

슬러지反應器에서 팔加工廢水의 嫌氣性 處理

安載東 · 金載禹 · 洪宗淳*

建國大學校 化學工學科 · 東南保健專門大學 衛生科

Anaerobic treatment of red-bean processing wastewater in a sludge bed reactor

Jae-Dong Ahn, Jae-Woo Kim and Jong-Soon Hong*

Department of Chemical Engineering, Kon Kuk University
*Department of Sanitary Science, Dong Nam Health Junior College**

Abstract

Anaerobic treatment of wastewater of the red-bean processing industry was carried out and discussed an anaerobic sludge bed reactor(ASBR) as a preliminary study to evaluate applicability of given processes.

The dimension of reactor were same as 0.09m-ID×1.5m-height. The type of substrate and the hydraulic retention time(HRT) were considered as experimental variables. The synthetic wastewater with glucose in the laboratory, the wastewater from the red bean processing industry mixed with synthetic wastewater with variation of mixing percent were fed as substrate. The hydraulic retention time was changed from one day to five days. The gas production, the methane content in produced gas, efficiencies of COD removal and SS removal were evaluated as principal characteristics.

With synthetic wastewater as a substrate and at a hydraulic retention time of one day, characteristics of ASBR was the gas production(12ℓ/day), the methane content of produced gas(60%), the efficiency of COD removal(92%) and SS removal(30%).

With the real wastewater and at a hydraulic retention time of one day, the gas production and the efficiency of COD removal of the ASBR decreased with the proportion of real waste-

water. The gas production and the efficiency of COD removal with real wastewater only was decreased to 70% and 87% of those with synthetic wastewater only, respectively. However, the methane content in produced gas and the efficiency of SS removal with real wastewater only was increased significantly by 1.25 times and two times of those with synthetic wastewater only, respectively. However, the methane content in produced gas and the efficiency of SS removal with real wastewater only was increased significantly by 1.25 times and two times of those with synthetic wastewater only, respectively.

With real wastewater only as a substrate in the ASBR, the gas production was decreased with an increase of HRT, but the efficiency of COD removal increased with HRT, like the usual trend reported.

As a conclusion, the wastewater of the red-bean processing industry could be treated by anaerobic digestion successfully in the ASBR.

· Key words : anaerobic treatment, sludge bed reactor, red-bean processing wastewater, mixing wastewater, synthetic wastewater.

I. 서 론

도시폐수, 산업폐수, 축산폐기물 및 분뇨 등과 같은 biomass를 처리하는 방법에는 열화학적, 생물화학적, 광생물학적 방법[1] 등이 있다. 이중 생물화학적 방법은 혐기성 메탄박테리아를 이용하여 biomass를 biogas인 CH₄과 CO₂가스로 전환시키는 방법이다. 이렇게 얻은 biogas는 메탄함량이 40% 이상시 에너지원으로 이용이 가능한 것으로 알려져 있다[2].

혐기성처리는 호기성처리에 비해 산소공급용 동력이 불필요하고 잉여오니발생량도 적으며 고농도 유기폐수에서 저농도 유기폐수까지 적용이 가능하다[3]. 특히 유기물 부하율이 2kg/m³·day일때 유기물농도가 4,000mg/l 이상일 경우 혐기성처리가 호기성처리보다 경제적인 것으로 보고하였다[4].

혐기성소화란 유기물질의 안정화를 위해 유

리산소가 없는 상태에서 유기물질을 CH₄과 CO₂, NH₃ 등의 최종 무기산화물로 전환시키는 생물화학적인 공정이다. 순수 메탄가스의 발열량은 약 9,000Kcal/m³이고, 소화가스는 약 5,400Kcal/m³(60% CH₄)이며, 도시가스의 발열량은 4,000Kcal/m³이므로 소화가스는 연료로서 이용이 가능하다[5, 6]. 그러나 소화가스의 액화는 고압, 고에너지를 필요로 하며 액화된 가스내에 CO₂를 함유하기 때문에 경제성이 맞지 않아 액화공정은 실용성이 약하다. 그러나 소화가스는 가온, 가열 및 냉각용, 동력용 연료로 직접 이용이 가능하며 열효율은 가온, 가열용이 60~70%, 냉각 및 동력용이 30%이하인 것으로 알려져 있다[7].

슬러지반응기는 1979년 Lettinga[7]에 의해 개발되었으며, 이 공법의 특징은 담체를 사용하지 않고, 침강성이 우수한 granule상 플록을 형성시켜서 반응조내에 고농도의 미생물

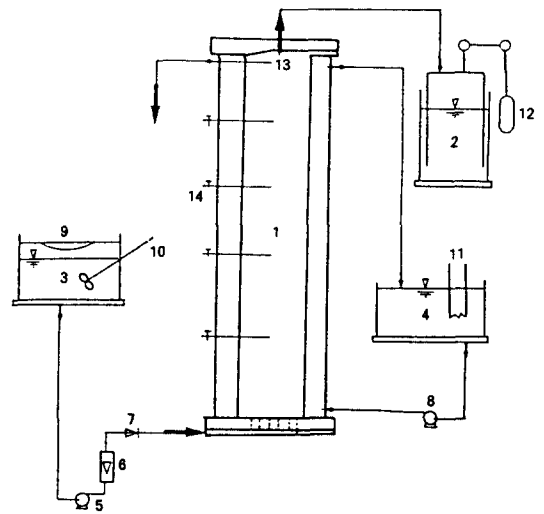
량을 유지시키는 점이다[4, 7, 8]. 슬러지 입상화의 환경적인 조건은 온도, pH(6.5~6.8), 필수영양분의 상태, 폐수의 조성, 양이온의 농도 등이 있으며[9], 입상화된 미생물층은 전체 반응기부피의 약 30%를 차지하고 있으며 유기물의 80% 이상이 이 층에서 처리된다. 또한 기계적 교반이나 여재가 필요없고, 고부하로 유입되는 유기성폐수의 처리와 부유고형물질의 농도가 낮은 유입수의 처리에 매우 효과적인 처리방식이다.

슬러지반응기를 이용하여 Paper industry waste, Alcohol distillery, Brewery wastewater, Molasses, Coffee waste, Distillery wastewater 등을 처리하였지만 팔가공폐수 (red-bean processing wastewater)의 처리에 관한 연구가 미비하였다. 따라서 본 연구에서는 슬러지반응기를 이용하여 식품가공공장의 팔가공폐수를 대상으로 혐기성처리하여 혐기성소화의 가능성 및 산업화의 가능성을 살펴보고자 하였다.

II. 실험

1. 실험장치

본 실험의 공정은 Fig. 1과 같으며 주반응기는 내경 9cm, 높이 150cm인 아크릴수지 원통이고, 온도유지를 위해 외부에 water jacket을 설치하였다. 반응기의 온도는 36°C로 일정하게 유지되었으며 반응기의 표면은 단열 및 햇빛의 차단을 위해 단열재로 단열되었다. 반응기내 일정한 미생물층을 유지하기 위하여 침강조를 설치하여 미생물을 재순환하였다. 또한 Feed tank에 자외선 램프를 설치하여 폐수의 성분변화를 방지하였으며, 교반기



- | | |
|------------------|--------------------------|
| 1. Reactor | 8. Water pump |
| 2. Gas collector | 9. Ultraviolet lamp |
| 3. Feed tank | 10. Stirrer |
| 4. Water bath | 11. Heater |
| 5. Micropump | 12. Counter weight |
| 6. Flowmeter | 13. Gas-liquid separator |
| 7. Valve | 14. Sample port |

Fig. 1. Schematic diagram of the anaerobic reactor.

로 균일하게 교반된 폐수는 정량펌프에 의해 반응기의 하단에서 상단으로 주입되었다. 이때 생성된 biogas는 반응기상단의 U자관을 통하여 포화식염수로 채워진 포집기에 포집되어 측정되었다.

2. 실험방법

종균은 서울시 종말처리장 메탄발효조의 소화 슬러지였으며, 슬러지내의 부유물을 제거한 후 폭기가 일어나지 않도록 집중하여 순응시켰다.

본 실험은 합성폐수 및 혼합폐수의 적응실험을 행한 후 팔가공공장폐수를 주입하였다. 이때 주입되는 feed의 농도는 4,000mg/l이었으며, 합성폐수와 혼합폐수 처리시 체류시간

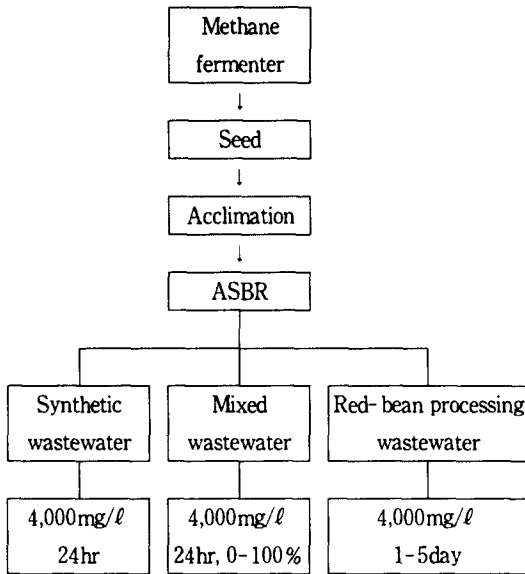


Fig. 2. Flowchart of the experimental procedure.

은 24시간이었다.

혼합폐수 처리시 팔가공폐수 농도를 20, 40, 60, 80 % 증가시켜 반응기에 주입시켰으며, 그후 100 % 실제 폐수인 팔가공폐수를 적용하였다. 또한 팔가공폐수 적용시 체류시간을 1, 2, 3, 5일로 증가시켜 더 높은 처리효율을 얻을 수 있도록 실험을 행하였다. 이를 그림으로 나타내면 Fig. 2와 같다.

실험에 사용된 합성폐수는 팔가공공장폐수와 유사하게 제조하였으며 그 조성은 Table 1과 같다. 탄소원으로 glucose를 사용하였으며 미생물의 성장을 돕기 위해 필요영양분인 질소와 인이 함유된 화합물을 첨가하였다. 다른 무기영양분의 공급은 독성농도한계[10]를 기준으로 하였다.

또한 실험에 이용된 서림식품주식회사의 팔가공공장폐수의 일반적인 특성을 Table 2에 나타내었으며, 폐수시료는 폐수의 성질을 대표할 수 있는 지점인 폐수처리장의 스크린조를

Table 1. Compositions of the synthetic wastewater.

Composition	Concentration(mg/l)
Glucose	4,000
NaHCO ₃	1,500
NH ₄ HCO ₃	3,800
K ₂ HPO ₄	280
MgCl ₂ · 6H ₂ O	250
CaCl ₂ · 2H ₂ O	100
CoCl ₂ · 6H ₂ O	57.5
FeSO ₄ · 7H ₂ O	57.5

Table 2. Properties of the red-bean processing wastewater.

pH		4.5
COD	(mg/l)	4,700
Total solid	(mg/l)	6,900
Suspended solid	(mg/l)	875
Volatile acids	(mg/l)	307
Hardness	(mgCaCO ₃ /l)	76

거친 곳에서 채취되었다[11]. 팔가공폐수는 산성폐수이므로 혐기성 소화에 가장 적절한 pH를 유지하게 위해 pH를 7-7.5로 조정하여 사용되었다.

3. 분석항목

COD, Volatile acid, pH, SS 등은 Standard methods[12]에 의거하여 실험을 행하였으며, biogas의 조성은 gas chromatography를 이용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 합성폐수

Fig. 3은 슬러지반응기에 합성폐수를 주입하였을 때 소화일수에 따라 생성된 가스량을 나타낸 것이다. 운전 15일까지 낮은 가스생산

량을 나타내다가 15일이후부터 점차 가스생산이 증가하기 시작하여 운전 45일이후에서 약 12l로 정상상태에 도달하였다. 이때 생성된 biogas내의 성분은 Fig. 4와 같으며 메탄의 함량은 운전초기 8% 정도로 매우 낮았지만 운전 10일이후부터 60% 정도로 정상상태에 도달하였으며, 수소의 함량은 운전초기 78% 정도로 매우 높게 나타났지만 운전 10일이후부터 약 5%로 정상상태에 도달하였다. 운전초기 미생물의 환경변화에 적응이 되지 않았기 때문에 많은 수소가 발생하였다고 사료된다. 그리고 정상상태에서의 소화가스의 성분은 일

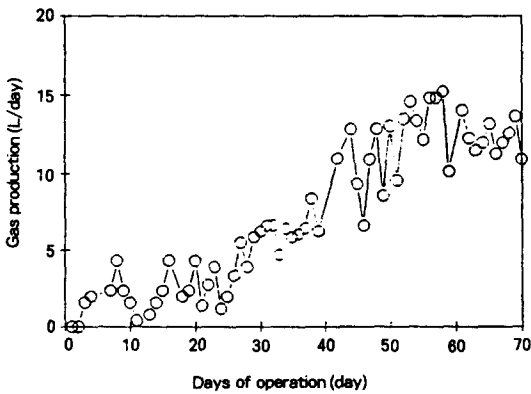


Fig. 3. Gas production for the synthetic wastewater in the ASBR.

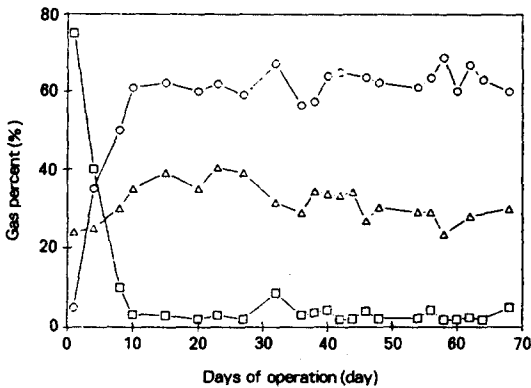


Fig. 4. Gas percent for the synthetic wastewater in the ASBR; (○)CH₄, (△)CO₂, (□)H₂.

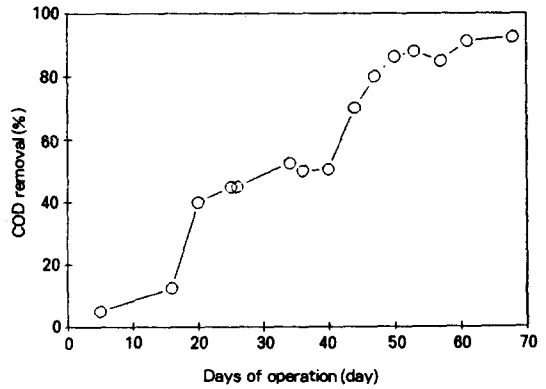


Fig. 5. COD removal efficiency for synthetic wastewater in the ASBR.

반적인 소화가스의 조성과 잘 일치함을 확인할 수 있었다[1].

Fig. 5는 슬러지반응기에서 소화일수에 따른 유기물제거효율을 나타낸 것이다. 슬러지반응기는 운전 15일까지 약 10%의 제거효율을 보였지만 운전이 계속되면서 완만하게 증가하기 시작하여 운전 50일이후부터 92%의 COD 제거효율을 얻을 수 있었다.

Fig. 6은 슬러지반응기에서 유출유기산농도를 나타낸 것이다. 정상적인 혐기성소화시 분해된 유기산은 즉시 메탄생성미생물에 의해 분해되므로 반응기내의 pH는 거의 중성을 유

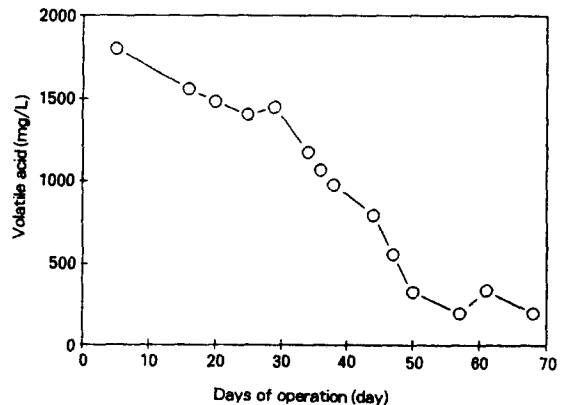


Fig. 6. Effluent volatile acid for synthetic wastewater in the ASBR.

지하게 되며 이때 유기산의 농도는 200~500mg/l 정도이다.

슬러지반응기는 운전 30일까지 1500mg/l의 높은 유기산이 배출되었으며 운전 50일이 경과한 후 300mg/l의 유기산이 배출되었다. 이때 슬러지반응기내의 pH는 운전 15일까지 pH의 값이 매우 변동적이었지만 운전 15일 이후부터는 pH가 매우 안정적임을 알 수 있었다.

2. 혼합폐수

팔가공폐수는 제조된 합성폐수와는 달리 조성면에서 유기물의 값이 매우 변동적이었으며, pH도 4.5정도로 낮았고, 폐수내에 부유물질의 양도 매우 많았다. 이와 같은 폐수를 직접 미생물에 주입하였을때 급격한 환경변화로 인하여 가스생산과 COD제거효율이 급격히 떨어졌기 때문에 실제 팔가공공장폐수에 미생물을 적응시키기 위해 합성폐수에 팔가공폐수의 양을 조금씩 증가시키면서 실험을 행하였다.

Fig. 7은 슬러지반응기에서 혼합비의 증가에 따라 생성된 가스의 양을 나타낸 것이다.

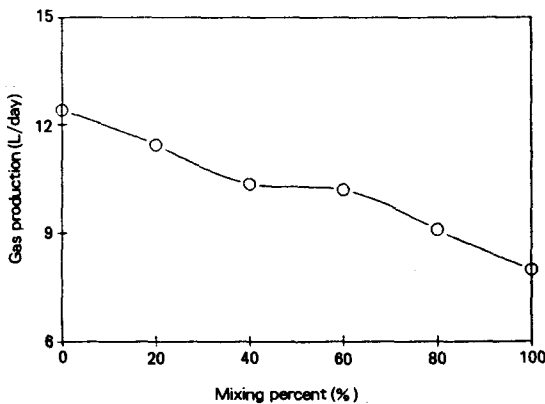


Fig. 7. Gas production for mixed wastewater in the ASBR.

혼합비가 증가함에 따라 가스생성량은 12l에서 조금씩 계속 감소하여 100% 팔가공폐수 주입시 8l까지 감소하였다. 이때 생성된 biogas내의 성분은 혼합비가 20%(합성폐수 : 팔가공폐수=80 : 20)일때 메탄의 함량이 60%였지만, 실제 팔가공폐수만을 주입하였을 때 메탄의 함량이 75%로 증가하였다.

합성폐수만 처리시 메탄생성물이 1800l CH₄/gCODday였으며, 팔가공폐수만 처리시는 1500l CH₄/gCODday로 300l CH₄/gCODday의 차이가 있음을 알 수 있었다.

Fig. 8은 슬러지반응기에서 혼합폐수의 처리시 혼합비에 따른 유기물제거효율을 나타낸 것이다. 합성폐수만 적용시 92%를 나타내었으며 실제 팔가공폐수만 적용시 79%까지 감소하였다.

Fig. 9는 슬러지반응기에서 혼합폐수의 처리시 혼합비에 따라 유출유기산의 양을 나타낸 것이다. 팔가공폐수의 양이 증가함에 따라 유출유기산의 농도가 커졌지만 전공정이 500mg/l이므로 정상적인 혐기성소화가 일어났음을 알 수 있었다.

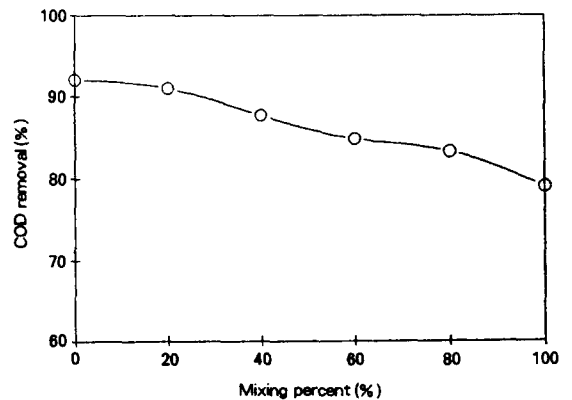


Fig. 8. COD removal efficiency for the mixed wastewater in the ASBR.

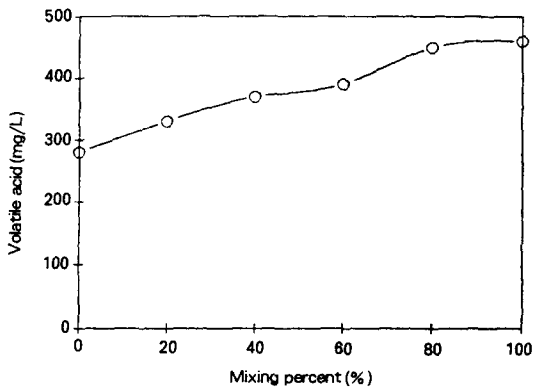


Fig. 9. Effluent volatile acid for the mixed wastewater in the ASBR.

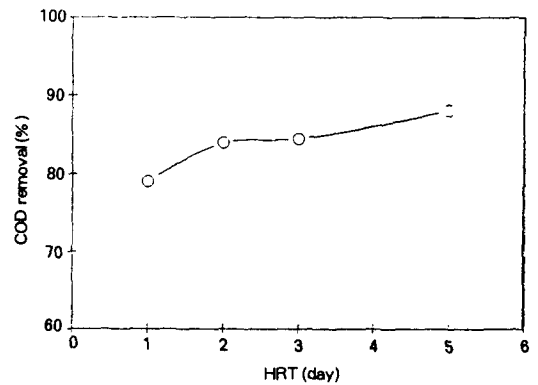


Fig. 11. COD removal efficiency for the food wastewater in the ASBR.

3. 팔가공공장폐수

혼합폐수 처리에서 100% 실제 폐수처리시 24hr의 체류시간에서 가스생산량은 8ℓ, COD removal 79%, 유출수의 유기산농도는 450mg/ℓ 이었다. 이 공정에서 더 높은 처리효율을 얻기 위해 체류시간을 1, 2, 3, 5일로 증가시켜 실험을 행하였다.

Fig. 10은 슬러지반응기에서 팔가공폐수처리시 체류시간에 따른 생산되는 biogas량을 나타낸 것이다. 체류시간이 증가하면서 생산된 가스의 양이 8ℓ에서 3ℓ까지 줄었지만 이때의 유기물제거효율은 Fig. 11과 같이 79%에

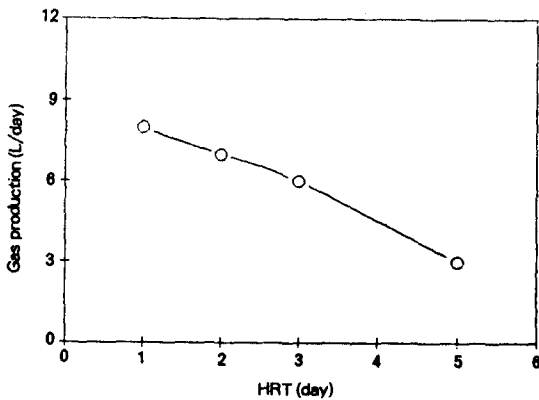


Fig. 10. Gas production for the food wastewater in the ASBR.

서 88%까지 증가하였다.

Fig. 12는 팔가공폐수 처리시 슬러지반응기에서 유출유기산의 양을 나타낸 것이다. 체류시간이 증가하면서 유출유기산의 양이 450mg/ℓ에서 300mg/ℓ로 감소하였으며, 이는 체류시간이 길어질수록 반응시간이 길어져 미생물과 유기물의 오랜 접촉으로 인하여 유기물 제거효율 및 유출유기산의 농도가 더욱 안정화 되었다고 판단된다.

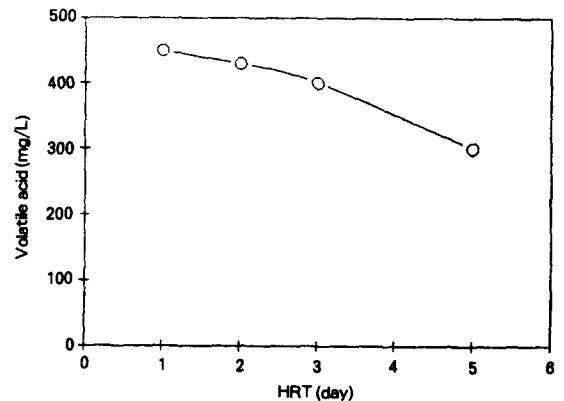


Fig. 12. Effluent volatile acid for the food wastewater in the ASBR.

4. 반응기높이에 따른 특성

Fig. 13은 슬러지반응기에서 유입 COD가

4,000mg/ℓ 일 때 반응기높이에 따른 유기물 농도를 나타낸 것이다. 반응기높이 25cm에서 76.3%가 제거된 950mg/ℓ 이었으며, 75cm일 때는 86%가 제거된 550mg/ℓ, 125cm일 때는 87.5%가 제거된 500mg/ℓ, 150cm일 때는 90.6%가 제거된 495mg/ℓ로 높이가 증가할 수록 COD가 감소하였다. 즉 반응기높이 25cm에서 대부분의 유기물이 제거되었으며, 그 이상의 높이에서는 완전한 유기물제거효율을 나타내었다.

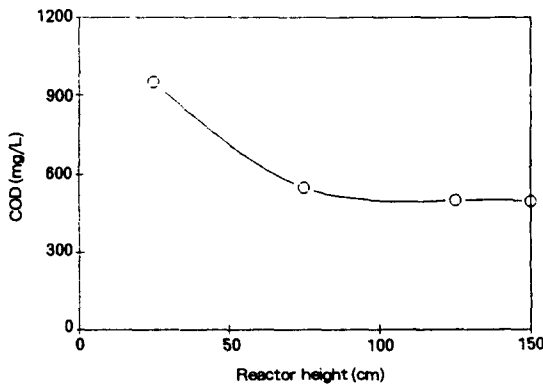


Fig. 13. COD profile for the height of reactor in the ASBR.

5. 부유물질제거율

Fig. 14는 슬러지반응기에서 합성폐수, 혼

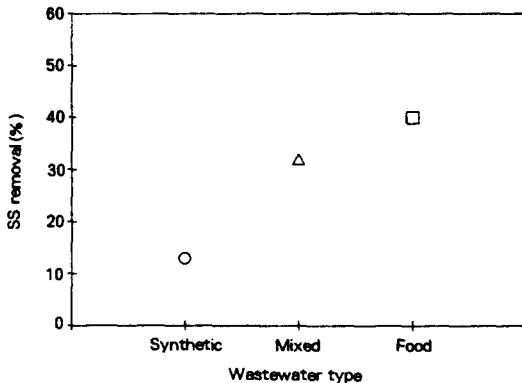


Fig. 14. SS removal efficiency for the wastewater type in the ASBR.

합폐수, 팔가공공장폐수 적용시 정상상태에서 부유물질제거율을 나타낸 것이다. 합성폐수 적용시 13%, 혼합폐수 적용시 32%, 팔가공폐수 적용시 40%의 부유물질제거율을 나타내었으며 팔가공폐수적용시 부유물질제거효율이 가장 높았다.

IV. 결 론

슬러지반응기에서 혐기성 bacteria를 이용하여 팔가공공정에서 유출되는 팔가공폐수 (red-bean processing wastewater)를 대상으로 혐기성처리하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 4kgCOD/m³day, 1일의 체류시간에서 합성폐수 처리시 정상상태에서 12ℓ/day의 가스생산, 60%의 메탄함량, 92%의 COD제거효율, 13%의 SS제거효율을 나타내었다.
2. 4kgCOD/m³day, 0%에서 100%의 혼합비 증가에 따라 혼합폐수 처리시 정상상태에서의 처리율은 다음과 같다. 12-812ℓ/day의 가스생산, 60-75%의 메탄함량, 92-79%의 COD제거효율, 13-32%의 SS제거효율을 나타내었으며 팔가공공장폐수만 유입시 합성폐수만 유입시보다 가스생산량과 COD제거효율이 70%, 87% 감소하였지만, 메탄함량과 SS제거효율은 1.25배, 2배정도 증가하였다.
3. 4-0.8kgCOD/m³day, 1일에서 5일로 체류시간의 증가에 따라 팔가공공장폐수 처리시 정상상태에서의 처리율은 다음과 같다. 8-312ℓ/day의 가스생산, 75%의 메탄함량, 79-88%의 COD제거효율, 40%의 SS제거효율을 나타내었으며, 체류시간이 증가

함에 따라 생산된 가스의 양은 감소하는 반면 COD제거효율은 증가하였다.

4. 따라서 본 실험에서 사용한 팔가공공정에서 유출되는 팔가공폐수(red-bean processing wastewater)는 슬러지반응기에서 혐기 성소화에 의해 성공적으로 처리되었다.

참 고 문 헌

1. Stafford, D.A. and Wheatley, "Anaerobic digestion", *Appl.Sci. Pub.*, LTD, 145, 1980.
2. Stafford, D.A. and Jawkes, D.L., "Methane production from waste organic matter", *CRC Press*, 1980.
3. McKinney, R.E., N.T. Veatch Professor of Civil Engineering, Univ. of Kansas, *Persona Communication*, 1983.
4. 崔義昭 共著, "廢棄物處理와 資源化", 淸文閣, 1985.
5. 申丘撤 共著, "下·廢水汚泥의處理", ユロナ社, 135, 1968.
6. 洪鍾俊 共著, "畜産農家 메탄가스 普遍研究", 韓國動力資源研究所, 15, 1983.
7. Lettinga, G. et al., "Feasibility of the upflow anaerobic sludge blanket process", *Proc. 1979. National Conf. on Env. Eng., ASCE*.
8. Stronach, S.M, Rudd, T. and Lester, L. N., "Anaerobic digestion process in industrial wastewater treatment", *Springer-Verlag*, 39-48, 1986.
9. Hulshoff Pol, L.W., de Zeeuw, W.J., Velzeqer, C.T.M. and Lettinga, G., "Granulation in UASB-reactors", *Proceedings of a specialised seminae of the IAWPRC*, 16-18, 1982.
10. McCarty, P.L., "Anaerobic waste treatment fundamentals : Part One- Part Four", *Public Works*, Vol. 95, 107-112, 1964.
11. 金南天, "環境工學實驗", 東和技術, 1989.
12. "Standard methods for the examination of water and wastewater", 7th, *American Pubic Health Association*, 1989.