한국환경위생학회지, 제27권 제1호(2001)
Kor. J. Env. Hlth. Soc., Vol. 27, No. 1, pp 112~118(2001)

섬모상담체를 이용한 혐기, 무산소, 호기공정(CNR공법)의 온도변화에 따른 하수의 질소, 인의 제거특성

김영규† · 양익배* · 김인배** · 이영준***
용인대학교 환경보건학과
*(주)H2L
**한경대학교 환경공학과
***국립환경연구원 수질연구부

Nitrogen and Phosphorus Removal of Municipal Wastewater with Temperature in CNR Process

Young Gyu Kim†, Ik Bae Yang*, In Bae Kim and Young Joon Lee*****
Dept. of Environmental Health, Yong-In University
**H2L Corporation*
***Dept. of Environmental Engineering, Han-Kyong National University*
****Water Quality Reasearch Department, National Institute of Environmental Research*
(Received 30 January 2001 ; Accepted 20 February 2001)

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate on the removal effect of total nitrogen and phosphorus in municipal wastewater with temperature change from 10°C to 24°C in CNR(Cilia Nutrient Removal) process. CNR process is the process combining A^2/O process with cilium media of H2L company. The removal efficiencies for T-N were found to be 57.9% at 10°C below, 53.7% at 10-20°C, 52.2% at 20-24°C and 44.4% over 24°C, respectively. The removal efficiencies for T-P were 53.3% at 10°C below, 59.1% at 10-20°C, 72.4% at 20-24°C and 50.0% over 24°C respectively. The specific nitrification rate (kg NH_3-N/kg MLSS.d) of Oxic basin was 0.088, and 0.053 at 10°C below, 0.077 at 10-20°C, 0.097 at 20-24°C and 0.088 over 24°C respectively. The specific denitrification rate (kg NO_3/kg MLSS.d) in anaerobic and anoxic was 0.013, 0.008 respectively.

Keywords : CNR process, Nitrogen, Phosphorus, Denitrification, Nitrification

I. 서 론

기존의 활성슬러지공정은 $TBOD_5$등의 유기물제거에는 효과적이나 질소와 인의 제거에는 한계를 가지고 있다. 기존의 활성슬러지공정으로 질산화되어 방류되는 경우 조류의 먹이원으로 작용하여 호소수의 부영양화이 원인이 되며 조류의 발생등의 문제점을 야기시키고 있다. 우리 나라 주요 호소의 대부분이 부영양화되어 있거나 진행 중이어서 공업용수, 상수원수등 용수원으로서의 가치를 상실하게 될 것으로 전망되므로 이에 대한 종합적이고 적극적인 대책마련이 절실하다. 이에 따라 하수종말처리시설 방류수의 질소, 인의 기준이 각각 10-20 mg/*l*, 1~2 mg/*l*으로 강화될 것으로 예상되어 활성슬러지 공법의 포기조를 질소, 인 제거 공법으로 변형하거나 신설되는 하수처리장은 질소,인의 제거 공법으로 설계되고 있는 실정이다.[1] 우리나라의 하수처리장에 유입되는 $TBOD_5$가 평균 100 mg/*l*로 질소에 비해 탄소원이 비율이 낮아 고도처리공법으로 전환시 탈질시키는 에너지원이 부족한 것이 문제가 되고 있다.[2,3] 질소와 인을 제거하기 위해서는 혐기조에서 인의 용출이, 무산소조에서는 탈질이, 호기조에서는 인의 과잉섭취와 질산화가 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서는 호기조에 섬모상담체를 넣어 담체에 부착된 질산화미생물에 의한 질산화를 촉진시키고 무산소조의 탈질시

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

간을 늘려 질소제거를 하도록 하였다. 본 연구에서는 (주)H2L의 고정상 섬모상담체를 넣은 CNR(Cilium Nutrient Removal)공법으로 유입수의 온도변화에 따라 질소와 인의 처리효율, 설계인자와 운전인자에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 반응조에 유입하는 하수의 특성과 장치

실험에 사용한 CNR공법의 모형반응조는 Fig. 1과 같이 50톤/일의 처리용량을 가진 반응조로 혐기조, 무산소조, 호기조로 구성되고 호기조에 H2L(주)의 섬모상 담체를 넣은 CNR 공법에 G 하수처리장의 최초침전지 처리수를 거친 유입원수를 혐기조와 무산소조에 배분하여 넣고 종침조의 외부반송슬러지 0.5Q를 혐기조로 호기조 2단의 내부반송수를 무산소조에 유입하면서 온도별에 따른 질소, 인의 제거효율과 처리특성을 파악하기 위하여 2000년 1월부터 2000년 8월 30일까지 실험을 하였다. CNR 공법으로 운전한 유입원수는 온도별로 구분하여 1월 18일부터 3월 11일까지는 10℃이하, 3월 12일부터 5월 23일까지는 10~20℃, 5월 24일부터 7월 1일까지는 20~24℃, 7월 2일부터 8월 31일까지는 24℃이상으로 유입수를 1.5Q로 주어 반응조 체류시간을 4시간으로 하면서 실험을 하였다. 혐기조의 용량은 2.1 m^3으로 약 1시간, 무산소조의 용량은 4.1 m^3으로 약 2시간, 호기조는 2조로 나누어 총 6.2 m^3으로 약 3시간의 체류시간으로 전체 수리학적 체류시간(HRT)은 6시간으로 운전하였다. 질산화시간이 단축되어 탈질에 필요한 무산소조의 용적을 늘릴 수 있어 혐기조, 무산소조, 호기조의 용적을 1:2:3으로 하였다. 질산화를 충분히 시키기 위하여 호기조 1단의 용존산소(DO)는 3-4 mg/l를 유지하고 무산소조로 유입되는 호기조 2단은 DO를 약 2 mg/l로 유지하여 무산소조에 유입되는 DO 양을 줄이고자 하였다. 고정형으로 된 섬모상 담체는 폴리에틸렌과 폴리프로필렌 재질로 비표면적이 1,260 m^2/m^3이고 질산화를 고려하여 충진율은 1.5 m^2/m^3로 총 30 set(0.312 m^2/set)를 설치하였다. 설계인자와 운전인자를 얻기 위해 각 반응조의 온도, pH, DO, ORP, SV30은 매일 측정하였으며 $TBOD_5$, COD_{Mn}, T-N, T-P등은 일주일에 2회 분석하였으며 분석방법은 공해공정시험법[4]으로 하였다.

2. 유입원수의 특성

CNR 공법으로 운전한 유입원수의 오염부하량을 보면 Table 1과 같이 $TBOD_5$ 용적부하량(kg-$TBOD_5$/m^3.d)은 0.34, T-N의 용적부하량(kg T-N/m^3.d)은 0.103, T-P의 용적부하량(kg-T-P/m^3.d)은 0.01로 나타났다. 우리나라 하수처리장은 특히 10℃이하의 동절기에는 미생물의 성장이 느리므로 포기조내 적정의 MLSS를 유지하기 위해 폐기되는 슬러지량을 줄이므로써 슬러지체류시간이 증가하여 처리수에 슬러지가 부상하며 질소, 인이 처리되지 않는 경우가 발생하고 있다. 따라서 질산화가 잘 일어나지 않는 10℃이하의 온도와 설계에 주로 반영하는 10~20℃에서의 유입원수의 특성과 운전조건에 따른 유기물, 질소와 인의 제거효율과 설계인자를 파악할 필요가 있다. 10℃이하, 10~20℃, 20~

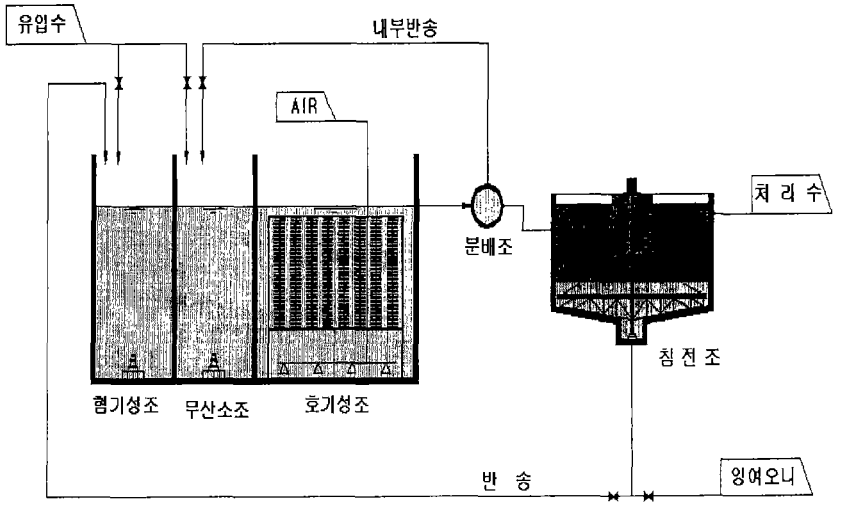

Fig. 1. Schematic of CNR process.

Table 1. Volumetric loading with temperature change

Volumetric loading \ Temperature		(low<10°C)	(10~20°C)	(20~24°C)	(24°C>high)
Volumetric loading	$TBOD_5$(kg BOD/m^3.d)	0.26	0.32	0.39	0.39
	T-N(kg T-N/m^3.d)	0.08	0.09	0.11	0.14
	T-P(kg T-P/m^3.d)	0.006	0.009	0.012	0.013

Table 2. F/M ratio and C/N ratio with temperature change

variables \ Temperature		(low<10°C)	(10~20°C)	(20~24°C)	(24°C>high)
F/M Ratio	(kg-$TBOD_5$/kg-MLSS.d)	0.069	0.089	0.114	0.147
	(kg-$TCOD_{Mn}$/kg-MLSS.d)	0.032	0.037	0.051	0.059
C/N (kg-$TCOD_{Mn}$/kg-TN)		1.50	1.58	1.58	0.95
SRT(day)		21.9	18.8	13.5	10.8

24°C, 24°C이상의 온도별에 따른 유입원수의 용적부하량을 보면 Table 1과 같이 $TBOD_5$의 용적부하량(kg-$TBOD_5$/m^3.d)은 각각 0.26, 0.32, 0.39, 0.39 kg-$TBOD_5$/m^3.d, T-N의 용적부하량(kg T-N/m^3.d)은 0.08, 0.09, 0.11, 0.14 kg-T-N/m^3.d, T-P의 용적부하량(kg-T-P/m^3.d)은 0.006, 0.009, 0.012, 0.013 kg-T-P/m^3.d로 낮게 나타났다.

$TBOD_5$의 F/M는 0.105 kg-$TBOD_5$/kg-MLSS.d, $TCOD_{Mn}$의 F/M는 0.045 kg-$TCOD_{Mn}$/kg-MLSS.d로 반응조에 유입되는 F/M비가 낮음을 알 수 있다. $TCOD_{Mn}$/T-N비로 표시한 C/N비는 1.41 kg-$TCOD_{Mn}$/kg-TN으로 낮게 운전되었다. 온도변화에 따른 유입원수의 $TBOD_5$의 F/M는 각각 0.069, 0.089, 0.114, 0.147 kg-$TBOD_5$/kg-MLSS.d, COD_{Mn}의 F/M는 각각 0.032, 0.037, 0.051, 0.059 kg-$TCOD_{Mn}$/kg-MLSS.d로 유입수의 유기물농도가 낮아 전체적으로 0.2이하로 낮게 유지되었다. 처리수의 SS를 고려하지 않은 전체반응조의 MLSS에 대한 슬러지체류시간(SRT)은 16.2일, 폭기조의 체류시간은 6.9일로 나타났으며 온도별로 보면 10°C 보다 낮은 경우는 21.9일, 10~20°C에서는 18.8일, 20~24°C에서는 13.5일, 24°C이상에서는 10.8일로 운전하였으며 동절기에 미생물의 성장이 느리므로 반응조의 MLSS를 높게 유지하고 폐기슬러지량을 줄였기 때문에 슬러지 체류시간이 증가하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 유기물의 처리효율

2000년 1월부터 8월까지 운전기간동안의 유입수의 $TBOD_5$를 보면 Table 3, Fig. 2와 같이 10°C이하의 온

Table 3. The removal efficiency of each variables in CNR process

variables \ Temperature		(low<10°C)	(10~20°C)	(20~24°C)	(24°C>high)
$TBOD_5$	Influent	64.0	78.9	94.7	64.3
	Effluent	6.0	7.8	5.6	9.1
	Removal%	90.7	90.1	94.1	85.9
SS	Influent	44.9	65.7	81.0	86.1
	Effluent	3.8	4.5	8.1	6.7
	Removal%	91.6	93.2	90.0	92.2
T-N	Influent	20.2	20.8	26.5	22.4
	Effluent	8.5	9.7	12.7	12.4
	Removal%	57.9	53.7	52.2	44.4
T-P	Influent	1.5	2.2	2.9	2.4
	Effluent	0.7	0.9	0.8	1.2
	Removal%	53.3	59.1	72.4	50.0

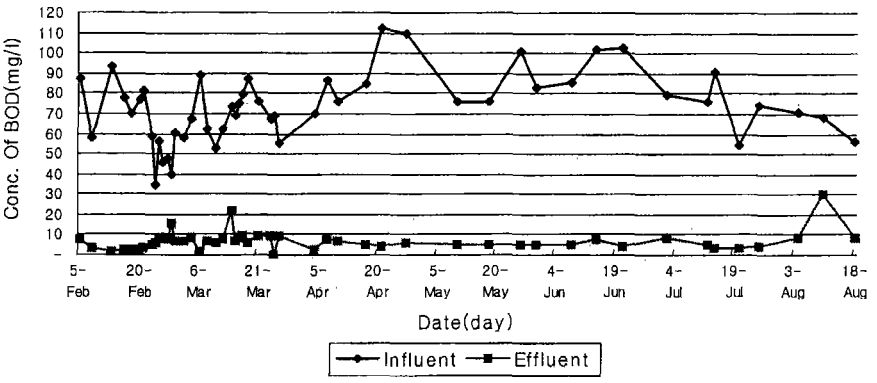

Fig. 2. The removal efficiency and concentration of $TBOD_5$.

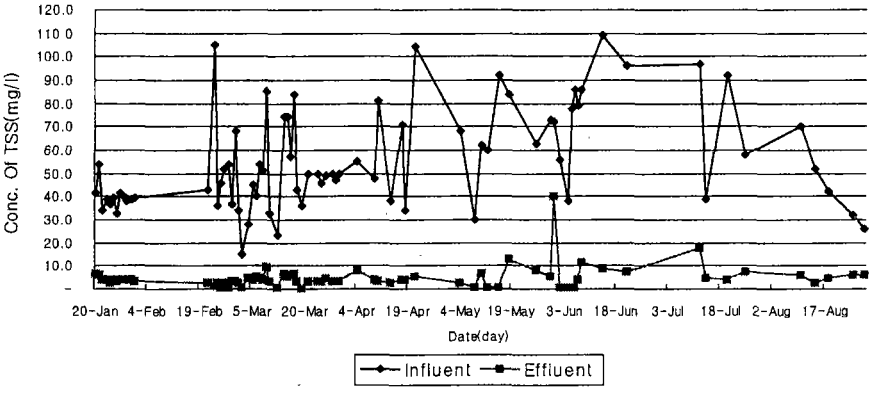

Fig. 3. The removal efficiency and concentration of SS.

도에서는 90.7%, 10-20°C에서는 90.1%, 20-24°C에서는 94.1%의 처리효율을 나타냈다. 1.5Q를 유입하여 체류시간을 4시간으로 한 공정에서는 7월의 처리효율이 93.4%를 나타냈으며 운전고장으로 인한 8월의 65.6%를 합하면 85.9%의 처리효율을 나타냈다. 처리수는 8월의 15.9 mg/l를 제외하면 8.6 mg/l로 처리수질기준인 20 mg/l를 초과하지 않는 것으로 나타났다. 운전기간동안의 TSS의 제거효율을 보면 Table 3, Fig. 3과 같이 10°C이하의 온도조건에서 유입수는 44.9 mg/l, 처리수는 3.8 mg/l로 91.6%의 처리효율을 10~20°C의 온도조건에서 유입수는 65.7 mg/l, 처리수는 4.5 mg/l로 93.2%의 처리효율을 20~24°C의 온도조건에서 유입수는 81.0 mg/l, 처리수는 8.1 mg/l로 90.0%의 처리효율을 나타냈으며 24°C이상인 경우에 유입수는 86.1 mg/l, 처리수는 6.7 mg/l로 92.2%의 처리효율을 나타내 대체로 온도와 유입되는 TSS농도에 관계없이 처리효율은 10 mg/l를 초과하지 않는 것으로 나타났다. 이등의 연구[5]에 의하면 미생물이 담체에 부착하여 성장하므로 슬러지 팽화현상이 없었으며 별도의 침전조를 설치하지 않았음에도 불구하고, 처리수는 대체로 맑은 상태로 유출되었고 잉여 슬러지 발생량도 실험초기를 제외하고는 거의 없이 배출시키지 않았다는 연구와도 일치하고 있었다.

2. 총질소의 제거효율

운전기간동안의 T-N 제거효율을 보면 Table 3, Fig 4와 같이 10°C이하의 온도조건에서 유입수는 20.2 mg/l, 처리수는 8.5 mg/l로 57.9%의 처리효율을 10~20°C의 온도조건에서 유입수는 20.8 mg/l, 처리수는 9.7 mg/l로 53.7%의 처리효율을 20~24°C의 온도조건에서 유입수는 26.5 mg/l, 처리수는 12.7 mg/l로 52.2%의 처리효율을 24°C이상인 경우에 유입수는 22.4 mg/l, 처리수는 12.4 mg/l로 44.4%의 처리효율을 나타냈다. 낮은 온도에서도 질소제거효율이 높은 것은 CNR공법이 섬모상담체를 사용하여 질산화미생물의 성장에 유리하기 때문으로 사료된다. 대부분의 하수처리장에서 가동되고 있는 활성슬러지 공법은 유입수의 부하조건에 처리효

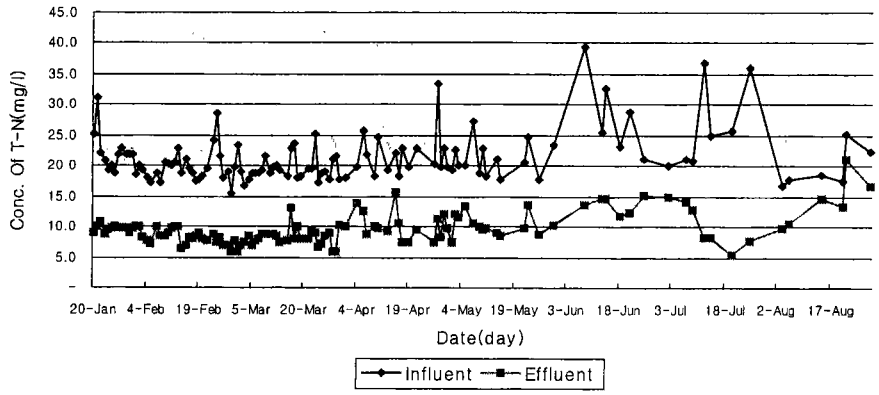

Fig. 4. The removal efficiency and concentration of T-N.

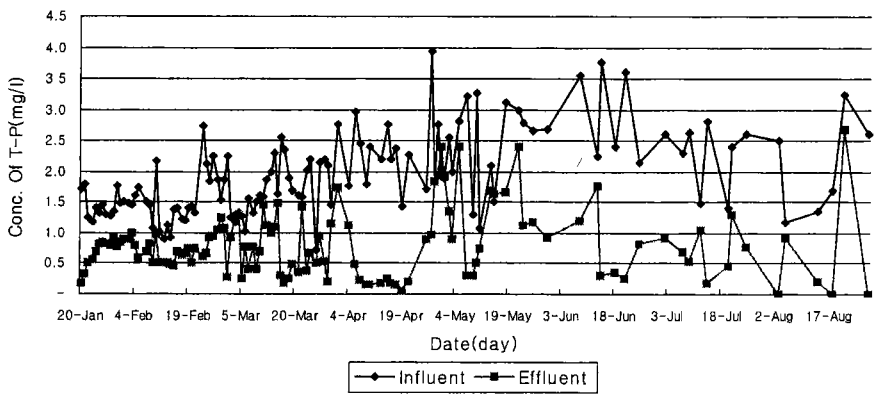

Fig. 5. The removal efficiency and concentration of T-P.

율의 변동이 심하며 SRT(슬러지 체류시간)가 짧고 호기조만 있어 탈질이 이루어지지 않아 질소의 처리에는 한계가 있다.[6] 본 실험은 호기조에서 충분한 SRT를 유지하며 질산화를 시키고 무산소조에서 탈질을 시키면서 질소를 제거하였다. $TCOD_{Mn}$/T-N비로 표시한 C/N비는 1.41로 낮게 운전하였으나 질소제거효율이 44.4%-57.9%로 C/N비가 1에서 연구한 윤등의 연구[7]에서 34-38%의 TIN제거효율을 나타낸 것에 비하면 높은 제거효율을 나타내고 있다. 김등의 연구[8]에서도 섬모상담체를 사용한 공법으로 유기물의 함량이 낮은 경우에는 반응조의 전체 체류시간 4시간에서도 질산화가 진행되었다고 하였다. 박등의 연구[9]에서는 섬모상담체를 사용한 A^2O공법이 담체를 사용하지 않은 A^2O공법보다 질소의 처리효율이 높다고 하여 담체를 사용한 생물막공법이 질산화에 유리한 것으로 보고하였다.

3. 총인의 제거효율

운전기간의 T-P의 제거효율을 보면 보면 Table 3, Fig. 5와 같이 10°C이하의 온도조건에서 유입수는 1.5 mg/*l*, 처리수는 1.1 mg/*l*로 53.3%의 처리효율을, 10~20°C의 온도조건에서 유입수는 2.2 mg/*l*, 처리수는 0.8 mg/*l*로 59.1%의 처리효율을, 20~24°C온도조건에서 유입수는 2.9 mg/*l*, 처리수는 0.8 mg/*l*로 72.4%의 처리효율을, 24°C이상인 경우에는 유입수는 2.4 mg/*l*, 처리수는 1.2 mg/*l*로 50.0%의 처리효율을 나타냈다. Fig. 6과 같이 10~20°C, 20~24°C온도조건에서는 혐기조에서 인의 용출현상을 호기조에서는 인의 섭취현상을 나타냈으나 10°C이하의 온도조건에서는 혐기조의 인용출과 호기조의 인 섭취현상이 적게 나타났다. 이는 혐기조로 유입되는 외부반송슬러지의 NO_3-N을 탈질화시키는데 유기탄소원이 소모되어 인의 용출이 적게 나타난 것으로 보인다. 처리수 인의 농도변화를 보면 Fig. 5와 같이 체류시간을 6시간으로 운전한 20°C까지의 운전기간동안 펌프의 고장등에 의한 경우를 제외하면 대부분 2 mg/*l* 이하를 유지하였다. G 하수처리장의 유입수에는 분뇨가 간헐적으로 유입되어 운전조건이 어렵고 동절

기임에도 인 제거능력이 높게 나타난 것은 혐기조에서 유입수보다 2-5배의 인이 용출되고 호기조에서 인 과잉흡수현상이 잘 이루어졌기 때문이다. 이는 A^2O공정에서 안등의 연구[10]에서 혐기조에서 유입수보다 2배의 인이 용출되었다는 연구와 일치하는 것으로 나타났다.

4. 분뇨가 유입되는 하수의 CNR공법에 의한 공정인자

분뇨가 유입되는 하수를 CNR공법으로 운전한 실험기간동안 외부반송을 고려하지 않은 혐기조의 총비탈질율(kg-NO_3-N/kg-MLSS.d)은 0.013이며 무산소조의 총비탈질율(kg-NO_3-N/kg-MLSS.d)은 0.008로 나타났다. 혐기조의 비탈질율이 무산소조의 비탈질율보다 높은 것으로 나타난 것은 유입된 하수의 탄소원이 혐기조로 유입된 외부반송슬러지의 질산성질소를 탈질시키는 에너지원으로 사용되어 무산소조의 탄소원이 부족했기 때문으로 보인다. 온도변화에 따른 혐기조의 비탈질율(kg-NO_3-N/kg-MLSS.d)을 보면 Table 4와 같이 10℃보다 낮은 경우는 0.021, 10~20℃에서는 0.012, 20~24℃에서는 0.002, 24℃이상에서는 0.018로 나타났으며 무산소조의 비탈질율(kg-NO_3-N/kg-MLSS.d)은 각각 0.005, 0.009, 0.010, 0.008으로 나타났다. 혐기조에 유입되는 외부반송수의 질산성질소가 제거하면서 유기탄소원이 소모되어 무산소조로 유입되는 질산성질소를 제거하는데 필요한 유기탄소원이 부족하기 때문에 무산소조의 비탈질율이 혐기조의 비탈질율보다 낮은 것으로 나타났다. 호기조 전체에서 외부반송을 고려한 비질산화율(kg-NH_3-N/kg-MLSS.d)은 0.088로 나타났으며 온도변화에 따른 비질산화율(kg-NH_3-N/kg-MLSS.d)은 Table 4와 같이 각각 0.053, 0.077, 0.097, 0.088 kg-NH_3-N/kg-MLSS.d로 나타나 수리학적 체류시간(HRT)

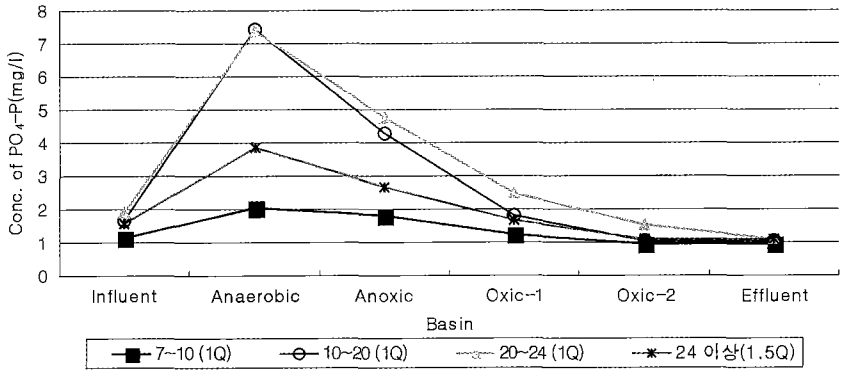

Fig. 6. The change of phosphorus concentration with temp. in each basin.

Table 4. Operational variables on the CNR process

Volumetric loading \ Temperature		(low<10℃)	(10~20℃)	(20~24℃)	(24℃>high)
Specific denitrifiction rate in anaerobic basin (removed-kg-NO_3-N/kg-MLVSS.d)		0.021	0.012	0.002	0.018
Specific denitrifiction rate in anoxic basin (removed-kg-NO_3-N/kg-MLVSS.d)		0.005	0.009	0.010	0.008
Specific nitrifiction rate in oxic basin (removed-kg-NH_3-N/kg-MLSS.d)		0.053	0.077	0.097	0.088
Substrate utilization rate(U value) (removed-kg-$TBOD_5$/kg-MLSS.d)		0.063	0.081	0.107	0.127
Substrate utilization rate(U value) (removed-kg-T-N/kg-MLSS.d)		0.013	0.013	0.02	0.033
Phosphorus release in anaerobic basin (kg-PO_4-P/kg-MLSS.d)		0.016	0.063	0.081	0.085
Phosphorus uptake in oxic basin (kg PO_4-P/kg-MLSS.d)	Oxic 1	0.005	0.029	0.02	0.033
	Oxic 2	0.001	0.009	0.013	0.001

6시간에서는 온도가 높을수록 비질산화율이 증가하는 것으로 나타났다. 우리나라 하수의 농도에서는 담체내의 높은 미생물과 반응조내 MLSS를 유지하면 동절기에도 질산화가 가능한 것으로 나타났다. 실험기간 동안 혐기조에서 kg-MLSS당 방출된 kg-PO_4-P는 0.061로 나타나 혐기조에서의 인의 방출현상이 뚜렷하게 나타났으며 무산소조에서는 인을 방출하지 않고 유기물을 섭식하는 과정에서 약간의 인을 흡수하는 것으로 나타났다. 온도변화에 따른 혐기조의 인 방출량(kg-PO_4-P/kg-MLSS.d)을 보면 Table 4와 같이 각각 0.016, 0.063, 0.081, 0.085로 나타나 온도가 증가할수록 인의 MLSS당 인의 방출이 큰 것으로 나타났다. 실험기간동안 호기조 1단과 호기조 2단의 인 섭취량((kg-PO_4-P/kg-MLSS.d)은 각각 0.022, 0.006로 호기조 1단이 호기조 2단보다 인의 흡수현상이 크게 나타났다. 온도변화에 따른 인 섭취량(kg-PO_4-P/kg-MLSS.d)을 보면 Table 4와 같이 호기조 1단에서는 0.005, 0.029, 0.02, 0.033으로 나타났으며 호기조 2단에서는 0.001, 0.009, 0.013, 0.001로 나타나 대체로 온도가 증가할수록 인의 흡수가 증가하는 것으로 나타났다.

IV. 결 론

H2L(주)의 섬모상담체를 넣은 CNR 공법에 G 하수처리장의 최초침전지 처리수를 거친 유입원수를 혐기조와 무산소조에 배분하여 넣고 종침조의 외부반송슬러지 0.5Q를 혐기조로 호기조 2단의 내부반송수를 무산소조에 유입하면서 온도별에 따른 질소, 인의 제거효율과 처리특성을 파악하기 위하여 2000년 1월부터 2000년 8월 30일까지 실험을 하였다. $TBOD_5$의 제거효율은 10℃이하의 온도에서는 90.7%, 10-20℃에서는 90.1%, 20-24℃에서는 94.1%, 유입수를 1.5Q로 유입하여 체류시간을 4시간으로 24℃ 이상에서는 85.9%의 처리효율을 나타냈다. T-N 제거효율을 보면 10℃이하에서 57.9%, 10～20℃에서 53.7%, 20～24℃에서 52.2%, 24℃이상에서 44.4%의 처리효율을 나타냈으며 섬모상생물막의 특성으로 질산화가 일어나고 분뇨유입으로 탄소원이 많아 동절기에도 질소제거효율이 높게 나타난 것으로 보인다. T-P의 제거효율을 보면 10℃이하에서 53.3%, 10～20℃에서 59.1%, 20～24℃에서 72.4%, 24℃이상에서 50.0%의 처리효율을 나타냈다. 동절기에도 인 제거능력이 높게 나타난 것은 혐기조에서 유입수보다 2-5배의 인이 용출되고 호기조에서의 인 과잉흡수현상이 잘 이루어졌기 때문이다. 외부반송을 고려하지 않은 혐기조의 비탈질율(kg-NO_3/kg-MLSS.d)은 0.013으로 무산소조의 비탈질율(kg-NO_3/kg-MLSS.d)인 0.008보다 높게 나타난 것은 혐기조로 유입된 외부반송슬러지의 질산성질소를 탈질시키는데 유입수의 탄소원이 소모되어 무산소조에 유비되는 질산성질소를 탈질시키는 탄소원이 부족했기 때문으로 보인다. 호기조 전체에서 외부반송을 고려한 비질산화율(kg-NH_3-N/kg-MLSS.d)은 0.088로 나타났으며 온도변화에 따른 비질산화율(kg-NH_3-N/kg-MLSS.d)은 각각 0.053, 0.077, 0.097, 0.088로 나타나 수리학적 체류시간(HRT) 6시간에서는 온도가 높을수록 비질산화율이 증가하는 것으로 나타났다. 혐기조의 인 방출현상이 호기조에서는 인의 흡수현상이 나타났으며 호기조 1단이 호기조 2단보다 인의 흡수현상이 크게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 환경부에서 시행한 환경기술연구개발사업의 연구비 지원에 의해 수행된 결과의 일부이며 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1) 김영규, 장덕진, 정문식, 김인배, 김민호, 양익배 : CNR공법을 이용한 기존하수처리장의 질소,인제거를 위한 상용화기술개발, 441-452, 국립환경연구원발표집, 2000.
2) 김영규 : 장당하수처리장의 실시설계(수질조사 및 모형도 실험), 1-156, 삼안건설기술공사, 1999.
3) 김영규 : 통복하수처리장의 실시설계를 위한 생분해 실험, 1-128, 동명기술공단, 1999.
4) 환경부 : 공해공정시험법, 115-189, 동화기술, 1996.
5) 이수구, 조영주, 이명호, 한종옥 : 섬유상 담체를 이용한 생물학적 폐수처리에 관한 연구, 대한환경공학회지, **17**(1), 53-63, 1995.
6) 양병수, 박남배, 이재관 : 질소 및 인 제거를 위한 기존 폐수처리장 개선방안에 관한 연구, KSWPRC, **6**(1), 50-60, 1990.
7) 윤조희, 이상훈 : A^2/O공정을 이용한 고정생물막법에서 C/N비 변화에 따른 유기물과 질소제거 특성, 한국물환경학회지, **15**(2), 1038-1045, 1999.
8) 김영규, 김인배, 양익배 : CNR공법의 체류시간에 따른 도시하수의 질소제거, 한국환경위생학회지, **26**(3), 98-102, 2000.
9) 박태진 외 5인 : A^2O공정에서의 섬모상담체 사용유무에 따른 하수의 질소,인제거에 관한 연구, 한국환경위생학회지, **26**(3), 69-75, 2000.
10) 안철우, 박진식, 문추연 : 하수중의 질소, 인제거를 위한 A^2O공정의 적용, 한국환경위생학회지, **24**(4), 9-14, 2000.