Journal of the Korean Society of Water and Wastewater
Vol. 20, No. 2, pp. 257-264, 2006

상하수도학회지, 논문
20권 2호, pp. 257-264, 2006

멤브레인을 침지한 하수고도처리공법에서 기존간헐포기와 개량간헐포기의 효율성 비교평가

Evaluation of CIA(Conventional Intermittent Aeration) and MIA(Modified Intermittent Aeration) in Membrane Submerged Advanced Wastewater Treatment Process

서인석* · 김연권 · 김지연 · 김홍석 · 김병군 · 최창규 · 안효원

Seo, In-Seok* · Kim, Yeon-Kwon · Kim, Ji-Yeon · Kim, Hong-Suck · Kim, Byung-Goon · Choi, Chang-Gyu · Ahn, Hyo-Won

한국수자원공사 수자원연구원 상하수도연구소

(2006년 1월 11일 논문 접수; 2006년 4월 14일 최종 수정논문 채택)

Abstract

In this study, the treatment of domestic wastewater in a field-scale membrane submerged intermittently aerated activated sludge process(210m^3/day) was investigated under difference aeration methods. Operating temperature was 5.4 to 25.0 and membrane used in this study is a polyethylene hollow fiber membrane(pore size 0.4μm). The range of operating flux was 9.7~24.4l/m^2-h and membrane permeates periodically operated for 7min followed idle for 3 min.

The results showed that MIA(modified intermittent aeration) was more efficient in nitrogen and phosphorus removal. The removal efficiencies of T-N and T-P were 73.0% and 69.6% for CIA(conventional intermittent aeration) and 57.5%, 58.6% for MIA (modified intermittent aeration). With application of modified intermittent aeration, DO reached nearly 0mg/l within 10 minutes after air off. Organics of influent could be entirely consumed to the denitrification and the P-release without the influence by remained DO in intermittent aeration reactor.

Therefore, newly developed KSMBR(Kowaco-KMS-Ssangyoung Membrane Bio-Reactor) process with modified intermittent aeration can be one of the useful process for stable nitrogen and phosphorus removal.

Key words: Intermittent aeration, Membrane bio-reactor, Nitrification, Denitrification, ASM(Activated Sludge Models)

주제어: 간헐포기, MBR, 질산화, 탈질산화, 활성슬러지 예측모델

*Corresponding author Tel: +82-42-860-0394, FAX: +82-42-860-0399, E-mail: seois@kowaco.or.kr (Seo, I.S.)

1. 서 론

하수처리에 있어서 멤브레인의 도입은 많은 변화를 유도하고 있다. MBR(Membrane Bio-Reactor) 공법의 개발로 인하여 침전, 여과 및 소독 등 후처리시설이 불필요함으로 처리장 부지면적이 크게 축소되어 compact화가 가능하게 되었다. 그러나 아직까지 멤브레인의 가격적인 문제로 인하여 크게 보편화되지 못한 상태이다. 초기에 멤브레인의 도입은 최종침전지를 대체하여 시설을 컴팩트화 하기 위해 도입되었으나, 최근에는 하수처리가 고도처리공정인 BNR (Biological Nutrient Removal)로 변화되고 법적인 기준 강화나 하수 처리수의 재이용측면에서 후처리기능이 크게 강화되는 추세로서 MBR의 중요성 및 활용성이 크게 부각되고 있는 시점이다.

우리나라에서 2003년 말 가동 중인 마을하수처리시설은 878개소로서 그 중 2.3%의 처리시설은 멤브레인을 이용하여 하수를 처리하고 있다. 이 처리시설의 처리용량은 30~100m^3/일로 주로 중·소규모 처리시설에 적용되어 운영 중에 있고 하수종말처리시설에는 적용되어 있지 않다(하수도통계, 2004).

최근 대부분의 MBR 공정은 MLE나 A^2O와 같은 전탈질(pre-denitrification) 형태의 하수고도처리공정(BNR)과 결합하고 있어 높은 슬러지 반송율(4~6Q)로 인하여 운영비가 크게 증가하고 또한, 과도한 반송에 따른 반송슬러지내의 높은 용존산소로 인하여 처리효율이 저하됨으로 유입수의 유기물농도 및 C/N비가 낮은 우리나라에서는 이에 대한 용존산소 저감대책이 필요한 기술적 및 경제적인 단점을 지니고 있다.

간헐포기(intermittent aeration) 기술은 하나의 반응조 내에서 공기공급을 주기적으로 on/off하여 질산화에 필요한 호기(oxic)조건과 탈질산화에 필요한 무산소(anoxic) 조건을 형성시켜주어 질소, 인 처리효율도 우수하고 슬러지의 자체반송효과에 의해 슬러지 반송량을 크게 줄일 수 있으며, 브로어 시스템의 용량감소로 에너지 절감효과가 있어 기존 하수처리장의 retrofitting 기법으로 많이 연구 및 활용되어 왔다(Sasaki et al., 1996; 이정수, 1998). 최근에는 최적 운전조건(비포기/포기 비율)을 찾기 위한 연구가 많이 수행되어 왔다(고현웅 등, 2003; Kang 등, 2003; Hasar et al., 2001; 고광백 등, 2002). 최근에는 MBR 공정에 있어서도 간헐포기 기술이 많이 연구되고 있는 추세이며(최창규, 2008), 포기/비포기 최적운영조건 및 SMP 등 멤브레인과 연계한 최적운영에도 많은 연구가 수행되고 있다(Yeom 등, 1999; 황명구, 2002).

그러나 간헐포기법은 air balance 등 운영상의 문제로 인하여 대부분 직렬로 배치시키고 있으나, 최근에는 병렬로 배치시켜 유기물 활용성을 개선하려는 시도가 이루어지고 있다(박승국 et al., 1999; 허형우, 2000). 그러나 비포기 종료직전 공급되는 유기물은 포기시간에 용존산소의 공급으로 급격하게 호기상태로 전환되어 유기물의 손실이 발생하고 비포기로 전환된 후 10~20분 동안 반응조내에 용존산소가 존재하여 무산소 상태에 도달하지 못해 유기물이 손실되며 결국 탈질율이 저하되는 문제점이 있다. 몇몇 연구자들은 직렬방식의 간헐포기를 C/N 비가 낮은 하수에 적용 시 용존산소의 영향을 제기하였으며(이원호 et al., 1997), 이러한 단점을 극복하기 위해 병렬구조의 간헐포기인 dynamic state 공정이 시도되어(박승국 et al., 1999), 유기물의 활용성은 크게 증진하였으나, 포기에서 비포기로 전환된 후 10~20분 동안 용존산소가 존재하여 무산소 상태에 도달하지 못하므로 탈질율이 저하되는 문제점을 여전히 가지고 있다.

본 연구에서는 간헐포기 기술의 적용에 있어서 이러한 용존산소의 영향에 의한 유기물 활용성 및 처리효율 저하의 문제점을 해결하기 위한 개선된 time sequence를 구성하여 개량간헐포기법(MIA, modified intermittent aeration)을 제안하고 현장적용평가로 효율성을 비교평가 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 처리대상수의 성상 및 분석방법

본 연구는 약 13개월 동안 충북 G군 S 마을하수처리시설에서 수행되었으며, 유입수는 분류식 및 합류식 관거에서 들어오는 마을하수로서 운영기간동안 유입수 수질은 **Table 1**에 나타내었다.

상하수도학회지. 논문
20권 2호, pp. 257-264, 2006

Table 1. Characteristics of influent wastewater (Unit: mg/l)

Items			BOD	$TCOD_{cr}$	$SCOD_{cr}$	T-N	NH_4^+-N	NO_3^--N	T-P	PO_4^{3-}-P	SS
Influent conc. (mg/l)	Modified IA	Ave.	99.4	193.6	106.2	26.0	21.2	1.3	3.4	2.2	94.6
		Min.	31.6	48.0	12.0	8.4	6.8	0.0	1.5	1.0	7.0
		Max.	331.0	328.0	316.0	70.0	33.8	4.2	14.2	5.5	556.0
	Conventional IA	Ave.	98.0	196.6	112.2	26.6	22.2	1.7	3.5	1.8	153.5
		Min.	76.0	152.0	72.0	21.8	17.5	0	2.8	1.4	106.8
		Max.	139.0	278.0	182.0	31.2	25.3	3.8	4	2.2	281.0

Table 2. Operating condition of KSMBR process

Condition			Unit	Values or time sequence
SRT			day	30 ~ 40
HRT			hr	6
Influent flow-rate			m^3/day	210
MLSS			mg/l	8,000
Process operation mode	Mode 1(1-300d)	MIA(modified intermittent aeration)	-	(60min NA) with feeding and (20min NA-20min A-20min NA) w/o feeding
	Mode 2 (300-390d)	CIA(conventional intermittent aeration)	-	60min NA with feeding and 60min A w/o feeding
Membrane operation	operation methods		-	7min. suction : 3min. Idle
	Material		-	polyethylene
	Flux		l/m^2/hr	20
	diameter		μm	0.4

*A and NA : Aeration and Non-aeration

수온은 운영기간동안 5.4~25.0°C였으며, KSMBR의 운영은 PLC(Programing logic controller)를 이용하여 모든 운영사항을 제어하고 on-line 모니터링 장치를 이용해 현장뿐만 아니라 D시에 위치한 연구소에서도 모든 운영사항을 모니터링 및 제어 할 수 있도록 하였다. 각 반응조의 DO, pH 및 ORP는 각각 YSI model 58, DKK TOA사의 RM20P, Orion 230A+으로 측정하였고, 반응조의 MLSS는 Central KAGAKU사의 ML-53으로 측정하였다. 그 외의 모든 수질분석은 Standard Methods(APHA, 1995) 및 공정시험법에 준해 측정하였다.

2.2 멤브레인 침지형 MBR 공정의 운영

본 연구에서는 기존 간헐포기(CIA) 및 개량 간헐포기(MIA) 기술을 비교평가하기 위해 MBR을 공정을 현장에서 210m^3/일 규모로 운전하였다. 본 연구에서 적용한 공정은 KSMBR 공법으로 폴리올레핀 중공사(hollow fiber) 정밀여과막 모듈과 간헐포기 기술을 이용하여 혐기조(anaerobic), 병렬로 배열된 두 개의 간헐포기조(intermittent aeration reactor), 침지식 막분리호기조(membrane submerged aerobic reactor) 및 용존산소 저감조(OER, Oxygen Exhausting Reactor)로 구성되었으며, 각각의 체류시간은 40분, 3시간(각 반응조 1.5시간), 2시간 및 20분으로 총 HRT는 6시간이었다. 간헐포기조의 운영에 있어서는 기존 60분주기의 ON/OFF 방식과 본 연구에서 개발한 개량 간헐포기방식을 모두 평가할 수 있도록 변형이 가능토록 하였다. 적용공정의 모식도 및 운영조건은 다음 **Fig.**

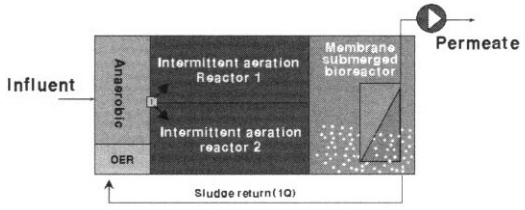

Fig. 1. Schematic of KSMBR process (OER: oxygen exhausting reactor, 1: automatic flow changing valve)

Table 3. Cyclic time sequence for the two intermittent aeration

Items			Reactor	Time, min (120min/1cycle)					
				20	40	60	80	100	120
Exp. 1	Modified intermittent aeration	Air supply	IA 1						
			IA 2						
		Flow from anaerobic reactor	IA 1						
			IA 2						
Exp. 2	Conventional	Air supply intermittent aeration	IA 1						
			IA 2						
		Flow from anaerobic reactor	IA 1						
			IA 2						

*IA 1, 2: intermittent aeration reactor 1, 2

1 및 **Table 2**와 같다.

각 반응조의 흐름 및 포기방식은 **Table 3**와 같다. 유입하수는 혐기조에 24시간 연속 유입되며 흐름변경밸브(Automatic flow changing valve)를 통해 60분 간격으로 두 개의 간헐포기조에 번갈아 가며 흐름이 변경된다. 두개의 간헐포기조는 슬러지가 유입되는 60분 동안은 비포기(NF, Non-aeration and feeding)로 운영하여 전 cycle의 질산화로 반응조에 남아있는 NO_3^--N을 우선 탈질산화 시킨다. 슬러지 유입이 끝나고 바로 포기시키면 슬러지와 함께 유입된 유기물이 heterotrophic bacteria에 의해 소모되기 때문에 기존 간헐포기에서 비포기-포기로 운영되는 time sequence에서 포기구간을 개량하여 비포기(N_1, Non-aeration)-포기-(Aeration)-비포기(N_2, Non-aeration)로 삼분할 하였다. 또한 침지식 중공사정밀여과막의 적용으로 고농도의 MLSS 유지가 가능하나 약 8,000mg/l에서 운영하였다.

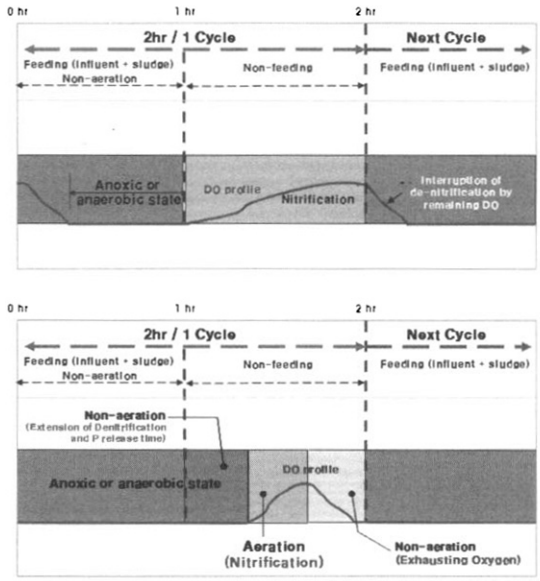

Fig. 2. Schematic of time sequence for conventional (top) and modified (bottom) intermittent aeration in intermittent aeration reactor of KSMBR process.

3. 결과 및 고찰

3.1 기존 간헐포기와 개량 간헐포기의 time sequence 분석

본 연구에서 개발한 개량간헐포기법과 기존 간헐포기법의 이론적 접근을 위하여 각각의 time sequence를 분석하였다(**Fig. 2**). 기존 간헐포기법(CIA)의 경우, 1시간 간격으로 공기공급을 on/off하여 하나의 반응조 내에서 호기조건과 무산소 조건을 형성시켜 준다는 점에서 내부 및 외부반송을 감소시키면서 유입수중의 유기물을 질소 및 인 제거에 활용할 수 있다는 장점을 지니고 있으나, **Fig. 2**(상)에서 보는 바와 같이 2가지의 큰 비효율성을 지니고 있다. 첫 번째는 비포기 종료시점에 공급되는 유기물이 효율적으로 활용되지 못한다는 점이다. 즉, 혐기조를 거쳐 공급되는 입자성 또는 용존성의 유기물이 공급직 후 호기상태로 전환되기 때문에 탈질산화나 인방출에 충분히 활용되지 못한다는 점이다. 두 번째는 포기에서 비포기 전환 후 반응조내에 용존산소가 0.2mg/L 이하까지 감소하는 데 최소한 10분 이상의 시간이 소요되어 공기공급은 중단하였으나 호기성(aerobic) 조건이 형성됨으로서 공급되는 유기물이 탈질산화에 사용되지 못하여 유기물이 손실되는 단점을 지니고 있다(**Fig.**

상하수도학회지, 논문
20권 2호, pp. 257-264, 2006

2, 상). 따라서, 본 연구에서는 상기의 2가지 문제를 해소시키기 위하여 기존 간헐포기의 time sequence 중 호기시간을 3분할하였다. 즉 호기시간을 비포기(20분)-포기(20분)-비포기(20분)으로 분할하여 전단의 비포기(non-aeration) 시간은 전단에서 공급된 유입수가 충분히 탈질산화 및 인 방출에 활용하도록 시간을 확보해 주고, 후단의 비포기는 용존산소를 고갈시켜 후속되는 유입이 있는 비포기 시간(feeding with non-aeration)에 용존산소의 영향없이 유기물이 탈질산화 및 인방출에 최대한 활용될 수 있도록 기존 간헐포기를 개량하여 time sequence를 구성하였으며(**Fig. 2** 하), 개량 간헐포기법(MIA)의 효율성을 입증하기 위해 제거효율 평가 및 DO, ORP, N 및 P 등의 내부거동 평가를 수행하였다.

3.2 기존 간헐포기와 개량 간헐포기의 반응조 내 거동특성

기존 및 개량 간헐포기법에서 간헐포기조의 효율성을 비교평가하기 위해 1 cycle 동안의 용존산소, NO_3^--N, PO_4^{3-}-P 거동을 분석하였다(**Fig. 3, 4**). 기존 간헐포기에서는 유입수가 공급되는 비포기 상태에서 용존산소가 점진적으로 감소하여 20분 이내에 0.2 mg/l 이하로 감소한 반면 개량 간헐포기에서는 유입수가 공급되는 시간에는 간헐포기조 내에 용존산소가 존재하지 않는 무산소 조건이 형성되는 것을 알 수 있다. 용존산소 거동특성에서 파악하였듯이, 유입수 주입시점에서 분석할 때, 기존간헐포기에서는 약 10~20분 동안은 호기 및 호기와 무산소의 중간단계(transit)에 있어 유기물이 호기성 상태에서 소모되는 반면, 개량간헐포기에서는 유입수 주입시점에서 용존산소 농도가 거의 0mg/l를 유지하고 있어 반응조내에 유입되는 유기물이 완벽하게 질소 및 인 제거 기작에 활용되는 것을 알 수 있으며, 질소 및 인 제거에 있어서 용존산소의 영향없이 유기물 활용성이 크게 증진된 것을 알 수 있다.

기존 간헐포기법(CIA)에서 간헐포기조의 내부거동을 확인한 결과(**Fig. 3**, 우), NH_4^+-N 및 NO_3^--N은 농도는 각각 0.3~5.7 mg/l 및 3~7.8mg/l의 범위에서 질산화 및 탈질산화가 비교적 원활하게 수행되었다.

반면에 개량간헐포기법(MIA)에서는 비포기로 운전되는 유입 60분에는 반응조 내 유기물을 이용하여 탈질산화 반응이 우선적으로 활발하게 일어나 NO_3^--N 농도가 8.5mg/l에서 1.8mg/l로 감소하였으며 후속되는 20분간의 비포기 시간에는 1.5mg/l까지 감소하였다. 20분간의 포기기간에는 약 1.8mg/l에서 약 9mg/l로 증가하여 약 7.2 mg/l 정도 질산화가 일어나 NO_3^--N이 증가하였다. 또한, 후속되는 유입이 중단된 20분간의 비포기 상태에서 속도는 크게 감소하였으나 탈질산화 및 인 방출이 지속적으로 진행되는 것으로 확인 되었으며, 20분간의 포기시간에는 기존 간헐포기에서의 60분간의 포기시간과 같은 수준의 질산화 효율을 얻었다. 이는 MLSS 농도가 높아 충분한 질산화 능력 때문인 것으로 판단되며, 본 연구에서 이용한 유입수의 암모니아성질소 수준에서는 20분의 호기성 조건으로도 충분한 것으로 나타났다. 또한, 20분간의 용존산소 저감을 위한 비포기(air off)구간에는 남아있는 용존산소로 인해 지속적으로 NO_3^--N

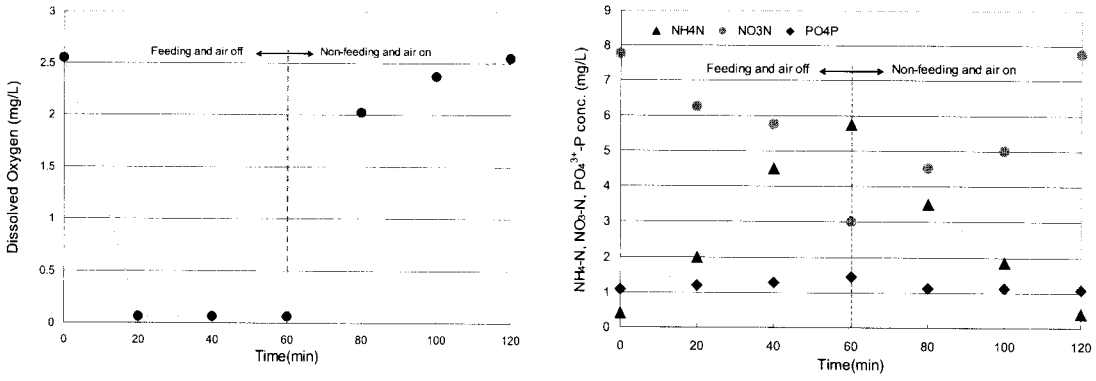

Fig. 3. Temporal variation of DO, NH_4^+-N, NO_3^--N and PO_4^{3-}-P during 1 cycle in intermittent aeration reactor of conventional intermittent aeration method (left: dissolved oxygen; right: NH_4^+-N, NO_3^--N and PO_4^{3-}-P)

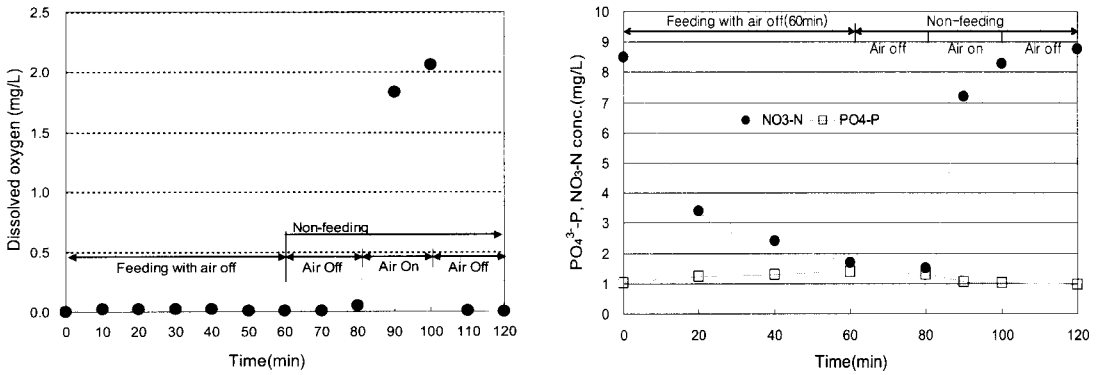

Fig. 4. Temporal variation of DO, NO_3^--N and PO_4^{3-}-P during 1 cycle in intermittent aeration reactor of modified intermittent aeration method (left: dissolved oxygen; right : NO_3^--N and PO_4^{3-}-P)

이 증가하는 것으로 관찰되었다.

상기의 반응조 내부거동을 확인한 결과, 간헐포기조 내에서 비포기시간에 탈질산화 되는 양에서 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다. 즉, 기존 및 개량 간헐포기에서 NO_3^--N의 농도변화는 각각 3～7.8 mg/l 및 1.5～8.5mg/l의 범위로 나타났다. 이러한 차이는 개량 간헐포기에서 혐기조로부터의 유입이 중단된 이후 20분 동안 비포기를 연장하여 잔존하는 유기물의 소모 및 내생탈질(endogenous denitrification)을 유도하는 것과 유입수가 공급되는 비포기 초기시간(20분 이내)에 잔존 용존산소에 의한 탈질산화 억제 문제가 완전히 해소하였기 때문으로 판단된다. 즉, 용존산소 영향을 배제시켜 탈질산화에 유기물의 활용성을 증대시키고 내생탈질 등 탈질산화에 소요되는 시간을 증대시켰기 때문이다.

개량 간헐포기를 적용한 KSMBR 공법의 각 단계별 질소성분의 농도를 분석한 결과는 **Fig. 5**와 같다. 슬러지 반송율은 1Q이었으며, 혐기조에서 암모니아성질소(NH_4^+-N)의 농도가 10.49mg/l이었으나 간헐포기조(MIA)에서는 1.92mg/l로 약 80% 가량의 암모니아성질소가 제거되어 KSMBR 공정에 있어서 간헐포기조가 질산화 기능을 효율적으로 하고 있는 것으로 분석되었으며, 이로 인해 슬러지 자체반송에도 큰 기여를 하고 있는 것으로 나타났다.

3.3 기존간헐포기와 개량 간헐포기의 효율비교

간헐포기의 효율성 비교평가를 위해 간헐포기반응조의 비포기(N_F)-비포기(N_1)-포기(A)-비포기(N_2)

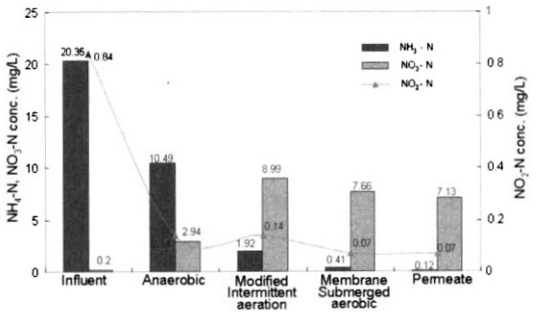

Fig. 5. NH_4^+-N, NO_3^--N and NO_2^--N concentration in each reactor of KSMBR process

로 운영하는 개량 간헐포기를 약 1년 정도 운영한 후 기존 간헐포기 방식인 비포기(N_F)-포기(A)로 운영방식을 변경하여 약 1개월간의 적응기간을 거친 후 2개월 동안 효율을 비교평가 하였다. 같은 처리시설에서 평가하였기 때문에 유입수의 차이는 크지 않았으며, 간헐포기조의 포기구간의 DO는 모두 2～3mg/l 수준에서 운영하였다.

본 연구에서 비교 평가한 두 가지 간헐포기의 효율을 비교하면, BOD, COD, SS, NH_4^+-N 등의 처리효율은 큰 차이 없이 모두 우수한 것으로 나타났다. 그러나 T-N 및 T-P 제거효율에는 큰 차이가 나타남을 알 수 있다(**Table 4**). 즉, 기존 간헐포기로 운영 시, 총질소와 총인의 제거효율은 각각 57.5% 및 58.6%인데 비해 개량 간헐포기로 운영되었을 경우에는 총질소 및 총인의 제거효율은 각각 73.0% 및 69.6%로 크게 증가하였다.

개량 간헐포기법에서 효율이 증진하는 것은 상기

Table 4. Operation results of intermittently aerated KSMBR process.

Items	Experiment 1			Experiment 2		
	Modified intermittent aeration			Conventional intermittent aeration		
	Influent (mg/l)	Permeate (mg/l)	Removal (%)	Influent (mg/l)	Permeate (mg/l)	Removal (%)
BOD_5	99.4	1.4	98.4	98.0	3.1	96.9
$TCOD_{cr}$	193.6	9.0	95.2	196.6	11.0	94.4
$SCOD_{cr}$	106.2	8.3	91.3	112.2	10.0	91.1
T-N	26.0	7.2	73.0	26.6	11.2	57.5
NH_4^+-N	21.2	0.0	99.8	22.2	0.0	99.9
NO_3^--N	1.3	5.0	-	1.7	8.6	-
T-P	3.4	1.0	69.6	3.5	1.4	58.6
PO_4^{3-}-P	2.2	0.9	59.3	1.8	1.3	26.4
SS	94.6	< 0.3	-	153.5	< 0.3	-

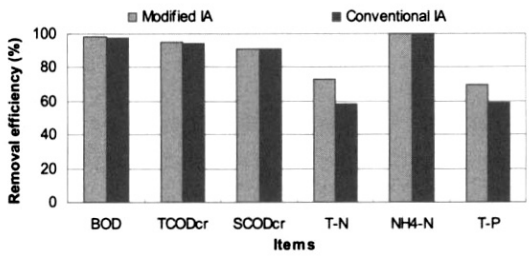

Fig. 6. Comparison of removal efficiency for conventional and modified intermittently aerated KSMBR process.

에서도 언급하였듯이 기존 간헐포기법으로 운영 시 비포기 시간 전환 후 간헐포기조 내에 용존산소가 잔존하여 무산소 조건을 효과적으로 형성하지 못하면서 유기물 손실이 발생하고 탈질산화 시간을 충분히 확보하지 못하여 질소 및 인 관련 제거 기작이 방해를 받는데 큰 원인이 있는 것이다. 반면에 개량 간헐포기에서는 간헐포기 반응조의 sequence에서 포기시간 전후에 비포기 조건을 20분씩 형성하여 줌으로서 상기의 기존 간헐포기에서 나타난 용존산소로 인한 유기물의 비효율적 활용문제가 완전히 해소되었기 때문에 공급된 유기물이 질소 및 인 제거에 최대한 활용되었기 때문인 것으로 판단된다.

이상의 유입수 및 운영조건에 근거하여 본 연구에서 비교 평가한 두 가지의 간헐포기 방법을 적용한 KSMBR의 효율성을 IWA(International Water Association)의 ASM(activated sludge model) No. 2에 근거하여 SRT는 35일, 처리수의 SS는 0mg/l로 MBR에서와 유사하게 가정하고 모델운영은 15°C에서 default parameter를 이용하여 비교 평가하였다. 모사결과 처리수의 NH_4-N 농도는 두 방법 모두 0.2mg/l 이하로 나타났으며, 처리수 NO_3^--N 농도는 기존간헐포기(CIA) 및 개량간헐포기(MIA)에서 각 9.1mg/l 및 6.9mg/l로 나타나 개량간헐포기로 운영한 KSMBR에서 유기물을 탈질산화 반응에 효율적으로 활용한다는 것을 알 수 있다. 개량 간헐포기에서 질소 제거효율이 약 5～10% 가량 높은 것으로 나타났다. 모사결과와 실제 운영결과는 약간의 농도차이는 있으나, 대체적으로 유사한 결과를 나타냈다.

본 연구의 목적에서도 언급하였듯이, 간헐포기 기술은 슬러지 내부 및 외부반송을 줄이면서 기존 처리장의 질소 및 인 제거효율을 향상시키는 기술로서 많이 연구되었으며, 본 연구에서 얻은 제거효율도 멤브레인이 침지된 호기조로부터 슬러지를 1Q로 반송시켜 얻은 결과로서, 간헐포기 기술은 슬러지 반송량을 크게 줄일 수 있는 실용적인 기술이며, 본 연구에서 변형한 개량 간헐포기기술은 기존 간헐포기의 단점인 포기에서 비포기로 전환 시, 즉 모드 전환 시 잔존 용존산소의 영향을 완전 해소하여 질소 및 인제거에 유기물의 활용성을 크게 증진시킴으로서 간헐포기의 장점을 극대화하여 유입수의 유기물 농도가 낮고 C/N 비가 낮은 우리나라 하수처리에서 현장 활용성을 증진시킬 것으로 판단된다.

4. 결 론

기존간헐포기법의 단점을 보완한 개량간헐포기법

(MIA)을 멤브레인을 결합한 KSMBR 공정에 도입하여 210m^3/일 규모의 실제 마을하수처리시설에서 약 13개월 동안 운영하였으며, 결론은 다음과 같다.

1. 기존 간헐포기의 on/off 방식의 time sequence를 변경한 개량 간헐포기로 적용한 결과, BOD, COD, SS 제거효율은 모두 동일하게 우수하였으며, 기존 간헐포기에서의 57.5%의 총질소와 58.6%의 총인 제거효율이 각각 73% 및 69.6%로 크게 증가하였다.

2. CIA 및 MIA 포기방식에서 간헐포기조내의 NO_3^--N의 농도변화는 각각 3~7.8mg/l 및 1.5~8.5 mg/l의 범위이었으며, 처리수중의 평균 NO_3^--N 농도는 각각 8.6 및 5.0mg/l로 CIA에 비해 탈질산화 및 탈인에 유기물 활용성이 크게 증진되었으며, CIA의 단점인 포기에서 비포기 전환 후 잔존 용존산소에 의한 탈질산화 억제문제를 크게 해소되었다.

3. CIA에서는 비포기로 전환 후 약 10~20분 동안은 호기 상태에 있어 탈질산화 반응이 용존산소에 의해 영향을 받은 반면, MIA에서는 유입수 주입시점에서 잔존 용존산소의 영향이 전혀 없었다.

4. 약 8,000mg/l의 MLSS농도에서 개량 간헐포기법을 평가 시, 간헐포기조 내에서 20분의 포기시간으로 충분한 질산화가 이루어졌으며, 간헐포기조에서 약 80% 정도의 질산화가 이루어져 슬러지 자체반송 효과가 컸다.

5. 개량 간헐포기 기술은 슬러지 반송을 1Q 수준으로 운영하면서 유기물 활용성이 높아 질소·인 제거효율이 우수한 기술로서 유입수의 유기물 농도가 낮고 C/N비가 낮은 우리나라 하수처리에서 현장 활용성이 크게 증진되었다.

참고문헌

1. 고광백, 임세호, 강동한, 정수영 (2002) 간헐포기식 연속회분식 하수처리공정에서 운전조건의 변화가 처리효율 개선에 미치는 영향, *대한환경공학회지*, 제22호 제5-B권, pp. 739 746.
2. 최창규 (2005) 막결합 간헐포기 공정에서의 운영인자 분석, 충북대학교 박사학위논문.
3. 박승국, 서인석, 연동석, 이상일 (1999) Dynamic state 활성슬러지 공정에서 혐기조가 영양염류 처리에 미치는 영향, *한국물환경학회지*, **15**(3), pp. 395-403.
4. 박재로, 임현만, 김응호 (2002) 2단형 막분리 활성슬러지법(Two Stage MBR)에서 내부순환율 변화와 응집제 첨가에 의한 질소 및 인제거 특성에 관한 연구, *한국물환경학회지*, **18**(2), pp. 131-140.
5. 이원호, 서인석, 이상일 (1997) 4단 간헐폭기 활성슬러지 시스템에 의한 양돈폐수의 질소 , 인 동시제거, *한국수질보전학회지*, **13**(3), pp. 331-338.
6. 이정수(1998) 표준 및 간헐포기식 활성슬러지법의 처리특성에 관한 비교연구(I), *대한환경공학회지*, **20**(9), pp. 1267-1278.
7. 환경부 (2004) *하수도통계*, pp. 208-319.
8. 황명구 (2002) Formation and effects of SMP in a MBR process with intermittent aerobic condition, 연세대학교 석사학위논문.
9. 허형우 (2000) 한화 유로 변경형 질소, 인 고도처리 기술, *한국물환경학회·대한상하수도학회·한국수도협회 공동춘계학술발표회 논문집*, pp. 227~230.
10. 허 목, 이용도, 한지용 (2001) SBR공정에서 포기/교반시간비의 변화에 따른 하수의 질소·인제거, *한국수처리기술회지*, **63**(3), pp. 53-61.
11. Hasar, H., Klnacl, C., UnRi, A., Ipek, U. (2002) Role of Intermittent Aeration in Domestic Wastewater Treatment by Submerged Mmembrane Activated Sludge System, *Desalination*, **142**, pp. 287-293.
12. Ick-Tae Yeom, Yoo-Mi Nah and Kyu-Hong Ahn (1999) Treatment of household wastewater using an intermittently aerated membrane bioreactor, *Desalination*, **124**, pp.193-204.
13. Kang, I. J., Lee, C. H. and Kim, K. J.(2003) Characteristics of Microfiltration Membranes in a Membrane Coupled Sequencing Batch Reactor System., *Water Res*, **37**, pp. 1192-2297.
14. Kousei Sasaki, Yasuji Yamamoto, Kazushi Tsumura, Sachiko Ouchi and Yutaka Mori(1996) Development of 2-reactor intermittent aeration activated sludge process for simultaneous removal of nitrogen and phosphorus, *Water Science and Technology*, **34**, 111 118.
15. IWA (2000) Activated sludge models ASM1, AMS2, ASM2d and ASM3, IWA publishing.