

UASB 공정에서 불활성화된 입상미생물의 활성변화

이현모 · 양병수

부산수산대학교 환경공학과

Variation of Activation of Inactivated Granular Microorganisms in the UASB Process

Heon-Mo LEE and Byung-Soo YANG

Department of Environmental Engineering National Fisheries University of Pusan,
Pusan 608-737, Korea

The recovery possibility of granular sludge inactivated due to high organic loading at start-up stage of UASB reactors was examined at various storage periods while kept at a constant temperature of 35°C. It was noticed that the inactivated sludge kept without feeding recovered microbial activity much faster than that kept with continuous feeding.

The activity of the sludge gradually recovered to the point where the organic removal rate of 0.15g of 0.15g COD/g VSS-day at the inactivated stage had changed to 0.36g COD/g VSS-day after 60 days of storage without feeding, which was similar to the active granular sludge activity of 0.38g COD/g VSS-day. There was no significant difference in the characteristics of activity recovery between granular sludge and smashed sludge.

서 론

1970년 말 네덜란드에서 개발된 UASB(upflow anaerobic sludge blanket)공법은 부착 매디아의 투여 없이도 기체-액체-고체 분리 문제점을 해결할 수 있었고, 미생물 자체의 높은 침전성으로 인하여 반응조내 고농도의 미생물을 유지시킬 수 있는 공법으로 알려져 있다(Lettinga *et al.*, 1980a). UASB 공법은 넓은 범위의 온도 조건하에서 여러 가지 다양한 유기물 농도를 갖는 여러 종류의 유기성 폐수에 적용되어지는 비교적 효율이 높은 혐기성 공정으로 보고되고 있다(Lettinga *et al.*, 1980b, 1983, 1984, 1985; Wang *et al.*, 1985). UASB 공정의 이용으로 혐기성 처리는 저농도 및 고농도의 여러가지 형태의 폐수 및 일부 불용성 폐수까지 처리할 수 있다는 가능성이 대규모의 처리장 뿐만 아니라 소형 및 대형 Pilot plant UASB 반응조 연구에서 입증되고 있음은 물론 최근 매우 만족스러

운 처리 결과가 보고되는 등 UASB 공법은 효율적인 혐기성 처리공법으로 평가되고 있다. UASB 공법에서 성공적인 운영을 위하여 가장 중요한 것은 빠른 시간내에 반응조 하부에 활성이 크고 침전성이 우수한 입상미생물을 형성시키는 일이다. 그러나 UASB 반응조에서 입상미생물이 형성되기까지의 초기운전이 다소 까다롭고 소요시간이 다소 길다는 단점이 있는 것으로 알려져 있지만 일단 형성된 입상미생물은 대단히 안정하며 높은 유기물 부하에서도 양호한 처리효율을 갖는 것으로 보고되고 있다(Lettinga *et al.*, 1983). 또한 입상미생물은 새로운 UASB 반응조의 식종물질로서 가장 적합하며 처리대상폐수의 성상과 농도가 다른 경우에도 식종물질로서 이용이 가능하기 때문에 대단히 유용한 것으로 알려져 있다. 입상미생물의 가장 두드러진 특징은 기질을 공급하지 않는 상태에서도 입상미생물의 활성이 장기간 변하지 않는 것으로 보고되고 있다(Wu, 1985, Shin, 1992). 이와 같

이 입상미생물들은 기질주입없이 장기간 보관하여도 활성을 유지할 수 있으며 이에 관한 연구에 대해서는 몇몇 보고되고 있으나 활성의 저하가 일어난 입상미생물을 보관함으로써 활성의 회복이 가능한지 또는 보관기간에 따른 입상미생물의 회복 정도를 평가하는 것이 산업현장 적용을 위해 필요하다 고 생각되나 이에 대한 연구는 미흡한 상태에 있다.

따라서 본 연구에서는 설탕 및 탈지분유 합성폐수에서 활성의 저하가 일어난 입상미생물에 대하여 기질을 주입하지 않은 상태에서 보관하면서 보관기간에 따른 입상미생물의 활성 회복가능성 및 회복기간을 평가하였다.

실험장치 및 방법

1. 입상미생물

본 연구의 대상으로 사용된 불활성 입상미생물은 설탕 및 탈지분유 합성폐수를 기질로 하여 110 일 동안 운전한 결과 유기물제거 효율이 40% 이하로 비교적 낮은 제거효율을 유지된 3개 UASB 반응조 하부에서 각각 채취하였으며 이를 혼합하여 활성변화를 평가하였다. 비교실험으로 운전기간동안 85% 이상의 높은 처리효율을 이룬 반응조하부에서 입상 미생물을 채취하여 활성을 비교하였다.

입상미생물이 배양된 반응조의 주요특성은 Table 1과 같으며 이때 운전된 운전형태는 Table 2와 같다.

Fig. 1은 실험실 규모의 UASB반응조 운전동안 운전초기 유출수를 반송시킨 반응조와 반송을 시키지 않은 반응조의 비교실험에서 운전기간에 따른 각 반응조의 유기물 제거효율을 나타낸 것으로 유출수를 반송시킨 R-4 반응조의 경우 유기물 제거효율이 평균 85.0% 이상인 반면 운전초기부터 유출수를 반송시키지 않은 R-1, R-2 및 R-3 반응조의 경우 유기물 제거효율에 있어 다소 차이는 있으나 전 운전기간 동안 45% 이하를 유지하였다. 운전종료후 유출수 무반송에 의해서 활성의 저하가 일어난 입상미생물을 R-1, R-2 및 R-3 반응조 하부에서 각각 채취 혼합하여 일부는 입상미생물 상태로, 일부는 혐기성 상태에서 입상미생물을 완전히 파쇄

Table 1. Specification of reactors used for cultivating granular sludge

Reactor No	Reactor height (m)	Reactor diameter (cm)	Effective volume (L)
R-1	1.60	6.4	4.8
R-2	0.85	6.4	2.4
R-3	0.60	6.4	1.6
R-4	0.60	6.4	1.6

Table 2. Operation mode of each reactor used for cultivating granular sludge

Operating time (days)	Stage	Reactor	Upflow velocity (m/hr)	Influent concentration (mg/l)	HRT (hr)	Organic loading rate (g COD/day)	Effluent recirculation
0~30	I	R-1	0.15	3,000	10	34.56	without
		R-2	0.07	6,000	10	34.56	without
		R-3	0.05	9,000	10	34.56	without
31~56	II	R-1	0.15	1,500	10	17.28	without
		R-2	0.07	3,000	10	17.28	without
		R-3	0.05	4,500	10	17.28	without
57~83	III	R-1	0.15	1,500	10	17.28	without
		R-2	0.07	1,500	10	8.64	without
		R-3	0.05	1,500	10	5.76	without
84~100	IV	R-1	2.00	1,500	10	17.28	with
		R-2	0.07	1,500	10	8.64	without
		R-3	2.00	1,500	10	5.76	with
0~30		R-4	2.00	9,000	10	34.56	with

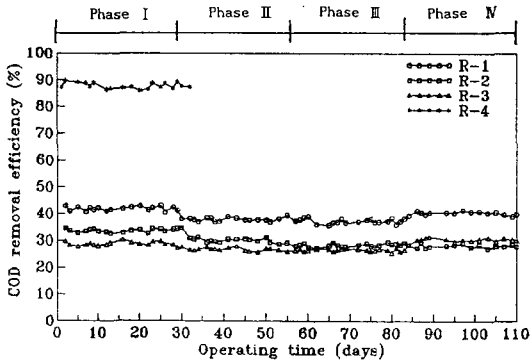


Fig. 1. COD removal efficiencies in four UASB reactors used for cultivating granular sludge.

시켜 활성변화를 평가하였다. 비교 실험으로 사용된 미생물은 운전기간동안 연속 유출수를 반송시켜 유기물 제거효율이 85% 이상으로 유지된 R-4 반응조 하부에서 불활성화가 일어나지 않은 입상미생물을 채취하여 파쇄시킨 것과 입상미생물 그대로를 각각 사용하였다. 4종류의 미생물을 각각 4개의 유리병에 넣어 35℃로 유지되는 항온실에서 기질 주입없이 보관하였으며 일정기간 보관후 정량의 입상미생물 및 파쇄 미생물을 유리병에서 채취하여 15일 동안 배양시키면서 각 미생물의 활성도 변화를 비교 평가하였다. 미생물 보관기간은 0일, 15일, 30일, 45일, 60일로 하여 각 보관기간에 대하여 15일간의 활성회복 정도를 평가하였다. 실험에 이용된 미생물 조건, 배양기간 및 기질 특성은 Table 3과 같다.

2. 활성도 실험

미생물의 활성을 평가하기 위한 실험은 Hungate (1969)에 의해 개발된 혐기성 박테리아의 배양방법을 이용한 활성도(Valcke and Verstraet, 1983) 측정방법에 의해 메탄 생성 박테리아의 활성을 가스 생성 속도로 평가하였다. 입상미생물 채취당시 활성정도를 입상미생물 및 파쇄미생물에 대하여 각각 평가하였고, 각 미생물들을 35℃ 항온실에서 기질 주입없이 보관하면서 보관기간 15일, 30일, 45일 및 60일 경과시 4개의 각 유리병에서 입상미생물 및 파쇄미생물을 200~300mg VSS가 되도록 분취하여 100ml 용량의 serum bottle에 넣어 미생물의 활성도 변화를 조사하였다. Serum bottle에 미생물 분취는 Terry and Wolin(1974)의 방법에 따라 Fig. 2와 같은 방법으로 질소 가스로 치환시키면서 행하였다. 미생물의 활성도 평가에 이용된 기질은 설탕(sucrose)과 유기산 혼합용액(acetate:propionate:butyrate=2:1:2)을 사용하였다. Serum bottle (용적=100ml)은 N₂로 불어 넣어 혐기성 상태로 만들었고 완충용액은 Dolfing and bloemen(1985)이 사용한 방법에 따라 증류수를 끓여서 용존산소를 제거한 후 N₂가스로 연속 불어 넣으면서 항온실 온도까지 식힌 후 Table 4에 나타난 조성으로 완충용액을 조제하였다.

일정량의 미생물 및 완충용액 50ml를 serum bottle에 넣고 고무마개와 알루미늄 캡으로 봉하였다. 액중에 녹아 있는 용존산소의 영향을 제거하기 위하여 Na₂S · 9H₂O를 첨가하였으며, 과도한 주입량은 메탄생성 박테리아에 독성을 미칠 수 있으므로 약

Table 3. Test condition used in activity test

Type of granule	Incubation time (days)	Substrate characteristic	Substrate concentration (mg COD/l)
Control sludge			
Intact granular sludge	15	sucrose	1,000
Intact granular sludge	15	acid mixture*	1,000
Smashed sludge	15	sucrose	1,000
Smashed sludge	15	acid mixture*	1,000
Inactivated sludge			
Intact granular sludge	15	sucrose	1,000
Intact granular sludge	15	acid mixture*	1,000
Smashed sludge	15	sucrose	1,000
Smashed sludge	15	acid mixture*	1,000

* Acid mixture(acetic acid: propionic acid: butyric acid=2:1:2)

2 mM S⁻이하로 주입하였다(Daniel, 1986). 미생물 분류시 받을 가능성이 있는 충격으로부터 회복시키기 위해 기질을 주입하지 않고 하룻밤 방치후에 주사기로 최종 기질농도 1,000mg COD/l이 되게 주입하여 실험하였다. Serum bottle을 15일 동안 53℃ 항온실에서 혼합배양 시켰으며, serum bottle에 발생된 가스량은 Fig. 2와 같이 주사기와 마노미터를 사용하여 측정하였다. 이는 가스가 발생되면 일정한 액면을 유지하고 있던 마노미터내의 액이 압력차로 인해 액면차가 발생하게 되며 그 차이를 부피로 환산한 후 주사기를 이용하여 최초 대기압상태까지 생성된 가스를 제거시키는 방법을 이용하였다. 각각의 시료에 대하여 serum bottle 3개씩 준비하여 측정된 후 평균값을 구하였으며 배양 15일간의 실험 끝에 serum bottle내의 미생물 농도 및 용해성 COD농도를 측정하였다.

Table 4. The composition of buffer solution used in this experiment

Constituents	Concentration(g/l)
KH ₂ PO ₄	0.3
K ₂ HPO ₄	0.4
NH ₄ Cl	0.5
NaHCO ₃	10.0

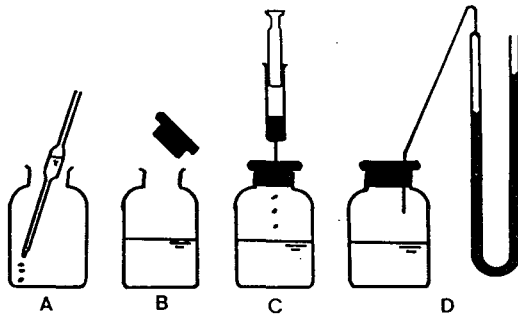


Fig. 2. Procedure for serum bottle test.

- 1) pouring buffer solution and seed sludge with N₂ flushing
- 2) capping
- 3) substrate injection
- 4) gas measuring with manometer

결과 및 고찰

활성의 저하를 가져온 입상미생물의 산형성균과

메탄형성균이 갖는 활성도가 기질을 주입하지 않은 상태에서 보관기간에 따라 어떻게 변화되는지를 생성된 가스생성량을 기준으로 미생물 활성도를 평가하였다. 실험을 위하여 자당 및 유기산 혼합물(아세트산, 프로피온산, 뷰틸산) 각 1,000mg COD/l을 대상 기질로 하여 미생물의 회복 가능성 여부와 회복 기간을 평가하였으며 정상 상태로 운전되고 있는 반응조에서 채취한 미생물을 대조 대상으로 하여 비교 평가하였다.

1. 보관기간에 따른 입상미생물의 활성변화

기질을 주입하지 않은 상태에서 보관기간에 따른 입상미생물의 활성 변화를 평가하기 위하여 자당과 산혼합물을 기질로 실험하였으며 얻어진 결과를 Fig. 3 및 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 3은 운전기간 동안 유기물 제거효율이 85% 이상을 유지한 대조 반응조인 R-4 반응조 하부에서 채취한 입상미생물에 대하여 배양기간에 따른 누적 가스 변화량을 나타낸 것으로 보관기간 및 기질의 종류에 영향을 받지 않고 보관초기의 활성이 그대로 유지되었으며 각 보관기간에서 15일 동안 배양되는 동안 발생된 총 가스량은 약 24.0ml로 나타났다. 이러한 수치는 Shelton and Tiedje(1984)가 포도당(glucose) 1,000mg COD/l로 부터 발생 가능한 예상 가스량이 24.3ml로 보고한 값과 비슷한 수치를 나타내었다. Fig. 4는 Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 유기물 제거효율이 40% 전후에 머물고 있는 R-1, R-2 및 R-3 반응조의 하부에서 채취하여 혼합한 활성의 저하가 일어난 입상미생물에 대하여 배양기간에 따른 누적가스 발생량을 나타낸 것으로 보관기간에 따라 발생가스량의 차이가 뚜렷하게 나타났다.

보관기간 15일에서 채취한 입상미생물을 설탕과 산혼합물을 기질로하여 항온실에서 15일동안 배양한 결과 총 발생 누적 가스량이 각각 10ml 이하로 나타나 동일기간을 보관시킨 대조 입상미생물의 가스발생량 24.0ml에 비해 2.4배 낮은 결과를 보였으며 보관기간이 길어짐에 따라 활성이 점차 회복되는 경향을 나타내었다. 보관기간 60일부터 대조 입상미생물의 가스발생량과 거의 일치하게 나타나 유기물 주입없이 활성이 저하된 입상미생물을 보관함으로써 입상미생물의 활성이 회복될 것으로 판단된다. 입상미생물 내부는 외부액상에 비하여 수소농도가 25~40배 낮아 프로피온산 및 뷰틸산이 열학적인 측면에서 발열적으로 진행하여 유기물의 원활한 분해가 일어나지만 유기물 과부하의

조건에서 분산형태의 미생물 및 입상미생물 외부층에 우점하고 있는 수소 생성미생물에 의해 과잉의 수소가스가 발생하고 생성된 고농도의 수소가 입상미생물 내부로 확산하게 된다. 이 결과 입상미생물 중간층에 존재하는 수소이용미생물에 의해 수소가 소비되는 이상으로 입상미생물 내부에 수소가 축적되어 입상미생물 외부층에 우점하고 있는 수소생성미생물에 의해 과잉의 수소가스가 발생하고 생성된 고농도의 수소가 입상미생물 내부로 확산하게 된다. 이로 인해 입상미생물 중간층에 존재하는 수소이용미생물에 의해 수소가 소비되는 이상으로 입상미생물 내부에 수소가 축적되어 입상미생물 내부에서 수소분압이 증대되어 이 결과 유기산의 분해가 원활히 이루어지지 않아 미생물 내부에 유기산이 축적되어 pH 감소를 일으키며 메탄생성미생물에 악영향을 주게된다(Beer et al. 1992). 따라서 메탄생성미생물이 피해를 받아 활성이 감소된 상태에서 계속적인 유기물 유입은 Fig. 1에 나타나 바와 같이 메탄생성미생물의 활성회복을 느리게 하며 때론 거의 회복가능 상태까지 가져다 줄 것으로 판단된다. 그러나 유기물이 주입되지 않은 상태에서 미생물을 보관함으로써 활성이 회복되는 현상은 입상미생물 내부에서 축적된 유기산이 수소 이용 박테리아에 의해 서서히 분해되면서 입상미생물 내부의 수소분압이 감소하게 되고, 낮은 수소분압 상태에서 프로피온산 및 부틸산 등의 휘발성산의 분해로 입상미생물 내부에 존재해 있는 메탄 생성미생물에 영향을 미치지 않을 정도로 pH가 상승되는 결과로 생각된다. 이와 같은 결과를 통하여 불활성화된 입상미생물을 기질 주입 없이 보관하는 것이 저하된 활성을 되찾는데 효과적일 것으로 생각된다.

2. 보관기간에 따른 파쇄미생물의 활성변화

입상미생물의 활성저하 원인이 입상미생물 내부에 존재해 있는 메탄형성 박테리아가 과잉수소 증가에 의해 충격을 받았는지 또는 외부의 조건에 무관하게 입상내부에서 활성을 그대로 유지하고 있는지의 여부를 평가하기 위하여 대조 입상미생물 및 활성이 저하된 입상 미생물을 혐기성 상태에서 파쇄하여 기질을 공급하지 않은 상태로 미생물을 보관하여 보관기간에 따른 미생물의 활성변화를 비교 평가하였다.

Fig. 5는 대조 입상미생물을 혐기성 상태에서 파쇄시켜 보관기간에 따른 누적가스량을 나타낸 결과이다.

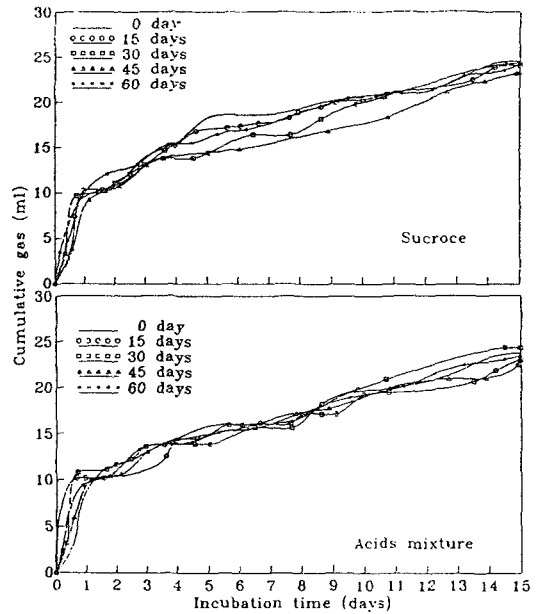


Fig. 3. Cultivative gas produced according to storage period(control granular sludge)

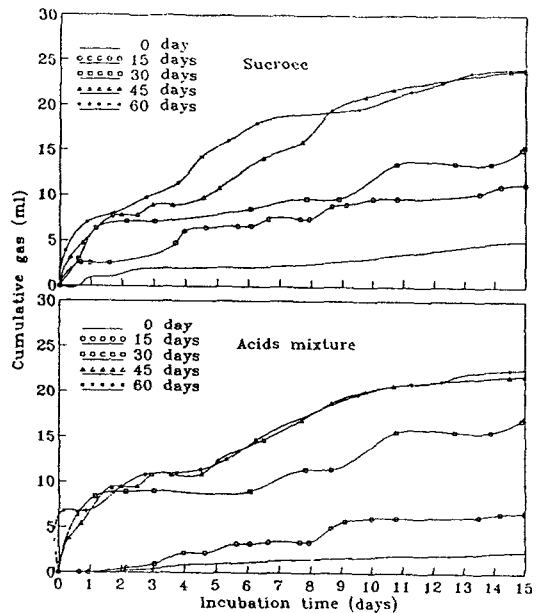


Fig. 4. Cultivative gas produced according to storage period(inactivated granular sludge)

그림에서 보는 바와 같이 대조 미생물의 경우 앞의 실험과 유사한 결과로 보관기간 및 기질 종류에 영향을 받지 않고 발생 누적 가스량이 비슷

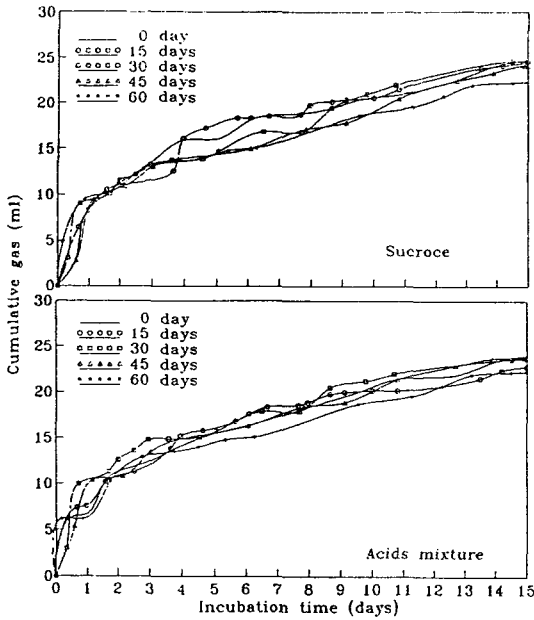


Fig. 5. Cultivative gas produced according to storage period(control smashed sludge)

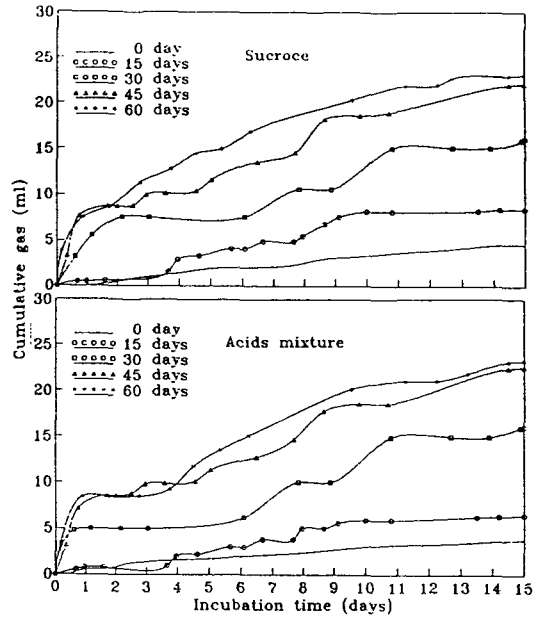


Fig. 6. Cultivative gas produced according to storage period(inactivated smashed sludge)

하게 나타났다. Fig. 6은 활성이 저하된 입상미생물을 파쇄시켜 기질주입 없이 보관기간에 따른 누적 가스 발생량을 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 보관 15일에서 총누적 가스발생량은 6ml 이하였으나 보관기간이 길어짐에 따라 가스 발생량이 서서히 증가하였다. 이러한 결과에서 입상미생물이 유기물 과부하에 의해 저해를 받을 경우 입상미생물 내부에 프로피온산 및 뷰틸산의 축적이 일어나 pH가 감소되고 내부의 메탄생성미생물에 영향을 미치는 것으로 생각된다. 파쇄미생물 역시 유기물 주입없이 보관함으로써 미생물의 회복이 일어나 활성도가 증가되는 것으로 평가되었다.

3. 보관기간에 따른 SCOD 제거

기질을 공급하지 않은 상태에서 미생물을 보관할 때 보관기간에 따른 미생물의 기질 제거 능력을 평가하기 위하여 15일 배양후 여액의 SCOD 농도를 각 보관기간별로 측정하였다. Fig. 7은 보관기간에 따른 대조 미생물 및 활성의 저하가 일어난 미생물에 대하여 각 기질별로 SCOD 값을 기준으로 활성도 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 대조 미생물의 경우 활성도가 보관 기간에 큰 변화없이 0.38g COD/g VSS-day로 일정한 값을 보인 반면 활성이 저하된 입상미생물의 경우 보관초기 활성도가 0.15g COD/g VSS-day로 나타나 대조

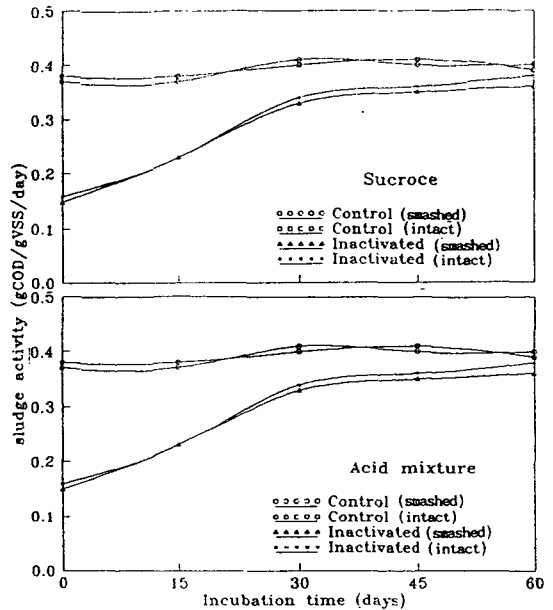


Fig. 7. Variation of sludge activity according to storage period

입상미생물에 비해 낮은 값을 보였다. 보관기간이 증가함에 따라 불활성 입상미생물의 활성도가 증가하여 보관기간 15일에 0.21g COD/g VSS-day로

초기에 비하여 활성도가 증가하였으며 보관 60일 부터 대조 미생물의 활성도와 비슷한 약 0.4g COD/g VSS-day로 나타나 초기 활성이 저하된 입상미생물의 활성도와 비교해 약 2.5배 증가하는 결과를 나타내었다.

이와 같은 결과는 입상미생물을 파쇄시켜 실험 하였을 경우도 비슷한 결과를 나타내었다. 결국 기질이 주입되지 않은 상태에 보관기간이 길어짐에 따라 수소소비박테리아에 의해 남아 있는 수소가 소모되고 그 결과 프로피온산 및 뷰틸산과 같은 중간 생성물을 감소되고 pH 상승과 함께 활성도 증가로 미생물의 회복되는 것으로 판단된다.

이상이 실험 결과를 통하여 운전상의 문제로 입상미생물이 저해를 받아 활성저하가 일어났을 경우 유기물 주입없이 보관을 통하여 입상미생물의 활성이 회복될 수 있을 것으로 판단되며 본 실험에서 정상상태 조건까지의 회복기간은 약 60일로 평가되었다.

결 론

활성의 저하가 일어난 입상미생물 및 파쇄미생물에 대하여 35℃ 항온실에서 기질을 주입하지 않은 상태에서 미생물을 보관하면서 보관기간에 따른 활성변화를 실험하였으며 활성의 저하가 일어나지 않은 대조 입상미생물 및 파쇄미생물을 병행 실험하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. UASB 반응조 운전시 유기물 과부하에 의해 입상미생물이 저해를 받을 경우 입상내부 박테리아에까지 영향을 미쳐 미생물의 활성이 감소되며 유기물이 연속적으로 유입되는 상태에서는 활성의 회복이 대단히 느리게 진행되거나 또는 거의 회복되기 힘들 것으로 판단된다.
2. 활성의 저하가 일어난 입상미생물에 대하여 기질주입 없이 보관기간에 따른 활성변화 실험결과 보관기간이 길어짐에 따라 활성이 점차 회복되었다. 따라서 기질을 주입하지 않은 상태에서 미생물을 보관하는 것이 저하된 활성을 회복시키는 데 효과적인 것으로 생각되며 본 실험의 경우 정상상태까지의 회복기간은 약 60일로 평가되었다.
3. 기질주입 없이 60일 보관하는 동안 초기 활성이 높은 입상미생물의 경우 활성도는 보관 초기 0.38g COD/g VSS-day 값이 큰 변화없이 유지되었으나 활성의 저하가 일어난 입상미생물

의 경우 보관 초기 0.15g COD/g VSS-day에서 보관기간이 길어짐에 따라 점차 증가하여 보관 60일에 약 0.36g COD/g VSS-day로 보관 초기에 비하여 약 2.5배 증가하였다.

4. 입상미생물을 파쇄시켜 기질 주입없이 보관기간에 따른 활성변화 실험결과 입상미생물의 활성변화와 유사한 경향을 보여 내부 메탄생성미생물에 까지 과부하에 의한 영향이 미치는 것으로 평가되었으며 파쇄미생물 역시 기질주입 없이 보관을 통하여 활성의 회복이 일어났으며 정상상태까지의 회복기간은 입상미생물과 비슷한 약 60일로 평가되었다.

참 고 문 헌

- Beer, D., Huisman, J.W., Van den Heuvel, J.C., and Ottengraf S. p. p. 1992. The effect of pH profiles in methanogenic aggregates on the kinetics of acetate conversion. *Wat. Res.* Vol. 26, No. 10, 1329~1336.
- Daniels, L., Belay, N., B. S. Rajgopal 1986. Assimilary reduction of sulfate and sulfite by methanogenic bacteria, *Applied and Environmental Microbiology*, 51. 703~709.
- Dolfing, J. and W. G. M. B. Bloemen. 1985. Activity measurements as a tool to characterize the microbial composition of methanogenic environments. *Journ. Microbiol. Meth.*, 4. 1~12.
- Hungate, R. E. 1969. A roll tube method for cultivation of strict anaerobes. *NORRIS, J. R. and D. W. RIBBONS, Metkhod in microbiology*, 38, 99, 117~132.
- Lettinga, G., A. M. F. van Velsen. S. W. Hobma. W. J. de Zeeuw, and a. Klapwijk 1980a. Use of the Upflow sludge Blanket(USB) reactor concept for biological wastewater treatment especially for anaerobic treatment. *Biotechn. Bioeng.*, 22. 699~734.
- Lettinga, G. and J. N. Binken. 1980b. Feasibility of the UASB-process for the treatment of low strength waste. *Proc. 35th Int. Waste Conf.*, Purdue Univ., Mary.
- Lettinga, G., L. W. Hulshoff Pol, S. W. Hobma, P. Grin, P. de Jong, R. Roersma and Pijspeert. 1983. The use of a floating setting 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., Hulshoff Pol L. W., Koster I. W., Wiegant W. M., Zeeuw W. J. de. Rinzema A., Grin D. C., Roersma R. E. and Hobma s. W. 1984. High-rate anaerobic wastewater treatment using the UASB reactor under a wide range of temperature conditions. *Biotechnol. Genet. engng Rev.* 2, 253~284.
- Lettinga G., Zeeuw W. J. de. Hulshoff Pol L., Wiegant w. M. and Rinzema A. 1985. Anaerobic wastewater treatment based on biomass retention with emphasis on the UASB process. In *Anaerobic digestion 1985*(Edited by China State Biogas Association), 279~301. Guangzhou. China.
- Shelton, D. R., and Tiedge J. M. 1984. General Method for Detemining Anaerobic Biodegradation Potential, *App. Environ. Microbiol.*, 47, 850~857.
- Shin, M. S., Bae, B. W., Paik, B. C. and Lee, J. J. 1992. Anaerobic Digestion of Distillery Waste-water in a Two-phase UASB System. *Wet. Sci. Tech.*, Vol. 25. 361~371.
- Terry, L. Miller. and M. J. Wolin. 1974. A serum bottle modification of the Humagate Technique for cultivation obligate anaerobes. *App. Microbio.*, 27, 985~1987.
- Valcke, D. and W. Verstraetr. 1983. A practical method to estimate the acetoclastic methanogenesis biomass in anaerobic sludge. *J. WPCF.*, 55, 119~1195.
- Wang Z., Chen Z. and Qian Z. 1985. Status and prospects on study of anaerobic disposal for industrial wastesater in China. In *Anaerobic digestion 1985*(Edited by China State Biogas Association). 259~278. Guangzhou, china.
- Wu, W., J. Hu and X. Gu. 1985. Properties of granular sludge in upflowanaerobic sludge blanket (UASB) reactor and its performance. In:*Anaerobic Digestion 1985*(China State Biogas Association, eds), 339~351, Guangzhou, China.

1993년 11월 8일 접수

1994년 1월 7일 수리