Full-Scale SBR 공법을 이용한 처리특성

Treatment Characteristics Using Full-Scale SBR System

추태호*, 이용두, 조용현*****

부산대학교 산업토목과*, 부산대학교 지역환경시스템학과**

동아대학교 토목공학과 상·하수도시스템연구실***

Tai-Ho Choo(thchoo@mnu.ac.kr)*, Yong-Doo Lee(revere72@yahoo.co.kr)**,

Yong-Hyun Cho(yhcho0927@hanmail.net)***

요약

본 연구에서 연속회분식반응기(SBR)를 이용한 유기물질과 영양염류(N, P)처리가 수행되었다. 이 연구 결과들을 요약하면 다음과 같다. BOD는 19.6~40.0mg/L의 범위로 유입되고, 처리수는 3.0~14.8mg/L로 실험기간의 경과에 따라 점차 안정적으로 처리되었다. 이때의 제거율은 47.9~88.4%로 평균 80.0%로 안정적인 제거율을 보였다. 그리고 COD는 12.2~32.0mg/L의 범위로 유입되었으며, 처리수는 3.3~18.6mg/L로 제거율은 19.2~78.6%로 평균 57.3%의 제거율을 보였다. 하지만 79일 이후의 평균 COD 제거율은 70.2%로 안정적인 제거율은 보였다. T-N의 경우 유입농도는 7.53~14.99mg/L, 처리수는 초기 79일까지는 평균 6.59mg/L로 제거율이 평균 40.3%로 낮았지만 시스템이 정상화된 80일 이후는 평균 4.44mg/L로 처리되어 그 제거율이 56.4%로 나타났다. 또한 T-P의 경우는 유입수의 농도는 0.77~1.91mg/L, 처리수는 0.26~1.53mg/L으로 제거율이 5.3~71.7%로 상당히 큰 변화를 보였으며, 평균제거율은 42.6%로 나타났다. 이는 MLSS 증가를 위해 슬러지 인발을 하지 않았기 때문으로 판단된다.

■ 중심어 : | 연속회분식 반응기 | 질소 | 인 |

Abstract

In this study, the treatment of organic matters and nutrients like Nitrogen and Phosphorus with sequencing batch reactors (SBR) was conducted. The following conclusions can be summarized from the study. The influent BOD concentration was varied 19.6 to 40.0mg/L and the effluent was 3.0 to 14.8mg/L. The variations of BOD removal efficiency during the experimental period was 47.9~88.4% and the average was 80.8%. The average removal efficiency was stabilized with the passage of time. Also the COD concentration was flowed into as 12.2~32.0mg/L and the effluent concentration was varied 3.3 to 18.6 mg/L, and then the average COD removal efficiency was 57.3%(minimun 19.2% and maximum 78.6%). But fortunately, the COD removal efficiency was also stabilized as 70.2% after 79days. In the case of T-N, the influent concentration range was 7.53~14.99mg/L and the effluent concentration was 6.59mg/L(the average removal efficiency was 40.3%) until the first experiment time 79days. But after normalizing the system, it was 4.44mg/L (the average removal efficiency was 56.4%). Also the influent T-P concentration was varied from 0.77 to 1.91mg/L and the effluent concentration was 0.26~1.53mg/L. The removal efficiency was varied from 5.3 to 71.7% considerably, therefore the average removal efficiency was 42.6%. The reason was concluded that the sludge wasn't discharged for increasing MLSS concentration.

■ keyword : | SBR(Sequence Batch Reactor) | Nitrogen | Phosphorus |

접수번호 : #060607-003

접수일자 : 2006년 06월 07일

심사완료일 : 2006년 10월 16일

교신저자 : 조용현, e-mail : yhcho0927@hanmail.net

I. 서 론

자원하천 및 호소의 오염으로 인한 부영양화 현상은 플랑크톤의 과다번식을 유발하고, 이로 인한 직·간접적 피해가 매년 발생하였다. 이러한 부영양화 현상은 축산폐수를 비롯한 미처리된 하수나 오수가 자연환경으로 배출되고 있기 때문이다. 특히, 하수나 폐수에 포함된 질소·인 화합물은 부영양화의 주원인으로 지목되고 있으며, 이러한 영양물질의 자연환경으로의 배출 저감을 위해 많은 연구자들은 개선된 공법의 개발에 연구를 집중하고 있으며, 법적관리주체인 정부에서도 배출 제한, 농도의 제한 및 처리장 설치의 경제적 지원 등 여러 방안을 제시 또는 시행하고 있다[1]. 국내에서 질소·인 제거 공법의 개발은 많은 발전을 하였으며, 특정한 성상에 적용할 수 있는 다양한 공법의 개발이 완료단계에 있다[2]. 질소·인 동시제거 공정 중 대표적인 연속회분식 반응기(Sequence Batch Reactor: SBR)은 비교적 간편한 운전방법과 저렴한 건설비, 유입수의 부하변동에 큰 영향을 받지 않는 소규모 하수처리에 적합한 공정으로 알려져 있다[3-6].

또한 SBR은 연속회분식 반응기으므로 압출류법(plus flow)과 동일한 동역학적 특성(즉, 동일한 조건의 반응기 용적으로 완전혼합형 반응기보다 더 많은 기질제거가 가능)을 가지며, 연속회분식 반응기를 여러개 설치하여 운전할 경우에는 연속흐름 반응기와 동일한 효과를 얻을 수 있다[7]. 또한 SBR 공정은 기존 활성슬러지 공법에 비해 적은 부지로 많은 양의 폐수를 처리할 수 있고 유입수 수질 및 유량변동에 따라 다양한 운전주기를 변화할 수 있으며, 유기물 제거뿐만 아니라 반응조의 변형에 의해 영양염류의 제거가 가능한 장점이 있다[8]. 그러나 기존 SBR 공정은 폐수의 유입과 반응, 배출이 단일 반응조 내에서 이루어지는 회분식공정으로 유입수의 간헐유입 및 처리수의 간헐배출에 의해 일일처리량에 한계가 있으며, 유량조정조에 저장된 폐수를 처리함으로 주로 마을하수도 규모의 소규모 처리시설에 적용되었다. 또한 유출시간에 비해 유입시간이 더 길어 유출에 소요되는 수리학적 에너지 분산과 슬러지 침전으로 발생되는 산기석의 clogging, 밸브 개폐에 따른 운전관리자의 지속적인 관리 등의 문제점으로 실용화가 어려웠으나 최근에 디켄터(decanter)와 함께 솔레노이드(solenoid) 밸브, 산기장치 등이 개발됨에 따라 연속유입 간헐배출방식의 SBR 공정을 이용한 하·폐수 고도처리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[9].

따라서, 본 연구에서는 디켄터와 솔레노이드 밸브가 적용된 Full-Scale SBR공정의 처리특성 파악을 목적으로 본 연구를 수행하였다.

II. 실험장치 및 방법

1. 실험장치

본연구에 사용된 SBR system은 침사지, SBR 반응조, 유출수도로 구성되었으며 [그림 1]에 도시하였다. 침사지는 2지로서 유입 및 유출측에 수문을 설치하여 청소 및 유지관리시에 개폐 가능토록 하였으며 차집관거에서 이송된 하수는 침사지 전단의 유입게이트를 통과한다. 유입된 하수는 침사지내를 유속 0.3m/sec 내, 외로 통과하면서 하수중의 직경 0.2㎜이상의 토사(비중 2.65)류 및 비부패성 무기물을 침사지내에 침적시킨 후 침사제거기인 V-Bucket Double Chain Conveyor에 의해 제거되고 침사반출 Conveyer에 의해 이송 침사 Hopper에 저장된 후 반출 처분토록 하였다.

침사지 유출부에는 스크린 눈목(15㎜ or 3㎜)의 세목 자동스크린 및 미세스크린이 펌프정 유입수에 안착되어 유입펌프 가동 중 저해가 되는 협잡물을 제거하며, 세목 자동스크린과 미세스크린 후단에 슈트가 부착되어 침사지를 유출하는 협잡물을 인양 협잡물 반출콘베어를 통하여 협잡물 Hopper에 저장 반출 처분토록 하였다.

SBR 반응조는 처리장 단위공정 중 가장 핵심공정으로 2지로 구성되어 있다. 조내의 포기방식은 산소전달율이 우수한 Jet root's blower의 전면포기 방식을 선정하여 간헐적인 시스템의 작동에 연속적인 활성슬러지 기술을 일원화시켰다. 원수유입, 반응, 포기와 침전이 1개이 반응조에서 이루어지며 고액분리는 주기중의 침전단계에서 일어나고, 침전단계가 지나면

처리된 유출수는 반응조 상부의 표면으로부터 처리수 유출장치인 디켄터에 의해 자연유하하여 배출된다.

그러므로 본 공정은 유입된 원수에 호기, 무산소, 혐기상태의 조건을 부여하여 생물학적 산화작용, 탈인작용, 탈질작용, 침전과 호기성슬러지를 안정화시키는 기능이 한 개의 조내에서 모두 수행되는 공정이다. 또한 반응조 하부에 설치된 원수유입 및 슬러지 인출장치에 의해 슬러지를 인발하였다. SBR system의 설계조건과 SBR bioreactor의 설비를 [표 1][표 2]에 각각 나타내었으며 생물반응조에 유리전극식 pH meter, 투과산란 광방식 MLSS meter, 갈바닉 셀방식 DO meter를 설하여 실시간으로 계측하였다.

표 1. SBR 시스템의 설계조건

Facilities	Items	Outline
Grit chamber	Type	gravity type
	Width	0.7m
	Length	10.0m
	Depth of water	0.95m
	Surface	14.0m^2
	Quantity	2
SBR bioreactor	Type	SBR type
	Shape	rectangle
	Width	13.6m
	Length	28.0m
	Depth of water	5.5m
	Quantity	2
Effluent basin	Shape	rectangle
	Width	4.0m
	Length	9.0m
	Depth of water	1.8m
	Reactors	1

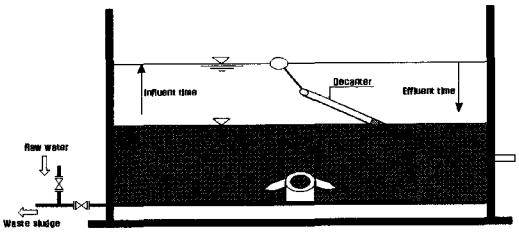

그림 1. SBR 시스템의 계략도

2. 실험방법 및 원수성상

본 연구는 G시에 위치한 하수종말처리장에 적용된 SBR공법으로 실험하였다. 분석방법은 공정시험법, 일본하수도 시험법 및 Standard Method에 준하여 실험하였다.

실험에 앞선 SBR 반응조 Seeding은 3월 7일에 종균제 250L, 분뇨 42m^{3}을 시작으로 12일에 관리제 130L, 13일에 분뇨 16m^{3}을 투입하였으며, 마지막으로 18일에 분뇨 16m^{3}을 투입하였다. Seeding 후 20일에서 31일까지 SBR 반응조 초기변화는 [표 3]에 나타낸 것과 같이 3월 31일에 MLSS 779mg/L, SVI 96.3으로 비교적 안정을 찾았다. 이후 4월 1일부터 7월 31일까지 4개월간 매일 오전 10시, 오후 2시에 Sampling하여 실험분석한 결과를 본 논문에 정리하였으며 이때의 원수성장은 [표 4]에 정리하였다. 또한 SBR 반응조의 운전조건은 [표 5]에 나타내었다.

[그림 2]에서 확인할 수 있는 것과 같이 실험기간동안 원수유량은 803~9,930 m^3/day 으로 변화가 매우 심했으며 그에 따른 SBR 반응조의 HRT는 5.06~62.6hr으로 나타났다. 유입수의 온도와 pH를 [그림 3]을 통해서

표 2. SBR 생물반응조의 장치

Facilities	Type & Standard	Quantity
Blower	Rotary type, 26.4㎥/min×5,500㎜Aq	3
Air control valve	Electric butterfly valve, Ø150㎜	2
Jet aeration header	Jet aerator, Air pipe:Ø150㎜, Water pipe:Ø300㎜	2SET
Influent distribution pipe	Manifold type, Ø300㎜	2SET
Effluent facility	Decanter(floating type), 16.89㎥/min	2SET
Bioreactor pump	Transverse non-clogging spiral centrifugal pump 13.8㎥/min×11mH	4
Bioreactor influent valve	Electric eccentricity plug valve, Ø400㎜	2
Sludge effluent valve	Electric eccentricity plug valve, Ø350㎜	2
Bioreactor effluent valve	Electric butterfly valve, Ø400㎜	2

살펴보면 각각 13.0~25.6, 5.79~7.60의 범위에 있었다. 그리고 유입수의 BOD, COD, SS 와 T-N, T-P 변화는 각각 [그림 4][그림 5]에 나타내었다.

표 3. Seeding에 따른 SBR 반응조의 변화

Date	Temp. (℃)	pH	DO (mg/L)	MLSS (mg/L)	MLVSS (mg/L)	SV_{30} (%)	SVI
3/20	10.3	7.29	9.0	552	258	9	162.9
3/21	10.3	7.24	9.1	601	365	12	199.5
3/22	10.5	7.18	8.9	625	384	12	192.0
3/23	10.6	7.17	9.0	638	418	12	188.1
3/24	12.8	7.13	8.8	658	398	9	136.8
3/25	12.8	7.17	8.8	670	336	9	111.9
3/26	12.7	7.06	8.5	664	312	7.5	112.8
3/27	11.7	7.02	8.5	658	304	7.5	114.0
3/28	13.5	6.98	7.9	690	331	7.5	108.7
3/29	13.6	7.05	7.2	724	341	7.5	103.6
3/30	13.8	7.04	6.7	762	355	7.5	98.4
3/31	14.0	6.81	6.1	779	351	7.5	96.3
최소	10.3	6.8	6.1	522	258	7.5	96.3
최대	14.0	7.3	9.1	779	418	12	199.5
평균	12.2	7.3	8.2	668.4	346.1	9	162.3

표 4. 실험에 사용된 원수특성

Parameter	Unit	Value	
		Range	Average
Flow rate	m^3/day	803~9,930	1,955
Temperature	℃	13.00~25.60	19.32
pH	-	5.79~7.60	7.01
BOD	mg/L	19.60~39.95	30.91
COD	mg/L	12.15~32.00	21.31
SS	mg/L	15.00~49.20	27.29
T-N	mg/L	7.53~14.99	10.78
T-P	mg/L	0.77~1.91	1.26

표 5. SBR 반응조의 운전조건

Items	Blower	Circulation	Sludge waste	Time
Fill	off	off	off	90min
	off	on	off	45min
	on	on	off	45min
React	on	on	off	90min
Settle	off	off	off	45min
Decanter	off	off	off	30min
IDLE (Waste sludge)	off	off	on	15min
The others	360min/cycle	H.W.L : 5.5m	L.W.L : 3.5m	1000 m^3/cycle

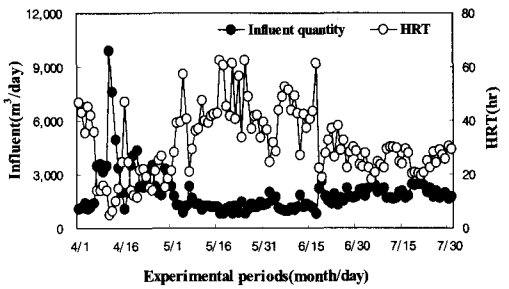

그림 2. 유입수량과 HRT

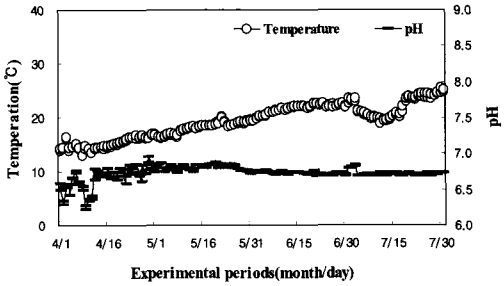

그림 3. 유입수의 온도와 pH

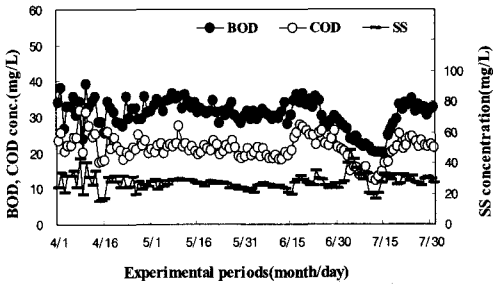

그림 4. 원수의 BOD, COD 그리고 SS 농도

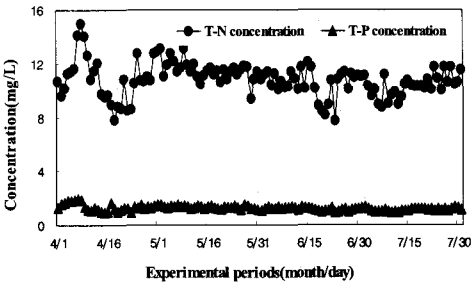

그림 5. 원수의 T-N, T-P 농도

Ⅲ. 결과 및 고찰

2005년 4월 1일부터 7월 31일까지 SBR system의 처리특성을 조사한 결과를 살펴보면 다음과 같다. [그림 6]은 실험기간동안 MLSS와 MLVSS 농도를 도시한 것으로 MLSS는 초기 681mg/L에서 최고 3,688mg/L 까지 증가하였다. 이때 MLVSS/MLSS비는 평균 0.49로 나타났다. SBR bioreactor내 슬러지의 침전성을 나타내는 SV30과 SVI는 [그림 7]을 통해 살펴보면, SV30은 3월 1일 7.5%에서 최대 29.7%까지 증가하였으며 평균 20.7%로 나타났으며 SVI는 실험초기 131.0까지 증가하였으나 5월 22일 93.5까지 감소하여 그 이후는 안정적으로 유지되었다.

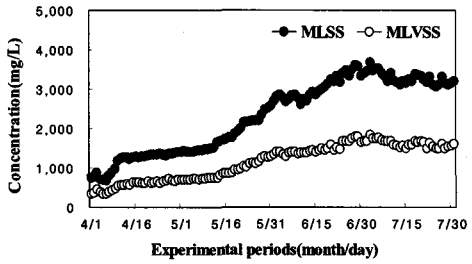

그림 6. SBR 반응조의 MLSS와 MLVSS 농도

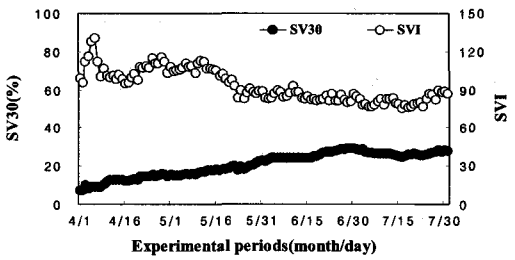

그림 7. SBR 반응조의 SV30과 SVI 값

운전기간동안 BOD, COD, SS, T-N 그리고 T-P의 처리특성을 살펴보면 다음과 같다.

[그림 8]은 BOD의 처리특성을 나타낸 것으로서 유입수는 19.6~40.0mg/L의 범위로 다소 변동폭이 크게 유입되고 있으며, 처리수는 3.0~14.8mg/L로 실험기간의 경과에 따라 점차 안정화 되었다. 이때의 제거율은 47.9~88.4%로 평균 80.0%로 안정적인 제거율을 보였다.

[그림 9]는 COD의 처리특성을 나타낸 것으로서 유입수의 COD농도는 12.2~32.0mg/L의 범위로 BOD와 마찬가지로 다소 변동폭이 크게 유입되었으며, 처리수는 3.3~18.6mg/L로 실험기간의 경과에 따라 점차 안정적으로 처리되었다. 이때의 제거율은 19.2~78.6%로 평균 57.3%의 제거율을 보였다. 특히, 6월 18일 이후의 평균 제거율은 70.2%로 안정적인 제거율은 보였다.

또한 SS 제거특성은 [그림 10]에 도시하였다. 유입수의 SS농도는 15.0~49.2mg/L로 변동폭이 크게 유입되었으나 처리수는 6.13~14.9mg/L로 안정적으로 처리되었다. 이와 같이 안정적인 처리수질에도 불구하고 제거율은 27.5~80.8mg/L으로 변화폭이 매우 큰 것은 유입수의 SS농도 변화 때문일 것이다.

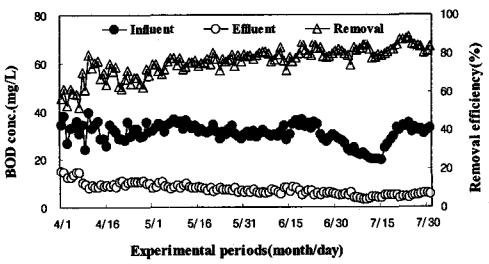

그림 8. SBR 반응조의 BOD 제거특성

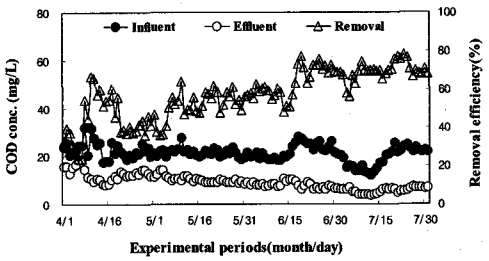

그림 9. SBR 반응조의 COD 제거특성

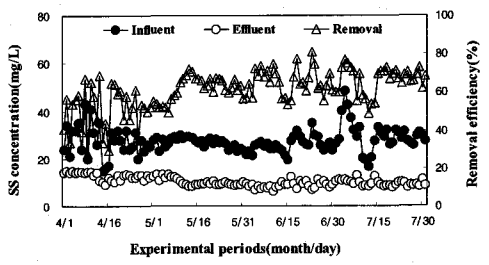

그림 10. SBR 반응조의 SS 제거특성

[그림 11]과 [그림 12]는 T-N과 T-P의 처리특성을 나타낸 것이다. T-N의 경우 유입농도는 7.53~14.99mg/L, 처리수는 초기 4월 1일에서 6월 18일까지는 평균 6.59mg/L로 제거율이 평균 40.3%로 낮았지만 시스템이 정상화에 이루어지면서 평균 4.44mg/L로 처리되어 그 제거율이 56.4%로 나타났다.

또한 T-P의 경우는 유입수의 농도는 0.77~1.91mg/L, 처리수는 0.26~1.53mg/L으로 제거율이 5.3~71.7%로 상당히 큰 변화를 보였으며, 평균제거율은 42.6%로 나타났다. 이는 MLSS 증가를 위해 슬러지 인발을 하지 않았기 때문으로 판단된다.

마지막으로 [그림 8][그림 9][그림 10][그림 11][그림 12]에 나타낸 BOD, SS, COD, T-N, T-P를 비롯한 NH_4-N, NO_3-N, 수온 및 pH의 유입원수와 처리수의 각 농도 및 제거효율을 [표 6]로 정리하여 나타내었다.

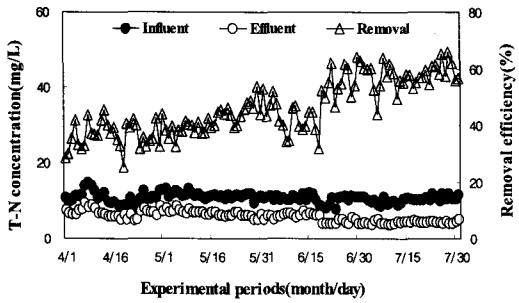

그림 11. SBR 반응조의 T-N 제거특성

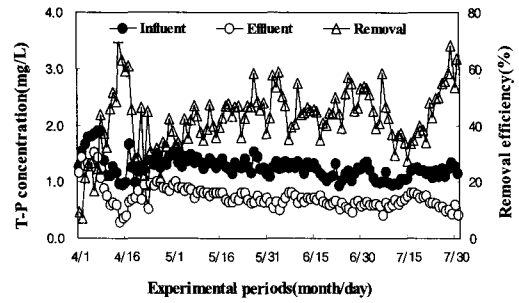

그림 12. SBR 반응조의 T-P 제거특성

표 6. SBR 시스템의 실험결과

Para.	Unit	Influent		Effluent		Removal (%)
		Range	Aver.	Range	Aver.	
Temp.	℃	13.0~25.6	19.3	13.5~26.0	19.8	-
pH	-	5.79~7.60	7.01	6.33~7.00	6.77	-
BOD	mg/L	19.6~40.0	30.9	3.0~14.8	7.4	76.0
COD	mg/L	12.2~32.0	21.3	3.3~18.6	9.1	57.3
SS	mg/L	15.0~49.2	27.3	6.1~14.9	10.4	61.0
T-N	mg/L	7.53~14.99	10.78	3.56~9.50	5.83	46.0
NH_4-N	mg/L	4.05~9.12	6.58	0.28~3.15	0.82	87.6
NO_3-N	mg/L	0.98~2.53	1.81	3.02~7.43	4.80	-
T-P	mg/L	0.77~1.91	1.26	0.26~1.53	0.73	42.6

Ⅳ. 결 론

본 연구는 G시에 위치한 하수종말처리장에 적용된 SBR system의 처리특성을 조사, 연구한 결과를 정리하면 다음과 나타낼 수 있다.

1. BOD는 19.6~40.0mg/L의 범위로 다소 변동폭이 크게 유입되었지만 제거율은 평균 80.0%였으며, COD 또한 12.2~32.0mg/L의 범위로 BOD와 마찬가지로 다소 변동폭이 크게 유입되었으며, 처리수는 3.3~18.6mg/L로 제거율은 19.2~78.6%로 나타났다. 실험기간의 경고에 따라 점차 안정적으로 처리되어 특히, 6월 18일 이후의 평균 제거율은 70.2%로 안정적인 제거율은 보였다.
2. SS는 15.0~49.2mg/L로 변동폭이 크게 유입되었으나 처리수는 6.13~14.9mg/L로 안정적으로 처리되었다. 이와 같이 안정적인 처리수질에도 불구하고 제거율은 유입농도의 변화 때문에 27.5~80.8mg/L으로 나타났다.
3. T-N의 경우 유입농도는 7.53~14.99mg/L, 처리수는 초기 4월 1일에서 6월 18일까지는 평균 6.59mg/L로 제거율이 평균 40.3%로 낮았지만 시스템이 정상화 이후 평균 4.44mg/L로 처리되어 그 제거율이 56.4%로 나타났다. 또한 T-P의 경우는 유입수의 농도는 0.77~1.91mg/L, 처리수는 0.26~1.53mg/L으로 제거율이 5.3~71.7%로 상당히 큰 변화를 보였으며, 평균제거율은 42.6%로 나타났다. 이는 MLSS 증가를 위해 슬러지 인발을 하지 않았기 때문으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 환경부, *환경백서*, 환경부, 2005.

[2] http://www.emc.or.kr

[3] E. C. Hoepker and E. D. Schroeder, "The effect of loading rate on batch activated sludge effluent quality," J. WPCF, Vol.51, No.2, pp.264-273, 1979.

[4] E. F. Barth and H. D. Stensel, "International nutrient control technology for municipal effluents," J. WPCF, Vol.53, No.12, pp.1691-1701, 1981.

[5] G. Bortone, S. Gemelli, A. Rambaldi, and A. Tiche, "Nitrification, denitrification and biological phosphate removal in sequencing batch reactors treating piggery wastewater," Water Sci. Technol., Vol.26, No.5/6, pp.977-985, 1992.

[6] J. Kuba, G. Smolder, and M. C. M. Loosdrecht, and J. J. Heijin, "Biological phosphorus removal from wastewater by anaerobic-anoxic sequencing batch reactor," Water Sci. Technol., Vol.27, No.5/6, pp.241-252, 1993.

[7] R. C. Sung, D. S. Kim, and H. G. Park, *Sewage wastewater treatment*, Donghwa Technology, p.307, 1999.

[8] P. A. Wilderer, R. L. Irvine, and M. C. Foronszy, *Sequencing Batch reactor Technology*, IWA, 2001.

[9] J. Li, X. H. Xing, and B. Z. Wang, "Characteristics of phosphorus removal from wastewater by biofilm sequencing batch reactor(SBR)," Biochemical Engineering Journal, Vol.16, No.3, pp.279-285, 2003.

저 자 소 개

추 태 호(Tai-Ho Choo) 종신회원

- 1990년 12월 : 美 피츠버그대학교 대학원(공학석사)
- 1998년 12월 : 美 피츠버그대학교 대학원(공학박사)
- 2002년 9월~현재 : 부산대학교 산업토목과 교수

이 용 두(Yong-Doo Lee) 정회원

- 2000년 8월 : 동아대학교 환경관리학과(석사)
- 2005년 2월 : 동아대학교 환경공학과(공학박사)
- 2002년 9월~현재 : 부산대학교 환경공학과 외래교수

조 용 현(Yong-Hyun Cho) 정회원

- 2001년 2월 : 동아대학교 토목공학과(공학석사)
- 2004년 8월 : 동아대학교 토목공학과(공학박사)
- 2006년 3월~현재 : 동아대학교 토목공학과 겸임교수(부산대학교 산업토목과 외래교수)