

常温에서 豚·人糞混合廢棄物의 嫌氣性處理(I)

金南天·閔達基

서울保健專門大學 環境管理科

Anaerobic Digestion of Pig Manure and Night Soil Mixed Waste in a Normal Temperature (I)

Nam Cheon Kim · Dal Ki Min

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

Abstract

This study is an experimental research on the anaerobic digestion of pig manure and night soil mixed waste at room temperature (25°C), and the results are shown below:

1. The steady-state condition based on gas production as digestion temperature dropped to 25°C from 35°C was achieved at around 28, 47, 56, 64 days respectively when its hydraulic retention time(HRT) are 10, 20, 30, 40 days.
2. Alkalinity and volatile acid(VA) was increased as increasing the organic loading.
3. Removal efficiency of chemical oxygen demand(COD) and biochemical oxygen demand (BOD) was improved as longer HRT, and generally COD value is lower and BOD value is higher relatively.
4. Overall treatment efficiencies of mixed waste are higher than of pig manure and of night soil.
5. Organic removal efficiency at room temperature (25°C) is 20-25% lower at medium temperature (35°C) in a same VS loading condition.
6. Refractory fraction of the influent VS and organic removal rate constant(K) estimated at around 37% and 0.107/day respectively.

I. 緒論

生物學的處理 system에서 處理反應에 관한

智識은 設計와 運轉을 성공적으로 이끄는 基本
資料가 된 뿐 아니라 處理效率을 예측하는데
기초가 된다.

1987年 廢棄物管理法(법률 제 3094 호)¹⁾이

制定 되면서 일정규모 이상의 畜産業을 하는 者는 畜産廢水淨化施設을 의무적으로 施設을 하여 運營하도록 明文化 돼 있다.

따라서 畜産事業場에서 排出되는 排泄物들의 처리가 시급히 要求되고 있다. 특히 養豚事業場的 數가 날로 증가하고 있어 이에 대한 처리가 문제가 되고 있다. 農水産部 資料²⁾에 의하면 Fig.1에 나타난 바와 같이 1980년 이래 飼育養豚數(頭)가 증가하고 있어 1987年 6月 현재 400萬頭가 飼育되고 있다. 참고로 우리나라의 養豚事業場數가 飼育養豚規模別로 Table 1에 나타나 있는데 1987년 6월 현재 500頭 이상의 규모를 갖춘 養豚事業場數는 約 400여개소에 이르고 있다.

한편 Taiganides³⁾에 의하면 家畜糞尿의 排泄量은 돼지는 3.18kg/day/頭, 소(牛)는 29kg/day/頭, 닭은 0.1kg/day/羽라고 했고, Turner⁴⁾는 분뇨중에 固形物排泄量은 體重 45kg의 돼지는 360g/day/頭, 體重 454kg의 牛는 4730g/day/頭, 2.2kg의 採卵 닭은 30g/day/頭라고 했으며 이는 飼料의 종류에 따라 差異가 있다고 했다. Table 2은 Witzel⁵⁾, Loehr,⁶⁾ Clark⁷⁾ 등이 조사한 家畜糞尿의 組成을 나타내었다.

한편, 金^{8,9)} 등은 畜産廢棄物中 豚糞을 對象으로 好氣性消化와 中溫 및 高溫下에서 嫌氣性處理 후 處理反應에 관한 生物學的 處理 system의 設計와 運轉을 위한 基本資料를 제시한 바 있고 李¹⁰⁾는 中溫에서 人糞을 對象으로 嫌氣性 및 好氣性 消化 處理에 관한 Kinetic Study를 상세히 수행한 바 있었다. 李¹¹⁾는 糞尿 處理時 溫度가 bio-gas 生産量에 미치는 영향을 研究 調査한 적이 있었다.

따라서 本 研究은 豚糞에 人糞을 混合하여 常溫(25℃)에서 嫌氣的으로 水理學的 帶留時間(Hydraulic Retention Time, HRT)을 단계적으로 정하여 有機物負荷量에 따른 除去率과 有機物 分解反應速度를 구하여 常溫에서 적정

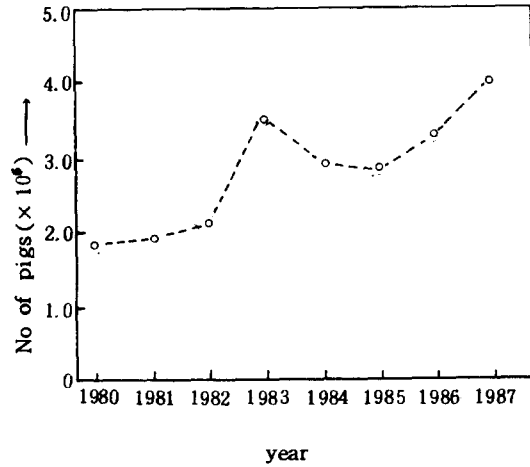


Fig. 1. The Number of Pig Bred in Korea from 1980 to 1987 Year

Table 1. The Status of the Pig Breeding in Korea

The Range of number of pig bred	Number of household of usehold of pig ad of pig bred by breeding size	Number of he- breeding size
1 ~ 4	206746	299594
5 ~ 9	23455	163479
10 ~ 19	26973	347972
20 ~ 29	8386	199537
30 ~ 39	7643	200337
50 ~ 99	6960	490293
100 ~ 499	5337	136955
500 ~ 999	400	280156
1000 ~ 4999	208	414031
5000 ~ 9999	28	186465
10000 and over	12	212048
Total	286148	4020867

※ The data is based on materials given by the Ministry of Agriculture and Fishery in June, 1987

한 운전과 설계를 위한 基本資料와 處理 可能性을 檢討하기 위해서 實驗하였다.

Table 2. Characteristics of Domestic Animal waste

Characteristics	Beef cattle (Witzel ⁵⁾)	Milk cattle (Loehr ⁶⁾)	Pig (Clark ⁷⁾)
PH	4.7 ~ 5.8	—	6.5
TS (mg/l)	250000 ~ 300000	150000	33000
VS (mg/l)	200000 ~ 250000	117000	26000
BOD (mg/l)	9600	10000 ~ 20000	8200
COD (mg/l)	38400	80000 ~ 130000	67200
E. coli (/g)	—	23 × 10 ⁴	60 × 10 ⁴
TKN (%)	S. A. Hart and M. E. Turner ⁸⁾		4.0
NH ₃ -N (%)			75
P (%)			3.1
K (%)			1.4

II. 實驗方法

1. 消化槽의 製作

消化槽는 內境 15cm, 높이 45.3cm인 아크릴 원통으로 용량이 8.0L 되게 제작했다.

加溫方法은 外部加溫式으로 Fig.2과 같은 장치를 2세트(反應槽 4개) 만들어 사용하였다.

Fig. 2에서 混合廢棄物試料(以下 Feed 라고 함) 流入管은 上部로부터, 流出管은 消化槽의 中央部 측면에서 밖으로 引出할 수 있도록 설치하였다.

2. 사용된 混合液(Feed)의 조제

豚糞은 경기도 삼송리 丁農場에서 殘飯과 飼料을 섞어서 먹이로 하는 豚糞原液을 採取하

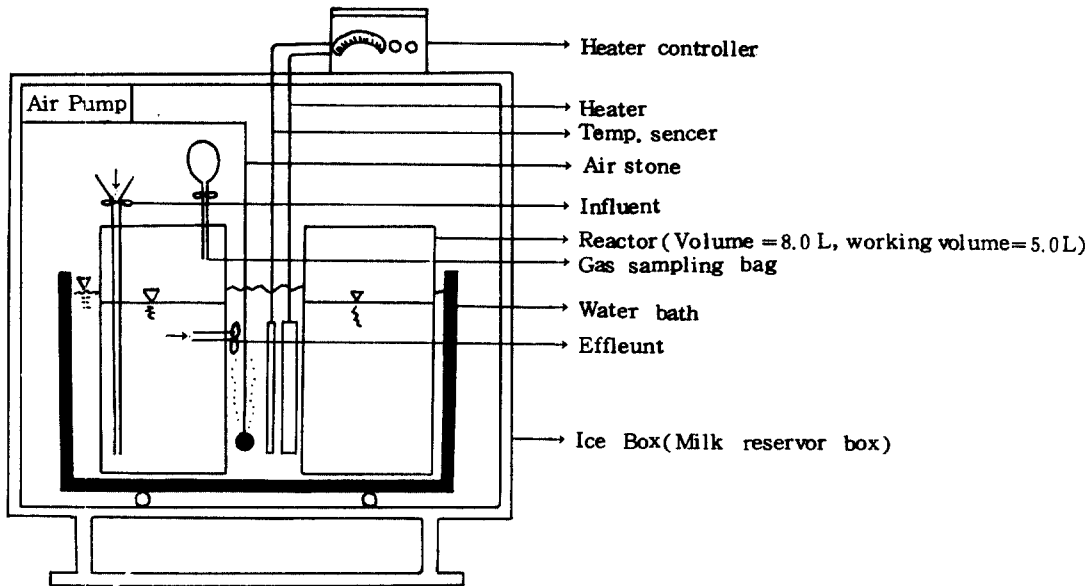


Fig. 2. Laboratory Arrangement for Anaerobic Digestion

Table 3. The Characteristics of Feed.

Date	pH	Cl ⁻	TKN	COD	BOD	TS	VS
87. 10/25	6.8	570	4600	63174	23250	51305	39240
11/12	6.6	530	—	72520	23733	58295	45315
11/20	6.4	—	4725	98576	20385	47755	36270
12/ 7	6.7	630	4550	88977	24640	45910	35055
$\bar{m} \pm \sigma$	6.4	577 ± 41	4625 ± 74	80812 ± 13803	23002 ± 1591	50816 ± 4733	38970 ± 3967

※ All unit ; mg/l

여 물로 3 배 희석했다.

人糞은 서울 東部 衛生處理場의 消化槽로 流入되기 직전의 폐액을 採取했다.

이 두 廢棄物을 1 : 1로 混合해서 流入水(Feed)로 했고 그 組成은 Table 3에 나타내었다.

Feed의 平均濃度를 보면 COD는 80,812 ± 13,803mg/l, BOD는 23,002 ± 1,591mg/l로 COD/BOD비는 약 3.5배 정도였으며, TS는 50,816 ± 4,733mg/l, VS는 38,970 ± 3,967mg/l로 TS중 VS는 약 77%였다. 또한 pH는 평균 6.2였으며, TKN은 평균 4,625mg/l 정도였다.

流入濃度는 可能한 一定하게 되도록 많은 량의 混合液을 調整한 후 시료의 變化를 막기 위해 5℃이하의 냉장고에 보관해서 사용할때는 均일하게 혼든다음 일정량 취해 사용했다.

3. 消化槽의 運轉

實驗初期에 微生物의 확보를 위해 35℃로 運轉되고 있는 東部 衛生處理場의 消化液을 採取하여 8.0L들이 아크릴 원통조화조에 消化液을 4개의 反應槽에 有效容量(Working Volume)을 5.0L로 해서 35℃ ± 2로 調整된 Water bath에 넣고 방치했다.

그후 3~4일간은 Non Feeding 상태에서 소화조를 흔들어만 주었다. 5일째는 가스가 나오지 않아 pH를 체크했더니 5.8로 체크되

어 5% NaOHsol 20 ml 과 10% Na₂CO₃ 10 ml 을 넣고, 다시 炭素源으로 Glucose 와 細胞合成에 필요한 인산염으로 potassium phosphate(KH₂PO₄)을 각각 한 Spoon씩 소화액에 용해시켜 주입시켰다. 6일째는 가스가 약간 나오기 시작했다. Non Feeding 상태에서 6일간은 흔들어만 주었다. 13일째는 소화 가스가 많이 나오고 불이 잘 붙었다. 14일째 부터는 35℃의 운전온도를 매일 1℃씩 낮추면서 消化液을 200 ml /day씩 빼고 Feed 을 200 ml /day씩 주입시켰다.

27일째부터는 HRT를 10, 20, 30, 40일로 調整해서 Feed 를 주입시켰다.

Feed의 流入, 流出은 하루에 1회씩 행하였으며 가수량은 Gas Bag 을 달아 하루에 1회씩 같은 시간대에 측정하였고, 소화조내의 온도는 均일하게 해주기 위해 Water bath 내의 물을 Air pump 로 항상 물의 흐름을 발생시켰다. 소화조의 溫度조절은 어항용 Heater와 조절기를 사용했다.

교반은 하루에 2~3 회씩 手動的으로 흔들어 주었다.

4. 分析

分析은 流入水, 流出水, 가스 등을 대상으로 分析하였다. 流入水의 COD, BOD, TS, VS, TKN, Cl⁻ 등은 10~20 일에 1회정도 分析하였으며, 流出水는 steady-state 일때 일정간

Table 4. Operating Results of Digester

HRT (days)	Period of Analysis	Temp. (°C)	pH	TCOD	SCOD	TBOD	SBOD	TS	VS	Alka- lini- ty	Vola- tile acid	Gas prod. (ml/d)
10	87. 11. 18 ~ 11. 26	24. 6	7. 34	72288 ±5937	36614 ±1361	18222 ±1058	11732 ±328	43275 ±1775	24969 ±1762	10017 ±554	2814 ±287	4059.67 ±195
20	12. 2 ~ 12. 9	25. 0	7. 50	66725 ±2577	33633 ±1421	14391 ±1263	10008 ±668	39206 ±867	22211 ±2546	6331 ±260	2109 ±212	2775.4 ±142
30	12. 7 ~ 12. 24	25. 0	7. 47	60695 ±1783	31768 ±989	10786 ±855	3383 ±335	34734 ±1744	21649 ±2163	5900 ±230	2109 ±79	2005.63 ±183
40	87. 12. 21 88. 1. 12	25. 2	7. 66	52329 ±6554	29563 ±1263	9556 ±110	5286 ±492	30635 ±773	19914 ±2467	4945 ±699	1399 ±97	1683.75 ±160

All values in mg/l unless otherwise noted

격으로 分析하였으며 모든 분석은 standard method¹²⁾와 環境汚染公定試驗法¹³⁾에 의해 分析하였다.

III. 結果 및 考察

1. 化學的 因子의 變化

嫌氣性 消化槽에 의한 HRT別 安定狀態下의 運轉結果의 平均値가 Table 4에 나타나 있다.

嫌氣性反應이 정상적으로 이루어졌는가를 간단히 파악하기 위해 化學的 因子의 變化를 보았는데, pH는 7.34~7.66으로 특별한 變化를 보이지 않았다. 嫌氣性條件下에서의 메탄酸酵에 適當한 pH는 6.8~7.4인데 비슷하게 운전되었다.

Alkalinity와 Volatile acid는 有機物負荷量이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. McCarty¹⁴⁾는 Volatile acid와 Alkalinity 등이 3,000mg/l 이상이면 좋지않고 특히 Volatile acid가 3,000mg/l 이상이면 一般下水 슬러지의 혐기성소화조내의 기생물에게 극히 위험하다고 하였으나 本 實驗에서는 許用濃度 이상에서 운전이 되었으나 가스생산량 및 處理 效率面에 큰 영향을 준것 같지는 않았다.

2. 有機物 除去 效率

Table 5. Operating Result of Digester with VS Loading 0.936 ~ 3.897 Kg VS/m³/day

Parameters	HRT(days)			
	10	20	30	40
VS Loading, Kg VS /m ³ /day	3.897	1.946	1.325	0.936
TCOD				
Influent		80812		
Effluent	70288	66725	60695	52329
% Reduction	13.0	17.4	24.9	35.3
TBOD				
Influent		23002		
Effluent	18222	14391	10786	9556
% Reduction	20.8	37.4	53.1	58.6
TS				
Influent		50816		
Effluent	43275	39206	32734	30635
% Reduction	14.8	22.6	31.6	39.7
VS				
Influent		38970		
Effluent	24969	22211	21649	19914
% Reduction	35.9	43.0	44.5	48.9

* All values in mg/l unless otherwise noted

Table 5은 HRT別 각 parameter의 除去 效率이다.

流入 COD의 平均濃度는 $80,812 \pm 13,803 \text{ mg/l}$ 로 注入되었을때 流出 COD는 HRT 10, 20, 30, 40 일에서 각각 $72,288 \pm 5,937 \text{ mg/l}$, $66,725 \pm 2,577 \text{ mg/l}$, $60,695 \pm 1,783 \text{ mg/l}$, $52,329 \pm 6,554 \text{ mg/l}$ 로 流出되어 COD 除去率은 13.0 %, 17.4 %, 24.9 %, 35.3 %를 보였다. Fig. 3는 固形物帶留期間(Solid Retention Time, SRT)에 따른 流出水의 COD와 COD 제거효율을 나타낸 것인데 COD 제거효율이 완만한 곡선으로 효율이 증가되었는데李^{10,11)}의 논문과 本 실험결과와 비교하면 비록 반응온도는 차이가 있다라도 대체적으로 COD 제거율은 낮는데 이는 豚糞, 人糞 混合液에는 分解不可能物質(NBD)이 많기 때문이라 사료된다.

Lawrence¹⁶⁾은 단일 Substrate(여기서는 Feed)가 아니면 암모니아 등의 毒性物質에 의한 방해작용으로 처리효율이 저조하다고 했다. 流入水의 BOD는 $23,002 \pm 1,591 \text{ mg/l}$ 로 주입되었는데 流出 BOD는 HRT 10, 20, 30, 40 일에서 각각 $18,222 \pm 1,058 \text{ mg/l}$, $14,391 \pm 1,263 \text{ mg/l}$, $10,786 \pm 855 \text{ mg/l}$, $9,556 \pm 810 \text{ mg/l}$ 로 유출되어 BOD 제거율은 20.8 %, 37.4 %, 53 %, 58.5 %를 보였는데 체류시간이 길수록 제거효율이 높았다.

Table 4는 SRT에 따른 유출수의 BOD와 BOD 제거효율을 나타내었다. 체류시간은 유기물제거에 중요하다고 생각된다. 즉 체류시간이 짧을 경우 미생물의 유출율이 커지기 때문이다.

유입수의 총고형물(Total Solid = TS)은 $50,816 \pm 4,733 \text{ mg/l}$ 였는데 HRT 40 일에서는 약 40 %, 30 일에서는 약 32 %, 20 일은 23 %, 10 일에서는 약 15 %의 제거효율을 보였다.

李¹⁰⁾의 논문에서는 35 °에서 人糞만을 對象으로 했을때 本 研究와 비슷한 VS 負荷量에서 HRT 20 일에서 40.2 %의 제거효율을 보였고

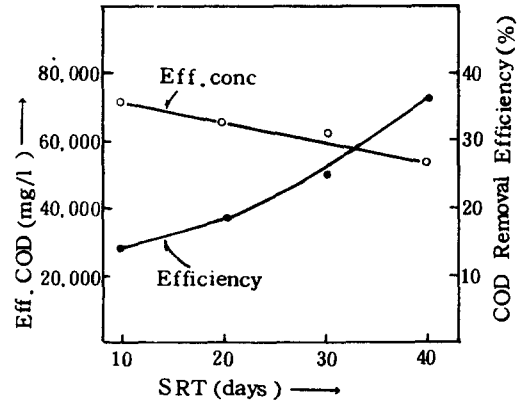


Fig. 3. Effluent COD and COD Removal Efficiency vs. Solids Retention Time

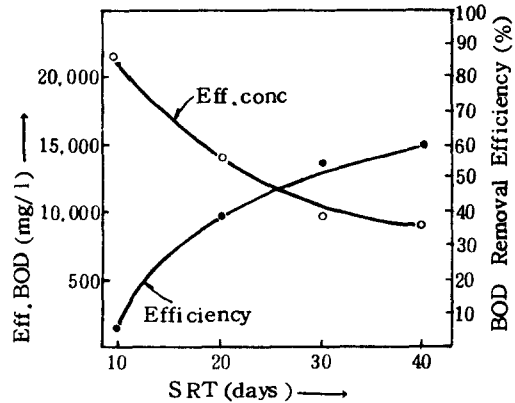


Fig. 4. Effluent BOD and BOD Removal Efficiency vs. Solids Retention Time

본 연구의 HRT 20 일에서는 약 23 %의 제거효율을 나타내어 소화온도가 높을 수록 제거효율은 증명되었다.

流入水의 VS는 $38,970 \pm 3,967 \text{ mg/l}$ 로 유입되어 HRT 10, 20, 30, 40 일에서 각각 약 36 %, 43 %, 46 %, 49 %의 제거효율을 나타내었다. 本 研究의 HRT 20 일과 30 일과의 운전조건이 비슷한 Steven¹⁶⁾이 22.5 ~ 25 °의 常溫에서 SRT가 20 일, 有機物負荷量이 1.45 ~ 1.8 kg Vs/m³/day 로서 처리할 때 VS 제거율

이 22℃에서 약 22.4%, 25℃에서는 약 20% 정도의 제거율로 본 연구에서의 제거율에 비하면 약 20~25% 정도 낮은 율을 보여 常溫에서 豚糞을 嫌氣性으로 消化處理할 때는 人糞을 混合해서 處理하는 것도 資源化 및 有機物除去效率 測面에서 좋다도 思料된다.

한편, 李¹¹⁾는 人糞만을 27℃, HRT 30일로 처리했을 때는 48% 정도의 제거효율을 보였다. 또 李¹⁰⁾는 人糞을 35℃±1에서 VS Loading 1.29~2.7kg VS/m³/day, HRT 20일 처리했을 때 COD 28.0%, BOD 33.1%, VS 46.6%의 제거효율을 나타낸 것으로 보아 본 연구와 비슷한 VS Loading 下에서 처리된 결과와 큰 차이가 없어 人糞도 常溫(25℃)에서 처리가능성을 나타내 주고 있다.

즉, VS 負荷率은 流入量에 比例하게 되어 HRT 10일에서 3.89kg/m³/day, HRT 20일에서 1.95kg/m³/day로 약 2배의 增加를 보이고 있고, HRT 30일에서는 1.33kg/m³/day HRT 40일에서는 0.94kg/m³/day으로 나타났는데 이는 流入水量이 HRT 40일과 30일과는 尤량차가 2배가 못되기 때문이다.

Fig. 5는 SRT에 대한 VS 농도와 VS 제거효율을 나타내었는데 그림상에 곡선이 완만한데 SRT 20, 30, 40 일인 경우 제거효율은 큰 차이가 없으나 10 일인 경우와는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 HRT 20, 30, 40일의 消化槽에 流入되는 流量差는 큰 차이가 없기 때문이라 생각되며 제거율은 VS 負荷量에 좌우된다고 볼 수 있다.

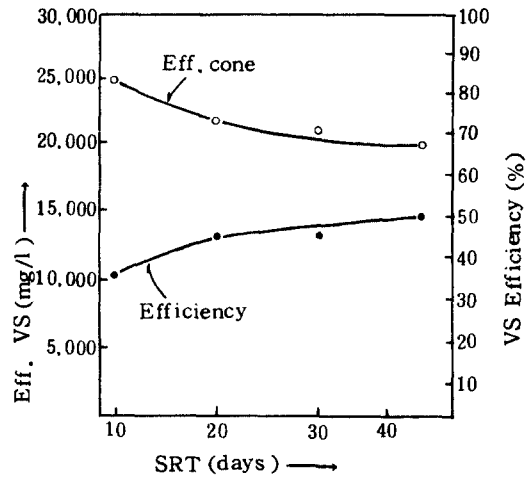


Fig. 5. Effluent VS and VS Removal Efficiency vs. Solids Retention Time

한편, 李¹⁰⁾의 논문에서는 35℃에서 VS Loading 2.9~5.5kg/m³/day에서 39.7~27%의 제거율을 보였고 VS Loading 1.29~2.7kg/m³/day에서는 46.4~26.0%의 제거율을 보였다.

3. 有機物除去速度 K값의 算出

流入 Feed의 VS 중 NBD 또는 Refractory fraction은 오랜기간동안 微生物分解後 남은 부분으로 定義할 수 있는데 Table 3와 Table 4을 이용해서 Table 6을 만들고 Fig. 6과 같이 나타낼 수 있었다. Table 6에서 So와 Se는 流入, 流出 VS의 농도이고 Sr은 소화조 내의 NBD VS 농도, Sbo와 Sbe는 유입, 유

Table 6. Computation of Substrate Removal coefficient

HRT (days)	So (g/l)	Se (g/l)	Sr (g/l)	Sbo (g/l)	Sbe (g/l)	(sbo - sbe) /HRT	Se / So
10	38.97	24.97	14.6	24.37	10.37	1.4	0.64
20	38.97	22.21	14.6	24.37	7.61	0.84	0.57
30	38.97	21.65	14.6	24.37	7.05	0.58	0.56
40	38.97	19.92	14.6	24.37	5.32	0.48	0.52

출의 각각 BD VS 농도가 된다. 여기서 유입 VS에 대한 NBD VS의 비를 R(Refractory fraction)로 표시하면 $R = S_r/S_o$ 이므로 R을 산출하기 위해서 Table 6을 이용하여 도시하면 x축에 $1/SRT$ 를 잡고 y축에 S_e/S_o 를 잡아서 실험결과를 Fig. 7과 같이 나타낼 수 있고 여기서 y축의 절편이 R값이 된다. Fig. 6에서 R값이 0.375로 산출되어 Refractory VS는 流入 VS의 약 38%가 된다.

한편, 有機物除去速度 K를 算出하기 위해서 VS에 對한 物質收支을 세우면

(反應槽內的 VS 變化) = (流入 VS 量) - (流出 VS 量) - (VS 除去量)이 된다.

$$\text{즉, } V \cdot \frac{dsb}{dt} = Q \cdot S_{bo} - Q \cdot S_{be} - K \cdot V \cdot S_{be} \quad (1) \text{식}$$

여기서 V = 反應槽의 容量 (m^3)

dsb/dt = 單位時間當 BD VS의 變化率

Q = 流量 (m^3/day)

K = 有機物除去速度 (day^{-1})

反應이 Steady-State에 도달 했을 때 식(1)

을 整理하면 $\frac{S_{bo} - S_{be}}{HRT} = K \cdot S_{be} \rightarrow (2) \text{식}$ 이 된다.

式(2)의 각 항을 計算한 것이 Table 6이 되며 이것을 도시하면 Fig. 7이 된다. Fig. 7에서 직선의 기울기가 有機物除去速度 K가 되며 Feed의 경우 25°C常溫에서 K값은 0.107/day로 산출되었다.

嫌氣性 有化에서 有機物除去速度 K는 消化溫度가 低下되면 적어지게 된다.

崔²⁹⁾ 등의 경우 人糞을 對象으로 20°C의 혐기성소화에서 K값은 0.049/day로 계산되었다.

IV. 結 論

豚糞에 人糞을 混合한 試料를 常溫(25°C)에

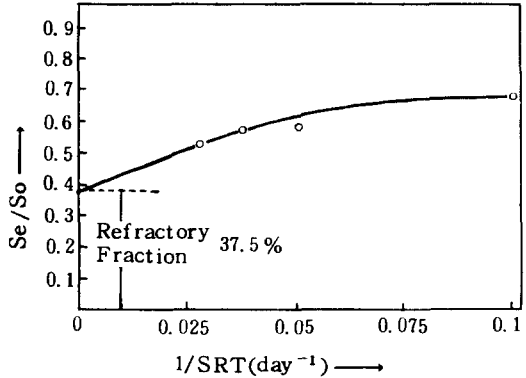


Fig. 6. Computation of the Refractory Fraction

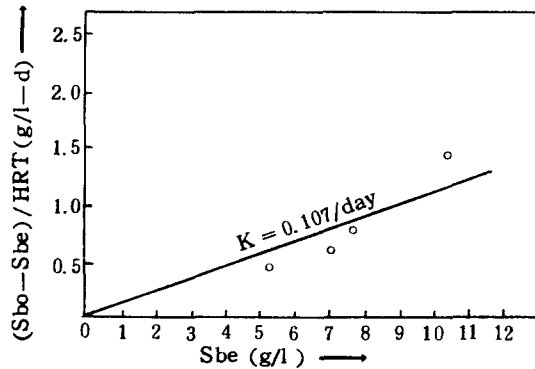


Fig. 7. Substrate Removal Coefficient

서 嫌氣性消化法으로 消化分解시킬때 有機物除去 效率은 다음과 같다.

1. 消化溫度를 35°C에서 25°C로 變化시켰을 때 安定狀態에 도달하는 期間을 가스發生量이 근거로 HRT 10, 20, 30, 40일에서 각각 약 28, 47, 56, 64일 정도였다.

2. Alkalinity와 Volatile acid(V. A)는 有機物負荷量이 증가할 수록 상당량 증가하였다.

3. COD, BOD除去率에서 체류시간이 길수록 除去效率은 높았고 대체적으로 COD 値는 낮으나 BOD 値는 높았다.

4. 豚糞과 人糞을 각각 處理하는 것보다 混合處理할 때 제거效率이 높은 것으로 나타났다.

5. 同一한 조건(VS $kg/m^3/day$)에서 有機

物除去効率は 常溫消化處理가 中溫消化處理보다 대략 20~25 % 정도 除去率이 낮다.

6. 流入되는 VS 중 Refractory fraction은 약 37 % 정도이며 有機物除去常數 K값은 0.107/day 로 산출되었다.

參 考 文 獻

1. 環境廳; 廢棄物 管理法, 1987.
2. 農水産部資料; 畜協調査, 1987.
3. E.P. Taiganides; Agricultural Solid Wastes, Proc, 19th. Ind. Waste Conf., Purdue., Univ., Ext, Ser. 117, 281, (1964).
4. M.E. Turner; Lagoons for Livestock Manure, Journal of water pollution Control Federation, 37, 1578 (1965).
5. S.A. Witzel, et al.; O.J. Attoe, and M.S. Nichols; Physical, chemical and Bacteriological properties of Farm Wastes (Bivine Animals), publication No. SP-0366, proceeding of the National Symposium on Animal Waste Management, ASAE, p. 10 (1965).
6. R.C. Lehr, et al.; Cattle Wastes-pollution and potential Treatment, Journal of the Sanitary Engineering Divistion, 93, SA. 4. 55 (1967).
7. C.E. Clark; Hog Waste Disposal by Lagooning, Journal of the Sanitary Engineering Divistion, 91, SA. 6, 27 (1966).
8. 金南天; 豚糞의 嫌氣性消化에 關한 研究, 서울保健專門大學 論文集, Vol.3, 119~124, 1983.
9. 金南天外; 中溫 및 高溫 嫌氣性消化에 依한 豚糞處理 韓國環境衛生學會誌, Vol, 10, No. 1, 107~117, 1984.
10. 李燦基; 嫌氣性消化에 依한 糞尿處理, 高麗大學校 大學院, 博士學位論文, 1982.
11. 李柄憲; 糞尿處理時 溫度가 Bio-gas 生産量에 미치는 영향, 高麗大學校 大學院, 碩士學位論文, 1980.
12. Standard Method; AWP, AWWA. WPCF 16th. (1985).
13. 環境廳; 環境汚染 公定試驗法, 1986.
14. McCarty, P.L.; Anaerobic Waste Treatment Fundamentals, Public Works, 11, 91-126 (1964).
15. Lawrence, et al.; Kinetic of Methane Fermentation in Anaerobic Treatment, Journal WPCF, Vol. 41, No. 2, 1-R 17 (1969).
16. Stevens, M.A., et al.; Low Temperature Anaerobic Digestion of Swine Manure, JEED, ASCE, Vol. 105, No. EE1, 33 (1979).
17. 崔義昭外; 糞尿의 生物學的處理時 溫度가 미치는 영향, 文教部, 環境關係調査報告書, 1981.