

## 유동상과 충전상이 결합된 혐기성 혼성 반응조에서 순환수의 인출지점이 처리효율에 미치는 영향

김성용 · 박수영\* · 조광명

인하대학교 환경공학과  
\*인하대학교 부설 환경연구소

(2000년 5월 29일 접수, 2000년 9월 1일 채택)

## Effects of the Recirculation Port Location on Treatment Efficiency of an Anaerobic Hybrid Reactor Consisted of a Fluidized Bed and a Packed Bed

Seong-Yong Kim · Soo-Young Park\* · Kwang-Myeung Cho

*Department of Environmental Engineering, Inha University*  
*\*Environmental Research Institute, Inha University*

### ABSTRACT

This research was performed to investigate the effects of the location of recirculation port on the wastewater treatment efficiency of an anaerobic hybrid reactor consisted of a fluidized bed and a packed bed. The recirculation port was located either at the top of the packed bed(Reactor 2) or above the fluidized bed(Reactor 1). Media for the fluidized bed and the packed bed were granular activated carbon and Pall ring-type plastic media, respectively. At organic loading rates(OLR) up to 6.2kg COD/m<sup>3</sup>-day, Reactor 2 showed somewhat better performance than Reactor 1 with COD removal efficiencies of 85.0~95.2%. The COD removal efficiencies of the reactors drastically deteriorated at OLRs above 6.2kg COD/m<sup>3</sup>-day, and the tendency was more severe for Reactor 1 than for Reactor 2. Eventhough the two reactors showed similar effluent SS concentrations at OLRs below 3.6kg COD/m<sup>3</sup>-day, Reactor 2 showed higher effluent SS concentrations than Reactor 1 at OLRs above 5.3kg COD/m<sup>3</sup>-day. Reactor 2 was stabler than Reactor 1 with a methane production rate of 5.5kg COD/m<sup>3</sup>-day at the OLR of 13.3kg COD/m<sup>3</sup>-day. An abrupt increase in effluent volatile acid concentration was observed at the OLR of 6.2kg COD/m<sup>3</sup>-day for Reactor 1 and 7.1kg COD/m<sup>3</sup>-day for Reactor 2, and the increase was greater in Reactor 1. In conclusion, the range of OLR for adequate treatment in the hybrid reactor was

determined according to the location of the internal recirculation port. It is more desirable for higher OLRs to locate the recirculation port at the top of the packed bed in order to utilize the whole volume of the reactor.

Key Words : Anaerobic Fluidized Bed, Anaerobic Packed Bed, Hybrid Reactor, Internal Recirculation, Organic Loading Rate

## 요약문

본 연구에서는 하부가 활성탄 유동상이고 상부가 플라스틱 충전상인 혐기성 혼성 반응조에서 활성탄층의 유동을 위한 내부순환수의 인출지점이 폐수처리 효율에 미치는 영향을 파악하기 위하여 순환수 인출지점이 유동상 위(R1 반응조) 또는 충전상 위(R2 반응조)에 위치하는 2개의 반응조에 인공폐수를 주입하여 실험을 수행하였다. 연구 결과, 6.2kg COD/m<sup>3</sup>-day의 유기물부하(OLR)까지는 R2 반응조의 COD 제거효율이 85.0~95.2%로 R1 반응조보다 좋았으나 그 차이는 크지 않았으며, 그 이상의 OLR에서는 두 반응조의 COD 제거효율이 크게 악화되었는데 R2 반응조보다 R1 반응조에서 그 경향이 더 심하였다. R2 반응조가 R1 반응조 보다 대략 2배의 넓은 OLR 영역에서 안정적으로 운전되었는데, R2 반응조의 최대 메탄생성량은 13.3kg COD/m<sup>3</sup>-day의 OLR에서 5.5kg COD/m<sup>3</sup>-day이었다. 또한 R1 반응조에서는 6.2kg COD/m<sup>3</sup>-day 이상의 OLR에서, 그리고 R2 반응조에서는 7.1kg COD/m<sup>3</sup>-day 이상의 OLR에서 처리수의 유기산 농도가 크게 증가하는 경향을 나타내었으며, 그 경향은 R1 반응조에서 더 현저하였다. 결론적으로, 활성탄층의 유동을 위한 내부순환수의 인출지점에 따라 반응조가 처리가능한 유기물 부하 범위가 달라졌는데, 유기물 부하가 높을수록 내부순환수의 인출지점을 반응조 부피 전체를 이용할 수 있도록 충전상의 상부에 위치시키는 것이 더 바람직한 것으로 판단되었다.

주제어 : 혐기성 유동상, 혐기성 충전상, 혼성 반응조, 내부순환, 유기물 부하

## 1. 서론

재래식 혐기성 폐수처리공법의 단점을 개선하기 위하여 anaerobic filter(AF),<sup>1)</sup> upflow anaerobic sludge blanket(UASB),<sup>2)</sup> anaerobic fluidized bed biofilm reactor(AFBBR)<sup>3,4)</sup> 등의 고율 혐기성 반응조가 개발되었으며, 최근에는 AF, UASB, anaerobic contact process(ACP), AFBBR, membrane 등을 이용한 각종 혼성(hybrid) 반응조가 개발되었다.<sup>5-9)</sup>

혐기성 유동상 반응조(AFBBR)는 AF나 UASB에서 문제가 되는 단회로 현상이 없으며, 수두손실이 적고, 유동으로 인하여 미생물과 유기물간의 접촉이 증가되어 짧은 체류시간에서도 높은 처리효율을 얻을 수 있다. 또한 매질 표면에 생물막이 형성되

므로 작은 용적으로도 고농도 폐수의 처리가 가능할 뿐만 아니라 충격부하와 독성에도 강하고 낮은 온도에서도 적용이 가능하다. 그러나 처리수의 일부를 순환시켜 매질을 유동시켜야 하므로 매질의 유실로 인하여 펌프의 손상이나 막힘현상이 발생함으로써 유동이 안정적이지 못하게 되는 문제점이 있으며, 이를 방지하기 위하여 유동층 상부에 여유용적을 두어야 하기 때문에 전체 반응조의 용적이 크게 된다.<sup>10,11)</sup> 그러나 이 여유용적에 매질을 채워 반응조 하단부는 AFBBR 그리고 상부는 충전상 형태의 AF인 혼성 반응조로 하면 반응조의 미생물 보유량이 증가하여 폐수처리 효율을 증가시킬 수 있다.<sup>12)</sup>

본 연구에서는 하부가 활성탄 유동상이고 상부가 충전상인 혐기성 혼성 반응조에서 활성탄층의 유동을 위한 내부순환수의 인출지점이 유동상 상부 또는

충전상 상부에 위치하는 두 반응조에 합성폐수를 주입하여 유기물 부하(organic loading rate, OLR)를 단계적으로 증가시키면서 유기물 제거효율, 가스 발생량 등을 조사함으로써 내부순환수의 인출지점 위치가 혼성 반응조의 운전특성에 미치는 영향을 파악하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 실험장치

실험장치는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 내경이 8.4cm인 투명아크릴관으로 제작된 활성탄 유동상과 충전상이 결합된 혐기성 혼성 반응조 외에 순환펌프, 주입펌프, 습식 가스메타 등으로 구성되었다.

혼성 반응조에는 바닥으로부터 7cm 높이에 다공판을 설치하여 폐수의 흐름을 균일하게 하였으며, 다공판 위에는 매질인 활성탄의 유실을 방지하기 위하여 직경이 7mm인 유리구슬로 두께 3cm의 층을 설치하였고, 그 위에 입경이 2.00~2.38mm인 공업용 야자계 입상활성탄 260g을 10cm 두께로 위치시켰다. 그리고 바닥에서 50cm 높이에 다공판을 설치하여 그 위에다 유출구까지 직경이 25mm이고 비표면적이  $143\text{m}^2/\text{m}^3$ 인 Pall ring 형태의 플라스틱 매질을 충전하여 혐기성 여상이 되도록 하였는데, 활성탄층의 유동을 위한 내부순환수의 인출지점을 활성탄 유동층 상부의 다공판 아래에 위치시킨 반응조 1(R1 반응조)과 여상의 상부에 위치시킨 반응조 2(R2 반응조)로 구분된다.

항온수조내의 온수를 반응조 외곽의 water jacket에 순환시켜 각 반응조의 온도를  $35 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지하였다. 유출수관은 가스의 흐름을 막기 위하여 U자형으로 설치하였으며, 생성된 가스는 탄산가스의 용해를 막기 위하여 포화식염수에 통과시킨 다음 습식 가스메타(W-NK-1A, Sinagawa, Japan)로 측정하였다.

순환펌프로 반응조 내액을 재순환시켜 활성탄층을 100% 팽창시켰으며, 유입수는 정량펌프를 사용하여 순환관에 연결된 폐수 유입구로 주입시켰다.

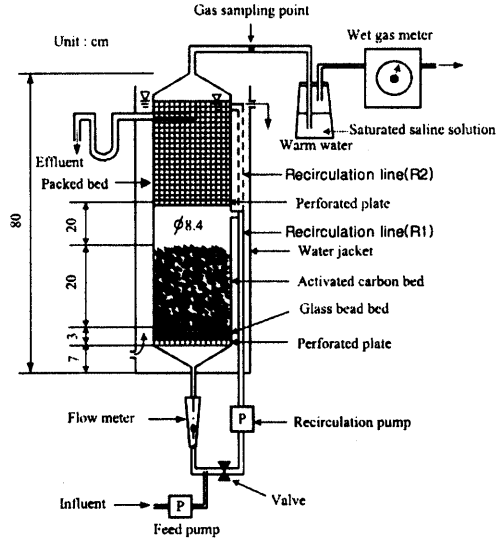


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental apparatus.

### 2.2. 유입수

본 실험에 사용된 합성폐수는 Table 1에 주어진 바와 같이 주 COD원이 glucose이며, C : N : P비는 약 120 : 5 : 1이었다. 유입수의 COD 농도에 비례하여 미량원소의 양도 증가시켰으며, 매일 제조하여 사용하였다.

### 2.3. 실험방법

S하수처리장에서 채취한 소화슬러지 상정액으로 두 반응조를 식중하였으며, 순환유량을 9~10L/min으로 유지하여 활성탄층을 100% 팽창시켰다. 하루에 1L의 합성폐수를 주입하였으므로 반응조 부피  $2,493\text{cm}^3$ 을 기준으로 하면 EBCT(empty bed contact time)는 약 2.5일이 된다.

유기물 부하(OLR)는 유입수의 COD 농도와 유량, 그리고 팽창된 활성탄층 부피( $1,108\text{cm}^3$ ) 및 충전상의 부피( $1,385\text{cm}^3$ )로부터 계산되었는데, 합성폐수내의 glucose 농도를 조절함으로써 변화시켰다. 운전 초기에는 OLR을  $0.5\text{kg COD}/\text{m}^3\text{-day}$ 로 유지하면서 간헐적으로 2g의 glucose를 주입하여 발생하는 가스의 조성을 측정함으로써 혐기성 상태를 확인하였다. 두 반응조 모두 초기 30일간은 유출

Table 1. Composition of the synthetic wastewater

Solution	Compound	Concentration (mg/L)
Synthetic wastewater	Glucose	937.6
	NaHCO <sub>3</sub>	1,000
	NH <sub>4</sub> Cl	71.6
	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	19.8
	MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	2.46
	KCl	5.63
	CoCl · 6H <sub>2</sub> O	1.6
	Yeast extract	26.3
	Trace element solution	0.1*
Trace element solution	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	50
	FeCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	4,000
	ZnCl <sub>2</sub>	50
	MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	500
	CuCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	30
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> · 4H <sub>2</sub> O	90
	NiCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	50
	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5H <sub>2</sub> O	100
	Conc. HCl	1*

\* mL/L

수의 COD 농도와 가스발생량을 측정하였으며, 그후 R1 및 R2 반응조의 OLR을 2kg COD/m<sup>3</sup>-day부터 각각 13.3 및 17.8kg COD/m<sup>3</sup>-day까지 점진적으로 증가시키면서 각 OLR에 따른 처리수의 COD, SS 및 유기산 농도, 그리고 가스발생량과 그 조성을 Standard Methods<sup>13)</sup>와 우리나라의 수질오염공정시험법에 준하여 분석하였다.

발생가스의 CH<sub>4</sub> 및 CO<sub>2</sub> 함량은 gas chromatography(Varian 3300, TCD, CTR column, Col. 50°C, Inj. 120°C, Det. 200°C)로 측정하였으며, 처리수의 acetate, propionate 및 butyrate 농도도 gas chromatography(HP 5890, FSC column, Col. 155°C, Inj. 220°C, Det. 220°C)로 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

각각 471일 및 679일간 수행된 R1 및 R2 반응조의 운전결과를 OLR별로 평균하여 Fig. 2~10에 나타내었는데, R1 반응조는 R2 반응조보다 더 낮은

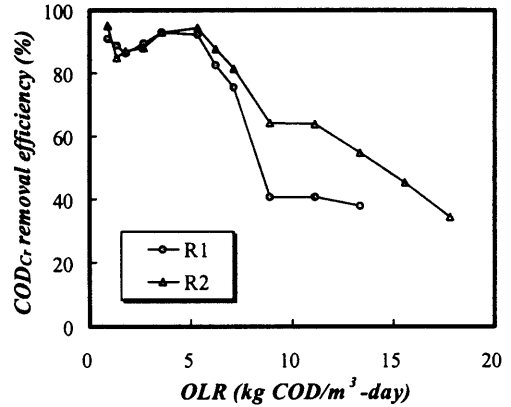


Fig. 2. Effects of organic loading rate on COD removal efficiency.

OLR에서 유기물 제거효율이 악화되었기 때문에 실험이 더 일찍 종료되었다.

#### 3.1. COD 제거효율

COD 제거효율을 OLR별로 평균하여 나타낸 Fig. 2를 살펴보면 6.2kg COD/m<sup>3</sup>-day의 OLR까지는 COD 제거효율이 R1 반응조에서는 82.5~93.1%, 그리고 R2 반응조에서는 85.0~95.2%로 나타나 R2 반응조의 COD 제거효율이 R1 반응조에 비하여 좋았으나 그 차이가 크지 않았다. OLR이 6.2kg COD/m<sup>3</sup>-day 이상으로 증가함에 따라 두 반응조 모두 COD 제거효율이 크게 감소하고 두 반응조의 COD 제거효율간에 차이가 크게 되었으며, 다음에 설명되겠지만 특히 반응조 R1에서는 7.1kg COD/m<sup>3</sup>-day의 OLR부터 유기산의 농도가 급격히 증가하여 발생가스 중의 메탄함량이 크게 감소하기 시작함으로써 과부하상태에 도달한 것으로 판단된다.

두 반응조가 동일한 용적부하에서 운전되더라도 R1 반응조에서는 유입수가 활성탄층을 여러 번 통과한 다음 상부의 충전상은 한번만 통과하여 처리수로 유출되지만, R2 반응조에서는 유입수가 활성탄층과 충전상 모두 여러 번 통과한 다음 처리수로 유출되기 때문에 R1 반응조보다 R2 반응조의 F/M비가 낮게 되어 R2 반응조가 더 높은 COD 제거효율을 나타내는 것은 당연하다.

유동상과 충전상이 결합된 혼성 반응조에 관한 연구사례가 없으므로 UASB와 AF가 결합된 혼성 반

용조를 사용한 연구사례를 살펴보면 Guiot와 Van der Berg<sup>5)</sup>는 2.5~51kg COD/m<sup>3</sup>-day 범위의 OLR에서 설탕폐수를 처리한 결과 96%의 COD 제거효율을 얻었으며, Iza 등<sup>6)</sup>은 0~9kg COD/m<sup>3</sup>-day 범위의 OLR에서 침출수를 처리한 결과 약 90%의 COD 제거효율을 얻었다고 보고하였다. 혼성 반응조에 대한 연구사례가 많지 않으므로 Table 2에 각종 혐기성 공법에 의한 폐수처리 예를 요약하였는데, 반응조 및 유입수의 종류, OLR 등에 따라 COD 제거효율에 차이가 많음을 알 수 있다.

COD 제거율(반응조 단위부피당 제거된 COD량)을 OLR별로 평균하여 나타낸 Fig. 3에 의하면 두 반응조 모두 5.3kg COD/m<sup>3</sup>-day의 OLR까지는 COD 제거율이 COD 부하율에 비례하여 증가하였으며, 그 이상의 OLR에서는 OLR에 따라 차이를 나타내긴 하였지만 대체적으로 일정한 COD 제거율을 나타내는 경향을 보였다. R2 반응조가 R1 반응조에 비하여 더 높은 COD 제거율을 나타내었는데, 이는 앞서 언급된 바와 같이 R2 반응조에서 더 낮은 F/M비가 유지된 데에 그 원인이 있는 듯하다.

Fig. 2를 보면 실험초기의 낮은 OLR에서는 COD 제거효율이 높았으나 OLR이 증가함에 따라 COD 제거효율이 악화되다가 다시 향상된 것을 알 수 있는데, 이는 활성탄에 의한 유기물 흡착과 관련이 있는 것으로 판단된다. 즉, 실험초기에는 혐기성 미생물이 충분히 성장하지 못한 상태이지만 유기물이 활성탄에 흡착됨으로써 COD 제거효율이 높았으나,

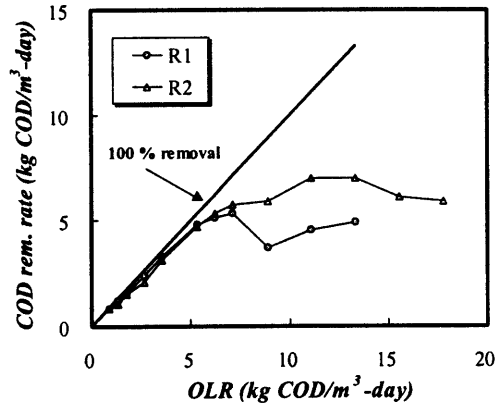


Fig. 3. Effects of organic loading rate on COD removal rate.

활성탄의 유기물 흡착능이 모두 소모되었을 때 COD 제거효율이 악화되었으며, 그 다음 미생물이 충분히 성장함으로써 COD 제거효율이 향상된 것으로 추정된다.

### 3.2. 부유물 농도의 변화

실험에 사용된 합성폐수는 부유물 농도가 0이므로 유출수의 부유물은 반응조에서 성장하여 탈리된 미생물에 의한 것이 된다. 유출수의 부유물 농도를 OLR별로 평균하여 나타낸 Fig. 4를 살펴보면 OLR이 증가함에 따라 두 반응조 모두 유출수의 부유물 농도가 점차 증가하는 경향을 나타내었다. 3.6kg

Table 2. COD removal efficiency of UASB, ABR and AFBBR in the literature

Configuration	Influent	OLR (kg COD/m <sup>3</sup> -day)	COD removal efficiency(%)	Reference
UASB	Synthetic(glucose)	2.7~14.8	80~90	14
	Synthetic(sucrose)	~160	75~90	15
	Paper waste	20	70	16
ABR	Synthetic(sucrose)	2.5~31.8	55~93	17
AFBBR	Synthetic(glucose)	0.8~4.8	80	18
		0.3~27	60~90	19
		2.5~12.5	50~83	20
		3.0~18	75	3
	Domestic (primary settled)	0.65~35	78~90	4

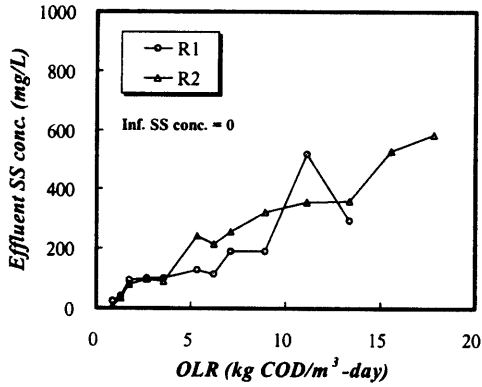


Fig. 4. Effluent SS concentration at various OLR.

COD/m<sup>3</sup>-day 이하의 OLR에서는 두 반응조가 비슷한 처리수 SS 농도를 나타내었지만 5.3kg COD/m<sup>3</sup>-day 이상의 OLR에서는 대체적으로 반응조 R1이 반응조 R2에 비하여 낮은 부유물 농도를 나타내었는데, 이는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 반응조 R1보다 반응조 R2에서 더 많은 양의 유기물이 제거되었기 때문에 그 만큼 더 많은 양의 미생물이 성장하여 탈리되었기 때문일 것이다. 처리수의 SS에 근거하여 주입된 COD 1kg당 배출된 미생물량을 계산한 결과 반응조 R1 및 반응조 R2에서 각각 9.3 및 13.2g SS로 나타남으로써 반응조 R2에서의 미생물 증식량이 반응조 R1에 비하여 약 1.4배 더 높았다.

그러나 반응조 R1에서는 11.1kg COD/m<sup>3</sup>-day의 OLR에서 처리수의 평균 SS농도가 520mg/L로 급등하였는데, 이는 반응조 R1에서는 폐수의 재순환이 활성탄층에서만 진행되므로 유기물이 주로 활성탄층에서 제거되어 활성탄 입자 표면에 성장한 미생물 막이 반응조 R2에 비하여 더 두꺼워져 그 만큼 용이하게 탈리되었기 때문으로 판단된다.

### 3.3. 가스 발생량과 그 조성

각 반응조의 평균 가스 발생량을 OLR별로 나타낸 Fig. 5를 살펴보면 실험초기의 낮은 OLR을 제외하면 대체적으로 반응조 R2보다 반응조 R1에서 더 많은 양의 가스가 발생하였다. 반응조 R1에서는 8.9 및 11.1kg COD/m<sup>3</sup>-day의 OLR에서 가스 발생량이 비정상적으로 감소하였는데, 8.9kg COD/

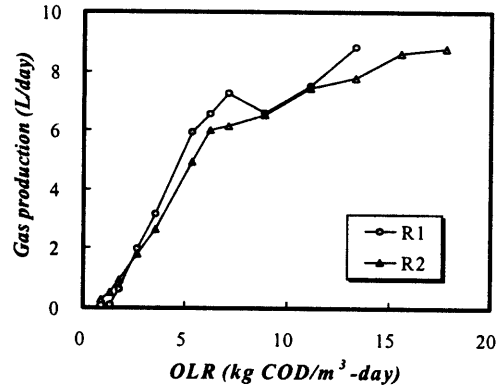


Fig. 5. Gas production at various OLR.

m<sup>3</sup>-day의 OLR에서는 실험상의 실수로 공기가 반응조로 혼입하여 혐기성 상태가 파괴된 데에 그 원인이 있으며, 11.1kg COD/m<sup>3</sup>-day의 OLR에서의 가스 감소는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 많은 양의 미생물이 유출된 데에 그 원인이 있는 것으로 추정된다.

Fig. 3에 의하면 반응조 R2에서 더 많은 양의 유기물이 제거되었기 때문에 반응조 R2에서 더 많은 양의 가스가 발생되어야 하는데 반응조 R1에서 더 많은 양의 가스가 발생한 것은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 반응조 R2에서는 제거된 유기물의 일부가 미생물체로 변하여 유출된 양이 반응조 R1에 비하여 많기 때문에 그 만큼 가스가 적게 발생된 것으로 추정된다.

유기물의 혐기성 분해시 메탄생성단계에서 발생하는 메탄가스 뿐만 아니라 발효 및 아세트산 생성 단계에서도 H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 등의 가스가 발생하므로 가스 발생량만으로 반응조의 성능을 평가하는 것은 무리가 있으며, 따라서 유기물의 실질적인 안정화가 이루어지는 메탄화 정도<sup>21)</sup> 즉, 메탄가스 발생량을 기준으로 반응조의 성능을 평가하는 것이 바람직하다. 따라서 가스 중의 메탄함량을 각 OLR별로 평균하여 나타낸 Fig. 6을 살펴보면 반응조 R1에서는 1.3~6.2kg COD/m<sup>3</sup>-day의 OLR에서 52~61% 정도의 메탄함량을 나타내었으나, 반응조 R2에서는 1.8~13.3kg COD/m<sup>3</sup>-day의 OLR 범위에서 54~67%의 메탄함량을 나타냄으로써 발생가스의 CH<sub>4</sub> 함량면에서 반응조 R2가 R1보다 대략 2배의 넓은 OLR 영역에서 안정적인 운전상태를 보였다. 이와

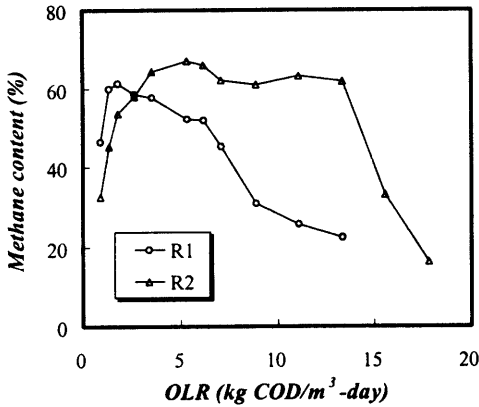


Fig. 6. Methane content of the gas generated.

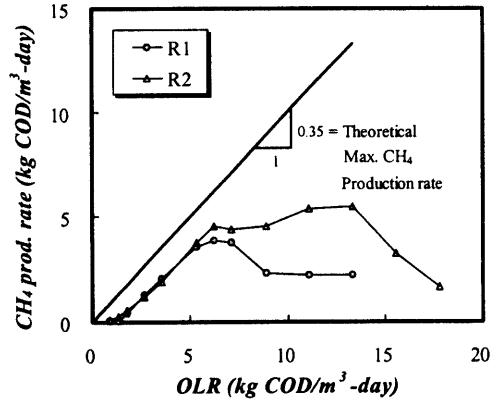


Fig. 7. Change in methane production rate at various OLR.

같이 R2가 R1보다 더 높은 OLR에서도 안정된 메탄함량을 보인 이유는 3.1절에서 설명된 바와 같이 R1보다 R2에서 더 많은 미생물이 폐수처리에 이용되어 F/M비가 낮게 유지됨으로써 유기물이 유기산, 그리고 메탄으로 안정적으로 전환되었기 때문이다.

Fig. 7은 Fig. 5 및 6의 자료를 이용하여 반응조 단위부피당 생성된 메탄가스량, 즉 메탄생성율을 각 OLR별로 평균하여 COD값으로 나타낸 것으로, R1에서는 6.2kg COD/m³-day의 OLR에서 3.9kg COD/m³-day의 최대 메탄생성량을 나타내었으나 R2에서는 13.3kg COD/m³-day의 OLR에서 5.5kg COD/m³-day의 최대 메탄생성량을 나타냄으로써 R2가 R1보다 높은 OLR에서 더 안정적이었음을 알 수 있다.

이와 같이 R1과 R2의 가스생성량 및 메탄 함량간에 차이가 나는 것은 R1에서는 유입부하가 주로 활성탄층에만 가해지지만 R2에서는 유입부하를 활성탄층과 충전상이 함께 받기 때문에 반응조내에서의 실제 유기물부하에 차이가 있기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.4. 유기산 농도의 분포

Fig. 8은 각 반응조 유출수의 총 유기산(TVA) 농도를 측정하여 OLR별로 평균하여 나타낸 것으로, R1에서는 5.3kg COD/m³-day의 OLR까지는 일반적으로 혐기성 반응조가 정상적으로 운전될 때의 TVA 농도인 500mg/L 이하로<sup>22)</sup> 유지되었으나 6.2

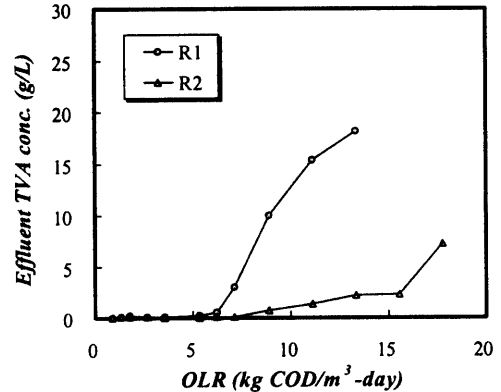


Fig. 8. Effluent TVA concentration at various OLR.

kg COD/m³-day 이상의 OLR에서는 OLR이 증가함에 따라 TVA 농도가 급격하게 증가하여 13.3kg COD/m³-day의 OLR에서는 TVA 농도가 18,104 mg/L에 이르렀다. 반면, R2에서는 7.1kg COD/m³-day의 OLR까지는 TVA 농도가 500mg/L 이하로 유지되었으며, 그 이상의 OLR에서는 R1과 마찬가지로 OLR이 증가함에 따라 TVA 농도가 증가하는 경향을 보였으나 그 증가율이 R1에 비하여 훨씬 적어 15.6kg COD/m³-day의 OLR에서도 TVA 농도는 2,280mg/L 밖에 되지 않았다.

두 반응조 유출수의 acetate, propionate 및 butyrate 농도가 Fig. 9에 도시되어 있는데, R1에서는 7.1kg COD/m³-day의 OLR에서 특히 acetate와 propionate 농도가 급격히 증가하기 시작하였으며, R2에서는 15.6kg COD/m³-day의 OLR까지는

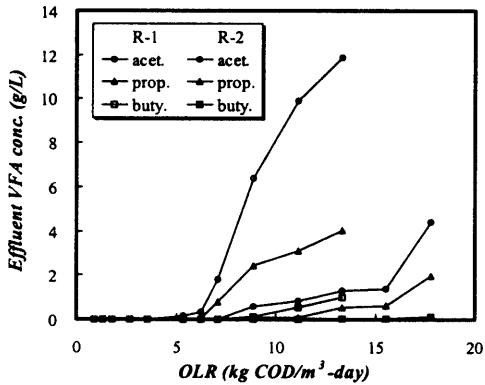


Fig. 9. Effluent VFA concentration at various OLR.

각종 유기산의 축적이 비교적 완만하였다.

혐기성 반응조에서 환경조건이 악화되어 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>에 의한 CH<sub>4</sub> 생성반응이 제대로 진행되지 않으면 H<sub>2</sub> 농도가 증가하게 되어 열역학적으로 propionate가 acetate로 분해되는 것이 어렵게 되므로 결국 생성된 propionate는 장기간 반응조내에 축적되었다가 분해된다.<sup>22-24)</sup> 본 연구에서는 두 반응조 모두 높은 OLR에서 propionate의 축적이 발생하였지만 그 농도가 항상 acetate의 농도보다 낮게 유지되었다.

### 4. 결 론

하부의 활성탄 유동상과 상부의 플라스틱 매질 충전상이 결합된 혐기성 혼성 반응조에서 활성탄층의 유동을 위한 내부순환수의 인출지점이 반응조의 처리효율에 미치는 영향을 파악하기 위하여 순환수의 인출지점이 활성탄층 상부(R1 반응조) 또는 충전상 상부(R2 반응조)인 2개의 반응조를 이용하여 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 6.2kg COD/m<sup>3</sup>-day의 OLR까지는 COD 제거효율이 R1 반응조에서는 82.5~93.1%, 그리고 R2 반응조에서는 85.0~95.2%로 나타나 R1 반응조에 비하여 R2 반응조가 더 양호한 COD 제거효율을 나타내었으나 그 차이는 크지 않았다.

- 2) 6.2 kg COD/m<sup>3</sup>-day 이상의 OLR에서는 두 반응조의 COD 제거효율이 크게 악화되었는데, R2 반응조보다 R1 반응조에서 그 경향이 심하였다.
- 3) 3.6kg COD/m<sup>3</sup>-day 이하의 OLR에서는 두 반응조의 처리수가 비슷한 SS 농도를 나타내었으나, 5.3kg COD/m<sup>3</sup>-day 이상의 OLR에서는 대체적으로 R1 반응조보다 R2 반응조의 처리수가 더 높은 SS 농도를 나타내었다.
- 4) R2 반응조가 R1 반응조보다 대략 2배의 OLR 범위에서 안정적으로 운전되었는데, R2 반응조의 최대 메탄생성량은 13.3kg COD/m<sup>3</sup>-day의 OLR에서 5.5kg COD/m<sup>3</sup>-day이었다.
- 5) R1 반응조는 6.2kg COD/m<sup>3</sup>-day 이상의 OLR에서, 그리고 R2 반응조는 7.1kg COD/m<sup>3</sup>-day 이상의 OLR에서 OLR이 증가함에 따라 처리수의 유기산 농도가 크게 증가하는 경향을 보였으나 그 증가율은 R2 반응조가 R1 반응조에 비하여 훨씬 완만하였다.
- 6) COD 제거효율, 가스생성율, 가스의 메탄 함량, 처리수의 유기산 농도 등으로 미루어 보아 본 연구에 사용된 혐기성 혼성 반응조의 적정 OLR은 대략 6kg COD/m<sup>3</sup>-day 이하로 판단된다.

결론적으로, 유동상과 충전상이 결합된 혐기성 혼성 반응조에서 매질의 유동을 위한 내부순환수의 인출지점에 따라 처리가능한 유기물 부하 범위가 달라졌는데, 유기물 부하가 높을수록 순환수의 인출지점을 반응조 전체 부피를 활용할 수 있도록 충전상의 상부에 위치시키는 것이 더 바람직한 것으로 판단되었다.

### 사 사

본 연구는 1997년도 인하대학교 박사후과정 연구비에 의하여 수행되었으므로 이에 감사를 표합니다.



## 참 고 문 헌

1. Young, J. C. and McCarty, P. L., "The anaerobic filter waste treatment," *JWPCF*, **41**, 106(1969).
2. Lettinga, G., et al., "Feasibility of the upflow anaerobic sludge blanket (UASB) process," *Proceedings National Conference on Environmental engineering, ASCE*, New York, p. 35(1979).
3. Bull, M. A., Sterritt, R. M., and Lester, J. N., "An evaluation of single and separated-phase anaerobic industrial wastewater treatment in fluidized bed reactors," *Biotech. Bioeng.*, **26**, 1054~1062(1984).
4. Jewell, W. J., Switzenbaum, M. S., and Morris, J. W., "Municipal wastewater treatment with the anaerobic attached microbial film expanded bed process," *JWPCF*, **53**(4), 482~490(1981).
5. Guiot, S. R. and Van den Berg, L., "Performance of an upflow anaerobic reactor combining a sludge blanket and a filter treating sugar waste," *Biotech. Bioeng.*, **27**, 800~806(1985).
6. Iza, J., Keenan, P. J., and Switzenbaum, M. S., "Anaerobic treatment of municipal solid waste landfill leachate : operation of a pilot scale hybrid UASB/AF reactor," *Wat. Sci. Technol.*, **25**(7), 255~264(1992).
7. Fox, P. and Suidan, M. T., "Shock and transient loading on anaerobic reactor coupled with adsorber," *J. of Environ. Eng.*, **122**(1), 18~24(1996).
8. Myburg, C. and Britz, T. J., "Influence of higher organic loading rates on the efficiency of an anaerobic hybrid digester while treating landfill leachate," *Wat. SA.*, **19**(4), 319~324(1993).
9. Bailey, A. D., Hansford, G. S., and Dold, P. L., "The enhancement of upflow anaerobic sludge bed reactor performance using crossflow microfiltration," *Wat. Res.*, **28**(2), 291~295(1994).
10. Switzenbaum, M. S., "A comparison of the anaerobic filter and anaerobic expanded/fluidized bed process," *Wat. Sci. Technol.*, **15**(14), 345(1982).
11. 배민수, 박수영, 범봉수, 조광명, "혐기성 유동상 반응조의 여유 공간이 폐수처리효율에 미치는 영향," *한국물환경학회지*, **14**(2), 209~214(1998).
12. 배민수, 박수영, 조광명, "혐기성 활성탄 유동상과 여상이 결합된 혼성 반응조의 운전특성," *대한환경공학학회지*, **20**(6), 801~809(1998).
13. APHA, AWWA and WPCF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th Ed., APHA, Washington, D.C.(1995).
14. Campos, C. M. M. and Anderson, G. K., "The effect of the liquid upflow velocity and the substrate concentration on the start-up and steady-state periods of lab-scale UASB reactors," *Sixth International Symposium on Anaerobic Digestion*, pp. 33~42(1991).
15. Fang, H. P. and Chui, H. K., "Maximum COD loading in UASB reactor at 37°C," *Environ. Eng.*, **119**(1), 103~119(1993).
16. Hulshoff Pol, L. W., et al., "Granulation in UASB-reactors", *Wat. Sci. Tech.*, **15**, 291~304(1983).
17. Bachmann, A., "Performance characteristics of the anaerobic baffled reactor," *Wat. Res.*, **19**(1), 99~106(1985).
18. Switzenbaum, M. S. and Jewell, W. J., "Anaerobic attached-film expanded-bed reactor treatment," *JWPCF*, **52**(7), 1953~1965(1980).
19. Shin, H. S., Shin, E. B., Song, Y. C., and Lee, H. J., "Effect of hydraulic characteristics on the biofilm development and

- performance of anaerobic fluidized bed reactors," *Environ. Eng.*, 136~141(1991).
20. 안용희, 박기용, 송석룡, "혐기성 유동상 폐수처리 시스템을 이용한 폐수처리에 관한 연구," 기술현대, 현대중공업(주), **13**(3), 48~51(1993).
  21. 배재호, 조광명, "혐기성처리(I)," 대한상하수도학회지, **8**(4), 85~98(1994).
  22. Asinari Di San Marzano, C. M., *et al.*, "Volatile fatty acids, an important state parameter for the control of reliability and the productivities of methane anaerobic digestion," *Biomass*, **1**, 47~59(1981).
  23. Mosey, S. E. and Fernandes, X. A., "Patterns of hydrogen in biogas from the anaerobic digestion of milk-sugars," *Wat. Sci. Technol.*, **21**, 187~196(1989).
  24. Smith, D. P. and McCarty, P. L., "Factors governing methane fluctuations following shock loading of digesters," *JWPCF*, **62**(1), 58~64(1990).