

嫌氣性 流動層 反應器에서 層膨脹에 따른 處理特性 및 微生物 附着特性

安載東 · 鄭宗植 · 張仁鏞
建國大學校 化學工學科

A Study on the Characteristics of the Treatment with Bed Expansion and the Biomass Attachment in the Start-up of the AFBR

Jae Dong Ahn, Jong Sik Jeong and In Yong Chang
Department of Chemical Engineering, Kon-Kuk University

ABSTRACT

The objective of this study is to estimate the effect of the bed expansion and the characteristics of attached biomass in the start-up in the anaerobic fluidized bed reactor(AFBR). The fluidized bed reactor was operated with bacteria supported on the bed of granular activated carbon(GAC). The reactor was operated at 35°C, 5 kg COD/m³·day at bed expansion varying from 0 to 100% with soluble glucose wastewater(5,000 mg/l). When the effluent reached a steady state at 100% of bed expansion, maximum COD removal efficiency of 87.3% and 0.031 m³CH₄/kg COD_{removed} were obtained. At higher bed expansion, COD removal efficiency, methane production rate and biogas production rate increased. Especially, at 50% of bed expansion, the efficiency of the treatment increased rapidly in the AFBR. The biomass colonized in the pits and crevices of the GAC particle and no complete biofilm was established in the bioreactor during the experiment.

Keywords: Bed expansion, biomass attachment, anaerobic fluidized bed reactor, COD removal efficiency, methane production rate, biogas production rate

I. 서 론

문화수준의 향상과 산업발전으로 오염된 폐수의 양은 계속 증가하고 있으며, 이에 대한 처리의 문제점은 매우 심각한 문제로 대두되고 있다. 이러한 처리의 문제는 환경 오염기준과 경제성의 고려에서 처리형식을 선택하게 된다. 일반적으로 유기성 폐수의 처리시 호기성 공정이 보편적으로 이용되고 있지만, 호기성공정의 근본적인 문제로 인해 혐기성 공정이 80년대 이후 많은 관심의 대상이 되어 왔다. 현재 국내·외적으로 혐기성 공정에 대한 개발이 진행되고 있으며, pilot 규모의 처리장도 가동 중에 있다.

특히, 1982년 미국 Alabama Birmingham에서는 120 m³ 규모의 Ecolotrol 반응기를 건설하였으며,

Iowa Muscatine에서는 360 m³ 규모의 발효조를 건설하여 가동하였다. 네덜란드의 Delft에서도 350 m³, 프랑스의 Prouvy에서는 120 m³ 규모의 공장을 건설하였다.¹⁾

혐기성 공정의 문제점을 극복하기 위해 1969년 McCarty²⁾는 anaerobic filter reactor를 개발하였으며, 80년대에 이르러 유동층 반응기가 Switzerbaum과 Jewell³⁾에 의해 처음으로 개발되었다.

혐기성 유동층 공정은 산업폐수의 적용에 주로 이용되어 왔으며, 공정의 안전한 수력학적 원인 때문에 매우 높은 유기물 부하까지도 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 유동층 반응기에서 유체는 메디아를 유동시키기에 충분한 유속으로 층의 아래로부터 분산이 되면서 유입된다.

또한 유동층 반응기에서 많이 사용되는 담체로는

모래, GAC, zeolite, anthracite, aluminium oxide 등이 있으며, 이들의 사용으로 인해 미생물의 부착에 필요한 표면적을 제공하여 매우 높은 biomass를 반응기내에 유지할 수 있다. 매디아로서 직경이 0.2~0.5 mm인 모래를 사용하였을 경우, 미생물이 성장할 수 있는 표면적을 2,000 m²/m³을 제공하여, 30~40 kg VSS/m³의 biomass농도를 가질 수 있다.^{1, 4)}

유체의 순환으로 인해 고정상반응기에서 발생하는 plugging 현상 및 channeling 현상을 방지할 수 있으며, 매디아의 표면에 의해 얇은 biofilm을 형성함으로써 효율적인 물질확산을 유지할 수 있다. 또한 순환수에 의해 용해성 유기물과 미생물간의 접촉효율을 최대로 유지하는 특징을 가지고 있다.

그러나 유동층반응기는 타 공정에 비해 초기 start-up이 매우 어렵기 때문에, 식중(seeding)되는 미생물의 적절한 조건과 운전조건 즉, 체류시간, 영양물질, 유기물부하 등에 의해 미생물 부착속도가 좌우된다.

일반적으로 유동층 시스템에서 초기 미생물 군집은 매디아내의 균열된 곳(crevice)이나 움푹 들어간 홈에서 일어난다.^{5, 8)} 이런 곳에서부터 계속적인 성장을 하여 biofilm을 형성하기 때문에 매디아의 선정시 다공성이나 부정형입자의 매디아가 선호되기도 한다.

유동층 반응기에서 초기 유동화 정도는 미생물의 군집속도에 큰 영향을 미친다. Switzenbaum과 Jewell은 25%의 총팽창, 0.5 mm의 aluminium oxide, 낮은 유기물부하에서 biofilm을 형성하는데 9개월이 소요되었으며, Kieselguhr와 Hawell은 20%의 총팽창, 0.6 mm의 다공성 입자, 85 kg COD/m³·day의 조건에서 30일 이내에 75%의 COD제거율을 나타내었다. Diaz-Baez는 5, 10, 15, 25%의 총팽창에서 25%의 총팽창시 가장 높은 biomass농도를 얻을 수 있었으며, 5%에서는 층내에 갇혀진 가스로 인해 큰 기포가 형성되어, 가스의 상승으로 매디아는 유출되거나 매디아에서 biomass는 탈리가 되는 현상이 발생되었다. 유동층의 총팽창은 초기 미생물 부착 및 유기성 폐수의 처리효율 및 운전비를 좌우하게 된다. 지금까지의 연구보고에서는 좁은 범위의 총팽창과 임의의 총팽창으로 실험을 함으로써 최적의 운전효과를 얻을 수 없었다.

따라서 본 연구에서는 실험적으로 상용화된 크기의 유동층 반응기를 이용하여, 총팽창에 따른 유기성 폐수의 처리효율을 살펴봄으로써 최적의 유동층 시스템 설계에 있어 기초 자료를 제시하고자 한다.

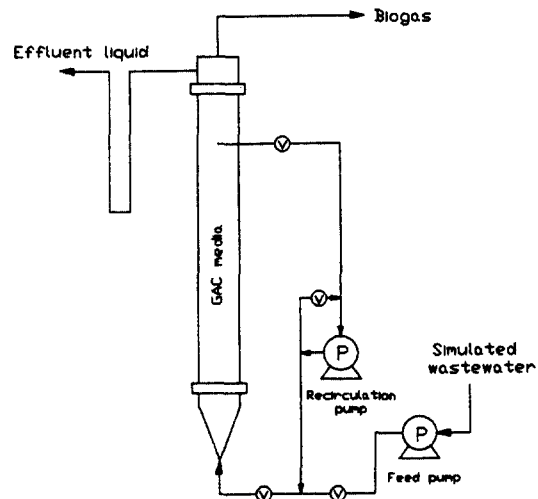


Fig. 1. Schematic diagram of the AFBR.

Table 1. Reactor condition

Temperature (°C)	35 ± 1
pH	7.2~7.5
Reactor volume (l)	9.5
Residence time (hr)	24
Influent flow rate (l/hr)	0.40
Carrier	GAC
Carrier quantity (l)	3.8
Fraction of carrier (vol.%)	40
Bed expansion (%)	0~100
Substrate	Glucose

Table 2. Physical properties of the media studied

Media type	GAC
Media raw material	Coconut shell
Particle size (mesh)	8×30
Dry weight of media in reactor (kg)	1.71
Apparent density (g/cm ³)	0.43~0.47
Specific surface area (m ² /g)	1,100
Total pore volume (cm ³ /g)	0.5~0.6
Average pore diameter (Å)	14~16

II. 실험

1. 실험장치

본 실험에 사용된 반응기는 유동화 시스템이며, 내경 0.09 m, 높이 1.50 m, 부피 9.5 l인 추출 아크릴 원통형으로 구성되어 있으며, 반응기의 온도유지를

위해 반응기 외부에 jacket을 설치하여 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지시켰다.

Glucose를 주원료로 하는 합성폐수를 제조하여 사용하였으며, 정량펌프를 사용하여 0.40 l/hr 의 속도로 연속 공급하였다. 공급된 폐수는 순환부에서 반응액이 취해진 후, 원추형 분산판에서 분산되어 지는 순환수에 의해 급속 혼합되어진다.

유동층 반응기에 사용된 매디아는 $8 \times 30\text{ mesh}$ 인 활성탄(GAC)을 사용하였으며, 반응의 약 40% 정도 충전하였다.

반응기내의 순환유량을 조절하여 유동층을 0%에서 100%까지 증가시키면서 실험을 하였으며, 상향 유속은 $0 \sim 7.86\text{ m/hr}$, 순환비는 $0 \sim 1:112$ 사이를 단계적으로 증가시켰으며, 반응기의 조건과 실험에 사용된 매디아의 물리적 특성은 각각 Table 1, 2와 같다.

2. 합성폐수 제조

합성폐수는 탄소원으로 글루코오스와 미생물의 성장에 필요한 필수무기영양분을 함유하고 있으며, 성분(g/l)은 다음과 같다.

Glucose 5.0; NH_4HCO_3 1.5; $\text{NaHCO}_{3.8}$; $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.25; K_2HPO_4 0.28; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.1; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.058; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.058.

합성폐수는 균일한 주입을 위해 agitator에 의해 완전혼합되었으며, feed tank에는 자외선 램프를 설치하여 호기성 및 혐기성균의 생존으로 인한 유기물의 분해를 방지하였다.

3. 분석

유입수와 유출수의 용해성 COD, 온도, pH, SS (suspended solid), VA(volatil acids)는 Standard Methods⁹⁾에 따라 측정하였으며, biogas 생성량과 biogas 성분(CH_4 , CO_2)은 매일 측정하였다. Biogas의 분석은 gas chromatograph (HP5890-II)의 TCD detector를 사용하였고, 매디아에 미생물의 부착상태를 확인하기 위해 SEM(AKASHI)을 이용하였다.

4. 미생물 식종

미생물 식종(seeding)을 위해 중량천 종말처리장의 메탄발효조에서 미생물을 채취한 후, sieving하여 반응기에 주입하였다. Glucose 폐수에 적응시키기 위해 미생물을 식종한 후 200 mg/l glucose 용액을 2 l/day 로 주입하였으며, 순응된 후 COD 5.0 g/l 를 기준으로 하여 연속적으로 주입하였다.

5. 운전조건

미생물이 순응된 후 체류시간은 24 hr, 유기물부하는 $5.0\text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{day}$ 로 고정한 후, 유동층을 0, 20, 50, 100%로 증가시키면서 실험을 하였으며, 실험조건은 Table 3과 같다.

III. 결과 및 고찰

1. 총팽창에 따른 유동층반응기의 처리특성

Fluidized bioreactor는 반응기내의 유체를 순환 시킴으로써 매디아를 팽창시켜 유입 폐수와 매디아에 부착되어 있는 미생물간의 물질확산을 촉진시키고, 고농도의 유입폐수를 순환수와 순간적으로 혼합시킴으로써, 반응기 전체적으로 미생물에 대한 부하를 줄일 수 있는 장점을 가진 bioreactor이다.

그러므로 너무 작은 순환비에서는 bioreactor내

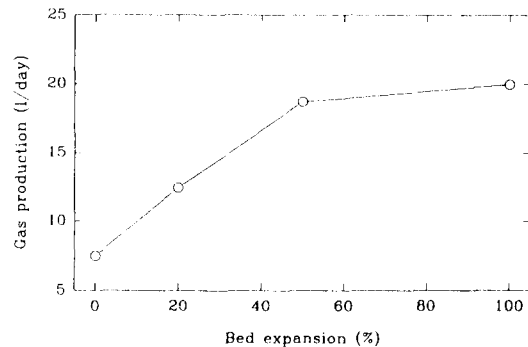


Fig. 2. Effect of bed expansion on gas production in the AFBR.

Table 3. Fluidized bed reactor parameters during variable bed expansion

Bed expansion (%)	Fluidized volume (l)	Fluidized height (cm)	Superficial velocity (m/hr)	Recycle ratio (%)
0	3.8	60	0.0	0
20	4.6	72	3.3	50
50	5.7	90	5.4	85
100	7.6	120	7.1	112

bubble slugging 현상을 초래할 수 있으며, 순환비의 증가는 순환을 위한 펌프동력비와 반응기의 크기 등을 좌우하기 때문에 적절한 순환비가 요구된다.

순환비의 증가로 인해 bioreactor내의 층은 팽창되며, 이 팽창의 증가에 따른 처리 효율을 알아보기 위해 체류시간 24 hr, 유입 COD는 5,000 mg/l, 온도는 약 35°C로 유지시킨 상태에서 층을 팽창하며 실험을 하였다.

Fig. 2는 미디어층을 0, 20, 50, 100%로 증가시켰을 때 정상상태에서 생성되는 biogas의 평균값을 나타낸 것이다.

미디어를 유동화시키지 않는 상태에서 biogas의 생성량의 폭이 다른 공정보다 컸으며, 운전 15일 정도에서 약 8.1l/day로 거의 일정해졌다. 미디어가 유동되지 않았기 때문에 미디어 사이에 부착되어 있거나 포획되어 있는 미생물에 의해 생성된 bubble이 다른 bubble과 합체되어 큰 bubble을 형성하였다. 이 bubble은 위에 놓여 있는 bed를 상승시켜 bubble의 slugging현상이 유발되어 반응기 운전상의 문제점을 초래하였다. 그러나 미디어에 미생물의 부착은 미디어의 홈이나 갈라진 틈 사이에 부착됨을 볼 수 있었으며, 초기 많은 미생물이 미디어의 틈 사이에만 부착되어 있음을 Fig. 8(a)의 SEM 사진을 통해 확인할 수 있다.

순환비를 증가시켜 팽창을 20%로 증가시켰을 때 초기 biogas 생성량은 급격히 줄어 2.3l/day까지 줄어들었으나 운전 20일 정도 지난 후 안정화되었으며, 생성량은 약 13.5l/day 정도였다.

팽창층을 50%로 증가시 biogas는 일시적으로 감소하였지만 5일정도 지난 후 계속적으로 증가하였으며, 팽창층을 100%로 증가시켰을때도 일시적으로 감소하였지만 빠른 회복을 보임을 알 수 있었다.

즉 팽창층을 증가시키므로써 안정화되는데 소요되는 시간이 30일, 25일, 14일, 5일로 점점 짧아짐을 알 수 있었다. 정상상태에서 생성되는 biogas 생성량은 층의 팽창으로 인해 생성되는 가스량은 증가를 하지만 50%에서 100%로 증가하는 별 차이가 없음을 알 수 있다.

팽창층을 0%로 하였을 때는 보편적인 UASBR (upflow anaerobic sludge bioreactor)와 같은 형태를 하였으나, 20%의 bed expansion에서는 순환수에 의해 부착되지 못한 미생물은 모두 제거되고 미디어에 부착되어 있는 미생물만이 유기물제거 역할을 하였다. 순환되는 비가 0에서 112까지 계속적으로 증가하면서 미생물과 순환수의 접촉기회는 더욱 많아진다. 그러므로 유기물제거효율도 층팽창을 증가

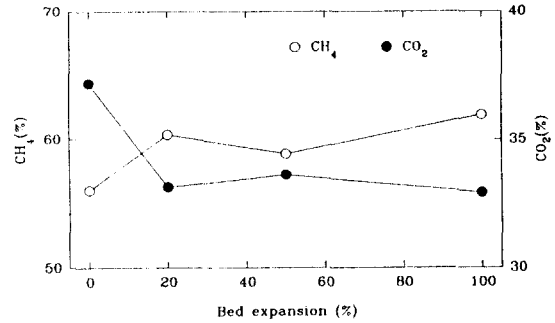


Fig. 3. Effect of bed expansion on CH₄ & CO₂ % in the AFBR.

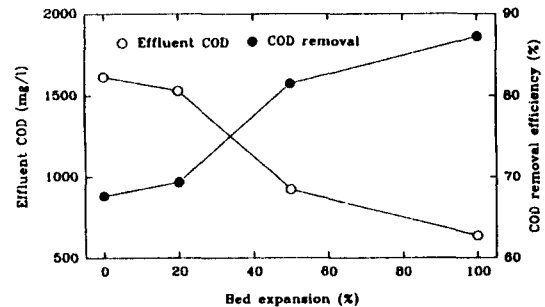


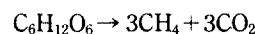
Fig. 4. Effect of bed expansion on effluent COD & COD removal efficiency in the AFBR.

시키면서, 즉 순환비를 증가시키면서 계속적으로 증가하는 경향을 보이고 있다.

그러나 층팽창이 0에서 50%까지는 직선적인 증가를 보이고 있지만 50%에서 100%에서는 증가의 추세가 매우 완만한 경향을 보이고 있다. 이는 50%의 층팽창, 즉 순환비를 85로 하였을 때와 112로 하였을 때의 효과의 차는 매우 미비하다고 사료된다.

Fig. 3은 팽창층을 증가시 생성된 biogas의 평균 조성을 나타낸 것이다. 층팽창이 0%일 때 메탄의 함량은 56%로 가장 낮았으며, 순환비의 증가로 인해 4~5% 정도 증가됨을 알 수 있다. 반면, 층팽창이 0%에서 CO₂는 37.2%를 보였으며, 20%의 층팽창 증가 이후부터는 약 33%로 거의 일정함을 알 수 있었으며, 수소는 약 5~6% 정도였다.

유기물질이 혐기성 분해될 때 미생물이 이용하는 기질과 새로운 세포형성을 고려하지 않을 경우 생성되는 가스와 기질의 양론적 관계식은 Buswell & Mueller¹⁰⁾의 제안식을 이용하면 본 실험에 사용된 Glucose의 경우에는 다음과 같다.



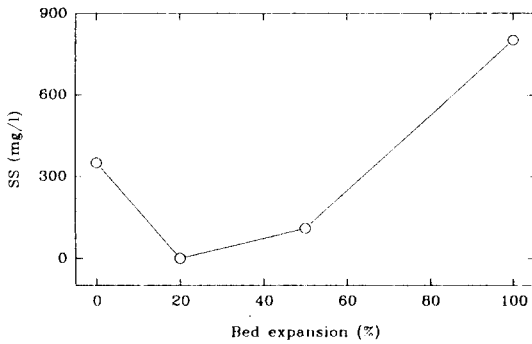


Fig. 5. Effect of bed expansion on effluent SS in the AFBR.

즉, Glucose가 혐기성 분해시 생성되는 가스는 메탄과 이산화탄소이며, 각각의 성분비는 50%임을 알 수 있다. 그러나 일반적으로 glucose를 주원으로 하였을 경우 생성되는 biogas는 CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2S , NH_3 등 여러 가스상 물질이 생성되며, 본 실험에서는 CH_4 , CO_2 , H_2 임을 확인할 수 있었으며, 그 조성은 팽창층의 증가시 큰 변화를 보이지 않았다.

Fig. 4는 총팽창의 증가에 따라 유출되는 평균 COD와 평균 COD 제거효율을 나타낸 것이다. 0%의 총팽창에서 유출되는 COD는 1,615 mg/l로 67%의 제거효율을 보였으며, 20%의 총팽창시 0%보다 85 mg/l 적은 양이 유출되어 1.72%의 COD 증가효율이 약간 증가하였음을 알 수 있었다. 그러나 50%의 증가시 924.5 mg/l의 COD가 유출되어 81.51%의 COD 제거효율을 보였다. 100% 증가시 87.25%의 증가율로 50%일 때보다 5.74% 증가되었다.

즉 유동화 시스템에서 총팽창의 증가로 인해 미생물과 기질간의 접촉횟수 및 물질확산속도를 증가시키기 때문에 기질의 제거율이 점차적으로 증가하였다. 특히 50%의 총팽창시 유기물제거효율이 가장 큰 폭으로 증가함을 알 수 있었으나 100%에서 최대의 유기물의 제거효율을 얻을 수 있었다.

Fig. 5는 유동층 반응기에서 유출되는 평균 부유고형물(suspended solids, SS)을 나타낸 것이다. 0%의 총팽창시 bed내에서 형성되는 bubble의 합체에 의해 형성되는 bubble slugging 현상으로 인해 운전초기에 2500 mg/l 정도의 많은 미생물이 유실되었지만, 운전 25일 정도에서 약 300 mg/l 정도로 일정하게 되었다.

총팽창을 20%로 하였을 때 운전초기 5일까지 반응기내의 부착되지 못한 미생물이 대부분 유실되어 4,000 mg/l까지 증가하였지만, 약 15일 후부터는

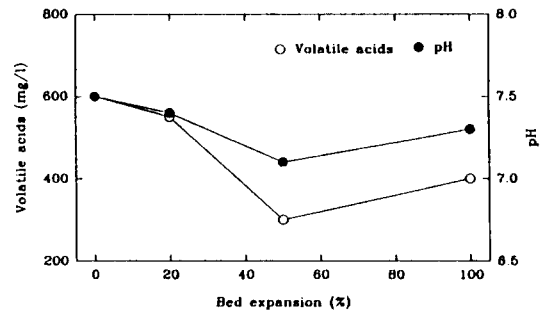


Fig. 6. Effect of the bed expansion on VA & pH in the AFBR.

SS가 거의 0 mg/l였다. 매디아에 부착되지 못한 미생물은 유출수와 함께 유실되며, 부착된 미생물만이 생존하여 기질을 제거하는 것으로 생각된다. 매디아에 부착되어 있는 미생물은 유체의 흐름으로 인한 shear force를 어느 정도 피할 수 있는 매디아의 홈이나 갈라진 틈에서 성장하고 있음을 Fig. 8(b)의 SEM사진으로 확인하였다. 또한 0%에서 미생물 크기를 볼때 20%의 유동화시 미생물크기가 더욱 크다는 Fig. 8(a), (b)를 통해 발견할 수 있었다. 50% 증가시 SS는 운전 초기 약 0 mg/l에서 600 mg/l까지 증가하였지만 10일 이후부터 약 110 mg/l로 일정하게 유출됨을 알 수 있었다.

이와 같은 현상은 순환비의 증가로 인해 매디아에 부착되어 있던 미생물이 유체의 shear force에 의해 탈리되어 순간적으로 유출 SS가 높고, 그후 안정되어 증가된 유체의 유속에서도 견딜 수 있을만큼 미생물은 새로운 환경에 적응되어 가는 것으로 사료된다.

Fig. 6은 각 조건에 따른 유출되는 평균 유기산을 나타낸 것이다. 유기산은 혐기성반응에서 생성되는 대표적인 중간물질로서, 본 반응조건에서의 정상상태에서의 농도는 전반적으로 600 mg/l 이하임을 확인할 수 있었다. 특히 팽창층이 50%일 때 가장 낮은 농도를 보였으며, 가장 안정적인 혐기성반응이 일어남을 확인해 주고 있다. 반응기내의 pH는 유기물의 분해로 생성된 유기산의 농도, 유입 폐수내의 알칼리도 유발물질, 산도 유발물질과 NH_4^+ 이온간의 상호작용에 의해 결정되어진다.

유기물이 분해되어 유기산이 생성되며, 이 유기산은 메탄균에 의해 메탄과 이산화탄소로 분해가 된다. 그러나 반응기내에 유기산이 축적되므로 pH는 중성이하로 떨어지게 되며, 그로 인해 메탄균의 활동에 부적합한 상태가 조성된다. 그러나 일반적으로

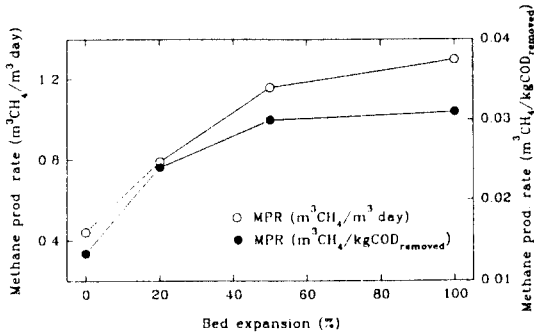


Fig. 7. Effect of the bed expansion on methane production rate in the AFBR.

혐기성 반응은 상호 완충작용이 되기 때문에 별도로 pH의 조절이 필요없다.

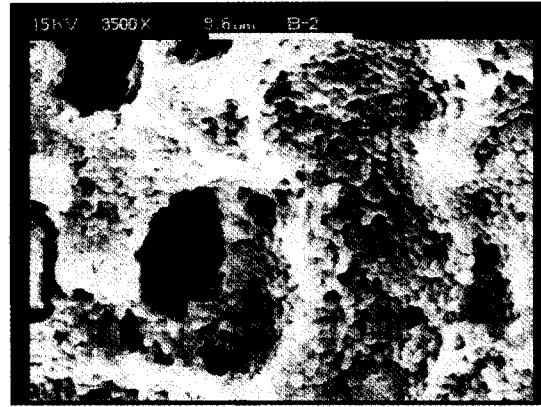
팽창률이 50%일 때 약 7.1 정도의 중성을 유지하였으며, 그 외의 조건에서는 7.4~7.5 정도로 약 알칼리성을 유지함을 알 수 있었다. 전체적으로 안정적인 혐기성반응이 일어남을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 증팽창에 따른 메탄가스생성을 나타낸 것이다. 0%에서 50%로 증팽창 증가시 0.44에서 1.16 m³ CH₄/m³·day로 직선적인 증가를 보이고 있지만, 50%에서 100%의 증가시 0.14 정도 증가한 결과를 보여 50%에서 100%로 증가시 생성되는 메탄가스 속도는 그다지 증팽창에 영향을 받지 않음을 보여 준다. 또한 제거된 COD당 생성되는 메탄가스속도도 메탄가스생성율과 비슷한 경향을 보이고 있으며, 50%의 증팽창시 가장 높은 값 0.030 m³ CH₄/kg COD_{removed}을 보여주고 있다.

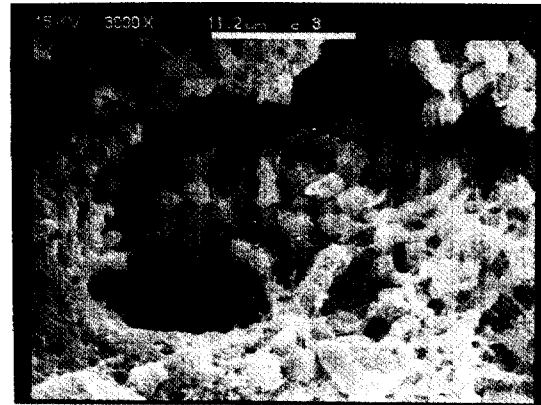
생성된 biogas내의 메탄의 함량은 Fig. 3에서 본 바와 같이 거의 일정함을 알 수 있었다. 생성된 biogas중 메탄만의 생성율을 볼 때, 증팽창이 증가됨에 따라 증가함을 알 수 있지만 50% 이상의 증팽창은 그 변화가 미비하였다. 이는 생성된 메탄가스의 함량은 일정하기 때문에 biogas의 생성량이 증가하는 Fig. 2와 같은 경향을 보이는 것과 일치함을 알 수 있다.

2. 유동층반응기의 미생물 특성

혐기성 유동층 반응기에서 미디어에 미생물의 부착은 반응기 효율에 중대한 영향을 미친다. 호기성 미생물이나 탈질 미생물은 성장률이 매우 크고, 많은 양의 체외세포분자를 생성하기 때문에 높은 전단력하에서도 biofilm의 성장이 매우 크지만, 혐기성 methanogen은 낮은 성장률과 표면에 미생물을 강



(a)



(b)

Fig. 8. Scanning electron micrograph of colonized GAC from bioreactor. (a) White bar=9.6 μm; (b) White bar=11.2 μm.

하게 부착시키는 체외세포분자의 양이 적기 때문에 순환수에 의해 발생하는 전단력이 biofilm의 성장에 저해요인이 된다.

유동층 반응기에서 이용되는 미디어중 모래는 값이 싸고 구하기 쉽기 때문에 가장 널리 이용이 되고 있지만, 전단력으로부터 미생물을 보호해 줄 수 있는 표면을 가지고 있지 못하다. 반면, GAC는 미생물이 부착하기 쉬운 균열된 표면적과 유기화합물을 흡수할 수 있기 위한 내부 공극 및 표면적으로 제공할 수 있기 때문에 biofilm의 부착속도가 모래에 비해 매우 빠름을 보여주고 있다.¹¹⁾

Fig. 8에서 보는 바와 같이 GAC 입자는 순수 GAC 입자에 methanothrix 형태를 가진 유기체가 GAC 표면에 biofilm을 형성하여 보다 더 부드러운 표면을 갖고 있으며, 틈새에 미생물이 차있는 것을 볼 수 있다.¹²⁾ 그러나 틈새 이외의 미디어의 노출표면에서

는 전단력이 상대적으로 크기 때문에 부착미생물이 없음을 볼 수 있다.

IV. 결 론

혐기성 GAC유동층 반응기의 유기물 처리시스템에 있어 증팽창에 따른 처리효율 및 미디어에 미생물 부착특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

유동화 시스템의 start-up 방법에서 초기 반응기 운전시 정체층으로 하여 운전한 결과 slugging의 문제점이 있지만, GAC 미디어에 빠른 미생물 부착 특성을 보였고, start-up 이후 유동층 시스템에 좋은 처리효율을 보였다.

Start-up 이후 증팽창이 0%에서 100%로 증가함에 따라 유기물 제거효율은 67%에서 87%까지 증가하였으며, 메탄가스생성율은 0.44에서 1.30 m³ CH₄/m³·day까지 증가함을 보였다.

100%의 증팽창에서 최대 COD 제거 효율을 보였지만, 50%의 증팽창이 유동층시스템을 운전하는데 최적인 것으로 사료된다.

미생물은 대부분이 미디어에 부착되어 있기 때문에 유출되는 부유물질의 양이 매우 적었으며, 증팽창이 20과 50%에서 매우 적었다.

유동층 반응기내의 미생물 부착특성은 미디어의 갈라진 틈과 빈 홈에서 미생물군집현상을 발견할 수 있었으며, 미디어의 표면에 methanotrix 형태를 가진 유기체가 biofilm이 형성되어 있어 유체의 난류현상을 완화시켜 주는 작용을 하는 것으로 생각된다.

참고문헌

- 1) J. J. Heijnen, A. Mulder, W. Enger and F. Hoeks : Review on the application of anaerobic fluidized bed reactors in wastewater treatment, *The Chemical Engineering Journal*, **41**, B37-B50, 1989.
- 2) J. C. Young and P. L. McCarty : The anaerobic filter for waste treatment, Technical Report No. 87, Department of civil engineering, 1968.
- 3) M. S. Switzenbaum and W. J. Jewell : Anaerobic attached-film expanded-bed reactor treatment, *J. Water Pollution Control Federation*, **52**, 1953, 1980.
- 4) P. Weiland and A. Rozzi : The start-up, operation and monitoring of high-rate anaerobic system, *Wat. Sci. Tech.*, **24**, 8, 257-277, 1991.
- 5) S. A. Craik, P. M. Fedorak, S. E. Hurdey and M. R. Gray : Kinetics of methanogenic degradation of phenol by activated-carbon-supported and granular biomass, *Biotechnology and Bioengineering*, **40**, 77-786, 1992.
- 6) M. Yoda, S. W. Shin A. Watanabe *et al.* : Anaerobic fluidized bed treatment with a steady-state biofilm, *Wat. Sci. Technol.*, **19**, 287-298, 1987.
- 7) I. J. Dunn and S. Petrozzi. Zurich : Startup of anaerobic biofilm fluidized bed reactors on molasses and phenol under various conditions, *Bio-process Eng.* **6**, 21-28, 1991.
- 8) 佐藤進 : 活性炭, 及び生物處理による高度淨水處理實驗, *環境技術*, **21**, 2, 44-46, 1992.
- 9) Standard methods for the examination of water and wastewater : 7th, American Public Health Association, 1989.
- 10) A. M. Buswell and H.F. Mueller : Mechanisms of methane fermentation, *Ind. Eng. Chem.*, **44**, 550, 1952.
- 11) J. Iza : Fluidized bed reactors for anaerobic wastewater treatment, *Wat. Sci. Tech.*, **24**, 8, 109-132, 1991.
- 12) P. Fox, M. T. Suidan and J. T. Bandy : A comparison of media types in acetate fed expanded-bed anaerobic reactors, *Wat. Res.* **24**, 7, 827-835, 1990.