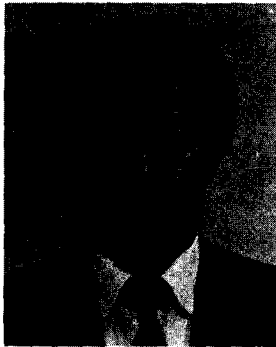


## 1. 서 론

# 혐기성 반응기의 종류와 특징



황 경 업

(KAIST폐기물 연구실·공박)

19세기말부터 생물학적 혐기성공정은 한편으로는 유기성폐기물의 처리에, 다른 한편으로는 여기서 부산물로 발생하는 가연성인 바이오가스를 생산할 목적으로 이용되어 왔다.

혐기성반응기의 효시라할 수 있는 100여년 전의 반응기들은 고행폐기물의 안정화가 우선의 목적이었고 통속에 단순히 유기성폐기물 등의 원료를 장기간 저장하는 정도였다. 그 후 폐수처리에 대한 중요성이 부각되면서 미국, 영국, 불란서, 독일 등지에서 Talbot Tank, Septic Tank, Imhoff Tank 등의 반응기들이 개발되었다.

온도조절에 의하여 가스발생이 가속되는 것이 발견된 후 1922년 독일에서 반응기를 가열할 목적으로 바이오가스를 저장하기 시작하였고 혐기성 발효의 보급이 확산됨에 따라 1927년에는 바이오가스엔진이, 그 10년 후에는 압축된 바이오가스를 이용한 자동차도 출현하였다.

이 당시 혐기성공정의 처리대상물질은 주로 폐수처리에서 나오는 잉여슬러지에 국한되었으나 2차대전 이후 농축산폐기물이 처리대상으로 부각되면서 불란서에서는 1951년도에 1000여기의 반응조가 설치되었고 우리나라에서도 1960년대에 29,000대의 소규모 메탄발효조가 농가에 설치되었었다.

잉여슬러지 이외에 산업폐기물의 혐기성 처리도 일시적으로 시도 되었었으나 공정상의 문제점과 원유값의 하락에 의하여 또한 폐기물 처리문제가 크게 부각되지 않아 이 방면으로의 응용은 거의 중단되었었다. 그러나 최근에 들어 환경문제가 고조됨에 따라 폐기물의 경제적인 처리방법으로서, 또한 대체에너지 개발의 일환으로 혐기성공정의 개발이 부각되

### ■ 목 차 ■

1. 서 론
2. 혐기성 공정
3. 혐기성 반응기의 조건
4. 여러가지 혐기성 생물 반응기
5. 반응기들의 비교
6. 주정폐수 처리 예
7. 맺음말

기 시작하여 여러가지 미생물학적인 연구결과  
의 발표와 아울러 새로운 반응기들이 선보이  
고 있다.

혐기성반응기는 개선정도에 따라 3 가지 부  
류로 나눌 수 있다. 첫째로는 중국, 인도 등지  
에서 바이오가스를 획득할 목적으로 사용되고  
있는 밀폐된 통모양의 단순반응조일 것이며  
둘째로는 슬러지 처리에 사용되고 있는 재래  
식의 혐기성소화조이며 세번째는 그 후 개발  
되어온 신종의 반응기들일 것이다. 본고에서

는 이 반응기들의 개선의 핵심이 되고 있는 몇  
가지 조건과 산업폐수처리에 사용되고 있는  
새로운 반응기들을 중심으로 그 특성을 살펴  
본다.

## 2. 혐기성공정

혐기성공정에서 고분자 유기물질의 분해과  
정은 그림 1에 나타난 바와 같이 적어도 4단계

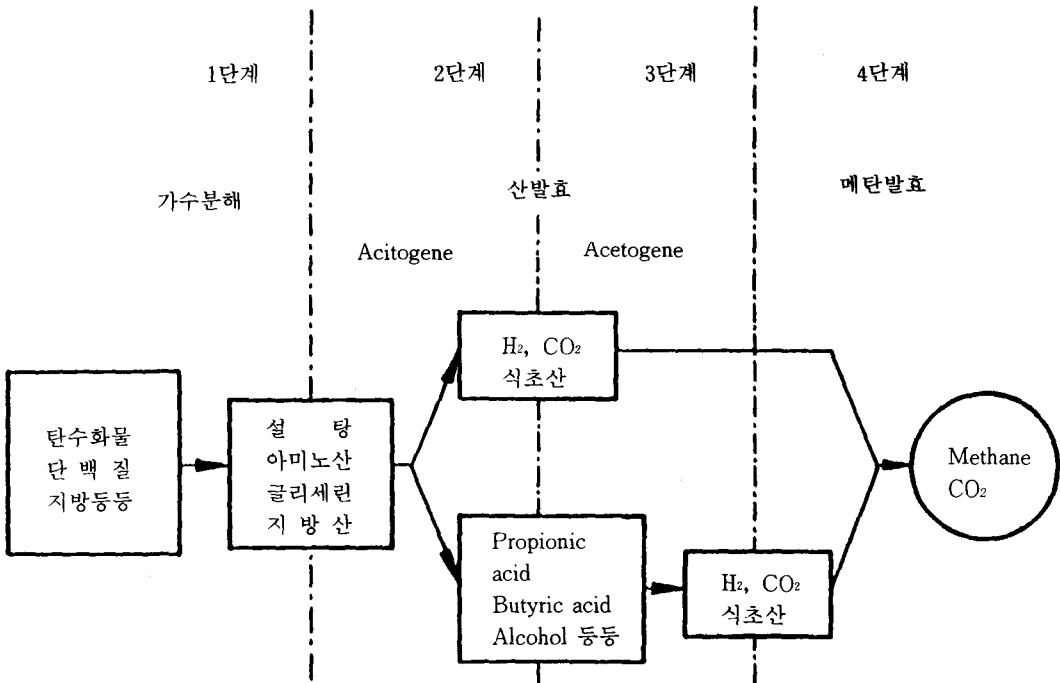


그림 1 유기물질의 혐기성 분해과정

를 거쳐서 일어난다. 첫번째 단계에서는 탄수화물, 단백질, 지방과 같은 고분자물질이 가수분해에 의해 그 구성체인 설탕, 아미노산, 글리세린과 지방산으로 분해된다. 이 생성물들은 두번째 단계에서 Acitogene 박테리아에 의해서 수소, 탄산가스 저급지방산, 알콜 등으로 분해되나 이 중 수소, 탄산가스, 식초산만 메탄 박테리아에 의해 메탄으로 변환된다. 세번째 단계에서는 그 외의 생성물들이 메탄 박테리아와 공생관계에 있는 Acetogene 박테리아에 의해 메탄 박테리아가 처리할 수 있는 수소, 탄산가스, 식초산 등으로 분해되며 이들은 네번째 단계에서 최종적으로 메탄 박테리아에 의해 메탄으로 변환된다.

이와 같은 연쇄적으로 일어나는 반응에서 고분자 유기물이 최종생성물까지 분해되려면

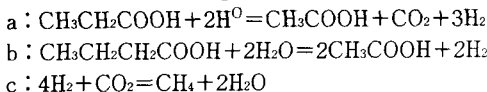
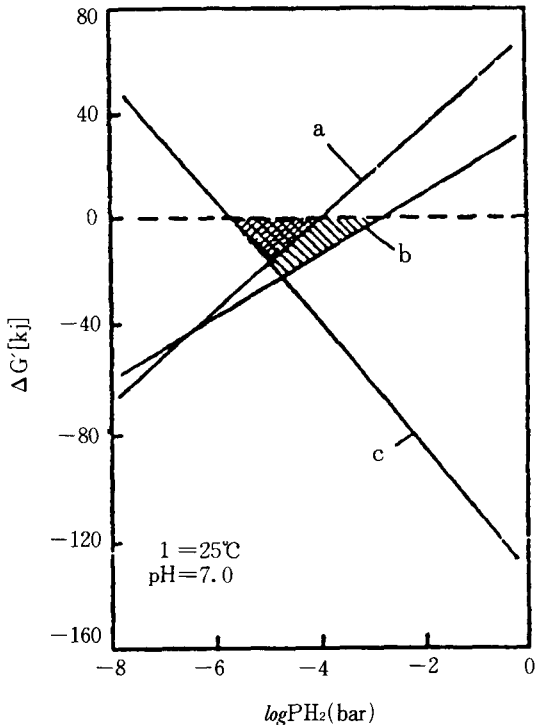


그림 2 휘발성 지방산 분해시 수소분압에 의한 free enthalpy의 변화

중간생성물인 유기산의 축적이 없도록 미생물 간의 활동에 조화가 이루어져야 한다. 기질내에 수소분압은 각 분해과정 생성물의 분배에 제어적 역할을 한다. 그림 2에 나타나 있듯이 산발효 생성물들은 열역학적으로 특정한 범위의 수소분압내에서만 메탄으로 분해될 수 있다. 기질내 수소 분압의 조절은 수소를 생성하는 acetogene 박테리아와 수소를 소비하는 메탄 박테리아의 자연적인 공생관계에 의해 이루어진다. 그러므로 이 공생관계에 장애가 오면 반응기내에 유기산들이 축적되며 특히 그림 2에 나타난 있듯이 높은 수소분압에서는 분해가 안되는 프로피온산의 축적이 괄목하게 나타난다.

이 전체과정에서 율속단계는 그림 1의 제 4 단계인 메탄화과정으로 알려져 있기도하고 제 3 단계인 acetogene 과정으로 알려져 있기도하다. 그러나 기질내에 공형물이 존재하면 제 1 단계인 가수분해가 율속단계로 알려져 있다. 혐기성공정은 기질의 조성, 농도, 온도, pH, Redox potential 등 주변조건에 크게 영향을 받으며 때로는 폐수에 함유되어 있는 물질에 의하여 심한 장애를 받기도 한다. 표 1과 표 2는 몇가지 주변조건과 여러 가지 물질이

〈표 1〉 혐기성공정 조건개요

Parameter	적정조건	공정장애	비 고
온 도	35°C 55°C	< 30°C > 65°C	< +2°K/일 : 장애 < +0.5°K/일 : 장애
pH	7.0	< 6.2 : 산장애 > 8.0 : NH <sub>3</sub> 장애	
Alkalinity	1.5 g/ℓ as CaCO <sub>3</sub>	< 1.5 g/ℓ : pH 감소 > 5.0 g/ℓ : 염장애	
휘발성 지방산	0.6-1.5 g/ℓ pH 7-7.6	> 2g/ℓ as HAC 산장애	Indicator
N/C비율	0.06-0.12	< 0.06 C 분해 장애 > 0.12 암모니아 과다발생	

〈표 2〉 혐기성공정에 미치는 물질의 영향

물 질	농 도 [mg/l]	영 향	공 정	체류시간 [h]	부하속도 [gVS/l.d]	pH	T	배 지
Cat(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	6,000	crit.	S	15	0.5	7	35	식 초 산
KCN	100	crit.					54	포 도 당
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	40	toxic	S	5.5	7.8		51	합 성 폐 수
Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2	no eff.	S	5.5	7.8		51	“
CuCl <sub>2</sub>	397	toxic	C	20	0.8		35	오 니
CuSO <sub>4</sub>	397	no eff.	C	20	0.8		35	“
CuSO <sub>4</sub>	25	inhob.	C	17	0.6u.1.2	30		“
Cu(CN) <sub>2</sub>	500	crit.					54	포 도 당
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	38	toxic	S	5.5	7.8		51	합 성 폐 수
K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	88	crit.					54	포 도 당
Cr(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O	13	crit.					54	“
FeCl <sub>3</sub>	1,396	no eff.	C	20	0.8		35	오 니
HgCl <sub>2</sub>	1,478	crit.					54	포 도 당
HgNO <sub>3</sub>	764	crit.					54	“
KHCO <sub>3</sub>	7,800	crit.	S	15	0.5	7	35	식 초 산
Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	3,000	crit.	S	15	0.5	7	35	“
Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> COO	6,500	no eff.	S	30	2.0	7	35	“
NaCl	30,000	crit.					54	포 도 당
Na(HCO <sub>3</sub> )	8,000	crit.	S	15	0.5	7	35	식 초 산
NaNO <sub>2</sub>	100	crit.					54	포 도 당
NaNO <sub>3</sub>	100	crit.					54	“
NH <sub>4</sub> (HCO <sub>3</sub> )	4,500	crit.	S	15	0.5	7	35	식 초 산
NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub>	7,000	inhib.	C	15		7.9	35	“
NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub>	5,000	no eff.	S	30	2.0	7	35	“
NiCl <sub>2</sub>	367	toxic	C	20	0.8		35	오 니
NiSO <sub>4</sub>	367	no eff.	C	20	0.8		35	“
S <sup>2-</sup>	200	crit.						
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	20,000	toxic	C	33			37	식 품 폐 수
ZnCl <sub>2</sub>	409	toxic	C	20	0.8		35	오 니

물 질	농 도 [mg/l]	영 향	공 정	체류시간 [h]	부하속도 [gVS/l.d]	pH	T	배 지
ZnSO <sub>4</sub>	409	no eff.	C	20	0.8		35	“
ZnSO <sub>4</sub>	400	inhib.	B				22	생 활 하 수
ZnSO <sub>4</sub>	700	inhib.	C	10.5				“
ABS*	50	crit.	C				54	포 도 당
ABS*	3.3mg/g	toxic	C	40			35	오 니
ABS*	272	no eff.	C	40			35	“
Vinylacetate	400	crit.	B				35	에 타 놀
Vinylacetate	1,200	crit.	C	15		7.0	35	“
Methylenchloride	3.16	crit.	B				35	“
Methylenchloride	1.8	crit.	15			7.4	35	“
Ethylenchloride	2.5	crit.	B				35	“
Ethylenchloride	7	crit.	C	15		7.0	35	“
Vinylchloride	10	crit.	B				35	“
Vinylchloride	64	crit.	C	15		7.0	35	“
o-Cresole	500	crit.					54	포 도 당
m-Cresole	1,000	crit.					54	“
p-Cresole	1,000	crit.					54	“
Formaldehyde	200	inhib.	B				22	생 활 하 수
Formaldehyde	100	inhib.	C	10.5				“
Kanamycine	5,000	crit.					54	포 도 당
Penicillin	5,000	crit.					54	포 도 당
PCB	500	crit.					54	“
PCP	10	crit.					54	“
Phenol	500	inhib.	B				22	생 활 하 수
phenol	700	inhib.	C					“
Schwerol	30,000	crit.					54	포 도 당
Streptomycin	5,000	crit.					54	“
Toluol	500	crit.					54	“
VA(undiss.)	60	toxic	C	15		6.5	35	식 초 산

\*ABS : Ankybenzolsulfonate

용어해설

crit. : 장애가 나타나지 않는 최고농도

inhib. : 부분장애

toxic : 완전장애

no eff : 장애 없음

B : 회분식

C : 연속식

S : 연속식 중 충격부하

혐기성 공정에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

### 3. 혐기성반응기의 조건

안정된 혐기성공정을 유지하기 위하여는 주변조건이 적합하여야 할 것이나 이것이 주어진 상태에서 반응기가 갖추어야 할 조건은 우선 혐기성박테리아의 낮은 증식률을 감안하여

반응기내에 적절한 양의 미생물농도가 유지되도록 하는 것이며 아울러 균일한 물질전달이 보장되어야 하고 kinetic조건에 반응기 형태가 맞아야 할 것이다.

#### 가. Kinetic

표 3[1]은 혐기성공정의 kinetic data를 정

(표 3) 혐기성공정의 Kinetic data

Culture	Substrate	Temp. [°C]	$\mu_{max}$ [1/h]	$K_m$ [mgCOD/l]	Y <sub>B/S</sub>		K <sub>a</sub> [1/d]	문헌
					g VSS	g COD		
Pure culture	Acetic acid	37	0.013	164	0.04	0.0008	[1]	참조
	Sodium acetate	36	0.025	320	0.033	-	"	
	Glucose	27	0.018	369	-	-	"	
	Acetic acid	33	0.004	30	0.03	-	"	
	"	-	0.008	257	0.024	-	"	
	"	-	0.002	96	0.036	0.001	"	
Mixed culture	Palm oil	-	-	4000	0.14	-	"	"
	Glucose+ Peptone	-	0.011	3000	0.19	-	"	

리한 것이다. 이 값들에 의하면 메탄 박테리아의 기질분해량에 대한 생성수율 Y<sub>B/S</sub>는 기질이 식초산 인 pure culture인 경우 약 0.03 g VSS/g COD로 나타난다. 이 값을 Y<sub>B/S</sub>=0.40 g VSS/g COD [2]인 호기성의 경우와 비교하면 혐기성공정의 경우 호기성공정 값의 약 1/10에 미친다. 즉 혐기성 박테리아는 호기성 박테리아에 비하여 같은 양의 기질을 분해하였을 때 약 10배 정도 더디게 자란다. 한편 메탄 박테리아의 최대 성장속도가  $\mu_{max}=0.018$  1/h로서 호기성 박테리아의 값( $\mu_{max}=0.30$  1/h [2])보다 훨씬 느리나 이들 두 값에 의해서 결정되는 최대 기질분해속도를 양쪽의 경우에 비교하여 보면 :

호기성의 경우

$$\frac{\gamma_s}{C_s} = \frac{\mu_{max}}{Y_{B/S}} = \frac{7.2}{0.40} = 18.0 \frac{\text{g COD}}{\text{g VSS} \cdot \text{d}}$$

혐기성의 경우

$$\frac{\gamma_s}{C_s} = \frac{U_{max}}{Y_{B/S}} = \frac{0.432}{0.03} = 14.4 \frac{\text{g COD}}{\text{g VSS} \cdot \text{d}}$$

이어서 혐기성공정의 경우가 호기성에 비해 크게 뒤지지 않음을 알 수 있다. 즉, 생물반응기내에 미생물의 농도를 높이면 혐기성 생물반응기도 호기성 생물반응기에 유사한 성능을 가질 수 있다.

메탄 박테리아의 낮은 증식률은 일면 혐기성공정에 의한 폐수처리 후 슬러지 후처리문제를 격감시키나 그림 3에 나타나듯이 박테리

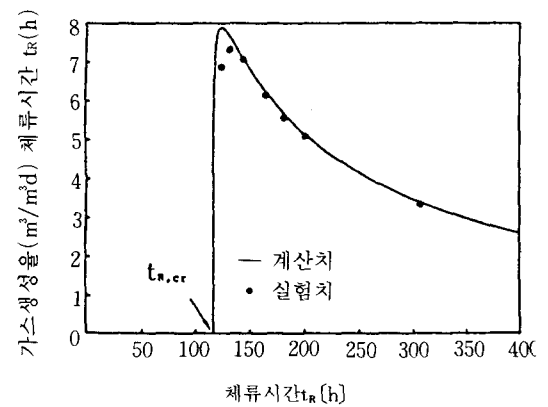


그림 3 박테리아의 가스생성율과 체류시간

아의 증식시간보다 체류시간이 짧으면 박테리아의 wash-out 현상이 일어나 반응기내 체류시간이 길어야 하는 단점이 있다. 그러므로 공정의 안정성과 효율을 높이기 위하여 반응기내 미생물의 체류시간과 폐수의 체류시간을 분리하여야 한다.

기질이 식초산인 경우 포화상수는 약 250mg COD/l이다. 그러므로 식초산과 같이 분해가 용이하여 포화상수가 낮은 폐수를 효율적으로 처리하려면 반응기는 완전혼합식이 바람직하다. 그러나 많은 경우 폐수내에는 휘발성 지방산 뿐 아니라 고분자의 유기물질이 기질내에 포함되어 있어 표 3의 Mixed culture값과 같이 식초산의 경우보다 훨씬 높은 포화상수를 나타낸다. 그러므로 혐기성공정의 유출수 농도가 최소한 호기성으로 처리될 수 있는 약

3g COD/1 정도가 되게 하거나 그 이하로 되게 하려면 박테리아는 항상 Substrate limit 상태에 있게 된다. 그러므로 이러한 경우 반응기의 성능을 높이려면 기질장애가 없는 한 반응기 형태는 관형 반응기나 다단식 연속 교반기 형태이어야 할 것이다.

나. 반응기내의 물질전달

생물반응기내에서 먹이가 박테리아에 의해 섭취 되기까지는 여러가지 경로를 통해 이루어진다. 이 경로는 그림 4a에 나타난 바와 같

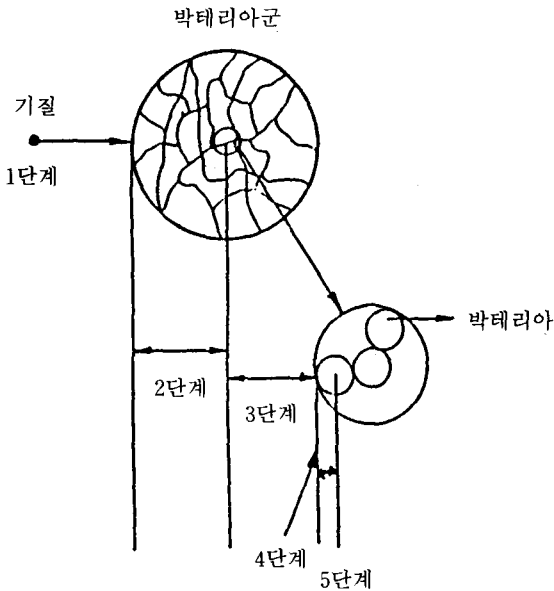


그림 4a 반응기내에서 기질로부터 미생물로의 물질전달 경로

이 나눌 수 있다. :

1. 기질내에서 미생물군 표면까지의 운반과정

2. 박테리아군 내부에서 미생물로 운반과정
3. 미생물 표면에 흡착
4. 미생물 세포막 통과
5. 미생물 내부에서의 운반과정

첫번째 과정은 유체내에서 일어나므로 이 과정에 의한 율속은 유체의 강한 흐름에 의해 없앨 수 있다. 물론 이 때 흐름의 필요한 강도는 미생물군 내부의 반응속도와 미생물군의 크기에 영향을 받는데 미생물군 내부의 반응속도가 낮고 기질내의 물질전달 속도가 크면 미생물군의 표면에 농도 구배가 생기지 않으나 반응속도가 높고 물질전달 속도가 낮으면 농도 구배가 생기가 된다[3]

두번째 경로는 거의 분자운동에 의한 것이므로 미생물군의 크기를 될수록 작게 하여야 이 과정에 의한 율속을 피할 수 있다. 미생물막의 경우 Henze와 Harremoes[4]에 의하면 미생물막의 두께가 1mm 이상이 되면 물질전달 저항이 뚜렷이 나타난다고 한다.

세번째 경로인 흡착은 순간적으로 일어나므로 율속단계에서 제외된다.

네번째와 다섯번째 경로는 분자운동에 의한 것일 것이나 아직까지 이에 대해 뚜렷이 알려진 바가 없다. 다만 호기성 박테리아의 경우 흡착된 먹이가 완전히 분해되기까지는 약 30분이 걸리는 것으로 알려져 있다[5].

열거한 부분경로 외에 바이오가스가 미생물의 표면에 부착하면 물질전달이 저해된다. 물질전달은 바이오가스가 붙지 않은 쪽으로만 이루어지므로 이 저해현상은 미생물막의 경우 더욱 심하게 나타날 수 있는데 이는 그림 4b에서와 같이 미생물이 담체와 기포에 의해 외부와 완전히 차단될 수 있기 때문이다. 이러한 저해현상은 실험결과[6]에도 잘 나타나 있어 담체를 사용할 경우 미생물 표면에 붙은 기포는 될수록 신속히 제거되어야 한다.

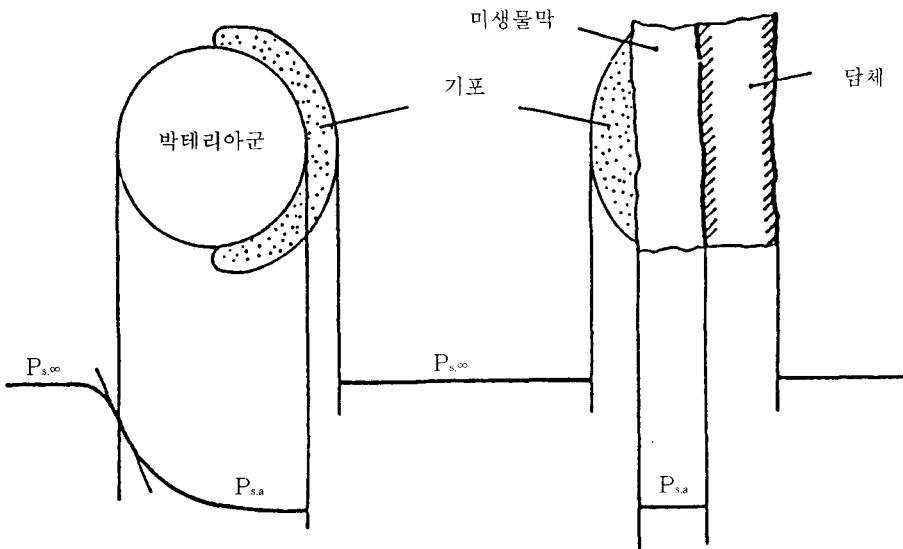


그림 4b 물질전달에 대한 기포의 영향

#### 4. 여러가지 혐기성 생물반응기

##### 가. 단순구조 반응기

중국, 인도 등지에서 사용하고 있는 이 반응기는 바이오가스를 획득할 목적으로 설치되었다.

그림 5는 중국에 널리 보급되어 있는 혐기

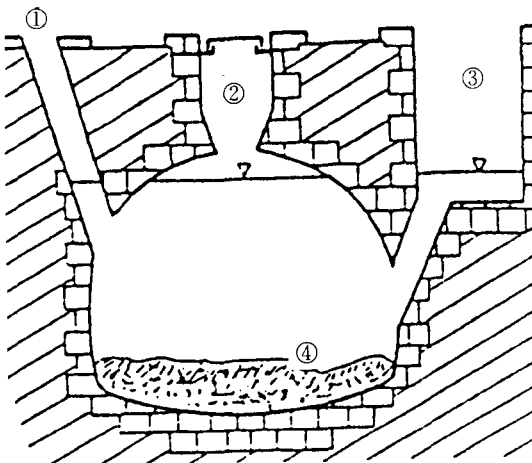


그림 5 중국식 메탄발효조

성 반응기를 나타낸 것이다. 반응기는 구형으로 벽돌 등으로 건축되어 있다. 공정은 비연속식이며 1년에 두번 정도 인분, 가축분, 나뭇잎, 기타 농축산폐기물로 채운 후 가스발생량이 줄어들면 3일에서 10일 간격으로 폐기물을 추가로 투입시킨다. 하루에 발생하는 가스량은 반응기 1m<sup>3</sup>용적당 약 0.1-0.2m<sup>3</sup>로 한가족에게 필요한 연료를 공급한다. 이 반응기는 중국 뿐 아니라 인도에도 보급되어 있으며 중국에서는 크기가 8-13m<sup>3</sup> 정도되는 소형반응기가 1975년과 1978년 사이에 약 700만개가 설치되었다.

이 보다 약간 개량된 형태는 그림 6의 인도식 반응기이다. 이 반응기는 가열장치와 교반장치가 설치되어 있기도 한다. 기질은 거의 전적으로 희석한 우분을 사용하며 대개 채류시간 25일로 매일 투입한다. 발생가스량은 반응기 1m<sup>3</sup>당 하루에 약 0.4m<sup>3</sup>이다. 반응기의 크기는 약 4-30m<sup>3</sup>이며 약 70,000개가 설치되어 있다.

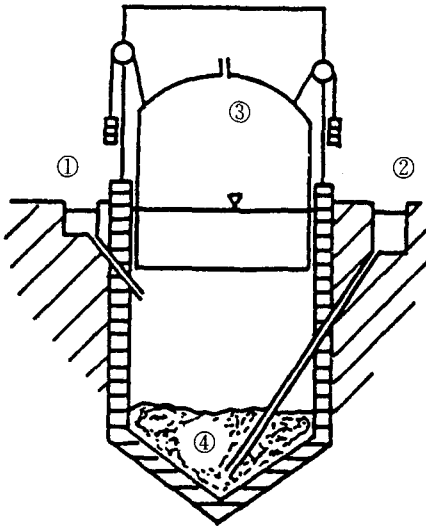


그림 6 인도식 메탄발효조

나. 재래식 반응기

그림 7은 슬러지를 처리하는 현재의 혐기성

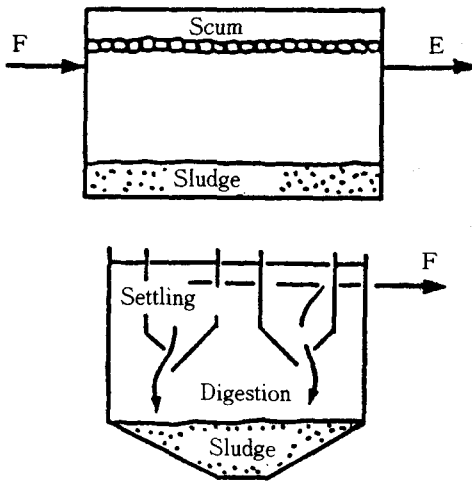


그림 7 재래식 메탄발효조(Septic Tank와 Imhoff Tank)

소화조의 전신인 반응기이다. 발명자의 이름에 따라 Septic-Tank, Talbot-Tank 또는 Imhoff-Tank로 불리우는 이 반응기들은 가열, 교

반장치가 없어 미생물의 활성이 낮을 뿐 아니라 반응기내에 침적층과 부유물층의 형성되어 (Imhoff-Tank의 경우 Gas-Sludge 분리가 설치됨) 기질과 미생물간의 접촉면이 지극히 제한되므로 성능이 저조하다. 슬러지 안정화에는 대개 몇달이 걸렸다.

그림 8의 혐기성소화조는 이 반응기들을 개

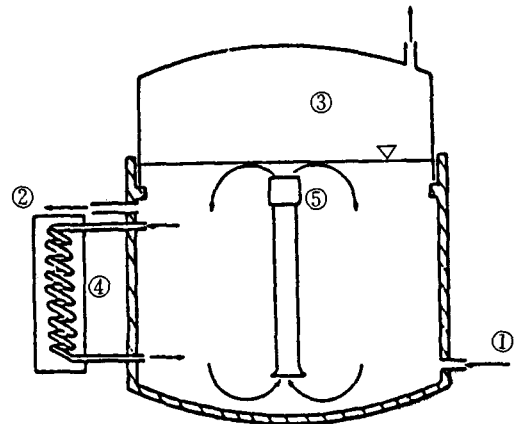


그림 8 혐기성소화조

선한 것으로서 30-37°C의 온도를 유지하며 교반장치가 설치되어 있다. 교반방법으로는 매 2-4시간마다 간헐적으로 환류시키거나 압축된 바이오가스를 반응기 하부로 부터 상승시키기도 한다. 반응기의 크기는 500-몇천 m³에 달하며 큰 반응기의 경우 위의 두가지 교반방법을 함께 사용하여도 교반효과가 충분치 못할 수 있다. 슬러지 안정화에는 약 11-30일이 걸린다.

다. 새로운 혐기성 생물반응기

언급되었듯이 혐기성반응기의 효율을 높이려면 미생물과 기질의 체류시간을 분리하여 반응기에 높은 미생물농도를 유지하여야 하며 미생물로의 물질전달을 원활하게 하기 위하여 균일하게 교반이 되어야 한다. 새로운 반응기



들에서도 이 두가지 기능의 실현에 개발의 초점이 모아져 있다.

박테리아의 체류시간을 기질의 체류시간과 분리시키는 방법으로는 크게 나누어서 비고정화된 박테리아에 대한 것과 고정화 박테리아에 대한 것이 있다. 비고정화 박테리아의 경우 박테리아를 반응기 내부 또는 외부에서 침전시키거나 다른 물리적 방법으로 박테리아를 기질로부터 분리시키며 고정화의 경우 반응기내 담체에 박테리아를 고정시킴으로써 박테리아의 체류시간을 기질의 체류시간과 분리시킨다.

그림 9는 개선된 혐기성반응기들을 나타낸 것이다. 다음에는 이들 중 가장 많이 사용되고 있는 몇가지 반응기를 중심으로 살펴본다.

### 1) 비고정화 박테리아 생물반응기

#### 가) Contact Process

Contact Process는 그림 9에 나타난 바와 같

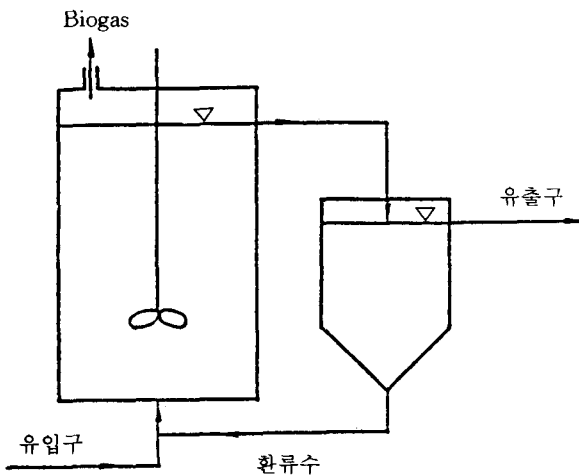


그림 9 Contact Process

이 교반기와 침전지로 구성되어 있다.

반응기로부터 흘러 나가는 유출수에 포함된 박테리아는 침전지에서 기질로부터 분리되어 침전된 후 반응기로 다시 환류되며 반응기내의 적절한 교반은 박테리아와 기질의 접촉을 원활하게 한다.

그러나 이 장치의 주된 문제점은 침전에서의 박테리아 침전에 있다. 박테리아의 비중은 약 1.03으로서 물과 비중차이가 별로 크지 않을 뿐더러 박테리아에 붙은 기포에 의해 침전은 더욱 어려워지기 때문이다. 그러므로 환류수내의 박테리아 농도를 높이려면 침전지가 커야 하겠으나 그에 따라 침전시간도 길어지게 되며 이 시간동안에도 기포 발생은 계속되어 침전은 결국 어려워지고 만다. 한편 반응기의 부하속도를 높이면 침전지로 유입되는 정화수내에는 잔류 유해물질 농도가 높게 되며 따라서 기포 발생량도 많게 되어 침전은 더욱 저해받게 된다.

침전상태를 개선하기 위하여 여러가지 방법이 시도되었다. 반응기와 침전기 사이를 진공으로 하여 가스를 뽑아 내기도 하였고[7] 침전지 내의 박테리아 활성을 낮추어 기포발생을 저지하기 위해 침전지를 냉각시키기도 했다[8]. 그러나 후자의 경우는 방대한 양의 침전지를 냉각시키기 위해 드는 경비 때문에 실질적인 사용이 어렵다 하겠다. 필터나 원심분리기를 사용하여 반응기로부터 나오는 유출수에서 박테리아를 직접 분리하기도 한다. 그러나 필터는 막힘현상 때문에 처리수의 양이 많을 때 사용이 곤란하며, 원심분리기는 박테리아의 비중이 물의 비중과 큰 차이가 없는 만큼 원하는 농도의 박테리아를 물로부터 분리하려면 많은 에너지가 필요하다.

현재 현장에 투입된 것으로는 여러개의 격막으로 만들어진 Lamella 침전지 [9]와 응집제[10]가 있다. 그러나 이 방법도 폐수의 조성

에 따라 거의 그 효과가 나타나지 않을 수가 있다[10].

Contact Process의 이러한 단점을 보완하기 위한 것으로서 그림 10의 Clarigester와 그림 11의 CASBER가 있다. Clarigester가 Contact

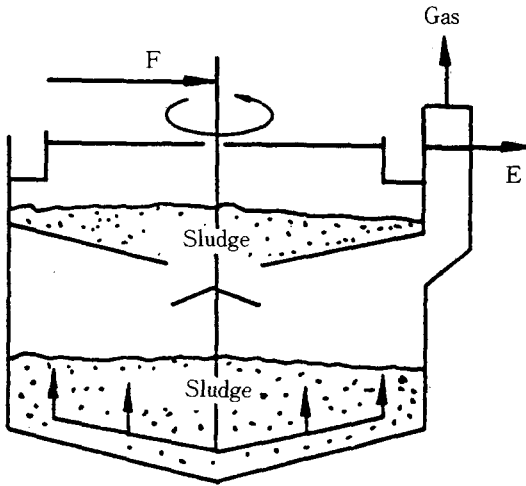


그림 10 Clarigester 반응기

Process와 다른 점은 반응기내의 미생물에 전 단력을 될수록 적게 줌으로써 미생물의 flog이 형성되도록 하기 위해 교반을 전혀 시키지 않는 것이다. 그 대신 유입수는 반응기 하부에 설치된 회전판에 균일한 간격으로 뚫린 구멍을 통하여 농축된 박테리아층으로 분산된다. 또한 침전지도 반응기 상부에 설치되어 있어 장치의 단순화를 꾀하였다. 그러나 이 반응기에서도 미생물의 침전이 가장 핵심적인 문제로 대두되고 있으며 침전지가 반응기 내부에 있어 반송슬러지 양을 조절할 수 없는 단점이 있다.

CASBER(Carrier Assisted Sludge Blanket Reactor 또는 Carrier Assisted Contact Process Recycled Bed) 반응기에서는 반응기내에 약 3%의 담체를 투입함으로써 슬러지의 침전성을 높이며 동시에 교반이 가능하도록 구상한 것이다. 지금까지 실험실규모에서 부하속도가 24kgCOD/m<sup>3</sup>d까지 실험되었다.

Contact Process에서는 폐수의 농도가 약 5g COD/l인 경우 미생물농도가 약 5-10 g /l, 부하속도가 2-6kgCOD/m<sup>3</sup>d 정도이며 20-80 g COD/l의 고농도 폐수처리시에는 미생물의 농도가 20-30 g/l가 됨으로써 부하속도도 5-10kgCOD. m<sup>3</sup>d가 된다. 표 4[10-15]는

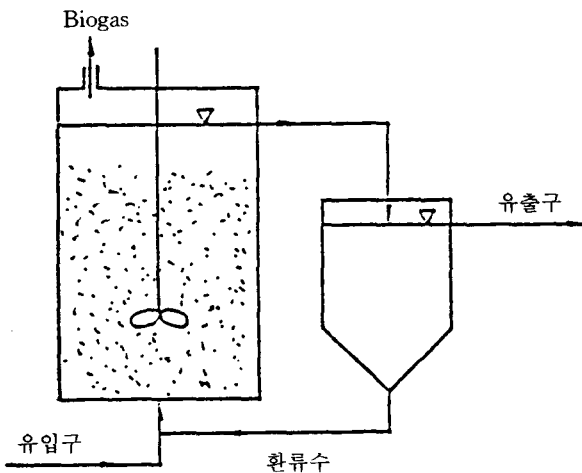


그림 11 CASBER 반응기

〈표 4〉 Contact process 사용예 [10-15]

크기 [m <sup>3</sup> ]	폐수종류	COD [g/l]	HRT [d]	부하속도 [kgCOD/m <sup>3</sup> d]	제거율 [%]	비고 (문헌)
6000	슬러지열처리액	14.5	7.9	1.8	70	[17]
220	유가공공장폐수	*1.5	0.6	**2.5	95	[18]
2600	"	*1.7	0.5	**3.0	64	[19]
3000	통조림공장폐수	20.0	7.0	3.0	95	[20]
140	우유가공폐수	3.0	1.5	1.7	70	[21]
10000	구연산제조폐수	32.5	8.0	3.0	85	[22]

\* : kgVS/m<sup>3</sup>

\*\*VS/ml/d

Contact Process의 예를 든 것이다.

### 나) Sludge Bed Reactor

Upflow Anaerobic Sludge Blanket(UASB)로 불리는 이 반응기의 특징은 내부에 혼합장치가 전혀 없고 Imhoff-Tank로 부터 아이디어를 물려받아 반응기 상부에 깔대기 모양의 가스-슬러지 분리대를 장치한 것이다.

그림 12는 이 반응기를 나타낸 것이다. 기질

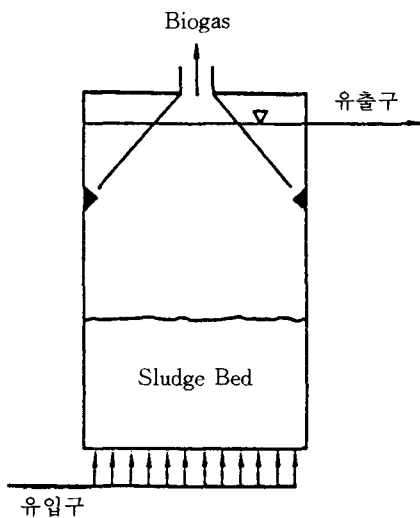


그림 12 UASB 반응기

은 반응기 밑부분에서 일정한 간격으로 분할되어 반응기로 유입된다. 어느 정도 교반은 이 유입수에 의해 이루어지기도 하나 무엇보다도 발생하는 가스의 상승시 일어나는 난류에 의해 이루어져서 교반상태가 아주 부드럽다. 반응기 하부에는 농축된 슬러지에 의해 슬러지 상이 형성되며 상부에는 슬러지 농도가 낮은 층이 형성된다. 약 50°정도의 경사로 이루어진 가스-슬러지 분리대에서는 기포와 함께 올라온 슬러지가 가스로부터 분리되어 다시 하부로 보내어 진다.

이 방법의 성공여부를 결정짓는 선행조건은 침전이 용이한 입상의 박테리아군(Pellet)이 형성되는 것이다. 만일 Pellet가 형성되면 반

응기내 박테리아 농도는 아주 높게 유지될 수 있어(40-70 g/l)이 반응기는 비교적 높은 성능을 나타낼 수 있다. 그러나 아직까지 Pellet 형성의 조건과 과정이 밝혀지지 않아 각 폐수의 종류에 따라 시행오차를 통해서만 이 반응기의 사용가능 여부를 타진할 수 있다.

Pellet가 형성되어도 이 반응기의 성능에는 여러가지 제한점이 나타날 수 있다. 우선 이 반응기에서의 박테리아의 분포가 아주 불균일하다[16]. 이는 이 반응기내의 교반이 거의 기포의 상승운동에 의존한 것에서 기인된다. 즉, 기포는 상부로 올라 갈수록 함착에 의해 점점 커지게 되고 따라서 박테리아 농도가 낮은 상부만 적극적으로 교반되고 대부분의 박테리아가 침적되어 있는 하부는 교반상태가 좋지 않을 수 있다.

가스에 의한 교반상태는 부하속도가 높아지면 가스발생량이 많아져 어느 정도 호전될 수도 있다. 그러나 이런 경우 가스 상승속도도 증가하여 박테리아가 장치밖으로 유출될 위험이 따른다. 때로는 추가로 교반기를 장치하기도 하나 이는 예를 들어 가동초기와 같이 가스발생이 아주 저조할 경우 임시변통으로 사용하며 정상 상태에서는 형성된 Pellet가 분쇄되는 것을 피하기 위하여 사용치 않는다[17]. 형성된 Pellet는 이 외에도 폐수의 조성이 바뀌거나 부하속도도 급작히 상승하면 분해될 수가 있어 이 반응기의 신축성은 상당히 제한될 수 있다

몇몇 보고서에는 가스에 의한 교반이 충분하다고 하나 위의 문제가 tracer를 이용한 실험결과[18]로 나타난 바도 있어 설계시 최소한 유입구의 균일한 분배에 각별한 주의를 요한다. 대형반응기의 경우 유입구의 간격은 5m로 하고 있다.

이 장치의 장점은 간단한 구조와 낮은 가동비에 있다 하겠다. 그러나 단점은 무엇보다도

이 공정이 전적으로 Pellet 형성과 유지에 의존하는데 있다.

표 5[16, 19, 20]은 UASB 반응기의 사용예

〈표 5〉 UASB 사용예[16, 19, 20]

크기 [m]	폐수종류	COD [g/l]	HRT [h]	부하속도 [kgCOD/m <sup>3</sup> d]	제거율 [%]	비고 (문헌)
4700	주정공장폐수	2.5	4.9	14.1	86	[23]
1800	전분공장폐수	22.0	47.0	11.0	85	[23]
2200	감자가공폐수	4.3	17.5	6.0	80	[23]
3000	설탕공장폐수	17.0	24.0	13.3	94	[23]
1400	사탕무우폐수	3.0	4.9	14.5	85	[23]
1750	전분공장폐수	7.7	24.0	8.0	85	[23]
600	감자가공폐수	2.2	6.5	8.3	80	[23]
1500	사탕무우폐수	7.5	15.0	12.0	86	[23]
700	알코올	5.3	8.0	16.0	90	[23]
6	감자가공공장폐수 (lime중화)	3.5	6	14.0	89	[26]
1.1	슬러지열처리액	11.0	37	7.0	76	[27]

를 들은 것이다. UASB 반응기가 처음 시도된 것은 사탕수수 폐수이었고 그 후 감자가공폐수, 맥주공장폐수 등 음식료품 공장폐수 처리에 많이 사용되고 있다. 지금까지 처리결과로 보아 UASB가 성공적으로 운전되면 30℃에서 제거율 75-80% 부하속도가 6-15kg COD/m<sup>3</sup>d의 성능으로 설계된다.

## 2) 고정화 박테리아 생물반응기

미생물은 서식면이 주어지면 여기에 붙으려는 성질이 있다. 이 성질을 이용하여 생물반응기에서 폐수의 조성에 크게 관계 없이 미생물의 농도를 높게 유지할 수 있다. 그러므로 미생물을 고정화 하는 방법은 반응기내에 미생물의 농도를 높이 유지하는 관점에서 다른 방법보다 안전하고 확실한 방법이라 하겠다. 또한 고정화된 박테리아들은 어느 정도 교반 상태에서도 공간적으로 서로 밀접한 접촉상태를 유지할 수 있으므로 고정화된 박테리아를 이용한 생물반응기는 박테리아들간의 공생계를 파괴하지 않고 적극적으로 교반될 수 있는

장점이 있으며 비고정화 박테리아보다 더 오랜기간동안 활성을 유지한다[21].

담체에 미생물막이 형성되는 데에는 반응기내 유속의 역할도 있다. 미생물이 유체의 흐름 속에 놓여지게 되면 담체에 부착력이 큰 미생물만 선택적으로 고정화되며 결국 적절한 유속이 유지되는 반응기내의 미생물은 안정된 미생물막을 형성한다[22].

고정화 박테리아를 이용하는 생물반응기들은 충전물의 형태나 종류에 따라 또한 유체의 속도에 따라 기능상에서는 화학공업 장치인 유동층이나 충전탑과 같다. 이러한 반응기들은 충전물에 의해 계면이 커지는 장점이 있으나 불균일한 유체의 흐름에 의한 단락현상이 따르게 마련이어서 부분적으로 물질전달의 저해현상을 피할 수가 없다.

이런 현상은 담체가 충전된 생물반응기에서 미생물이 고정화 되지않고 비고정화 상태로 존재하여 담체 사이에 막힘현상을 유발할 때 더욱 심하게 나타날 수 있다. 유체가 정체되어 있거나 유속이 아주 느리면 미생물은 대부분 비고정화 상태로 머물게 되며 이러한 부위에는 한편 미생물 표면의 가스 체류시간도 길게 되어 기질과 미생물사이의 물질전달은 더욱 더 저해되게 된다.

### 가) Anaerobic Filter

그림 13은 Anaerobic Filter를 나타낸 것이다. 기질은 반응기 밑에서 유입되어 담체 충전층을 통과하여 상부로 운반된다. 담체로는 압력손실을 줄이기 위하여 직경이 약 50cm 정도로 큰 다공질의 석재, 플라스틱 등이 사용되며 그 비표면적은 대개 200m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>이다. 이 반응기의 유의점은 담체의 종류에 관계없이 박테리아는 대부분(약 80% [4])이 비고정화된 상태로 담체 사이에 존재한다. 이로 인해 이 반응기에서 단락현상은 커다란 단점으로 지적

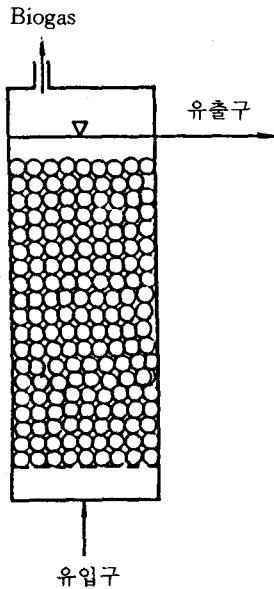


그림 13 Anaerobic Filter

되고 있으며 폐수에 고형물이 많이 함유되어 있으면 이 현상은 더욱 가중되므로 이 반응기는 주로 고형물의 함유량이 적은 폐수에 사용된다. 또한 담체 사이에 기포가 집적되고 정체하며 이는 미생물의 표면을 기질로부터 차단하며 반응용적을 감소 시킨다. 한편 가스생성이 활발하면 박테리아는 비고정화된 관계로 대형기포에 의해 반응기 상부로 운반되어 유출수에 딸려 나갈 우려가 있다.

이 반응기의 이와 같은 단점들은 거의 대부분이 반응기내의 낮은 유속에 기인한다. 이 반응기내에서의 유속은 단지 유입수에 의해서 결정되기 때문이다. 그에 따라 박테리아는 대부분 반응기 하부에 집적되며 결국 반응기의 성능은 반응기 하부의 성능에 의해 결정된다. 그러나 이 반응기 하부에서의 유체 흐름 형태는 관형반응기에서의와 유사하여 유입수가 유입구에서 희석되지 않으므로 기질장해를 일으킬 정도로 높은 농도의 폐수의 처리시는 체류시간을 아주 길게 하여야 한다.

Anaerobic Filter의 이러한 단점을 보완하기

위하여 최근에는 담체로서 공극률이 높고 단락현상을 최소화 할 수 있는 구조충전물 (Structured packing)의 사용이 활성화 되고 있으며 유속을 높이고 유입수를 희석하기 위하여 유출수를 환류시키는 방법도 시도되어 Pilot 장치에서 좋은 결과를 얻고 있다.

표 6[19, 23]에는 Anaerobic Filter의 사용예

〈표 6〉 Anaerobic Filter 사용예[19, 23]

크기 [m]	폐수종류	COD [g/l]	HRT [d]	부하속도 [kgCOD/m <sup>3</sup> d]	제거율 [%]	비고
550	전분 가공 폐수	8.8	0.9	3.8	64	2.57, firm틀
823	검 공 장 폐수	9.4	1.0	16.0	60	9cm Packing
10000	Rum 종류 폐수	95.0	7.5	8.9	75	Plastic(D)
2500	화학 공장 폐수	12.0	1.5	8.6	80	9cm Packing
2500	화학 공장 폐수	14.4	1.5	10.4	90	"
84	제약 회사 폐수	16.0	4.5	3.5	93	-
20	도살장 혈액 폐수	10-90	1-1.5	10-60	80	sinter glas
5600	포도주 공장 폐수	33.0	3	11.8	90	plastic(D)
1400	"	3.2	2	15.0	90	"
570	"	29.0	2.6	11.0	90	"
1700	사탕수수 발효 폐수	57.0	4	14.1	65	"
3000	구연산 공장 폐수	-	-	-	80	"
2270	밀전분 공장 폐수	37.5	9	4.0	97	"
140	당 밀 발효 폐수	19.7	15-2	7.5-13	77	"
82	도살장 혈액 중발 폐수	8.3	1.1	8.0	78	"
1500	주정 공장 폐수	17-70	3	10.0	85	"
300	감자전분 공장 폐수	17.0	0.8-2	20-30	55	화산슬래그
2150	주정 공장	22-40	9	2.5-3.0	87	plastic(D)
1900	화학 공장 폐수	45-48	5	8.4	90	"

\*주: (D)는 down flow, 나머지 up flow

를 정리한 것이다. Anaerobic Filter가 처음 사용될 당시는 6-8 g COD/l 의 비교적 낮은 폐수처리에 이용되었다. 당시 도달한 설계 부하속도는 약 6kgCOD/m<sup>3</sup>d이었으나 최근에 들어 반응기의 개선과 고농도 폐수처리시 10-20kg COD/m<sup>3</sup>d 정도의 높은 성능을 나타내고 있다.

나) Film Reactor

이 반응기는 Anaerobic Filter에서 고형물질이 반응기내에 집적되는 것을 피하기 위하여 개발되었다. 이 반응기는 그림 14와 같이

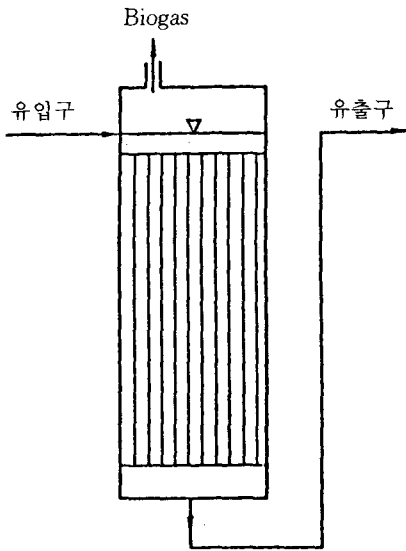


그림 14 Film reactor

Anaerobic Filter와 단지 담체의 모양과 배열에만 차이를 두고 있으며 유입구가 상부에 위치해 있다. 담체로는 관다발, 플라스틱판 등이 쓰이며 이들을 수직방향으로 채워서 반응기내에서 형성된 고형물이 담체에 얹혀 정제되는 것을 방지하였다. 이와같은 담체의 구조로 고형물은 반응기 내부에 집적되지 않고 하부에서 제거되므로 고형물이 섞인 폐수의 처리도 가능하다. 그러나 담체의 비표면적이 약  $100\text{m}^2/\text{m}^3$ 으로 Anaerobic Filter에 비해 반감된다. 또한 이 반응기에서도 유속은 Anaerobic Filter의 경우와 마찬가지로 아주 낮아 미생물막 형성이 더딜 뿐 더러 미생물막이 매우 얇아서 반응기내 박테리아 농도가 낮다. 한편 관길이방향의 낮은 유속으로 관내부 횡방향으로의 유체내 물질전달은 거의 분자운동에 의해 이루어지므로 기질내의 유해성분이 관 중앙에서 박테리아가 있는 관벽면까지 운반되려면 최저 체류시간이 주어져야 하며 이는 낮은 농도의 폐수처리시에도 지켜져야 하므로 특히 불리하다 하겠다.

다) 유동층  
그림 15는 유동층을 나타낸 것이다. 유출수

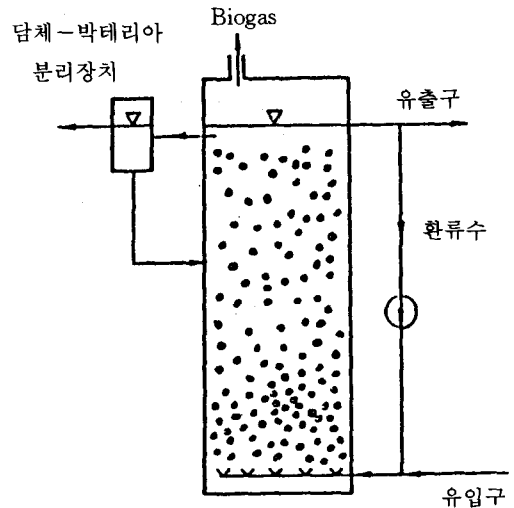


그림 15 유동층반응기

의 일부는 계속 환류되며 유입수와 반응기 밑부분에서 섞이게 된다. 반응기내부에 있는 모래와 같은 담체는 이 유입수와 환류수에 의해 유영상태에 머물러 유동층을 형성한다. 담체의 크기는 직경이 약 0.2에서 1mm에 달하며 유동시 비표면적은 약  $1000\text{m}^2/\text{m}^3$ 에서  $2500\text{m}^2/\text{m}^3$  [4]에 달한다. 이 담체표면에는 아주 안정된 미생물막이 형성되어 반응기에 존재하는 박테리아의 대부분(약 95% [4])이 고정화된 상태로 있다. 한편 박테리아가 너무 많이 자라 담체에 미생물막이 두꺼워지게 되면 이 입자의 밀도는 점점 낮아지게 되고 종래에는 유출수에 씻겨 나가게 된다. 그러므로 이런 입자는 연속적으로 담체-박테리아 분리장치에서 처리하여 담체는 다시 반응기로 보낸다.

유동층을 형성시키기 위해서는 비교적 높은 유속이 필요하므로 폐수의 반응기내 체류시간은 짧게된다. 이 짧은 체류시간에 적절한 제거율에 도달하려면 유입수보다 환류수의 양이

많아야 하며 또한 환류수의 양은 유입수의 농도가 높을수록 더 많아져야 한다. 이런 관계로 유동층은 혐기성 생물반응기중 가동비가 가장 많이드는 장치이다. 또한 반응기내 유입수의 짧은 체류시간에 기인하여 마무리 효과가 좋지 않은 단점도 지적되고 있다.

표 7[19, 23]은 현장에 적용된 유동층 반응

〈표 7〉 Fluidized Bed 사용예[19, 23]

크기 [m]	폐수종류	COD [g/l]	HRT [h]	부하속도 [kgCOD/m <sup>3</sup> d]	제거율 [%]	비율
2300	음료수공장폐수	6.9	6	9.6	77	0.6mm 모래
-	콩가공공장폐수	9.0	<24	13.0	-	0.4mm 모래
-	치즈공장폐수	-	-	27.8	70	모래
300	콩가공공장폐수	1.5	-	14.0	80	모래
390	이스트+	3.2	2	20.0	65	0.1-0.3mm 모래
	페니실린					
80	-	3.6	3.2	20.0	75	〃
165	주정공장폐수	2.3	2.1	26.3	78	부석(Biolit R)

기들을 나타낸 것이다. 이 중에서 가장 잘 알려져 있는 것은 네델란드 Delft에 1984년과 1985년 두차례에 걸쳐 설치된 것으로서 이스트와 페니실린 생산공정 폐수처리용으로 산발효공정에 연결하여 사용되고 있다.

유동층의 장점은 다른 반응기에 비하여 짧은 체류시간에 높은 처리성을 나타내는 것이다. 그러나 큰 단점은 지적하였듯이 담체를 유동시키기 위하여 사용되는 높은 에너지소비에 있다. Delft에 설치된 반응기의 경우 반응기 당 20kWh가 소모되어 입방미터 당 50W의 전력이 필요하며 이는 Contact Process에 소모되는 5W/m<sup>3</sup>의 10배가 된다.

유동층으로 처리한 폐수는 거의가 평균 1.5-3.0g COD/l의 낮은농도 폐수이다. 그러므로 부하속도가 20kgCOD/m<sup>3</sup>d 이상의 높은 성능을 나타내려면 폐수가 짧은 체류시간에 처리되어야 하므로 메탄발효조에 유입되는 폐수는 고형물이 없어야하고 충분히 산발효된 상

태이어야 한다. 이러한 이유에서 현장에 적용되고 있는 유동층반응기는 모두 산발효장치와 같이 쓰이는 이상소화법을 택하고 있다.

앞으로 유동층에서 연구되어야 할 부분은 우선 담체에 대한 것이다. 모래는 값이 싼 반면 너무 무거워서 유동시키는데 에너지 소모가 크며 부분적인 단락현상의 주원인이 되기 때문이다. 많이 연구되고 있는 것으로는 발포폴리우레탄(Bayer사), sintered glas(Schott사) 등 다공성의 담체들이다. 우리나라에서도 한국유리에서 sintered glas 개발에 성공하여 연구중에 있다.

## 5. 반응기들의 비교

### 가. 반응기의 성능

반응기의 성능은 일차적으로 폐수의 성상에 많이 좌우되므로 서로 다른 폐수처리에서 나온 Data로 비교하기에는 무리가 있으나 현장에 적용되고 있는 대형반응기들을 비교하면 대체적으로 표 8과 같다. 이에 의하면 Contact

〈표 8〉 여러가지 반응기의 성능비교

반응기	폐수농도 [kgCOD/m <sup>3</sup> ]	체류시간 [d]	부하속도 [kgCOD/m <sup>3</sup> d]	제거율 [%]
contact process	3-80	0.1-10	1-5	60-80
UASB	2-20	0.3-2	6-15	75-80
anaerobic filter	5-100	0.5-7	5-15	65-90
fluidized bed	2-9	0.1-1	10-25	65-80

Process와 Anaerobic Filter에서 고농도의 폐수처리가 가능한 반면 부하속도와 제거성능은 UASB와 유동층에서 더높다. 표 9[4]에는 Anaerobic Filter, UASB, 유동층에서 운전시 나타날 수 있는 여러가지 인자를 비교한 것이다.

〈표 9〉 여러가지 반응기들의 특성비교[4]

항 목	Contact Process	Anaerobic Filter	유동층	UASB
미생물막형태의중요성	0	(+)	+	(+)
비접촉미생물의중요성	+	(+)	0	+
미생물막두께조절가능성	0	0	+	0
환 류 필 요 성	+	0	+	0
교 반 필 요 성	+	0	0	(+)
분 리 기 의 필 요 성	+	0	0	+
상 분 리 가 능 성 1)	(+2)	(+2)	(+2)	(+2)
부유유기물처리가능성	+	(+)	0	(+)
insert물질의폐수통과	0	0	+	(+)
거 품 발 생 문 제	(+)	0	+	+
반 응 기 내 기 포 문 제	0	(+)	(+)	(+)
미생물폐수의고집축성	+	0	+	(+)
유체학적과부하신축성	(+)	+	+	(+)
유기물과부하신축성	+	+	(+)	(+)
생분해독성물질처리성	(+2)	(+2)	(+2)	(+2)
독성물질충격부하적용성	+	0	+	+
시 운 전 시 문 제 성	(+)	(+)	+	+
재 시운전의 용이성	+	+	(+)	+

+ : 있다

(+) : 부분적으로 있다

0 : 없다

1) 산발효와 메탄발효

2) 강제교반, 또는 강제순환 필요

나. 고형물농도

폐수에 함유되어 있는 고형물은 반응기의 종류에 따라 설계된 성능을 크게 저해시킬 수 있다. 특히 Anaerobic Filter 경우 고형물은 여재사이의 공간에 집적하여 단락현상을 유발하며, UASB 경우 특히 작게 분산된 고형물은 침전성이 좋은 입상의 pellet 형성을 저지할 수 있다. 이에 비하여 Contact Process와 혐기성 소화조 같은 단순교반형은 고형물농도에 거의 관계없다. 그림 16은 각 반응기에서 처리가능한 고형물농도의 범위를 나타낸 것이다.

Contact Process에서 1% 이하의 너무 낮은 고형물농도는 반응기내 낮은 미생물농도에 기인하여 경제성이 결여되나 Anaerobic Filter, UASB 등은 높은 미생물농도와 그에 따른 성능의 제고로 낮은 고형물농도의 폐수도 처리가 가능하게 되었다. 한편 Anaerobic Filter, Contact Process에서 처리가능한 폐수의 농도는 유입펌프의 성능과 교반정도가 허용하는 만큼까지 가능하나 그에 비하여 UASB의 경우는 유기고형물농도가 2.5%에 달하면 Pellet 형성에 장애를 줄 수 있다.

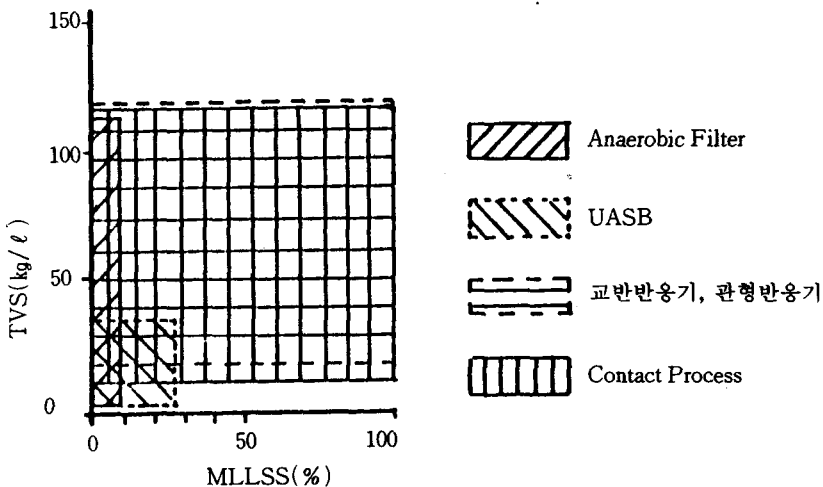


그림 16 여러가지 반응기의 고형물 처리범위



## 6. 주정폐수 처리에

우리나라에서 사용하고 있는 주정원료는 타 피오카, 절간고구마, 쌀보리이며 현재의 폐수 처리는 혐기성소화조식의 반응기에서 고온발효에 의해 체류시간 약 15일로 처리되고 있다.

주정폐수에서 가장 문제가 되었던 폐수는 쌀보리 주정폐수로서 15일 이상의 긴 체류시간에서도 종종 나타나는 공정의 불안정과 함께 제거율이 80%정도에도 미치지 못하여 후속공정인 호기성처리에 많은 어려움을 주었다.

그러나 쌀보리폐수도 반응기와 공정방법에

따라 혐기성으로 잘 처리될 수 있어 이의 예 [24]를 들어 본다.

실험에 사용한 쌀보리주정폐수는 (주)진로 식품에서 배출되는 쌀보리 주정폐수로서 Band filter로 고형물을 제거한 상태이었으며 특성은 다음과 같다 :

COD(크롬법)농도 : 25,000-35,000mgCOD/ℓ

COD(망간법)농도 : 7,000-10,000mgCOD/ℓ

pH-값 : 3.0-4.0

사용된 반응기에는 폴리우레탄재 여재를 일부 충전하였고 반응기 내부의 유체를 주기적으로 낙하시킴에 따라 여재가 하향 유동되도록(그림 17 참조)하였다. 이 주기적인 유동은

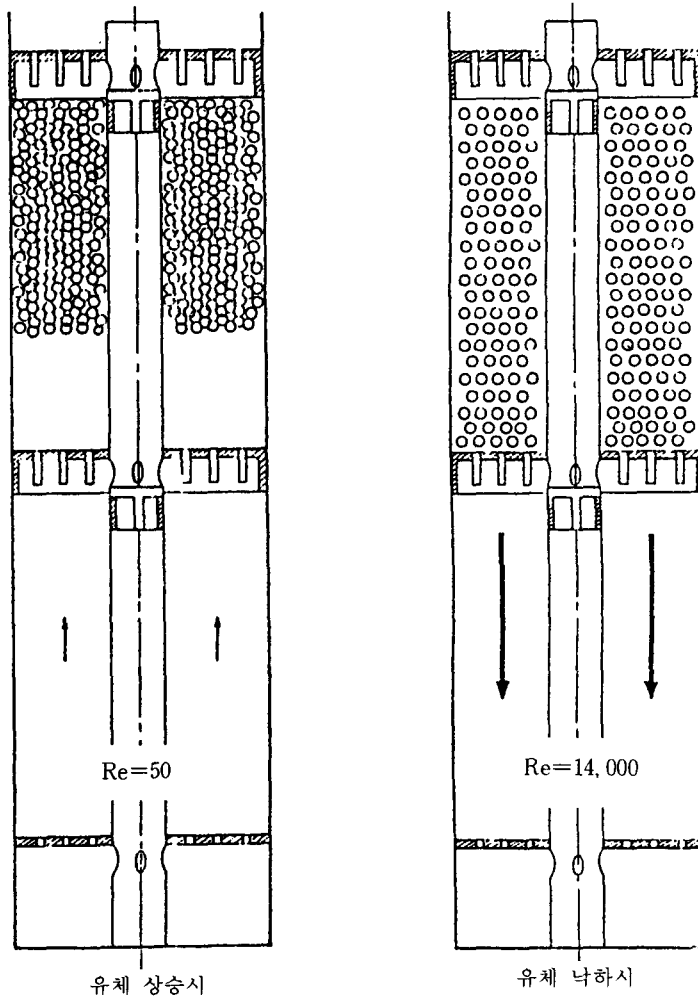


그림 17 새로운 혐기성반응기에서의 유체흐름양상

여재로의 매싱물 부착과 이 미생물로의 물질 전달을 촉진하며 반응기내에 다단식 교반기가 형성되도록 한다. 한 주기의 간격과 낙하시간은 임의로 조절할 수 있어 폐수의 농도, 조성 여하에 따라 조절이 가능하다.

반응기의 온도는 35°C이었으며 실험초기단계에서는 유입수의 pH-값을 조절하기 위하여 가성소다를 사용하였다. 공정이 안정된 후에는 pH조절 없이 원폐수를 그대로 반응기에 투입하고 장기간에 걸쳐 체류시간 하루에서 실험하였으나 공정상 불안정성이 전혀 나타나지 않았다. 다음은 2년간의 연속공정으로부터 얻은 몇가지 주요한 실험결과이다.

COD부하속도	: 35kgCOD/m <sup>3</sup> d
폐수체류시간	: 1일
COD제거율	: 95%
가스생성율	: 18m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d
메탄함량	: 약 60%

## 7. 맺 음 말

산업폐수처리에 많이 사용되는 혐기성반응기들의 특성을 살펴보았다. 혐기성 공정이 폐수처리의 최종공정은 될 수 없으나 공정자체의 경제적인 잇점과 새로운 형태의 반응기 개발과 개선으로 호기성공정의 전처리 공정으로 응용범위가 급속히 확장되고 있다.

그러나 반응기를 선정하는데 모든면을 객관적으로 비교판단할 수 있는 기준은 아직 설정되어 있지 못하여 반응기를 설정하기 이전에 그 적부성실험은 반드시 거쳐야 할 것이며 이는 특히 폐수의 종류가 같아도 조성에 큰 차이를 나타낼 수 있는 산업폐수의 특성을 보면 더욱 더 필요하다 하겠다.

여러가지 반응기들 중에서 Pellet가 형성된다면 장치의 단순성과 성능으로 보아 UASB

반응기가 아직은 가장 유리할 것이다. 그러나 UASB반응기도 적용범위와 성능의 한계가 있어 이보다 성능과 공정의 안정성이 높은 고정화 미생물을 이용하는 반응기의 개발과 선택이 앞으로 더 높아질 것이다. 특히 적절한 담체의 개발과 공정방법은 이를 가능케하여 주고 있다.

## 참고문헌

1. 황경업, "생물학적 혐기성 공정용 Bioreactor 특성 연구", 한국과학기술원 보고서(1988)
2. Wiesman, U., Chem.-Ing. Techn., 58, 464(1986)
3. Brauer, H., "Stoffaustausch einschliesslich chemischer Reaktionen", Verlag Sauerland, Aarau, and Frankfurt am Main (1971)
4. Henze, M. and P. Harremoes, "Anaerobic treatment of Waste water in fixed film reactors" Wat. Sci. Tech., 15, 1(1983)
5. Rickert D. A. and J. V. Hunter, "Effects of aeration time on soluble organics during activated sludge treatment", J. Water Pollt. Cont. Fed., 43, 134(1981)
6. Hwang K. Y., Anaerobe Abwasserreinigung mit Biogasgewinnung in einem gepulsten Bioreaktor", Dissertation T. U. Berlin (1986).
7. Schroeffer G. H., and N. R. Ziemke, "Development of anaerobic contact process, 1st pilotplant investigations and economics", Sew. Ind. Wastes, 31 164(1959)
8. Donnelly T., "Industrial effluent treatment with the bioenergy process", Pro. Biochem., 13, 14(1978)
9. Huss, L., Das Anamat-Verfahren, Zuck-

- erindustrie., 109, 133(1984)
10. Schlegel, S., and K. H. Kalbskopf, "Die Behandlung von Filtratabwaessern thermisch konditionierter Schlaemme nach dem anaeroben Belebungsverfahren," *gwf-wasser / abwasser*, 123(4), 202(1982)
  11. Schropfer, G. J. et al., "The anaerobic contact process as applied to packing house wastes", *Sewage Ind. Wastes*, 27, 460(1955)
  12. Steffen, A. J., "Operating experience in anaerobic treatment of packing house waste" *Proc. 3rd Res. Conf. Res. Council. American Meat Inst. Univ. Chicago*, 64, 81(1961)
  13. Chambarlhac, B, et al., "Stabilization and methane production by commercial scale digestion of green vegetable cannery wastes", *Proc. of Symposium on Energy from Waste and Biomass VI*, Jan. 1982, Lake Buena Vista, Fl. Inst. of Gas Techn. Chicago IL. 443 (1982)
  14. Vandamme, K. and G. Wars, "Purification of dairy waste water in two stage treatment plant, including anaerobic pretreatment, *Milchwissenschaft*, 35, 663(1980)
  15. Verfahrensbericht zur Abwasserreinigung, II. Bericht "Abwasserreinigung durch anaerobe biologische Behandlung", *VCI*, June(1986)
  16. Lettinga L. G. et al., "Use of the upflow sludge blanket(USB), reactor concept for biological waste water treatment", *Biotech. and Bioeng.*, 12 699(1980)
  17. Braun, R., "Biogas-Methangaerung organischer Abfallstoffe" Springer Verlag Wien, Newyork, (1982)
  18. Heertjes, P. M. and R. R. Van den Meer, *Biotech. Bioeng.*, 20, 1577(1978)
  19. Switzenbaum M. S., "Anaerobic fixed film treatment", *Enzyme Microbiol. Technol.*, 5, July, 242(1983)
  20. Hall, E. R. and M. Javanovic, "Anaerobic treatment of thermal conditioning liquor with fixed and suspended growth processes", *Proc. Ind. Waste Conf.*, 37, 719 (1983)
  21. Schere, P. et al., "Immobilization of the methanogenic bacterium *Methanosarcina barkeri*", *Biotech. and Bioeng.*, 23, 1057 (1981)
  22. Heijnen, J. J., Process for preparing Biomass attached to carrier" *Europe Pat. No. 80200764.1*(Aug. 1980), Gist-Brocades
  23. Seyfried C. F. and U. Austermann-Haun, "Betriebserfahrungen mit anaeroben Festbettreaktoren", *Korrespondenz Abwasser*, 36, Sep., 998(1989)
  24. 황경엽, "혐기성 박테리아를 이용한 폐수 정화용 고성능 고정성 Bioreactor 개발 (II)", *과학기술처보고서*(1990)