Computer Simulation 에 의한 埋立地의 浸出水解析

Computer and Experimental Simulation of Landfill Leachate

李 正 典*
Lee, Jung Jun
李 禹 範**
Lee, Woo Bum

Abstract

The present study was conducted to measure and predict the leachate generation and to establish the methods of leachate control and handling by both field and lab-lysimeter studies.

The change of biodegradable matter, field capacity, dry density, quantity and quality of leachate as a function of time of landilling were measured.

The model based on the theory of unsaturated flow and contaminant transport in porous media was developed and simulation model was used for the prediction of movement of landfill moisture and for the strength in leachate in terms of organic and inorganic contaminant.

The model constructed from the present study in terms of unsaturated decomposition and transport combined with the evapotranspiration and surface runoff showed good agreement with the results obtained by lysimeter studies.

要 旨

本 研究는 實際 埋立地의 現場調査와 Lab-Lysimeter의 測定을 실시하여 浸出水의 發生量과 水質을 예측하기 위하여 수행되었다.

埋立時間의 경과에 따른 廢棄物中 揮發性 固形物質(VS)의 含量, 生分解可能物質(biodegradable matter, BDM), 含水率(moisture content), 水分貯藏能力(field capacity), 乾燥單位重量(dry density) 等을 測定分析하여 埋立地內의 廢棄物의 性狀 및 分解정도를 파악하고, 埋立地의 性狀과 비슷한 Lab-Lysimeter를 제작하여 生廢棄物 및 分解가 進行된 廢棄物을 투입하여 浸出水의 發生量 및 水質을 測定分析하였다.

또한 不飽和흐름方程式에 蒸發散量과 表面流出을 고려한 모델을 만들고, 分解要素를 적용하여 不飽和分解移送式으로 發展시켰으며, 有限差分法(finite difference method)을 利用하여 computer program을 開發하였고 廢棄物 埋立地에서 地水文學的 要素와 廢棄物의 分解要素等을 고려하여

* 正會員·全南大學校 工科大學 副敎授, 土木工學科
** 正會員·順天大學 土木工學科

simulation을 실시하였으며 實驗結果와 比較 檢討한 結果, 本 硏究 모델이 浸出水의 發生量과 水質을 예측하는데 적합하다고 판단되었다.

1. 序 論

都市 廢棄物의 處理方法으로서 埋立, 소각, 퇴비화를 들 수 있는데, 우리 나라의 都市 廢棄物 處理方法은 주로 埋立에 의존하고 있고, 따라서 埋立地에서 發生되는 浸出水의 地下水 汚染이 날로 심각해져 浸出水에 의한 地下水 汚染 防止對策은 시급한 과제이다[14].

따라서 本 硏究는 實在 埋立地의 現場調査를 통하여 埋立期間의 경과에 따른 휘발성 고형물질(volatile solids)의 變化, 生物學的으로 분해가능한 物質(BDM)의 變化, 含水率의 變化, 水分貯藏能力(field capacity) 및 乾燥單位重量(dry density)의 變化등을 測定, 分析하고, 實驗室內에서 Lysimeter를 製作하여 浸出水(leachate)의 發生量 및 水質을 測定하였다.

또한 불포화 흐름 방정식으로 부터 蒸發散量과 表面流出을 고려한 모델을 發展시켰으며, 더 나아가 廢棄物의 分解에 대하여 Monod[1] 및 Andrew 모델[2]을 적용한 불포화 분해 이송식을 發展시켰다.

그리고 computer program을 開發하여 地水文學的 要素와 廢棄物의 分解要素를 變化시켜 simulation을 行하였으며, 이러한 simulation의 결과를 lab-lysimeter 실측치와 비교 검토하여 浸出水의 水質 및 發生量을 예측하고자 하였다.

2. 實驗 및 方法

2.1 現場調査

現場에서의 實驗은 다음 표-1에 나타낸 바와 같이, 光州市 근교의 埋立地를 택하여 埋立時期가 同一한 지점의 2~3개소에서 試料를 채취하여 生分解可能物質(BDM), 乾燥單位重量(γ_d), 및 함수율(w)을 測定하였고 浸出試驗을 行하였다.

2.2 Lab-Lysimeter 實驗

(1) 試料의 調製

光州市의 埋立場으로부터 埋立期間이 3개월, 2년, 3년, 및 7년 경과된 廢棄物을 채취하여 입자의 크기를 2~5 cm로 파쇄하여 lab-lysimeter에 채웠는데 各 lysimeter의 性狀은 표-2와 같다.

(2) Lab-Lysimeter의 製作

lysimeter는 그림 1과 같이 ϕ=300mm, t=10mm, H=1,500mm인 PVC pipe를 使用하여 內部에 $\frac{3}{4}$廢棄物을 채우고 上部에 降水量

표 1. Sampling point at landfill site in Kwangju

landfill sites	Sinchang				Donglim				Juwol		
elapsed time (year)	0.25	1.0	1.5	2.0	3.5	4.0	5.0	5.5	7.0	8.0	9.0

표 2. Refuse properties in Lysimeter

	0.25 years	2 years	3 years	7 years
Refuse thickness(m)	1.4	1.4	1.4	1.4
Refuse weight(kg)	70	100	100	100
Refuse volume(m^3)	0.0989	0.0989	0.0989	0.0989
Refuse r_i(g/cm^3)	0.71	1.011	1.011	1.011
Moisture(wt%)	36.78	45.07	39.97	37.04
Dry density(g/cm^3)	0.53	0.69	0.72	0.74
Moisture(cm/cm)	0.20	0.31	0.29	0.27
Field capacity(cm/cm)	0.32	0.41	0.40	0.539
Volatile solids(%)	35.2	13.44	16.17	2.89

과 蒸發散量을 고려하여 물을 內部로 고르게 浸透시키는 장치를 설치하고 下部는 密閉된 조건에서 浸出水의 發生量을 測定할 수 있는 cylinder를 設置하였다.

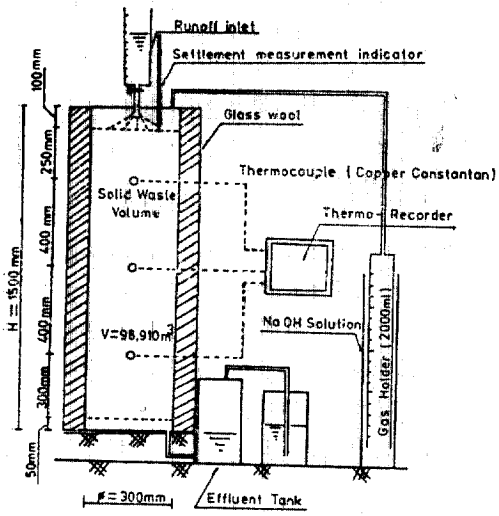

그림 1. Schematic diagram of lysimeter

2.3 分析方法

1) volatile solids : Standard Methods[15]
2) 水質分析 : Standard Methods[15]
3) 乾燥單位重量 : KSF 2311[4]
4) Lignin 및 Saccharide : Effland Method[16]
5) 含水率 : KSF 2306[17]
6) BDM : Method of Sampling and Analysis of Solid Waste[3]

3. 모델의 發展과 수치해석

3.1 불포화 분해 이송식의 정립

수직 방향으로 흐르는 물의 量을 q 라고 하면, Darcy의 법칙에 의하여 다음과 같이 정리할 수 있다[5-7].

$$q=K(\theta)-D(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial Z} \qquad (1)$$

여기서 q : 물의 flux
θ : 함수율
$K(\theta)$: 불포화투수도
$D(\theta)$: 불포화 함수 확산도
Z : 수직방향길이(cm)

汚染物質의 移送에 대한 모델을 설정하기 위해 그림 2와 같은 廢棄物 埋立層의 미소 요소에 대한 물수지식을 세우면 다음과 같다.

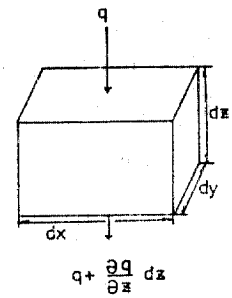

그림 2. Water balance of unit media

$$\frac{\partial w}{\partial t}=q\cdot dx\cdot dy-\left(q+\frac{\partial q}{\partial z}\cdot dz\right)\cdot dx\cdot dy+r\cdot dx\cdot dy\cdot dz$$

$$=-\frac{\partial q}{\partial z}\cdot dx\cdot dy+r\cdot dx\cdot dy\cdot dz$$

여기서 x : 단위체적내에 축적되는 수량
r : Moisture sink

또한 $w=\theta\cdot dx\cdot dy\cdot dz$ 이므로

$$\frac{\partial\theta}{\partial t}=-\frac{\partial q}{\partial z}+r \qquad (2)$$

로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial\theta}{\partial t}=-\frac{\partial K(\theta)}{\partial z}+\frac{\partial}{\partial z}\left\{D(\theta)\cdot\frac{\partial\theta}{\partial z}\right\}+r \qquad (3)$$

따라서 (1)식과 (2)식으로 부터 (3)식을 추론할 수 있다.

또 表面으로부터 浸透되는 水量(I)은 물수지식으로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다[8].

$$I=P-S_R-E=P(1-\varphi)-E \qquad (4)$$

여기서 I : 表面浸透水量
P : 降雨量
S_R : 表面流出量
E : 蒸發散量
φ : 表面流出率

그러나, $P(1-\varphi)$가 포화투수도(K_S)보다 클 경우에는 表面에서 $P(1-\varphi)-K_S$ 만큼 직접 流出된다고 생각할 수 있다.

즉 K_S 만큼 침투된다. 따라서 위의 식은 $P(1-\varphi)$가 K_S보다 클 경우 表面 浸透水量(I)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I=K_S-E \tag{5}$$

表土層에서 降雨量과 그에 따른 蒸發散量, 그리고 表面流出率을 고려한 항 $P'=P(1-\varphi)$를 적용하면 降雨 및 蒸發散量 등에 의해 發生되는 r은 $r=\frac{P'-E}{\Delta z}$로써 나타낼 수 있고

$$\frac{\partial\theta}{\partial t}=-\frac{\partial K(\partial)}{\partial z}+\frac{\partial}{\partial z}\left\{D(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial z}\right\}+\frac{P'-E}{\Delta z}\ (P>K_S) \tag{6}$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial t}=-\frac{\partial K(\theta)}{\partial z}+\frac{\partial}{\partial z}\left\{D(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial z}\right\}+\frac{K_S-E}{\Delta z}\ (P<K_S) \tag{7}$$

여기서 Δz : 單位깊이

(6), (7)과 같이 發展시킬 수 있다.

여기에서 moisture sink(r)은 蒸發散과 같은 것으로써 미소요소내에서 없어지는 양이다.

또한 수직방향(z방향)의 汚染物質移動에 대한 물수지식(water balance)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(C\cdot\theta)+\frac{\partial}{\partial z}(Cq)+\frac{\partial}{\partial z}J=R_t\cdot\theta \tag{8}$$

여기서 C : 오염물질의 농도

R_t : 오염물질의 발생율

J : 분산/확산 flux

(2)식과 (8)식으로 부터

$$\frac{\partial C}{\partial t}+\frac{q}{\theta}\cdot\frac{\partial C}{\partial z}+\frac{1}{\theta}\cdot\frac{\partial J}{\partial z}=R_t+\frac{C}{\theta}r \tag{9}$$

위(9)식은 表面에서 降雨와 蒸發散이 일어나는 피복토에 해당되는 항이고, 토양이나 廢棄物層에서는 蒸發散이나 降雨가 發生하지 않는다고 가정하면 $r=0$가 되므로 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial t}+\frac{q}{\theta}\cdot\frac{\partial C}{\partial z}+\frac{1}{\theta}\cdot\frac{\partial J}{\partial z}=R_t \tag{10}$$

有機性 汚染物의 發生項 R_t는 초기의 廢棄物이 含有하고 있는 生分解 可能物質(biodegradable matter)을 BDM_o이라 하고, 임의의 時間에서의 分解可能한 有機物質을 BDM_t이라 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다[7].

$$R_t=\left(\frac{BDM_t}{BDM_o}\right)^m\cdot b_i(C_{max}-C_t) \tag{11}$$

여기서 C_{max} : 浸出水의 최고농도

C_t : 임의시간에서의 浸出水의 농도

b_i : 분해계수

m : 상수

또한 일정시간에서의 BDM_t의 일차적 分解反應은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{vol}\frac{dBDM_t}{d_t}=-R_t\cdot\Delta Z\cdot\theta\cdot A \tag{12}$$

여기서 vol : 폐기물 요소의 단위체적

ΔZ : 폐기물 요소의 단위깊이

A : 폐기물 요소의 단위면적

浸出水內의 유기물질 제거속도(R_S)는 다음과 같이 나타낼 수 있다[1].

$$R_S=\frac{dc}{dt}=-\frac{1}{Y}\cdot\frac{\mu_{max}\cdot x\cdot C}{K_m+C} \tag{13}$$

여기서 C : 제한기질농도

μ_{max} : 세포의 최대비 증가율

K_m : $\mu=\frac{1}{2}\mu_{mxx}$ 일때의 C

Y : 제거된 유기물질당세포생산량

내호흡을 포함한 미생물의 성장속도 R_x는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$R_x=\frac{dx}{dt}=\frac{\mu_{max}\cdot C}{K_m+C}\cdot x-K_d\cdot x \tag{14}$$

여기서 K_d : 내호흡계수

Andrew 등은 세포의 성장에 따른 CH_4 가스와 CO_2 가스의 發生率을 다음과 같이 나타내고 있다[2].

$$R_{CH4}=-Y_{CH4/x}\cdot\mu\cdot x \tag{15}$$

$$R_{CO2}=-Y_{CO2/x}\cdot\mu\cdot x \tag{16}$$

여기서 R_{CH4} : CH_4 gas 생산율(mg CH_4/l·day)

R_{CO2} : CO_2 gas 생산율(mg CO_2/l·day)

그리고 浸出水로 流出되는 有機物質項(R_l)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_l=R_t-R_s \tag{17}$$

廢棄物 埋立層內에서 浸出水 不飽和移送에 대한 모델은

$$\frac{\partial C}{\partial t}+\frac{q}{\theta}\cdot\frac{\partial C}{\partial z}+\frac{1}{\theta}\frac{\partial J}{\partial z}=R_l \tag{18}$$

식으로 나타낼 수 있다.

3.2 모델의 수치해석

(1) 解析方法

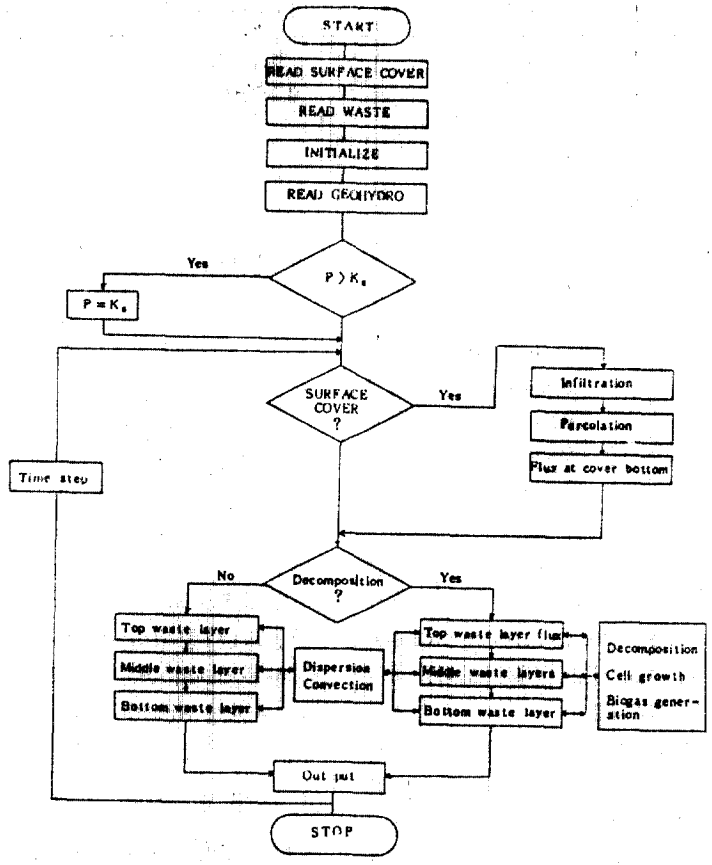

그림3. Flow Chart

표 3. Simulation data for geohydrological observation

	Simulation	Lysimeter	Remark
θ_{sw}	0.40(cm/cm)	—	
K_{sw}	8.0(m/day)	—	Korfiatis
h_t	—	—	Clapp and Hornberger
B	8	—	Klute 에 의한 $D(\theta)$ 이용
b	1.5	—	
θ init	0.20	0.20	
Depth of waste	1.40(m)	1.40(m)	10cm (unit depth)
Dry density(γ_d)	0.53(g/cm³)	0.53(g/cm³)	
Volatile solid	35.2(%)	35.2(%)	
BDM	0.36(g/g)	0.36(g/g)	
Time step	0.1(day)	0.1(day)	
P	0.4(cm/day)	1200(mm/year)	
E	0.15(cm/day)	530(mm/year)	
φ	0.15	0.15	
θ_f	0.337(cm/cm)	0.32(cm/cm)	

표 4. Simulation data for geohydrological observation

	Simulation	Lysimeter	Remark
VS	35.2(%)	35.2(%)	
BDM	0.36(g/g)	0.36(g/g)	
C_{max}	50,000(mg/l)	—	Typical value
$b1$	0.005~0.01	—	
λ_w	1~5	—	
COD init	0	—	
depth of waste	140(cm)	140(cm)	
organics init	0.5~5(mg/l)	—	
m	2	—	from Linch
K_s	0.03625	—	Law rence and McCarty
K_d	0.01(day^{-1})	—	
K_m	5,000(mg/l)	—	
Y_{CH^4} x	28.8(mole)	—	Andrew
Y_{CO^2} x	28.8(mole)	—	

本 硏究에서 開發된 모델은, IBM 4361 기종을 사용하여 전산처리 하였으며, 이때 사용된 수치해석방법은 有限差分法(finite difference method)이었고 그림 3과 같은 순서로 計算하였다.

(2) 경계조건 및 입력자료

初期경계조건으로서 時間 $t=0$ 일때 各要素에서의 初期含水率은 θ_{init} 즉 $\theta(i,0)=\theta_{init}$ 이며 最上面에서 $P(1-\varphi)$가 포화투수도(K_s)보다 적을 경우는 $P(1-\varphi)$가 浸透되지만 $P(1-\varphi)>K_s$인 경우 含水率(θ)은 $\theta=\theta_s$, $\frac{\partial\theta}{\partial z}=0$ 이 된다. 여기서 θ_s는 포화함수율이 된다.

기저층의 경계조건으로서 $z=z_t$, $\frac{\partial\theta}{\partial z}=0$ 인데 z_t는 埋立地의 총 깊이이다.

오염물질의 초기경계조건은 $n=0$ 일때 각 절점 i 에서의 초기농도는 0이다. 즉 $C(i,0)=0$ 이다.

미생물농도의 초기조건은 각 要素에서의 미생물농도(x)를 0.5~5mg/l 로 변화시켰다[7].

다음 표-3, 표-4 는 地水文學要素와 分解要素를 고려한 Simulation을 실시하기 위한 입력자료들을 나타내고 있다.

4. 結果 및 分析

4.1 浸出水 發生의 實驗的 考察

(1) 現場 實驗結果 分析

埋立 廢棄物의 分解特性은 生分解可能物質(BDM)의 含量, 密度, 含水率, 埋立地형상, 기후조건등에 따라서 크게 좌우된다. 표-5는 光州市 都市 廢棄物 埋立場으로부터 埋立 經過年數가 다른 廢棄物에 대한 生分解可能物質(BDM),

표 5. Experimental results of landfills in Kwangju.

landfill sites	Sinchang				Donglim				Juwol		
elapsed time specification	0.25	1.0	1.5	2.0	3.5	4.0	5.0	5.5	7.0	8.0	9.0
volatile solids(%)	61.3 53.6	17.6	—	18.5	16.5 15.4	14.9 11.1	—	13.2	9.5	6.32	7.22
water content(wt%)	58.4	72.8	—	53.8 46.7	39.1 42.4	50.3 33.8	—	16.2	28.9	56.4	26.9
BDM(g/g)	0.462 0.360 0.522	0.570	0.283 0.273 0.318	0.149 0.186 0.157	0.239 0.228 0.124	0.166 0.179	0.047 0.31 0.064	0.096	0.108	0.095	0.077

study date (1986.11)

含水率 및 휘발성 고형물질을 측정한 결과를 나타낸 것이다.

廢棄物中 生分解可能物質(BDM)은 生物學的 分解作用에 의하여 가스와 浸出水로 發生되는데 埋立期間이 경과되면 分解可能한 물질중에서도 分解가 비교적 용이한 saccharide계가 먼저 분해된다[9].

(표-5)의 結果로부터 埋立 經過年數에 따른 BDM의 변화를 graph 상에 표시하면 다음 그림 4와 같다.

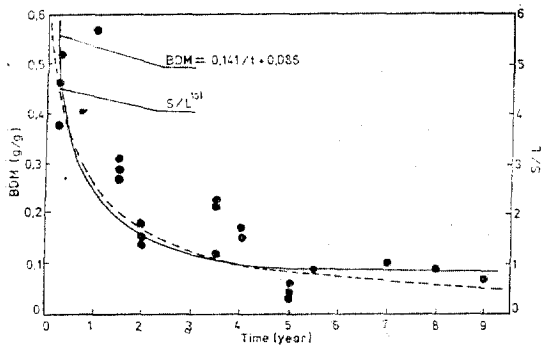

그림 4. Biodegradable matter as a function of time

초기 生分解可能物質(BDM_0)은 약 0.5g/g이었으며, 埋立이 9年 경과된 廢棄物의 경우 약 0.08g/g으로 측정되고 있는데 이는 埋立期間의 경과에 따라 분수함수로 감소되고 있음을 알 수 있다. 이것은 Lee[10]가 發表한 S/L(saccharide/lignin)곡선과 비슷한 양상을 나타내고 있는 것이다.

埋立 經過年數에 따른 生分解可能物質(BDM)의 상관관계식을 구하면 아래와 같다.

$$BDM=\frac{0.141}{t}+0.086 \qquad (19)$$

여기서 t : 매립경과년수

일반적으로 건조단위중량(γ_d)이 커지면 廢棄物內 공극의 크기가 작아지고 모세관등이 발달된다[11]. 이러한 모세관등의 영향에 의해서 수분저장능력(field capacity)은 변하는데 埋立年數가 다른 廢棄物 埋立地의 건조단위중량(γ_d)와 수분저장능력 측정결과를 그림 5에 나타내었다. θ_f와 γ_d간에 회귀직선식을 구할 경우 그상관성이 0.91로써 상당히 관계가 밀접한 것으로 나타나며 그 관계식은 다음과 같다.

$$\theta_f=\frac{1}{5.21}\ln\left(\frac{\gamma_d}{0.0576}\right) \qquad (20)$$

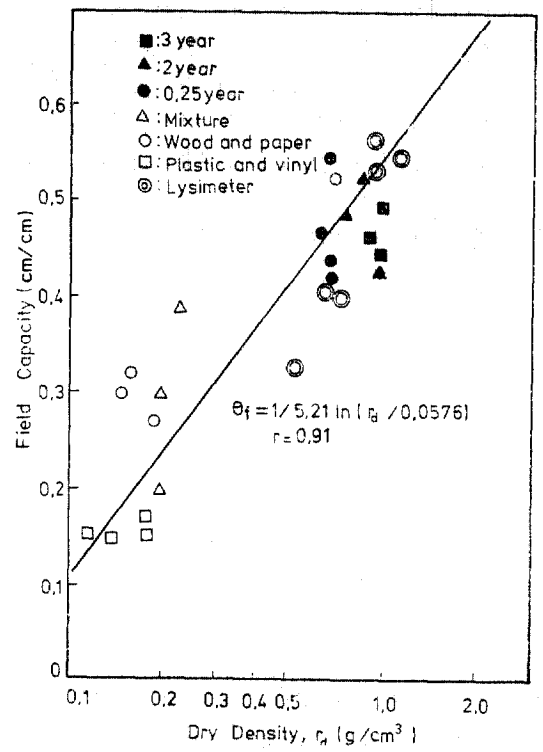

그림 5. Relationship between dry density and field capacity

4.2 實驗室 Lysimeter의 測定結果分析

(1) 浸出水 發生 및 수분저장능력

本 硏究에서는 우리나라의 年 평균 降雨量을 1,200mm/year로 보고 蒸發散量은 Thornwaite[12]식으로 구한 530mm/year, 그리고 表面流出率(φ)을 0.15로 하여(埋立地경사를 2%로 가정) lysimeter를 설치하여 0.14cm/day로 주입했다. 이에 따른 浸出水 發生量은 다음 그림 6에 나타내었다. 그림 6의 Lab-lysimeter 實驗으로부터 浸出水가 처음 發生한 일수는 lysimeter 상부에 처음 주입한 날로부터 120일 이었다. lysimeter 廢棄物層의 두께를 140cm라 하면 浸出水가 發生될때까지의 투수도(K)는 140cm/120 day=1.17cm/day로 나타났다.

年間 流入水量은 490mm/year·unit area로서 그에 따른 浸出水量은 320mm/year·unit area로 발생되었고 49−32=17cm/year·unit area는 수분저장능력(θ_f)에 도달하기까지 폐기물층에 흡

수된 양인데 단위깊이당 흡수된 양으로 表示하면 0.121cm/cm·year·unit area 이다.

수분저장능력(θ_f)에 도달될때까지 130일이 소요되었으며 도달된 후의 1일發生浸出水는 32 cm/(370−130)day=0.133cm/day 로 나타났다. 여기서 浸出水가 發生된 날로부터 수분저장능력(θ_f)에 도달되는데 까지 소요되는 時間은 10day였다. 초기 함수율은 0.20cm/cm 이었으므로 수분저장능력은 0.32cm/cm 로 관측되었다.

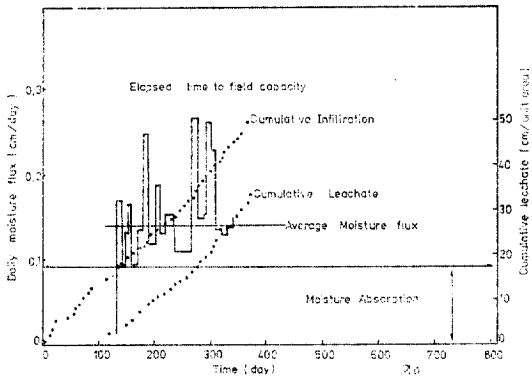

그림 6. Cumulative leachate and infiltration

(2) 浸出水中 有機物質의 변화

그림 7은 lysimeter 운전시간의 경과에 따른 浸出水中의 COD를 보여주고 있는데 埋立경과 年數가 3개월이된 廢棄物의 경우, COD 값은 증가하는 추세에 있다가 300일을 최고점으로 감소하고 있다.

COD가 가장 크게 나타난 값은 34,800mg/l 이고, 530일경에는 21,500mg/l 로 나타났다.

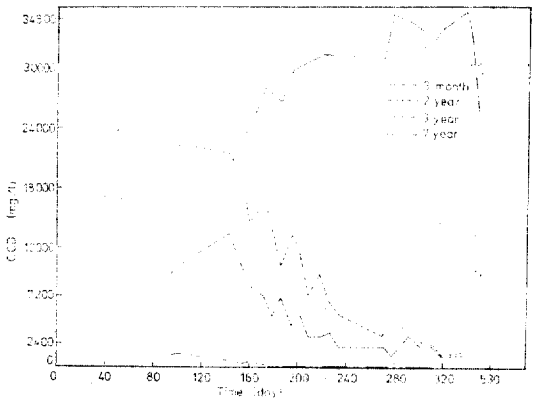

그림 7. Chemical oxygen demand as a function of time

또한 埋立 경과 年數가 2年인 廢棄物의 경우, 초기에 약 20,000mg/l 로 發生되다가 時間이 경과할수록 감소하는 경향을 보이고 있으며, 3年이 경과된 廢棄物의 경우, 初期에 약 13,000mg/l 가 배출되었으며, 200일이 경과될 즈음엔 약 2,000mg/l 로 유지되었다. 7年이 경과된 廢棄物의 경우엔 200일이 경과하면서 약 50mg/l 로서 안정된 상태를 나타냈다.

4.3 Simulation 結果 分析

(1) 浸出水 發生에 관한 地水文學的 考察

本 硏究에서는 simulation을 위해서 모세관수두(h_t)는 Clapp 와 Hornberger[13]가 제안한 廢棄物에서의 含水率과 모세관 수두의 관계식

$$h_t=6.223\cdot\left(\frac{\theta}{0.55}\right)^{-1.5} \qquad (21)$$

을 이용하였으며, 불포화 투수도{$K(\theta)$}는

$$K(\theta)=K_S\cdot\left(\frac{\theta}{\theta_S}\right)^{B} \qquad (22)^{(6)}$$

여기서 θ_S : 포화함수율

K_S : 포화투수도

B : experimental constant

의 式을 利用하였고 확산도(Diffusivity : $D(\theta)$)는

$$D(\theta)=K(\theta)\cdot\frac{h_{ts}}{\theta}\cdot b\cdot\left(\frac{\theta_s}{\theta}\right)^{b+1} \qquad (23)$$

여기서 h_{ts} : 포화모세관수두

b : experimental constant

의 式을 이용하였다[6].

표-3의 입력자료로서 Simulation을 行하여 그림 8에 230일 동안 물의 이동상태에 대한 결과를 요약해서 나타난 것인데, 含水率은 수분저장능력(θ_f)에 접근함을 알 수 있었고, 복토층에서의 함수율 θ_s를 0.45cm/cm, 廢棄物層에서의 함수율 θ_{sw}를 0.40cm/cm 로 주었을때, 수분저장능력(θ_f)은 0.337cm/cm 에 도달되므로 Lysimeter 실측치 0.338cm/cm 와 아주 근사하게 접근하였다. 그림 8에서 보는 바와 같이 廢棄物層 1.4m에서 수분저장능력에 도달되는 시간은 230일이 소요되었는데 이때까지 물의 평균흐름속도는 廢棄物層內에서 1.08cm/day 로 계산되었으며 이 값은 lysimeter 로 부터 측정된 값 1.17cm/day와 상당히 접근되어 있음을 알 수 있다.

그림 9는 lysimeter 로 부터 측정된 누적침출

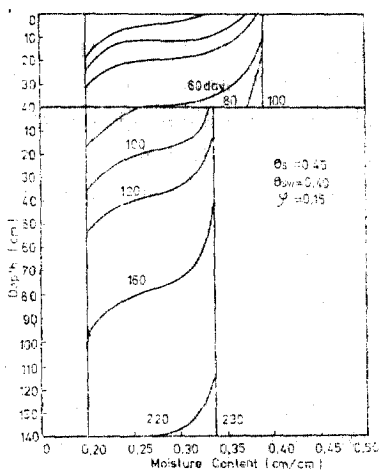

그림 8. Moisture profile at which run off coefficient is 0.15

수량과 simulation 된 누적 침출수의 量을 비교한 것이다.

simulation 결과 1 年동안 發生되는 浸出水量은 320mm/year unit area 이었고, 廢棄物內에서 흡수된 量은 170mm/year unit area 이었으며, 이것은 lysimeter 실험 결과와 잘 일치되었다.

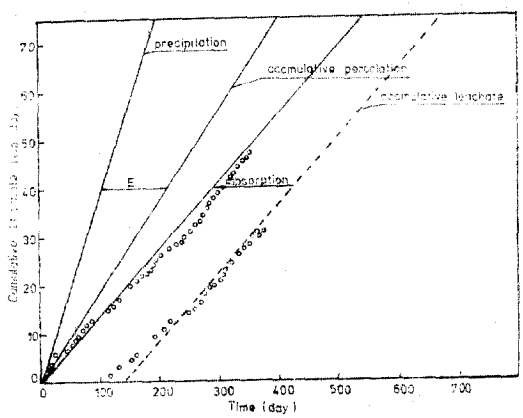

그림 9. Simulated water balance

(2) 有機物質의 分解와 移送

앞 節에서 結定된 地水文學的인 要素로 고정시키고, 廢棄物의 分解係數(b_i)와 初期 微生物量(VSS) 및 속도편차계수(λ_w)등의 要素를 변화시켜 有機物質의 分解와 移送에 대해서 simulation 을 실시하였다.

有機物質 分解移送 모델에 적용된 simulation 要素는 앞의 표-4 에서 나타낸 바와 같다.

다음 그림 10 으로 부터 分解係數(b_i)가 0.0075 일때 lysimeter 실측치와 비교적 잘 접근되고 있음을 알 수 있었다.

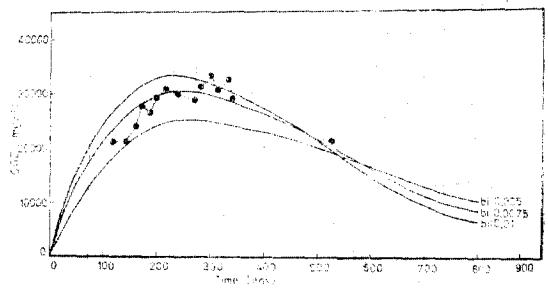

그림 10. Simulated COD according to decomposition rate of waste

(그림 11)은 속도편차계수 λ_w의 변화에 따른 COD의 profile을 나타내고 있는데 $\lambda_w=5$ 에서 비교적 實測値에 접근되고 있음을 알 수 있다.

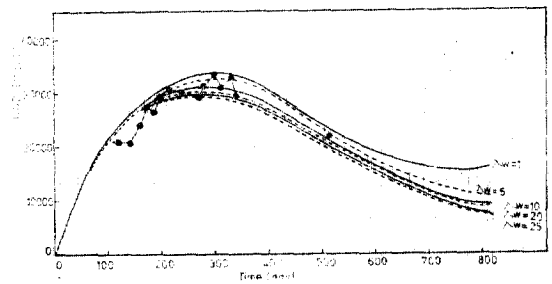

그림 11. Simulated COD according to λ_w

lysimeter 실측치에서 초기 COD가 높고 그 다음 조금 감소 했다가 다시 증가하는 경향이 있는데, 이는 廢棄物層內 원래 存在하는 有機物質의 용해현상이라 생각된다.

5. 結 論

現場實驗 結果, 건조단위중량(r_d)와 수분저장능력(θ_f)는 서로 밀접한 相關性이 있었고, 그 관계식은

$\theta_f=\frac{1}{5.21}\ln\left(\frac{r_d}{0.0576}\right)$으로 나타낼 수 있었으며 埋立時間이 경과되면 수분저장능력(θ_f)은 증가하는 경향이 있었으며 또한 生分解可能物質(BDM)과 埋立期間(t)의 관계는 $BDM(g/g)=\frac{0.141}{t}+0.086$ 으로서 나타낼 수 있으며, Sac-

charide : Lignin의 곡선과 비슷한 양상을 보였다.

本 硏究에서 제안된 모델은 浸出水의 發生量 및 水質의 安定埋立地의 安定에 대한 소요기간 등을 예측하는데 매우 좋은 효과를 얻을 수 있었으며, 이의 結果를 정리하면 다음과 같다.

1. 廢棄物 埋立地에서의 浸出水 解析에 대해서 不飽和 흐름 理論을 적용하는 것이 可能했다

2. 蒸發散量과 表面流出을 고려한 本硏究의 모델은 simulation한 結果는 實驗室의 lysimeter 測定値와 잘 부합되었다.

3. Monod의 kinetic 모델과 Andrew의 biogas생산 모델로부터 유도한 不飽和移送 方程式은 埋立廢棄物層에서 浸出水의 發生量 및 濃度를 예측하는데 유용하였다.

4. COD는 分解係數(b_i)가 0.0075day^{-1} λ_w가 5일때 實驗室 lysimeter 結果와 잘 일치하였다.

參 考 文 獻

1. Monod, J. "*The Growth of Bacterial Cultures*„ Ann. Rev. Microbial, 3, 1949, p. 371.
2. Anorews, J.F., and S.P. Graef. "Mathematical Modeling and Control on Anaerobic Digestion", *Aicho Symposium Series Water* 1973, vol. 70, pp. 101~129.
3. "*Method of Sampling and Analysis of Solid Waste*", EAWAG, Switzerland.
4. KSF, 2311, "*Testing Method for Density of Soil in place by the Sand-Cone Method*", (1975).
5. Don Kirkam, and W.L. Powers. "*Advanced Soil Physics*", Willy Interscience, 1972, p. 242.
6. Korfiatis, G.P. "*Modeling the Moisture Transport through Solid Waste Landfills*", Thesis submitted to Rutgers-The State Univ. of New Jersey, in 1984, in partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Doctor of Philosophy.
7. Straub, W.A. and D.R. Lynch. "Models of Landfill Leaching: Moisture Flow and Inorganic Strength", *J. of the Environmental Eng. Div. ASCE*, vol. 108, No. EE2, 1982, pp. 231~250.
8. Lichard Helmer. "*Menge und Zusamensetzung von Sicherwasser aus Doponien verschiedenurtige Abfallstoffe "Fachzeitsschrift fur Behandlung und Beseitigung von Abfallen Herausgeber und Verlarge*" Berlin, Bielefed Munchen, 1974.
9. Bookter, T.J., and R.K. Ham. "Stabilization of Solid Waste in Landfills", *ASCE*, vol. 108, No. EE6, Dec. 1982, pp. 1089~1100.
10. Lee JungJun "*A Fundamental Study on Biogas from Municcipal Solid Waste*", Korea Univ. Thesis for the Doctor of Philosophy, 1986.
11. Richards, L.A. "Capillary Conduction of Liquids Through Porous Mediums", *Physics*, 1, 1931, pp. 318~333.
12. Thornthwaite, C.W. and Holzmann. "*Measurement of Evaporation from Land Water Surface*", U.S. Dept. Agric. Tech. Bull. 817, 1942.
13. Clapp, R.B., and G.H. Hornberger. "Empirical Equation for some Soil Hydraulic Properties", *Water Resource Research*, vol. 14, No. 4, Aug. 1978.
14. 金秀生 外, "都市廢棄物 埋立場에서의 環境汚染 調査分析", 公害對策, vol. 15, No. 1. 1984, p. 21.
15. APHA-AWWA-WPCF, "*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*", 15th Edition, 1980.
16. Effland, M.J. "*Modified Procedure to Determine Acid in Soluble in Wood and Pulp*", Tappi 60(10), pp. 143~144.
17. KSF 2306 "*Testing Method for Moisture Content*"

(接受 : 1987. 8. 4)