활성 슬러지조 폭기를 위한 에너지 절감형 판형 멤브레인 산기장치의 개발

Development of Energy Saving Aeration Panel for Aerating in Activated Sludge System

김지태* · 탁현기** · 김종국†
Ji Tae Kim* · Hyon Ki Tak** · Jong Kuk Kim†

*경기대학교 환경에너지시스템공학과 · ** (주)에네트 · 건양대학교 화공생명학과

*Department of Environmental & Energy Systems Engineering, Kyonggi University, **ENET Com.

Department of Chemical and Bio Engineering, Konyang University

(2012년 2월 7일 접수, 2012년 6월 27일 채택)

Abstract : In an effort to commercialization of energy saving aeration apparatus, panel-type aeration membranes were prepared from polyurethane sheet of J company in Korea having tensile strength higher than 400 kg/cm^2 with thickness of 0.5mm. Micro-pores of $100 \mu\text{m}$ size were made by poring technique utilizing needles. From lab-tests in 450 L water tank at temperature of 20°C , the performance of aeration panels at 40 L/min aeration rate showed 5 mg/L DO in less than 3 minutes approaching saturation point of 8 mg/L within 8 minutes. The results show very high efficiency with $K_{La(15)}$ (16.34 hr^{-1}), Standard oxygen transfer efficiency (SOTE 54.7%) and Standard aeration efficienct (SAE 7.88 kg/kwh). Other pilot scale test in a 2 m^3 water tank with water temperature (19°C) and aeration rate (30 L/min) showed DO exceeding 5 mg/L within 8 minutes along with $K_{La(15)}$ (5.8 hr^{-1}), SOTE (42.1%) and SAE (6.41 kg/kwh). These efficiencies represent 2~2.5 times higher than conventional aeration devices. Especially, the achievement of higher Oxygen Transfer Rate indicate higher commercial viability. Conventional aeration devices when applied to clean water and wastewater frequently cause problems due to differences in actual Oxygen Transfer Rate. Our actual tests with 40°C animal farm wastewater resulted very high efficiencies with Oxygen transfer efficiency (OTE_f 22.1%) and OTE_{pw40} (39.6%).

Key Words : Energy Saving, Aeration Panel, SOTE, SAE

요약 : 에너지 절감형 산기장치의 상용화를 목적으로 국내 J사의 인장강도 400 kg/cm^2 이상, 두께가 0.5 mm의 폴리 우레탄 시트를 확보하고 고무 시트의 천공에 가장 널리 이용되는 방식인 needle을 이용한 천공방법을 택하여 기공의 크기가 $100 \mu\text{m}$ 정도의 판형 멤브레인 산기장치를 제작하였다. 판형 산기 모듈 제작 후 실험실 및 파일럿 규모의 테스트 결과, 수조 450 L, 수온 20°C , 공기량 40 L/min인 실험실 테스트에서 3분 내에 DO가 5 mg/L을 넘었고, 8분 내에 DO가 포화치에 가까운 8 mg/L 이상이 됨을 알 수 있었다. 이때의 $K_{La(15)}$ 는 16.34 hr^{-1} , 표준산소전달효율은 54.7%, 표준폭기효율은 7.88 kg/kwh로 상당히 높은 효율의 실험결과를 보였다. 수조 2 m^3 , 수온 19°C , 공기량 30 L/min인 파일럿 규모의 테스트에서는 8분 내에 DO 농도가 5 mg/L를 넘었고, 이때의 $K_{La(15)}$ 는 5.8 hr^{-1} , 표준산소전달효율은 42.1%, 표준폭기효율은 6.41 kg/kwh로 기존 산기관의 2~2.5배 높은 효율의 실험결과를 보였다. 특히 단위 동력당 산소전달률이 높아 경제성이 높음을 나타내었다. 기존 산기관의 적용에서 청수에서의 산소전달효율이 실제 폐수에서의 산소전달률의 차이로 인한 문제가 빈발하여 실제 40°C 축산폐수에서 테스트한 결과 OTE_f 는 22.1% OTE_{pw40} 이 39.6%로 매우 높은 효율을 보였다.

주제어 : 에너지절감형, 판형 멤브레인, 산기장치, 표준산소전달효율, 표준폭기효율

1. 서론

활성슬러지 공법은 유기물질을 제거하는 생물학적 폐수 처리 공법 중의 하나로써 현재 하수처리장에서 가장 널리 사용되고 있는 방법이고 이 공법의 필요 단위 장치 중 산기 장치와 브로워는 실제 하수처리장에서 처리장 동력비의 40~70%를 차지하고 있다. 따라서 처리장 유지관리비의 상당부분이 바로 폭기 비용으로 소요되고 있으며, 이에 유지관리비를 줄이기 위해서는 산기장치의 효율을 증가시키는 것이 가장 효과적인 방안이 된다.

활성슬러지법에 의해 소비되는 산소는 멤브레인형 산기관과 표면교반식 등의 기계식 포기장치에 의하여 공급된다.

이중 멤브레인형 산기장치가 가장 많이 상용화 되고 있으나 구멍을 통하여 방출되는 기포 크기가 대략 2~10 mm 정도의 큰 크기를 유지하고 일반적인 멤브레인 산기관은 폭기시 부풀었던 멤브레인이 공기 공급 중단 시 원래대로 수축되지 않아 기공이 늘어난 상태를 유지하기 때문에 고형물에 의해 늘어난 기공이 막히는 문제가 발생한다. 기공의 막힘 문제는 크게 두 가지 이유로 설명되는데 복원력이 낮은 EPDM의 재질을 사용한 것과 너무 큰 air flux rate(멤브레인 면적 대비 공기통기량) 때문이다. 기존 산기관의 air flux rate 값은 $30 \text{ Nm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 로 이 수치는 기공을 통해 공급되는 공기량이 매우 많아 기공이 최대한 늘어나야 되고 장시간 공기를 공급하면 원상태로 복원되기 어렵게 된다.¹⁻⁶⁾

† Corresponding author E-mail: kjkim@konyang.ac.kr Tel: 041-730-5683 Fax: 041-730-5765

Table 1. Comparison table of aeration panel and various commercialized diffuser^{7,8)}

Diffuser	Mass Transfer Coefficient (hr ⁻¹)	SOTE (%)	SAE (kg/kwh)
Aeration panel	>20	>44	>4.0
Acoustic resonance diffuser	<20	<16	<2.2
Ball type diffuser	<15	<7-9.5	<1.5
Disk type membrane diffuser	<15	<18-24	<1.5
Mechanical aeration	<10	<10	<1.0

현재 국내에서 사용되고 있는 산기관의 표준산소전달 효율을 비롯한 성능을 Table 1에 나타내었다. 대부분의 산기관의 산소전달효율은 10~25% 이내이며 경제성의 기준이라 할 수 있는 표준폭기효율도 기존 대부분 산기관의 경우 2 kg/kwh 이하의 성능을 갖고 있다. 또한 D사에서 음향공진 산기관을 개발하여 상품화하고 있고 이는 폐수중 공기방울에 음향에너지를 공급하여 다량의 미세기포를 형성하는 방법으로 표준산소전달효율이 기존 산기관보다 30%, 표준폭기효율이 20~30% 향상되었다고 보고하고 있으나 실제 현장 적용시 산소전달 효율 및 기공 막힘현상 측면에서는 개선되었으나 교반효과가 떨어지고 동력소모가 큰 것으로 평가되고 있다.^{7,8)}

최근에 이러한 EPDM의 단점을 보완하기 위하여 즉 폭기시에는 멤브레인이 부풀어 오르며, 멤브레인 구멍이 팽창하여 그 구멍으로 공기가 공급되고 폭기가 중단되면 부풀었던 멤브레인이 원상태로 되고 구멍이 닫히므로 고형물에 의한 막힘 현상을 방지할 수 있는 복원력이 우수한 폴리우레탄 고무를 멤브레인으로 활용하려는 연구가 진행되고 있다.⁹⁾

또한 기존 멤브레인형 산기장치는 폭기조 바닥 면적대비 멤브레인 면적을 나타내는 bottom coverage가 5~7%인데 반해 판형 멤브레인 산기관은 5~10배가 높은 30~65%이다. 따라서 높은 bottom coverage에 의하여 균일하게 산소를 공급하여 dead space에 의한 부분적인 혐기화를 방지하고 이에 따라 산소전달 효율도 최대화를 이룰 수 있다.

선진국에서는 판형 폴리우레탄 멤브레인 산기장치가 낮은 air flux rate, 1 mm 이하의 미세기포에 의해 산소전달 효율을 증대시켜 1,500~2,500 mg/L의 저농도 MLSS를 10,000 mg/L까지 유지할 수 있고 또한 기존 멤브레인 시스템에 비해 송풍기 동력량을 50% 이상 감소시킬 수 있다고 알려져 있고 상용화되고 있다.¹⁰⁾

따라서 본 연구에서는 기존 멤브레인 산기장치의 단점인 고형물 막힘 현상 및 낮은 bottom coverage를 제거하기 위하여 폴리우레탄 고무로 된 판형 멤브레인 모듈을 제작하여 표준산소전달 효율(%) 및 표준폭기효율(kg/kwh)을 측정하고 기존 산기장치와 그 값을 비교하여 에너지 절감형 산기장치로서의 가능성을 검토하였다.

Table 2. PU characteristics of domestic J. com

Item	Characteristics
Trade name	J5
color	white
specific gravity (-)	1.22
hardness (A)	90
moisture vapor transmission rate (g/m ² /day)	9,000
tensile strength (kgf/cm ²)	510
tensile modulus (%)	500
tearing strength (kgf/cm)	85
melting point (°C)	182

2. 실험장치 및 방법

2.1. 멤브레인 고무 시트의 선정

Table 2와 같은 특성을 갖는 인장강도 400 kgf/cm² 이상인 시트를 선택하여 축산폐수에 1개월 이상 접촉시켜 판형 멤브레인 산기장치의 적용에 적합한 폴리우레탄 시트를 선정하였다.

2.2. 폴리우레탄 시트 천공방법

2.2.1. 수동식 타공기 제작

수동식 타공기는 폭 150 mm, 길이 300 mm로 제작하였으며 needle의 배열은 Fig. 1과 같다. Fig. 2에는 수동식 타공기 화보를, Fig. 3에는 타공된 폴리우레탄 화보를 나타내었다. Fig. 3에서 보듯 기공의 크기가 100 µm 정도였다.

2.3. 실험실 및 파일럿 장치 제작 및 테스트

2.3.1. 실험실 규모의 판형 산기장치 제작 및 테스트

Fig. 4와 같이 실험실 규모의 산기장치는 폭 200 mm, 길이 300 mm의 크기로 제작되었고, 공기주입구는 32 A로 하였다. 폴리우레탄은 국내 J사의 제품을 사용하였고 수동식 타공기를 이용하여 기공크기를 ϕ100 µm로 제작하였다.

Fig. 1. Interval and arrangement of membrane pore.

Fig. 2. Manual needle punch.

Fig. 3. PU sheet punched by needle.

Fig. 4. Photograph of lab scale aeration panel.

폭기 실험장치는 Fig. 5와 같이 브로워, 수조, 산기장치, by-pass valve, flow control valve, flowmeter로 구성된다. 제작된 산기장치에 브로워를 연결하고 청수가 담긴 500 L의 수조에 설치하여 폭기 실험을 하였고, 최대 통기량 200 L/min인 브로워로 공기를 공급하였다. 공기배관에는 flow meter와 valve, by-pass line을 설치하여 공기유량을 조절하였고 본 실험에서는 5 L/min의 공기량을 주입하였다.

Fig. 5. Experimental diagram of aeration panel.

Fig. 6. Photograph of the bubble generation using aeration panel.

Fig. 6과 같이 발생된 기포의 크기는 $\phi 1\sim 3$ mm를 나타냈고, 공기 주입구의 부분에서는 공기유출이 상대적으로 원활하지 않았다. 이는 멤브레인이 부풀어 오르면서 기공이 열려 공기가 유출되고 기포가 발생하는데 공기 주입구 부분에는 멤브레인이 충분히 부풀지 않아 기포 발생량이 적어 기포가 균일하게 발생되지 않은 것으로 판단된다. 또한 유효 멤브레인의 면적당 공기량이 상대적으로 낮아 기포의 크기가 다소 크게 나타났다.

2.3.2. 파일럿 규모의 판형 산기장치 제작 및 테스트

실험실 규모에서 나타난 공기 유출이 균일하지 않은 문제를 해결하기 위해 Fig. 7과 같은 보다 큰 규모의 파일럿 규모의 산기장치를 제작하였다. 산기장치의 크기는 폭 550 mm, 길이 720 mm이고, 공기주입구는 32 A로 하였다. 폴리우레탄은 국내 J사의 제품을 사용하였고 파일럿 규모의 타공기를 이용하여 기공크기를 $\phi 100 \mu\text{m}$ 로 제작하였다.

폭기 실험장치는 실험실 규모의 장치와 동일하며 공기유량을 40 L/min로 조절하여 실험하였다. 발생된 기포는 Fig. 8과 같이 평균 $\phi 1$ mm로 미세하게 발생하였고, lab test에서 나타났던 공기가 한쪽 부분에서 많이 유출되었던 현상은 보이지 않고 균일하게 기포가 발생되었다.

브로워의 가동 및 중지를 반복적으로 운전하여 멤브레인의 상태를 관찰하였는데 공기의 주입시 멤브레인이 균일하

Fig. 7. Aeration panel of pilot scale.

Fig. 8. Photograph of the bubble generation using pilot scale aeration panel.

게 부풀어 오르고 공기의 중단시 멤브레인이 바닥면에 밀착되어 기공이 닫히는 것을 확인하였다.

2.4. 판형 산기장치 산소전달률 측정

산기장치의 산소전달률은 크게 청수의 표준산소전달효율과 폐수의 실제 산소전달효율로 나뉜다. 표준산소전달효율은 청수의 시간별 DO 농도를 측정하여 산정하고, 폐수의 실제 산소전달효율은 배가스 중의 산소농도를 측정하여 산정한다.

2.4.1. 표준산소전달효율 및 표준폭기효율 측정 방법

표준산소전달효율 및 표준폭기효율 측정은 ASCE (American Society of Civil Engineers)의 “Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water” 방법으로 하였고, 우선 수조에 청수를 채운 다음 수온을 측정하고, 수조에 질소가스를 투입하여 DO를 0~2 mg/L로 하고, 초기 산소농도를 DO meter로 측정한다. 설계기준에 맞는 공기유량으로 폭기시킨 후, 일정 간격으로 산소농도를 측정하여 농도 구배에 따른 표준산소전달효율 및 표준폭기효율을 계산한다.

표준산소전달효율 및 표준폭기효율은 비선형 분석법으로 DO 포화농도와 산소전달 계수를 계산하여 구한다.¹¹⁾

2.4.2. 축산폐수의 실제 산소전달률 측정 방법 및 실험 장치

축산폐수처리장의 폭기조는 유기물의 농도가 높아 미생물의 반응열 때문에 30℃ 이상 유지되며, 여름철에는 40℃까지 수온이 유지된다. 수온이 높을수록 산소 용존율이 낮아져 호기성 상태를 유지하기 어렵고 오염물질이 원활히 제거되지 않아 유지관리하기가 어려운 문제가 있다. 이로 인하여 처리현장에서는 40℃에서의 실제 산소 용존율이 중요하고 이에 따라 고농도 축산폐수 40℃의 실제 산소전달률을 측정하는 것이 필요하다.

폐수의 산소전달률은 ASCE (American Society of Civil Engineers)의 “Standard Guidelines for In-Process Oxygen Transfer Testing” 방법에 따라 측정하였고,¹²⁾ Fig. 9 및 10에 나타난 바와 같이 밀폐형 수조에 우선 질소가스를 투입하여 DO를 약 0~2 mg/L로 하고, 초기 산소농도를 DO meter로 측정한다. 설계기준에 맞는 공기유량으로 폭기시킨 후, DO의 농도변화가 없이 일정할 때 배가스 중의 O₂와 CO₂ 수분을 측정하여 실제 산소전달효율을 계산한다. 배가스의 성분은 공신력을 확보하기 위하여 표준과학원에 의뢰하여 분석하였다.

실제산소전달효율은 유입된 공기 중 산소량 중에 폐수에 용존된 산소량의 백분율로 나타낼 수 있다.

Fig. 9. OTE experimental apparatus of 4 m³ scale.

Fig. 10. Mass balance of gas phase.

3. 실험결과

3.1. 표준산소전달효율 및 표준폭기효율 실험 결과

3.1.1. 실험실 테스트

폭 550 mm, 길이 720 mm의 Pilot scale 산기장치를 이용하여 측정하였다. W 750 mm × L 1,000 mm × H 650 mm인 수조에 청수를 450 L 채우고 질소로 퍼지시켜 초기 DO 농도를 0.7 mg/L로 맞추고, 공기량을 40 L/min 주입하여 30초 간격으로 DO 농도(Ci)를 10분간 측정하였다. 수온은 20℃ 이었고, 이때의 DO 포화농도 (Cs)는 9.09 mg/L이다. Table 3에 시간별 Ci, Cs-Ci, ln (Cs-Ci)를 측정, 계산하여 나타내었다.

Fig. 11에서와 같이 8분 이후의 ln (Cs-Ci) 값이 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 통기량에 비하여 물의 양이 적어 DO 포화치에 근접하였기 때문이며, 표준산소전달효율의 계산에 이용된 값은 0분에서 8분까지의 값을 이용하였다. 추세선의 기울기로부터 산소전달계수인 K_{La} 값을 구하며, 이때의 기울기는 0.2724, $K_{La(T)}$ 값은 16.34 hr⁻¹, $K_{La(15)}$ 값은 18.40 hr⁻¹, 표준산소전달효율은 11.6%이다.

Table 3. Ci, Cs-Ci, ln (Cs-Ci) value according to time in 20℃, clean water 450 L, air injection rate 40 L/min

Time (min)	Ci (mg/L)	Cs-Ci	ln (Cs-Ci)
0,0	0,70	8,39	2,13
1,0	2,69	6,40	1,86
2,0	3,92	5,17	1,64
3,0	5,08	4,01	1,39
4,0	6,03	3,06	1,12
5,0	6,77	2,32	0,84
6,0	7,31	1,78	0,58
7,0	7,79	1,30	0,26
8,0	8,18	0,91	-0,09
9,0	8,52	0,57	-0,56
10,0	8,82	0,27	-1,31

* Ci : DO 농도, Cs : 수온 t℃에서의 DO 포화농도

Fig. 11. ln (Ci-Cs) value according to time in clean water 450 L, water depth 0.6 m, air injection rate 40 L/min.

일반적으로 처리장의 폭기조 수위는 4~5 m 정도이다. 수위가 깊을수록 산소방울의 체류시간이 커서 산소용존율이 높다. 본 실험 장치는 수위가 600 mm로 처리장의 수위에 비하여 현저히 낮아 표준산소전달효율이 11.6%로 낮게 나타난 것이라 판단되고, Eckenfelder식 (1)을 보면 K_{La} 값은 $H^{(1-n)}$ 에 비례하므로 표준산소전달효율도 $H^{(1-n)}$ 에 비례한다는 것을 이용하여 수심 4.5 m로 보정하면 다음과 같다. 여기서 (1-n)은 0.77이다.

$$\begin{aligned} SOTE_{(4.5\text{ m})} &= SOTE_{(0.6\text{ m})} \times \left(\frac{H_{4.5}}{H_{0.6}} \right)^{0.77} \\ &= 11.6\% \times \left(\frac{4.5}{0.6} \right)^{0.77} = 54.7\% \end{aligned} \quad (1)$$

수심 4.5 m로 보정한 표준산소전달효율은 54.7%이다.

본 실험에 사용된 브로워는 최대 통기량이 200 L/min이고 이때의 동력이 250 W이다. 산소전달률 테스트에 공기량을 40 L/min 주입하였고, 성능곡선표에 따라 이때의 동력은 50 W이다. 이를 이용하여 표준폭기효율을 계산하면 1.67 kg/kwh이다. 이 값도 4.5 m의 수위로 보정하면 7.88 kg/kwh이다.

표준산소전달효율과 표준폭기효율이 높은 결과를 보였는데 이 경우 산기장치의 크기에 비하여 수조가 작아 짧은 시간 내에 포화상태에 도달하였기 때문이라 추정된다.

3.1.2. 파일럿 테스트

실규모의 산소전달률에 가까운 실험을 하기 위하여 수조의 크기를 Fig. 12와 같이 폭 1 m, 길이 1.1 m, 수위가 1.9 m인 2.09 m³ 용량으로 크게 제작하여 표준산소전달효율을 측정하였다.

Fig. 12. SOTE experimental apparatus of 2 m³ scale.

Table 4. Ci, Cs-Ci, ln (Cs-Ci) value according to time in 19℃, clean water 2,000 L, air injection rate 30 L/min

Time (min)	Ci (mg/L)	Cs-Ci	ln (Cs-Ci)
0.0	1.10	8.18	2.10
1.0	1.35	7.93	2.07
2.0	1.96	7.32	1.99
3.0	2.60	6.68	1.90
4.0	3.14	6.14	1.81
5.0	3.70	5.58	1.72
6.0	4.03	5.25	1.66
7.0	4.63	4.65	1.54
8.0	5.05	4.23	1.44
9.0	5.43	3.85	1.35
10.0	5.79	3.49	1.25

* Ci : DO 농도, Cs : 수온 t℃에서의 DO 포화농도

Fig. 13. ln (Cs-Ci) value according to time in clean water 2 m³, water depth 1.9 m, air injection rate 30 L/min.

Fig. 13을 보면 450 L의 실험결과와는 달리 완만한 직선을 나타냈고, 이는 청수의 부피가 실험실 테스트에 비해 4.4배 많아 포화농도까지 도달하지 않았기 때문이다. 실험결과 추세선의 기울기는 0.088이고, 산소전달계수인 $K_{La(19)}$ 값은 5.28 hr⁻¹, $K_{La(15)}$ 값은 5.81 hr⁻¹, 표준산소전달효율은 21.7%이다.

Eckenfelder 식을 이용하여 수심 4.5 m로 보정하면 표준 산소전달효율은 4.5 m의 경우 42.1%이다.

30 L/min일 때의 동력은 37.5 W이고 이를 이용하여 표준폭기효율을 계산하면 3.3 kg/kwh이고 이를 수심 4.5 m로 보정하면 6.41 kg/kwh이다.

표준산소전달효율은 42.1%는 목표치인 44%에 조금 못 미치는 값이나 표준폭기효율이 목표치인 4.0 kg/kwh에 비하여 월등히 높게 나왔고, 또한 기존 산기관의 효율이 10~20%인 수준을 감안하면 2~3배의 높은 효율을 나타냄을 알 수 있다.

3.2. 축산폐수의 실제 산소전달효율 실험 결과

폭 1.0 m, 길이 1.1 m, 높이 4.0 m의 수조에 축산폐수를 4.4 m³ 채우고, 공기를 40 L/min 주입시켜 실험하였다. 이때의 대기온도는 6℃, 상대습도는 63%이었고, 폐수 온도는

Table 5. Analysis variables and values for the real OTE calculation of livestock waste water

Variables	Value
C (mg/L)	2.30
Cs ₄₀ (mg/L)	6.41
C _{sat,t} (mg/L)	8.5
Cs (mg/L)	7.56
TDS (mg/L)	6,570
Y _i , O ₂ - in (%)	20.95
Y _e , O ₂ - out (%)	16.927
Y _{cdi} , CO ₂ - in (%)	0.037
Y _{cde} , CO ₂ - out (%)	1.875
Y _{wi} , H ₂ O - in (%)	0.58
Y _{we} , H ₂ O - out (%)	0.00

30℃, 이때의 DO 포화농도는 7.56 mg/L이다. Table 5에 축산폐수 실제산소전달효율 계산을 위한 변수값을 나타내었다.

우선 MRi는 0.267, MRe는 0.208이고 실제산소전달효율은 21.94%이다. 실제산소전달효율은 측정당시의 산소전달률이므로 이를 표준화한 실제산소전달효율은 31.3%이다. 수심 4.5 m로 보정하면 40℃, 수심 4.5 m에서의 고농도 축산폐수 실제산소전달효율은 34.3%이다.

4. 결론

1) 국내 J사의 인장강도 400 kg/cm² 이상, 두께가 0.5 mm의 폴리 우레탄 시트를 확보하고 고무 시트의 천공에 가장 널리 이용되는 방식인 needle을 이용한 천공방법을 택하여 수동식 타공기를 제작하여 시트를 천공하였고 기공의 크기가 100 μm 정도로 산기장치의 멤브레인에 적합한 기공의 크기로 천공되었다. 폭 550 mm, 길이 720 mm의 Pilot scale 산기장치를 제작하였다.

2) W 750 mm × L 1,000 mm × H 650 mm 실험실적 수조에서 실험한 결과 표준산소전달효율은 54.7%, 표준 폭기효율은 7.88 kg/kwh의 높은 값을 나타내었다.

3) 폭 1 m, 길이 1.1 m 수위가 1.9 m (V: 2.09 m³) 실규모 수조에 준하는 실험에서는 표준산소전달효율은 42.1%, 표준 폭기효율은 6.41 kg/kwh의 값을 얻었다.

4) 폭 1.0 m, 길이 1.1 m, 높이 4.0 m의 수조를 이용하여 축산폐수에서 측정한 결과 실제산소전달효율은 기존 산기장치에 비해 34.3%의 높은 수치를 나타내 에너지 저감형 산기장치로서 최근 하, 폐수처리장의 에너지 자립화사업에 상용화가 가능한 것으로 판단된다.

KSEE

사 사

본 연구는 환경부 하·폐수 고도처리기술개발사업단의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Changqing, L., Shuai. L. and Feng, Z., "The Oxygen Transfer Efficiency and Economic Cost Analysis of Aeration System in Municipal Waste Water Treatment Plant," *Energy Proc.*, **5**, 2437(2011).
2. An, K., Diego, R., Shao, Y. L. and Michael, M. S., "Fine-Pore Aeration Diffusers: Accelerated Membrane Ageing Studies," *Water Res.*, **42**, 467(2008).
3. Antti H., Pertti O. and Juhani A., "Measurement of local bubble size distributions from various flexible membrane diffusers," *Chem. Eng. Proc.*, **45**, 291(2006).
4. Martin, J., Steve, G., Cindy, W. L. and Annelie, B., "Energy Saving in Activated Sludge Plants by the Use of More Efficient Fine Bubble Diffusers," *Water Environ. J.*, **24**, 58(2010).
5. Diego, R., Judy, A. L., Wolfgang, W. and Michael, K. S., "Membrane Properties Change in Fine-Pore Aeration Diffusers: Full-Scale Variations of Transfer Efficiency and Head-loss," *Water Res.*, **42**, 2640(2008).
6. 한영립, 최영익, 윤태경, 이강춘, 정병길, "마이크로-나노버블 및 일반버블 산기장치 시스템의 산소전달효율 비교연구," *한국수처리학회지*, **19**(5), 11(2011).
7. 임동렬, 조남효, "음향공진 산기관의 설계인자 특성," *대한환경공학회지*, **26**(4), 446(2004).
8. 최상용, 고광백, 박승룡, 신동록, 임세호, "하수처리장 폭기조내 산기관 종류에 따른 산소전달 효율," *한국물환경학회 및 대한상하수도학회 공동춘계학술발표회*, D-14(2004).
9. An K, Diego. R., Shao Y. L. and Michael K. S., "Fine-pore aeration diffusers: Accelerated membrane ageing studies," *Water Res.*, **42**, 467(2008).
10. US patent, WO 2007/051150 A3, "Flexible aeration panel and methods of use," Parkson Corporation(2007).
11. "Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water," ANCI/ASCE, 2~91.
12. "Standard Guidelines for In-Process Oxygen Transfer Testing," ASCE, 18~9.