

순산소의 MBR(Membrane Bio Reactor) 공정 적용을 통한 음식물류 폐기물 혐기성소화 유출수 처리 평가

박세용^{a†}, 김문일^b, 박성혁^c

Evaluation of pure oxygen with MBR(Membrane Bio Reactor) process
for anaerobic digester effluent treatment from food waste

Seyong Park^{a†}, Moonil Kim^b, Seonghyuk Park^c

(Received: Aug. 12, 2021 / Revised: Aug. 30, 2021 / Accepted: Sep. 2, 2021)

ABSTRACT: In this study, the applicability of the MBR(Membrane Bio Reactor) process of oxygen dissolve was evaluated through comparison and evaluation of the efficiency of oxygen dissolve device and conventional aeration device in the explosive tank within the MBR process. The organic matter and ammonia oxidation by oxygen dissolve device were evaluated, and the efficiency of persaturation was evaluated by applying real waste water (anaerobic digester effluent treatment from food waste). SCOD and ammonia removal rates for oxygen dissolve device and conventional aeration device methods were similar. However, it was determined that the excess sludge treatment cost could be reduced as the yield of microorganisms by oxygen dissolve device is about 0.03 g MLSS-produced/g SCOD-removed lower than that of microorganisms by conventional aeration device. The removal rates of high concentrations of organic matter (4,000 mg/L) and ammonia (1,400 mg/L) in anaerobic digester effluent treatment from food waste were compared to the conventional aeration device and the oxygen dissolve device organic matter removal rate was approximately 13% higher than that of the conventional aeration device. In addition, for MLSS, the conventional aeration device was 0.3 times higher than for oxygen dissolve device. This is believed to be due to the high progress of sludge autooxidation because the dissolved oxygen is sufficiently maintained and supplied in the explosive tank for oxygen dissolve device. Therefore, it was determined that the use of oxygen dissolve device will be more economical than conventional aeration device as a way to treat wastewater containing high concentrations of organic matter.

Keywords: MBR(Membrane Bio Reactor), Oxygen dissolve device, Conventional aeration device, COD(Chemical oxygen demand), Ammonia, MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid)

초 록: 본 연구에서는 MBR 공정 내 폭기조에서 순산소 용해와 일반 공기 폭기의 효율에 대한 비교·평가를 통해 순산소의 MBR 공정 적용성에 대해 평가 하였다. 순산소 장치에 의한 유기물 및 암모니아 산화 여부에 대해 평가 하였으며, 실패수(음식물류 폐기물의 혐기성소화 유출수) 적용 과포화산소용해 효율 평가를 진행하였다. 순산소용해와 일반공기폭기 방법의 SCOD, 암모니아 제거율과 속도는 비슷하였다. 하지만, 순산소 용해에 의한 미생물 수율이 일반공기 폭기법에 의한 미생물 수율보다 약 0.03 g MLSS-produced/g SCOD-removed 낮아 잉여슬러지 처리 비용이 감소될 수

^a 고등기술연구원 바이오자원순환센터 선임연구원(Senior researcher, Bioresource Center, Institute for Advanced Engineering)

^b 한양대학교 건설환경공학과 교수(Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Hanyang University)

^c 동아대학교 ICT융합해양스마트시티공학과 교수(Professor, Department of ICT Integrated Safe Ocean Smart Cities Engineering, Dong-A University)

† Corresponding author(e-mail: seyong0828@naver.com)

있을 것이라 판단된다. 음식물류 폐기물의 혐기성 소화 유출수의 고농도 유기물 (4,000 mg/L) 및 암모니아 (1,400 mg/L)의 제거율을 순산소용해와 일반공기폭기법을 비교한 결과, 순산소 용해기가 일반공기폭기법에 비해 유기물 제거율이 약 13% 가량 더 높게 평가되었다. 또한, MLSS의 경우 일반공기폭기법이 순산소장치에 비해 0.3배가량 높았다. 이는, 순산소장치의 경우 폭기조 내에 용존산소가 충분히 유지, 공급되기 때문에 슬러지 자산화가 고도로 진행된 결과로 판단되었다. 따라서, 고농도 유기물을 함유한 폐수 처리를 위한 방법으로는 기존에 많이 사용되었던 일반공기폭기법보다 순산소장치를 활용하는 것이 경제적인 면에서 더 유리할 것으로 판단되었다.

주제어: MBR (Membrane Bio Reactor), 순산소 용해, 일반공기폭기, COD(Chemical oxygen demand), 암모니아, MLSS(Mixed Liquid Suspended Solid)

1. 서론

생물학적 처리기술은 미생물을 이용하여 오염물질을 환경에 무해한 원소들로 바꾸기 때문에 2차 오염의 우려가 없는 장점을 가지고 있다. 따라서, 처리 효율을 높이기 위해서는 미생물의 농도를 높게 유지하는 것이 필요하다¹⁾. 그러나 공기포기에 의한 기존의 처리 방법으로는 유기물 부하가 높은 유입수가 반응조에 유입될 때 미생물의 호흡에 필요한 산소를 공급하는데 문제가 발생하여 이를 보완하고자 순산소 포기에 의한 생물학적 처리방법이 개발되기 시작하였다^{2,3)}. 그러나 순산소를 이용하는 생물학적 처리기술의 초기에는 공기로부터 산소를 분리 하는데 따른 제조비용이 높아 폐수처리장에 순산소가 이용되지 못하였으나 산소의 제조비용을 낮추는 새로운 산소발생장치의 개발로 폐수처리장에 순산소를 이용하기 위한 공정개발이 활기를 띠게 되었다⁴⁾. 순산소 공정이 실제 폐수처리장에 본격적으로 사용되기 시작한 것은 미국의 Union Carbide사에서 개발한 최초의 순산소 공정인 UNOX process가 1910년 미국 디트로이트의 하수처리장에 적용하여 만족할만한 결과를 얻으면서부터였다⁵⁾. 이후 최근까지 UNOX 공법은 일본에서만 80여개가 설치되었고 전세계적으로는 360여개가 건설되었다⁶⁾. 또한 가정하수처리 외에도 제지, 맥주, 염색공단 등에서 나오는 산업폐수에 대해서도 성능 및 효율면에서 우수한 평가를 받고 있다^{5,6)}. 이와 같이 60년대 말부터 본격적인 연구가 진행된 순산소공정은 가정하수나 산업폐수의 처리에 적용되었으며 기존의 활성슬러지법과 비교할 때 몇 가지 특징을 나타내고 있다⁷⁾. 우선 공기대신 순산소를 이용한다는 물리적인 특징 외에도

포기장치의 산소전달율을 증가시켜 반응조내 미생물 농도를 높일 수 있다는 점을 들 수 있다⁸⁾. 이로 인해 포기조의 용량을 크게 감소시킬 수 있는데 우리나라와 같이 심각한 부지난을 겪고 있는 실정에선 중요한 장점으로 작용한다.

순산소를 이용하여 생물학적으로 유기물을 처리할 때 활성오니의 설계 농도는 보통 4,000 ppm 이상으로 유지하는데, 이는 공기를 이용하는 보통 활성오니의 약 2배이다. 이와 같이 활성오니 농도를 높게 유지할 수 있는 것은 순산소 활성오니공정이 산소전달능력과 미생물의 침강성이 높기 때문에 가능하다⁹⁾. 이같이 높은 산소농도 조건에서 폐수 처리 시 다른 공정에 비해 수리학적 체류시간이 1/2 이하로 감소되어 포기조 부피의 감소와 시설 투자비 절감이 가능하다¹⁰⁾. 이러한 특징들을 종합하여 살펴보면, 순산소 공정 운전은 다음과 같은 장점을 가지고 있다. 첫째로 공기 포기법에 비해 포기조내의 미생물 농도를 증가시킬 수 있기 때문에 포기조의 용적을 줄일 수 있어 폐수처리장의 부지면적을 감소시킬 수 있다¹⁰⁻¹¹⁾. 둘째로 포기장치의 산소공급 속도가 빠르기 때문에 유입수의 유기물 부하 변동이 심한 경우에도 산소전달의 한계 없이 안정한 처리효율을 얻을 수 있다¹²⁾. 셋째로는 슬러지의 응집 및 침전성이 우수하여 침전조의 운영이 용이하며, 넷째로 잉여슬러지의 발생량이 공기포기하는 경우보다 10-20% 정도 감소하여 슬러지 처분에 소요되는 2차비용을 절감할 수 있다는 점이다¹³⁾. 마지막으로 포기조에서 대기 중으로 배기되는 공기량이 공기 포기법의 1%정도밖에 되지 않아 악취가 많이 발생하는 폐수나 휘발성 유기물이 많이 함유된 폐수처리 경우 배기가스를 훨씬 감소시킬 수 있다¹⁴⁾.

그러나 산소의 이용률을 높이기 위해서 대부분의 공정들이 밀폐식으로 운전되는 순산소 공정은 포기조 상부의 기상에 유기물의 산화과정 시 발생하는 이산화탄소가 대기 중으로 쉽게 방출되지 못하고 포기조내로 다시 용해됨으로써 pH를 저하시키게 되어 pH에 큰 영향을 받는 질산화 미생물의 반응을 억제시킬 수 있다¹⁵⁾. 따라서 질산화가 요구되는 폐수에 대해서는 반응조내의 pH가 중성이하로 떨어지지 않도록 알칼리도를 적절하게 공급해 주어야 한다는 단점도 있다. 따라서 생물학적 처리 방법에 있어서 순산소의 장점을 최대한 이용하고 단점을 보완할 수 있는 경제적이고 효율적인 기술개발이 필요하다. 이에 본 연구에서는 MBR 공정 내 포기조에서 순산소 용해와 일반 공기 폭기의 효율에 대한 비교·평가를 통해 순산소의 MBR 공정 적용성에 대해 평가 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 장치 및 재료

2.1.1. 순산소에 의한 유기물과 암모니아의 산화 여부 확인 (Batch test)

미생물 주입 유무에 따른 유기물 및 암모니아 제거율을 평가하기 위해 과포화산소용해장치 및 공기폭기 장치를 이용하여 비교하였다. Fig. 1은 case 별 반응조 형태 그림이며, Table 1은 case 별 운전조건, Table 2는 합성폐수 조성을 나타낸 것이다. 생물학적 폐수 처리를 위한 미생물은 A시 하수처리장 생활하수 폭기조에서 2018년 5월에 채취하였으며, 채취 후 증류수를 이용하여 MLSS 농도를 2,500 mg/L로 조절하여 사용하였다.

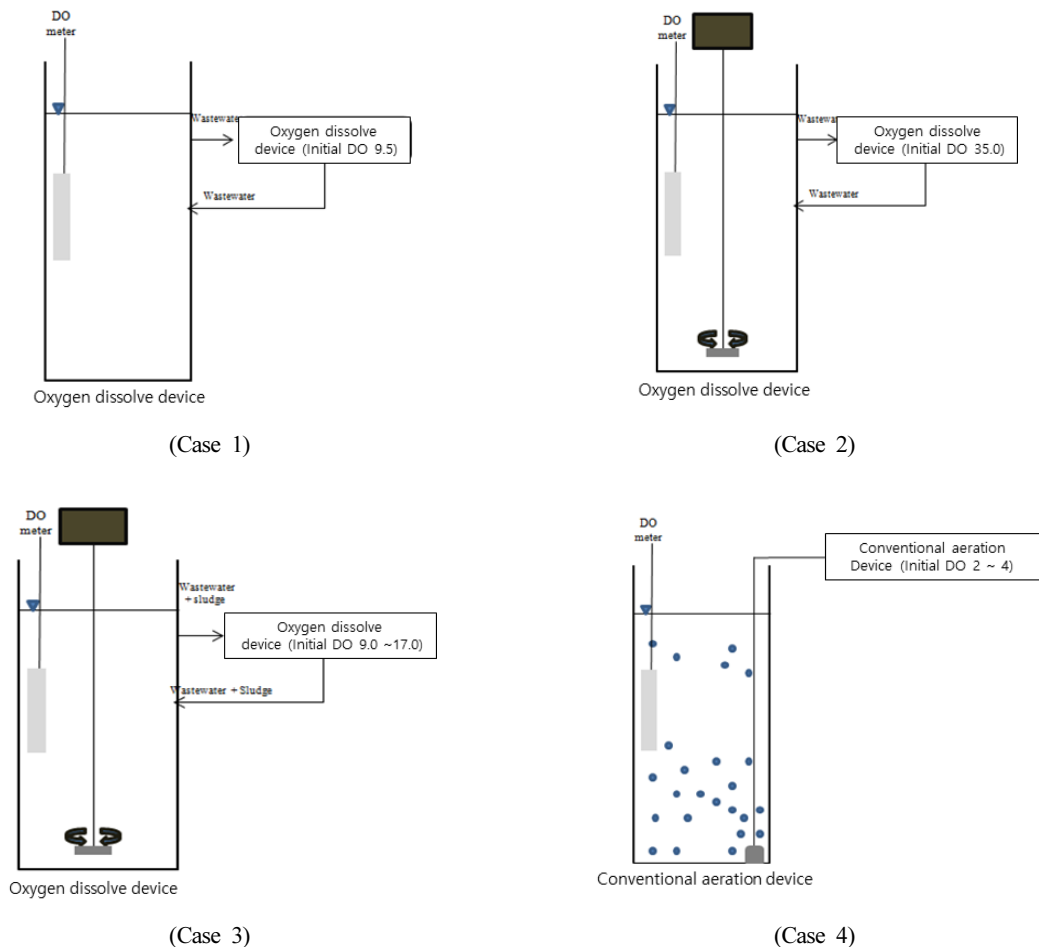


Fig. 1. Schematic diagram of lab-scale with each case (case 1, 2, 3: oxygen dissolve device, case 4: conventional aeration device).

Table 1. Operating Condition of Each Case (Case 1~3: Oxygen Dissolve Device, Case 4: Conventional Aeration Device)

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
DO	9.5	35.0	9.5~15.5	4.0~5.0
Temperature (°C)	25		28	
pH	7.5~7.7		7.1~7.3	7.1~7.2
COD concentration (mg COD/L)			2,000	
Microorganisms concentration	X		O (MLSS 2500 mg/L)	
agitation	X	O	X	O
Wastewater	Synthetic wastewater (Table 2)			
Operating time	5 day		360 min	

Table 2. Characteristics of Synthetic Wastewater

Chemicals	Injection of chemical amount (mg/L)	Concentration (mg/L)
Glucose	1,875 mg	2,000 mg COD/L
(NH ₄) ₂ SO ₄	297.2 mg	100 mg NH ₄ ⁺ /L
KH ₂ PO ₄	84.4 mg	20 mg T-P/L
MgSO ₄	20.0 mg	4.0 mg Mg/L
CaCl ₂	1,160 mg	420 mg Ca/L
FeSO ₄ · 7H ₂ O	16 mg	3.2 mg Fe/L
MnCl ₂ · 4H ₂ O	6.0 mg	1.6 mg Mn/L
NaHCO ₃	1,230 mg	-

2.1.2. 실패수 적용 과포화산소용해 효율 평가
음식물류 폐기물 혐기소화 유출수의 과포화산소 용해기와 일반공기폭기장치를 통한 유기물 및 암모니아 제거 효율 평가를 위해 Fig. 2와 같이 연속반응기를 구성하여 실험을 진행하였다. 연속반응 실험에서는 UF (Ultrafiltration) membrane을 사용하여 미생물과 폐수를 분리 하였다(Fig. 3). 사용한 membrane(제조사: 코오롱위터앤에너지)은 polysulfone 재질로 pore size는 0.01~0.04 μ m, OD/ID thickness 490/320 μ m, 인장강도는 30~33 g/fiber 였다.

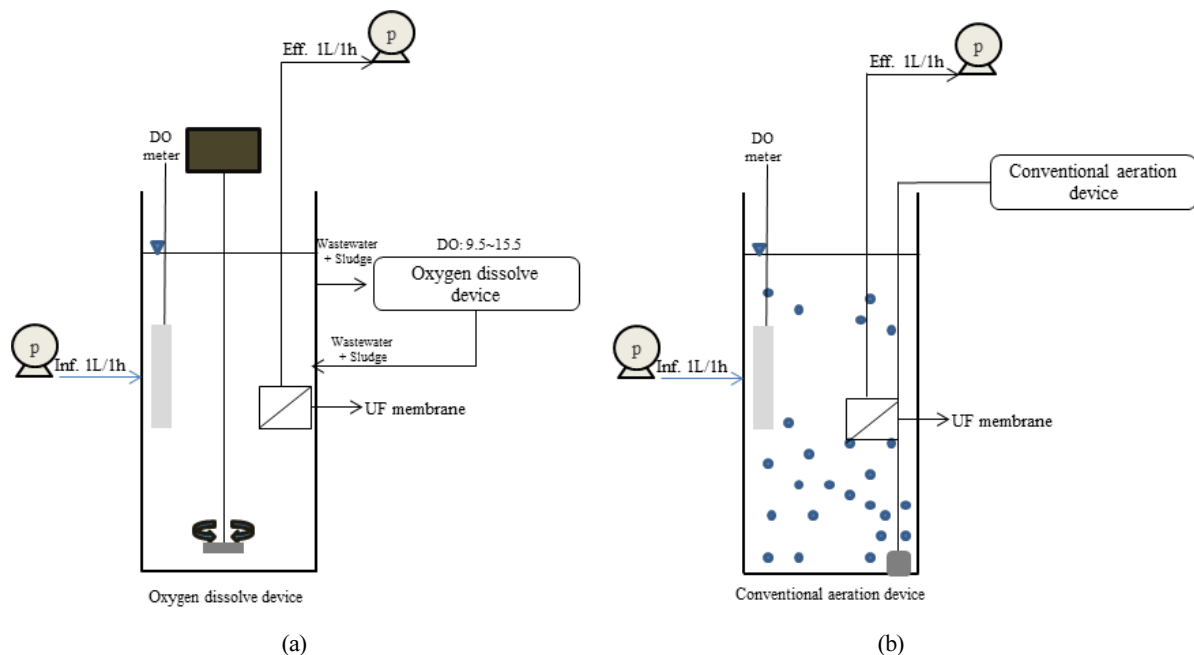


Fig. 2. Schematic diagram of continuous oxygen dissolve device and conventional aeration device (a: oxygen dissolve device, b: conventional aeration device, c: picture of lab-scale).



(c)

Fig. 2. Continued.



Fig. 3. UF (ultrafiltration) membrane module.

Table 3은 실험수 연속반응기 운전 조건을 나타낸 표이다. 과포화산소용해기의 DO는 9.5~15.5 사이를 유지하였으며, 일반공기폭기 장치의 DO는 MBR 공정 운전 시 제안되는 4~5를 유지하였다. 사용된 음식물류 폐기물의 혐기 소화 유출수 성상은 Tabel 4와 같다. 모든 분석은 Standard Methods에 준하여 CODcr, BOD, T-N, NH_4^+ , SS를 분석하였다.

Table 3. Operating Condition of Continuous Reactor with Real Wastewater

Item	Oxygen dissolve device	Conventional aeration device
Temperature (°C)	28	28
DO (mg/L)	9.5~15.5	4~5
Initial MLSS (mg/L)	2,400	
Wastewater	Anaerobic digester effluent for food waste	
Operating time (day)	8	
Working volume (L)	3	
HRT (hr)	3	

Table 4. Characteristics of Anaerobic Digester Effluent for Food Waste

Item	concentration
pH	7.9
TCOD (mg/L)	4,140
SCOD (mg/L)	1,440
BOD (mg/L)	120
T-N (mg/L)	1,600
NH ₄ ⁺ (mg/L)	1,175
SS (mg/L)	2,100

3. 결과 및 고찰

3.1. 과포화산소용해기 최적 조건 선정

Fig. 4 (Case 1)는 미생물을 주입하지 않았을 때 과포화산소용해기에 의해 제거 되는 용존성 유기물 및 암모니아 농도를 나타낸 그래프이다. 실험조건은 초기 DO 농도를 9.5 mg/L로 조절하여 실험하였고, 실험기간 총 5일 동안 DO는 9.0 mg/L 이상으로 유지되었다. 실험결과, 실험기간 5일 동안 용존성 유기물 및 암모니아가 과포화산소용해기에 의해 산화되어 제거되지 않았다. 이는 과포화산소용해기에 의해 고농도의 산소를 주입하였지만, 고농도 산소에 의해 유기물과 암모니아는 산화되어 제거되지 않음을 의미한다.

Fig. 5 (Case 2)는 과포화산소용해기에 의해 제거되는 용존성 유기물 및 암모니아 농도를 파악하기 위해 실험한 결과이다. Case 1과는 다르게 초기 DO 농도를 35.0 mg/L로 시작하였으며, 실험기간 5일 동안 DO 농도는 30 mg/L 이상을 유지 하였다. Case 1과 다르게 교반을 해 주었다. 실험결과, Case 1과 동일하게 실험기간 5일동안 유기물 및 암모니아의 제거는 없는 것으로 나타났다.

Fig. 4 (Case 1)와 Fig. 5 (Case 2)를 통해 미생물 주입 없이 과포화산소용해기에 의해 다양한 조건에서 용존성 유기물 및 암모니아가 제거될 수 있는지 확인한 결과 과포화산소용해기에 의해 제거되는 용존성 유기물 및 암모니아는 없었다. 미생물 주입을 통한 분시험결과를 보면 용존성 유기물과 암모니아는 과포화산소용해기의 영향은 없었으며, 전량 미생물에 의한 제거인 것으로 판단되었다.

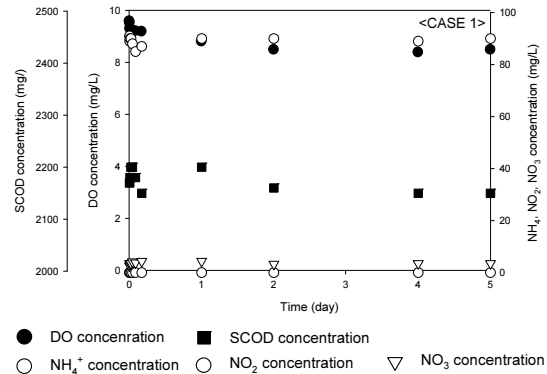


Fig. 4. Removal of ammonia and SCOD for oxygen dissolve device without microorganisms (case 1: initial DO 9.5, agitation X).

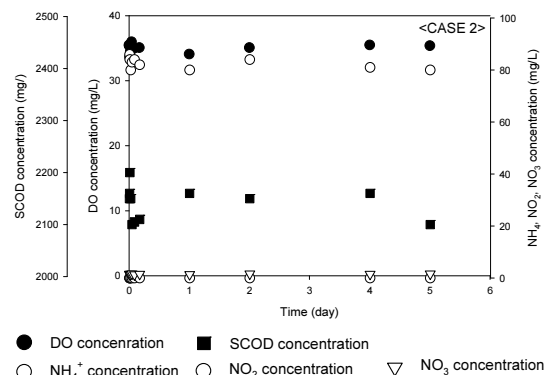


Fig. 5. Removal of ammonia and SCOD for oxygen dissolve device without microorganisms. (case 2: initial DO 35.0, agitation O).

Fig. 6 (Case 3)은 미생물을 주입하였을 때 과포화산소용해기를 이용하여 제거 되는 용존성 유기물 Fig. 6(a) 및 암모니아 농도 Fig. 6(b)와 MLSS 증가농도 Fig. 6(c)를 나타낸 그래프이다.

주입된 용존성 유기물 및 암모니아 농도는 각각 2,000, 100 mg/L 였으며, 용존성 유기물과 암모니아가 더 이상 제거 되지 않을 때까지 실험을 진행하였다. 실험결과 실험종료 후 (360 분) SCOD는 2,000 mg/L에서 250 mg/L로 감소되었으며, 이때의 제거율은 88% 였다. SCOD 제거 속도는 192.29 mg COD/min 이었다. 암모니아의 경우 실험 종료 후 99.9%의 제거율을 보였으며, 제거 속도는 13.05 mg NH₄⁺/min 이었다. 암모니아가 제거 될

경우 암모니아 제거 기작에 따라 NO₂나 NO₃가 축적되는 현상이 보여야 하지만, 본 연구에서는 축적되는 현상이 보이지 않았다. 이는 합성폐수를 제조 할 때 C:N:P 비율을 미생물이 섭취할 수 있는 최적의 비인 100:5:1로 제조하였기 때문에 제거되는 암모니아는 전량 미생물의 몸체를 구성하는데 소모된 것으로 판단되었다. MLSS와 MLVSS의 경우 실험 종료 후 초기에 비해

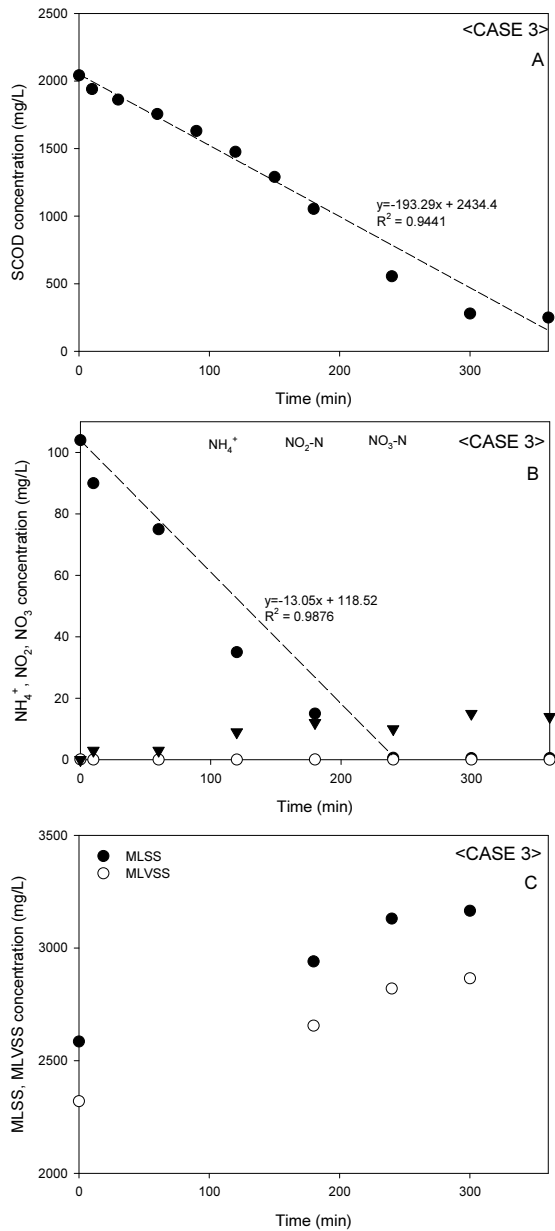


Fig. 6. Variation of ammonia and SCOD, MLSS and MLVSS for oxygen dissolve device with microorganisms (case 3) (A : SCOD, B : ammonia, C : MLSS).

각각 22, 23% 가량 증가하였다. 실험종료 후 미생물 yield 값은 0.32 g MLSS-produced/g SCOD-removed 로서 일반적으로 알려진 활성슬러지 yield 값인 0.6 g MLSS-produced/g SCOD-removed¹⁶⁾에 비해 약 1/1.8배로 낮은 수율을 보였다.

Fig. 7 (Case 4)은 미생물을 주입하였을 때 일반공기 폭기법에 의해 제거되는 용존성 유기물 Fig. 7(a) 및 암

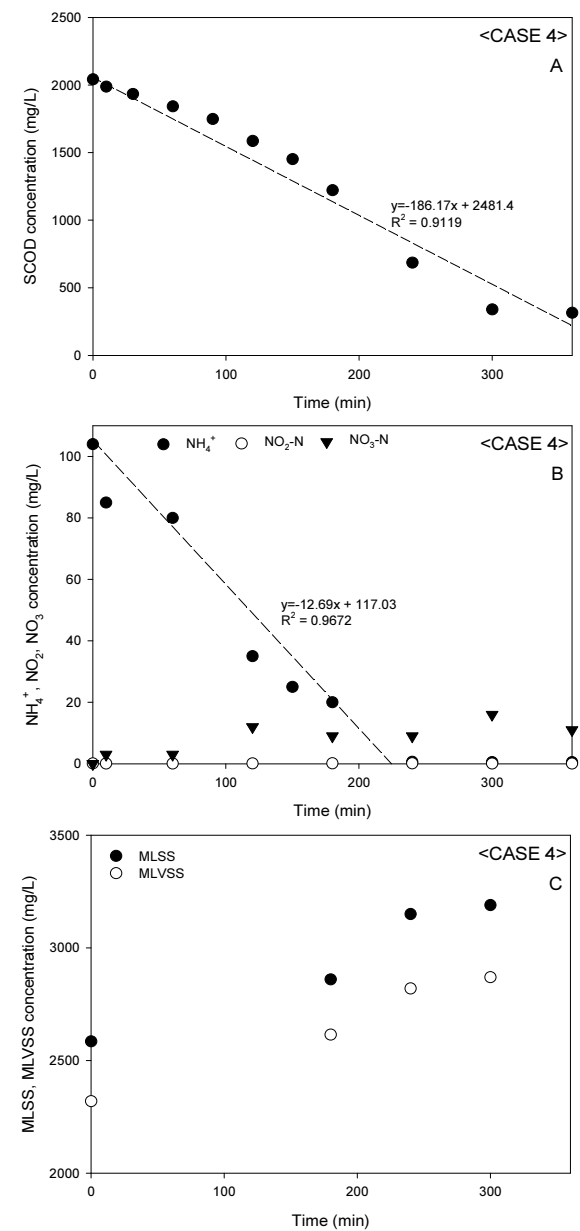


Fig. 7. Variation of ammonia and SCOD, MLSS and MLVSS for conventional aeration device with microorganisms (case 4) (A : SCOD, B : ammonia, C : MLSS).

모니아 Fig. 7(b) 농도와 MLSS Fig. 8(c) 증가농도를 나타낸 그래프이다.

과포화산소용해 장치(Case 3)와의 비교를 위해 DO 조건을 제외한 나머지 실험 조건은 동일하게 조절하여 실험하였다. 실험결과 실험종료 후 (360 분) SCOD는 2,000 mg/L에서 310 mg/L로 감소되었으며, 이때의 제거율은 85% 였다. SCOD 제거 속도는 186.17 mg COD/min 이었다. 암모니아의 경우 실험 종료 후 99.9%의 제거율을 보였으며, 제거 속도는 12.69 mg NH_4^+ /min 이었다. 암모니아가 제거 될 경우 암모니아 제거 기작에 따라 NO_2 나 NO_3 가 축적되는 현상이 보여야 하지만, 과포화산소용해기 장치의 실험결과와 같이 본 연구에서도 축적되는 현상이 보이지 않았으며, 과포화산소용해기 장치 결과에서 언급한 이유 때문에 축적되지 않았다고 판단된다.

MLSS와 MLVSS의 경우 실험 종료 후 초기에 비해 각각 23, 23% 가량 증가하였다. 실험종료 후 미생물 yield 값은 0.35 g MLSS-produced/g SCOD-removed 로서 일반적으로 알려진 활성슬러지 yield 값인 0.6 g MLSS-produced/g SCOD-removed에 비해 약 1/1.7배로 낮은 수율을 보였다.

Fig. 8은 과포화산소용해기 (Case 3)와 일반공기폭기법 (Case 4)의 용존성 유기물 및 암모니아 제거율을 비교한 결과이다. 그 결과 SCOD 제거율의 경우 과포화산소용해기가 일반공기폭기법에 비해 약 3% 가량 높았으며, 제거속도도 빨랐다. 암모니아 제거율의 경

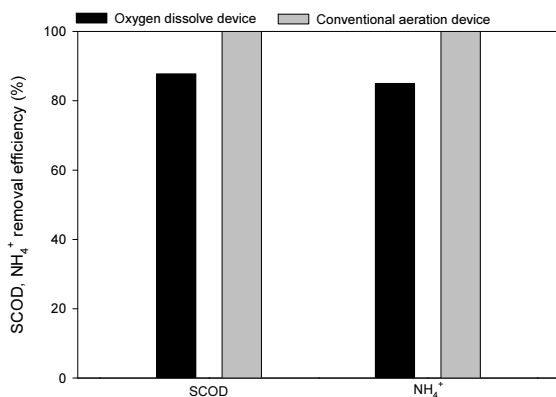


Fig. 8. Comparison of oxygen dissolve device and conventional aeration device for SCOD and ammonia removal (batch test).

우 과포화산소용해기와 일반 폭기법이 99.9%로 동일 하였지만, 제거 속도는 과포화산소용해기가 다소 빠른 것으로 평가되었다.

미생물 수율의 경우 과포화산소용해기가 0.32 g MLSS-produced/g SCOD-removed 이었으며, 일반공기폭기법이 0.35 g MLSS-produced/g SCOD-removed 로서 일반공기폭기법이 과포화산소용해기에 비해 1.1배 가량 높았다. 과포화산소용해기가 일반공기폭기법에 비해 미생물 수율이 낮은 이유는 과포화산소용해기의 경우 포기조내에 용존산소가 충분히 공급되고 유지되므로 슬러지의 자산화가 고도로 진행되기 때문으로 판단된다¹⁷⁾.

Case 3, Case 4 실험결과 과포화산소용해기와 일반공기폭기법의 SCOD, 암모니아의 제거율과 제거 속도는 비슷한 것으로 나타났으나, 과포화산소용해기가 일반공기폭기법에 비해 미생물 수율이 낮아 잉여슬러지 처리 비용이 감소될 수 있을 것이라 판단된다.

3.2. 과포화산소용해기 활용 음식물류 폐기물 혐기 소화 유출수의 유기물 및 암모니아 제거 효율 평가 (연속반응기 운전)

Fig. 9는 과포화산소용해기를 이용한 음식물류 폐기물의 혐기성 소화 유출수의 유기물 Fig. 9(a) 및 암모니아 제거율 Fig. 9(b) MLSS 증가 농도 Fig. 9(c)를 보여주는 그림이다.

실험결과 실험시작 후 4일 후부터 유기물 및 암모니아 제거율이 안정화 되었고, 이때의 유기물 및 암모니아 평균 제거율은 각각 47.8, 23.1% 였다. 합성폐수 실험결과에 비해 유기물 및 암모니아 제거율이 2배 이상 감소하였다. 이는 음식물류 폐기물의 혐기성 소화 유출수 성분분석에서도 알 수 있듯이 SCOD 중 BOD가 10% 이하로 존재하는 분해가 어려운 물질로 구성되어 있어 제거율이 감소하였다고 판단된다. 또한, 제거율이 안정화 되는 기간도 합성폐수를 사용하였을 때에 비해 약 2배 가량 더 길었다. MLSS 증가는 초기에 비해 2.9배 가량 증가하였으며, 증가속도는 654.24 mg/day 였다.

Fig. 10은 일반공기폭기법을 이용한 음식물류 폐기물의 혐기성 소화 유출수의 유기물 Fig. 10(a) 및 암모니아 제거율 Fig. 10(b), MLSS 증가 농도 Fig. 10(c)를 보여주는 그림이다. 과포화산소용해기와의 비교를 위해 DO 조건을 제외한 나머지 조건은 동일하게 조절

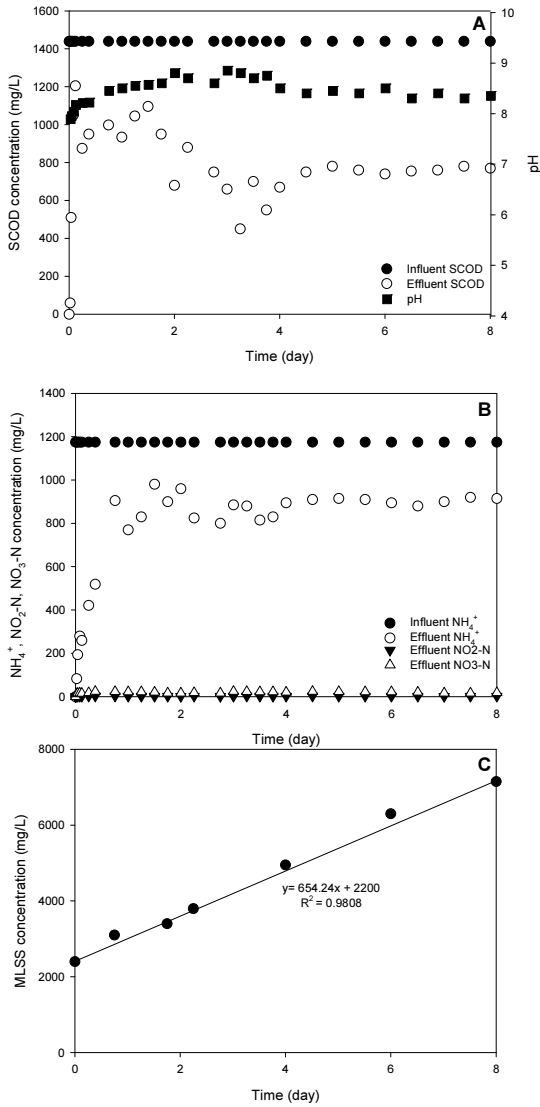


Fig. 9. Variation of ammonia and SCOD, MLSS and MLVSS for oxygen dissolve device using anaerobic digester effluent for food waste (A : SCOD, B : ammonia, C : MLSS).

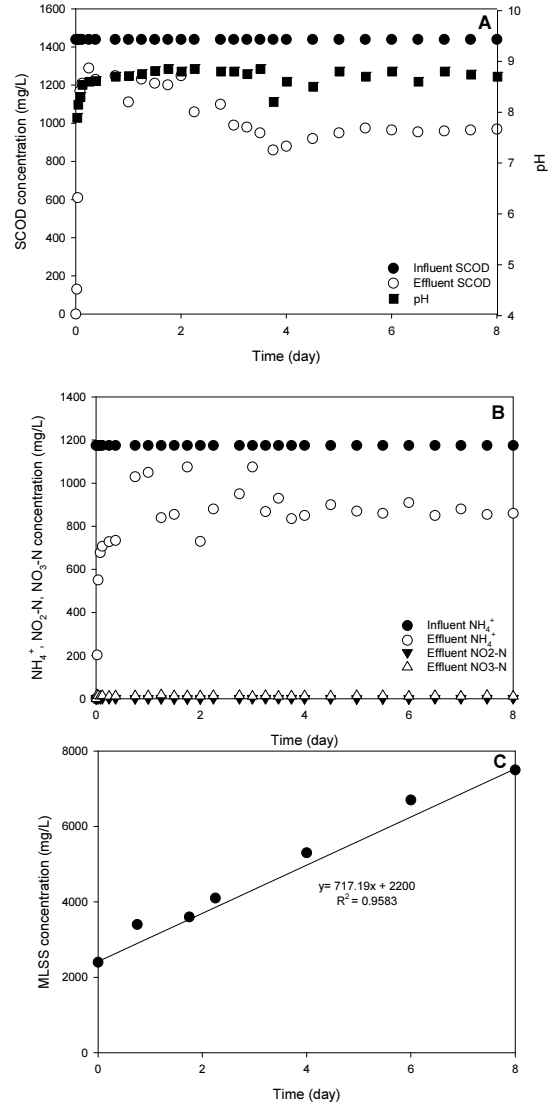


Fig. 10. Variation of ammonia and SCOD, MLSS and MLVSS for conventional aeration device using anaerobic digester effluent for food waste (A : SCOD, B : ammonia, C : MLSS).

하여 실험하였다.

실험결과 실험시작 후 4일 후부터 유기물 및 암모니아 제거율이 안정화 되었고, 이때의 유기물 및 암모니아 평균 제거율은 각각 34.1, 25.9% 였다. 과포화산소용해기와 같이 일반공기폭기법도 합성폐수를 사용했을 때에 비해 제거율이 낮게 평가되었다. 이러한 이유는 앞서 과포화산소용해기에서와 같이 유입수를 구성하는 물질이 분해가 어려운 물질로 구성되어 있기

때문으로 판단된다. MLSS 증가는 초기에 비해 3.2배 가량 증가하였으며, 증가속도는 717.19 mg/day 였다.

Fig. 11은 과포화산소용해기와 일반공기폭기법의 실험 폐수에 대한 유기물 및 암모니아 제거율을 비교한 결과이다. 그 결과 SCOD 제거율의 경우 과포화산소용해기가 일반공기폭기법에 비해 약 13% 가량 높았다. 이는 과포화산소용해기가 일반공기폭기법에 비해 고농도의 산소가 주입되기 때문에 유입수내에 존재하

는 입자성 물질을 산화시켜 용존성 물질로 전환시킬 수 있기 때문에 판단된다. 조성웅 등¹⁷⁾은 과포화산소용해기 장치를 이용하여 고형물질이 다량 존재하는 염료폐수처리에 사용하였을 때 일반공기폭기법에 비해 처리효율이 증가하였고, 용존산소 부족으로 인한 문제도 해결되었다고 보고하였다¹⁷⁾.

MLSS의 경우 실험 종료 후 초기에 비해 일반공기폭기법이 3.2배 증가하였으며, 과포화산소용해기가 2.9배 증가하였다. 일반공기폭기법이 과포화산소용해기에 비해 MLSS 증가율이 0.3배 가량 높았다. 과포화산소용해기의 MLSS 증가율이 일반 공기 폭기법에 비해 낮은 이유는 과포화산소용해기의 경우 포기조 내에 용존산소가 충분히 유지, 공급되기 때문에 슬러지 자산화가 고도로 진행되기 때문으로 판단된다. 과포화산소용해기가 일반공기폭기법에 비해 미생물 수율이 낮아 잉여슬러지 처리 비용이 감소될 수 있을 것이라 판단된다.

Fig. 12는 과포화산소용해기와 일반공기폭기법의 시간에 따른 반응조 내 슬러지색 변화를 나타낸 그림이다. 일반공기폭기법의 경우 시간이 초기 슬러지 색과 거의 같았지만, 과포화산소용해기의 경우 초기 슬러지 색에 비해 황토색으로 변한 것을 알 수 있다. 이는 유입수 내 고형물에 의한 색 변화와 미생물 증 변화에 의한 색 변화 두 가지 측면을 고려해 볼 수 있다.

유입수 내 고형물에 의한 색 변화의 경우 과포화산소용해기 장치가 일반공기폭기법에 비해 고농도의 DO를 주입하기 때문에 산화에 의해 고형물이 용존성 물질로 변화 할 수 있고, 이로 인해 반응조 내 색이 초기에 비해 더 옅은 황토색으로 변했을 가능성이 있다¹⁵⁾. 또한, 미생물 증 변화의 경우 DO 조건이 2~3 mg/L로 운전되는 하수처리장에서 최초 미생물을 채취하였고, 이후 과포화산소용해기에 의해 DO가 9 mg/L 이상의 조건으로 운전되는 반응조에서 미생물이 성장하였기 때문에 고농도 DO 농도에 의한 증 변화가 발생되었을 가능성이 있다. 이는 Calderon 등이 과포화산소용해기를 이용하여 MBR 공정을 운전하여 실험 종료 후 bacterial community를 분석한 결과 일반 하수처리장에서 발견되는 미생물 종과 다른 미생물 종 (Alphaproteobacteria, Actinobacteria, Firmicutes 등)이 다량 발견되었다고 보고한 결과와 유사하다⁸⁾. 본 연구에서는 미생물 증 변화 및 고형물의 산화에 대해 평가하지 못했지만, 추후 연구를

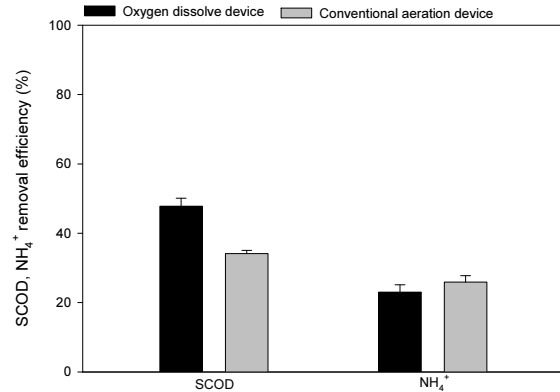


Fig. 11. Comparison of oxygen dissolve device and conventional aeration device for SCOD and ammonia removal using anaerobic digester effluent for food waste.

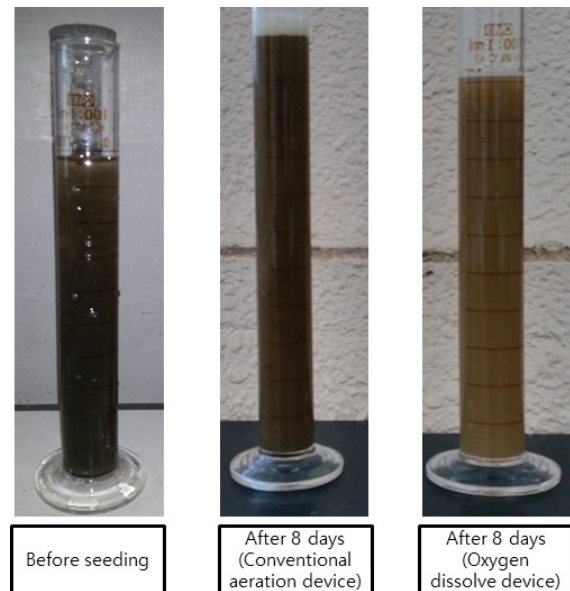


Fig. 12. Change of microorganisms color for oxygen dissolve device and conventional aeration device with operating time.

통해 과포화산소용해기에 의한 미생물 증 변화와 고형물 산화에 대해 평가할 필요가 있다고 판단된다.

4. 결론

본 연구는 MBR 공정 내 포기조에서 순산소 용해시스템과 일반 공기 폭기법의 효율 및 경제성에 대해

비교·평가를 통해 순산소의 MBR 공정 적용성에 대해 평가를 한 것으로 결론은 다음과 같다.

- 1) 순산소용해와 일반공기폭기 방법의 SCOD, 암모니아 제거율과 속도는 비슷하였지만, 순산소용해가 일반공기폭기법에 비해 미생물 수율이 낮아 잉여슬러지 처리 비용이 감소될 수 있을 것으로 예측되었다.
- 2) 음식물류 폐기물의 혐기성 소화 유출수의 고농도 유기물 (4,000 mg/L) 및 암모니아 (1,400 mg/L)의 제거율을 순산소용해와 일반공기폭기법을 비교한 결과, 순산소 용해기가 일반공기폭기법에 비해 유기물 제거율이 약 13% 가량 더 높게 평가되었다.

따라서, 고농도의 유기물을 함유한 폐수의 효과적인 처리를 위한 방법으로 반응조 내 DO 농도를 높게 유지하면서 순산소를 사용한다면 더욱 경제적인 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 한국환경산업기술원의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 2020003160018)

References

1. Alexander, B. F. and Shah, Y. T., "Gas-liquid mass transfer coefficients for - 205 cocurrent upflow in packed beds", *Can. J. Chem. Eng.*, 546, pp. 556~559. (1976).
2. Chen, Z., Wen, Q. and Wang, J., "High rate aerobic treatment of synthetic wastewater using enhanced coagulant high-performance compact reactor (ECHCR)", *Biochem. Eng. J.*, 31(3), pp. 223~227. (2006).
3. Bbecke, Lu., Vogelpohl, S. and Dewjanin, A. W., "Wastewater treatment in a biological high-performance system with high biomass concentration", *Water Res.*, 29, pp. 793~02. (1995).
4. Park, J. S., Yeon, K. M. and Lee, C.H., "Hydrodynamics and microbial physiology affecting performance of a new MBR, membrane coupled high performance compact reactor", *Desalination*, 172(2), pp. 181~88. (2004).
5. Wilcox., E. A. and McWhirter, J. R., "The "UNOX" system-oxygen aeration in the activated sludge process", *Journal of the american oil chemists society*, 48, pp. 408~415. (1971).
6. Zhu, X., Mohammad, I. and Zui-yuan, F., "Performance of paper mill wastewater treatment project using UNOX process", *China water and Wastewater*, 10, pp. 79~82. (2014).
7. Choi, J. H. and Kim.Y. J., "The effect of dissolved oxygen concentration on operation parameters of the pure-oxygen activated sludge process", *J. of KSWQ.*, 13(2), pp. 183~190. (1997).
8. Calderon, B., Gonzalez-Martinez, A., Montero-Puente, C., Reboleiro-Rivas, P., Poyatos, J. M., Juarez-Kimenez, B., Martinez-Toledo, M. V. and Rodelas, B., "Bacterial community structure and enzyme activities in a membrane bioreactor (MBR) using pure oxygen as an aeration source", *Bioresource Technology*, 103, pp. 87~94. (2012).
9. Yeon, K. M., Park, J. S. and Kee, C. H., "Membrane coupled high-performance compact reactor: A new MBR system for advanced wastewater treatment", *Water Res.*, 39(10), pp. 1954~1961. (2005).
10. Zhiqian, C., Qinxue, W. and Jianlong, W., "High rate aerobic treatment of synthetic wastewater using enhanced coagulant high-performance compact (EC-HCR)", *Biochemical Engineering Journal*, 31, pp. 223~227. (2006).
11. Petruccioli, M., Duarte, J. C., Eujsebio, A. and Federici, F., "Aerobic treatment of winery wastewater using a jet-loop activated sludge reactor", *Process Biochem*, 37, pp. 821~29. (2002).
12. Mendoza-Espinosa, L. and Stephenson, T. "A review of biological aerated filters BAFsfor wastewater treatment", *Environ. Eng. Sci.*, 163, pp. 201~216. (1999).
13. Kouakou, E., Salmon, T., Toye, D. P. and Marchot,

- M. C., "Gas-liquid mass transfer in a circulating jet-loop nitrifying MBR", *Chem. Eng. Sci.*, 60(22), pp. 6346-6353. (2005).
14. Wachsmann, U., Reabiger, N. and Vogelpohl, A. "The compact reactor-A newly developed loop reactor with a high mass transfer performance", *Chem. Eng.*, 7, pp. 39~44. (1984).
15. Kent, T. D., Williams, S. C. and Fitzpatrick, C. S. B., "Ammoniacal nitrogen removal in biological aerated filters: The effect of media size", *J. Inst. Water Environ. Manage.*, 14(6), pp. 409~414. (2000).
16. Bitter, J. G. A., *Transport mechanisms in membrane separation process*, 1st ed., Plenum press, New York, pp. 1~6. (1991).
17. Jo, S. and Lee, B., "Treatment of the Dye Wastewater by the Pure Oxygen Activated Sludge Process", *J Korean Soc Environ Eng.*, 21(5), pp. 989~976. (1999).