

## 돈분 폐수 처리를 위한 입상 슬러지의 특성 연구

이성택 · 주홍신\* · 김명겸 · 윤성일

한국과학기술원 생물과학과 환경미생물연구실

\*(주) SK 대덕기술원 생명과학연구팀

### I. 서론

돈분 폐수는 수질 오염 부하량이 매우 크기 때문에 미처리 상태로 수계에 방류되면 자연 하천과 지하수의 수질을 급속히 악화시키고 호소의 부영양화를 초래한다. 돈분 폐수의 처리 방법 중에서 생물학적 혐기성 처리는 고농도 폐수를 적은 비용으로 자연 친화적으로 처리한다는 이점이 있다. 본 연구에서는 휘발성 유기산과 암모니아가 고농도로 존재하는 돈분 폐수의 입상 슬러지를 이용한 혐기성 처리를 위한 기본 연구를 수행하였다.

### II. 문헌 고찰 및 이론 연구

돈분 폐수의 혐기성 처리에 대하여는 여러 형태의 반응기에 대한 연구가 진행되었을 뿐 식종 되는 슬러지의 형태에 따른 영향을 검토한 연구는 거의 없는 실정이다<sup>1,2)</sup>. 특히, Lo 등<sup>3)</sup>은 rope-matrix를 넣은 UASB 반응기에 슬러지를 식종하지 않고 돈분 폐수를 혐기성 처리하여 약 57%의 유기물 제거를 할 수 있다고 하였지만, Goodwin 등<sup>4)</sup>은 UASB 반응기에 입상 슬러지의 식종이 반드시 필요하다고 보고하였다.

돈분 폐수 중에 존재하는 휘발성 유기산들 (VFA)은 전형적인 악취 물질인 동시에 높은 BOD, COD의 원인으로 알려져 있고<sup>5)</sup>, 높은 농도의 암모니아성 질소는 혐기성 소화에서 저해 물질로 작용한다고 보고되었다<sup>6)</sup>. 반응기 운전과정에서 형성된 입상 슬러지를 접종할 경우에는 입상 슬러지가 손상 없이 오래 유지되며<sup>7)</sup> 순화기간이 짧아지고 유기물 제거 효율이 향상된다는 보고가 있다<sup>4)</sup>.

### III. 실험방법

#### 1. 실험 재료의 채취 및 성분 분석

본 실험에서 사용된 돈분 폐수는 충남 부여군 석정면의 한 돈사에서 채취하였다. 돈사에서 발생된 돈분 폐수는 축사 옆에 있는 저류조에 유입되어 저장된 것이었는데, 저류조의 돈분 폐수의 상등액만을 채취하여 4℃에서 냉장 보관되면서 실험에 사용하였다. 입상 슬러지 (Granule)는 OB맥주 구미 공장의 UASB 반응기에서 채취하였다.

#### 2. 입상 슬러지의 분해능 실험

입상 슬러지의 유기산 분해능을 알아보기 위하여 유기산 minimal medium (Shelton and Tiedje, 1984)<sup>8)</sup>을 사용하였다. 슬러지의 휘발성 고형물 (VS)의 농도를 측정하여 10,000 ppm 이 되도록 조정하고, 6,000 rpm에서 15분간 원심분리 후 상등액을 버리고 유기산 minimal

---

대표연구자: 이성택; 대전광역시 유성구 구성동 373-1 한국과학기술원 생물과학과 환경미생물연구실; T.042-869-2617; Fax.042-863-5617; e\_stlee@cais.kaist.ac.kr

medium으로 현탁하여 volume을 100ml로 맞추어서 125ml 혈청병에 분주하였다. 분주 후, 혈청병 내부에 질소 가스를 20분간 통과시켜 용존 산소를 제거하고, 35℃에서 정치 배양하였다. 단일 carbon source로 33mM의 acetic acid를 첨가한 minimal medium에서 온도, pH, 암화암모늄의 농도를 변화시켰다.

#### 4. UASB 반응기 제작 및 운전

본 실험에 사용된 UASB 반응기의 높이는 82cm, 내부 직경은 9cm, 유효 부피는 7L이었다. UASB 반응기의 운전은 회분식 실험을 통해 얻은 최적 조건에서 이루어졌다. 온도를 40℃로 유지하고 pH 7-8 사이로 특별한 재조정 없이 돈분 폐수를 사용하였다. 입상 슬러지의 식중도 30%(v/v)로 하였고, 돈분 폐수는 8배, 나중에는 4배 희석하여 사용하였다. HRT는 처음에 5일로 시작하여, 25일 후에는 3, 5, 7일로 변화 시켰다.

#### 5. 분석방법

유기산의 정량은 Gas chromatography를 이용하였다. COD<sub>Cr</sub> 측정은 Lange method를 사용하였다. 환원당의 측정은 DNS법을 사용하였다. 암모니아 농도는 암모니아 측정용 전극(Orion Co.)을 사용하였다. 중금속 농도는 Perkin Elmer 3100 Atomic absorption spectrophotometer를 사용하였다.

### IV. 실험 결과

#### 1. 입상 슬러지의 분해능 실험

온도가 증가하면서 입상 슬러지의 분해능이 증가하여 40℃에서 가장 높은 분해능을 보였다 (Fig. 1) PH가 6에서 8 사이일 때, 입상 슬러지의 acetate 분해능은 거의 차이가 없었고 (Fig 2), pH가 9 이상이 되었을 때 입상 슬러지는 acetate를 분해하지 못하였다. pH가 6일 때 분해능은 떨어지지 않았으나 입상 슬러지가 부풀어 올라 침강 속도가 떨어지는 것이 관찰되었다. 암모니아 농도가 증가하면서 입상 슬러지의 acetate 분해능이 감소하는 경향이 나타났는데 (Fig 3) 암모니아 농도가 약 3,000mg/l 이상일 때 분해능이 감소하기 시작하여, 암모니아 농도가 6,000mg/l 일 때 acetate 분해능이 크게 저해되었다.

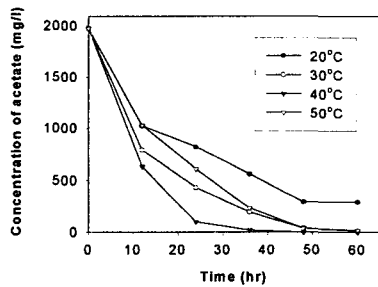


Figure 1. Effect of temperature on the acetate removal. Experiment was done at pH 7 and anaerobic condition.

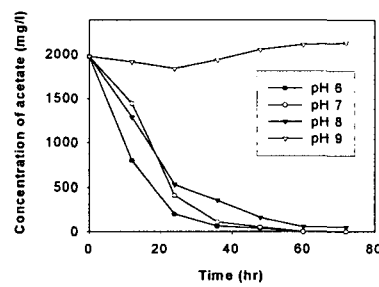


Figure 2. Effect of pH on the acetate removal. Experiment was done at 35°C and anaerobic condition.

희석하지 않은 돈분 폐수나 1/2로 희석한 돈분 폐수는 전혀 sCOD가 제거되지 않았다 (Fig 4). 1/3이하로 희석하여 sCOD가 10,000mg/l 이하일 때 빠른 속도로 sCOD가 제거되는 것을 볼 수 있었다. 돈분 폐수를 많이 희석할수록 sCOD가 빠르게 제거되는 것을 볼 수 있

었는데 일정량의 sCOD는 시간이 지나도 더 이상 제거되지 못하는 난분해성 물질로 남았다.

### 3. 입상 슬러지를 이용한 UASB의 운전

Fed-batch 실험에서 약 125시간 후에 4,000mg/l의 sCOD가 90% 제거되는 것을 확인하였다. (Fig 5). 입상 슬러지를 30%(v/v) 식중환 UASB반응기로 4,000mg/l의 돈분 폐수 (1/8희석)를 20일간 처리하였다. (Fig 6) 이 때 HRT는 5day이었다. 그 결과 유출수의 sCOD는 700mg/l이었고 이것은 약 83%의 제거 효율을 보였다. 20일 후에 유입수의 sCOD 농도를 8,000mg/l (1/4희석)으로 2배 증가시켰다. 그 결과 유출수의 sCOD 농도가 약 3,000mg/l 정도로 나타났다. 이것은 약 62%의 제거효율로서 유입되는 돈분 폐수의 sCOD 농도가 높아지면 sCOD 제거 효율이 감소되는 것을 나타내었다. sCOD 농도가 8,000mg/l 일 때, HRT도 7day로 늘어나야 안정되었다.

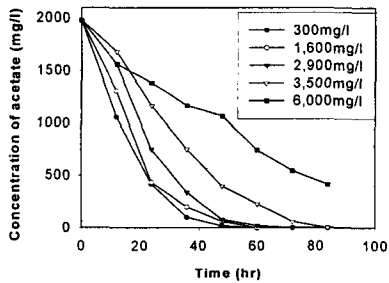


Figure 3. Effect of ammonia on the acetate removal. Experiment was done at pH 7, 37°C and anaerobic condition.

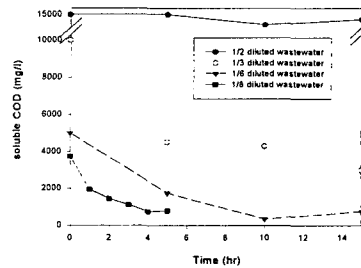


Figure 4. Soluble COD removal in variously diluted swine wastewater. Experiment was done at pH 7, 37°C and anaerobic condition.

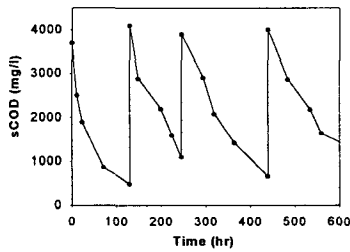


Figure 5. Removal of sCOD in 1/8 diluted swine wastewater by granule. Experiment was done at pH 7, 37°C and anaerobic fed-batch system.

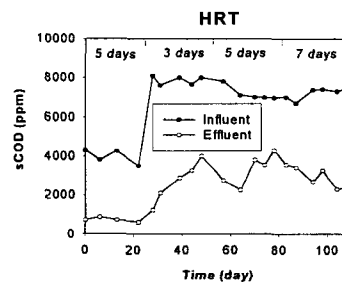


Figure 6. sCOD removal in hybrid UASB reactor.

### V. 고찰

55°C 이상의 고온에서는 medium내의 acetate 농도가 오히려 증가하였고 medium에 존재하지 않았던 propionate, butyrate가 새로이 생성되었다. 이것은 입상 슬러지 내부의 각종 고분자물질이 고온의 열에 의하여 분해된 것이라 여겨졌다. 돈분 폐수의 pH가 8로서 혐기성인 것은 돈분 폐수 내에 암모니아가 고농도(6,500mg/l)로 존재하기 때문이다. 돈분 폐수 내

의 암모니아 농도가 6,000 mg/l임을 감안할 때 입상 슬러지를 이용한 돈분 폐수의 처리 시 돈분 폐수 내에 존재하는 암모니아가 입상 슬러지의 유기산 분해에 저해를 줄 것으로 예상되었다.

반응기의 운전 결과는 기존의 식종하지 않은 UASB반응기의 돈분 폐수 처리 효율 (유입 수 sCOD 10,000mg/l, HRT 7day, 57% 처리 효율) (Lo 등, 1994)과 비교했을 때, 비슷한 효율을 보였다. 약 8주간의 순화기간이 필요했던 기존의 UASB에 비해 특별한 순화 기간이 필요하지 않은 장점이 있었다. UASB반응기 내에서 입상 슬러지는 wash-out되지 않고 잘 보유 되어 있었으며, 반응기의 높이별로 sCOD를 측정한 결과, 반응기 내에서 sCOD 제거 반응은 대부분 입상 슬러지층에서 일어났음을 확인하였다. 이 때 유기산의 제거 효율은 50% 이상이었다. 이상의 결과로 보아 입상 슬러지의 식종이 돈분 폐수를 처리하는 UASB 반응기의 운전 성능 향상에 필수적인 것으로 사료되었다.

## VI. 결론

1. 입상 슬러지는 40℃, pH 6-8에서 가장 좋은 acetate 분해능을 보였다.
2. 폐수 내에 암모니아의 농도가 증가하면서 입상 슬러지의 acetate 분해능이 저해를 받았는데, 6,000mg/l 이상의 암모니아성 질소가 존재할 때 분해능이 심각하게 저해를 받았다. 돈분 폐수 내에 존재하는 암모니아성 질소의 농도는 6,000mg/l 이상이므로 입상 슬러지를 이용한 돈분 폐수의 혐기성 처리 시 심각한 저해가 예상되었다.
3. 회석된 돈분 폐수를 입상 슬러지로 처리한 결과 유기산이 완전히 제거되었고, UASB 운전 결과 순화 기간 없이 80% 이상의 sCOD분해능을 나타내었다.

## VI. 참고문헌

1. Van Velsen, A. F. M., Anaerobic digestion of piggery waste. 2. Start-up procedure, *Neth. J. Agric. Sci.*, **17**, 26~30 (1979).
2. Zeeman, G., Sutter, K., Vens, T., Koster, M. and Wellinger, A., Psychrophilic digestion of dairy cattle and pig manure: Start-up procedures of batch, fed batch and CSTR- type digesters, *Biol. Wastes*, **26**, 15~31 (1988).
3. Lo, K. V., Liao, P. H., and Gao, Y. C., Anaerobic treatment of swine wastewater using hybrid UASB reactors, *Bioresource Technol.*, **47**, 153~157 (1994).
4. Goodwin, J. A. S., Wase, D. A. J., and Forster, C. F., Pre-granulated seeds for UASB reactors: How necessary are they?, *Bioresource Technol.*, **41**, 71~79 (1992)
5. Lee, M. G. and Kobayashi, M., Deodorization of swine sewage by addition of a phototrophic bacterium, *Rhodospseudomonas capsulata*, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **38**, 767~770 (1992).
6. Bhattacharya, S. K. and Parkin, G. F., The effect of ammonia on methane fermentation processes, *J. WPCF.*, **61**, 55~59 (1989).
7. 김경훈, 석형기, 김정민, 축산폐수 처리기술, *기술현대*, **15**, 38~48 (1995).
8. Shelton, D. R. and Tiedje, J. M., General Method for determining anaerobic biodegradation potential, *Appl. Environ. Microbiol.* **47**, 850~857 (1984).