

혐기성 생물반응기에 의한 축산폐수의 처리

이국희 · 김종수*
선문대학교 공과대학 환경공학과

Treating Swine Wastewater by Anaerobic Bioreactors

Gook-Hee Lee, Jong-Soo, Kim* (Dept. of Environmental Engineering, Sun Moon University, Asan City, Chungnam, 336-840, Korea; Tel & Fax 0418-530-2381, email jskim@ornega.sunmoon.ac.kr)

ABSTRACT : Three different types of lab-scale anaerobic bioreactors, AF and two-stage ASBF-PR and ASBF-SP, were evaluated in treating swine wastewater by operating at 1~2 days of hydraulic retention time with increasing organic loading rate upto 6.3 kg-COD/m³ · d at 35 °C. Seeding the anaerobic bioreactors with waste anaerobic digester sludge from a municipal wastewater treatment plant was effective and a 40-day acclimation period was required for steady-state operation. Three anaerobic bioreactors were effective in treating swine wastewater with COD removal efficiency of 66.4~84.9 % and biogas production rate of 0.333~0.796 m³/kg-COD_{removed} · d. Increases of organic loading rate by increasing influent COD concentration and/or decreasing hydraulic retention time caused decreases in COD removal efficiency and increases in biogas production rate. At relatively high organic loading rate employed in this study, the treatment efficiency of AF and ASBF-PR were similar but superior than that of ASBF-SP, indicating that porosity and pore size of the media packed in the bioreactors are more important factors contributing the performance of the bioreactors than specific surface area of the media. TKN in swine wastewater must be removed prior to the anaerobic processes when anaerobic process is considered as a major treatment process since influent TKN concentration of 1,540~1,870 mg/L to the bioreactors adversely affect the activity of methanogenic bacteria, resulting in decreases of treatment efficiency and biogas production rate by 50 %.

Key Words : Swine Wastewater, Anaerobic Treatment, Anaerobic Filter, Anaerobic Sludge Bed Filter, Organic Loading Rate, Chemical Oxygen Demand, Biogas, Ammonia.

서 론

고농도의 유기물질과 영양염류를 함유하는 축산폐수는 대부분 에너지를 필요로 하는 호기성 생물학적 방법에 의하여 처리되어 그 유기물질은 쓸모 없이 폐기될 뿐만 아니라, 관리기술이 미약하여 환경오염의 원인으로 지적되어 왔다. 혐기성 생물학적 처리방법은 분뇨 혹은 슬러지의 처리에 제한적으로 적용되어 왔으나, 최근 혐기성 미생물과 생물반응기에 대한 이해의 증진으로 혐기성 소화공정은 유기성 산업폐수의 처리에 적용되고 있다.^{1,2)} 따라서, 고농도 유기물질을 함유하는 축산폐수를 효율적으로 처리하여 환경을 보전하며 발생폐수의 유기물질 폐자원을 메탄화하여 에너지자원으로 활용할 수 있는 고효율 혐기성 소화공정에 대한 기술개발이 촉구되는 실정이다.

혐기성 소화공정은 전통적으로 CSTR(completely stirred

tank reactor) 혹은 biomass 반응을 위한 침전조를 겸비한 CSTR 반응기에 의하여 폐수처리에 적용되어 왔으며 처리 부산물로 대체에너지인 메탄을 생성하며 슬러지 발생량이 적은 장점이 있는 반면, 관여 미생물은 환경에 민감하여 공정이 불안정하고 성장속도가 느려 장기간의 수리학적체류시간(HRT; hydraulic retention time)을 요구하므로 시설의 소요규모가 커야하는 단점이 있다. 그러나, 최근 이러한 재래식 혐기성 소화공정의 단점을 극복하기 위하여 반응기에 biomass를 고농도로 유지함으로써 공정이 안정하고 높은 유기물부하(OLR; organic loading rate)가 가능한 고효율 혐기성 소화공정이 개발되고 있다. 대표적인 고효율 혐기성 소화공정은 biomass의 입상화에 의한 UASB(upflow anaerobic sludge blanket) 공정³⁾과 부착성상에 의한 AF(anaerobic filter) 공정⁴⁾이 있으며 산발효와 메탄발효의 상분리에 의한 이단 혐기성 소화공정⁵⁾ 등이 있

다. 이러한 고효율 혐기성 소화공정은 기질의 생분해성과 독성물질의 함유 정도⁶⁾, 입상화 혹은 부착성장에 의한 biomass의 고정화 정도⁷⁾, 그리고 반응기의 흐름형태⁸⁾에 따라 그 성능이 달라지므로 특정폐수에 적용되기 위하여 적용성과 성능비교 연구가 필수적이라 하겠다.

축산폐수는 고농도의 용존성 유기물질을 함유하면서 부유물질 및 혐기성 미생물에 독성물질로 알려진 암모니아 질소(NH₃-N)를 고농도로 함유하는 것으로 보고되고 있으므로⁹⁾, 본 연구에서는 축산폐수의 효율적 처리와 최적 메탄 발생이 가능하며 부유물질과 NH₃-N에 의한 혐기성 소화공정의 저해요인을 극복할 수 있는 고효율 혐기성 소화공정의 개발을 목적으로 1) biomass의 부착성장에 의한 AF 공정 그리고 부착성장 및 부유성장의 혼성(hybrid)인 ASBF(anaerobic sludge bed filter) 공정의 성능을 실험실적 생물반응기를 이용하여 비교하고자 하였으며 2) ASBF 공정의 경우 2종류의 미디어로 충전한 이단 반응기로 구성하여 충전 미디어의 종류와 상분리에 의한 공정의 영향을 검토하도록 하였다.

재료 및 방법

축산폐수

본 연구에 사용된 축산폐수는 충남 아산시 소재 C농장의 폐수 집수조에서 채취한 상정액으로 C농장은 1,500 두의 전업규모 양돈농가로서 축사는 스크레퍼(80%)와 슬러리(20%) 형태를 겸비하고 있으며 축산폐수 발생량은 평균적으로 6 m³/d 정도이었다. 혐기성 생물반응기의 유입수로 사용된 축산폐수는 2~4주에 한 번씩 채취하였으며 특성분석결과는 Table 1에 요약하였다. 축산폐수는 고농도의 유기물질(COD), 부유물질(SS)과 영양염류인 N과 P를 함유하고 있으며 TKN(total Kjeldahl nitrogen)의 경우 90% 이상이 NH₃-N으로 존재하고 있었다. 이러한 특성은 채취할 때마다 변화의 폭이 큰 것으로 나타났으며 계절적 요인과 축사 세척수 유입 여하에 따라 큰 영향을 받는 것으로 사료된다. VFA(volatil fatty acids as acetate)는 이론적 COD_{Cr}의 56%를 차지하는 것으로 보아 집수조에서 채취된 축산폐수는 산발효가 일부 진행된 것으로 판단되며 이는 또한 높은 alkalinity(11,800 mg/L as CaCO₃)로 증명되고 있다. COD: N: P 비는 52.5:6.9:1로 혐기성 미생물에 대한 영양염류의 최저 적정 요구도인 200:5:1¹⁰⁾에 비교하여 N과 P의 비율이 높은 것으로 나타나고 있으며, 특히 N의 비율이 높은 것은 낮은 pH 조건에서 혐기성 미생물에 독성 영향을 줄 수 있는 범위¹¹⁾에 있을 수 있다고 사료되나 TKN을 제거하기 위한 어떠한 수단도 시도하지 않았다. 채취된 축산폐수 시료는 4℃ 냉장고에 보관하면서 혐기성 반응기의 유입수로 사용하였으나, 반응기의 운전변수인

Table 1. Characteristics of swine wastewater used as an influent to anaerobic bioreactors

Parameters	Concentration (mg/L)	
	Average	Range
pH (Unit)	8.4	7.5 - 9.4
Alkalinity(as CaCO ₃)	11,800	8,400 - 14,000
Suspended Solids (SS)	5,870	870 - 11,200
Chemical Oxygen Demand (COD _{Cr})	18,400	7,970 - 43,900
Total Organic Carbon (TOC)	7,190	1,440 - 14,600
Volatile Fatty Acids (VFA) as Acetate	10,100	1,850 - 22,500
Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	2,430	650 - 5,370
Total Phosphate (T-P)	350	150 - 610
Metals		
Aluminum (Al)	6	2 - 18
Calcium (Ca)	180	54 - 320
Copper (Cu)	5	1 - 17
Iron (Fe)	14	6 - 27
Magnesium (Mg)	21	2 - 54
Manganese (Mn)	2	1 - 3
Zinc (Zn)	12	4 - 28

Samples were analyzed after filtration on GF/C filter. COD was analyzed by Chromate method.

HRT와 OLR를 만족시키기 위하여 필요시 수돗물로 희석하여 사용하였다.

혐기성 생물반응기와 운전조건

본 연구에서 제작된 혐기성 생물반응기는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 AF 그리고 ASBF-PR과 ASBF-SP의 3종류로서 내부 지름이 9.0 cm인 원통형 투명 아크릴로 제작되었다. AF 반응기는 높이 120 cm, 유효용량은 6.8 L, 유효용량 전체에 PVC 제품의 pall ring(공극율 95~98%, 형상 2.54 cm x 2.54 cm, 공극크기 5 mm x 15 mm, 비표면적 210 m²/m³)으로 충전하였다. ASBF-PR과 ASBF-

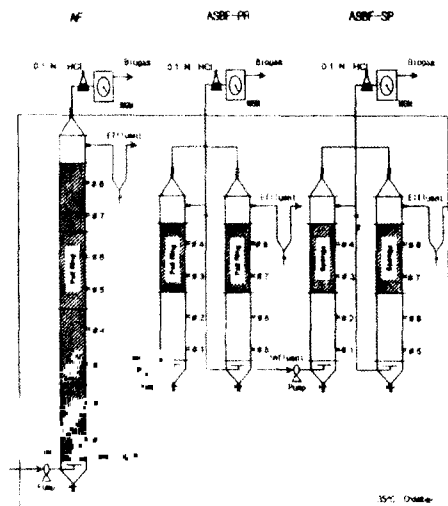


Fig 1. Schematics of lab - scale anaerobic bioreactors

Table 2. Operating Schedule of Anaerobic Bioreactors

Period	Operational days	OLR (kg-COD/m ³ · d)	HRT (days)	Influent Concentration (mg/L)				
				COD	VFAs	TOC	TKN	T-P
Innocation & Acclimation	0-40	1.1	2	2200	1040	920	400	310
Phase I	41-55	1.1	2	2200	1040	920	400	310
Phase II	56-84	2.2	2	4490	1460	1220	480	290
Phase III	85-137	4.1	1	4100	1340	1110	760	270
Phase IV	138-253	6.3	1	6310	1680	2120	1310	350

SP는 높이 60 cm의 유효용량이 동일한(각 3.4 L) 2개의 반응기인 이단으로 구성되었으며, 각 반응기는 상부 유효용량의 1/2을 각각 pall ring과 sponge(공극율 98%, 공극 크기 4 mm x 4 mm, 비표면적 800 m²/m³)로 충전하였다. 유입수는 반응기의 밑 부분에 구멍이 뚫린 아크릴 관에 의하여 상향류로 흐름을 균일하게 하였고 반응기 높이 10 cm 간격으로 시료 채취구를 설치하였다. 3기의 반응기는 35 °C 항온조에서 연속적으로 운전되었으며, 유출수 분석을 위한 시료채취는 유출구에 연결된 역사이편의 하부 시료 채취구를 이용하였다. 반응기로부터 발생하는 바이오가스 발생량은 wet gas meter 그리고 바이오가스 조성 분석을 위한 시료의 채취는 가스 포집장치를 이용하였다.

3기의 생물반응기에 혐기성 미생물 식종을 위하여 천안 하수종말처리장 혐기성 소화시설의 잉여 소화슬러지(SS 24.4 g/L, volatility 60%)를 각 반응기에 2L(이단의 경우 각단에 1 L)을 주입하였고 COD가 2,200 mg/L이 되도록 축산폐수를 수돗물과 희석하여 유량 13.6 L/d로 운전을 시작하였다. 결과적으로 식종 미생물에 대한 F/M비(food/microorganism ratio)는 0.024 kg-COD/kg-VSS · d, OLR은 1.1 kg-COD/m³ · d로 운전하였으며 적용기간은 약 40일 정도 소요되었다. 식종 및 적용기간 이후 주어진 OLR에 대하여 COD 제거율이 60% 이상인 상태가 2주일 정도 지속되면 정상상태로 인정하고 축산폐수의 COD 농도를 높게 하거나 반응기의 HRT를 2일에서 1일로 단축하여 Table 2에 요약된 바와 같이 phase I~IV까지 OLR을 6.3 kg-COD/m³ · d까지 점진적으로 증가시키며 약 250일 간 운전하였다.

분석 방법

C농장의 집수조에서 채취된 축산폐수 시료의 분석과 혐기성 생물반응기의 성능을 조사하기 위하여 각 반응기에서 2~4일 간격으로 채취된 유입수 및 유출수 시료에 대한 분석은 pH, alkalinity, SS(suspended solid), VSS(volatile SS), COD_{cr}, N(TKN, NH₃-N), P(T-P, total phosphate) 등의 항목으로 Standard Methods¹²⁾에 수록된 방법에 준

하여 분석하였다. TOC는 TOC Analyzer (Shimazu TOC5000), 양이온 및 중금속물질은 전처리 후 ICP(Shimazu ICPS5000)에 의하여 분석하였다. VFA는 시료를 phosphoric acid로 산성화 한 후 CBP20 capillary column을 이용한 GC-FID(Shimazu 14B)로 분석하였다. 반응기로부터 발생하는 바이오가스 발생량은 wet gas meter(Shinagawa W-NK-0.5A)에 의하여 매일 측정하였으며 발생하는 바이오가스 조성분석은 Hayasep Q를 입힌 담체로 충전된 stainless steel column을 이용한 GC-TCD(Shimazu 14B)에 의하여 각각 분석하였다.

결과 및 고찰

혐기성 미생물 환경조건

운전기간 동안 각 반응기 유출수의 pH와 alkalinity는 Fig. 2와 같다. 전 운전기간에서 pH는 7.2~8.5로 안정된 분포로 나타나고 있으나 alkalinity는 phase I~III 기간동안 1,000~4,710 mg/L이었으나 그 이후 phase IV인 OLR 6.3 kg-COD/m³ · d에서 불규칙하게 급상승하여 4,180~12,650 mg/L을 나타냈다. Alkalinity의 증가는 분해산물인 CO₂ 분압의 증가에 의한 것으로 판단²⁾되며 이러한 bicarbonate alkalinity는 반응기의 유입지역에서 산발효에 의한 VFA

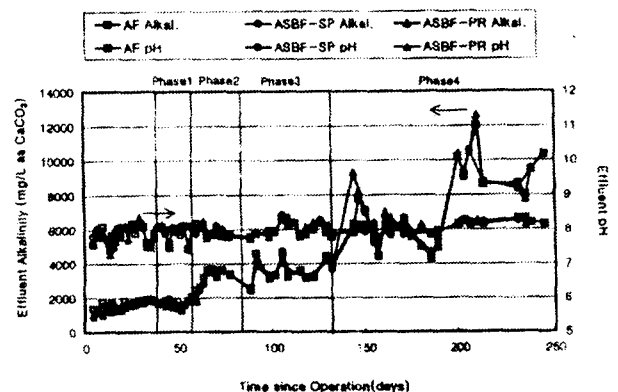


Fig 2. Effluent pH and alkalinity of lab - scale anaerobic bioreactors

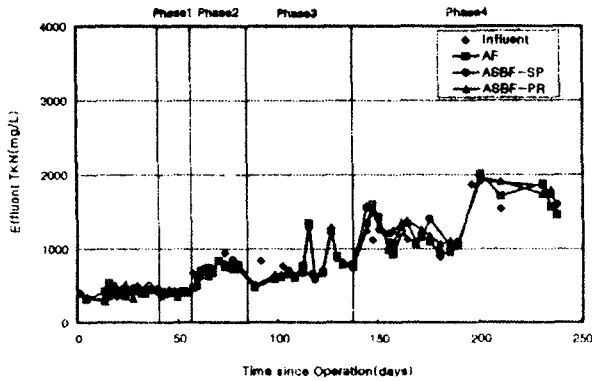


Fig 3. Effluent TKN of lab - scale anaerobic bioreactors

축적에 따른 pH 저하를 방지하여 메탄발효에 적절한 pH 조건을 유지하는데 필수적인 것으로 사료된다. 상분리에 있어서 산발효의 일반적인 pH 범위는 4~5인데 비교하여 이단 반응기에서 일단과 이단의 pH 변화가 거의 없는 것으로 보아 상분리 기능보다는 단분리의 역할만 수행된 것으로 판단된다. 그러나, 상분리는 축산폐수 이외 유기성 산업폐수의 처리에 효과적일 것으로 판단되며, 이러한 성공 사례는 많은 연구자에 의해 보고된 바 있다.^{13,14)}

운전기간 동안 각 반응기 유출수의 TKN과 T-P를 monitoring한 결과는 각각 Fig. 3과 4와 같다. Phase I~IV 기간동안 각 반응기 유출수 TKN은 유입수와 비슷한 310~1,870 mg/L이었으며 TKN의 약 90% 이상이 NH₃-N으로 존재하고 있었다. T-P는 전 운전기간에서 각 반응기에 220~460 mg/L로 공급되었으며, 유출수 농도는 20~360 mg/L로 나타나고 있다. 특히, phase IV의 운전기간에서 각 반응기 유입수와 유출수의 TKN은 비슷한 수준이나 T-P의 경우 유출수의 T-P가 유입수보다 현저하게 낮게 나타나고 있는 것으로 보아 혐기성 미생물에 의한 P의 섭취가 N에 비교하여 높은 것으로 판단된다. 각 반응기에 유입되는 축산폐수의 탄소원에 대한 영양염류의 비인 COD: N: P는 52.5:6.9:1로 혐기성 미생물의 증식에 필요한 영양염류

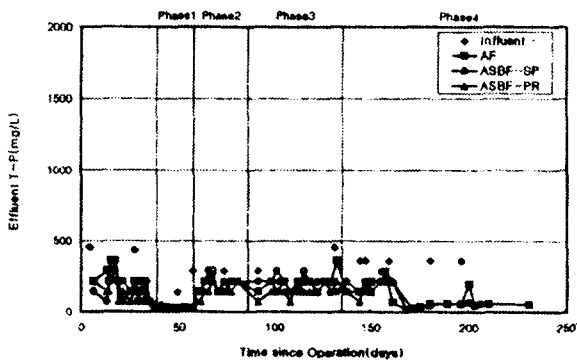


Fig 4. Effluent T - P of lab - scale anaerobic bioreactors

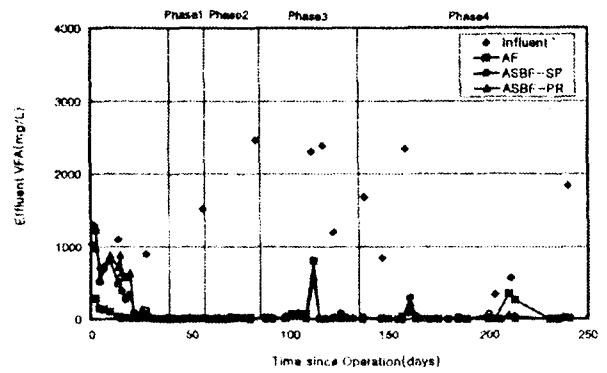


Fig 5. Effluent VFA of lab - scale anaerobic bioreactors

의 최저 필요량인 200:5:1보다 과량으로 공급됨에 따라 phase I~IV의 운전기간 중에 영양염류의 부족에 의한 혐기성 미생물의 성장은 저해 받지 않는 것으로 판단된다.

VFA와 COD 제거

각 반응기 유입수와 유출수의 VFA, COD 그리고 COD 제거율을 monitoring한 결과는 각각 Figs. 5, 6, 7과 같다. VFA의 경우 유입수 농도는 350~2,500 mg/L의 범위에 있으나, 각 반응기 유출수 VFA는 식종 및 적응기간과 일부 운전기간을 제외하면 50 mg/L 이하의 범위에 있으므로 유입수에 함유된 VFA와 산발효에 의하여 생성된 VFA는 메탄발효에서 효과적으로 분해되는 것으로 나타나고 있다. 따라서, 각 반응기에서 산발효와 메탄발효에 관여하는 미생물이 조화롭게 성장하고 있는 것으로 판단된다. 식종 및 적응기간에서 각 반응기 유출수 COD는 400 mg/L 정도로 감소하였으며 감소에 걸린 시간으로 보아 AF 반응기가 이단 반응기에 비교하여 적용속도가 현저하게 빨랐고, 다음은 ASBF-SP, ASBF-PR 순으로 나타났다. Phase III의 일부 운전기간(100~108일 동안) 사용된 유입수는 축산폐수가 아닌 C농장의 퇴비화 과정의 침출수로서 난분해성 유기물질이 다량 함유되어 COD 제거는 이루어지지 않았으나,

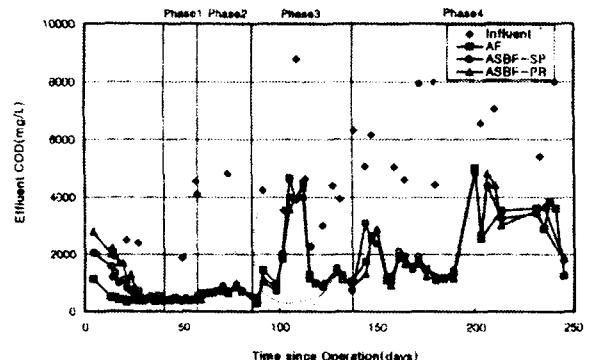


Fig 6. Effluent COD of lab - scale anaerobic bioreactors

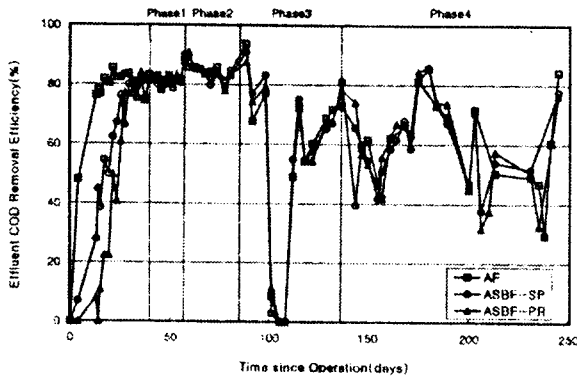


Fig 7. COD removal efficiency of lab-scale anaerobic bioreactors

유입수를 축산폐수로 교체한 이후 정상적인 운전이 가능하였다. COD 제거에 있어서 3기의 반응기는 큰 차이를 나타내고 있지 않지만 phase I, II, III, IV로 OLR이 증가됨에 따라 유출수 COD는 각각 380~410 mg/L, 380~900 mg/L, 280~1,550 mg/L, 그리고 480~4,800 mg/L로서 전반적으로 증가하였고 COD 제거율은 각각 78.1~85.4 %, 79.8~90.9 %, 52.3~91.2 %, 그리고 28.8~83.5 %으로 전반적으로 감소하였다. 특히 phase II에 비교하여 phase III와 IV에서 COD 제거율의 감소 폭은 커지는 현상을 보이고 있다. Phase III는 phase II와 같이 유입수 COD는 4,090~4,820 mg/L로 일정하게 유지하고 HRT를 2일에서 1일로 감소시켜 OLR를 증가시켜 운전한 기간으로 상향류 유속의 증가에 따른 biomass 유실에 의하여 COD 제거율이 떨어진 것으로 판단된다. Phase IV의 경우, 유입수 TKN이 1,000~1,500mg/L 이하인 기간(Fig. 3)에서 COD 제거율은 70% 이상을 나타내고 있으나 TKN이 1,500 mg/L 이상인 기간(144-148일, 196일 이후)에서 COD 제거율은 50 % 이하까지 감소되었다. 이러한 결과로 유입수 TKN 농도(90 % 이상이 NH₃-N)가 1,500 mg/L 이상인 경우 메탄 생성균의 활동이 저해되는 것을 확인할 수 있었으며, 축산폐수의 효율적인 혐기성 처리를 위하여 과잉의 TKN 제거를 위한 전처리가 필수적인 것으로 판단된다.

정상상태에서 COD 제거와 바이오가스 발생량

운전기간 동안 OLR의 증가에 따른 각 반응기의 정상상태에서 COD 제거율과 바이오가스 발생량(표준상태 기준)을 Table 3에 요약하였다. 정상상태의 운전결과를 요약할 때 Phase III의 일부 운전기간인 유기물질이 전혀 분해되지 않았던 침출수 유입 운전기간과 phase IV의 고농도 TKN의 유입수에 의한 메탄발효 미생물 활성 저해로 COD 제거율이 감소된 운전기간의 자료는 제외하였다. Phase I, II, III(OLR 1.1, 2.2, 4.1 kg-COD/m³·d)에서 각 반응기의 COD 제거율은 차이가 없이 각각 80.7~82 %, 84.5~84.9 %, 그리고 73.0~74.6 %로 높은 수준을 유지하고 있었으나 OLR의 증가에 따라 COD 제거율이 감소되는 것을 알 수 있다. 그러나, phase IV(OLR 6.3 kg-COD/m³·d)에서 COD 제거율은 AF, ASBF-PR, ASBF-SP에서 각각 70.2 %, 70.3 %, 그리고 66.4 %로 ASBF-SP 반응기의 제거율이 가장 낮았다. 이러한 결과는 미디어의 특성에 의한 영향인 것으로 판단되며 sponge는 pall ring과 비교하여 공극율은 거의 비슷하지만 비표면적은 4배정도 크고, 상대적으로 공극의 크기가 작아 OLR이 증가될수록 고농도의 biomass에 의한 막힘과 단락류 현상¹⁵⁾으로 반응기의 성능이 저하된 것으로 사료된다. 제거된 COD를 기준으로 한 바이오가스 발생량에 있어서 OLR이 비교적 낮은 1.1~2.2 kg-COD/m³·d의 phase I과 II에서 AF는 각각 0.528과 0.492 m³/kg-COD, ASBF-PR은 각각 0.348과 0.333 m³/kg-COD, ASBF-SP는 각각 0.379와 0.394 m³/kg-COD으로 AF가 가장 높았으며 HRT를 줄이고 유입수 COD를 높여서 운전한 OLR이 비교적 높은 4.1~6.3 kg-COD/m³·d의 phase III과 IV에서 바이오가스 발생량은 AF는 각각 0.633과 0.796 m³/kg-COD, ASBF-PR은 각각 0.718과 0.751 m³/kg-COD, ASBF-SP는 각각 0.669와 0.718 m³/kg-COD으로 AF와 ASBF-PR은 비슷하였으며 ASBF-SP가 낮은 경향을 보여주고 있다. 미생물의 부착성장과 부유성장의 혼성(hybrid)인 미디어의 충전 부피 비에 따른 반응기의 성능 비교에 있어서, 충전 부피 비 100 %의 AF 반응기와 50 %의 ASBF-PR 반응기의 유기물 제거능력에 있어서 현저한 차이는 관찰되지 않았다. 따라서, 본 연구에 사용된 AF와 ASBF-PR은 축산폐수의 효율적 처리와 메탄

Table 2. Performance comparison of anaerobic bioreactors at steady-state conditions

Parameters	OLR (kg-COD/m ³ ·d)	1.1 (Phase I)		2.2 (Phase II)		4.1 (Phase III)		6.3 (Phase IV)	
	Bioreactors	COD removal (%)	Biogas Production (ml/kg-COD removed)	COD removal (%)	Biogas Production (ml/kg-COD removed)	COD removal (%)	Biogas Production (ml/kg-COD removed)	COD removal (%)	Biogas Production (ml/kg-COD removed)
AF		82.0	0.528	84.9	0.492	73.0	0.633	70.2	0.796
ASBF-PR		81.9	0.348	84.5	0.333	73.0	0.718	70.3	0.751
ASBF-SP		80.7	0.379	84.6	0.394	74.6	0.669	66.4	0.718

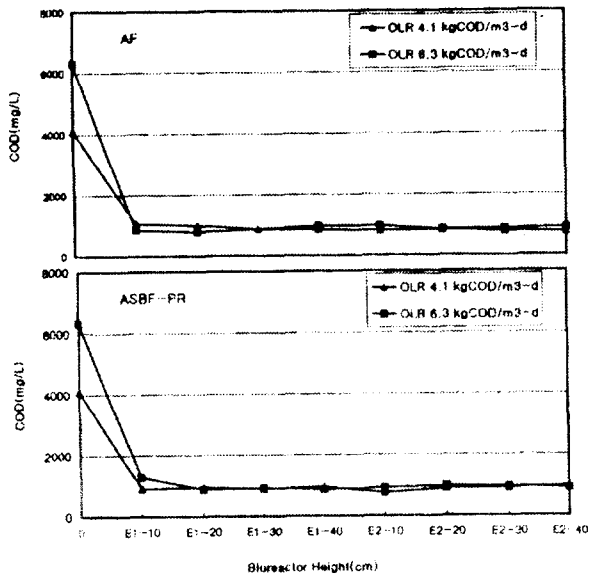


Fig 8. Steady - state COD profile of anaerobic bioreactor height at different OLRs

발생에 최적인 생물반응기로 적용성이 크다고 할 수 있다.

정상상태에서 COD 제거와 Biomass 분포

본 연구에 이용된 혐기성 생물반응기 중에서 처리효율이 비교적 우수한 AF와 ASBF-PR에 대하여 phase III와 IV 운전기간의 정상상태에서 반응기의 높이에 따른 COD와 부유성장의 biomass를 측정 한 결과는 각각 Fig. 8과 9와 같다. 각 반응기는 현재에도 운전 중에 있으므로 부착성장의 biomass는 측정되지 않았다. 반응기에 유입된 COD는 제거된 COD의 90% 이상이 AF 반응기의 경우 저단부인 높이 10 cm에서 그리고 ASBF-PR의 경우도 마찬가지로 첫째 단의 높이 10 cm인 저단부에서 제거되었으며 ASBF-PR에서 첫째 단과 둘째 단 유출수의 COD 농도는 차이가 없었다. VSS로 표현되는 biomass의 대부분은 AF의 경우 반응기 저단부에 13,000~18,500 mg/L 농도로 침적되어 있었으며 30cm 이상의 높이에서는 1,000 mg/L 이하의 농도로 거의 비슷한 분포를 나타내고 있다. ASBF-PR의 경우 첫째 및 둘째 단 저단부에 biomass는 22,000~28,500 mg/L 농도로 축적되어 있는 것으로 나타나고 있으며 둘째 단 저단부의 biomass에 의한 추가적인 COD는 제거되지 않는 것으로 나타나고 있다. 이러한 현상은 상향류 AF 및 UASB 반응기의 연구에서 COD의 대부분은 반응기의 저단부에서 제거되고 반응기 상부에서의 COD 제거율은 미미하나, 반응기 전체에서의 COD 제거율은 반응기의 높이가 높아지면 증가되는 보고^{16,17)}와 비슷한 경향을 나타내고 있다. 특히, 이단 ASBF-PR에 있어서 둘째 단 저단부에 고농도 biomass를 유지한다는 것은 충격부하 혹은 혐기성 미생물에 독성물질의 유입시 적응능력을 향상시킬 수 있는 것으로

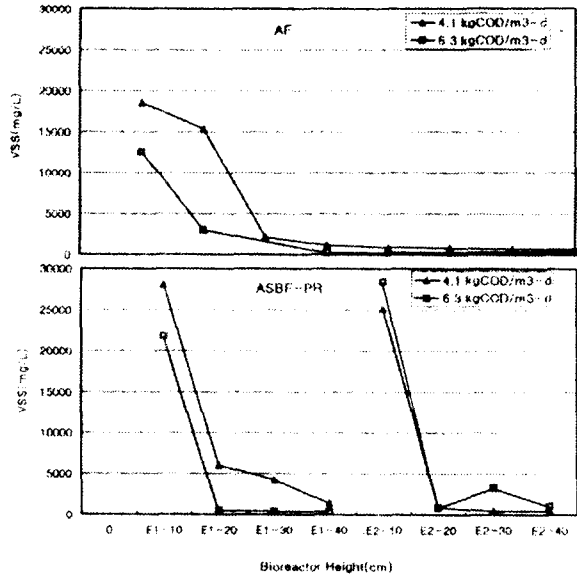


Fig 9. Steady - state VSS(biomass) profile of anaerobic bioreactor height at different OLRs

로 사료되어 일단의 AF 반응기에 비해 처리효율이 우수할 것으로 판단된다.

요 약

축산폐수의 효율적 처리와 최적 메탄발생을 위하여 AF 그리고 이단의 ASBF-PR과 ASBF-SP 실험실적 생물반응기를 구성하고 35℃ 항온조에서 수리학적체류시간 1~2일 그리고 유기물부하 1.1~6.3 kg-COD/m³·d까지 연속 운전하여 처리효율을 비교, 분석하였다. 하수종말처리장의 혐기성 소화조 잉여 슬러지에 의한 혐기성 생물반응기의 식중은 효과적이었으며, 적용 기간은 약 40일 정도가 소요되었다. 생물반응기는 COD 제거율 66.4~84.9% 그리고 바이오가스 발생량은 제거된 COD 기준 0.333~0.796 m³/kg-COD·d으로 축산폐수의 처리에 효율적이었으며 유입 COD의 증가와 수리학적체류시간의 감소에 의한 유기물부하 증가의 경우 COD 제거율은 감소하고 바이오가스 발생량은 증가하였다. 높은 유기물부하에서 AF와 ASBF-PR의 처리효율은 비슷하였으며 ASBF-SP보다 우수하였다. 생물반응기에 충전된 미디어의 공극율과 공극의 크기가 비표면적에 비교하여 유기물질 제거능력 향상에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 유입수 TKN 농도가 1,540~1,870 mg/L 범위에서 메탄발효 미생물의 활동은 저해영향을 받아 생물반응기의 처리효율과 바이오가스 발생량은 각각 50% 이하로 감소되는 것으로 나타났으므로 혐기성 소화가 축산폐수의 처리에 주 공정으로 응용된다면 전처리에 의한 TKN의 제거는 필수적이다.

사 사

본 논문은 에너지자원기술개발지원센터의 대체에너지개발 연구비의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. Young, J.C. and Yang, B.S. (1989). Design considerations for full-scale anaerobic filters, *J. Water Poll. Control Fed.*, 61:1576-1587
2. Speece, R.E. (1996). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters*, Archae Press, Nashville, TN, USA.
3. Souza, M.E. (1986). Criteria for the utilization, design and operation of UASB reactors, *Wat. Sci. Tech.*, 18:55-69
4. Yong, J.C. and Yong, H.W. (1991). Full-scale treatment of chemical process waters using anaerobic filters, *Research J. Water Poll. Control Fed.*, 63:153-159
5. Fox, P. and Pohland, F.G. (1994). Anaerobic treatment applications and fundamentals: substrate specificity during phase separation, *Wat. Env. Research*, 66:716-724
6. MaCarty, P.L. and McKinney, R.E. (1961). Salt toxicity in anaerobic digestion, *J. Water Poll. Control Fed.*, 33:4-12
7. Tay, J.H., Show, K.Y., and Jeyaseelan, S. (1996). Effects of media characteristics on performance of upflow anaerobic packed-bed reactors, *J. Environ. Eng., ASCE*, 122:469-476
8. Van den Berg, L. and Lentz, C.P. (1979). Comparison between up- and down-flow anaerobic fixed film reactors of varying surface-to-volume ratios for the treatment of bean blanching waste, *Proc. of 34th Industrial Waste Conf.*, Purdue Univ., 319-325
9. Lee, G.H. (1998). Performance evaluation of anaerobic bioreactors in treating swine wastewaters, *Master's Thesis*, Sun Moon University, Chungnam, Korea.
10. Fang, H.H.P., Guohua, L., Jinfu, Z., Bute, C., and Guowei, G. (1990). Treatment of brewery effluent by UASB process, *J. Environ. Eng., ASCE*, 116:454-460
11. Heinrichs, D.M., Poggi-Varaldo, H.M., and Oleszkiewicz, J.A. (1990). Effect of ammonia on anaerobic digestion of simple organic substrates, *J. Environ. Eng., ASCE*, 116:698-710
12. APHA, AWWA, and WEF (1992). *Standard methods of the examination of water and wastewater*, 18th edn, American Public Health Association, Washington, D.C., USA.
13. Bhattacharya, S.K., Madura, R.L., Walling, D.A., and Farrell, J.B. (1996). Volatile solids reduction in two-phase and conventional anaerobic sludge digestion, *Wat. Res.*, 30:1041-1048
14. Anderson, G.K., Kasapgil, B., and Ince, O. (1994). Microbiological study of two stage anaerobic digestion start-up, *Wat. Res.*, 28:2383-2392
15. Song, K. and Young, J.C. (1986). Media design factors for fixed-bed filters, *J. Water Poll. Control Fed.*, 58:115-121
16. Oleszkiewicz, J.A., Hall, E.R., and Oziemblo, J.Z. (1986). Performance of laboratory anaerobic hybrid reactors with varying depths of media, *Environ. Tech. Letters*, 7:445-452
17. Kennedy, K.J. and Guiot, S.R. (1986). Anaerobic upflow bed-filter - development and application, *Wat. Sci. Tech.*, 18:71-86