

고농도 유기성 산업폐수 처리 기술 및 실무

(3)



신항식

(한국과학기술원 토목공학과 교수)

2.5 UASB공정의 설계

2.5.1 액화단계(liquefaction step)

현재까지 액화조의 설계에 대해 알려진 내용은 매우 제한적이다. 반응조의 용량은 요구되는 액화율에 의해 결정되며, 부유물질 부하, 부유물질 제거율, 생분해성 부유물질 함량, 그리고 보유되는 슬러지 농도 등에 의해서도 영향을 받는다. 드문 경우지만 완전한 액화가 요구되는 경우에는 긴 슬러지 체류시간이 필요한데, 운전온도 20°C에서는 80-120일 정도가 소요된다. 운전온도가 높아질수록 완전액화에 소요되는 슬러지 체류시간은 줄어들어 25°C에서는 40-60일, 30°C에서는 15-30일, 그리고 35°C에서는 10-20일 정도가 소요된다. 그러나, 운전온도가 높아질수록 액화조에서 메탄형성반응이 발생할 수 있는 가능성을 배제하기 어렵다. 생분해 가능한 고형물을 완전히 액화시킬 필요는 없으며, 특히 중온 이하의 온도에서 완전히 액화시킨다는 것은 경제적인 측면에서 타당하지 못하다. 이런 경우에는 슬러지 소화조를 도입하여 고형물을 소화시키는 것이 바람직하다.

2.5.2 산형성 반응조(acidogenic reactor)

산형성조의 설계에 대한 체계적인 지침은 마련되어 있지 않으나, 현재 운전중인 산형성조는 대부분 완전 혼합형이며 슬러지를 고농도로 보유하기 위한 별도의 장치는 설치되어 있지 않다. 이와 같이 산형성조에 대한 관심이 저조한 이유는 산형성반응이 빠른 속도로 진행될 뿐만 아니라, 대부분의 경우 완전한 산형성을 필요로 하지 않기 때문이다. 그리고, 산형성율이 알카리도, 즉 pH에 의해 다소 조절이 가능하다는 점도 또 다른 이유이다.

산형성조의 체류시간은 유기물의 특성, 운전온도, 그리고 요구되는 산형성율에 의해 결정되며, 일반적인 체류시간은 6-24시간 정도이다. 산형성조의 도입시 반드시 기억해야 할 사항은 산형성조와 메탄형성조 사이에 슬러지 분리장치를 설치해야 한다는 점이다. 이는 산형성조 유출수 내의 부유물질이 후속하는 메탄형성조의 운전에 악 영향을 미칠 수 있으며, 특히 flocculent 슬러지형 UASB 반응조가 메탄형성조로 사용되는 경우에는 입상슬러지의 형성을 지체시킬 수도 있기 때문이다.

2.5.3 UASB 반응조의 설계

1) 반응조의 체적

UASB 반응조의 체적은 일일 최대 COD부하, 허용 표면부하(liquid surface load), 유입폐수의 온도, 폐수의 농도와 특성, 슬러지 보유량과 허용 체적부하간의 상관관계, 요구되는 처리효율, 그리고 요구되는 슬러지의 안정화 정도 등에 의해 결정된다. 허용 표면부하는 UASB 반응조의 침전부 표면적을 근거로 계산되며, 용해성폐수인 경우 하루 평균 약 3m/hr, 부분적인 용해성폐수인 경우에는 1-1.25m/hr가 적절하다. 그리고 하루에 3-4시간 동안 일시적으로 표면부하를 각각 6m/hr와 2m/hr로 증가시켜도 대부분의 입상슬러지를 보유하는 데는 별 문제가 없다. 이와 같은 높은 표면부하는 입경이 작은 입상슬러지의 유실을 초래하지만, 정상적인 운전에는 별 문제가 없다(Lettinga and Hulshoff Pol, 1991).

용해성폐수를 처리하는 flocculent형 반응조는 초기운전을 약 0.5m/hr의 표면부하로 시작하고, 운전기간의 증가와 함께 입상화가 진행되면 표면부하도 증가시킨다. 유기부하(체적부하) 대신에 표면부하가 제한요소(limiting factor)인 다소 예외적인 경우에 허용체류시간(admissible HRT)은 다음 식 2.1과 같이 반응조의 표면적과 높이에 의해 결정된다.

$$\theta_a = \frac{AH}{Q} \quad \text{식(2.1)}$$

여기서, H=반응조의 높이(m)

θ_a =허용 수리학적 체류시간(hr)

Q=평균 유량(m³/hr)

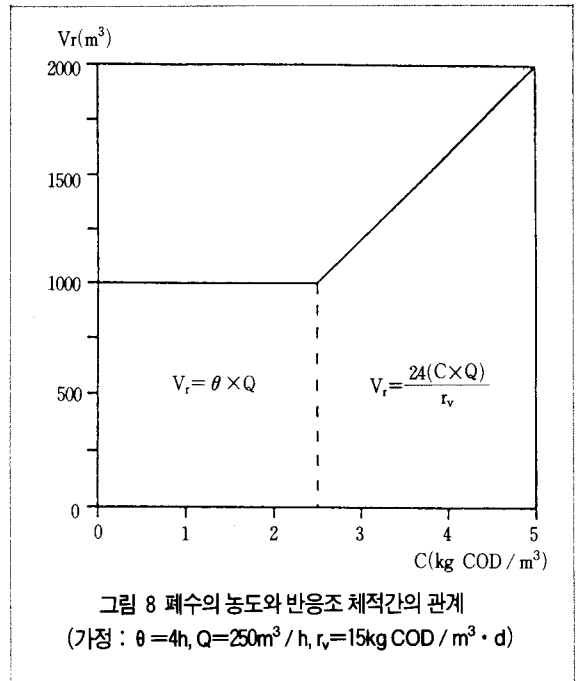
A=반응조의 단면적(m²)

허용 표면부하(V_a)로부터 반응조의 체류시간을 계산할 수 있다(식 2.2). 용해성폐수를 처리하는 경우 높이가 10m이상의 반응조가 적용가능하며, 반응조의 높이가 높을수록 반응조가 차지하는 면적이 줄어들고, 따라서 분배장치의 설치도 용이하다. 부분적인 용해성폐수를 처리하는 경우에는 반응조 높이가 줄어든다. 가정하수는 3-5m, COD 3,000g/l 이상의 폐수는 5-7m가 반응조 높이로 추천되고 있다. COD 1,000mg/l 이하로 희석된 폐수를 처리하는 경우와 운전온도가 25°C이상인 경우, 반응조의 체적은 일반적으로 허용 체적부하보다 허용 수리학적 부하에 의해 결정되지만, 운전온도가 25°C이하인 경우에는 허용 체적부하에 의해 결정된다.

$$V_a = H / \theta \quad \text{식(2.2)}$$

그림 8은 폐수의 농도와 반응조의 체적간의 관계를 보여준다. 폐수의 농도가 낮으면(2,500mg COD/l 이하) 반응조 체적은 폐수의 농도에 무관하고, 식 2.3과 같이 허용 체류시간에 의해 결정된다. 한편, 허용 체류시간은 보유되는 슬러지의 형태(입상 혹은 flocculent)와 기체-고체 분리장치의 성능에 좌우된다.

$$V_r = \theta_a Q \quad \text{식(2.3)}$$

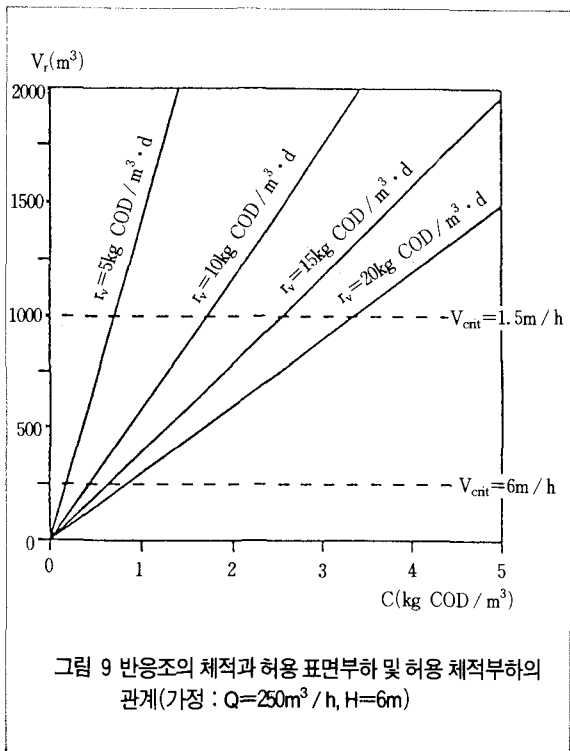


폐수의 농도가 일정 농도 이상이면 반응조의 체적은 폐수의 농도에 영향을 받으며, 허용 체적부하는 식 2.4에 의해 결정된다.

$$V_r = \frac{24CQ}{r_v} \quad \text{식(2.4)}$$

수리학적 체류시간이 반응조의 체적을 결정하는 저농도 폐수의 경우에는 그림 9에서 보는 바와 같이 반응조의 체적은 허용 표면부하 뿐만 아니라, 허용 체적부하(r_v)에 의해서도 영향을 받는다.

산업폐수의 경우 반응조 용량은 일반적으로 허용 체적부하에 의해 결정되며, 허용 체적 부하는 슬러지의



활성도와 농도, 요구되는 처리효율, 유입폐수의 성상, 유입수 분배장치의 성능, 그리고 안전을 등에 의해 결정된다. 표 12는 운전온도에 따른 허용 체적부하에 관한 내용을 수록하고 있다.

표 12 운전온도에 따른 허용체적부하
(가정 : 슬러지농도=25kg VSS / m³)

온도 (°C)	허용체적부하(kg COD/m³·d)		
	VFA ^{a)}	Non-VFA ^{b)}	30% SS-COD ^{c)}
15	2-4	1.5-3	1.5-2(satisfactory SS removal)
20	4-6	2-4	2-3(satisfactory SS removal)
25	6-12	4-8	3-6(reasonable SS removal)
30	10-18	8-12	6-9(moderate SS removal)
35	15-24	12-18	9-14(fairly poor SS removal)
40	20-32	15-24	14-18(poor SS removal)

a) 용해성 VFA 폐수, b) non-VFA 폐수

c) 30% 침전성의 SS-COD를 함유하는 폐수

2) 유입수 분배장치(feed inlet system)

유입수 분배장치는 GSS 장치와 함께 UASB 반응조에서 가장 중요한 내부장치이다. 반응조 내에 보유되

는 슬러지를 충분히 이용하기 위해서 유로형성(channelling)이나 사영역(dead space)의 형성을 방지하여 유입폐수와 슬러지간의 접촉을 최대화해야 한다(Lettinga and Hulshoff Pol, 1986; Souza, 1986). UASB 반응조는 반응조 내부에서 발생하는 가스에 의해 자체적으로 혼합이 되므로 유로형성은 가스발생량이 저조할 때 증가한다. 특히, 적용된 부하가 매우 낮거나 저온에서 운전되는 경우, 그리고 처리대상 폐수의 농도가 매우 낮은 경우에 가스발생량이 낮으므로 유로형성의 위험이 크다. 그러나, 저농도의 용존성 폐수인 경우 반응조의 높이를 증가시키므로써 유로형성의 위험을 어느 정도 줄일 수 있다. 보통 높이 4-6m의 반응조에서 가스발생율이 약 1m³/m³·day 이하이면 유로형성의 위험이 높다.

표 13은 반응조 단위 면적당 요구되는 폐수 유입구의 갯수를 나타내고 있다.

표 13 반응조 단위 면적당 요구되는 폐수 유입구의 개수

슬러지 형태	반응조 단위면적당 요구되는 폐수 유입구 수
Dense flocculent sludge (>40kg TSS / m³·d)	0.5-1at loads <1kg COD / m³·d
	1-2at loads 1-2kg COD / m³·d
	2-3at loads >2kg COD / m³·d
Medium thick flocculent sludge(20-40kg TSS / m³)	2at loads <1-2kg COD / m³·d
	2-5at loads >3kg COD / m³·d
Granular sludge	0.5-1at loads <2kg COD / m³·d
	0.5-2at loads 2-4kg COD / m³·d
	>2at loads >4kg COD / m³·d

특수한 노즐(nozzle)이나 간헐식 폐수주입장치 등이 유입수 분배장치로 사용되기도 하는데, 노즐을 사용하는 경우에는 노즐 선단에서의 속도(tip velocity)가 중요한 설계변수이다. 특히, 부분적인 용해성 폐수를 처리하는 경우에는 노즐이 폐쇄될 우려가 있으므로 유입수 분배장치의 청소가 용이하도록 설계하는 것이 바람직하다. 한 예로 그림 10은 콜롬비아(Colombia)에 설치된 가정하수 처리용 용량 64톤의 UASB 반응조의 유입수 분배장치를 나타낸 것으로서 유입수 분배구의 폐쇄를 방지하기 위하여 각각의 유입파이프는 반응조 상단에 위치한 분리된 분배조에 연결되어 있다. 유입파이프가 막히면 그 파이프에 연결된 분배조의 수위를 높여 자체적으로 유입파이프의 청소가 가능하도록 설계되어 있다.

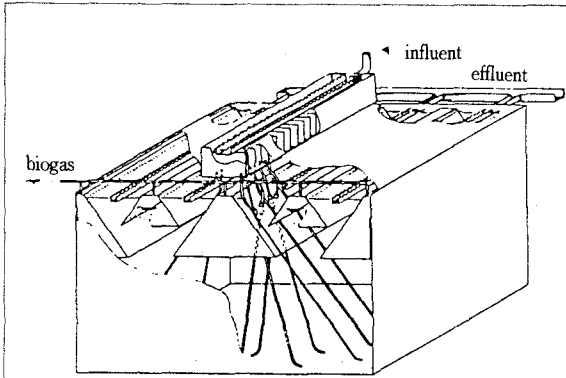


그림 10 가정하수 처리용 UASB 반응조의 유입수 분배장치

3) GSS(Gas Solid Separator)장치

가능한 많은 양의 슬러지를 보유하기 위해서 GSS 장치는 절대적으로 필요한 장치로서, 그 기능은 표 14와 같다. 일반적으로 GSS장치는 간단하게 설계되며, 시공 또한 용이하다. 보다 효율적인 GSS 장치의 개발을 위해 많은 연구가 진행중이며, 그림 11에 현재까지 상품화된 GSS장치를 예시하였다(Paques manual, 1989).

표 14 GSS 장치의 주요기능

1. 바이오가스의 탈기와 배기
2. 슬러지의 유실방지
3. 부상한 슬러지의 재침전 향상
4. 슬러지 blanket의 급격한 팽창 방지

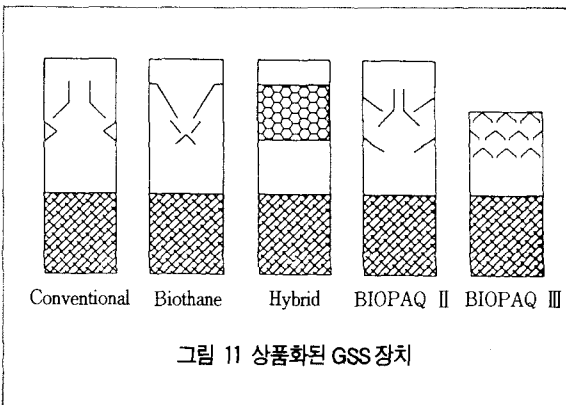


그림 11 상품화된 GSS장치

특히, 저농도폐수를 처리하는 경우에는 거의 완벽하게 슬러지를 보유할 수 있는 매우 세련된 형태의

GSS장치가 필요하다. 슬러지가 쉽게 부상하는 경우에는 GSS장치 전방에 정류벽(baffle)을 설치하는 것이 효과적이며, 단백질과 지방의 함량이 높은 산업폐수를 처리하는 경우에는 스킴이 형성될 우려가 있으므로 별도의 대책이 마련되어야 한다. 스킴은 바이오가스의 탈기와 부상한 슬러지의 재침전을 방해하므로 심각한 운전상의 문제를 야기하는데, 스킴제거장치(skimmer)나 살수장치(water spray) 등으로 어느 정도 억제할 수 있다. 표 15는 GSS 장치의 일반적인 설계 및 시공지침을 수록하고 있다.

표 15 GSS 장치의 설계 및 시공지침

1. 가스포집기의 경사벽 각도는 45~60°C로 한다.
2. 가스포집기 사이의 틈 면적은 반응조 표면적의 10~20% 정도가 되게 한다.
3. 반응조 높이가 5~7m일 때 가스포집기의 높이는 1.5~2m가 적당하다.
4. 가스포집기 내부에는 액체-기체 경계면이 존재해야 한다.
5. 가스포집기 사이의 틈 아래에 설치되는 정류벽은 상승가스가 침전부로 유입되는 것을 방지하기 위하여 10~20cm정도 포개져야 한다.
6. Scum층의 유실을 방지하기 위하여 유출수 웨어(weir)전방에 정류벽을 설치해야 한다.
7. 심각한 거품발생이 예상될 경우 Spray nozzles을 설치한다.

4) 모듈 설계(modular design)

UASB 반응조의 용량이 400톤을 초과하는 경우에는 반응조를 몇 부분으로 나누어 설계 및 시공하는 것이 바람직하다. 이와 같이 모듈화하므로써 얻을 수 있는 장점은 다음과 같다. 먼저, 분리해서 건설할 수 있으므로 설계부하를 쉽게 맞출 수 있고, 둘째 전체 공정을 연속적으로 운전할 수 있으므로 처리효율을 향상시킬 수 있으며, 셋째 식종슬러지 양이 부족한 경우에도 무리없는 초기운전이 가능하고, 마지막으로 청소와 보수가 용이하다는 점이다. 모듈방식으로 설계하는 경우에는 원형반응조 보다 사각형반응조가 더 유리하다.

5) 반응조의 형태

UASB 반응조는 일반적으로 원형이나 사각형으로 설계된다. 원형반응조를 모듈화하는 경우에는 최종 처리단계를 중심으로 반응조를 동심원 형태로 배치하는 것이 바람직하다.

6) 슬러지 배출

반응조의 잉여슬러지를 배제하기 위한 장치가 설계에 고려되어야 한다. 일반적으로 잉여슬러지 배출용 파이프를 반응조 바닥부근과 중간지점, 그리고 GSS 장치 아래 0.5m 지점에 수평으로 설치하는데, 반응조 높이에 따른 슬러지농도 분포를 정확히 파악하기 위해서는 반응조 전장에 걸쳐 시료채취구를 설치해야 한다. 한편, 슬러지 베드층 최상단의 잉여 비입상 슬러지를 배제하기 위한 파이프도 설치되어야 한다.

7) 유출수 재순환 시설

고농도폐수를 처리하는 경우에는 유입수 농도의 조절, 중화제의 절약, 존재가능한 독성물질의 희석, 그리고 유입폐수와 슬러지간의 접촉효율 향상 등을 목적으로 유출수 재순환 시설을 설계에 포함시키기도 한다. 지방과 단백질을 고농도로 함유하는 폐수인 경우에 유입폐수와 슬러지간의 접촉효율이 특히 중요하며, 초기운전 초에는 양질의 슬러지를 배양하기 위하여 유입수 COD농도를 5,000mg/l 정도로 유지하는 것이 좋다.

8) 반응조의 재질과 부식문제

실규모 반응조의 경험에 의하면 부식이 중요한 문제로 지적되고 있다. 네덜란드 등에서 70년대 말과 80년대 초반에 건설된 거의 모든 반응조는 운전 5-6년 이후에 부식문제로 심각한 타격을 입은 것으로 알려졌다. 황화수소(H₂S)가 황산염(sulfate)으로 산화되는 반응조 상단에서 가장 심각한 부식이 발생하며, 콘크리트와 쇠(steel) 모두 황화수소에 의해 부식된다. 한편, 용존 이산화탄소에 의한 부식이 콘크리트 반응조에서 발생하는데 콘크리트의 CaO 성분이 탄산(carbonic acid)에 녹아 부식이 진행된다.

부식을 방지하기 위해서는 부식에 강한 stainless steel이나 플라스틱(plastics)으로 반응조를 제작하거나 적절한 코팅을 해야 한다. 보고된 바에 의하면, 해수에 강한 알루미늄 합금으로 침전부를 제작한 경우에도 심각한 부식을 피할 수 없었으며, 코팅된 쇠도 부식방지에 큰 효과가 없다. 요즘에는 폴리프로필렌(polypropylene)을 입힌 콘크리트가 반응조 본체로 많이 사용되고, 침전부에는 경목(hardwood)이 많이 사용된다. 유출수 웨어에는 플라스틱으로 보강한 합판이 새로이 사용되기도 한다. 그리고 제1철을 함유한 시멘트(ferrocement)가 새로운 건설재료로 사용될 전망이다.

9) 악취발생 억제

혐기성 처리공정에서는 황화수소가 다량으로 발생되기 때문에 항상 악취문제를 수반한다. 따라서 악취문제를 해결하기 위해서는 유출수로부터 황화수소가 탈기되는 것을 방지해야 하는데, 이는 반응조를 밀폐식으로 제작하거나 별도의 흡입장치를 설치하므로써 어느 정도 해결이 가능하다. 반응조를 밀폐식으로 제작하면 공기의 유입을 방지할 수 있으므로 부식문제도 어느 정도 줄일 수 있다. 한편, 안전을 위하여 바이오가스에 공기가 섞이지 않도록 주의해야 한다. 유출수에 존재하는 황화수소는 화학적 침전, 화학적 혹은 생물학적 산화 등의 적절한 후처리로 제거할 수 있다.

10) 부대설비

혐기성 폐수처리 시스템의 성공적인 운전을 위해서는 시스템의 적절한 제어와 외부 환경조건의 적절한 유지가 필수적이다. 전체 시스템에 포함되어야 할 계측기기에는 유량, 온도 및 pH 계측기, 그리고 가스발생량 및 가스조성 분석기 등이 있다. 한편, 처리대상 폐수의 특성에 따라 영양용액이나 중화제를 공급할 수 있는 별도의 탱크가 필요할 때도 있다. 폐열을 이용할 수 있는 경우에는 열교환기를 설치하여 폐열을 회수하는 것이 유익하다.

2.5.4 UASB반응조의 초기운전(start-up)

UASB반응조의 초기운전에 요구되는 긴 시간과 노력은 UASB 공법의 중요한 단점으로 인식되어 왔다. 이와 같이 초기운전에 긴 시간이 요구되는 것은 메탄균의 증식속도가 느리기 때문이며, 특히 적응되지 않은 식종슬러지를 사용할 때나 적절한 식종슬러지를 구할 수 없을 때 매우 긴 초기운전 시간이 요구된다. 그러나, 일단 정상적으로 초기운전된 UASB 반응조는 기질을 공급하지 않은 상태에서도 장기간 보존이 가능하기 때문에 재운전에 큰 어려움이 없다. 또한 정상적인 반응조에서 생성되는 잉여 입상슬러지를 새로운 반응조의 식종슬러지로 사용할 수 있기 때문에 가까운 장래에 초기운전에 따른 전술한 문제는 사라질 것으로 기대된다.

UASB 반응조의 초기운전은 크게 비입상슬러지(non-granular sludge) 형태의 식종물질을 사용하는 경우와 입상슬러지를 식종물질로 사용하는 경우로 대별되며, 전자를 일차적인 초기운전(first start-up)이라 하고 후자를 이차적인 초기운전(secondary start-up)이라 한

다(Lettinga and hulshoff Pol, 1986). 한편, 초기운전에 소요되는 시간이란 시스템이 설계부하를 달성하는

데 까지 걸리는 시간을 의미한다(de Zeeuw, 1984).

1) 일차적인 초기운전(first start-up)

지난 10여년 동안 비입상슬러지를 이용한 UASB 반응조의 초기운전 기술에 관한 연구가 폭넓게 진행되었으며, 그 결과 혐기성 소화슬러지, 폐활성슬러지, 그리고 가축분뇨(cow manure)를 이용한 성공적인 초기운전과 슬러지 입상화가 가능함이 밝혀졌다. 그러나, 일차적인 초기운전에는 수 많은 요소가 관여하며, 현재까지 밝혀진 일차적인 초기운전 기술에 관한 사항을 표 17에 수록하였다. 비입상슬러지를 초기 식종물질로 사용하는 경우에는 농축된 상태(60-70g Vss / ℓ 정도)의 식종물질을 사용하는 것이 바람직하며, 대체로 반응조 단위 체적 당 약 10에서 20g VSS 정도를 투입하는 것이 추천되고 있다(Lettinga et al., 1984; Wu et al., 1985; de Zeeuw, 1988).

UASB 반응조의 초기운전에서는 입상슬러지의 형성이 가장 중요하다. 현재까지 입상슬러지의 형성기작이 정확히 정립되지 않았고 많은 요소가 관여하는 것으로 보고되었지만, 슬러지 선택도(sludge selection pressure)도 입상슬러지의 형성에 중요한 역할을 한다. 초기 운전이 시작되면서 유입유량이 점진적으로 증가하면 가벼운 분산성 슬러지는 유실되고, 무거운 슬러지는 반응조 내에 보유되어 계속 성장하게 된다. 이 슬러지 선택도는 슬러지 입자간의 미세한 밀도차에 근거한 척도로서, 수리학적 부하(hydraulic loading rate 혹은 superficial upflow velocity)와 발생가스 부하(gas loading rate)에 의해 결정된다. 운전 초기에는 낮은 상승유속이 유지되지만(0.1-1.0m / day), 부하가 증가함에 따라 상승유속도 증가하게 되며, 최종적으로 실규모 반응조에서 적용되는 범위인 30에서 50m / day까지 점진적으로 증가한다.

초기운전이 시작되면 상승유체와 발생가스에 의해 슬러지층이 팽창되고, 침전특성이 나쁜 가벼운 물질은 반응조로부터 유실된다. 이런 작용에 의해 반응조 높이에 따라 고형물 분포가 변하는데, 무거운 슬러지 성분은 반응조 아래에 분포하고, 가벼운 성분은 슬러지층 상부에 분포하게 된다. 폐수가 반응조 하부로부터 유입되기 때문에 반응조 하부에 가장 높은 기질부하가 작용하며, 반응조 하부에 존재하는 슬러지의 성장율은 계속 증가하게 된다. 이와 함께 미생물이 부착상태로 성장하는 현상이 나타나기 시작하며, 계속적

표 16 일차적인 초기운전에 영향을 미치는 인자

I. 식종슬러지	<ol style="list-style-type: none"> 1. 미생물 부착에 적절한 담체는 입상화에 필수적이다. 2. 식종슬러지의 비메탄활성도(specific methanogenic activity)는 중요한 요소는 아니다. 60kg TSS/m³이상의 농도가 진한 하수소화슬러지는 낮은 비메탄활성도에도 불구하고 높은 하수소화 슬러지에 비해 선호된다. 3. 식종슬러지에 분쇄된 입상슬러지의 소량 첨가는 입상화를 증진시킨다.
II. 운전방식 : 반응조내에서 가벼운 분산성 슬러지를 충분히 연속적으로 제거하여, 무거운 슬러지만을 반응조내에 보유하여 미생물의 성장을 증진시키는 것은 필수적이다.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Washed-out된 분산성 슬러지는 반송시키지 않는다. 2. 유입수 COD가 5,000mg / ℓ 이상인 경우 희석하거나 유출수를 재순환시킨다. 3. 생분해가능한 COD 제거율이 적어도 80% 이상 달성된 후 유기물 부하를 단계적으로 증가시킨다. 4. 아세테이트 농도를 1,000mg / ℓ 미만으로 유지하여야 한다. 5. 초기운전시 식종슬러지의 농도가 60kg TS / m³ 이상인 경우 반응조 1m³당 12-15kg의 슬러지를 첨가하여 식종슬러지의 농도가 40kg TSS / m³미만인 경우는 반응조 1m³당 약 6kg의 슬러지를 첨가하여 운전하는 것이 좋다.
III. 폐수특성	<ol style="list-style-type: none"> 1. 폐수의 농도가 낮을수록 입상화가 빨리 일어난다. 그러나 미생물 성장에 좋은 조건을 유지할만큼 폐수의농도는 충분히 높아야 하며, 최소 COD 농도는 1,000mg / ℓ 이상을 유지하여야 한다. 2. 분산성(Dispersed matter) 물질을 함유한 폐수의 경우 입상화 기간이 지연되거나 입상화가 이루어지지 않는다. 3. 입상화는 용존성의 탄수화물로 구성된 기질이 VFA로 구성된 기질에 비해 빠르다. 단백질이 존재하는 경우는 반응조의 pH를 6.5이상으로 유지시켜야 단백질의 분해가 가능한 만큼 완전하게 일어난다. 4. Ca²⁺, Mg²⁺ 등의 이온들이 고농도로 존재하면 CaCO₃, CaH₂PO₄, MgNH₄PO₄와 같은 침전물을 형성하여 높은 회분함량을 지닌 입상슬러지가 형성된다.
IV. 환경조건	<ol style="list-style-type: none"> 1. 적정온도는 중온의 경우 35-38°C이며, 고온의 경우 50-60°C이다. 2. 반응조의 pH는 6.2이상을 유지하여야 한다. 3. N, P, S와 같은 모든 필요한 성장요소와 미량원소(Fe, Ni, Co 등)는 이용할 수 있는 형태로 충분한 양이 존재하여야 한다. 4. 독성물질은 저해농도까지 존재하지 않거나 또는 미생물이 적응할만한 충분한 시간을 제공하여야 한다.

인 분산성 슬러지의 유실과 동시에 부착 혹은 덩어리 상태의 미생물 성장이 진행됨에 따라 입상슬러지가 출현하게 된다.

한편, 제한된 수의 성장핵(growth nuclei)에 의해 슬러지 입상화가 시작된다는 이론이 거의 정설로 인정되고 있다. 성장핵이란 식종슬러지 내에 존재하는 물질로서 양호한 침전특성을 갖는 작은 입자를 의미한다. 미세하게 분산된 상태로 존재하는 미생물은 유실되기 쉬울 뿐만 아니라, 미생물막이나 덩어리의 형태로 보유될 가능성이 작다. 그러나 성장핵에 부착되어 성장하는 슬러지는 유실되지 않고 보유되며, 초기에 다소 조밀하지 못한 상태로 존재하더라도 외부로부터의 성장이 계속됨에 따라 점차 조밀한 형태로 성장한다. 이와 같이 미생물 덩어리가 조밀해지는 이유는 입자가 조밀할수록 기질전달이 용이하기 때문인 것으로 추측된다. 미생물 고정화 측면에서는 입상슬러지를 이용하는 UASB 반응조와 미생물막을 이용하는 부상식 반응조는 별 차이가 없으나, 입상화를 비롯한 미생물 고정화 과정은 많은 노력과 시간이 요구되는 과정임이 분명하다.

2) 이차적인 초기운전(secondary strat-up)

운전중인 UASB 반응조로부터 채취한 잉여 입상슬러지를 식종물질로 사용하여 새로운 반응조를 초기운전하는 것을 이차적인 초기운전이라 한다. 비록 성상과 강도가 다른 폐수를 처리하는 경우라도 UASB 반응조의 가장 이상적인 식종물질은 입상슬러지임이 분명하다. UASB 공정이 빠른 속도로 보급되고 있는 현실을 고려하면 가까운 장래에는 다량의 잉여 입상슬러지를 쉽게 구할 수 있을 것으로 추측된다. 이차적인 초기운전 기술과 관련하여 표 2-8과 같은 약간의 문제가 발생할 수 있으나, 실규모 처리장에서의 현재까지 경험에 의하면 이차적인 초기운전은 매우 만족스러운 결과를 보이고 있다. 한편, Kosaric 등(1990)은 시간이 지남에 따라 입상슬러지의 형상과 조성, 그리고 밀도 등의 특성이 변한다는 사실을 발견하였으며, 저부하에서도 입상슬러지 내부가 빈 hollow형이 형성될 수 있음을 보고하였다. 입상슬러지의 보존 및 재활성 연구결과에 의하면, 장기간 보관한 입상슬러지를 이용하여 재운전하였을 때 슬러지의 부상이 운전상의 문제로 지적된 바 있다(Shin, et al., 1993). 따라서, 입상슬러지의 형성과 성장 뿐만 아니라 입상슬러지의 최종적

인 경동에 대한 연구도 필요하리라 예상된다.

이차적인 초기운전에 필요한 입상슬러지 양에 관한 정확한 기준은 마련되지 않았지만, 대체로 반응조 체적의 약 10-20% 정도면 만족스러운 것으로 보고되고 있다(Samson et al., 1984; Sax, 1985). 이차적인 초기운전에서도 반응조의 부하를 설계부하까지 올리기 위해서는 어느 정도의 적응기간이 필요하며, 이 적응기간은 처리대상 폐수의 특성과 생분해도에 좌우된다.

표 17 이차적인 초기운전에서 발생가능한 문제점

현상	폐수 형태	조치
입상슬러지에 용적이 큰 막이 부착	탄수화물을 함유한 폐수	• 전처리로서 일부 산성화(acidification)가 필요 • 적절한 슬러지 부하
입상슬러지의 부상	단백질, 아미노산 또는 지방을 함유한 폐수	• 전처리를 통한 단백질의 응집 • 전처리로서 침전에 의한 고형물 제거 및 산성화
입상슬러지의 낮은 성장율	필수 영양물질의 부족	• 필수영양 물질 및 미량원소의 첨가
입상슬러지 부식	입의 형태의 폐수	• 수리학적 부하 또는 가스 부하에 의해 입상슬러지에 작용하는 용력 감소
입상슬러지 활성감소	폐수내에 함유된 독성물질	• 회석 또는 입상슬러지의 독성물질에 대한 적응을 통해 저해효과 저감 • 독성이 pH와 관련시 pH조절
입상슬러지 표면 및 내부에 화학침전물 형성	Ca이 다량 함유된 폐수	• 폐수내의 Ca농도 감소 • 전처리 도입

UASB 반응조를 이용한 혐기성 폐수처리 기술은 다양한 종류의 폐수처리에 성공적으로 적용되고 있으며, 약 22°C 이상의 온도에서는 가정하수 처리에도 효과적으로 적용되고 있다. 뿐만 아니라, UASB 반응조의 설계에 관한 정보도 여러 문헌에서 쉽게 얻을 수 있으므로 호기성 처리공법과도 비교할만 하다. 그러나, 반응조의 설계, 공정배치, 그리고 운전에 관한 연구가 더 필요한 것도 분명한 사실이다.

(다음호에 계속)