

폐기물 매립지 내에서의 침출수 거동(I)

- 현장조사를 통한 수리지반 특성 -

Leachate Behavior within the Domestic Seashore Landfill(I)
- Hydrogeologic Property Identification through In-situ Tests -

장 연 수*¹
Jang, Yeon-Soo

조 용 주*²
Cho, Yong-Ju

Abstract

In the case of domestic general waste landfills, cumulated leachate level is often formed in the landfill due to the waste of high moisture content and it becomes important to characterize the hydraulic properties of the disposed waste. Although many hydrologic studies have been performed for leachate barriers and pheripheral subsurface environments, few studies have been done to investigate the hydraulic property of the disposed waste and cover soils and to analyse the leachate flow behavior within landfills.

In this paper, the geotechnical properties of the waste and buried cover soils are identified through the field experiment including pumping and slug tests. The results of various tests show that the field density of the cover soils is somewhat higher than the maximum laboratory density of cover soils and the vertical flow of leachate and gas in the landfill is prevented by the buried cover soils. The hydraulic conductivities of field pumping test and slug tests are well matched and stayed in the range of hydraulic conductivities of well compacted wastes in the literature.

요 지

국내 일반폐기물 매립지의 경우 함수비가 높은 쓰레기의 특성으로 인하여 매립지 내부에 누적수위가 발생하는 경우가 많고 따라서 매립된 복토재와 쓰레기의 수리특성의 파악은 매우 중요하다. 폐기물 매립지의 설계시공 과정에서 매립지 하부차수재와 주변지반의 수리특성에 대해서는 많은 지반조사와 연구가 되어있으나 매립지내부 쓰레기와 복토재의 수리적특성 및 흐름거동에 대한 조사 및 해석은 국내외적으로 되어 있지 않다.

*1 정희원, 동국대학교 공과대학 토목환경공학과 부교수

*2 (주)한국해의기술공사

본 논문에서는 국내 대표적 폐기물 매립지에 대한 현장 지반조사로부터 쓰레기와 복토재의 지반공학적 특성을 파악하고 양수시험(pumping test)과 순간충격시험(slug test)을 이용하여 매립된 쓰레기와 복토재의 수리특성을 파악하였다. 현장지반조사 결과 매립된 쓰레기의 다짐정도는 실내시험의 최대 단위중량 값을 상회하는 것으로 나타났으며 쓰레기에 의하여 덮여진 중간 저투수성 복토재는 침출수와 가스의 수직 흐름을 방해하고 있는 것으로 보여진다. 현장 양수시험과 순간충격시험의 투수계수는 상호간에 잘 일치하고 문헌에서 나타난 잘 다져진 쓰레기의 투수계수 범위에 있는 것으로 나타났다.

Keywords : Intermediate cover soil, Leachate, Hydraulic conductivity, Pumping test, Slug test

1. 서 론

90년대 이후 우리 나라에서도 쓰레기 매립지의 설계시공에 대한 규준이 강화되고 이에 따라 매립지 시설을 계획할 때 매립지의 안정성과 그 존재로 인한 주변 환경의 오염가능성을 정밀하게 분석하는 기술이 발전되어 가고 있다. 현재까지 국내의 주요 매립지를 운용하여 본 바에 의하면 외국의 경우와는 달리 단계별 쓰레기 매립이 진행됨에 따라 침출수의 누적수위도 함께 증가되는 사례가 나타나고 있는데(Kim et al., 1996; 김수삼 외, 1996), 이러한 누적수위증가의 원인으로는 강우의 쓰레기층내로의 침투, 하부원지반층으로 부터 쓰레기층으로의 압밀침투, 매립된 쓰레기로부터 포장용수량이상의 함수성분의 누출 등 여러 가지가 있겠다. 매립쓰레기층의 누적수위 증가는 매립사면의 구조적 안정성을 저해할 뿐만 아니라 매립지내의 수두를 증가시킴으로 인하여 하부지반을 통한 침출수의 이동 가능성을 높이게 된다.

국내 매립지의 경우 복토재를 통한 강우 침투율을 최소화하기 위하여 저투수성의 양질복토재를 사용하고 있다. 이러한 저투수성 복토재의 사용은 복토재가 표면에 있을 때에는 강우 침투율을 최소화할 수 있는 장점을 가지고 있으나 상부 단계의 쓰레기 매립 진행에 따라 쓰레기에 묻힐 경우에는 불투수층으로 작용하여 하부에 있는 집배수관로

로의 수직흐름을 방해하는 역작용을 나타낼 수 있는 것으로 보인다.

본 연구에서는 저투수성 복토재를 매일 및 중간 복토재로 사용한 매립지 내부에서의 흐름거동을 파악하기 위하여 수도권 매립지 1공구 1개 블록을 선정하여 현장 지반조사 및 수리특성조사를 실시하고 매립지내부에서의 흐름 거동을 분석하였다. 현장 시추를 통해서 채취한 쓰레기와 중간복토재 시료에 대한 공학적 특성을 분석하고, 누적수위 변화와 복토재를 만났을 때의 주변 쓰레기의 함수비와 복토재 상하부의 함수비를 검토하여 침출수와 가스의 거동 메카니즘을 파악하였다. 현장 양수시험(pumping test)과 순간충격시험(slug test)을 수행하여 쓰레기의 수리특성을 파악하여 기존에 발표된 쓰레기 매립지의 투수성의 결과와 비교하였다. 본 지반조사결과를 통하여 파악된 수리지반특성을 이용하여 저투수성복토재와 쓰레기가 매립된 매립시스템 내부에서의 침출수 거동을 수치해석을 통하여 분석하여 장연수 외(1999)에 수록하였다.

2. 문헌에 의한 쓰레기의 투수특성

매립지의 투수특성은 일반적으로 지역적인 경험과 발표된 자료를 기초로 추정하나 실제 매립장의 설계시공을 위한 자료로 사용하기 위해서는 쓰

표 1. 쓰레기 투수계수 값의 범위

Reference	Unit weight (t/m ³)	Hydraulic conductivity (cm/s)	Method
Fungaroli et al. (1979)	0.112~0.416 (shredded waste)	$10^3 \sim 2 \times 10^2$	Lysimeter
Koriatis et al. (1983)*	0.881	$5.12 \times 10^3 \sim 3.15 \times 10^3$	Laboratory tests
Fang (1983)	0.573~1.137 (baled waste)	$7 \times 10^4 \sim 1.5 \times 10^2$	Laboratory tests
Oweis and Khera (1986)	0.657	2.6×10^3	Estimated based on field data
Oweis et al. (1990)	0.657	10^3	Pumping tests
	0.961~1.442	1.5×10^4	Falling head field test
Rowe and Nadarajah (1996)	-	$10^2 \sim 10^6$	Field data (Depth: 1~40m)
Landva et al. (1998)	1.0	Vertical : $10^2 \sim 10^6$ Horizontal : $2 \times 10^3 \sim 6 \times 10^5$	Laboratory tests (σ_v : 1~40 t/m ² , D : 44.7cm(V), 76cm(H))

* Referred from Oweis et al.(1990)

레기의 성질과 밀도의 고려와 연계된 현장시험이 필요하다. Oweis와 Khera(1986)는 Northern New Jersey에 Hackensack Meadows에 있는 매립지에서 침출수 누적수위와 침투 값으로부터 Harr(1962)의 식을 이용하여 쓰레기의 투수계수를 역계산으로 결정하였다. 역계산된 쓰레기의 투수계수 값은 2.6×10^{-3} cm/sec이었으며 그 후 같은 매립지에서 현장 양수시험을 실시한 결과 약 10^{-3} cm/sec로 역계산된 값과 거의 일치함을 보고하였다. Rowe와 Nadarajah(1996)는 New York에 있는 Fresh Kills Landfill에서 쓰레기의 이방성의 영향을 검토하였으며 깊이에 따라 수평투수계수가 감소하는 경향이 있음을 보고하고 있다.

Landva 등(1998)은 쓰레기의 실내 수직투수계수 장치와 수평투수계수 장치를 소개하였고 쓰레기의 깊이에 상당하는 수직응력을 가하여 투수계수를 실내시험에 의하여 산출하였다. 또한 이 실내시험 결과를 Rowe와 Nadarajah(1996)의 깊이에 따른 결과와 비교하였는데 거의 일치된 결

과를 나타내고 있으며, 20m 이내의 깊이에서는 대부분 10^{-4} cm/sec 보다 크다고 보고하고 있다. 이들은 실내시험에서 쓰레기의 투수계수를 측정할 때 중요한 요소는 샘플의 크기가 커야하며, 현장과 같은 다짐밀도를 가진 샘플에서 의미 있는 결과가 나타난다고 제안하였다. 여러 문헌을 통하여 소개된 쓰레기의 투수계수 범위를 요약하면 표 1과 같다.

3. 현장 지반조사

현장지반조사는 수도권 매립지 1공구내의 H블록을 대상으로 이 지역에 분포하고 있는 쓰레기의 성분분석, 복토재료의 토성 및 쓰레기층의 투수성을 파악하여 매립지내의 누적 침출수위를 저감할 수 있는 방안을 찾기 위하여 실시되었다. 매립지 현장시추조사를 통하여 누적수위변화를 체크하고 복토재를 만났을 때 주변쓰레기의 함수비와 복토재의 상하부 함수비를 검토하여 국부수위 형성 여부를 검토하였다. 쓰레기층의 투수계수와 저류

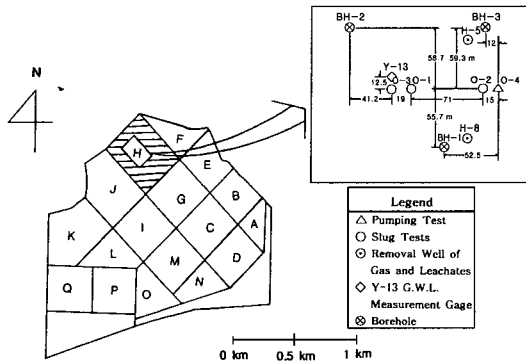


그림 1. 양수시험과 순간충격시험 및 응축수제거정의 위치

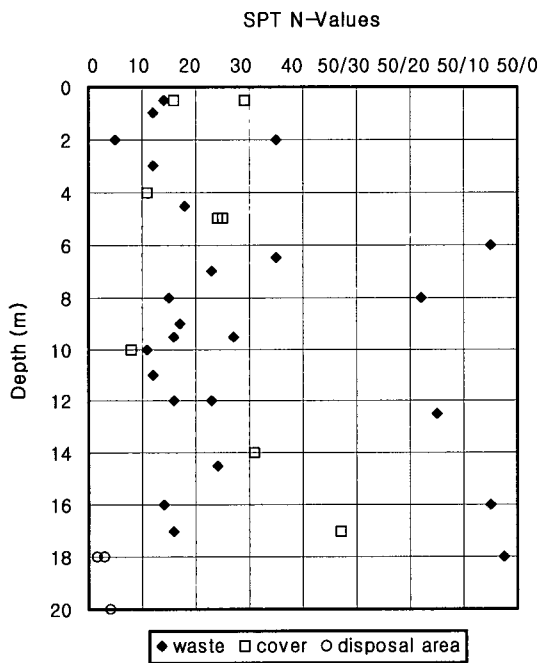


그림 2. 심도에 따른 표준관입 N치

계수를 양수시험과 순간충격시험을 통하여 규명하였고, 시추공에서 추출한 복토재 및 쓰레기에 대한 기본 물성시험 결과를 수록하였다.

그림 1은 현장 지반조사시 시추된 3개 시추공과 양수시험과 순간충격시험이 수행된 시추공의 위치를 나타내었다. O-1공~O-3공은 가스농도를 측정하기 위해서, BH-1공~BH-3공은 흡과

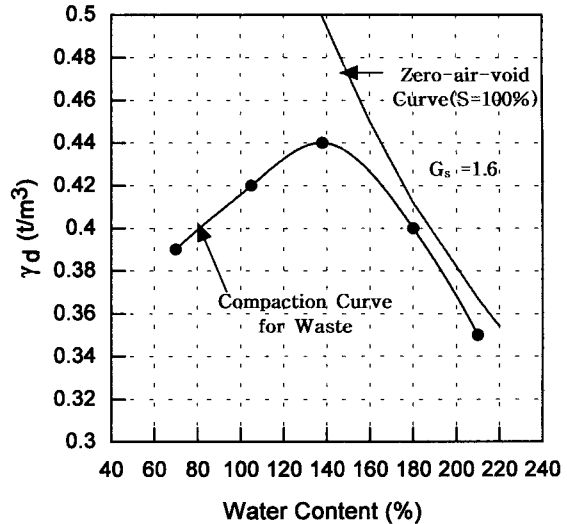


그림 3. 매립 쓰레기의 실내다짐시험 결과

쓰레기 샘플의 공학적 특성과 심도에 따른 함수비 및 N치를 획득하기 위해서, 그리고 H-5 공과 H-8 공은 가스와 침출수를 제거하기 위해서 설치되었다.

3.1 깊이별 표준관입 N치의 분포

그림 2는 현장지반조사 3개의 시추공에서 파악된 표준관입 N치의 심도에 따른 분포를 나타내었다. 이 결과에서 N치는 깊이에 관계없이 10~30 범위에 불규칙하게 분포하고 있으며, 높은 N치가 획득된 장소는 나무, 강판, 자갈 등과 같은 단단한 물질의 쓰레기가 위치하는 것으로 보인다. 복토층의 통일분류는 SM~ML이고 하부퇴적토층의 통일분류는 CL로 나타났으며 현장에서 다짐된 복토재의 건조단위중량은 2.05 t/m^3 이었다. 그리고 다짐된 쓰레기의 전체단위중량은 1.05 t/m^3 인데 실내다짐시험(최대건조단위중량 0.44 t/m^3 , 최적함수비 138%)에서 획득될 수 있는 최대값에 근접하고 있다(그림 3).

3.2 깊이별 함수비의 분포

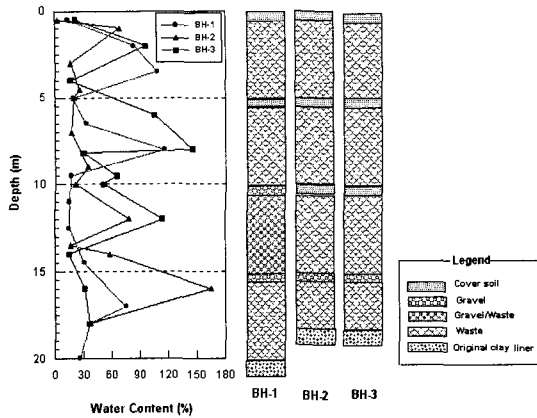


그림 4. 심도에 따른 쓰레기의 지층 및 함수비의 변화

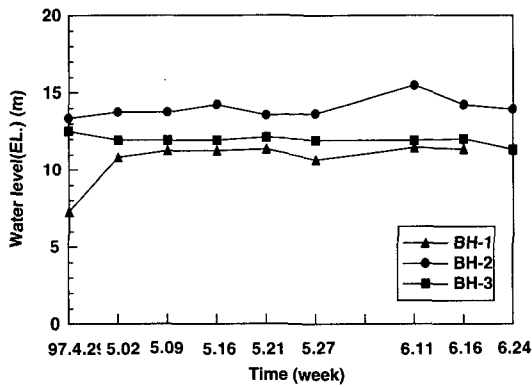


그림 5. 3개 시추공에서 시간 경과에 따른 침출 누적 수위의 변화

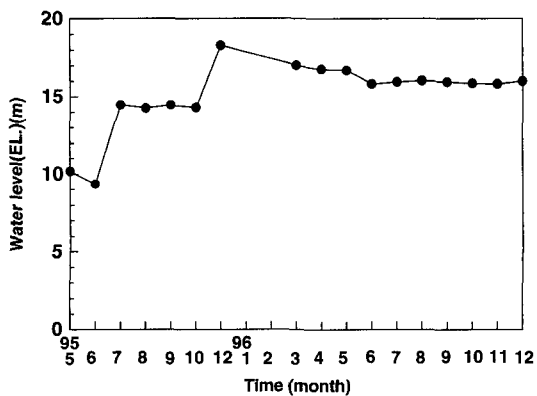


그림 6. Y-13 수위계에서 시간 경과에 따른 침출 누적 수위의 변화

그림 4는 심도에 따른 함수비의 분포와 매립된 세 시추공에 대한 쓰레기와 복토재의 지층을 함께 나타내었는데 중간복토와 쓰레기의 함수비는 중간복토재 하부에서는 낮고 중간복토재 상부에서는 높게 나타나고 있다. 이는 중간복토층이 가스의 상향 이동을 방해하여 중간복토층 하부에 가스가 집적되어 있어 함수비가 낮게 나타나는 것으로 보인다. 9m~14m 깊이 사이에서 BH-1공 샘플에 대한 함수비가 다른 두 시추공의 함수비와 비교해 볼 때 매우 낮게 나타났다. 이는 복토층이 없어 쓰레기가 매우 투수성이 좋은 곳에서는 침출수가 이들 층을 통하여 매우 쉽게 통과할 수 있기 때문에 쓰레기 샘플의 함수비는 매우 낮게 나타나는 것으로 보인다. 다른 두 시추공에서는 중간복토재가 불투수층을 형성하여 하부 집배수시스템으로 침출수의 수직흐름을 방해하고 있음을 알 수 있다.

3.3 공별 침출수위의 분포

그림 5는 2개월 동안 3개 시추공으로부터 측정된 침출수위의 변화를 나타내었는데 누적수위가 7m를 나타내는 BH-1공의 초기계측을 제외하면 10~15m 사이에 형성되고 있다. BH-1공의 낮은 수위는 매립지 가스(LFG)가 시추공에 축적되어 있다가 시추시 장시간에 걸쳐 누출되면서 나타나는 현상으로 풀이된다.

그림 6은 95년 7월부터 수개월에 걸쳐 쓰레기의 매립높이가 1단(5m) 상승하였을 때 변화된 수위를 현장에 시설된 침출수위계 계측자료로부터 도시한 것이다. 쓰레기가 1단이 높아짐에 따라 수위도 단 높이에 상응한 높이로 상승하였다가 수개월동안 천천히 저감하여 일정한 값에 수렴되는 현상을 보이고 있다. 이는 쓰레기 매립시 고함수비의 쓰레기내에 포함된 수분이 표면부의 다짐으로 인하여 빠져 나와 누적된 수위를 이루는 것으로

표 2. 양수시험 측정 결과

Time (min)	Drawdown (cm)	Cumulated pumping quantity (L)	Pumping rate (m ³ /min)
05	4.2	6.0	1.2×10 ⁻²
10	4.9	14.0	1.6×10 ⁻²
15	6.2	22.0	1.6×10 ⁻²
20	9.0	27.0	1.0×10 ⁻²
25	11.0	52.0	1.0×10 ⁻²
30	13.8	63.0	2.2×10 ⁻²
40	16.2	67.0	4.0×10 ⁻³
50	18.1	71.0	4.0×10 ⁻³
60	18.7	73.5	2.5×10 ⁻³
70	19.0	76.0	2.5×10 ⁻³
80	19.2	79.2	3.2×10 ⁻³
90	19.2	81.4	2.2×10 ⁻³
10	19.2	83.5	2.1×10 ⁻³
12	19.2	86.5	1.5×10 ⁻³
14	19.2	91.0	2.3×10 ⁻³
18	24.5	105.0	3.5×10 ⁻³
23	30.3	153.5	9.7×10 ⁻³
26	31.8	203	1.7×10 ⁻²
30	34.4	234.0	7.8×10 ⁻³
35	37.2	272.5	7.7×10 ⁻³
40	39.0	321.5	9.8×10 ⁻³
45	39.8	368.0	9.3×10 ⁻³
50	40.6	405.5	7.5×10 ⁻³
60	42.8	444.5	3.9×10 ⁻³
70	42.7	515.0	7.1×10 ⁻³
80	42.7	566.5	5.2×10 ⁻³
90	42.6	621.0	5.5×10 ⁻³
100	42.4	672.0	5.1×10 ⁻³
120	42.2	721.0	2.5×10 ⁻³
140	42.3	823.5	5.1×10 ⁻³
Average			6.5×10 ⁻³

보여지며 저투수 중간복토층의 영향으로 하부로
의 수직흐름이 저해되고 있기 때문에 나타나는 현
상으로 사료된다.

4. 현장 수리특성시험

4.1 양수시험(Pumping Test)

조사지역 쓰레기층내의 수리특성과 영향반경
을 산출하기 위하여 조사지역 동측에 있는 외경
100mm, 내경 90mm 인 가스추출정 1개소를 이
용하여 양수시험을 실시하였다. 양수펌프는 침출
수 배수를 위하여 설치된 진공식 배수펌프를 이용
하였으며 유량계를 이용하여 유량을 측정하였다.
수위의 측정은 공내 쓰레기에서 발생한 가스에 의
한 측정오류를 범하지 않기 위해 내경이 30mm인
PVC 파이프를 정호 안쪽에 설치한 후 전기저항
측정기를 이용하여 측정하였다.

표 2에는 양수정의 수위 심도 7.8m에서 각 시간
별 양수량의 평균값을 6.5×10⁻³m³/min로 하고
140분 동안 측정한 수위하강 결과를 나타내었다.

산출된 결과의 데이터는 Theis 분석법(1935)
과 Cooper-Jacob 분석법(1946)으로 투수계수
와 저류계수를 산출하였으며 이 분석법을 개략 설
명하면 다음과 같다.

Theis의 비평형 방정식은 대수층내에서 지하
수 흐름과 도체내에서 열흐름과의 유사성을 이용
하여 부정류 상태하에 있는 지하수 흐름에 관한
방정식 해를 구한 것으로 수위강하(drawdown)
s는 다음과 같이 표현된다.

$$s = h_e - h = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \quad (1)$$

여기서, s : 우물로부터 Q의 유량으로 양수함
으로써 발생하는 수위강하

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

$$\int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = W(u) : \text{우물함수(well function)}$$

우물함수는 직접 적분이 불가능하므로 무한급수해로 해를 구하면

$$W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = (-0.5772 - \ln u + u + \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} + \dots + \frac{u^n}{n.n!}) \quad (2)$$

u, W(u) 값을 알면 대수층의 투수량계수와 저류계수를 다음 식에 대입하여 구할 수 있다.

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u) \quad (3)$$

$$S = \frac{4T}{\left(\frac{r^2}{t}\right)} u \quad (4)$$

Cooper-Jacob(1946)은 식(2)에서 u이하의 항이 $\ln u$ 에 비하여 비교적 작은 경우(즉, 관측점의 거리 r이 작거나 또는 시간 t가 큰 경우, $u \leq 0.01$)에서는 괄호안에 있는 무한급수는 2개항만이 중요하다는 가정 하에 다음과 같이 간단히 정리하여 표현하였다.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} [-0.5772 - \ln u] \quad (5)$$

양수 후 오랜 시간이 경과하여 u가 적은 값으로 되어질 경우에는 식(5)를 이용하여 수위강하 s를 구할 수 있다. 식(5)를 다시 정리하면

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \ln \left[\frac{2.25Tt}{r^2 S} \right] = \frac{2.30Q}{4\pi T} \log \left[\frac{2.25Tt}{r^2 S} \right] \quad (6)$$

관측정을 1개만 설치하여 수위를 시간에 따라 측정하는 경우 r은 고정된 상수로 볼 수 있으므로 식(6)을 다시 정리하여 표현하면 다음 식(7)과 같다.

$$s = \frac{2.30Q}{4\pi T} \log \frac{2.25 \times T}{r^2 S} + \frac{2.30Q}{4\pi T} \log t \quad (7)$$

수위강하(s)와 시간(t)을 반대수지상에 도시하면 기울기로부터 T를 구할 수 있다.

$$\text{기울기} = \frac{2.30Q}{4\pi T} \quad (8)$$

또한, $s=0$ 되는 t_0 의 값을 찾으면 저류계수 S를 간단히 구할 수 있다.

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2} \quad (9)$$

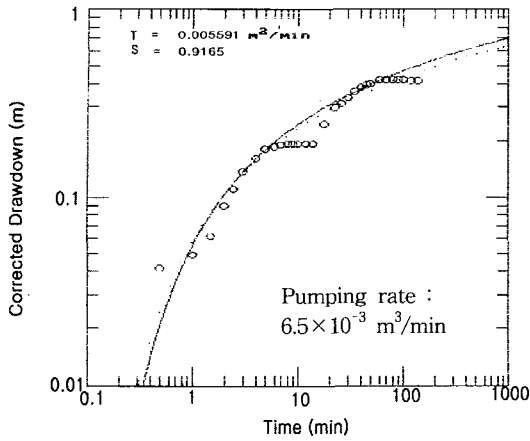
자유면대수층(unconfined aquifer)에서 부정류 상태의 well에 대한 대략적인 해는 수위강하(drawdown) 데이터를 식(10)과 같이 수정한 후 Theis 분석법(1935)이나 Cooper-Jacob 분석법(1945)으로 분석할 수 있다(Kruseman and De Ridder, 1979).

$$s' = s - (s^2/2b) \quad (10)$$

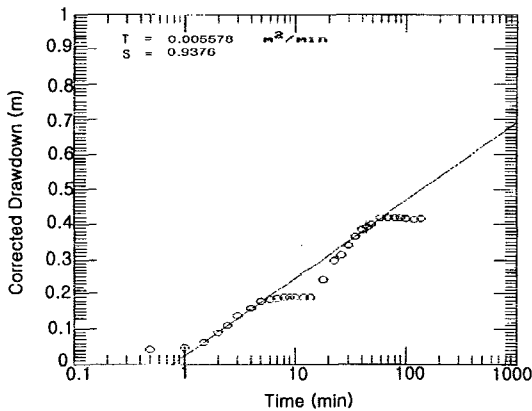
여기서, s' : 수정된 drawdown 데이터

b : 층의 두께

Theis(1935)의 type curve 분석법과 Cooper-Jacob(1945)의 semilog plot 분석법을 이용 분석한 결과를 그림 7a, b와 표3에 나타내었다. 그 결과 매립지내의 평균투수계수는 2.21×10^{-3} cm/sec, 비산출률(specific yield) S_y 는 0.928을 얻게 되었



(a) Theis의 Type curve 분석법



(b) Cooper-Jacob의 Semilog plot

그림 7. 양수시험에 의하여 나타난 시간-수위강하 곡선에 대한 분석

으며 표 1의 문헌상에 나타난 쓰레기층의 투수계수와 비교한 결과 이들 투수계수는 문헌(Oweis et al., 1990; Rowe and Nadarajah, 1996)에 나타난 생활 쓰레기 매립장의 투수계수 $\alpha \times 10^{-3}$ cm/sec 범위 내에 있음을 알 수 있다.

4.2 순간충격시험(Slug Test)

순간충격시험(slug test)은 체적을 알고 있는 더미(dummy)를 다목적 관측정내에 투입시키면 지하수위가 순간적으로 상승하였다가 시간이 지

표 3. 양수시험에 의하여 산출된 수리특성 자료

Hydraulic property	Cooper-Jacob	Theis	Average
T(m ² /min)	0.005578	0.005591	0.005585
S _y (dimensionless)	0.938	0.917	0.928
K(cm/sec)	2.20×10^{-3}	2.22×10^{-3}	2.21×10^{-3}

* Depth of pumping well : 7.8 m,
Saturated thickness (b) : 4.2 m

남에 따라 서서히 하강하면서 원상태로 되돌아가는데, 이러한 시간경과별 수위강하율을 현장에서 측정하여 수리상수를 구하는 방법이다. 본 조사에서는 그림 1에 나타난 시험공 6개소에서 매립지 내의 침출수보다 공내수위를 상향시킨 후 수위가 시간 경과에 따라 저감하는 자료를 Hermit 2000 data logger를 이용하여 찾아내고 AQTESOLV (Duffield and Rumbaugh, 1989)를 이용하여 곡선을 분석하였다.

본 매립지 내부를 자유면 대수층(unconfined aquifer)으로 보고 Bouwer-Rice 분석법(1976)을 이용하여 시간-수위강하 곡선을 curve fitting 하여 대수층 수리상수를 구하였는데 이 방법에 의한 시험정 주위 영향반경(R)이내에 분포된 대수층의 투수계수 K는 다음 식에 의하여 구할 수 있다.

$$K = \frac{r_c^2 \ln(R/r_w)}{2L} \cdot \frac{1}{t} \cdot \ln \frac{y_0}{y_t} \quad (11)$$

여기서, y_0 : well에서 순간적으로 상승한 초기수위

y_t : 시간 t에서의 수위

L : well 스크린의 길이

r_c : well 케이싱의 반경

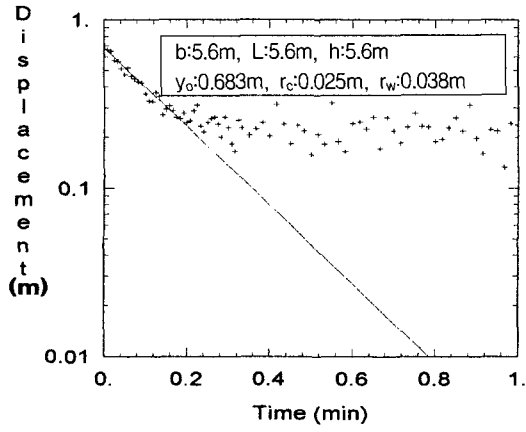
$\ln(R/r_w)$: 형상계수

R : 영향반경

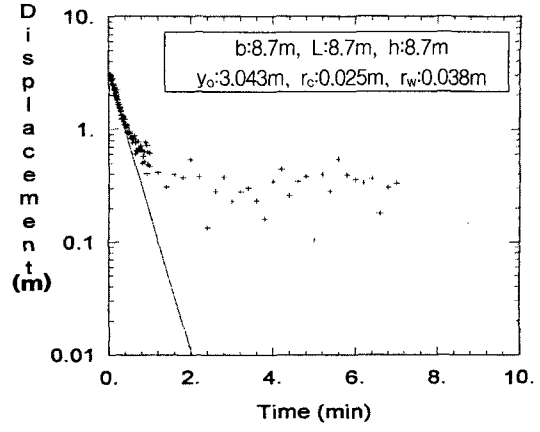
r_w : well 반경(gravel pack 포함)

H : 포화대내에서 힘정의 굴착심도

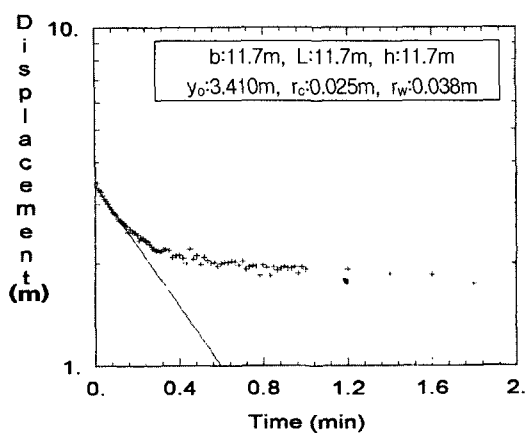
b : 대수층의 포화대 두께



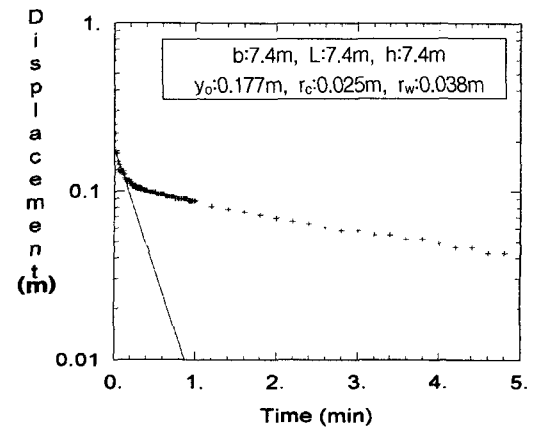
(a) O-1



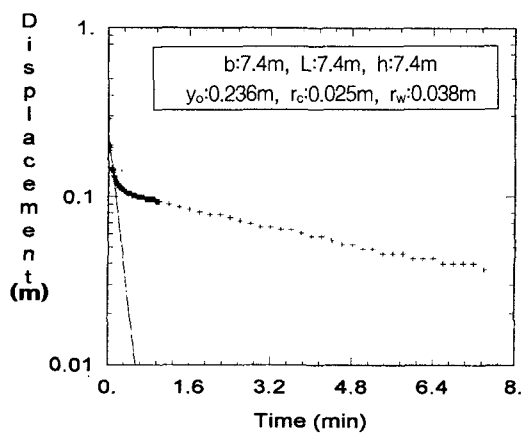
(b) BH-1



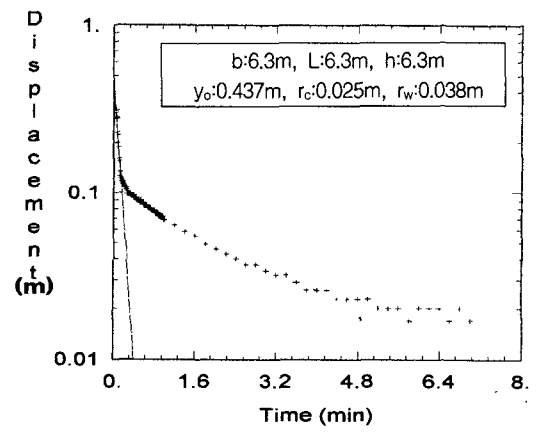
(c) BH-2



(d) O-2-1



(e) O-2-2



(f) O-3

그림 8. 순간충격시험에 의하여 나타난 시간-수위강하 곡선과 Bouwer-Rice 분석법을 이용한 분석

표 4. 순간충격시험에 의하여 산출된 결과

NO.	1	2	3	4	5	6	Average 3.37×10 ⁻³
Well No.	O-1	BH-1	BH-2	O-2-1	O-2-2	O-3	
K (cm/sec)	4.47×10 ⁻³	1.67×10 ⁻³	9.6×10 ⁻⁴	2.2×10 ⁻³	3.86×10 ⁻³	7.06×10 ⁻³	

그림 8은 Bouwer-Rice 분석법(1976)을 이용하여 획득한 6공의 slug test를 도기한 것으로 결과는 표 4에 요약하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 물을 주입한 후 10초에서 20초 내에 일정수위 상태로 수렴하였으며 수렴한 이후에는 매립지내에서 발생하는 가스로 인하여 시간별 입력 데이터가 분산되어 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 일반 암반이나 토사층에서는 볼 수 없는 현상으로 매립지의 수위하강법에 의한 투수계수 측정시에는 이러한 분산성을 극복할 수 있도록 충분한 유량을 흘려 넣고 자동수위계측장치를 이용하여 짧은 시간내의 수위거동을 파악하여야 함을 알 수 있다.

4.3 현장투수시험 결과의 비교

표 3과 4의 결과에서 알 수 있듯이 두 가지 다른 형태의 현장투수시험으로 수행된 결과가 거의 일치하고 있어 본 현장 투수시험이 매립지내의 복토재와 쓰레기가 혼합된 시스템의 투수특성을 잘 반영하였음을 알 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 저투수성 복토재를 매일 및 중간 복토재로 사용한 매립지 내부에서의 흐름거동을 파악하기 위하여 수도권 매립지 1공구 1개 블록을 선정하여 현장 지반조사 및 수리특성조사를 실시하고 매립지내부에서의 흐름 거동을 분석한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) 복토층의 통일분류는 SM~ML이고 하부퇴적토층의 통일분류는 CL로 나타났으며 현장에서 다짐된 복토재의 건조단위중량은 2.05 t/m³이었다. 그리고 다짐된 쓰레기의 단위중량은 1.05 t/m³으로 실내다짐시험에서 획득될 수 있는 최대값에 근접하였다.
- 2) 시추공을 통한 누적수위 변화와 심도에 따른 함수비의 분포, Y-13 수위계의 수위계측 결과로부터 침출수가 저투수성의 중간복토재 상부에 누적되어 있으며 중간복토층이 불투수층으로 작용하여 침출수의 하향 수직흐름과 가스의 상향 수직흐름을 방해하고 있음을 알 수 있었다.
- 3) 현장 투수시험을 통한 매립지 내부 복토재/쓰레기 시스템의 투수계수는 양수시험과 순간충격시험의 다른 형태의 시험으로 수행한 경우에 양수시험은 2.21×10⁻³cm/sec, 순간충격시험은 3.37×10⁻³cm/sec로 나타났으며 대상현장의 투수특성을 잘 반영하였음을 알 수 있다. 또한 현장투수계수 값을 문헌 값과 비교한 결과 잘 다져진 고밀도 쓰레기에서 나타나는 쓰레기 투수계수 값의 범위에 있는 것으로 나타났다.
- 4) 수위강하에 의한 쓰레기의 투수특성을 시험한 경우 물을 주입한 후 10초에서 20 초의 짧은 시간에 일정수위 상태로 수렴하였으며 수렴한 이후에는 매립지내에서 발생하는 가스로 인하여 시간별 입력데이터가 분산되어 나타났다. 이러한 경향은 일반 암반이나 토사층에서는 볼 수 없는 현상으로 매립지의 수위하강법에 의한 투수계수 측정시에는 이러한 분산성을 극복할 수 있도록 충분한 유량을 흘려 넣고 자동수위

계측장치를 이용하여 짧은 시간내의 수위거동을 파악하여야 함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구를 위하여 도움을 주신 동아건설(주)과 현장조사 수행에 도움을 주신 도화지질과 한서엔지니어링에 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 김수삼, 장연수, 강기민, 강민수(1996), "자연 해성점토 위에 건설한 폐기물매립장 기초지반의 침하와 활동 가능성", 한국지반공학회지, 제12권, 5호, pp. 41-53.
2. 장연수, 조용주(1999), "폐기물 매립장 내에서의 침출수 거동(Ⅱ)-누적수위 저감을 위한 양수법의 수치해석", 한국지반공학지(논문심사중).
3. Bouwer, H. and Rice, R.C.(1976), "A Slug Test Method for Determining Hydraulic Conductivity of Unconfined Aquifers with Completely or Partially Penetrating Wells," *Water Resources Research*, Vol. 12, No. 3, pp. 423-428.
4. Cooper, H.H. and Jacob C.E.(1946), "A Generalized Graphical Method for Evaluating Formation Constants and Summarizing Well Field History," *Am. Geophys. Union Trans.*, Vol. 27, pp. 526-534.
5. Duffield, G. M. and Rumbaugh, J. O.(1989), *Geraghty and Miller's Aquifer Test Solver Documentation*, Geraghty and Miller, Inc..
6. Fang, H.Y.(1983), *Physical Properties of Compacted Disposal Materials*, Unpublished Report.
7. Fungaroli, A.A. and Steiner, R.L.(1979), Investigation of Sanitary Landfill Behavior, Final Report, USEPA 600/2-79-053, Vol 1, p. 314.
8. Harr, M.E.(1962), *Groundwater and Seepage*, McGraw-Hill, New York, pp. 43-44
9. Kim, S. S., Kang, K. M., Kang M. S., and Jang, Y. S.(1996), "Stability Analysis of the Landfill on Marine Clay with Consolidation Effects," *Proceedings of the 2nd Int. Cong. on Environmental Geotechnics*, Osaka, Japan, November, pp. 233-238.
10. Kruseman, G. P. and De Ridder, N. A.(1979), *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*, Bulletin 11, Intern. Inst. for Land Reclamation and Improvements, Wageningen, Netherlands, 200p.
11. Landva, A.O., Pelkey, S.G. and Valsangkar, A.J.(1998), "Coefficient of Permeability of Municipal Refuse," *Proceedings of the Third International Congress on Environmental Geotechnique*, Lisbon, Published by A.A. Balkema, Rotterdam.
12. Oweis, I.S., Ellwood, R.B., and Greene, D. S.(1990), "Hydraulic Characteristics of Municipal Refuse," *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 116(4), pp. 536-553.
13. Oweis, I.S. and Khera, R.P.(1986), "Criteria for Geotechnical Construction on Sanitary Landfills," *Int. Symp. on Environmental Geotechnology*, Vol. 1, pp. 205-222.
14. Rowe, R.K. and Nadarajah, P.(1996), "Estimating Leachate Drawdown due to Pumping Wells in Landfills," *Canadian Geotechnical Journal*, 33(1), pp. 1-10.
15. Theis, C.V.(1935), "The Relation between the Lowering of the Piezometric Surface and the Rate and Duration of Discharge of a Well Using Groundwater Storage," *Am. Geophys. Union Trans.*, Vol. 16, pp. 519-524.

(접수일자 1999. 7. 5)