

폐활성오니 처리를 위한 고온·호기성 소화공정의 최적 용존산소농도

김영기, 최정우*
 환경대학교 화학공학과, 서강대학교 화학공학과*

Optimized Dissolved Oxygen Concentration of Thermophilic Aerobic Digestion for Waste Activated Sludge Treatment

Young-Kee Kim, Jeong-Woo Choi*

Dept. of Chemical Engineering, Hankyong National University, Dept. of Chemical Engineering, Sogang University*

서론

환경규제의 강화에 의한 생물학적 폐수처리의 질적, 양적 팽창에 따라 폐활성오니의 발생량은 급격한 증가를 보이고 있다. 폐활성오니는 생물학적 처리에 수반되는 필수불가결한 폐기물로 70%정도의 유기물로 구성되어있다 [1]. 이러한 폐활성오니 처리를 위한 방법으로는 생물학적 안정화방법이 가장 유용한 것으로 알려져 있으며, 일반적으로 중온·혐기성 소화방법이 광범위하게 사용되고 있다. 고온·호기성 소화공정은 전통적인 중온·호기성 소화공정에 비해 잠재적 병원성균의 살균, 소화조내 짧은 체류시간, 과부하나 독성물질 유입에 대한 저항력 등의 장점을 가지고 있어 효과적 폐활성오니 처리방법으로 최근 각광받고 있다 [2]. 본 연구진은 고온·호기성 소화방법의 처리효율 향상을 위하여 다양한 연구를 수행하였다 [3-5]. 기존 연구를 통하여 소화효율이 우수한 최적의 고온·호기성 균주 선정, 전처리 방법 개발, 첨가물에 의한 효소역가 향상 등을 수행하였다. 전처리는 폐활성오니를 구성하고 있는 박테리아의 세포막을 파괴함으로써 세포내 존재하는 유기물의 유출을 도우며, 주로 단백질과 탄수화물로 이루어진 유기물은 고온·호기성 균주에서 분비된 가수분해효소들에 의해 단분자로 가수분해가 이루어진다. 고분자량 유기물의 가수분해 반응은 전체소화공정의 속도제한단계로 전처리는 효소에 의한 가수분해반응이 용이하도록 유기물의 세포외 방출을 돕는다 [4]. 고온·호기성 소화의 활용성과 경제성을 높이기 위해서는 효율 향상을 위한 다양한 연구가 이루어져야할 것이다.

최대효율의 고온·호기성 소화를 위해서는 공정의 운전변수 최적화가 필수적이며 다른 연구자들에 의해 소화효율 향상을 위한 온도 및 체류시간의 최적화가 이루어졌다 [6]. 그러나 소화공정이 호기성의 생물학적 공정인 특성에 비추어 공정 효율의 변화에 매우 큰 영향을 줄 것으로 믿어지는 용존산소농도에 대한 의존성 연구는 수행되어 있지 못하다. 본 연구에서는 고온·호기성 소화공정의 경제적 운전을 위하여 용존산소농도변화에 따른 소화효율을 비교함으로써 최적 용존산소농도를 결정하였다.

실험 재료 및 방법

고온·호기성 소화를 위해 사용된 고온·호기성 균주인 *Bacillus stearothermophilus* (ATCC No. 31197)는 미국 ATCC에서 구입하였으며, 소화공정에 사용하기 위하여 100 mL의 배지를 포함한 250 mL 플라스크에서 배양하였다. 배지의 구성은 배지 1 L당 soluble starch 1 g, tryptone 0.5 g, yeast extract 0.5 g, MnCl₂ 0.05 g, KH₂PO₄ 0.1 g, CaCl₂ 0.05 g으로 이루어졌으며 pH는 5.0으로 조정하였다. 배양 온도와 교반속도는 55°C, 200 rpm을 사용하였다. 실험에 사용된 모든 시약은 reagent grade를 구입하여 사용하였다.

사용된 폐활성오니 시료는 정유공장 폐수처리장의 농축조에서 채취하였으며, 시료의 특성은 Table 1과 같다. 고온·호기성 소화는 5L 용량의 생물반응기(Bio G-12, Hanil R&D

Co., Seoul, Korea)에서 수행하였으며, 3L의 폐활성오니를 용존산소농도 0, 1, 2, 3, 4, 5 ppm에서 소화처리하여 효율을 비교하였다. 용존산소농도는 공기투입량과 교반속도 조절에 의해 자동적으로 유지되었으며, 폐활성오니 증발량을 최소화하기 위하여 증습공기를 사용하였다. 다른 생물반응기의 운전조건은 60°C의 온도, 7.0-8.0의 pH, 교반속도 300 rpm을 사용하였다. *B. stearotherophilus*는 배양된 플라스크로부터 15시간 경과된 대수성장단계 후기의 것을 취합하여 cellulose ester membrane filter (MFS membrane filter, pore size 0.2 μm , ADVANTEC Inc., Pleasanton, CA, USA)를 이용하여 농축하였다. 농축된 균주는 회분식 소화실험을 위해 3L의 폐활성오니에 1.0 g wet cell weight/L of waste activated sludge의 농도로 접종하였다. 각각의 회분식 소화실험은 90시간동안 수행되었다.

Table 1. Characteristics of waste activated sludge

| Parameter | TSS (g/L) | DOC (mg/L) |
|---------------|-----------|-------------|
| Initial value | 17.2-24.0 | 179.5-375.1 |

총부유물질(TSS) 농도는 시료를 미리 무게가 측정된 Whatman GF/C filter에 여과하여 90°C에서 24시간 건조후 무게를 측정하여 계산하였다. 용존유기탄소(DOC)의 측정은 시료를 10000 g로 원심분리하여 상등액의 용존유기탄소 농도를 TOC 분석기(TOC-5050A, Shimadzu Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다.

결과 및 토론

호기성 미생물공정의 효율은 용존산소농도에 의해서 크게 좌우된다. 따라서 공기투입량은 호기성 공정의 운전비용을 결정하는 매우 중요한 운전변수이다. 과잉의 산소조건에서는 생분해성 유기물의 완전한 산화를 유도하지만 산소제한을 통한 경제성도 매우 중요하므로 소화효율과 경제성을 최적화하기 위한 용존산소농도의 결정이 필요하다. 용존산소농도 0-5 ppm에서의 고온·호기성 소화공정 운전결과를 총부유물질농도와 용존유기탄소농도 변화로 Figure 1과 2에 표시하였다. TSS 제거 효율은 용존산소농도가 0 ppm인 조건에서 16.4%인데 비하여 1 ppm 이상의 용존산소농도에서 21.4-24.3%로 높은 처리효율을 관찰하였다. 용존산소농도가 1 ppm 이상으로 유지되는 조건에서의 TSS 제거효율 변화는 상대적으로 적은 것으로 관찰되었다. TSS 농도는 폐활성오니의 분해에 의해서 감소되지만 고온·호기성 미생물의 성장에 의해서는 증가되나 실험결과로부터 폐활성오니의 감소효과가 훨씬 크다는 것을 확인하였다.

Figure 2에서 DOC의 변화는 공기의 투입이 없는 경우 7.2% 제거에 불과하였으나 1 ppm 이상의 용존산소농도에서는 21.0-39.4%의 높은 제거효율을 나타내었다. 이 결과는 폐활성오니의 분해로 생성된 용존 유기물들이 1 ppm 이상의 용존산소농도가 유지될 경우 효과적으로 분해된다는 것을 보여주었다. 이러한 현상은 소화공정중의 pH 변화로도 설명이 가능하다. Figure 3에 나타난 소화공정중 pH의 시계열변화에서 공기의 투입이 없을 경우 고분자량의 유기물이 초기 소화단계에서 유기산계통으로 분해되므로써 급격한 pH의 저하를 나타내지만 이후 용존산소부족에 의한 유기산의 산화가 효과적으로 이루어지지 못하여 pH가 유지되는 현상을 관찰할 수 있었다. 하지만, 용존산소농도 1 ppm 이상의 소화공정 운전에서는 초기에 급격히 저하된 pH값이 점차적으로 상승하는 것을 확인할 수 있으며 이는 유기산의 무기물로의 완전산화가 이루어진 결과로 볼 수 있다.

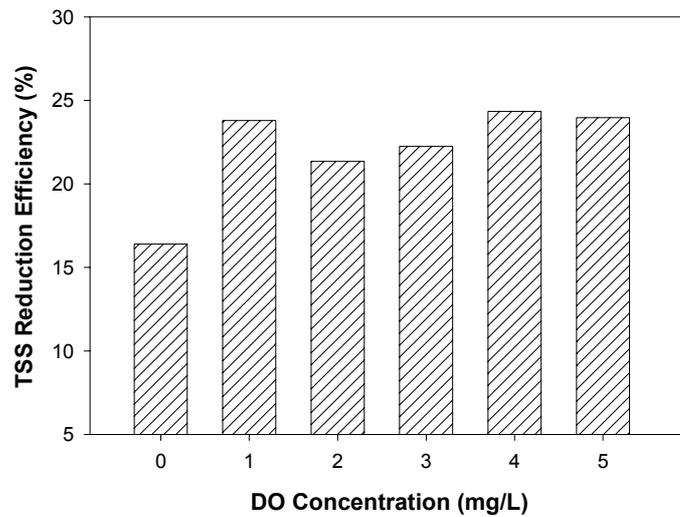


Figure 1. TSS reduction efficiencies in a DO concentration range of 0-5 ppm.

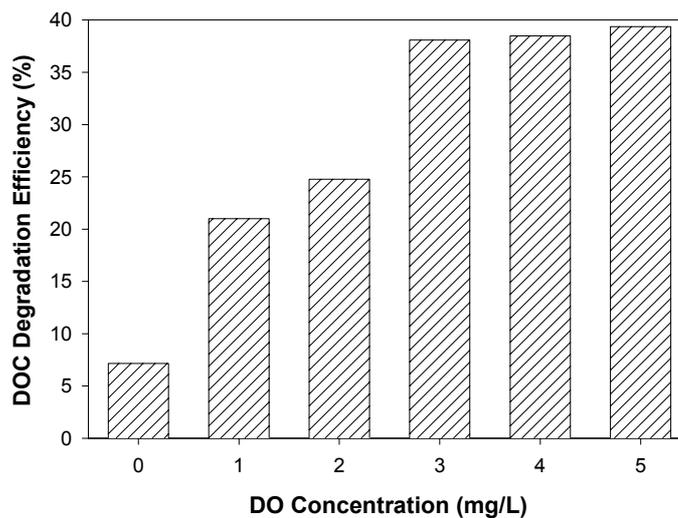


Figure 2. DOC degradation efficiencies in a DO concentration range of 0-5 ppm.

본 실험의 결과로부터 TSS 제거효율은 공기가 공급되지 않는 조건에 비해 공기공급조건에서 우수하며 용존산소농도가 1-5 ppm으로 변화함에 따라서는 용존산소농도에 따라 크게 변화되지 않는 것을 관찰하였다. 따라서 1 ppm의 용존산소농도가 TSS 분해효율면에서 가장 효과적임을 알았다. 반면에 DOC 제거효율은 용존산소농도가 0에서 3 ppm까지 용존산소농도 증가에 따라 지속적인 향상이 이루어졌다. 이는 3 ppm 정도의 용존산소농도에서 용존 유기탄소들의 완전한 무기물화가 이루어지는 것으로 보이며 용존산소농도 1-2 ppm의 산소제한 조건에서는 유기물의 완전한 무기물화가 이루어지지 못하고 유기산형태로 상당부분의 유기탄소가 남아있기 때문으로 여겨진다. 하지만 유기산형태의 유기물은 미생물에 의한 분해가 용이하고 분해속도도 매우 빠르므로 폐활성오니의 소화처리후 상등수를 분리하여 생물학적 폐수처리공정으로 순환시키므로써 용이하게 제거시킬 수 있어 전체공정에 크게 부담이 되지 않는다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 용존산소농도 유지를 위한 공기공급 비용이라는 경제적 측면과 TSS의 분해효율을 기준으로 고온·호기

성 소화공정을 위한 최적의 용존산소 농도를 1 ppm으로 결정하였다.

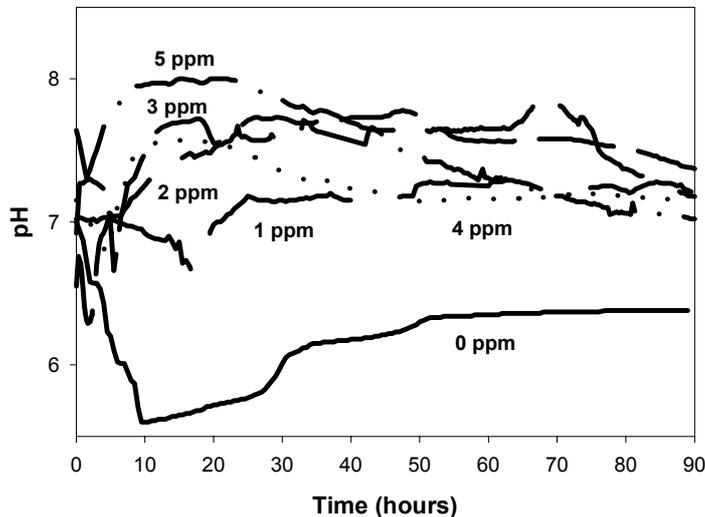


Figure 4. Time course of pH in thermophilic aerobic digestion in a DO concentration range of 0-5 ppm.

참고 문헌

1. Christopher, J. R. and Nicholas, J. N., "Pretreatment of Sewage Sludges", Appl. Biochem. Biotechnol. 57/58, 983-990 (1996).
2. Hamer, G. and Zwiefelhofer, H. P., "Aerobic Thermophilic Hygienisation Supplement to Anaerobic Mesophilic Waste Sludge Digestion", Chem. Eng. Res. Des., 64, 417-424 (1986).
3. Kim, Y. K., Eom, Y. S., Oh, B. K., Lee, W. H. and Choi, J. W., "Application of Thermophilic Aerobic Digestion Process to Industrial Waste Activated Sludge Treatment", J. Microbiol. Biotechnol., 11(4), 570-576 (2001).
4. Kim, Y. K., Kwak, M. S., Lee, W. H., Lee, S. B. and Choi, J. W., "Effects of Pretreatments on Thermophilic Aerobic Digestion", J. Environ. Eng., 128(8), 755-763 (2002).
5. Kim, Y. K., Bae, J. H., Oh, B. K., Lee, W. H. and Choi, J. W., "Enhancement of Proteolytic Enzyme Activity Excreted from *Bacillus stearothermophilus* for Thermophilic Aerobic Digestion Process", Bioresource Technol., 82(2), 157-164 (2002).
6. Cheunbarn, T. and Pagilla, K. R., "Temperature and SRI Effects on Aerobic Thermophilic Sludge Treatment", J. Environ. Eng., 125, 626-629 (1999).