

강우시 저농도 고수리부하가 회분식 반응조 제거효율에 미치는 영향

어성욱* · 김건하* · 손봉호

우송대학교 철도건설환경공학과

*한남대학교 토목환경공학과

Effects of Inflow Fluctuation on the Removal Efficiency in Low Strength Sewage Treatment using Sequencing Batch Reactor Process during Rainfall

Oa, Seongwook* · Kim, Geonha* · Son, Bongho

Department of Railroad, Civil & Environmental Engineering, Woosong University

*Department of Civil & Environmental Engineering, Hannam University

(Received 2 September 2005, Accepted 1 November 2005)

Abstract

Many small scale Sewage Treatment Plants (STPs) are currently being constructed at many rural areas. The STPs in rural area suffer from low concentration and large inflow quantity fluctuation during wet weather mainly due to illicit combined sewer system. Sequencing Batch Reactor (SBR) is a process effectively coping with these obstacles. The main objective of this study was to evaluate SBR with high hydraulic loading and low inflow concentration. The operating conditions tested were: organic loading rate = 0.17-0.42 KgBOD/m³/d, hydraulic loadings = 12.1-61.5 m³/m²/d, average MLSS concentration = 2500 mg/L, F/M ratio = 0.026-0.17 KgBOD/Kg MLSS, HRT = 9-12 hr HRT, and SRT = 5.6-33.6 days. Organic loading rate on SBR did not impact significantly on BOD and SS removal efficiencies. To increase treatment efficiencies, low hydraulic loading rate with low concentration was required. The results suggested that low influent concentration with high inflow rates during wet weather requires extended time for settling.

keywords : Flow fluctuation, Hydraulic loading, Sequencing batch reactor (SBR), Small scale sewage treatment plants

1. 서론

우리나라의 현재 계획 건설 중인 하수처리 시설은 대부분 농어촌 및 소도시 지역의 소규모 하수처리 시설로 이들 시설의 공통적인 특징은 대부분 처리대상 지역이 합류식 하수관거를 사용하고 있어서 하천수나 지하수 유입 등으로 하수처리장 유입수의 BOD 농도가 50 mg/L 내외이며 또한 유량변동 폭이 매우 크다는 것이다(환경부, 2001). 이러한 소규모 하수처리 시설은 적은 인원으로도 운전이 용이하고 충격부하에 잘 견딜 수 있는 공정이 요구되는데 연속회분식 반응조 (Sequencing Batch Reactor, 이하 SBR) 공정은 운전이 간단하고 유지관리비가 적게 소요되며 사상성 미생물의 성장을 방지할 수 있어 유량변동이 심하고 수질변동이 큰 소도시, 농촌, 관광단지 등에서도 적절하며, 계절적 변동이 있는 폐수에도 적절한 방법이다(박 등, 2003; 손 등, 2002; 이 등, 2005; 허 등, 1998; Rim et al., 1997). 2000년 현재 국내에서 운전 중인 영양물질 제거가 가능한 소규모 하수처리 시설 58개소 중 27.6%인 총 16개소에서 SBR 공정을 채택하고 있으며(환경부, 2001) 앞으로 SBR

공정의 보급은 더욱 확대될 것으로 전망된다.

대부분의 읍, 면 지역에는 합류식 관거가 설치되어져 있는 관계로 연구의 대상 지역은 저농도와 일 유량 변동 폭이 큰 하수 유입 특성을 지니고 있는 합류식 하수도 지역으로 하였다. 우리나라 하수의 저농도 유입 유기물 특성은 영양소 제거의 측면에서 다소 불리한 것으로 알려지고 있는데(최, 1998) 일 유량 변동 폭이 크며 유입수의 유기물 농도가 낮아 영양물질 제거 미생물이 기타 미생물에 비하여 상대적으로 우점할 수 없는 조건을 지니고 있다(Banard et al., 1992). 마을단위 소규모 하수 처리 시설이 산재해 있는 상수원 보호구역에 미처리된 하수처리장 유출수가 유입될 경우 부영양화 등의 악영향을 미칠 수 있다. 우천시 계획 오수량은 하수도 시설기준(환경부, 1998)에 따라 각 지역의 실정 및 그에 따른 효과와 필요한 비용 등을 검토하여 정하는데 합류식에서 우천시 계획 오수량은 원칙적으로 계획시간 최대 오수량의 3배 이상으로 하고 있다. 이는 강우시 오수량의 3배 이상에 해당하는 하수는 하천으로 방류되어지는 것을 말한다. 소규모 하수도가 존재하는 읍면지역에서는 강우시 방류가 지역수체에 상대적으로 큰 영향을 미칠 수 있으며 또한 수처리 시설의 운전 및 유지관리에도 영향을 미치게 된다. 소규모 하수처리 시설을 운전하는 지역에서는 일반 도시하수처리장의 기준보다 유량변동에 대

* To whom correspondence should be addressed.
swoa@wsu.ac.kr

해 더 유연하게 대체할 수 있어야 하는데 본 연구는 소규모 SBR 공정에 유입하는 저농도 및 강우시를 포함한 유량 변화에 따른 SBR 공정의 설계 및 운전 인자를 제시하기 위하여 수행되어졌다.

2. 실험재료 및 방법

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 실험실 규모 SBR 반응조의 개략도이다. 직경 200 mm, 높이 477.5 mm의 원통형 아크릴로 제작된 반응조의 전체용적은 15 L이고 운전 유효 용적은 10 L이다. 호기 상태의 유지 및 혼합을 위하여 산기석이 부착된 소형 공기발생기 및 기계식 교반기를 병용하였으며 혐기 및 무산소 상태의 혼합을 위해서는 기계식 교반만을 사용하였다. 부유물질의 침전을 막기 위해 수중교반장치를 유입시료 탱크 바닥에 설치하였고, 정량 펌프를 이용하여 포기조로 연속 주입하였다. 모든 실험은 실온 (25±5°C)에서 수행되었으며 전자식 타이머(8 Port Time Controller)와 유입, 유출구의 솔레노이드 밸브를 연결하여

완전 자동화 운전이 되도록 구성하였다. 1 주기(cycle)당 유입량 및 유출량은 각 2.5 L이었다.

SBR 운전의 가장 중요한 인자라 할 수 있는 각 단계(phase)별 운전 방법을 Fig. 2에 나타내었는데 운전 주기에 따른 동작 전에 펌프를 이용하여 반응기 안에 하수를 유입시키고 공기 주입장치에 의한 교반 및 기계식 교반 등 2가지 방법을 이용하여 시료를 혼합시켜 주었다. 입력된 프로그램에 의해 침전 후 솔레노이드 밸브가 작동되며 상징액 2.5 L를 자연 유하식으로 방류하였다. 1단계와 2단계는 같은 운전 프로그램에서 유입수의 농도가 고농도 및 저농도로 변하여 분류식 하수도와 합류식 하수도에 의한 유입농도 변화를 분석하였으며, 3단계와 4단계는 유입수가 저농도일 경우 즉, 합류식 하수도에서 강우시와 비강우시의 수리학적 부하의 영향을 파악하기 위하여 수행되어졌다. 저농도 소규모 하수 처리장의 강우시 운전 조건을 고려하여 유량을 결정하였는데, 하수처리장의 평균 유입유량을 Q라 할 때 강우시 처리장 유입량이 3.5Q 및 5Q일 경우를 설정하였다. 일반 합류식 도시하수도에서 강우시 계획 오수량이

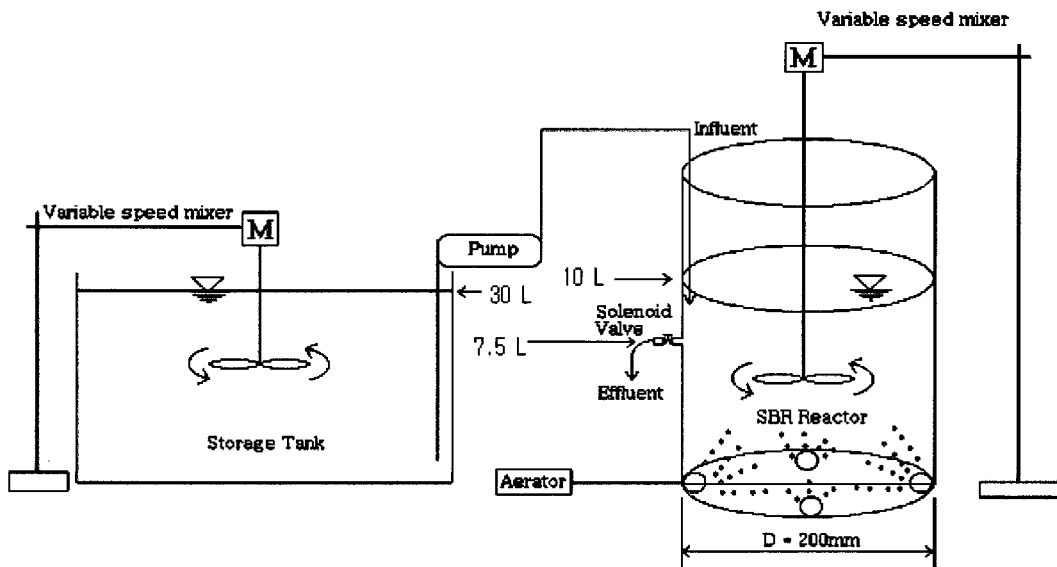


Fig. 1. Schematic description of sequencing batch reactor set up used in this research.

Table 1. Chemical characteristics of influent used for each phase of operation

Phase description		pH	TBOD	SBOD	TCOD	SCOD	TSS	VSS	TKN	NH ₄ ⁺	TP	SP
Phase 1 (high conc.)	Min	7.60	135	59	201	90	111	75	27.8	24.0	4.1	2.0
	Max	7.76	173	76	255	134	154	125	35.2	27.6	5.2	3.4
	Avg.	7.69	159	68	231	115	136	106	31.7	25.3	4.8	3.0
Phase 2 (low conc.)	Min	7.32	57	29	83	45	45	34	10.4	7.3	2.2	1.1
	Max	7.52	75	42	115	65	75	59	21.0	17.3	3.7	3.0
	Avg.	7.41	65	34	101	56	64	48	15.8	11.8	2.6	1.9
Phase 3 (low conc., 3.5Q)	Min	7.08	30.6	18.4	42.4	24.3	35.2	30.1	6.64	2.68	0.99	0.29
	Max	7.14	36.0	20.4	48.2	28.5	40.8	34.2	6.91	3.03	1.29	0.34
	Avg.	7.11	33.0	19.1	44.9	26.5	38.8	33.3	6.75	2.87	1.10	0.31
Phase 4 (low conc., 5Q)	Min	7.18	28.2	21.8	41.6	31.0	30.4	24.2	6.52	2.62	0.89	0.28
	Max	7.23	30.4	22.4	44.3	32.4	34.2	26.8	6.72	3.01	1.12	0.32
	Avg.	7.21	29.1	22.1	42.9	31.7	32.3	25.2	6.64	2.80	1.01	0.30

(unit: mg/L)

Phase 1	HRT=9 hr, 6 hr/cycle, 4 cycles/day						
	Omniflo SBR	Fill(180 min)	Mixing(90 min)	settle	Decant	Idle	
		Anoxic/135 min	Aerobic/135 min	45 min	30 min	15 min	
Phase 2	HRT=9 hr, 6 hr/cycle, 4 cycles/day						
	Omniflo SBR	Fill(180 min)	Mixing(90 min)	settle	Decant	Idle	
		Anoxic/135 min	Aerobic/135 min	45 min	30 min	15 min	
Phase 3	HRT=12 hr, 4.03 hr/cycle, 5.96 cycles/day						
	Omniflo SBR	Fill(59 min)	Mixing(65 min)	settle	Decant	Filled Decant	Idle
		Anoxic/41 min	Aerobic/83 min	45 min	11 min	62 min	0 min
Phase 4	HRT=10.08 hr, 2.38 hr/cycle, 10.08 cycles/day						
	Omniflo SBR	Fill(29 min)	Mixing(33 min)	settle	Decant	Filled Decant	Idle
		Anoxic/21 min	Aerobic/41 min	45 min	5 min	31 min	0 min

Fig. 2. Time sequence and operating conditions of sequencing batch reactor.

3Q 이상임을 고려하여 소규모 하수도 대상 지역의 큰 폭의 유량 변동과 지역 수계에 미치는 강우시의 환경 부하를 고려하여, 강우시 계획 오수량을 5Q 까지 증대시켜 실험을 수행하였다.

동일한 반응조 2식을 동시에 같은 조건하에 운전하면서 다만 유입수의 농도 및 수리학적 부하의 고저만을 변수로 하였다. 반응조 내의 Mixed Liquor Suspended Solid(MLSS)는 2,500 mg/L를 기준으로 주기적으로 슬러지를 인발하여 2,300-2,800 mg/L로 유지하였다.

실험에 사용된 원수는 D시 아파트 단지 분류식 오수관거에서 채수하였고, 합류식 하수관거의 원수를 채수하여 저농도 원수로 사용하였다. 강우시 하수처리장 운전을 모의하기

위한 3단계 및 4단계의 원수는 합류식 하수관거에서 채수한 하수를 희석하여 사용하였다. 유입수의 성상은 Table 2에 각 단계별로 요약하였으며, 반응조 운전시 반응조 내의 온도, pH, MLSS/MLVSS 등을 주기적으로 측정하였고 유입수와 유출수에 대해 pH, Alkalinity, 생화학적산소요구량(TBOD), 용해성 생화학적 산소요구량(SBOD), 화학적산소요구량(TCOD), 용존성 화학적 산소요구량(SCOD), 부유물질(TSS), Total Kjeldahl Nitrogen(TKN), 암모니아성 질소(NH₄⁺-N), 질산성 질소(NO₃⁻-N), 총인(TP), 용해성 인(SP) 등을 분석하였다. 주요 수질분석 방법은 Standard Method (APHA, 1998)에 준하여 실시하였다.

Table 2. Effluent concentrations and removal efficiencies of chemical constituents for each phase of sequencing batch reactor operation

Constituent	Phase 1			Phase 2			Phase 3			Phase 4			
	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	
TBOD	Conc.(mg/L)	7.9	2.5	5.3	7.9	2.1	5.4	12.3	9.6	10.2	15.8	14.9	15.4
	Rev. rate(%)	98.5	94.6	96.6	96.3	86.4	91.8	68.6	65.8	67.7	51.0	43.0	46.9
TCOD	Conc.(mg/L)	25.1	14.2	20.3	19.2	11.2	13.8	18.6	12.1	14.3	25.4	23.6	24.8
	Rev. rate(%)	93.9	88.5	91.9	89.4	81.3	86.3	72.2	61.4	68.3	43.3	40.9	42.3
TSS	Conc.(mg/L)	9.0	nd	4.9	10.0	2.0	6.3	10.2	5.4	7.1	18.5	15.2	16.7
	Rev. rate(%)	100	93.8	96.3	97.3	85.3	89.9	86.8	71.0	81.3	52.0	42.9	48.3
TKN	Conc.(mg/L)	3.3	2.4	2.8	3.6	1.5	2.8	1.28	0.88	1.12	2.96	2.07	2.51
	Rev. rate(%)	92.9	88.8	91.0	88.3	75.0	81.9	86.9	81.5	83.3	68.3	55.7	62.3
NH ₄ ⁺ -N	Conc.(mg/L)	2.0	0.9	1.3	1.6	0.6	1.2	0.84	0.62	0.76	1.92	1.76	1.84
	Nitrification rate(%)	97.0	94.3	96.0	95.3	86.6	92.1	90.7	87.5	88.8	73.8	71.3	72.3
NO ₃ ⁻ -N	Conc.(mg/L)	10.5	7.7	9.2	10.0	5.2	8.0	4.67	4.20	4.52	3.86	3.46	3.67
	Denitrification rate(%)	68.2	44.4	59.2	54.4	16.0	29.3	10.4	4.3	7.3	14.2	4.9	10.8
TN	Conc.(mg/L)	13.8	10.1	12.0	13.6	6.7	10.8	5.95	5.08	5.64	6.82	5.53	6.18
	Rev. rate(%)	69.9	53.7	61.9	48.8	14.0	30.9	24.3	12.3	16.8	9.1	3.9	7.0
TP	Conc.(mg/L)	2.7	1.1	1.9	2.2	1.7	1.9	0.78	0.77	0.78	0.83	0.62	0.74
	Rev. rate(%)	76.5	46.5	60.0	49.0	7.8	26.4	39.5	22.2	28.2	30.4	18.6	26.4
SP	Conc.(mg/L)	2.0	1.0	1.6	1.8	1.3	1.6	0.3	0.26	0.28	0.28	0.25	0.26

3. 결과 및 고찰

3.1. 유기물과 부유물질 제거효율

Table 2에 각 단계별, 수질항목에 대한 유출수 농도 및 제거효율을 나타내고 있으며 Fig. 3은 유기물 부하에 따른 오염물질 제거율을, Fig. 4는 수리학적 부하에 따른 오염물질 제거율을 보이고 있다. 1단계의 포기 시간에 따른 평균 유기물 용적부하는 0.42 kgBOD/m³/d이고 수리학적 부하는 12.1 m³/m²/d이었다. 2단계의 평균 유기물 용적부하는 0.17 kgBOD/m³/d이고 수리학적 부하는 12.1 m³/m²/d이었다. 1단계와 2 단계 간 유기물 제거효율을 비교하면 BOD는 각각 96.6%, 91.8%의 제거효율을 보이고, COD는 91.9%, 86.3%의 제거효율을 보이고 있다. 이는 2단계에서 사용한 유입 원수로, 분류식 하수도로부터 유입된 하수를 적용한 결과 난분해성(Non Bio Degradable) 물질의 농도가 1단계에 사용한 원수보다 높기 때문으로 생각된다. 3단계와 4단계는 저농도 원수 조건에서 강우시와 같은 고유량시의 유입유량과 운전주기에서의 유기물질 제거 효율의 차이를 파악하였다. 3단계의 평균 유기물 용적부하는 0.23 kgBOD/m³/d이고 수리학적 부하는 43.1 m³/m²/d이었으며, 4단계의 평균 유기물 용적부하는 0.35 kgBOD/m³/d이고 수리학적 부하는 61.5 m³/m²/d이었다. 1단계와 2단계의 유입량을 Q라고 할 때 3.5Q로 유입수를 주입한 3단계와 5Q로 유입수를 주입한 4단계에서 TBOD 제거효율이 각각 67.7%, 46.9%였다. 4단계의 제거효율이 낮은 이유는 3단계의 유기물 용적부하와 4단계의 유기물 용적 부하는 비슷하나 운전 주기에서 3단계에서의 반응시간과 Filled/Decant의 비율을 유량이 5Q로 많아진 4단계에서 같은 비율로 적용하였기 때문이라고 판단된다.

부유물질의 경우 1단계와 2단계의 처리 농도가 각각 4.9 mg/L, 6.3 mg/L로 양호한 수질을 나타냈으며 부유물질 제거 효율은 1단계가 96.3%이고 2단계 89.9%로 고농도 유입수를 유입한 반응조의 효율이 약간 더 높게 나왔으나 큰 차이는 보이지 않았다. 침전성 평가를 위하여 Sludge Volumn Index 실험을 실시하였는데 1단계의 경우 평균 79.9 mL/g이며 2단계에서는 71.0 mL/g로 저농도 운전시의 SVI가 더 낮게 나타나고 있다. 이때 평균 MLSS는 2500 mg/L이었으며 F/M비는 0.07-0.17 kgBOD/kgMLSS로 운전되었다. 저농도 운전시 낮은 F/M비에 의해 내생호흡단계의 미생물 비율이 더 큰 것으로 판단되며 이에 따라 침전성이 더 커지며 더 작은 SVI값을 보이는 것으로 생각된다.

Fig. 3과 Fig. 4에 나타난 운전 경향을 토대로 소규모 하수처리장의 SBR 운전효율은 유기물 부하보다는 수리학적 부하에 훨씬 더 영향을 크게 받는 것으로 나타나 수리학적 부하가 설계 및 운전의 기준으로 사용되어야 할 것으로 사료된다. 특히 강우시의 운전을 고려할 경우에는 전체 운전 방법이 수리학적 부하를 낮추는 방법으로 즉, 생물학적 반응시간을 줄이고 침전시간을 늘이는 방법으로 운전하여 SBR 반응조가 거의 1차 침전지 역할을 하도록 하는 것이 효율적인 것으로 판단된다.

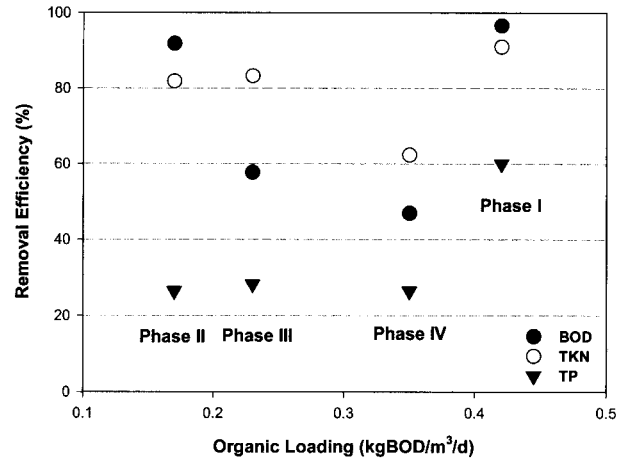


Fig. 3. Comparison of removal efficiencies of organics and nutrients as a function of organic loading between operation phases.

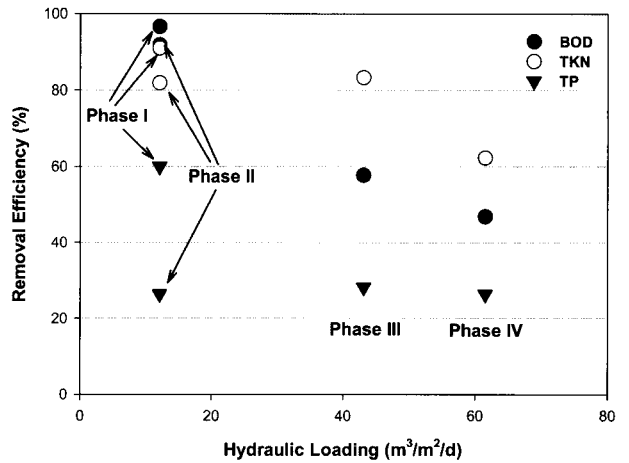


Fig. 4. Comparison of removal efficiencies of organics and nutrients as a function of hydraulic loading between operation phases.

McKinney의 설계식(최, 1998)에 의해 미생물을 구분하여 계산한 결과를 Table 3에 나타내었는데 1단계에서는 Ma=460.7 mg/L, Me=305.7 mg/L, Mi=637.0 mg/L, Mii=1096.6 mg/L이며 2단계에서는 Ma 216.4 mg/L, Me 330.9 mg/L, Mi 657.5 mg/L, Mii 1295.2 mg/L로 나타나 활성 미생물인 Ma 비율은 1단계가 더 크고 2단계에서는 Me 및 Mi 비율이 더 커지는 것으로 계산된다. 여기서 Ma=MLSS내의 활성미생물, Me= MLSS내의 내호흡미생물, Mi=포기내의 생물학적 분해불능한 유기성 부유물질, 그리고 Mii=포기조내의 무기성 부유물질을 의미한다.

유입 유량을 달리한 3단계와 4단계 운전결과 3.5Q로 유입수를 유입한 3단계의 유출 부유물질 농도가 7.1 mg/L로 5Q로 유입수를 유입한 4단계에서의 평균 유출수 농도 14.7 mg/L보다 더 낮게 나타났다. 부유물질 제거 효율은 3단계가 81.3%로 4단계의 48.3%보다 반응조의 효율이 더 높았다. 4단계에서는 5Q의 유입유량으로 유기물 부하는 낮고, 수리학적 부하가 높아져 포기조 반응시간보다 침전시간이 부족하게 되었으며 이것이 처리효율 악화의 주된 이유가

Table 3. Design parameters calculated by McKinney's Model

Phase	BODLoading (kgBOD/m ³ /d)	F/M (kgBOD/kgMT/d)	MLSS (mg/L)	Ma (mg/L)	Me (mg/L)	Mi (mg/L)	Mii (mg/L)	HRT (hr)	SRT (day)
Phase1	0.42	0.17	2500	460.7	305.7	637	1096.6	9	5.6
Phase2	0.17	0.07	2500	216.4	330.9	657.5	1295.2	9	12.8
Phase3	0.23	0.026	2500	99.4	350.9	895.4	1154.3	12	33.6
Phase4	0.35	0.028	2500	101.6	331.3	729.3	1337.8	10.08	30.4

Ma = active microorganism concentration (mg/L)

Me = endogenous microorganism concentration (mg/L)

Mi = non-biodegradable organics (mg/L)

Mii = non-biodegradable inorganics (mg/L)

된 것으로 판단된다.

3.2. 영양염류 제거효율

유입농도에 따른 질소 제거특성을 살펴보면 TKN 제거효율과 질산화 효율 측면에서 거의 차이를 보이지 않고 있다. 그러나 제거된 TKN양과 잔류 NO₃⁻-N의 차로 구한 탈질소 효율 면에서는 고농도와 저농도 운전에서 큰 차이를 보이고 있는데 고농도 운전 시에는 59%의 탈질소 효율을 나타내는 반면 저농도 운전에서는 29%로 현저하게 적게 나타나고 있다. 이는 저부하 운전에 따라 탈질소를 위한 탄소원 및 전자 공여체의 부족으로 탈질소가 일어나기 어려운 조건을 형성한데 따른 결과로 생각된다(이 등, 2005; Oh et al., 1999). 탈질소 효율은 질산화에 의해 생성된 질산성 질소의 질소 가스로의 전환율로 계산되어지며 탈질소 효율은 총질소 제거 효율로 다시 계산할 수 있다. 총질소 제거율은 1단계가 62%, 2단계가 31%이었다.

질소는 유량이 증가하면 제거효율이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 총질소제거와 밀접한 관계가 있는 탈질소화 효율이 특히 감소하기 때문이다. 또한 1단계는 2단계보다 탈질소화효율이 높고 3단계와 4단계는 3.5Q와 5Q로 저농도로 유입하는데 유입농도는 2단계와 거의 유사하다. 따라서 상대적으로 유량이 높고 반응조의 용량이 같으므로 체류시간이 작아서 3.5Q와 5Q에서 탈질소화효율이 떨어진다.

운전기간 중 pH는 7.0-7.5의 범위에 있어서 질소제거가 반응조의 pH에 미치는 영향은 관찰할 수 없었다. 질산화율이 높음에도 pH 변화가 크게 낮아지지 않은 것은 유입수가 가정하수였으므로 기존자료에 비추어(Choi et al., 1996) 충분한 알칼리도가 존재하였기 때문이라고 판단된다.

TP의 경우 1단계 반응조 유출수는 평균 1.92 mgTP/L이었으며 2단계 유출수 총인 농도는 평균 1.9 mg/L이었다. 1단계 유입수 농도가 2단계 유입수 농도보다 2 배가량 높으므로 제거효율은 1단계의 경우 60.0%, 2단계의 경우 26.4%였다. 미생물 합성시의 인 소요량은 대략 TBOD 제거량의 1% 정도로 알려지고 있는데 따라서 1단계 반응조의 평균 TBOD 제거량은 153 mg/L이므로 제거량의 1%인 1.53 mg/L의 인의 제거가 가능하다. 유입수 평균 인 농도 4.8 mg/L에서 유출수의 평균 인 농도 1.9 mg/L를 빼서 계산한 1단계 반응조 평균 인 제거량이 2.88 mg/L이므로 전체 제거량의 53%는 세포 합성에 의해 제거되어진 것이며 나머지 인 제거량이 인 제거 미생물 및 침전에 의한 제거

량으로 간주될 수 있다. 2단계 반응조에서는 유입수 평균 농도가 2.6 mg/L이고 유출수의 평균 농도가 1.9 mg/L로 평균적으로 0.7 mg/L가 제거된다. 여기서 TBOD 제거량이 평균 60 mg/L이므로 세포합성에 의한 인 제거량은 0.6 mg/L로 전체 제거량의 86%가 세포합성에 의해 제거된 것을 알 수 있다. 따라서 2단계 반응조에서는 인 제거 미생물에 의한 생물학적 인 제거는 거의 일어나지 않은 것을 알 수 있는데 이는 저농도 유입수에 기인한 탄소원 부족의 영향으로 생각할 수 있다. 인 제거 미생물의 경우 유기물질 경쟁관계에서 가장 열등한 미생물로 충분한 VFA (Volatile Fatty Acid)가 없으면 우점할 수 없는 것으로 알려지고 있다(Choi et al., 1996; McClintock et al., 1988).

3단계 반응조에서 평균 28.2%의 총인 제거효율을 나타내고 있으며 4단계 반응조의 경우는 평균 26.4%의 총인 제거효율을 보여주고 있다. 이는 3단계와 4단계의 유량이 1 단계나 2단계에 비해 많고 유량이 많아질수록 인 제거효율이 낮아짐은 탄소원 부족으로 탈질소화 되지 못한 산화질소가 인 방출을 저해하기 때문인 것으로 알려지고 있다(Peter et al., 1993). 일반적으로 생물학적 처리법에서 인 제거량과 SRT가 길수록 미생물 생성률이 저하되기 때문에 인 제거율도 나빠진다(양 등, 2000). 탈인 미생물은 산화질소가 있는 경우 유기물 섭취능력이 떨어지기 때문에 인 방출이 낮아지게 되며(Schon et al., 1993) 혐기성 조건동안 내부 탄소원을 확보하지 못한 인 제거 미생물은 호기성조건 상태에서도 인을 섭취하지 못하므로 교반시간을 충분히 확보하여 탈질소화 반응이 선행되도록 하여야 한다(장 등, 2005).

4. 결론

본 연구에서는 소규모 분산처리가 가능한 회분식 반응조에 대한 저농도 하수의 영향을 연구하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) SBR공정의 하수처리장에서 저농도 유입수로 운전할 경우나 강우시 또는 과다유량 유입시, 운전효율은 유기물 부하보다는 수리학적 부하에 훨씬 더 영향을 크게 받으며, 정상 운전을 위해, 평상시보다 포기시간은 줄이고 침전시간은 오히려 더 늘리는 것이 필요하다.
- 2) 저농도 유입수의 탄소원이 매우 부족하여 탈질소율이 저조한 것으로 나타났다. 저부하 운전에 따라 탈질소를

- 위한 탄소원 및 전자 공여체의 부족으로 탈질소가 일어나기 어려운 조건을 형성한데 따른 것이다.
- 3) 총 인은 유입수에 비해 실질적인 제거량이 작으며 인 제거 미생물에 의한 생물학적 인 제거는 거의 일어나지 않은 것으로 나타났는데 이는 저농도 유입수에 기인한 탄소원 부족의 영향으로 판단된다.
- 4) 강우시 일반적인 설계기준인 3Q보다 더 많은 유량이 유입 될 때는 앞에서 제시한 포기시간을 줄이고 침전시간을 늘리는 방법 이외에 다른 한 주기의 변화를 주어야 하는데 본 연구의 4단계 운전 방법 운전 주기를 토대로 반응시간과 침전시간을 늘리고 Filled/Decant공정의 시간을 줄이는 것이 바람직하다고 사료된다.

참고문헌

- 박민정, 김동석, SBR을 이용한 소규모 오수처리시설에 관한 연구, *한국환경과학회지*, **12**(4), pp. 427-437 (2003).
- 손봉호, 길경익, 어성욱, 유입농도 변화에 따른 OMNIFLO SBR의 운전특성 비교연구, *한국물환경학회, 대한상하수도학회 공동총회 학술발표회 논문집*, pp. 433-437 (2002).
- 양형재, 신응배, 정윤철, 최훈근, 연속회분식반응조를 이용한 생물학적 인 제거연구, *한국물환경학회지*, **16**(4), pp. 533-539 (2000).
- 이광호, 이재근, SBR 운전 구성시간 변화에 따른 질소거동의 특성, *대한토목학회논문집*, **25**(2B), pp. 173-179 (2005).
- 장승철, 이장훈, 권혁구, 김동욱, 인공하수 조성 성분에 따른 SBR처리 공정의 효율에 관한 연구, *한국환경보건의학회지*, **31**(2), pp. 99-106 (2005).
- 최의소, *폐기물처리와 자원화*, 청문각, pp. 23-26 (1998).
- 환경부, 한국토지공사, *주택단지 상수·오수 발생량 원단위 산정 및 소요 비용연구* (2001).
- 환경부, 한국하수도협회, *하수도시설기준*, pp. 73-77 (1998).
- 허목, 이용도, 한지용, SBR을 이용한 제주지역 하수중의 질소, 인 제거, *한국수처리기술연구회*, **6**(3), pp. 65-76 (1998).
- American Public Health Association, AWWA, WEF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Edition, Washington DC. USA (1998).
- Barnard, J. L., Randall, C. W. and Stensel, H. D. (eds.), Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal, *Water Quality Management Library*, **5**, Technomic Publishing, pp. 25-34 (1992).
- Choi, E., Oa, S., Lee, J. and Lee, H. S., Another Carbon source for BNR System, *Water Science & Technology*, **34**(1-2), pp. 363-369 (1996).
- McClintock, S. A., Sherrard, J. H., Novak, J. T. and Randall, C. W., Nitrate Versus Oxygen Respiration in the Activated Sludge Process, *Journal of Water Pollution Control Federation*, **60**, pp. 342-350 (1988).
- Oh, J. I. and Silverstein, J., Acetate Limitation and Nitrite Accumulation during Denitrification, *Journal of Environmental Engineering*, **125**(3), pp. 234-242 (1999).
- Peter, J., Jespersen, K. and Henze, M., Biological Phosphorus Uptake under Anoxic and Aerobic Condition, *Water Research*, **27**(4), pp. 617-624 (1993).
- Rim, Y., Yang, H., Yoon, C., Kim, Y., Seo, J., Ryu, J. and Shin, E., A Full-scale Test of a Biological Nutrients Removal System using the SBR Activated Sludge Process, *Water Science and Technology*, **35**(1), pp. 241-247 (1997).
- Schon, G., Gfywitz, S. and Mertens, F., Influence of DO and ORP on Phosphorus Release and Uptake by Activated Sludge from Sewage Plants with EBPR, *Water Research*, **27**(3), pp. 343-354 (1993).