

# EGSB 반응조 운전시 상향유속이 입상슬러지의 크기 및 활성도에 미치는 영향

이 현 모 · 정 병 곤\*

동의공업전문대학 환경공업과 · \*군산대학교 해양환경학과

## Effect of upflow liquid velocity on size and activity of granular sludge in Expanded Granular Sludge Bed(EGSB) reactor

Heon-Mo Lee · Byung-Gon Jung\*

*Dept. of Environmental Engineering, Donggeui Technical Junior College, Pusan, Korea*

*\* Dept. of Marine Environment, Kunsan National University, Kunsan, Korea*

### Abstract

The effect of upflow velocity on size distribution and activity of granular sludge was studied in laboratory-scale Expanded Granular Sludge Bed(EGSB) reactor fed with non-fat dry milk and sucrose as sole carbon and energy source. High upflow velocity advanced size and activity of granular sludge. But high upflow velocity decreased organic removal rate because of enlarge wash out of granular sludge by distruction and floatation of granular sludge. Therefore, the reactor operation of an apt upflow velocity was needed and an apt upflow velocity in this experimental was estimated to 1-10m/hr.

### I. 서론

Lettinga 등<sup>1)</sup>에 의해 폭넓게 개발된 UASB 반응조에서 최대의 효율을 얻기 위하여 반응조 하부에 매우 활성적이며 밀도가 크고 침전성이 우수한 입상슬러지를 보유하는 것이다. 이와같은 입상 슬러지는 침전성이 우수하여 반응조로 부터 쉽게 유출되지 않아 반응조내에 오랫동안 머무르게 되고, 또한 미생물들이 가까이 접해있어 종간의 물질전달을 좋게하여 미생물 전체 활성도를 높일 수 있어 결국 전체 반응조의 운전효율을

증대시킬 수 있다. 입상슬러지와 침전성간의 연구에서 Dubourguier 등<sup>2)</sup>은 입상슬러지의 침전특성은 입상슬러지의 크기에 비례하여 증가한다고 보고하였고, Beeftink 등<sup>3)</sup>은 입자의 직경이 2mm 이하일 경우 입자의 침전특성은 입자의 크기에 무관하다는 견해를 제시하는 반면 Dubourguier 등<sup>4)</sup>은 입상슬러지의 침전특성은 입상슬러지 크기에 비례하여 증가한다고 보고하였고, Li 등<sup>5)</sup>은 각 입자의 침전속도는 입자의 크기에 영

향을 받는다고 보고하였다. 따라서 입자의 침전특성은 입자의 크기에 따라 다소 달라질 수 있겠으나 일반적으로 입자의 크기가 클수록 침전성을 증가시키는 결과를 가져오며 반응조내에 오래 머무르게 된다. 이와 같은 특성을 지닌 입상슬러지의 크기 증가 및 감소는 여러가지 요인에 의해 좌우된다. Arcand 등<sup>6)</sup>은 상향유속 6.6m/hr까지 상향유속을 높혀 실험한 결과 입상슬러지의 평균 지름은 상향유속이 증가함에 따라 증가한다고 보고하였으며, Guiot 등<sup>7)</sup>은 큰 슬러지의 입상화는 상향유속 2m/hr에서 일어난다고 보고하고 있어 상향유속이 입상슬러지의 크기에 영향을 미치는 주원인으로 생각된다. 그러나 슬러지 입상화에 대하여 많은 연구자들에 의해 보고되고 있고 몇몇 연구자들에 의해서 비교적 낮은 상향유속에서 입상화의 과정 및 입상슬러지에 미치는 영향을 연구한 바 있으나 이미 입상화된 슬러지에 대하여 특히 높은 상향유속으로 운전되는 반응조에서 상향유속이 입상슬러지에 미치는 영향에 대해서는 미흡한 상태에 있다.

따라서 본 연구에서는 EGSB 반응조에서 상향유속 및 유기물 부하증가에 따른 입상슬러지의 입도 분포, 입상슬러지의 파쇄 및 활성도에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

## II. 실험장치 및 방법

### 1. 실험장치

본 연구에서는 UASB 형태의 반응조 4개(R-1, R-2, R-3 및 R-4)를 실험실 규모로 제작, 설치하여 동일 조건하에서 유출수 반송율을 달리하여 상향유속에 따른 입상슬러지 입도분포 특성, 입상슬러지의 파쇄 및 슬러지의 활성도를 평가하였다. 실험에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같이 기체-액체-고체 분리 장치를 설치한 UASB 반응조 형태로 반응조는 내경 6.4cm, 높이 400cm(유효용량; 11.45L)로 아크릴 원통을 사용하여 가능한 현장에서 직접 설치되어 있는 반응조 높이로 제작하였다. 반응조 하부에서 부상하는 분산형태의 미생물과 입상형태의 슬러지를 반응조로부터 유출되는 것을 막아주고 생성된 소화가스를 분리, 포집하기 위한 기체-액체-고체 분리장치는 반응조 상단에서 13cm 아래에 설치하였다. 또한 상향유속의 변화에 따

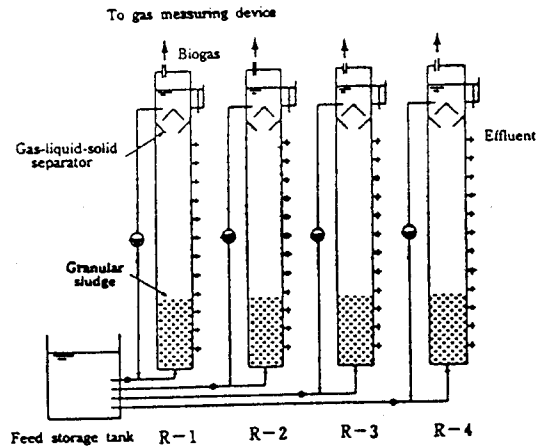


Fig. 1. Schematic diagram of experimental units

른 반응조내 입상슬러지의 입도분포를 조사하기 위하여 반응조 하부에서 부터 시료채취구를 10cm 간격으로 설치하였다. 소화가스는 반응조 상부를 통하여 가스측정장치로 보내어 발생하는 가스량을 연속적으로 측정될 수 있도록 계획하였다. 유출수가 유출되는 부분에는 역사이폰 형식의 관을 설치하여 반응조내로의 공기유입을 방지하였다.

### 2. 실험방법

#### 2.1 반응조 운전

초기 반응조에 주입한 식종 입상슬러지량은 142.6g VSS로써 동일량의 미생물을 4개의 반응조에 식종하였다. 이때 부유물질농도는 12.45g VSS/l 이었으며 식종슬러지의 VSS/TSS의 비는 0.71이었다. 유입폐수는 미량유량조절펌프(Watson marlow co., 502 S)를 사용하여 반응조내에 상향류식으로 주입하도록 하였으며 유출수 반송을 위하여 순환펌프를 반응조 상단에 부착하여 반응조내 원하는 상향유속이 이루어지도록 유출수를 반송시켜 유입수와 함께 유입되도록 하였다.

Table 1 Composition of the synthetic wastewater

constituents	content	remarks
Sucrose(C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )	1.5 g	Carbon source
Nonfat dry milk	1.5 g	Carbon source
NaHCO <sub>3</sub>	4.4 g	Buffer alkalinity
Tap water	to 1 Litter	

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

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

반응조는 35°C로 유지되는 항온실에 두어 항상 일정한 온도가 유지되도록 한 상태에서 반응조를 운전하였다. 각 반응조에 입상슬러지를 식중시킨후 초기 유기물 과부하에 의한 충격을 피하기 위하여 수리학적 체류시간(HRT)을 4일로 하여 3,000mg COD/ℓ의 인공합성폐수를 상향류 형태로 반응조에 유입시켰다. 유입수가 반응조에 다 채워진 상태에서 각 반응조 공회 HRT를 1일로 하여 운전하였으며 각 반응조에서 유출되는 유출수를 반응펌프를 이용하여 64.4ℓ/day로 상향류식으로 유입시켜 반응조내 상향유속을 4개의 반응조 공회 1m/hr로 유지시켜 운전하였다. 반응조가 동일 유기물제거효율로 운전된다고 판단된 시일부터 R-1, R-2, R-3 및 R-4 반응조의 상향유속을 각각 1, 10, 20 및 30m/hr로 조절하여 운전하였으며 각 상향유속에서 HRT에 따른 효율평가를 목적으로 각 반응조에서 일정한 상향유속을 유지시키면서 HRT를 24, 12, 6 및 3시간으로 단계적으로 감소시키면서 운전하여 상향유속변화 및 유기물 부하 증가에 따른 반응조내 입상슬러지의 특성을 평가하였다.

### 3. 시료의 조제 및 분석방법

#### 3.1 인조합성폐수

각 반응조에 주입된 폐수는 인공합성폐수로 자당과 탈지분유를 수돗물에 용해시켜 실험하였으며 유입되는 합성폐수의 농도는 약 3,000mg COD/ℓ 유지하였으며 반응조내 적절한 알카리도를 유지시켜주기 위하여 NaHCO<sub>3</sub>를 2,000-3,000mg/ℓ이 되게 유입수중에 첨가시켰다. 실험에 사용된 합성폐수의 조성은 Table 1과 같으며 주입된 탈지분유의 성분조성은 Table 2와 같다.

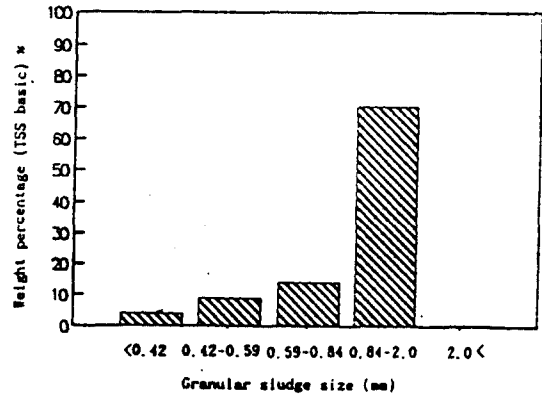


Fig. 2. Size distribution granular sludge used in this experiment

### 3.2 시료채취 및 분석방법

상향유속 변화 및 유기물 부하 증가에 따른 각 반응조내 입상슬러지의 활성도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 한 분석항목은 유입수 TCOD, 유출수 pH, SCOD, 휘발성산(VA), 총알카리도(TA)였다. 반응조에서 유출되는 유출수의 pH는 반응조상부 유출구에서 매일 측정하였으며, 유입수의 TCOD, 유출수의 SCOD, VA 및 TA는 주 4-5회 분석하였다. 또한 상향유속 및 유기물부하 증가에 따른 반응조내 입상슬러지 입도분포를 평가하기 위하여 체분석(sieve analysis)방법을 이용하였다. 반응조에서 채취한 각 시료를 체 번호 60(0.25mm), 42(0.35mm), 40(0.42mm), 28 (0.59mm), 20(0.84mm) 및 10(2.0mm)에 차례로 통과시켜 각 체에서 통과하지 않은 슬러지를 105°C 건조기에서 2시간 건조시켜 입상슬러지의 중량을 구하여 각 중량을 전체 슬러지의 중량 %로 환산하여 구하였다. 모든 실험의 분석절차는 Standard Method<sup>8)</sup>에 따라 실험하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 상향유속이 입상슬러지 크기에 미치는 영향

본 실험에 사용된 식중슬러지는 실제 UASB 공법으로 식품공장폐수를 처리하고 있는 실제플랜트의 소화조 하부에서 채취한 입상슬러지를 사용하였으며 실험

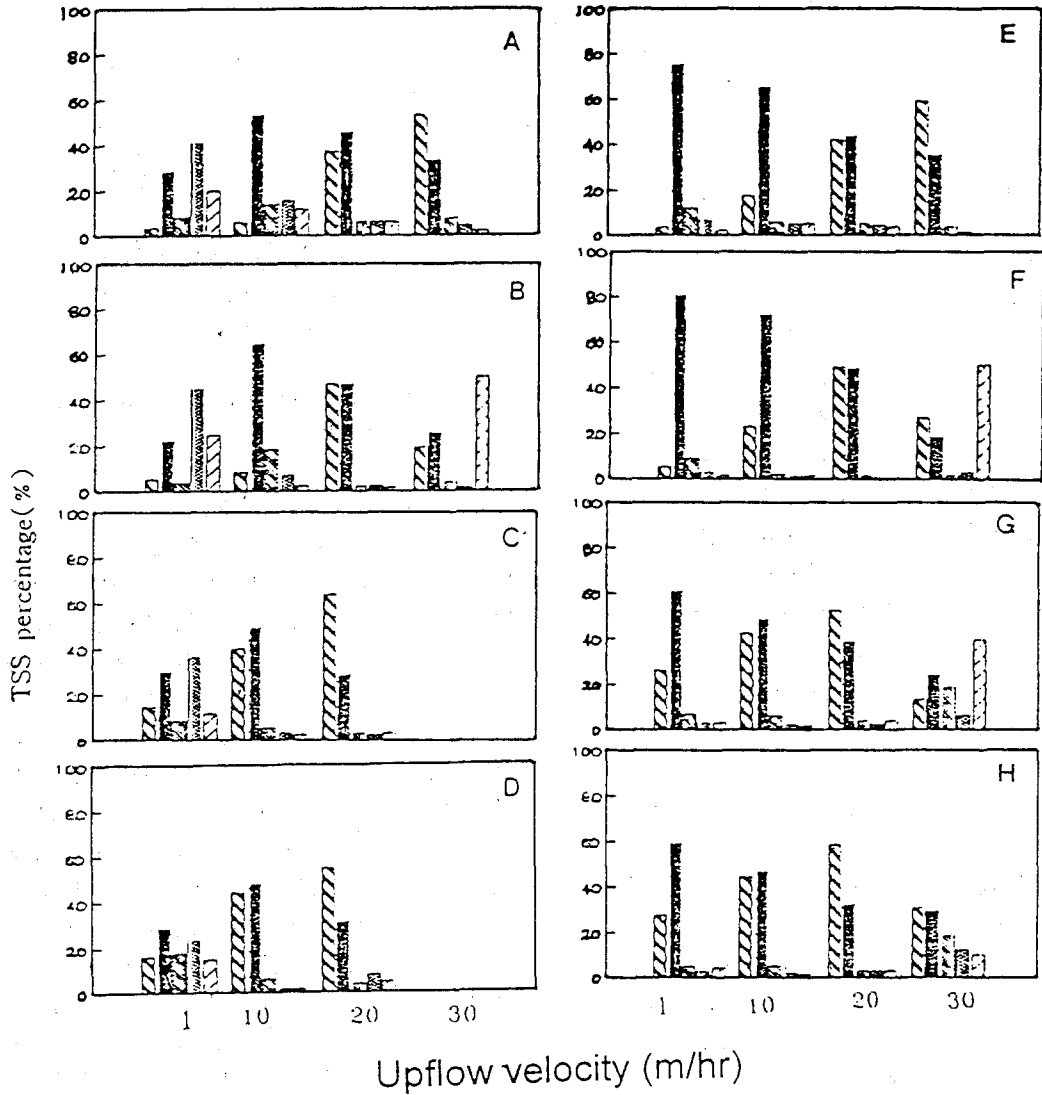


Fig. 3. Size distribution of granular sludge according to HRT and reactor height  
 (A : 24 hrs, 70cm, B : 12 hrs, 70cm, C : 6 hrs, 70cm, D : 3 hrs, 70cm, E : 24hrs, 30cm, F : 12hrs, 30cm, G : 6hrs, 30cm, H : 3hrs, 30cm)

험에 이용되기전 1개월 정도 4°C 상태에서 저장되었다. 본 실험을 위해 반응조에 주입된 입상슬러지의 입자크기 분포는 Fig. 2와 같다.

그림에 도시한 바와 같이 2.0mm 이상의 입자는

전체의 0.5%를 차지하며, 0.42mm이하의 입자는 전체의 4.1%, 가장 많은 비율을 차지하는 입자는 0.84-2.0mm의 입자로 전체의 약 70%를 차지하여 비교적 높은 침전특성을 나타내는 입자들로 구성되어 있다.

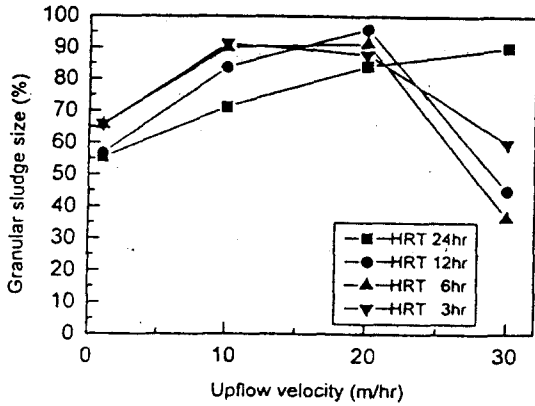


Fig. 4. The size of granular sludge according to variation of HRT in each upflow velocity

상향유속 및 HRT 변화가 반응조내 입상슬러지의 입도분포에 어떠한 영향을 미치는지를 평가하기 위하여 각 HRT에서 연속 3일 동안 시료를 채취하여 분석한 자료를 평균하였다. 동일 조건의 동일 높이에서 입도분포를 평가하기 위하여 시료 채취시 각 반응조의 반응을 중단하고 부상된 입상슬러지가 완전히 침전되었다고 판단된 상태에서 반응조 바닥으로부터 30cm 및 70cm 높이에서 슬러지를 채취하였다. 시료 채취시 입상슬러지가 수압에 의해 빠져나오면서 파쇄되는 점을 고려하여 입구 구경 1cm 주사기형태의 채취기를

제작하여 이용하였으며 각 상향유속에서 HRT 감소에 따른 미생물 입도분포를 5 등급(2mm 이상, 0.84-2.0mm, 0.59-0.84mm, 0.42-0.59mm 및 0.42mm 이하)으로 분류하여 슬러지 입도분포를 평가하였다. Fig. 3은 반응조 높이 30cm 및 70cm에서 상향유속 및 HRT 변화에 따른 슬러지 입도분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 동일 상향유속에서 HRT 감소에 따라 반응조 30cm 높이에서 0.84mm 이상의 입상슬러지가 증가하는 반면 반응조 70cm 높이에서는 입상슬러지의 크기가 감소하는 경향을 보였다. 반면 동일 HRT에서 상향유속 증가에 따라 전반적으로 입상슬러지의 크기가 감소하는 경향성을 보였다. 이러한 현상은 높은 상향유속에 의한 입상슬러지의 파쇄 및 표면 탈리에 기인된 영향으로 생각된다. 이는 김 등<sup>9)</sup>이 상향류속이 생물막 입자직경에 미치는 영향실험에서 상향유속이 증가함에 따라 상향유속에 의한 전단력의 영향에 의해 생물막 입자직경이 작아진다고 보고한 결과와 유사한 결과를 보였다.

Fig. 4는 반응조내 0.84mm이상의 비교적 큰 크기의 입상슬러지가 반응조에서 차지하는 부피를 백분율로 나타낸 것이다. 그림에 나타낸 바와 같이 상향유속 20m/hr 까지는 높은 유기물 부하 및 높은 상향유속에서 비교적 큰 입자의 슬러지가 반응조내에 많이 존재하나 그이상의 상향유속에서 큰 입자의 슬러지가 감소하는 경향을 나타내었다.

Table 3 Chemical characteristics of effluent

Reactor NO.	Uv. (m/hr)	pH	TA (mg/l as CaCO <sub>3</sub> )	VA (mg/l as HAc)	VA*/TA**
R-1	1	6.80-7.20 (6.95)	2,104-2,912 (2,515)	43.0-493.0 (214.0)	0.034-0.181
R-2	10	6.80-7.16 (6.96)	2,280-2,945 (2,561)	35.0-355.0 (150.5)	0.016-0.141
R-3	20	6.80-7.20 (6.94)	2,240-3,010 (2,558)	35.0-693.0 (236.3)	0.016-0.238
R-4	30	6.70-7.15 (6.90)	2,340-2,912 (2,561)	40.0-1,280 (521.4)	0.024-0.451

\* VA:volatile acid as HAc \*\* TA:total alkalinity as CaCO<sub>3</sub> ( ) : Average

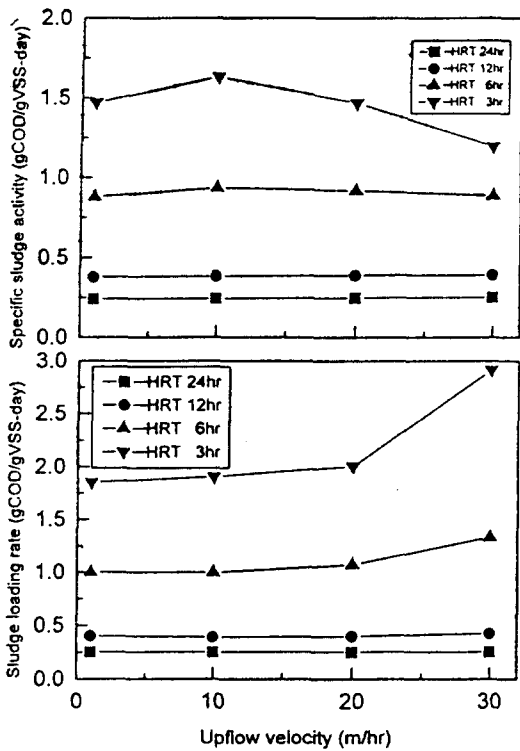


Fig. 5. Specific sludge activity and sludge loading rate according to variation of HRT in each upflow velocity

이상의 결과에서 명백히 입상슬러지의 크기는 상향유속에 영향을 받는 것으로 나타났으며 HRT 감소에 의한 유기물 부하는 상향유속이 입자크기에 미치는 영향만큼 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 운전 초기 30m/hr의 상향유속으로 운전되는 R-4 반응조에서 입상슬러지가 가장 크게 증가하였으나 연속 운전함에 따라 상향유속 30m/hr를 제외한 1m/hr, 10 m/hr, 20m/hr의 상향유속에서 HRT 감소에 따른 유기물 부하율이 증가함에 따라 입상슬러지의 크기도 증가하였으며 높은 상향유속(30m/hr)으로 운전되는 반응조의 경우 유기물 부하율 증가에도 불구하고 입상슬러지 크기는 감소하였다. 이와 같은 일련의 현상들은 반응조 높이 70cm의 경우에도 같은 현상을 보이며 상향유속 30m/hr에서 미생물의 심각한 유실현상이 나타났다. 이러한 현상은 입상슬러지 파쇄현상에 기인되며 결국 반응조내의 미생물량을 감소시키는 결

과를 가져오게 된다. Arcand 등<sup>6)</sup>에서 입상슬러지의 평균지름은 입상슬러지층을 통하여 흐르는 액체의 상향유속증가(0.9-6.6m/hr)에 따라 증가하였고, Tramer 등<sup>10)</sup>은 입상슬러지의 평균 입자크기는 영양물질의 공급, 영양물질의 형태, 입상슬러지의 생성속도, 입상슬러지내 기질제한, 전단력에 영향을 받는다고 보고하고 있다. Guiot 등<sup>11)</sup>은 3mm 이상의 입상슬러지 대부분은 높은 상향유속(1.7m/hr)에서 이루어지며 오히려 그 이상의 상향유속(4m/hr)에서 큰 미생물의 분율은 높은 상향유속으로 인한 전단력에 기인되어 감소되는 것으로 보고한 바 있다. 입상슬러지 크기에 대한 기질 농도의 영향을 조사한 Grotenhuls 등<sup>12)</sup>은 입상슬러지의 평균 지름은 유입 기질농도가 증가함에 따라 증가하며 유입 기질농도가 감소함에 따라 감소하는 것으로 보고하였으며 또 이들은 입상슬러지의 크기를 미생물의 성장 및 분해로 설명하였는데 입상슬러지의 크기는 기질 고갈이 입상슬러지 중심에서 일어날때까지 증가하며 기질의 확산이 제한된 입상슬러지 중심에서 미생물 성장 및 미생물의 자산화가 일어난다. 이의 결과로 입상슬러지가 약해지고 유체의 전단력에 의해 입상슬러지의 크기가 감소한다고 보고하였다. 기질농도가 낮을 경우 입상슬러지 중심에서 기질고갈이 크게 일어나고 반면 높은 기질농도에서 기질고갈이 작게 일어나 입상슬러지의 크기가 증가한다고 보고하고 있어 본 실험 결과들과 잘 일치하고 있었다. 이상에서 유출수 반응비에 따른 반응조내 상향유속의 변화는 입상슬러지의 크기, 입상슬러지의 활성도 및 반응조내 미생물종의 변화를 가져올 것이며 이러한 변화는 기질 이용속도를 변화시키는 중요한 요인으로 평가하였다.

## 2. 상향유속이 입상슬러지 활성도에 미치는 영향

폐수의 혐기성 처리시 소화조내의 화학적 인자는 소화조의 반응상태를 나타내는 지표가 된다. Table 3은 본 실험에 사용된 4개의 반응조 유출수의 화학적 인자의 범위를 나타낸 것으로 이를 통해 반응조가 정상상태로 운전되었는가를 평가할 수 있다.

전 운전 기간을 통하여 pH는 6.70-7.20으로 정상적인 상태를 보였으며 알카리도 역시 2,104-3,010mg/l로 정

상적인 운전상태 있음을 알 수 있다. 혐기성 소화조의 조절 인자로 사용되는 휘발성산/알카리도 의 비 역시 0.034-0.451로 정상적인 상태로 운전되었음을 알 수 있으며 상향유속을 30m/hr로 운전된 R-4 반응조에서 VA의 값이 가장 높게 나타났으며 상향유속 10m/hr로 운전된 R-2 반응조에서 가장 낮은 VA값을 보였다.

각각 다른 상향유속(1, 10, 20, 30m/hr)으로 운전되는 반응조에서 수리학적 체류시간(HRT) 변화에 따른 반응조내 미생물의 활성도 평가는 각 HRT에서 구한 반응조내 평균 미생물량에 대한 기질제거율에 기준을 두고 평가하였다. Fig. 5는 각 상향유속으로 운전되는 반응조 R-1, R-2, R-3 및 R-4에서 HRT 감소에 따른 유기물부하율과 기질제거율을 나타낸 것으로 HRT 감소에 따라 유기물 부하 증가로 기질제거율은 증가하였다.

그림에서 보는 바와 같이 초기 HRT 24시간에서 R-1, R-2, R-3 및 R-4 반응조의 기질제거율은 0.242, 0.244, 0.248 및 0.252kg COD/kg VSS-day로 나타나 유출수 재순환비를 높혀 상향유속을 높인 반응조에서 비교적 높은 기질제거효율을 나타냈으며 HRT 감소에 따른 이와 같은 기질제거효율의 증가 현상은 HRT를 12시간으로 감소시켰을 경우 각각 0.378, 0.383, 0.389 및 0.392kg COD/kg VSS-day로 나타나 역시 높은 상향유속으로 운전된 반응조에서 높게 나타났다. 그러나 연속하여 HRT를 6시간으로 낮추어 운전한 결과 기질제거효율은 R-1, R-2, R-3 및 R-4 반응조에서 각각 0.879, 0.935, 0.920 및 0.890kg COD/kg VSS-day로 나타나 R-1 및 R-2 반응조에서 점차 감소하는 경향을 보였으며 HRT를 3시간으로 낮추어 운전한 결과 기질제거효율은 각각 1.417, 1.633, 1.469 및 1.200kg COD/kg VSS-day로 나타났다. 이상의 결과 기질제거효율로 평가된 각 반응조내 입상슬러지의 활성도는 유기물부하율이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났으며 일정 이상의 높은 상향유속에서 활성도는 감소하는 것으로 나타났다. 실험을 통하여 30m/hr로 운전된 R-4 반응조의 경우 HRT를 감소시켜감에 따라 활성도의 증가폭이 점차 감소하여 HRT 3시간에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 이와 같은 현상은 높은 상향유속으로 운전된 반응조에서 높은 미생물의 유실을 가져와 반응조내 미생물량의 감소현상으로 평가된다.

결국 그림에서 보는 바와 같이 반응조내 슬러지의 감소로 유기물 부하율이 높게 나타나는 현상을 보였다. 이는 Fig. 4의 결과에서도 잘 알 수 있다.

Dubourguier 등<sup>4)</sup>은 입상슬러지에 활성도의 감소는 기질에 대한 미생물량에 비례한다고 보고하고 있어 R-4 반응조의 경우 입상슬러지의 활성도 감소는 반응조내 미생물량에 기인된 것으로 생각되며 전 운전기간을 통하여 R-2 반응조가 가장 좋은 활성도를 보여 적정 상향유속으로의 운전이 필요한 것으로 판단된다. 운전 기간중 또 다른 현상은 HRT 24시간에서 HRT 6시간으로 감소시켜감에 따라 높은 상향유속에서 운전된 반응조에서 높은 미생물 유실로 인한 반응조내 미생물 감소현상에도 불구하고 미생물 활성도는 오히려 증가하였다. 이러한 현상에 대한 이유는 높은 상향유속으로 운전되는 반응조에서 수리학적인 유체의 흐름에 기인하여 입상슬러지의 크기가 증가되어 입상슬러지의 활성도가 증가된 것으로 판단된다. 본 실험에서 나타난 결과는 상향유속 30m/hr로 운전된 R-4 반응조에서 가장 큰 입상슬러지가 관측되었고 낮은 상향유속으로 운전할수록 입상슬러지의 크기분포가 감소하였다. Guiot 등<sup>7,11,14)</sup>은 미생물의 크기분포에 따른 비활성도의 관계에서 산형성 미생물의 활성도는 상향유속이 증가함에 따라 감소하며, 반면 메탄형성 미생물의 활성도는 상향유속의 증가에 따라 증가되는 것으로 보고 하였다. 그러나 높은 상향유속으로 운전된 R-4 반응조의 경우 HRT를 낮게 감소시켰을 경우 입상슬러지의 크기가 증가하였음에도 불구하고 미생물 활성도는 감소하였는데 이러한 이유는 높은 상향유속에 기인한 높은 전단력에 의한 입상슬러지의 파쇄에 의한 영향으로 판단되며 이러한 결과로 반응조내 미생물의 유실이 증가하게 되고 결국 반응조내의 미생물량을 감소시키게 된다. 또 다른 이유는 물질전달제한에 기인하여 기질이 입상슬러지의 중심까지 확산되지 못했기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 현상은 입상슬러지의 지름이 클수록 크게 작용된다. 결국 한정된 기질에서 유체의 흐름으로 인하여 입상슬러지의 크기가 증가되어 입상슬러지의 중심으로 물질전달 제한이 일어나 내부에서 미생물의 성장이 중지되며 이로 인해 입상슬러지의 중심에 자산화가 일어나 내부

에 속이 빈 상태를 유도하며 입상슬러지의 구조를 약하게 만드는 요인이 된다. 이러한 상태의 입상슬러지는 상대적으로 밀도가 낮아 부상하기 쉬우며 또한 높은 상향유속에 의한 전단력으로 인해 입상슬러지가 미세입자로 파쇄되어 유출수와 함께 유출하게 된다.

이상의 결과에서 일반적인 UASB 반응조에 적용되는 1m/hr 이상의 상향유속으로 운전할 경우 슬러지층의 유동화를 유도하여 미생물과 유기물간의 접촉효율을 증진시켜 처리효율을 증가시킬 뿐만 아니라 수리학적 특성에 의한 입상슬러지의 크기 증가로 미생물의 활성도가 증가할 것이나 일정 이상의 높은 상향유속으로 운전할 경우 전단력에 의한 슬러지의 파쇄 및 미생물 과다유실, 기질확산제한에 따른 입상슬러지 부상 및 파쇄 등으로 오히려 악영향을 초래하므로 적정 상향유속으로의 반응조 운전이 필요시되며 본 실험에서 최대 상향유속은 10m/hr로 평가되었다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 유출수 반송에 의한 상향유속 및 유기물 부하증가에 따른 입상슬러지의 입도 분포, 입상슬러지의 파쇄 및 입상슬러지의 활성도에 미치는 영향을 평가한 결과는 다음과 같다.

1. 높은 상향유속은 수리학적 특성으로 인하여 입상슬러지의 크기를 증가시키는 결과를 가져왔으며 또한 유기물 부하율이 증가함에 따라 입상슬러지의 크기가 증가하였다.
2. 입상슬러지의 활성도는 입상슬러지의 크기가 증가함에 따라 증가하였다.
3. 동일 유기물 부하에서 HRT가 24, 12, 6 및 3시간으로 감소함에 따라 상향유속 10m/hr로 운전된 반응조에서 기질제거율은 각각 0.244, 0.383, 0.935 및 1.633kg COD/kg VSS-day인 반면 상향유속 30m/hr를 운전된 반응조에서 각각 0.252, 0.392, 0.890 및 1.200kg COD/kg VSS-day로 나타나 HRT 감소에 따라 10m/hr 이상의 높은 상향유속에서 효율이 낮게 나타났다.
4. 일정 이상의 높은 상향유속으로 운전할 경우 입상슬러지의 파쇄 및 부상으로 인하여 미생물유실을

증가시켰으며 이로 인해 운전효율은 감소되므로 일정 상향유속 이하로의 운전이 요구되며 본 실험에서의 적정 상향유속의 범위는 1-10m/hr로 나타났다.

#### 감사의 글

이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

#### 참 고 문 헌

1. Ltiga, G., Van Velsen, A.F.M., De Zeeuw, W. & Hobma, S. W : Feasibility of the Upflow Anaerobic Sludge Blanket(UASB) Process, *Proc. Natl. Conf. Environ. Eng., ASCE*, 35-45, 1979.
2. Dubourguier, H. C., G. Prensier, E. Samain and G. Albagnac : Granular methanogenic Sludge, In: *W. Pals et al(eds.): Energy from Biomass*, Elsevier Applied Science Publishers, 542 - 546, 1985.
3. Beeftink H. H. and van den Heuvel J. C : Novel anaerobic Gas-Lift Reactor (AGLR) with retantion of biomass : start-up, routine and establishment of hold-up, *Biotechnol. Bioengng* 30, 233-238, 1987.
4. Dubourguier, H. C., Buisson, M. N., Tissier. J. P., Prensier, G. and Albagnac, G. Structural characteristics and metabolic activities of granular methanogenic sludge ona mixed defined substrate, In: *Pros. of the GASMAT Workshop: Granular anaerobic sludge: microbiology and technology*, 25-27 Oct. 1987., Lettinga, G., Zehnder, A. J. B., Grotenhuis, J. T. C. and Hulshoff Pol, L. W. (Eds.), Pudoc. Wageningen, Netherlands, 78-86, 1988.
5. Li, D. H. and Y. Garnczarczyk : Stroboscopic determination of settling velocity, size and porosity of activated sludge flocs, *Water Res*, 21(3), 257-262, 1987.
6. Arcand, Y., Guiot, S. R., Desrochers, M. and Chavarie, C : Effect of the hydraulic regime on



- the granule size and activity distribution in an upflow anaerobic reactor, *In: Proc. of the 21st Mid-Atlantic Industrial Waste Conference*, Harrisburg, PA, USA, June 25-27, 1989. Cole, C. A. and Long, D. A. (Eds.), Technomic Publ. Co, Mancaster, PA, USA, 357-370, 1989.
7. Guiot, S. R., A. Pauss, D. Bourque, M. El Housseimi, L. Lavoie, C. Beaulieu and R. Samson : Effect of upflow liquid velocity on granular sludge size distribution in an upflow anaerobic bed-filter(UBF) reactor, *Fifth international Symposium on Anaerobic Digestion*, Bologna, Italy, May 22-26, 1988.
  8. APHA, AWWA, WPCF : Standard methods for the examination of water and wastewater, *APHA, AWWA, WPCF*, 18th ed., 1992.
  9. 김창원, 장희재 : 2상호기성 생물막 유동층 반응기에서 공탑상향유속이 생물막특성에 미치는 영향, *J. of KESS*, 14, 1, 23-30, 1992.
  10. Tramper, J., Van Groenestijn J. W., Luyben K. Ch. A. M. and Hulshoff Pol L. W : Some physical and kinetic properties of granular anaerobic sludge, *In Innovations in Biotechnology (Edited by Houwink E. H. and van der Meer R. R.)*, Elsevier Science, Amsterdam, 145-155, 1984.
  11. Guiot, S. R., Kennedy K. J. and van den Berg B : Comparison of the upflow anaerobic sludge blanket and sludge bed-filter concepts, *Proc. EWPCF Conf, on Anaerobic Treatment A Grow- Up Technology*, Aquatic, 86, Amsterdam, The Netherlands, 533-546, 1986.
  12. Grotenhuis, J. T. C., J. C. Kissel, C. M. Plugge A. J. M. Stams and A. J. B. Zehnder : Role of substrate concentration in particle size distribution of methanogenic granular sludge in UASB reactors, *Wat. Res.*, 25(1), 21-27, 1991.
  13. Guiot, S. R., Andre Pauss and J. William Costerton : A structure model of the Anaerobic granule Consortium, *Sixth International Symposium on Anaerobic digestion*, San Paulo, Brazil 12-16, May, 1991.