

# 혐오성 유기폐자원 악취해소와 메탄가스 획득 연구

농업생명과학대학 농생명공학부 이 계 호  
(주)바이오신트로 CTO

## 1. 연구배경

지구상 도처에서 유기물질의 호기적 분해는 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )를, 다른 한편 혐기적 분해는 메탄가스( $\text{CH}_4$ )를 방출하여 농도가 높아진 공기층이 형성되면 지표의 복사열을 가두게 되어 기후 온난화의 원인이 제공되어 기후이변, 지구환경 악화를 가속화 시키는데 메탄가스는 이산화탄소 보다 기후 온난화 정도를 21배 이상 더 악화시키고 있다.

혐오성이 극심한 가축분뇨와 음식폐기물의 처리시설물의 구축도 내가 사는 동네에는 안 된다는 시민모임의 극한 투쟁(실예 : 서울 동대문구청 건너편에 시설 중) 때문에 어려움은 가중되고 있는 실정이다. 2007년도 도시 음식폐기물 148만 톤, 양돈 분뇨 140만 톤을 해양투기 하는데 소요비용은 260억 원과 254억 원이 소비 되었다. 2012년부터 (환경부·국토해양부) 해양투기가 전면 금지된다. 우리나라는 연간 4,000만 톤의 혐오성 유기폐기물(폐음식물, 가축분뇨)이 발생하는데 이의 처리는 국가적 난제이다. 이것을 누가 또는 어느 모임체가 해결해야 되겠는가? 이에 혐오성이 극심한 유기폐자원의 혐기소화처리로 효율적인 메탄가스 생산은 귀중한 열 및 전기 energy를 생산하게 함으로써 화석연료의 대체에너지화는 저탄소 녹색성장 동력 사업의 일익을 해결하게 된다. 그리고 혐기소화 처리 후 악취 없는 잔유물 중에 품고 있는 황산암모니아는 화학비료를 대체할 귀중한 유기질 비료로 공급되므로 유기농 식량생산을 도모하는 자연 순환형 녹색산업을 영위하게 한다. 즉 ① 혐오물질에서 화석연료 대체 에너지인 귀중한 메탄가스 획득 ② 악취 없는 귀중한 유기질 비료 획득 ③ 혐오성가스의 암모니아와 황화수소는 황산암모니아로 변성시켜 유기질 비료화 ④  $\text{CH}_4$ 를 연소시켜  $\text{CO}_2$ 로 변환시켜 기후악화도 저감(경중농업활성화로  $\text{CO}_2$  저감) ⑤ 혐오성 환경을 환경친화적으로 유도 등 1석 5조의 이익을 누리게 한다. 본인은 1966~2009년까지 발효공학전공으로 공부하면서 교수, 연구한 자질을 바탕으로 정년퇴직 후 중소기업형 벤처회사의 작은 연구소에서 2004년 연구개시 후 pilot plant scale 연구로 5년만에 성공하고 다음의 발명특허를 획득하였다.

특허1. '바이오 가스 생산용 아파트형 혐기 소화 장치'

대한민국 특허등록번호: 10-0936540(등록일자: 2010. 01. 05.)

- 국제 특허 출원: 미국 출원번호 12/705,859(출원일 2010. 02. 15)  
 유럽 출원번호 10153748.8(출원일 2010. 02. 16)  
 일본 출원번호 2010-26595(출원일 2010. 02. 09)  
 중국 출원번호 201010110108.8(출원일 2010. 02. 20)

## 2. 핵심기술 1(특허 1: 효율적 메탄생산)

본 혐기소화장치는 지하 깊이 4.8m, 길이 24m, 폭 14m의 철근 콘트리트구조(아파트 온돌같이 온수 pipe로 벽, 바닥을 보온)로 하였고 4개의 site(반추동물 소의 4개 뿔과 같이)로 나누고 격벽으로 구획하고 혐오성 유기폐자원의 유입수를 순환하여 혐기소화(30m<sup>3</sup>/day, HRT 20-25day) 시키면서 분해율 81.3%로서 BOD 26,520에서 4,956으로 낮추었다. 발효조건은 pH: 6.5~7.5, 온도: 30~55°C, 산화환원전위(ORP) +60~470mV로 유지하면서 발효시켜 80~82% 농도의 메탄가스 500~1,000m<sup>3</sup>/day, 이산화탄소 18% 이하, 황화수소 10ppm 이하, 암모니아 5ppmV의 biogas를 생산하였고 유출수는 열교환작용으로 유입수 온도를 올려주면서 고액분리화(固液分離化)로 고형물은 유기질(황산암모니아를 품고 있는) 비료를 생산 이용케 하여 유기농 식량생산법을 영위하여 탄소동화작용으로 저탄소 녹색성장을 꾀하였다.

## 3. 핵심기술 2(특허 2: 가스정제 SYSTEM)

상기 발생하는 biogas는 양돈분뇨의 경우 단백질 분해산물인 암모니아 및 인돌, 스카톨, 머캡탄 등 극심한 오취를 발생하면서 4,000ppm 이상의 황화수소(H<sub>2</sub>S)와 암모니아(NH<sub>3</sub>)같은 유해 gas를 품고 있어 혐기발효에 치명적인 악영향을 끼치게 된다. 혐기소화조 상층부 bio-gas 층에서 흡입유도한 gas를 황화수소(H<sub>2</sub>S)와 암모니아(NH<sub>3</sub>)가스 제거장치 하부에 연결하여 산기노즐로 광합성 혐기적 무기탄소 영양세균인 *Chromatium sp.* *Chlorobium sp.*(홍색유황세균)의 배양되어진 액 중에 방출시키면 황화수소는 효소에 의한 산화환원으로 분자상 황으로 일부 제거하고 일부는 황산근으로 되면서 즉시 공존하는 암모니아 가스와 황산암모니아로 화합하여 안정화된다. 따라서 황화수소 10ppmV 이하, 암모니아 5ppmV 이하로 정제한 bio-gas는 혐기소화조 하부로 다시 recycling시켜 발효정상화를 기하면서 bio-gas 중 메탄가스 농도를 82% 이상으로 끌어 올릴 수 있었다.

홍색유황세균은 광합성 혐기적 무기탄소 영양세균 임으로 탄소 동화작용은 Calvin cycle에 의하여 광합성인산화로 탄소를 동화하면서 그 효소로 황화수소가스는 분자상 유황화를 거치면서

황산근으로 산화되는 과정인데 ferredoxin reductase, hydrogenase에 의하여 산화환원력을 공급 받는데 이 과정에서 황화수소 일부는 분자상 유황(유황화)을 생산축적하고 일부는 황산근으로 더 산화되면서 이때 공존하는 암모니아 가스는 이와 화합 황산암모니아가 되면서 비료로 안정화되므로 황화수소 및 암모니아 가스를 습식으로 제거하게 하였다.

특허 2. '바이오 가스에 함유된 암모니아 및 황화수소 제거장치'

대한민국 특허등록번호: 10-0948334(등록일자: 2010. 03. 11)

#### 4. 유기탄소폐자원의 혐기적 소화기작

혐기성 유기폐기물은 단백질, 전분, 섬유소 등 고분자 물질로 구성된 폐기물이 유입수로 들어와 효소분해로 소화되며 이는 혐기성 세균들의 발효작용으로 이루어진다. 최초 1site 단계에서는 통성혐기조건으로 소 위장 세균인 *Ruminococcus albus*의 강력한 cellulase로 분해되고 2site 단계에서는 혐기조건인 식초산 생성균(Homoacetogen)인 *Clostridium aceticum* 등에 의하여 식초산과 부티르산 등 유기산생성(acetification) 단계를 거치며 3, 4site 단계에서는 편성혐기조건으로 여러 유기산을 분해시켜 *Syntrophomonas welfer*와 *Syntrophobacter welinii* 등 CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>를 방출하는 즉시 공생하고 있는 메탄생성균인 *Methanobrevibacter arboriphilus*, *Methanobacterium thermoautotrophicum*, *Methanosarcina barkeri* 등이 CO<sub>2</sub>, CO를 기질로 이용하면서 생산된 수소로 환원에 의하여 메탄(CH<sub>4</sub>)을 생합성하는 메탄생성 단계이다. 이같이 서로 다른 미생물의 공생발효(Syntrophic association)에 의하여 효율적으로 메탄을 생산하게 하였다.

#### 5. 혐오성 유기폐자원(축산분뇨·음식 폐기물) 혐기소화 처리에 의한 Bio-gas 및 유기질 비료 생산(실제)

본 혐기소화조 시설 규모: 양돈분뇨 및 음식폐기물 (30t/日)은 충북, 진천, 초평, 용산리 30, 소재 양돈(4,000두 규모) 농장(큰사람농장: 이양회)의 슬러지를 이용하였다.

분뇨·음식폐기물 30t/日, HRT 20~25 days, 혐기소화 처리에 의한 물질 변화는 처리전 유입수의 BOD: 26,540mg/l, VS: 49,716mg/l 인데 처리 후 방출수의 BOD: 9,956mg/l, VS: 23,184mg/l 로써 분해율은 81.3% 고형물 감소율은 53.4%이었다.

이렇게 생성된 바이오가스 중에는 메탄(CH<sub>4</sub>)농도 80~82%의 연료가스 500~1,000m<sup>3</sup>/day, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 18% 이하, 황화수소(H<sub>2</sub>S) 10ppmV 이하, 암모니아(NH<sub>3</sub>) 5ppmV의 가스는

가스보일러의 열원으로 투입하여 온수이용과 동력원으로써 전기를 발전시켜 한국전력에 매전케 하였다.

- 혐기소화장치 이용의 효율성을 산업적 활용분야와 연계하면 ① 혐오성 가축분뇨, 음식폐기물 처리로 혐오성 제거 ② 메탄가스생산 이용(화석연료 대체에너지화), 전력생산 ③ 유기농 비료생산과 녹색성장 ④ 탄소배출권 획득(저탄소화) ⑤ 한전에 전력매전, ⑥ CNG 차량 접목을 할 수 있다.
- 황화수소 제거장치 이용은 ① 바이오가스 생산장치, ② 제철, 제련공장의 coke oven gas 중 황화수소 제거에 접목 가능성 ③ 정유공장의 저유황화에 접목 가능성 ④ 매립지가스 정제시설 가능성 ⑤ 극심한 악취제거 처리 산업에 접목

본 처리장 외에 국내 혐기소화조 공정 설치 현황을 보면 외국 특허인 UASB 이상설치 기업은 (주)대우건설(20t), (주)삼울(10t) 그리고 CSTR 단상 설치기업은 (주)코오롱건설(10t), (주)유니슨(20t), (주)DHM(10t), (주)이지바이오(100t) 그리고 CSTR 이상 설치기업은 (주)한라산업(80t) 등이 있는데 메탄가스 생산성이 70~75%이다.

본 한국형 온돌방식을 이용한 혐기소화장치의 특징으로는 ① 한국 전통 온돌방 가온의 고온수 pipe로 가온방식, ② 반추동물(소)의 4개로 된 위장 원리를 활용한 4개로 구획한 site 순서로 선입선출 방식으로 밀어내는 유동성(동력교반 없이)으로 이는 독창적 발효공정 개발이며 최초는 site1의 통성 혐기성(facultative anaerobic) 세균 발효, 다음 site2 단계는 혐기성 세균발효(acetate, butyrate) ③ 마지막 site 3, 4단계는 편성 혐기성(strictive anaerobic) 세균발효에 적합한 신티로세균과 메탄세균의 합작으로 효율적 메탄을 합성하게 한 독창적 공정 산화환원전위(oxido reduction potential)+60~-470mV으로 처리하였다. 또한 광합성 홍색유황세균의 효소작용의 이용으로 bio gas 중 황화수소 일부 제거로 유황화 획득과 일부는 황산근으로 암모니아 가스와 황산암모니아(귀중한 질소질비료) 합성으로 제거하는 습식제거 법을 유일하게 적용하여 메탄가스 생산성이 82%이었기에 소기 목적을 달성할 수 있었다.