

호흡율 측정기를 이용한 폐수처리 공정수의 생물학적 활성측정

의영락, 이기용, 임지훈, 이상훈*, 문홍만*, 이진원
 광운대학교 화학공학과, 대성산소(주) 초저온연구소*
 전화 (02) 940-5172, FAX (02) 909-0701

Abstract

In this study, it was observed to oxygen uptake rate(OUR) on microbes in activated sludge process. OUR was showed to 43, 55, and 64 mgO₂/L/hr when inoculated microbes mass were 3, 5, and 10%(v/v%). In additon to oxygen was consumed to 4~42 mgO₂/L/hr as changed substrate concentration. Also, we were measured kinetics coefficient in order to know growth tendency. It was concluded to maximum growth rate(μ_{max}), 2.7 day⁻¹, yield coefficient, 0.655, and half-velocity coefficient, 36.11 mg/L.

서론

폐수는 일반적으로 물리학적, 화학적, 생물학적 방법을 단일 또는 복합하여 처리한다. 물리학적, 화학적 방법은 주로 오수 중의 부유물질이나 무기물의 제거에 응용되고 있으며, 생물학적 방법은 오수 중에 용해되어 있는 유기물의 제거에 주로 사용되고 있다. 특히 생물학적 처리법은 자연계에 존재하는 미생물을 이용하기 때문에 2차 오염 발생의 우려가 적어 많이 사용되고 있으며, 기본 방법으로 활성슬러지법(activated sludge process, ASP)을 많이 채택하고 있다. 활성슬러지법은 호기성 미생물의 작용을 통해 유기물을 분해시키는 공정이므로 기질 분해율을 높이기 위해서는 호기성 미생물의 증식과 호흡속도를 최대로 하여야만 한다. 미생물의 증식과 호흡속도를 최대로 하여 기질 분해율을 높이기 위해서는 폭기조 내에 충분한 산소농도를 유지시켜주어야만 하는데, 이는 공기로부터의 직접적인 산소 전달만으로는 한계가 있어 공기 또는 산소를 사용하여 용존산소 농도를 높여줄 필요가 있다. 그러나 공기를 사용한 폭기 방식은 유입되는 기질의 농도가 높거나 유입수의 변동이 심할 경우 적절한 대처를 하지 못하는 단점을 지니고 있어 순산소를 통한 폭기방식이 사용되기도 한다.

폭기조내 기질 분해율에 대한 연구가 여러 연구자들에 의해 제시되고 있다. Nelson과 Williamson¹⁾은 DO 농도를 변화시켜 주면서 ATP 농도를 측정한 결과 DO 농도가 증가하면서 ATP 농도가 함께 증가함을 보고하였다. Henze 등²⁾과 Sollfrank 등³⁾은 수학적 모형의 계수를 측정하는데 정확도가 높은 OUR 측정법이 적합한 방법이라고 보고하였다. 실험의 용이함과 정확성 때문에 OUR을 이용한 생물학적 동력학 계수 추정법이 많이 추천되고 있지만 여러 연구자들에 의해 다음과 같은 2가지 문제점이 제기되고 있다. 그 첫 번째 문제점으로는 미생물의 최대비성장율을 추정할 때 active biomass 농도를 미리 알고 있어야 하는데 active biomass 측정의 정확도를 유지하는 것이 매우 어렵다는 것이다⁴⁾. 두 번째 문제점으로는 활성슬러지에는 매우 다양한 미생물이 섞여 있다는 것이다. Monod equation은 일반적으로 기질 제한 상태에서 중속영양미생물에 의한 성장동력학을 나타내는 데 사용된다. 그러나 Monod equation은 활성슬러지가 단지 한 종의 미생물로 구성되어 있다는 가정하에 사용

된다는 문제점이 있다⁵⁾. 그러나, 활성슬러지 공정에서 OUR의 측정은 미생물 증식(biomass growth)과 기질 소모(substrate consumption)와 직접적으로 연관되어 있다. 이는 폭기조로 유입되는 생물학적 분해 가능한 물질의 농도가 높을수록, 폭기조내 미생물의 농도 및 활성이 높을수록 높은 값을 나타내게 된다.

또한 Chudoba 등⁶⁾에 의해서 OUR과 F/M비 사이의 관계가 제시되었는데 동력학적 계수 추정 실험에서는 F/M비가 매우 중요한 역할을 한다고 하였다. 즉, 낮은 F/M비에서는 세포 증식(cell multiplication)보다는 세포내 기질을 저장(substrate storage)하고 축적하는 현상이 우선시 되고 반대로 높은 F/M비에서는 기질이 충분히 있기 때문에 세포내 기질 저장보다는 세포 증식이 지배적이라고 하였다. 따라서 실험시 적절한 F/M비를 선택하여 실험을 하여야 한다. 이에 본 연구에서는 호흡율 측정기를 통해 미생물의 호흡율을 측정하고 미생물의 동력학 계수를 측정하여 활성슬러지내 미생물의 증식과 기질 제거율과의 관계를 살펴보고자 하였다.

재료 및 방법

Respirometer는 미생물이 유기물을 분해할 때 요구되는 산소의 소비량 또는 소모 속도를 측정하는 장비로서 미생물군이 오염원을 분해하는 능력을 나타내는 직접적인 지표를 나타낼 수 있다. 본 실험에 사용되는 Comput-OX Respirometer Model OO-104는 미생물 반응조, 산소공급장치, 데이터 처리와 저장을 위한 컴퓨터 부분으로 구성되어 있으며, 밀폐된 반응조에서 미생물의 호흡에 의해 산소가 소모되면 반응기 상부의 기상에 있던 산소가 용해되어 반응기 내부가 약간의 부압 상태가 되는데 일정한 부압이 되면 산소 공급 장치에서 산소가 공급되도록 되어 있다. 미생물이 유기물을 분해하는 과정에서 생성되는 이산화탄소는 미생물반응조내에 별도로 설치된 유리 튜브를 통과하면서 50%의 KOH와 접촉하여 제거된다.

미생물의 최대비성장율과 수율계수 등을 측정하기 위해 사용한 반응조는 한국발효기(주)에서 제작한 반응조를 사용하였으며 반응 부피는 3L로 하였다. 실험에 사용된 시료와 미생물은 경기도에 위치한 공동 제약폐수 처리장의 원수와 슬러지를 사용하였으며, 슬러지는 사용하기 전에 미생물의 활성을 최대로 유지시켜 주기 위해 산기석을 사용하여 일정시간 폭기시켜 주었다.

1. 미생물 접종량 변화에 따른 산소소모율과 총산소소모량 측정

미생물에 의한 산소소모량을 측정하기 위해 측정하고자 하는 시료를 총부피가 750 mL인 미생물 반응조에 500 mL를 채운 후, 시료가 채워진 미생물 반응조를 respirometer에 연결하였다. 반응이 시작되면 모니터를 통해 더 이상의 산소소모가 일어나지 않을 때까지 반응을 진행시켰다. 소비되는 산소의 양은 매 1시간마다 기록되게 하였고, 전체 소비된 산소의 양은 매시간에 소비된 산소의 양을 더하여 산출하였다.

2. 기질 농도 변화에 따른 산소소모율과 총산소소모량 측정

기질 농도 변화에 따른 산소소모율과 총산소소모량을 측정하기 위해 방법1.에서와 같은 조건으로 실험을 진행하였다. 단 채워진 시료를 1/1과 1/5 그리고 1/10로 희석하여 respirometer에 연결하였다. 희석은 미리 살균된 수돗물로 하였다.

3. 미생물의 동력학 계수 측정

미생물의 동력학 계수는 최대비성장율(μ_{max})과 수율계수(Y) 그리고 반속도상수(K_S)를 측정하였다. 실험에 사용된 모든 시료는 살균기를 사용하여 121°C에서 1시간 동안 살균한 후, 무균작업대(Clean Bench)에 보관하여 기타 미생물을 최대한 배제시켰다.

3.1 미생물의 최대비성장율과 수율계수 측정

미생물의 최대비성장율(μ_{max})와 수율계수(Y) 측정은 같은 반응조에서 동시에 실험을 진행하였다. 실험은 280분 동안 실시하였고 시료의 초기 COD는 210 mg/L 였다. 실험이 진행되는 동안 DO의 변화량을 기록하였고 반응 종결 후 DO의 변화량을 산소소모율(Oxygen Uptake Rate, OUR, mgO₂/L/hr) 값으로 전환하여 데이터로 활용하였다. 미생물이 투입된 직후를 초기시간 0으로 하였고, 각각 10분과 30분마다 DO와 COD를 측정하였다.

3.2 미생물의 반속도상수 측정

미생물의 반속도상수(K_S) 측정은 한번에 충분한 양의 시료를 채취한 후, 시료의 농도를 각기 달리하여(52, 100, 185, 273 mgCOD/L) 같은 반응조에서 4차례 측정하였다. 시료의 농도는 273 mg/L의 COD를 나타내는 원수를 수돗물로써 희석하여 변화를 주었다.

μ_{max} 와 Y 측정 실험에서와 마찬가지로 DO의 변화를 매 10분마다 기록하여 반응 종결 후 OUR 값으로 전환하여 데이터로 활용하였다. 반응은 최소 30분(52 mgCOD/L)에서 최대 190분(273 mgCOD/L)까지 진행하였다.

K_S 는 식 (2-4)를 이용하여 비선형회귀분석(nonlinear regression)으로 추정하였고, OUR 값을 미생물 성장 데이터로 전환시키기 위해 식 (2-12)를 사용하였다. 각 기질농도에 대하여 미생물 성장 데이터를 표시하면 그 기울기가 μ 값이 되는데, μ 값을 기질농도에 대하여 표시하면 K_S 값이 결정된다.

결과 및 고찰

1. 미생물을 3, 5, 그리고 10%를 접종하여 측정한 평균 산소소모율은 각각의 경우에 대해 43, 55, 64 mgO₂/L/hr로 나타났으며 총산소소모량은 약 2,420, 2,800 그리고 2,980 mgO₂/L였다.
2. 기질 농도 변화에 따른 산소소모율과 총산소소모량 측정에서 기질의 농도는 각각 1,486, 337, 164 mgCOD/L였으며, 평균 산소소모율은 각각 4, 9, 42 mgO₂/L/hr, 그리고 총산소소모량은 160, 320, 1450 mgO₂/L로 나타났다.

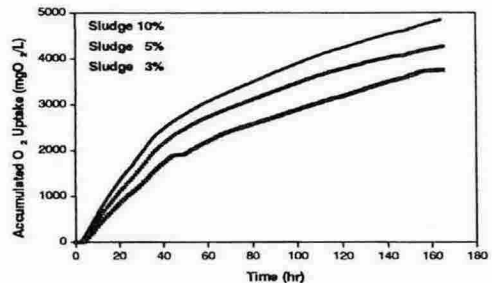
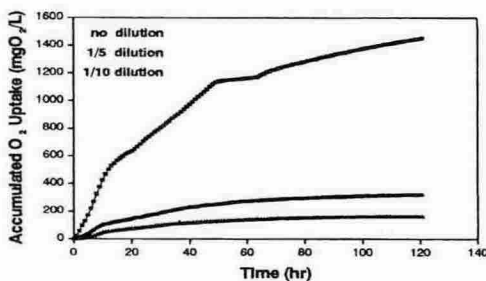


Figure 1. 미생물량 변화에 따른 AOU 값

Figure 2. 기질 농도에 따른 AOU의 변화

3. 미생물의 동력학계수 측정 실험에서는 최대비성장율(μ_{max}) 2.7day^{-1} , 수율계수 0.655, 그리고 반속도상수(K_s) 36.11 mg/L 로 측정되었다.

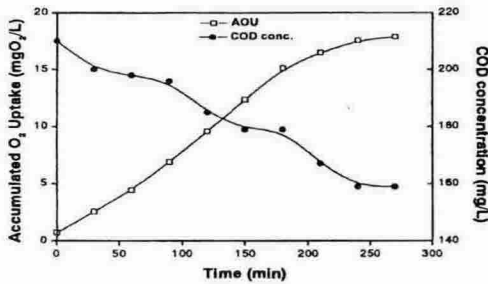


Figure 3. 미생물 생산계수(Y) 결정

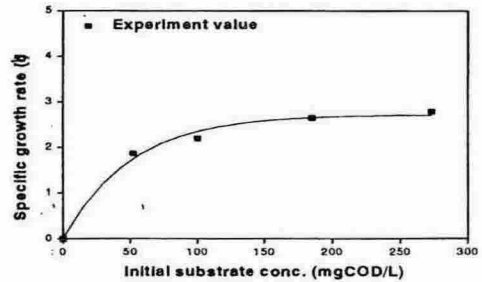


Figure 4. 미생물의 비성장율(μ) 결정

요약

본 연구에서는 활성슬러지법으로 처리하는 제약폐수를 대상으로 공정내 미생물의 산소소모량을 측정하고 미생물의 증식정도를 알아보기 위해 동력학 계수를 측정하였다. 미생물 접종량에 따른 산소소모율은 $43\sim 64\text{ mgO}_2/\text{hr}$ 이었고, 기질 농도 변화에 따른 산소소모율은 $4\sim 42\text{ mgO}_2/\text{L/hr}$ 로 나타났다. 또한 최대비성장율(μ_{max}), 수율계수, 그리고 반속도상수(K_s)는 각각 2.7day^{-1} , 0.655, 36.11 mg/L 로 측정되었다.

참고문헌

- [1] Nelson, P. O., Williamson, K. J., "Influence of dissolved oxygen on activated sludge viability"(1981), Jour. Water Poll. Control Fed., vol. 53, no.10, pp. 1533-1540
- [2] Henze, M., Grady, C.P.L. jr, Gujer, M., Marais, G.v.R., and Matsuo, T., "Activated Sludge No. 1"(1987), IAWPRC Scientific and Technical Report No. 1, IAWPRC, London.
- [3] Solfrank, U. and Gujer, W., "Simultaneous determination of oxygen uptake rate and oxygen transfer coefficient in activated sludge systems by an on-line method"(1990), Wat. Res., Vol. 24, pp. 725-732.
- [4] Kappler, J. and Gujer, W., "Estimation of kinetic parameters of heterotrophic biomass under aerobic conditions and characterization of wastewater of activated sludge modelling"(1992), Wat. Sci. Tech., vol. 25, pp. 125-139.
- [5] Libor novak, Luis Larrea and Jiri Wanner, "Estimation of maximum specific growth rate of heterotrophic and autotrophic biomass: A combined technique of mathematical modelling and batch cultivations"(1994), Wat. Sci. Tech., vol. 30, no. 11, pp. 171-180.
- [6] Chudoba, P., Capdeville, B. and Chudoba, J., "Explation of biological meaning of the S_0/X_0 ratio in batch cultivation"(1992), Wat. Sci. Tech, vol. 26, pp. 743-751