

순산소 Jet 폭기 시스템을 이용한 음폐수 처리 특성

Treatment of Food Waste Leachate using Pure-Oxygen Jet Loop Reactor(JLR)

윤애화¹ · 박노백² · 배종훈¹ · 전항배^{1*} · 권영배³

Ae-Hwa Yoon¹ · Noh-Back Park² · Jong-Hun Bae¹ · Hang-Bae Jun^{1*} · Young-Bae Kwon³

1 충북대학교 환경공학과, 2 국립농업과학원 기후변화생태과, 3 에이치플러스이엔지(주)

(2010년 7월 7일 접수 ; 2010년 10월 13일 1차수정 ; 2010년 12월 10일 2차수정 ; 2010년 12월 15일 채택)

Abstract

The removal efficiencies and a total oxygen transfer coefficient for food waste leachate(FWL) were estimated by using Jet Loop Reactor(JLR). Pure oxygen was used instead of air to improve oxygen concentration in the JLR for high total chemical oxygen demand(TCOD) in FWL. In JLR, in order to examining the oxygen transfer characteristic, the circulation flowrate and oxygen flowrate were controlled with 7~10 L/min(1.5 L/min interval) and 0.2~0.5 L/min (0.1 L/min interval) and we experimented according to the each condition. As a result, Oxygen uptake rate(OUR) and oxygen transfer rate could be maximized than the oxygen flowrate to increase the circulation flowrate. In addition, it determined that JLR using the pure oxygen which can obtain the greatest oxygen transfer rate as it was the high-concentration organic wastewater like the food waste leachate through the continuous experiment was appropriate.

Key words : Jet loop reactor (JLR), Pure-oxygen, Food waste leachate (FWL), High concentration organic wastewater

주제어 : Jet 폭기 시스템, 순산소, 음폐수, 고농도 유기성폐수

1. 서론

고농도 유기성폐수 중 음식물쓰레기는 생활폐기물 중 가장 많은 부분을 차지하고 있는 것으로, 쉽게 부패되는 특성에 따라 육상매립시 침출수 및 악취 등의 환경적 부하를 발생시켜 2005년에는 직접매립을 금지하였고, 이 중 90% 이상이 재활용 되고 있다. 하지만 현재 대부분의 재활용은 퇴비화·사료화에 의존하고 있으며, 자원화 공정시 지속적으로 고농도의 음폐수가 발생하는 문제를 가지고 있다(환경부, 2006). 발생하는 음폐수 중 일부가 하수처리시설이나

침출수 처리장에서 병합처리 되고 있으며 대부분 해양투기 되고 있지만, 2013년부터는 해양투기가 전면 금지되기 때문에 새로운 대안이 필요한 실정이다(환경부, 2007).

현재 고농도의 폐기물 및 폐수는 혐기성 소화기술에 의해 대부분 처리되고 있다. 혐기성 소화는 고부하의 유기물 처리가 가능하고, 고형물의 감량 및 에너지를 회수할 수 있는 등 많은 장점을 가지고 있지만, 방류수질까지 부유물질(SS)과 유기물을 제거하기 어렵고 영양염류의 처리가 불가능하기 때문에 후속적인 처리가 필요한 실정이다. 하지만 후속처리 방법으로 기존의 호기성 생물학적 처리방법에 적

* Corresponding author Tel:+82-43-261-2470, Fax:+82-43-271-7976, E-mail: jhbcb@cbnu.ac.kr(Jun, H.)

용할 경우, 기존 호기성 생물학적 처리공정은 부하량 변동 및 충격부하에 대한 탄력적인 운전이 어렵고, 고농도 미생물의 유지가 어려우며, 폭기방식에서 오는 산소전달율의 한계로 인해 처리장의 부지가 확장되어야 한다는 한계를 가지고 있기에 새로운 고효율 폭기공정에 대한 연구가 필요한 상황이다(김영호, 1991). 이에 대하여 최근 강한 교반과 공기방울의 비표면적 증가를 일으켜 산소전달율을 높이는 데에 효과적인 Jet Loop Reactor(JLR)가 폐수의 효율적인 생물학적 처리를 위해 광범위하게 사용되고 있다(박노백 등, 2009). JLR은 유기물 부하가 높은 폐수를 처리하는데 있어 생물학적 처리를 발전시키는데 성공적으로 사용되어 왔으며, 전통적인 공정과 비교하여 불 때 반응기 내 유도관(draft-tube)이 있어 액체와 기체의 연속적인 순환을 통해 기-액 간의 혼합이 잘 이루어지고, 노즐을 통해 만들어지는 액체의 분사가 높은 교반과 난류를 생성하여 최적의 물질전달과 미생물학적 전환을 가능하게 하는 특징을 가지고 있다(Petruccioli et al., 2002; Yagna Prasad and Ramanujam, 1994).

산소전달율을 높이기 위해서는 폭기수단 또한 중요한 인자가 되는데, 공기 폭기에 의한 기존의 처리방법으로는 앞서 언급했던 문제와 같이 유기물 부하가 높은 유입수가 반응조에 유입될 때 미생물의 호흡에 필요한 산소를 공급하는데 문제가 발생하기 때문에 이를 보완하고자 순산소 폭기에 의한 생물학적 처리방법이 개발되기 시작하였다. 순산소를 이용하는 생물학적 처리기술의 초기에는 공법자체의 우수성은 인정되었으나 공기로부터 산소를 분리하는데 따른 산소의 제조비용이 높아 널리 보급되지는 못했지만, 1960년대에 접어들면서 산소의 제조비용을 낮추는 새로운 산소발

생장치의 개발(PSA, Pressur Swing Adsorption)로 폐수 처리장에 순산소를 이용한 공정의 개발이 활발히 이루어지게 되었다(Boon et al., 1976). 순산소로 공정을 운전할 경우에는 공기를 사용할 때 보다 포화용존산소농도가 4~5배 정도 커서 산소전달율이 높기 때문에 유입수의 유기물부하 변동이 심한 경우에도 산소전달의 한계 없이 안정한 처리효율을 얻을 수 있고, 포기조 내 미생물 농도를 높게 유지시킬 수 있어 부지면적을 감소시킬 수 있으며, 슬러지의 응집 및 침전성이 우수하여 침전조의 운영이 용이하다는 장점을 가지고 있다(조성용 등, 1999).

따라서 본 연구에서는 다른 연구자들에 의해 선행 연구되었던 깨끗한 물에서의 산소전달율이 아닌, 순산소를 사용한 JLR 내 고농도의 미생물이 존재하고 고부하의 유기물이 유입하는 상태에서의 각 조건별 총괄 산소전달계수를 측정하고, 순산소를 사용한 JLR 연속 호기성공정에서의 음폐수 처리효율을 분석하는 것을 목적으로 하였다.

2. 연구방법

2.1 실험재료

2.1.1 음폐수 성상

본 연구에 사용된 음폐수는 C시의 음식물쓰레기 자원화 시설에서 채취하여 사용하였다. 채취한 음폐수 평균 성상은 Table 1에 나타내었으며 원액이 15% TS의 고농도 이므로 가정용 믹서(mixer)에서 분쇄시킨 후 각각의 유입부하에 맞게 희석하였고 체(sieve)에 거른 후 유입시켰다.

2.1.2 반응조 형태

실험에 사용한 JLR은 아크릴재질의 원통형 반응기로 반응조의 내부순환을 원활히 하기 위하여 사각형태의 유도관(draft-tube)를 설치하였다. 반응조 하단에 위치한 배출구는 순환펌프의 흡입구와 연결되어 있으며, 토출구를 통해 순환되어 나온 액체는 최종적으로 노즐을 통해 분사된다. 노즐의 형태는 이상(two-phase)형태로, 순산소는 노즐의 중앙부로 공급되며 액체는 노즐의 바깥쪽으로 분사되도록 제작하였다. 순환펌프는 맥동식펌프(Hydra-cell SIMENS, Germany)를 사용하였고, 펌프와 노즐사이에 전자식 유량계(M1000 WINTEC, Korea)를 설치하여 순환유량을 조절하였다. 전체 반응조 모식도는 Fig. 1에 나타내었으며, 노즐이 부착된 Jet 폭기조의 규격은 Table 2에 나타내었다. 침전조에서의 슬러지 부상을 막기 위해 폭기조 후단에 후폭기조를 두어 폭기조에서 유출된 슬러지를 탈기시켜주었으며, 폭기조 내 미생물 농도 유지를 위해 침전조에서 폭기조로 슬러지를 반송시켜주었다.

Table 1. Characteristics of food waste leachate

Item	Average value
pH	4.13
Total COD(TCOD)	180 g COD/L
Soluble COD(SCOD)	77 g COD/L
NH ₄ ⁺ -N	530 mg/L
TKN	7,500 mg/L
T-P	630 mg/L
Total solid(TS)	15 %
Volatile solid(VS)	13 %
VS/TS	0.85
Moisture content(MC)	85%

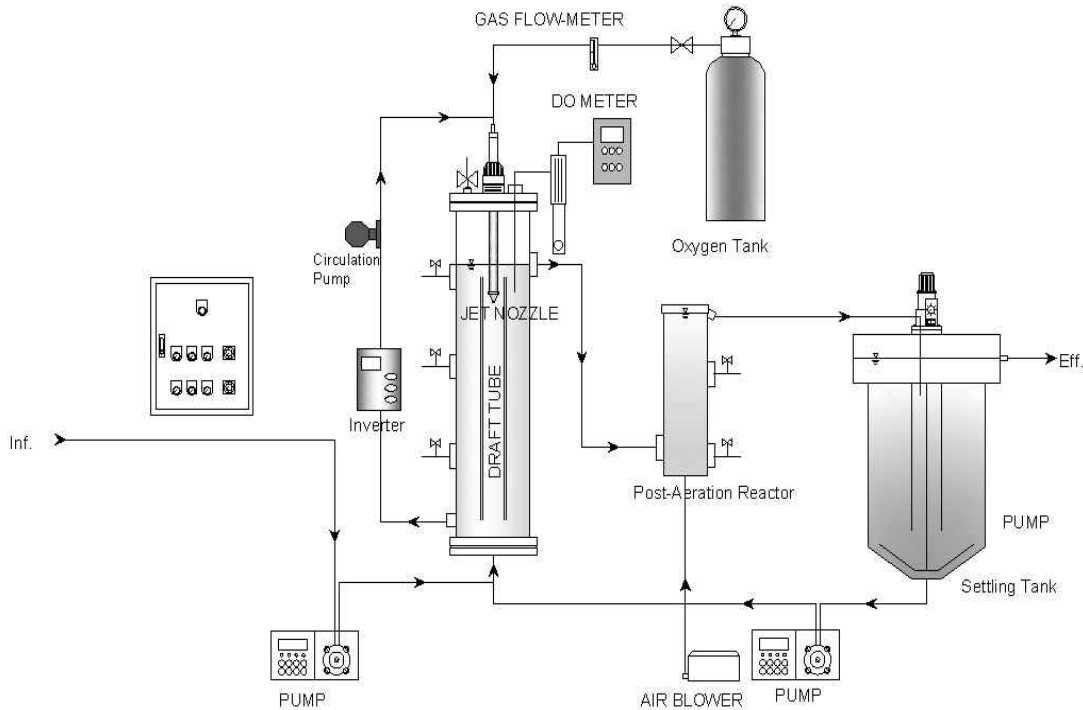


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental set-up.

Table 2. Experimental parameters for jet-loop reactor

Item	values(mm)
반응조 높이	670
반응조 직경	180
Draft tube 길이	410 (수면에서 100mm아래, 반응조 바닥에서 80mm 위)
Draft tube 직경	70
노즐의 공기관 지름	6
유효 용적(L)	15

2.2 실험방법

2.2.1 총괄 산소전달계수 평가

산소는 호기성 처리과정에서 미생물의 성장, 유지 및 이화작용에 이용되어 처리효율을 결정하는 매우 중요한 인자이다. 그렇기 때문에 호기성 생물학적 처리효율의 증대를 위해서, 산소전달효율의 정확한 평가를 위해 산소전달계수 ($K_L \cdot a$)의 특성을 파악하는 연구가 많은 연구자들에 의해

진행되어 왔다(Roberts and Dandllker, 1983; Chen et al., 2003; Hughmark, 1967; Kawase and Hashiguchi., 1996; Panja and Phaneswara, 1993; Farizoglu and Keskinler., 2007).

OUR 및 산소전달계수를 측정하는 방법은, 먼저 반응조 내 DO농도가 일정하게 유지되는 시점을 기준으로 포기를 중단하고 DO농도가 0.5 mg/L이하가 될 때까지의 시간에 따른 DO농도 변화를 측정하여 산소소비속도(OUR)를 측정할 수 있으며, 그 시점에서 다시 포기를 시작하고 DO가 더 이상 증가하지 않을 때 까지 시간에 따른 DO농도 변화를 측정한다. 산소전달계수와 용존산소농도차의 곱으로 이루어진 식(1)을 적분한 식(2)에 측정된 DO를 대입하여 그런 그래프의 기울기로서 $K_L \cdot a(\text{min}^{-1})$ 를 평가할 수 있다.

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C) \quad (1)$$

$$-\ln\left(1 - \frac{C}{C_s}\right) = K_L a \cdot t \quad (2)$$

하지만 활성슬러지가 포함된 포기조에서 산소전달계수

를 측정할 때에는 미생물에 의한 산소섭취율도 고려해야하기 때문에, 이때의 산소전달효율을 평가하기 위해서는 다음과 같이 식(3)을 적용한다.

$$\frac{dC}{dt} = K_L a(C_s - C) - OUR \quad (3)$$

유사 정상상태 조건하에서 dC/dt 는 0에 접근하고, $K_L a$ 는 다음 식(4)으로 결정된다.

$$OUR = K_L a(C_s - C) \quad (4)$$

실험조건은 폭기조 내 MLSS농도를 12,000 mg/L로 유지하고 음폐수를 10 gSCOD/L에 맞게 희석한 후 유입시키면서, 순환유량의 경우 7 L/min, 8.5 L/min, 10 L/min, 유입산소량의 경우 0.2~0.5 L/min(0.1 L/min 간격)의 범위로 설정하여 실험을 수행하였으며, 시간에 따른 DO농도는

반응조 수면위에서 약 15cm 아래에 DO-24P(TOADKK, Japan)를 고정시켜 측정하였고, 반응조 내 온도는 30°C로 유지 하였다.

2.2.2 연속식 운전 및 분석 방법

실험으로 결정한 최적의 순환유량 및 유입산소량으로 조건을 맞춘 뒤, 음폐수를 유입시키기 전 공기폭기를 시켰을 때 어느 정도의 유기물 부하까지 소화 할 수 있는지 알아보기 위해 합성폐수를 이용하여 공기량을 조절하면서 실험을 실시하였으며, 이 후 운전초기~약 60일(Run1), 약 60~160일(Run2), 약 160~200일(Run3)동안 음폐수의 부하를 달리하며 Jet Loop Reactor의 연속 운전을 수행하였다. 합성폐수의 성상은 Table 3, 연속운전조건은 Table 4에 나타내었다.

실험은 주 3회 실시하였으며, pH는 pH meter(Thermo Orion model 420A+)로, COD_{cr}는 Standard methods의 closed reflux법, TKN, NH₄⁺-N는 공정시험법으로 측정하였으며, NO₂⁻-N와 NO₃⁻-N은 Ion Chromatography (Metrohm modular, Switzerland)로 분석하였고 그 외 기타 분석항목은 Standard methods 및 공정시험법에 준하여 측정하였다.

Table 3. Characteristics of the synthetic wastewater

Item	values
pH	7.2~7.5
TCOD	6,800~11,000 mg/L
SCOD	4,000~7,000 mg/L
NH ₄ ⁺ -N	190~360 mg/L
NO ₂ ⁻ -N	-
NO ₃ ⁻ -N	-
PO ₄ ³⁻ -N	38~80 mg/L

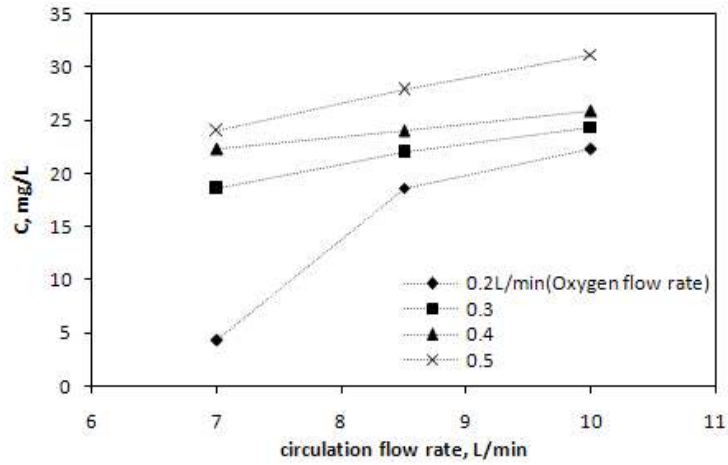
3. 결과 및 고찰

3.1 Jet Loop Reactor에서의 산소전달 특성

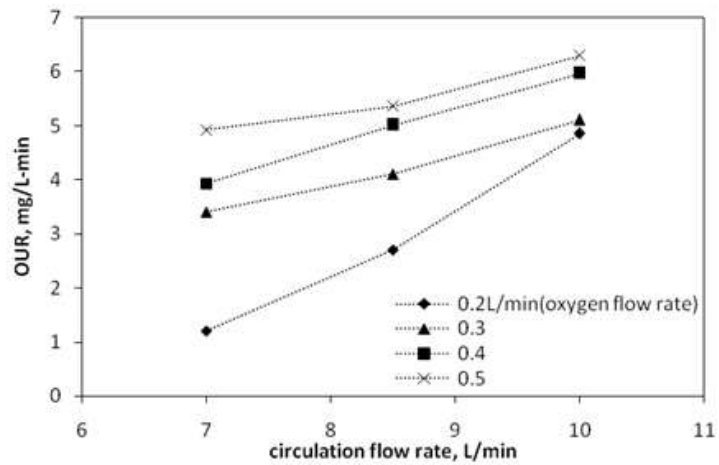
각각의 실험조건에 따른 반응조 내 초기 용존산소농도를 Fig. 2(a)에 나타내었다. 초기 용존산소농도란, 산소를 주입한 후 DO농도가 최대로 존재하며 DO농도의 변화가 없는 일정한 상태를 뜻한다. 공기가 아닌 순산소를 유입하였기에 초기 용존산소농도가 대체로 높으며, 전체적으로 반응조의

Table 4. Continuous operation conditions of Jet Loop Reactor(JLR)

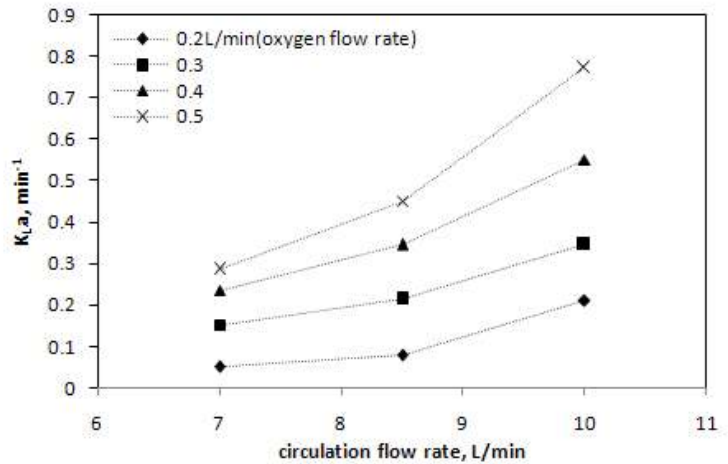
Item	values
Q	15 L/day
TCOD	8,000 ~ 20,000 mg/L
SCOD	4,000 ~ 10,000 mg/L
Organic loading rate	4 ~ 10 kg SCOD/m ³ ·day
Sludge Retention Time(SRT)	3 day
Hydraulic Retention Time(HRT)	24 h
Circulation flow rate	10 L/min
Oxygen flow rate	0.2 L/min



(a) Initial dissolved oxygen(DO) in JLR



(b) Oxygen Uptake Rate(OUR) in JLR



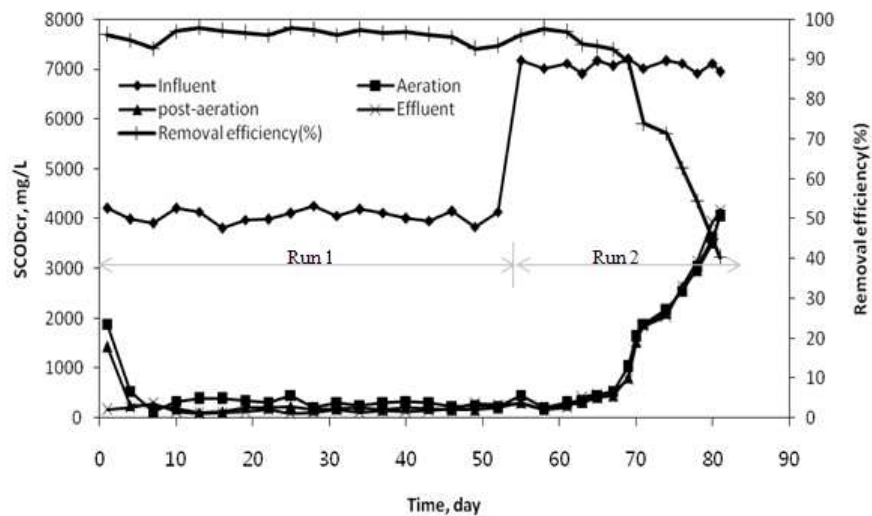
(c) $K_L \cdot a(\text{min}^{-1})$ in JLR

Fig. 2. Initial DO concentration, oxygen uptake rate and $K_L \cdot a(\text{min}^{-1})$ in JLR on respective operation conditions.

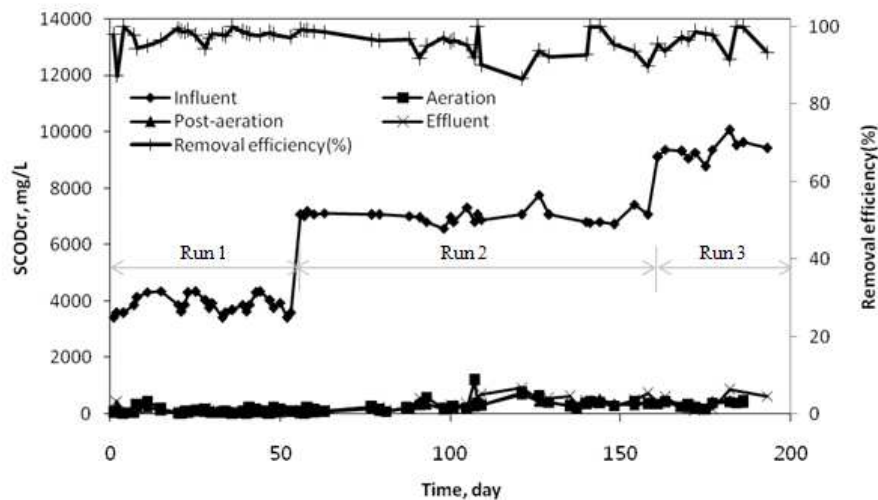
순환유량과 유입산소량이 증가함에 따라 초기 용존산소농도도 증가하는 경향을 나타내었다. 순환유량이 7 L/min로 비교적 낮은 조건에서는 산소량이 0.2 L/min에서 0.5 L/min으로 증가함에 따라 약 20 mg/L로 초기 용존산소농도차가 크게 나타났으며, 유입산소량이 적게 공급된 0.2 L/min에서도 순환유량이 증가함에 따라 반응조 내 초기 용존산소농도의 변동폭이 다른 조건에 비해 크게 나타났다. 이는 산소전달에 복합적으로 관여하는 순환유량과 산소량 중 한 인자의 세기가 일정수준 이상으로 운영하였을 경우에

다른 인자가 미치는 영향이 줄어드는 것을 의미하며, 두 인자의 세기가 증가 할수록 미생물이 산소를 소비하는 속도와 산소전달속도의 속도차가 증가함으로 인해 반응조 내의 용존산소 농도가 높게 유지될 수 있던 것으로 판단된다.

Fig. 2(b)에는 각 조건별 반응조 내 산소섭취율을 나타내었다. 유입산소량 및 순환유량에 따라 포화용존산소농도가 다르고, 또한 폭기를 중단시킨 후 용존산소농도가 0에 도달할 때 까지 걸리는 시간이 달라 각 조건에서 OUR 값의 차이가 나타났다. 순환유량이 커질수록 유입산소량의 증가에 따



(a) Synthesis wastewater, Run1 : 4 kgSCOD/m³ · day, Run2 : 7 kgSCOD/m³ · day



(b) Food waste leachate, Run1 : 4 kgSCOD/m³ · day, Run2 : 7 kgSCOD/m³ · day, Run3 : 10 kgSCOD/m³ · day

Fig. 3. Changes of SCODcr concentration during the operation time.

른 OUR 변동폭이 줄어들어 들었으며, 유입산소량이 0.2 L/min보다 높은 0.3~0.5 L/min의 산소량에서는 동일한 산소량 조건에서 순환유량 증가에 따라서도, 그리고 동일한 순환유량에서의 유입산소량 증가에 따라서도 OUR 값의 변화가 1.5 mg/L·min 이하로 크지 않게 나타났다. 반면에 유입산소량이 0.2 L/min일 때는 순환유량이 증가함에 따라 OUR의 변동폭이 크게 나타났는데, 이는 적정 수준 이하의 산소량이 주입될 경우 미생물의 산소섭취에 있어서 순환유량 또는 교반이 중요한 영향을 미친다고 판단할 수 있으며, 직접적으로 생물학적 처리 공정의 호기성 반응에서 유기물 질 및 영양염류 처리의 효율을 증가시킬 수 있는 것과 관련 지을 수 있다고 판단된다.

실험방법에서 기술하였던 산소전달계수의 산출방법을 이용하여 각 운전조건별 산소전달계수값을 산정하여 Fig. 2(c)에 나타내었다. 순환유량이 8.5 L/min에서 10 L/min으로 변화할 때 산소전달계수의 변동폭이 커지는 것을 볼 수 있는데, 이는 반응조 내 draft-tube 내부에서 보다 많은 난류를 형성하여 기-액간의 접촉율이 늘어나 산소전달계수가 증가한 것으로 보이며, 즉 이를 통하여 난류발생을 일으키는 순환유량의 임계점이 존재한다고 판단된다. 또한 산소량이 증가함에 따라서도 산소전달계수값이 비례적으로 증가하는 경향을 나타냈는데, 산소량이 증가한다는 것은 곧 반응조 내 기체의 체류량이 증가되는 것으로 해석할 수 있으며, 이 또한 기-액 접촉면적을 증가시켜 산소전달계수가 증가하는 것으로 판단된다.

기존에 본 연구실에서 수행되었던 연구 결과에 의하면, 동일 조건에서 폭기 수단만 달리하였을 때, 즉 공기 와 순산소로 각각 주입하였을 경우 둘 다 $K_L \cdot a$ 값은 비슷하였지만, 산소전달효율을 평가하기 위해 산소전달계수($K_L \cdot a$) × 농도구배($C_s - C$)를 적용하면, 순산소로 폭기시켜주는 방식은 $K_L \cdot a$ 값이 아닌 농도구배를 높여주는 역할을 함으로써 산소전달효율을 더욱 높인다고 보고하였으며, JLR의 산소전달효율을 평가하는데 있어 산소량보다는 순환유량을 증가시키는 것이 전달효율을 극대화하는데 효율적이라고 보고하였다. 그러므로 기존 연구결과 및 본 실험결과를 통해 최적 순환유량 및 산소량이 각각 10 L/min, 0.2 L/min 이라고 판단하여 이 조건하에 연속식 운전을 진행하였다.

3.2 Jet Loop Reactor의 연속운전 결과

3.2.1 유기물 제거 효율 및 MLSS 변화

산소전달효율 평가를 통해 결정지는 순환유량 10 L/min, 산소량 0.2 L/min의 조건으로 Jet Loop Reactor에서 연속 운전을 수행하였다. 음폐수로 유입시키기 전 합성폐수를 원수로 하여 다른 조건은 동일하게 하고 폭기 수단만 공기로

바꾸어 pre-test를 실시하였고, 그 결과를 Fig. 3(a)에 나타내었다. 유기물 부하를 4 kgSCOD/m³·day로 운전한 약 50일 동안 유기물 제거효율이 약 96%로 높게 나타나 부하를 올려 7 kgSCOD/m³·day로 운전조건을 변경하여 운영하였다. 하지만 배양 초기 다량의 scum 발생으로 슬러지가 많이 유실되고, 침전조에서의 슬러지 침전효율이 저하되면서 유출수의 SS가 높아질 뿐 만 아니라 run time이 길어지면서 폭기조 및 유출수에서 COD 농도가 점점 증가하여 유기물 제거 효율이 40%정도로 저하되어 실험을 중단하였다. 이후 슬러지를 다시 seeding 하고 순산소 폭기로 바꾸고 유입원수도 음폐수로 바꾸어 유입부하를 4 kgSCOD/m³·day에 맞추어 유입시켰다(Fig. 3(b)). 약 60일 동안 관찰한 결과 평균 유기물 제거 효율이 약 97%로 높게 나타나고, 침전조에서 침전효율도 높아짐으로 인해 유출수의 MLSS농도도 낮아 안정된 상태로 판단하여 음폐수 유입 부하를 7 kgSCOD/m³·day로 올려서 유입시켰다. 합성폐수로 유입부하를 7 kgSCOD/m³·day로 운전했을 때 여러 문제가 발견되었기 때문에, 7 kgSCOD/m³·day부하의 음폐수 유입은 100일 동안 길게 운전하였고, 이후 10 kgSCOD/m³·day까지 부하를 올려서 운전하였다. 기존 호기성 생물학적 처리에서는 높은 유기물 부하로 효과적인 유기물 제거효율을 보인 사례가 거의 없으나, 유입부하 10 kgSCOD/m³·day로 운전하였을 때의 유입 음폐수 성상은 약 20 g TCOD/L, 10 g SCOD/L, 11.8 g TS/L의 높은 고형물을 가진 고부하 유기성 폐수임에도 불구하고 유기물제거 효율이 약 95% 이상을 보여 고부하 유기성폐수의 호기성 생물학적 처리의 실현 가능성을 보여주었다. 합성폐수와 음폐수 운전을 폭기방식의 차이만 두고 실험한 결과, 고부하 유기폐수의 호기성 처리에서는 폭기수단이 중요하며, 농도구배를 높여 산소전달효율을 최대화 할 수 있는 순산소 사용이 적절하다고 판단된다. 또한 순산소 적용시 반응속도 또한 증가하여 HRT를 줄일 수 있는 이점이 있다고 사료된다.

Fig. 4에는 운전기간 동안 MLSS농도의 변화를 나타내었다. 유입 부하가 증가함에 따라 폭기조 내 MLSS 및 반송 슬러지 농도도 증가하는 경향을 나타내었다. 유입 음폐수 부하가 4 kgSCOD/m³·day일 때 SRT 3일로 운영하는 동안 폭기조 내 MLSS 농도는 약 4,000~4,500 mg/L 로 유지 되었다가 10 kgSCOD/m³·day로 부하를 올렸을 때는 똑같은 SRT에서도 추가적인 미생물농도 유지를 위한 조치 없이 10,000~11,000 mg/L 사이로 두 배 이상 증가하였다. 운전 기간동안 F/M 비는 1로 운전이 되었으며, 이에 적응한 미생물이 짧은 SRT(3d) 임에도 불구하고 유입부하에 맞추어 미생물의 성장이 가능했다. 그 이유는 원수의 특성상 음폐수에 유기탄소원이 고농도로 존재하기 때문에 유기

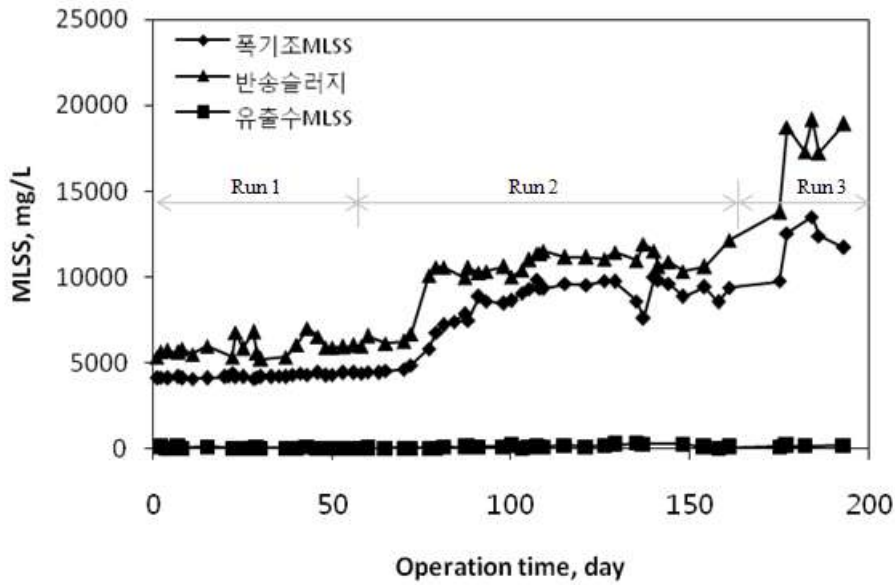


Fig. 4. Change of MLSS concentration during the operation time.
(Run1 : 4 kgSCOD/m³-day, Run2 : 7 kgSCOD/m³-day, Run3 : 10 kgSCOD/m³-day)

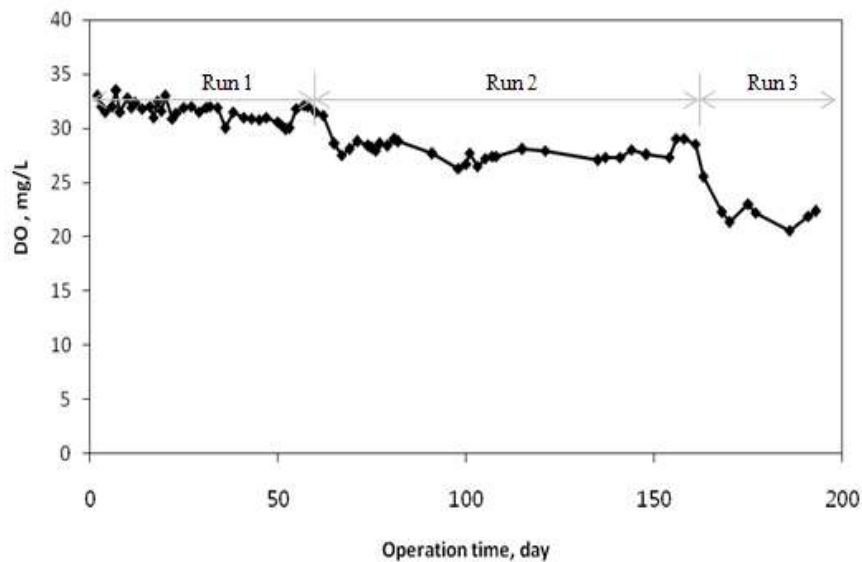


Fig. 5. Change of dissolved oxygen(DO) concentration during the operation time.

탄소를 이용하는 미생물들의 합성에 의해 새로운 미생물이 빠르게 성장했던 것으로 사료된다. 반면, 유출수의 SS농도는 100 mg/L 이하로 검출되어 슬러지 유실은 거의 없었으며, 반송슬러지 농도도 약 18,000~19,000 mg/L 로 고농도로 유지되었다.

폭기조 내 DO 농도 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 공기보

다 포화용존산소농도가 4~5배 큰 순산소로 폭기를 시켜주었기 때문에 용존산소농도가 매우 높게 유지되었다. 또한, 유기물 부하 및 미생물 농도가 증가함에 따라 미생물이 산소를 소비하는 비율도 증가하여 폭기조 내 용존산소농도가 감소하는 모습을 나타내었다.

3.2.2 질소 및 인 제거 거동

음폐수의 높은 유기물 농도에 비해 음폐수 내 암모니아성 질소가 차지하는 부분은 매우 적었다. Fig. 6에 나타낸 그래프에서, Run 1~3에서 유입 암모니아 평균 농도는 각각 18 mg/L, 38 mg/L, 62 mg/L 이었고, 최종 유출수 농도는 평균 1 mg/L, 2 mg/L, 5 mg/L 로 암모니아성 질소의 제거율

은 90% 이상을 나타내었다. 하지만 제거된 암모니아성 질소에 비해 질산성 질소는 거의 생성되지 않았다.

Fig. 7에는 운전기간동안의 pH변화를 나타내었는데, 음폐수의 특성상 유입원수의 pH는 4~5사이로 산성을 나타내었지만, 폭기조에서의 pH는 질산화에 영향을 미치지 않는 중성범위를 나타내었다. 질산화 미생물은 성장속도가 느리

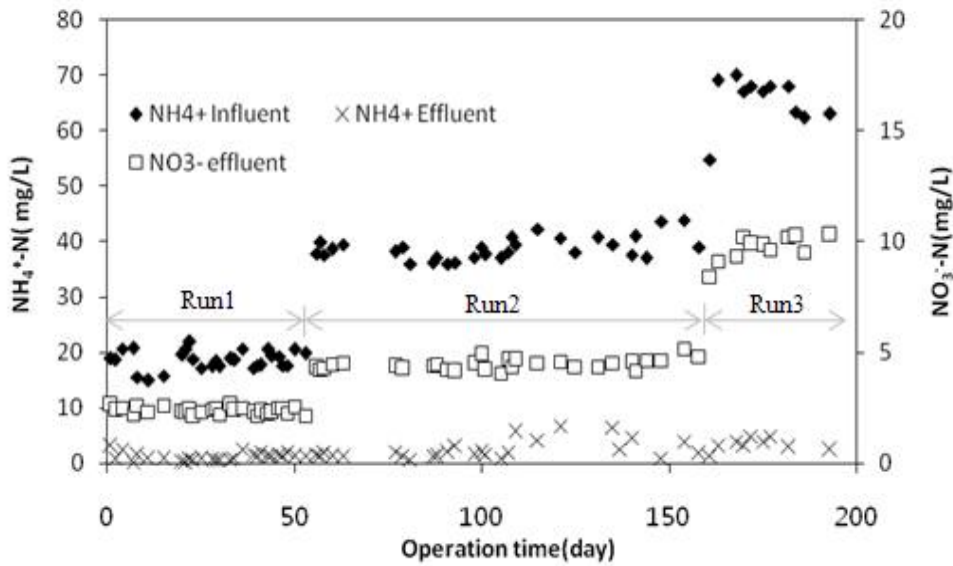


Fig. 6. Changes of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration during the operation time. (Run1 : 4 kgSCOD/ $\text{m}^3\cdot\text{day}$, Run2 : 7 kgSCOD/ $\text{m}^3\cdot\text{day}$, Run3 : 10 kgSCOD/ $\text{m}^3\cdot\text{day}$)

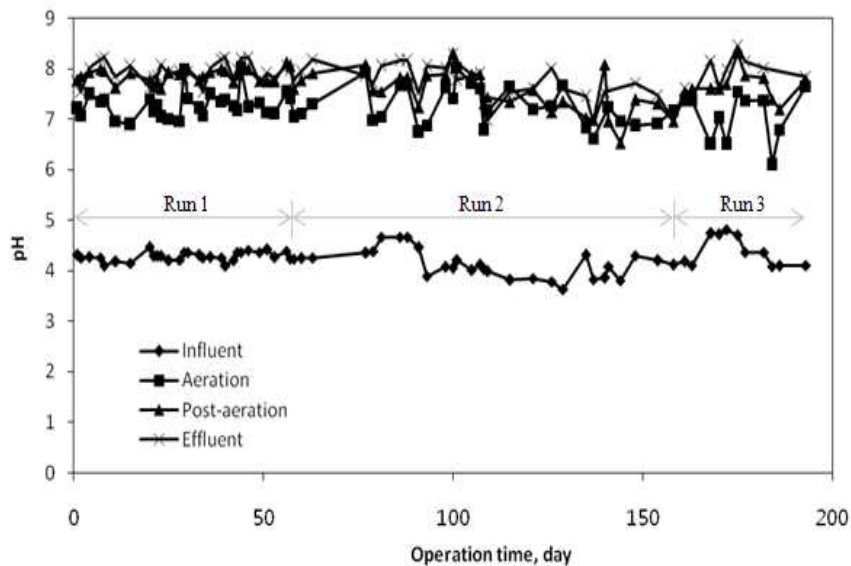


Fig. 7. Change of pH concentration during the operation time. (Run1 : 4 kgSCOD/ $\text{m}^3\cdot\text{day}$, Run2 : 7 kgSCOD/ $\text{m}^3\cdot\text{day}$, Run3 : 10 kgSCOD/ $\text{m}^3\cdot\text{day}$)

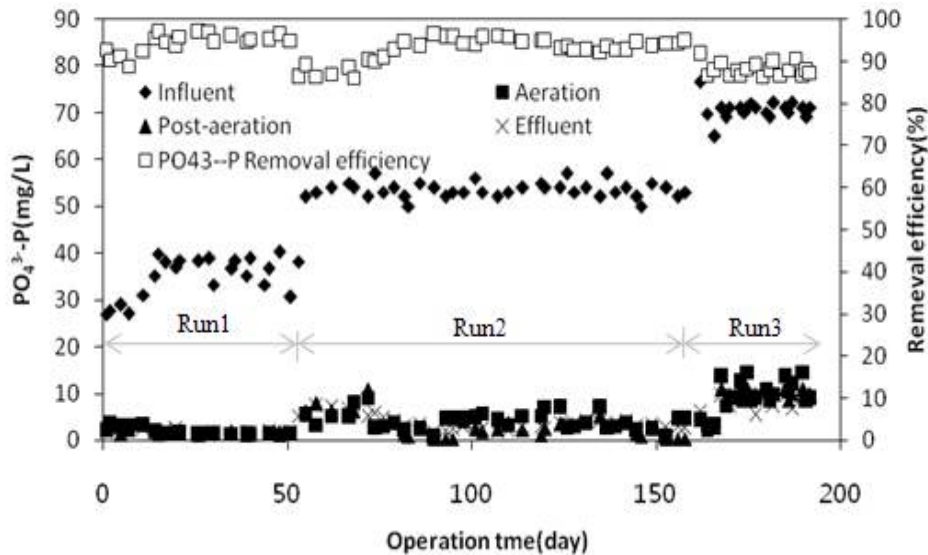


Fig. 8. Change of $PO_4^{3-}P$ concentration during the operation time.
(Run1 : 4 kgSCOD/m³·day, Run2 : 7 kgSCOD/m³·day, Run3 : 10 kgSCOD/m³·day)

기 때문에 일반적으로 고품물 체류시간을 길게 해주어야 한다. 하지만, 본 실험에서는 SRT를 3일로 짧게 운전하여 주었기 때문에 질산화 미생물의 활동이 원활하지 못한 것으로 사료되며, 인산염인의 제거도 평균 90%이상의 제거효율을 나타내었는데(Fig. 8), 음식물 침출수의 특성상 암모니아성 질소 및 총 인의 함량이 각각 TCOD의 0.3%, 0.35% 밖에 되지 않는 매우 작은 농도로 존재하기 때문에 활성미생물의 세포합성 기작으로 인한 암모니아성 질소 및 인산염인의 제거가 활발히 이루어지고 있는 것으로 판단된다.

4. 결론

순산소를 사용한 JLR 내에서 고농도의 미생물이 존재하고 고부하의 유기물이 유입하는 상태에서의 각 조건별 총괄 산소전달계수를 측정하고, 순산소를 사용한 JLR 연속 호기성공정에서의 음폐수 처리효율을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 순환유량 및 산소량이 증가함에 따라 기-액 접촉 면적이 늘어나면서 산소전달계수가 증가하는 경향을 나타내었지만, 순환유량을 늘리고 산소량을 최소한으로 적절히 조절하며 운전하는 것이 높은 OUR 및 효율적인 산소전달율을 이루는데 도움이 되는 것으로 나타났다.
- 2) 동일한 유기물 부하에서 폭기 수단을 공기와 순산소로 각각 나누어 실험한 결과, 고부하의 유기물이 유입되었을 때 공기로 폭기시키는 것은 다량의 슬러지 유실 및 침전조

에서의 슬러지 침전효율의 저하, 유기물 제거효율의 감소 등의 문제를 발생시키기 때문에, 고부하의 유기성폐수 일수록 최대의 산소전달율을 얻을 수 있고 이로 인해 반응속도 또한 증가하여 HRT를 줄일 수 있는, 순산소를 사용한 JLR이 적절하다고 판단된다.

3) 동일한 SRT로 유지시키고 유입 부하가 증가함에 따라 폭기조 내 MLSS 및 반송슬러지 농도도 같이 증가하여 폭기조 내 미생물이 고농도로 존재하였다. 고부하의 유기물을 처리하기 위해서는 고농도의 미생물이 존재하여야 하지만, 짧은 SRT로 인하여 폐슬러지량이 많아지기 때문에 이 부분에 대한 연구 및 고찰이 필요하다고 생각된다.

사 사

본 연구는 환경부 “차세대핵심환경기술개발사업(Eco-technopia 21 project)”으로 지원받은 과제입니다.

참고문헌

- 김영호 (1991) 순산소활성오니법을 이용한 공단계 하수의 처리, **영남대학교 대학원 석사학위논문.**
- 박노백, 송용효, 박준규, 전항배 (2009) Jet 폭기 시스템의 순환유량에 따른 산소전달 특성 및 순산소 적용성 검토, **한국물환경학회지**, 25(6), pp. 896-901.
- 조성용, 이병규 (1999) 순산소 활성슬러지법을 이용한 염료 폐수

- 처리 연구. *대한환경공학회지*, 21(5), pp. 969-976.
- 환경부 (2006) 전국 폐기물 발생 및 처리 현황
- 환경부 (2007) 음식물류 폐기물 처리시설 발생폐수 육상처리 및 에너지화 종합대책(2008~2012)
- Boon, A. G., Banks, N. and Hegemann, W. (1976) Oxygen Activates Sludge System. *in Proceedings of series of presentations from Britain and Europe under the auspices of the NATO CCMS Advanced Wastewater Treatment Committee*, pp. 206~237.
- Chen, J. H., Hsu, Y. C., Chen, Y. F., Lin, C. C. (2003) Application of gas-inducing reactor to obtain high oxygen dissolution in aeration process. *Water Research*, 37, pp. 2919-2928.
- Farizoglu, B., Keskinler, B. (2007) Influence of draft tube cross-sectional geometry on K_La and ϵ in jet loop bioreactors(JLB). *Chemical Engineering J.* 133, pp. 293-299.
- Hughmark, G. A. (1967) Holdup and mass transfer in bubble columns. *Ind Eng Chem Process Des Dev.* 6, pp. 218-220.
- Kawase, Y., Hashiguchi, N. (1996) Gas-liquid mass transfer in external-loop airlift columns with Newtonian and non-Newtonian fluids. *Chem Eng J.* 62, pp. 35-42.
- Roberts, P. V., Dandlker, P. G. (1983) Mass transfer of volatile organic contaminants from aqueous solution to the atmosphere during surface aeration. *Environ. Sc. Technol.* 17(8), pp. 484-489.
- Panja, N. C., Phaneswara Rao, D. (1993) Measurement of gas-liquid parameters in a mechanically agitated contactor. *Chemical Engineering J.* 52, pp. 121-129.
- Petruccioli, M., Cardoso Duarte, J., Eusebio, A., Federici, F. (2002) Aerobic treatment of winery wastewater using a jet-loop activated sludge reactor. *Process Biochemistry*, 37, pp. 821-829.
- Yagna Prasad, K., Ramanujam, T. K. (1994) Enhancement of gas-liquid mass transfer in a modified reversed flow jet loop reactor with three-phase system. *Chemical Engineering Science.* 50(8), pp. 2997-3000.
- Zamouche, R., Bencheikh-Lehocine, M., Meniai, A. H. (2006) Oxygen transfer and energy savings in a pilot-scale batch reactor for domestic wastewater treatment. *Desalination*, 206, pp. 414-423.