

# 간헐적인 유출수 반송이 UASB 반응조 운전효율에 미치는 영향

이 헌 모 · 양 병 수

부산수산대학교 환경공학과  
(1993년 10월 26일 접수)

## Effects of intermittent effluent recycling on the performance of UASB process

Heon-Mo Lee and Byung-Soo Yang

*Department of Environmental Engineering, National Fisheries University of Pusan*  
(Manuscript received 26 October 1993)

### Abstract

Effluent recycling effect on UASB reactor performances is known as an important operational factor. In the present study, the possibility of intermittent recycle in UASB process for saving the power consumption was examined at different organic loading and various operational modes in recycle time period. The organic removal efficiencies of the reactors operated with the intermittent effluent recycle were considerably higher compared to those without the effluent recycle. In the intermittent recycle mode, the organic removal efficiencies slightly decreased as the non-recycle time period in the operational mode increased. Proper ratio of recycle and non-recycle time period in the mode seemed to be required to prevent the produced biogas from accumulation in the sludge bed, which caused dead zone in the reactor and sludge loss when the gas was escaped from the bed at the certain pressure.

### 1. 서 론

UASB 공정은 많은 연구자들에 의해 광범위하게 연구되어 왔으며 계속하여 여러형태의 효율적인 UASB 반응조가 보고되고 있다. UASB 반응조의 주된 잇점은 부착 매디아 없이 많은량의 미생물을 반응조내에 축적시킬 수 있는데 있다. UASB 반응조에서 상향유속은 잘 침전할 수 있는 입상슬러지 형태로 미생물이 서로 부착할 수 있게 작용하며 입상슬러지(granular sludge)라고 불리는 미생물 덩어리로 형성시켜 준다. 이런 형태의

입상슬러지는 침전성이 우수하고 반응조로 부터 쉽게 유실되지 않으며 미생물간의 접촉거리를 좁혀 미생물의 활성을 증가시킨다. UASB 반응조 운전시 미생물과 기질간의 접촉효율을 좋게하여 기질제거효율을 증가시키기 위하여 유출수 반송에 의한 슬러지층을 유동시키며 이때 입상슬러지의 파쇄로 인한 슬러지의 유실을 감소시키기 위하여 상향유속을 1 m/hr이하로 운전하도록 권하고 있다(Zeeuw, 1988). 한편 Lettinga *et al.*(1980, 1983a)은 UASB 공정의 운전에서 유출수 반송은 유입 유기물부하가 높은 경우 또는 소요되는 영양소나

알카리도를 줄이거나 유입되는 독성물질을 완화시키는 것 외에는 별다른 이득이 없는 것으로 보고하고 있다. 그러나 Henze and Harremoos (1983)는 혐기성 반응조, 특히 UASB 반응조 start-up시 유입기질농도 5,000 mgCOD/l 이상의 폐수를 처리하고자 할때 유출수 재순환을 시키도록 보고한 바 있다. 일반적으로 상향류식 혐기성 반응조에서 유출수 반응은 유기물과 미생물간의 접촉효율을 증가시키기 때문에 반응조내 적정 상향유속으로의 유지가 필요하며 유출수 반응에 의하여 반응조의 처리효율도 증가시킬 수 있다고 알려져 있다. 일반적으로 UASB 반응조 하부에서 형성된 입상슬러지의 침강속도 범위는 2-90 m/hr로 보고 (Lettinga *et al.* 1983b)되고 있어 유출수 반응을 통하여 입상슬러지층을 유동화시키는데 상당한 동력이 소요된다. 따라서 유출수 반응에 따른 동력비를 고려할때 지속적인 반응보다는 간헐적인 반응이 동력비를 절감할 수 있다고 생각되며 이를 위해서는 간헐적인 반응이 기질제거효율에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구가 필요하나 아직까지 이에 대한 체계적인 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 UASB 반응조 운전시 유출수 반응의 유무 및 간헐적인 유출수 반응주기가 반응조 운전특성에 미치는 영향을 평가하는데 있다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

동일 조건하에서 유출수 반응의 유무 및 간헐적인 유출수 반응이 반응조 운전 특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 UASB 반응조 5개를 실험실 규모로 제작하였다. 실험에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같이 기체-액체-고체 분리장치를 설치한 UASB 반응조 형태로 반응조는 내경 6.4 cm, 높이 50 cm(유효용량 ; 1.45 l) 아크릴 원통을 사용하였으며 반응조 하부는 유입된 폐수가 일정 방향으로 흐르는 것을 방지하기 위하여 유입수 라인의 밑 부분에 여러개의 구멍을 이열로 일정 간격으로

뚫어 유입수가 고루 분배되도록 하였다. 반응조 하부에서 부상하는 분산형태의 미생물과 입상형태의 슬러지를 반응조로 부터 유실되는 것을 막아주고 생성된 소화가스를 포집하기 위한 기체-액체-고체 분리장치는 반응조 상단에서 8 cm 아래에 설치하였다. 유출수가 유출되는 부분은 역사이폰 형식으로 제작하여 반응조내로의 공기유입을 방지하였다.

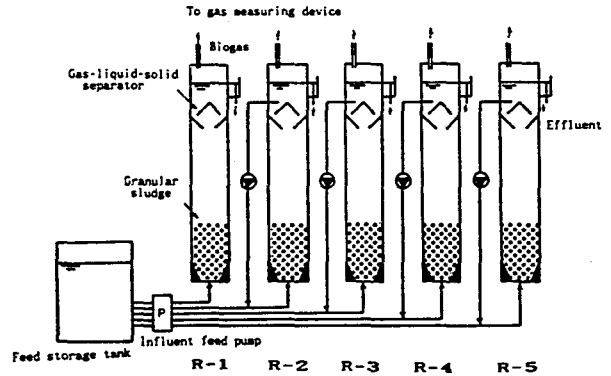


Fig. 1. Schematic diagram of UASB reactor Used in experiment.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 반응조 운전

본 실험에 사용된 식종 슬러지는 식품공장폐수를 처리하고 있는 실규모 UASB 반응조 하부에서 채취하여 실험실에서 8 개월간 실험실 규모의 UASB 반응조에서 자당 및 탈지분유로 운전한 입상슬러지를 사용하였다. 초기 각 반응조에 24.4 g VSS가 되게 동일량의 슬러지를 식종하였으며, 이때 부유물농도는 16.83 g VSS/l였다. 유입수는 미량유량조절펌프(Watson marlow co., 502 S)를 사용하여 반응조내에 상향류식으로 주입하였으며 유출수 반응 역시 미량유량조절펌프를 이용하여 유입수와 같이 반응조 하부에 유입되도록 하였다. 반응조는 35 °C로 유지되는 항온실에 두어 일정한 온도가 유지되도록 하였다.

본 실험에서는 입상 슬러지를 이용한 UASB 반응조에서 유출수 반응의 유무 및 간헐적인 유출수

반송이 유기물 제거효율에 미치는 영향을 비교 평가하기 위하여 2 단계로 나누어 실험하였다. 1 단계 실험에서는 유출수 반응조건을 달리한 5개의 반응조에서 각 반응조 공히 HRT 10 시간, 유입기질 농도를 3,000 mgCOD/ℓ로 하여 유기물부하 10.44 g COD/day가 되도록 운전하였으며, 2 단계 실험에서는 유입되는 유입기질의 농도를 증가시켜 유출수 반응조건이 반응조 운전효율에 미치는 영향을 평가하기 위한 목적으로 1 단계 실험과 동일한 조건에서 각 반응조의 유입수 농도를 10,000 mgCOD/ℓ로 증가시켜 유기물부하를 34.8 g COD/day로 하여 운전하면서 유출수 반응조건에 따른 각 반응조의 운전효율을 비교 평가하였다. 1 단계 및 2 단계 실험의 각 반응조별 운전형태는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 R-1 반응조는 대조 반응조로서 유출수 반응을 시키지 않고 연속 운전하였고 R-2, R-3, R-4 및 R-5 반응조는 초기 반응의 영향과 간헐적인 반응의 영향을 평가하기 위하여 운전 초기 일정기간 유출수를 반응시켜 상향유속을 2 m/hr로 운전하였으며 각 반응조 공히 동일한 유기물 제거효율이 이루어졌다고 판단되는 시점에서 유출수 반응을 중단시킨후 R-2 반응조는 2일에 1일 간격으로 유출수를 반응시켜 운전하였고, R-3 반응조의 경우 4일에 1일 간격으로, R-4 반응조의 경우 8일에 1일 간격으로 유출수를

반송시켜 운전하였다. 또한 R-5 반응조는 유출수 반응을 중단한 이후부터 운전 종료시까지 유출수 반응을 중지한채 운전하여 비교 평가하였다.

### 2.2.2 인공폐수의 조제

각 반응조에 주입된 유입폐수는 실험실에서 조제한 합성폐수로 자당과 탈지분유를 수돗물에 용해시켜 원하는 농도로 맞추어 사용하였다. 반응조 내 적절한 알카리도를 유지시켜주기 위하여 알카리농도 2,000 - 3,000 mg/ℓ이 되게 NaHCO<sub>3</sub>를 유입수중에 첨가시켰다. 실험에 사용된 합성폐수의 조성 및 탈지분유의 성분조성은 Table 1 및 Table 2와 같다.

Table 1. Composition of the synthetic wastewater

Constituents	Content	Remarks
Sucrose(C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )	5.0 g	Carbon source
Nonfat dry milk	5.0 g	Carbon source
NaHCO <sub>3</sub>	14.5 g	Buffer alkalinity
Tap water	to 1 Litter	

Table 2. Composition of the nonfat dry milk used in this experiment

Constituents	Weight percentage (%)
Milk protein	35.0
Buffer fat	1.0
Carbohydrates	52.5
Ash and other	8.5
Moisture	3.0
Calories	398 cal/100g

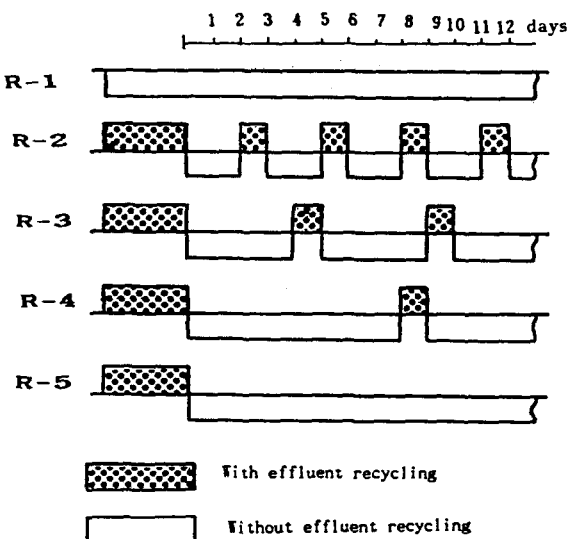


Fig. 2. Operating mode of experimental units.

### 2.2.3 시료의 분석

유출수 반응조건에 따른 각 반응조의 운전특성을 평가하기 위한 분석항목은 유입수 TCOD, 유출수 pH, 총부유물질(TSS), 휘발성부유물질(VSS), SCOD, 휘발성산(VA), 총알카리도(TA)였다. 반응조에서 유출되는 유출수의 pH는 매일 측정하였으며, 유입수의 TCOD, 유출수의 SCOD 및 VA는 주 4-5회 분석하였고 유출수의 TSS, VSS 및 TA

는 주 3-4회 분석하였으며 모든 실험의 분석절차는 Standard Method (APHA, AWWA, WPCF, 1992)에 따라 실험하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 화학적 인자 변화

유입수의 유기물농도가 UASB 반응조 운전효율에 영향을 미칠 수 있으므로 본 연구에서는 일반적인 유입수 농도 수준과 비교적 고농도라고 생각되는 유기물농도 2 가지 경우의 실험이 필요하다고 생각되어 유입기질 농도 3,000 mgCOD/ℓ 과 10,000 mgCOD/ℓ 에서 유출수 반응의 유무 및 유출수 반응주기를 달리한 반응조에서 운전조건에 따른 반응조 운전특성을 평가하였다. 운전기간중 pH, TA, VA의 범위 및 평균치를 Table 3에 나타내었다.

유입기질 농도 3,000 mgCOD/ℓ 로 유기물부하 10.44 g COD/day에서 운전한 경우 pH는 전 운전기간을 통하여 6.50 - 7.37로 나타나 일반적인 혐기성 반응조 운전에 적합한 pH 범위에서 운전된 것으로 생각된다. 운전초기 유출수 반응을 시키지 않은 R-1 반응조의 경우 pH 값의 범위는 6.50 - 7.03으로 나타나 운전초기 유출수 반응을 시킨 R-2, R-3, R-4 및 R-5 반응조에 비해 전반적으로 낮은 경향을 나타내었다. 유출수내 알카리도는 2,439 - 3,269 mg/ℓ 의 범위를 유지하고 있어 각 반응조 공히 완충능력이 충분했던 반면 유출수중의 휘발성산 농도는 R-1 반응조에서 1,028 - 1,732 mg/ℓ 로 높게 나타났다. 그러나 운전 초기 반응을 행한후 간헐반응한 반응조 R-2, R-3, R-4 및 R-5 반응조의 경우는 88 - 162 mg/ℓ 의 범위를 유지하고 있어 유출수 반응의 효과가 비교적 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 간헐반응의 경우 역시 동일조건에서 반응주기를 길게하여 운전 할수록 휘발성산의 농도는 점차 높게 나타나는 경향을 보였다. 이들의 결과로 부터 운전초기 반응을 행하지 않은 반응조가 운전초기에 유출수 반응을 시킨 반응조에 비하여 높은 농도의 휘발성

산의 축적이 일어났으며 일단 유동화를 일으킨 반응조의 경우는 반응주기가 길어짐에 따라 휘발성산의 농도가 점차 증가하는 경향을 보이지만 비교적 큰 영향을 받지 않고 안정적인 휘발성산의 분해가 일어났다.

Table 3. Chemical characteristics of effluent

Influent COD (mgCOD/ℓ)	Reactor	pH	TA*	VA*	VA/TA
3,000	R-1	6.50 - 7.03 (6.69)	2,439 - 3,269 (2,875)	1,028 - 1,732 (1,549)	0.65
	R-2	6.88 - 7.30 (7.07)	2,650 - 3,125 (2,821)	95 - 132 (114)	0.04
	R-3	6.87 - 7.27 (7.06)	2,643 - 3,215 (2,897)	88 - 143 (118)	0.04
	R-4	6.85 - 7.37 (7.05)	2,543 - 3,095 (2,900)	103 - 151 (129)	0.05
	R-5	6.84 - 7.31 (7.06)	2,676 - 3,024 (2,885)	110 - 162 (138)	0.05
10,000	R-1	6.03 - 6.99 (6.73)	2,439 - 3,710 (3,203)	3,500 - 5,730 (4,965)	1.55
	R-2	6.94 - 7.04 (7.00)	2,510 - 3,050 (2,732)	900 - 1,210 (937)	0.34
	R-3	6.98 - 7.04 (7.00)	2,550 - 2,950 (2,719)	910 - 1,238 (973)	0.36
	R-4	6.96 - 7.01 (6.99)	2,540 - 2,947 (2,715)	915 - 1,450 (976)	0.36
	R-5	6.95 - 7.04 (6.98)	2,550 - 2,887 (2,700)	914 - 1,226 (1,021)	0.38

\* TA : total alkalinity (mg/ℓ as CaCO<sub>3</sub>)  
 \*\* VA : volatile acid (mg/ℓ as CH<sub>3</sub>COOH)  
 ( ) : average

3,000 mgCOD/ℓ 로 운전되는 반응조에 유입기질 농도를 증가시켰을시 반응조건에 따른 운전특성을 평가하기 위하여 유입기질농도를 10,000 mgCOD/ℓ 로 증가시켜 유기물부하 34.8 g COD/day에서 운전한 경우 운전기간 동안 각 반응조의 pH, TA, VA 범위 및 평균 농도 역시 Table 3에 수록하였다.

pH는 전 운전기간을 통하여 6.03 - 7.04로 나타났으며 운전 초기부터 유출수 반응없이 운전한 R-1 반응조의 경우만 6.03 - 6.99로 운전 초기 반응을 시킨 반응조에 비하여 낮게 나타났을뿐 각 반응조 공히 pH 강하에 의한 악영향은 없었던 것으로 생각된다. Table 3에서 알 수 있는 바와 같이 알카리도 조정에 의해서 운전초기 반응을 시키

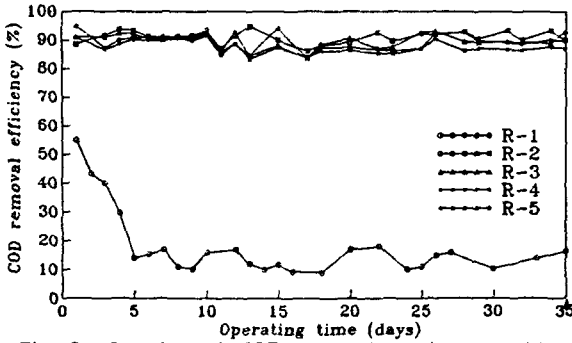


Fig. 3. Variation of COD removal efficiencies with operating time(3,000 mgCOD/ℓ).

지 않은 R-1 반응조의 경우 반응조내 휘발성산의 농도와 관계없이 유출수 pH 값은 비교적 안정된 추세를 보여주고 있으나 운전 초기 유출수를 반응시킨 R-2, R-3, R-4 및 R-5 반응조에 비해 상당량의 휘발성산이 축적되는 것으로 보아 반응조내 메탄생성 미생물이 저해를 받고 있으며 이는 휘발성산/알카리도의 비가 1.55 정도의 상당히 높은 값을 나타낸 것에서 알 수 있다. 한편 반응주기를 달리한 실험에서 반응주기가 길어질수록 휘발성산의 농도가 점차 증가하는 경향을 보였지만 반응주기에 큰 영향을 받지 않고 안정적인 휘발성산의 분해가 일어났으며 이는 3,000 mgCOD/ℓ로 운전한 결과와 비슷한 경향을 나타내었다.

### 3.2 유기물 제거

유출수 반응 및 간헐적인 유출수 반응주기가 유기물 제거효율에 어떠한 영향을 미치는지 그리고 유출수 반응 유무에 따라서 그 경향성이 어떻게 나타나는지를 평가하였다. Fig. 3은 유입 기질농도를 3,000 mgCOD/ℓ로 하여 운전한 반응조에서 운전기간에 따른 COD 제거효율을 나타낸 것이다. 일반적인 혐기성 처리공정에서 35일간의 운전 자료로서 효율평가는 어렵지만 본 연구에서는 운전 중인 식품공장의 UASB 소화조에서 이미 안정되게 잘형성된 입상슬러지를 이용하였고 일반적인 UASB 공정에서 10 시간정도의 체류시간이 설계에 이용되고 있으므로 전체실험을 HRT 10시간으로 운전하여 실험한 결과 비교적 안정된 유출수 농도를 얻을 수 있었다. Fig. 3에서 보는 바와같이

유출수 반응 유무 및 간헐반응의 시간주기에 따른 각 반응조별 연구결과를 상대적 비교 검토할 수 있게 정상상태의 자료를 도출할 수 있었다. 유출수 반응을 시키지 않은 R-1 반응조의 경우 운전 초기부터 효율이 감소하여 운전 5 일만에 20 % 전후의 유기물 제거효율을 보였고 이러한 경향은 근 1 개월간 지속되어 회복의 가능성이 보이지 않은 반면 유출수 반응을 시킨 R-2, R-3, R-4 및 R-5 반응조는 반응조별 다소의 차이는 있으나 거의 90 % 전후의 높은 유기물 제거효율을 보이고 있어 반응의 효과가 비교적 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 한편 유출수를 간헐적으로 반응주기를 달리하여 운전시켰을때 제거효율에 어떠한 영향을 미치는지를 평가하기 위하여 운전초기 유출수를 반응시켜 높은 제거효율을 보인 R-2, R-3, R-4 및 R-5 반응조에 대하여 비교적 정상상태라고 판단되는 운전 11일 부터 R-2 반응조의 경우 2일 무반송, 1일 반응주기로 운전하였고, R-3 반응조의 경우 4일 무반송, 1일 반응 주기로 운전하였으며, R-4 반응조의 경우는 8일 무반송, 1일 반응주기로 운전하였다. 그리고 연속 무반송시킨 경우에 대하여 평가하기 위하여 R-5 반응조는 운전

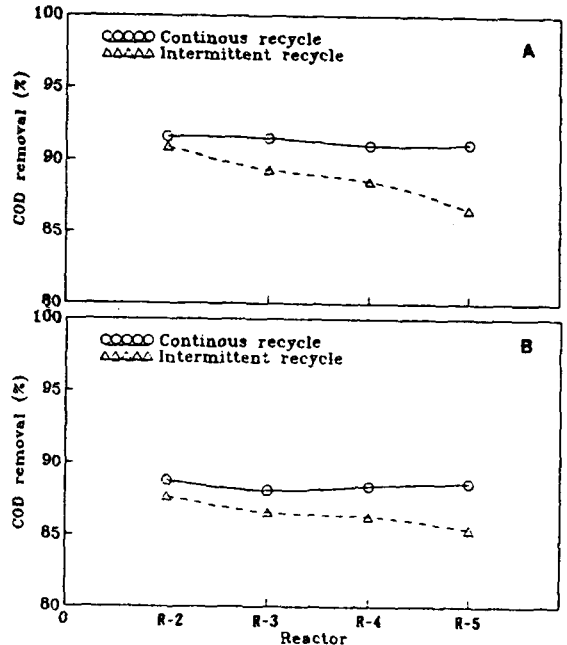


Fig. 4. Average COD removal efficiencies at 3,000 mg COD/ℓ (A) and 10,000 mgCOD/ℓ (B).

10동안 유출수를 반송시킨후 운전 종료시 까지 반응을 중단하여 운전하였다. Fig. 4는 운전기간 동안 평균 유기물 제거효율의 결과를 나타낸것으로 Fig. 4(A)에서 알 수 있는 바와 같이 R-2 반응조의 평균 COD 제거효율은 90.9 %로 나타났고, R-3 및 R-4 반응조의 경우 각각 89.3% 및 88.5%로 나타나 반송주기가 길어질수록 미미한 감소현상을 보였다. 한편 운전 11일 부터 운전 종료시 까지 반응을 중단한 R-5 반응조의 경우 86.6 %의 제거효율을 보여 비교적 양호한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉 일정 기간 반송을 시킨 이후에 간헐적으로 유출수를 반송하여도 유기물 제거효율이 크게 감소하지 않는 것으로 평가되었다.

1 단계 실험과 동일한 조건에서 각 반응조의 유입수 농도를 10,000 mgCOD/ℓ로 증가시켜 유기물 부하를 34.8 g COD/day로 하여 운전하면서 유입수의 유기물 농도가 비교적 높은 경우에 유출수 반송 조건에 따른 각 반응조의 운전효율을 비교 평가하였다. Fig. 5는 운전기간에 따른 COD 제거효율을 나타낸 것으로 반송을 시키지 않은 R-1 반응조의 경우 효율이 점차 감소되어 비교적 정상 상태라고 생각되는 운전 5일 부터 약 10 % 전후의 제거효율을 보인 반면 유출수를 반송시킨 R-2, R-3, R-4 및 R-5 반응조의 경우 85 % 이상의 제거효율을 보여 고농도에서도 역시 반송의 효과가 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

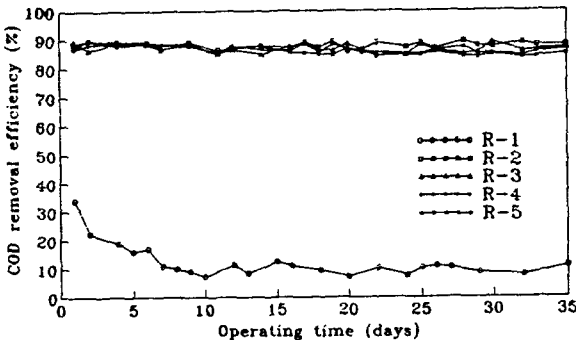


Fig. 5. Variation of COD removal efficiencies with operating time(10,000 mgCOD/ℓ).

한편 간헐적으로 유출수를 반송시킨 반응조에 대한 운전기간중 평균 COD 제거효율을 Fig. 4(B)에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와같이 2

일 무반송, 1일 반송 주기로 운전한 R-2 반응조의 경우 평균 COD 제거효율이 87.7 %로 나타났고, 4 일 무반송, 1일 반송 주기로 운전한 R-3 반응조의 경우 86.6 %로 나타났으며, 8일 무반송, 1일 반송 주기로 운전한 R-4 반응조의 경우 86.3 %로 나타나 반송주기가 길어질수록 COD 제거효율은 점차 감소하는 경향을 보였다. 한편, 운전 11 일부터 반응을 중단시킨 R-5 반응조의 경우 COD 제거효율이 85.4 %로 나타나 COD 제거효율면에서 간헐적 이거나 반송을 시킨 반응조에 비하여 다소 떨어지긴 했으나 그 영향은 크지않는 것으로 평가되었다. 이러한 경향은 유입 기질농도 3,000 mgCOD/ℓ로 운전한 결과와 유사하며 유기물 부하를 증가시켜 운전할 경우라도 운전초기 유출수 반송을 행하여 운전할 경우 높은 유기물 제거효율을 얻을 수 있을 것으로 생각되며 일단 반송이 이루어져 높은 제거효율이 나타나면 유출수 반송을 중지한채 운전하여도 반응조 운전효율에 큰 영향을 주지 않고 만족할만한 처리효율을 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 결과는 Weimin *et al.*(1987)이 고농도 폐수를 처리하는 UASB 반응조의 start-up을 위해서는 유출수 반송이 필요하나 일단 반응조가 성공적으로 start-up되고 나면 반응조내에서 유기물 분해시 생성된 소화가스가 슬러지층의 혼합을 충분하게 제공하기 때문에 반송이 더 이상 필요없다는 이유로 보고한 결과와 유사한 결과라고 생각된다.

### 3.3 유출수 중의 TSS 및 VSS농도

유출수의 반송은 반응조내의 슬러지 유실 및 축적면에서 중요한 의미를 갖는다. 따라서 유출수 반송 및 간헐적인 유출수 반송주기가 슬러지 유실에 어떠한 영향을 미치는지를 검토하였다. 운전기간중 유입 기질농도 3,000 mgCOD/ℓ에 대하여 각 반응조의 유출수 평균 TSS 및 VSS 농도를 Fig. 6(A)에 도시하였다.

다음 그림에서 보는 바와 같이 간헐반송을 시켜 운전한 25일 동안 유출수 중의 평균 TSS 및 VSS 농도는 2일 무반송, 1일 반송시킨 R-2 반응조에서 118 및 104 mg/ℓ로 나타났으며, 4일 무반송, 1일

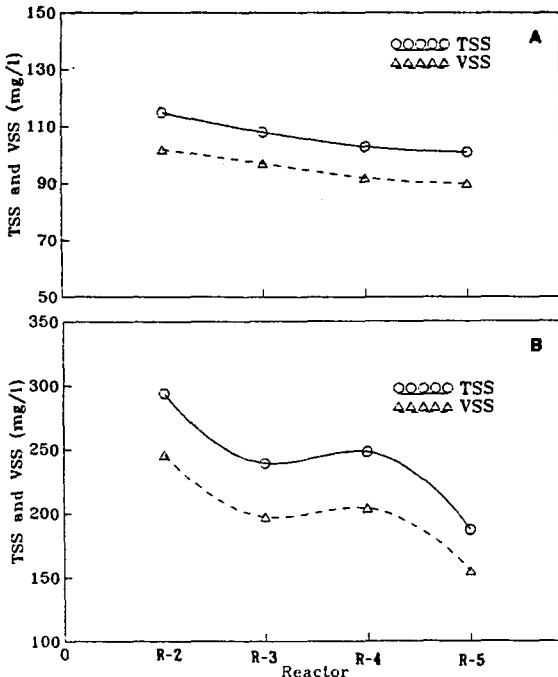


Fig. 6. Average effluent TSS and VSS concentration at 3,000 mgCOD/l (A) and 10,000 mgCOD/l (B)

반송시킨 R-3 반응조에서 116 및 100 mg/l로 나타났고, 8일 무반송 1일 반송시킨 R-4 반응조의 경우 107 및 96 mg/l로 나타났다. 한편 반송후 연속무반송 시킨 R-5 반응조의 경우 각각, 102 및 90 mg/l로 나타나 미미하나마 반송횟수를 높인 R-2 반응조에서 슬러지 유실량이 높게 나타나는 경향을 보여 반송을 통한 상향유속이 슬러지 유실량에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

한편 유입 기질농도 10,000 mgCOD/l에 대하여 운전기간 동안 평균 TSS 및 VSS 농도를 Fig. 6(B)에 나타내었다. 운전 초기 유출수 반송을 시켜 일정기간 운전한후 반송을 중단하여 반송주기를 변화시켜 운전한 경우 유출수 중의 TSS 및 VSS 농도는 R-2 반응조의 경우 297 및 253 mg/l로 나타났고, R-3 및 R-4 반응조의 경우 각각 219, 179 mg/l 및 222, 185 mg/l로 나타났다. 유출수 반송을 중단한 R-5 반응조의 경우 각각 164 및 134 mg/l로 반송주기가 길어질수록 유출수 중의 TSS 및 VSS 농도가 낮게 나타나고 있어 유입 기질농도 3,000 mgCOD/l로 실험한 결과와 비슷

한 경향을 보였으나 슬러지 유실량은 더 크게 나타나 왔다. 따라서 간헐 반송기간이 길수록 슬러지 유실량이 적어서 반응조내 미생물의 축적이 높아 유기물 제거효율이 증대될 것으로 기대될 수 있으나 실제로는 큰 차이는 없지만 간헐반송 기간이 길수록 유기물 제거효율이 감소하는 경향을 보이고 있다(Fig. 4). 이에 대한 이유는 미생물과 유기물간의 원활한 접촉의 결여로 평가되며 따라서 적당한 혼합을 위한 간헐적인 유출수 반응이 필요시 됨을 알 수 있다.

이상의 결과에서 유기물 제거 측면 및 슬러지 유실량을 고려한다면 일정기간 유출수를 반송시키고 이후 유출수 반송을 중단한 R-5 반응조의 경우가 유출수 반송 및 무반송의 비율 2일 : 1일로 운전한 R-2 반응조에 비하여 제거효율은 약간 떨어지나 슬러지 유실량이 적어 반송 주기를 적당히 조절하여 운전할 경우 유리하다고 생각된다. 그러나 유입수 중에 분해 불가능한 부유물질이 많을 경우 반응조하부에 부유물질이 축적되어 슬러지층 확장으로 인한 기질제거효율이 감소될 것으로 예상되므로 이 경우 간헐적이거나 반송주기를 짧게 하여 분해 불가능한 부유물질을 제거하면서 운전하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

유출수 반응의 유무 및 간헐적인 유출수 반응의 주기가 반응조 운전특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 실험실 규모의 UASB 반응조를 이용하여 유입 유기물농도 3,000 및 10,000 mgCOD/l에서 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 반송을 시키지않은 경우 운전 초기부터 효율이 감소하여 운전 5 일만에 10-20 % 전후의 유기물 제거효율을 보였고 이러한 경향은 근 1 개월간 지속되어 회복의 가능성이 보이지 않은 반면 간헐 반송을 시킨 반응조는 반응조별 다소의 차이는 있으나 거의 85-90 % 전후의 높은 유기물 제거효율을 보이고 있어 유출수 반응이 중요한 요인으로

평가되었다.

2. 유출수를 간헐적으로 반송시켜 운전한 경우 평균 유기물 제거효율은 2일 무반송, 1일 반송 주기로 운전한 반응조에서 87.7-90.9 %로 나타났고, 4일 무반송, 1일 반송 주기로 운전한 경우 86.6-89.3 %로 나타났으며, 8일 무반송, 1일 반송 주기로 운전한 경우 86.3-88.5 %로 나타나 반송주기가 길어질수록 COD 제거효율은 점차 감소하는 경향을 보였다. 운전초기에 일정기간 반송을 시킨 후 반송을 중단시킨 반응조의 경우 평균 COD 제거효율이 85.4-86.6 %로 나타나 COD 제거효율면에서 간헐적이거나 반송을 시킨 반응조에 비하여 다소 떨어지긴 했으나 그 영향은 크지않는 것으로 평가되었다.

3. 운전초기 유출수를 반송시켜 운전한후 반송 주기를 달리한 실험에서 유출수 반송주기를 길게 할수록 슬러지 유실량은 낮게 나타나 용해성 유기물 제거 및 반송에 소요되는 동력비를 줄이는 측면에서 반송주기를 길게하여 운전하는 것이 효과적일 것으로 생각되나 유입수 중에 생물학적으로 분해 불가능한 물질 및 분해시간이 긴 물질이 다량 함유되어 있는 폐수의 적용시 이들 물질이 반응조내에 축적되어 운전효율을 감소시킬 수 있으므로 적절한 유출수 반송주기를 선택하는 것이 바람직할 것으로 평가되었다.

### 참고문헌

- APHA, AWWA, WPCF, 1992, Standard methods for the examination of water and wastewater, APHA, AWWA, WPCF, 18thed.
- Henze, M. and P. Harremoes, 1983, Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors, a literature review, Water Science and Technology, 15(819), 1-101.
- Lettinga, G., A. M. F. van Velsen. S. W. Hobma, W. J. de Zeeuw, and A. Klapwijk, 1980, Use of the Upflow Sludge Blanket(USB) reactor concept for biological wastewater treatment especially for anaerobic treatment, Biotechn. Bioeng., 22. 699 - 734.
- Lettinga, G., L. W. Hulshoff Pol, S. W. Hobma, P. Grin, P. de Jong, R. Roersma and P. Ijspeert, 1983a, The use of a floating settling granular sludge bed reactor in anaerobic treatment, Proceedings of the European Symposium on Anaerobic Wastewater Treatment, 23 - 25, November 1983, Noordwijkerhout, The Netherlands, 411 - 430.
- Lettinga G., R. Roersma and D. Grin, 1983b, Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperatures using a granular bed UASB reactor, Biotechnol. Bioengng 25, 1701 - 1723.
- Weinin Wu, Hu. Jicui, Gu Xiasheng, Zhao Yizhang, Hui Zhang and Gu Guoguan, 1987, Cultivation of anaerobic granular sludge in UASB reactors with aerobic activated sludge as seed, Wat. Res. Vol. 21, No. 7, 789-799.
- Zeeuw, De, W. J., 1988, Granular sludge in UASB-reactors, In:Proc. of the GASMAT-workshop, Granular anaerobic sludge: Microbiology and technology, 25-27 Oct. 1987, G. Lettinga, A. J. B. Zehnder, J. T. C. Grotenhuis and L. W. Hulshoff Pol, (Eds.), Pudoc, Wageningen, Netherlands, 132-145.