

ASBR(Anaerobic Sequencing Batch Reactor) 공정의 F/R비가 암모니아가 탈기된 축산폐수의 유기물 제거에 미치는 영향

황규대^{*} · 조영무^{*}

경희대학교 환경응용화학대학 환경학과

^{*}동명기술공단

Effect of F/R ratio of ASBR (Anaerobic Sequencing Batch Reactor) Process on Removal of the Organic Matters in Ammonia Stripped Swine Wastewater

Gye-Dae Whang^{*} · Young-Moo Cho^{*}

Department of Environment science and Engineering, KyungHee University

^{*}Department of Water and Wastewater, DMEC.co.Ltd

(Received 4 July 2005, Accepted 25 October 2005)

Abstract

Lab-scale experiments have been carried out to investigate the effect of F/R ratio of ASBR (Anaerobic Sequencing Batch Reactor) process on the removal of the organic matters in ammonia stripped swine wastewater. Three ASBR inoculated with sludge mixed with granular sludge of UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) and anaerobic digested sludge of municipal wastewater treatment plant were operated. Ammonia stripped swine wastewater was used as influent. Prior to conducting the experiments with varied conditions, the effect of increasing organic loading rate from 2.34 to 5.79 gTCOD_c/L-day at a fixed F/R ratio of 0.1 on the organic removal efficiency has been studied during start-up period. As the result of the experiment, under the condition of varied organic loadings, less than 4.14 gTCOD_c/L-day, the removed efficiency TCOD_c of the ASBR process is 83% resulted from the mean value of effluent TCOD_c, 9,125 mg/L during the start-up period. Then ASBRs were operated with F/R ratio of 0.024, 0.303 and 0.91 respectively. Organic loading rate was increased from 4.56 to 15.43 gTCOD_c/L-day to investigate the effects of F/R ratio and organic loading rate on the organic removal efficiency. As the result of the experiment, less than 6.23 gTCOD_c/L-day, F/R ratio haven't an effect on the organic removal efficiency and the mean removal efficiency of TSS, TCOD_c and SCOD_c was about 80%, 86% and 78% at the all of F/R ratio. But as organic loading rate was increased from 8.54 to 12.04 gTCOD_c/L-day at the F/R ratio of 0.024, the removal efficiency of SCOD_c decreased from 71% to 63%. The range of decreased removal efficiency of SCOD_c at the F/R ratio of 0.024 was much more higher than at the F/R ratio of 0.303, 0.91. Thus, as organic loading rate was increased, ASBRs were operated with high F/R ratio to obtain high removal efficiency.

keywords : Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR), Ammonia stripping, Organic loading rate, F/R ratio

1. 서론

고농도의 유기물질과 질소성분을 함유한 축산폐수는 일반적으로 생물학적 처리공정을 이용하여 처리하고 있으나 축산폐수내의 유리암모니아(NH₃)는 미생물에 독성을 나타내어(McCarty et al., 1984), 유기물질 안정화를 위한 혐기성소화공정에서 유기물제거효율 및 가스발생량을 저하시킨다. 이런 암모니아성질소는 이온교환법, 파과점염소소독법, MAP(Magnesium Ammonium Phosphate)침전법, 암모니아 탈기법등 물리화학적 처리방법으로 처리 가능하나 일반적으로 암모니아 탈기공정은 여러 종류의 폐수처리에 적용되고 있으며, 탈기된 암모니아를 회수할 수 있어서 친환경적

인 처리공정이라 할 수 있다. 축산폐수에 탈기공정을 적용하여 암모니아를 제거, 회수한 후 탈기된 축산폐수를 혐기성소화공정으로 처리하여 유효 에너지를 회수하는 것이 효율적인 처리방안으로 제시되고 있다(Hansen et al., 1998; Bonmati et al., 2003).

축산폐수 내에 유기물질 안정화를 위한 혐기성소화공정은 일반적으로 CSTR(Continuously Stirred Tank Reactor)이나 plug-flow 반응기를 주로 이용한다. CSTR과 plug-flow 반응기를 이용하여 고농도의 유기성폐수를 중온범위(35°C)에서 처리할 경우 15일에서 30일 정도가 소요되므로(Pfeffer et al., 1967; Zhang et al., 1997) 축산폐수와 같은 고농도폐수처리에는 HRT가 길지만 유량이 작아 반응조를 크게 할 필요가 없어 적합하다. 그러나 저농도 폐수에서는 HRT를 길게 유지하기 위해 반응조를 크게 해야 하므로 시

^{*} To whom correspondence should be addressed.

gdwhang@khu.ac.kr

설설치비나 보온을 위해 에너지 비용이 많이 소요되므로 비경제적으로 보고되었다(Young et al., 1968). 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 혐기성 반응조 내에 미생물량을 고농도로 유지함으로써 SRT(Sludge Retention Time)를 증가시켜 짧은 HRT(Hydraulic Retention Time)조건에서도 처리효율을 증대시킬 수 있는 고율 혐기성소화공정의 개발이 활발히 연구되어 실용화단계에 있는데, 이들 고율 혐기성 소화공정으로는 UASB(Zeeman, 1997; Lettinga, 1980), 혐기성접촉법(Schroepfer et al., 1985), 혐기성여상법(Omil et al., 2003), 혐기성유동상법(Marin et al., 1999), ASBR(Sung et al., 1995) 등이 있다. 그러나 축산폐수와 같이 고농도의 입자상물질을 함유한 폐수를 UASB(Uplow Anaerobic Sludge Blanket)공정으로 처리할 경우 슬러지 유실이 많아 적용이 불가능하며 또한 혐기성접촉법이나 혐기성여상법으로 처리할 경우 입자상물질로 인해 여재가 막히는 단회로 현상이 발생되므로 유기물질 제거효율을 저하시키게 된다. 이에 반해 ASBR(Anaerobic Sequencing Batch Reactor) 공정은 고액분리가 한 반응조 내에서 이루어져 고농도의 입자상물질이 유입되어도 미생물 유실을 줄일 수 있는 특징이 있다.

ASBR 공정은 반응기의 형태(Sung et al., 1995), 교반강도(Angenent et al., 1995; Ahang et al., 1996; Brito et al., 1997), F/M비(Fernandes et al., 1993; Timur et al., 1999), 초기의 유입수 주입시간(Barley et al., 1999; Ratusnei et al., 2003) 등의 운전인자에 따라 처리효율이 달라지는데, Kennedy 등(1991)은 이들 운전인자 중 유입수 주입시간과 반응시간과의 비를 나타내는 F/R비가 가장 중요하다고 보고하였다. 그러나 이들 운전인자에 대한 연구는 대부분 축산폐수와는 성상이 다른 폐수를 이용하여 유기물부하(5.5

kg/m³/day 이하)가 낮은 조건에서 이루어져, 고농도 축산폐수에 적용하기에는 어려움이 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 축산폐수 내 고농도의 암모니아성질소가 혐기성 미생물에 독성을 일으키므로 고농도의 축산폐수를 짧은 HRT에서 처리하기 위해 암모니아 탈기공정으로 전처리된 축산폐수를 대상으로 ASBR 공정의 유입수 주입시간과 반응시간과의 비(F/R비)가 유기물 제거에 미치는 영향을 분석하여 유기물부하율에 따른 적정 F/R비를 도출하기 위해 수행되었다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 Fig. 1에 나타낸 바와 같은 유효용량이 9 L인 ASBR 반응조 3세트를 설계·제작하여 실험을 진행하였다.

혐기성 반응조는 미생물과 폐수가 접촉하여 유기물질의 안정화반응이 일어나는 내부칼럼과 내부칼럼의 온도를 일정하게 유지시키기 위해 물이 순환되는 외부칼럼으로 제작되었다. 반응조 온도를 중온(35±1°C)으로 유지하기 위해 수욕조에서 가온된 물은 원심펌프에 의해 혐기성반응조 외부칼럼 하단으로 유입되며, 외부칼럼을 순환하여 유입된 반대쪽 상단을 통해 유출되도록 배관을 설치하였다. 시료의 주입은 정량펌프를 이용하였으며, 반응조 상단의 유입배관을 통해 내부칼럼의 하부 쪽으로 유입되도록 하였다. 유출배관은 반응조 HRT에 따라 유출량이 결정되므로 배관길이를 조절할 수 있도록 제작하였다. 반응조 내에서 발생된 가스는 유효용량이 11 L이고, HCl를 이용하여 pH를 2이하로 조절된 수용액이 채워져 있는 가스포집기를 이용하여 포집되며, 포집된 가스량 만큼 가스포집기 내의 수용액이

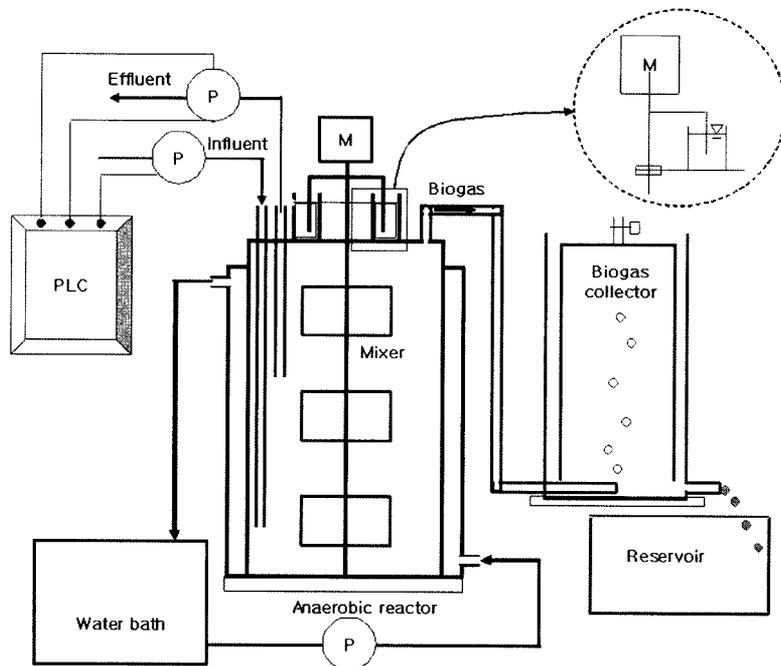


Fig. 1. Schematic diagram of ASBR.

외부로 유출되도록 제작되어 유출된 수용액 양을 측정하여 가스발생량을 산정할 수 있도록 하였다.

반응조 식중슬러지로 실험실에서 축산폐수에 적용된 UASB 반응조의 입상슬러지와 탄천하수종말처리장의 혐기 성소화 슬러지를 부피비 1 : 3으로 혼합한 슬러지를 사용하였다. 또한 유입수는 ASBR 반응조의 start-up 기간과 F/R비가 유기물제거에 미치는 영향을 분석하기 위한 실험 기간동안 혐기성미생물에 저해를 일으키는 암모니아를 탈기시킨 축산폐수를 이용하였다.

운전초기 start-up 기간 동안 유입수의 TSS농도범위는 41,080~74,200 mg/L로 평균 TSS농도는 69,523 mg/L이고, 유입수의 TCOD_c과 SCOD_c 평균농도는 각각 75,264 mg/L과 45,583 mg/L이고, TKN농도는 562~630 mg/L로 나타났다. 운전초기 반응조를 안정화시키기 위하여 ASBR 공정의 한주기를 유입 2시간, 반응 19.5시간, 침전 2시간, 유출 0.5시간으로 F/R비를 0.10으로 고정시킨 후 HRT를 30일로 유지시켜 유기물부하율을 2.54 gTCOD_c/L-d로 운전하였다. 유출수의 COD_c농도와 가스발생량이 일정하게 유지되는 것을 확인한 후 점차 HRT를 줄이면서 67일간 운전하였다. 각 반응조가 안정적으로 운전되고 있음을 확인한 후 반응조 R1의 Feed : React : Settle : Decant (F : R : S : D)는 0.5 : 21 : 2 : 0.5로 F/R비가 0.024로 운전되었으며, 반응조 R2는 0.303(F : R : S : D = 5 : 16.5 : 2 : 0.5), 반응조 R3은 0.91(F : R : S : D = 10 : 11.5 : 2 : 0.5)로 각각 운전하였다. 또한 각 반응조의 F/R비에 따른 적정 유기물부하율을 도출하기 위하여 HRT를 10일에서 3.6일까지 단계적으로 줄이며 운전하였다. 이때 모든 반응조의 반응주기는 1일 1회로 고정하였다. Table 1은 적정 F/R비에 따른 유기물부하율을 도출하기 위한 운전조건을 나타낸 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. ASBR공정의 start-up

본 연구에서는 유기물부하율 증가가 유기물질 제거에 미치는 영향을 살펴보기 위해 유기물부하율을 2.54 ~ 5.79

gTCOD_c/L-d까지 증가시키며 운전하였다. 초기 반응조 내 MLSS농도와 MLVSS농도는 각각 26,780 mg/L과 16,620 mg/L이었는데, 운전시작 후 29일 경부터 HRT를 22.5일에서 15일로 감소함에 따라 반응조 내 MLSS 및 TSS농도가 급격히 증가된 것으로 나타났다. 이는 평균 고형물농도가 68,500 mg/L인 유입수가 유입되었으나 침전에 의해 슬러지가 반응조에 축적되었기 때문으로 판단된다. 또한 운전시작 후 45일 이후부터는 처리수 TSS농도가 감소되는 것으로 나타났는데, 이는 유입수의 고형물 농도가 평균 46,934 mg/L로 낮게 유지되고, 운전기간이 경과됨에 따라 반응조 내 미생물량이 증가되어 비유기물부하율(specific organic loading rate, SOLR)이 감소됨으로 유기물질의 안정화 속도가 빨라졌기 때문이다. 이는 ASBR공정의 장점으로 침강단계에서 미생물이 유실되지 않고 침전되어 반응조 내 미생물농도가 증가되었기 때문이다. 운전시작 후 유출수의 TCOD_c농도는 운전기간이 경과할수록 조금씩 증가하다가 HRT가 15일로 줄어드는 시기부터 큰 폭으로 증가하였는데, 이는 유입수의 고형물 부하율이 급격히 증가되면서 고형물질의 가수분해가 더디게 일어나 침강단계에서 biogas발생으로 인해 고형물의 침강이 저해되어 다량의 입자상 물질이 유출되었기 때문이다. 그러나 SCOD_c농도는 초반에 대략 1,500 mg/L 정도 증가되다가 다시 감소되는 경향을 보였다. 이는 입자상 물질들의 유출에도 불구하고 용존유기물을 분해할 수 있는 미생물을 비교적 고농도로 유지시킬 수 있어 용존 유기물부하율이 급격히 증가되었음에도 불구하고 안정된 처리효율을 얻을 수 있었던 것으로 사료된다.

Fig. 2는 유기물부하율 증가에 따른 처리수의 TCOD_c농도, SCOD_c농도와 제거효율 변화를 나타낸 것이다.

유기물부하율이 4.14 gTCOD_c/L-day 이하에서는 처리수 TCOD_c농도가 평균 9,125 mg/L로 제거효율은 83%로 비교적 일정하게 유지된 반면, 유기물부하율이 4.14 gTCOD_c/L-day 이상으로 증가됨에 따라 처리수의 TCOD_c농도는 증가되는 것으로 나타났다. 이는 침강 단계에서도 유기물질의 안정화로 가스가 발생됨에 따라 침강된 입자상물질의 재부상으로 인한 것이다(Jang, 1991; Song, 1996). 이에 반해 용존성물질은 ASBR공정 특성상 고농도로 유지된 미생물에

Table 1. Operating condition to determine the organic loading rate at F/R ratio

Parameters	Feeding/Reacting time ratio		
	R1 (F/R = 0.024)	R2 (F/R = 0.303)	R3 (F/R = 0.91)
Temperature	35°C		
HRT	10 day, 7.5 day, 6 day, 4.5 day, 3.6 day		
Working volume	9 L		
Organic loading rate			
g VS/L · day	2.77 ~ 8.55		
g COD _c /L · day	4.23 ~ 15.56		
Cycle time, day	1	1	1
Feed, hr	0.5	5	10
React, hr	21	16.5	11.5
Settle, hr	2	2	2
Decant, hr	0.5	0.5	0.5

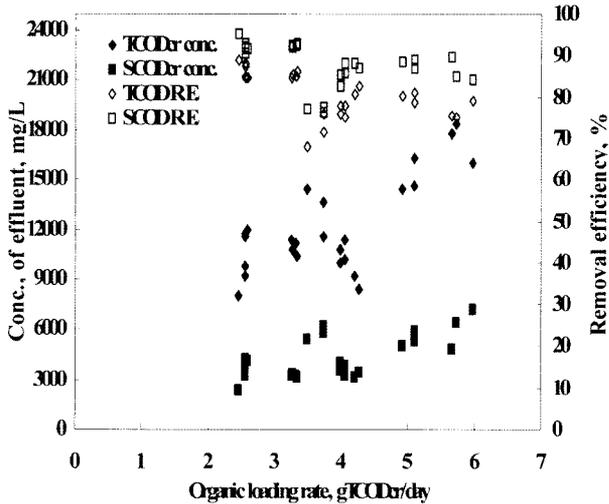


Fig. 2. Effect of TCOD_{cr} loading rate on concentration of effluent COD_{cr} and removal efficiency in the ASBR during start-up period.

의해 분해·안정화되어 유출수 SCOD_{cr}농도의 증가 폭은 작은 것으로 나타났다.

3.2. F/R비가 유기물제거에 미치는 영향

세 반응조에서 start-up 운전기간 동안 유기물 제거가 안정적으로 이루어진다고 판단되어 HRT를 10일로 줄이고 반응조 순서에 따라 F/R비를 각각 0.024, 0.303, 0.91로 달리 하여 HRT를 7.5일, 6일, 4.5일, 3.6일로 순차적으로 줄이면서 130일 동안 운전을 하였다. F/R비가 유기물제거에 미치는 영향을 알아보기 위한 운전기간동안에 주입된 축산폐수의 특성은 Table 2에 나타내었다.

Fig. 3은 각 F/R비 조건에서 유입수와 유출수의 입자상물질 농도변화를 나타낸 것이다. HRT가 7.5일로 감소된 시점에서 유출수 평균 TSS농도는 F/R비가 0.024인 경우 10,375 mg/L로 나타났으며 F/R비가 0.303과 0.91로 운전된 경우 각각 11,139 mg/L와 11,491 mg/L로 F/R비가 낮게 운전된 반응조의 유출수 농도가 대략 800 mg/L정도 낮게 나타났다. HRT가 4.5일로 감소되면서 F/R비가 0.024로 운전된 반응조의 경우 유출수의 TSS농도가 급격히 증가되는 것으로 나타났다. 반면, F/R비가 0.303과 0.90으로 운전된 반응조의 경우 유출수의 TSS농도가 증가되기는 하나 완만한 증가추세를 보이는 것으로 조사되었다. 이는 F/R비를 짧게 운전하면, 초기농도가 증가되어 1차 반응을 나타내는 혐기성소화반응이 빠르게 진행할 것으로 예상되나 너무 높은 초기농도의 증가는 오히려 유기산 축적, pH저하 등의 저해요인으로 작용하며 침강단계에서도 발생된 가스로 인해 슬러지가 유실되어 TSS농도가 급격히 증가되는 것으로 사료된다.

Table 2. Characteristics of ammonia stripped swine wastewater

Items	pH	TSS mg/L	VSS mg/L	TCOD _{cr} mg/L	SCOD _{cr} mg/L	TKN mg/L
Average conc	7.3	60,006	33,841	51,084	29,942	545

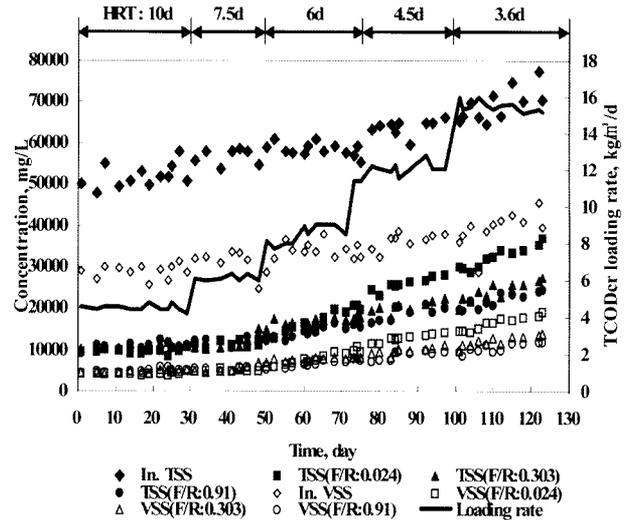


Fig. 3. Variation of TSS and VSS concentration of influent and effluent in the ASBR with varying F/R ratio.

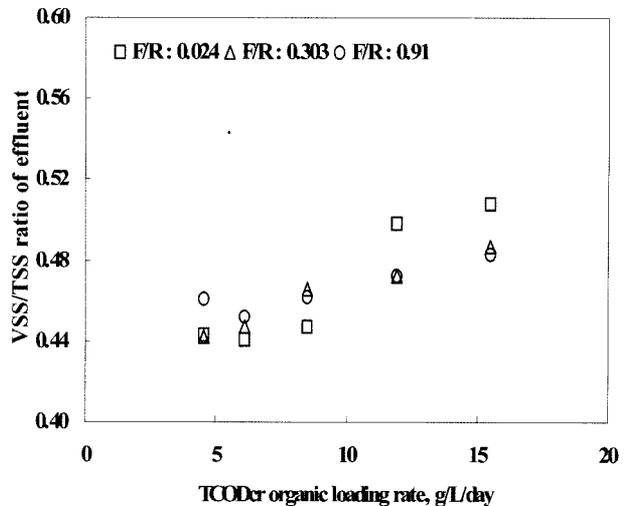


Fig. 4. Effect of organic loading rate on VSS/TSS ratio of effluent in the ASBR with F/R ratio.

Fig. 4는 각 반응조에 적용된 F/R비에서 유기물부하율에 따른 유출수의 VSS/TSS의 비를 나타내었다. 유기물부하율을 6.23 gTCOD_{cr}/L-day로 유지될 때 F/R비가 0.024로 운전된 경우 VSS/TSS의 비는 0.442로 나타났고, F/R비가 0.303과 0.91로 운전된 경우, 각각 0.445와 0.457로 나타나 유기물 부하를 낮게 유지하여 운전한 기간에는 반응기간에 유기물 안정화가 충분히 일어나고 슬러지 침강이 양호하여 F/R비가 유출수의 VSS/TSS비에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 유기물 부하율이 증가됨에 따라, 모든 반응조에서 유출수의 VSS/TSS비는 증가되는 경향을 나타내지만 F/R비가 0.024로 작게 운전된 반응조의 유출수 VSS/TSS비는 크게 증가되었다. 유기물부하율이 11.0

gTCOD_c/L-day 이상에서는 F/R비가 0.024인 경우 유출수 VSS/TSS비는 0.498로 나타났고, F/R비가 0.303과 0.91일 때는 각각 0.472, 0.472로 나타났다. F/R비가 0.024일 때의 유출수 VSS/TSS비는 F/R비가 0.303과 0.91일 때 보다 0.026 크게 나타나 높은 유기물부하율에서는 F/R비를 작게 가져갈수록 유기물제거효율이 감소하는 것으로 조사되었다.

Fig. 5는 운전기간 중 유입수와 각 반응조의 유출수의 TCOD_c와 SCOD_c농도 변화를 나타내었다. 평균유기물부하율이 6.23 gTCOD_c/L-day에서 8.54 gTCOD_c/L-day로 증가됨에 따라 유출수의 TCOD_c농도는 점차 증가되는 것으로 나타났다. 또한 유입수의 TCOD_c농도가 증가되면서 F/R비를 0.024로 운전된 반응조의 유출수 TCOD_c농도는 15,100 mg/L로 증가되어 F/R비가 0.303과 0.91로 운전된 다른 반응조의 유출수 농도에 비해 1500 mg/L 정도 높아졌는데, 이는 유기물부하율이 증가됨에 따라 기질 증가로 F/R비가 높아져 미생물의 침강성이 나빠지고, 또한 침강단계에서 가스의 발생으로 고액분리가 잘 이루어지지 않아 처리수의 TSS농도가 높아짐에 따라 미생물 유실이 많아져

비유기물부하율(Specific Organic Loading Rate, SOLR)이 증가되어 소화효율이 감소되었기 때문으로 사료된다. SCOD_c농도 변화의 경우 F/R비가 0.024로 운전된 반응조의 경우, 운전시작 60일 부터 유출수의 SCOD_c농도가 급격히 증가되는 추세로 나타났는데, 이는 유기산이 methanogenic bacteria에 의해 분해되지 않고 반응조 내 축적되었기 때문으로 사료된다. 반면, F/R비를 0.91로 시료 유입을 길게 유지시킨 반응조의 경우, 유기물부하율이 증가됨에 따라 점차 반응조 내에 유기산이 축적되기는 하나 축적이 느리게 진행되는 것으로 나타나, 유기물 부하율 보다는 F/R비에 따라 ASBR공정의 운전성능이 크게 변화하는 것으로 조사되었다. Kennedy 등(1991)은 ASBR공정의 반응주기를 1일 1회로 고정된 후 F/R비를 각각 0.2, 0.5, 2로 변화시키며 반응조를 운전한 결과, 유기물부하율이 7.4 gTCOD_c/L-day이하에서는 F/R비를 0.2로 유지한 반응조가 가장 높은 유기물제거효율을 보였으나, 유기물부하율이 7.4 gTCOD_c/L-day 이상에서는 유기물제거효율이 급격히 저하한다고 보고하였다. 이와는 달리 본 연구결과는 F/R비가 0.024로 운전된 반응조에서도 유기물부하율을 8.54 gTCOD_c/L-day로 높게 유지시켰음에도 안정된 처리를 나타내었다. 이는 Kennedy 등(1991)의 경우 SOLR값이 대략 0.5 gCOD_c/gVSS/d인 반면 본 연구의 SOLR값은 0.24 gCOD_c/gVSS/d로 나타나 본 연구의 반응조 내 미생물 농도가 더 높게 유지되어 유기물질의 분해능이 커졌기 때문으로 사료된다.

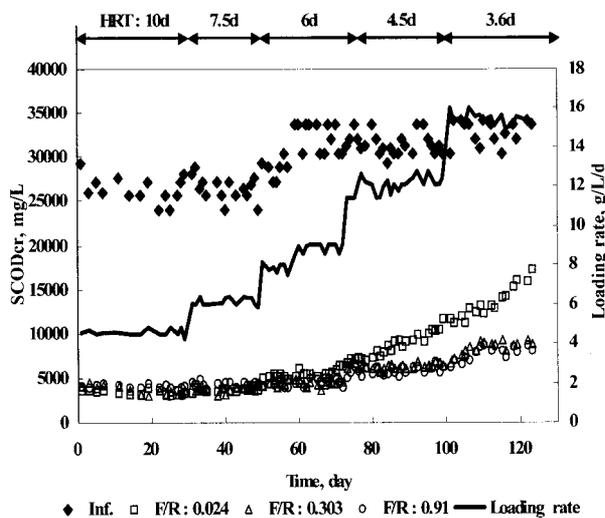
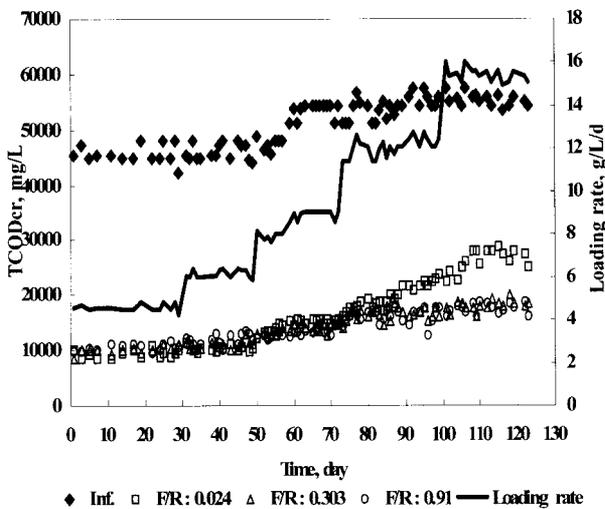


Fig. 5. Variation of TCOD_c and SCOD_c concentration in the ASBR with F/R ratio.

3.3. F/R비에 따른 가스발생량

Fig. 6에는 운전기간 중 각 반응조의 가스발생량 변화를 나타내었다. 유기물부하율 4.56 gTCOD_c/L-day와 6.23 gTCOD_c/L-day에서 F/R비에 따른 가스 발생량은 F/R비가 0.024, 0.303, 0.91일 때 13.88 L/day와 13.85 L/day, 13.25 L/day와 18.04 L/day, 17.50 L/day와 17.08 L/day로 나타나 F/R비가 작을수록 가스발생량이 크게 나타났다. 반면 유기물부하율이 8.54 gTCOD_c/L-day에서는 F/R비가 작은 순서대로 가스발생량이 각각 22.34 L/day, 23.40 L/day, 23.72 L/day로 나타나 점차 유기물부하율이 증가됨에 따라 시료 주입시간을 작게 가져갈수록 가스발생량이 작아지는 것으로 나타났다. 이는 6.23 gTCOD_c/L-day의 낮은 유기물부하율에서는 시료의 빠른 주입으로 인해 분해시간이 연장되어 생물학적으로 분해가 느린 유기물(slowly biodegradable soluble COD)까지 분해되어 가스 발생량이 증가된 것이며, 8.54 gTCOD_c/L-day의 높은 유기물부하율에서는 시료의 빠른 주입으로 인해 반응조 내 VFA농도의 증가로 pH가 저하됨에 따라 methanogenic bacteria의 활성도가 저하되었기 때문으로 판단된다.

Fig. 7에는 각 반응조에 적용된 F/R비에서 유기물부하율에 따른 각 반응조의 유기물제거량당 메탄가스발생량을 나타내었다. F/R비가 0.024인 경우 유기물부하율이 8.54 gTCOD_c/L-day 이상부터는 유기물부하율이 커짐에 따라 유기물제거량당 메탄발생량은 감소되어 유기물부하율이 15.43 gTCOD_c/L-day에서는 유기물부하율이 6.23 gTCOD_c/L-day

Table 3. Experimental results of ASBR with the organic loading rate and F/R ratio

OLR g/L/d	TSS R.E., %	TCOD _{Cr} R.E., %	SCOD _{Cr} R.E., %	NH ₄ -N mg/L	Gas		
					GPR, L-day	L CH ₄ / gTCODrem	Methane content, %
F/R ratio : 0.024							
4.56	81	87	79	498	13.88	0.32	72
6.23	80	86	78	642	18.04	0.32	72
8.54	73	82	71	618	22.34	0.30	68
12.04	61	72	63	594	28.83	0.29	65
15.43	53	59	52	532	29.22	0.27	63
F/R ratio : 0.303							
4.56	79	86	78	572	13.85	0.32	70
6.23	80	86	75	473	17.50	0.32	70
8.54	74	86	75	569	23.40	0.31	71
12.04	69	80	73	542	31.38	0.31	68
15.43	65	75	68	586	38.83	0.31	67
F/R ratio : 0.91							
4.56	79	85	78	518	13.25	0.32	68
6.23	79	84	78	423	17.08	0.32	72
8.54	76	86	76	623	23.72	0.32	73
12.04	74	82	75	498	31.80	0.31	68
15.43	68	77	68	632	39.64	0.31	68

(*GPR : Gas Production Rate, L/day)

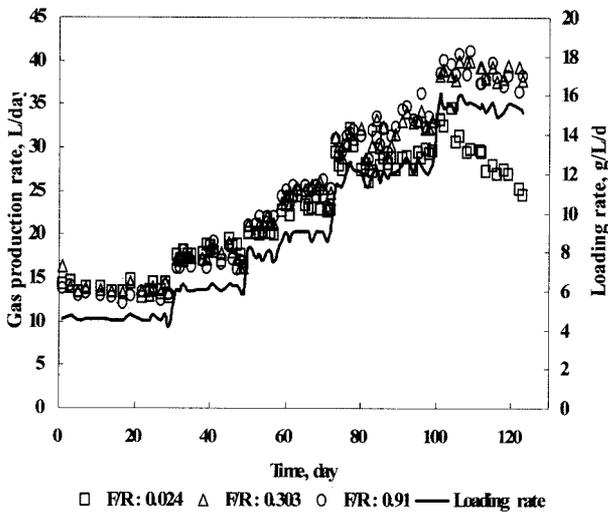


Fig. 6. Variation of gas production rate in the ASBR with F/R ratio.

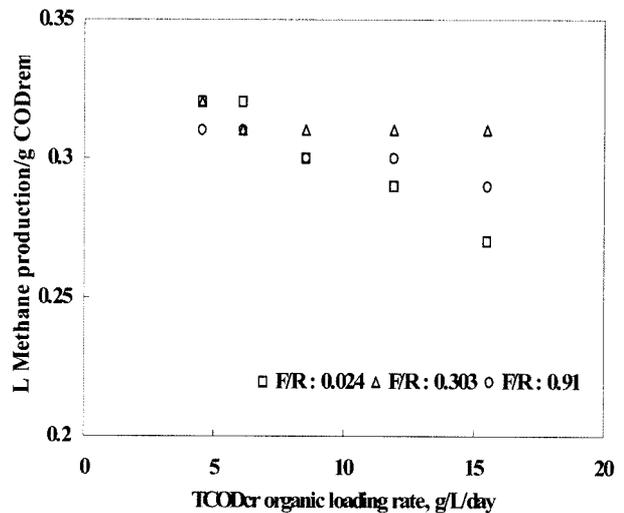


Fig. 7. Effect of organic loading rate on gas production rate in the ASBR with F/R ratio.

에서의 유기물제거량당 메탄발생량인 0.32 L CH₄/gTCODrem 보다 낮은 0.27 L CH₄/gTCODrem로 나타났다. 또한 F/R비가 0.303의 경우, 유기물부하율 변화에 따라 유기물제거량당 메탄발생량이 거의 감소되지 않았으며, F/R비가 0.91인 경우 F/R비가 0.303과 마찬가지로 유기물부하율이 증가되어도 유기물제거량당 메탄발생량은 F/R비가 0.024인 경우 보다 변화율은 작지만 감소되는 것으로 조사되었다.

Table 3은 유기물부하율에 따라 최적의 F/R비를 도출하기 위해 유기물제거효율 및 가스 생성효율 등의 실험결과 값을 나타낸 것으로서 유기물부하율이 작을 경우, F/R비를 작게 운전하는 것이 효과적이며, 유기물부하율이 높을 경

우, F/R비를 길게 운전하여야 함을 알 수 있었다.

4. 결론

암모니아를 탈기시킨 축산폐수의 유기물질을 효과적으로 안정화하기 위하여 적용된 ASBR공정의 적정 운전조건을 도출하기 위한 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 유기물부하율이 6.23 gTCOD_{Cr}/L-day로 낮게 유지될 때에는 소화효율이 높아 침강단계에서 가스발생이 일어나지 않아 미생물의 유실이 적게 나타나 적용된 F/R비는 유출수의 VSS/TSS비에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나, 유기물부하율을 11.0 gTCOD_{Cr}/L-day이

상으로 유지될 때에는 F/R비를 작게 유지할수록 침전단 계에서 가스발생량이 증가되어 침전효율이 감소되고 유기물제거 효율이 감소하는 것으로 조사되었다. 또한 유기물부하율을 8.54 gTCOD_c/L-day로 높게 유지하며 F/R비를 0.024로 운전한 결과 SOLR값이 0.24 gCOD_c/gVSS/d로 미생물 농도가 높게 유지되어 유기물질의 분해능이 커져 높은 유기물 제거효율을 나타내는 것으로 사료된다.

- 2) 서로 다른 F/R비로 운전되는 3개의 반응조에 유기물부하율을 4.56 gTCOD_c/L-day에서 15.43 gTCOD_c/L-day로 증가시키며 운전한 결과 F/R비가 0.024인 경우의 적정 유기물부하율은 6.23 gTCOD_c/L-day로 나타났으며, TSS제거효율이 80%, TCOD_c과 SCOD_c 제거효율이 각각 86%, 78%, 유기물제거량당 가스발생량이 0.32 L CH₄/CODrem로 나타났다. F/R비를 0.303과 0.91로 적용할 때의 적정 유기물부하율은 12.46 gTCOD_c/L-day이며, TSS 및 TCOD_c, SCOD_c 제거효율은 각각 70%, 80%, 70%이상으로 나타났고, 가스발생량은 0.30 L CH₄/CODrem로 나타났다. 하지만, 유기물부하율이 15.43 gTCOD_c/L-day로 증가됨에 따라 TSS와 SCOD_c 제거효율이 각각 65%와 68%로 감소되었으며, 가스발생량은 0.29 L CH₄/CODrem로 감소되었으며 반응조 내 유기산이 축적되는 것으로 나타났다.

참고문헌

- Ahang, R., Yin, Y., Sung, S. and Dague, R. R., Anaerobic Treatment of Swine Waste by the Anaerobic Sequencing Batch Reactor, *In Proc. 51th Purdue Industrial Waste Conf.* Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, pp. 315-320 (1996).
- Angeant, L. T., Sung, S. and Raskin, L., Methanogenic Population Dynamics during Startup of Full-scale Anaerobic Sequencing Batch Reactor Treating Swine Waste, *Water Research*, **36**(18), pp. 4648-4654 (2002).
- Barley, M. and Brodtkorb, T. S., Modeling Microbial Kinetics in an Anaerobic Sequencing Batch Reactor-model Development and Experimental Validation, *Water Environment Research*, **71**(7), pp. 1320-1332 (1999).
- Bonmati, A. and Flotats, X., Air Stripping of Ammonia from Pig Slurry: Characteristics and Feasibility as a Pre- or Post-treatment to Mesophilic Anaerobic Digestion, *Waste Management*, **23**(3), pp. 261-272 (2003).
- Brito, A. G., Rodrigues, A. C. and Melo, F. L., Feasibility of a Pulsed Sequencing Batch Reactor with Anaerobic Aggregated Biomass for the Treatment of Low Strength Waste water, *Water Science and Technology*, **35**(1), pp. 193-198 (1997).
- Fernandes, L., Kennedy, K. J. and Ning, Z., Dynamic Modeling of Substrate Degradation in Sequencing Batch Anaerobic Reactors(SBAR), *Water Research*, **27**(11), pp. 1619-1628 (1993).
- Hansen, K. H., Angelidaki, I. and Ahring, B. K., Anaerobic Digestion of Swine Manure: Inhibition by Ammonia, *Water Research*, **32**(1), pp. 5-12 (1998).
- Jang, D. and Chung, T. H., Effects of Digestion Temperature and Retention Time on the Settleability of Digested Sludge, *Journal of Korea Society of Environmental Engineers*, **13**(2), pp. 67-78 (1991).
- Kennedy, K. J., Sanchez, W. A., Hamoda M. F. and Droste, R. L., Performance of Anaerobic Sludge Blanket Sequencing Batch Reactors, *J. WPCF*, **63**(1), pp. 75-83 (1991).
- Kennedy, K. L. and van den Berg, L., Stability and Performance of Anaerobic Fixed-film Reactor during Hydraulic Overloading at 10 to 35°C, *Water Research*, **16**(9), pp. 1391-1398 (1982).
- Lettinga, G., Van Velson, A. F., Hobma, S. W., de Zeeuw, W. and Klapwijk, A., Use of the Upflow Sludge Blanket (USB) Reactor Concept for Biological Waste Water Treatment, Especially for Anaerobic Treatment, *Biotechnology and Bioengineering*, **22**(4), pp. 699-734 (1980).
- Lin, J. G., Ma, Y. S., Chao, A. C. and Huang, C. L., BMP Test on Chemically Pretreated Sludge, *Bioresource Technology*, **68**(2), pp. 187-192 (1999).
- Marin, P., Alkalay, D., Guerrero, L., Chamy, R. and Schiappacasse, M. C., Design and Startup of An Anaerobic Fluidized Bed Reactor, *Water Science and Technology*, **40**(8), pp. 63-70 (1999).
- McCarty, P. L., Anaerobic Wastewater Treatment Fundamentals, Part One: Chemistry and Microbiology, *Public Works*, **9**, pp. 107-112 (1964).
- Omil, F., Garrido, J. M., Arrojo, B. and Mondes, R., Anaerobic Filter Reactor Performance for the Treatment of Complex Dairy Wastewater at Industrial Scale, *Water Research*, **37**(17), pp. 4099-4108 (2003).
- Owen, W. F., Stuckey, D. C., Healy, J. B., Young, L. Y. and McCarty, P. L., Bioassay for Monitoring Biochemical Methane Potential and Anaerobic Toxicity, *Water Research*, **13**(6), pp. 485-492 (1979).
- Pfeffer, J. T., Leiter, M. and Worland, J. R., Population Dynamics in Anaerobic Digestion, *J. WPCF*, **39**(8), pp. 1035-1322 (1967).
- Ratuznei, S. M., Rodrigues, J. A. D., de Camargo, E. F. M., Ribeiro, R. and Zaiat, M., Effect of Feeding Strategy on a Stirred Anaerobic Sequencing Fed-batch Reactor Containing Immobilized Biomass, *Bioresource Technology*, **90**(2), pp. 199-205 (2003).
- Shizas, I. and Bagley, D. M., Improving Anaerobic Sequencing Batch Reactor Performance by Modifying Operational Parameters, *Water Research*, **36**(1), pp. 363-367 (2002).
- Song, j. H., Chung, T. H. and Chang, D., Evaluation of Reaction Characteristics of an Anaerobic Sequencing Batch Reactor Process, *Journal of Korea Society of Water Quality*, **12**(2), pp. 205-213 (1996).
- Sung, S. and Dague, R. R., Laboratory Studies on the Anaerobic Sequencing Batch Reactor, *Water Environmental Research*, **67**(3), pp. 294-301 (1995).
- Timur, H. and Osturk, I., Anaerobic Sequencing Batch Reactor Treatment of Landfill Leachate, *Water Research*, **33**(15), pp. 3225-3230 (1999).
- Van Velsen, A. F. M., Adaption of Methanogenic Sludge to High Ammonia-nitrogen Concentration, *Water Research*, **13**(10), pp. 995-999 (1979).

- Young, J. C. and McCarty, P. L., The Anaerobic Filter for Waste Treatment, Technical Report No. 87, Civil Engineering, Stanford University, Palo Alto, California (1968).
- Zeeman, G., Sanders, W. T. M., Wang, K. Y. and Lettinga, G., Anaerobic Treatment of Complex Wastewater and Waste Activated Sludge-Application of an Upflow Anaerobic Solid Removal(UASR) Reactor for the Removal and Pre-Hydrolysis of Suspended COD, *Water Science and Technology*, **35**(10), pp. 121-128 (1997).
- Zhang, R. H., Yin, Y., Sung, S. and Dague, R. R., Anaerobic Treatment of Swine Waste by the Anaerobic Sequencing Batch Reactor, *Transactions of ASAE*, **40**(3), pp. 761-767 (1997).