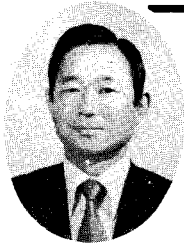


가축분뇨로 부터 生成되는

매탄개스의 利用方案



나 기 현

(연암축산전문대학 기획실장)

가축의 분뇨를 발효시켜 Energy 원으로서의 매탄 gas와 유기질이 많은 액상비료를 동시에 얻는 원리와 그 응용은 과거부터 많은 연구가 되어 왔다.

일본은 1960년대에 농가의 생활개선보급 사업으로서 분뇨 貯留槽에 浮蓋式 장치를 하여 매탄 gas를 생산하고 가정 연료로 이용하는 등 광범위한 응용을 해 왔고 우리나라도 축산시험장 서울대 등에서 발생시험을 거쳐 한때 농가에 보급되기도 하였으나 매탄 gas의 수요가 많은 겨울철에 기온저하에 의한 매탄 gas의 발생량 감소 또는 매탄 gas 발생량 감소를 막기 위한 예비원료분의 보온 및 가열에 따른 매탄 gas의 경제성 문제 편리한 푸로판 gas의 등장 등으로 일본에서는 점차 응용비율이 자연히 감소 하기 시작하였다.

근년에 이르러 1973년도부터 불어닥친 석유위기는 전세계가 Energy 자원문제를 제일 조건의 연구과제로서 태양열이용 풍차 이용을 비롯한 매탄 gas 발효법등이 다시 검토되기 시작하였다. 그중 매탄 gas 발효법은 유기성 폐기물(가축분뇨뿐 아니라 도시 농촌의 모든 폐기물을 포함)로부터 Energy 원을 얻는 동시에 공해방지 효과와 액비생산등 一石三鳥의 효과때문에 크게 주목을 끌게 되었다. 농촌진흥청 주관하에 연암축전대에 설치한

대형매탄 gas 발생 장치에 의한 시험(겨울 보온은 태양열이용)은 현재 성공리에 연구조사가 계속되고 있으며 바이오(Bio) gas란 이름을 붙여 농가용으로 보급되는 器機商社도 출연되어 금후의 가축분뇨이용 분야중 매탄 gas 발효법은 가장 중요한 위치를 차지할 것으로 사료된다.

1. 매탄 발효의 원리

가축분뇨는 그림 1에서와 같은 과정을 거쳐 매탄 gas로 변화된다. 매탄 발효는 제 1 단계로 산발효라는 액화과정으로 복잡한 유기물이 분자량이 작은 가용성물질로 분해되어 저급지방산으로 된다. 이 과정에 관여하는 균은 Clostridium, Bacillus, Staphylococcus, Plectridium Caduceus, Protous 등으로 알려져 있다.

제 2 단계는 1 단계에 발생된 저급지방산이 Methan과 이산화탄소로 된다. 여기에 관여하는 매탄 세균은 표 1과 같이 여러가지 기질특이성을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 매탄세균은 완전한 혐기성조건하에서 활동하는 세균으로 호기성조건하에선 활동을 못한다. 따라서 매탄 발효는 공기(산소)의 유입이 없는 완전히 밀폐된 탱크 중에서 발생시켜야 한다.

그림 1. 家畜糞尿의 methan 발효

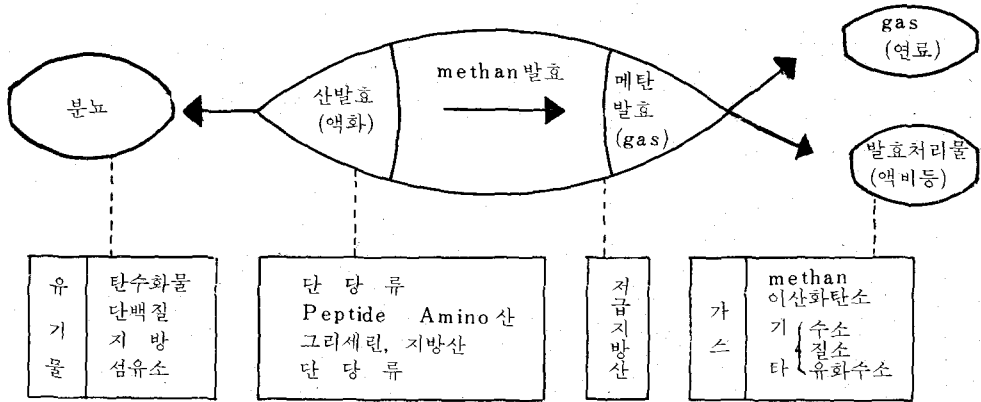


표 1. 각종 Methan 세균과 그 기질

Methan 세균	기질
Methanococcus mazei	酪산염, 酪산염
" vanielii	過산염, H ₂
Methanosarcina methanica	酪산염, 酪산염
" barkerii	Methanol, 酪산염, H ₂ , CO
Methanobacterium formicicum	酪산염, H ₂ , CO
" omelianskii	제 1 급 또는 제 2 급 Alcohol, H ₂
" propionicum	Propion 산염
" sokngeni	酪산염, 酪酸塩
" suboxydans	酪산염, 파레리안, 카프론산염

2. 메탄 발효의 필요조건

① 발효온도

메탄발효의 적온은 30~40°C의 중온발효 범위와 50~54°C의 고온발효 범위가 있으며 이 범위를 벗어나면 gas의 생산량 및 처리능력이 감퇴된다. 또 5°C이상의 급격한 온도 변화는 메탄 세균의 증식에 장애 원인이 되므로 주의해야 한다. 온도가 저하 되면 장애가 적지만 온도가 상승하여 중온발효 45°C 이상 고온발효 60°C 이상되면 메탄 세균의 활

성이 약해지고 그후 정상적인 메탄 발효는 곤란하게 됨으로 특히 주의해야 한다. 따라서 가축분뇨의 메탄발효의 경우는 보온 및 가온의 경비나 유지관리의 경제성을 참작하여 35°C 전후의 중온발효법을 선택함이 바람직하다.

② PH

메탄 세균의 최적 PH는 7.0~7.5이다. 이 범위를 벗어나면 메탄 생성량이 저하한다. PH의 변동요인은 대체적으로 유기물의 투입량이 많게 되면 제 1 단계의 산발효가 증가

되어 저급지방산이 대량축적되어 PH가 저하하는 경향이 있고 질소함량이 많은 유기물의 경우는 분해시 생성되는 암모니아 이온에 의해 PH가 상승된다.

③ 투입유기물의 성분조성

메탄 발효에 적당한 성분비 통계에 의하면 $\frac{\text{질소}}{\text{유기물}}$ 는 1/10-20 정도가 제일 좋고 인의 함량은 유기물의 1/100 정도가 필요하다. 특히尿의 혼입이 많은 鷄糞은 질소과다로 생성되는 암모니아 이온에 의한 PH 증가로 메탄발효에 장애를 받게된다.

④ 攪拌

미생물처리법으로서의 메탄발효임으로 균일한 처리를 위해 각반이 필요한 것이다. 즉 기질(유기질)과 균이 접촉할 확율을 높여주고 메탄 gas(생성물)와 탄화수소(저해물)를 액중으로부터 배출시키면서 발효를 촉진시켜야 한다. 또 각반은 槽内온도를 균일하게 유지시키는 것과 분괴의 분쇄에 중요한 작용을 한다. 하수찌꺼기의 소화처리나 공업용수 처리는 각반을 연속적으로 실시하는 고율 소화법이 채용되고 있으며 처리에 필요한 일수도 표준보다 반이나 단축된다. 그러나 가축분뇨의 경우 규모나 비용등 경제성을 고려하여 연속각반은 곤란하더라도 최소한 糞塊粉粹를 위한 각반시설은 필요하다.

3. 메탄 발효의 원균배양

상술한 바와 같이 충분한 혐기적조건과 보온에 의한 고온유지 적당한각반이 될 수 있는 발효조를 이용하여 메탄 gas를 생산하게 되지만 산발효와 gas 발효의 비율을 알맞게 맞추기 위한 균주를 배양할 필요가 있다. 자연적으로 메탄 발효가 되고 있는 川이나 沼 분뇨의 혐기성 貯留槽 특히 혐기성 소화처리

를 행하고 있는 분뇨처리장의 메탄 균주로서 이 균주가 활동할수 있도록 유기물(가축의분뇨등)을 소량씩 첨가하여 균주배양을 시킨다. 처음에는 PH가 저하되고 메탄 gas의 발생량도 적지만 점차 발효액의 PH가 회복되고 gas 생성이 종료된것을 확인한 후 2차 유기물 투입을 실시한다. 그 이후 균주는 점차 배양되어 PH도 7.0~7.5로 되고 gas 생성량도 증가되며 methan gas 함량도 높게된다. 이와 같이 유기물을 투입해도 PH의 변동도 없고 일정한 gas를 생산하게 되면 균주배양은 종료된 것으로 본다.

4. 가축분뇨를 이용한 메탄 gas 생산

① 가축분뇨투입량(유기물)과 gas 생성량

가축의 종류에 따라 유기성분에 다소차가 있음으로 gas발생량에 차이가 있다.(표2 참조)

메탄 균주가 충분히 배양된 발효조중에 매일 고정량의 분뇨를 투입하면 매일 메탄 gas를 얻을수가 있다. 발효조에 매일 투입하는 유기물량을 표시한 척도로서 유기물 kg/발효조m³/일 이라는 단위로 표시한다. 일반적으로 유기물 투입량은 중온발효시 2~3kg/m³/일, 고온발효시는 5~6kg/m³/일, 이며 이때 gas의 생성량은 투입 유기물 1kg당 300~700ℓ(메탄 gas 함량 50~80%) 정도로 보고 있다. 가축분뇨에 관한 연구는 표2에서와 같이 가축 분뇨의 경우 유기물투입량은 2~4kg/m³/일로서 투입유기물당 gas 생성량은 牛가 100ℓ, 豚이 400ℓ, 닭이 300ℓ로서 돈분이 가장 유효하다(표3참조)

우분의 gas 생성량이 적은 반추동물이기 때문에 역분해성유기물이 적기 때문인 것으로 사려된다.

② methan gas의 조성과 성질

생성 gas중의 methan gas 함량은 소가 제

표 2. 가축분뇨의 Methan산 발효시 온도 Gas 생성량 및 투입량(羽賀清典 1976)

분뇨의 종류	온도(℃)	유기물 투입량 (kg/m ³ /일)	발효일수	ℓ /유기물kg/ Gas 생성량	methan 함량(%)
유	23.3	1.69	-	76.4	52
	23.3	2.59	-	103.8	64
	35	1.56	-	154.7	59
	35	2.75	-	144.5	57
	35	1.6	12	54.4	77
	35	2.88	12	65	74
	35	1.6	20	48.7	79
	35	2.88	20	35.5	77
乳 雄 牛	32.5	1.9	10	64.9	65~75
	32.5	1.9	15	84.1	
	32.5	3.8	10	76.1	
	32.5	3.8	15	96.6	
거 세 돈	32.5	1.9	10	252.7	58~61
	32.5	1.9	15	419.1	
	32.5	3.8	10	402.7	
	32.5	3.8	15	447.8	
돼지	35	3.2	10	483.6~638.6	59
돼지	36~37	4.65	20	360~400	71~82
닭	23.3	2.20	-	102.4	32
	23.3	3.57	-	66.4	48
	35	2.21	-	263.9	22
	35	3.90	-	212.4	49
닭	32.5	1.9	10	303.3	52~58
	32.5	1.9	15	359.8	
	32.5	3.8	10	304.1	
	32.5	3.8	15	279.2	
닭	35	1.6~4.8	10~30	331	60~80

표 3. 가축분에서 생성되는 Methan Gas 량과 필요한 발효조 용적

축종	분배설량 (kg/두/일)	유기물량* (kg/두/일)	Gas 생성량		발효조용적** m ³ /두	발효일수***
			ℓ/두입유기물 kg/일	ℓ/두/일		
우	30	6	100	600	2.4	20
돈	2.5	0.5	400	200	0.2	20
계	0.15	0.03	300	90	0.012	20

* 유기물 함량을 일률적으로 10%였다.

**유기물 투입량은 일률적으로 2.5kg/m³/일이였다.

***각가축의 분은 물을 4 배 희석하여 투입하였다.

표 4. Mathan의 특성

임계온도 (°C)	임계압력 (atm)	沸 點 (°C)	응 점 (°C)	기체비중 (공기=1)	폭발한계 (Vol%)	발화온도 (°C)	발 열 량 Kcal/m ³
-82.1	45.8	-161.4	-182.7	0.554	5.3~14	537	9,500

일 많고 다음 돈 그리고 닭의 순으로 되어 있으나 모두 50~80%의 범위에 있다. 그외 성분은 이산화탄소가 대부분을 차지하고 기타 수증기 수소 유화수소가 소량함유되어 있다. 따라서 메탄 gas 발효 시설을 할때는 배관중에 수증기가 떨어져 제거 되도록 설치 해야 한다. 또 유화수소는 부식성 gas임으로 금속제의 기구사용시 脫硫의 우려가 있으니 유의 해야 한다.

순수한 methan의 발열량은 9,500Kcal/m³이지만(표4) 가축분뇨로부터 생성된 methan은 약 4,950~7,600Kcal/m³ (메탄함량 50~80%)의 발열량으로서 도시 gas대용가치는 충분하다. 공기중에 metan이 5.3~14% 정도 존재하는 혼합기체는 폭발 가능성이 있으므로 주의 해야 한다. (표 4삽입)

Methan gas의 비중은 일반 공기보다 가볍고 푸로판 gas 하층에 분포되어 폭발 위험성은 없다. 또 methan gas 자체는 이산화탄소와 같은 독성은 없다. methan은 임계온도가 -82.1°C 臨界壓 45.8atm의 성질을 가지고 있어서(일반기체는 임계온도 이하가 되지 않는 한 어느정도의 압력을 증가시켜도 액화가 될 수 없다) 쉽게 액화될 수가 없다. 따라서 methan을 밀폐시켜 운반이용 하기는 매우 곤란하며 대개는 직접 인근으로 배관하여 사용함이 보통이다.

③ methan gas의 응용과 경제성

메탄 gas 발생시설은 일본, 대만, 인도, 이스라엘, 영국 등 여러나라에서 보고 되고 있으나 그 원리는 동일하며 우리나라도 1969년부터 메탄 가스 개발 program을 개시하여

1975년 현재 약 29,450개나 된다고 한다. 1979년부터 농촌진흥청 농업기술연구소가 주관하여 연암축산전문대학에 설치 시험조사중인 대형 메탄가스 발생 시설을 간략하게 소개하면 다음과 같다.

a. 시설규모와 약도(메탄가스시설 개략도 삽입)

본시설의 특징은 동기의 기온저하에 의한 methan gas 생성량 감소를 해결하기 위해 종래의 석유또는 gas에 의한 가온시설을 태양 열이용으로 대체할 수 있도록 집열기를 이용한점이다.

b. 태양열 집열기의 집열효과

평균 入出溫 : 11°C → 39°C (최고 60°C)

평균 집열량 : 924 Kcal/일(가온 gas 절감 26m³)

c. 메탄 gas 발생량과 이용가능량

gas발생량	加溫用 가 스 량	이 용 가 능 량		
		가스량	취 사	취사+난방
185 (100%)	35 (19%)	150 (81%)	150호	25호

★. 취사 1m³/일 (5인가족)

★. 난방 5m³/일 (1실 2.5평/호)

1 일총 gas 발생량중 19%는 자체 원료의 가온용으로 약 81%는 도시 gas로 이용이 가능하였다(겨울기준)

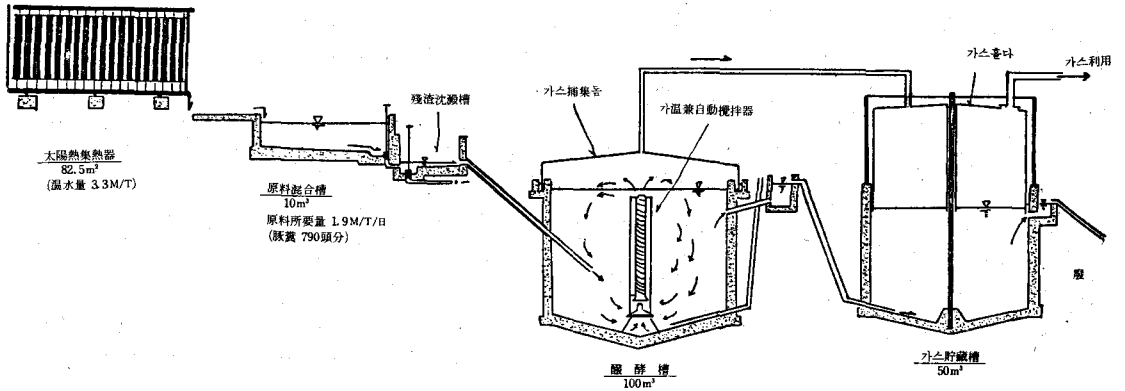
d. 현재 이용 상황

농가 5호(6m³/일호)

농장축사난방 40평(80m³/일)

현재 취사 난방을 겸한 5세대의 농가와 800두 돈사의 40평 난방에 사용중에 있음

施設概略圖



- e. 돈분 처리 능력
1 일 1.9m / (790두 (600kg) 분)
- f. 오염도 제거율
COD 68% (65.383→20.663 P.P.M)
유기물 (V.S) 78% (6.92→1.55%)
- e. f. 와 같이 돈분을 유효하게 처리 하여

연료	일당연료 소모량	단가(원)	금액(원)	지수
Methan	1 m³	118.15/m³	118.15	100
석유	0.9ℓ	179.00/ℓ	161.10	136
푸로판gas	0.5kg	627.00/kg	313.50	265
연탄 (실제열량)	2개 (0.8개)	95.00/개 (〃)	190.00 (76)	161 (64)
전기	6 Kwh	61.18/Kwh	367.08	311

COD 가 68% VS 가 78% 나 감소되어 공해를 줄일 수 있었다

g. 호당 취사 연료량 비교(5인가족)
본시설을 기준으로 환산한 농촌 진흥청의 경제성 분석치로서 연탄을 제외한 모든 연료보다 저렴한 결과로서 계속 다가올 석유 파동에 대처할 유일한 방안으로 계속적인 연구와 보급이 되어야 하겠다. 본 대학의 gas 발생실적으로 보아 이론치보다 더 많이 생성이 용할 수 있었다는 점을 고려할때 시설과 투입 유기질에 따라 충분히 경제성이 있는 gas 생산을 하여 대체 Energy 로 활용할 수 있다고 사려된다.