

매립장의 복토재와 폐기물 수리특성에 대한 침출수위의 민감도 분석

Sensitivity Analysis of the Leachate Level of a Landfill to Hydraulic Properties of Cover Soil and Waste

주완호(Wan - Ho Joo)* · 장연수(Yeon - Soo Jang)** · 김용인(Yong - In Kim)***

요 약 : 본 논문에는 매립장의 높은 침출수위를 저감시키기 위한 복토재의 기능을 분석하기 위하여 매립장의 침출수지 분석 프로그램인 HELP를 이용 복토재 및 폐기물의 수리특성인 간극률, 투수계수, 포장용수량, 위조계수, 초기함수비에 대한 침출수위의 민감도를 분석하고 흙복토재의 다짐에 의한 밀도-투수계수-포장용수량의 변화, 현장 초기함수비와 포장용수량의 차가 누적 침출수위 형성에 미치는 영향을 시험 및 수치해석을 통하여 분석하였다. 민감도 해석결과 복토재와 폐기물 모두 간극률과 위조계수의 증가는 침출수위를 감소시키며 포장용수량과 투수계수의 증가는 침출수위를 증가시키는 것으로 나타났으며 침출수위에 영향을 크게 미치는 인자는 복토재의 경우 투수계수, 폐기물의 경우는 간극률, 포장용수량, 초기함수비인 것으로 나타났다.

Abstract : In this paper, the sensitivity of the leachate level is analyzed using the program HELP to reduce the high leachate level on the landfill. Hydraulic parameters analyzed were porosity, field capacity, wilting point and initial water content of cover soil and waste. Also, the influence of the difference between the initial water content and the field capacity on the leachate level in the landfill was analyzed. The results of the sensitivity analysis show that the increase of the porosity and the wilting point decreases the leachate level, while the increase of the field capacity and the hydraulic conductivity increases the leachate level. Major parameters to the change of the leachate level were the hydraulic conductivity in the case of cover soil and the porosity, the field capacity and the initial water content in the case of waste.

서 론

쓰레기 매립장 내에 누적수위는 최소로 형성되어야하며 미국의 경우는 매립 바닥 집수층으로부터 30 cm를 넘지 않도록 하고 있다(Sharma and Lewis, 1994). 그러나 국내 쓰레기 매립지의 경우 쓰레기 매립층내에 누적수위가 그 이상으로 형성되고 있는 바 이렇게 축적된 누적수위는 매립지의 구조적인 안정성을 저해하거나 높은 수두로 인하여 지반내로의 침출수이동이 빨라지는 단점이 나타나게 된다.

매립장내에 침출수가 형성이 되는 원인은 투수성이 큰 복토재를 통하여 강우가 침투하여 매립된 쓰레기 내에 형성되는 것과 쓰레기에 포함된 수분이 많아 이들이 매립된 이후 상부에 쌓이는 복토재와 흙의 무게로 인하여 공극이 줄어들며 흘러 나오거나 포장용수량을 초과한 함수량이 중력으로 인하여 흘러나오는 것이 주요 원인으로 지적되고 있다.

매립장내 형성되는 침출수량의 예측은 매립장에 대한 수리상수자료가 충분하지 않은 경우 매립지내에서 침출수의 1차원흐

름과 질량보존 법칙이 성립하며 복토층과 쓰레기의 수분 보유와 전달 특성을 알고 있는 것으로 가정하고 유도된 간편식이 많이 이용된다(Oweis and Khera, 1990). 매립장내의 누적수위를 산출하기 위한 간편식도 제안되어 있는 바(U.S. EPA, 1983) 이식의 경우 쓰레기 분해에 의해 생성되는 침출수를 무시하고 강우만으로 산출한 것으로 매립지가 불투수층위에 세워져 매립지 주변으로 배수만을 고려하여 구한 식이다. 이외에도 침출수 집·배수 시스템(Leachate Collection and Removal Systems; LCRS)에서 흐름을 평가하기 위해 제안된 누적수위 산출식으로 Liner가 경사졌을 경우(Moore, 1983), 라이너와 침출수 집수관이 경사졌을 경우 집수관 사이의 누적수위를 가정된 누적수위 h에 대한 x의 위치를 시행착오법을 이용하여 구하는 방법(Mc-Bean 등, 1982)도 제안되어 있다. 소개된 간편법의 경우 물수지의 여러 인자를 대부분 생략하고 투수계수와 강우 강도 등 가정 기본적인 수리상수만을 고려한 것이므로 생성된 침출수의 양과 누적수위를 평가하는데 항상 신뢰성을 주는 것은 아니다. 따라서 현장에서 관측된 자료가 충분할 경우 HELP(Hydrological Evaluation of Landfill Performance) 모델과 같은 computer 프로그램이 침출수발생량 예측과 평가에 이용되고 있다(Schroeder 등, 1984).

본 논문에서는 여러 수리입력변수를 고려하여 매립지 내의 물수지를 분석할 수 있는 수치모델인 HELP(Hydrologic Evalua-

*CH2M HILL 과정(CH2M HILL Korea, 141-31 Samsung-dong, Kangnam-ku, Seoul 135-090, Korea)

**동국대학교 토목환경공학과 조교수(Dept. of Civil & Environmental Engineering, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea)

***동국대학교 토목환경공학과 박사과정(Dept. of Civil & Environmental Engineering, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea)

tion of Landfill Performance)를 이용하여 현장에서의 복토재 및 폐기물의 수리특성이 침출수위에 영향을 미치는 정도를 분석하였다. 프로그램에 사용된 입력값은 HELP 메뉴얼에 제시된 데이터를 이용 국내 대표적인 생활 쓰레기 매립장인 K 매립장의 매립장 내부에 나타난 침출수위를 본 프로그램 결과에 재현시킨 후 폐기물과 복토재의 각 수리특성치에 대한 침출수위의 민감도를 분석하였다. 이러한 민감도 분석은 침출수위에 가장 큰 영향을 미치는 특성치를 규명하고 이를 조절하기 위하여 복토재 및 폐기물에 어떤 대책을 세워야 하는지를 규명하기 위함이다. 또한 매립지에서 보편적으로 사용되고 있는 화강토의 다짐도에 따른 수리특성을 시험에 의하여 도출하고 이 시험결과와 폐기물의 초기함수비와 포장용수량의 차이가 누적수위에 미치는 영향을 물수지 해석을 통하여 알아보았다.

사용된 프로그램의 구성

HELP(Hydrologic Evaluation of Landfill Performance) Model은 매립지의 수직 및 수평으로 흐르는 물수지 이동을 묘사할 수 있는 유사 2차원 모델(quasi-2D model)이다. 이 모델은 기후, 토질 그리고 해석하고자 하는 매립지 설계입력자료를 받아들여 폐기물, 흙, geomembrane liner를 통한 물의 이동을 계산하여 사용자가 원하는 매립장 내외로 집배수되는 물의 양, liner 누수량 및 표면유출량 등을 얻게하여 준다(Schroeder 등, 1994). HELP를 구성하는 내부요소 모델들은 다음과 같다.

흙라이너의 수직배수와 측면배수, 각 층의 수직배수를 계산하기 위해 토층 및 폐기물층의 비포화, 포화투수계수를 사용하며 비포화 투수계수는 물과 공기로 채워진 공극으로 된 층을 통해 흐름을 설명하기 위해 Campbell(1974)이 제시한 식 (1)을 사용한다

$$K_u = K_s \left[\frac{\theta - \theta_r}{\phi - \theta_r} \right]^{3 + \left(\frac{2}{\lambda}\right)} \quad (1)$$

여기서 K_u =불포화 투수계수(cm/sec)

K_s =포화 투수계수(cm/sec)

θ =체적함수비

θ_r =잔류체적함수비

ϕ =총간극률

λ =입경분포지수

매립지내 침출수의 이동 및 저유에 직접적으로 영향을 주는 매립지내의 물수지 방정식은

Δ 저유=유입배수 - 유출배수 - 증발+침출수 순환+지표하 유입
로 나타내며 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta SM(j) = & 0.5 \{ [DR_i(j) + DR_{i-1}(j)] - [DR_i(j+1) + DR_{i-1}(j+1)] \\ & - [ET_i(j) + ET_{i-1}(j)] + [RC_i(j) + RC_{i-1}(j)] + \\ & [SI_i(j) + SI_{i-1}(j)] \} \end{aligned} \quad (2)$$

$$SM(j) = SM_i(j) - SM_{i-1}(j) \quad (3)$$

여기서 $SM(j)$ =j층의 저유량 변화

$DR_i(j)$ =시간단계 i동안 상부로부터 j층으로 배수

$SM_i(j)$ =시간단계 i동안 중간점에서 j층의 저유량

$ET_i(j)$ =시간단계 i동안 j층으로부터 증발

$RC_i(j)$ =시간단계 i동안 j층안으로 재순환된 수평배수

$SI_i(j)$ =시간단계 i동안 j층안으로 지표하 유입

시간단계의 최대크기 t와 하루를 기준으로 나누는 시간단계의 갯수 N은 다음과 같은 수식으로 구한다.

$$\Delta t = \frac{T(k)[POR(k) - FC(k)]}{IR_{max}} \quad (4(a))$$

$$N = \begin{cases} 4 & Dt > 0.25 \text{ days일 때} \\ \left\{ \frac{1}{\Delta t} + 1 \right\} & 0.021 \text{ days} \leq t \leq 0.25 \text{ days일 때} \\ 48 & \Delta t < 0.021 \text{ days일 때} \end{cases} \quad (4(b))$$

여기서 Δt =시간단계의 최대크기

$T(k)$ =수평배수층 k의 두께

$POR(k)$ =k층의 간극률

$FC(k)$ =k층의 Field capacity

IR_{max} =수평배수층안으로 최대 침투비

N =하루당 시간단계의 수

중력에 의한 매립장내에서의 수직포화흐름은 Darcy의 법칙으로 나타낸다.

$$q = Ki = K \frac{dh}{dl} \quad (5)$$

여기서 q=흐름비(흐름방향으로 단위면적당 단위시간당 이동)

K=투수계수

i=동수경사

h=전수두(위치+압력)

l=흐름방향의 길이

이 방정식은 투수계수에 함수비가 고려되고 부간극수압을 포함한 전수두를 가지는 비포화 상태에도 적용할 수 있다. 이때 HELP 프로그램은 수평배수와 수직배수층의 각 층내로 일정한 부간극수압을 포함한 압력수두를 사용한다.

비피압 수평배수는 Dupuit-Forchheimer의 중력흐름에 대한 흐름은 liner에 평행하고 속도는 흐름의 깊이에 관계없고 지하수위 표면경사에 비례한다는 가정을 적용하여 시간변화에 따른 수평지점별 수두분포를 나타내는 Boussinesq 방정식을 이용한다.

$$f \frac{\partial h}{\partial t} = K_D \frac{\partial}{\partial l} \left[(h-l \sin) \frac{\partial h}{\partial l} \right] + R \quad (6)$$

여기서 f=배수할 수 있는 간극률(간극률-field capacity)

h=배수로 가장자리에서 liner위의 수위높이

t=시간

K_D =배수층의 포화투수계수

l=배수방향으로 liner표면을 따른 거리

α =liner표면의 경사각

R=순수한 재흡수(침투-누수)

프로그램의 현장 적용 및 검증

적용현장의 현황

대상 매립장은 해석당시 폐기물이 3단으로 매립되어져 있는 상태이었고 원지반은 점성토로 형성되어져 있어 별도의 차수층 없이 폐기물을 매립한 곳이다. 본 매립장의 바닥차수층은 점토층이 평균 20 m 두께로 분포하고 있으며 별도의 수평집수층 없이 유공관이 매설되어져 있다(Figure 1). 해석당시 대상 매립지의 현황을 Table 1에 요약하였다.

입력자료

일일 강우자료 및 기타 기상자료는 1992년부터 1994년까지 인천의 3년간 기후자료를 입력하고 초기함수비는 프로그램이 포장용수량을 바탕으로 연산하여 그 값을 취하게 하였다. 복토재의 수리특성자료(Soil Data)는 현장에서 채취해온 시료를 바탕으로 프로그램 매뉴얼상의 No. 4(LS, SM)을 채택하고 폐기물의 간극률은 0.43으로 가정하여 적용하였다. 대상 매립장에서 채취한 시료의 체분석 결과 매일복토재는 실트질 모래로 판명되었으며, 투수계수는 대략 1×10^{-3} cm/sec 정도였다(동아건설, 1996.) HELP 매뉴얼 상에 제시된 수리특성자료들 중 토질이 실트질 모래이면서 여러 지역의 흙을 복토재로 사용한 관계로 그 범위가 No.4에서 No.7의 범위를 갖는 것으로 추정할 수 있는데, 대상 매립장의 높은 침출수위를 고려하여 그 중 투수성

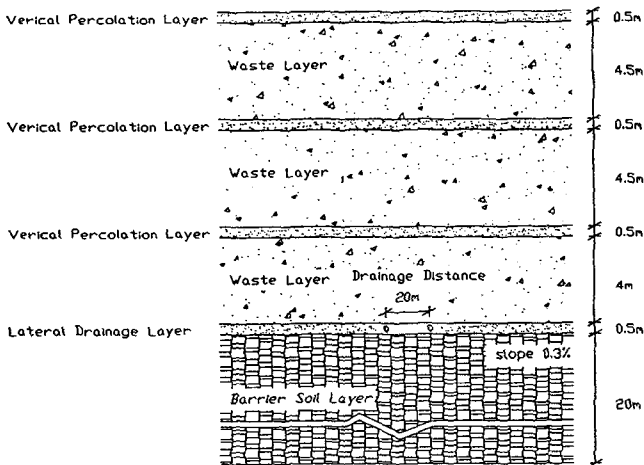


Figure 1. Cross section of the landfill analyzed.

Table 1. Site condition of the landfill (수도권, 1995)

Total Landfill Area	Approximately 2316800 m ²
Daily Leachate Drainage	Approximately 2100 m ³ /day
Max Drainage Length	20 m
Slope of Lateral Drainage Layer	0.3%
Height	Approximately 15 m
Type of Cover Material	Silty Sand (SM)

Table 2. Input data for water balance analysis of the test site

Soil Texture Class	HELP USDA USCS	4 LS SM	19 Waste	16 Barrier Soil
Porosity		0.437	0.43	0.427
Field Capacity		0.105	0.32	0.418
Wilting Point		0.047	0.19	0.367
Hydraulic Conductivity (cm/sec)		1.7×10^{-3}	1.997×10^{-4}	1×10^{-7}
SCS Curve Number			80	

이 가장 높으며 투수계수가 1.7×10^{-3} cm/sec으로 현장 실측치와 비슷한 No.4를 채택하였다. Table 2는 본 프로그램에 적용된 수리특성자료이다.

실행결과에 의한 검증

현장의 실제조건에의한 프로그램 해석결과 일일 최대 침출수위는 8.52 m로 산정되었으며 매년 평균 침출수위는 6.22 m로 나타났다. 실행결과에서 나타난 94년 11월의 침출수위(8.39~7.69 m)는 94년 11월 수도권 매립지에서 실측한 침출수위 약 7.9 m와 거의 일치 하였다.

각 수리특성자료의 민감도 분석

프로그램 실행 신뢰성을 높이려면 현장치에 부합하는 입력 자료를 적용하여야 하며 복토재와 폐기물의 수리특성자료는 실행결과에 중요한 영향을 미치기 때문에 보다 정확한 값을 입력하여야 한다. 그러나 현장에서 수리특성치를 구하기 위한 지반 조사는 많은 비용을 필요로 하므로 복토재와 폐기물의 침출수위에 미치는 민감도 분석을 통하여 민감도가 큰 수리특성치를 중심으로 현장에서 입력변수 조사를 수행할 필요가 있다.

본 민감도 분석에서는 현장의 누적수위와 근사한 값을 나타내었던 간극률, 포장용수량, 위조계수 그리고 초기함수비 입력 값을 중심으로 그 값의 +20%, +10%, -10%, -20%씩 변화를 준 뒤 해석결과 나타난 매립장내 침출수위를 Figure 2, 3, 4, 5에 도시하여 복토재와 폐기물의 수리특성치의 누적수위에대한 상대적인 민감도를 비교하였다. 투수계수의 경우는 변화의 영역

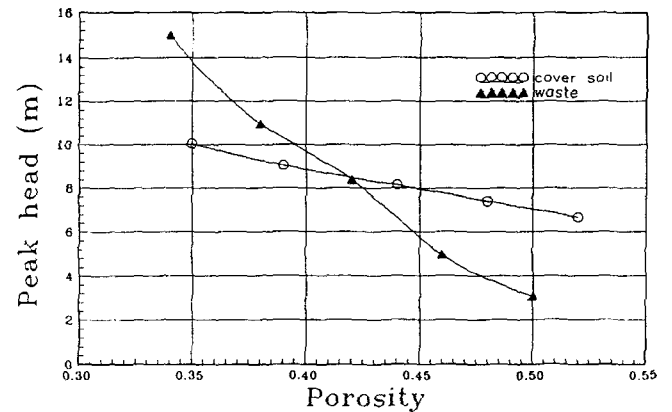


Figure 2. Sensitivity of the leachate level to the porosity of cover soil and waste.

이 큰 관계로 현장치의 근사 값에 대한 9배, 4배, 0.5배, 0.1배 일때의 값들을 도시하였다(Figure 6).

간극률의 경우 복토재와 폐기물 모두 간극률이 커질수록 누적수위가 감소하는 반비례 관계에 있는 것을 알 수 있었으며 그 범위는 복토재의 경우 누적수위는 10.05 m에서 6.67 m로 폐기물의 경우 15.00 m에서 3.06 m로 변화하여 폐기물의 간극률에 대한 민감도가 복토재의 경우보다 큰 것을 알 수 있었다(Figure 2). 이는 현장에서의 폐기물 매립시 다짐에 의하여 단위중량을 높여 매립하는 것은 공극의 크기를 줄여 내부의 수분을 방출하게 하므로 누적수위의 저감에 역행되는 방향임을 알 수 있다. 그러나 현장의 다짐에 의한 폐기물의 단위중량을 크게 하는 것은 장기적으로 매립지의 침하량을 줄여 줄 뿐만 아니라 폐기물의 매립량을 늘려주고 매립지의 구조적인 안정성을 향상시켜 주므로 누적수위의 저감은 공극을 늘리는 방향보다는 다른 방법에 의하여 수행되어야 함을 알 수 있다.

포장용수량의 경우 복토재는 포장용수량이 증가될수록 수위는 6.69 m에서 8.91 m로 기울기의 증가를 보이며 폐기물일 경우 0.002 m에서 14.65 m로 상승하는 형태를 보이고 있다(Figure 3). 이는 포장용수량이 초기함수비에 영향을 주므로 침출수위에 변화를 주게되며 복토층보다 폐기물층의 침출수위 증가율이 큰 것은 폐기물층이 복토층에 비해 층의 두께와 함수비

가 상대적으로 큰 것이 요인인 것으로 사료된다.

위조계수의 경우 복토재는 위조계수가 대표값을 기준 하한 -20%에서 상한 20%까지 변화될 때 수위는 8.87 m에서 7.24 m 까지 감소되는 것으로 나타났으며 폐기물일 경우 위조계수의 동일한 비율의 증가에 대한 누적수위의 변화는 무시할 만한 것으로 나타났다(Figure 4). 이러한 결과로 위조계수는 간극비와 비슷한 경향으로 감소하지만 간극비와는 달리 위조계수의 변화는 침출수위에 그다지 큰 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다.

초기 함수비의 경우 복토재층(상부로부터 1, 3, 5층)의 초기 함수비의 증가는 침출수위의 미미한 증가를 가져오나 폐기물층(상부로부터 2, 4, 6층)의 초기함수비의 증가는 급격한 기울기로 침출수를 증가 시키는 것으로 나타났다. 본 민감도 분석시 폐기물층인 6층의 +10%와 +20%는 간극의 포화한계를 넘기 때문에 실행하지 않았다(Figure 5). 폐기물층의 초기함수비 증가에 대한 폐기물층의 침출수위 증가율이 큰 것은 폐기물층이 복토층에 비해 층의 두께와 함수비가 상대적으로 크다는 것이 한 요인인 것으로 사료되며 폐기물의 매립전 초기함수비를 감소시키는 것은 매립지의 누적수위 감소에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

투수계수는 복토의 경우 투수계수를 증가시키면 4.05 m에서

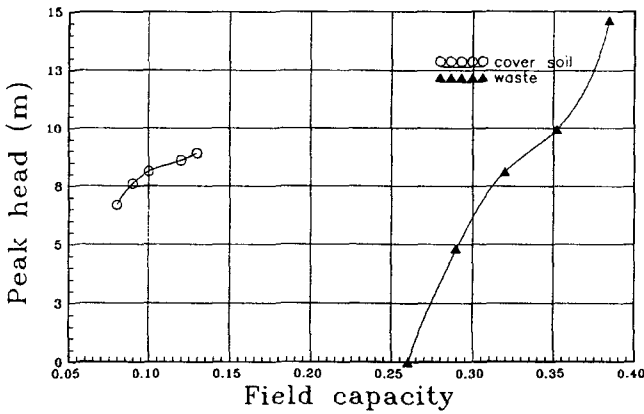


Figure 3. Sensitivity of the leachate level to the field capacity of cover soil and waste.

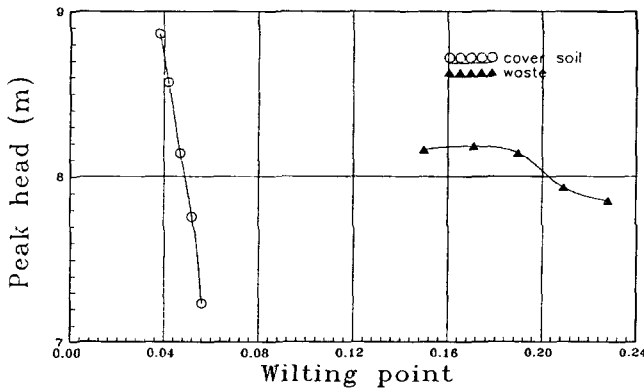


Figure 4. Sensitivity of the leachate level to the wilting point of cover soil and waste.

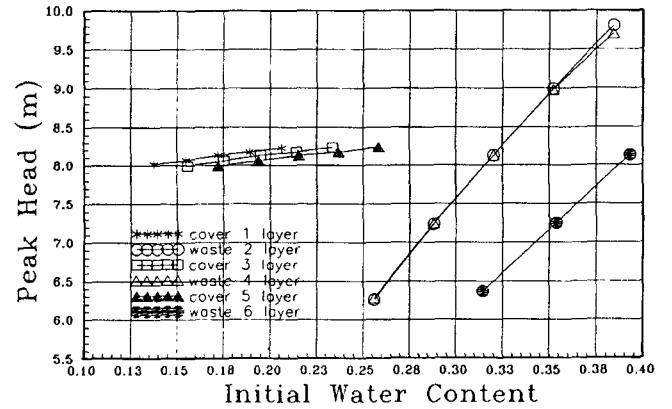


Figure 5. Sensitivity of the leachate level to the initial water content of cover soil and waste.

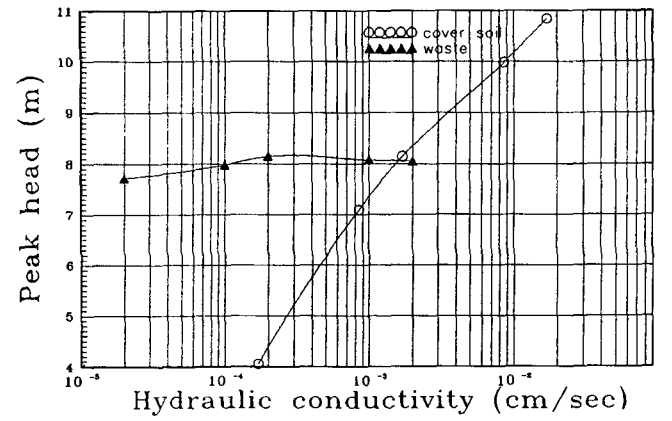


Figure 6. Sensitivity of the leachate level to the hydraulic conductivity of cover soil and waste.

10.85 m로 급격한 증가세를 보이고 있으며 반면 폐기물은 투수 계수의 증가에 따라 누적수위가 7.71 m에서 8.14 m로 약간 증가되다가 조금씩 감소되는 경향을 보였으나 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타나고 있다(Figure 6). 복토재의 투수계수가 폐기물의 투수계수에 비하여 누적수위에의 영향이 큰 이유는 본 매립장의 흐름이 수직흐름으로 투수성이 큰 층과 적은 층이 혼합되어 있는 경우 투수성이 적은 층이 흐름을 제어하기 때문이며 복토재의 투수성을 낮추는 것이 누적수위의 감소에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

이상과 같은 각 수리특성자료의 결과들을 비교분석하여 본 결과 복토재의 경우 투수계수가 침출수위에 가장 크게 영향을 주며 폐기물의 경우에는 포장용수량, 간극률 그리고 초기함수비가 큰 영향을 주는 것으로 분석되었다.

Figure 7, 8에는 매립장 현장 누적수위에 대한 복토재와 폐기물의 간극률, 포장용수량, 위조계수의 상대적인 증감이 미치는 민감도를 도시하였다. 그결과 복토재의 경우는 간극률, 포장용수량, 위조계수의 순으로 간극률의 변화에 가장 큰 침출수위의 변화를 나타냈으며(Figure 7) 폐기물의 경우 포장용수량, 간극률, 위조계수의 순으로 포장용수량에 대한 침출수위의 변화가

가장 높은 것으로 나타났다(Figure 8).

흑복토재의 다짐 및 폐기물의 수리특성 변화에 따른 침출수위 분석

본 절에서는 현장에서 복토재로 많이 사용되는 흙에 대하여 다짐의 변화에 따른 투수계수와 포장용수량의 변화를 실내시험을 통하여 찾아내고 이들의 변화가 침출수위의 변화에 미치는 영향을 HELP를 이용한 물수지 분석을 통하여 검토하였다. 분석에 사용된 시료는 수도권 쓰레기 매립장에서 사용되는 복토재로서 통일 분류로 실트질 모래(SM)에 해당되며 소성지수는 NP로 분류되었다.

Table 3에는 실내시험결과 얻어진 투수계수, 포장용수량, 간극률 그리고 위조계수의 값을 나타내었는데 다짐도가 증가하여 건조밀도가 높아짐에 따라 투수계수가 급격히 감소한 반면 포장용수량의 변화는 약간의 증가를 보이고 있으며 위조계수는 동일함을 보여준다.

매립지의 매일복토재의 밀도에 따른 침출수위 변화를 알기 위하여 실험을 통하여 구한 각 수리특성자료들로 프로그램을 실행하여 보았다. 복토재의 경우는 상기 입력자료들과 기타 입력자료들은 민감도 해석시의 경우와 동일하게 적용하였으며 폐기물의 경우는 초기 함수비를 포장용수량과 동일하게 입력하고 기타 입력자료들은 민감도 해석시의 경우와 동일하게 적용하여 프로그램을 실행시켰다.

또한 국내 폐기물의 특징중의 하나인 높은 초기함수비가 매립장내 침출수위에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 폐기물의 초기함수비를 포장용수량과 동일하지 않게 차이를 주어 입력한 후 프로그램을 실행하였다. 폐기물의 초기함수비를 0.36 그리고 폐기물의 포장용수량을 0.32로 각각 적용하였으며 기타 입

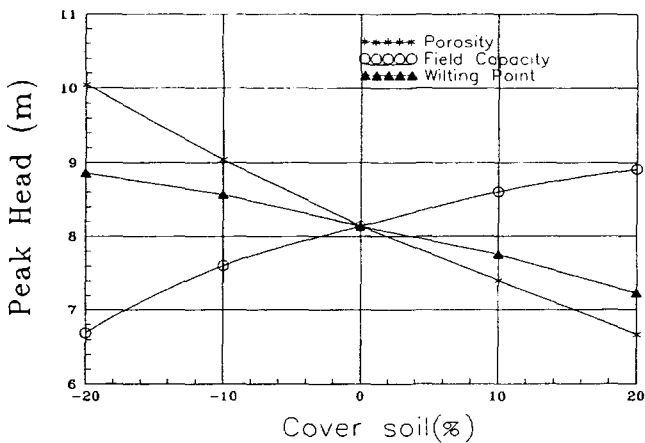


Figure 7. Comparison of the sensitivity for hydrologic parameters of cover soil.

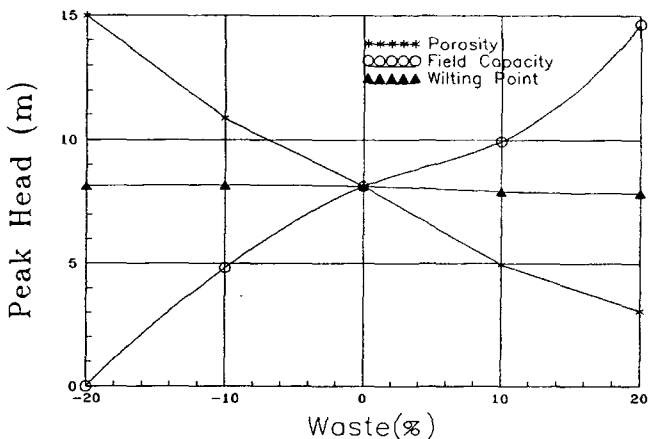


Figure 8. Comparison of the sensitivity for hydrologic parameters of waste.

Table 3. Change of hydrologic parameters with the different density of cover soil

Dry Density (t/m ³)	Porosity	Hydraulic Conductivity (×10 ⁵ cm/sec)	Field Capacity	Wilting Point
1.30	0.52	11.1	0.21	0.11
1.62	0.4	2.09	0.25	0.11
1.71	0.37	1.08	0.27	0.11

Table 4. Change of the leachate level with the initial water content and the field capacity of Waste

(a) the case that initial water content is equal to field capacity			
Dry Density (t/m ³)	1.30	1.62	1.71
Average Annual Leachate Level (m)	4.17	2.26	1.06
Max Daily Leachate Level (m)	6.95	3.89	1.94
Average Annual Lateral Drainage (m)	0.13	0.04	0.001
(b) the case that initial water content is larger than field capacity			
Dry Density (t/m ³)	1.30	1.62	1.71
Average Annual Leachate Level (m)	5.80	4.48	3.69
Max Daily Leachate Level (m)	7.69	5.18	4.84
Average Annual Lateral Drainage (m)	0.18	0.11	0.08

력자료들은 기 적용된 입력자료들과 동일하였다. 두 해석 결과 (Table 4(a), (b)) 모두 복토재를 다짐 할수록 침출수위가 감소하는 경향을 보였다.

폐기물의 초기함수비와 포장용수량의 크기를 동일하게 본 경우와 폐기물의 초기함수비가 포장용수량보다 큰 경우로 구분하여 해석한 결과 후자의 경우의 누적수위가 전자보다 큰 것으로 나타났다. 이때 나타난 누적수위의 차이는 폐기물의 초기함수비와 포장용수량의 차이에 의하여 형성되는 것으로 국내 생활쓰레기의 경우 음식물 쓰레기의 과도한 수분함량으로 인하여 초기함수비가 큰 것을 감안하면 국내 생활 쓰레기의 정확한 초기함수비와 포장용수량의 산출이 필요함을 알 수 있다.

결 론

매립장의 침출수위를 저감시키기 위한 복토재의 기능을 분석하기 위하여 매립장의 침출수지 분석 프로그램인 HELP를 이용하여 매립장의 현장 매립상태 및 침출수위를 재현시켜 검증한 후 민감도 분석을 실시하였다. 또한 흙복토재의 다짐에 의한 밀도-투수계수-포장용수량의 변화가 누적 침출수위에 미치는 영향을 실내시험 및 수치해석을 통하여 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 누적수위에 대한 수치해석을 통한 민감도를 조사한 결과 복토재와 폐기물 모두 간극률과 위조계수의 증가는 침출수위를 감소시키며 포장용수량과 투수계수의 증가는 침출수위를 증가시키는 것으로 나타났다.
2. 침출수위에 영향을 크게 미치는 인자는 복토재의 경우 투수계수이며 폐기물의 경우는 간극률, 포장용수량 그리고 초기함수비이었다.
3. 흙복토재의 다짐과 수리특성시험을 통한 투수계수와 포장용수량의 변화를 확인한 결과 다짐 밀도 0.4 ton/m^3 증가함에 따라 투수계수가 $\alpha \times 10^{-4}$ 에서 $\alpha \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ 로 감소하였으며 포장용수량은 0.21에서 0.27로 미미한 증가를 나타내었다. 누적수위에 대한 수치해석 결과 복토재의 밀도가 증가함에 따라 침출수위는 감소하는 것으로 나타났다.
4. 폐기물의 초기함수비가 폐기물의 포장용수량과 동일한 경우와 폐기물의 초기함수비가 포장용수량의 값보다 큰 경우로

계산한 결과 폐기물의 초기함수비가 포장용수량보다 크면 두함수량 차이에서 생성된 간극수가 증력에 의해 흘러나와 두수리상수가 동일한 경우의 해석보다 더 큰 침출수위를 형성하는 것으로 나타났다.

참고문헌

- Campbell, G. S., 1974, A simple method for determining unsaturated hydraulic conductivity from moisture retention data, *Soil Science*, 117(6), p. 311-314.
- McBean, E. A., Poland, R., Rovers, F. A. and Crutcher, A. J., 1982, Leachate collection design for contaminant landfills, *Journal of Environmental Engineering Division, ASCE*, 108, 204p.
- Moore, I. D., 1993, Landfill and surface impoundment performance evaluation manual, EPA SW 869, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Oweis, I. S. and Khera R. P., 1990, *Geotechnology of waste management*, Butterworths.
- Schroeder, P. R., Morgan, J. M., Walski, T. M. and Gibson, A. C., 1984, The hydrologic evaluation of landfill performance (HELP) model ; vol. 1, user's guide for revision1, EPA/530-SW-84-009, Municipal Environmental Laboratory, U.S. EPA, Cincinnati, Ohio.
- Schroeder, P. R., Dozier, T. S., Zappi, P. A., McEnroe, B. M., Sjoström, J. W. and Peyton, R. L., 1994, The hydrologic evaluation of landfill performance (HELP) model : engineering document for version 3, Municipal Environmental Laboratory, U. S. EPA, Cincinnati, Ohio.
- Sharma, H. D. and Lewis, S. P., 1994, Waste containment systems, waste stabilization, and landfills : design and evaluation, John Wiley & Sons, Inc.
- U. S. EPA, 1983, Landfill and surface impoundment performance evaluation, SW-869.
- 수도권 매립지 운영관리조합, 1995, 수도권 매립지(제1공구) 기반 시설 보완(지반 안정성 및 지하수 오염(중금속) 평가분야) 연구 보고서.
- 동아건설, 1996, 수도권 매립지 1공구 안정화 기본설계(지반분야) 종합보고서.