

매립지의 도시폐기물 조기안정화 방안에 관한 연구

A Study on the Earlier Stabilization for
the Landfill of Municipal Refuse

정 연 규

Choung, Youn Kyoo

Abstract

In this study, the period for stabilization in the case of recycling leachate was compared and analyzed with the case of non-cycle type, using lysimeters filled with municipal organic refuse.

The lysimeters were operated with various detention time. In addition, the degree of stabilization was estimated by the way of measuring the quantity of gas from landfills.

As the results, the recycle of leachate, which was modified as the neutral level of pH, accelerated the biological decomposition of organics with the rapid growth of anaerobic bacteria in the system, and reduced the period for the stabilization.

In the case of BOD and COD in leachate, COD, which had been originality similar to BOD, had increased more rapidly than BOD as time lapsed.

Moreover, the quantity of gas from the recycle reactor was larger than from the non-cycle reactor. The shorter the detention time of leachate was, the larger the quantity of gas produced in the lysimeters.

요 지

본 연구는 도시폐기물을 매립지에서 발생하는 침출오수를 실험실에서 유기질 도시폐기물을 충전한 모형매립반응조를 이용하여 각기 다른 체류시간에 따른 침출오수 순환방식과 비순환방식으로 운영했을 때의 안정화에 소요되는 기간을 비교 분석하였다.

그 결과 pH 조정(중성)에 의한 침출오수 재순환은 매립지내의 혐기성균을 급속하게 증대시켜 유기물의 생물학적 분해를 가속화시키고 안정화기간을 단축시켰다.

침출오수의 BOD와 COD의 경우 초기에는 $COD=BOD$ 였으나, 매립기간이 경과함에 따라 $COD > BOD$, $COD \gg BOD$ 의 추세를 보였다. 가스발생량은 침출오수 비순환반응조보다 재순환반응조에서 더욱 많이 발생하였고 체류시간이 짧을수록 가스발생량이 증가하였다.

1. 서 론

우리나라에서 도시폐기물 발생량은 1988년도의

* 정희원 · 연세대학교 공과대학 도시공학과 교수

경우 전국적으로 72,897 ton/day로서 1인 1일 2.17 kg의 도시폐기물이 발생되고 있으며, 이 중 2.4%만이 회수 재활용되어지고 있을 뿐 대부분 비위생적으로 매립처리되고 있다.⁽¹⁾

국토면적이 협소한 우리나라에서, 발생하는 도시폐기물의 95% 이상을 매립에 의존한 결과 매립지는 초과상태이거나 매립 완료의 상태이며, 이러한 매립지들은 초기에는 빠른 분해속도의 호기성 분해가 일어나지만 매립 경과기간이 지남에 따라 느린 분해속도의 혐기성분해가 진행된다. 이러한 과정에서 수반되는 침출수는 매립장 폐기물의 종류, 주변여건 및 시간에 따라 발생수량과 수질을 달리하면서 발생하여 인근 지표수와 지하수를 오염시키며, 매립지내의 부동침하와 가스발생에 따른 폭발과 화재등 안전도 문제등이 대두되므로 매립지의 조기안정화를 위한 다각적이고 효과적인 처리가 절실히 요구된다.^(2,3)

1.1 연구 목적

본 연구에서는 유기질 도시고형폐기물을 충전한 모형매립 반응조(Lysimeter)를 이용하여 각 반응조를 체류시간(1주, 2주, 4주)에 따라 Washout 방식과 침출수 순환방식의 유기물 제거효과와 안정화 되는데 소요되는 기간을 비교검토하여 매립지의 조기안정화 방안에 기여할수 있는 운영조건을 제시하고 아울러 pH가 조기안정화에 미치는 영향을 실험을 통하여 검증한다. 또한 최근 25년간의 수문자료를 분석하여 물 수지방정식을 적용한 현장조건으로 응용실험을 비교분석하고 매립지 분해특성 및 매립지 운영조건을 제시한다.

1.2 연구동향

1971년에 Fungaroli와 Steiner는 Lysimeter를 제작하여 온도의 변화에 따라서 가스의 발생량과 침출수 발생에 관하여 연구하였다.⁽⁴⁾ 또한 Frank와 Grahame은 1973년에 계절적 강우변화에 따른 위생매립지에서의 침출수 생성량과 가스 발생량에 대하여 연구하였다.⁽⁵⁾

1979년 Leckie와 Pacey는 침출수수를 재순환 시킴으로서 매립지내의 폐기물의 생물학적안정화율을 증대시킬 수있는 사실을 연구 발표하였고⁽⁶⁾ 1980년 Pohland 는 침출수 재순환과 pH 조절을 침출수의 효과적인 방법이라고 제안하였다.⁽⁷⁾ Chian은 1985 년에 침출수의 생성량과 그 처리에 있어서 가정하수와 침출수를 혼합시키는 방법이 연구하였

으며,⁽⁸⁾ 같은 해에 Pohland와Hopper는 침출수와 가정하수를 조합시켜 처리하는 호기성 생물학적 처리는 BOD₅와 COD의 제거효율이 90% 이상 된다는 것을 보고하였다.⁽⁹⁾

매립지로부터의 Biogas의 생성량과 성분비의 연구는 폐기물의 안정화 정도를 예측할 수 있는 지표로서 사용되어진다. 가스의 회수 및 이용에 대한 연구 연혁을 살펴보면 1972년 이후 Schwegler에 의해서 매립지에서 가스를 회수하여 Energy화하는 효시가 이루어졌다.^(10,11) 이에 대한 보다 실제적인 연구로 1973년 4월에 Pfeffer에 의해 위생매립지에서 폐기물이 분해되면서 발생하는 가스중에 CH₄와 H₂ 가스는 Energy원이 될 수 있다고 발표하고, 최적의 혐기성 소화 조건에서 폐기물이 분해된다면 그 때 회수되는 Methane에 의한 열에너지는 미국의 천연가스수요의 11%를 충족시킬 수 있다고 보고하였다.⁽¹²⁾ 이후 미국과 독일 등지에서는 매립지로부터 발생하는 가스를 회수하여 이용하고 있는 사례가 많으나, 우리나라에서는 농촌 열생산, 산림녹화, 농촌 생활 개선 등의 다목적 사업으로 농촌 진흥청과 많은 학술 단체에서 연구되고 있으나, 그 중요성만 대두되었을 뿐 큰 실효는 거두지 못하고 있는 실정이다.

1.3 연구방법 및 범위

본 연구에서는 도시 폐기물 매립지에서 유기성 물질이 분해되어 안정화되는 과정을 발생하는 Biogas의 생성량과 관련하여 고찰하고자 모형매립반응조(Lysimeter)를 설치하여 운영하였다. 각 반응조의 영향 인자별 운영조건은 다음과 같다.

- (1) Washout 시키는 조건
체류시간 1주, 2주, 4주
- (2) 침출수 재순환법
체류시간 1주, 2주, 4주
- (3) pH 조절에 의한 침출수 재순환법
체류시간 1주, 2주, 4주
- (4) 물수지식에 의한 실제 매립지 조건으로서의 강우주입 응용 실험각 반응조에서의 유기물 분해에 의한 Biogas의 생성량을 측정 하였다.

2. 본 론

2.1 매립지 폐기물의 분해 및 안정화

고형 폐기물을 위생 매립한 곳에서는 다음과 같은 생물학적, 물리적 및 화학적 변화가 일어난다.

- (1) 유기물질의 호기성 또는 혐기성 생물학적 분해, 가스 및 액체 생성
- (2) 폐기물의 화학적 산화
- (3) 매립물로부터 가스의 방출
- (4) 수두차로 인한 액체의 이동
- (5) 물에 의한 유기 및 무기물질의 용해 및 침출과 매립물을 통한 침출액의 이동
- (6) 농도 경사 및 삼투압에 의한 용존 물질의 이동
- (7) 물질의 압밀(Consolidation)에 의한 공극으로의 불균일 침강

생물학적 분해는 주로 폐기물 중의 함유된 유기성분의 분해가 요인이 되어 탄수화물, 지방, 단백질 등이 미생물과 효소를 매개로 가수분해되어 비교적 간단한 화합물로 변화한다. 호기성 상태에서는 CH₄, CO₂, H₂O 등의 혼합가스를 발생하면서 안정화되어 가는 현상이 주체를 이룬다. 물리적인 변화로는 매립지내의 가스확산, 지상으로의 가스방출, 폐기물층내의 물의 이동과 농도경사에 의한 확산, 폐기물층의 침하등이 일어난다.

화학적인 변화로서 가수분해(Hydrolysis), 용해(Dissolution), 침전(Precipitation), 흡착(Adsorption), 탈착(Desorption) 또는 이온교환, 화학적 산화등이 있으며 특히, 매립층내에서 폐기물의 혐기성 발효 초기에 pH 가 낮아지므로 금속 산화물, 탄산염 등 무기질의 용해가 촉진되고 유기물과 같이 용해하게 되어 침출수에 의한 토양오염, 지하수오염, 지표수오염 등의 요인이 되기도 한다.

일반적으로 매립폐기물의 분해 및 안정화 정도를 추정하는데 침출수, 발생가스, 폐기물층의 침하량이 대표적 지표로 사용되고 있다.

2.2 침출수의 발생

침출수의 생성량은 여러요소에 의하여 영향을 받으며 그 중에서도 공급수분량, 매립지의 표면상태, 폐기물층의 특성, 매립지 저부상황등이 주요 요소이다.

일반적으로 침출수의 발생량을 구하기위해 증

발산량(Evapotranspiration), 표면유출(Surface Runoff), 강수량 및 수분저장능력(Field Capacity)을 고려한 물수지식이 많이 이용되고 있다.

$$P = E + (R - S) + \frac{dWds}{dt} + C_L \text{ (mm/m}^2\text{day)} \quad (1)$$

여기서,

P : 강수량

R-S : 매립장표면으로 들어오는 양과 매립장으로부터 나가는 양의 차로부터 나가는 양의 차

E : 증발산량

C_L : 침투수량

Wds : 피복토의 함수량

$$\frac{dWds}{dt} : \text{함수량의 시간적 변화}$$

피복토로부터 쓰레기층에 유입되는 침투수량 C_L은 피복토의 함수량의 변화가 없다고 가정하고 다음과 같이 계산된다.

$$C_L = P - E - (R - S) \quad (2)$$

표 1.⁽¹³⁾은 일반적인 침출수의 성질을 나타내고 있다. 여기서 COD는 30000 mg/l로 나타내고 있으며 COD/BOD가 1.5 가량으로서 침출수는 전부 산 형성과정에서 생성된 유기산으로서 상당한 부분이 생

표 1. 일반적인 매립지에서의 침출수의 조성

component	Typical Values (mg/l)	Range
BOD5	20000	0.01 x-2 x
COD	30000	0.01 x-3 x
specific conductivity	6000	0.5 x-1.5 x
NH ₃ -N	500	0.01 x-1.5 x
Cl ⁻	2000	0.05 x-1.5 x
T-Iron(Fe)	500	0.5 x-5 x
Zinc(Zn)	50	0.5 x-5 x
Lead(Pb)	2	0.1 x-5 x
pH	6.0	0.7 x-1.3 x

* x; Typical values.

물화적으로 분해 가능한 용해성 물질임을 시사하고 있다. 표 2.^(14,15,16)은 네덜란드,미국,영국의 도시폐기물의 침출수의 성질을 나타내고 있다. 각 나라별로 침출수의 특성은 차이가 있는데 네덜란드의 경우 COD값이 63900 mg/l,미국의 경우 BOD값이 33100 mg/l로 상당히 고농도인 것을 알 수 있고 침출수의 특성치들은 지역별로 다른것을 알 수 있다. 또한 Kim은 부산시 근교의 매립지에서 발생하는 침출수의 성질을 다음 표 3.⁽¹⁷⁾과 같이 측정 발표했다. 여기서 Kim은 침출수의 COD값을 4520-44000mg/l로 측정하였고 활성슬러지와 같은 재래식 생물학적 처리방법으로 처리가 곤란한 난분해성 물질을 많이 함유하고 있다고 했으며, 질소분이 상당히 많이 차지하고 있다고 발표하였다.

2.3 가스 발생에 영향을 미치는 인자들

폐기물의 조기 안정화와 가스발생에 영향을 미치는 가장 중요한 요소는 폐기물의 조성이다. 즉 주방폐기물, 잡초류 등과 같은 유기물질은 분해가 용

표 2. 도시 폐기물에서의 침출수의 특성

(unit ; mg/l)

	SVA (Netherland)	Zanoi (U.S.A)	Mead and Willkie (England)
COD	63900		
BOD		33000	32400
Cl ⁻	3950	1810	2240
SO ₄ ⁻	1740	560	630
HCO ₃ ⁻	14430		
Organic-NH ₃ -N	390	320	550
Inorganic-NH ₃ -N	1410	790	845
NO ₃ -N			
T-PO ₄ ⁻	25.5	9.6	
Ortho-PO ₄ ⁻	6.8		
T-Fe	1590	270	305
Ca ⁺⁺	2625	2190	
Mg ⁺⁺	450	340	
K ⁺	1800	1115	1860
Na ⁺	2990	1470	1805
pH	5.7		5.6

이하며 종이류, 섬유, 목재 등은 비교적 분해가 어렵고 플라스틱, 가죽 등은 분해가 곤란하다. 그 외 산소농도, 수분함유량, nutrients, pH, 온도 등이 주요영향인자들이다.

그림 1은 일반적인 폐기물 매립지 발생 가스조성의 경시변화를 나타낸 것이다.

제 1 단계 : 호기성 분해기

호기성 미생물이 폐기물속에 들어있는 공기중의 산소를 소비하여 유기물을 분해하는 과정으로 주로 CO₂가 생성된다.

제 2 단계 : 혐기성 분해기

산소가 대부분 소비되면서 호기성에서 혐기성으로 천이가 일어난다. 혐기성 미생물과 통기성 혐기성균의 활동에 의하여 탄수화물, 단백질, 지방 등이 분해되어 지방산, 알콜, CO₂, 암모니아, H₂가 생성된다. CO₂농도가 최고조에 이르는 일수는 매립 후 11 - 40일 이라는 조사가 있다.

제 3 단계 : 혐기성 분해기

혐기성 미생물에 의한 분해가 활발해지면서 CH₄ 생성량이 증가하고 CO₂함량은 감소한다. 실험에 의하면 제 3 단계는 180 - 500일 정도 지속되는 것으로 알려져 있다. 비 Methane 혐기성 분해단계에서는 수소가 생성되나 Methane 발효단계에서 소비된다. 그러나 수소는 생성속도보다 소비속도가 빨라서 H₂는 나타나지 않는 것으로 알려져 있다.

제 4 단계

혐기성 분해반응이 정상적으로 진행되어 생성되는 가스의 조성이 거의 일정해진다. 발생 gas의 조성은

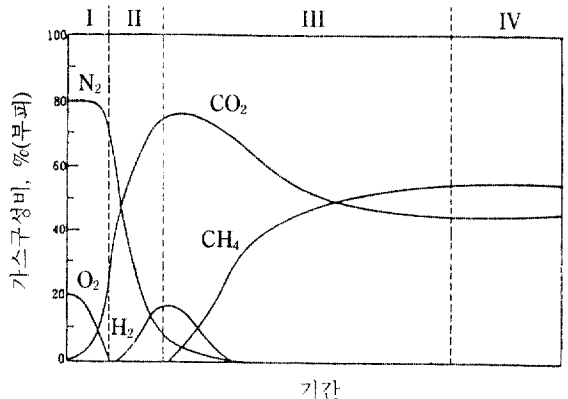


그림 1. 매립후 경과기간에 따른 가스 조성의 변화

표 3. 부산의 경우에 있어서의 침출수 특성

(unit ; mg/l)

year	1982		1983								Range
	11	12	1	2	3	5	8	9	10	11	
pH	7.6	7.4	6.8	6.2	6.4	7.1	7.5	7.6	7.6	7.4	6.2 -7.6
BOD	2430	2360	22000	21000	20500	20000	18000	18500	18000	17300	2,340 -22,000
COD	4700	4520	41200	44000	41800	41000	38000	40000	36300	36000	4,510 -44,000
SS 1	36	58	59	670	520	440	480	432	192	245	36 -670
Coliform(MPN)	49000	796000	22000	11000	9600	8020	7900	8350	13570	14590	7,900 -79,000
Cl ⁻	4816	4507	10173	9800	7210	4620	3262	4361	5348	4782	3,262 -10,173
T - P	18	42	15	16	12	10	6	7	7	8	6 -42
T - N	984	784	938	1300	1055	1280	840	799	1604	1125	784 -1,604
NH ₃ - N					841	926	778	712	998	964	712 -998
NO ₂ - N					0.37	0.28	0.31	0.34	0.34	0.42	0.28 -0.42
NO ₃ - N					2.26	3.28	2.03	2.80	2.25	2.14	2.03 -3.28
color					368	360	302	292	473	446	292 -473
Hg					0.014			0.012	0.009	0.013	0.009 -0.014
Cd					0.05			0.08	0.06	0.10	0.05 -0.01
Cr			1.5	1.5	5.5			3.45	2.50	4.85	1.5 -5.5
Pb					0.42			0.56	0.59	0.64	0.42 -0.64
Zn			0.4	0.45	0.75			1.25	1.45	1.35	0.4 -1.45

CH₄ 55%, CO₂ 40%, N₂+O₂ 5% 정도이며 조건에 따라 수십년간 지속된다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 모형 매립 반응조의 제작 및 구성

본 실험을 위해 제작한 모형 매립 반응조(lysimeter)는 그림 2.에서와 같이 폐기물의 분해를 목적으로 하는 반응조 부분과 침출수를 집수하는 집수부,

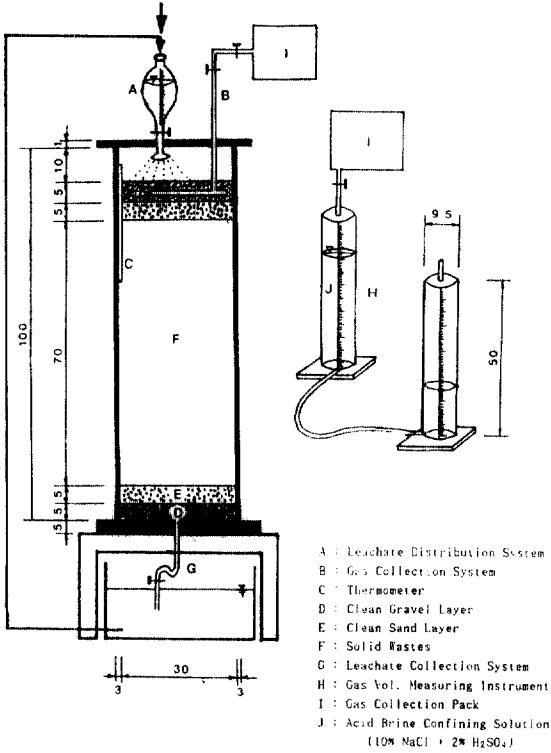


그림 2. 모형 매립반응조의 구성

가스 포집을 위한 가스포집부 등으로 구성되어 있으며, 내경 30 cm, 높이 100 cm의 투명 아크릴로 모두 10 set를 제작하였다. 온도의 변화 방지를 위해 실험실 한쪽 공간을 확보하여 두께 5 cm의 스티로폴로 밀폐시키고 그 위에 비닐커버를 씌워 외부와의 온도 접촉을 방지하였으며, 또한 실험실 내부의 온도를 일정하게 맞춰주기 위해 전열기를 사용하였다.

폐기물의 지지와 침출수의 방출을 용이하게 하기 위하여 자갈층을 쌓고 그 위에 모래층을 형성한 후 폐기물을 충전시키고 그 위에 다시 모래와 자갈로 복토를 하였다. 상단부에는 실제 매립지에 작용하는 강우량에 상당하는 수량을 혐기성 조건하에서 공급하기 위해 그림과 같은 주입구를 설치하였으며 수분의 고른 공급을 위해 살수 장치를 하였다.

가스의 포집은 가스 포집용 비닐백을 사용하였고, 가스의 부피를 측정하기 위해 투명 아크릴로 제작한 기구로 압력차이를 이용하여 가스의 양을 측정하였다.

3.2 시료용 폐기물의 조제

본 실험에 사용된 폐기물의 시료는 마포구 난지도 쓰레기 매립지에서 7월중 2회에 걸쳐서 400Kg 상당의 쓰레기를 모아 3~5cm의 크기로 파쇄한 후 원추사분법을 이용하여 축소시킨 후 10~20kg 상당의 대표적 시료를 취하는 방법을 채택하여 실시함으로써 가능한 분석 결과치의 오차를 줄이도록 노력하였다.

Cell번호 W₁, W₂, W₄, R₁, R₂, R₄, P₁, P₂, P₄ 은 30일 이내에 폐기물의 수분 저장능력(Field Capacity)에 도달 될 때까지 1.45 l/week을 공급했으며 침출 오수가 발생한 후에는 Cell R₁, R₂, R₄는 발생된 침출 오수를 재 순환시켰으며, Cell P₁, P₂, P₄는 침출오수의 pH를 NaOH를 가하여 중성으로 맞추어

표 4. 분석 항목 및 방법

분석 항목	분석 방법	분석 기기
밀도	쓰레기 시험법 (일본) ⁽¹⁸⁾	Bucket, Balace
물리적 조성		Hand-Sorting
삼 성분	환경 오염 공정 시험법	Dry Oven, Furnace

표 5. 물리적 조성

Component	Percent by Weight(%)
Food Waste	62.85
Papers	23.14
Plastic, Rubber	3.42
Textiles	3.75
Woods	3.0
Glasses, Ceramics	2.72
Ash, Rock, Dirt	1.12
Total	100

표 6. 삼성분

Component	Percent by Weight (%)
수분	75.56 %
가연분	19.79 %
회분	4.65 %

순환 시켰다. 실제 매립지 현장 조건을 유지하는현장 응용 실험 반응조인 O는 물수지 방정식에 근거하여 물의 주입량을 구하였다.

기상월보에 따라 평균 월간 강수량과 증발산량을 구하고 매립지의 복토 조건으로 보아 표면 유출율을 15 %로 가정하여 물수지 방정식으로부터 월간 침투수량 C_L 은 식 2-2에서 제시한 바 있다.

$$C_L = P - E - (R - S) \quad (2)$$

반응조 표면적 (A) = $30 \times 30 \times \pi / 4 = 706.86 \text{ cm}^2$ 이고 반응조에 유입되는 수량은 월간강수량으로부터 다음과 같이 구해진다.

$$Q_L = C_L \times A \quad (3)$$

25년간 서울시의 월 평균 강수량과 Thornthwaite식으로부터 계산된 월 평균 증발산량, 침투수량 및 반응조로 유입되는 수량은 다음표와 같다.

3.4 측정항목 및 측정방법

측정항목 및 측정방법은 표 9와 같다.

3.3 실험 방법

각 반응조에 충전된 폐기물 시료의 성상은 표 7에 나타내었다.

표 7. Lysimeter 내의 폐기물 성상

항목 CELL	Refuse Thickness (m)	Refuse Weight (Kg)	Refuse Volume (m ³)	Dry Density (Kg/m ³)
W ₁	0.7	54.4	0.049	760
W ₂	0.7	50.0	0.049	720
W ₄	0.7	55.4	0.049	780
R ₁	0.7	48.5	0.049	710
R ₂	0.7	51.0	0.049	740
R ₄	0.7	49.5	0.049	720
P ₁	0.7	54.4	0.049	740
P ₂	0.7	59.9	0.049	810
P ₄	0.7	43.5	0.049	690
M ₆₀	0.7	55.4	0.049	730
M ₉₀	0.7	53.4	0.049	740
O	0.7	49.0	0.049	730

표 8. 서울시의 월평균 강수량, 증발산량, 침투수량 및 반응조로 유입되는 수량

항목 월	강수량 (mm)	증발량 (mm)	침투수량 (mm/월)	유입수량 (l/주)
Jan.	22.69	0	19.29	0.34
Feb.	24.73	0	21.02	0.37
Mar.	42.35	9.7	26.30	0.47
Apr.	86.45	41.7	31.78	0.56
May	97.27	85.0	0	0
Jun.	111.92	119.2	0	0
Jul.	315.74	150.5	117.88	2.08
Aug.	304.03	149.4	109.03	1.93
Sep.	136.80	96.6	19.68	0.35
Oct.	51.33	51.2	0	0
Nov.	45.76	16.0	22.90	0.41
Dec.	28.68	0	24.38	0.43

표 9. 측정항목 및 측정방법

측 정 항 목		측 정 방 법
침출수	pH	pH meter(HI 8418)
	COD	Dichromate Reflux Method
	BOD	20°C 5일간 배양 후 실험
가스량		Gas Collection Appurtunence

4. 결과 및 분석

4.1 폐기물 내의 유기물 분해

본 실험에 사용된 폐기물의 총 고형물(Total Solids) 및 휘발성 고형물(Volatile Solid)의 측정 결과와 폐기물의 침하량은 아래 표 7과 같다.

위의 data로부터 침출오수를 순환시키면 매립층내 고형유기물의 혐기성 생물학적 안정화 속도가 비순환의 경우에 비하여 크므로 고형유기물의 농도가 낮아진다는 것을 알 수 있다. 유기물의 분해율은 함수율의 증가와 함께 커지는데 침출오수를 순환시키면 매립층내 함수율이 증가되어 생물학적 안정화가 더욱 진행되었다고 볼 수 있다. 또한 이는 침출오수 순환에 의한 미생물의 반송에도 기인한다.

표 10. 반응조 초기의 TS 및 VS와 폐기물의 침하량

Test Cell	TS(Kg)	VS ₀ (Kg)	VS ₀ /TS	Vo(m ³)	V(m ³)	ΔV(m ³)
W ₁	19.04	12.00	0.63	0.049	0.044	0.005
W ₂	14.50	8.27	0.57	0.049	0.046	0.003
W ₄	17.73	9.22	0.52	0.049	0.047	0.002
R ₁	18.92	13.05	0.69	0.049	0.045	0.004
R ₂	12.24	8.20	0.67	0.049	0.046	0.003
R ₄	14.36	8.20	0.57	0.049	0.046	0.003
P ₁	13.06	8.36	0.64	0.049	0.046	0.003
P ₂	14.98	8.69	0.58	0.049	0.044	0.005
P ₄	14.38	8.77	0.61	0.049	0.046	0.003
O	14.70	9.41	0.64	0.049	0.046	0.003

비순환 반응조인 Washout과 현장매립지 응용실험 반응조 O의 경우는 매립층의 함수율 수직분포가 일정하지 않다. 즉, 매립층 상부는 함수율이 포장용 수량(Field Moisture Content) 이하로 매우 낮고 하부는 이보다 높다. 그러므로 폐기물의 생물학적 안정화율이 상부층에서는 매우 낮다고 할 수 있다.

pH 조절에 의한 침출수 재순환방식 반응조의 경우 고형유기물 분해효율이 더욱 높았다. 이는 가수분해 효소의 성장에 필요한 최적 pH는 중성 부근이기 때문이다.

그러나 실험기간동안 분해된 물질은 대부분 주방 폐기물등 분해용이한 물질이고 종이류, 목재류등은 거의 분해되지 않고 남아 있었다.

4.2 침출수 수질의 실험적 고찰

4.2.1 pH의 변화

그림 3,4,5에서 보는 것 처럼 각 Cell 모두 초기에는 약산성이었으며 점차 중성으로 유지되었다. 이는 모형매립반응조 내의 폐기물에서 산생성균에 의해 Volatile acid가 증가하는 동안 pH가 떨어졌다가 Methane 발효균에 의해 Volatile acid가 감소함에 따라 서서히 올라갔기 때문이다. Washout 반응조나 침출수를 재순환 시킨 반응조 공히 시간의 차이는 있지만 초기 산생성 단계에서 생성된 유기산에 의해 pH가 감소했다가 점차 증가하여 pH 6.6 - 7.6의 중성영역을 나타내고 있다. 이것은 하수 슬

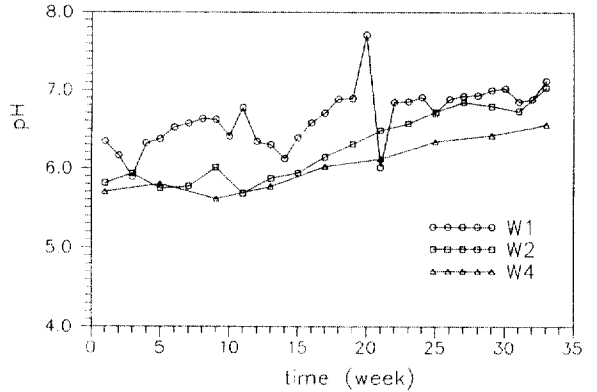


그림 3. 시간 경과에 따른 침출수의 pH 변화(W 반응조)

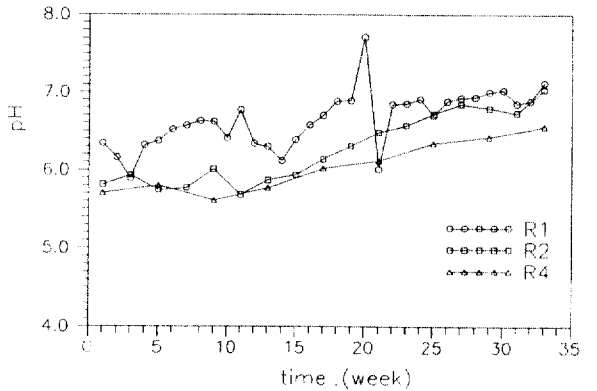


그림 4. 시간 경과에 따른 침출수의 pH 변화(R 반응조)

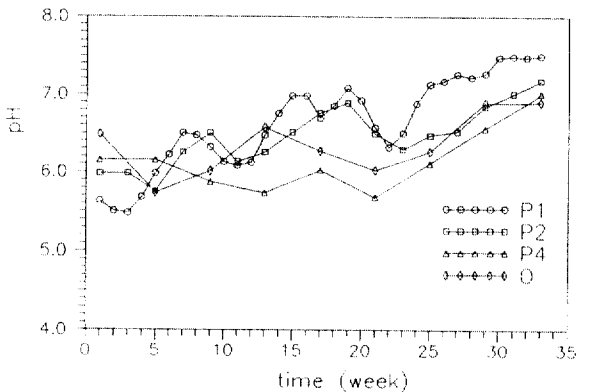


그림 5. 시간 경과에 따른 침출수의 pH 변화(P & O 반응조)

럿지에서 혐기성 분해에 의한 변화과정과 유사한 진행과정을 보이고 있으므로 매립된 폐기물이 생물학적 혐기성 분해과정을 거친다는 것을 알수있다.

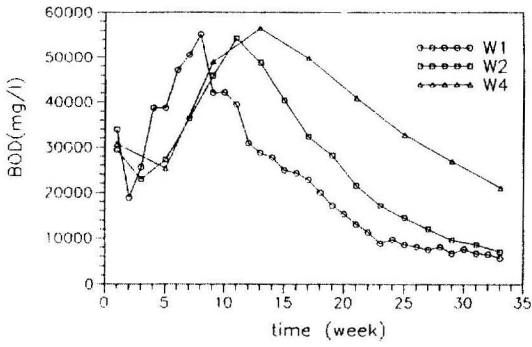


그림 6. 시간 경과에 따른 침출수의 BOD 농도 변화 (W 반응조)

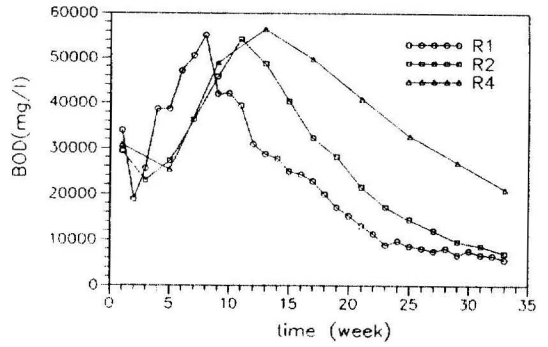


그림 7. 시간 경과에 따른 침출수의 BOD 농도 변화 (R 반응조)

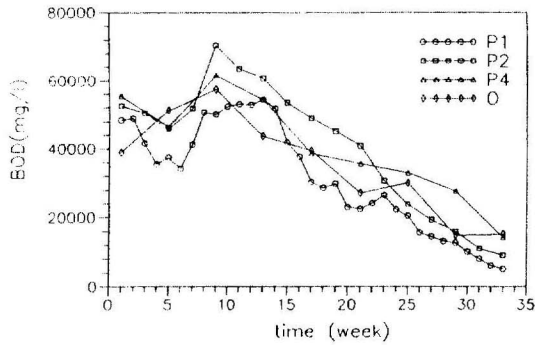


그림 8. 시간 경과에 따른 침출수의 BOD 농도 변화 (P & O 반응조)

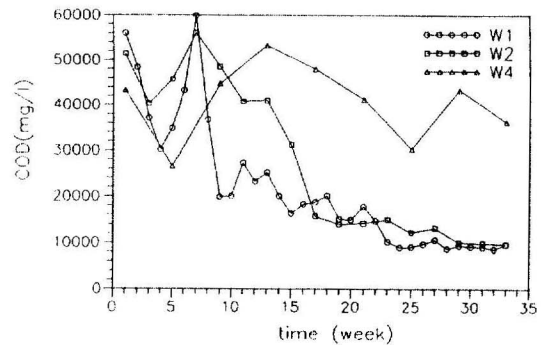


그림 9. 시간 경과에 따른 침출수의 COD 농도 변화 (W 반응조)

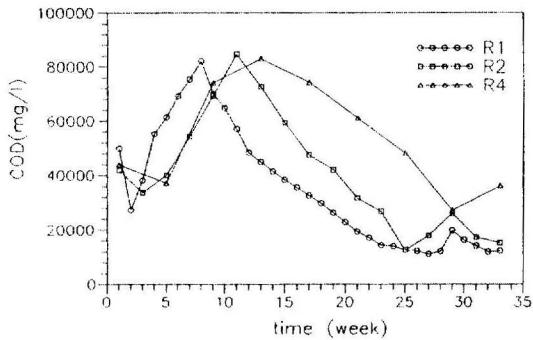


그림 10. 시간 경과에 따른 침출수의 COD 농도 변화 (R 반응조)

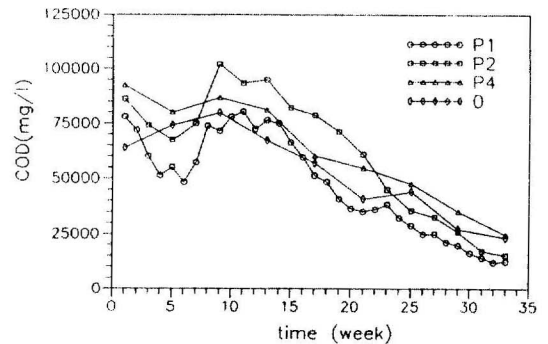


그림 11. 시간 경과에 따른 침출수의 COD 농도 변화 (P & O 반응조)

4.2.2 침출수 중의 유기물질의 변화

그림 6,7,8,9,10,11은 침출수내의 COD와 BOD의 변화를 보여주고 있다. COD와 BOD의 감소는 비순환반응조보다 침출수 재순환반응조에서 더욱 빠르게 일어나고 있으며, 침출수 재순환 반응조

보다는 pH조정을 한 침출수 재순환 반응조가 좀 더 높은 유기물질 제거 효율을 보이고 있어 매립지 조기 안정화에 유리하다는 것을 알 수 있다. 이것은 침출수중 유기산이 CO_2 와 CH_4 로 전환되기 때문이며 침출수의 재순환이 침출수에 포함된 영양물질을

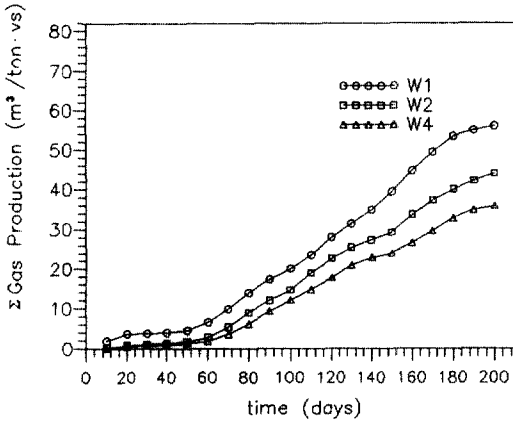


그림 12. 침출수 BOD/COD 비

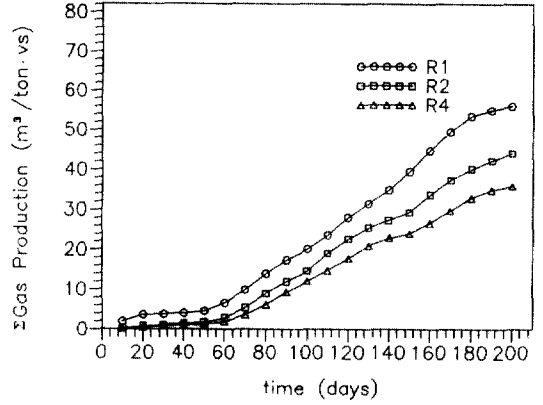


그림 13. 침출수 BOD/COD 비

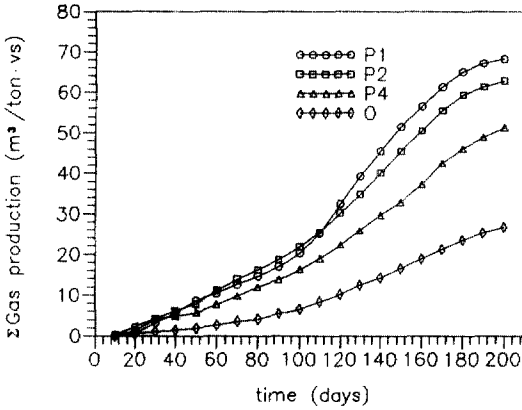


그림 14. 침출수 BOD/COD 비

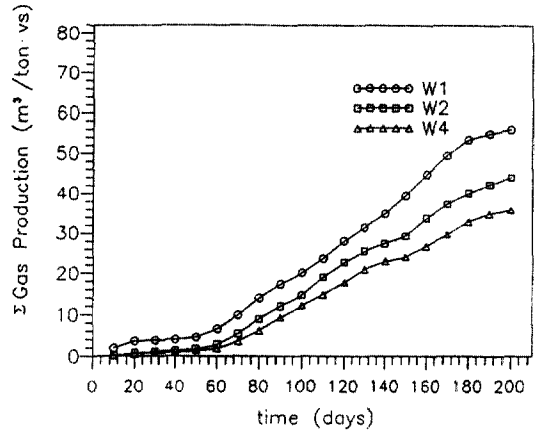


그림 15. 시간 경과에 따른 가스생산량의 누적변화 (W 반응조)

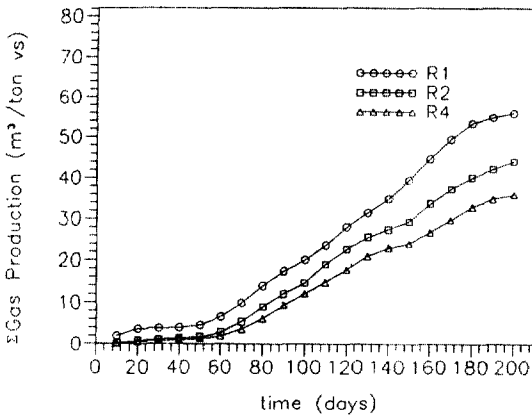


그림 16. 시간 경과에 따른 가스생산량의 누적변화 (R 반응조)

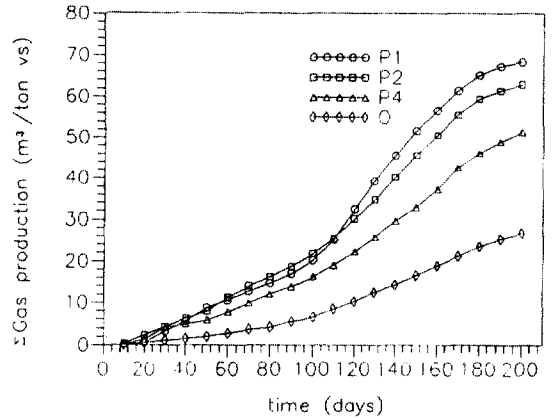


그림 17. 시간 경과에 따른 가스생산량의 누적변화 (P & O 반응조)

매립층 내 미생물 집단에 접촉시켜 주어 침출오수 중 유기물 제거효율을 향상시키기 때문이다.

체류시간에 따른 유기물질의 감소는 어느 반응조에서나 체류시간이 짧은 것이 빠른 유기물질 분해율을 나타내고 있으며 침출오수 재순환 반응조가 비순환 반응조보다 높은 제거효율을 보이고 있다.

초기 COD 농도가 높고 그 다음 감소하다 다시 증가하는 이유는 폐기물내 원래 존재하는 유기물질의 용해현상에 의해서 초기에 조금 높다. 이것은 물리적인 용해현상에 의한 것이기 때문에 미생물이 성장하면서 유기산이 생성됨으로서 침출오수중의 COD는 높아진다.

그림 12,13,14는 침출오수의 경시 변화에 따른 BOD/COD 비의 변화를 보여주고 있다. 초기에는 COD와 BOD의 차이가 적었지만 매립기간이 길어짐에 따라 COD와 BOD의 차가 증가하여 $COD \gg BOD$ 상태로 발전되고 있다. 이것은 미생물에 의해 유기물이 분해됨에 따라 침출수중의 유기물의 분율이 감소하기 때문이다. 침출오수의 COD 값이 BOD 값에 비해 크기 때문에 재래적인 처리 방법만으로는 어려우며 처리과정을 조합한 적절한 침출수 처리과정의 개발이 요구된다.

4.3 가스량 분석

매립지에서 혐기성 분해가 적절하게 이루어지는 조건은 pH 7 정도, 수분 함유량은 85% 정도라고 알려졌으며 매립지의 온도는 32-40°C로서 친온성 영역에 속하고 이 때 발생하는 가스는 회수하여 이용할 수 있다.

그림 15,16,17에서 알 수 있듯이, 각각의 Lysimeter의 경우 200일 동안 총 가스는 비순환 반응조인 Washout의 W_1 은 49.801 $m^3/vs.ton$, W_2 은 34.449 $m^3/vs.ton$, W_4 는 19.629 $m^3/vs.ton$ 이 발생하였다.

침출오수 재순환 반응조인 R_1 은 55.938 $m^3/vs.ton$, R_2 는 43.994 $m^3/vs.ton$, R_4 는 35.816 $m^3/vs.ton$, P_1 은 68.257 $m^3/vs.ton$, P_2 는 62.913 $m^3/vs.ton$, P_4 는 51.323 $m^3/vs.ton$ 이 발생하였다.

가스 발생량에서 알 수 있듯이 침출오수 비순환 반응조보다는 재순환반응조가 가스발생량이 높았으며 pH를 중성으로 조정하여 침출오수를 재순환시킨 반응조가 가장 많은 가스가 발생되었다. 이것은 침출오수 재순환에 의한 미생물 반응의 효과와 pH를 중성으로 맞추어 줌으로써 Methane형성균의 활동을

활성화시킴으로써 가스 발생량이 활발하게 진행되었기 때문이다.

동일한 조건인 경우 또한 체류시간이 가스발생량에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 실제 매립지 현장 응용실험조의 경우 O는 26.691 $m^3/vs.ton$ 으로 적은 양의 가스가 발생하였다.

이것은 실제 매립지가 안정화되는데 있어서 오랜 시일을 요구하고 있음을 반증하며, 가스 발생량을 증대시킬 수 있는 인자를 조절해 줌으로써 매립지의 조기안정화와 CH_4 가스 회수를 통한 자원화가 요구되는 것이다.

5. 결 론

도시폐기물 매립지의 조기 안정화 방안에 관한 모형 매립 반응조 실험을 통해서 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 침출오수 재순환은 매립지 내의 혐기성 균을 급속하게 증대시켜 유기물의 생물학적 분해를 가속화 시키고 안정화 기간을 단축시키며, 침출수내의 유기물농도 감소에도 유리하여 침출수 자체의 처리에도 활용 가능한 방법이다.

2) 매립초기에는 $COD=BOD$ 에서 매립 기간이 경과함에 따라 $COD > BOD$, $COD \gg BOD$ 의 추세를 보였으며 본 실험 결과 BOD/COD는 0.6 - 0.8의 범위를 나타내었다.

3) 가스 발생은 침출오수 비순환 반응조보다 재순환 반응조에서 더욱 많이 발생 하였으며 Detention Time이 짧을수록 가스 발생율이 높았다.

4) 침출수의 pH를 중성부근으로 조절하여 재순환시키는 것은 초기에 메탄생성균의 활동에 영향을 미쳐 가스 발생율을 가속화 시켰다.

감사의 글

본 연구는 한국환경과학연구협의회 1989년도 연구지원금으로 이루어졌으며 이에 사의를 표하는 바이다.

참 고 문 헌

1. 환경청, 전국 일반 폐기물 처리 실적('88) 및 계획('

- 89), 1989.
2. Quasin, S. R. and Burchnal, J. C., "Leachate from Simulated Landfills", *J. WPCF.*, Vol. 42, 1970.
 3. Ham, R. K. and Karmouskas, R., "Leachate Production from Milled and Unprocessed Refuse", *ISWA Bulletin*, No. 14/15, 1974.
 4. Fungaroli, A. A. and R. L. Steiner., "Laboratory Study of the Behavior of Sanitary Landfill", *J. WPCF.*, Vol. 43, No.2, 1971.
 5. Frank, A. R. and Grahame, J. F., "Infiltration and Landfill Behavior", *J. EED*, ASCE, Vol. 99, No. EE5, 1973, pp. 671-690.
 6. Leikie, o, Pacey, J. G. and Havadakis, C., "Landfill Management with Moisture Control", *JEED*, ASCE, Vol. 105, No. EE2, 1979, pp. 337-355.
 7. Pohland, F. G., "Leachate Recycle as Landfill Management Option", *JEED*, ASCE, Vol. 106, No. EE6, 1980, pp. 1057-1069.
 8. Chian, E. S. K., et al., "Leachate Generation and Control at landfill Disposal Sites", *Proc. New Directions and Research in Waste Treatment and Residuals Management*, Univ. of Brit. Columbia, 1, 14, 1985.
 9. Pohland, F. G. and Harper, S. R., "Critical Review and Summary of Leachate and Gas Production from Landfills", Rept. to EPA, WERL, Coop. Agreement CR 8909997 Cincinnati, Ohio, 1985.
 10. Schwegler, R. C., "Energy Recovery at Landfill", presented at the 11th Annual Seminar and Equipment show of the Government Refuse, Collection and Disposal Association, Santa Crut, California, Nov. 7-9, 1973.
 11. Dair, F. R. and Schwelger, R. E., "Energy Recovery from Landfills", *Waste Age*, May, 19, No. 2, pp. 6-11.
 12. Pfeffer, J. T., "Reclamation of Energy from Organic Refuse", Grant No. EPA-R-800776 April, 1973.
 13. Veslind P. A. and A. E. Rimer, "Unit Operations in Resource Recovery Engineering", Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J., p. 295.
 14. Mead, J. S. and M. Willkie, "Leachate Prevetion and Control from Sanitary Landfills", Am. Inst. Chem. Energ. 43, Texas, March 1972.
 15. SVA., "Groundwater Pollution in the Vicinity of the Waste Disposal Site", *Ambt. Declen Report 4*, SVA. 1938, Holand, 1974, p. 5.
 16. Zanoi, A. E., "Potential for Groundwater Pollution from the Land Disposal of Solid Waste", 1973, pp. 226-260.
 17. 김수생 외, "도시 폐기물 매립장에서의 환경오염 조사 분석", *공해대책*, Vol. 15, No. 1.
 18. Japanese Environmental Protection Agency.
(接受 : 1992. 8. 27)