

## A study on an intermittent aeration membrane bioreactor system using ammonia sensor to decrease energy consumption and sludge concentration by tubular membrane

암모니아 센서를 이용한 간헐폭기 Membrane bioreactor 공정에서의 전력비 저감과 관형막을 이용한 슬러지 농축에 관한 연구

Heeseok Kang · Euijong Lee · Hyungsoo Kim\* · Am Jang\*\*

강희석 · 이의종 · 김형수\* · 장암\*\*

성균관대학교 건설환경시스템공학과 환경공학연구실

**Abstract :** It is essential to decrease energy consumption and excess sludge to economically operate sewage treatment plant. This becomes more important along with a ban on sea dumping and exhaustion of resource. Therefore, many researchers have been study on energy consumption reduction and strategies for minimization of excess sludge production from the activated sludge process. The aeration cost account for a high proportion of maintenance cost because sufficient air is necessary to keep nitrifying bacteria activity of which the oxygen affinity is inferior to that of heterotrophic bacteria. Also, additional costs are incurred to stabilize excess sludge and decrease the volume of sludge. There were anoxic, aerobic, membrane, deairation and concentration zone in this MBR process. Continuous aeration was provided to prevent membrane fouling in membrane zone and intermittent aeration was provided in aerobic zone through ammonia sensor. So, there was the minimum oxygen to remove  $\text{NH}_4\text{-N}$  below limited quantity that could be eliminated in membrane zone. As the result of this control, energy consumption of aeration system declined by between 10.4 % and 19.1 %. Besides, we could maintain high MLSS concentration in concentration zone and this induced the microorganisms to be in starved condition. Consequentially, the amount of excess sludge decrease by about 15 %.

**Key words :**  $\text{NH}_3\text{-N}$ , Nitrification, Auto-oxidation(Cell lysis), Tubular, Concentrate, Intermittent aeration, Electricity cost, MBR

**주제어 :** 암모니아, 질산화, 자산화, 관형막, 농축, 간헐폭기, 전력비, 생물막 반응조

### 1. 서론

국내 하수처리장에는 주로 생물학적인 처리공법이 적용되고 있으며, 생물학적 처리방법은 일반활성슬러지공법부터 질소 및 인의 고도처리를 위한 여러 방법들이 있다(Baek, 2009). 이러한 생물학적 처리 공법에서 유기물, 질소 처리는 용존산소(DO)가 필요하며 산소를 공급해 주기 위한 폭기 비용은 하수처리장의 전체 사용전력량의 20

~ 40 %를 차지하고 있다(Deokyoung, 2002). 또한 미생물이 수중의 유기물질 및 영양물질을 섭취함에 따라 수중의 오염물질이 제거되며 미생물이 성장하게 되고 그에 따른 잉여슬러지가 발생하게 된다(Baek, 2009). 이렇게 발생된 슬러지의 처리비용은 전체 하수처리장 운영비용에 경제적 부담을 주고 있으며 런던협약 '96의정서에 의해 유기성폐기물의 해양투기가 금지되면서 우리나라와 같이 전체 하수슬러지 발생량의 68.5 %를 해양배출에 의존하여 최종 처분하는 경우, 대책마련이 시급한 실정이다(Nam, 2012). 따라서 슬러지 감량에 관한 연구와 폭기비 절감을 위한 여러 연

\* Received 06 February 2014, revised 11 April 2014, accepted 14 April 2014.

\* Corresponding author: Tel : +82-31-290-7540 Fax : +82-31-290-7549 E-mail : sookim@skku.edu

\*\* Co-Corresponding author: Tel : +82-31-290-7526 Fax : +82-31-290-7549 E-mail : amjang@skku.edu

구들이 많이 이루어져왔다.

일반적인 활성슬러지 공정에서 폭기조의 용존 산소(DO)농도는 질산화를 위하여 약 2.0 mg/L로 유지하여 운전하는 것이 일반적이다(Park, 2006). 선행연구에서 질산화반응에 필요한 DO 조건은 0.5 ~ 2.5 mg/L로 나타났으며(Shin, 2002) DO 0.5 mg/L에서 낮은 용존산소에서 질산화율이 급격하게 감소하는 경향을 보였다(Qingjuan, 2008). 하지만 수중의 유기물 처리는 DO 0.1 mg/L에서도 가능하다는 결과가 있었다(Park, 2006). 이러한 이유는 종속 미생물이 독립 미생물인 질화균에 비해 산소경쟁에서 우위를 차지하고 있기 때문에 필요한 산소를 종속 미생물이 먼저 취하기 때문이다. 따라서 안전한 질산화를 위하여 DO농도 기준으로 약 2.0 mg/L로 유지하고 있으며 이는 곧 전력비 증가의 주된 원인으로 작용한다.

본 연구에서는 파일럿 규모의 MBR 프로세스를 이용하였으며 막분리조는 막오염 방지를 위하여 24시간 연속 폭기를 하였고 호기조의 경우 DO농도 기준이 아닌 암모니아성 질소농도를 기준으로 간헐적 폭기를 하였다. 실험을 통해 막분리조에서 제거되는 암모니아농도 값을 구하였으며 그 후 호기조에 암모니아 센서를 설치하여 막분리조에서 제거되는 암모니아성 질소농도를 기

준으로 점점 값을 잡았다. 암모니아 센서 오염 방지를 위하여 컴프레셔와 연결하여 측정 시 마다 공기로 인한 자동세척이 이루어지게 하였다. 또한 실험의 정확성을 위하여 한달에 한번 수돗물에 염산을 섞어 약 pH 4 에서 2시간 정도 센서를 침지시켰으며 주기적으로 HACH사의 수질 KIT를 이용하여 암모니아성 질소농도를 분석하고 암모니아 센서 값과 비교 하였다. 따라서 본 연구의 목적은 호기조에서 암모니아성 질소농도에 따라 간헐 폭기함으로써 남은 암모니아는 막분리조에서 처리하는 방식으로 전력비 저감하며 공정 중 발생된 잉여슬러지 처리는 농축조로 이송하여 관형막을 이용해 농축 처리하여 슬러지 감량화를 이루는 것이다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 분리막

본 연구에 사용된 분리막은 막분리조에 이용한 평막과 농축조에서 이용한 관형막이며 막분리조에 이용한 평막은 0.4  $\mu\text{m}$ 의 공극 크기를 가진 Chlorinated polyvinyl chloride(C-PVC)를 사용했으며 막 모듈면적은 모듈당 1.48  $\text{m}^2$ , 90모듈을 설치하였다. 농축조에 이용한 관형막은 길이 2 m, 직경 1.2 cm, 공극 크기 30 nm의 UF PVDF 7개를 순차적으로 연결하여 사용하였다.

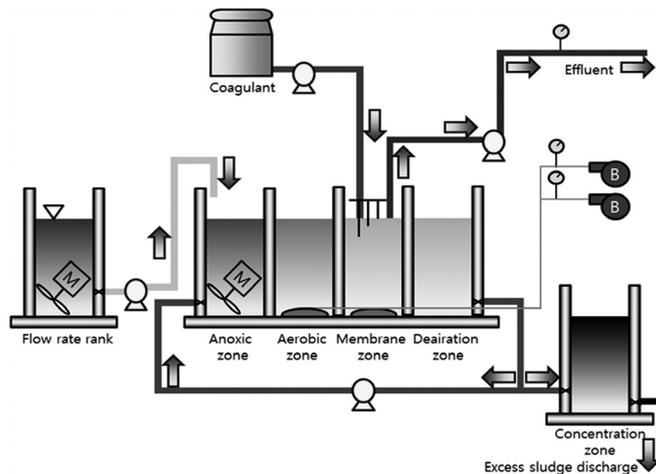


Fig. 1. Pilot-scale schemes.

## 2.2. 실험 장치 및 방법

파일럿의 실험장치는 무산소조, 호기조, 막분리조, 탈기조의 4개의 반응조와 슬러지 농축조로 구성되었으며 막분리조는 10분 운전, 2분 휴지로 운전되었다. 탈기조는 높은 DO를 가지고 있는 막분리조의 슬러지가 무산소조로 바로 넘어가 탈질화에 악영향을 미치는 것을 방지하기 위해 설치되었다. 농축조는 탈기조에서 넘어간 잉여 슬러지 감량을 위한 목적으로 설치되었다. 막분리조는 평균적으로 MLSS 8,000 ~ 12,000 mg/L를 유지하였으며 막 오염 제어를 위한 공기량은 54.0 m<sup>3</sup>/hr로 유지하였고 호기조의 공기량은 18.5 m<sup>3</sup>/hr로 유지하였다. 생물학적인 제거를 배제하여 혐기조를 설치하지 않았으며 대신 화학적인 제거를 위하여 P사의 알루미늄계열의 응집제인 MC500을 막분리조 내에 일정 농도(115 ppm)로 주입하였다. 농축조의 관형막은 정압방식으로 3 bar로 운전하였으며 40 ~ 90 LMH(L/m<sup>2</sup>\*hr)로서 MLSS 농도에

따라 상이하였다. 원수는 S대학교내의 하수처리장의 원수를 사용하였으며 원수의 성상은 상기 Table 1과 같으며 처리시설의 특징은 상기 Table 2와 같다. 운전 중의 원수 및 처리수 그리고 반응조 내 유기물, 질소, 인 화합물은 HACH사의 수질 KIT를 이용하였으며 시료를 넣고 발색시킨 후 DR2500 분광광도계를 이용하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 암모니아 센서를 이용한 간헐폭기의 전력비 감소량

본 연구에서는 암모니아 센서를 이용하여 암모니아 농도에 따른 간헐 폭기를 실시하였다. 점점 값의 기준을 잡기 위하여 2일간 호기조 폭기를 중단하였고 유입, 유출 및 각 반응조의 암모니아성 질소를 측정하였다. 이때의 유입 암모니아성 질소의 농도는 27.1 mg/L, 호기조 17.9 mg/L, 처리수 10.8 mg/L로서 막분리조에서 약 8 mg/L의 암모니아성 질소를 안정적으로 처리할 수 있다고 판단하였다. 따라서 호기조의 폭기는 암모니아성 질소농도 8 mg/L이 점점 값이 되어 암모니아성 질소농도가 8 mg/L이상이면 자동적으로 블로워가 작동하였고 그 이하일 경우 블로워 운영을 멈췄다. 실험 기간은 3 ~ 12월로서 3 ~ 9월, 10 ~ 11월은 연속폭기를 하였고 10월, 11월 ~ 12월은 암모니아 농도를 기준으로 하여 간헐폭기를 실시하였다. 전력비 감소량은 Fig. 2와 같다.

Table 1. Influent concentration

Influent concentration (mg/L)			
SS	255	T-P	5.2
BOD	123	NH <sub>3</sub> -N	24.5
CODcr	263	NO <sub>3</sub>	2.5
T-N	35.0	PO <sub>4</sub> -P	1.1

Table 2. Treatment facility characteristic

Sewage treatment plant feature			
	Storage capacity(m <sup>3</sup> )	HRT(Hr)	SRT(Day)
Anoxic zone	4.4	2.1	11 ~ 22
Aerobic zone	3.5	1.7	
Membrane zone	3.5	1.7	
Deairation zone	1.1	0.5	7.5 ~ 10
Concentration zone	3	144	
Concentration zone(Sludge reduction)			
Operating time	Flow rate (m <sup>3</sup> /hr)	Velocity (m/sec)	MLSS(mg/L)
50 min operation 10 min break	1	2.5	20,000 ~ 30,000

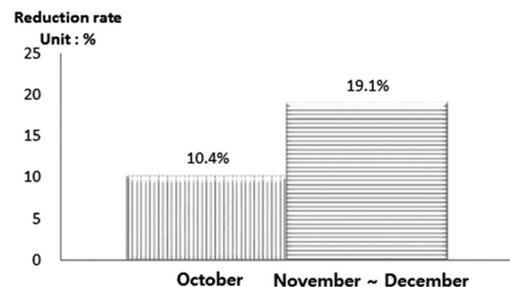


Fig. 2. Energy consumption reduction rate.

호기조의 비폭기시에는 슬러지의 침강이 우려되기 때문에 수중펌프를 이용하여 교반하였다. 연속 폭기시에는 폭기 전력비는 하루 1.61 KWh/m<sup>3</sup>이 사용되었으며 10월, 11 ~ 12월 간 헐폭기시에는 각각 1.41 KWh/m<sup>3</sup>, 1.26 KWh/m<sup>3</sup>로서 연속폭기시와 비교하여 전력비는 상대적으로 약 10.4 %, 19.1 %가 감소하였다. 10월, 11 ~ 12월 폭기전력비가 상이한 이유는 아래 식 (1)과 Table 3을 근거로 판단할 수 있었다.

$$(aLr + bSa) * 22.4/32 * 1/0.21 * 1/\mu * (273+Ta)/273 \quad (1)$$

- a : BOD 제거량 중 산화분해율(0.5)
- Lr : 제거 BOD량(kg/day)
- b : 활성슬러지 내생호흡 계수(0.06)
- Sa : 활성슬러지량(kg)
- $\mu$  : 수중의 산소 흡수율(0.06)
- ta : 토출공기온도(40 °C)

상기식은 호기조의 공기량을 계산하는 식으로서 유기물의 양과 MLSS 농도 증가하면 필요산소량이 증가하게 되며 또한 아래 식 (2)와 같이 암모니아성 질소 역시 산소를 요구하게 된다.

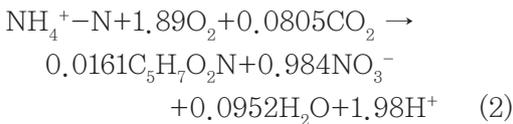


Table 3. Average water quality and operating condition

		October	November ~ December
BOD(mg/L)		123	
SRT(day)		10	14
Influent NH <sub>3</sub> -N(mg/L)		34.4	24.5
Membrane zone MLSS(mg/L)		9,811	8,402
Aerobic zone MLSS(mg/L)		7,358	6,302
Air consumption (m <sup>3</sup> /hr)	Organic matter decomposition	12.3	11.7
	Nitrification	1.6	1.1
	Total air consumption	13.9	12.8

최종적으로 질산화 반응을 거치면서 소비되는 산소 요구량은 4.33 gO<sub>2</sub>/gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N이며 실질적으로 질산화에서 적용되는 산소요구량은 다른 변수들의 영향을 받아 4.57 gO<sub>2</sub>/gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N로 적용되기도 한다.

10월에는 11 ~ 12월에 비해 더 높은 MLSS 농도로 운영하였지만 원수의 고형물 유입이 많았던 관계로 더 낮은 SRT로 운영 되었으며 또한 더 높은 농도의 암모니아성 질소가 유입되었다. 따라서 유기물 분해와 암모니아성 질소제거를 위해 더 많은 공기량이 필요하게 되었으며 결국 10월에는 11 ~ 12월에 비하여 호기조의 블로워가 상대적으로 더 많이 작동하게 되어 전력비 감소량이 더 적었다. 또한 10월에 더 낮은 SRT로 운영되었던 이유는 평균 유입 SS 216 mg/L였으며 11 ~ 12월에는 평균 SS 166 mg/L였다. 따라서 10월에는 10.8 kg/day, 11 ~ 12월에는 8.3 kg/day의 고형물이 공정으로 유입되어 10월에는 슬러지 인발량이 상대적으로 더 많게 되었다. 원수의 유입수는 크게 용존성 물질과 입자성 물질로 나눌 수 있는데 그 중 입자상 물질은 미생물에 의해 서서히 분해되는 입자상 기질(Xs : Slowly biodegradable substrate)과 미생물에 의해 분해되지 않는 입자상 물질(Xi : Particulate inert organic matter)로 나눌 수 있다. 따라서 원수 중의 입자상 물질이 많게 되면 공정 내에 축적되는 고형물 양이 많아지게 되고 이는 곧 폐기해야 하는 슬러지양 증가를 의미한다.

서론에서 언급하였듯이 질화균의 성장속도는 낮기 때문에 SRT가 증가할수록 질산화 효율은 증대된다. 결국 10월은 상대적으로 더 낮은 SRT로 운영되었고 반대로 MLSS농도는 더 높게 유지하여 요구 공기량이 증가하였기 때문에 11 ~ 12월과 비교 시 상대적으로 더 많은 폭기량이 요구된 것을 알 수 있었다.

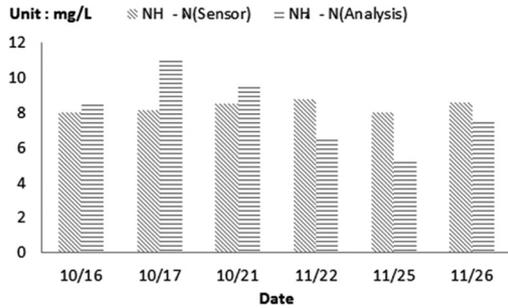


Fig. 3. Reliability verification.

본 연구기간 동안 데이터 신뢰성 확보를 위해서 실험기간 중 불특정한 날을 선정하여 암모니아 센서가 있는 호기조의 시료를 채취하여 HACH사의 수질 KIT를 이용하여 암모니아성 질소농도를 분석하였다. Fig. 3은 암모니아 센서와 실험한 암모니아성 질소농도의 값을 비교한 값이다. 센서와 측정값의 차이는 0.68 ~ 2.83 mg/L로서 평균 1.75 mg/L 차이를 보였다.

### 3.2 반송량과 MLSS에 따른 간헐폭기의 변화

실험기간 중 불특정한 날짜를 잡아 7시간씩 모니터링 하였다. Fig. 3에서 MLSS에 따른 폭기 시간의 차이를 찾아 볼 수 있었으며 왼쪽 y축의 시간은 7시간 모니터링한 시간 중 폭기가 켜진 시간의 합이다.

상기 Table 4의 SRT가 Table 3과 비교하여 높은 이유는 처리수량의 감소와 유입고형물이 감소하였기 때문이다. 이 실험기간동안에는 하루에 30 m<sup>3</sup>을 처리하였고 4.8 kg/day만큼의 고형물이 유입되었으며 따라서 폐기하는 슬러지의 양도 상대적으로 적었다. 동일조건에서 MLSS 농도가 낮아지면 폭기 시에 DO농도가 더 많이 올라가는 모습을 볼 수 있었다. 이러한 이유는 위에 언급하였던 상기 식 (1)과 같은 이유처럼 요구하는 산소량이 감소하였기 때문이다. 호기조 MLSS 3,400 mg/L가 MLSS 6,400 mg/L 보다 폭기시 더 높은 DO를 유지하였지만 폭기 시간이 더 길었던 것을 판단으로 질산화 효율이 상대적으로 떨어지는 것으로 사료된다. 결

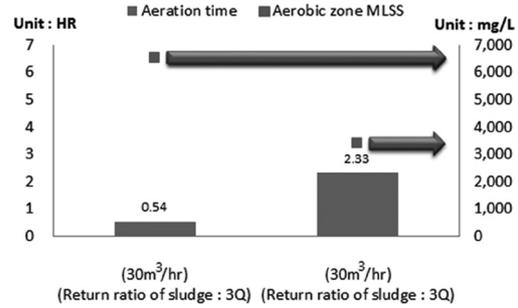


Fig. 4. Aeration time according to MLSS.

Table 4. Operational state

Aerobic zone MLSS (mg/L)	Influent SS(mg/L)	SRT (day)	Aerobic zone DO (mg/L)	
			Blower ON	Blower OFF
3,400	140	11	2	0
6,400		20	0.3	0

국 MLSS 3,400 mg/L, DO 2 mg/L나 MLSS 6,400 mg/L, DO 0.3 mg/L나 둘 다 질산화가 정상적으로 이루어졌지만 DO농도가 낮아도 높은 MLSS를 유지하는 것이 더 빠른 질산화를 이룰 수 있다고 사료된다.

또한 동일 조건에서 3Q, 5Q로 반송량을 변화시켜 운전해 보았다. 선행논문(Kyoung, 2012)에서는 반송비를 1 ~ 3으로 변화시켜 실험을 하였는데 반송비 증가에 따라 질산성질소와 총 질소 제거 효율이 향상되고 암모니아성 질소 제거 효율은 감소하였다. 그 이유는 반송량이 높아지게 되면 상대적으로 무산소조의 MLSS 농도가 높아지게 되며 따라서 미생물을 많이 확보할 수 있게 된다. 그렇기 때문에 질산성 질소 제거효율이 증가하게 되면 막분리조의 농도가 상대적으로 감소하기 때문에 암모니아성 질소 제거 효율은 상대적으로 감소하는 것으로 사료된다. 본 연구에서는 기본적으로 반송비 1.6 ~ 2.4Q로 운전하였으며 암모니아성 질소는 99.9 % 제거되었기 때문에 암모니아성 질소 제거 효율은 매우 우수하다고 판단되어 질산성 제거 효율을 높이고자 반송량 증가시켰다. 반송량은 5Q로 산정하였다. 과도하게 높은 반송량이라 판단될 수 있

지만 아래 Table 5와 같이 처리수량을 감소시킴에 따라 HRT(Hydraulic Retention Time)가 높아졌으며 실 체류시간은 처리 용량 50 m<sup>3</sup>/day 2.4Q 때와 비교하여 2분밖에 차이가 나지 않았다. 본 연구에서 7시간 모니터링 중 반송량이 3Q였을 때는 약 2시간33분 호기조 블로워가 작동하였고 5Q였을 때는 약 11분 블로워가 작동하여 호기조 폭기 시간이 대폭 줄어드는 모습을 볼 수 있었다. 그러나 이 경우 3Q때 보다 유출수에 더 높은 질산성 질소와 함께 암모니아성 질소도 같이 검출되었다. 또한 호기조 블로워 OFF시에는 무산소 조건이 되어 탈질에 의해 pH가 상승하게 되는데 반송량 5Q에서는 호기조 블로워 OFF시 탈질에 의한 pH상승을 찾아 볼 수 없었다. 이 때 무산소조 ORP는 평균 8.5 mV였으며 폭기가 켜졌을 때를 제외하고 호기조 ORP는 평균 26.9 mV였다. 결국 반송량의 증가는 조 내의 슬러지 순환이 빨라지게 되며 적정 범위를 벗어난 실 체류시간 감소는 공정 전체가 희석된다고 판단된다. 이때의 실 체류시간은 28분이었으며 상기 식 (3)에 의하여 구할 수 있다(The Ministry of Science-Technology, 1999).

$$HRT^{\wedge} = \frac{HRT}{1+R+r} \quad (3)$$

- HRT<sup>^</sup> : 각 반응조 실 체류시간
- HRT : 유입수에 대한 수리학적 체류시간
- R : 내부반송율
- r : 슬러지 반송율

Table 5. The change of real hydraulic retention time

HRT	Treatment capacity : 50 m <sup>3</sup>		Treatment capacity : 30 m <sup>3</sup>	
	2Q	2.4Q	3Q	5Q
Return ratio of sludge	2Q	2.4Q	3Q	5Q
HRT <sup>^</sup>	34 min	30 min	42 min	28 min

실 체류시간이 28분일 때 질산성질소 제거율은 15 % 저하되었으며 암모니아성 질소 제거율은 10 % 감소하였다.

### 3.3 간헐 폭기와 MLSS에 따른 ORP, pH의 변화

또한 10월, 11월 ~ 12월 간헐 폭기 기간 동안 불특정한 날을 선정하여 2번에 걸쳐 7시간 ORP의 변화를 지켜보았다. 모니터링 때의 호기조는 약 MLSS 6,000 mg/L을 유지하였으며 폭기가 켜진 후 평균 65 mV, 64 mV 상승 하고 폭기가 꺼지게 되며 평균 -66 mV, -67 mV 하강이 이루어지면 다시 폭기가 켜지는 것을 볼 수 있었다.

따라서 암모니아 센서 부재시에는 ORP에 의한 간헐폭기 제어도 가능하다고 판단되며 블로워 ON/OFF시 Fig. 4와 같이 pH의 변화의 폭은 크지 않지만 블로워가 작동하면 pH는 하강하였고, 블로워가 꺼지게 되면 pH가 상승하는 모습을 볼 수 있었다. 이러한 이유는 질산화가 이루어지면 H<sup>+</sup> 생성하고 이때 이론적인 알칼리도 감소량은 7.14 g Alkalinity/gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N이며 따라서 pH가 하강하게 되고 탈질이 이루어지면 OH<sup>-</sup> 생성으로 인하여 3.57 g Alkalinity/g NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 생성되기 때문에 pH는 증가하게 된다(Suh, 2000). 이러한 pH와 ORP의 변화 경향은 선행논문(Lee, 1997)과 유사한 경향을 보였다. 또한 간헐 폭기를 적용한 MLE(Modified Ludzack Ettinger) 및 A<sup>2</sup>/O 공정은 기존의 MLE 및 A<sup>2</sup>/O 공정보다 총 질소 제거효율이 각각 약 10 %와 7 % 가량 높은 것으로 보고 한 바 있다(Cho, 2001). 따라서 간헐폭기 방식은 자연적인 OH의 공급이 이루어지기 때문에 연속폭기 공정에 비해 pH유지가 상대적으로 용이하다고 판단된다. 따라서 낮은 pH의 질산화 저해도 상대적으로 예방할 수 있게 되어 더 우수한 질소 처리를 이룰 수 있을 것이라 사료된다.

Fig. 6의 경우는 상대적으로 낮은 MLSS에서 운전하였고 그 때의 ORP값의 폭은 앞에서 앞선 데이터보다 큰 경향을 볼 수 있었다. 그 이유는

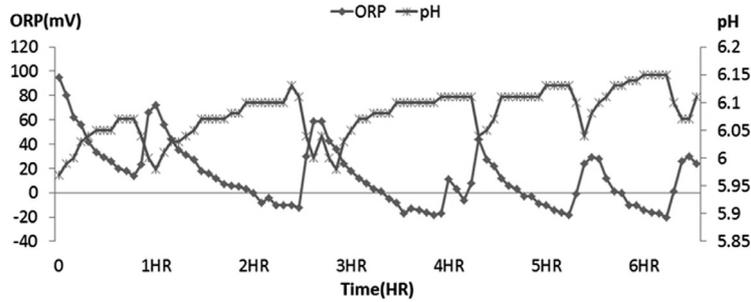


Fig. 5. The change of ORP, pH(Aerobic zone MLSS : 6,517 mg/L, Qr : 3 m<sup>3</sup>/hr).

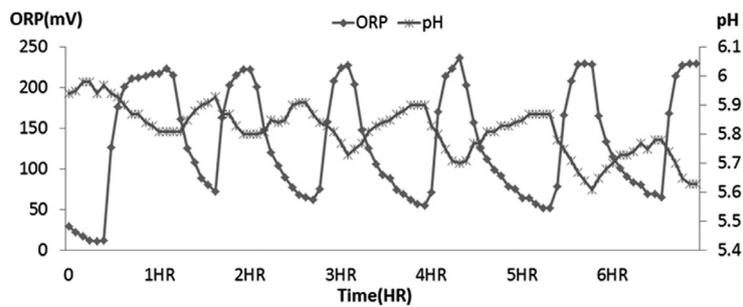


Fig. 6. The change of ORP, pH(Aerobic zone MLSS : 3,390 mg/L, Qr : 3 m<sup>3</sup>/hr).

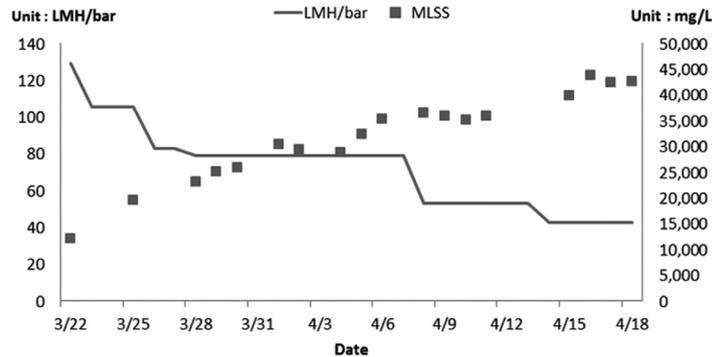


Fig. 7. MLSS, Flux correlation.

이전의 상기 언급했던 식에서 알 수 있듯이 조 내의 미생물 감소에 의한 산소량의 증가로 판단 된다. 호기조 블로워가 ON일 때 MLSS 6,000 mg/L에서는 평균 DO 0.25 ~ 0.77 mg/L까지 올라가는 경향을 보였고 MLSS 4,500 mg/L에서는 평균 DO 1.7 mg/L, MLSS 3,400 mg/L에서는 평균 DO 2 ~ 2.2 mg/L 정도의 값을 보였다. 결론적으로 암모니아 센서가 부재시 ORP 값에 의해 폭기량을 제어한다면 안정적인 MLSS 농도 유지가 필요할 것으로 사료된다.

### 3.4 관형막을 이용한 슬러지 농축 및 자산화

본 연구는 관형막을 이용하여 슬러지를 농축 하였으며 긴 체류시간을 통한 잉여슬러지의 질 량 감소를 살펴보았다. 먼저 관형막을 통해 슬러 지를 얼마나 농축시킬 수 있는지 테스트해 보았 다. Fig. 7과 같이 MLSS 40,000 mg/L에서의 운전은 압력 당 생산하는 Flux량이 부족하다고 판단하여 MLSS 25,000 mg/L ~ 30,000 mg/L로 운영하기로 결정하였다.

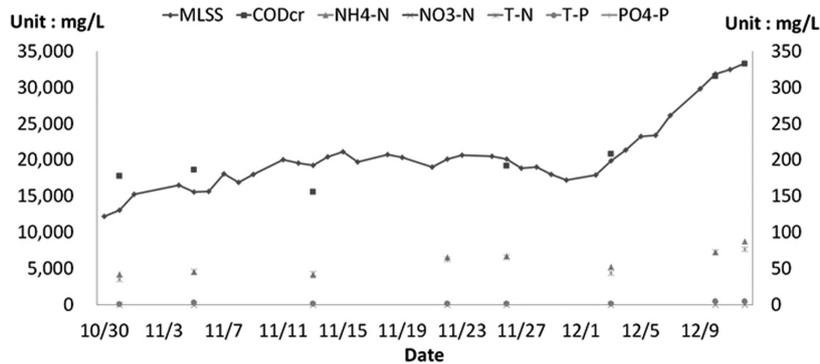


Fig. 8. MLSS, SCOD, N, P correlation.

내생호흡을 통한 자산화이 이루어지는지 간접적으로 판단하기 위해서 12월 12일까지 농축조의 MLSS 및 처리수의 SCOD, T-N, T-P, NH<sub>3</sub>-N, T-P 등 처리수질을 측정하였는데 그 이유는 NH<sub>3</sub>-N과 COD는 미생물의 Cell lysis에 따라 농도가 증가하기 때문이다. 아래 Fig. 8을 통해 MLSS 농도가 증가할수록 SCOD 및 영양염류의 증가를 볼 수 있었다.

본 실험에서 농축조의 용량은 3 m<sup>3</sup>이었으며 평균 유입 고형물은 7,264 g/day 였으며 유출 고형물은 6,161 g/day로서 약 15%의 자산화 결과를 얻었다. 이러한 자산화 수치는 혐기소화 및 가용화 공법과 같이 다른 공법에 비해서는 조금 부족한 수치이다. 예를 들어 2000년 안양하수처리시설의 혐기소화 일수는 20일, 30%의 감량을 얻었으며, 오존을 이용한 기술의 경우 50~90%(Lee, 2011), 중온-소화공정에서의 감량율은 58% 등으로 본 연구보다 더 높은 감량율을 보였다(Song, 2002). 하지만 혐기소화공정은 화학적 측면과 미생물학적 측면에서 복잡하고(Yoon, 2013) 중온소화공정은 20일 이상의 긴 체류시간을 요구한다(Song, 2002). 오존을 이용한 슬러지 가용화 기술은 오존 발생 설비 장치가 필요하며 오존에 의한 배관 부식 방지 대책과 고도의 운전기술을 요구한다(Lee, 2011). 하지만 본 공정의 HRT는 약 5일 정도로 혐기소화에 비해 상대적으로 짧게 가져갈 수 있으며 다른 공정과 비교하였을 때 운전이 간편하다.

#### 4. 결론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 낮은 SRT(11day) 높은 DO(2 mg/L)농도에서의 운전보다 낮은 DO(0.3 mg/L)농도 높은 SRT(22day) 운전에서 더 우수한 질산화 효율을 보였다. 이를 토대로 암모니아성 질소를 처리하는데 있어서 높은 DO농도를 유지하는 것보다 SRT를 길게 가져가는 것이 더 우수하다고 판단할 수 있었다.
2. 24시간 연속포기와 비교하여 암모니아성 질소를 기준으로 한 간헐 폭기 방식의 운영은 10월에는 약 10.4%의 전력비를 저감하였으며 11~12월에는 약 19.1%의 전력비를 저감할 수 있었다. 그 이유는 11~12월 운전기간동안에는 유입 암모니아성 질소와 유입 고형물의 양이 10월에 비해 상대적으로 적었기 때문에 더 높은 SRT와 낮은 MLSS농도로 운영되었고 따라서 질산화와 유기물 분해에 필요한 요구 공기량도 감소하게 되었다. 결국 실제 파일럿에서 전력비 감소량은 유입수의 고형물량과 암모니아성 질소농도에 따라 달라질 것으로 예상된다.
3. 간헐폭기 공정은 질산화와 탈질이 동시에 일어나기 때문에 조 내의 pH를 유지하는데 단일폭기 공정보다 더 유리하며 암모니아 센서를 이용하여 ORP의 변화를 꾸준히

모니터링한다면 추후 암모니아 센서 부재 시 ORP를 통한 안정적인 제어가 가능하다고 판단된다. 하지만 MLSS 농도에 따른 ORP의 폭이 달라지므로 안정적인 ORP 제어를 위해서는 MLSS 모니터링도 같이 이루어져야 한다.

4. 본 연구의 관형막을 이용한 슬러지 농축은 MLSS 25,000 ~ 30,000 mg/L에서 운전하였는데 MLSS 40,000 mg/L 까지 올릴 시에는 MLSS 25,000 ~ 30,000 mg/L와 비교하여 여과성능은 46 % 감소하였기 때문이었다. 운전기간 동안 약 15 %의 자산화물 볼 수 있었으며 SCOD, N, P 등 수질 측정을 통하여 MLSS 농도가 높을수록 자산화가 더 잘 이루어지는 경향을 간접적으로 확인할 수 있었다.

## 사 사

이 논문은 2013년도 환경부의 재원으로 글로벌 환경기술 개발사업-하·폐수 고도처리 기술개발 사업단(과제번호:GT-11-B-01-016-0)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

## 참고문헌

Duck-byun Nam, Ji-hun Na, Yong-ho Lee, Jin-young Jung, Young-soo Lee, Ki-boon Kang (2012) A Study on the Characteristic of Excess Sludge Reduction and Sewage Treatment In Advanced Sewage Treatment SBR operated with Sludge holding Tank, *Journal of Korean Society of Urban Environment* Vol. 12 No. 2 107-114

Jae-Young Joo, Jin-Seong Kim, Hye-In Lee, Duk-Hyun Nam, In-Ho Jung, Chul-Hwi Park (2011) Effects of HRT and Temperature on Sludge Reduction in Anaerobic Endogenous Respiration, *Journal of Korean Society of Urban Environment* Vol. 12 No. 2 215-222

Deokyoung lisung, Samjung ryungjo, Gunso che-olrang (2002) Nitrification assessment by DO reduction, KSIEC Fall Meeting C47-C50

Mi-kyung Baek (2009) A Study on the Improvement of the ISA Process for Nitrogen Removal and Sludge Reduction, Paper of masters degree, University of Seoul

Se-Jong Yoon (2008) A study on Installation of auto monitoring instruments to small-scale sewage treatment plants, Paper of masters degree, Chonnam National University

Jun-Suk Suh (2000) State Evaluation of Nutrient Removal in an Intermittent Aeration Process by Monitoring ORP&pH, Paper of masters degree, Yonsei university

Joo-Young Park (2007) Effect of HRT, MLSS and DO on Nitrogen Removal Efficiency in MBR Process with Internal Recycling, Paper of masters degree, Kyunghee University

Hae-Goon Lee, Jun-Seok Bae, Kwang-Soo Choi, Kee-Baek Han, Chang-won Kim (1998) Evaluation of ORP applicability and on-off aeration cycle for nitrogen removal in intermittent-aeration activated sludge process, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers J of KSEE* Vol. 20 No. 1 pp. 9-18

Nam-Un Cho, Bong-So Lim, Seong-Wook Oa (2001) Comparison on Nutrient Removal of the MLE and A2/O Process Combined with Intermittent Aeration, *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 15 No. 4, pp. 325-333

Hang-Sik Shin, Jong-un Gwak Co-authorship (2002) *Nitrogen and Phosphorus Treatment Technology*, Environmental Management Research Center

Hee-Deung Park, Christopher A. Francis, Craig S, Criddle, Daniel R, Noguera (2006) Community structure of ammonia-oxidizing microorganisms in wastewater treatment plants operated under low dissolved oxygen concentration, *Proceedings of 2006 KSIEC Fall Meeting*, A164-A170

- Ick-Tae Yeom, Ki-Ryong Lee, Ui-Sung Hwang, Jae-Hyun Kwon, Hyung-Soo Kim (2003) A New Sludge Reduction Process using Sludge Pre-Treatment and Membrane Separation, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers J. of KSEE* Vol. 25 No. 3 pp. 379-384
- Seong-kyu Yoon (2013) Garbage Wastewater Treatment by Thermophilic Anaerobic Digestion Coupled with Alternating Injection Mode Cross-Flow Membrane Filtration, Doctoral dissertation, Hanyang University
- Young-Chae Song, Sang-Jo Kwon, Jung-Hui Woo (2002) Comparative Performance of Mesophilic-Thermophilic Co-Phase Anaerobic Digestion to Single Stage Mesophilic and Thermophilic Digestions of Sewage Sludge, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* pp. 739-746
- gi-young Lee (2011) Improvement of Digestion Tank Efficiency and Feasibility Study on Biomass gas use, Gyeonggi Research Institute
- Wook Kyoung (2004) The Characteristic of Wastewater Treatment Using ASMBR System with Various Recycle Ratio, Dong-A University
- Kyu-Sik Kong (2005) Improvement measures by evaluation of installation and operation conditions on food waste recycling plant, Paper of masters degree, Seoul National University of Technology
- The Ministry of Science-Technology, Ministry of Environment (1999) A Study for Removal of Some Impurities such as Pesticides, Detergents and Ammonium Nitrogen in Water, 3the Year
- Ick-Tae Yeom, Yoo-Mi Nah, Kyu-Hong Ahn (1999) Treatment of household wastewater using an intermittently aerated membrane bioreactor, *Desalination*, 124: 193-204
- P. Cornel, M. Wagner and S. Krause (2003) Investigation of oxygen transfer rates in full scale membrane bioreactors, Darmstadt University of Technology, Institute WAR, *Wastewater Technology*, Petersenstr. 13, 64287 Darmstadt.
- J.A Gil, L. Tua, A. Rueda, B. Montano, M. Rodriguez, D. Prats (2010) Monitoring and analysis of the energy cost of an MBR, *Desalination* 250 pp. 997-1001
- Judd, S., (2006) *The MBR book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*, Elsevier.
- N,F Gray, (1989) *Biology of Wastewater Treatment*, Oxford University Press, New York, pp. 374-396