

유입수를 탄소원으로 이용한 CNR공법의 질소, 인의 제거특성

김영규 · 김인배 * · 이영준 **

용인대학교 환경보건학과
* 환경대학교 환경공학과
** 국립환경연구원 수질연구부

The Nitrogen and Phosphorus Removal of Municipal Wastewater with CNR Process using Influent as a Carbon Source

Young Gyn Kom, In Bae Kim * and Young Joon Lee **

Dept. of Environmental Health, Yong-In University

*Dept. of Environmental Engineering, Han-Kyong National University

**Water Quality Research Department, National Institute of Environmental Research

(Received 10 August 2001 ; Accepted 8 September 2001)

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate on the removal effect of total nitrogen and phosphorus in municipal wastewater by decreasing hydraulic retention time(HRT) from 6 hour to 4 hour on CNR process using influent as a Carbon Source. CNR(Cilium Nutrient Removal) is the process combining A²/O process with cilium media of H2L corporation. The removal efficiencies for BOD₅, T-N and T-P were 81.1%, 61.4%, 61.4%, respectively. The removal efficiency of nitrogen and phosphorus were low by decreasing hydraulic retention time(HRT) from 6 hour to 4 hour on CNR process.

Keywords : nitrogen, HRT, CNR process, phosphorus

I. 서 론

우리나라의 하수처리장에 유입되는 BOD₅가 평균 100mg/ℓ로 질소에 비해 탄소원이 비율이 낮아 고도처리공법으로 전환시 탈질시키는 에너지원이 부족한 것이 문제가 되고 있다.¹⁾ 현재 질소, 인을 제거하기 위해 많이 사용하는 A²/O의 변형공법은 유입수의 탄소원이 많은 외국의 공법에 적당하며 유입수의 탄소원이 부족한 경우에는 혐기조에서 대부분의 유기물이 소모되어 무산소조에서 탄소원이 부족하게 된다.²⁾ 대부분의 하수처리장에서 가동되고 있는 활성슬러지 공법은 유입수의 부하조건에 처리효율의 변동이 심하며 SRT(미생물체류시간)가 짧고 호기조만 있어 탈질이 이루어지지 않아 질소의 처리에는 한계가 있다.³⁾ 또한 혐기조를 가지고 있지 않아 인의 용출과 호

기조에서의 인의 과잉섭취가 어려워 슬러지 제거에 의한 인의 제거가 용이하지 못하다. 담체를 이용하는 고정생물막법은 미생물체류시간이 길므로 성장속도가 느린 질산화균을 높은 농도로 유지할 수 있으며, 동시에 다양한 종류의 미생물이 담체에 부착 성장하므로 다양한 유기물을 제거할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 활성슬러지의 용적을 그대로 유지하면서 호기조에 비표면적이 넓은 섬모상담체를 넣어 짧은 수리학적 체류시간에서도 미생물체류시간을 늘리고 질산화를 일으키고자 하였다. 또한 유입수를 혐기조와 무산소조에 넣어 무산소조의 탄소원을 보강한 Cilium Nutrient Removal(CNR)공법으로 수리학적 체류시간의 감소에 따른 질소와 인의 제거효율을 파악하고자 하였다.

II. 실험방법

1. 반응조에 유입하는 하수의 특성과 장치
1999년 3월 18일부터 9월 29일까지 실험기간 중

†Corresponding author : Department of Environmental Health, Yong-In University.
Tel : 031-330-2751, Fax : 031-330-2886
E-mail : ygkim11111@hanmail.net

유입원수는 장당초침처리수를 혐기조 70%, 무산소조 30%의 비율로 주입하였으며 내부반송은 1 Q, 외부반송은 0.5 Q를 유지하였다. 수리학적 체류시간(HRT)은 B-1, B-2, B-3공정은 각각 0.24, 0.21, 0.17일로 각각 약 6, 5, 4시간으로 체류시간을 감소시키며 운전하였다. 혐기조와 무산소조의 교반에는 가변모터의 교반기가 이용되었으며, 호기조에서는 산기식 포기기를 사용하여 산소를 공급하였다. 침전지는 고액분리가 용이하도록 원추형으로 제작하였으며 최종침전지의 체류시간은 약 3시간이었다. 유입수 주입과 슬러지 반송, 내부반송은 Pump를 사용하였으며 반응조의 재질은 철판을 사용하였다. 혐기조에서의 인방출, 무산소조에서의 탈질, 호기조에서의 질산화 및 인섭취 등의 여부를 알아보기 위해 pH, 용존산소 및 ORP전위계를 사용하였으며 각 반응조 말단 부분에 설치하여 검사하였다.

각 반응조의 용적을 보면 B 반응조의 용적은 혐기조가 0.03 m³, 무산소조가 0.095 m³, 폭기조는 0.134 m³으로 체류시간은 각각 0.7, 2.2, 3.1시간으로 총 6시간으로 하였다. 최종침전조는 0.108 m³. 체류시간이 2.6시간에 표면적부하가 5.09 m²/m³.d가 되게 하였다. 각 반응조들의 혐기조와 무산소조 그리고 호기성조는 baffle로 분리하였으며 반응조간의 흐름은 자연유하가 가능하도록 하였다. 혐기조와 무산소조는 완전혼합이 이루어지도록 약 20 rpm으로 교반을 시켰으며 호기성조는 산기식으로 포기하여 혼합시켜 주었다. 각 반응조에 충전한 담체는 포기조 벽과 (15 cm) 간격을 두고 담체와 담체의 간격은 (10~25 cm)를 두어 공기의 흐름을 원활히 하였다. 1톤 반응조의 섬모상담체의 충전율은 무산소조는 50×350×2개×2면=0.21 m²/m³, 호기조1은 50×350×4개×2면=0.14 m²/m³, 호기조2는 50×350

×4개×2면=0.14 m²/m³이었다.

2. 반응조의 운전조건

(주)H2L의 섬모상담체를 넣은 CNR 공법에 장당하수처리장의 최초침전지 처리수와 중침전조의 외부반송슬러지 0.5 Q를 혐기조로 유입하고 호기조 2단의 내부반송수를 무산소조에 유입한 B-1, B-2, B-3 반응조의 운전 조건을 보면, 혐기조에 유입된 원수의 TBOD₅의 부하량은 각각 0.08, 0.03, 0.05 kg BOD₅/d로 나타났고, TCODcr의 부하량은 0.15, 0.17, 0.13 kg TCODcr /d로 나타났다. BOD₅의 용적부하량은 각각 0.30, 0.1, 0.204 kg BOD/m³.d로 비교적 낮은 수치를 보였으며, T-N의 용적부하량은 각각 0.13, 0.08, 0.11 kg T-N/m³.d로 나타났으며, T-P 용적부하량은 각각 0.01, 0.01, 0.01 kg T-P/m³.d로 나타났다. BOD₅의 F/M는 각각 0.06, 0.05, 0.26이며, SCODcr의 F/M는 각각 0.09, 0.08, 0.43로 나타났다. SCODcr/TKN비인 C/N 비는 2.61, 3.08, 2.69 이고, TCODcr/T-N비는 4.07, 5.84, 4.92 로 낮게 나타났다. 수리학적 체류시간(HRT)은 각각 0.24, 0.21, 0.17일, MLSS에 대한 슬러지 체류시간(SRT)은 각각 22.15, 16.10, 14.56일로 나타났다.

III. 결과 및 고찰

1. CNR공법의 처리효율

운전기간동안의 BOD₅ 제거효율을 보면 Table 1과 같이 체류시간이 6시간인 B-1 공정의 유입수는 62.5 mg/l, 처리수는 12.7 mg/l로 79.7%, 체류시간이 5시간인 B-2 공정의 유입수는 26.4 mg/l, 처리수는 5.0 mg/l로 81.1%, 체류시간이 4시간인 B-3 공정의 유입수는 33.9 mg/l, 처리수는 18.1 mg/l로 46.8%의 처리효율을 나타냈다. TKN 제거효율은 체류시간이 6시간인 B-1 공정의 유입수는 27.3 mg/l, 처리수는 5.17 mg/l로 81.1%, 체류시간이 5시간인 B-2 공정의 유입수는 16.3 mg/l, 처리수는 1.75 mg/l로 88.6%, 체류시간이 4시간인 B-3 공정의 유입수는 18.1 mg/l, 처리수는 5.1 mg/l로 71.6%의 처리효율을 나타내 체류시간이 4시간으로 감소함에 따라 질산화효율이 감소하는 것으로 나타났다. CNR공법의 체류시간이 4시간에서도 질산화가 71.6%로 높은 것은 박동의 연구⁴⁾에서처럼 담체를 사용한 생물막공법이 질산화에 유리하다는 연구와 일치한다고 볼 수 있다. T-N 제거효율은 B-1 공정

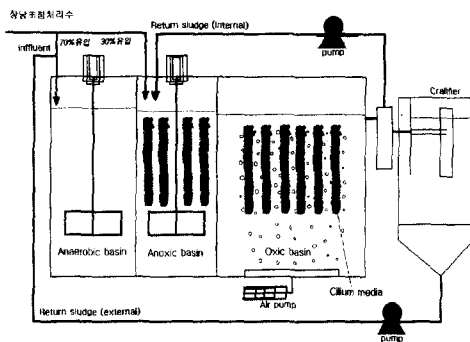


Fig. 1. Schematic of CNR process.

Table 1. Removal efficiency for CNR process

Items	Reactor			
		B-1	B-2	B-3
BOD ₅	Influent	62.54	26.43	33.98
	Effluent	12.72	5.00	18.09
	Removal(%)	79.66	81.07	46.76
TKN	Influent	27.31	16.27	18.05
	Effluent	5.17	1.75	5.10
	Removal(%)	81.06	88.62	71.64
TN	Influent	30.58	17.32	18.65
	Effluent	11.80	12.55	11.27
	Removal(%)	61.43	24.41	39.17
TP	Influent	3.16	2.98	1.96
	Effluent	1.63	1.35	1.47
	Removal(%)	41.64	54.51	24.91

의 유입수는 30.6 mg/ℓ, 처리수는 11.8 mg/ℓ로 61.4%, B-2 공정의 유입수는 17.3 mg/ℓ, 처리수는 12.55 mg/ℓ로 24.4%, B-3 공정의 유입수는 18.7 mg/ℓ, 처리수는 11.3 mg/ℓ로 39.2%의 처리효율을 나타내 체류시간이 감소함에 따라 질소 제거율도 감소하는 것으로 나타났다. 윤등⁵⁾의 연구에서도 HRT를 8시간으로 운전한 반응기의 TIN 제거효율은 각각 39.5~46.7%, HRT를 12 hr~24 hr로 운전한 경우는 TIN 제거효율이 평균 75%정도로 높아 체류시간이 증가할수록 T-N의 제거효율이 증가한다고 하였다. 이등⁶⁾의 연구에서도 수리학적 체류시간인 HRT 3.5시간으로 줄이면 유출수의 NH₃-N이 높아진 연구와도 비슷하였다. 김등의 연구⁷⁾에서도 섬모상담체를 사용한 공법으로 유기물의 함량이 낮은 경우에는 반응조의 전체 체류시간 4시간에서도 질산화가 진행되었다고 하였다. 박등의 연구⁴⁾에서는 섬모상담체를 사용한 A²O공법이 담체를 사용하지 않은 A²O공법보다 질소의 처리효율이 높다고 하여 담체를 사용한 생물막공법이 질산화에 유리한 것으로 보고하였다. T-P의 제거효율을 보면 B-1 공정의 유입수는 3.16 mg/ℓ, 처리수는 1.63 mg/ℓ로 61.4%, B-2 공정의 유입수는 2.98 mg/ℓ, 처리수는 1.35 mg/ℓ로 54.5%, B-3 공정의 유입수는 1.96 mg/ℓ, 처리수는 1.47 mg/ℓ로 24.9%의 처리효율을 나타냈다. 이등⁸⁾의 연구에 의하면 HRT가 10시간에서 3.5시간으로 감소됨에 따라 인 제거효율이 39.4%에서 20.5%로 감소하였다. 이는 반응조 내 매디아에 부착된 미생물의 SRT가 부유상공법에 비해 길었고 생물막 공정정의 특성상 생물막 저부에 위치한 혐기성영역의 발생으로 인해 호기성 반응조에서 충분한 인의 제거가 일어나지 않았기 때문으로

평가하였다.

2. 질산화와 탈질화

B-1, B-2, B-3공정에서 외부반송을 고려한 혐기조의 일별 탈질량은 0.68, 5.13, 0.01, g · NO₃-N/d로 체류시간이 5시간일 때 탈질량이 가장 많았으며 무산소조에서 소모된 일별 탈질량 각각 3.20, 4.12, 5.72, g · NO₃-N/d로 혐기조는 체류시간이 5시간, 무산소조는 4시간 일 때의 탈질량이 가장 크게 나타났다. 외부반송을 고려한 무산소조에서 소모된 g · NO₃-N/g MLVSS.d의 비탈질율은 각각 0.018, 0.031, 0.067으로 나타나 체류시간이 4시간에 비탈질율이 큰 것으로 나타났다. 체류시간이 4시간인 B-3공정의 비탈질율이 체류시간이 5시간인 B-2공정의 비탈질율보다 높게 나타나 적정의 F/M에서는 혐기조에서 탈질에 필요한 시간이 크지 않은 것으로 나타났다. 무산소조의 용적당 탈질율은 각각 33.4, 43.0, 59.8 mg · NO₃-N_{removed}/m³.d으로 나타났다. 용적당 제거된 g · NH₃-N/m³.d을 보면 호기조 1단은 11.1, 6.50, 12.3이며 호기조 2단은 4.21, 0.62, 5.30로 나타나 호기조 1단이 호기조 2단보다 질산화가 크고 체류시간이 4시간으로 감소하여도 질산화율은 줄어들지 않는 것으로 나타났다. 용적당 생산된 g · NO₃-N/m³.d을 보면 호기조 1단은 4.83, 6.3, 8.8이며 호기조 2단은 2.96, 0.62, 5.3로 호기조 1단은 용적당 질산화율은 체류시간이 4시간으로 감소할수록 증가하는 것으로 나타나고 있다. 용적당 제거된 g · NH₃-N/m³.d가 용적당 생산된 g · NO₃-N/m³.d보다 큰 것은 이등⁸⁾의 연구처럼 이것은 체류시간이 6시간일 경우 호기조 1단의 제거된 암모니아성 질소의 일부가 미생물의 동화작용으로 제거되었기 때문으로

Table 2. Design factor with reactor condition for CNR process

Reactor		B-1	B-2	B-3
Items	Denitrification of consideration external sludge in anaerobic basin (g · NO ₃ -N _{removed} /d)	0.63	5.13	0.01
	Denitrification of consideration external sludge in anoxic basin (g · NO ₃ -N _{removed} /d)	3.20	4.12	5.72
Items	Specific denitrification of consideration external sludge in anoxic basin (g · NO ₃ -N _{removed} /g · MLVSS · d)	0.018	0.031	0.067
	Denitrification of volumetric in anoxic basin (g · NO ₃ -N _{removed} × 1000m ³ .d)	33.4	43.0	59.8
g · NO ₃ -N _{produced} /m ³ .d	Oxic-1	4.83	6.3	8.8
	Oxic-2	2.96	2.5	5.9
g · NO ₃ -N _{removed} /m ³ .d	Oxic-1	11.1	6.50	12.3
	Oxic-2	4.21	0.62	5.30

보인다.

3. 인의 방출 및 섭취

B-1, B-2, B-3공정에서 혐기조의 일당 방출된 g · PO₄-P/d는 각각 0.64, 0.03, 0.06, 이며, 무산소조의 일당 방출된 g · PO₄-P/d는 각각 0.19, 0.01, 0.03으로 나타나 6시간의 체류시간에서 가장 많은 인 용출이 되고 있으며, 혐기조의 g · MLVSS당 방출된 g · PO₄-P는 각각 0.01, 0.0005, 0.0019이며, 무산소조의 g · MLVSS당 방출된 g · PO₄-P는 각각 0.0021, 0.00009, 0.0004으로 나타나 혐기조에서 방출된 일당 g · PO₄-P와 같이 체류시간이 6시간 일 때 가장 크게 나타났다. 호기조 1단의 일당 섭취한 g · PO₄-P/d는 각각 0.387, 0.019, 0.058이고, 호기조 2단의 일당 섭취한 g · PO₄-P/d는 각각 0.356, 0.003, 0.010으로 나타났다. 호기조 1의 g · MLVSS당 섭취한 g · PO₄-P는 각각 0.0034, 0.00020,

0.0009이고, 호기조 2의 g · MLVSS당 섭취한 g · PO₄-P는 각각 0.0039, 0.00003, 0.00013으로 나타났다. 혐기조의 방출된 인이 많은 6시간의 체류시간에 인의 섭취가 큰 것으로 나타났다.

IV. 결 론

하수처리장 최종침전지의 처리수를 혐기조와 무산소조에 7:3의 비율로 주입하고 호기조에 고정상 섬모상담체를 넣은 CNR(Cilium Nutrient Removal) 공법으로 체류시간을 감소시키면서 유기물, 질소와 인의 처리능력과 공정인자를 파악하고자 하였다. 체류시간이 5시간인 공정의 처리수 BOD₅농도가 5.0 mg/ℓ로 81.1%의 처리효율을 나타냈으며 질산화효율은 체류시간이 6시간에서 81.1%, 체류시간이 4시간에서 71.6%로 체류시간이 4시간으로 감소함에 따라 질산화효율이 감소하는 것으로 나타났다. 체류시간이 6

Table 3. Design factor of release and uptake PO₄-P for CNR process

Reactor		B-1	B-2	B-3
Items	g · PO ₄ -P _{released} /d			
	Anaerobic	0.64	0.03	0.06
g · PO ₄ -P _{released} /g · MLVSS · d	Anoxic	0.19	0.01	0.03
	Anaerobic	0.01	0.00053	0.0019
g · PO ₄ -P _{uptaked} /d	Anoxic	0.0021	0.00009	0.0004
	Oxic-1	0.387	0.019	0.058
g · PO ₄ -P _{uptaked} /g · MLVSS · d	Oxic-2	0.356	0.003	0.010
	Oxic-1	0.0034	0.00020	0.0009
g · PO ₄ -P _{uptaked} /g · MLVSS · d	Oxic-2	0.0039	0.0003	0.0001

시간에서 처리수의 T-N농도가 11.8 mg/ℓ 로 61.4%의 T-N 제거효율을 나타냈으며 T-P농도는 처리수는 1.63 mg/ℓ 로 61.4%의 처리효율을 나타냈다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 환경부에서 시행한 환경기술 연구개발사업의 연구비 지원에 의해 수행된 결과의 일부이며 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고 문헌

- 1) 김영규 : 장당하수처리장의 실시설계(수질조사 및 모형도 실험), 1-156, 삼안건설기술공사, 1999.
- 2) 김영규 : 통복하수처리장의 실시설계를 위한 생분해 실험, 1-128, 동명기술공단, 1999.
- 3) 양병수, 박남배, 이재관 : 질소 및 인 제거를 위한

기존 폐수처리장 개선방안에 관한 연구, KSWPRC, 6(1), 50-60, 1990.

- 4) 박태진, 김영규, 정문호 : A²O공정에서의 섬모상담체 사용유무에 따른 하수의 질소, 인제거에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 26(3), 69-75, 2000.
- 5) 윤조희 · 이상훈 : A²O공정을 이용한 생물막법에서 수리학적 체류시간변화에 따른 유기물과 질소 제거 특성, 한국물환경학회지, 15(2),
- 6) 이종현 송석룡, 박태주, “복합생물막 반응기를 이용한 하수처리시 인 제거 특성”, 한국물환경학회지, 14(2), 129-136, 1997.
- 7) 김영규, 김인배, 양익배 : CNR공법의 체류시간에 따른 도시하수의 질소제거, 한국환경위생학회지, 26(3), 98-102, 2000.
- 8) 이규훈, 이종현, 송석룡, 박태주 : 복합생물막 반응기를 이용한 합성폐수처리시 질산화 특성, J. KSEE, 19(2), 1510-1514, 1997.