

# 메탄醱酵와 에너지生産

—有機性 폐기물을  
利用하여

朴 永 大

〈農博·農業技術研究所 연구관〉



우리는 油類의 全量과 일부 무연탄을 海外에 의존하고 있고 國內의 유일한 대중연료인 무연탄은 炭抗의 深部化로 채산성이 떨어지고 있어 앞으로 에너지의 海外 의존도는 더욱 심각해질 수 밖에 없다. 따라서 정부는 다각적으로 에너지 절약방안을 세우고 있을 뿐만아니라 代替에너지 개발에 열을 올리고 있다.

메탄醱酵(嫌氣分解)는 熱量이 높은 메탄가스를 생산할 뿐만아니라 汚物處理效果가 있어 에너지가 부족할때 (특히 戰時)에는 에너지 생산에 이용되어 왔고 平時에는 도시의 汚水나 분뇨처리에 활용되어 왔으나 유류파동 이후에는 메탄발효를 적극적인 代替에너지 생산수단으로 연구하고 있다.

## ◇ 메탄가스의 利用沿革

기록상으로는 伊太利의 Volta가 메탄 가스를 처음 발견한것으로 되어 있지만 中國이나 로마의 전설에 불붙는 공기가 있는 것으로 보아 메탄가스는 그 이전부터 알려졌다고 한다.

1776年 Volta가 시궁창에서 식물성 有機物이 썩을 때 연소성 공기가 발생됨을 발견하였으나 당시의 化學知識은 이 연소성 가스가 메탄임을 증명하지는 못하였다. 그 후 화학자인 Dalton이 1804년에 이 연소성 가스가 메탄임을 증명하였다.

그후 화학자이자 세균학자인 빠스피르 제자들이 분뇨를 메탄발효시켜 메탄가스를 생산하는데 성공하였고 빠스피르는 분뇨를 메탄발효시키면 연료가스의 생성이 가능하다고 하였다. 1896年 英國의 Exeter市에서는 분뇨저장탱크에서 메탄가스를 생산하여 이 가스로 街路燈을 설치하였다.

이 가로등에 영향을 받은 西歐의 과학자들은 메탄가스 생산과 그 활용에 많은 열을 올렸고 兩次大戰 중에는 연료난에 직면한 獨逸, 英國, 불란서의 농민들은 분뇨로 메탄가스를 생산하여 취사, 난방, 자동차 및 발전용 연료로 사용하였고, 특히 聯合軍에 의하여 포위된 獨逸은

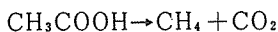
당시 유럽의 메탄가스 연구의 중심지였다.

戰後에는 전후의 평화와 산유국의 석유생산으로 메탄발효의 연구는 메탄가스 생산보다 분뇨나 오수처리에 활용되어 왔으나 1973년의 유류파동으로 세계각국은 Biomass에서 綠色에너지를 생산하는 적극적인 수단으로 메탄발효에 관한 연구를 強化하고 있다.

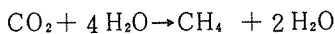
### ◇ 메탄발효의 生化學的 機作

綠色植物은 대기중의 탄산가스와 태양에너지를 이용하여 복잡한 분자의 植物體를 合成하며, 박테리아와 動物은 이 식물을 통하여 間接的으로 자기에게 필요한 유기물을 합성한다. 이 유기물을 메탄醱酵시키면 유기물은 3 단계의 미생물작용을 거쳐 CH<sub>4</sub>와 CO<sub>2</sub>로 분해된다. 제1 단계는 복잡한 유기물이 加水分解와 通性微生物의 작용으로 단순한 可溶性 物質로 분해되는 단계이며, 第2 단계는 低分子의 有機物이 산성균에 의하여 유기산으로 변하는 단계이고, 제3 단계는 이들 有機酸(主로 醋酸)이 메탄균에 의하여 메탄가스를 생성하는 과정이다. 어떤 메탄균은 水素와 탄산가스로 메탄가스를 생성하며 이들 基質은 炭水化合物의 분해과정에 생성된다.

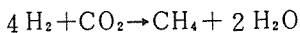
● 醋酸의 醱酵에서



● 炭酸가스의 還元에서



● 水素에서



### ◇ 메탄발효의 主要因子

#### 1. 醱酵溫度

메탄醱酵은 中溫醱酵(30~40℃)와 高溫醱酵(50~55℃)가 있으며 이 범위를 넘으면 가스발생량과 오물처리 능력이 감퇴된다. 高溫醱酵은 中溫醱酵보다 가스발생량과 오물처리량이 2.5 배 정도 높으나 高溫醱酵은 高溫性 汚物이나

오는 工場廢水에서 가능하고 하수처리나 가축분뇨 또는 農産副産物의 메탄醱酵은 加溫과 시설유지비를 고려하면 中溫醱酵가 좋다.

#### 2. 醱酵液의 PH

메탄醱酵의 最適PH는 7.0~7.5이며 이 범위를 넘으면 가스 발생량이 저하한다. PH를 변동시키는 요인으로서는 일시에 많은 有機物을 投入하면 제2 단계의 酸性醱酵가 急激히 進展되어 低級脂肪酸이 축적되면 PH가 저하하고 窒素含量이 높은 유기물을 투입할 경우 유기물 분해시에 생성되는 암모니아 이온 때문에 PH가 上昇한다.

#### 3. 原料滯在期間

原料滯在期間(Hydraulic Retention Time)은 투입액이 醱酵槽내에 체재하는 시간이며 발효조의 용량을 투입코자하는 液量으로 나눈 것이다. HRT는 高溫에서는 짧고 低溫에서 길어야 有機物의 분해가 많고 따라서 가스발생량도 많아진다. 일반적으로 中溫醱酵에서는 容積當 가스발생량과 유기물당 가스발생량을 고려하면 HRT는 25~30日 정도가 적당하다.

#### 4. 有機物의 투입량과 희석농도

容積當 유기물의 투입량(VSk<sub>g</sub>/m<sup>3</sup>)과 투입 원료의 유기물농도(%)는 메탄가스 발생량과 밀접한 관계가 있다. 투입하는 유기물의 양은 Vsk<sub>g</sub>/day/m<sup>3</sup>로 表示하며 여기서 VS는 Volatile Solid, m<sup>3</sup>는 醱酵槽의 단위 용적을 표시한다.

일반적으로 도시의 하수처리는 0.96~2.4 kg/day/m<sup>3</sup>가 좋고 분뇨는 2~5 kg/day/m<sup>3</sup>가 좋다. 원료의 희석농도는 약 7~10% 정도가 좋고 원료의 투입을 매일 同量을 투입하는 것이 좋으며 投入間隔日數가 길면 가스발생량이 감소된다.

#### 5. 醱酵液의 攪拌

微生物반응에서는 攪拌을 하여 基質과 微生物의 접촉을 많게 할 필요가 있다. 메탄醱酵

에서는 생산된 가스類(메탄, 炭酸가스, 黃化水素, 암모니아等)가 용액속에 集積되며 黃化水素와 같은 有害가스는 미생물의 생육을 저해하거나 생산된 가스와 固形物이 結合浮上하여 Scum을 형성하여 가스발생을 방해한다. 따라서 基質과 微生物의 접촉을 많게하고 Scum의 形成을 막기 위하여서는 교반이 필요하다.

### ◇ 메탄가스의 특징

메탄醱酵로 생산된 가스는 英語로 Biogas라 하며 이 가스중에는 60~70%의 CH<sub>4</sub>과 30~40%의 CO<sub>2</sub>, 그리고 少量의 H<sub>2</sub>S와 NH<sub>3</sub>를 함유한다. 메탄함량이 65%인경우 1m<sup>3</sup>의 Biogas는 約 6,000Kcal의 열량이 있으며 이 열량은 都市가스(3,600~4,200Kcal/m<sup>3</sup>)나 푸로판 가스(約 24,000Kcal/m<sup>3</sup>이나 燃燒에는 공기와 허석되어 실제 발열량은 4,000~4,800Kcal/m<sup>3</sup>임)보다 높으며 메탄가스는 都市가스나 푸로판가스가 쓰이는 모든 용도에 사용될 수 있다. 그러나 메탄가스는 그의 特性때문에 LPG와 같이 쉽게 液化할 수는 없다(표-1).

〈表-1〉 메탄가스의 理化學的 特性

臨 界 溫 度 ℃	臨 界 壓 力 atm	沸 點 ℃	融 點 ℃	比 重 (空 氣 = 1)
-82.1	45.8	-161.4	-182.7	0.55
爆 發 限 界 vol %		發 火 溫 度	發 熱 量 Kcal/m <sup>3</sup>	
5.4 ~ 14.0		537	9,500	

### ◇ 메탄발효의 활용

메탄醱酵는 미생물의 작용으로 유기물이 CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>로 분해되는 작용이며 自然界에서는 오염된 河川이나 시궁창에서 흔히 일어나는 自然浮化作用의 하나이나 이것을 인위적으로 代替에너지 생산이나 오염물질의 정화에 실용적으로 활용하고 있는 것이다.

### 1. 都市의 下水處理

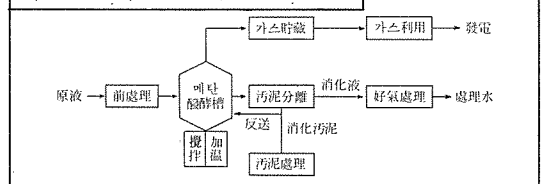
메탄醱酵法이 가장 많이 활용되고 있는 것은 도시의 하수처리장이며 메탄발효법은 好氣性處理法의 대표적인 방법인 活性汚泥法보다 많은 利點이 있다(표-2).

〈表-2〉 메탄醱酵法과 活性汚泥法의 諸元比較

項 目	메탄醱酵法	活性汚泥法
關 與 微 生 物	嫌氣性細菌	好氣性細菌, 原生動物
處 理 法 的 位 置	前段處理	最終處理
處 理 廢 水 的 濃 度	高濃度 (BOD 10,000ppm以上)	低濃度 (BOD 5,000 ppm以下)
處 理 溫 度	36~38℃ (中溫醱酵) 53~55℃ (高溫醱酵)	常溫 10~35℃
處 理 能 力	有機物 2~4kg/m <sup>3</sup> /d (中溫) 有機物 4~8kg/m <sup>3</sup> /d (高溫)	BOD 1~4kg/m <sup>3</sup> /d
滯 留 時 間	10~20日 (中溫) 5~10日 (高溫)	3~10時間
B O D 除 去 率	80~95%	80~99%
所 要 動 力	約 100kWh/BOD t	約 1,000kWh/BOD t
副 生 物	燃料가스 (5,000~7,000cal) 600~1,000m <sup>3</sup> /BOD t	· 余剩汚泥 300~600kg/BOD t

유럽諸國의 메탄발효 활용역사는 길다. 英國 런던에서는 1920년에 이미 都市下水를 메탄발효법으로 처리하였으며 한때 죽은江이라고 불리던 런던의 템즈江을 오늘날의 「살아있는 템즈江」으로 만드는데는 메탄발효법이 크게 공헌하였다. 런던의 하수처리를 위하여 템즈江에는 15個의 메탄발효법 하수처리장이 있으며 醱酵槽의 용량은 1,000~5,000m<sup>3</sup>의 것이 많고 시설의 기본적인 공정은 〈그림-1〉과 같다.

〈그림-1〉 메탄醱酵處理工程



템즈江의 하수처리장중에서 가장 큰 Becton 하수처리장에서는 하루 89,000m<sup>3</sup>의 메탄가스(프로판가스 換算量: 44,700kg)를 생산하며 런던의 15個 하수처리장의 하수처리내용과 메탄가스 발생량은 〈표-3〉과 같다.

〈표-3〉 런던시의 下水處理場의 處理 및 가스發生量

排水區 域面積 (Km <sup>2</sup> )	人 口 百万人	處理下水量 (萬m <sup>3</sup> /D)	流入下水 (p pm) BOD, SS
1,628	7.2	228	338 405
放 流 水 BOD (ppm)		스룻지生産量 (m <sup>3</sup> /D)	메탄가스生産量 (m <sup>3</sup> /D)
17		20,489	240,471

이곳에서 생산된 메탄가스 디젤엔진 또는 가스터빈을 가동하여 발전하고 생산된 전기는 하수처리장의 動力源으로 사용하고, 디젤엔진의 廢熱은 醱酵液 加温에 활용하고 있다.

서울 청계천 綜末下水처리장에는 런던의 하수처리장과 같은 시설이 있고 이곳에는 個當 3,800m<sup>3</sup>의 醱酵槽 10개가 있고 醱酵槽 個當 가스발생량은 하루 1,500m<sup>3</sup>이며 이가스는 하수처리장의 動力 또는 醱酵液 加温에 활용하고 있다.

### 2. 工場廢水處理

공장폐수처리에 메탄醱酵法을 많이 活用하고 있는 나라는 日本이며 日本의 알코올蒸溜廢液을 메탄醱酵法으로 처리한 결과는 〈표-4〉와 같다.

〈표-4〉 알콜蒸溜廢液의 메탄醱酵效果

(日本5個工場1970)

處 理 量		메탄가스發生量		B O D		
廢液量 (kl)	有機物量 (t)	가스量 (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	有機物當 (m <sup>3</sup> /t)	原廢液 (ppm)	處理液 (ppm)	除去率 (%)
233,401	9,261	5,585	603	25,718	3,352	87

### 3. 農村廢棄物의 메탄醱酵

메탄醱酵은 분뇨에서 에너지를 생산할 뿐만 아니라 분뇨의 BOD 및 악취제거, 병원균과 기생충의 死滅, 분뇨의 위생적처리(廢液에는 파리 및 쥐의 棲息이 없음), 良質의 堆肥生産, 廢資源의 재활용(廢液으로 사료, 양어, 攪類생산) 등의 이점이 있어 세계각국은 農村代替 에너지 생산과 분뇨처리를 위하여 메탄醱酵法을 활용하고 있고 UNICEF, FAO, WHO, UNEP 등 많은 국제연합기구가 메탄가스사업을 직접 또는 간접으로 지원하고 있다.

## ◇ 우리나라 메탄가스利用 및 연구

### 1. 農家單位 小型施設

퇴비증산, 산림복화, 농촌생활 개선등의 다목적 사업으로 農村振興廳은 1969年 부터 75年 까지 約29,000基의 小型메탄가스시설을 농가에 보급하였으나 그간 농민들의 急激한 소득증대와 化石燃料의 相對的 廉價 및 시설의 일부단점으로 오늘날에는 거의 사용되고 있지 않다.

### 2. 部落單位 大型메탄가스施設

農家に 보급된 소형시설의 단점을 보완하기 위하여 筆者는 77년부터 大型施設의 개발에 착수하여 79년에 그간의 研究結果를 종합하여 蓮庵畜産專門大學의 부설농장(忠南天原郡 成歡邑 水郷里)에 大型메탄가스 시설을 市館設置 하였다.

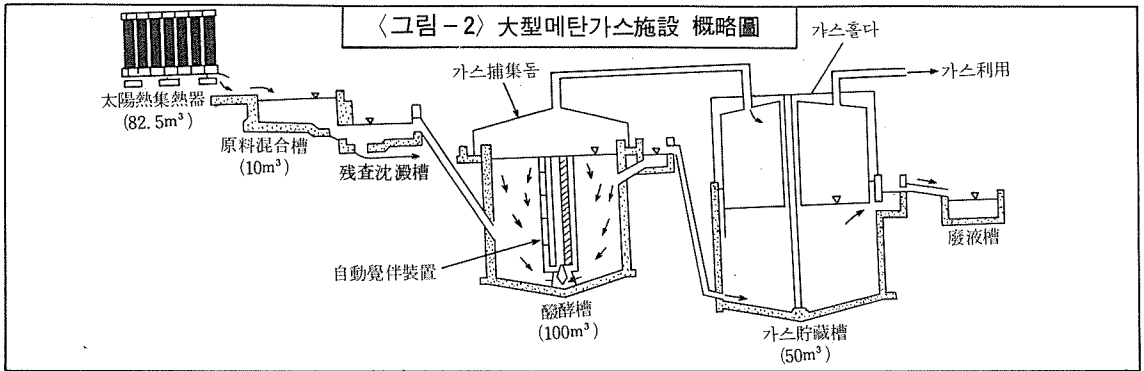
이 시설은 발효조, 가스홀더, 태양열 집열기로 구성되었고 〈그림-2〉 생산된 가스를 인근부락 농가에서 활용할 수 있도록 約 400m의 가스관을 地下로 배관하였으며 시설비 約1,300萬원('79價格) 이 들었다.

冬季에 하루 1.9톤의 돈분과 太陽熱集熱器에서 加温된 温水 3.3m<sup>3</sup>를 혼합投入한 결과 하루 平均 185m<sup>3</sup>의 가스가 생산되었으며 이중 利用이 가능한 가스량은 하루 平均 150m<sup>3</sup>(푸로판가스로 75kg이며 당시 금액으로 4萬 7千원임)였으며 〈표-5〉이 量은 夏季에는 증가된다.

〈表5〉 메탄가스 生産量('79. 11~'80. 2)

가스發生量 (m <sup>3</sup> /日)			加温用가스量 (m <sup>3</sup> /日)			利用可能가스量 (m <sup>3</sup> /日)		
最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均
205	178	185 (100)	41	24	35 (19)	177	148	150 (81)

메탄가스의 生産費는 1m<sup>3</sup>當 112.70원이었고 이를 5인가족의 취사연료로 사용할 경우 熱量으로 換算하면 메탄가스는 他化石연료보다 현저히 저렴하며 〈표-6〉 同시설을 1年만 稼動하면 施設費보다 많은 1,700萬원 상당의 메탄가스를 생산할 수 있다.



〈표-6〉 炊事用 燃料價格比較 (5人家族基準)

燃 料	메탄가스	푸로판가스	石 油	煉 炭	電 氣
所要量	1m <sup>3</sup>	0.5kg	0.9ℓ	2個	6 Kwh
全額(원)	112.70	315.50	161.10	190.00	367.08
指 數	100	265	136	161	311

(1982. 2 單價)

生産된 메탄가스는 冬季에 취사, 난방, 子豚 舍暖房 및 温室에서 利用試驗을 실시하여 同시 설은 경제성이 있음이 구명되었다. 80年 3月, 同農場은 約 4 千萬원을 들여 300m<sup>3</sup>의 醱酵槽 2 基, 300m<sup>3</sup>의 가스홀다 1基를 새로 설치하고 돈 분을 투입하여 하루 평균 약 900m<sup>3</sup>의 가스를 생산하여 冬季에는 취사 및 난방에, 夏季에는 취사 및 陶醱器工場의 燃料로 사용하고 있다.

政府는 代替에너지 생산과 畜産公害대책으로 同시 설을 企業畜産農에 보급코자 하였으나 시 설비의 과다와 그후의 사회적 여건의 변화로

同施設의 보급은 좌절되었으나 同施設에 대한 터키政府의 技術支授요청이 있어 筆者는 터키를 다녀온바 있고, 現在 터키에는 約 200基의 大型메탄가스시설이 農村에서 稼動利用되고 있다.

### 3. 糞 利用메탄가스施設

80年부터 筆者는 농가단위 소형시설의 개발에 착수하여 81年에 시설비가 저렴하고 활용이 간편한 “ 糞 利用메탄가스施設”을 개발하였다.

〈그림-3〉

이 시설은 藥 稈類와 糞尿로 메탄가스를 생산 용한후 자동적으로 양질의 堆肥가 副生되는 시설로서 81年에 154基를 農家에 시범보급한 결과 農民들이 호응이 좋아 83年에 776基, 84年에 812基등 총 1,732基를 3年間に 보급하였으며, 앞으로도 계속 확대보급할 계획으로 있다.

