

간헐포기 MBR공정에서 포기시간에 따른 운전특성 평가

임봉수[†] · 최봉철

대전대학교 환경공학과

Evaluation of Operation Characteristics with Aeration Time in Intermittent Aeration Membrane Bioreactor

Bong-Su Lim[†] · Bong-Choel Choi

Department of Environmental Engineering, Daejeon University

(Received 7 March 2005, Accepted 25 April 2005)

Abstract

This study was conducted to evaluate the operation characteristics with aeration time in intermittent aeration membrane bioreactor. The BOD removal efficiency rate of this process was over than 97% regardless of aeration on/off time. To get over than 82% of nitrogen removal efficiency rate, aeration off time needs more than 70 minutes in reactor. Specific denitrification rate was 2.68 mg NO₃-N/gMv/hr in 40/80 min aeration on/off time, was 2.6 times more than 60/60 min, and 1.4 times more than 50/70 min in 6,300 mg/L of MLSS concentration. Specific nitrification rate was 1.96 mg NH₄-N/gMv/hr in 50/70 min, was 1.4 times more than 40/80 min, but it was effected little upon nitrification. Microbial activity was effected little according to aeration on/off time, oxygen demand was reduced according to aeration off time increased and microbial concentration increased. The longer aeration off time become, the higher Extracellular Polymeric Substance (EPS), 50/70 min and 40/80 min in aeration on/off time was increased 1.6 times and 2.7 times, respectively more than 60/60 min because of increase of operation pressure.

keywords : Membrane bioreactor (MBR), Aeration on/off time, Extracellular polymeric substance (EPS), Flux

1. 서론

SBR(Sequencing Batch Reactor)공정은 부지면적의 축소와 시설 및 운전이 간단하고 유입, 반응, 침전, 배출 등 하나의 반응조에서 혐기, 호기, 무산소 반응이 일어나며 시간 배분에 따른 운전조건의 변화에 따라 질소제거 특성(Grac et al., 1994)이 다르게 나타나는 것을 이용하여 높은 질소 및 인의 고도처리가 가능하다.

그러나 SBR공정은 다른 생물학적 공법과 마찬가지로 침전지에서 발생하는 슬러지 벌킹(Sludge Bulking), 핀 플록(Pin-Floc)현상, 고액분리 등의 운전상 어려움을 가지고 있다. 그리고 수질오염방지시설의 처리기준이 강화됨으로써 기존의 생물학적 고도처리 공법으로는 침전지에서 발생하는 각종 문제점 등으로 인한 부유물질 제거, 처리수질의 저하 등(양 등, 1990)으로 인해 현재의 방류수 수질기준을 안정적으로 처리하기 어려우므로 이러한 문제점을 해결하고 미생물 농도를 증가시켜 처리효율 향상을 위해 MBR(Membrane Bioreactor)공정이 국내·외에서 활발히 연구되고 있다.

현재 막분리기술은 교차흐름 여과방식(Cross flow filtra-

tion)과 침지형 분리방식(Submerged membrane)이 있으며 양질의 음용수 생산, 하·폐수 고도처리 및 재이용 등의 수처리분야에서 적용이 확대되고 있고 핵심기술로 자리잡고 있으며(Mallevialle et al., 1996) 1990년대에 들어 분리막의 성능을 개선하고 침지형 분리막이 채택됨으로써 MBR의 상용화가 급격히 이루어지게 되었다.

그리고 SBR공정의 장점과 침전지 대신 반응조내에 분리막을 침지시킨 MBR공정을 이용하여 침전지에서 발생하는 문제점과 상관없이 적절한 시간배분으로 질산화와 탈질을 유도하여 질소 및 인의 고도처리에 대한 연구(최 등, 2003b; 허 등, 2001; Kang et al., 2003)가 진행되고 있다. 또한 분리막을 사용함으로써 발생하는 EPS(Extracellular Polymeric Substance), 케이크 저항, 투과압의 상승 등의 문제점을 해결하고자 많은 연구가 수행되고 있다.

본 연구는 실제 유입하수를 대상으로 단일반응조에 분리막을 침지시킨 간헐포기 MBR공정으로 높은 유기물질 및 질소제거효율을 얻기 위한 적절한 포기/비포기 시간배분과 이에 따른 미생물 활성도, 막오염의 주원인인 EPS성분, 차압 등을 측정하여 포기/비포기 시간에 따른 운전특성을 평가하고자 하였다.

[†] To whom correspondence should be addressed.

bslim@dju.ac.kr

2. 연구방법

2.1. 실험장치

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 간헐포기 MBR공정도를 나타낸 것이고 Table 1은 반응조에 장치된 분리막의 사양을 나타낸 것이다.

반응조는 유효용적 5.5 L, 체류시간 8.8 hr로 설계하였으

Table 1. Specification of membrane

Item	Specification
Pore size	0.3 μm
Total length	55 cm \times 18 ea
Thickness	2 mm
Section area	0.062 m ²
Merterial	Polyacrylether sulfone

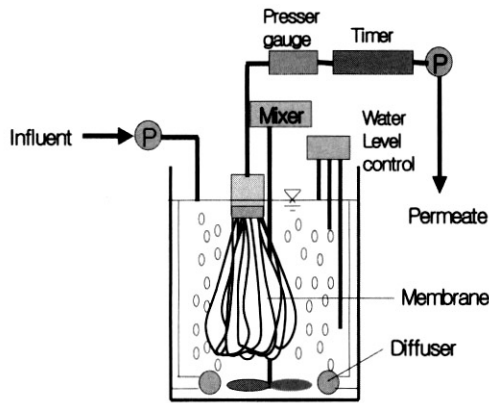


Fig. 1. Schematic diagrams of experimental MBR reactor.

Table 2. Characteristics of influent

Item	Min.	Max.	Avg.	(unit : mg/L)			
				Item	Min.	Max.	Avg.
pH	6.7	7.7	7.0	TKN	23	35	27
TBOD	92	223	133	NH ₄ -N	17	23	20
TCODer	142	242	195	T-N	24	37	30
SCODer	53	99	70	T-P	2.3	5.2	3.8
TSS	83	117	98	Alkalinity	116	142	125

Table 3. Operation conditions by on/off time

Aeration on/off time	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	S/NS Time(min)
60/60	Aeration						Anoxic						10/2
50/70 (I, II)	Aeration					Anoxic							8/2
40/80	Aeration				Anoxic								8/2
Remarks	■ S(Suction) □ NS(Non-suction) ▨ Influent feeding time 50/70(I) = MLSS 6,300 mg/L 50/70(II) = MLSS 8,300 mg/L												

며, 반응조 내부에 PS(Polyacrylether Sulfone)재질인 0.3 μm 의 Pore size, 직경 2 mm, 단면적 0.062 m²의 K사 제품인 중공사막(Microfiber)을 사용하였다. 반응조 하단에는 분리막의 막오염을 감소시키고 포기를 위해 산기석을 2개 설치하여 약 10 L/min의 공기량을 주입하였으며, 포기시에 흡입이 이루어지고 비포기시에는 수위조절기에 의해 원수가 유입·차단되며 교반이 이루어지도록 하였다. 그리고 포기/비포기 시간은 타이머에 의해 조절되어 호기/무산소 조건이 이루어지도록 하였다. 반응조의 운전온도는 운전기간중 17~23°C 정도로 실험실 실온을 맞추도록 노력하였다.

2.2. 실험방법

Table 2는 실험에 사용된 유입원수의 성상을 나타낸 것이다. 대상시료는 대전시 P 아파트 단지의 오수처리시설 유입수를 사용하였으며, 원수의 부유물질을 제거하기 위해 1 mm 채로 여과시켜 사용하였다. 유입원수는 평균 BOD 133 mg/L, CODcr 195 mg/L로 일반 도시하수의 COD/BOD비인 1.72보다 다소 낮은 1.47로 나타났으며, C/N (COD/TKN)비는 평균 7.2로 나타났다. 그리고 질산화에 소모되는 알카리도는 7.14 mg/mgNH₄-N(Randall, 1992)인데 유입원수의 알카리도는 평균 125 mg/L로 탈질시 생성되는 알카리도 3.6 mg/mgNO₃-N로 생성되므로 인위적인 알카리의 주입은 필요없었다.

Table 3은 포기/비포기 시간별 운전 조건을 나타낸 것이다. 본 연구는 유량 15 L/d, Flux 10 LMH(L/m²/hr), HRT 8.8 hr, 공기량 10 L/min, MLSS 6,300 mg/L로 운전하였다. 그리고 포기/비포기 시간배분을 60/60, 50/70(I), 40/80 min으로 변화시켜 1 Cycle을 2시간으로 하여 1일 12 Cycle이

되도록 운전하였다. 그리고 포기/비포기 시간에 따른 압력 및 제거효율의 측면에서 분석한 결과 막손상에도 불구하고 양호한 처리수 수질을 확보한 50/70(II) min에서는 MLSS 8,300 mg/L로 운전하였다. 각 운전모드에서 막오염에 주원인이 된다고 보고되고 있는 EPS 및 운전특성에 대해 평가하고자 하였다.

포기시 DO는 0에서 7 mg/L까지 변화되었으며, 포기가 끝나고 비포기시 약 10분 후에는 DO가 0으로 떨어져 비포기시 탈질 저해현상을 감소시키기 위해 포기가 끝난 후 비포기 10분 후에 원수를 주입하였다. 흡입은 포기시에 이루지 않고 연속 흡입시 압력증가로 인한 막오염을 줄이기 위해 흡입/비흡입 시간을 60/60 min일 때 10/2 min이고, 50/70(I, II) min과 40/80 min일 때 8/2 min으로 포기시간내에 간헐적으로 흡입하도록 운전하였다.

본 연구에서 시료의 분석방법은 Standard Methods (APHA, 1998)에 준하여 실시하였다. 주요 수질항목은 BOD, COD, TSS, VSS, TKN, NH₄-N, T-N, T-P, 알카리도이며, EPS의 주성분인 탄수화물과 단백질 성분은 슬러지를 10 mL정도 취하여 conical tube에 넣고 3200 rpm에서 30분간 원심분리하여 상등수를 버리고 생리식염수로 재부상시켜 혼합하는 과정을 2회정도 반복한다.

그리고 생리식염수로 10 mL를 맞추어 재현탁시키고 100 °C 정도에서 1시간 정도 반응시킨 후 원심분리시켜 슬러지 내에서 추출되는 상등수를 취한다. 전처리를 거친 후 탄수화물은 Phenol-sulfuric acid(Dubois et al., 1956)방법에 의해 측정하였으며, 단백질은 Bicinchoninic acid protein assay를 이용한 Lowry method(Lowry et al., 1951)에 의한 방법으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유기물질 제거

Table 4는 포기/비포기 운전조건에서 유기물질의 분석결과를 나타낸 것이고, Fig. 2는 유기물질 제거효율을 나타낸 것이다. 포기/비포기 시간이 60/60, 50/70(I), 40/80, 50/70(II) min일 때 BOD 제거효율은 각각 98.7, 97.5, 99.0, 98.4%이며, COD 제거효율은 각각 95.7, 92.3, 92.9, 95.5%로 나타났다.

50/70(I) min에서 BOD 97.5%, COD 92.3%, SCOD 83.9%로 가장 낮게 측정되었는데, 이는 반응조내에 있는 막의 손상으로 인해 미생물 플록이 유출되어 제거효율이

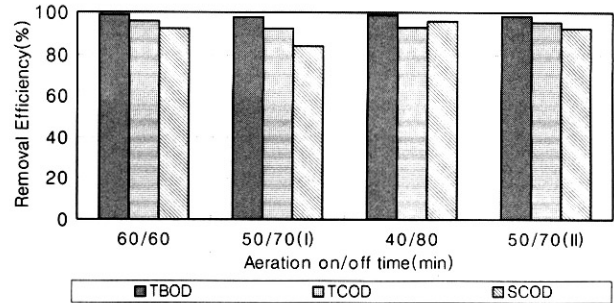


Fig. 2. Organic removal efficiency by aeration on/off time.

다소 낮게 측정된 것으로 판단된다.

운전조건에 있어서 BOD보다 COD의 제거효율이 작게 나타났는데 이는 포기조내 미생물 대사산물(Soluble Microbial Product, SMP)이 증가하여 생물학적으로 분해가 불가능한 유기물이 증가하였기 때문으로 사료된다(박 등, 1997).

결과적으로 유기물질 제거는 포기/비포기 시간에 관계없이 BOD 97%, COD 92%, SS 100% 이상 높은 제거효율을 얻을 수 있었으며, 동일한 포기/비포기 조건에서 미생물 농도를 증가시키더라도 유기물질 제거효율에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

3.2. 질소제거

Table 5는 운전조건별 총질소 및 NH₄-N의 평균농도 및 제거효율을 나타내고 있으며, Fig. 3은 운전조건별 제거효율을 나타낸 것이다.

포기/비포기 시간이 60/60, 50/70(I), 40/80, 50/70(II) min일 때 총질소 제거효율은 각각 60.0, 82.2, 82.9, 86.9 %로 비포기 시간이 길어질수록 높은 제거효율을 나타냈으며 미생물 농도를 증가시킨 50/70(II) min에서 다소 높게 나타났다.

유사한 막 공정인 최의 연구(최 등, 2003a)에 의하면 별도의 무산소조를 두고 간헐포기 MBR공정에서 총질소 유입농도 45.3 mg/L이고, 포기/비포기 시간이 20/20 min일 때 최대 제거효율은 78.8%로 나타났다. 또한 최의 연구(최 등, 2003b)의 경우에는 간헐포기 MBR공정을 이용하여 HRT 6 hr으로 운전하였는데, 유입 NH₄-N 35 mg/L, 포기/비포기 시간이 60/60 min인 경우 총질소 제거효율이 77%이므로 본 공정에서 처리효율이 더 양호한 결과를 나타냈다.

그러나 포기 시간을 줄이고 비포기 시간을 증가시키는 것은 분리막을 이용하여 흡인을 하기 위한 한계유량 및 막오염에 대한 문제가 있으므로 본 연구의 간헐포기 MBR공정에서 완전한 질산화를 위해서는 분리막을 이용한 흡인량

Table 4. Result of organic removal efficiency by aeration on/off time

Condition		Influent (mg/L)			Effluent (mg/L)			Removal efficiency (%)		
MLSS (mg/L)	Time (min)	TBOD	TCOD	SCOD	TBOD	TCOD	SCOD	TBOD	TCOD	SCOD
6,300	60/60	115	192	66	1.5	8.3	5.2	98.7	95.7	92.2
	50/70(I)	121	203	69	3.0	15.6	11.1	97.5	92.3	83.9
	40/80	162	190	73	1.7	13.5	3.0	99.0	92.9	95.9
8,300	50/70(II)	148	210.4	90.7	2.4	9.4	6.8	98.4	95.5	92.5

Table 5. Result of nitrogen removal efficiency by aeration on/off time

On/off time (min)	Influent (mg/L)		End of aeration (mg/L)	Effluent (mg/L)			Removal efficiency(%)		
	TKN	NH ₄ -N	NH ₄ -N	TKN	NH ₄ -N	NO ₃ -N	TKN	NH ₄ -N	TN
60/60	24.5	20.9	0.5	2.9	1.1	8.7	88.2	94.9	60.0
50/70(I)	29.2	18.3	0.1	1.4	1.1	4.1	95.2	94.0	82.2
40/80	28.1	20.0	0.1	1.1	0.8	4.0	96.1	96.0	82.9
50/70(II)	30.6	17.4	0.04	1.4	0.6	3.4	95.4	96.9	86.9

Table 6. Result of SCOD and NO₃-N concentration in unit process

On/off time (min)	Item	Unit process			
		Influent (mg/L)	Anoxic (mg/L)	Oxic (mg/L)	Effluent (mg/L)
60/60	SCOD	66.2	20.7	8.4	5.2
	NO ₃ -N	0.6	6.2	10.6	8.7
50/70(I)	SCOD	69.2	17.3	12.0	11.1
	NO ₃ -N	0.5	0.4	5.1	4.1
40/80	SCOD	72.7	15.8	3.5	3.0
	NO ₃ -N	0.4	0.6	4.0	3.8
50/70(II)	SCOD	90.7	19.2	7.9	6.8
	NO ₃ -N	0.4	0.4	4.8	3.4

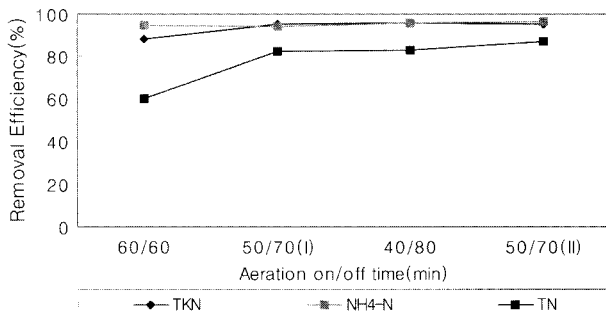


Fig. 3. Nitrogen removal efficiency by aeration on/off time.

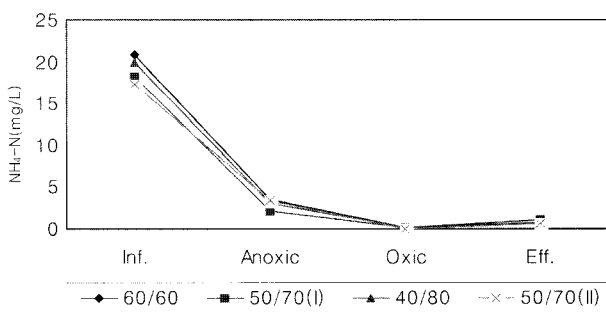


Fig. 4. Variation of NH₄-N concentration in each unit process.

과 시간을 고려할 때 포기시간 40 min 이상 필요했으며, 83% 이상의 총질소 제거효율을 얻기 위해서는 비포기 시간이 70 min 이상이 필요하다고 판단된다.

Fig. 4는 단위공정에 따르는 NH₄-N의 변화를 나타낸 것으로 NH₄-N의 측정에 있어서 무산소 단계는 비포기가 끝날 때 측정된 것이며, 호기성 단계는 포기가 끝날 때 측정된 것이다. 평균 NH₄-N 제거효율은 무산소조에서 83%, 포기조에서 12%로 무산소조에서 높은 제거효율을 나타냈다.

운전조건별 단위공정에서 무산소 단계의 NH₄-N가 낮게 측정된 이유는 회분식 반응조로서 무산소 단계일 때 NH₄-N가 유입되므로 약 1/4의 회석에 기인된 것이며, 질산화는 간헐포기시간이 짧아지더라도 운전조건에 상관없이 포기가 끝나는 시점의 NH₄-N는 0.5 mg/L이하로 완전한 질산화가 이루어진 것으로 판단된다. 이는 포기시 반응조내에 DO 농도가 7 mg/l 정도로 높게 운전되었고 SRT가 길어 성장속도가 느린 질산화 미생물의 확보에 기인한 것으로 본다 (Muller et al., 1995).

Table 6은 운전조건에 따른 단위공정별 SCOD와 NO₃-N의 농도 분석결과를 나타낸 것이고 Fig. 5와 6은 이에 따른 농도변화를 그림으로 각각 나타낸 것이다. 60/60, 50/70(I), 40/80, 50/70(II) min일 때 비포기시 SCOD제거효율은 각각 68.7%, 75.0%, 78.3%, 78.8%로 MLSS 6,300 mg/L로 운전된 40/80 min보다 MLSS 8,300 mg/L로 운전된 50/70(II) min에서 가장 높게 나타났다. 이는 비포기 시간이 길어지면서 탈질시간이 길어져 40/80 min일 때 무산소조에서 더 많은 유기물질이 제거되었으며, 50/70(II) min은 미생물 농도의 증가로 인해 높은 제거효율을 나타낸 것으로 판단된다.

Table 7은 운전조건에 따른 질산화율(SNR : Specific Nitrification Rate)과 탈질율(SDNR : Specific Denitrification Rate)을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 질산화율은 포기/비포기 시간이 50/70(I) min일 때 1.96 mgNH₄-N/gMv/hr으로 가장 높게 측정되었으며, 유입 TKN농도가 29.2 mg/L, MLVSS 4,400 mg/L의 조건에서 TKN이 완전히 질산화된다고 가정하면 이 질산화율로 계산된 질산화에 필요한 소요시간은 약 3.4 hr이 필요하다. 하지만 실운전은 1 Cycle에 포기 50/120 min이고, 체류시간 8.8 hr로 운전하여 총 포기시간은 3.7 hr으로 충분한 질산화가 이루어진다고 판단된다.

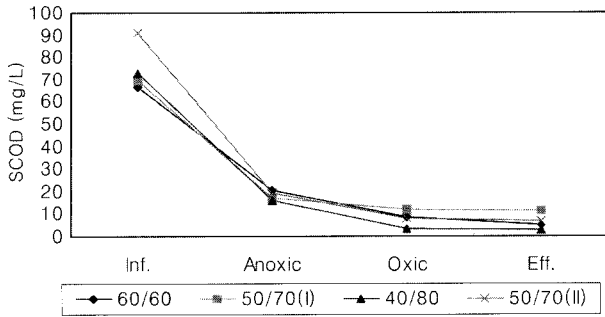


Fig. 5. Variation of SCOD concentration in each unit process.

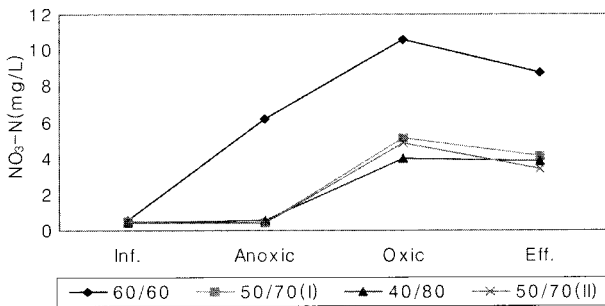


Fig. 6. Variation of NO₃-N concentration in each unit process.

Table 7. Result of DNR and SDNR by aeration on/off time

On/off time (min)	DNR (mgNH ₄ -N/gVSS/hr)	SDNR (mgNO ₃ -N/gVSS/hr)
60/60	1.2	1.05
50/70	1.96	1.92
40/80	1.42	2.68

그리고 탈질율은 40/80 min일 때 2.68 mgNO₃-N/gMv/hr로 가장 높게 측정되었다. 유입 TKN농도가 28.1 mg/L, MLVSS가 4,500 mg/L의 조건에서 TKN이 완전히 NO₃-N로 전환된다고 가정하면 탈질에 필요한 소요시간은 약 2.3 hr이 필요하다. 이 경우도 실운전은 1 Cycle에 비포기 시간이 80/120 min이고, 체류시간 8.8 hr로 운전할 때 무산소 시간은 약 5.9 hr으로 C/N비, 잔류 용존산소량, 반응속도 등을 고려하지 않을 때 탈질을 위해 충분한 시간인 것으로 판단된다.

3.3. 인 제거

Table 8은 운전조건별 인 분석결과를 나타낸 것이다. SRT 26-29일에서 포기/비포기 시간이 60/60, 50/70(I), 40/80, 50/70(II) min일 때 총인 제거효율은 각각 31.4%, 38.2%, 38.6%, 45.9%로 낮게 나타났다. Randall 등(1992)에 의하면 TCOD : TP의 비율은 먹이의 분배를 결정하여 서로 다른 미생물 종이 군집을 결정하는 중요한 인자이며, 40 : 1이상이면 유출수의 TP를 1 mg/L이하로 얻을 수 있다고 밝히고 있다.

비록 실험 기간 중 TCOD : TP비는 평균 62 : 1로 만족하고 있지만, 단일반응조에서 포기시 DO가 높고 유입되는 유기물질이 세포합성 및 탈질에 모두 소모되어 인 제거효율이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 그리고 최의 연구(최

Table 8. Result of phosphorous removal efficiency by aeration on/off time

On/off time (min)	Influent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Removal efficiency(%)	
	TP	PO ₄ -P	TP	PO ₄ -P	TP	PO ₄ -P
60/60	3.5	2.4	2.4	2.1	31.4	14.2
50/70(I)	3.4	2.4	2.1	2.0	38.2	16.7
40/80	4.4	2.8	2.7	2.5	38.6	10.7
50/70(II)	3.7	2.5	2.0	1.9	45.9	24.0

등, 2003a)에 의하면 별도의 무산소조를 갖고 있는 막공정에서 Alum을 주입하여 총인 제거효율이 85%이상으로 매우 높게 나타났다. 그러므로 SRT가 길게 운전되는 MBR공정의 특성상 인을 효과적으로 제거하기 위해 별도의 혐기조나 응집제의 주입을 검토해야 할 것으로 판단된다.

3.4. 산소섭취율

Fig. 7은 포기/비포기 시간에 따른 DO변화를 나타낸 것이며, Fig. 8은 반응조내에서 포기가 끝난 후에 시간에 따른 미생물의 산소섭취율을 측정된 것이다.

모든 운전조건에 있어서 평균 MLVSS 4,500 mg/L, 공기량 10 L/min일 때 2시간 동안(1 Cycle) 측정된 결과, 비포기가 끝나고 포기가 시작되면서 약 20분내에 DO농도는 0에서 약 7 mg/L까지 증가한 후 20분 후에는 거의 증가하지 않았으며, 포기가 끝난 후에는 약 10분 동안에 DO 농도가 0으로 감소하는 것으로 나타났다. 이 결과를 볼 때 비포기 단계 시작 후 약 10분 후에 용존산소가 없는 조건이 된 것으로 보아 최소한 10분 정도 후에 원수를 주입시

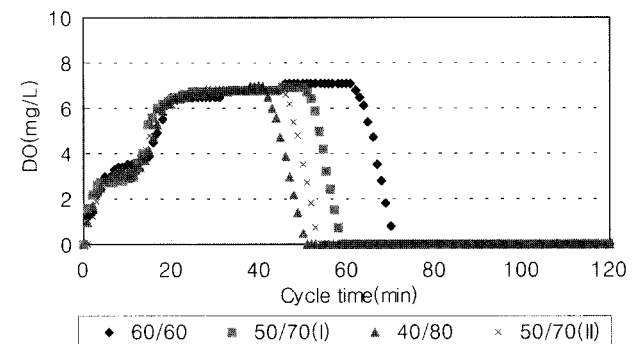


Fig. 7. Variation of DO concentration by aeration on/off time.

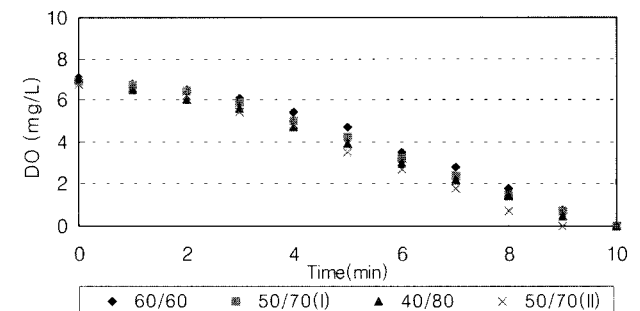


Fig. 8. Variation of DO concentration after aeration time.

키는 것이 바람직하다.

그러므로 이는 포기가 시작되면서 DO 농도가 높게 증가하여 거의 완전한 질산화를 수행할 수 있으며, 비포기가 시작된지 약 10분 후에 무산소 상태를 유지하는 것으로 판단된다(허 등, 2001). 침지형 막결합 SBR공정에서 DO변화에 대한 막여과특성을 조사한 결과 DO가 높을수록 여과능력이 양호하게 증가하는 이는 DO가 높을수록 케이크층의 비저항이 적어지기 때문인 것으로 보고하고 있다(Kang et al., 2003).

Table 9는 미생물 활성도를 나타내는 산소섭취율(SOUR, Specific Oxygen Uptake Rate)과 산소소요량을 나타낸 것이다. 여기서 산소소요량은 측정된 산소섭취율에 의해 계산된 것이다.

SRT가 길고 MLVSS 농도가 높으며 유기물질 부하가 작을수록 미생물 활성도가 저하되어 SOUR값이 감소하지만(Halil et al., 2002) 포기/비포기 시간변화의 운전조건에 상관없이 SOUR은 평균 9.38 mgO₂/gMv/hr로 비슷하게 나타난 것으로 보아 본 연구에서 포기/비포기 시간비율이 미생물 활성도에 미치는 영향은 적은 것으로 판단된다.

하수도고처리 공정별 실험실 연구에서 산소소요량은 간헐포기 A2/O공정에서 약 2.27 kgO₂/kgBOD_{rm}(조, 2001), SBR공정에서 약 2 kgO₂/kgBOD_{rm}(임 등, 1998), 부유성담체를 이용한 MLE공정에서 약 1.3 kgO₂/kgBOD_{rm}(박, 2003)로 보고하였다. 하지만 본 연구에서 높은 미생물 농도와 DO 농도로 인하여 산소소요량은 2.7-3.3 kgO₂/kgBOD_{rm}으로 비교적 다른 공정보다 높게 측정되었으며, 산소소요량은 포기시간이 짧고 비포기 시간이 길어질수록 감소하며 미생물 농도가 증가하면서 산소소요량은 감소하는 것으로 나타났다.

Table 9. Result of SOUR and oxygen demand by aeration on/off time

Item	60/60	50/70(I)	40/80	50/70(II)
SOUR (mgO ₂ /gVSS/hr)	9.47	9.41	9.27	8.94
Oxygen demand (kgO ₂ /kgBOD _{rm})	3.29	3.09	2.31	2.7

3.5. EPS 생성

Table 10은 포기/비포기 운전조건에 따른 EPS성분을 나타낸 것이고 Fig. 9은 운전조건에 따른 EPS성분 변화를 비교하여 나타낸 것이다.

EPS는 미생물의 대사활동이나 파괴로 인한 탄수화물과 단백질을 주성분으로 하고 있으며, 반응조의 운전조건이나 미생물의 상태에 따라 그 양이 변하며 점도를 증가시키고 분리막 표면에 축적되어 막오염의 주원인으로 보고되고 있다(장, 1996; Nagaoka et al., 1996).

EPS성분인 탄수화물과 단백질은 60/60 min일 때 각각 12.3, 30.4 mg/gMv이고 50/70(I) min일 때 14.2, 47.3 mg/gMv, 40/80 min일 때 27.7, 80.7 mg/gMv로 비포기 시간이 길어질수록 탄수화물 및 단백질 성분이 급격히 증가

Table 10. Result of carbohydrate and protein mass by aeration on/off time

On/off time (min)	MLVSS (mg/L)	carbohydrate (mg/gVSS)	protein (mg/gVSS)
60/60	4,500	12.3	30.4
50/70	4,400	14.2	47.3
40/80	4,533	27.7	80.7

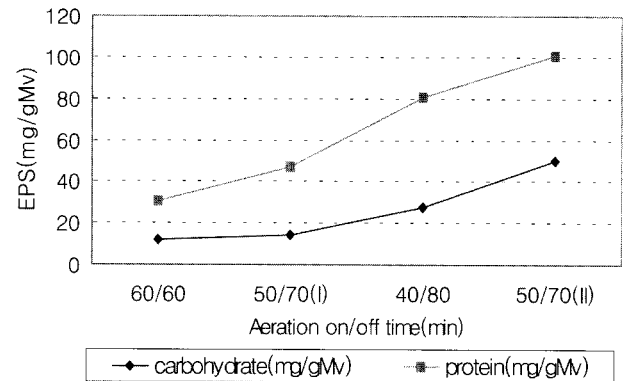


Fig. 9. Variation of EPS by aeration on/off time.

하는 것으로 나타났다.

이는 SRT가 길고 비포기 시간이 길어지면서 세포용혈이 심하게 일어나 점액질의 EPS성분이 증가(Bura et al., 1998)한 것으로 판단되며, 신 등(2002)의 연구에 의하면 단백질은 MLSS 3,000 mg/L이고 SRT 20일 일때 약 30 mg/gMv, SRT 40일 일때 35 mg/gMv으로 증가하는 것으로 보고하였다.

3.6. 압력변화

Fig. 10은 포기/비포기 운전조건별 흡입압력(TMP : Transmembrane Pressure)변화를 나타낸 것이다.

평균 MLSS 6,300 mg/L, HRT 8.8 hr, 공기량 10 L/min으로 운전한 결과, 포기/비포기 조건이 60/60 min일 때 운전기간은 21일, 40/80 min일 때 운전기간은 17일 일때 압력이 23 kPa로 상승하여 목표 Flux 10 LMH를 유지하기 어려웠다.

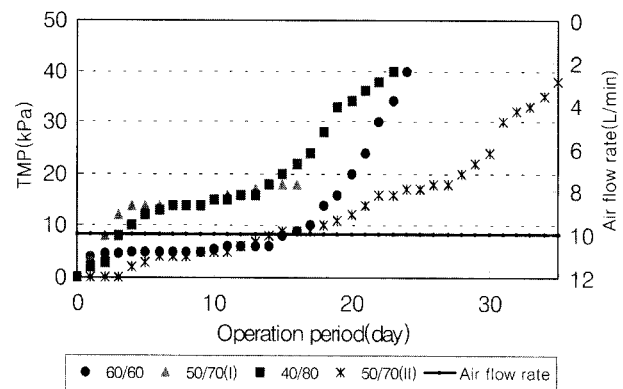


Fig. 10. Variation of transmembrane pressure by aeration on/off time.

압력은 60/60 min에 비해 40/80 min일 때 압력이 급격히 상승하는 것을 알 수 있었다. 이는 포기/비포기 시간이 40/80 min일 경우 비포기 시간에 교반을 해주더라도 비포기 시간이 증가하면서 EPS성분이 증가하여 막저항에 의해 운전압력이 상승한 요인으로 볼 수 있다.

4. 결론

하수고도처리를 위한 간헐포기 MBR공정에서 HRT 8.8 hr, Flux 10 LMH로 운전할 때 포기/비포기 시간배분에 따른 유기물질 및 질소 제거효율과 막오염에 관련된 EPS성분 및 압력에 대해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 포기/비포기 시간 배분에 차이없이 BOD 제거효율은 97% 이상 얻을 수 있었으며, 포기/비포기 시간이 40/80 min일 때 99%로 가장 양호하였다.
- 2) 질소제거에 있어서 포기/비포기 시간배분에 차이없이 질산화는 99% 이상 이루어 졌으며, 간헐포기시 비포기 시간은 총질소 제거효율 82% 이상을 얻기 위해서는 70 min 이상 필요하다.
- 3) 탈질율은 포기/비포기 시간이 40/80 min일 때 2.68 mgNO₃-N/gMv/hr로 60/60 min에 비해 약 2.6배, 50/70 (I) min에 비해 약 1.4배 증가하였으며, 질산화율은 50/70(I) min일 때 1.96 mgNH₄-N/gMv/hr로 나타났고 40/80 min에 비해 약 1.4배 감소했지만 질산화에 큰 영향이 없었다.
- 4) 미생물 활성도는 포기/비포기 시간배분에 따라 미치는 영향이 적은 것으로 나타났지만 산소소요량은 비포기 시간이 길어지고 미생물 농도가 증가할수록 감소하였다.
- 5) 미생물당 EPS성분은 비포기 시간이 길어질수록 높아졌으며, 60/60 min에 비해 50/70(I) min, 40/80 min이 각각 1.6배, 2.7배 증가하여 운전압력의 증가에 의한 요인이 된다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2004-000-10494-0)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 박재로, 지재성, 김용호, 증공사 정밀여과막 활성슬러지법 (ASMF)에 의한 생활하수의 분리특성에 관한 기초연구, *한국수질보전학회지*, **13**(2), pp. 194-197 (1997).
- 박희동, 담체를 이용한 MLE공정의 하수고도처리 성능평가, *대한토목학회 논문집*, **23**(5-B), pp. 463-470 (2003).
- 신항식, 이원태, 강석태, 남세용, 정형석, 슬러지특성이 MBR공정의 막오염에 미치는 영향, *대한환경공학회지*, **9**(5), pp. 879-887 (2002).
- 양병수, 박남배, 이재만, 질소 및 인제거를 위한 기존 폐수 처리장 개선방안에 관한 연구, *한국물환경학회지*, **6**(1), pp. 50-60 (1990).
- 임봉수, 정원문, 이성욱, 연속회분식반응조를 이용한 하수의 생분해성능 평가, *대전대학교 산업기술연구소 논문집*, **9**(11), pp. 123-131 (1998).
- 장인성, 막결합형 활성슬러지 시스템에서의 막오염 특성 연구, 서울대학교 박사학위 논문 (1996).
- 조남운, 간헐포기를 결합한 MLE와 A2O 공정의 비교, 대전대학교 석사학위논문 (2001).
- 최승휴, 조남운, 한명수, 막일체형 생물학적 고도처리 공정에서 응집제를 이용한 인제거 특성연구, *대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문요약집*, pp. 70-76 (2003a).
- 최창규, 한정환, 이광호, 간헐포기-MBR법에서 영양염류 제거를 위한 포기/비포기 시간과 C/N비 및 ORP 적용성 검토, *대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문요약집*, pp. 156-162 (2003b).
- 허 목, 이용도, 한지용, SBR공정에서 포기/교반 시간비의 변화에 따른 하수의 질소·인 제거, *한국수처리기술회지*, **6**(3), pp. 53-61 (2001).
- APHA, AWWA & WEF., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed (1998).
- Bura, R., Cheung, M., Liao, B., Finlayson, J., Lee, B. C., Droppo, I. G., Leppard, G. G. and Liss, S. N., Composition of Extracellular Polymeric Substances in the Activated Sludge Floc Matrix, *Water Sci. Tech.*, **37**(4-5), pp. 325-333 (1998).
- Dubois, M. J., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Reber, P. A. and Smith, F., Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substance, *Analyt. Chem.*, **28**, pp. 350-356 (1956).
- Grac, L. W. Leung, Tam, N. F. Y., Operating Strategy of a Sequencing Batch Reactor for Simultaneous Removal of Wastewater Organic Matter and Nutrients, *Resources, Conservation and Recycling*, **11**, pp. 209-223 (1994).
- Halil, H., Cumali, K. and Ayhan, U., Viability of Microbial Mass in a Submerged Membrane Bioreactor, *Desalination*, **150**, pp. 263-268 (2002).
- Kang, I. J., Lee, C. H. and Kim, K. J., Characteristics of Microfiltration Membranes in a Membrane coupled Sequencing Batch Reactor System, *Water Research*, **37**, pp. 1192-1197 (2003).
- Mallevalle, J., Ddendaal, P. E. and Wesiner. M. R., *Water Treatment Membrane Processes*, McGraw-Hill, New York (1996).
- Muller, E. B., Stouthamer, A. H., Van Verseveld, H. W. and Eikelbroom, D. H., Aerobic Domestic Wastewater Treatment in a Pilot Plant with Complete Sludge Retention by Crossflow Filtration, *Water Research*, **29**, pp. 1179-1189 (1995).
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L. and Randall, R. J., Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent, *J. Biol. Chem.*, **193**, pp. 265-275 (1951).
- Nagaoka, H., Ueda, S. and Miya, A., Influence of Bacterial Extracellular Polymers on the Membrane Separation Activated Sludge Proces, *Wat. Sci. Tech.*, **34**(9), pp. 165-172 (1996).
- Randall, C. W., Barnard, J. L. and Stensel, H. D., Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal, Technomic Publishing Co. Inc. pp. 103-105 (1985).