

## 農産廢棄物의 메탄醱酵와 그 利點

朴 永 大

農村振興廳 農業技術研究所

### Anaerobic Digestion of Agricultural Wastes and Its Benefits

Young-Dae Park

Institute of Agricultural Sciences, Office of Rural Development, Suweon, Korea

#### Abstract

Anaerobic digestion has recently attracted all over the world and Korea also shows no exception. The major benefits of anaerobic digestion are energy production, water pollution control, pathogen reduction and effective manure production.

In Korea it was recognized in late sixties that there was a positive need to find alternative energy for farmers household. The main traditional energy sources in rural area were crop residues and forestry products. Therefore Office of Rural Development through its Rural Guidance Bureau disseminated about 29,000 household biogas units from 1969 to 1975 to provide cooking fuel for farmers household and to improve the mode of farmers living standards. The units were welcomed by farmers at that time. Now, however, most of them are not using due to a number of reasons associated with cold winter and some techno-economical problems (in those day, fossil fuel was quite expensive to compare with other prices and since then farmers income was quickly increased).

The author studied on bag type household biogas plant to solve some technical problems of existing household biogas plants, but this also has little appeal for the farmers.

From 1977 author studied on village scale biogas plant with two pilot plants. From the viewpoint of energy production, COD removal, kill rate of pathogen and fertilizer value, the results obtained from the experiments were quite promising, but the construction cost of the village scale biogas plant was too high for the farmers in Korea.

To find most suitable biogas plant for farmers in Korea through the simplifying the biogas digester, the author developed batch-load biogas plant. By feeding coarse crop residues and manures, total solids concentrations of the batch-load biogas plant are about 28 percent which is much higher than continuous digester of 5-8 percent.

The batch-load biogas plant was welcomed by many farmers in Korea when it was reported on TV and newspapers. The plant was disseminated 154 units in 1982, 766 units in 1983 and 812 units in 1984 as a promising project.

Besides these biogas plant experiments, studies were also conducted

- 1) to determine gas production rate with agricultural wastes, 2) to evaluate the effect of loading rate, dilution, retention time on biogas production,
- 3) to project the amount of potential energy from agricultural wastes.

## 序 論

메탄醱酵(嫌氣分解)은 有機物에서 熱量이 높은 메탄가스를 生産할 뿐만 아니라 公害處理效果가 있어 에너지가 不足한 戰時에는 메탄가스 生産에 利用되어 왔고 平時에는 都市下水나 糞尿處理에 活用되었으나 '73년의 油類波動으로 메탄醱酵은 代替에너지生産, 公害處理, 廢資源再活用, 農村生活改善等 여러分野에서 研究되고 있다.

우리나라는 油類의 全量과 一部煉炭을 海外에 依存하고 있고 國內의 唯一한 化石燃料인 無煉炭은 炭抗의 深部化로 採算성이 떨어져서 에너지의 海外依存도는 今後 더욱더 深刻하여 질수 밖에 없다. 따라서 政府는 여러가지의 에너지 節約 方案을 세우고 있을 뿐만 아니라 代替에너지 開發에 熱을 올리고 있다.

우리나라의 代替에너지源으로는 太陽熱, 水力, 風力, 地熱 등을 들수 있으나 어느 것이나 施設投資上的 問題와 實用化에는 상당한 時間을 要한다. 이것에 比하면 메탄가스 施設은 比較的 簡單한 施設로 日常生活에서 副生되는 糞尿나 農産廢棄物 또는 有機性 쓰레기로 熱量이 높은 代替에너지를 生産할 뿐만 아니라 糞尿의 公害處理와 農村生活改善에 기여한다.

따라서 메탄醱酵을 통한 農産廢棄物の 에너지 生産과 그 利點을 中心으로 考察하고자 한다.

### 메탄가스 利用沿革

記錄上으로는 伊太利의 Volta가 메탄가스를

처음 發見한 것으로 되어 있으나 實은 中國이나 로마의 옛 傳說에 燃燒性 空氣가 있는 것으로 보아 메탄가스는 그 以前부터 알려 졌다고 한다<sup>13)</sup>.

1776年 Volta가 시궁창에서 植物性 有機物이 썩을때 燃燒性 空氣가 發生됨을 처음 發見하였으나<sup>13)</sup> 當時의 化學知識은 Volta가 發見한 이 燃燒性 가스가  $CH_4$ 임을 證明하지 못하였다. 그後 化學者인 Dalton이 1804년에 이 燃燒性 가스가  $CH_4$ 임을 證明하였다<sup>17)</sup>. 1883年 Gayan(Pasteur 弟子)는 家畜糞尿에서 메탄가스가 生成됨을 立證하고 35°C에서 메탄가스의 生成量이 많아짐에 따라 Pasteur는 糞尿를 嫌氣分解 시키면 燃料과 照明用 가스의 生産이 可能 하다고 豫言하였다<sup>17)</sup>. 1896年 英國의 Exeter市에서 糞尿가스로 街路燈을 처음으로 設置하였고<sup>17)</sup>이것에 刺戟을 받은 西歐의 科學者들은 메탄醱酵에 많은 關心을 가졌다. 兩次大戰중에는 燃料難에 直面한 獨逸, 英國, 불란서의 農民들은 糞尿로 메탄가스를 生産하여 炊事, 暖房, 自動車 및 發電機用 燃料로 使用하였고 聯合軍에 依하여 包回된 獨逸은 當時 유럽의 메탄가스 利用研究의 中心地였다<sup>13)</sup>.

戰後에는 戰後の 平和와 産油國의 石油붐으로 代替에너지로서의 메탄가스 生産研究는 漸次 그 자취를 감추고 메탄醱酵法은 主로 污水處理에 活用되어 왔다. 그러나 油類波動以後 메탄醱酵은 다시 代替에너지生産, 公害處理 및 廢資源의 再活用面에서 世界各國이 活發히 研究하고 있다.

### 메탄醱酵의 生化學的機作

有機物은 메탄醱酵에 依하여  $CH_4$ 와  $CO_2$ 로 분

解되며 이 과정을 3段階로 區分한다(그림 1).

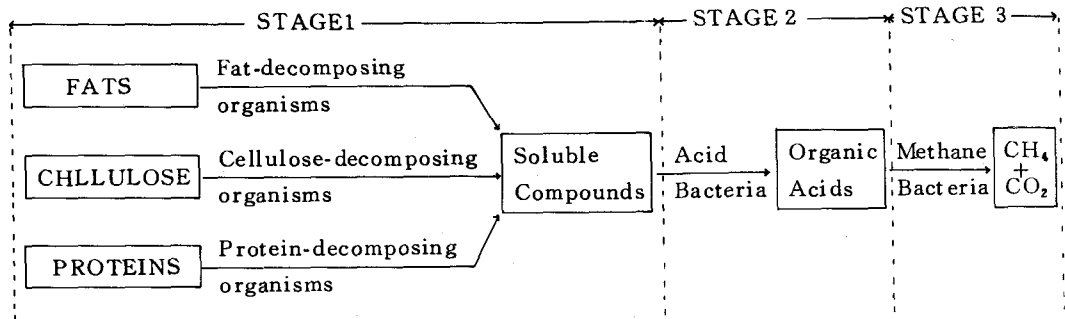


Fig. 1. Anaerobic fermentation of organic solids <sup>(4)</sup>

第一段階는 複雜한 有機物이 加水分解와 酵素의 作用으로 單純한 可溶性 物質로 分解되는 液化過程이다. 이 分解된 物質은 第二段階 微生物의 基質이 된다.

第二段階는 低分子의 有機物이 酸性菌에 依하여 低級脂肪酸으로 分解되는 段階이며 이 過程에 關與하는 微生物은 主로 通性菌으로서 많은 屬의 菌이 알려져 있다.

第三段階는 第二段階에서 生成된 低級脂肪酸이 메탄菌의 作用으로 메탄가스가 되는 過程이다. 메탄菌은 自然界에 널리 分布되어 있으며 特히 汚泥나 시궁창 또는 牛糞에 많으며 지금까지 9種類의 메탄菌이 存在하는 것으로 究明되었다 <sup>(14)</sup>. 어떤 메탄菌은 炭水化物的 分解過程에서 生成된 水素와 炭酸가스로  $CH_4$ 를 生成하기도 하나 複雜한 有機物에서 메탄이 生成되는 過程을 COD로 換算하면 그의 72%가 酢酸에서 由來된다(그림 2).

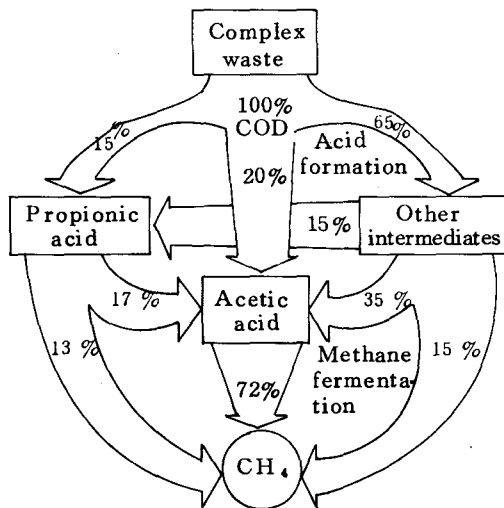


Fig. 2. Pathways of methane formation <sup>(3)</sup>

### 메탄醱酵의 主要因子

#### 1. 醱酵液의 PH

메탄醱酵의 最適 pH는 7.5前後이다. 醱酵槽에 母液과 糞尿를 投入하면 처음에는 溶液의 pH가 低下하다가 時日이 經過됨에 따라 pH는 徐徐히 上昇하여 7.5前後가 된다. pH가 낮을 때에는 發生한 가스중에 炭酸가스 含量이 많고 메탄가스 含量이 적어 불이 붙지 않으며 pH가 上昇한후에 生産된 가스중에는 메탄가스 含量이 많아 불이 잘 붙는다(그림 3).

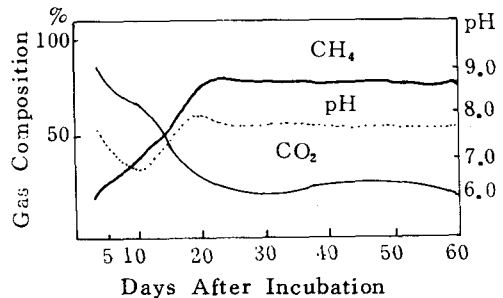


Fig. 3. Change in composition of gas and pH <sup>(7)</sup>

糞尿는 酸性이므로 一時에 多量을 投入하면 酸性菌이 優勢하여 溶液의 pH가 低下되며 發生된 가스는 불이 잘 붙지 않는다. 이와 같은 경우에는 石灰物質 또는 암모니아수와 같은 物質로 pH를 中性附近으로 서서히 矯正하여야 한다. 또한 投入原料는 適當量의 물로 잘 稀釋하고 原料는 一時에 多量을 投入하지 않은 것이 適正 pH를 維持하는 方法이다.

## 2. 醱酵溫度와 原料滯在期間

메탄醱酵에 관여하는 菌에는 中溫菌 (30~35 °C)과 高溫菌 (45~55 °C)이 있으며 가스發生量과 有機物의 減少量은 溫度에 比例하여 增加한다. 高溫醱酵는 高溫性 廢棄物이 나오는 工場廢水에 適合하고 下水處理나 糞尿 또는 農産廢棄物의 메탄醱酵는 加溫과 保溫을 위한 에너지와 維持管理費를 考慮하면 35 °C 前後의 中溫醱酵가 좋다.

原料滯在期間 (Hydraulic Retention Time)

은 投入液이 醱酵槽에 머무는 期間을 말하며 醱酵槽의 容量을 投入코저하는 原料量으로 나눈것이다.

따라서 投入하는 物量이 많으면 HRT는 짧아지며 HRT와 메탄가스의 發生量은 密接한 關係가 있다. HRT가 짧으면 容積當 가스發生量은 많고 HRT가 길면 有機物當 가스發生量은 많으나 容積當 가스發生量은 적다 (表 1). 또 HRT는 高溫에서는 짧고 低溫에서는 길어야 有機物의 分解가 많아져서 가스發生量도 增加한다 (表 2).

Table 1. Effect of loading rate on biogas production<sup>7)</sup>

Manure	HRT (Day)	V. S. fed (g/day)	Gas yield			
			Per volume (1/1/day)		Per V. S. (1/kg. VS/day)	
Chicken	10	100	2.53	100	506	84
	20	50	1.45	57	578	96
	30	33	0.98	39	585	98
	40	25	0.75	30	600	100
Pig	10	100	2.29	100	457	85
	20	50	1.26	55	502	93
	30	33	0.88	38	525	97
	40	25	0.69	30	540	100
Cow	10	100	1.30	100	259	60
	20	50	0.88	68	350	81
	30	33	0.66	51	393	90
	40	25	0.54	42	435	100

Volatile solid content in influent : 5%

Table 2. Optimum retention time and gas<sup>7)</sup> production at different temperatures

Manures	Digester Temp. (°C)	Optimum retention time (days)	Gas produced per volume (1/1/day)	VS Destroyed (%)
	15	55	0.48	50.8
	20	40	0.72	60.5
	25	30	1.38	61.1
	30	24	1.80	71.0
	35	20	1.45	75.0
	15	60	0.24	40.0
	20	45	0.42	41.4
	25	35	0.48	60.0
	30	20	0.58	59.0
	35	30	0.66	65.0

一般的으로 中溫醱酵에서는 容積當 가스發生量과 有機物當 가스發生量을 考慮하면 HRT는 20

~25일이 適當하나 (그림 4) 廢水處理場에서는 公害處理를 目的으로 하기 때문에 30日程度로 하는 경우가 많다.

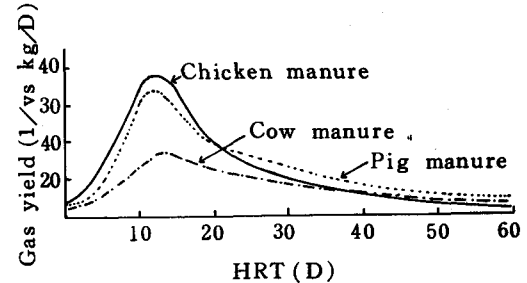


Fig. 4. Biogas production at different retention time<sup>9)</sup>

## 3. 有機物의 投入量과 稀釋 濃度

醱酵槽의 容積當 有機物의 投入量 (VS kg/m<sup>3</sup>)과 投入原料의 有機物 濃度 (%)는 메탄가스 發生量과 密接한 關係가 있다. 一般的으로 都市의 下

水處理은 0.96~2.4 kg/day/m<sup>3</sup> 정도이고 糞尿處理은 2~5 kg/day/m<sup>3</sup>의 정도가 좋다. 投入하는 原料와 물의 混合比率 即 有機物의 濃度는 約 7~10%가 좋으며 原料量은 同量을 每日 投入하는 것이 좋고 投入間隔日數가 길면 容積當 가스發生量이 減少된다.

#### 4. 醱酵液의 攪拌

醱酵槽內의 有機物 濃度가 높으면 醱酵液의 粘度가 높아지며 이렇게 되면 가스發生量이 減少된다. 이것은 生成된 가스類(CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>等)가 溶液속에서 集積되며 有害가스 特히 H<sub>2</sub>S와 같은 가스가 微生物의 生育을 阻害하기 때문이다. 또 醱酵液의 粘度가 높으면 液중에 層이 생기며 이로 因하여 微生物의 活動이 制限되기 때문에 有機物의 分解가 적어 가스發生量이 減少된다. 이와 같은 諸問題點을 解決하는데는 攪拌이 가장 좋은 方

法이나 小型施設에서는 어려움이 있다.

#### 5. 原料의 養分組成

메탄醱酵에 關係하는 微生物의 健全한 生育을 위하여서는 여러가지의 養分이 必要하다. 一般적으로 都市의 下水나 糞尿에는 이들 養分이 들어 있어 微生物의 正常的인 生育에는 별 支障이 없으나 單一 原料보다 混合原料가 가스發生量이 많다 (表 3).

一般적으로 原料의 C/N 比는 20~30程度가 좋고 이보다 높거나 낮으면 어느 한 쪽이 먼저 消費되며 窒素가 남는 경우 溶液속에서 암모니아가 集積되며 메탄醱酵은 阻害된다. 最近의 研究에 依하면 活性炭素나 酸化鐵의 添加도 메탄가스의 發生量을 增加시킨다. 한편 工場廢水나 都市下水중에는 毒物物質이 含有되어 메탄醱酵가 阻害되는 경우도 있다.

Table 3. Increase in gas yield obtained with mixtures of wastes<sup>7)</sup>

Manure	Total gas production (1/kg. Vs)	Increased rate by mixing materials (%)	Total gas production (1/kg. Vs)	Increased rate by mixing materials (%)
Cow	380		437	
Pig	569		628	
Chicken	617		643	
Night soil	265		304	
Weed	277		316	
Cow + Pig (50:50)	510	107	544	102
Cow + Chicken (50:50)	528	106	554	103
Cow + Night soil (50:50)	407	116	474	128
Cow + Weed (50:50)	363	105	421	112
Pig+Chicken (50:50)	634	106	663	104
Pig+Chicken+Cow (50:25:25)	585	111	601	103
Chicken+Night soil (50:50)	413	101	478	101
Chicken+Weed (50:50)	495	101	590	123
Night soil + Weed (50:50)	387	139	437	121

#### 메탄가스의 特性

메탄醱酵로 生産된 메탄가스를 英語로 Biogas 라 하며 이가스 중에는 60~70%의 CH<sub>4</sub>와 30~40%의 CO<sub>2</sub> 및 약간의 H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> 등이 含有되어 있다. 1m<sup>3</sup>의 Biogas는 約 6,000 Kcal이며 이 熱量은 都市가스(3,600~4,000 Kcal/m<sup>3</sup>)나 푸로

관가스(約 24,000 Kcal/m<sup>3</sup> 이나 燃燒時에는 空氣와 희석되기 때문에 실제 發熱量은 4,000~48,000 Kcal 임)보다 높으며 Biogas는 都市가스나 푸로관가스가 쓰이는 모든 用途에 使用될수 있다. 그러나 CH<sub>4</sub>는 表 4 에서와 같이 臨界溫度와 臨界壓力이 낮기 때문에 푸로관가스와 같이 常溫에서 液化할수 없으며 液化貯藏할려면 高壓펌페에 충전하여야 한다.

Table 4. Selected physical and chemical properties of methane<sup>4)</sup>

Chemical formula	:: CH <sub>4</sub>
Molecular weight	: 16.042
Boiling point at 760 mm	: -161.49 °C
Freezing point at 760 mm	: -182.48 °C
Critical pressure	: 47.363 kg/cm <sup>2</sup>
Critical temperature	: -82.5 °C
Specific gravity (air= 1.0)	: 0.55
Calorific value (65% CH <sub>4</sub> )	: 6,160 Kcal/m <sup>3</sup>
Flammability in air (% CH <sub>4</sub> )	: 5-14
Ignition temperature	: 650°C
Combustion equation	: CH <sub>4</sub> +2O <sub>2</sub> →CO <sub>2</sub> +2H <sub>2</sub> O
CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> from complete combustion	: 1.00 by volume

CH<sub>4</sub>는 密閉된 空氣중에 5~13%인 경우 火焰이 닿으면 爆發의 危險이 있으며 이 範圍以外에서는 메탄함량이 너무 적거나 많기 때문에 爆發하지 않는다. 따라서 메탄醱酵로 生産된 Biogas (CH<sub>4</sub> 함량이 60%인 경우)는 密閉된 空氣중에 9~23%가 含有될때 爆發할 可能性이 있으나 메탄가스는 比重이 空氣1에 對하여 0.5이므로 가스利用場所에 약간의 틈만 있어도 爆發의 危險은 避할 수 있다.

### 메탄醱酵의 活用

메탄醱酵는 自然界에서 汚染된 河川이나 시 궁창에서 흔히 일어나는 自然淨化 作用의

하나이나, 이것을 人爲的으로 代替에너지 生産이나, 汚物의 淨化에 實用的으로 活用하고 있다.

#### 1. 都市下水處理

메탄醱酵法이 많이 活用되고 있는 것은 都市의 下水處理場이며 英國의 런던市는 1930年代<sup>2)</sup>에 이미 下水處理를 위하여 메탄醱酵施設을 設置하였으며 한때 "죽은 Thames 江"이라고 불리던 江을 오늘날의 "살아 있는 Thames 江"으로 만드는 데는 메탄醱酵法이 크게 貢獻하였다.

런던의 Thames 江邊에는 15개의 메탄醱酵 下水處理場이 있고 그의 下水處理內容과 메탄가스 發生量은 表 5와 같다.

Table 5. Biogas production from London sewage treatment works<sup>15)</sup>

Place	Areas (km <sup>2</sup> )	Popula- tion (10 <sup>6</sup> )	Untreated sewage		Influent		Effluent BOD (ppm)	Sludge produced (m <sup>3</sup> /d)	Biogas produced (m <sup>3</sup> /d)
			Total (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	Average (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	BOD (ppm)	SS (ppm)			
Beckton	282	2.39	32,600	89.2	304	353	66.0	7,750	77,000
Crossness	205	1.53	18,800	51.7	479	571	19.0	4,950	52,600
Mogden	427	1.35	14,400	39.1	275	331	7.9	3,570	57,700
Deephams	249	0.69	6,110	16.7	357	431	5.7	1,740	21,800
Riverside	127	0.34	2,983	8.1	400	547	70.0	720	10,600
Beddington	140	0.34	2,741	7.5	342	561	5.0	650	10,700
Hogsmill valley	70	0.2	1,671	4.6	362	412	9.5	478	5,484
Surbiton			273	0.65	246	264	12.5		
Wandle valley	23	0.09	1,000	2.7	286	296	7.6	300	-
Kew	23	0.08	1,142	3.1	175	218	3.1	115	2,087
Worcester park	36	0.08	556	1.5	408	524	12.5	150	2,500
Sutton	9	0.04	313	0.85	417	427	7.4	-	-
Redbridge E	8	0.04	316	0.8	353	341	12.9	-	-
Redbridge S	6.5	0.03	217	0.6	330	339	8.9	36	-
Bury Farm	23	0.02	150	0.4	338	466	5.0	30	-
Total	1,628	7.2	83,335					20,489	240,471

이곳에서 發生된 메탄가스는 디젤엔진 또는 가스터빈을稼動하여發電하고發電된電氣는下水處理場의動力源으로使用하며디젤엔진의廢熱은醱酵液加溫에活用하고있다.筆者도1979년에Thames江의Beckton下水處理場에서하루49,400 $m^3$ 의메탄가스(푸로판가스換算量:約44,700 $kg$ )를生産하며이가스로가스터빈을稼動하여發電하고이電氣를下水處理場의動力으로使用하는것을보았다.

日本에서는人口20萬以上の都市下水處理場에서메탄醱酵槽를設置한數는263槽이며(1973), 이들施設에서發生되는가스량은年間6,300萬 $m^3$ 이다<sup>15)</sup>.그외에도西獨,불란서,美國等の先進諸國에서는下水處理를메탄醱酵法으로하고있

다<sup>14)</sup>.

우리나라의서울청계천線末下水處理場에는런던의下水處理場과같은방법의메탄醱酵施設을英國Simon-Hartley社의技術支援으로1980년에設置하였다.이곳에는個當3,800 $m^3$ 의醱酵槽가10槽있고醱酵槽個當하루約1,500 $m^3$ (푸로판가스換算量:750 $kg$ )의가스를生産하며이가스를下水處理場의動力源과醱酵液加溫에活用하고있다.

## 2. 工場廢水處理

工場廢水處理에메탄醱酵法을많이活用하고있는나라는日本이며알콜蒸溜廢液을메탄醱酵시킨結果는表6과같다.

Table 6. The effect of methane fermentation on alcohol wastes<sup>15)</sup>  
( '70, 5 plants, Japan )

Amount of treatment per year		Biogas produced		BOD		
Wastes (kl)	V. S. (t)	Total amount ( $m^3$ )	Amount per ton V. S. ( $m^3$ )	Influent (ppm)	Effluent (ppm)	Reduction (%)
233,401	9,261	5,585,403	603	25,718	3,352	87

## 3. 農村代替에너지生産

化石燃料가不足한나라는農村에서손쉽게구할수있는農産廢棄物에서메탄가스를生産하여燃料로使用하여왔다.兩次大戰중燃料難에直面한西歐의農民들은家畜糞尿로메탄가스를生産하여炊事,暖房,發電等に使用하였고印度의農業試驗場은農土에還元하여야할牛糞을農家에서燃料로使用하는것을間接적으로막기위하여1939년부터牛糞으로메탄가스를生産하는研究를하였고1961년에는메탄가스研究所까지設立하여<sup>4)</sup>農村에메탄가스施設을普及하고있다.臺灣에서는二次大戰중에도農家에서메탄가스施設을活用하였고油類波動以後에는代替에너지生産과公害處理目的으로메탄가스利用研究를強化하고있다.中共에서는農村에너지와良質의有機質肥料生産을目的으로1950년부터農村에메탄가스施設을普及하기始作하여現在約700萬基의施設이農家に設置되어있고<sup>16)</sup>그외에도거의大部分의나라가메탄가스施設을農村에普及하고있다<sup>14)</sup>.

## 우리나라의 메탄가스 利用 및 研究

### 1. 小型 메탄가스 施設

우리나라는農村燃料生産,堆肥增産,山林綠化및農村生活改善等の多目的事業으로1969년부터1975년까지約29,000基의小型메탄가스施設을農村에示範普及하였으며年度別普及現況은表7과같다.

이施設은二次大戰前後에日本에서많이使用하던型으로서(그림5)普及當時에는農民들의呼應을받았으나其間農民들의急激한所得増大와化石燃料의相對的廉價및施設의一部短點으로오늘날에는同施設이거의活用되고있지않다.

### 2. PVC-Bag型 메탄가스 施設

既存小型施設의短點을補完하기위하여Bag型메탄가스施設을開發하여그의利用可能性을

Table 7. Number of household biogas units installed<sup>5)</sup>

Place	Year	'69	'70	'71	'72	'73	'75	Total
Pusan city					50	54	2	106
Kyunggi - province		72	180	101	1,050	523	56	1,982
Kwangweon - province			60	50	700	553	32	1,395
Chungbug - province		62	60	100	600	699	32	1,553
Chungnam - province		83	69	100	1,030	1,098	451	2,831
Jeonbug - province		62	80	100	1,000	1,074	448	2,764
Jeonnam - province		101	117	1,000	2,100	2,553	1,088	6,959
Kyungbug - province		62	60	484	1,501	2,072	927	5,106
Kyungbug - province		62	60	1,000	2,030	2,077	964	6,193
Cheju - province			5	50				55
Total		504	691	2,985	10,061	10,703	4,000	28,944

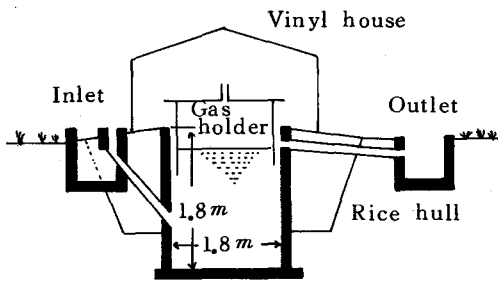


Fig. 5. Household biogas plant<sup>10)</sup>

檢討하였다. 施設은 PVC 原緞 中間에 高強力 나 이론 網絲를 넣고 高周波接着을 시킨 原緞으로 만 든 醱酵槽(3 m<sup>3</sup>)와 가스捕集 Bag(1 m<sup>3</sup>)으로 構 成되었으며 醱酵槽에는 原料投入口와 排出口 및 殘查除去口를 設置하였고 가스捕集 Bag에는 가 스의 出入口를 設置하여 醱酵槽과 가스바나를 連 結시켰다(그림 6).

이 施設의 設置는 醱酵槽를 設置할 구덩이를 파 고 비닐, 스티로폼 順으로 놓고 그위에 醱酵槽를

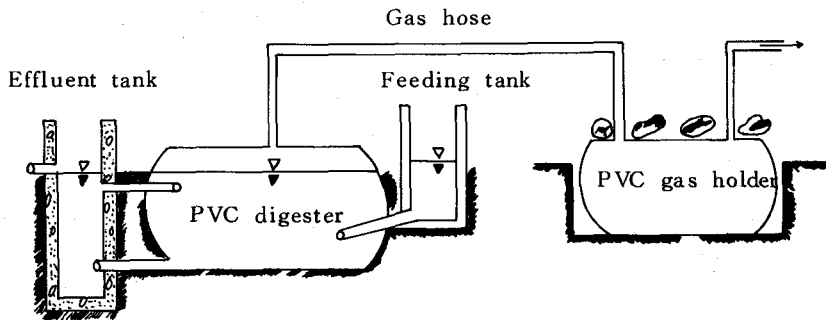


Fig. 6. PVC-Bag type biogas plant<sup>9)</sup>

設置한 다음 빗물을 막고 保溫을 위하여 醱酵槽 의 上部에 비닐하우스를 設置하였다.

豚糞(生糞) 100 kg와 물 200 kg를 混合하여 8日 間隔으로 年中 投入한 結果 가스發生量은 Bag 型施設(3 m<sup>3</sup>)이 既存 小型施設(5.8 m<sup>3</sup>) 보다 많았으며 이것은 Bag 型의 醱酵液溫이 小型施設 보다 높았기 때문이었다(表 8). PVC-Bag 型 施設은 既存 小型施設보다 設置費가 低廉하고 設置作業이 簡便하며 가스發生量도 많았으나 農民들 의 呼應을 얻지 못하였다.

### 3. 大型 메탄가스 施設 開發

既 農家에 示範普及한 小型메탄가스 施設이 發 展하는 農村實情에 부응하지 못하게 되자 農村振 興廳은 部落單位로 使用할 수 있는 大型 메탄가스 施設을 開發코져 1976年부터 英國 海外開發省의 技術支援을 받아 試驗用 大型메탄가스 施設을 設 置하고 試驗을 實施하였다.

同施設은 깊이 6 m, 直徑 6 m, 容量이 137 m<sup>3</sup>의 콘크리트 醱酵槽로서 돔은 콘크리트로 만들었다.



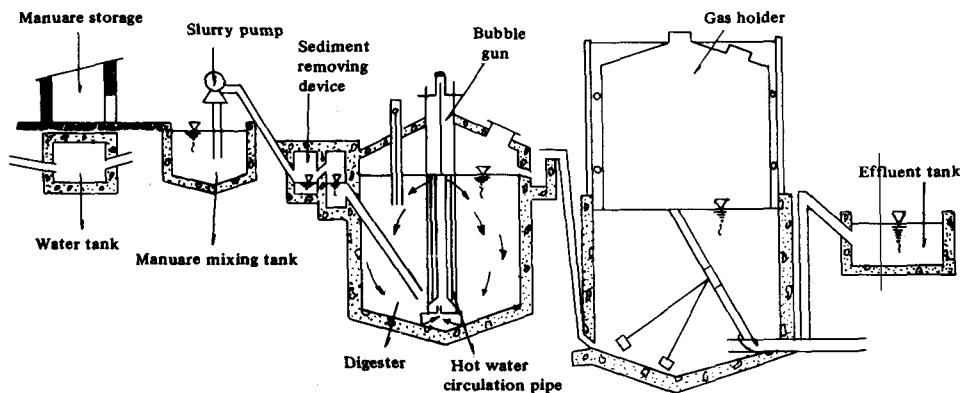
**Table 8.** Comparison of digester temperature and biogas production between PVC-bag type and existing concrete type biogas plants<sup>9)</sup>

Plant	Item	PVC-bag										11 Nov.	12 Dec.
		1 Jan.	2 Feb.	3 Mar.	4 Apr.	5 May	6 June	7 July	8 Aug.	9 Sept.	10 Oct.		
PVC-bag	Dig. temp. (°C)	8.1	8.9	12.5	18.6	26.4	29.3	31.8	33.0	29.4	23.6	17.7	11.0
	Gas produced (1/day)	420	480	660	1,000	1,212	1,564	2,171	2,052	1,419	1,358	680	990
Concrete	Dig. temp. (°C)	7.1	5.2	4.7	9.3	14.0	17.5	22.0	23.5	23.0	9.0	23.2	9.8
	Cas produced (1/day)	264	135	183	410	1,146	1,410	1,843	2,030	1,937	1,578	380	433

The PVC-bag plant (digester volume : 3 m<sup>3</sup>) was fed 100 kg of pig manure once in a eight-day and the concrete plant (digester volume : 5.8 m<sup>3</sup>) was fed 12.5 kg of chicker manure daily.

醱酵槽에는 加溫과 攪拌을 同時에 이룩 할수 있는 Bubble Gun裝置를 設置하였으며 그외의 裝置로는 原料混合탱크, 糞類와 같은 浮遊物質을 粉碎하는 粉碎機, 浮上式 鐵製가 스홀다, 原料投入 펌프, 廢液貯藏탱크, Bubble Gun의 Gas bubble 을 調節하기 위한 小型콤포레셔, 메탄가스用 溫水

보일러 等으로 構成되었다. Bubble Gun은 鐵製로 만든 것으로서 속은 圓筒型으로 비어있고 圓筒型의 壁은 메탄가스로 加溫된 溫水가 循環하게 되었으며 壓縮된 메탄가스는 Bubble Gun의 下部에 供給토록 되어 있다(그림 7). 하루 2.4톤(1.5톤의 豚糞, 0.6톤의 牛糞, 0.3



**Fig. 7.** Flow chart of village scale biogas pilot plant<sup>6)</sup>

톤의 鷄糞)과 4 m<sup>3</sup>의 물을 混合한 原料(固形物 約 8%)로 冬季試驗을 實施하였다. 試驗期間중 醱酵液의 溫度는 生産된 메탄가스로 溫水보일러를 利用하여 約 35°C가 되게 調節하였고 醱酵液의 HRT는 約 21日로 하여 試驗을 하였다.

一日平均 가스發生量은 229 m<sup>3</sup>였고 容積當가스 發生量은 1.67 m<sup>3</sup>였다. 試驗期間중 醱酵液溫을 35°C 前後로 維持하는데 所要된 氣量은 一日平均 73.2 m<sup>3</sup>였고 이는 總가스發生量의 約 32%이며 一日平均 利用 可能 氣量은 156 m<sup>3</sup>였다. 또한 氣 中의 CH<sub>4</sub>와 CO<sub>2</sub>含量은 各各 58.2%와 41.6

%였다(表 9).

試驗期間중의 平均 醱酵液溫과 投入한 原料의 液溫은 各各 34°C와 9.4°C였다. 따라서 메탄가스 1 m<sup>3</sup>의 熱量을 5,500 Kcal로 假定하고 보일러의 熱效率을 60%<sup>1)</sup>로 하면 投入液의 溫度를 上昇시키는데 所要된 熱量과 熱傳도에 依하여 損失된 熱量은 各各 208,320 Kcal(80%)의 33,240 Kcal(14%)였다(表 10). 따라서 137 m<sup>3</sup> 醱酵槽의 하루 平均가스 利用可能量은 156 m<sup>3</sup>이며 이 量은 太陽熱溫水集熱器를 設置하여 投入液溫을 높이면 增加시킬 수 있다.

Table 9. Average of gas production, gas consumption and surplus gas<sup>6)</sup>  
( '78.1.1 ~ '78.3.31 )

Gross gas production ( $m^3/day$ )	Gas produced per volume of digester ( $m^3/m^3$ )	Gas consumption for heating digester ( $m^3/day$ )	Surplus gas ( $m^3/day$ )	Gas composition (%)	
				CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
229	1.67	73.2	156.8	58.2	41.6

Average temp.: Ambient : -7.6°C, Digester : 34.2°C, Influent : 9.4°C.

Table 10. Biogas consumption for controlling digester temperature<sup>6)</sup>

- A. Heat supplied by by biogas.  
 $73.2 m^3 \times 5,500 \text{ Kcal} = 402,600 \text{ Kcal}$
- B. Heat used for controlling digester temperature.  
 $402,600 \times 0.6 = 241,560 \text{ Kcal} (100\%)$
- C. Heat requirement to raise the temperature of influent.  
 $34.2^\circ\text{C} - 9.4^\circ\text{C} = 24.8^\circ\text{C}$   
 $8,400 \times 24.8^\circ\text{C} = 208,320 \text{ Kcal} (86\%)$
- D. Heat losses due to conduction through digester wall.  
 $241,560 - 208,320 = 33,240 \text{ Kcal} (14\%)$

#### 4. 大型 메탄가스 施設 農家實證 試驗

開發한 大型施設을 農家에서 實證試驗을 하기 위하여 1979 年에 蓮庵畜産 專門大學의 附設農場(忠南 天原郡 成歡邑 水香里)에 大型施設을 設置하고 冬季에 가스發生量과 가스生産費 및 附隨的 效果에 關하여 試驗을 實施하였다.

1) 施設設計: 設計에 있어서 考慮하여야 할 問題는 施設이 우리나라의 農村實情에 맞아야 하고 또한 可能하면 簡便하여야 할 뿐만 아니라 輸入 機資材가 적어야 한다.

本施設에서는 앞의 大型施設에서 使用하였던 投入用 外製펌프와 粉碎機를 使用치 않고 原料의 混

합은 手動으로 하고 投入은 重力式으로 하도록 設計하였다. 따라서 醱酵槽는 地下에 設置하고 容量은 100  $m^3$ 로 하였다. 앞의 大型施設의 콘크리트돔은 가스 漏氣를 쉽게 防止하기 위하여 鐵製로 代替하였다.

即 콘크리트 醱酵槽의 上端 周圍에 물턱을 만들고 그위에 鐵板으로 만든 가스돔을 덮고 물턱에 물을 채워 發生된 가스의 漏氣를 防止하였다. 醱酵液의 加溫과 攪拌은 앞의 大型과 같이 Bubble Gun 裝置를 設置 利用하였고 投入液溫을 높이기 위하여 太陽熱溫水集熱板을 設置하였다. 그외에 隣近 部落 農家에 메탄가스를 供給하여 活用試驗을 하기 위하여 約 400  $m$ 의 가스管을 地下에 埋

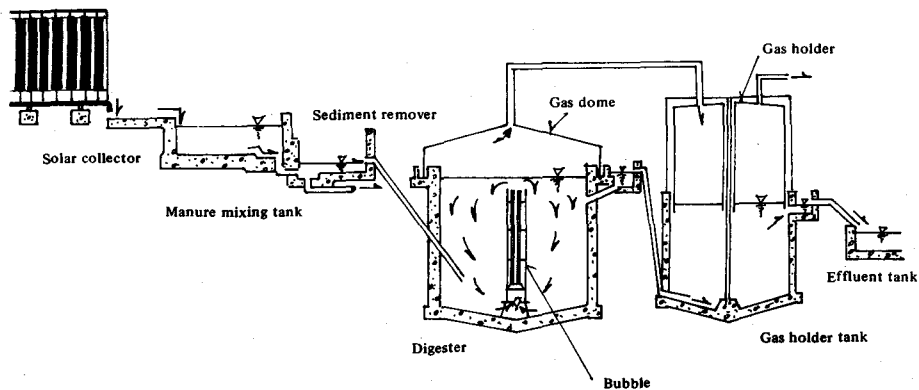


Fig. 8. Schematic diagram of village scale biogas plant<sup>8)</sup>

設하였다(그림 8). 이 施設의 總工事費는 約 1,300 萬원('79價格)이 들었다.

2) 가스發生量: 冬季試驗을 實施하기 위하여 1979年 11月 21日~1980年 3月 10日까지 하루 1.9 噸의 豚糞과 太陽熱集熱器에서 加溫된 3.3 m<sup>3</sup>의 물로 混合한 原料를 投入하였다. 固形物의 含量은 約 10% 였고 HRT는 約 20日로 하였다.

醱酵液溫은 메탄가스 溫水보일러로 約 35℃로 調節하였다.

冬季의 一日平均 가스發生量은 185 m<sup>3</sup>였고 VS 當 가스發生量은 0.49 m<sup>3</sup>, 醱酵槽 容積當 가스發生量은 1.85 m<sup>3</sup>였다. 또한 가스중의 CH<sub>4</sub>와 CO<sub>2</sub> 含量은 平均 65.4%와 34.3%였다.(表 11)

醱酵液溫을 35℃로 높이는데 使用된 메탄가스量

Table 11. Average of gas production, gas consumption and surplus gas<sup>8)</sup> ('79.11.21 ~ '80.3.10)

Gross gas production (m <sup>3</sup> /day)	Gas produced per volume of digester (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Gas consumption for heating digester (m <sup>3</sup> /day)	Surplus gas (m <sup>3</sup> /day)	Gas composition (%)	
				CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
185.1	1.85	30.2	154.9	65.4	34.3

Average Temp.: Ambient : 0.6℃, Influent : 25.7, Digester : 35.0℃.

은 30.2 m<sup>3</sup> 였고 이량은 總가스 發生量의 16%에 해당된다.

前試驗에서 總가스 發生量의 約 32%가 醱酵液溫 上昇에 使用되었으나 本試驗에서 總가스 發生量의 16%가 使用된 것은 太陽熱集熱器의 效果때문이다.

太陽熱集熱器에 의하여 3.3 m<sup>3</sup>의 (10.9℃)을

12.3℃에서 58.6℃까지 加溫하였고 一日平均 39.9℃로 높였다. 이 太陽熱集熱器에 依하여 集熱된 熱量은 一日平均 95,460 Kcal이며 1 m<sup>3</sup>의 메탄가스를 6,000 Kcal로 假定하고 보일러의 熱效率을 60%<sup>1)</sup>로 看做할 경우 이 熱量은 26.5 m<sup>3</sup>의 메탄가스에 해당된다(表 12).

Table 12. Average results of solar water collector<sup>8)</sup> ('79.11.20 ~ '80.3.10)

Input water temp. (℃)	Output water temp. (℃)			Collected cal. (Kcal/D)	Amount of biogas saved (m <sup>3</sup> /D)
	Highest	Lowest	Average		
10.9	58.6	12.3	39.9	95,460	26.3

3) 經濟性分析: 冬季試驗에서 利用可能 가스量은 一日平均 154.9 m<sup>3</sup>였고 夏季에는 醱酵液溫 維持에 所要되는 메탄가스量이 적기 때문에 이 施設을 年中 可動할 경우 利用可能量은 增加될 것이므로 이 量을 一日平均 (154.9 + 170) ÷ 2 = 162.5 m<sup>3</sup>로 推定하여 施設投資費에 대한 經濟性을 分析한 結果 메탄가스 1 m<sup>3</sup>의 生産費는 112.70원이었다(表 13).

이 1 m<sup>3</sup>의 生産費와 施設設置 當時('79.10.1)의 5人家族 炊事用 化石 燃料價格을 比較하면 메탄가스는 化石燃料보다 현저히 싸다(表 14).

同施設은 1年만 稼動하여도 生産된 가스量은 金額으로 換算하면 施設費보다 많은 1,700 萬원이 된다.

政府는 代替에너지 生産과 畜産公害防止 對策

Table 13. Production cost of one cubic meter of biogas<sup>8)</sup>

Items	Quantities	Amount of money (Won) b/
Products (Biogas) 162.5 m <sup>3</sup> /day		
Production cost a/		
Personal expenditure	2 person/day	10,000
Electric charges	21 Kwh/day	1,641
Depreciation cost		2,614
Repair cost		1,694
Fixed capital interest		2,843
Total		18,313
Production cost of one cubic meter biogas (18,313 Won/162.5m <sup>3</sup> )		112.70

a/ Production cost: Based on Oct. of 1979 price  
b/ US 1\$: About 500 Won.

Table 14. Five person-household cooking fuel required<sup>8)</sup>

Fuel	Needed amount per day	Unit cost a/	Amount of money (Won)	Index
Biogas	1 m <sup>3</sup>	112.70 Won/m <sup>3</sup>	112.70	100
Propane gas	0.5 kg	627 Won/kg	313.50	278
Kerosene	0.91 ℓ	179 Won/l	161.10	143
Anthracitic briquettes (Real calorie)	2 piece (0.1 " )	95 Won/piece ( " )	190.10 (76.00)	169 (67)
Electricity	6 Kwh	61.18 Won/piece	367.08	328

a/ Unit cost : Based on price of Feb. 1980

b/ Anthracitic briquettes : Burning 24 hours continued.

c/ Combustion efficiency : Biogas 60%, Anth. briquettes 30%, Propane gas 60%, Kerosene 50%, Electricity 70%.

으로 同施設을 企業畜産農家に 示範普及코저 하였으나 施設費의 過多와 그간의 社會與件 變化로 同施設의 普及은 挫折되었다. 그러나 同施設은 溫帶地方에서 冬季에도 活用 할 수 있는 利點이 있어 터키政府는 同施設을 自國에 設置코저 UNICEF를 通하여 技術支援 要請이 있어 筆者는 터키를 다녀온 바 있고 터키에는 1973年 現在로 同施設이 約 200基 設置되었다 한다.

4) VS, COD 및 BOD의 減少 : 메탄醱酵은 오래전부터 메탄가스 生産과 더불어 公害物質인 揮發性 固形物 (VS), COD 및 BOD除去에 活用되고 있다.

本試驗에서도 VS, COD 및 BOD는 현저히 減少되었으나 (表 15) 廢液중에는 아직도 水質汚染源이 되는 이들 物質의 含量이 높으므로 이 廢液을 農土에 撒布치 않고 直接 河川에 放流 할 경우 COD와 BOD는 好氣性 處理法으로 50ppm 이하까지 除去하여야 한다.

Table 15. Average reduction of pollutant<sup>8)</sup>

Pollutant	Influent	1st effluent	2nd effluent
VS (%)	6.92	3.50	1.55
Reduction (%)	-	49.5	77.1
COD (ppm)	65,383	38,136	20,663
Reduction (%)	-	41.7	68.4
BOD (ppm)	20,600	2,450	1,650
Reduction (%)	-	88.1	92.0

5) 糞尿중의 寄生蟲 및 病原菌死滅 : 메탄醱酵은 糞尿중의 惡臭을 除去할 뿐만 아니라 寄生蟲과 病原菌을 死滅시키는 效果가 있다.

本試驗에서도 家畜衛生研究所의 關係官 調査에 依하면 메탄醱酵로 糞尿중의 病原菌과 寄生蟲이 거의 死滅되었다 (表 16).

Table 16. Kill rate of pathogen<sup>11)</sup>

Organisms	Influent	Effluent	Kill rate (%)
Ascaris (E.P.G)	200	-	100
Trichuris (E.P.G)	2500	100	96
E.Coli (CFU/ml)	44.5 × 10 <sup>5</sup>	7.7 × 10 <sup>3</sup>	99.8
Intestinal coccus (CFU/ml)	12.8 × 10 <sup>7</sup>	4.0 × 10 <sup>6</sup>	96.8

E.P.G = Egg per gram of feces.

C.F.U./ml = Colony forming units per ml.

6) 廢液의 肥效 : 糞尿는 메탄醱酵 過程에서 惡臭이 除去되고 病原菌과 寄生蟲이 死滅된 良質의 肥料가 生産된다.

本試驗의 廢液에 대한 肥效는 表 17과 같다.

Table 17. Fertilizer value of digested slurry<sup>11)</sup>

Nutrient content (dry weight.%)		Fertilizer effect on grass pasture plant		
		Treatments	Orchard grass (kg/10a)	Corn (kg/10a)
O. M.	60	No fertilizer	756 (100)	1537 (100)
T - N	2.1	Check (N. P. K)	1338 (177)	1789 (116)
P <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	6.8	Slurry	1208 (160)	1767 (115)
K <sub>2</sub> O	0.9	Slurry + P. K	1190 (157)	1743 (113)

Water content of the slurry : 9 %

벗짚利用 메탄가스 施設

開發된 大型메탄가스 施設의 普及이 挫折되자 農業技術研究所의 農村熱資研究팀은 施設費가 低廉하고 設置方法이 簡便한 農家單位 메탄가스 施設 開發에 着手하여 1981年에 벗짚과 糞尿로 메탄 가스를 生産利用한 後 良質의 堆肥를 副生하는 벗짚利用 메탄가스 施設을 開發하였다.

새로 開發된 벗짚利用 메탄가스 施設은 그림 9 와 같이 施設의 主要 部分은 시멘트 벽돌로 만든 醱酵탱크와 그 위에 가스를 捕集하는 가스돔 및 가스貯藏주머니로 되어 있다. 이 施設은 回分式(Batch load type) 으로서 從來 糞尿나 汚水만을 使用 하던 連續式이 投入口와 排出口의 口徑이 작아 藥 稈類와 같은 農副産物을 거의 活用치 못하던 것을 이 施設에서는 活用할 수 있을 뿐만 아니라 固形物의 濃度를 낮추기 위하여 많은 물을 넣지 않기 때문

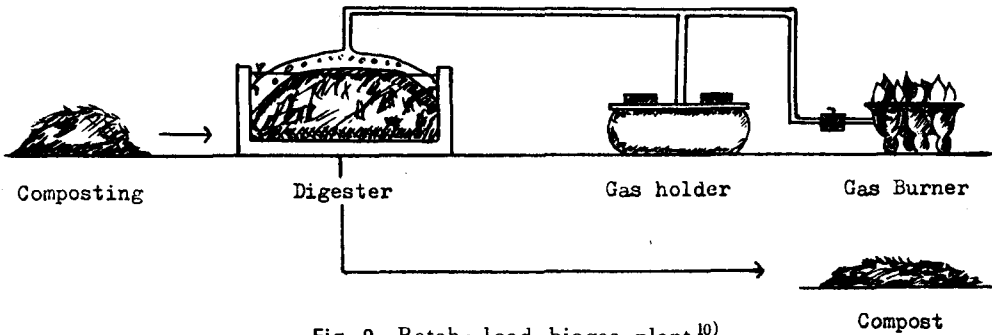


Fig. 9. Batch-load biogas plant<sup>10)</sup>

에 廢液의 量이 적어 公害問題도 거의 없다.

이 施設은 1回投入으로 夏季에는 約3~4個月 使用할 수 있고 冬季에는 約2個月 程度 使用 할 수 있다. 冬季의 施設活用方法은 醱酵탱크 周圍를 벗짚과 糞尿로 堆肥를 만들어 싸우면 堆肥熱로 醱酵탱크가 加溫되어 一日 가스發生量은 夏季보다 約1.5倍 많으나 가스發生 持續期間은 짧다(그림 10). 이 利用期間이 끝나면 가스捕集돔을 열고 醱酵탱크속에 있는 原料를 다시 交替하여야 하며 탱크속에서 나온 原料는 寄生蟲과 病原菌이 死滅된 良質의 堆肥가 된다.

이 施設은 紙上과 TV를 通하여 報導 되었을때 農民들의 많은 呼應이 있어 1982年에 154基, 1982年에 766基, 1984年에 812基, 計 1,732

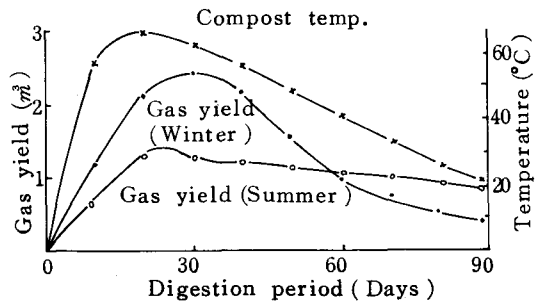


Fig.10. Digestion period and biogas production<sup>11)</sup>

基를 農村에 示範普及하였으며 今後에도 계속 擴大 普及될 展望이다.

### 우리나라 農産廢棄物의 메탄가스 賦存量

메탄醱酵은 從來 廢棄物處理를 主目的으로 都市 下水나 糞尿 및 工場廢水等의 處理에 活用되어 왔으나 1973 年의 石油波動과 近年의 油類供給不安으로 世界各國은 메탄醱酵을 積極的인 代替에너지 生産手段으로 研究하고 있고 美國과 日本은 農産 廢棄物과 都市廢棄物 및 海草를 메탄化 하기 위한 거대한 計劃을 세우고 있다.

日本이 세운 Sun Shine 事業計劃으로 調查研究된 메탄醱酵 可能 廢棄物의 量은 年間 約 2 億톤以上이며 이것을 全部 메탄醱酵시킬 경우 年間 約 69 億 $m^3$ 의 메탄가스가 生産되며 이 量은 日本의 輸入 LNG의 約 3 倍이고 原油로 換算하면 日本産原油 量의 5 倍, 日本輸入原油量의 約 2%에 相當한다 고 한다<sup>15)</sup>

英國은 廢資源에서 生産될수 있는 메탄가스量

을 年間 17 億 $m^3$ 로 推定하였으며 이 熱量은 英國에서 使用하는 天然가스量의 約 2%가 되고 英國의 總에너지 所費量의 約 0.3%에 해당된다고 한다<sup>12)</sup>

우리나라는 5 千百萬頭의 家畜에서 年間 約 854 萬톤의 糞尿를 收去 할수 있다. 藥稈類는 年間 約 928 萬톤이 生産되며 이중 約 404 萬톤이 農村燃料로 使用되고 있다. 藥稈類는 平均 約 0.4%의 窒素를 含有하고 있으므로 이들 藥稈類로 使用할 경우 約 16,160 톤의 窒素( 尿素肥料로 1,405 千包裝)가 大氣중으로 揮散될 뿐만 아니라 約 800 萬톤의 堆肥資源이 그냥 灰化되고 있는 실정이다.

이들 廢資源을 메탄醱酵시키면 糞尿의 경우는 惡臭과 水質汚染을 除去할수 있고 藥稈類의 경우는 窒素와 堆肥의 損失을 막을 수 있을 뿐만 아니라 에너지를 生産하는 利點이 있다. 이들 廢資源의 有機物當 메탄가스 發生量은 表 18 과 같고 이에 根據한 이들 廢資源의 메탄가스 賦存量과 化石燃料換算量은 表 19 와 같다.

Table 18. Biogas production from agricultural wastes<sup>11)</sup>

Wastes	Manure dropping (kg/head/day)	Collectable amounts (%)	V.S. content (%)	Biogas produced per V.S ( $m^3/kg$ )
Cow manure	18.00	50	15	0.37
Pig manure	4.00	60	24	0.48
Chicken	0.13	80	22	0.51
Crop residues	-	-	64.7	0.28
Rice husk	-	-	71.6	0.23

Table 19. Potential fuel value of biogas produced from agricultural wastes in Korea<sup>11)</sup>

Wastes	No. of animals ( $10^3$ heads)	Collectable wastes ( $10^3$ ton/year)	Potential biogas volume ( $10^3 m^3$ /year)	Converted in fossil fuel		
				Propane gas (Ton)	Kerosene (Kl)	Coal briquettes ( $10^3$ pieces)
Cow manure	1,754 *	5,762	319,784	151,578	204,374	121,262
Pig manure	2,183 *	1,912	220,297	104,421	140,792	83,536
Chicken manure	46,592 *	1,766	198,129	93,913	126,624	75,130
Crop residues	-	7,752 **	1,404,352	666,662	897,523	532,530
Rice husk	-	858 **	141,295	66,974	90,302	53,579
Total	-	-	2,283,857	1,082,548	1,459,616	866,037

1) \* '83 Agr. and Forestry Statistic.  
\*\* Institute of Agr. Sciences.

2) One  $m^3$  Biogas : 5688 Kcal

### 메탄醱酵의 展望

以上에서와 같이 메탄醱酵은 簡單한 工程으로

農産廢棄物, 生活廢水, 工場廢水, 都市쓰레기等에서 熱量이 높은 메탄가스를 生産할 뿐만 아니라 이들 廢棄物의 公害問題를 解消하고 資源面에서는 廢資源再活用이라는 利點이 있어 生態系에도 크게

寄與하며 특히 畜産廢棄物이 많이 副生하는 農村에서는 農村의 環境淨化와 生活改善에 貢獻한다.

따라서 今後의 課題로서는 處理方法의 高效率化와 發生가스의 利用方法에 대한 開發이 必要하고 施設面에서는 近代技術에 依하여 高度로 發展하는 大型施設 뿐만 아니라 農家單位로 活用할 수 있는 簡便한 小型施設의 開發도 必要하다.

### 參 考 文 獻

1. Bremen Overseas Research and Development Association, 1979. Report on the International Biogas Workshop, p. 192.
2. John Doxat. 1977. The living Thames.
3. Mecarty P. L. 1964. Anaerobic Wastes Treatment Fundamentals. Part 1. Chemistry and Microbiology. Public Work. 95 (9): 107-112.
4. National Academy of Sciences 1977. Methane Generation from Human, Animal, and Agricultural Wastes.
5. 農村振興廳. 1979. 메탄가스 燃料化에 關한 調査報告. P. 48.
6. Park, Y.D., N.J. Park and J.H. Lim. 1979. The Res. Reports, ORD. 21 (H & Agr. E): 53-60.
7. Park, Y.D., J.H. Lim and N.J. Park. 1979. The Res. Reports, ORD. 21 (H & Agr. E): 61-68.
8. Park, Y. D. and N. J. Park. 1981. The Res. Reports, ORD. 23 (Agr. Mecha): 65-74.
9. Park, Y. D., N. J. Park and J. H. Lim. 1981. The Res. Reports, ORD. 23 (Agr. Mecha): 75-80.
10. Park, Y. D. 1983. Proceedings of the Seminar on Integrated Rural Development Technology (KAIST).
11. Park, Y. D. 1984. Proceedings of International Symposium on Alternative Sources of Energy for Agriculture (FFTC).
12. Peter-John Meynell. 1979. Methane: Planning a Digester (Prism Press).
13. Sathianathan. 1975. Biogas: Achievement and Challenges, P. 14.
14. 申丘澈 名取眞. 1972. 下·廢水污泥の處理 (コロナ社)
15. 園田賴和. 1976. 燃料協會誌 55(596):666-675.
16. Tata Energy Documentation and Information Center (Bombay). 1984. Biogas Newsletter, Issu No. 1.
17. William J. Jewell, 1977. Energy, Agriculture and Waste Management (Ann Arbor Science). P. 247-248.