

好氣性 및 혐氣性 소화에 의한 豚糞處理

金南天·閔達基

서울보건전문대학 환경관리과

Aerobic and Anaerobic Digestion of Swine Manure

Nam Cheon Kim · Dal Ki Min

*Dept. of Environmental Technology,
Seoul Health Junior College, Seoul, Korea*

Abstract

This study was conducted to evaluate the organic removal efficiencies and sludge production in aerobic and anaerobic digestion of swine manure.

A laboratory single-stage, high-rate, anaerobic digester was operated at 5, 10, 25 and 30 day's HRT at the temperature of 35°C, and also aerobic digester operated at 10, 20 and 28.6 day's HRT at the temperature of 20°C.

The conclusions from this study are as follows:

1. While the BOD removal efficiency by anaerobic digestion was 30 to 75%, it was 99% over by aerobic digestion.
2. The sludge production was similar in both aerobic and anaerobic digestion.
3. The gas production was 0.21 to 0.55 m³/kg VS fed by anaerobic digestion.

I. 序 論

최근에 畜産事業이 증가됨에 따라 많은 양의 汚染物質이 排出되므로 河川의 오염문제 뿐만 아니라 上水道源의 水質이 低下되고 있는 실정이다. 특히 한강, 낙동강, 금강 및 영산강 등

四大江 流域에 대규모의 畜産團地들이 증가하고 있어 이들로 부터 排出되는 汚染物質의 적절한 管理가 요구되고 있다.

農林水産部 資料¹⁾에 의하면 1983년 이래 飼育養豚數가 급격히 증가하여 1987년 6월 현재 약 400萬頭가 사육되고 있다. 사육규모별 가구수는 총 246,148 가구로 이중 4頭以下家

口數는 206,746 가구이며 500頭以上 家口數는 648 가구이다. 養豚 事業場의 사육규모에 따라 汚染物質의 排出量이 달라지는데, 그 處理 및 處分方法도 달라질 것으로 생각된다.

養豚 事業場으로부터 排出되는 汚染物質은 주로 好氣性 消化 나 嫌氣性 消化에 의해 處理되므로 本 研究에서는 두 方法을 이용하여 豚糞을 處理하고자 한다. 비교적 소규모 사업장에 적합한 好氣性 消化는 嫌氣性 消化의 경우보다 시설비가 적게 소요되고, 운전이 비교적 용이하며, 處理水의 水質이 양호하다. 嫌氣性 消化는 이용 가능한 메탄가스가 생산되므로 廢棄物로 부터의 에너지 생산이라는 큰 의의가 있다. 豚糞의 嫌氣性 消化는 우리나라의 경우 農村振興廳²⁾에서 많은 研究가 이루어졌을 뿐만 아니라 外國^{3,4)}에서도 많은 研究가 되어왔다. 한편 廢棄物管理法⁵⁾에는 돼지사육 시설의 경우 면적 500m² 이상이면 폐수 정화시설의 설치를 의무화 하고 있다.

II. 實驗方法

1. 概要

養豚場으로 부터 發生되는 豚糞을 好氣性 消化와 嫌氣性 消化에 의해 處理 하였는데, 反應槽의 運轉을 통하여 有機物質 除去效率, 슬러지 생산량 등이 비교되었다.

本 實驗은 호기성 소화의 경우는 1982년 2월부터 8월까지 혐기성 소화의 경우는 1987년 8월부터 10월까지 서울保健專門大學 環境 實驗室에서 遂行되었다.

2. 消化槽의 裝置 및 運轉

호기성 소화조는 아크릴 판으로 제작 되었으며 반응조내의 소화조의 부피는 약 2l이며, 침전지의 부피는 약 0.7~0.8l이었다. 반응조는 침전지의 슬러지가 자동적으로 소화조로 반송

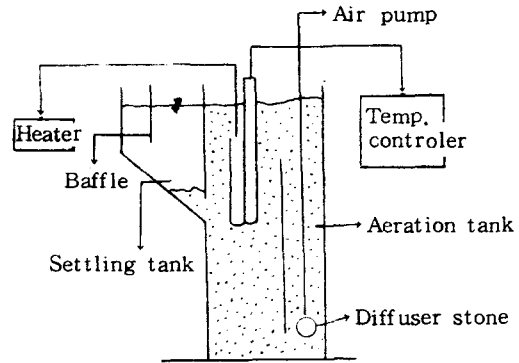


Fig. 1. Lab. Arrangement for the Effluent from Aerobic Digestion System.

되도록 설계 되었다. Fig.1은 호기성 소화조의 실험장치를 나타내주고 있다. 청계천 하수 처리장으로 부터 채취한 슬러지를 豚糞에 적용시키며 운전하였다. 처음에는 微生物이 충분히 豚糞에 적응하도록 돈분을 소량씩 주입하였다. 運轉溫度는 20℃를 유지하였으며, 豚糞注入은 1일 1회 注入하는 semi-continuous process로 운전 하였다. 슬러지의 生産量이 매우 커서 슬러지를 일정량씩 폐기 시켰는데, 消化槽內의 MLSS 농도는 약 14~17g/l로 유지되었다. 消化期間은 10일, 20일 및 28.6일로 하여 운전 하였으며, 이때의 F/M비는 0.06~0.14kg/kg MLSS·day 이었다. 슬러지의 침전성을 조사하기 위하여 SVI를 측정하였으며, 슬러지의 脫水性을 측정하기 위하여 specific resistance를 측정하였다. 또한 현미경을 사용하여 수시로 반응조내의 미생물을 관찰하여 소화조내에서 일어나고 있는 反應狀態를 調査하였다.

혐기성 소화조는 單段式으로 容量이 5l인 아크릴 원통관으로 製作되었다. 교반은 1일 수회정도 인위적으로 혼합시켜 주었다. 또한 消化槽로 부터 슬러지를 제거할 때는 소화조를 완전히 혼합 후 제거하였다. 실험기간 중 스크럼은

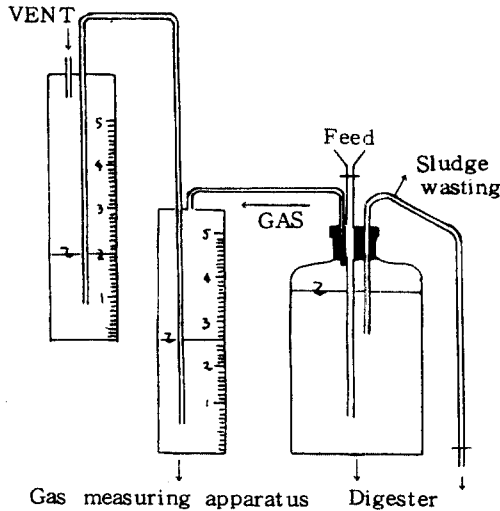


Fig. 2. Lab. Arrangement for Anaerobic Digestion System.

거의 발생되지 않았다. Fig.2는 혐기성 소화조의 실험장치를 나타내주고 있다. 溫度는 35℃로 유지되었는데, 수조가 이용되었다. 가스 포집은 sampling bag을 이용하였다. 기존 분뇨처리장으로 부터 혐기성 종균을 채취해와서 실험에 임하였는데, 처음 10일간은 돈분을 주입하지 않았거나, 소량 주입하여 적응시켰다. 消化期日에 따라 차이가 있으나 대체적으로 약 1개월 후에 安定狀態에 도달하였다. 豚糞注入은 1일 1회 注入하는 semi-continuous process로 운전하였다. 消化期日은 5일, 10일, 25일 및 30일로 하여 운전하였으며 가스량과 온도는 매일 측정하였다. 消化슬러지의 TCOD, SCOD, TBOD, SBOD, TS, VS, pH, AIk, VA 등은 약 2-3일 간격으로 측정되었다.

3. 水質分析方法

모든 水質分析은 standard methods⁶⁾에 의하여 分析되었다. COD는 K₂Cr₂O₇ reflux method, BOD는 winkler method 중 Azid modification법에 의하였으며, SS는 Geleman Type A glass fiber filter paper, TS와 VS는 중발접시 및 550℃ 전기로를 이용하였다. Cl⁻는 Argentometric method, NH₃-N는 Brucine method, Total Nitrogen은 Kjeldahl method, TOC는 TOC analyzer, DO 및 용존산소 섭취율은 YSI oxygen meter (Model 51A)로 측정되었다.

Ⅲ. 成績 및 考察

1. 豚糞의 性質

養豚場으로부터 採取한 豚糞을 稀釋水로 3배 희석하여 反應槽의 流入試料로 使用하였다. 실험기간중 시료로 사용된 豚糞을 약 10회 분석하였는데, 그 평균 濃度가 Table 1에 나타나 있다. COD 및 BOD의 평균농도는 각각 약 69g/l 및 23g/l이었으며, TS 및 VS농도는 약 62g/l 및 48g/l이었다. TKN 농도는 약 4.2g/l, E. Coli 농도는 1.0×10⁷이었다.

2. 유기물제거효율

Table 2에 호기성 소화조의 안정상태하의 운전결과가 나타나 있다. COD제거효율은 98% 이상, BOD 제거효율은 99% 이상이었다. 유기물이 微生物 細胞로 전환하는 물질 대사율(metabolism rate)은 다음과 같이 나타내

Table 1. The Characteristics of Swine Manure Used.

(Unit ; mg/l)

	pH	COD	BOD	SS	VSS	TS	VS	NH ₃ -N	TKN	Cl ⁻	E. Coli
Aerobic digestion	6.9	62,155	23,936	35,132	27,068	—	—	—	—	—	—
Anaerobic digestion	6.9	75,668	21,866	—	—	62,073	47,745	325	4,237	173	1.0×10 ⁷

어진다.⁷⁾

$$K_m = (F_i - F) / F \cdot t \quad (1)$$

여기서 K_m = 물질대사계수 (hr^{-1})

F_i = 유입수의 BOD 농도 (mg/l)

F = 처리수의 용해성 BOD 농도 (mg/l)

t = 소화시간 (hr)

상기식을 이용하여 Table 2의 운전결과를 분석하면 Fig.3 과 같다. K_m 은 1.33/hr로 산출되었다.

Table 3에 혐기성 소화조의 안정상태하의 운전결과가 나타나 있다. 소화기일에 따른 BOD 제거효율은 Fig.4에 나타난 바와 같이 약 30

Table 2. Average Characteristics of Aerobic Digestion

Digestion time (days)	TCOD	SCOD	TBOD	SBOD	SS	VSS	MLSS	MLVSS	F/M
10	1,088	976	127	68	133	96	16,990	12,465	0.14
20	931	827	94	41	118	82	14,630	9,770	0.08
28.6	830	757	67	33	93	71	13,776	9,146	0.08

Table 3. Average Characteristics of Anaerobic Digestion

Digestion time (days)	Effluent (mg/l)									VS Gas Production		
	TCOD	SCOD	TBOD	SBOD	TS	VS	pH	Alk	VA	kg VS/ m ³ day	m ³ / kg VS fed	m ³ / kg VS rem.
5	76,075	21,990	15,282	7,821	54,451	35,228	7.1	4,906	3,433	9.55	0.21	0.79
10	64,891	20,484	14,276	5,607	50,771	34,655	6.9	5,542	2,663	4.77	0.24	0.89
25	52,771	17,302	9,485	4,670	47,367	28,767	6.9	5,604	1,821	1.91	0.41	1.03
30	43,346	6,545	5,495	2,675	42,676	26,986	7.2	6,620	560	1.59	0.55	1.26

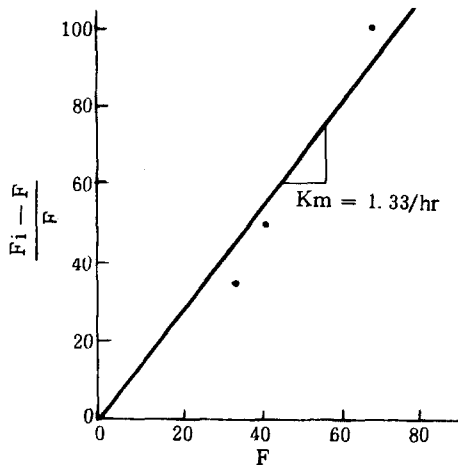


Fig. 3. The Computation of Metabolism Rate (K_m)
(Aerobic digestion)

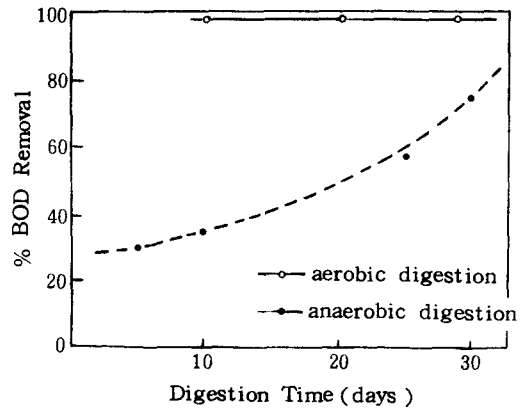


Fig. 4. The BOD Removal Efficiency vs Digestion Time (%)
(Aerobic and anaerobic digestion)

~75%이었다. 또한 Fig.4에는 호기성 소화와 혐기성 소화의 BOD 제거효율이 비교되었다. BOD 제거효율 즉 처리수의 수질면으로 볼때 혐기성 소화에 비하여 호기성 소화가 월등한 것으로 나타났다.

혐기성 소화조에 있어서 처리수의 농도는 다음과 같이 나타내어 진다.⁸⁾

$$S_{be} = \frac{S_{bo}}{K \cdot HRT + 1} \quad (2)$$

여기서 S_{be} = 처리수내의 분해되지 않은 유기물질의 농도, $VS(mg/l)$

S_{bo} = 유입수내의 유기물질의 농도, $VS(mg/l)$

K = 물질대사계수, hr^{-1} 또는 day^{-1}

HRT = 수리학적 체류시간

상기 (2)식을 이용하여 Table.3의 혐기성 소화조 운전결과를 분석하면 Fig.5와 같다. 물질대사계수 K 는 $0.03day^{-1}$ 로 산출되었다.

이 값은 호기성 소화조의 경우에 비하여 매우 낮은 값으로 나타났다.

3. 슬러지 생산량 및 성질

슬러지 생산량, 슬러지의 탈수성, SVI 등이 Table 4에 요약되어 있다. 슬러지 생산량은 호기성 소화의 경우는 평균 $1.24kgVSS/kg$

BOD applied이며, 혐기성 소화의 경우는 평균 $1.43kgVSS/kgBOD$ applied 이었다. 혐기성 소화의 경우가 호기성 소화의 경우보다 다소 높게 나타났는데, 호기성 소화의 처리수내의 SS와 VSS와 VS의 差異를 감안한다면 슬러지 생산량은 유사한 것으로 생각된다.

슬러지의 脫水性을 조사하기 위하여 specific resistance를 측정하였는데, 호기성 소화의 경우는 $1.26 \sim 2.43 \times 10^9 sec^2/g$, 혐기성 소화의 경우는 $2.72 \sim 5.65 \times 10^{10} sec^2/g$ 로 나타

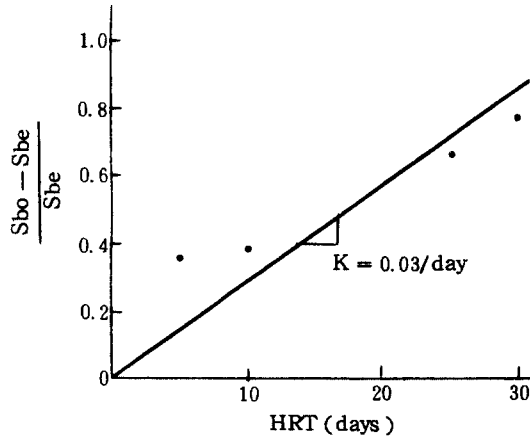


Fig. 5. The Computation of Metabolism Rate (K_m) (Anaerobic digestion)

Table 4. The Characteristics and Sludge Production

	Digestion time	Sludge production	Specific resistance ($10^9 sec^2/g$)	SVI	C/N
Aerobic digestion	10 days	Average 1.24	2.43	57	34
	20 days		1.43	42	52
	28.6 days		1.26	34	26
Anaerobic digestion	5 days	1.61	27.2	—	—
	10 days	1.58	56.5	—	—
	25 days	1.32	38.0	—	—
	30 days	1.23	36.0	—	—

* Sludge production = kg/kg BOD applied

났다. 혐기성 소화의 경우가 호기성 소화의 경우보다 비저항계수가 높게 나타나 슬러지의 탈수성이 다소 나쁜 것으로 나타났으나, 일반적으로 소화된 슬러지의 $3 \times 10^9 \sim 3 \times 10^{10} \text{ sec}^2 / \text{g}^9$ 와 비슷한 것으로 나타났다.

호기성 소화슬러지의 SVI값은 34~57로 나타나 슬러지의 침전성이 비교적 양호하였다. 소화된 슬러지의 비료가치 실험을 위하여 TOC와 TKN을 測定하여 C/N比를 구하였는데, 그 값은 26~52의 범위로 나타났다. EPA Manual⁹⁾에 의하면 C/N比가 20 이하인 경우 肥料로써의 가치를 인정 하였는데, 본 실험결과 비료가치로서는 다소 부족한 것으로 나타났다. 호기성 소화 슬러지를 肥料로 사용 하기 위해서는 적당한 방법으로 소화된 슬러지내의 질소 함량을 증가시켜야 할 것으로 사료된다.

4. 가스발생량 및 기타

호기성 소화시 용존산소 섭취율을 측정하였는데, 소화기일이 10일인 경우 59 mg/l/hr, 소화기일이 20일인 경우 42 mg/l/hr로 나타났다. kg BOD 제거량당 산소소모량은 소화기일이 10일인 경우 0.6kg, 소화기일이 20일인 경우 약 0.85kg로 나타나 F/M비가 증

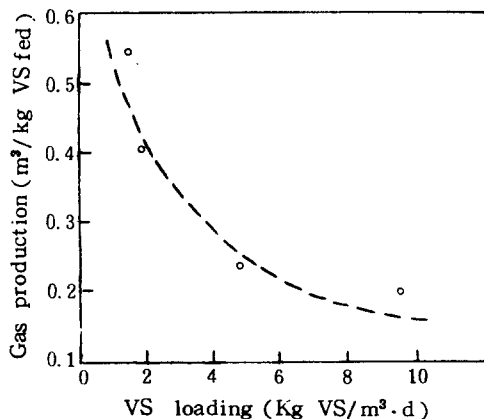


Fig. 6. The Gas Production vs VS Loading

가될 수록 산소소모량은 점차 감소되는 것으로 나타났다.

혐기성 소화시 가스발생량은 $0.21 \sim 0.55 \text{ m}^3 / \text{kg VS fed}$ 로 나타났는데, 각 소화기일에 따른 가스발생량은 Table.3과 Fig.6에 주어져 있다. VS부하율이 증가 될수록 가스발생량은 감소하였다. 본 실험과 유사한 유기물부하율 ($2.25 \sim 4.65 \text{ kg VS/m}^3 \cdot \text{day}$)로 연구한 결과¹⁰⁾에 있어서의 가스발생량은 $0.31 \sim 0.44 \text{ m}^3 / \text{kg VS fed}$ 이었는데, 이는 본 연구결과와 비슷하였다.

IV. 結 論

養豚場으로 부터 採取한 豚糞을 3倍 稀釋하여 好氣性 및 嫌氣性 消化시킨 결과는 다음과 같다.

1. 호기성 소화시 BOD 제거효율은 99% 이상, 혐기성 소화시 BOD 제거효율은 30~75% 이었다. 물질대사계수는 호기성 소화시 1.33/hr, 혐기성 소화시 0.03/day로 나타났다. 유기물제거효율(처리수 기준)은 호기성 소화의 경우가 혐기성 소화의 경우보다 훨씬 높게 나타났다.

2. 슬러지 생산량은 호기성 소화의 경우는 $1.24 \text{ kg VSS/kg BOD applied}$, 혐기성 소화의 경우는 $1.43 \text{ kg VS/kg BOD applied}$ 로 유사하게 나타났다.

3. 슬러지의 비저항계수는 호기성 소화의 경우는 $1.26 \sim 2.43 \times 10^9 \text{ sec}^2 / \text{g}$, 혐기성 소화의 경우는 $2.72 \sim 5.65 \times 10^{10} \text{ sec}^2 / \text{g}$ 으로 나타났다. 혐기성 소화의 경우가 호기성 소화의 경우보다 슬러지의 탈수성이 다소 나쁜 것으로 나타났다.

4. 호기성 소화슬러지의 침전성은 비교적 양호하였으며, kg BOD 제거당 산소 소모량은 $0.6 \sim 0.85 \text{ kg}$ 으로 나타났다.

5. 혐기성 소화시 가스발생량은 VS부하율이 1.59~9.55 kg VS/m³·day 의 범위에서 0.21~0.55 m³/kg VS fed 로 나타났다.

參考文獻

1. 家畜統計調查結果, 1987年 6月 現在, 農林水産部資料
2. 大型 메탄가스 施設 및 利用, 農村振興廳 (1980).
3. Sterens, M.A. and Schulte, D.D., "Low Temperature Anaerobic Digestion of Swine Manure", JEED, ASCE, Vol. 105, EE1, 33 (1979).
4. Huang, S.Y., et al., Proceedings of the National Science Council (Taiwan), 2: 407-415 (1978).
5. 廢棄物管理法 施行令(1987).
6. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th Ed., APHA, AWWA, WPCF (1980).
7. Mckinney, R.E., "Mathematics of Complete Mixing Activated Sludge", JSED, ASCE, Vol. 88, SA3 (1962).
8. Jewell, et al. Anaerobic Fermentation of Agriculture Residue; Potential for Improvement of Implementation, US Dept. of Energy (1978).
9. EPA, Technology Transfer Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal (1974).
10. 鎌田信一·內田和夫, 日本獸醫畜産大學紀要, 21: 79-92 (1972).