

# 고농도 혐기성 폐수처리 장치 BIOTHANE SYSTEM 소개

혐기성 폐수 처리 공법은 예전의 호기성 공법에 비해 에너지 소비와 많은 양의 잉여슬러지를 발생하는 단점을 보완해 주는 공법으로 세계 선진외국들은 혐기성 공법에 대한 연구·개발이 활발이 이루어지고 있다.

이번에 소개하는 고농도 혐기성 폐수처리 장치인 BIOTHANE SYSTEM은 두산기계가 외국과 기술 제휴하여 폐수처리에 적용하고 있고 혐기성처리가 불가능하다는 염료 폐수에도 적용하고 있는 공법을 소개한다.

이 혁 / 두산기계주식회사 환경사업부

## 1. 개 요

몇 년전까지만 해도 폐수처리에는 호기성 공법만이 가능 하였다. 이런 호기성 공법은 많은 에너지 소비와 많은 잉여 슬러지의 발생하여 호기성 공법의 가장 큰 단점으로 대두 되면서 좀더 진보된 기술의 필요성을 인식하여 여러 선진 각국에서 이런 점을 보완 할 수 있는 혐기성 공법을 연구 개발하기 시작 하였다.

본문에서 소개할 U.A.S.B SYSTEM은 1970년대 초에 네덜란드의 여러 대학과 CENTRALE SUIKER MAATSCHAPLIJ(C.S.M)이 협력하여 개발한 공법이며 1985년 B.S.I.(구 GIST BROCADES)사에서 C.S.M으로부터 혐기성 처리와 관련한 모든 KNOW-HOW와 PATENTS를 인수 받았다.

국내에서는 두산기계에서 본 SYSTEM을 기술 제휴하여 화학폐수 및 맥주 폐수, 주정 폐수에 적용하였으며, 그간 혐기성 처리가 불가능하다는 염료 폐수에 적용하여 성공함으로써 국내 기술도 상당히 진보 된

것으로 평가 받고 있다.

## 2 서 론

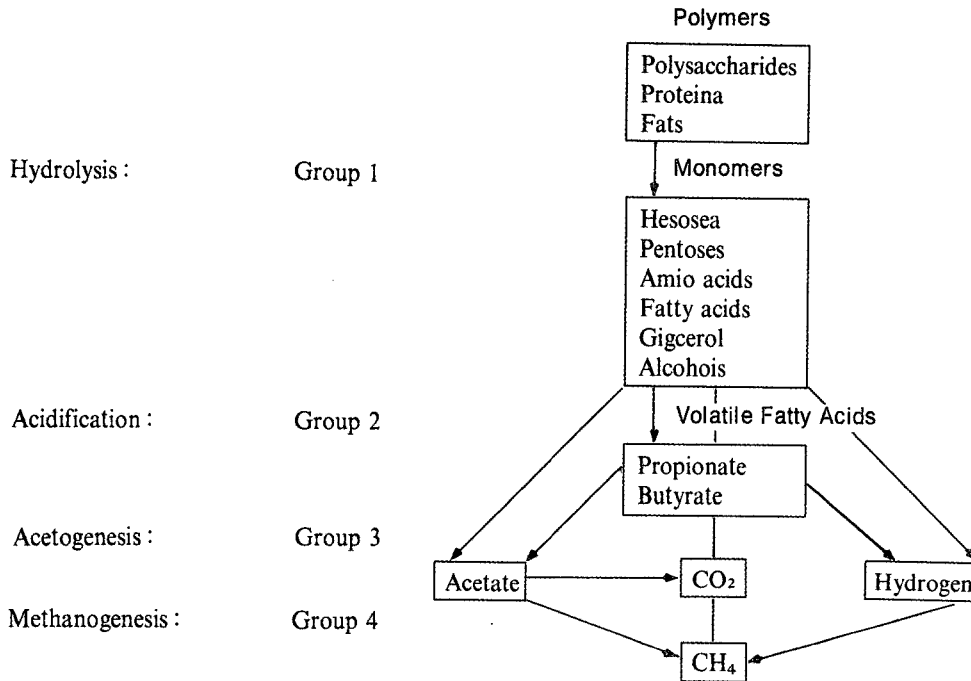
혐기성 처리는 생물학적 폐수처리 방법이며 메탄(CH<sub>4</sub>) gas의 생성이 특징이다. 혐기성 박테리아에 속 하는 모든 미생물은 산소 없이 존재하며 메탄 박테리아가 혐기성 폐수처리에 있어 중요하며 자연계에 널리 분포하고 있다.

폐수처리에 있어서 혐기성 발효는 호기성 처리 시설에서의 1, 2차 슬러지의 안정화를 위해 넓은 범위에 이미 적용하고 있다. 단백질과 전분과 같은 유기 물질이 EXOENZYME에 의해 유기산 박테리아를 위한 형태로 저장된다. 그 후에 그것들은 저지방산, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>와 같은 단순 생성물로 전환된다.

ORIGINAL SUBSTRATE에 관계없이 이 생성물은 CH<sub>4</sub>와 CO<sub>2</sub> GAS로 전환된다. 이 최종 단계에서 폐수 중의 오염 물질이 제거 된다.

처리과정을 단계별로 요약하면 다음과 같다.(Fig 1)

Figure 1. Anaerobic degradation pathway



위와 같은 전환의 속도는 다음에 의존한다.

- 1) 원수의 특징 (폐수 성분)
- 2) 혐기성 박테리아 슬러지의 존재 (슬러지 농도, 슬러지의 환경 적응도)
- 3) 유기물과 BIOMASS의 접촉도 (MIXING, CONTACT TIME)
- 4) 환경 인자 (PH, 온도, 영양물 등)

일반적으로 산화, 유기산화, 메탄 형성 단계는 동시에 일어난다. 그러나 메탄 생성 박테리아는 주위 환경에 의해 민감하다.

예를 들면 저지방산(LFA)의 축적은 PH의 저하와 결국 소화 PROCESS의 SHUT DOWN을 초래한다. 간단히 말해 BIOTHAN PLANT를 설계 할때 PH, 온도, 영양 물질, 독성 및 주위 환경 인자를 고려해야 한다.

· 다음에 혐기성 폐수처리에 있어 중요한 환경인자를 열거 하였다.

## 2 1 환경인자

### 2 1. 1 온도

메탄 형성 PROCESS의 속도는 온도에 영향을 받는다. 최적의 온도는 37°C이고 온도의 상한은 40°C이다. 40°C보다 높은 온도에서 박테리아는 빠른 속도로 사멸된다. 즉, 중온성 세균인 것이다.

10°C이하에서는 박테리아가 정체 상태에 있고 온도를 다시 증가시키면 다시 활성화 된다. 그러므로 온도의 변화는 혐기성 PROCESS에 치명적인 영향을 미치지 않는다.

### 2 1. 2 PH & ALKALINITY

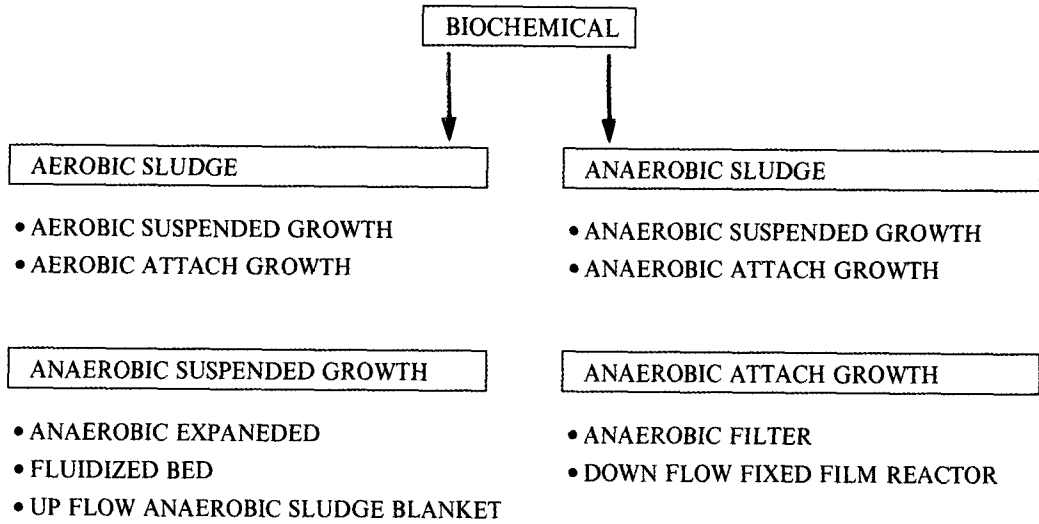
혐기성 발효를 위한 최적의 PH는 6. 8~7. 5 범위이나 6. 5~8. 0 까지도 가능하다. 일정 기간 PH가 6. 5이하거나 8. 0 이상일 때는 미생물에 영향을 준다.

### 2 1. 3 영양 물질

#### 1) 질소 인

질소 요구량은 호기성에 필요한 양보다 매우 적은 양을 필요로 하고 인의 요구량은 질소 요구량 15% 정도이다.

Fig 2 BIO CHEMICAL TREATMENT



2) TRACE 영양 물질

철분, 코발트, 니켈, SULFIDE는 아세테이트를 매탄으로 전환하는 METHANOGEN 과정을 위해 필요하다.

몰리브덴, 텅스텐, 셀레늄도 TRACE 금속 물질로 알려져 있다. SULFIDE는 이온화되지 않는 H<sub>2</sub>S 농도 100~150mg/l 이상이면 독성물질이 될 수 있다.

2.1.4 TOXICITY

산업 폐수의 독성 물질은 다음과 같은 것이다.

- 화학 공장의 중금속 축매
- 동물 먹이에의 약제
- 식품 장비 세척에 이용되는 세제 및 살충제
- 알데히드 계통

그러나 혐기성 박테리아는 여러가지 독성 물질에 쉽게 사멸되지 않으며 일정 농도에서 적응성을 갖는다.

그러면 기존에 널리 이용되고 있는 호기성 처리 공법과 혐기성 처리 공법과의 차이점이 무엇인가를 비교하여 보면 우선적으로 어떤 종류 및 형태에 대한 사항으로는 다음과 같다.

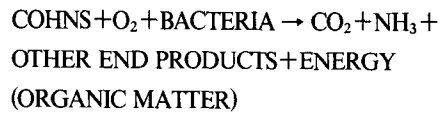
(1) BIO CHEMICAL TREATMENT

(Fig 2)

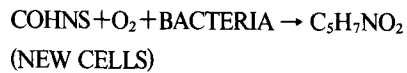
(2) BIO CHEMICAL SYSTEM REACTOR EQUATION

A) AEROBIC REACTION

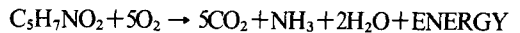
• OXIDATION



• SYNTHESIS

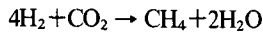
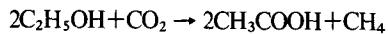


• ENDOGENOUS RESPIRATION

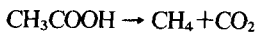
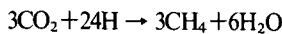
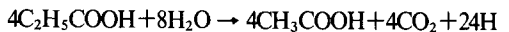
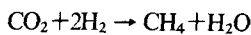
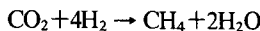
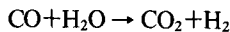


B) ANAEROBIC REACTION

• REDUCTION OF ATMOSPHERIC CO<sub>2</sub> :

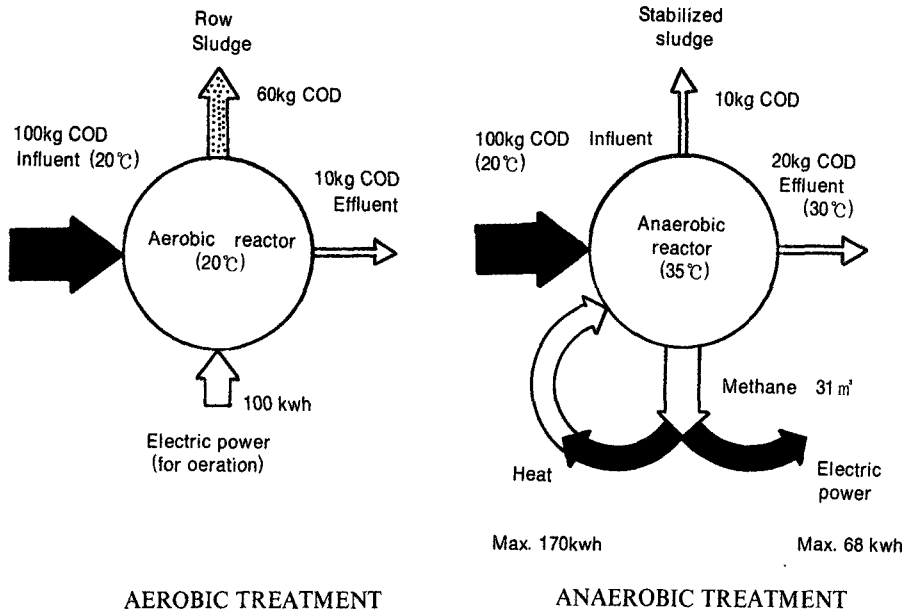


• REDUCTION OF CO<sub>2</sub> FORMED FROM REACTION



(3) 혐기성 공법과 호기성 공법의 특징 비교

Fig 3. 혐기성공법과 호기성공법 비교



혐기성공법	호기성공법
1. ENERGY 절약형 (METHANE GAS 생성)	ENERGY 소비형 (AERATION 동력)
2. 고농도 미생물 (20~100g/ℓ)	저농도 미생물 (2~5g/ℓ)
3. 고부하 운전 (8~30kg/m³)	저부하 운전 (0.4~1kg/m³)
4. 소량의 잉여 오니 (MAX. 5%)	다량의 잉여오니 (25~40%)

3. BIOTHANE SYSTEM 폐수처리 방법

BIOTHANE SYSTEM은 소화조 상부에 고체, 액체, 기체상으로 분리하기 위한 BAFFLE을 가지고 있는 상향류식 혐기성 처리 방법이다.

이 방식은 혐기성 기술의 첫번째 실험은 WAGENINGEN에 있는 농업대학의 WATER POLLUTION CONTROL 부의 실험실에서 LETTINGA 교수에 의해 수행 되었다. 이 실험은 LETTINGA와 DUTCH

BEET COMPANY, THE CONTRALE SUIKER MAATSCHAPPIJ(C.S.M)와 협력하여 BIOTHANE PLANT가 세워졌다.

3.1 BIOTHANE PROCESS 개요

BIOTHANE PROCESS에는 다음과 같은 4가지 특징이 있다.

- 1) UPFLOW SYSTEM
- 2) 분리된 BAFFLE SYSTEM을 통한 슬러지, LIQUID, 가스 분리
- 3) 오염 물질과 혐기성 박테리아 사이의 최적 접촉을 위한 내부 분산 SYSTEM
- 4) 기계적 MIXING이 아닌 BIO GAS 생성에 의한 자연대류에 의한 MIXING

BIOTHANE 설계의 기본 개념은 REACTOR 저부로 폐수를 유입하고 BAFFLE SYSTEM에 의한 REACTOR 상부에서 고체, 액체, 기체의 분리를 하는 방법이다. 폐수의 분해된 오염 물질은 BIO GAS 로 전환된다. REACTOR 상부의 BAFFLE SYSTEM

은 프로세스의 최적의 운전을 위해 필수적인 것이다. 그것은 슬러지 입자를 가라 앉히고 슬러지 체류시간, 높은 슬러지 농도를 유지 할 수 있게 한다. 혐기성 슬러지에 의해 발생된 BIO GAS는 유입되는 폐수의 오염물질과 BIO MASS와의 적당한 혼합을 할 수 있게 한다.

BIOTHANE SYSTEM은 폐수가 반응조의 하부에서 유입되어 반응조 내의 슬러지 층을 통과하면서 미생물에 의해 오염 물질이 세포합성이나 가스 생성에 이용, 처리되고 상부로 유출되는 혐기성 처리법이다. 이때 발생된 가스는 상승하면서 슬러지를 교반시켜 반응조내의 단회로를 방지하고 발생 가스 및 반응조 상부의 가스 분리장치에 의해 가스와 슬러지는 분리되고 분리된 슬러지는 다시 침전 됨으로써 가스에 의한 슬러지의 유실이 방지 된다.

일반적으로 정상적으로 운전 되는 반응조에서 혐기성 소화 슬러지가 식종된 슬러지는 수 개월 후 40~100kg VSS/m<sup>3</sup> 정도의 매우 농축된 슬러지 BED층이 반응조 하부에서 형성되며 이곳은 침전성이 뛰어나고 미생물 비활성도가 큰 입상 슬러지로 구성 된다.

이러한 입상슬러지는 기계적인 혼합에 의한 절단력이 없는 상태에서 직경 1~2mm에서 5mm까지 자란다.

슬러지 베드층 위의 베드층 내 입상 슬러지 보다는 좀 더 느린 침강속도를 갖는 슬러지로 구성되며, 일반적으로 10~30kg VSS/m<sup>3</sup>의 농도를 갖는다. 이곳은 상부로부터 침전되는 슬러지와 베드 층에서 발생된 가스에 의해 완전 혼합이 일어난다.

### 3.2 BIOTHANE SYSTEM의 장점

- 1) 최대 유기물 부하는 폐수의 종류에 따라 다르나 10~15kg COD/m<sup>3</sup>·day이며 COD 제거율은 80~90% 이다. 이것은 효과적인 비용과 유효한 공간을 필요로 한다는 것을 의미한다.
- 2) 본 PROCESS는 폭기를 위한 어떤 동력도 필요로 하지 않고 반대로 제거되는 COD kg당 350ℓ의 메탄가스를 생성한다. 폐수처리에 있어서 BIOTHANE SYSTEM은 BIO GAS 생성으로 인하여 빠른 시일내에 투자비를 회수 할 수 있다.

3) 슬러지 성장이 느림(잉여오니 발생량이 적음)-제거 COD의 80%가 CH<sub>4</sub>로 전환되며 일반적으로 0.1kg sludge/kg COD가 생성(5~10% DRY MATTER 포함)되는데 호기성에 비해 슬러지 처리비가 적게 든다. 또한 생성되는 슬러지는 안정돼 있고 함수율이 적어 좋은 탈수 특성을 갖는다.

4) 혐기성 슬러지는 활동성의 저하 없이 FEEDING 이나 특별한 예방 조치 없이 20℃이하에서 오랜기간 보존 될 수 있다. 그러므로 년중 한 계절만 작업하는 공장에도 적용할 수 있다.(감귤, 감자, 전분 등)

위와 같은 모든 장점을 만족시키기 위해선 COD 농도가 적어도 1000~1500ppm이상은 되어야 한다.

## 4. 공정 설명

### 4.1 설비 개요

저장조에서 대상 폐수를 PUMP에 의해 유기산조로 유입시킨다. 유입된 폐수는 원폐수의 PH 조건에 따라 유기산조의 PH INDICATOR에 의해 NaOH나 HCl이 주입된다. 유입된 폐수의 온도 조건에 따라 TEMP. INDICATOR에 의해 적정 온도가 되도록 유지한다.

이때 원활한 유기산화를 위하여 교반기를 통하여 적절한 혼합이 될 수 있도록 한다. 유기산화 된 폐수는 BIOTHANE REACTOR FEED PUMP를 통하여 BIOTHANE REACTOR로 보내어지며 유입된 폐수는 REACTOR내의 교반기에 의해 BIO MASS 와의 접촉을 최대화하며 처리된 처리수의 일부는 자연 유화로 원활한 유기산 반응과 완충 효과를 위해 유기산조로 이송되며 일부는 다음 폐수처리 공정이나 처리수조로 이송 된다.

### 4.2 유기산조 개요

중화조에서는 고분자 유기물질이 세포에 의하여 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> 그리고 여러 카르복실산이 생성 될때까지의 과정이 수행되는 곳으로 이때 외기조건은 산 생성이 양호하도록 온도를 35℃정도 유지하며 PH를 7정도 로 맞춘다.

그렇게하여 후속 메탄 소화 공정을 원활하게 이루

어지게 한다.

그에 대한 경로는 다음과 같다.

기질 ▶  $CO_2 + H_2 +$  아세트산

기질 ▶ 프로피온산 + 부티르산 + 에탄올

▶ 아세트산 +  $H_2$

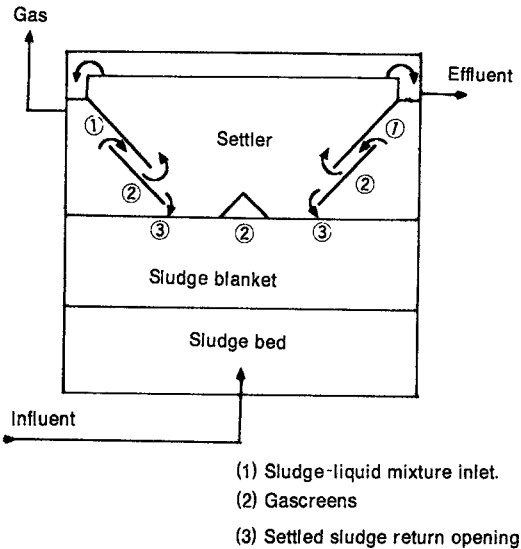
\* 교반기

중화조내에 폐수의 혼합 효과와 악품 주입에 대한 혼합 효과를 증대시키고 유기산화가 양호하도록 반응효과를 증대시켜 주면서 조내의 수질을 균일화 시킨다.

### 4.3 BIOTHANE REACTOR

폐수의 흐름 특성에 따라 UASB 반응조는 슬러지 BED, 슬러지 BLANKET, 그리고 침전부로 나뉘어진다. 반응조 상부에 위치하는 침전부에서 폐수의 흐름은 플러그 흐름에 가까운 것으로 알려져 있다. 침전부의 표면에서는 상승된 슬러지 내에 포함된 가스가 분리되고 분리된 슬러지는 재 침전되는 작용이 일어난다.

Fig 4. SCHEMATIC DRAWING OF A BIOTHANE UASB-REACTOR



- (1) Sludge-liquid mixture inlet.
- (2) Gascreens
- (3) Settled sludge return opening

따라서 발생된 가스가 슬러지와 분리되기 위해서는 적절한 침전부의 표면적이 필요하게 된다.

이러한 슬러지의 재 침전은 UASB 반응조의 초기 운전 속도 및 반응조의 기능에 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 만약 침전부의 용량을 증가시킬 경우 초기운전 시간이 감소될뿐만 아니라 짧은 수리학적 체류시간에도 반응조내에 고농도의 슬러지 보유가 가능하여 적절한 침전부의 선정은 반응조 설계에 있어서 중요한 인자가 된다고 생각 되어진다.

침전부의 표면적은  $1 m^3 / gas / m^2 \cdot hr$ 에서  $3 \sim 5 m^3 / m^2 \cdot hr$ 의 값을 기준으로 산정하고 특히 저농도 폐수의 경우에는 가스 분리율의 최저값을 이용하여 산정하는 것이 바람직한 것으로 알려져 있다.

소화조에서 발생된 가스는 유량계를 거쳐 가스 저장 탱크로 유입되어지며 소화된 처리수는 유기산조에 유량 조절을 하면서 처리수조로 간다.

REACTOR의 형태를 그림으로 보면 Fig 4와 같다.

## 5. 결 론

앞서도 설명되었듯이 현재 국내의 폐수처리 방식은 일반적으로 호기성 폐수처리 방식인 활성오니법이 폐수처리의 대명사로 일컬어져 왔으나 이러한 폐수처리의 시설도 PLANT의 역사에 따라 혹은 처리수 기준치의 강화에 따라 점차적으로 고도 처리화가 되는 실정이다.

최근 혐기성 처리기술은 국내 몇몇 기업 및 연구소에 의하여 새로운 폐수처리 기술로 그 자리를 확보했다고 생각되어지며 특히 구미 선진 각국에선 본 PROCESS가 이미 일반적으로 적용되고 있음을 밝혀둔다. 이런 에너지절약 및 에너지 회수가 가능하며 운전비가 적게되는 BIOTANE PROCESS가 국내의 폐수처리에 좀더 많이 적용할 수 있도록 많은 연구가 이루어지기를 바라는 마음이다.