sludge: RAS)을 위하여 정량펌프를 이용하였다. 원수 유입은 110 L/d, HRT는 6.55 hr(An/Ax/Ox = 1.39/2.43/2.73 hr), 내부순환비(Internal Recycle, IR)는 원수대비로 100%, 반송슬러지 순환율(Return Activated Sludge, RAS)은 50%, 호기조의 유동상 접촉여재 충전율은 부피 비율로 15%로 하였다. 실험은 실온(9~27℃)에서 실행하였으며 pH와 DO는 자동기록하였으며 제어하지는 않았다. COD_{Cr}/NO_3^--N 비를 0~7.0로 되도록 외부탄소원인 메탄올을 정량펌프를 이용하여 무산소조의 입구에서 유입하였다. 실험조건을 Table 2에 정리하였다.

Table 1. Characteristics of raw sewage

BOD_5/COD_{Mn}	0.81	TN/TP	18.6
BOD_5/COD_{Cr}	0.35	Alkalinity/TN	3.81
BOD_5/TOC	1.66	NO_{2+3}^--N : TN	9.9 : 39.6
BOD_5/TN	0.43	BOD_5 : TN : TP	17.0 : 39.6 : 2.6
COD_{Cr}/TN	1.24	COD_{Cr} : TN : TP	18.6 : 15.0 : 1.0

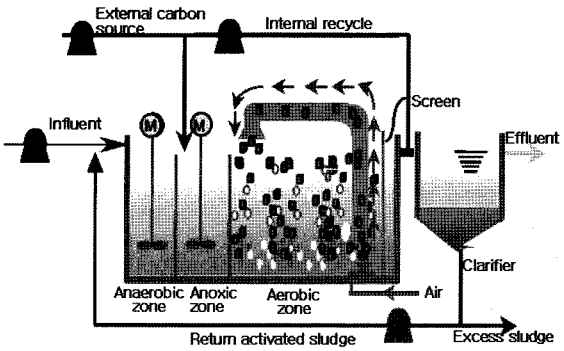

Fig. 1. A schematic diagram of the experimental apparatus.

Table 2. Operating conditions for experiment

	run#1	run#2	run#3	run#4	run#5	run#6
Operating time[d]	1~43 (43)	43~50 (8)	50~82 (32)	83~134 (51)	135~152 (18)	153~165 (13)
C/N*[COD/NO_3^--N]	0	3.5	7.0	4.7	3.5	2.4

*: based on the anoxic basin

2.3. 분석항목 및 방법

시료의 분석은 유입수와 유출수, 각 반응조의 혼합액에 대하여 분석하였다. pH, DO, 온도, 염분도(Salinity), 전기전도도(Conductivity)는 매일 측정기로 측정하였으며, 나머지 항목은 2~3일 간격으로 미국표준시험법[15]에 의거하여 분석하였다. 시료는 분석시까지 냉장 보관하였다. 총무기성 질소(total inorganic nitrogen, TIN))는 $\Sigma(NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^-)$이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 유입하수의 성상특성

Fig. 2는 실험기간 동안 유입하수의 염분농도와 전기전도도의 변화를 나타낸 그림이다. 실험시작 50일 전후까지는 유입수의 시료를 정오 전후(±1시간)로 채취하여 실험에 사용하

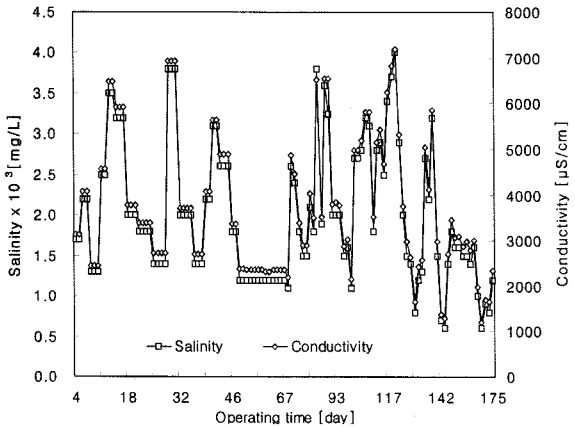

Fig. 2. Variation of salinity and conductivity of raw sewage.

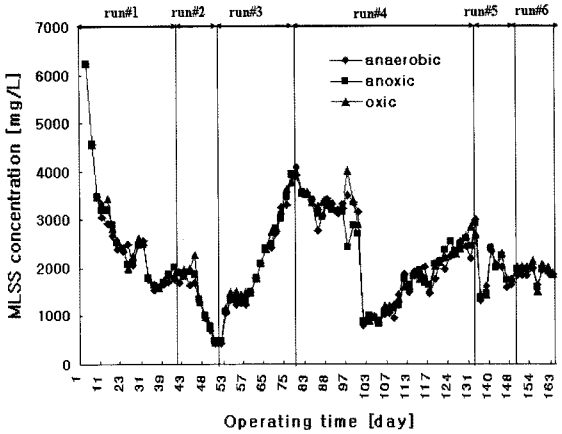

Fig. 3. Variation of MLSS concentration during operation periods.

였으며 그 이후는 시료를 정오(±3시간) 전후로 일정하지 않게 채취하여 실험하였다. 전기전도도는 1,194~7,180 μS/cm, 평균 3,751 μS/cm이며, 염분농도는 0.6~4.0‰, 평균농도 2.0 ‰이었다. 유입하수를 일정 시간(정오 전후)에 채취하였을 경우, 염분농도와 전기전도도는 14~15일 주기로 변동하였는데, 이는 조석 간만에 의한 바닷물 유입 때문이며 이로 인하여 일반하수보다 높은 값을 보였다. 채취시간이 일정치 않은 경우는 주기적인 변화 양상은 보이지 않았으나 변화 폭이 상당히 컸다. 염분농도와 전기전도도의 상관관계식은 Y(전기전도도) = 1770 × X(염분농도) + 223으로 양호한 상관성(R^2 = 0.9967)을 보이고 있어 M처리장의 유입 하수는 관거정비를 통한 해수 및 우수유입방지 대책이 필요하였다.

3.2. 외부탄소원 변화에 따른 미생물량 거동특성

Fig. 3은 운전기간 동안 반응기내(혐기조, 무산조, 호기조) 부유성 미생물(MLSS) 농도를 나타낸 그림이다. 세 반응조 내의 MLSS의 농도변화는 유사하였다. Run#1의 경우, 식종(MLSS 6,250 mg/L) 후 MLSS가 급격히 감소하다가 약 1,900 mg/L 전후에서 안정적인 상태를 유지하였다. Run#2~#6은 탈질효율을 높이기 위해 외부탄소원인 메탄올을 공급한 경우이다. Run#2(C/N = 3.5)의 경우 외부탄소원의 주입으로 인한 유기물의 증가에도 불구하고 MLSS농도가 400 mg/L까지 감소하였다. Run#3(C/N=7.0)의 경우 MLSS의 농도가 급속히 증가하여 3,900 mg/L까지 되었다. Run#4(C/N = 4.7)의 경우 MLSS 농도가 서서히 감소하여 약 3,000 mg/L 전후로 유지되었다. 그림에서 갑자기 900 mg/L로 된 부분(운전 102일째)은 반송장치의 고장으로 미생물이 유출되었기 때문이다. 이 조건에서 MLSS 농도가 다시 3,000 mg/L 정도까지 도달하는데 약 1개월의 시간이 필요하였다. Run#5(C/N = 3.5)의 경우, 미생물 농도는 1,950 mg/L를 유지하였으며 run#6(C/N = 2.4)의 경우, 1,860 mg/L 정도를 유지하였다.

Fig. 4는 반응기내 총 미생물량(부유성 + 부착성 미생물량)을 나타낸 그림이다. Run#1과 #2에서 보면 전체 미생물량 80 g 정도로 유사하나 run#1에 비해 run#2의 경우 전체 미생물량중에 부유성 미생물은 적고 부착성 미생물이 많았다. 다시 말해, run#1의 미생물양은 부착성 미생물에 비하여 부유미생물의 양이 약 3배가량 많고 run#2에서는 부유성 미생물보다 부착성 미생물의 양이 약 3배가량 많았다. 이는 유기물이 부족한 경우에 유입외부탄소원은 우선적으로 호기조 접촉여재의 부착미생물 성장에 이용되는 것으로 보이며 run#2부터는 외부 탄소원의 농도변화에 관계없이 호기조 여재에 있는 부착성 미생물량이 50~70 g 정도로 유지하였다. 이는 접촉여재의 부착 미생물 성장에는 한계가 있는 것으로 판단된다. 그림에 나타낸 바와 같이 외부유기물 주입으로 성장된 미생물은 호기조 유동상 접촉여재에 부착되어 한계농도에 도달한 후에 시스템내의 부유성 미생물 농도가 증가하였다. Run#3의 부착미생물량은 run#2의 미생물량과 유사하나, 부유미생물량은 run#2에 비하여 8.6배 정도이었다. 외부 탄소원의 양을 줄인 경우(run#4~#6), 부착미생물량의 변화는 아주 적으나 부유성 미생물은 외부 탄소원의 양에 따라 심하게 변하였다.

반응조(혐기조 + 무산소조 + 호기조)의 총 부피, 30.5 L는 호기조의 접촉여재가 차지하고 있는 부피(1.1 L, 부피비로 호기조의 15% 주입)에 비하여 약 28배 크나 run#5, #6에서 부착성과 부유성 미생물량을 비교하여 보면 호기조에 접촉여재의 부착미생물양이 총 미생물의 1/2 정도를 차지하고 있어 유동상 접촉여재의 역할이 중요함을 알 수 있다.

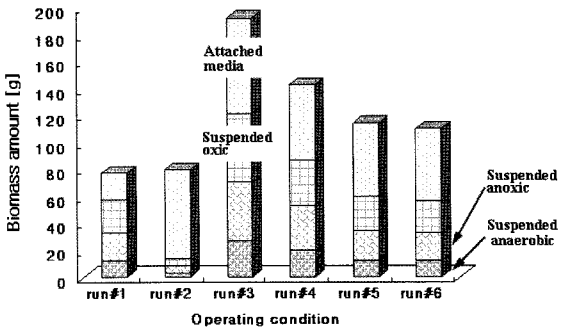

Fig. 4. Variation of biomass amount under operation conditions.

3.3. 외부탄소원 변화에 따른 유기물 및 질소 거동 특성

운전조건별 유입수 및 유출수의 유기물 농도(COD_{Cr}), 제거효율을 Table 3에 나타내었다. Run#2～#6은 외부탄소원으로 메탄올을 무산소조에 주입하여 C/N비가 3.5 → 7.0 → 4.7 → 3.5 → 2.4로 변화한 경우이다. 외부탄소원을 주입하지 않은 경우(run#1) 제거효율이 49.14%였으나 외부탄소원을 주입한 경우 주입량에 관계없이 제거효율이 21% 전후 값을 나타내고 있다. Run#3(C/N = 7.0)는 run#2(C/N = 3.5)보다 외부탄소원의 양을 두배로 주입하였음에도 제거효율은 21% 전후로 유사한 값을 나타내었다. Run#4(C/N = 4.7)는 유입수의 평균 COD_{Cr} 농도가 30.00 mg/L이고 유출수의 평균 COD_{Cr} 농도가 23.88 mg/L였다. 무산소조에 C/N비 3.5를 투입한 run#5는 유입수의 평균 COD_{Cr} 농도가 23.00 mg/L이고 유출수의 평균 COD_{Cr} 농도가 18.00 mg/L으로 제거효율은 21.74% 정도이었다. Run#6(C/N = 2.4)는 유입수 평균 COD_{Cr} 농도가 24.20 mg/L이고 유출수 평균 COD_{Cr} 농도가 17.20 mg/L로 28.93%의 제거효율을 보였다. C/N = 3.5로 비가 같은 run#2와 run#5를 비교하였을 때 유입농도 차이가 있어 단순 비교할 수는 없지만, 유출수 농도가 2배 이상 차이가 있는 것은 하수성상과 미생물 대사물질의 차이에 의해 일어나는 현상으로 판단된다. 특히, 두 운전조건에서 혐기조와 무산소조의 미생물량의 차이 때문에 탈질에 유기물이 충분히 이용되지 않는 것으로 판단되다.

실험기간 동안 유입수 및 유출수의 TIN 농도변화를 Fig. 5에, NH_4^+-N, NO_{2+3}^--N 및 TIN의 처리성능을 Table 4에 나타내었다. Run#1에서는 유출수 평균 NH_4^+-N의 농도는 2.58 mg/L로 안정적인 유출이 일어나지만 탄소원 부족으로 탈질효율이 떨어져 유출수 NO_3^--N 농도가 23.98 mg/L(NO_{2+3}^--N; 24.28 mg/L)로 높았다. TIN 제거효율은 18% 정도로 대부분이 NO_3^--N이었다. 외부탄소원을 주입한 run#2에는 TIN 제거효율 52%, 유출 NO_3^--N 농도가 12.34 mg/L로 run#1보다 1/2 정도 낮아졌으나 탈질이 완전하게 일어나지 않았다. 이는 미생물량 거동 특성(Fig. 4)에서 설명한 바와 같이, run#1과 run#2의 경우는 총 미생물량이 80 g 정도로 유사하나 run#2는 주입한 외부탄소원이 주로 부착미생물 성장에 이용되어 외부탄소원의 공급에도 불구하고 무산소조의 부유성 미생물이 감소하는 불안정한 상태로 수소공여체로서 유기물이 탈질균의 탈질에 충분히 이용되지 않았기 때문이다. Run#3～

Table 3. Treatment performance of COD_{Cr} during operation periods

	Influent[mg/L]	Effluent[mg/L]	Removal efficiency[%]
run#1	28.10～52.00(37.61)	13.20～28.00(19.13)	49.14
run#2	48.00～60.00(54.00)	40.00～44.00(42.00)	22.22
run#3	29.00～32.50(30.83)	23.50～26.00(24.50)	20.53
run#4	23.00～39.00(30.00)	19.00～29.00(23.88)	20.40
run#5	17.00～30.00(23.00)	15.00～22.00(18.00)	21.74
run#6	21.00～31.00(24.20)	15.00～22.00(17.20)	28.93

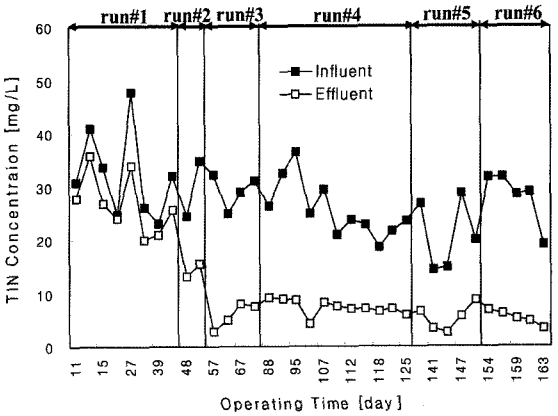

Fig. 5. Variation of TIN concentration with time.

Table 4. Treatment performance of nitrogen under operating conditions

	Items	Influent [mg/L]	Effluent [mg/L]	Removal efficiency[%]
run#1	NH_4^+-N	15.18～22.12(18.82)	0.97～6.28(2.58)	86.29
	NO_{2+3}^--N	4.09～29.82(13.84)	16.96～35.13(24.28)	-75.43
	TIN	23.0～40.85(32.66)	19.99～35.87(26.86)	17.76
run#2	NH_4^+-N	15.93～17.07(16.50)	1.90～2.13(2.01)	87.82
	NO_{2+3}^--N	8.58～17.76(13.17)	11.39～13.29(12.34)	6.30
	TIN	24.52～34.82(29.67)	13.29～15.42(14.35)	51.63
run#3	NH_4^+-N	11.66～26.72(20.43)	0.00～5.02(2.96)	85.51
	NO_{2+3}^--N	4.35～20.53(8.89)	2.63～3.63(2.93)	67.04
	TIN	25.05～31.15(29.32)	2.85～8.06(5.89)	79.91
run#4	NH_4^+-N	10.65～21.06(15.37)	0.38～3.24(1.27)	91.74
	NO_{2+3}^--N	4.84～17.14(10.16)	3.49～7.10(6.04)	40.55
	TIN	18.53～36.40(25.53)	4.14～9.02(7.31)	71.37
run#5	NH_4^+-N	8.16～18.08(12.87)	0.00～0.81(0.30)	97.67
	NO_{2+3}^--N	1.90～15.57(8.07)	2.53～8.41(5.08)	37.05
	TIN	14.39～28.75(20.94)	2.53～8.64(5.38)	74.31
run#6	NH_4^+-N	15.37～21.42(18.87)	0.33～0.60(0.45)	97.62
	NO_{2+3}^--N	3.70～12.81(9.15)	3.04～6.15(4.35)	52.46
	TIN	19.09～31.79(28.02)	3.40～6.75(4.80)	82.87

#6은 평균 TIN제거효율은 71～83%이었다. 이는 접촉여재 내 미생물의 한계성장 후에 혐기조와 무산조의 미생물량을 일정량 유지할 수 있어(Fig. 4) 혐기조와 무산조에서의 탈질이 원활히 일어났기 때문이다.

3.4. 단위반응조별 오염물질 거동특성

운전기간 동안 각 단위반응조(공정)에서 제거된 COD_{Cr}량을 Fig. 6에 나타내었다. Run#1은 전 공정 중 75%인 206.31 g/m^3/day가 혐기조에서 제거되었다. 외부탄소원을 투입한 Run#2에서는 68% 정도의 1,158.51 g/m^3/day가 무산소조에서 대부분 제거되었으며, run#3에서는 전체의 79%인 2,119.69 g/m^3/day이 호기조에서 제거되었다. Run#3과 같이 탈질에 과잉의 유기물이 존재할 때에 호기조의 부유성 미생물의 성장

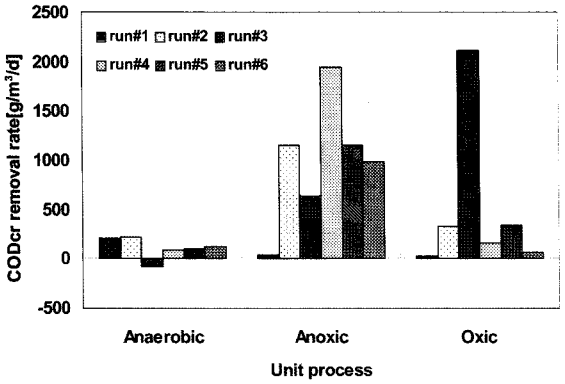

Fig. 6. Variation of COD_{Cr} removal rates in each unit process.

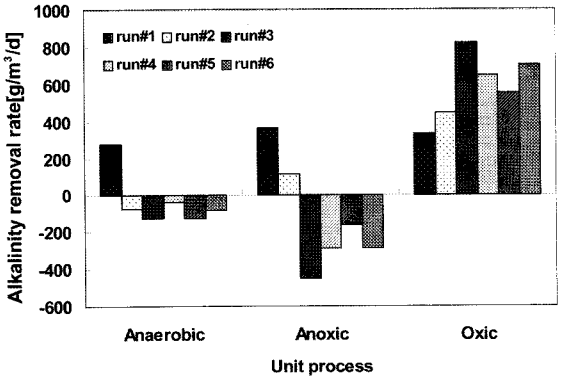

Fig. 8. Variation of alkalinity removal rates in each unit process.

에 유기물이 이용되기 때문에 양론적인 유기물 공급이 효과적인 탈질을 하기 위해서는 중요함을 의미한다. Run#2와 #5의 경우, 전체와 각 공정별 유기물 제거량이 비슷하나 탈질량이 run#2보다 run#5가 많은 것은 혐기/무산조에서의 탈질미생물량이 많아 이로 인한 유기물 이용량이 많기 때문으로 판단된다. 탈질이 안정적으로 유지되는 Run#4~#6의 공정에서는 전체 유기물 제거량이 각각 2,190.43, 1,599.71, 1,167.06 g/m^3/day으로 대부분이 무산소조에서 제거되고 호기조에서는 적은 양이 제거되었다.

운전기간 동안 각 단위공정에서 제거되는 TIN량을 Fig. 7에 나타내었다. 혐기조에서 전 운전조건(run#1~#6)에서 제거된 TIN량이 52.15(run#5)~148.52 g/m^3/day(run#2)로 많은 양이 제거되었는데, 이는 주로 유입수와 침전조에서 반송된 NO_3^--N의 탈질에 의한 것이다. Run#1는 전체 제거량중 79%인 64.58 g/m^3/day이 혐기조에서 제거되었다. 외부탄소원을 주입하기 시작한 run#2의 공정에서도 많은 양이 혐기조에서 제거되었다. 이는 탈질과 함께 미생물 성장에 이용되었기 때문으로 사료된다. Run#4~#6에서 탈질이 비교적 안정하게 일어나는 상태로 일반적으로 알려진 바와 같이 외부탄소원이 투입되는 무산소조에서 대부분이 제거되고 호기조에서는 제거가 되지 않고 오히려 증가하였다. 이는 run#3(C/N = 7.0)에서 증가된 많은 미생물량이 run#4~#6(C/N = 4.7~2.4)에서 외부 탄소원의 감소로 부유 미생물의 자기산화에 의한 미생물량 감소가 일어나기 때문으로 판단된다.(Fig. 4 참조)

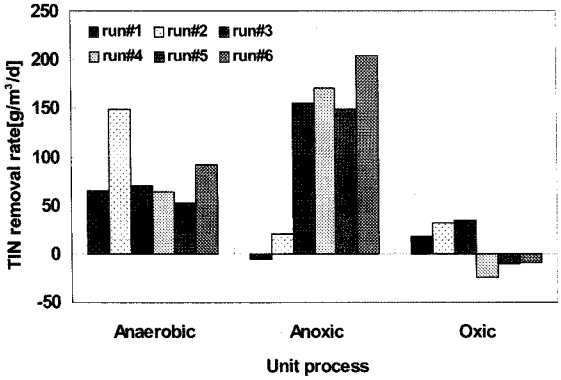

Fig. 7. Variation of TIN removal rates in each unit process.

Run#6에서 가장 많은 204.17 g/m^3/day이 제거되었다. 운전조건이 같은 run#2와 run#5의 제거량을 비교하였을 때 전체 제거율은 유사하나, 반응조별 제거량에 차이가 있어 run#2는 혐기조에서 run#5는 무산조조에서 TIN의 제거가 많이 되었다. 이는 시스템내의 총 미생물량, 미생물 중에 탈질 미생물이 차지하는 비의 차이 등에 의한 것으로 판단된다.

Fig. 8은 운전기간 동안 각 단위 반응조에서 알카리도 변화를 나타낸 그림이다. 전체공정의 알칼리도 소비량은 각 반응조에서 유입수와 유출수 알칼리도의 차이를 가지고 산출한 값이다. 그림에서 알카리도 제거량의 마이너스(-)값은 반응조에서 알카리도 농도의 증가로 탈질에 의한 알카리도가 회복됨을 의미한다. Run#1에서 전체 알칼리도의 제거량은 976.42 g/m^3/day으로 혐기조, 무산소조, 호기조 모든 공정에서 소비가 일어났다. 이는 혐기조에서 유입된 질산성 질소의 탈질이외 다른 조에서는 거의 탈질이 일어나지 않고 질산화만 일어나기 때문이다. Run#2는 외부 탄소원을 주입하기 시작한 운전조건으로 불안정한 상태로 무산소조와 호기조에서 제거가 일어났으나 혐기조에서 알칼리도가 일부 회복되었다. Run#3에서는 전체 제거율이 250.66 g/m^3/day로 전 운전조건 중 가장 적은 양의 알칼리도가 소비되었으며 호기조에서 질산화에 의한 알카리도의 소비, 혐기조, 무산소조에서는 탈질에 의한 알칼리도의 회복이 일어났다. Run#4~#6에서는 전체 제거량은 각각 323.10 g/m^3/day, 272.01 g/m^3/day, 339.35 g/m^3/day으로, 호기조에서 소비되고 혐기조 및 무산소조에서 회복되는 전형적으로 질산화-탈질화 반응의 형태를 보였다.

4. 결 론

본 연구는 호기조에 유동상 접촉여재를 충전한 A_2O시스템을 이용하여 C/N비가 낮은 M도시 하수를 대상으로 시스템의 처리성능을 파악하고, 외부탄소원 주입에 따른 시스템의 오염물질 거동, 공정별 오염물질 거동을 분석·검토하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 유입하수의 성상은 COD_{Cr} 49.1 mg/L, TN 39.6 mg/L,

TP 2.6 mg/L, 염분 2.0‰이며, CODCr/TN비, BOD_5/COD_{Cr} 비는 각각 1.24 및 0.35로 일반하수의 비해 유기물 농도는 아주 낮고 염분농도는 높았다. TN 중에는 NO_2^--N, NO_3^--N이 각각 3.69 mg/L, 6.20 mg/L로 일부분이 질산화되었다.

2) 외부탄소원을 주입하지 않는 하수처리의 경우, 부유성 미생물양이 부착성 미생물양보다 약 3배 가량 많았다. 무산소조에 주입되는 외부탄소원에 의해 성장되는 미생물은 우선적으로 호기조 접촉여재에 일정량 부착된 후에 부유성 미생물로 유지되었다.

3) 유출수 COD_{Cr}농도는 외부탄소원 미주입시 13.2～28.0 mg/L, 주입시에 15.0～29.0 mg/L으로 외부탄소원 주입에 관계없이 유출수 COD_{Cr}농도는 안정하게 유지되었다. 유출수의 총 무기성 질소(TIN) 농도의 경우, 미주입시에는 20.0～35.9 mg/L(제거효율 18%)이었으나 주입시에는 2.5～9.0 mg/L (제거효율: 71～83%)이며, 염분의 영향은 없었다.

4) 각 반응조의 유기물(COD_{Cr}) 제거특성은 외부탄소원 미주입시에는 대부분이 혐기조에서 제거되었으며, 외부탄소원 주입시에 과잉주입의 경우 대부분이 호기조에서 제거되었고, 탈질이 안정적으로 이루어지는 경우 대부분 무산소조에서 제거되었다.

5) 총 무기성 질소(TIN)의 제거특성은 외부탄소원 미주입시 대부분이 혐기조에서 제거되었으며, 외부탄소원 주입시 비정상상태에서는 혐기조에서, 정상상태에서는 무산소조에서 대부분 제거되었다.

사 사

본 연구는 2004년도 경남대학교 국외연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 신항식, 이상형, 남세용, 박명균, "폴리스티렌여재가 주입된 생물학적 질소, 인 동시제거공정에서 HRT 및 C/N 비에 따른 변화 연구," 대한환경공학회지, **23**(4), 623～629(2001).
2. 윤주환, 김경희, "2단 탈질여과공정에서 외부탄소원 주입율과 온도 영향," 한국물환경학회지, **15**(2), 203～215 (1999).
3. Matsui, S., Imai, T., "A new method of sulfur denitrification for sewage treatment by a fluidized bed reactor," *Water Sci. Technol.*, **18**, 353～362(1986).
4. Kuroda, M., Watanabe, T., and Umedu, Y., "Simultaneous oxidation and reduction treatments of polluted water by a bio-electro reactor," *Water Sci. Technol.*, **34**(9), 101～108(1996).
5. Kiss, I., Szekeres, S., Bejerano, T. T., Soares, M. I. M., "Hydrogen-dependent denitrification: preliminary assessment of two bio- electrochemical systems", *Water Sci. Technol.*, **42**(1/2), 373～379(2000).
6. Puznava, N., Zeghal, S., and Reddet, E., "Simple control strategies of methanol dosing for post-denitrification," *Water Sci. Technol.*, **38**(3), 291～297(1998).
7. Mohseni-Bandpi, A., Elliott, D. J., and Momeny-Mazdeh, A., "Denitrification of groundwater using acetic acid as a carbon source," *Water Sci. Technol.*, **40**(2), 53～59 (1999).
8. 임성일, 이병헌, 이창근, 강성재, "음식물쓰레기의 산발효을 이용한 고도 하수처리시 외부탄소원으로의 적용성 검토," 수처리기술, **10**(1), 21～30(2002).
9. 서인석, 이상일, 김병군, 박승국, "음식물 쓰레기의 발효 및 탈질, 탈인 공정에 외부탄소원으로 활용," 한국물환경학회지, **17**(2), 261~271(2001).
10. 이종현, 고은옥, 김미화, 박태주, "ICBR 공법을 이용한 고농도 폐수의 C/N비와 내부반송율이 질소제거에 미치는 영향," 대한환경공학회지, **21**(8), 1529～1536,(1999).
11. Funamizu, N., Miyake, T., Takakuwa, T., "Effect of variations in flow rate and concentrations of influent on the nitrogen removal performance of the aerobic-anoxic-anaerobic process," *Water Sci. Technol.*, **42**(3/4), 35～41(2000).
12. Mauret, M., Ferrand, F., Boisdon, V., Sperando, M., Paul, E., "Process using DO and ORP signals for biological nitrification and denitrification : validation of a food-processing industry wastewater treatment plant on boosting with pure oxygen," *Water Sci. Technol.*, **44**(2/3), 163～170(2001).
13. Hem, L. J., Rusten, B., Hallvard, O., "Nitrification in a moving bed biofilm reactor", *Water Res.*, **28**(6), 1425～1433(1994).
14. Hiraishi, A., Masamune, K., and Kitamura, H., "Characterization of the bacteriol population structure in an anaerobic-aerobic activated sludge on the basis of respiratory quinone profiles," *Applied and Environmental Microbiology*, **55**(4), 897～901(1989).
15. APHA, AWWA and WPCF, "Standard methods for the examination of water and wastewater," 20th Ed., Washington, D.C., U.S.A.(1998).