

都市 廢棄物로부터 Biogas 生産에 관한 基礎的 研究

A Fundamental Study on Biogas from Municipal Solid Waste

崔 義 昭*
Choi, Eui So
李 正 典**
Lee, Jung Jun

Abstract

To evaluate the fundamental factors in the recovery of biogas from the landfills composed of about 40% of volatile solids, the experiments for the samples from the operating landfill site as well as from the laboratory-scale lysimeter were undertaken.

In the test of landfills, the change of moisture content, the content of volatile solids (VS), the ratio of saccharide to lignin(Y) and the estimation of landfills reclaimed and the correlation between VS and Y were investigated.

During the experiments with laboratory-lysimeter, temperature, pH, gas production rate, the composition of gas were measured.

The mathematical model derived from the the rate coefficient of gas production(k) were proposed from the results of this investigation.

Furthermore, the proposed mathematical model from this study was verified with the obtained values from experiments.

要 旨

本 研究에서는 韓國의 都市에서 排出되어 埋立되는 固形廢棄物中 약 40%를 차지하고 있는 有機性物質로부터 biogas 生産에 대한 基礎資料를 얻기 위하여 光州市 근교에 있는 埋立場의 試料로서 1976 年부터 1985 年까지 年度別로 含水率 有機性物質含有率(VS)의 變化와 saccharide 系와 lignin 의 含量 變化를 測定하여 埋立期間의 경과에 따른 有機性物質(VS)의 變化式을 提案하였으며 saccharide 系/lignin(S/L)로부터 埋立경과년수를 算定하는 方法을 數學的으로 나타내었으며 S/L 과 VS 的 相關性도 아울러 구하였다. 아울러 廢棄物의 種類別로 分類한 試料와 混合試料에 대한 가스發生速度係數 (k)를 구하여 都市廢棄物로부터 가스發生量을 추정하는 數學的 모형을 결정하였다.

* 正會員·高麗大學校 工科大學 教授, 土木工學科

** 正會員·全南大學校 工科大學 副教授, 土木工學科

1. 序 論

우리나라의 都市廢棄物은 量的인 증가와 함께 質的인 면에 있어서도 有機性物質이 대폭 증가하는 추세에 있어 廢棄物의 資源化를 위한 處理方法이 고려되어야 한다.

廢棄物의 處理方法은 排出量, 物理學的 性分, 經濟的, 地域的 여건등을 고려하여 선택되어야 하는데 有機性 物質이 많이 포함된 廢棄物의 資源化에 대한 方案으로서 적절한 分離收去와 埋立方法에 따른 biogas의 回收를 생각할 수 있다.

따라서 本 研究에서는 韓國의 都市에서 排出되어 埋立되어지는 固形廢棄物中 약 40%를 차지하고 있는 有機性 物質(VS)^(1,2)로부터 biogas 生産에 對한 基礎資料를 얻기 위하여 光州市 근교 埋立場의 試料로서 1976년부터 1985년까지 年度別로 含水率 및 VS의 變化와 sacchride系와 lignin의 含量의 變化를 측정하여 埋立期間의 經過에 따른 VS의 變化式을 提案하였으며 都市固形廢棄物中 saccharide系는 分解가 進行됨에 따라서 lignin系보다 分解가 빨리 이루어지므로 sacchride系/lignin은 埋立地에서 分解可能性 또는 gas發生速度에 대한 有用한 지표로 사용되어질 수 있다⁽³⁾.

따라서 S/L로부터 埋立經過年數를 算定하는 方法을 수학적으로 나타내하고자 하였으며 S/L 값과 VS의 相關性도 아울러 구하고자 하였다. 또한 實驗室에서는 Lysimeter에 固形廢棄物을 分解程度에 따라 種類別로 分類한 試料와 排出된 그대로의 混合된 試料를 混合하여 채우고 각각의 Lysimeter 內의 온도, 가스發生量, 가스性分 및 수소이온농도(pH)등의 變化를 測定하여 이들로부터 가스 發生速度係數(k)를 구하여 都市

廢棄物의 種類別로 分類한 試料와 混合試料에 따른 가스發生量을 추정하는 數學的 모형을 結定하고자 하였으며 埋立場試料에서 구한 實驗的 結果로부터 saccharide와 lignin의 比와 實驗室의 Lysimeter로부터 구한 가스 發生速度係數(k)를 비교하여 埋立現場의 VS와 saccharide系 및 lignin 含有量을 측정하여 가스 發生量을 算定하는 數學的 모형을 제안하고자 했다.

2. 實驗方法

2.1 試料의 채취 및 분석

實驗對象은 光州市에서 排出되는 都市廢棄物과 그 埋立地로 定했으며 埋立地는 表-1에 나타낸 것과 같이 1976년부터 1985年初까지 埋立이 完了된 지역을 擇했다.

埋立地의 分解程度를 파악하기 위하여 埋立現場에서 試料를 채취하여 實驗室內에서 含水率, 有機性物質含有量⁽⁴⁾, saccharide含有量, lignin含有量을 測定하였으며⁽⁵⁾, 침출시험⁽⁶⁾을 行하여 수소이온농도, 염화물의 농도를 측정하였다⁽⁴⁾.

2.2 Lab-Lysimeter의 製作 및 운전

lysimeter는 그림 1에서와 같이 높이 H=1, 500mm, 내경 $\phi=300$ mm, 인 PVC파이프를 사용하여 제작하였는데 상단부에는 실제 埋立地에 침투하는 水量은 공급하기 위해 入口를 設置하였는데 처음 6個月은 1주일 평균 0.5345l/week의 水量을 공급했으며 다음 6個月은 0.635l/week를 주입했다. lysimeter에서 발생되는 gas를 측정하기 위하여 holder와 연결하였다. 하단부는 埋立地와 같은 혐기성 조건을 유지시키기 위해 外部와 차단이 되도록하여 effluent tank를 설치했다.

實驗室에서는 生廢棄物에 대하여 分解速度의 정도가 다른 프라스틱, 비닐, 고무, 가죽류계,

表-1. Time passed of landfill in each landfill sites

on site No.	Ochi-1	Ochi-2	Sinchang-1	Sinchang-2	Sinchang-3
Time passed(year)	0.5	1	2	2.5	3
on site No.	Sinchang-4 (Donglim-1)	Donglim-2	Juwol-1	Juwol-2	Juwol-3
Time passed(year)	3.5	4	7	8	9

(study date '85.2)

표-2. Characteristics of solid waste in Lysimeter

Classification	A-Lysimeter	B-Lysimeter	C-Lysimeter	D-Lysimeter
Major materials ²⁾ (%)	Vinyl plastic } (61.5) Leather (38.5)	Woods (16.0) Textile (19.9) papers (64.1)	kitchen-wastes (100)	Mixture • kitchen (67.4) • woods, papers (20.7) • vinyl, plastic, Leather (11.9)
particle size(cm)	2~5	2~5	2~5	2~5
Initial water content (wet wt. %)	2.7	6.8	81.3	57.2
VS (%)	60.5	74.1	69.0	59.5
S/L ratio	0.075	2.784	5.425	3.288

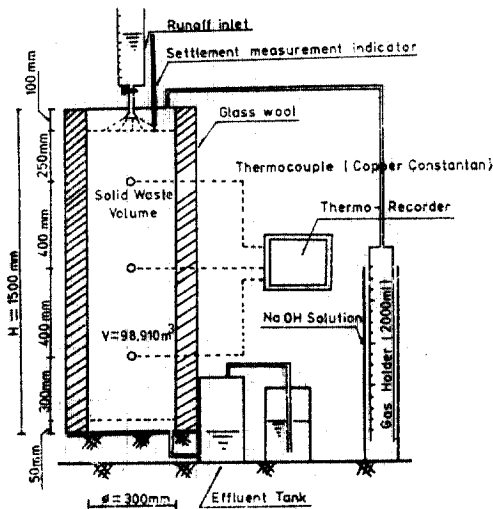


그림 1. Schematic diagram of lysimeter

종이, 목재, 섬유류계, 주방폐기물계, 혼합 폐기물계로 분류하여 VS, S/L 값을 측정 한 후 표-2와 같이 각 Lysimeter 에 그림 1의 점선 (1400m/m)까지 채운 다음 經過時間에 따라서 가스發生量 및 가스性分의 變化, 온도變化를 측정하였다.

Lab-Lysimeter 의 溫度는 1~40 일에 22~23°C, 90 일~160 일에는 27~29°C, 200 일~260 일까지는 33~35°C 로 운전하였고, 280 일~330 일에는 27~29°C 로 유지 운전하였다.

2.3 分析方法

- 1) Volatile Solids : Standard Method⁽⁴⁾
- 2) Lignin 및 Saccharide 系 : Effland Meth-

od⁽⁵⁾

- 3) 침출시험 : Japanese Environmental Protection Agency Method⁽⁶⁾
- 4) Temperature : XY Recorder(wx 4302. Watanabe, Japan)에 Copper Constantan Thermocouple 을 연결, 측정
- 5) Gas 性分 分析 : Gas Chromatograph(TCD-3BT, Shimazu, Japan)에 의함. Column Packing Material 은 porapak-Q 와 Molecular Sieve 5A 를 직렬 연결 측정(Temp : 30°C, Current : 70mA Carrier Gas : Argon)

3. 結果 및 分析

3.1 埋立經過年數에 따른 特性

本 研究의 대상으로 선정된 11 개소의 埋立現場에서 채취한 시료에 대해서 含水率(wt%), 휘발성 고형물질(VS), S/L 값을 測定한 結果를 표-3에 나타내었다.

표-3에서 나타낸 바와 같이 埋立地의 含水率은 經過期間에 별 차이없이 19~33%로서, 이 結果는 光州市에서 發生되는 廢棄物의 含水率 25~32%와 거의 비슷한 값을 보이고 있다⁽¹⁾.

有機物中 生物學的으로 分解可能한 物質은 미생물에 의해서 分解가 進行되고 有機物質의 含量이 變化하는데 各 埋立地로부터 채취된 廢棄物中 VS 含量의 變化를 graph 상에 도시하면 그림 2와 같다.

VS의 變化로부터 최근의 埋立地와 時間이

표-2. Experimental results of landfills in Kwang Ju

Landfill Sites	Ochi-1	Ochi-2	Sincha- ng-1	Sincha- ng-2	Sincha- ng-3	Sincha- ng-4	Dongli- m-1	Dongli- m-2	Juwuol- -1	Juwuol- -2	Juwuol- -3
Time passed (yr)	0.5	1.0	2.0	2.5	3.0	3.5	3.5	4	7	8	9
Classification											
Water Content Per Wet wt.(%)	28.3	25.2	19.7	28.8	29.5	25.1	24.5	22.2	19.0	25.1	33.0
VS (%)	25.3 29.1*	14.8	17.4	10.3 12.3*	11.6	11.3	.	11.8	10.2	8.4	7.1
S/L Ratio	4.88	2.75	2.47	1.12 1.17*	1.345	.	.	1.17	1.02	0.55	.
Cl ⁻ (mg/l) (from leaching Test) ⁹⁾	800 1060*	405	52	30 180*	22	140	30	130	24	26	14
COD(mg/l) (from leaching Test) ⁹⁾	648	192	208	124	120	68	28	128	120	44	56

* 1984 DATA⁽⁹⁾

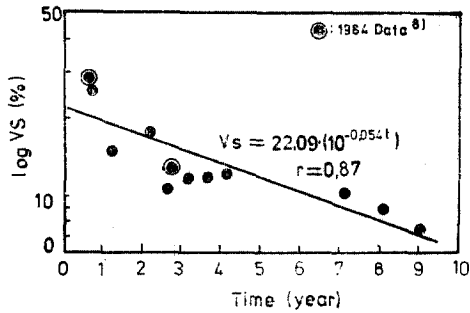


그림 2. Change of volatile solids as a function of time passed after landfilling

經過된 埋立地와의 사이에는 差異가 있음을 알 수 있었는데, 7, 8, 9년 經過된 埋立地에서는 VS가 10%이하로 나타났고, 최근의 Ochi 埋立地의 경우는 20~30%정도의 VS가 포함되어 있는 것을 알 수 있었으며 經過期間과 VS 含量사이에는 $VS = 22.09 \times 10^{-0.054t} (\%) \dots (1)$

여기서 t: 經過期間(year)

과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

埋立地에서 S/L을 測定함으로써 埋立地의 分解程度와 埋立經過年數를 파악할 수 있는데, 經過年數에 따른 S/L(Y)의 상관관계를 graph 상에 나타내면 그림 3과 같고 그 상관식은 다음과 같다.

$$\frac{1}{Y} = 0.164t + 0.236 \dots (2)$$

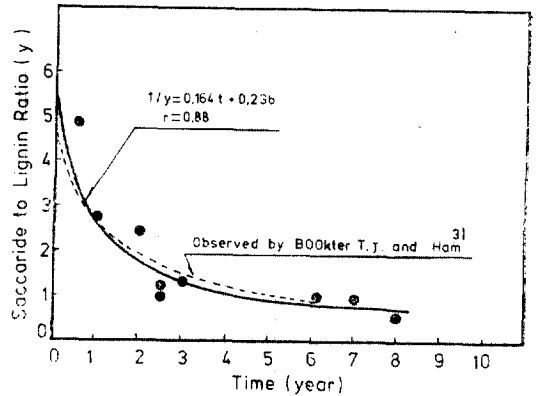


그림 3. Saccharides to lignin ratio as a function of time passed after landfilling

그림 3에서 나타낸 바와같이 Bookter 등이 測定한 cellulose/lignin 값과 상당히 근사한 경향을 보이고 있다⁽³⁾.

또한 전술한 VS와 S/L(Y)의 상관관계를 그림 4에 나타내었는데, 이들사이에 상관성은 매우 높은 것으로 계산되었다.

따라서 VS도 埋立地의 分解程度를 파악할 수 있는 좋은 지표가 될 수 있다고 생각된다.

3.2 가스 成分의 變化

廢棄物 埋立地에서 함수율이 클수록 methane 發生에 좋은 조건이 된다. 또한 함수율이 12% 이하가 되면 微生物分解作用이 정지된다고 알려져 있다⁽¹⁰⁾.

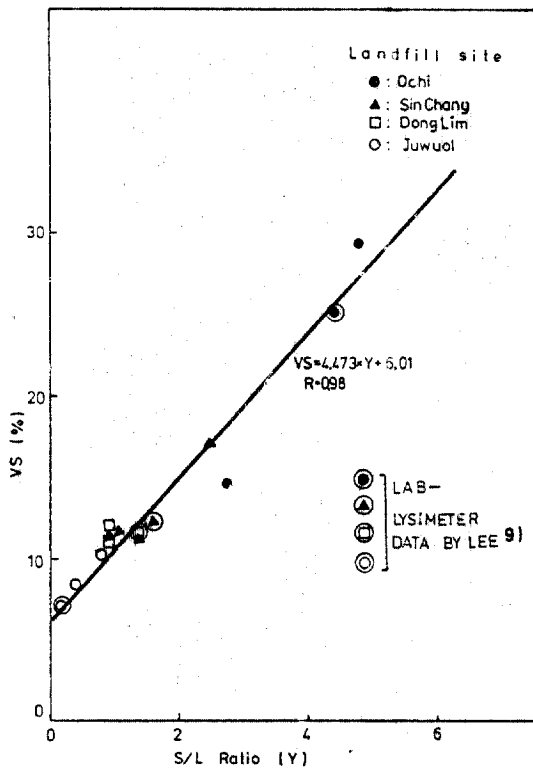


그림 4. Relationship between S/L ratios and volatile solids.

A-lysimeter의 경우, 초기 함수율이 2.7%이었는데 90여일이 지난 무렵 함수율은 22%로 증가되었으며, 이때 methane도 발생하기 시작했고 가스 발생량이 급격히 증가되고 있다.

B-lysimeter의 경우, 240여일이 경과할 무렵 초기 함수율 6.8%에서 34%이상으로 유지되었으며 methane이 발생하기 시작하였다.

C-lysimeter는 초기 함수율이 82%로서 原排出時부터 포화되었다고 보여지고, 30여일이 경과할 무렵 methane이 많이 발생되고 가스 발생량이 급격히 증가하였다.

D-lysimeter의 경우 초기 함수율이 57.2%로서 100여일이 경과할 무렵 浸出水가 나오기 시작했으며 이때를 전후하여 methane이 발생하고 가스량도 급격히 증가하였으며 이때의 함수율은 62%이었다.

methane 발생過程에 따른 phase 별로 각 lysimeter에 대하여 考察한 結果는 다음과 같다⁽¹¹⁾.

A-lysimeter의 경우 I-phase(aerobic phase)가 1~30일경에 관측되었으며 N₂가 80%정도를 차지하고 있고, O₂가 5%정도 함유되었다가 소멸되었으며 H₂도 관측되었다. II-phase(anaerobic non-methanogenic phase)는 30~60일경에 나타났으며 N₂가 85~82%를 차지하고 CO₂는 12%정도 발생하였다. 이 경우 II-phase에서 일반적인 경향과는 달리 CO₂ 발생이 급격히 증가하지 않는다는 점이다. III-phase(anaerobic methanogenic unsteady phase)는 60~180일경에 발생되었으며 60일경에 CH₄가 발생되기 시작하여 180일경에 安定狀態에 들어감을 알릴 수 있었다. 이 phase에서 N₂가 거의 없어졌으며 CO₂는 약 20%를 포함하고 있었다.

廢棄物의 종류에 따라 III-phase期間이 180일, 250일 또는 500일이 소요된다하나⁽¹¹⁾, 본 Lysimeter에서는 120일정도로 상당히 짧은 기간으로 나타나고 있다. IV-phase(anaerobic methanogenic steady phase)는 CH₄:CO₂의 비가 일정하게 유지되는 기간을 일컬을인데 CH₄=70~75%, CO₂=25~30%를 유지하고 있었다.

B-lysimeter의 경우 分解速度가 상당히 느림을 보여주고 있다. I-phase가 180일로서 都市廢棄物의 11~45일보다 훨씬 길다. CO₂가 완만하게 발생하기 시작하여 I-phase가 거의 끝나는 180일 근방에서 CO₂는 45%에 이르고 있으며, O₂는 10~15%로 상당시간 오랫동안 나타났으며 160일 근처에서 H₂가 발생되기 시작하였다. 이로부터 B-Lysimeter의 경우 혐기성 단계에 이르는 시간이 많이 걸린다는 것을 알 수 있었다.

C-lysimeter의 경우 I-phase는 30일 근방에서 이루어졌고, 초기 10일 이내에 CO₂함량이 급격히 증가, 10일 근처에서 75%정도 발생하였으며 N₂는 급격히 감소하였으며 35일 근방에서 35%에 도달하였다. 그러나 이 lysimeter의 경우 O₂가 감소하자마자 H₂와 CH₄가 동시에 발생 I-phase와 II-phase를 실제적으로 구별하기가 힘들었다. III-phase에서는 아직 H₂가 남아있으며 약 90여일이 경과하자 CH₄와 CO₂의 함량이 반전(反轉)되었으며 140여일경에 N₂가 소멸되었고 이때 CH₄:CO₂는 65% :

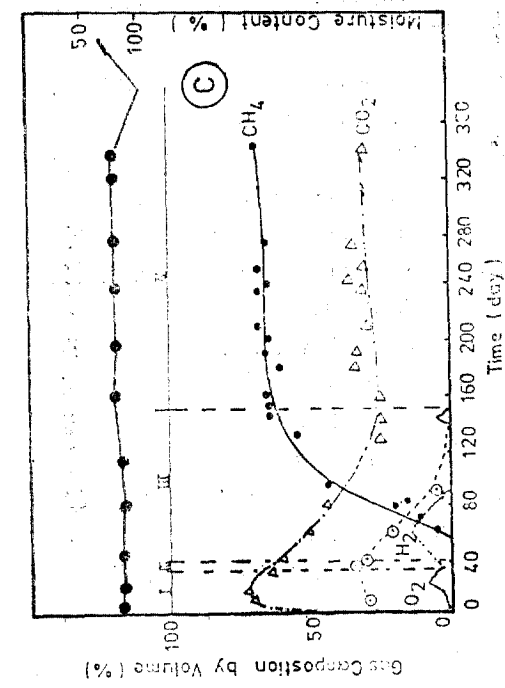
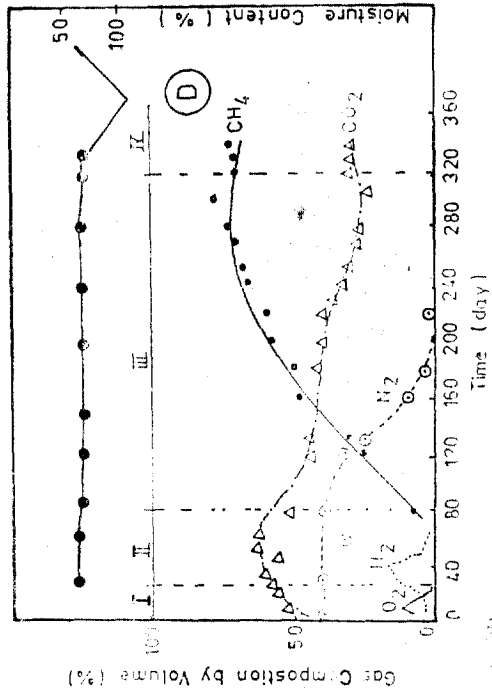
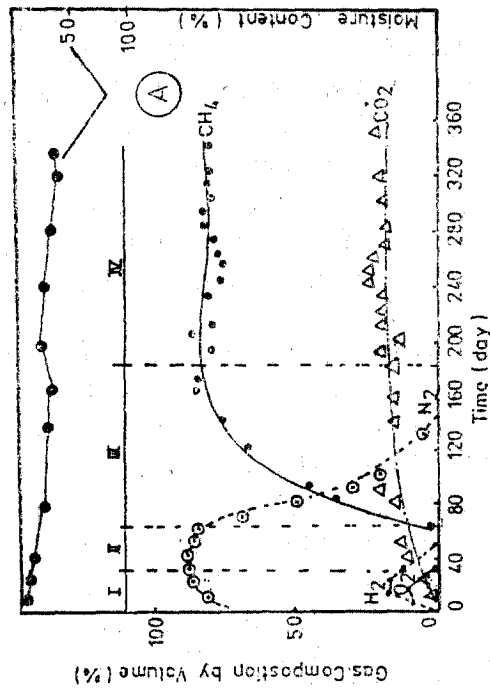
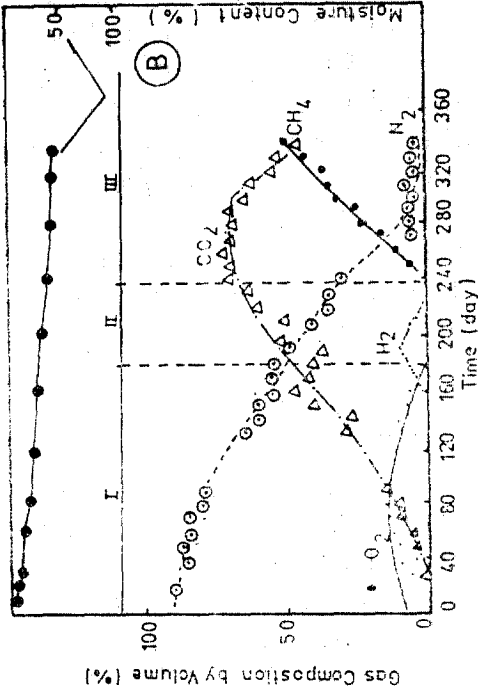


그림 5. Variation of gas composition vs operation time

표-4. The elapsed time at each phase in Lysimeter.

Lysimeter		A	B	C	D
Sample		vinyle, plastic, Leather	woods, papers, textile	kitchenwastes	Mixture
Initial Moisture Content (wt. %)		2.7	6.8	81.3	57.2
Elapsed Time (day)	Aerobic phase(I)	1~30	180	30	30
	Anaerobic-nonmethanogenic phase(II)	30	60	5	50
Elapsed Time to steady state (I), (II), (III)		180	340	160	320
Gas Content	CH ₄ (Vol. %)	70~75	40	60~70	70
	CO ₂ (Vol. %)	25~30	60	30~40	30

35%정도이었다. IV-phase에서는 CH₄가 60~70%를, CO₂는 30~40%를 차지하고 있었다.

D-lysometer의 경우 I-phase는 30일경에 나타났으며 O₂는 10%정도를 차지하다가 소멸되었다. CO₂는 급격히 발생하여 10일전후해서 50%이상을 차지하였고 계속 증가하는 경향을 보이고 있다.

또한 N₂는 급격히 감소하여 10일근처에서 40%전후로 유지되고 있으며 이미 H₂는 발생하기 시작하였다. II-phase는 30~80일동안에 발생하였는데 H₂는 15%까지 발생했다. CO₂도 더욱 증가하여 65%까지 상승하였다. III-phase는 80~130일경에 나타났는데 N₂가 감소하면서 CH₄가 발생하였고 150일경에 CO₂와 반전이 이루어졌다. 또한 이후 CO₂도 점차 감소하여 300여일이 경과한 다음 30%정도에서 정상적으로 유지되었고 CH₄도 70%정도로 유지되었다.

각 lysimeter 별로 각각의 Phase에 필요한 소요일수를 종합하여 표-4에 나타내었다.

D-lysimeter와 같이 混合廢棄物의 경우 IV-Phase에 도달되는 기간이 320일이 소요되고 C-lysimeter와 같이 주방폐기물의 경우는 160일이 소요되었는데 混合廢棄物의 경우 주방폐기물보다 거의 2배의 기간이 安定狀態에 도달하는데 필요함을 알 수 있었다. B-lysimeter를 제외한 모든 lysimeter에서 I-phase에 소요

되는 기간은 20일~40일정도였으며 II-phase의 경우도 60일내외가 소요되었음을 알 수 있었고, III-phase의 경우는 I, II-phase보다 훨씬 긴 시간이 소요됨을 알 수 있었다.

3.3 가스發生量과 發生速度係數(k)

埋立地에서 혐기성분해가 적절하게 이루어지는 조건은 pH는 7 정도, 수분함량은 85%정도라고 알려져 있으며⁽¹⁰⁾, 埋立地의 온도는 32~40°C로서 친온성영역에 속하고 이때 發生되는 가스는 회수하여 이용할 수 있다^(12,13,18).

그림 6은 분해정도가 다른 종류별 폐기물의 시간의 경과에 따른 가스發生量과, 온도, 침출수중의 pH, 그리고 누적 CH₄量과 가스량을 나타내고 있다.

일정시간 t에 發生되는 가스량은 다음과 같이 나타낼 수 있다⁽¹⁴⁾.

$$G_t = 1.868 \times C_f \times (1 - 10^{-kt}) \dots\dots(3)$$

여기서 C_f: 초기 carbon 量 = $\left(\frac{100 - F_f}{1.8}\right)\%$ ⁽¹⁷⁾

G_t: 가스發生量

F_f: Fixed solids

各 Lysimeter에 투입된 C_f量은 VS·ton 당으로 환산하면 다음 표-5와 같다.

표-5. Determination of initial carbon weight in each Lysimeter

Lysimeter No.	A	B	C	D
C _f (kg/vs·ton)	336.7	412	383	331

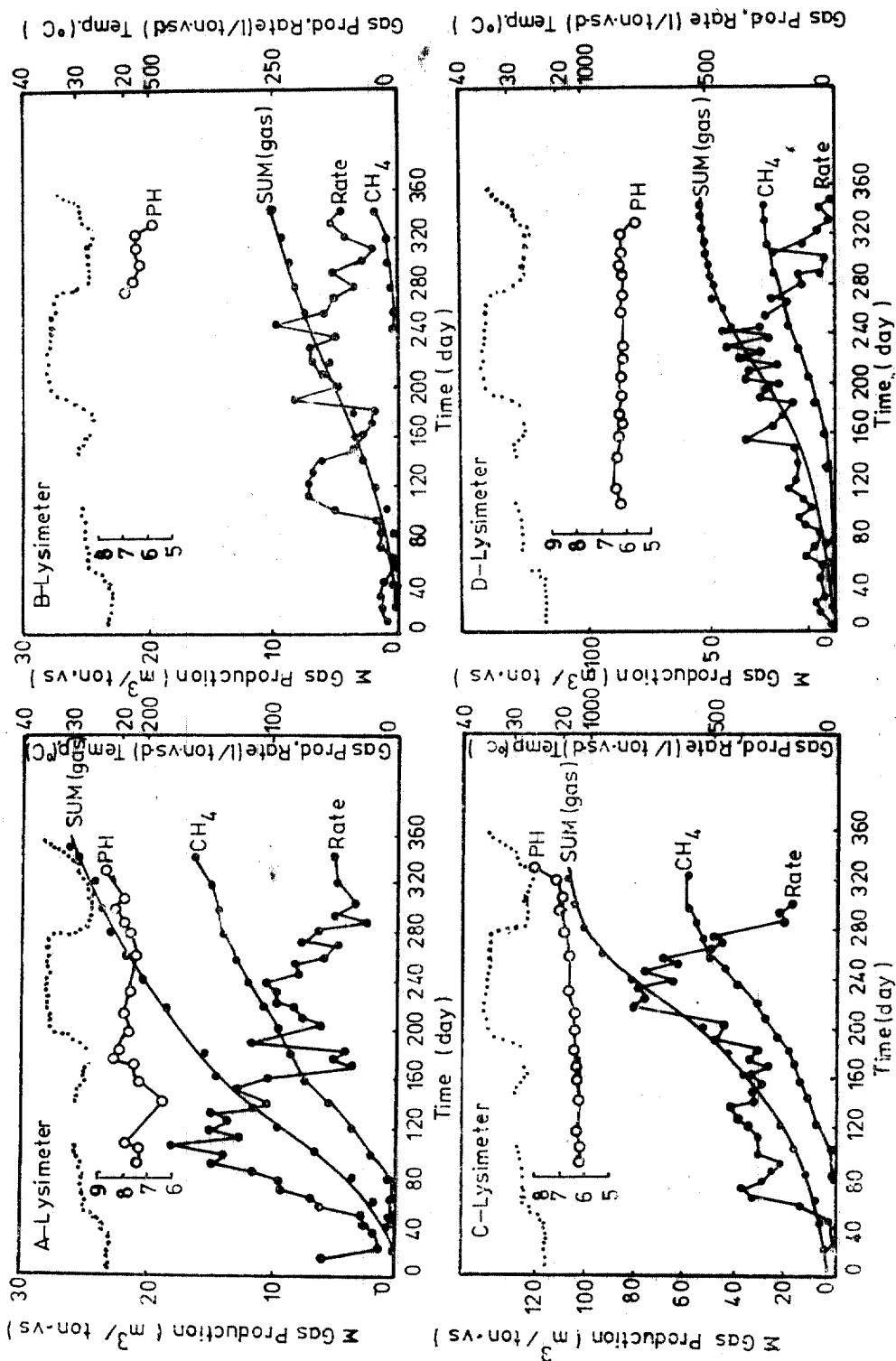


그림 6. Change of gas production and temperature as a function of time

표-6. Gas production equation for each Lysimeter

Lysimeter No.	Equation	K(year ⁻¹)
A	$G_c = 1.868 \times 336.7 \times (1 - 10^{-0.019t})$	0.019
B	$G_c = 1.868 \times 412 \times (1 - 10^{-0.004t})$	0.004
C	$G_c = 1.868 \times 383 \times (1 - 10^{-0.083t})$	0.083
D	$G_c = 1.868 \times 331 \times (1 - 10^{-0.040t})$	0.040

각 lysimeter 에서 발생되는(CH₄+CO₂)량을 graph 상에 나타내면 그림 7 과 같으며 여기의 (CH₄+CO₂)량과 초기 C₀ 값으로 부터 곡선식과 가스發生速度係數 k 를 구하면 표-6 과 같다.

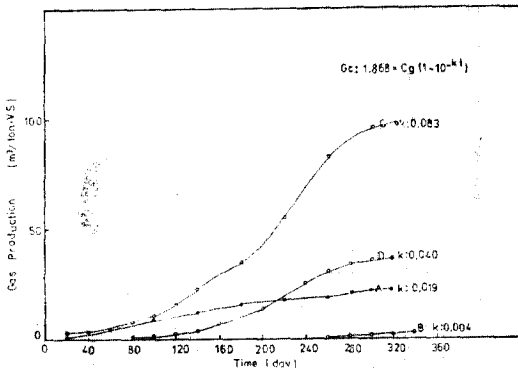


그림 7. Evaluation of gas production rate constants (k) on each Lysimeter

3.4 가스發生速度係數(k)와 S/L(Y)의 상관관계
종류가 다른 폐기물로 부터 구한 k 값과 Y 와의 관계를 graph 상에 도시하면 그림 8 와 같다 (표-2, 표-6 참조).

여기서 k 와 Y 와의 관계식은

$$k = 0.0128Y + 0.0074 (r = 0.95)$$

로서 깊은 상관성을 지니고 있으며, 이로 부터 Y 값을 측정하여 k 값을 산출할 수 있다.

3.5 가스發生量 추정에 대한 各種모델의 比較
실제적으로 都市廢棄物은 D-lysometer 의 廢棄物과 같은 성상을 지닌 혼합폐기물이므로⁽⁷⁾

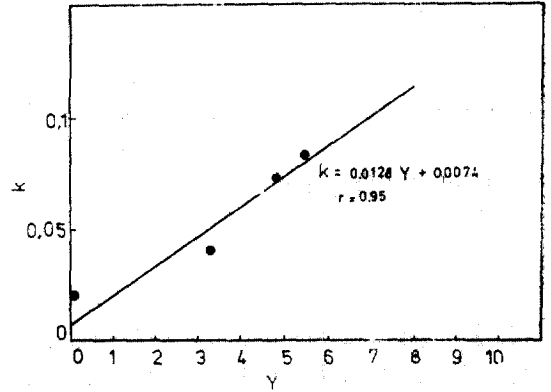


그림 8. Relationship between gas production rate constant(k) and S/L(Y)

本 研究에서는 다음과 같은 各種모델을 D-lysometer 의 가스發生量 測定値와 比較 檢討하였다 즉 식(3)의 理論式과 같은 모델을 G₁, Rettenberger 가 제안한 가스發生式을 G₂⁽¹⁵⁾, gas 發生速度係數 (k)에 온도영향을 고려한 가스發生式을 G₃⁽¹⁶⁾, 本 研究에서 carbon 량에 온도의존함을 고려하여 구한 가스發生式을 G₄라 하여 정리하면 다음 표-7과 같다.

D-lysometer 로 부터 가스發生量과 各모델에 의해서 구한 값을 graph 상에 나타내면 그림 9 과 같다.

가스發生量 실측치와 各모델로 부터 구한 가스發生量을 비교한 결과 그림 9 에 나타낸바와 같이 G₄ 모델이 실측치와 가장 근사하게 접근하는 것을 알 수 있으므로 우리나라 都市廢棄物

표-7. Comparison of each model

Model	Equation	Remark
G ₁	$G_c = 1.868 \times C_c \times (1 - 10^{-kt})$	Basic Formula
G ₂	$G_c = 1.868 \times C_c \times (0.014T + 0.28) \times (1 - 10^{-kt})$	Rettenberger
G ₃	$G_c = 1.868 \times C_g \times (1 - 10^{-kt})$	$k = k_0 \times \theta^{(T-20)}$
G ₄	$G_c = 1.868 \times C_c \times (0.156T - 3.391)(1 - 10^{-kt})$	experiment

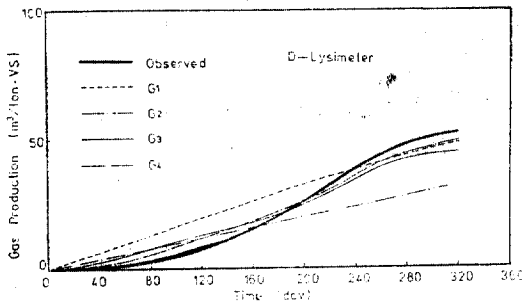


그림 9. Comparison of gas production on the each model

埋立地에서 가스發生成量 추정에 적절하게 利用될 수 있다고 판단된다.

5. 結 論

都市固形廢棄物로부터 biogas 회수에 基礎的인 資料를 얻기 위하여 埋立現場에 대한 實驗과 實驗室에서 分解程度에 따른 廢棄物群別 lysimeter로부터 나온 結果를 정리하면 다음과 같다.

1) 有機性物質(VS)은 埋立期間의 경과에 따라 감소하고 있으며 $VS=22.09 \times 10^{-0.054t}$ 로 나타낼 수 있다.

2) S/L 값 (Y)는 埋立期間과 밀접한 관계가 있으며 $1/Y=0.164t+0.23$ 으로 나타낼 수 있다

3) VS와 S/L(Y)는 매립경과년수에 따라 높은 相關關係가 있으며 $VS=4.473Y+6.01$ 로 나타낼 수 있다.

4) 가스의 發生成量 구성성분 및 安定에 소요되는 期間은 廢棄物의 種類, 含水率과 깊은 關係가 있다.

5) 發生속도계수 (k)와 S/L(Y)은 높은 相關關係에 있으며 $k=0.0128Y+0.0074$ 로 나타낼 수 있다.

6) 가스 發生速度係數 (k)를 산정하여 가스 發生成量에 대한 수학적모델을 구하면 $G=1.868 \times C_g \times (0.156 \cdot T - 3.391) \times (1 - 10^{-k \cdot t})$ 로 표시할 수 있다.

參 考 文 獻

- 한 實驗의 研究”, 全南大學校 大學院, 1983.
- 金秀生 外 1인; “都市廢棄物 埋立場에서의 環境 汚染調査分析”, 公書對策 Vol. 15, No. 1.
- Bookter, T.J., Ham, R.K.; “Stabilization of Solid Waste in Landfills”, ASCE, Vol. 108, No. EE6, Dec. 1982, pp. 1089~1100.
- APHA-AWWA-WPCF; “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 15th Ed., (1980).
- Effland, M.J.; “Modified Procedure to Determine Acidinsoluble in Wood and Pulp” Tappi 60(10), pp. 143~144.
- Japanes Environmental Protection Agench “Equilibrium Leaching Test”
- 李正典 外 “都市廢棄物의 利用과 埋立의 安定性에 관한 研究(II)”, 全南大學校 論文集, 제 29집, 1984, p. 80.
- 李正典 外 “埋立地에서 Biogas回收에 관한 研究” 全南大學校 工業技術研究, 제 26권, p. 175, 1984.
- Lee W.B. “A Study on the Analysis of Land-fill Leachate” Chonnam National Univ. Thesis for the Doctor of philosophy, 1987.
- 최의소; “폐기물 처리와 자원화”, 1st Ed., 1985, pp. 505~506.
- Cheremisnoff Paul, N., Morresi, A.C.; “Energy from Solid Wastes”, Pollution Engineering and Technology, 1978, pp. 343~353.
- Dewalle, F.B., Chian, E.S.K., Hammerberg, E.; “Gas Production from Solid Waste in Landfills”, Journal of Proceeding of ASCE. Vol. 104, No. EE3, June 1978, pp. 415~431.
- Schwegler, R.C.; “Energy Recovery at Landfill”, Presented at the 11th Annual Seminar and Equipment Show of the Governmental Refuse Collection and Disposal Association, Santa Crut, California, Nov. 7~9, 1973.
- Tabasaran, O.; “Überlegungen zum Problem Deponiegas, Müll und Aafllb, Heft 7, 1976, pp. 204~210.
- Rettenberger, G.; “Ergebnisse zur Untersuchung des Gashaushaltes von Deponien im Hinblick auf Erfassung und Verwertung von Deponiegas”, FGU Berlin, e.V. Seminar, (1982.3).
- Therhault, E.J., “The Oxygen Demand of Pollution Waters”, USPHSBULL. 173(1927).
- Wilson, D.G.; “Handbook of Solid Waste Management”, van Nostran Reinhold Co., 1977, p. 203.
- Tabasaran O., Rettenberger, G.; “Deponiegas-Untersuchungsergebnisse”, Abfallwirtschaft TU Wien, Band 1, Praxis Geordnetent Deponie, 2. Seminar Abfallwirtschaft an der TU Wien, pp. 137~143, 1978.

(接受: 1987. 8. 4)