

Expanded Polystyrene(EPS) 여재를 이용한 BNR(Biological Nutrient Removal) 공정 개발

류홍덕[†] · 민경국* · 이정훈** · 최경영** · 임현은 · 김철환 · 이상일

충북대학교 공과대학 환경공학과 · *환경관리공단 상하수도지원처 · ** (주) 자연과 환경

(2005년 4월 7일 접수, 2005년 12월 29일 채택)

Development of BNR(Biological Nutrient Removal) Process Using Expanded Polystyrene(EPS) Media

Hong-Duck Ryu[†] · Kyung-Kook Min* · Jeong-Hun Lee** · Kyoung-Young Choi**

Heun-Eun Lim · Chul-Hwan Kim · Sang-Il Lee

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University

*Department of Water Supply and Sewage Management, Environmental Management Corp. · **Nature & Environmental Co., Ltd.

ABSTRACT : Biological nutrient removal(BNR) process used in this study, which was packed with EPS(expanded polystyrene) media, has more many advantages in aspect of reducing hydraulic retention time(HRT) of the process and having less effect of temperature in the winter season than commercial process in the present. Bench-scale study was performed using domestic wastewater. In the results, it was observed that the T-N removal efficiencies in HRT 6 hr and HRT 4 hr were 55% and 51%, respectively, showing the small reduction (about 4%) of T-N removal efficiency according to shortening of HRT. In comparison of T-N removal characteristic in summer and winter seasons, it showed that T-N removal efficiencies in summer and winter seasons were 65% and 54%, respectively, showing the 11% lower T-N removal efficiency in winter season than in summer season due to deterioration of nitrification in winter season. In the studies of influent loading rate and C/N ratio, the process showed stable effluent quality under the condition of broad influent loading rate and C/N ratio. Therefore, it is anticipated that the developed process in this study could be applicable to small wastewater treatment plant in nutrient removal.

Key Words : EPS, HRT, Temperature, Domestic Wastewater, Bench-Scale, Loading Rate, C/N Ratio

요약 : 본 연구에서 수행한 입상형의 발포 폴리스티렌을 이용한 고도처리 공정은 기존의 상용화되거나 개발중인 영양염류 처리공정에 비해 수리학적 체류시간을 상당히 줄일 수 있고 동절기에도 온도의 영향을 크게 받지 않는 장점을 가지고 있다. 도시하수를 이용하여 bench-scale 연구를 수행한 결과 T-N 제거효율의 경우 HRT 6 hr 및 4 hr에서 각각 약 55% 및 51%로서 HRT가 짧아졌을 때 단지 약 4%의 처리효율 감소가 관찰되었다. 온도 영향에 있어서 여름철과 겨울철의 T-N 제거효율을 비교해본 결과 T-N 제거 효율이 각각 약 65% 및 54%로 관찰되어 여름철에 비해 약 11% 더 높은 효율이 관찰되었으며 겨울철 효율저하는 주로 암모니아성 질소의 질산화가 원활이 이루어지지 않았기 때문인 것으로 관찰되었다. 유입부하 및 C/N 비에 관한 연구에서는 유량 및 농도의 변화가 심한 하·폐수 처리에 있어서도 안정된 처리수질을 확보할 수 있었으며, C/N 비가 감소에 따른 처리효율 저하가 크지 않음을 관찰 할 수 있었다. 따라서 본 개발 시스템을 기존의 중·소규모 하수처리장에 적용할 경우 유입수내의 유기물을 최대한 활용하여 영양염류를 처리할 수 있을 것이라 기대된다.

주제어 : 부상여재, 수리학적 체류시간, 온도, 도시하수, Bench-scale, 유입부하, C/N 비

1. 서론

국내에서 운영중인(2003년도 기준) 고도처리 시설 67개소의 질소 및 인처리 현황을 보면 낮은 제거효율을 나타내고 있다.¹⁾ 2004년 환경부 자료에 의하면 질소 및 인 처리현황은 유입수 및 유출수 평균 T-N 농도는 각각 28 mg/L 및 14 mg/L로서 제거효율은 약 51%이다. 또한 유입수 및 유출수

평균 T-P 농도는 각각 2.3 mg/L 및 1.4 mg/L로서 제거효율은 약 43%이었다. 따라서 질소 및 인 처리효율을 증진할 수 있는 고도처리공정의 개발이 시급하다. 또한, 유입수내의 유기물 부족으로 인한 질소처리의 어려움을 겪고 있다. 문헌 자료에 의하면 유출수의 NO₃-N 농도로 10 mg/L 이하로 처리하기 위해서는 유입수 C/N비(TCOD_{Cr}/TKN)가 10 이상이 되어야 한다.²⁾ 하지만 현재 국내 도시하수 유입수의 C/N비는 10보다 훨씬 낮은 상태에 있다. 따라서 낮은 C/N비에서도 질소 및 인 처리효율을 증진시킬 수 있는 기술이 요구되고 있다.

현재 유로 변경형 공법과 간헐폭기를 공정을 도입한 공법

[†] Corresponding author
E-mail: nanumenv@hanmail.net
Tel: 043-261-3667

Fax: 043-272-2469

으로는 국외의 경우 Bio-denipho(Kruger) 공법과 PID(Phased Isolation Ditch)공법이 있으며 상기 공법은 산소의 주입을 한 반응조에서 주기적으로 제어하여 반응조간의 흐름 방향을 바꾸고 반응조를 호기 혐기로 전환하는 공법으로 현재 실용화 되고 있다. 이 공정은 폐수의 흐름을 자주 제어하여 반응조를 부분적으로 SBR화하는 공법으로 간헐적으로 산소를 주입하여 혐기와 호기상태가 되도록 하는 처리공정이다. 그리고 dynamic state로 운영되기 때문에 폐수의 유입방향 조절과 반응조 내에서의 호기 혐기조절이 처리수질의 안정화에 중요하므로 유입수의 농도와 유량에 따른 조절방법에 대한 연구가 중요하다. 국내의 경우 유사한 공법으로는 Bio-denipho(Kruger)공법과 PID(Phased Isolation Ditch)공법의 변형된 시스템이 현재 상용화 되고 있으며 이들 기술은 간헐폭기 및 유로를 변경한 활성슬러지 시스템으로 운영하고 있다. 그러나 상기 기술들은 기존의 활성슬러지 공법을 사용하므로 체류시간 및 부지면적이 기존 공법에 비교시 큰 차이를 보이지 않는 것으로 사료되며 특히 유량 및 농도 변화, bulking의 문제, 슬러지 발생량, 질산화율, 슬러지 반송, 고농도 미생물 보유 등에서 여전히 문제점으로 지적된다.

본 연구에서는 기존 활성슬러지 공법의 문제점으로 지적되고 있는 상기 단점들을 보완하고자 개발된 공정에 간헐 및 유로변경, 생물막 공정 등을 도입하고자 한다. 상기 공법 중 유로변경과 간헐 공법의 장점만을 적용시 기존 활성슬러지 공법의 단점인 유량 및 농도 변화의 대응성, 수질의 안정성, 유지관리의 간편성 및 에너지를 절감할 수 있는 공법이 될 것으로 판단된다. 또한 부유 부상여재를 충진한 생물막 공정을 도입시 하폐수를 여재에 부착된 고농도 미생물로 처리하기 때문에 체류시간 단축, 질산화 촉진 및 슬러지 반송이 없고 슬러지 일령이 길어 슬러지 발생량을 최소화 할 수 있다. 그 외 침전조를 추가로 설치하지 않아 부지면적을 획기적으로 줄일 수 있으며 생물학적 분해작용과 물리적인 여과작용을 동시에 확보할 수 있어 bulking 문제가 없고 후처리설비를 추가적으로 설치하지 않아도 되는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 공법의 장점을 package화한 집약적인 질소 및 인 처리 공법을 개발하고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 도시하수의 성상

본 연구에 사용한 대상폐수로는 C시의 환경사업소로 유입 처리되는 도시하수를 이용하였다. 유입수의 낮은 C/N비에 따른 처리공정을 평가하기 위해 유입수 저장조에서 일시적으로 침전시킨 후 상등수가 유입되도록 하였다. 대상폐수의 성상은 Table 1과 같다.

2.2. 부상여재를 이용한 하, 폐수 처리 공정

Fig. 1은 본 실험에 사용된 실험장치로서 부상여재를 이용한 상향류식 시스템으로 세개의 반응조로 구성되어졌다. 각 반응조는 높이 2 m 20 cm, 직경은 하부 15 cm, 상부 22 cm

Table 1. Characteristics of domestic wastewater used in this study

Parameter	Concentration(mg/L)
TCOD _{Cr}	204.1±103.2*
SCOD _{Cr}	103.1±38.6
SCOD _{Cr} /TCOD _{Cr}	50.5
TSS	87.6±59.7
VSS	59.0±40.9
TKN	36.9±7.5
NH ₄ ⁺ -N	28.5±7.3
T-P	5.1±1.5
PO ₄ ³⁻ -P	2.7±0.9
TCOD _{Cr} /TKN	5.6
TCOD _{Cr} /T-P	38.8

* Standard Deviation

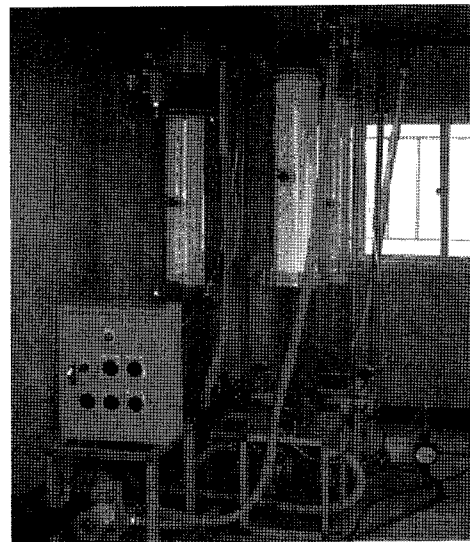


Fig. 1. Experimental apparatus of bench-scale used in this study.

의 투명 아크릴로 제작하여 여재를 충진하여 미생물을 부착하였다. 반응조의 총 부피는 약 75 L이며 그 중 약 40%를 비표면적이 약 2000 m²/m³ 이상, 직경이 2~3 mm인 입상형의 발포 폴리스티렌(EPS; Expanded Polystyrene) 여재로 충진하였다. 실험에 사용된 여재의 채원은 Table 2와 같다. 공기압축기를 이용한 공기주입은 타이머를 이용하여 조절하였으며 생물반응기로의 원수 유입과 처리수 방류 및 역세척 공정이 자동으로 제어될 수 있도록 실험 장치를 구성하였다. 유입수는 부유성 무기물질의 유입을 방지하고 낮은 C/N비로 유입시키기 위해 일정시간 정지된 하수가 유입되었다. 처리공정의 수리학적 체류시간(HRT)을 6 hr 및 4 hr으로 변화시켜 영향을 살펴보았으며 동절기 낮은 온도에서 TCOD_{Cr}, TSS, T-N 및 T-P의 영향을 검토하였다. 또한, 유입수의 유입부하에 대한 영향과 C/N비 및 C/P비에 따른 질소 및 인 처리효율을 검토하였다. 생물반응기는 연속으로 운전하는 경우 고품질 물질이 여재층에 축적되어 처리효율 저하에 영향을 주므로

주기적으로 역세척을 해주어야 하는데 역세척 주기는 24시간의 생물반응기 운전시간을 기준으로 제 1 반응조, 제 2 반응조 및 제 3 반응조를 2회/day씩 각 회당 약 20초간 수행하였다. 역세 방법은 반응조 상단에서 역세수를 강하게 주입하여 여재를 교란시키면서 반응조 하단의 드레인 관으로 역세수를 제거하는 과정에서 여재에 부착된 고형물 및 활성이 저하된 미생물이 탈리되게끔 하였다.

공정 운영은 Fig. 2와 같이 하였다. Mode A와 Mode B는 제 1 반응조와 제 2 반응조의 유로를 변경하여 dynamic state로 운전되었으며 이때 유로변경시간은 2시간으로 하였다. 제 1 반응조(R1)는 부유성 여재가 충전되어 폭기/비폭기(간헐폭기)로 운전되는 반응조로서 유입수가 유입되는 시기에는 비폭기가 이루어져 탈질반응 및 유기물 제거가 이루어진다(Mode A). 폭기시에는 질산화 반응 및 유기물 제거가 이루어지며 Mode B와 같이 운영된다. 제 2 반응조(R2)는 부유성 여재가 충전되어 폭기/비폭기(간헐폭기)로 운전되는 반응조이며 R1이 비폭기시 R2는 폭기로 운영되며 R1이 폭기시 R2는 비폭기로 운전된다. 이때 폭기가 되면서 호기성 조건이 이루어져 질산화 미생물에 의해 암모니아성 질소가 질산성 질소로 전환되는 질산화 반응이 일어난다. 비폭기시에는 무산소 조건이 이루어져 유입수의 유기물을 이용한 탈질반응이 일어난다(Mode B). 제 3 반응조(R3)는 부유성 여재가 충전되어 폭기/비폭기(간헐폭기)로 운전되는 반응조이며 R1 또는 R2가 폭기시 R3는 비폭기 또는 폭기로 운영된다. R1 또는 R2가 비폭기시 R3는 폭기 또는 비폭기로 운영된다. 따라서 R2는 질산화된 질소가 내생탈질산화 되며 잔존 유기물이 처리되는 반응조이다.

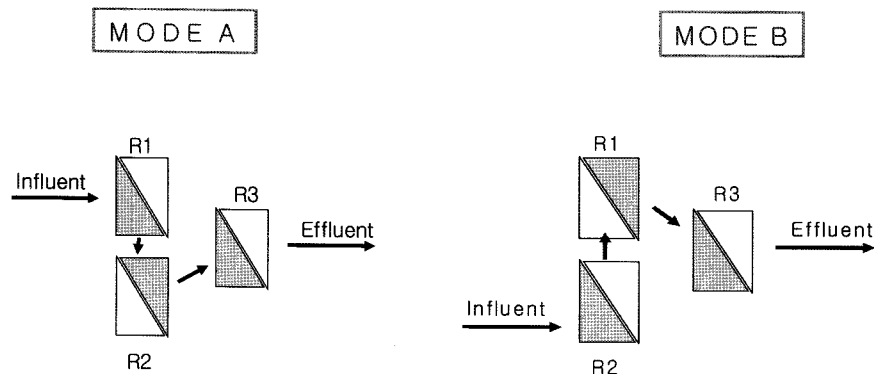


Fig. 2. Operation mode of wastewater treatment system.

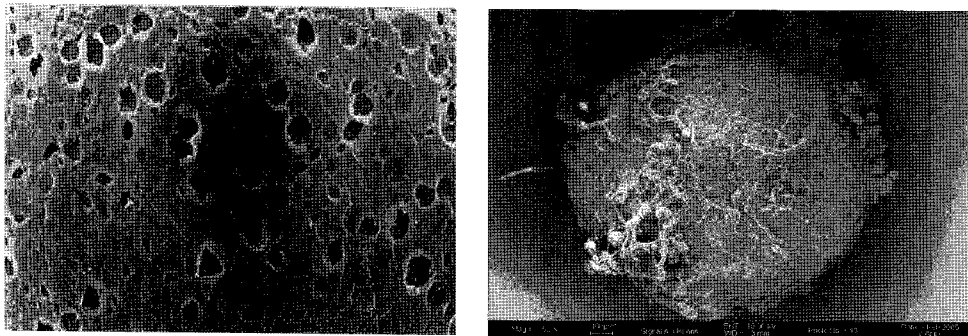


Fig. 3. SEM image of EPS media(left) and activated sludge attached on the EPS media(right).

Table 2. Specification of EPS(Expanded PolyStyrene)

Media shape	Granular
Media size(mm)	2 - 3
Media density(kg/m ³)	15
Media material	Expanded Polystyrene
Specific surface area(m ² /m ³)	> 2,000
Voidage(%)	33

EPS 여재 및 여재에 부착된 미생물의 형태는 Fig. 3과 같다. EPS 여재는 Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 표면이 울퉁불퉁한 형태로 되어 있어 미생물이 부착하기에 적합한 형태로 되어 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수리학적 체류시간의 영향

HRT 6 hr과 4 hr에서 유기물, 질소 및 인 제거특성을 Table 3에 나타내었다. HRT가 6 hr에서 4 hr으로 짧아짐에 따라 유기물, 질소 및 인 제거효율에는 큰 변화가 없는 것으로 관찰되었다. HRT 6 hr과 4 hr에서 TCOD 제거효율은 각각 약 87, 83%로 비교적 높게 관찰되었으며, SCOD 제거효율 역시 각각 약 82, 79%로 비슷한 것으로 나타났다. 총부유고형물 제거효율은 HRT 6 hr과 4 hr에서 각각 95, 94%로 매우 높은 제거효율을 관찰 할 수 있었다. 총부유고형물 제거효율이 높은 원인은 부상여재를 사용시 반응조 1, 2 및 3단을 거치면서 여재에 의해 생물학적 처리와 물리적 여과과정을

Table 3. Comparison of removal characteristics according to HRT

Items	HRT 6 hr			HRT 4 hr		
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal efficiency (%)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal efficiency (%)
TCOD _{Cr}	260.9	33.8	87.3	315.8	49.9	82.7
SCOD _{Cr}	128.1	22.5	82.3	133.7	26.0	79.4
TSS	109.7	4.9	95.4	165.1	9.5	93.8
T-N	39.3	17.8	54.8	43.7	21.4	51.0
NH ₄ ⁺ -N	28.9	5.9	79.7	36.2	10.7	70.3
NO ₃ ⁻ -N	-	6.6	-	-	3.5	-
T-P	5.5	2.1	61.8	6.7	2.6	59.8
C/N (TCOD _{Cr} /TKN)	5.9			7.4		
Average temperature	13 °C			13 °C		

거쳐 처리되기 때문인 것으로 사료된다. T-N 제거효율의 경우 HRT 6 hr과 HRT 4 hr에서 약 55, 51%로 비교적 효율이 낮게 관찰되었으나 HRT 짧아짐에 따른 T-N 제거 효율 역시 큰 변화가 없는 것으로 관찰되었다. T-N 제거 효율이 낮은 원인은 실험이 겨울철에 수행되어 암모니아성 제거효율이 낮았기 때문인 것으로 사료된다(실험기간동안 평균 온도는 약 13°C인 것으로 관찰되었다). HRT 6 hr과 4 hr에서 암모니아성 질소 제거효율은 각각 약 80, 70%로 비교적 낮게 관찰되었다.

전반적으로 유기물, 질소 및 인 제거효율에 있어 수리학적 체류시간이 6 hr에서 4 hr으로 짧아짐에 따라 제거효율의 변화가 크지 않은 것으로 나타났으며, 이는 본 연구에 사용한 공정이 EPS라는 부상여재를 사용한 부착성장 미생물을 이용한 공정이기 때문인 것으로 사료된다. 일반적으로 부착성장 미생물을 이용한 공정은 짧은 수리학적 체류시간에서도 높은 처리효율을 보이고 있음이 여러 문헌에서 보고되고 있다.³⁻¹⁰⁾

3.2. 온도의 영향

동절기 및 하절기에 반응조 운영시 반응조의 평균 온도는 각각 약 13°C 및 21°C로 관찰되었다. 동절기와 하절기때 유기물, 질소 및 인 제거특성을 관찰 한 결과 온도 변화에 따른 유기물, 질소 및 인 제거효율의 변화가 거의 없는 것으로 관찰되었다(Table 4). 동절기 및 하절기때의 TCOD 제거효율은 각각 약 86, 87%로 관찰되었으며, SCOD 제거효율은 각각 약 81, 85%로 관찰되었다. 총부유고형물(TSS) 제거효율은 동절기, 하절기때 모두 약 95%의 높은 제거효율을 보였다. T-N 제거효율의 경우 하절기때 약 65%, 동절기때 54% 제거효율이 관찰되어, 하절기때가 동절기때보다 약 11% 더 높은 제거효율을 보였다. 이는 동절기때와 하절기때의 암모니아성 질소 제거효율의 차이에 기인한 것으로 관찰되었다. 동절기때는 암모니아성 질소 제거효율이 약 75%인 반면 하절기때는 약 18% 더 높은 93%의 제거 효율이 관찰되었다.

Table 4. Comparison of removal characteristics according to temperature

Items	Winter season			Summer season		
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal efficiency (%)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal efficiency (%)
TCOD _{Cr}	278.6	37.2	86.3	220.2	30.8	87.1
SCOD _{Cr}	122.9	23.1	80.9	138.4	21.0	83.4
TSS	119.9	5.9	95.2	92.1	3.8	95.0
T-N	41.5	19.0	54.3	34.3	12.0	65.1
NH ₄ ⁺ -N	30.7	7.7	75.0	24.7	1.6	93.4
NO ₃ ⁻ -N	-	6.0	-	-	5.1	-
T-P	5.2	2.0	61.9	6.2	2.3	61.4
C/N (TCOD _{Cr} /TKN)	6.1			5.3		
HRT	6 hr			6 hr		
Average temperature	13 °C			21 °C		

전반적으로 유기물, 질소 및 인 제거효율에 있어 온도의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났으며, 이는 수리학적 체류시간의 영향에서와 마찬가지로 부착성장 미생물을 이용한 공정이 부유성장 미생물을 이용하는 공정에 비해 온도의 영향을 덜 받기 때문인 것으로 사료된다. 일반적으로 부착성장 미생물을 이용하는 공정은 부유성장 미생물을 이용하는 공정에 비해 낮은 온도에서도 처리가 잘 되는 것으로 알려져 있다.¹¹⁾

3.3. 유입 부하의 영향

유입부하의 영향은 수리학적 체류시간을 변화시키면서 관찰하였으며, 이때의 수리학적 체류시간은 HRT 6~4 hr 범위 하였다(Fig. 4). TCOD_{Cr} 부하율을 0.6~5.2 kg TCOD_{Cr}/m³·day로 변화시켜 운영하였을 때 유입 유기물부하가 증가함에 따른 처리효율 저하는 관찰되지 않았다. 유입부하가 증가함에 따라 유출수 TCOD_{Cr} 농도는 증가하였지만 TCOD_{Cr} 농도가 50 mg/L보다 더 높게 유출되지는 않았다. 특히 유입부하가 3.0 kg TCOD_{Cr}/m³·day 이상에서도 유출수 TCOD_{Cr} 농도는 증가하지 않아 부상여재에 의한 처리공정이 유입부하에 강함을 알 수 있었다. 본 공정의 유기물 제거효율이 유입부하가 크게 증가함에도 불구하고 높은 원인은 유기물처리 기작이 부상여재 자체에 의한 물리적인 여과작용과 부상여재에 부착된 미생물막에 의한 생물학적인 유기물 제거기작이 동시에 작용했기 때문인 것으로 사료된다.

TSS의 경우 TSS 부하율을 0.2~4.0 kg TSS/m³·day로 변화시켜 운영하였을 때 유입 부유물질부하가 증가함에 따라 평균 TSS 제거효율은 약 95%로 매우 높은 제거효율을 관찰할 수 있었으며, 유입부하가 증가함에 따른 처리효율 저하는 관찰되지 않았다. 또한, 유입부하가 증가함에 따라 유출수 TSS 농도는 증가하였지만 TSS 농도가 15.0 mg/L보다 더 높게 유출되지는 않았다. 특히 유입부하가 1.0 kg TCOD_{Cr}/m³·day 이상에서도 유출수 TSS 농도는 증가하지 않음을 알

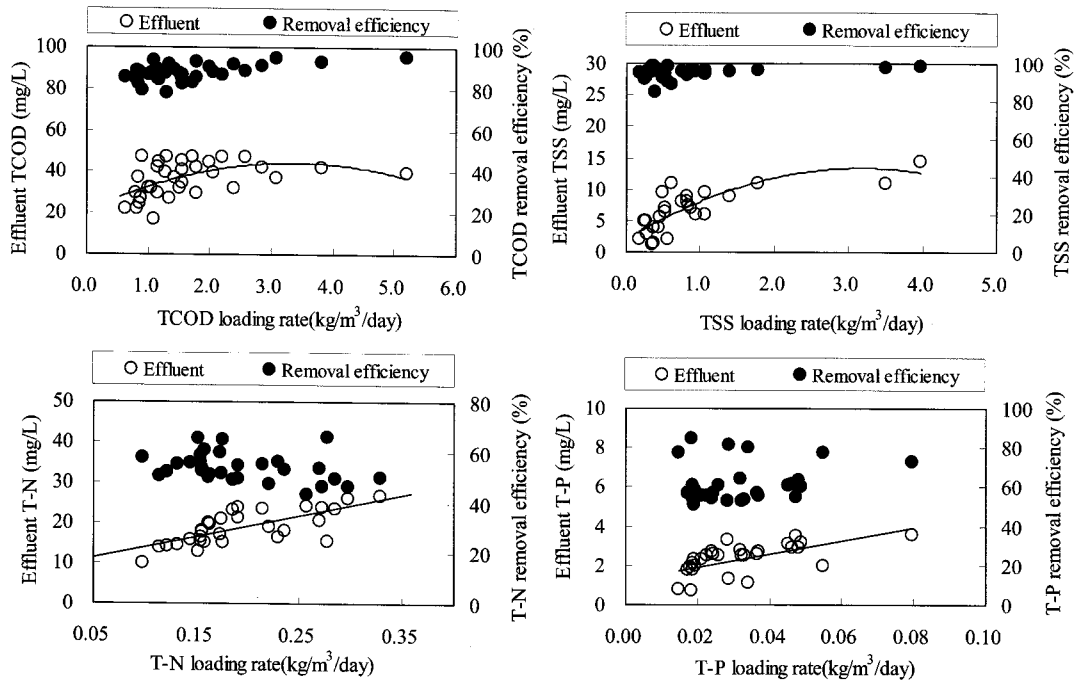


Fig. 4. Characteristics of TCOD, TSS, T-N and T-P removals according to influent loading rates.

수 있었다. 이는 부상여재의 여과작용에 의한 부유물질 처리 효율이 우수함을 알 수 있었다.

유입질소부하에 따른 질소제거의 영향은 T-N 부하율을 0.10~0.35 kg TN/m³·day로 변화시켜 운영되었을 때 유입 질소부하가 증가함에 따른 T-N 제거효율은 다소 감소함을 알 수 있었다. 또한 질소부하가 증가함에 따라 유출수 T-N 농도가 선형적으로 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. T-N 부하가 0.17 kg TN/m³·day 이상에서는 유출수 T-N 농도가 향후 강화될 기준인 20 mg/L 이상으로 유출됨을 관찰 할 수 있었다.

유입 인부하에 따른 인제거의 영향에 있어서는 T-P 부하율을 0.01~0.08 kg TP/m³·day로 변화시켜 운영되었을 때 유입 인부하가 증가함에 따라 T-P 제거효율 저하는 관찰되지 않았다. 하지만 인부하가 증가함에 따라 유출수 T-P 농도가 선형적으로 증가하는 것을 관찰할 수 있었다.

3.4. 질소 및 인 제거에 있어서 C/N 비 및 C/P의 영향

유입수 C/N비에 따른 질소처리 및 유입수 C/P비에 따른 인처리에 대한 영향을 관찰 하였으며, 이때 공정의 수리학적 체류시간은 6 hr으로 하였다. 유입수 C/N비에 따른 질소처리에 있어서, 유입수 TCOD_{Cr}/TKN 비가 4.0~7.5인 경우 유출수 T-N 농도, T-N 제거효율 및 유출수 NO₃⁻-N 농도는 Fig. 5에 나타낸 것과 같다. 유입수 TCOD_{Cr}/TKN 비가 증가함에 따라 T-N 제거효율은 큰 차이를 보이지 않았으며 평균 T-N 제거효율은 약 57%이었다. 이때 유출수 T-N 농도에 있어서도 큰 차이를 보이지 않았으며 유출수 평균 T-N 농도는 17.6 mg/L로서 향후 강화될 방류수 수질 기준인 20 mg/L보다 낮은 농도로 처리됨을 알 수 있었다. 하지만 유입수 TCOD_{Cr}/TKN비가 증가함에 따라 유출수 NO₃⁻-N 농도는 낮

아지는 경향을 나타냄으로써 C/N비가 증가함에 따라 탈질 효율은 증가하는 것으로 확인할 수 있었다.

유입수 C/P비에 따른 인처리 효율을 Fig. 6에 나타내었다. 유입수 TCOD_{Cr}/T-P비가 29~76인 경우 유입수 TCOD_{Cr}/T-P비가 증가함에 따라 T-P 제거효율은 큰 차이를 보이지 않았

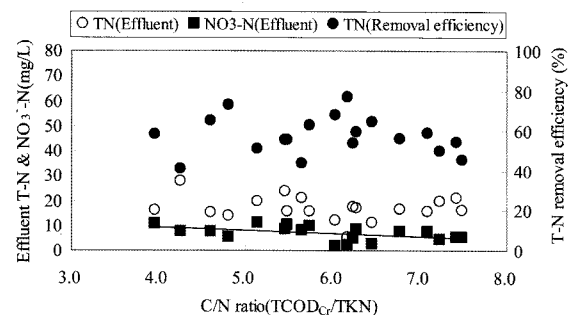


Fig. 5. Effluent T-N & NO₃⁻-N concentration and T-N removal efficiency in change of influent C/N(TCOD_{Cr}/TKN) ratio.

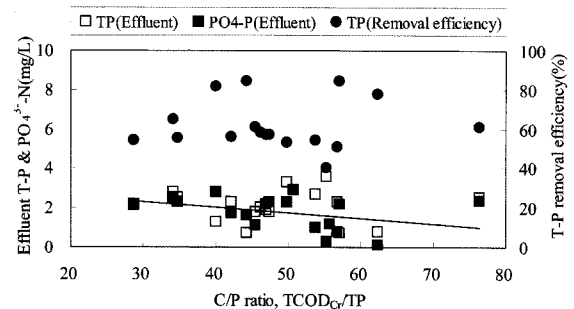


Fig. 6. Effluent T-P & PO₄³⁻-P concentration and T-P removal efficiency in change of influent C/P(TCOD_{Cr}/T-P) ratio.

으며 평균 T-P 제거효율은 약 62%로 관찰되었다. 이때 유출수 T-P 농도에 있어서도 큰 차이를 보이지 않았으며 유출수 평균 T-P 농도는 2.1 mg/L이었다. 하지만 유입수 TCOD_{Cr}/T-P비가 증가함에 따라 유출수 PO₄³⁻-P 농도는 낮아지는 경향을 보임을 알 수 있었다.

4. 결론

하수처리장으로 유입되는 하수의 유기물, 부유물질, 질소 및 인을 처리하기 위해 부상여제를 이용한 고도처리 공정의 영향인자 검토 및 질소·인 제거효율 증진을 위한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 수리학적 체류시간(HRT)을 6 hr 및 4 hr으로 운영하여 비교하였을 경우 HRT 4 hr에서도 TCOD_{Cr} 및 TSS 처리효율은 각각 85% 및 95% 이상으로 높았다. 질소처리시 HRT 6 hr 및 4 hr에서 T-N 제거효율은 각각 55% 및 51%로 큰 차이를 나타내지 않았으며 질산화율은 HRT 6 hr인 경우가 4 hr인 경우보다 약 9% 높았다. 인 처리시 HRT 6 hr 및 4 hr에서 T-P 제거효율은 각각 62% 및 60%로 차이가 없었다.

2) 동절기 및 하절기의 평균온도가 각각 13.4, 21.3℃이었을 경우 동절기인 경우에도 TCOD_{Cr} 및 TSS 제거효율이 각각 86% 및 95% 이상으로 처리효율이 매우 우수하였다. 질소처리시 동절기 및 하절기에서 T-N 제거효율은 각각 54% 및 65%로 하절기가 동절기보다 약 11% 높았으며, 질산화율은 하절기가 동절기보다 약 18% 더 높았다. 인 처리시 동절기 및 하절기에서 T-P 제거효율은 각각 62% 및 61%로 차이가 없었다.

3) 유입부하의 영향을 살펴본 결과 유기물 부하(0.6~5.2 kg TCOD_{Cr}/m³·day), TSS 부하(0.2~4.0 kg SS/m³·day), 질소 부하(0.1~0.3 kg T-N/m³·day) 및 인 부하(0.1~0.3 kg T-P/m³·day)의 변화에도 유기물, 질소 및 인 제거효율의 저하가 관찰되지 않아 본 공정이 부하 변동에 매우 강함을 관찰할 수 있었다.

4) 유입 C/N 및 C/P 비에 따른 질소 및 인 제거효율을 관찰한 결과 C/N 및 C/P 비 변화에 따른 제거효율 변동이 크지 않은 것으로 나타나 부착성장 미생물을 이용한 공정이 낮은 C/N 비에서도 유기물 이용 효율이 높음을 관찰할 수 있었다.

사 사

이 논문은 환경부 사업인 2004년도 차세대 핵심환경기술 개발사업(071-041-065)의 지원을 받아 연구한 논문으로서 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 환경부, 환경백서(2004).

2. Orris, E. A., Takashi, A., Tony, K., James, L. B., Steve, L. L., Edwin, F. B., III, Alan, W. M., Bechir, M. H., Matsch, L. C., James, J. B. Jr., Isadore, N., Trevor, R. B., Robert, W. O., David, C. C., Raymond, P., Ronald, S. D., Clair, N. S., John, F. F., Robert, E. S., Gregory, M. G., Arthur, S., Carl, L. H. Jr., Stensel, H. D., William, R. H. Jr., Richard, W. S., Robert, H., Richard, A. S., Bruce, J., Richard, E. T., John, S. J., and Eliot, F. T., "Nutrient Control; Manual of Practice No. FD-7," in *Water Pollution Control Federation*, 2626 Pennsylvania Avenue, N. W. Washington, D. C. 20037, pp. 65~135(1983).
3. Liu, J., Wang, B., Li, W., Jin, C., Cao, X., and Wang, L., "Removal of Nitrogen from Coal Gasification and Coke Plant Wastewaters in A/O Submerged Biofilm-Activated Sludge(SBF-AS) Hybrid System," *Water Sci. Technol.*, **34**(10), 17~24(1996).
4. Liu, J., Li, W., Wang, X., Liu, H., and Wang, B., "Removal of Nitrogen from Coal Gasification by Nitrosification and Denitrosification," *Water Sci. Technol.*, **38**(1), 39~46(1998).
5. Nurdan, B. and Ayse, F., "Concentrated Wastewater Treatment Studies Using an Anaerobic Hybrid Rreactor," *Process Biochemistry*, **38**, 771~775(2002).
6. Misra, C. and Gupta, S. K., "Hybrid Reactor for Priority Pollutant Trichloroethylene Removal," *Water Res.*, **35**(1), 160~166(2001).
7. Pedro, R. C., Alejandro, P. F., and Faustino, S., "Improved Performance of a Hybrid Design Over an Anaerobic Filter for the Treatment of Dairy Industry Wastewater at Laboratory Scale," *Journal of Fermentation and bioengineering*, **79**(3), 270~272(1995).
8. Wang, J., Shi, H., and Qian, Y., "Wastewater Treatment in a Hybrid Biological Reactor (HBR): Effect of Organic Loading Rates," *Process Biochemistry*, **36**, 297~303(2000).
9. Jun, B. H., Miyanaaga, K., Tanji, Y., and Unno, H., "Removal of Nitrogenous and Carbonaceous Substances by a Porous Carrier-Membrane Hybrid Process for Wastewater Treatment," *Biochemical Engineering Journal*, **14**, 37~44(2003).
10. Lee, H. S., Park, S. J., and Yoon, T. I., "Wastewater Treatment in a Hybrid Biological Reactor Using Powdered Minerals: Effects of Organic Loading Rates on COD Removal and Nitrification," *Process Biochemistry*, **38**, 81~88(2002).
11. Tarek, A. E., Vladimir, S., Grietje, Z., and Gatez, L., "Low Temperature Pre-Treatment of Domestic Sewage in an Anaerobic Hybrid or an Anaerobic Filter Reactor," *Bioresource Technology*, **82**, 233~239(2002).