

中温 및 高温嫌氣性消化에 의한 豚糞處理

金南天·閔庚碩*·丁八鎮**

서울保健專門大學·圓光大學校* 全北大學校**

Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion of Swine Manure

Nam Cheon Kim, Kyung Sok Min*, Paul Gene Chung**

Dept. of Env. Scien and Technology of Seoul College of Health

*Dept. of City. Planning, Won Kwang University**

*Dept. of Env. Eng. Chun-Buk National University***

ABSTRACT

This study was made to evaluate the temperature effects on anaerobic digestion of swine manure. A laboratory single-stage, high-rate, anaerobic digester was operated at 10, 20 and 30 day's HRT at the temperature of 35°C or 55°C.

The conclusions from this study are as follows:

- (1) COD and BOD reductions were similar in both the mesophilic and thermophilic digestions.
- (2) With thermophilic digestion, volatile reduction increased to 67%, as compared with 60% of mesophilic digestion.
- (3) With thermophilic digestion, the pH increased to 8.5 as compared with 8.0 of mesophilic digestion.
- (4) With thermophilic digestion, the concentration of volatile acid increased to 763 mg/l, as compared with 250 mg/l of mesophilic digestion.
- (5) While the gas was produced by mesophilic digestion at 0.74 m³/kg of VS fed, it increased to 0.87 m³/kg VS fed by thermophilic digestion.
- (6) The refractory VS was about 25% of the influent VS.

I. 結 論

1973년 오일쇼크 이래 에너지가 국가적, 경제정책상 중요한 위치를 차지하고 있어 限定된 석탄, 석유 등의 代替燃料의 開發이 시급한 實情이다. 따라서 새로운 에너지를 개발하고 農

村地域의 快適한 環境을 유지하고 水質을 保全하기 위해서 각종 廢棄物의 資源化 및 有効 적절한 處理가 요구 되고 있다.

특히 한강, 낙동강, 금강 및 영산강 등 四大江 流域周圍에 대규모의 畜産團地들이 增加하고 있어 많은 量의 汚染物質이 排出되므로 河川의 汚染問題뿐만 아니라 上水道源의 水質이

低下하는 現象이 날로 증가하고 있다.

따라서 畜産事業場에서 배출되는 排泄物 등의 處理가 시급히 요구되고 있다. 특히 養豚事業場의 數가 날로 증가하고 있어 이에 대한 處理가 문제되고 있다. 農水産部 資料¹⁾에 의하면 Fig. 1에 나타난 바와 같이 1980 년이래 계속 飼育養豚數(頭)가 증가하고 있어 1983년 9월 현재 약 370萬頭가 飼育되고 있다. 參考的으로 우리나라의 養豚事業場數가 飼育養豚規模別로 Table 1에 나타나 있는데, 1983년 9월 현재 500頭 以上の 규모를 갖춘 養豚事業場數는 約 350여개소에 이르고 있다.

또한 最近 農業에 있어서 有機質肥料인 堆肥를 사용하지 않고 化學비료인 金肥 위주의 農業을 하고 있어 農土가 날로 황폐되어 가는 것도 큰 문제점중의 하나이다.

이와같이 국가적 당면과제인 에너지개발과 汚染物 處理 및 堆肥增産의 問題를 동시에 解決하는데 一翼을 담당할 수 있는 방안중의 하나가 養豚場으로부터 排出되는 豚糞을 嫌氣性 메탄 醱酵에 의하여 이용가능한 메탄가스로 생산하는 일이다. 豚糞의 혐기성 메탄발효에

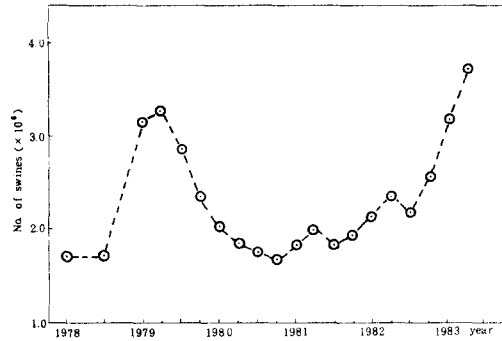


Fig. 1. The number of swines bred in Korea from 1978 to 1983 year.

관한 研究는 우리나라의 경우 農村振興廳²⁾에서 지난 10여년간 많은 研究가 되어졌을 뿐만 아니라, 또한 外國에서^{3,4)}도 많이 연구되어 왔다.

그러나 이들 研究의 대부분은 常溫(25°C 내외)이나 中溫(30~40°C)에서 研究되었던 바 本 研究에서는 中溫(35°C ± 2) 및 高溫(55°C ± 2)에서 研究를 수행하여 유기물 제거효율 및 가스生産量 등으로 比較·檢討하여 豚糞의 高溫嫌氣性 消化(Thermophilic Anaerob-

Table 1. The status of the swine breeding in Korea.

The range of the number of swines bred	The number of the enterprises of swine breeding	The number of the swines bred
1 - 4	436,850	648,770
5 - 9	51,360	356,450
10 - 19	51,840	674,400
20 - 29	4,128	99,459
30 - 49	5,689	217,909
50 - 59	6,120	413,175
100 - 499	3,973	705,970
500 - 999	225	153,024
1,000 - 4,999	103	210,495
5,000 - 9,999	17	107,279
10,000 or more	7	123,653
Total	506,312	3,720,584

* The data is based on materials given by the Ministry of Agriculture and Fishery in September, 1983.

Table 2. Biochemistry of Anaerobic Digestion¹⁰⁾

Raw Sludge	Micro-organisms "A" +	K ₁ Nonreactive Products →	Reactive Products +	Micro-organisms "B" +	K ₂ → CH ₄ + CO ₂	Other end Products
Complex substrate	Principally acid formers	CO ₂ , H ₂ O	Organic acids	Methane fermenters		H ₂ O, H ₂ S
Carbohydrates, Fats, and Proteins		Stable and intermediate degradation products	Cellular and other intermediate degradation products			Cells and stable degradation products
Cells						

ic Digestion)의 適用等을 調査하였다. 또한 中温 및 高温 嫌氣性 消化槽의 運轉 및 設計에 필요한 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

II. 文献研究

(1) 嫌氣性 消化理論 및 設計要素

嫌氣性 處理에서 微生物의 反應은 有機物質이 혐기성 상태에서 生化學的 反應을 거쳐 CH₄와 CO₂로 분해되며, 분해불가능한 고형물질(NBD Solids)이 남게 되는데 Table 2와 같이 2 단계 연속반응이다. 즉 1 단계에서 산형성 박테리아(Acid-forming Bacteria)가 복잡한 유기물질을 가수분해와 발효에 의하여 간단한 酸으로 분해하고, 2 단계에서 메탄형성 박테리아(Methane-forming Bacteria)는 산형성 박테리아가 만든 간단한 유기산을 에너지로 사용하여 더 많은 微生物을 生成하면서 메탄가스를 生産하는데, 메탄형성박테리아는 산형성박테리아에 비하여 Regeneration Time이 길고, pH의 변화와 溫度, 유기물부하량 등에 민감하여 Table 3과 같은 物理·化學的 要素의 적절한 조절이 필요하다.

혐기성 처리의 가장 중요한 요소중의 하나는 혐기성미생물의 Regeneration Time 과 관계 있는 고형물 체류기간(SRT : Solid Retent-

Table 3. Physical and Chemical Factors for Anaerobic Digestion

Physical Factors	Chemical Factors
Detention Times	pH
Temperature	Alkalinity
Solids Concentration	Volatile Acid Content
Degree of Mixing	Nutrients
Solids Loading and Distribution	Toxic Materials

ion Time)으로 수리학적 체류기간(HRT : Hydraulic Retention Time)과의 관계는 반응이 없는 완전혼합형의 소화조에서는 같으나 반응을 시켜주는 경우와 교반을 안시켜서 고형물이 침전하는 재래식 1 단 소화조의 경우는 SRT가 HRT보다 길게 된다. 만약 SRT가 미생물의 Regeneration Time 보다 짧게 되면 메탄형성 미생물은 외부로 씻겨 나오게 되며 Volatile Acid의 농도가 급격히 높아지기 시작한다.

Regeneration Time이 매우 느린 메탄형성 박테리아에 있어서의 최단의 SRT를 Dague¹¹⁾는 약 10 일이라고 하며, 유기물의 분해가 종식되는 결정적인 SRT는 3 ~ 4 일이라고 주장하고 있다.

(2) 혐기성 소화의 溫度影響

溫度는 嫌氣性 微生物의 활동력을 증감시키

는 요소로서 Fig. 2와 같이 처리효율에 결정적 역할을 한다.

中溫消化에서의 최적온도는 37°C로 알려져 있는데 高溫의 경우 연료비가 많이 요구되어 경제성을 고려할 때 중온이 고온보다 적절한 방법으로 많이 사용되고 있으나, 그러나 이것이 바로 혐기성 처리방식에서 중온소화가 가장 적절한 것은 아닌 것으로 나타나고 있다.¹²⁾

Hobson 등⁹⁾의 研究에 의하면 소화온도 25~45°C 범위에서의 가스생산량은 0.26~0.42 m³/kg TS fed로서 온도가 증가함에 따라 가스생산량도 거의 일정하게 증가하였다. 또한 Cord Tietjen¹³⁾은 소화온도 25°C에서 55°C까지의 범위내에서 실험한 결과 온도는 가스생산량 뿐만 아니라 CH₄와 CO₂의 비율에도 영향을 끼치는데, 55°C의 경우가 가스 생산량도 가장 많았으며, 메탄비율도 가장 높았다고 보고함으로서 온도가 높을수록 良質의 가스를 많이 生産할 수 있음을 나타내었다.

하수슬러지의 기존 혐기성 소화시설을 中溫에서 高溫으로 전환시킴으로써 슬러지 처리능력을 낮은 투자비로 배가시켰으며, 슬러지의 脫水性이 훨씬 좋아졌으며, 병원균의 사멸율이 매우 증가되었다.^{14~16)} 中溫 및 高溫消化時의 박테리아와 바이러스의 밀도가 Table 4와 Table 5에 비교되어 있는데,¹⁷⁾ 고온소화의 경

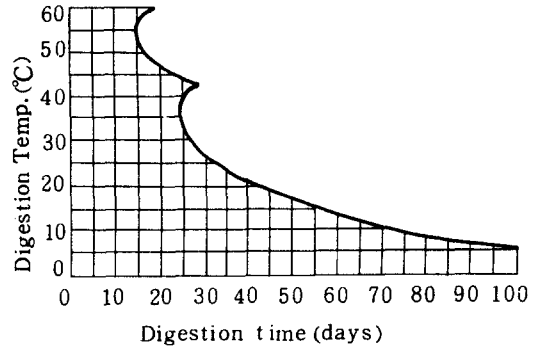


Fig. 2. The effects of temperature on the anaerobic digestion.

우가 중온소화의 경우보다 약 100배 정도 낮게 나타나고 있다.

한편 有機物 除去效率과 가스생산량 등으로 비교¹⁵⁾ 하면 VS 제거효율은 중온(34.4°C)이 HRT가 17일로 31.3%이고 고온(52.7°C)이 HRT가 11.3일로 34%로 高溫이 약간 크며, 가스생산량은 中溫이 0.32 m³/kg VS fed이고, 高溫이 0.40 m³/kg VS fed로 高溫의 경우가 中溫보다 약 25%가량 큰 것으로 나타났다.

Rockaway 下水處理場의 경우¹⁸⁾ 슬러지의 혐기성 소화를 2 단계로 수행하였는데, 1 단계는 중온소화, 2 단계는 고온소화로 遂行한 결과 슬러지 생산량을 60%가량 감소시킬 수 있었으며, 슬러지의 脫水性이 훨씬 개선되었다.

Table 4. Reduction in bacterial densities in mesophilic and thermophilic anaerobic digestion (20-day detention)¹¹⁾.

	Bacterial densities (number / 100 mL) ^a		
	Raw sludge feed	Mesophilic digestion (36°C)	Thermophilic digestion (50°C)
Fecal streptococcus	2.7 × 10 ⁷	2.0 × 10 ⁶	3.7 × 10 ⁴
Fecal coliform	3.6 × 10 ⁸	5.5 × 10 ⁶	2.9 × 10 ⁴
Total coliform	5.2 × 10 ⁹	7.0 × 10 ⁷	6.4 × 10 ⁴
Salmonella	7,530	62	BDL

Note - BDL - Below detection limits (<3/100 mL).

^a Average of measurements taken over 2-year period.

Table 5. Reduction in virus densities from mesophilic and thermophilic digestion.

Type of sludge	PFU/Gram of liquid sludge (2% -5% solids)
Raw	25.4
Mesophilic digested	2.1
Thermophilic digested	0.03

(3) 豚糞의 嫌氣性消化

Stevens 등³⁾은 豚糞을 常溫 (22.5~25°C) 및 中溫 (40°C) 에서 消化하였는데 소화온도가 22.5°C의 경우에 있어서는 유기물 부하율을 0.61~1.8 kg VS/m³·d 로 변화시켰을 때 VS 제거효율은 22.4~41%이었으며, 가스생산량은 0.29~0.58 m³/kg VS fed 로 나타났다. 25°C의 경우에 있어서는 유기물 부하율이 0.96~1.45 kg VS/m³·d 이었으며, 가스생산량은 0.52~0.68 m³/kg VS fed 이었다. 또한 소화온도가 40°C인 경우에 있어서는 유기물 부하율이 2.4~4.81 kg VS/m³·d 이었을 때 가스생산량은 0.45~0.59 m³/kg VS fed 이었다.

Huang 등⁴⁾은 소화온도 35°C에서 有機物 負荷率을 0.45~1.70 kg VS/m³·d 로 변화시켜 운전한 結果 가스發生量이 0.286~0.608 m³/kg VS fed 이었다.

Taiganides 등⁵⁾은 소화온도 35°C에서 3.2 kg VS/m³·d 로 운전한 結果 가스발생량이 0.484~0.639 m³/kg VS fed 이었다. Gramms 등⁶⁾은 소화온도 32.5°C에서 1.9~3.8 kg VS/m³·d 운전한 結果 가스발생량이 0.258~0.424 m³/kg VS fed 이 있다.

Kamata 와 Uchida^{7,8)}의 研究結果에 의하면 消化溫度 36~39°C에서 2.25~4.65 kg VS/m³·d 의 유기물 부하율에 대하여 0.31~0.44 m³/kg VS fed 의 가스가 발생되었으며, 消化溫度 53~54°C에서는 2.7~7.0 kg VS/m³·d 의 유기물 부하율에 대하여 0.277~0.477 m³/kg VS fed 의 가스가 발생된 것으로 나타났다.

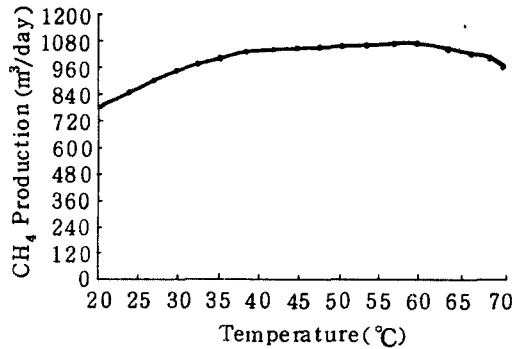


Fig. 3. Total Methane production swine waste

Hobson 등⁹⁾에 의하면 25~44°C의 운전온도에서 0.37~0.6 m³/kg VS fed 의 가스가 발생되었다. 35°C의 경우에는 0.43 m³/kg VS fed 의 가스가 발생되었는데 이때의 COD, BOD 및 TS 제거효율은 각각 49%, 75% 및 41% 이었다.

Hill¹⁰⁾은 소화온도에 따른 가스생산량을 비교하였는데 그림 3에 나타나 있다. Fig. 3에 나타난 바와같이 35°C 정도까지는 온도증가에 따라 가스생산량이 증가하고 있으나 35°C 이상에서는 가스생산량의 증가율이 거의 없음을 알 수 있다.

III. 實 驗

(1) 概要

本 研究는 豚糞의 嫌氣性 消化處理에 있어서 消化槽의 最適溫度를 찾기 위해서 實驗室 消化槽를 35°C ± 2 및 55°C ± 2 로 나누어 運轉 하였으며, 유기물 제거량과 가스생산량의 변화를 조사하였다. 또한 SRT를 10~30일로 변화시켜 운전하였다. 각각의 調査結果를 바탕으로 高溫消化의 경우는 中溫消化의 경우보다 어느 정도 SRT를 단축시킬 수 있는 가를 알아 보았다.

本 實驗은 서울 保健專門大學 環境實驗室에서 1983年 9月부터 同年 12월까지 遂行되

Table 6. Experimental schedule

Digestion Temperature(°C)	Period	Operating Temp. (°C)	Remarks
35 ± 2	83. 9. 4-83. 9. 6	35	No feeding
	83. 9. 7-83. 12. 4	35	Normal feeding
55 ± 2	83. 10. 14-83. 10. 29	*a	*b
	83. 10. 30-83. 12. 3	55	*b

* a : The temp. was raised at the rate of 1°C per day from 35°C until 55°C.

* b : In this case normal feeding started on Oct. 21, 1983.

였으며 Table 6은 이 기간내에 수행된 실험내용이다.

(2) 消化槽의 裝置 및 運轉

消化槽는 單段式(single-stage)으로 용량이 4 l로 아크릴 원통관으로 製作되었으며, 교반은 기계식 교반장치를 이용하였는데 교반장치의 고장으로 인하여 1일 7~8회 정도 人爲적으로 混合시켜 주었다. 또한 소화조로부터 소화슬러지를 제거할 때는 소화조를 완전히 혼합후 제거하였다. 실험기간중 스크럼은 거의 생기지 않았다.

온도는 水槽를 이용하여 거의 일정하게 유지시켜 주었으며, 가스포집은 Sampling bag을 이용하였다.

Fig. 4는 혐기성 소화조의 실험장치이다.

기존 분뇨처리장으로부터 嫌氣性 糞균을 가져와 實驗에 임하였는데, 소화온도 35°C ± 2의 경우는 SRT를 20일과 30일로 운전하였으며, 55°C ± 2의 경우는 SRT를 10일과 20일로 구분하여 운전하였다. 가스량과 온도는 매일 측정하였으며, 消化슬러지의 TCOD, SCOD, TBOD, SBOD, TS, VS, pH, Alk., VA는 약 2~3일 간격으로 측정하였다.

소화조는 1일 1회 투입하는 Batch Type으로 운전하였다.

(3) 수질분석방법

모든 수질분석은 Standard Methods²⁰⁾에 의하여 분석되었으며, COD는 K₂Cr₂O₇ Redox Method, BOD는 Winkler Method 중

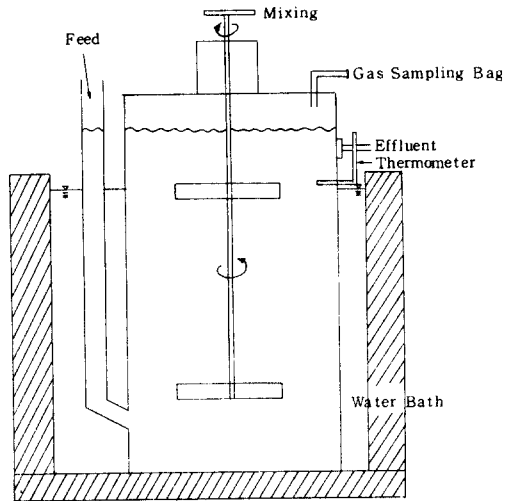


Fig. 4. The schematic diagram of the experimental reactor.

Azid Modification Method에 의하였으며, TS와 VS는 Evaporating Dish와 110°C와 550°C 전기로를 이용하였다. 또한 CI는 Argentometric Method에 의하였고, Ammonia Nitrogen은 Brucine Method를 Total Nitrogen은 Kjeldal method에 의하여 분석되었다.

IV. 實驗結果 및 分析

(1) 미생물의 적응

미생물을 豚糞處理에 적응시키기 위하여 仁川糞尿處理場에서 種菌을 채취하여 실험실 소화조에 소화액 3.7l와 糞분 0.3l를 넣고 온도

를 35℃로 하여 운전을 시작하였다. 소화온도 35℃ 경우에 있어서는 3일간 豚糞을 주입시키지 않고 운전한 후 4일째부터 SRT를 20일과 30일로 맞추어 정상적으로 돈분을 주입시켰다. HRT가 20일인 경우는 돈분을 정상적으로 주입한 후 약 3일후에 가스가 발생하기 시작하였으며 HRT가 30일인 경우는 약 5일후에 가스발생이 시작되었다.

한편 消化溫度 55℃±2 경우에 있어서는 약 일주일간 돈분을 주입시키지 않았으며, 처음의 소화조온도 37℃로부터 매일 약 1℃씩 올려서 약 16일후부터 55℃로 운전시켜 온도의 변화에 따른 영향을 최대한 줄이도록 하였다. 소화기일은 10일과 20일로 운전하였는데, 소화기일 10일의 반응조에서는 실험시작일로부터 약 25일 후부터 가스가 발생되기 시작하였는데, 소화기일 20일 반응조에서는 가스가 발생되지 않아 소화기일 10일 반응조에서 약 3일간 다시 식종하였다. 다시 식종후 약 5일부터 가스가 발생되기 시작하였다.

(2) 試料로 使用된 豚糞의 性質

反應槽의 運轉을 위하여 養豚場으로 부터 채취한 豚糞을 회석수로 약 3배 정도 희석하였

으며, 반응조의 운전기간중 流入水의 分析結果가 Table 7에 나타나 있다. 平均濃度를 보면 COD는 67,876mg/l, BOD는 25,556mg/l로 COD/BOD比는 약 2.7배 정도이었으며, TS는 56,100mg/l, VS는 32,304mg/l로 TS중에서 VS는 약 58%이었다. 또한 pH는 평균 6.2이었으며, Ammonia-Nitrogen의 농도는 약 210~460mg/l이었고, TKN은 平均 約 2,600mg/l정도 되었다.

(3) 有機物 除去 및 가스發生量

嫌氣性 消化槽에 의한 各溫度別, 또한 SRT別 安定狀態下의 運轉結果의 平均値가 Table 8에 나타나 있다. 또한 有機物負荷率에 따른 가스生産量이 Table 9에 나타나 있다. Table 8에 의하면 SRT가 增加하면 COD, BOD, TS 및 VS의 除去效率은 증가하나, 消化溫度가 增加함에 따라서는 그러하지 아니하다. 즉 SRT가 20일인 경우 中溫(35℃±2) 및 高溫(55℃±2) 消化의 TCOD, SCOD, TBOD, SBOD 및 TS의 제거효율은 각각 47%, 68%, 75%, 88% 및 38%로 서로 꼭같으며, 다만 VS제거효율에 있어서만 高溫消化가 67%, 中溫消化가 60%로 高溫消化의 경우가 약 7%가량 다소

Table 7. The characteristics of swine manure used.

No. of measurement	TCOD (mg/l)	SCOD (mg/l)	TBOD (mg/l)	SBOD (mg/l)	TS (mg/l)	VS (mg/l)	pH	NH ₃ -N (mg/l)	TKN (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)
1	67,699	28,839	25,925	12,003	51,076	28,000	6.2	238	2,682	1,179
2	67,940	28,500	-	-	45,440	25,211	6.1	-	-	-
3	68,000	28,750	25,310	11,574	58,512	32,379	6.2	-	2,539	1,608
4	68,209	26,638	22,863	10,474	49,572	29,091	-	-	-	-
5	67,200	26,170	26,129	12,433	55,388	31,892	6.2	280	-	1,072
6	-	-	25,100	10,270	57,832	32,002	-	-	-	-
7	-	-	-	-	58,296	35,200	-	462	-	1,555
8	67,760	25,954	-	-	64,716	37,916	-	-	-	-
9	67,800	25,960	26,400	10,908	56,260	33,016	6.2	210	2,223	2,145
10	-	-	26,404	11,682	58,972	33,488	-	-	-	-
11	-	-	26,320	11,938	59,008	34,612	-	-	-	-
12	68,400	26,800	-	-	58,116	34,844	-	448	2,940	-
average	67,876	27,200	25,556	11,410	56,100	32,304	6.2	328	2,596	1,512

Table 9. The dependence of gas production upon VS loading.

VS Loading (kg VS / m ³ · d)	VS Lo-ading (kg VS / m ³ · d)	Org. Removal (%)	Efficiency (%)	Gas Production (m ³ /kg m ³ /kg VS BOD fed removed)		
1.62	46	75	38	60	0.74	1.24
1.07	55	82	51	70	0.78	1.21
1.62	47	76	38	67	0.87	1.46
3.23	36	65	32	59	0.74	1.44

Table 8. The operation results after anaerobic digestion.

Temp. (°C)	SRT (days)	TCOD (mg/l)	SCOD (mg/l)	TBOD (mg/l)	SBOD (mg/l)	TS (mg/l)	VS (mg/l)	pH	Alkalinity (mg/l)	Volatile Acid (mg/l)
35±2	20	36,934	9,296	6,368	3,298	34,795	13,002	8.00	6,876	250
"	30	30,283	5,787	4,674	2,230	27,270	9,735	8.05	6,558	274
55±2	20	36,164	8,692	6,240	3,036	34,983	10,593	8.50	6,643	763
"	10	43,488	16,755	8,904	3,781	37,875	13,345	8.34	5,760	747

높은 것으로 나타났다. 그러나 高温의 경우가 中温의 경우에 비하여 pH와 Volatile Acid가 높게 나타났다. Volatile Acid의 경우에 있어서는 약 3배 이상 높게 나타났다. Alkalinity는 별 차이가 없었다.

溫度에 따른 VS除去效率을 검토하기 위하여 本 研究結果와 常温(22.5°C~25°C)에서의 研究結果³⁾를 비교한 것이 Fig. 5에 나타나 있다. 이 두 경우는 같은 조건, 즉 SRT가 20일, 유기물 부하율이 1.45~1.80 kg VS/m³ · d 이었다.

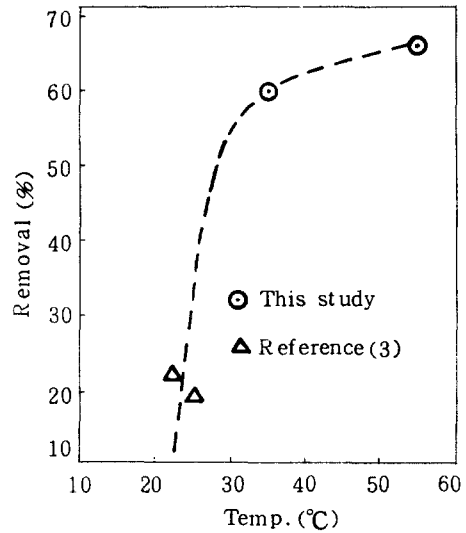


Fig. 5. The dependence of VS removal efficiency upon temperature.

Fig. 5에 나타난 바와같이 VS 제거효율이 常温에서 약 20%, 中温에서 60%, 高温에서 67%로 中温과 高温消化의 경우 온도증가에 따라 별 차이가 없는 것으로 나타나고 있다. 그러나 常温에서 中温의 경우는 온도증가에 따라 많은 差異를 나타내고 있다.

한편 SRT 10일인 고온소화의 경우에 있어서 VS 제거효율은 59%로 SRT가 20일인 중온소화의 60%와 거의 類似하였는데, COD, BOD 및 TS의 제거효율은 비교적 낮게 나타

났다.

流入豚糞의 VS 중 NBD 또는 Refractory fraction은 오랜 기간 동안 微生物分解後 남은 부분으로 定義할 수 있는데 Table 7과 Table 8을 이용하여 Fig. 6과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 Se와 So는 각각 처리수와 유입수의 VS 농도이다. Fig. 6에 나타난 바와같이 Refractory VS는 유입 VS의 약 25%가 된다.

Refractory VS (25%)를 이용하여 최종 BOD/BOD比(K_1)을 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\frac{NBD\ VS}{VS} = 0.25 = \frac{ICOD - K_1 BOD}{ICOD} \quad (1)$$

여기서 ICOD 및 IBOD의 값은 유입수의 농도로써 Table 7을 이용하여 구하면 ICOD는 40,676 mg/l, IBOD는 14,146 mg/l가 된다. 이 값을 (1)식에 代入하면 K_1 을 구할 수 있는데 약 2.2가 된다.

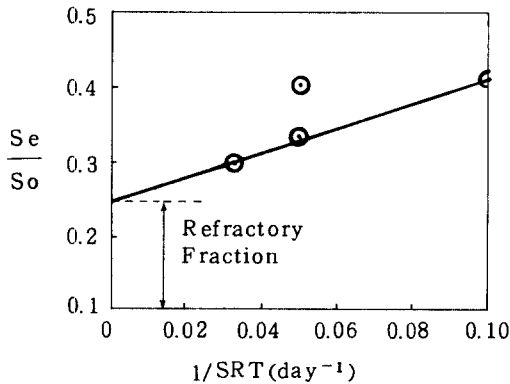
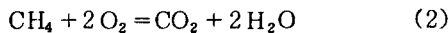


Fig. 6. Determination of NBD Fraction.

McCarty²¹⁾는 이론적 메탄가스 생산량에 대하여 다음 식으로 설명하였다.



위의 관계에 의하여 최종 BOD나 가스 발생량을 추정하고 있는데 산소 2그램분자량은 64 gr이고, 메탄 1몰은 표준상태에서 22.4l의 메탄가스로 존재하므로 산소 1gr 소모당 생산되는 메탄가스는 0.35l가 된다.

여기서 최종 BOD/BOD比를 2.2로 하고 GAS 중 CH₄ 함유율을 平均 65%^{4,8)}로 가정하면 BOD를 기초로 한 가스발생량은 다음 식으로 나타내어진다.

$$Gt = 0.35 \times 2.2 \times \frac{1}{0.65} \cdot (\text{BOD 제거량}) \\ = 1.2 \text{ m}^3/\text{kg BOD removed} \quad (3)$$

즉 BOD 제거량당 이론적 가스生産量은 약 1.2 m³/kg BOD removed인데 本實驗에서 얻어진 實際 가스生産量과 比較하면 Table 9에 나타난 바와 같이 소화 온도 35°C의 경우의 1.21~1.24와는 거의 一致하였으나, 消化溫度 55°C의 경우에 있어서는 1.44~1.46으로 理論值보다 다소 높게 나타났다.

Fig. 7은 溫度에 따른 가스生産량을 나타낸 것인데, 35°C까지는 온도증가에 따라 가스生産량이 급격히 증가하나 35°C부터 55°C 사이에는 온도증가에 따라 완만한 증가를 보이고 있다. 이것은 Fig. 3의 Hill¹⁹⁾의 研究結果와 一致하고 있다. 즉 中溫이나 高溫消化의 경우 가스生産量은 대략 0.75~0.82 m³/kg VS fed 정도인 것으로 思料된다.

Fig. 8은 유기물부하율(kg VS/m³·d)에 따른 가스 생산량을 나타내고 있는데 35°C의 경우보다 55°C의 경우가 다소 높게 나타났으나 뚜렷한 차이를 보이지 못하고 있는 것 같다. 그러나 常溫(22.5°C~25°C)으로 내려 갈수록 Fig. 7에서와 같이 가스生産량이 현격히 떨어짐을 알 수 있다. 한편 온도에 관계없이 유기물부하율이 증가하면 가스生産량이 떨어지는 경향을 나타내고 있다.

Fig. 9에 있어서 무한히 긴 SRT, 즉 Y축인 가스生産량의 절편값이 최대 가스발생량으로 추정될 수 있는데, 22.5°C~25°C에서는 약 0.76 m³/kg VS fed, 35°C에서는 약 0.84 m³/kg VS fed, 55°C에서는 약 1.0 m³/kg VS fed 정도인 것으로 思料된다.

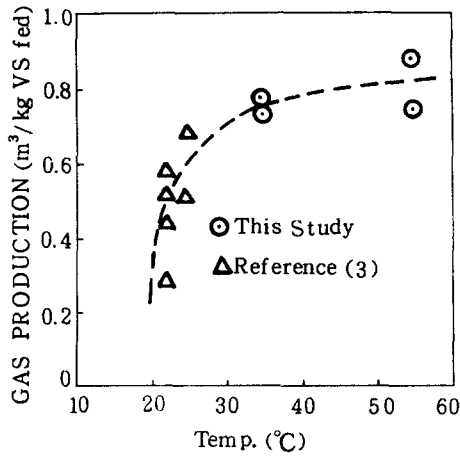


Fig. 7. Temperature VS GAS PRODUCTION

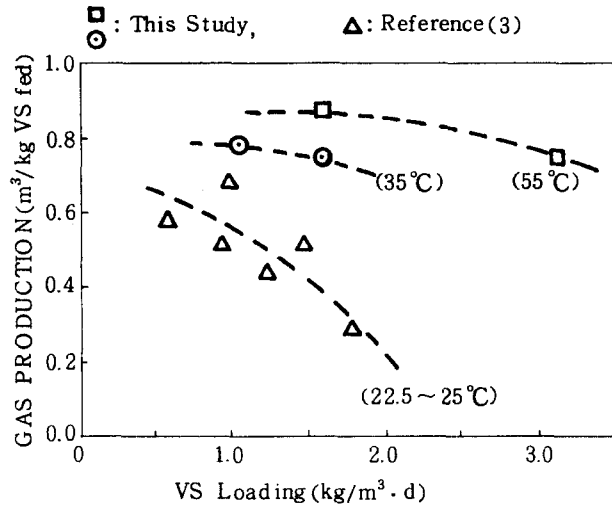


Fig. 8. VS Loading VS GAS PRODUCTION

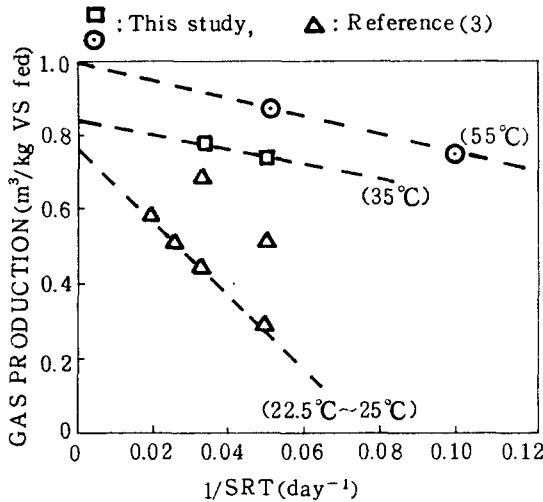


Fig. 9. GAS PRODUCTION VS SRT⁻¹

V. 結 論

豚糞을 사용한 혐기성 소화槽의 유기물질 제거효율 및 가스생산량을 中溫(35°C±2) 및 高溫(55°C±2)에서 實驗한 結果는 다음과 같다.

(1) 消化溫度를 35°C에서 55°C로 變化시켜

安定狀態에 도달하는 時間은 가스發生量에 의하여 約 25일 정도이다.

(2) SRT가 增加함에 따라 COD, BOD 및 VS의 除去效率은 增加하나, 溫度를 中溫에서 高溫으로 增加시켜도 消化效率에는 차이가 거의 없었다.

(3) 中溫消化와 常溫(25°C내외)消化는 그 消化效率과 유기물부하율에 따른 가스생산량이 온도증감에 따라 많이 차이를 보이고 있다.

(4) (2), (3)의 結果를 綜合하여 볼 때 高溫消化의 경우 燃料費가 많이 要求되어 經濟性을 考慮할 때 中溫消化가 바람직한 것으로 思料된다.

(5) 가스發生量은 理論的 가스發生量(약 1.2 m³/kg BOD removed)과 比較的 잘 맞았다.

(6) 豚糞의 NBD Fraction은 流入 VS의 약 25% 정도인 것으로 思慮된다.

(7) 溫度에 關係없이 유기물 부하율(VS kg/m³·d)이 增加하면 가스生産量은 떨어진다.

(8) 中溫으로 消化된 슬러지의 pH값은 8.0이었으나 高溫의 경우는 8.5로 增加하였다. 또한 Volatile Acid도 高溫의 경우가 中溫에 比하여 약 3배이상 높았다.

参 考 文 献

1. 畜協調査計報 第3卷第4號, 畜産業協同組合, 農水産部資料.
2. 大型메탄가스 施設 및 利用, 農村振興廳 (1980. 4).
3. Stevens, M. A., et al., "Low Temperature Anaerobic Digestion of Swine Manure", JEED, ASCE, Vol. 105, No. EE1, 33 (1979).
4. Huang, S. Y., et al., Proceedings of the National Science Council (Taiwan), 2 : 407-415 (1978).
5. Taiganides, E. P., et al., J. Agric. Eng. Res., 8 : 327-333 (1963).
6. Gramms, L. C., et al., ASAE, 14 : 7-13 (1971).
7. 鎌田信一・内田和夫, 日本獸醫畜産大學紀要, 21 : 79~83 (1972).
8. 鎌田信一・内田和夫, 日本獸醫畜産大學紀要, 21 : 84~92 (1972).
9. Hobson, P. N., et al., "Anaerobic Digestion of Piggery and Poultry Wastes", Proc. of the First international Symposium on Anaerobic Digestion, Anaerobic Digestion (1980).
10. WPCF Manual, "Anaerobic Digestion", (1968).
11. Dague, R. R., "Solids Retention in Anaerobic waste Treatment System", Ph. D. Thesis, Univ. of Kansas (1967).
12. Loehr, R. C., Pollution Control for Agriculture, Academic Press, Inc. (1977).
13. Cord. Tietjen, From Biodung to Biogas - Historical Review of European Experience, Energy Agriculture and Waste Management.
14. Popova, N. M., et al., "The Present state of purification of Town Sewage and the Trend in Research Work in the City of Moscow", Adv. in Water Pollut. Res. 2, Macmillan Co., New York (1964).
15. Rimkus, R. R., et al., "Full scale Thermophilic Digestion at the West-South west Sewage Treatment Works", JWPCF, Vol. 54, pp. 1447~1457 (1982).
16. Smart, J., et al., "Full Scale studies on the Thermophilic Anaerobic Digestion Process", Report No. 59, Ontario Ministry of the Environment, Toronto, Can. (1977).
17. Farrell, J. B., et al., "Sludge Disinfection Techniques", Proc. of the National Conference on Composting of Municipal Residues and sludges, 142 (1977).
18. Torpey, W. N., et al., "Effects of multiple digestion on sludge", JWPCF, Vol. 56, pp. 62~68 (1984).
19. Hill, D. T., "Design of Digestion System for Maximum Methane Production", ASAE (1981).
20. Standard Methods for the Exam. of Water and Waste water, 15th Ed., APHA, AWWA and WPCF (1980).
21. McCarty, P. L., "Anaerobic Waste Treatment Fundamentals", Public Works, 11, 91~126 (1964).