

# 고율혐기성소화조 신공법 및 에너지 절감 효과

(주)한텍엔지니어링 환경사업부

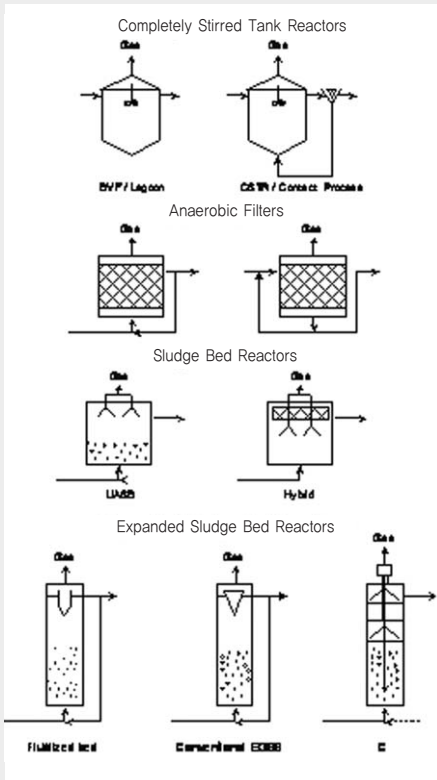
부 장 임 동 기 ☎ 031-350-8921

과 장 박 상 성 ☎ 031-350-8922

info@hantec.co.kr http://www.hantec.co.kr

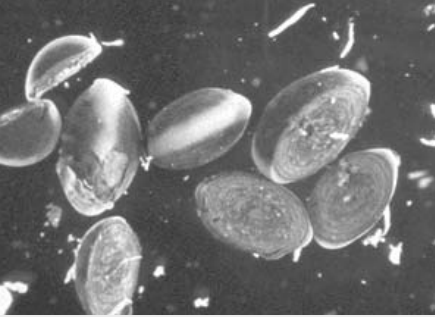
## 1. 혐기성 소화조 발전 과정

현재까지 국내에 알려지고, 실제 폐수 처리 플랜트에 적용된 혐기성 소화조는 <그림1>과 같이 매우 다양하며, 크게 4세



<그림 1> 혐기성 소화조 발전 단계

대로 구분할 수 있다. 1세대인 재래식 혐기성 소화조는 하수종말처리장 슬러지 감량화 설비, 주정폐수 처리 설비로 많이 사용되고 있다. 그러나, 재래식 혐기성 소화조는 미생물 활성이 낮고 지속적으로 미생물이 반응조 외부로 유실되는 단점을 가지고 있다. 미생물 유실을 막고 많은 미생물을 반응조 내부에 확보하고자 개발된 공법이 AF(Anerobic Filter)로 고정상 또는 유동상 담체를 조내부에 충전한 형태이다. AF 공법은 운전 초기 성능이 우수하여 국내에서도 다양한 변법이 개발되어 현장에 적용되었으나, 원수에 SS 성분이 높거나 장기간 운전시 과성장한 미생물에 의해 담체의 공극이 폐쇄되어 중국에는 효율이 급락하여 운전 실패를 가져오는 경우가 많다. 현재 일부 산업분야에 편중되어 운전되고 있으나, 담체 폐쇄의 근본적인 해결 방안을 찾지 못하고 있다. AF와 유사한 시기에 개발된 공법이 3세대 혐기성 소화조인 UASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket)으로 슬러지블랭킷, 삼상분리장치(Three Phase Separator), 가스막스를 포함한 바이오가스 시스템등으로 구성되어 있다. UASB는 특정 조건하에서 미생물 스스로 입상의 미생물군을 형성하는 특징을 혐기성 폐수처리에 활용하는 것으로, 입상슬러지는 <그림 2>와 같이 구형이다. 이러한 입상슬러지를 사용함으로써 고율 고부하 혐기성 소화조 운전이 가능하게 되었으며, 입상슬러지는 장기간 저장하였다가 신설 혐기성 소화조에 식중슬러지로 사용이 가능하다. 입상슬러지의 발견으로 고율 혐기성 소화조는 비약적인 발전을 이루었으나 UASB도 여러가지 단점이 알려지게 되었다. UASB는 유체의 상승속도

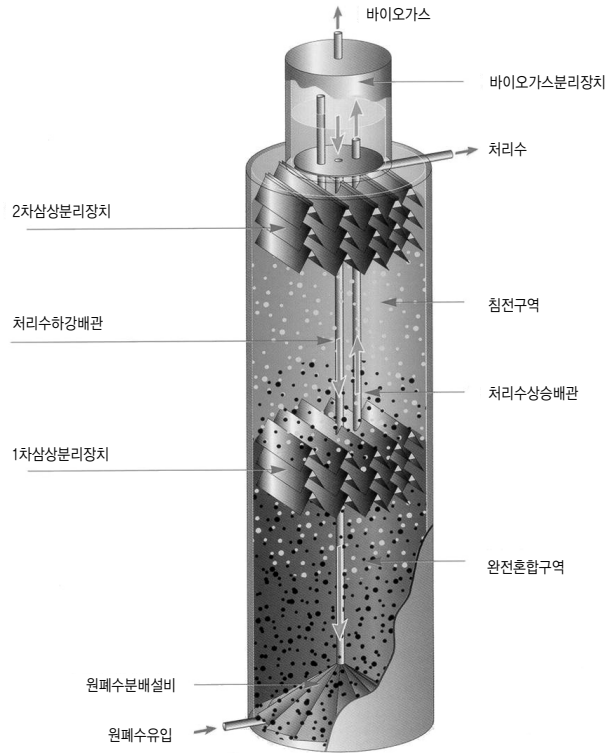


〈그림 2〉 입상슬러지 사진

가 0.5~1.5m/h로 원수의 SS 농도가 높을 경우, SS가 UASB 조내부에 침적되어 운전이 악영향을 준다. 또한 입상슬러지가 존재하는 슬러지블랭킷은 전체 반응조 부피의 약 30%에 불과하다. 이는 반응조 전체 체적중 30%미만이 실제 폐수처리와 관계되며, 나머지 70%는 폐수처리와는 무관하다는 것을 의미한다. 또한 UASB는 산업폐수와 같이 농도나 물량 변화가 심할 경우, 입상슬러지가 유실되는 단점이 있다. 이러한 UASB의 단점을 해결하기 위해 고안된 것이 4세대 혐기성 소화조인 Fluidized Bed로, 통상 유체 상승속도를 12m/h로 설계한다. Fluidized Bed의 변형인 IC Reactor는 1970년대에 개발된 UASB의 단점을 보완하기 위해 1980년에 네덜란드 회사인 Paques B.V에 의해 개발된 것으로 국내 독점 License를 당사가 보유하고 있다.

## 2. IC(Internal Circulation) Reactor

전술한 바와 같이 IC Reactor는 UASB의 단점을 보완하기 위해 고안된 것으로 그 모식도를 〈그림 3〉에 제시하



〈그림 3〉 IC REACTOR 모식도

였다. 원폐수는 펌프에 의해 반응조 하부의 원폐수 분배 장치로 유입되어 미생물과 접촉하게 된다.

대부분의 BDCOD(Biodegradable COD)는 반응조 하부에서 제거되고 이때 메탄(CH<sub>4</sub>)을 약 70% 함유한 바이오가스가 발생된다. 폐수의 성상에 따라 다르나 통상 1kg의 BDCODcr가 제거될 때 0.42~0.46m<sup>3</sup>의 바이오가스가 생성된다. 하부에서 발생된 바이오가스는 하부삼상분리장치에 포집되고 처리수상승배관을 통해 반응조 상부의 바이오가스 분리장치로 이동한다. 이때 가스가 상승하면서 처리수와 미생물도 동시에 상승하게 되는데 이러한 현상을 "Gas Lifting"이라한다. 바이오가스 분리장치로 이동한 가스는 반응조 외부로 배출되고, 처리수와 미생물은 다시 반응조 하부의 처리수 분배장치로 이동한다. 이를 내부순환이라고 하며, 반응조를 IC(Internal Circulation) 반응조라 한다. 내부순환되는 처리수의 양은 가스 발생량과 유사하며, 내부순

환된 처리수는 펌프에 의해 유입된 원폐수와 함께 강한 교반력을 형성시켜 폐수와 미생물의 접촉을 최적화한다. 이러한 효과로 IC Reactor 내부의 입상슬러지 활성도를 증가시킬 수 있는데 입상슬러지 활성은 0.6~1.2kgCODcr/kgVS로, UASB에 사용되는 입상슬러지의 활성 0.2~0.5kgCODcr/kgVS과 큰 차이를 나타낸다. IC Reactor의 가장 큰 특징은 내부순환으로, 원폐수 농도가 높아지면 가스발생량이 증가하고, 동시에 내부순환되는 처리수의 양도 증가한다. 내부순환되는 처리수는 원폐수 분배설비로 순환하여 농도가 높은 원폐수와 혼합되므로 실제 미생물과 접하는 폐수의 농도 변화는 크지 않다. 이를 자기조절 능력이라 부른다. 반응조 상부는 발생한 바이오가스를 하부 삼상분리장치에서 포집하여 반응조 외부로 배출하므로, 바이오가스가 유발하는 교반력은 없다. 따라서, 하부에서 팽창된 입상슬러지 층이 반응조 상부로 상승하면 즉시 침전되어 슬러지 유실을 막을 수 있다.

이를 통해 반응조 내부에 다량의 미생물을 보유할 수 있으며, 통상 IC Reactor 하부의 입상슬러지 농도는 60,000~200,000 mg/l이다. IC Reactor의 구조는 다량의 미생물을 반응조에 보유할 수 있고, 보유한 미생물의 활성도를 극대화할 수 있도록 구성되어 있어 고율 고부하 운전이 가능하다.

### 3. 적용 사례

IC Reactor는 1980년대초부터 유럽을 시작으로 2007년 6월 현재 전 세계에 300여개의 실적이 있으며, 국내에는 여덟곳의 사업장에 설치되어 있다. 다음은 당사가 2004년 논산의 S사에 설치한 IC Reactor 실제 적용사례를 설명한 것으로, S사는 밀가루 전분을 이용해 글루텐을 생산한다. <표 1>에 원폐수의 농도를 제시하였다. 원폐수의 SS 농도가 1500mg/l로 UASB나 AF를 적용할 경우, 반드시 전처리 설비를 두어 SS를 제거해야 하지만 S사의 경우, 별도의 전처리 없이 IC Reactor로 직접 투입하였다. 이는 IC Reactor 내부의 유체 상승속도가 8m/hr로, 유입된 SS는 반응조 외부로 모두 배출되어 반응조 내부에 침전되지 않기 때문이다. 시운전 기간동안 IC Reactor 용적부하는 최대 22.5kgCODcr/m<sup>3</sup>/d였으나, 시운전 종료 후 최대 25kgCODcr/m<sup>3</sup>/d로 운전하였다. IC Reactor 운전 결과를 <표 2>에 나타내었는데, TCO<sub>Dcr</sub>은 약 85.7%, SCOD<sub>cr</sub>은 93.2%였으며, 이때 바이오가스 발생량은 일일 5700m<sup>3</sup>으로 원단위

항 목	단 위	설 계 조 건	실 제
유 량	m <sup>3</sup> /day	1,600	1,969
pH	-	3~6	3~6
COD <sub>cr</sub>	mg/l	12,500	9,042
COD <sub>mn</sub>	mg/l	2,000	2,000
BOD <sub>5</sub>	mg/l	3,413	3,413
SS	mg/l	780	1,500
COD <sub>cr</sub> 부하	kg/day	20,000	17,804
소화조 부피	m <sup>3</sup>	800	800
VLR	kg/m <sup>3</sup> .day	25.00	22.25
HRT	hr	12	12

<표 1> S사 원폐수 성상

항 목		unit	Design	Operating
유입유량		m <sup>3</sup> /day	1,600	1,969
CODcr 농도	유입수 TCODcr	mg/l	12,500	9,042
	처리수 TCODcr	mg/l	2,500	1,295
	유입수 SCODcr	mg/l	-	7,252
	처리수 SCODcr	mg/l	-	496
CODcr용적부하		kg/m <sup>3</sup> .day	25	25
가스발생량		m <sup>3</sup> /kg.COD	0.42	0.45
		Nm <sup>3</sup> /day	6,720	5,700

〈표 2〉 IC Reactor 운전 결과

바이오가스 발생량은 0.45m<sup>3</sup>/kgTCODcr이었다. 바이오가스의 메탄 함량은 약 71%, LHV(Low Heating Value)는 약 6500kcal/m<sup>3</sup>로 시간당 약 2.3Ton의 스팀 생산이 가능하다.

IC Reactor 설치 이후, S사는 1)바이오가스 전량을 스팀 보일러 연료로 사용 2)슬러지 발생량 감소로 슬러지 처리 비용 감소 3)폭기조 필요산소량 감소로 브로워 동력 절감 4)약품비 절감의 효과를 거두고 있다.

〈표 3〉에 IC Reactor 설치 전후의 운전비를 비교하였는데, S사는 연간 약 10억원의 운전비 절감 효과를 거두고 있다.

항 목	단 위	개선 전	개선 후	비 고
폐수처리량	톤/일	1200	1200	
전 력 비	천원/일	900	375	
약 품	천원/일	1512	984	
폐기물처리비	천원/일	2,000	1,000	
바이오가스	천원/일	0	1,860	
연간 운전비	백만원/년	1,170	174	

〈표 3〉 S사의 IC Reactor 설치 전후 폐수처리장 운전비 비교

#### 4. 맺음말

점차 환경규제가 강화되면서 대부분의 산업체는 많은 돈을 들여 폐수처리장을 개선하고 있지만, 일반적으로 폐수처리장은 투자만 있고 투자비 회수는 불가능한 것으로 인식되고 있다. 그러나 고품질기성 소화조인 IC Reactor를 도입함으로써 S사의 경우처럼 폐수처리장 운전비를 절감하고 더불어 바이오가스를 회수하여 사용하면 투자비 회수가 가능할 것이다. 최근 국제 유가 상승으로 대다수 산업체는 에너지 사용을 줄일 수 있는 방법을 모색하고 있는데, IC Reactor가 해결 방법중의 하나가 될 수 있을 것이며, 더 나아가 원가절감에 기여할 수 있을 것이다.