

마이크로-나노버블 반응조를 이용한 미생물성장 동력학 계수의 추정에 관한 연구

한영립 · 정병길^{1)*} · 정유진²⁾ · 조도현³⁾ · 성낙창

동아대학교 환경공학과, ¹⁾동의대학교 환경공학과, ²⁾국립환경과학원, ³⁾(주)네가트론
(2010년 4월 1일 접수; 2010년 4월 21일 수정; 2010년 5월 7일 채택)

Estimation of Kinetic Parameters for Biomass Growth Using Micro-nano Bubbles Reactor

Young-Rip Han, Byung-Gil Jung^{1)*}, Yoo-Jin Jung²⁾, Do-Hyun Cho³⁾, Nak-Chang Sung

Department of Environmental Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

¹⁾Department of Environmental Engineering, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea

²⁾National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea

³⁾Negatron Co., Ltd, Busan 617-846, Korea

(Manuscript received 1 April, 2010; revised 21 April, 2010; accepted 7 May, 2010)

Abstract

The objectives of this research are to evaluate and compare the oxygen transfer coefficients(K_{La}) in both a general bubbles reactor and a micro-nano bubbles reactor for effective operation in sewage treatment plants, and to understand the effect on microbial kinetic parameters of biomass growth for optimal biological treatment in sewage treatment plants when the micro-nano bubbles reactor is applied. Oxygen transfer coefficients(K_{La}) of tap water and effluent of primary clarifier were determined. The oxygen transfer coefficients of the tap water for the general bubbles reactor and micro-nano bubbles reactor were found to be 0.28 hr^{-1} and 2.50 hr^{-1} , respectively. The oxygen transfer coefficients of the effluent of the primary clarifier for the general bubbles reactor and micro-nano bubbles reactor were found to be 0.15 hr^{-1} and 0.91 hr^{-1} , respectively. In order to figure out kinetic parameters of biomass growth for the general bubbles reactor and micro-nano bubbles reactor, oxygen uptake rates(OURs) in the saturated effluent of the primary clarifier were measured with the general bubbles reactor and micro-nano bubbles reactor. The OURs of in the saturated effluent of the primary clarifier with the general bubbles reactor and micro-nano bubbles reactor were $0.0294 \text{ mg O}_2/\text{L} \cdot \text{hr}$ and $0.0465 \text{ mg O}_2/\text{L} \cdot \text{hr}$, respectively. The higher micro-nano bubbles reactor's oxygen transfer coefficient increases the OURs. In addition, the maximum readily biodegradable substrate utilization rates(K_{ms}) for the general bubbles reactor and micro-nano bubbles reactor were $3.41 \text{ mg COD utilized/mg active VSS} \cdot \text{day}$ and $7.07 \text{ mg COD utilized/mg active VSS} \cdot \text{day}$, respectively. The maximum specific biomass growth rates for heterotrophic biomass(μ_{max}) were calculated by both values of yield for heterotrophic biomass(Y_H) and the maximum readily biodegradable substrate utilization rates(K_{ms}). The values of μ_{max} for the general bubbles reactor and micro-nano bubbles reactor were 1.62 day^{-1} and 3.36 day^{-1} , respectively. The reported results show that the micro-nano bubbles reactor increased air-liquid contact area. This method could remove dissolved organic matters and nutrients efficiently and effectively.

Key Words : General bubbles, Maximum specific biomass growth rate, Micro-nano bubbles, Oxygen transfer coefficient, Oxygen uptake rate, Volumetric oxygen transfer rate(VOTR)

*Corresponding Author : Byung-Gil Jung, Department of Environmental Engineering, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea

Phone: +82-51-890-2081

E-mail: bgjung@deu.ac.kr

1. 서론

과거 하수처리장은 대부분은 유기물 및 고형물을 주요 제거대상으로 하는 2차 처리시설로, 최근 상수원의 수질보전을 위해 부영양화의 원인물질인 질소와 인을 강력히 규제하고 수질오염총량제를 추진함에 따라 유기물 및 부유물질에 대한 법적 방류수질을 강화하는 추세이다(이, 2005; 하, 2004; 김 등, 2010). 2007년말 기준 전국의 가동중인 공공하수처리장은 총 370개로, 이중 신·증설 115개소, 개량 63개소로 나타나 고도처리로의 전환이 활발하게 진행 중이며, 방류수질 강화에 많은 힘을 쓰고 있다(환경부, 2008; 환경부, 2009). 또한 '높은 삶의 질'을 추구하는 과정에서 향후 병원성 미생물, 내분비계 장애물질(Endocrine disrupting substances) 및 미량 유해물질 등에 대한 규제도 차츰 강화되어 갈 것이다(안, 2006).

한편, 수자원 보전 및 효율적인 이용이라는 차원에서 하수처리장 방류수 재이용 계획이 활발히 추진되고 있다. 이처럼 하수처리장 방류수를 재이용하기 위해서는 기존 방류수질보다는 한 단계 높은 수준의 처리가 필요할 것이다.

보다 우수한 수질의 처리수를 생산하기 위해서는 두 가지 방법을 들 수 있다. 첫째는 기존 하수처리장의 적정 운영, 즉, 최적화된 운영을 통하여 최대한의 효과를 내도록 하는 것으로써 미국의 경우를 보면 EPA(Environmental Protection Agency)에서 CCP(Composite correction program, 하수처리장 최적화 프로그램)을 적용하여 기존 처리장의 방류수 수질을 개선하고 처리비용을 크게 절감하는 등의 사례를 찾아볼 수 있다. 두 번째는 하드웨어적인 방식으로써 기존 공정의 고효율, 고집적화로 개선 및 신공정의 신설을 의미하며 넓은 의미에서는 하수관거 정비 및 증설까지도 포함한다 할 수 있다(안, 2006; 안, 2005).

활성슬러지 공법은 미생물을 이용한 처리공법으로 산소를 이용한 포기기술이 적용되는 포기조에서 기포의 크기, 체류시간, 그리고 기-액간의 혼합(교반)과 접촉 등이 기-액간의 물질전달속도에 중요한 영향을 미치는 요소로 알려져 있다. 산소전달속도에 영향을 주는 이러한 인자들에 변화를 주어 총괄물질전달계수를 증가시키기 위한 방안들로 기포분쇄, 물질첨가, 액상

교반 및 반응기 구조개선 등 여러 가지 기술들이 국내 외에서 연구되어 왔다(Brown과 Baillod, 1982; Chern과 Yu, 1997; Stenstrom 등, 1991). 그러나 이러한 방법들은 대부분이 에너지 효율과 유지보수비 등 경제적인 측면에서 기존의 산기방식에 비해 특별히 적용되지 않고 있다(최, 2003). 또한 하수처리장의 최적화를 위한 운영 시 필요한 사항인 미생물 동력학 계수는 ASM(Activated sludge model)과 같은 예측 model에서 생물학적 폐수처리시설의 효율을 예측하기 위해 자주 사용 및 연구되고 있다. 하지만 하수처리장에 적용 시 기본적인 미생물 동력학 계수는 정해져 있지만 각각의 하수처리장의 경우 일반적으로 적용하기 어려운 실정에 있다.

따라서, 본 연구에서는 하수처리장의 효과적인 운전 및 처리효율 향상을 위해 마이크로-나노버블 산기장치(Micro-nano bubbles reactor, MNB reactor)를 적용하여 기존 산기장치(General bubbles reactor, GB reactor)와의 산소전달계수를 비교·평가하고, 하수처리장 적용 시 미생물에 대한 영향을 파악하기 위해 미생물 성장계수를 산출하여 마이크로-나노버블 산기장치 적용 시 생물학적 처리에 의한 효과적인 운영방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 산소전달특성평가

마이크로-나노버블 산기장치를 하수처리장 포기조에 적용하기 위해 B시 K하수처리장을 대상으로 실험을 실시하였다. K하수처리장은 고도하수처리방법인 A^2/O 공법으로 처리되고 있으며 처리용량 33,000 ton/day로 운영되고 있는 하수처리장으로서 산소전달특성 및 미생물 동력학 계수를 평가하기 위해 1차 침전지 유출수를 이용하여 실험에 임하였다. 실험은 현장과 비슷한 조건으로 운전하였으며, 실험에 사용된 미생물은 K하수처리장에 설치되어있는 호기성 생물반응조에서 직접 미생물을 채취하여 사용하였다.

2.2. 실험장치 및 방법

2.2.1. 실험장치

마이크로-나노버블 산기장치는 기존의 일반 산기장치에 비하여 산소용해효율을 향상시킬 수 있는 포기장치로서 발생 버블을 마이크로-나노 크기로 만들어 액체 내에 산소를 공급하는 장치이다. 공기유입구로부터 유입된 공기를 순환수와 함께 반응기 하부의 마이크로-나노버블 발생장치를 통하여 미세기로 형태로 분산시켜 반응기 하부로부터 상승되도록 하여 수중의 산소용해효율을 증가시킬 수 있도록 구성하였다. 내부에 공급된 물이 진공영역에서 2~3 kgf/cm²의 압력으로 고속선화하여 진공영역의 진공도가 400 mmHg가 되도록 유도되며 진공이 형성되면 공기와 물이 혼합되면서 수중에 기포화 된다.

마이크로-나노버블 산기장치 반응조는 D 790 mm × H 990 mm로 총용량은 500 L 정도이며, 유효용량을 400 L로 하여 실험을 실시하였고, Fig. 1에 마이크로-나노버블 산기장치의 개요도를 나타내었다.

본 실험에서는 일반 산기장치와 마이크로-나노버블 산기장치의 산소전달계수 비교실험을 위해 마이크로-나노버블 산기장치와 동일한 규격의 반응조를 구성하여 실험에 임하였다. 일반 산기장치는 하부의 blower로부터 발생된 기체가 유량기를 통과하여 4개의 튜브형 산기장치로 분산되게 설치하였다.

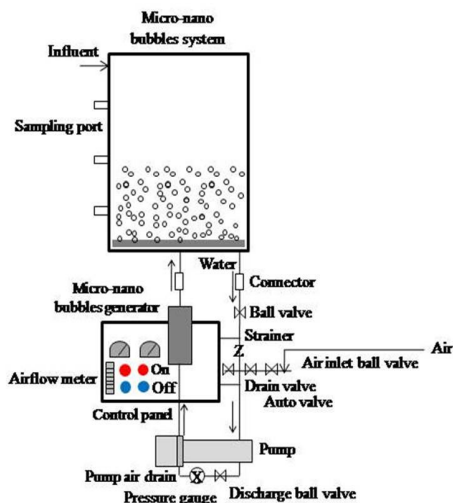


Fig. 1. Schematic of MNB reactor.

산소전달계수의 변화에 따른 미생물성장 동력학 계수 측정 위해 산소섭취율 및 세포생산계수 측정을 위하여 Lab-scale 생물반응조를 이용하였다. W 260 mm × L 350 mm × H 300 mm의 수욕조의 상부를 밀폐하여 대기중으로 산소가 방출되는 것을 막았으며, 내부에는 미생물의 성장을 위해 산기장치를 설치하여 충분한 폭기를 통해 DO농도가 6.0~8.0 mg/L로 유지하였고 미생물은 B시 K하수처리장의 포기조 내부의 미생물을 이용하여 MLSS(Mixture liquid suspended solid) 3,000~3,500 mg/L로 성장시켰다. 또한, 내부 온도는 가열기를 통해 20±1 °C를 유지시켰으며, pH는 7.0±0.5로 운전하였다.

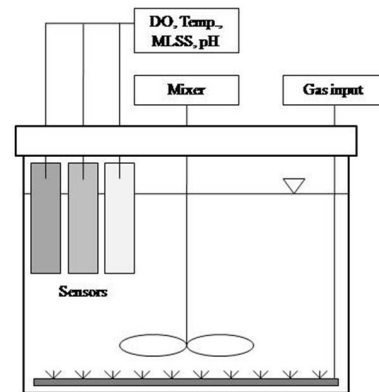


Fig. 2. Schematic of lab-scale bioreactor.

2.2.2. 실험방법

마이크로-나노버블 산기장치와 일반 산기장치를 이용한 산소 용해효율을 비교·평가하기 위해 상수(수도수)와 1차 침전지 유출수를 이용하여 산소전달 실험을 실시하였다. 반응조의 유효용량은 400 L, 공기 공급량은 공기유량을 1 L/min으로 조절하였으며 반응조 하부에 설치된 산기관 및 기포발생장치에 의해서 공기를 공급하였다. 공기유량을 1 L/min로 고정하여 실험한 이유는 마이크로-나노버블 산기장치의 최적 설계조건으로 이때의 기포크기가 평균 0.5 μm 정도로 가장 미세하게 발생되기 때문이다.

산소전달실험은 DO 농도를 “0”로 만들기 위해 아황산나트륨(Na₂SO₃)과 촉매제인 염화코발트(CoCl₂)

를 사용하였으며, 마이크로-나노버블 발생장치와 기존 버블 발생장치를 이용하여 다시 공기를 반응조에 일정시간 불어넣어 포기시간에 따른 DO, 수온을 측정 후 산소전달계수, 산소용해량, 산소전달효율 등을 산출하였다.

미생물성장 동력학 계수의 추정을 위해 세포생산계수(Y_H) 및 산소섭취율(OUR) 측정을 한 반응조에서 실시하였다. 생물반응조 내부는 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지하여 운영하였으며, 일반 산기장치(GB reactor) 및 마이크로-나노버블 산기장치(MNB reactor)에서 용존산소가 포화될 때까지 충분히 운전하여 생물반응조에 투입시켰다. 생물반응조내 회분식 반응시 MLVSS를 3,000 mg/L로 유지하기 위해 1차 침전지 유입수의 투입전 MLSS농도를 MLVSS/MLSS 비율에 고려하여 혼합하였다. 또한 측정 및 반응조의 일정한 운전을 위해 반응시 DO, pH, 온도 및 ORP는 5 min 간격으로 측정하였으며, 30 min 간격으로 채수하여 분석하였다. 실험에 사용된 계수들의 산정방법을 Table 1에 제시하였다.

본 실험에서의 분석은 수질오염공정시험법과 Standard methods에 준하여 실시하였으며, MLVSS는 MLVSS/MLSS 비율을 이용하여 MLSS meter 측정값에서 보정한 후 각 반응조별 운전자료로 활용하였다. 실험중 채취한 시료는 GF/C 여과지로 고액분리한 후 COD_{Cr}방법으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 산소전달특성평가

3.1.1. 산소발생 성능평가

마이크로-나노버블 산기장치의 산소전달계수 특성을 파악하기 위해 GB reactor 와 MNB reactor의 산소

전달계수 실험을 실시하였다. Fig. 3은 일반 산기장치(GB reactor)와 마이크로-나노버블 산기장치(MNB reactor)에서의 공기유량 변화에 따른 $-\ln((C_s - C_t)/C_s)$ 대 시간 t 로 도시하여 기울기가 K_{La} 인 직선을 얻은 그래프이다. K_{La} 값을 산출하기 위해 표준상태로 보정하여 계산된 산소전달계수(K_{La})의 값을 비교해 보면, 상수의 경우 GB reactor와 MNB reactor에서 K_{La} 는 각각 0.28 hr^{-1} , 2.50 hr^{-1} 의 값을 나타내었다. 또한, 1차 침전지 유출수를 이용한 실험에서 온도의 영향을 고려한 표준상태로 보정하여 계산된 K_{La} 값은 일반 산기장치(GB reactor) 및 마이크로-나노버블 산기장치(MNB reactor)에서 각각 0.15 hr^{-1} , 0.91 hr^{-1} 의 값을 나타내어 GB reactor에 비해 MNB reactor에서 산소전달계수가 높은 것으로 나타났다.

또한 K_{La} 를 이용하여 산소용해량, 산소용해효율, VOTR(Volumetric oxygen transfer rate) 등을 산출하였다. 산소용해량의 경우 상수에서 운전한 GB reactor와 MNB reactor에서 각각 $1.02 \text{ g O}_2/\text{hr}$, $9.24 \text{ g O}_2/\text{hr}$ 의 값을 나타내었으며, 1차 침전지 유출수에서는 $0.54 \text{ g O}_2/\text{hr}$ 와 $3.22 \text{ g O}_2/\text{hr}$ 로 나타났다. 산소전달효율은 상수에서 각각 $2.57 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hr}$ 와 $22.90 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hr}$, 1차 침전지 유출수의 경우 $1.34 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hr}$, $8.04 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hr}$ 로 나타나 상수와 1차 침전지 유출수 모두 MNB reactor의 산소전달효율이 높은 것으로 나타났다.

위와 같은 결과는 MNB reactor에서 발생하는 기포 크기가 미세하여 동일 공기량 당 액체와의 접촉면적이 상대적으로 커져 산소전달효율이 높아졌기 때문이다. 또한 개개의 기포직경이 작아지면 상승속도가 느려져 기-액 접촉시간이 길어지기 때문에 한층 높은 산소전달효율을 얻을 수 있다. 따라서 MNB reactor를 이용한 공기 공급은 수중 산소용해효율이 우수하여

Table 1. Analytical methods at oxygen transfer coefficients and kinetic parameters for biomass growth

Parameters	Units	Methods and Apparatus
K_{La}	hr^{-1}	$dC/dt = K_{La}(C_s - C)$
Oxygen transfer efficiency	$\text{g O}_2/\text{hr}$	$N = K_{La(20)} \cdot C_{s(20)} \cdot V$
VOTR	$\text{kg/m}^3 \cdot \text{hr}$	$VOTR = K_{La} \times C_s$
K_{ms}	$\text{mg COD utilized/mg active VSS} \cdot \text{day}$	$K_{ms} = \left(\frac{1}{1 - f_{cv} \cdot Y_H} \right) \cdot OUR_m \cdot 24 \cdot \frac{V_{WW} + V_{ml}}{f_{av} \cdot X_v \cdot V_{ml}}$
$\mu_{\max, H}$	day^{-1}	$\mu_{\max, H} = K_{ms} \times Y_H$

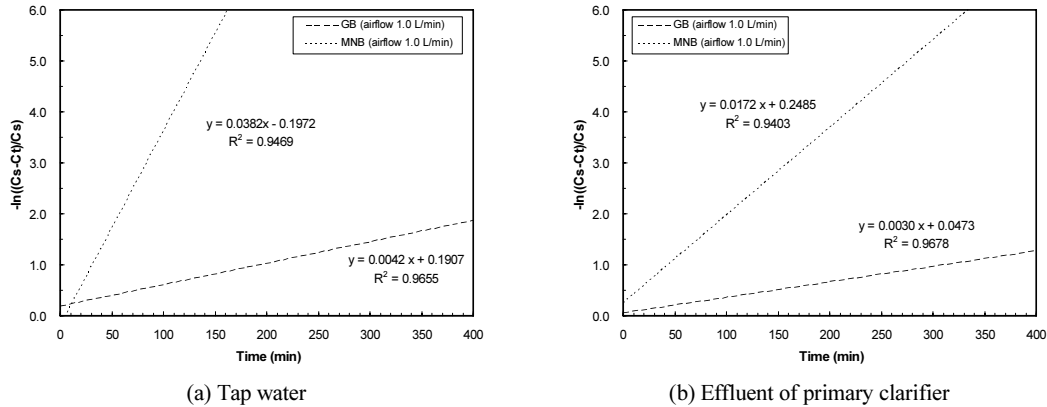


Fig. 3. Comparison of oxygen-mass transfer coefficient(K_{La}) between GB and MNB reactors.

Table 2. Comparison of oxygen mass transfer efficiency between GB and MNB reactors

Raw water		$K_{La}(20)(hr^{-1})$	$N(g\ O_2/hr)$	$VOTR(kg/m^3 \cdot hr)$
Tap water	GB reactor	0.28	1.02	2.57
	MNB reactor	2.50	9.24	22.90
Effluent of primary clarifier	GB reactor	0.15	0.54	1.34
	MNB reactor	0.91	3.22	8.04

생물반응조 및 처리수의 DO농도를 크게 높일 수 있을 것으로 기대될 뿐만 아니라, 적정 DO 농도 수준에 도달하기 까지 운전시간을 매우 단축시킬 수 있어 수처리시 매우 효율적인 것으로 판단된다.

3.2. 동력학 계수 측정

3.2.1. 생물학적 동력학계수 실험

(1) 중속영양미생물의 생산계수 측정

하수처리장 1차 침전지 유출수를 이용하여 미생물 성장 동력학계수를 측정하기 위해 미생물을 각각의 반응조에 유입시켜 운전을 실시하였다. Table 3은 실험에 앞서 하수처리장내 1차 침전지 유출수 및 MLSS 특성에 대하여 분석한 결과를 제시하였다. MNB reactor의 적용에 의한 산소전달계수의 변화로 포기조내 미생물의 거동을 알아보기 위해 중속영양미생물의 세포생산계수(Y_H)산출하였으며, Fig. 4에 중속영양미생물 생산계수에 관한 실험 결과를 나타내었다. Y_H 는 TCOD(Total COD)와 SCOD(Soluble COD)의 차이로 BCOD(Biomass COD)를 산출하였으며, 그래프에 나타난 직선의 기울기를 통하여 산출하였다. 1차 침전지 유출수를 이용하여 하수처리장의 미생물의 Y_H 를 산

출한 결과 0.4749로 나타났다.

Table 3. Characteristics on effluent of primary clarifier

Items	Units	Average values
DO	mg/L	0.31
COD _{Cr}	mg/L	138
MLVSS/MLSS	-	0.87
Temperature	°C	21.6
pH	-	6.94
ORP	mV	17

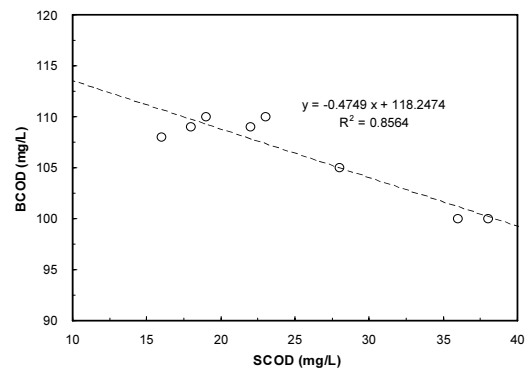


Fig. 4. Measurement of yield coefficient for heterotrophic biomass in effluent of primary clarifier.

(2) 산소섭취율 측정

중속영양미생물의 산소섭취율(OUR)을 측정하기 위해 회분식 생물반응조 내에 GB reactor 및 MNB reactor에서 산소가 포화될 때 까지 운전한 1차 침전지 유출수를 투입하였다. 회분식 생물반응조 내에서 3시간 이상의 충분한 폭기 시간을 주어 기존 반응조 내에 미생물 산소섭취율 측정에 영향을 미치는 탄소원 및 용존성 물질을 제거하였으며, 1차 침전지 유출수 투입 후 추가적인 기질은 공급하지 않았다. 내생 호흡단계의 시간에 따른 산소섭취율을 Fig. 5에 나타내었다. 반응 초기에 급격한 산소 소모를 나타내는 15 min 간의 평균 산소섭취율(OUR_m)을 보게 되면 GB reactor를 이용한 반응조에서는 $6.6 \text{ mg O}_2/\text{L} \cdot \text{hr}$ 로 나타난 반면에 MNB reactor를 이용한 반응조에서는 $13.7 \text{ mg O}_2/\text{L} \cdot \text{hr}$ 로 나타나 일반산기장치에 비해 높은 산소전달효율을 나타낸 마이크로나노버블 산기장치가 중속영양미생물 산소섭취율의 향상에도 영향을 나타낸 것으로 판단된다(정 등, 2000).

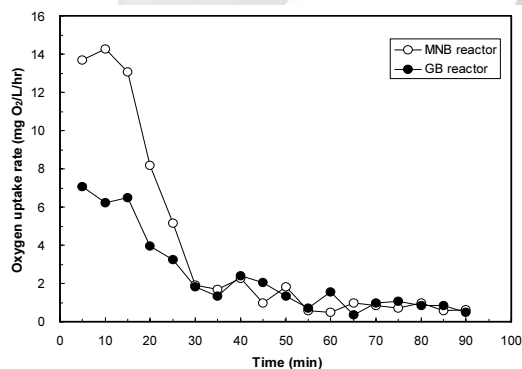


Fig. 5. Comparison of oxygen uptake rate between GB and MNB reactors in effluent of primary clarifier.

중속영양생물 산소섭취율은 주입한 하수의 처리와 밀접한 관계로 반응 초기의 높은 호흡률은 하수중에 쉽게 분해되는 유기물에 의한 호흡인 S_s (readily biodegradable substrate) 성분이라 할 수 있으며, 완전한 감소율을 보인 구간은 천천히 분해되는 유기물에 의한 호흡인 X_s (slowly biodegradable substrate) 성분이라 할 수 있다(Young, 2000). 일정시간 후 낮고 일정한 산소 섭취율을 나타낸 구간은 슬러지의 자산화에 의한 호

흡에 기인한 것으로 판단되며, 마이크로나노버블에 의한 산소전달계수의 증가 및 비폭기 상태에서도 기존 버블에 비해 수중에 잔류하는 성질로 인하여 미생물의 산소이용율을 증가시켜 수중의 유기물 처리 및 미생물 성장에 효과가 있는 것으로 판단된다.

Table 4는 GB reactor와 MNB reactor를 이용한 미생물성장 동력학 계수에 관한 결과를 나타내었다. 최대기질이용율(K_{ms}) 경우 GB reactor에서 3.41 day^{-1} , MNB reactor에서 7.07 day^{-1} 로 나타났으며, $\mu_{max,H}$ 를 산출한 결과 각각 1.62 day^{-1} , 3.36 day^{-1} 을 나타내어 마이크로나노버블 산기장치를 이용한 K_{La} 의 증가가 미생물의 산소이용율을 증가시켜 기질이용율 및 세포생산에도 높은 효과를 보이는 것으로 판단된다.

Table 4. Kinetic parameters of biomass growth in effluent of primary clarifier

Kinetic parameters	Units	GB reactor	MNB reactor
Y_H	-	0.4749	0.4749
OUR	mg O ₂ /L/hr	0.2911	0.3223
K_{ms}	day ⁻¹	3.41	7.07
$\mu_{max,H}$	day ⁻¹	1.62	3.36

4. 결론

본 연구에서는 하수처리장에 마이크로-나노버블 산기장치를 적용하기 위하여 기존 산기장치와의 산소 전달계수를 비교·평가하고, 하수처리장 적용 시 미생물에 대한 영향을 파악하기 위해 미생물 성장계수를 산출·평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 산소전달계수(K_{La})를 파악하기 위해 상수를 이용하여 GB reactor(기존 산기장치)와 MNB reactor(마이크로나노버블 산기장치에서)에 공기 유량을 1 L/min 으로 동일하게 유입시키고 운전한 결과 산소의 포화농도는 각각 7.8 mg/L , 9.6 mg/L 로 나타났다. 산소전달계수는 0.28 hr^{-1} , 2.50 hr^{-1} 로 나타났다.

- 2) 1차 침전지 유출수에서는 GB reactor 및 MNB reactor에서 산소 포화농도가 각각 4.4 mg/L, 6.8 mg/L로 나타났으며, 산소전달계수가 0.15 hr^{-1} , 0.91 hr^{-1} 로 나타났다.
- 3) 미생물 성장계수 산출을 위해 각각의 산기장치에서 산소가 포화된 1차 침전지 유출수를 이용하여 생물반응조에 투입 후 산소섭취율(OUR)을 측정 한 결과 각각 $0.0294 \text{ mg O}_2/\text{L} \cdot \text{hr}$, $0.0465 \text{ mg O}_2/\text{L} \cdot \text{hr}$ 로 나타나 마이크로나노 산기장치에 의한 산소전달계수의 증가가 미생물의 산소섭취율을 높일 수 있는 것으로 판단된다.
- 4) 최대 기질 이용율(K_{ms})은 각각 $3.41 \text{ mg COD utilized/mg active VSS} \cdot \text{day}$, $7.07 \text{ mg COD utilized/mg active VSS} \cdot \text{day}$ 로 나타났으며, 최대 기질 이용율(K_{ms})과 종속영양 미생물의 생산계수(Y_H)를 이용하여 종속영양 미생물의 최대 비성장율(μ_{max})을 산출한 결과 각각 1.62 day^{-1} , 3.36 day^{-1} 로 나타나 같은 공기유량으로도 수중에서의 가-액 접촉면적의 상승으로 인하여 미생물 성장량의 증가와 그에 따른 유기물 및 영양염류 제거에 효과가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 기술혁신개발사업(과제번호 : S1037672)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김미란, 김경희, 박해식, 강동효, 이제근, 2010, S 하수처리장 반류수가 방류수 수질에 미치는 영향, 한국환경과학회지, 19(3), 323-329.
- 안규홍, 2006, 하수 고도처리의 기술 동향 및 전망, 한국과학기술연구원.
- 안용형, 2005, 기술진단 사례로 본 하수처리장의 문제점 및 개선방안, (월간)환경21, 통권99, 62-63.
- 이병호, 2005, (세미나)기존처리장에서 고도처리시설로의 효율적인 개량방법, 환경시설관리공사, 명지대학교.
- 정연규, 김한수, 유성인, 2000, 산소이용율을 이용한 생물학적 동력학 계수 추정, 대한환경공학회지, 22(1), 11-19.
- 최희정, 2003, 포기조내 산소전달 효율 증진 방안에 관한 연구, 석사학위논문, 순천대학교.
- 하해창, 2004, 하수처리에 있어서 고도처리방법의 비교 선정에 관한 연구, 석사학위논문, 서울산업대학교.
- 환경부, 2008, 환경백서, 11-1480000-000586-10.
- 환경부, 2009, 2005~2007년 하수·분뇨처리시설 기술진단 사례집, 11-1480000-000988-01.
- Brown, L. C., Baillod, C. R., 1982, Modeling and Interpreting Oxygen Transfer Data, ASCE Journal of Environmental Engineering, 108(4), 607-628.
- Chern, J. M., Yu, C. F., 1997, Oxygen Transfer Modeling of Diffused Aeration Systems, Industrial & Engineering Chemistry Research, 36(12), 5447-5453.
- Stenstrom, M. K., Brown, L. C., Hwang, H. J., 1981, Oxygen Transfer Parameter Estimation, ASCE Journal of Environmental Engineering, 107(2), 379-397.
- Young, C. J., 2000, Using oxygen uptake rate to fingerprint activated sludge process, Proceedings of the Third International Symposium on Advanced Environmental Monitoring, Cheju Island, 137-142.

КСІ