

## 論 文

호기성 소화조 설계시 회분식 반응조에서 획득된  
결과의 이용방안에 관한 연구A Study on Usage of Results from Batch Reactor  
for Design of Aerobic Digestion

정 연 규·고 광·백\*·박 준 홍\*\*

Youn-Kyoo Choung · Kwang-Baik Ko\* · Joon-hong Park\*\*

## Abstract

In the general process of design for aerobic digestion, the design for field plant of which inflow pattern is continuous inflow is performed using the results from lab scale batch reactor. However, the recent researchers reported that the general designs were performed as over-estimated. Therefore, in this study, laboratory batch experiments were carried out at 20°C and pH 7.5 on the aerobic digestion of waste activated sludge at different solid levels. This treatise could consider the negligence about effective digestion periods the usage of VSS as solid concentration, and the effect of initial solid concentration of solid degradation rate coefficient ( $k_d$ ) as reasons of the over-estimated design, and showed the scheme of how to design for aerobic digestion from batch experiment.

## 1. 서 론

본 연구의 대상인 호기성 소화(aerobic digestion)는 혐기성 소화와 더불어서 생물학적 안정화 기법으로서 슬러지의 안정화 및 고형물의 감량화를 주목표로 하고 있다.<sup>1,2,3)</sup>

호기성 소화는 혐기성 소화와 비교하여 보았을 경우에 무악취, 소화된 슬러지의 높은 안정화, 운영의 용이성 및 안정성, 짧은 체류시간, 낮은 초기 시설비라는 특징과 더불어 상정액에 유기물, 부유고형물, 그리고 영양염류의 농도가

작다는 것이 장점이다.<sup>2,3)</sup> 반면 산소공급에 많은 에너지가 소요되는 단점을 보이고 있다.<sup>2,3)</sup> 하지만 총체적으로 비교하였을때, 호기성 소화를 중소규모의 하수처리장(하수 유입량: 10,000 m<sup>3</sup>/day 이하)<sup>3)</sup>에서 사용하는 경우에는 혐기성 소화에 비해서 경제적이란 것이 일반적인 견해이다.<sup>2,3,5)</sup>

호기성 소화를 설계하기 위해서는 일반적으로 실험실에서 대상 슬러지를 회분식 호기성 소화로 처리해서 고형물 분해계수(solids degradation rate coefficient)를 추정한 후 주로 실제 처리장에서 사용하는 호기성 소화방식인 연속주입식 반응조의 식에 적용하여서 사용한다.<sup>2,4,5)</sup> 호기성 소화의 분해계수 추정에 회분식 반응조를 일반적으로 사용하는 이유는 첫째, 운영이 안정하

연세대학교 공과대학 도시공학과 교수

\* 충북대학교 공과대학 환경공학과 부교수

\*\* 한국과학기술연구원, 환경연구센터, 연구원

고 간단하므로 정상상태를 유지해야 하는 연속 주입식의 실험이 다소 불필요하다는 호기성 소화설계자들의 실리적인 판단때문이고,<sup>3,4,5)</sup> 둘째, 실험실에서 반응조를 정상상태로 유지하기 위해서 냉장고 등을 이용해서 미생물의 활성이 없도록 슬러지를 냉동, 저장하여야 하는데, 기존의 문헌연구에 의하면 0°C 부근에서도 호기성 소화는 진행이 되므로,<sup>11)</sup> 분해계수를 추정하기 위해서 실험실에서 연속주입식 반응조를 운영하는 경우에 정상상태를 유지하는 것은 사실상 힘이 든다는 점이다. 하지만 호기성 소화의 연구자들은 회분식 호기성 소화조를 이용해서 추정 한 분해계수를 연속주입방식의 실제 처리장에 적용시 과부하 설계되어서, 호기성 소화의 산소 공급비를 필요이상으로 산정하는 문제가 있다고 보고하고 있다.<sup>4,7)</sup>

회분식 주입 반응조 혹은 연속플럭 흐름 반응조에서 생분해성 고형물(degradable solids)의 분해는 1차 반응으로 보아서 다음과 같은 수식으로 표시된다.<sup>4)</sup>

$$(X_0 - X_n) = (X_0 - X_n) * \exp(-k_d * t) \quad (1)$$

$X_0$ : 시간  $t$ 일때 유출 고형물의 농도(mg/l)

$X_0$ : 초기의 고형물 농도(mg/l)

$X_n$ : 생분해되지 않는 고형물 농도(mg/l)

$k_d$ : 생분해성 고형물 분해 계수(day<sup>-1</sup>)

$t$ : 소화시간(day)

일반적으로 실제 처리장에서 사용되고 있는 호기성 소화조는 완전혼합의 연속주입식 반응조이므로, 회분식 반응조의 결과를 이용해서 식 (1)에서 분해계수  $k_d$ 를 추정할 후 다음식에 적용하면 완전혼합의 연속주입식 호기성 소화조의 설계를 할 수 있다.

체류시간( $T$ )을 구하는 식은

$$T = \frac{X_0 - X_n}{k_d(X_0 - X_n)} \quad (2)$$

이고, 해당체류시간  $T$ 에 대한 유출 고형물 농도는 식 (3)과 같다.

$$X_n = \frac{X_0 + k_d * T * X_n}{1 + k_d * T} \quad (3)$$

기존의 호기성 소화 연구자들은 회분식 반응조에서 추정된 고형물의 분해계수가 실제 처리

장의 연속주입식 반응조에서 추정된 것보다 작기 때문에 회분식 반응조에서 추정된 계수를 사용시 실제처리장에서 과설계될 수 있다고 보고, 설계의 최적화를 위해서 몇가지 원인들이 지적되어 왔는데, 그러한 지적은 크게 2가지로 구분된다. 첫째는 회분식 호기성 소화과정 중 더 이상 고형물이 분해되지 않는 최초의 소화시간을 유효소화시간(effective digestion time)으로 볼 수 있는데, 설계자들이 유효소화시간 이후의 결과를 포함해서 회기분석으로 분해계수를 추정하기 때문이라는 소극적인 지적이고,<sup>2,4)</sup> 둘째는 보다 근본적인 지적으로서 기존의 호기성 소화 설계자들은 휘발성 부유고형물(VSS)을 기준으로 설계하고 있는데, 고정성 부유고형물(FSS)도 감소함을 보이고 있으므로 기존의 설계방법은 실제 분해되는 고형물의 양보다 적게 고려하는 분해계수를 사용하게 되므로, 총 부유고형물(TSS)를 기준으로 설계하여야 한다는 것이다.<sup>8)</sup>

본 연구에서는 호기성 소화의 최대 단점인 산소공급비는 설계의 최적화로 상당부분을 감소시킬 수 있다는 취지 가지고, 회분식 반응조에서 추정된 분해계수를 실제처리장에서 사용시 최적화하는 방안을 모색하는데 목적을 두었다. 따라서 기존의 연구자들이 지적한 과도설계원인을 본 연구의 결과로 살펴본 후, 회분식 반응조의 초기 고형물 농도가 분해계수에 미치는 영향이 어떻게 연속주입식 반응조에서 고려되어야 하는 것을 보이므로써, 회분식 반응조를 이용해서 추정된 분해계수를 실제처리장에 적용하는 최적방안을 제시하려고 한다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험운영조건 및 반응조 구성

본 연구는 실험실 규모의 회분식 호기성 소화 반응조를 제작, Table 1과 같은 조건에서 실험이 수행되었다. 반응조는 온도와 pH를 Table 1과 같이 고정을 하고, 초기의 고형물 농도를 달리해서 실험을 운영하였다. Table 1의 운영일자는 고형물의 감소가 더 이상 보이지 않는다고 보여지는 일자를 초과해서 운영한 일수를 의미

Table 1. Operating conditions and reactor characteristics

Operating Time	Operation Condition	Reactor Number & Initial VSS
14 days	DO : 4~8 mg/l	Reactor-1 : 6,010 mgVSS/l
17 days	Temperature : 20±0.5°C	Reactor-2 : 10,520 mgVSS/l
18 days	pH : pH 7.5±0.5	Reactor-3 : 14,700 mgVSS/l
20 days		Reactor-4 : 17,440 mgVSS/l

Table 2. Characteristics of waste activated sludge in this study

Item	Conc. (mg/l)	Item	Conc. (mg/l)
pH	8.0	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	4.9
COD (mixed)	19,306.9	TP (mixed)	251.5
COD (soluble)	108.9	TP (soluble)	22.4
TKN (mixed)	1,779	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	22.4
TKN (soluble)	22	TSS	21,730
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	22	VSS	14,700
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0		

한다.

2.2. 실험재료

본 연구의 시료는 하수처리장에서 발생하는 폐활성슬러지로서, 서울소재 C하수처리장에서 반송되는 슬러지를 실험실에서 농축 및 회석하여서 사용하였다. 이 때 저장 고형물의 농도를 획득하기 위해서 실험실에서 증력침강을 하여 농축하였고, 이를 회석할 필요가 있을 경우에는 농축과정에서 획득된 상정액으로 회석하였다. C하수처리장은 포기조의 포기시간은 3.4시간으로, 최종침전지의 침전시간은 5.6 시간으로 운전되고 있었고, 슬러지의 초기 성상은 Table 2

와 같다.

2.3. 실험장치

본 연구를 위하여 Fig. 1과 같이 실험실 규모의 회분식 반응조를 원통형 아크릴 수지판으로 제작하였다. 초기 고형물 농도에 따라서 모두 4대의 반응조를 설치하였는데, 각 반응조는 두께 5mm, 직경 20cm, 높이 60cm이고, 반응용적은 초기에 10l이다.

2.4. 실험방법

본 연구에서 사용된 반응조는 슬러지의 주입 방식을 회분식으로 운영하였으며, 온도는 20±0.5°C로 조절하였고, 용존산소농도는 2mg/l 이상이 되도록 포기를 시켰었다. pH 7.5±0.5 정도로 유지되도록 수산화나트륨(NaOH) 용액을 이용하여서 1일 3회씩 조정하였다.

반응조에서 발생하는 증발량을 감소하기 위해서, 가습장치를 통과시켜서 포기를 하였지만, 반응조의 상부가 개방되므로써 발생하는 증발산량이 1일 약 200ml가 관측되었으므로, 하루에 약 200ml의 증류수를 반응조에 유입하여 주었다. 이 때 pH 조절에 필요한 수산화나트륨 용액을 포함한 공급수의 양이 200ml가 되도록 하였다.

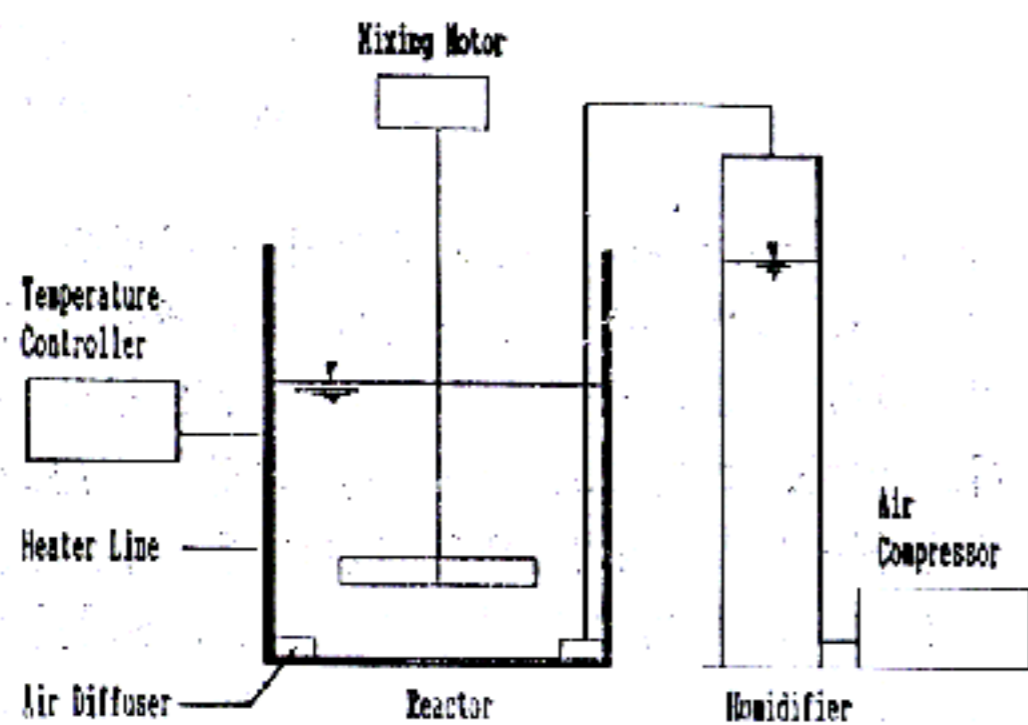


Fig. 1. Scheme of Reactor

2. 5. 분석방법

TSS 및 VSS를 제외한 측정항목들 중 TKN, TP, COD는 혼합상태와 용존상태 모두를 측정하고, 기타의 측정항목은 용액상태에서의 농도를 측정하였다. 이 때 용액 상태의 시료는, 원시료를 원심분리기로 2000×g에서 5분 동안 분리한 후 그 분리액을 진공펌프를 이용해서 유리 섬유여과지(glass fiber filter)를 통과한 여액을 사용하였다.

모든 분석은 Standard Method<sup>13)</sup>에 의하여 실시하였다.

3. 결과 및 분석

각 반응조의 소화시간별 TSS와 VSS의 변화를 Table 3에 나타내었다. Table 3의 소화일자는 소화과정에서 더 이상 고형물의 감소를 보이지 않는 최초의 소화시간까지를 의미한다.

Table 3. Results of TSS and VSS (mg/l)

Reactor-1			Reactor-2			Reactor-3			Reactor-4		
Days	TSS	VSS	Days	TSS	VSS	Days	TSS	VSS	Days	TSS	VSS
0	9,310	6,010	0	16,460	10,520	0	21,730	14,700	0	26,360	17,440
1	8,210	5,550	1	14,110	9,180	1	20,160	13,120	1	25,180	16,260
4	7,290	4,200	4	12,340	7,330	2	18,380	11,550	2	23,480	15,120
6	6,850	3,840	6	11,570	6,390	5	16,740	10,100	5	21,860	13,240
9	6,590	3,630	12	11,360	6,060	8	15,260	8,260	8	21,380	12,820
			14	11,320	5,940	10	15,900	8,700	10	20,620	12,120
						13	16,020	8,580	13	20,100	11,680
						16	15,200	7,700	16	20,060	11,650
									18	19,500	11,100
									19	19,430	11,020

3. 1. 유효소화시간과 분해계수

회분식 반응조에서 얻은 결과를 적용시 고형물이 더 이상 감소하지 않는 최초시간인 유효소화시간이전의 결과만 사용하는 경우와 유효소화시간이 지난 후의 결과를 포함한 경우의 비교를 위해서 반응조-1의 결과를 이용해서 초기 VSS 농도에 대한 각 소화시간에 따른 VSS 농도의 비를 반대수 좌표에 Fig. 2와 같이 도시하였다.

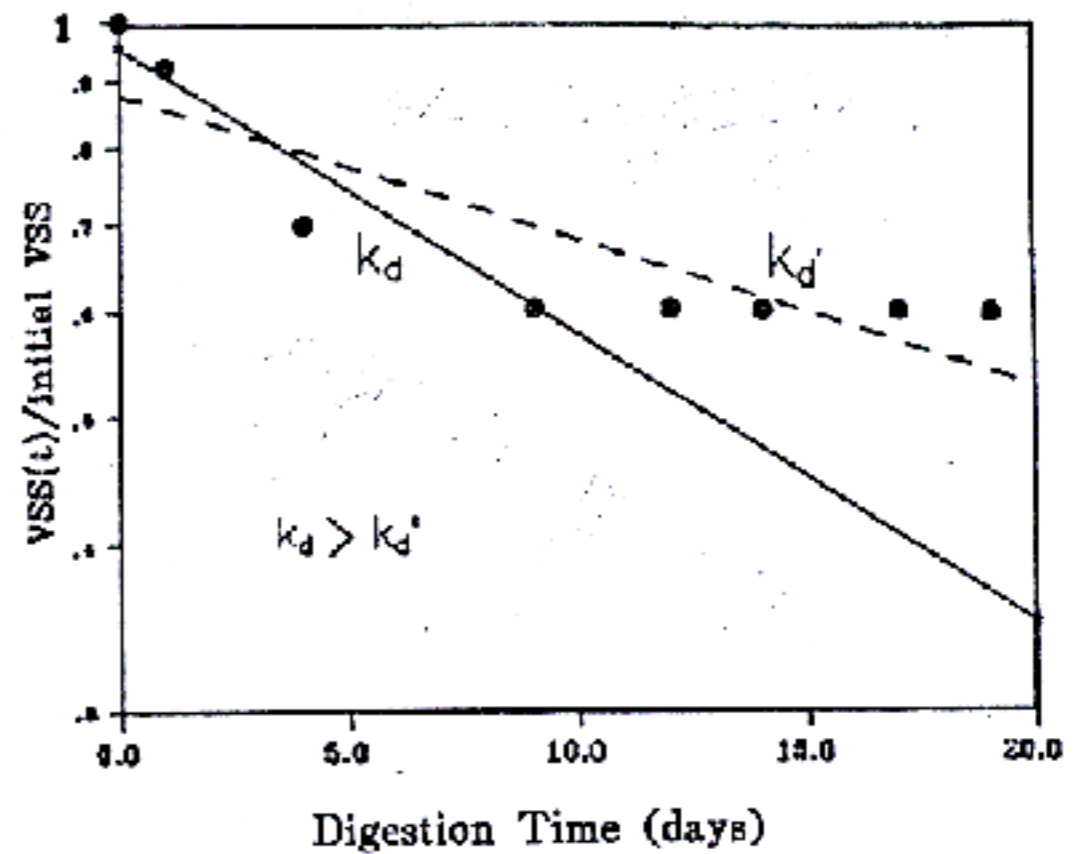


Fig. 2. Solid degradation rate coeff. and effective digestion time

Fig. 2의 실선은 유효 소화기간내의 결과만을 회귀직선으로 표시한 것이고, 그림의 점선은 유효소화기간외의 결과를 포함한 회귀직선을 표시한 것이다. 유효소화기간인 9일 이후에는 실선

과 실험 결과인 점들 간에 오차가 발생함을 알 수 있다. 또한 점선에서 추정된 분해계수  $k_d$ 는 실선에서 추정된 분해계수  $k_d^*$ 보다 작은 값을 보이고 있다. 그러므로 생분해성 고형물 농도가 존재하는 유효소화기간내의 결과만을 사용하는 것이 식 (1)의 의미에 합당하고, 유효소화시간 이후의 결과를 포함해서 회귀분석해서 계수추정시 과도설계가 됨을 보이고 있다.

하지만 본절에서 지적된 오차는 호기성 소화 설계자가 생분해되지 않는 고형물농도  $X_0$ 를 소화가 더이상 발생하지 않는 고형물의 농도로 보는 개념을 견지하는한, 발생하지 않는 오차이므로 회분식 반응조에서 추정된 결과를 실처리장에 적용시 과도설계가 되는 원인 설명이라기보다는 주의사항으로 볼 수 있다.

3.2. TSS와 VSS

호기성 소화의 고형물 감소에 대한 설계 변수로 실험값 중 TSS를 사용할 것인가 VSS를 사용할 것인가에 대한 논의가 호기성 소화의 연구자들 사이에서 상이한 결과를 보이면서 진행되었다.<sup>4,5</sup> 핵심적인 사항은 초기의 호기성 소화 연구자들이 생분해가 되지 않는 고형물농도로 여긴 FSS가 소화시간에 따라서 변하는가 하는 문제이므로, 본 연구에서는 Table 4에 소화시간

되므로, TSS를 사용하는 것이 합리적임을 알 수 있다.

3.3. 초기 고형물농도와 고형물 분해계수  
초기 고형물의 농도가 고형물 분해계수에 미

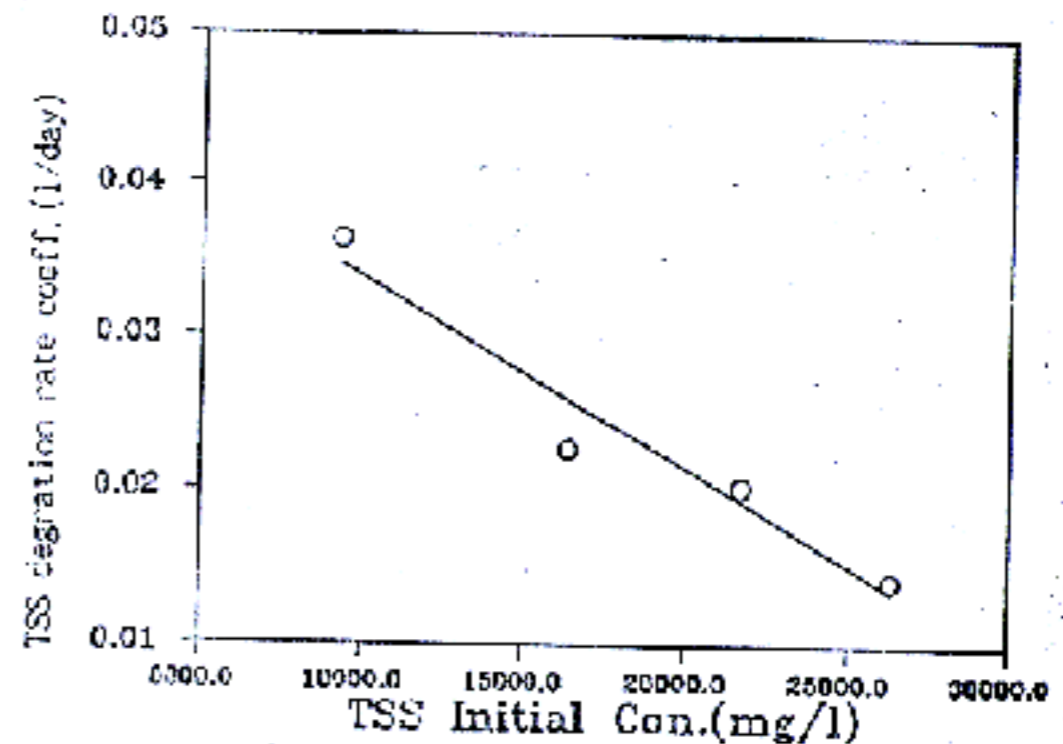


Fig. 3. Initial TSS and solid degradation rate coeff.

Table 4. Change of FSS con. according to digestion time (mg/l)

Time	0	1	2	4	5	6	8	9	10	12	13	16	19
Reactor													
Reactor-1	3,300	3,360	—	3,090	—	—	—	2,960	—	—	—	—	—
Reactor-2	5,940	4,930	—	5,010	—	5,180	—	5,420	—	5,300	—	—	—
Reactor-3	7,030	7,040	6,830	—	6,640	—	6,900	—	—	—	7,420	7,500	6,900
Reactor-4	8,920	8,920	8,360	—	8,620	—	8,560	—	8,500	—	8,420	8,410	8,410

에 따른 FSS의 변화를 나타내었다.

Table 4의 결과를 살펴 보면, 모든 소화시간에 FSS는 감소하지 않는다. 하지만 전체적인 추세는 FSS가 소화시간에 따라서 감소함을 보이고 있다. 소화가 끝나는 9일, 12일, 19일에서 반응조-1, 반응조-2, 반응조-4는 초기의 FSS보다 각각 340mg/l, 480mg/l, 510mg/l의 FSS 감소를 보이고 있다. 반응조-3의 결과는 FSS가 거의 변하지 않고 있다. FSS의 감소 원인에 대해서 P.L. Grady 등은 슬러지내 무기형태의 인, 철, 마그네슘 이온등이 생분해과정과 더불어서 용존화되는데 이는 VSS로는 측정되지 않고, FSS의 감소로 측정되기 때문이라고 설명하고 있다.<sup>5)</sup>

따라서 VSS만을 사용한 설계를 할 경우, FSS의 감소를 무시하게 되므로 실제 분해되는 고형물의 양보다 적은 값을 고려한 과소평가를 하게

치는 영향을 고찰하기 위해 Table 5에서와 같이 각 반응조의 고형물 분해계수를 TSS 농도와 VSS 농도를 기준으로 하여 추정한 후에 초기 TSS의 농도에 대한 관계를 Fig. 3에, 초기 VSS의 농도에 대한 관계를 Fig. 4에 각각 도시하여 보았다. 그 결과 고형물 분해계수는 초기 고형물 농도가 클수록 선형적으로 비례하여 감소하는 경

Table 5. Initial solid concentrations and solid degradation rate coeff. (day<sup>-1</sup>)

Item	$k_d$ (TSS base)	$k_d$ (VSS base)
Reactor		
Reactor-1	0.0364	0.0589
Reactor-2	0.0226	0.0403
Reactor-3	0.0202	0.0379
Reactor-4	0.0143	0.0210

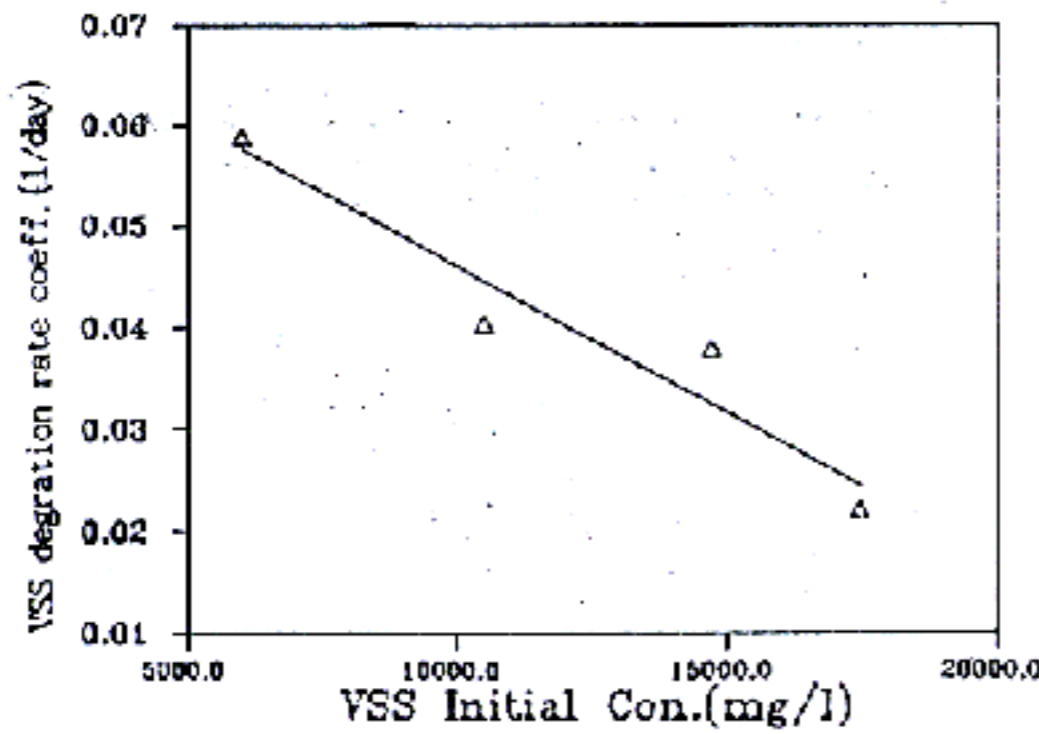


Fig. 4. Initial VSS and solid degradation rate coeff.

량이 있었다. 이러한 경향은 비교적 최근의 연구자들의 호기성 소화 연구자들의 결과에서도 볼 수 있는데, 이는 초기의 고형물 농도가 달라지면서 슬러지내의 미생물 활성등에 미치는 영향이 있기 때문인 것 같다.<sup>6-8)</sup>

초기 TSS 농도와 TSS를 기준으로 추정된 분해계수는

$$(k_{d-TSS})_i = -1.2423 \times 10^{-6} \times (TSS)_i + 0.0463008 \quad (4)$$

$(k_{d-TSS})_i$ : 총 부유 고형물을 기준으로 하였을 때 임의 초기 총 부유고형물 농도에 대한 고형물 분해계수 ( $\text{day}^{-1}$ )

$(TSS)_i$ : 초기 총 부유고형물 농도 ( $\text{mg/l}$ )

의 관계로 회귀분석이 되었고, 결정계수 (determination coefficient)는 0.94456이었으며, 초기 VSS 농도와 VSS를 기준으로 한 분해계수는

$$(k_{d-VSS})_i = -2.8895 \times 10^{-6} \times (VSS)_i + 0.0749479 \quad (5)$$

$(k_{d-VSS})_i$ : 휘발성 부유 고형물을 기준으로 하였을 때 임의 초기 휘발성 부유고형물 농도에 대한 고형물 분해계수 ( $\text{day}^{-1}$ )

$(VSS)_i$ : 초기 휘발성 부유고형물 농도 ( $\text{mg/l}$ ) 이고 결정계수는 0.9186347이었다. 그러므로 결정계수가 식 (4)의 경우가 크므로 TSS 농도를 기준으로 하는 것이 초기 고형물과 분해율 계수의 관계를 보다 더 잘 설명하고 있음을 알 수 있다.

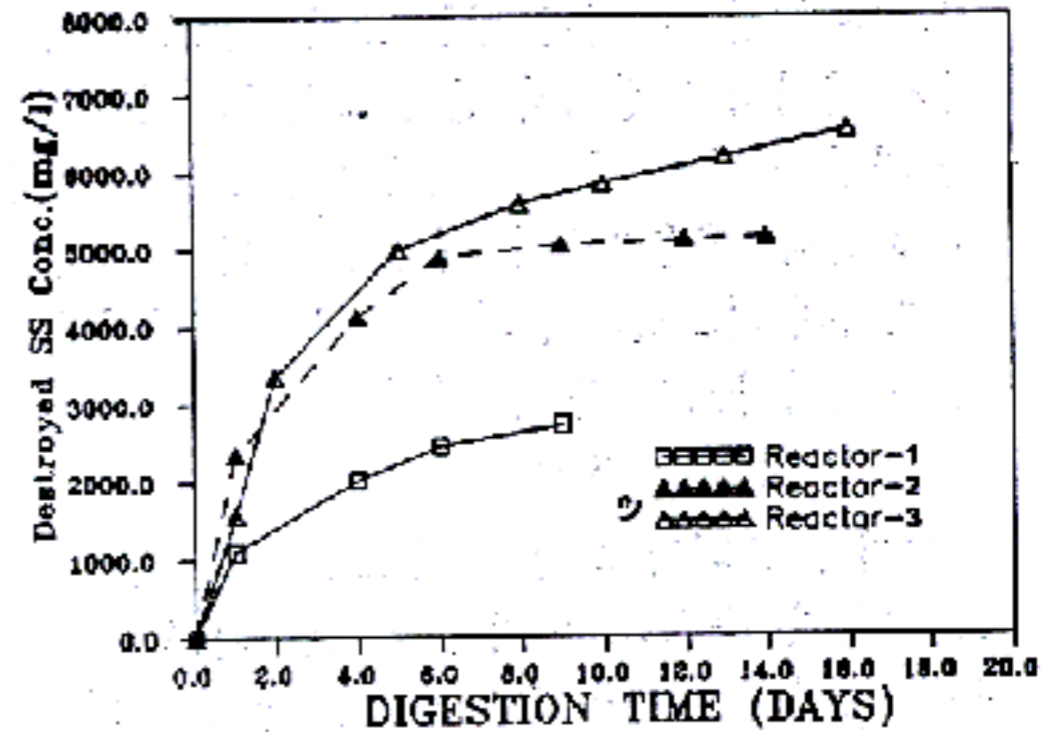


Fig. 5. Solid reduction of each reactor

반면 Fig. 5에서는 같은 소화시간에 대해서 분해된 TSS의 농도는 초기 고형물의 농도가 클수록 큰 추세를 보이고 있는데, 고농도의 고형물을 호기성 소화로 처리할 경우 저농도의 경우보다 고형물 분해율은 감소하나 분해효율은 증가함을 알 수 있다. 하지만 고농도를 유지하기 위해서는 장기간의 농축이 요구되는데, 이 때 슬러지에서 영양염류가 용출 및 방출되므로 호기성 소화의 상정액을 불량하게 하는 원인이 된다는 보고들이 있다.<sup>10,12)</sup>

회분식과 연속식 유입방식 반응조의 관계를 설명하기 위해서, 본 연구에서는 회분식과 반연속식 및 연속식의 관계에 대한 가정을 Fig. 6에 도시하여 보았다. 반연속 및 연속유입식 반응조에서는 유출되는 농도는 일정하게  $S_0$ 로 고정되어 있으며, 완전혼합조일 경우 반응조의 농도도  $S_0$ 로 볼 수 있다. 설명을 용이하게 하기 위해서 반연속식의 경우를 우선 살펴보면, 일정기간에 초기 농도가  $S_i$ 인 고형물이 유입되자마자  $S_i'$ 로 감소할 것이고, 다음 유입이 있을 때까지의 시간  $t^*$  (inflow interval) 동안 회분식 반응조로 볼 수 있게 된다. 그런데 Fig. 3과 Fig. 4 처럼 초기 고형물 농도가 작아짐에 따라서 분해계수는 증가하고,  $S_i'$ 는  $S_0$ 보다 작아지므로 반연속 유입식 반응조내에서 고형물 분해계수는 증가하게 된다. 반연속 유입식 반응조에서 유입과 유입식이의 기간을 매우 미소하다고 하면, 연속유입식 반응조로 가정할 수 있다. 그러므로 초기

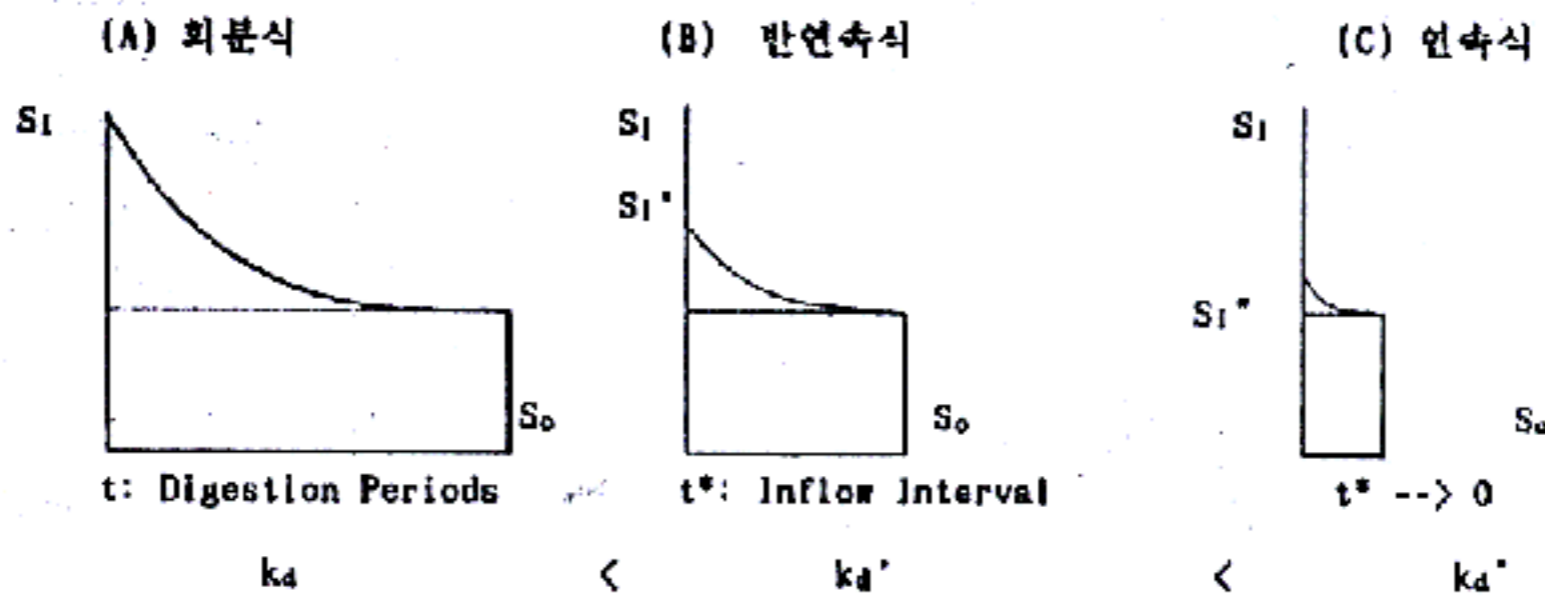


Fig. 6. Assumption on  $k_d$ ,  $k_d'$ ,  $k_d''$  of batch, semi-continuous inflow, and continuous inflow reactors

의 고형물 농도  $S_i$ 에 대한 분해계수를 회분식 반응조의 결과를 이용해서 추정하여 반응계수의 보정없이 연속유입식에 적용하는 경우에는 반응조내의 실제 반응계수보다 작은 반응계수를 사용하게 되므로 과도설계가 된다. J. Ganczarczyk 등을 비롯한 호기성 소화 연구자들이 연속식에서 추정된 고형물분해계수가 회분식에서 추정된 값보다 크다고 하였는데,<sup>6,7)</sup> 본 연구에서 유추한 이러한 가정은 그들의 결과를 설명해주고 있다.

### 3.4. 회분식에서 획득된 분해계수의 연속주입식 반응조 적용방안

적합한 반응계수의 사용은 초기 고형물농도가  $S_i'$ 인 슬러지를 회분식 실험을 통해 반응계수를 추정하거나, 연속식 반응조로 실험을 한 결과를 이용해서 반응계수를 추정하여야 한다. 하지만 모든 초기 고형물 농도에 대한 반응계수를 실험으로 구하는 것은 비효율적이고, 실험실에서 연속유입식 반응조의 운영은 기술상 힘든 작업이다. 그러므로 초기 고형물 농도가  $S_i'$  일 때의 각 반응계수를 식 (4)에서 구하여 연속유입식 반응조에 적용하면 이러한 문제를 해결할 수 있다.

본 연구에서 유추된 가정을 기초로 회분식 호기성 소화 반응조의 결과에서 추정된 반응계수를 연속유입식 호기성 소화 반응조에 적용하는 구체적인 방안을 다음과 같이 제안하여 보았다. 이때 고형물의 감소에 해당하는 실험값은 TSS를 3.2절에서의와 같은 이유로 사용하여야 하고, 3.1절에서의와 같이 유효소화시간이내의 결과만을

고려해야 할 것이다.

- (1) 연속유입식 반응조의 실제 초기 고형물 농도를 다음 식 (6)로 결정한다.

$$S_i'' = (S_i - S_0) / T + S_0 \quad (6)$$

$T$ : 체류시간 (detention time)

- (2) 초기 고형물 농도를 다르게 한 4조 이상의 회분식 호기성 소화 반응조를 운영하여 그 결과를 이용해서 각 반응계수를 추정한다.
- (3) 고형물 분해계수 ( $k_d$ )와 초기 TSS에 대해서 식 (4)와 같은 방식으로 회귀 방정식을 설정한 후, 실제 초기 고형물 농도  $S_i''$ 에 해당하는 반응계수 ( $k_d''$ )를 계산하여 사용한다.

## 4. 결 론

호기성 소화설계시 회분식 반응조에서 분해계수  $k_d$ 를 추정하여 실제처리장의 호기성 소화조의 슬러지 주입방식인 연속주입식 반응조에 적용시 과도설계된 원인을 기존의 연구결과에서 제시한 유효소화시간 이후 결과의 포함과 VSS의 사용으로 인한 FSS의 감소량의 무시에 대한 사항을 실험을 통해서 살펴보고, 본 연구에서 제시된 가정을 통해서 초기 고형물의 농도가 분해계수에 미치는 영향이 과도설계의 원인이 됨을 보였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

- (1) 회분식 반응조를 이용해서 분해계수 추정시 생분해되지 않는 고형물 농도  $X_n$ 는 고형물

농도가 더 이상 감소하지 않는 최초시간인 유효 소화 시간에 해당하는 고형물 농도를 사용해야 한다.

(2) 회분식 반응조를 이용해서 분해계수 추정 시 유효소화시간 이내의 실험값만을 고려하여야 한다.

(3) 회분식 반응조를 이용해서 분해계수 추정 시 TSS를 사용하여야 고형물의 감소를 합리적으로 고려할 수 있다.

(4) 회분식 반응조의 최초 고형물 농도가 증가하면서 고형물 분해계수는 선형적으로 비례감소하는데, 이러한 최초 고형물 농도가 분해계수에 미치는 영향이 기존의 호기성 소화의 반응식에 포함되지 않았기 때문에 설치처리장에서 과도실계된다는 새로운 분석이 제시되었다.

(5) 위의 결과들으로써 회분식 반응조를 이용해서 분해계수추정 후 연속 주입식 반응조에 적용하는 방안을 본 연구에서는 다음과 같이 제시하였다. 이 때 결론의 (1), (2), 그리고 (3)에 대한 사항을 동시에 고려해야 한다.

A. 연속유입식 반응조의 실제 초기 고형물 농도를 다음 식 (6)로 결정한다.

$$S_i'' = (S_i - S_0) / T + S_0 \quad (6)$$

T: 체류시간(detention time)

B. 초기 고형물 농도를 다르게 한 4조 이상의 회분식 호기성 소화 반응조를 운영하여 그 결과를 이용해서 각 반응계수를 추정한다.

C. 고형물 분해계수( $k_d$ )는 식 (4)와 같은 방식으로 회귀 방정식을 설정한 후 실제 초기 고형물 농도  $S_i''$ 에 해당하는 반응계수를 계산하여 사용한다.

### Reference

1. 정연규 외 7인역, 폐수처리공학, 동화기술, 1987.
2. W.W. Eckenfelder, Jr., Sludge Treatment, Marcel Dekker Inc., 1981.
3. U.S. EPA, Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal, EPA 625/1-79-011, 1979.

4. C.E. Adams, Jr., W.W. Eckenfelder, Jr., and Robert M. Stein, "Modification to Aerobic Digestion Design", Water Research, Vol. 8, 1974, pp.213-218.
5. C. Scott Reece, Ralph E. Roper, Jr., and C.P. Leslie Grady, Jr., "Aerobic Digestion of Waste Activated Sludge", J. of Environ. Eng. Division, ASCE, Vol. 105, No. EE2, April, 1979.
6. T.D. Renolds, "Aerobic Digestion of Thickened Waste Activated Sludge", Pro. of the 28th Industrial Waste Conference, Purdue Univ. Eng. Extension Series, No. 142, West Lafayette Ind., 1973.
7. J. Ganczarczyk, M.F. Hamoda, and Hong-Lit Wong, "Performance of Aerobic Digestion at Different Sludge Solid Levels and Operation Patterns", Water Research, Vol. 14, 1980, pp.627-633.
8. G. D'Antonio, "Aerobic Digestion of Thickened Activated Sludge", Water Research, Vol. 17, No. 11, 1983, pp.1525-1531.
9. D.S. Ghargava and V.T. Datar, "Progress and Kinetics of Aerobic Digestion of Secondary Sludges", Water Research, Vol. 22, No. 1, 1988, pp.37-47.
10. A.S. Eikum, D.A. Carlson and B. Paulsrud, "Aerobic Stabilization of Primary and Mixed Primary-Chemical(ALUM) Sludge", Water Research, Vol. 8, 1974, pp.927-935.
11. D. Antonie Koers, D.S. Mavinic "Aerobic Digestion of Waste Activated Sludge at Low Temperatures", Jr. of WPCF, March 1977, pp.460-468.
12. 박준홍, 호기성 소화과정 중 질소 및 인의 거동에 대한 수학적 모형에 관한 연구, 석사논문, 연세대학교 대학원, 1993.
13. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, the 17 ed., APHA-AWWA-WPCF, 1989.