

압밀시험에 의한 쓰레기매립지의 침하특성

The Settlement Characteristics of Waste Landfill Site by Consolidation Test

신방웅* · 이봉직** · 배우석*** · 이종규**** · 안병철*****

Shin, Bang-Woong · Lee, Bong-Jik · Bae, Woo-Seok · Lee, Jong-Kyu · Ahn, Byung-Chul

Abstract

The settlement characteristics of waste landfill site must be considered in the design of sanitary landfill site as well as in the course of the rehabilitation of the landfill site.

Among prediction methods for settlement of landfill site, especially Gibson and Lo model and Power Creep Law have been successfully applied to the landfill site where the amount of settlement was large and the secondary settlement was obvious. Therefore, the effects of organic content on the model parameter values utilized in both Gibson and Lo model and Power Creep Law were studied by using a large consolidation testing apparatus.

The organic content is each 20%, 40%, 60% of total volume and consolidation load is 0.1~1.6kg/cm². The main results can be summarized as follows: (1) The reference compressibility of Power Creep Law is decreased according to the increments of consolidation load: (2)The field measurement is more similar to the Power Creep Law than the Gibson and Lo model.

Keywords : Sanitary landfill, Secondary settlement, Organic content, Long-term settlement

요 지

매립지의 침하특성들은 위생매립장을 설계할 때 뿐만 아니라 쓰레기매립토를 복원하는 과정에서도 반드시 고려해야 할 사항들이다.

매립지의 침하를 예측하는 여러 방법들이 연구되었는데 이들 중 특히 Gibson and Lo 모델과 Power Creep Law 방법들은 침하량이 크고 이차압축이 현저하게 나타나는 매립장에 잘 부합된다. 따라서 Gibson and Lo 모델과 Power Creep Law 방법에 사용되는 매개변수들이 유기물함량에 따라 어떠한 변화를 보이는지 대형압밀시험기를 이용하여 관찰하였다.

유기물함량이 각각 20%, 40%, 60%이고 압밀하중을 0.1~1.6kg/cm²로 가했을 때 Power Creep Law의 m(기준압축성)은 압밀하중의 증가에 따라 감소하였으며, 그 감소율이 유기물함량 증가량에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 현장계측치에 의한 침하량분석결과 Gibson and Lo model보다는 Power Creep Law에 의한 침하예측이 본 현장과 부합되는 것으로 나타났다.

주요어 : 쓰레기매립지, 이차침하, 유기물함량, 장기침하

1. 서론

우리나라의 경우, 대도시에 인구가 집중된 관계로 다량의 쓰레기가 발생되어 이들의 처리가 사회문제화되고 매립과 관련된 지반공학적인 문제가 대두되고 있다.

도시 주변에 주로 형성되었던 쓰레기매립지에 대한 관리뿐만 아니라

도시 주변에 주로 형성되었던 쓰레기매립지에 대한 관리뿐만 아니라

* 정회원, 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 정회원, 충주대학교 건설도시공학과 조교수

*** 정회원, 충북대학교 공과대학 토목공학과 박사수료

**** 정회원, 충북대학교 공과대학 토목공학과 박사수료

***** 정회원, 충북대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

아니라 향후 생활부지로서의 재활용방안에 대한 요구가 점차로 확대되는 실정이며, 이를 위해서는 쓰레기 매립의 침하특성, 강도특성 등에 관련된 지반 공학적인 접근이 필요하다. 이를 위해 많은 예측모델들이 지반공학적인 근거하에서 제안되어 왔다 (Sowers, 1973; Yen and Scanlon, 1975; Rao et al., 1973; Morris and Woods, 1990등).

본 연구에서는 기존의 침하량 예측모델식을 이용하여 대전시에 위치하고 있는 OO위생매립장의 침하특성을 파악하고자 유기물함량이 서로 다른 위치에서 시료를 각각 채취한 후 유기물 함량변화에 따른 압밀계수를 산정하였으며, 각 하중단계에 따라 어떠한 침하양상을 보이는지를 관찰하고자 하였다. 또한, 실내 실험과 현장계측치를 통해 얻은 이론식의 변수들을 서로 비교함으로써 해당매립지의 압밀특성을 파악 하였다.

2. 쓰레기 매립지 침하특성

2.1 쓰레기 매립지의 침하 메카니즘

침하를 유발하는 메카니즘은 다짐, 압축 등의 역학적 과정 (mechanical process)에 의한 것과 분해, 부패 등의 물리 화학적(physical-chemical) 또는 생화학적 과정(bio-chemical process)에 의한 것으로 나눌 수 있으며 그 외 산발적인 즉시침하를 유발하는 침하양상(ravelling) 등이 있다.

다짐은 매립과정에서 발생하는 동하중 또는 정적 하중에 의해 즉시침하를 유발시키며, 압축은 주로 쓰레기 지반자체의 자중 등으로 인한 정적 하중 증가로 유발되는 침하로 침하과정에서 나타나는 시간에 따른 침하특성에 따라 일차압축과 이차압축으로 나눌 수 있다.

쓰레기 매립지반의 경우에는 매립지반자체의 분해 및 부패로 인한 고형물질의 유체 또는 기체화로 시간에 따라 간극비가 늘어나므로 주어진 유기물 함량과 하중상태에서의 평형간극비를 만족시키기 위하여 침하가 유발될 수 있다. 또한 쓰레기매립지반의 일반적인 특성인 불균질성으로 인하여 부분적으로 간극비 증가가 많이 유발되는 경우나 큰 공간을 차지하였던 물질이 부패되면서 주변의 지반이 함몰되는 갑작스런 침하양상이 나타날 수 있다.

2.2 쓰레기 매립지의 침하예측모델

쓰레기 매립지반의 침하량을 보다 신뢰성 있게 산정하기 위하여 적용되어온 기존의 침하산정방법들로서는 Sowers(1973), Yen and Scanlon (1975), Gibson and Lo(1961), Power

Creep Law(1990), Rao 등(1977), Morris and Woods (1990) 등을 들 수 있다.

이들 중 Gibson and Lo 모델은 주로 지반의 이차압축거동을 모델화하기 위해 제안된 방법으로 이탄(peat)등과 같은 유기물이 많이 함유된 지반의 침하량을 예측하는데 적합한 모델이다. 또한 Power Creep Law에는 많은 공학적인 재료의 크리프 거동을 나타내기 위하여 멱승법칙이 사용되었다.

2.2.1 Gibson and Lo의 Model

임의의 시간에 대한 침하 변형율은 다음 식과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) &= \Delta\sigma [a + b(1 - \exp[-(\lambda/b)t])] \\ &= \Delta\sigma \cdot a + \Delta\sigma \cdot b(1 - \exp[-(\lambda/b)t]) \end{aligned} \quad (1)$$

식(1)은 그림 1에 나타난 바와 같이 하중 $\Delta\sigma$ 가 작용함에 따라 스프링상수 a 를 갖는 스프링이 즉각적으로 압축되고 λ/b 에 의하여 지체된 하중이 스프링 b 에 전달되는 것을 표현한 것이다. 나중에는 dashpot가 어떠한 하중도 받지 않게 된다. 이는 일정하게 유지된 하중하에서 일어나는 이차압축의 연속적인 변형과정을 모델링한다.

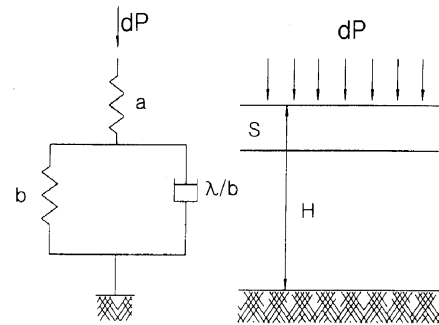


그림 1. The rheological model of Gibson and Lo

여기서 $\Delta\sigma \cdot a$ 는 초기침하량을 의미하며, $\Delta\sigma \cdot b$ 는 발생될 최종장기침하량 값을 의미한다. 따라서 시간에 따른 침하량 $S(t)$ 는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$S(t) = H\varepsilon(t) = HdP[a + b(1 - e^{-(\lambda/b)t})] \quad (2)$$

여기서, S : 침하량 P : 작용하중
t : 시간경과량 d : 쓰레기의 초기높이
ε : 변형률 λ/b : 이차압축률
b : 이차압축지수 a : 일차압축계수

식 (2)에 $dt = t_2 - t_1$, $d\varepsilon = \varepsilon(t_2) - \varepsilon(t_1)$ 을 대입한 다음 $\log(d\varepsilon/dt)$ 대 t 의 식으로 정리하면 다음과 같다.

$$\text{Log}\left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right) = -0.434 \left(\frac{\lambda}{b}\right)t + \log(dP\lambda) \quad (3)$$

식 (3)으로부터 $\log(d\varepsilon/dt)$ 대 t 의 그래프가 직선의 경향을 나타내는 이차압축 부분에서 이 직선의 기울기가 $-0.434(\lambda/b)$ 이고 절점이 $\log(dP\lambda)$ 이므로 λ/b 를 계산할 수 있다. 또한 $a = \varepsilon(t_R)/dP - b + be^{-\lambda t_R/b}$ 으로부터 a 를 계산할 수 있다.

2.2.2 Power Creep Law

시간에 따른 침하 변형률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S(t) = H\varepsilon(t) = HdPm(t/t_r)^n \quad (4)$$

여기서, m 은 기준압축성이며, n 은 압축률, t_r 은 기준시간으로 위의 식을 무차원량으로 만들기 위하여 적용되는 값이다. ε 는 변형률, dP 는 작용하중이다. 위식의 양변에 지수 로그를 취하여 정리하면

$$\log \varepsilon = n \log(t/t_r) + \log dP + \log m \quad (5)$$

이로부터 $\log \varepsilon$ 대 $\log t$ 가 직선 관계를 나타내는 이차 압축 부분에서 직선의 기울기는 n 이고 절점은 $(\log dP + \log m - n \log t_r)$ 이다. 즉 $\log \varepsilon$ 대 $\log t$ 의 그래프로부터 m 과 n 을 구할 수 있다.

3. 폐기물 실내실험방법 및 결과

3.1 실험장치

본 위생매립장의 침하특성을 파악하고자 실내 대형압밀실험을 실시하였다. 압밀실험장치는 직경 10cm, 높이 10cm의 원통형 cell로서 상·하부에는 배수 및 공급밸브가 설치되어 있어

이것을 통해 물을 공급시켜 대상지반을 포화시켰다(그림 2). 실험장치측면에는 간극수압측정장치가 부착되어 있어 압밀에 따른 간극수압을 측정할 수 있다.

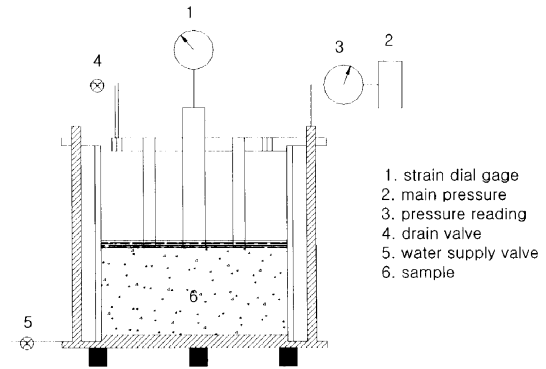


그림 2. A schematic diagram of large consolidation apparatus

3.2 압밀시험방법

3.2.1 시료조성방법

본 실험에 사용된 시료는 대전 ○○위생매립지에서 채취한 것으로 매립경과시간이 1년 6개월정도인 신선한(fresh) 쓰레기 매립층으로 총매립고(h)가 23m이다. 유기물함량이 서로 다른 위치를 선정하여 시료를 채취한 결과 유기물이 전체체적의 23%, 38%, 58.5%로 나타났다.

실험에 이용된 쓰레기 시료는 함수비가 31%(습윤 중량 기준)이고 유기물질 함량이 20%, 40%, 60%인 시료를 사용하였으며 쓰레기층 위에 포설되는 복토재는 전체 체적의 10%로 가정하였으며 단위중량은 $2.05t/m^3$ 이었다.

각각의 유기물질 함량 변화에 따른 시료의 함수비, 유기물질 함량 및 비중을 표 1에 수록하였다.

비중 실험 결과 총 유기물의 비중은 2.10~2.14이며, 무기물질의 비중은 3.12이다.

시료의 초기 높이는 60mm이며, 단위중량은 각각 1.06, 0.98, $0.91t/m^3$ 을 사용하였다.

표 1. The initial condition of sample

Sample	Organic substance content	Inorganic substance content	Sand and the others	Organic(Waste)		
				w (%)	G_s	γ (t/m^3)
S - 1	20%	65%	15%	31.58	2.12	1.06
S - 2	40%	45%	15%	31.43	2.14	0.98
S - 3	60%	25%	15%	30.30	2.10	0.91

3.2 실험방법

대형 압밀 실험기내에 시료를 다짐하여 성형한 다음, 하부의 공급밸브를 통해 물을 상부로 공급하고 상부의 배수밸브를 통해 물을 배수시킴으로써 시료를 포화시켰다. 초기 하중으로 0.05kg/cm^2 의 P_0 를 1시간 동안 가하면서 압축량(dm)을 측정한다. 시료의 성형 높이 6cm에서 이때 측정한 압축량(dm)을 감함으로써 시료의 초기 높이 H를 구한다.

실제 압밀하중 dP를 가하여 24시간 동안에 발생하는 시간별 침하량을 측정한다.

3.3 압밀시험결과

하중을 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6kg/cm^2 으로 순차적으로 가하면서 30', 1', 2', 4', 8', 15', 30', 1, 2, 4, 8, 24시간마다 침하를 측정하였다.

각 하중단계별 최종침하량을 측정하고, 실험이 종료된 후 시료를 건조시켜 건조시료무게를 측정하여 압밀시험에 관련된 토질정수를 구하였으며 그 결과는 표 2와 같다.

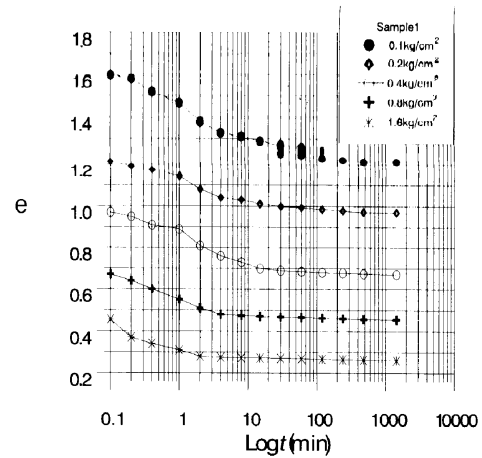
4. 실험결과분석

4.1 하중-간극비 관계

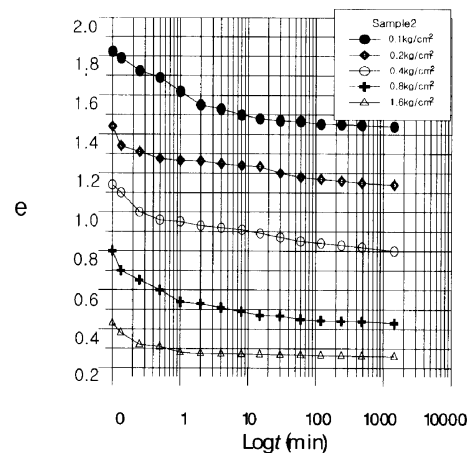
그림 3은 유기물질 함량변화에 따른 각 하중별 시간대수량 ($\log t$)과 간극비(e)간의 관계곡선들을 나타내고 있으며, 각 하중단계마다 초기 간극비에서 빠른 시간내에 일차압축이 완료되고 이차 압축특성이 나타나는 거의 일정한 율의 간극비 변화를 보여주고 있다.

유기물질 함량에 따른 간극비의 변화를 보면 유기물 함량이 증가함에 따라 간극비변화가 증가하였으며, 유기물함량이 동일한 시료의 경우에는 압밀하중이 증가함에 따라 간극비의 변화가 감소하는 것으로 나타났다.

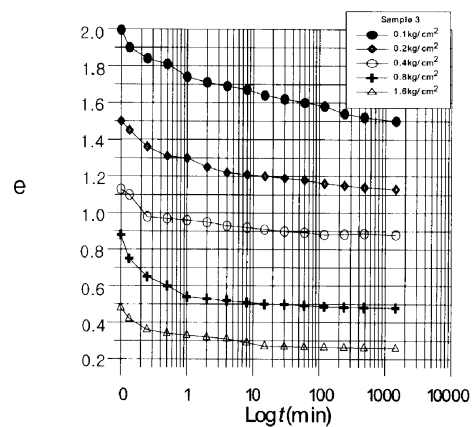
또한, 모든 시료에서 동일하게 초기하중(0.1kg/cm^2)단계에서 가장 큰 곡선의 기울기를 나타내었다.



(a) Organic content - 20%(S-1)



(b) Organic content - 40%(S-2)



(c) Organic content - 60%(S-3)

그림 3. The relationship of e and $\log t$

표 2. Physical properties of waste landfill

Sample	W (%)	G_s	γ_t (t/m^3)	e_0	C_v (cm^2/sec)	m_v (cm^2/kg)	C_c
S - 1	31.58	2.1	1.06	1.60	2.80×10^{-2}	4.43×10^{-1}	0.609
S - 2	31.43	2.1	0.98	1.83	2.21×10^{-2}	4.80×10^{-1}	0.680
S - 3	30.3	2.1	2.00	2.00	4.40×10^{-2}	5.85×10^{-1}	0.879

4.2 2차압축계수의 변화

이차압축계수는 변형률-시간대수량의 관계곡선에서 각 곡선에 접하는 접선의 기울기를 통해 얻을 수 있다. 이차압축은 입자의 재배열, 쓰레기 구성성분의 지체된(delayed) 압축 등에 의하여 장기적으로 발생되며 이러한 이차압축계수값은 응력강도(stress intensity) 및 단위밀도와 같은 지반공학적인 인자들에는 거의 영향을 받지 않는 것으로 연구된 바 있다(Rao 등, 1977).

그림 4에서는 현장계측결과를 이용해 이차압축지수를 구한 결과를 나타내었으며, 그림 5와 6은 실내압밀시험결과를 통해 하중강도가 0.1에서 1.6kg/cm²로 변화됨에 따라 이차압축계수값의 변화가 매우 적게 발생되고 있음을 나타내고 있다.

표 3은 현장계측과 실내실험을 통해 얻은 이차압축계수값을

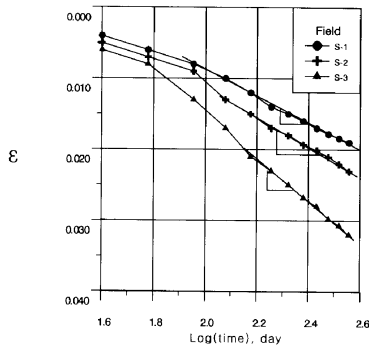


그림 4. The relationship of $\epsilon - \log t$ by field measurement

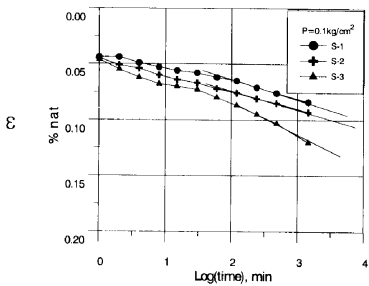


그림 5. The relationship of $\epsilon - \log t$ under $p = 0.1(\text{kg}/\text{cm}^2)$

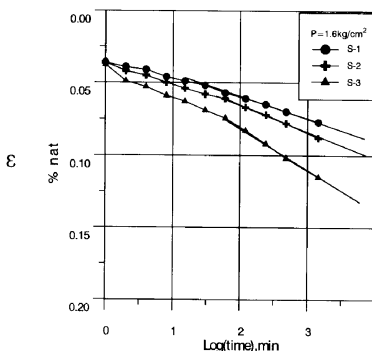


그림 6. The relationship of $\epsilon - \log t$ under $p = 1.6(\text{kg}/\text{cm}^2)$

보여 주고 있다. 유기물함량이 증가할수록 이차압축계수값이 증가하였으며, 하중강도에 따라서는 그 값이 0.09~0.013 정도의 차이가 있으나 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

표 3. The comparison of C_{α} by laboratory and field measurement

Site	Model test(C_{α})		Field measurement(C_{α})
	$P=0.1\text{kg}/\text{cm}^2$	$P=1.6\text{kg}/\text{cm}^2$	$P=1.6\text{kg}/\text{cm}^2$
S-1	0.0160	0.0150	0.0170
S-2	0.0170	0.0172	0.0173
S-3	0.0255	0.0280	0.0267

4.3 Gibson and Lo 모델에 의한 결과분석

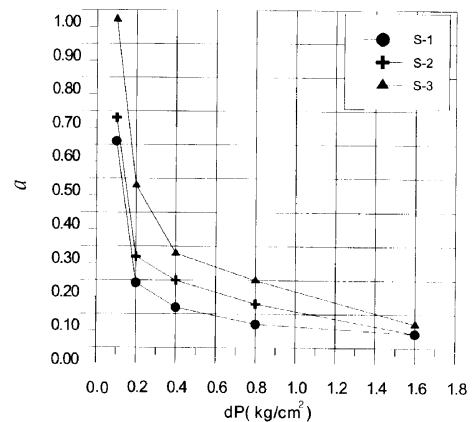
4.3.1 하중에 따른 a, b, λ/b 의 변화

대형압밀실험결과 얻어진 이차압축특성 결과로부터 Gibson and Lo 모델에 의한 변형률 증분의 대수량, $\log(d\epsilon/dt)$ 과 시간, t 와의 관계에서 선형적인 경향을 보이는 부분으로부터 모델 변수들 a, b, λ/b 들을 구하였다.

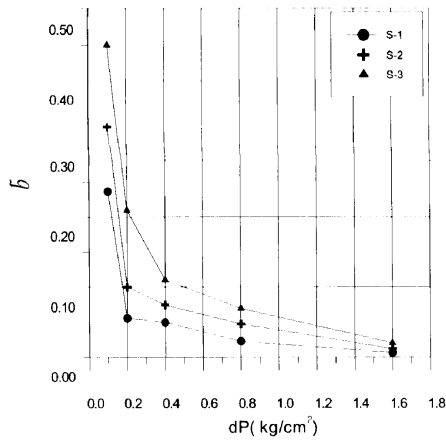
여기서 a를 산정할때는 일차압축이 거의 완료된 시점인 60분 이후의 압축자료에 대한 직선 근사식을 산출하였다.

그림 7에는 각 시료의 재하하중에 따른 변수들의 변화를 나타내고 있다. 일차압축거동시 압축정도를 나타내는 a값은 재하하중이 증가함에 따라 감소하며 유기질 함량이 커질수록 증가하는 경향을 나타내었다.

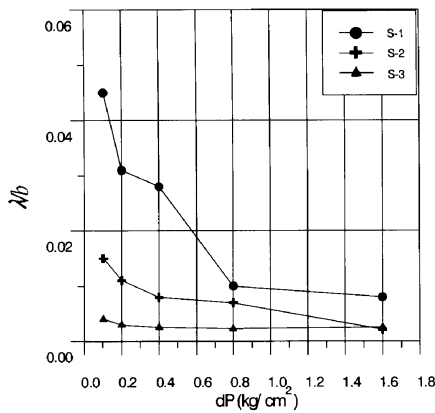
변수 b는 이차압축거동시 강성도를 나타내며 λ/b 는 이차압축률을 나타낸다. 작용하중이 증가할수록 유기물 함량이 가장 작은 시료 S-1은 λ/b 이 크게 감소하였으며 유기질 함량이 비교적 많은 시료 S-2, S-3은 λ/b 의 감소량이 비교적 적게 나타났다.



(a) The variation of parameter a



(b) The variation of parameter b



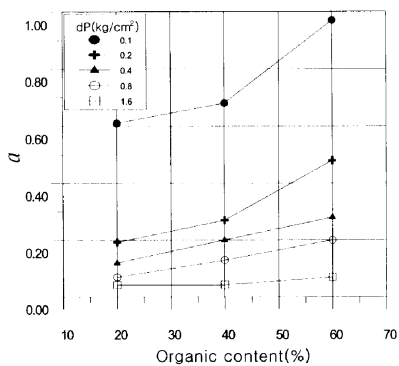
(c) The variation of parameter λ/b

그림 7. The variation of parameter due to load change

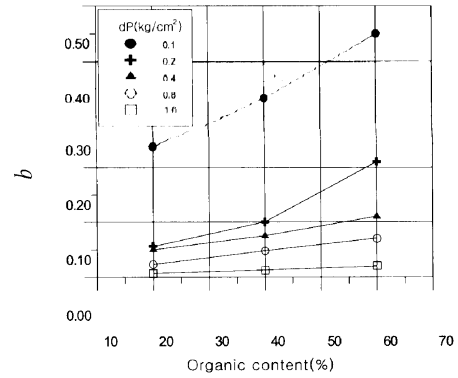
4.3.2 유기물질 함량의 변화에 따른 a, b, λ/b 의 변화

하중이 일정할 경우 유기물질 함량의 변화에 따른 a, b, λ/b 의 변화를 그림 8에 나타냈다. 일차압축계수 a는 유기물질 함량이 증가함에 따라 증가하며 작용하중이 클수록 증가폭이 감소하였다.

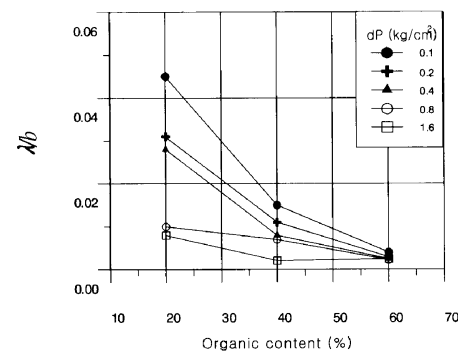
이차압축지수 b도 유기물질 함량 증가에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 이차압축률을 나타내는 λ/b 의 변화는 작용하중이



(a) The variation of parameter a



(b) The variation of parameter b



(c) The variation of parameter λ/b

그림 8. The variation of parameter a, b, λ/b due to organic content variation

증가할수록 오히려 감소하는 경향을 나타내었다.

4.4 Power Creep Law 이론에 의한 결과 분석

실험으로부터 얻어진 압축거동자료에서 이차압축경향을 보이는 부분에서 변형률의 대수량 $\log \epsilon$ 과 시간의 대수량 $\log t$ 의 직선근사식을 구하였다.

4.4.1 하중변화에 따른 m, n의 변화

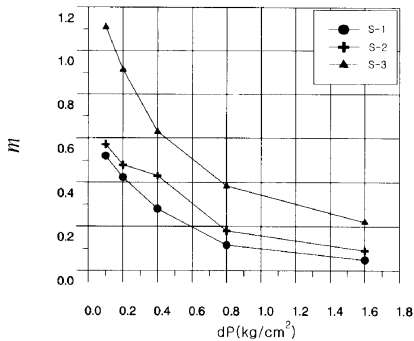
재하하중의 변화에 따른 m과 n의 변화가 그림 9에 나타나 있다. 초기침하량과 관련된 기준압축성을 나타내는 계수인 m을 산정할 때 기준시간, t_0 은 60분을 근거로 하였으므로 Gibson and Lo 모델에서 사용되는 변수인 a값과 동일한 값을 나타내었다. 유기물질함량이 적은 S-1시료의 경우 하중이 증가함에 따라 변수 m값의 감소폭이 유기물질함량이 비교적 많은 S-2와 S-3의 경우

보다 작았다.

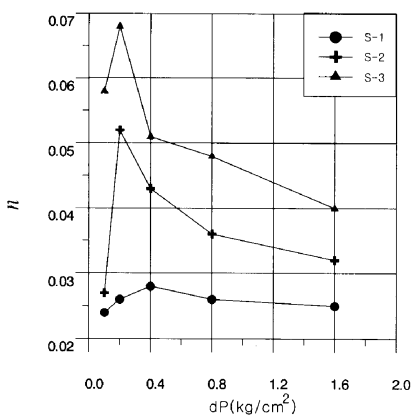
이차압축량과 관련되는 변수 n 은 유기물 함량이 매우 작은 S-1에서는 재하하중의 변화에 따라 거의 변화가 없었으며 S-3와 같이 유기물 함량이 비교적 큰 시료의 경우, 초기하중때에는 증가하다가 하중이 점점 증가함에 따라 다시 급격히 감소하는 경향을 보였다.

4.4.2 유기물함량에 따른 m , n 의 변화

작용하중이 일정할 경우 그림 10에 나타난 바와 같이 유기물

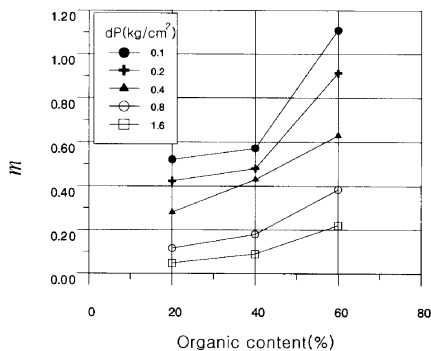


(a) The variation of parameter m

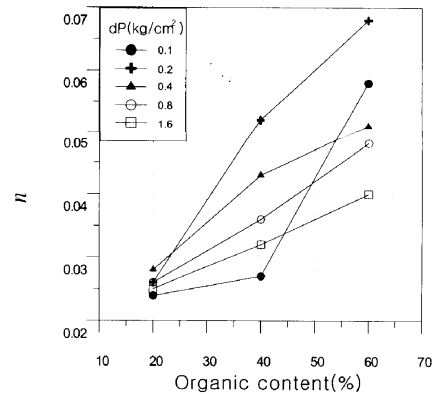


(b) The variation of parameter n

그림 9. The variation of parameter m , n due to load change



(a) The variation of parameter m



(b) The variation of parameter n

그림 10. The variation of parameter m , n due to organic content variation

질 함량이 증가할수록 변수 m 은 증가하였으며, 작용하중이 클수록 증가폭이 감소하였다. 변수 n 의 변화는 변수 m 에 비하여 다양한 분포도를 나타내어 일정한 경향을 보이지 않았다.

4.4.3 현장계측과 실내실험을 통한 m 과 n 의 비교

현장실측결과에서 얻어진 침하량에 대해서 Gibson and Lo 모델과 Power Creep Law를 적용한 결과 Gibson and Lo 모델의 경우 그림 11에 나타난바와 같이 선형적인 관계가 전혀 성립되지 않았으나, 그림 12에 나타난 바와같이 Power Creep Law식으로 현장계측치를 적용하였을 경우 어느정도 직선근사식이 성립되어 본 현장과 일치하는 경향을 보였다.

따라서, 본 연구에서는 현장의 계측치를 Power Creep Law의 이론에 적용하여 현장의 장기침하거동을 예측하는데 필요한 변수 m 과 n 을 산정하였다.

그림 4에 나타난 바와같이 기준압축성을 나타내는 m 의 경우 실내실험으로부터 얻어진 값은 0.049~0.22의 범위이며, 현장

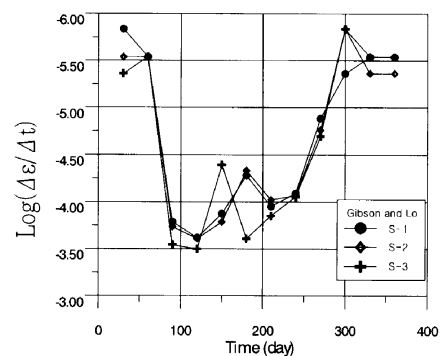


그림 11. The relationship of $\log(ds/dt)$ and t by field measurement

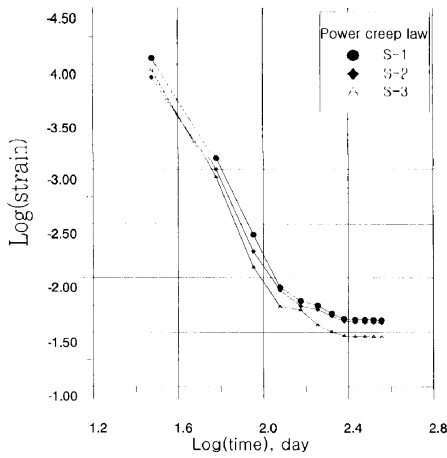


그림 12. The relationship of log ϵ and log t by field measurement

표 4. The comparison of m, n by laboratory test and field test

Power Creep Law	Model test	Field measurement
m	0.049 ~ 0.22	$\times 10^{-4}$
n	0.025 ~ 0.04	2.03 ~ 2.57

의 세지점에서 산정된 값은 거의 10^{-4} 정도의 값을 나타내고 있다.

그리고, 이차압축량과 관련되는 변수인 n의 경우 실내실험으로부터 얻어진 값은 0.025~0.04의 범위인데, 현장의 세지점에 대해서 산정된 값은 2.03~2.57의 상당히 큰 범위의 값을

나타내고 있다. 이것을 통해 현재의 매립지반은 아직도 일차압축의 상당부분이 완료되지 않은 것으로 판단되며 2차침하량도 매우 높을 것으로 예측할 수 있다.

5. 결론

대전시 OO위생매립지를 대상으로 쓰레기층의 유기물함량 변화에 따른 압밀특성을 분석하였으며, 현장계측과 실내실험을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 유기물 함량이 증가함에 따라 간극비 변화량이 증가하였으며 유기물함량이 동일한 시료의 경우에는 하층의 증가에 따라 간극비의 변화가 감소하는 것으로 나타났다.
- (2) 압밀하중의 변화에 관계없이 유기물함량이 높을수록 이차압축계수값이 증가하였으며, 이것은 현장계측치와 유사한 것으로 나타났으며 이를 통해 쓰레기의 역학적 압축특성에 크게 영향을 미치는 인자는 유기성 쓰레기의 유기물함량이라 할 수 있다.
- (3) 본 위생매립장은 Gibson and Lo 모델보다는 Power Creep Law의 이론에 의해 비교적 정확한 직선근사식을 얻을 수 있었으며, 따라서 Power Creep Law에서 압축률(n)을 실내모형 실험과 현장계측치를 비교해본 결과 현장계측치가 비교적 큰 범위의 압축률을 나타내어 본 대상지반은 현재도 일차압축이 진행되고 있음을 예측할 수 있다. ☺

참 고 문 헌

1. 환경부, "전국 일반 쓰레기 처리실적 및 계획", 1998.
2. 한국건설기술연구원, "도시폐기물 매립지반의 침하특성에 관한 연구", 1992.
3. 박현일, 이승래, 라일웅, 성상열(1997), "난지도 쓰레기 매립지의 침하특성" 한국지반공학회, 제13권, 제2호, pp.65~75.
4. 대한주택공사교육원(1999), "쓰레기매립지반의 처리기술", pp.34~38.
5. Sowers, G. F.(1973), "Settlement of Waste Disposal Fills", Proceedings of the 8th international conference on soil mechanics and foundation engineering, pp.207~210.
6. Vyalov, S.(1985), "Rheological Fundamentals of Soil Mechanics", Developments in Geotechnical Engineering, No.36.
7. Yen, B. C., and Scanlon, B.(1975), "Sanitary Landfill Settlement Rates", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.101, No.5, pp.475~487.
8. Rao, S. K., Moulton, L. K., and Seals, R. K.(1977), "Settlement of Refuse Landfills", Proc. Specialty Conf. of Geotech. Eng., Practice for Disposal of Solid Waste Materials, Ann Arbor, Michigan, pp.574~598.
9. Andersland, O. B., and AL-Khafuji, A. W. N.(1979), "Organic Material and Soil Compressibility", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 106, No.7, pp.497~508.
10. Edil, T. B., Ranguetti, V. J., and Wuellner, W.W.(1990), "Settlement of Municipal Refuse", Geotechnics of Waste Fills-theory and Practice, ASTM SPT 1070, Philadelphia, pp.225~239.