

2단 혐기성소화공정에서 반송변화를 통한 Bio-gas 생산량 증대 및 감량화 Change of Sludge-Recycle Ratio for the Bio-gas Production Improvement and Minimization with Two-Stage Anaerobic Digestion

이태우^{1†}, 양해영², 도중호³
Tae-Woo Lee^{1†}, Hae-Young Yang², Choong-Ho Do³

<Abstract>

This study have cross checked the change of internal sludge-recycle in Full-scale Anaerobic -Digestion, and researched about not only the improvement of Bio-gas production from the digested sludge but also the efficient method of sludge minimization. Ultimate aim of the study is to reduce the amount of sludge by the improved efficiency of contact with the organic-matter and the microbes in Anaerobic-Digestion. The sludge-recycle fluidized sludge layer and raised the activity of the sludge, The sludge-recycle ratio of optimum was 500%, VS and COD removal ratio respectively appeared with 67.8% and 70.4%. Through these result of this study, it may be positive view to treat waste sludge by the sludge-recycle ratio in terms of minimization and circulation of resources.

Keywords : Loop density, Courses density, Wales density, Loop length

1. 서 론

하수슬러지의 안정화 및 감량화를 위한 공정으로는 혐기성소화 및 호기성소화 공정을 적용하였으나, 혐기성 소화조의 경우 반응조 소화시간이 길며, 유기성 슬러지 감량화율이 30~40% 정도이며, 혐기성미생물 배양 조건이 복잡하고, 소화조 운영상 어려움이 많았다.

특히 하수슬러지의 경우 계절적으로 슬러지 성장과 발생량 변화가 크며, 기존의 소화조의 경우 CMAS(Complete Mixed Activated Sludge) 방식으로 우수한 미생물 배양이 어려웠으며, 2단 소화조의 경우 산 생성 단계와 메탄가스 생

성단계로 구분하여 운영 하였으나, 효율적인 반응조 운영이 어려웠다.

따라서 혐기성 2단소화조를 내부 슬러지 반송변화를 통하여 Bio-Gas 생산량을 향상시켜 슬러지 감량화를 증대 하기 위해 회분식 실험이 수행되었고, 이후 Full-Scale에서의 적용운전 평가를 시행 하였다.

2. 본 론

2.1 반송변화에 의한 Bio-gas 생산

본 연구에 사용된 실험 장치는 유효용적 10L 크기의 2단 반응조로 3기를 실험에 사용하였고

[†]정회원, 교신저자, 대구환경시설공단

E-mail : ion094@hanmail.net

²정회원, 영남이공대학 환경화학공학부, 겸임교수, 工博

³정회원, 이노우에코리아(주), 碩士

¹Corresponding Author, Daegu Environ. Installations Corp.

²School of Chemical Industry, Yeungnam College of Science & Technology, Adjunct Prof., Ph. D.

³Korea Engineering Consultants Corp., M.D.

연속 반응조 운전은 중온소화(35±1℃)로 운영하였고, 초기 식종을 위하여 혐기성소화슬러지를 사용 하였으며 pH 및 온도는 pH meter와 온도 센스를 이용하여 조절 하였고 슬러지 층의 온도유지를 위해 예열기를 사용하였다.

본 연구에 사용된 슬러지는 D시 B하수처리장에서 채취하였으며 1차슬러지는 협잡물을 제거하기 위하여 2.36mm의 메쉬로 여과하고, 일정한 4℃에서 냉장 보관 하였으며 슬러지성상 및 초기 식종슬러지 성상은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Compositions Waste Sludge

Parameter	pH	TS	VS	TCOD	VA	Alk
Feed sludge	6.72	18,350	14,010	27,100	-	-
Seed sludge	6.97	16,130	10,110	21,580	158	1,985

Note) unit : mg/L

1차 슬러지의 주입은 400ml/일 정량주입펌프를 이용하여 4회에 걸쳐 유입시켰으며, 유입슬러지량 대비 하부 침전슬러지는 90%, 상등수는 10% 인출 하였고 소화슬러지를 2단에서 1단으로 순환하게 하였다. 또한 회분식 실험후 Full-scale에서도 동일한 방법으로 적용운전 평가를 하였다.

2.2 혐기성소화공정의 운영 및 분석방법

각 반응조는 소화슬러지의 반응변화를 통한 혐기성소화조의 처리효율 비교조건으로 2단에서 1단으로 반응펌프를 설치하여 내부순환이 가능하도록 하여 유입슬러지 대비 반응율(반송슬러지량/유입슬러지량)을 0%(Mode-A), 50%(Mode-B), 1,000%(Mode-C)의 변화를 주어 운전 하였다.

소화조 운전상태를 평가하기 위하여 소화조 내용물 및 발생가스를 1회/일 채취하여 pH, VA, Alkalinity, TS, VS, TCOD 등을 분석 하였고 발생가스도 정량하였다. 소화조 유입슬러지, 반출슬러지, 상등수에 대하여 pH, TS, VS, TCOD등을 분석하였으며, 분석방법은 Standard Methods에 준하여 분석 하였다.

또한, 각 Mode(반송율)별로 실험분석을 실행

하였으며, Lab-scale에서는 48일간 시행 하였고 실험분석주기는 3회/주, Full-scale에서는 1년주기로 2년간 시행하였고 실험분석 주기는 1회/주 실시하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 슬러지의 TCOD 및 VS변화

Mode-A,B,C 모두 식종후 20일정도부터 각 반응조가 안정화 되었으며 각 반응율 별로 다소 차이를 나타내었다. TCOD 제거량 추이변화 중 Mode-A의 경우 24.0%정도, Mode-B의 경우 26.6%정도로 A와 비슷하게 나타났고, Mode-C의 경우 30일 전.후부터 30%이상의 급격한 증가 추세로 나타났다. VS제거량 변화에서는 Mode-A의 경우 14.7%정도로 초기 제거율에 비해 높은 제거율을 보이지 않았지만 Mode-B와 C의 경우 23.4%, 30.8%정도로 반응율이 증가 할수록 높은 제거율을 보였고, 각 반응별로 반출되는 슬러지 및 상등수의 성분은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Compositions Waste Sludge & Effluent

Parameter	Wasted Sludge			Effluent		소화효율	가스생산량
	TS	VS	TCOD	TS	TCOD		
Mode-A	19,560	12,691	22,984	6,247	8,188	40.5%	706
Mode-B	21,547	11,623	21,644	4,535	4,985	64.3%	897
Mode-C	21,006	10,879	21,167	4,331	5,444	67.4%	966

3.2 가스발생량 및 SRT변화

초기 식종 후 20여일 경과 후부터 가스발생량도 Mode-A에 비해 B,C가 급격하게 증가추세를 나타 내었으며, VS제거량 추이 변화와 비슷한 경향을 나타내었다. 슬러지의 반송으로 인하여 고형물체류시간이 증가함에 따라 유기물이 분해되어 bio-gas의 전환으로 나타났으며, Fig. 1, 2에 나타내었듯이 반응율이 증가할 수록 bio-gas생산량의 증가로 나타나 가스생산량 증가 되었고, 또한 슬러지의 반송으로 인한 지속적인 슬러지의 체류로 소화조내 슬러지고형물의 SRT가 증가되는 요인으로 나타났다.

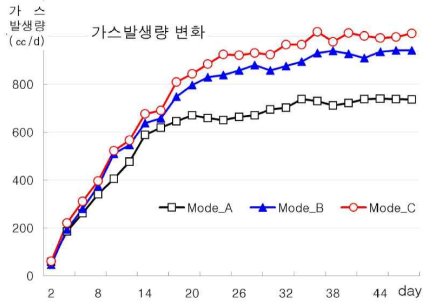


Fig. 1. Bio-gas production of lab-scale.

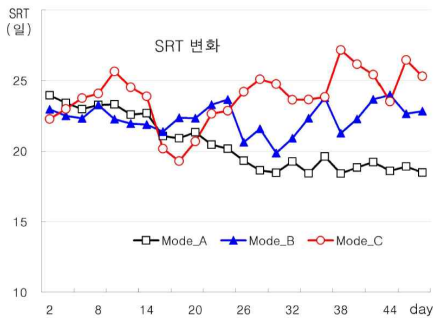


Fig. 4. Sludge SRT of full-scale.

3.4 COD 물질수지 및 Bio-Gas 발생량 변화

Fig. 5는 Lab-scale에서 각 Mode별 COD의 물질수지를 나타낸 것으로 COD제거는 Mode-A에서 20.6%, Mode-B에서 26.3%, Mode-C에서 27.7%로 나타났으며, 제거효율이 가장 높은 것은 반응율이 1,000%, SRT가 23.8일 일때 가스발생량이 0.219 LCH₄/gCOD이었고 총 COD 제거량은 27.7%가 메탄가스로 전환되어 소비되었다고 판단할 수 있다.

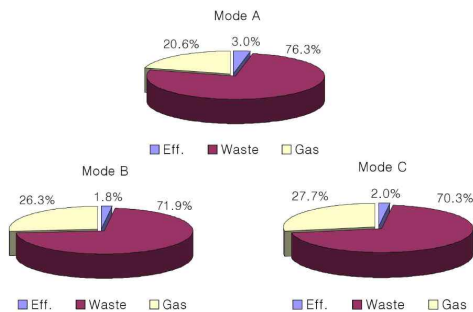


Fig. 5. COD mass balance of each mode from lab-scale.

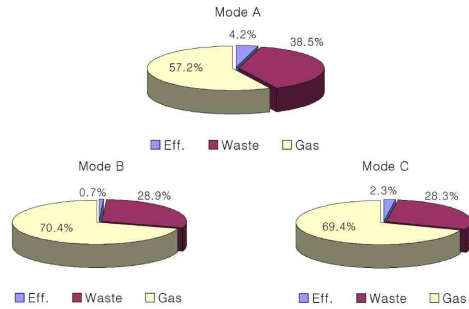


Fig. 6. COD mass balance of each mode from Full-scale

Fig. 6은 Full-scale에서 각 Mode별 COD의 물질수지를 나타낸 것으로 COD제거는 Mode-A에서 57.2%, Mode-B에서 70.4%, Mode-C에서 69.4%로 나타났으며, 제거효율이 가장 높은 것은 반응율이 500%, SRT가 36일 일때 가스발생량이 0.227 m³CH₄/kgCOD이었고 총 COD 제거량은 70.4%가 메탄가스로 전환되어 소비되었다고 판단할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 하수슬러지의 2단 혐기성 소화공정에 있어서 반응변화를 통한 슬러지의 Bio-Gas 생산량 증대 및 슬러지 감량화로 실험 규모 혐기성소화공정에 있어서 소화조 운영의 효율성을 극대화하기 위한 비교조건으로 다음과 같은 결과를 도출 하였다.

1. Lab test를 검증을 통해 Full-scale 2단 혐기성소화로 운전한 결과, VS와 COD 물질수지 분석시 슬러지 반응율이 500%, SRT가 36 d 일때, 가스발생량은 0.23 m³ CH₄/kgCOD로 최적의 효율로 나타났고, 물질수지에서 확인할 수 있는 바와 같이 총 유입 COD의 약 70%가 메탄생성으로 소비되었다.
2. 슬러지고형물 체류시간인 SRT의 경우 Lab-scale에서는 SRT는 많은 차이를 나타내지 않았지만, Full-scale에서는 계절적인 변수 등으로 슬러지의 성상이 변하는 하절기의 경우 우수한 미생물배양이 어려우나 소화조내 유입슬러지의 부하 조정 및 반응을 통한 부하량 조정이 요구된다. 특히 하절기의 SRT가 낮아지는 우려가 있어 최소한 20일

이상의 SRT가 요구된다.

본 연구결과로부터 혐기성소화공정에서 반송변화를 통한 슬러지 고형물 감소와 소화효율 증가를 달성할 수 있었으며 이로 인하여 폐기물처리비용의 감소와 Bio-gas의 대체에너지 확보로 경제적인 효과를 기대할 수 있을 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 고광백 외, *폐수처리공학II*, 동화기술교역, pp 1,445-1,503. (2004).
- 2) 민경석, 안영호, 고효율 UASB반응조에 있어서 반송에 의한 입상슬러지의 특성 변화, *한국물환경 학회지*, 12(4), 333, (1996).
- 3) 송영채, 홍승모, 박영재, 정윤진, 상향류식 혐기성공정에서 슬러지의 소화특성 및 거동, *대한환경학회지*, 18(2), 139, (1996).
- 4) 정동일, 이기철, 서윤수, 슬러지반송을 이용한 혐기성소화조의 효율, *J.KSWPRC Mar*, 4(1), 45, (1988).
- 5) Durate, A.C., Anderson, G.K., Inhibition modeling in anaerobic digestion, *Water Sci. Tech.*, 14, 749, (1982).
- 6) Joseph F . Malina, Jr . Ph.D., P .E., D.E.E. Frederick G. Pohland, Ph .D., P.E., D.E.E., Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes, *Technomic publishing Company, Inc.*, Vol. 7, (1992).
- 7) McCarty, P.L. Anaerobic Waste Treatment Fundamentals, Public Work. 95, 11, 12, (1964).
- 8) McInerney, M. J., M. P . Bryant, R. B. Hespell & J. W. Costerton., *Syntrophomonas wolfei* gen. nov. sp. nov., & Anaerobic, syntrophic, Fatty-Acid Oxidizing Bacterium, *Applied Environmental Microbiology*, Vol. 41, 1029, (1981).

(접수:2012.05.31, 수정:2012.07.18, 게재확정:2012.08.24)