

슬러지 순화조건과 접촉부하가 혐기상태에서 인과 유기물의 거동에 미치는 영향

박 동 근

동서공과대학교 환경공학과
(1994년 10월 12일 접수)

The Effect of Sludge Acclimation Conditions and Contact Load on Phosphorus and Organic Substrates Behavior Under Anaerobic Conditions

Dong-Keun Park

Dept. of Environmental Engineering, Dongseo University, Pusan, 616-010, Korea
(Manuscript received 12 October 1994)

Abstract

Batch experiments were performed to evaluate the effect of sludge acclimation and contact load on the behavior of phosphorus and organic substrates under anaerobic conditions. Four different sludges were acclimated in the sequencing batch reactors operated by intermittent aeration. All the experiments performed in a bench scale have shown the following results:

1. The unreleaseable phosphorus contents for four different sludges are the range of 16 mg P/g SS to 24 mg P/g SS, depending on the sludge acclimation conditions.
2. All the specific substrate uptake rates(SSUR) are expressed in the first order equation for releaseable phosphorus contents. The reaction rate coefficient, k , has the values of 4.0, 8.9, and 13.8 mg COD/mg P/hr, depending on the contact load and sludge species.
3. As reaction proceeds, the ratios of ΔP to $-\Delta COD$ at high contact load are almost constant in the range of 0.10 to 0.14, but at low contact load, they increase from 0.08 to 0.27.

Key Words : activated sludge, acclimation, batch experiment, anaerobic conditions, contact load, phosphorus release, substrate uptake

1. 서 론

Fuhs and Chen(1975)과 Nicholls and Osborn(1979) 등은 미생물을 이용하여 인을 제거하려는 우선적으로 활성슬러지에 혐기, 호기상태를 반복해야 한다는 점을 지적하였다. 또 그들은 공통적

으로 세포염색법을 이용하여 액상에서 과잉으로 제거된 인이 세포내에 폴리인산의 형태로 저장되어 있음을 밝혔다. 그후 생물학적 인제거에 관한 연구는 매우 다양하고 활발하게 진행되어 왔다.

Mino *et al.*(1984)은 세포내의 인의 형태와 거동에 대하여 고찰하였으며, Fukase *et al.*(1984)과

Table 1. Artificial feed composition for sludge acclimation(based on 10 l of tap water)

Polypeptone	2.75g	Average Conc.	
Meat extract	2.00g	CODcr	: 570mg/ℓ
Soluble starch	2.75g	BOD ₅	: 330mg/ℓ
1N-NH ₄ HCO ₃	10ml	TN	: 73mg/ℓ
0.5N-NaHCO ₃	50ml	PO ₄ ³⁻ -P	: 22mg/ℓ
Phosphate buffer soln	20ml	TP	: 25mg/ℓ
2.25%(w/v)MgSO ₄ ·7H ₂ O	10ml	ALK	: 240mg/ℓ
2.75%(w/v)CaCl ₂	10ml	pH	: 7.8
0.025%(w/v)FeCl ₃ ·6H ₂ O	10ml		

Satoh *et al.*(1994)은 생물학적 인제거법에서 혐기과정의 역할에 대하여 논하였다. 또 Marais *et al.*(1983), Tracy and Flammino(1987), 그리고 Comeau *et al.*(1987)은 혐기상태에서 인방출과 관련된 유기물의 행방과 변화에 대한 생화학적 모델을 제시하였다. 박(1989)은 혐기/호기 연속회분반응조(A/O SBR)의 다양한 운전조건에 따른 인 제거능력을 평가하고, 혐기상태에서 유기물과 인의 거동을 고찰하였다.

Barnard(1976), Siebritz *et al.*(1983), 그외 많은 연구자들은 실제 규모의 생물학적 인 제거 시설의 설치, 운영, 개량에 관한 연구를 활발하게 진행시켰다. 그 결과 Bardenpo 공법, Phoredox 공법, UCT(University of Cape Town) 공법, 수정 UCT 공법 등이 개발되었으며 이들을 중심으로 계속 새로운 공법의 개발과 함께 많은 실증적인 자료가 축적되었다.

이와 같은 기초적 연구와 실증적 연구에 힘입어 Somiya *et al.*(1988)과 Wentzel *et al.*(1990)은 생물학적 인 제거에 관한 모델을 제시하였다. 특히 Wentzel 등이 제시한 모델은 Grady *et al.*(1986)이 개발한 단일 슬러지에 의한 활성슬러지법에 대한 일반적 모델의 적용범위를 확장시킨 의미를 가지고 있다.

그러나 생물학적 인제거에 있어서 혐기상태의 중요성을 상기한다면 혐기상태에 있어서의 유기물과 인의 거동에 대한 보다 면밀한 고찰이 필요할 것으로 사료된다. 이러한 점에서 본 연구는 4종의 서로 다른 운전조건에 A/O SBR에서 순화한 활성슬러지를 이용하여 혐기상태에서 회분실험을 하

고, 이때 슬러지 순화조건과 접촉부하(Contact load, g COD/g MLSS ; 회분반응이 시작될 때 미생물이 받는 유기물 부하량)가 유기물과 인의 거동에 미치는 영향을 고찰하였다.

2. 실험방법

2.1. 슬러지의 순화

슬러지의 순화를 위한 실험장치는 Fig. 1과 같고, 이때 사용한 기질의 조성은 Table 1과 같다.

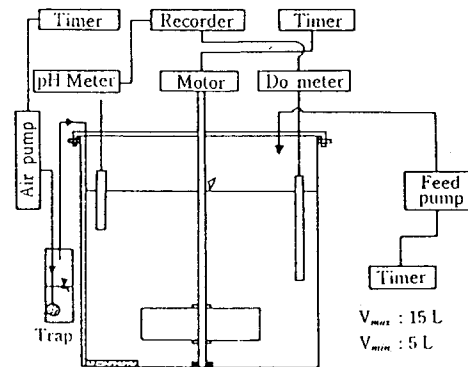


Fig. 1. Apparatus of sludge acclimation.

인산염 완충액은 BOD 시험시 회석용액으로 사용하는 것을 말한다. 조제한 기질의 C:N:P는 CODcr을 기준으로 100 : 12.8 : 4.39로 질소와 인이 과잉인 상태이다.

표준활성슬러지법으로 운전되고 있는 하수처리

장의 잉여슬러지와 4개의 혐기/호기 연속회분 반응기(A/O SBR)를 사용하여 각각 서로 다른 운전 조건을 Fig. 2와 같이 설정하여 약 6개월 이상 순화하였다. 운전조건은 주로 기질의 공급에 소요된 시간을 달리하여 반응조내의 농도구배 및 기아시간에 차이가 나도록 설정하였다. RUN A는 한 사이클에 필요한 10 l의 기질을 12시간에 걸쳐 연속적으로 주입하여 4개의 운전조건 중에서 농도구배가 가장 작도록 설정하였다. RUN B는 한 사이클에 필요한 10 l의 기질을 7시간에 걸쳐 1시간씩 3회에 나누어 주입하였다. RUN C는 한 사이클에 필요한 10 l의 기질을 3시간에 걸쳐 연속적으로 주입하였다. RUN D는 한 사이클에 필요한 10 l의 기질을 순간적으로 투입하여 본 운전조건 중에서 농도구배가 가장 크도록 설정하였다.

각 A/O SBR의 한 사이클이 종료되는 시점에서 MLSS가 3,200mg/l를 유지하여 F/M비가 0.12/day 정도가 되도록 각 운전조건별로 잉여 슬러지의 배출량을 조정하였다. 각각의 순화 조건에 대한 SRT는 이때 배출시킨 잉여슬러지 양을 기준으로 계산하였다. 또 한 사이클의 마지막 2시간은 침강 분리를 위하여 설정하였으며 농축 슬러지액 5 l를 남기고 나머지 상등액은 전량 배출하였다.

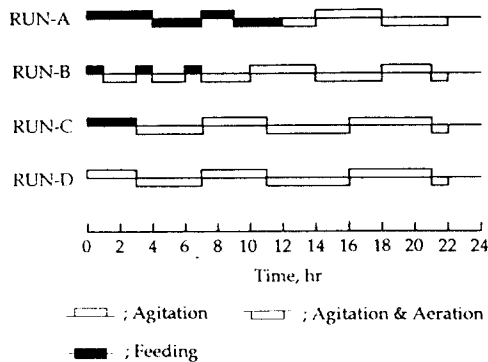


Fig. 2. Operating schemes of sludge acclimation.

2.2. 혐기상태에서의 회분실험

혐기상태에서 인 방출과 유기물 섭취에 관한 자료를 얻기 위하여 Fig. 3과 같은 장치를 사용하였

다. 반응용기는 자기교반기 위에 설치하고 장시간의 자기교반으로 인한 반응액의 온도상승을 방지하기 위하여 자기교반기와 반응용기 사이에 단열재를 깔았다.

회분실험은 A/O SBR에서 6개월 이상 배양하여 정상상태에 도달한 것으로 A/O SBR의 한 사이클 종료시에 폐기하는 잉여슬러지를 세척하여 사용하였다.

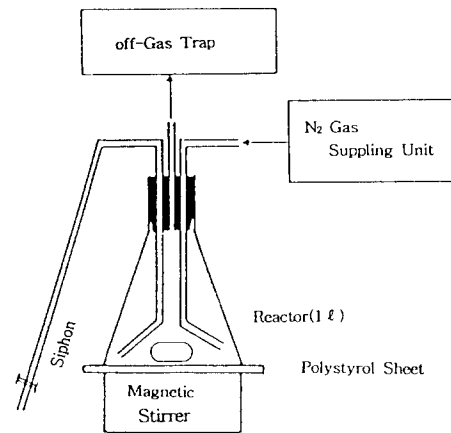


Fig. 3. Apparatus of anaerobic batch experiments.

각종 회분실험의 초기조건을 Table 2에 나타내었다. 슬러지 A, B, C, D는 각각 슬러지 순화시의 RUN A, B, C, D에서 배양한 것이다. 슬러지내의 인 함유량(TPs; total phosphorus in sludge)은 A, B, C, D 순으로 각각 31.4 mg/g SS, 36.1 mg/g SS, 60.5 mg/g SS, 63.2 mg/g SS였다. 슬러지내의 저장 탄수화물(CHs; carbohydrate in sludge)은 A, B, C, D 순으로 각각 70 mg/g SS, 72 mg/g SS, 80 mg/g SS, 89 mg/g SS였다.

회분실험의 RUN A-1, B-1, C-1, D-1의 접촉부하는 0.38~0.46 g COD/g MLSS로 접촉부하가 0.14~0.16 g COD/g MLSS인 RUN A-2, B-2, C-2, D-2에 비하여 약 3배 정도 높게 설정하였다. 또 사용한 기질중의 유기물은 용해성 전분, 펩톤, 그리고 육즙으로 구성되어 있어 대부분이 고분자성 유기물이다.

Table 2. Initial conditions of anaerobic batch experiments

Sludge	RUN NO	Solid phase (mg/gSS)			Liquid phase(mg/ℓ)			
		TPs	CHs	COD	CH	TP	PO ₄ ³⁻ -P	MLSS
A	A-1	31.4	70	421	173	2.90	0.65	907
	A-2	31.4	70	148	64.9	0.88	0.36	907
B	B-1	36.1	72	413	183	3.03	0.78	967
	B-2	36.1	72	156	72.8	1.04	0.50	967
C	C-1	60.5	80	385	177	2.56	0.29	958
	C-2	60.5	80	135	66.8	0.64	0.15	958
D	D-1	63.2	89	394	160	3.20	0.94	1046
	D-2	63.2	89	145	66.8	0.86	0.35	1046

TPs : Total phosphorus in sludge
CHs : Carbohydrates in sludge

TP : Total phosphorus in liquid
CH : Carbohydrates in liquid

2.3. 분석항목 및 방법

슬러지내의 저장탄수화물은 Brown and Lester (1980)에 의한 세포분획 방법과 田井(1964)에 의한 Anthrone 법으로 정량하였다. CODcr 및 인산성 인은 각각 AUTOANALYZER II(TECHNICON Co.)와 IONCHROMATO. 2000i(DIONEX Co.)를 사용하였으며, 그외의 분석항목은 일본하수도협회(1984)의 하수시험방법에 따랐다.

속도 또는 형식에 따라 슬러지내의 인 함유량과 탄수화물 함유량이 서로 다르고 슬러지의 침강성도 서로 다른 슬러지가 얻어졌다.

12시간에 걸쳐 기질을 공급하면서 순화시킨 슬러지 A의 인과 탄수화물 함유량은 정상상태의 평균치로서 각각 34.7mg/g SS와 70mg/g SS로 4종의 슬러지중에서 가장 낮았으며, SVI는 89로 가장 높은 결과를 보였다. 반면 기질을 순간적으로 공급하면서 순화시킨 슬러지 D의 인과 탄수화물 함유량은 정상상태의 평균치로서 각각 65.8mg/g SS와 89mg/g SS로 4종의 슬러지중에서 가장 높았으며, SVI는 48로 가장 낮은 결과를 보였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 슬러지 순화

슬러지 순화를 위하여 6 개월 이상 A/O SBR을 운전하여 정상상태에 도달한 후의 1개월간의 운전 결과 평균치를 Table 3에 나타내었다. 기질공급

각 운전조건별 부유 미생물의 농도를 3,200mg/ℓ로 일정하게 유지시킨 결과, 기질의 종류와 부하량이 같음에도 불구하고 각 운전조건별 걸보기 수율계수(Yobs.)에 차이가 생겨 슬러지 평균체류 시간(SRT)도 달랐다. 기질공급속도가 가장 느린 슬러지 A의 Yobs는 0.38로 가장 낮은 결과를 보

Table 3. The result of sludge acclimation

Sludge	Substrate Feed Time (hr)	SRT (days)	Observed Yield (gSS/gCOD)	SVI (ml/g)	Removal efficiency(%)		
					COD	TN	TP
A	¹² (continuous)	25	0.38	89	96.4	82.5	29.4
B	⁷ (intermittent)	21	0.43	65	96.5	84.6	42.6
C	³ (continuous)	17	0.56	50	96.5	80.0	78.9
D	Flash feeding	15	0.61	48	96.4	78.8	85.0

여 SRT는 25일로 계산되어 가장 길었다. 기질공급속도가 가장 빠른 슬러지 D의 Y_{obs} 는 0.61로 가장 높은 결과를 보여 SRT는 15일로 계산되어 가장 짧았다.

이러한 결과는, 폭기조에 유기물의 명확한 농도 구배와 충분한 기아시간을 주게 되면 기질 저장능력이 크고 침강성이 양호한 플록형성 미생물이 우점한다는 安田(1981)의 고찰과 일치함을 보여 주었다. 본 연구에서 농도구배와 기아시간은 기질의 공급에 소요되는 시간으로 조정할 수 있었다.

3-2. 유기물 섭취와 인 방출

혐기상태에서 회분실험한 결과를 Fig. 4~7에 나타내었다. 혐기상태에서 인 방출과 유기물 섭취는 실험에 사용한 미생물의 종류와 접촉부하(Contact load, g COD/g MLSS ; 회분반응이 시작될 때 미생물이 받는 유기물 부하량)에 따라 뚜렷한 차이를 보였다.

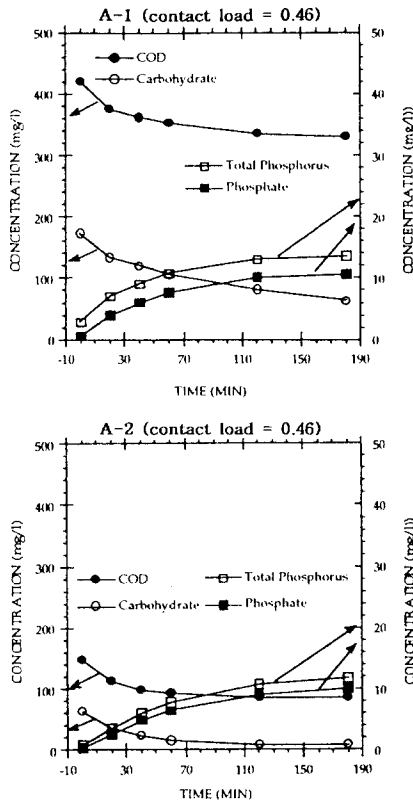


Fig. 4. The results of sludge A.

기질공급에 소요된 시간이 3시간 이하의 조건에서 순화된 슬러지 C나 D를 사용한 실험(Fig. 6과 7)에서 방출된 인의 양은 초기 슬러지 단위 중량당 26mg/g SS~34mg/g SS의 범위였으며, 이때 COD의 감소량은 99mg/g SS~224mg/g SS의 범위였다. 그러나 기질공급에 소요된 시간이 7시간 이상인 조건에서 순화된 슬러지 A나 B를 사용한 실험(Fig. 4와 5)에서 방출된 인의 양은 초기 슬러지 단위 중량당 11mg/g SS~13mg/g SS의 범위로 슬러지 C나 D에 비하여 절반에도 미치지 못하였으며, 이때 COD의 감소량도 67mg/g SS~128 mg/g SS의 범위로 슬러지 C나 D에 비하여 절반을 약간 상회하는 정도에 그쳤다.

Fig. 4의 A-1과 A-2에서 접촉부하는 각각 0.46 g COD/g MLSS와 0.16 g COD/g MLSS였다. 따라서 같은 조건에서 순화된 슬러지라 하더라도 접촉부하가 큰 경우가 인 방출량과 유기물 제거량이 많음을 볼 수 있다. Fig. 5, 6, 7에서도 같은 경향을 볼 수 있다.

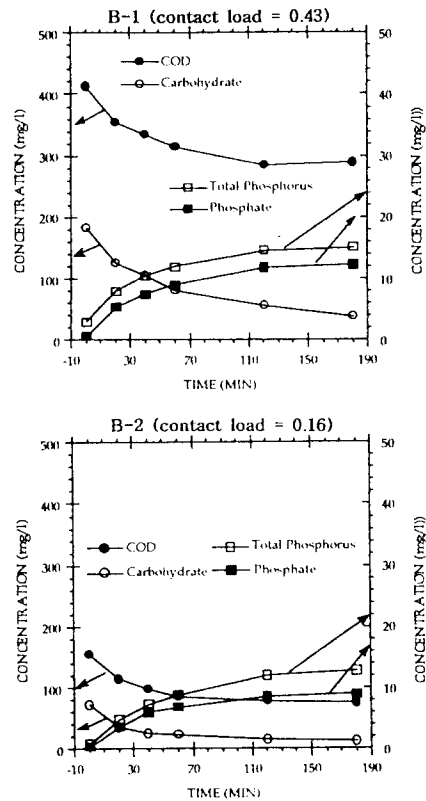


Fig. 5. The results of sludge B.

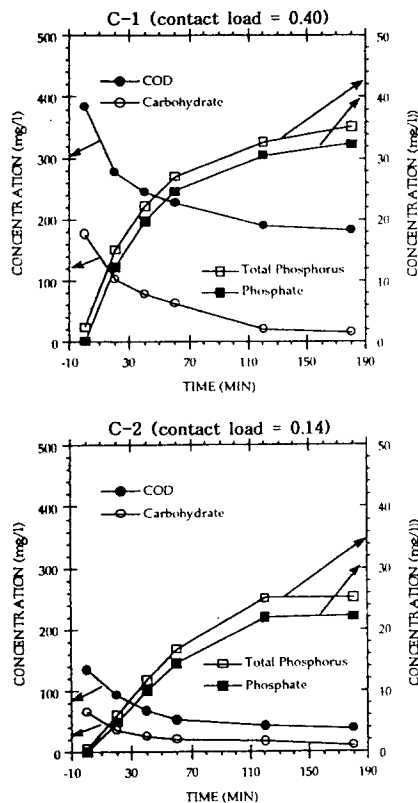


Fig. 6. The results of sludge C.

위의 두가지 결과로부터 혐기상태에서 인 방출과 기질 섭취속도는, 비록 같은 조건에서 순화된 슬러지라 하더라도, 슬러지 내의 인 함유량과 액상 유기물의 농도에 의존함을 알 수 있었다.

한편 모든 실험에서 방출되는 인의 대부분은 인산성 인의 형태로 존재하였다. 또 실험 초기의 총 COD 중 탄수화물이 차지하는 비율이 40~49 % 정도였으나 회분반응이 진행되는 동안 탄수화물의 감소가 현저하였다. 그결과 회분반응이 종료되는 시점의 총 COD 중 탄수화물이 차지하는 비율은 10% 정도로 감소하였다. 이러한 결과로부터 유기물의 섭취속도나 양은 유기물의 종류에 따라 달라짐을 알 수 있었다.

Somiya *et al.*(1988)은 혐기상태에서 단위 미생물당 유기물 제거속도를 유기물의 종류별로 구조화하여 인 함유량과 유기물 농도로 모델화하였다.

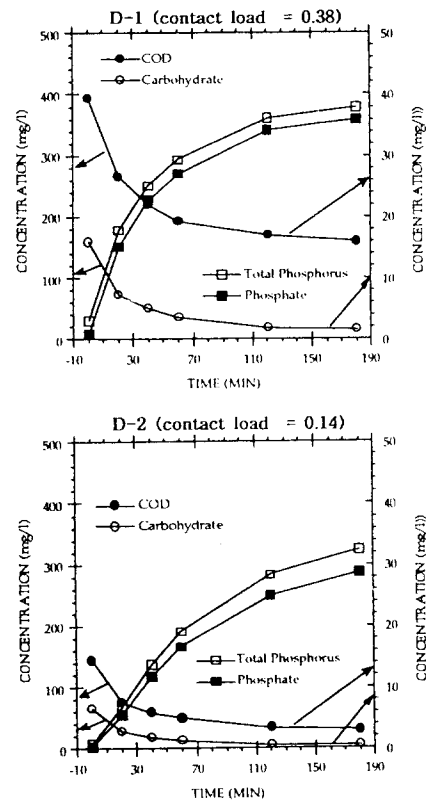


Fig. 7. The results of sludge D.

즉 단위 미생물당 유기물 제거속도는 인 함유량에 대하여 일차적이며, 또 유기물이 일정 농도 이상 존재할 때는 유기물 농도에 대하여 무관하고 그 이하일 때만 유기물 농도에 대해서도 일차적인 관계를 하고 있는 것으로 표현하였다.

Fig. 4~7의 모든 회분실험 결과로부터 단위 미생물당 유기물 제거속도(SSUR, mg COD/g SS/hr ; Specific substrate utilization rate)와 슬러지내의 인 함유량(TPs, mg P/g SS)과의 관계를 Fig. 8에 나타내었다. SSUR은 회분반응 초기의 MLSS 농도, 회분반응의 경과시간, 그리고 그 기간 동안의 COD 감소량으로 계산하였다. TPs는 회분반응 초기의 인 함유량으로 부터 회분반응의 경과시간 동안에 방출된 인의 양을 측정하여 계산하였다.

유기물 비제거속도는 접촉부하나 슬러지의 종류

에 관계없이 인 함유량에 대하여 일차적인 관계를 보였으나 그 기울기나 절편은 다르게 나타났다. 접촉부하가 0.38~0.46 g COD/g MLSS인 조건에서 실험한 A-1(○), B-1(◇), C-1(+), D-1(●)의 기울기는 슬러지의 순화조건에 관계없이 거의 같은 값으로 나타났으나, 접촉부하가 0.14~0.16g COD/g MLSS인 조건에서 실험한 A-2(□), B-2(×), C-2(△), D-2(■)의 기울기는 기질공급에 소요되는 시간이 긴 조건에서 순화된 슬러지를 사용한 A-2(□)와 B-2(×)에서 더 큰 값을 보였다.

한편 절편은 실험에 사용한 슬러지의 종류에 따라 각기 다른 값으로 나타났으나, 동일한 슬러지에 대한 절편은 접촉부하에 관계없이 거의 일정한 값을 보였다. 슬러지 A, B, C, D에 대한 절편은 각각 16mg P/g SS, 20mg P/g SS, 22mg P/g SS, 24mg P/g SS으로 나타났다. 따라서 슬러지를 순화시킬 때 기질공급에 소요되는 시간을 짧게하여 순화시킨 슬러지일수록 큰 값을 보였다.

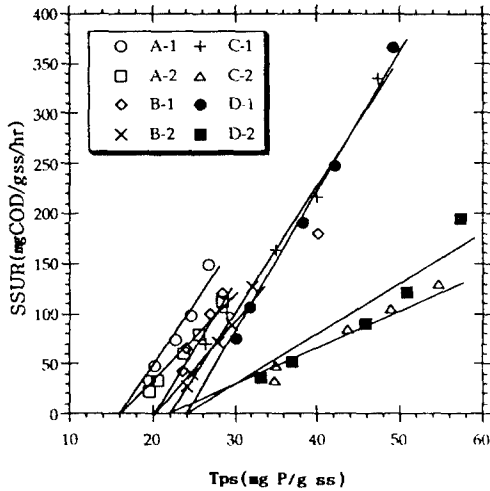


Fig. 8. The relationship between SSUR and TPs.

이 절편은 액상에 유기물이 충분해도 유기물이 제거되지 못하는 상태의 인 함유량이다. Somiya *et al.*(1988)에 의하면 혐기상태에서 인방출은 액상의 유기물 섭취와 세포내의 축적 유기물을 PHB(Poly-β-hydroxybutyrate)와 같은 저장물질로 환원시키는 반응에 의하여 일어나는 것으로 알려

져 있다. 따라서 액상에 충분한 유기물이 존재하여도 유기물이 제거되지 않는 현상은 두가지로 추측할 수 있다.

하나의 슬러지내의 인중에서 방출될 수없는 최소한의 한계치에 도달했을 가능성이 있다. Fukase *et al.*(1984)에 의하면 이와 같이 혐기상태에서 방출되지 못하는 인에는 고분자성 폴리인산, 금속결합성인, 그리고 핵산과 같은 생체구성의 기본 물질에 함유되어 있는 인이 있다고 밝혔다.

또 하나의 가능성은 혐기상태에서 회분반응이 진행됨에 따라 액상의 기질이 세포내에 전달되어 포화상태에 도달하였기 때문에 더 이상의 유기물이 제거되지 않았을 수 있다. 그렇다면 액상 유기물의 섭취는 중단되더라도 인은 계속 방출되어 액상의 인 농도는 계속적으로 증가해야 할 것이다. 그러나 Fig. 4~7의 A-1, B-1, C-1, D-1에서 보는 바와 같이 회분반응이 120분 이상 경과한 후의 인 증가경향이 급격히 둔화되는 경향을 볼 수 있다.

따라서 액상에 유기물이 충분히 존재함에도 불구하고 유기물의 섭취가 중단된 것은 슬러지내의 인중에서 방출가능한 인은 대부분 방출되고 방출될 수없는 최소한의 한계치의 인만 남아 있다고 추정할 수 있다.

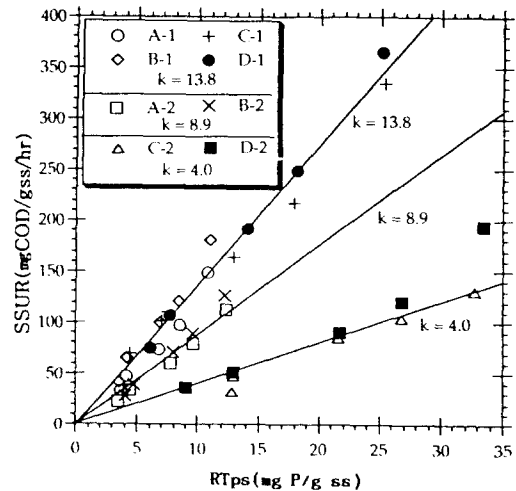


Fig. 9. The relationship between SSUR and RTPs.

Fig. 9는 유기물 비제거속도와 슬러지내의 총 인중 방출될 수 없는 인을 제외한 인 함유량 즉 방출가능한 인 함유량(RTPs ; Releaseable total phosphorus in sludge)과의 관계를 나타낸 것이다. 이 그림으로 부터 유기물 비제거속도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SSUR = k \times RTPs$$

여기서, SSUR : 유기물 비제거속도,
mg COD/g SS/hr

k : 총괄 유기물 비제거속도계수,
mg COD/mg P/hr

RTPs : 슬러지내의 방출 가능한 인 함유량,
mg P/g SS

혐기상태에서 액상의 유기물이 단위 미생물당 제거되는 속도는 액상의 유기물농도, 유기물의 종류, 슬러지내의 축적유기물과 방출가능한 인 함유량 등에 관계하겠으나, 위의 식은 방출가능한 인 함유량 외의 모든 인자를 총괄 유기물 비제거속도 계수에 포함시켜 나타낸 것이다.

접촉부하가 0.38~0.46 g COD/g MLSS인 조건에서 실험한 A-1(○), B-1(◇), C-1(+), D-1(●)의 총괄 유기물 비제거속도계수(k)는 슬러지의 순화조건에 관계없이 일정하여 13.8mg COD/mg P/hr였다.

이때는 Fig. 4~7에서 보는 바와 같이 반응시간이 어느정도 경과해도 액상에 유기물이 충분히 남아 있는 상태였다. 이러한 상태에서 *Somiya et al.*(1988)에 따르면 유기물 비제거속도는 방출가능한 인 함유량에만 영향을 받는다고 하였다. 따라서 회분실험에 사용한 슬러지의 순화조건에 관계없이 k 값이 일정하였다고 생각된다.

접촉부하가 0.14~0.16g COD/g MLSS인 조건에서 실험한 A-2(□), B-2(×), C-2(△), D-2(■)에서, 기질공급에 소요된 시간을 7시간 이상으로 길게하여 유기물 농도구배가 낮은 조건에서 순화한 슬러지 A와 B에 대한 총괄 유기물 제거속도계수는 8.9mg COD/mg P/hr였고, 기질공급에 소요된 시간을 3시간 이하로 짧게하여 유기물 농도구배가

큰 조건에서 순화한 슬러지 C와 D에 대한 총괄 유기물 제거속도계수는 4.0mg COD/mg P/hr였다.

회분실험 C-2, D-2는 회분실험 A-2, B-2에 비하여 반응시간이 경과하면서 슬러지내에 더 많은 유기물을 축적할 수 있기 때문에 액상의 유기물은 더 많이 고갈된다. 이러한 상태에서 비유기물 섭취속도는 방출가능한 인 함유량과 액상 유기물 농도에 복합적으로 영향을 받는다. 따라서 인 함유량이 같은 순간의 액상 유기물 농도는 회분실험 C-2와 D-2가 회분실험 A-2와 B-2 보다 낮기 때문에 회분실험 C-2와 D-2의 유기물 비제거속도계수가 작은 결과를 보였던 것으로 생각된다.

결과적으로 총괄 유기물 제거속도계수는 액상에 유기물이 충분할 때는 방출가능한 인 함유량에 지배되지만, 액상의 유기물이 제한되면 액상 유기물 농도에 더 많이 지배된다고 볼 수 있다.

Fig. 10은 반응시간에 따른 액상으로부터 제거된 COD에 대한 액상으로 방출된 인의 비($\Delta P / \Delta COD$)를 접촉부하가 높을 때(0.38~0.46g COD/g MLSS)와 낮을 때(0.14~0.16g COD/g MLSS)를 구분하여 나타내었다.

접촉부하가 높은 조건에서 $\Delta P / \Delta COD$ 는 반응시간이 경과하면서 약간 증가하는 경향을 볼 수 있으나 그 차이는 매우 적었다. 기질공급에 소요된 시간을 7시간 이상으로 길게하여 유기물 농도구배가 낮은 상태에서 순화한 슬러지 A와 B에서 $\Delta P / \Delta COD$ 는 0.10 정도였고, 기질공급에 소요된 시간을 3시간 이하로 짧게하여 유기물 농도구배가 큰 상태에서 순화한 슬러지 C와 D에서 $\Delta P / \Delta COD$ 는 0.14정도였다.

슬러지 C, D의 $\Delta P / \Delta COD$ 가 슬러지 A, B 보다 크다는 것은, 슬러지 C, D는 슬러지 A, B에 비하여 인방출에 관계없이 제거되는 유기물이 적거나, 유기물제거와 관계없이 방출되는 인이 많음을 의미한다. 또 이 값이 반응시간에 대하여 일정하다는 것은 인방출에 따라 얻어진 에너지의 일정비율이 액상 유기물의 섭취에 사용되고 있음을 말해 주고 있다.

Fukase et al.(1984)과 *Satoh et al.*(1994)은 혐기-호기법으로 운전하여도 인제거가 잘되지 않는 슬러지가 형성되는 사례를 발표하고 이러한 슬러

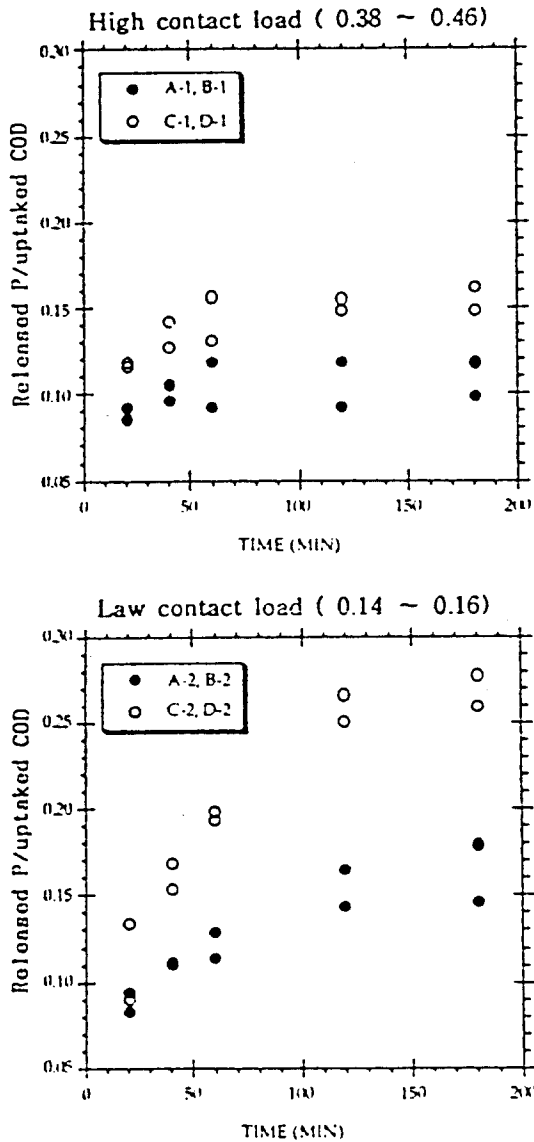


Fig. 10. The Change in the ratio of released P to uptaked COD with reaction time.

지는 혐기상태에서 현저한 인방출 없이 유기물만 섭취한다고 하였다. 따라서 혐기상태에서 $\Delta P/\Delta COD$ 는 슬러지의 순화 조건에 따라 달라질 수 있음을 예상할 수 있고, 인방출에 관계없이 제거되는 유기물은 이러한 미생물의 점유율에 의존함을 알 수 있다. 그러므로 생물학적 인제거를 성공적으로 이루려면 $\Delta P/\Delta COD$ 가 큰 슬러지가 생성

되는 조건을 찾아야 한다. 본 연구에서는 A/O SBR의 기질공급에 소요되는 시간을 짧게 하여 운전하면 인제거능력이 우수한 슬러지가 얻어진다는 것을 확인하였다.

접촉부하가 낮은 조건에서 $\Delta P/\Delta COD$ 는 슬러지의 종류에 따라 정도의 차이는 있으나 회복반응의 경과시간과 함께 증가하는 경향을 보였다. 슬러지 A와 B에서 $\Delta P/\Delta COD$ 는 0.08~0.17로 증가하였으며, 슬러지 C와 D에서 $\Delta P/\Delta COD$ 는 0.1~0.27로 증가하였다.

회분반응 시간의 경과에 따라 이 값이 증가한다는 것은 인방출과 관계없이 제거되는 유기물이 반응시간의 경과와 함께 감소하거나, 아니면 액상의 유기물 제거와 관계없이 방출되는 인이 반응시간의 경과와 함께 증가하는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 인방출과 관계없이 제거되는 유기물의 비율은 주어진 슬러지의 종류에 따라 일정하기 때문에 접촉부하가 낮을 때는 주로 후자에 의한 요인으로 $\Delta P/\Delta COD$ 가 증가한 것으로 생각된다. 따라서 이때 회복반응시간의 경과와 함께 $\Delta P/\Delta COD$ 가 증가한 것은 액상 유기물의 제거와 관계없이 방출되는 인으로 설명할 수 있다. 즉 Somiya *et al.*(1988)의 모델에서 표현한 바와 같이 혐기상태에서 인은 액상유기물의 섭취와 슬러지내의 축적유기물의 저장반응과 관련하여 방출된다. 그래서 접촉부하가 높을 때는 축적유기물이 많이 함유된 슬러지 C,D가 축적유기물이 적은 슬러지 A,B보다 $\Delta P/\Delta COD$ 가 더 크고, 접촉부하가 낮을 때는 반응시간의 경과와 더불어 축적유기물을 많이 함유하고 있는 슬러지 C,D가 축적유기물이 적은 슬러지 A,B보다 $\Delta P/\Delta COD$ 의 증가폭이 큰 결과를 보였던 것이다.

결과적으로 액상유기물이 풍부할 때는 방출된 인으로부터 생산된 에너지는 그 대부분이 액상유기물의 섭취에 사용되었기 때문에 $\Delta P/\Delta COD$ 의 반응시간에 대한 변화가 적었고, 액상유기물이 제한되어 있을 때는 방출된 인으로부터 생산된 에너지가 반응시간의 경과에 따라 축적유기물을 저장하는데 사용하는 비율이 증가하였기 때문에 $\Delta P/\Delta COD$ 도 시간에 따라 증가하였던 것이다.

4. 결 론

슬러지 순화조건과 접촉부하가 혐기상태에서 인과 유기물의 거동에 미치는 영향에 관한 정보를 얻기 위하여, 4종의 운전조건으로 A/O SBR을 장기간 운전하고, 여기서 발생한 잉여슬러지로 회분 실험을 하여 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. A/O SBR에서 기질공급에 소요된 시간을 짧게하여 순화한 슬러지 일수록 슬러지내의 인과 탄수화물의 함유량이 많고, 혐기상태에서 인방출과 유기물의 섭취가 활발하였다.

2. 슬러지 A, B, C, D에 대하여 방출불가능한 인은 각각 16mg P/g SS, 20mg P/g SS, 22mg P/g SS, 24mg P/g SS으로 나타나 기질공급에 소요된 시간이 짧은 조건에서 순화된 슬러지일수록 큰 값을 보였다.

3. 혐기상태에서 유기물 비제거속도는 슬러지의 종류나 접촉부하에 관계없이 인 함유량에 대하여, $SSUR = K \cdot RTP_s$ 로 나타낼 수 있었다. 총괄 유기물 제거속도계수(k)는 슬러지의 순화 조건과 접촉부하에 따라 13.8mg COD/mg P/hr ~ 4.0 mg COD/mg P/hr였다.

4. 혐기상태에서 유기물 제거량당 인방출량의 비, $\Delta P / -\Delta COD$ 는 슬러지의 종류와 접촉부하에 따라 일정하지 않고, 특히 접촉부하가 낮을 때는 회분반응시간과 순화 조건에 따라 현저한 차이를 보였다. 슬러지 A와 B에서 $\Delta P / -\Delta COD$ 는 0.08 ~ 0.17 로 증가하였으며, 슬러지 C와 D에서 $\Delta P / -\Delta COD$ 는 0.1 ~ 0.27 로 증가하였다.

참 고 문 헌

朴東根, 1989, 혐기·호기 회분식 활성슬러지법에 관한 기초적연구, 일본 경도대학 박사학위논문(일본).
 社團法人 日本下水道協會, 1984, 하수시험방법(일본).
 安田正志, 能登勇二, 1981, Sphaerotilus sp.를 원인으로 하는 사상성 벌킹과 기아시간비의

영향, 하수도협회지, 18, 208, 41-49(일본).
 山井愼吾, 1964, 하수중의 탄수화물의 정량법, 용수와폐수, 6, 370-374(일본).
 Barnard, J.L., 1976, A review of biological phosphorus removal in the activated sludge process, Water S.A., 2, 136-144.
 Brown, M.J. and J.N. Lester, 1980, Comparison of bacterial extracellular polymer extraction methods, Appl. Environ. Microbiology, 40, 179-185.
 Comeau, Y, W. Odham and J. Hall, 1987, Dynamics of carbon reserves in biological dephosphatation of wastewater, Biological phosphorus removal from wastewater, Pergamon press, London, 39-55.
 Fukase, T., M. Shibata and Y. Miyaji, 1984, The role of the anaerobic stage on biological phosphorus removal, Wat. Sci. Tech., 17, 69-80.
 Fuhs, G.W. and M. Chen, 1975, Microbiological basis of phosphate removal in the activated sludge process for the treatment of wastewater, Microbial Ecol., 2, 119-138.
 Grady, C.P.L., Jr.W. Gujer, M. Henze, G.v.R. Marais and T. Matsuo, 1986, A model for single-sludge wastewater treatment systems, Wat. Sci. Tech., 18, 47-61.
 Marais, G.v.R., R.E. Roewenthal and I.P. Siebritz, 1983, Review : Observations supporting phosphate removal by biological excess uptake, Wat. Sci. Tech., 15, 15-41.
 Mino, T., T. Kawakami and T. Matsuo, 1984, Location of phosphorus in activated sludge and function of intracellular polyphosphates in biological phosphorus removal process, Wat. Sci. Tech., 17, 93-106.
 Nicholls, H.A. and D.W. Osborn, 1979, Bacterial stress : Prerequisite for biological removal

- of phosphorus, J. WPCF, 51, 557-569.
- Satoh, H., T. Mino and T. Matsuo, 1994, Deterioration of enhanced biological phosphorus removal by the domination of micro-organisms without polyphosphate accumulation, Water quality international '94, IAWQ 17th conf., book 1, 137-145.
- Siebritz, I.P., G.A. Ekama and G.v.R. Marais, 1983, A parametric model for biological excess phosphorus removal, Wat. Sci. Tech., 15, 127-152.
- Somiya, I, H. Tsuno and M. Matsumoto, 1988, Phosphorus release-storage reaction and organic substrate behavior in biological phosphorus removal, Wat. Res., 22, 49-58.
- Tracy, K.D and A. Flammino, 1987, Biochemistry and energetics of biological phosphorus removal, Biological phosphorus removal from wastewater, Pergamon press, London, 15-26.
- Wentzel, M.C., G.A. Ekama and G.v.R. Marais, 1990, Kinetics of nitrification denitrification biological excess phosphorus removal systems-a review, Water quality international '90, IAWPRC 15th conf., Part 2, 555-565.