

사용종료 쓰레기매립지의 장기침하특성 분석

Long-term Settlement Characteristics of Closed Landfill

정하익¹⁾, Ha-Ik Chung, 진현식²⁾, Hyun-Sik Jin, 김상근²⁾, Sang-Keun Kim
이강민³⁾, Kang-Min Lee, 김태섭⁴⁾, Tea-Seob Kim

¹⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow, Dept. of Civil Eng., KICT

²⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Dept. of Civil Eng., KICT

³⁾ 유구엔지니어링(주) 전무이사, Managing Director, Yoogu Engineering Co. Ltd

⁴⁾ 삼성물산 건설부문 부장, Department Manager, Samsung Co. Ltd.

SYNOPSIS : Waste body settlement is an important aspect of management of landfill sites both during the operational and the post-closure phases. Settlement in landfill waste is caused by combination of load, creep and biodegradation induced effects. In this paper, settlement characteristics of closed waste landfill were studied by analyzing in situ measured data and computer simulation technique. Techniques for the analysis of load-induced and creep settlement, and for their implementation, can be adapted for landfill waste. The estimate of settlements from models shows a increase according to time.

Key word : Settlement, Long-term settlement, Landfill, model

1. 서론

최근 대도시 주변에 형성된 쓰레기 매립지의 사후활용 방안에 대한 관심이 점차로 고조되고 있는 실정이며, 이를 위해서는 쓰레기 매립지의 침하특성에 관련된 지반공학적 접근이 필요하다.

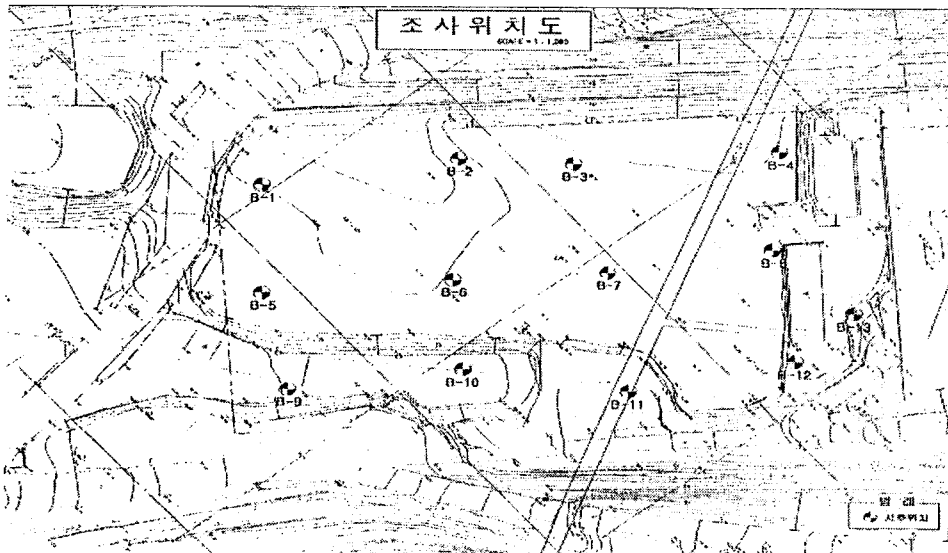
쓰레기 매립지의 침하양상은 수십년에 걸쳐서 발생되므로 이에 대한 거동특성을 파악하는 것 뿐만 아니라 장기침하량을 비교적 정확하게 예측하는 데에는 상당한 어려움이 따르는 것으로 알려져 있다.

○○ 쓰레기 매립지는 1978년부터 매립되어 1993년에 폐쇄될 때까지 도심지에서 배출되는 쓰레기가 매립된 곳이다. 이와 같은 쓰레기매립지의 침하양상을 분석하기 위하여 약 20여개의 침하판이 설치되어 일정기간 계측이 실시되었다.

본 연구에서는 ○○ 쓰레기 매립지에서 얻어진 계측자료를 이용하여 매립지내 특정부지에 대한 침하양상을 규명하였고, 이를 근거로 경험식, 이론식, 모델링 등의 각종 기법을 도입하여 장기침하량을 추정하였다.

2. 연구대상 지역의 개요

연구대상 쓰레기 매립부지는 기존의 주 매립지내에 위치하고 있는 소규모의 부 매립부지이다. 그림 1은 연구대상지역의 평면도 및 각 지점별 쓰레기 층두께를 나타내고 있다.



지점	매립층 두께 (m)
B-1	33.2
B-2	28.8
B-3	28.1
B-4	26.5
B-5	31.5
B-6	26.8
B-7	26.9
B-8	30.3
B-9	19.0
B-10	21.3
B-11	24.9
B-12	25.5
B-13	25.4

그림 1. 연구대상지역의 평면도 및 각 지점별 쓰레기 층 두께

3. 연구대상 매립지의 침하특성

매립지에서 발생하는 침하량 예측을 위해 여러 학자들이 제안한 침하량 산정방법들에 대하여 검토하였다. 침하량 산정방법중 Morris와 Woods의 방법은 일차압축량과 이차압축량을 산정하기 위해서 사용되는 변수인 일차압축지수, C_c 와 이차압축지수 C_a 가 간극비와 선형관계를 갖는다는 가정과 함께 C_c 와 C_a 를 산정할 때 사용자의 공학적인 판단이 요구되므로 정량적인 침하예측에는 적용하기 곤란한 점이 있는 것으로 판단된다.

따라서, 폐기물 매립지반에서의 장기침하특성을 잘 표현하는 Sower 및 Yen & Scanlon 방법과 현장 계측치를 이용한 침하량 예측방법인 Gibson & Lo 모델, Power Creep Law 방법, 쌍곡선법, Hoshino법을 이용하여 매립지의 장기침하량 산정 및 적용성을 검토하였다.

하지만, 본 연구대상지역에서는 현장계측이 수행되지 않은 관계로 주 매립지에서 계측된 자료를 이용하여 침하량을 산정하였다. 침하량 산정을 위해 이용한 계측자료는 총 19개소에 설치한 침하판에서 계측된 침하자료이며, 이 자료를 이용하여 연구대상 지역내 각 지점별 침하분포를 Gibson & Lo 방법, Power Creep Law 방법, 쌍곡선 방법 및 Hoshino 방법을 이용하여 침하량을 산정하였다. 그리고 침하량 산정 시 계측자료는 주 매립지(깊이 90.0m)에 대한 침하자료이므로 연구대상지역에 적용 시 깊이보정을 하여 각 지점별 침하량을 산정하였다.

또한, Sowers의 이론적인 방법 적용 시 주 매립지와 연구대상지역의 매립종료시점(그림 2 참조)이 상이하므로 매립종료시점을 고려하여 침하량을 산정하였다. 그리고 유한요소프로그램인 SAGECRSP3.02b를 이용하여 차량하중에 의한 즉시침하를 산정하여 매립에 의한 부패침하량과 차량하중에 의한 즉시침하를 합산하여 연구대상지역에서의 최종침하량을 산정하였다.

4.1 계측에 의한 방법

본 연구대상지역에서는 계측이 수행되지 않았기 때문에 주 매립지에서 계측된 계측자료를 이용하였다. 여기서 적용된 방법은 Gibson & Lo, Power Creep Law, 쌍곡선 및 Hoshino 방법 등이다. 연구대상 각 지점별에서 각각의 예측기법을 적용하여 시간-침하량을 산정하여, 각 방법별로 19개 지점에 대하여 회계분석을 실시하여 각 방법별에 대하여 하나의 시간-침하량 곡선을 산정하여 이를 연구대상지역에 적

용하였다. 또한, 이 값을 연구대상지역에 적용 시
을 하였다. 그림 2에 현장계측자료를 이용하여 연
구대상지역에서의 침하예측을 하기 위한 흐름도
를 나타내었다. 각 방법에 의한 침하량은 다음과
같다.

그림 3은 주 매립지 현장계측자료를 이용한
부 매립부지의 13개 지점에 대한 시간에 따른 침
하량을 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 대부분의
침하는 3년 이내에서 거의 다 발생하고 있으며, 3
년 이후부터는 침하증가는 아주 미소하게 나타나
고 있다. 하지만, Power Creep Law 방법에 의한
침하는 5년 시점에서부터 수렴하고 있으며, 10년
이후부터는 침하량은 미소하게 증가하고 있다. 향
후 17년 경과시점은 앞서서도 언급되었지만, 연구
대상지역에서의 매립완료 시점은 1987년이므로
매립완료 후 30년이 되는 시간이다.

쌍곡선, Hoshino, Gibson & Lo 및 Power
Creep Law 방법에 의한 매립종료 후 30년경과
후 (향후 17년) 시점에 대한 침하량의 범위는
11.084~19.368cm, 11.465~17.870, 11.978~
20.929cm 및 14.560~22.395cm이며, 이에 평균은 15.625cm, 14.417cm, 16.885cm 및 18.309cm으로 나타나
대부분의 침하량이 20cm이내임을 알 수 있었다.

압축성깊이가 상이하므로 각 지점별에 따라 심도보정

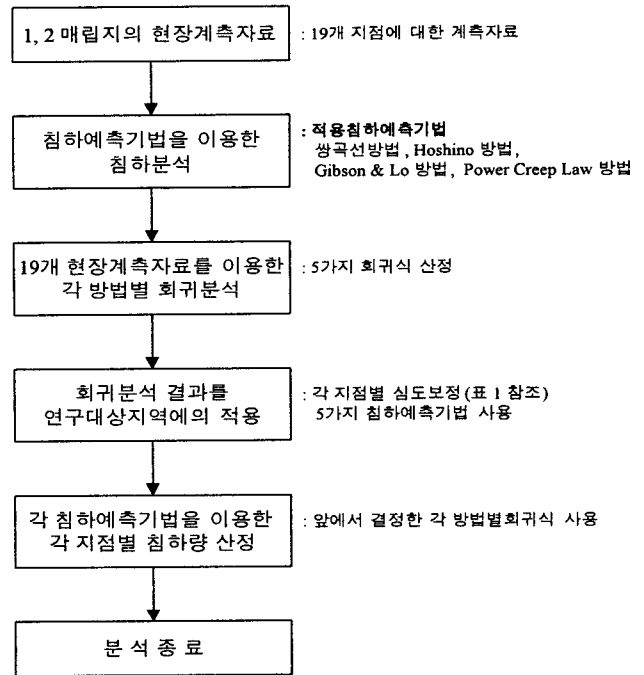
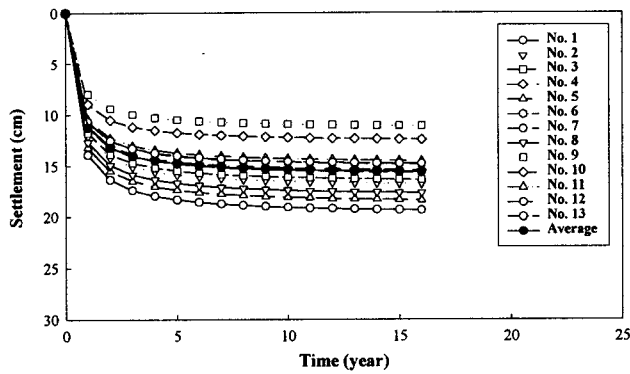
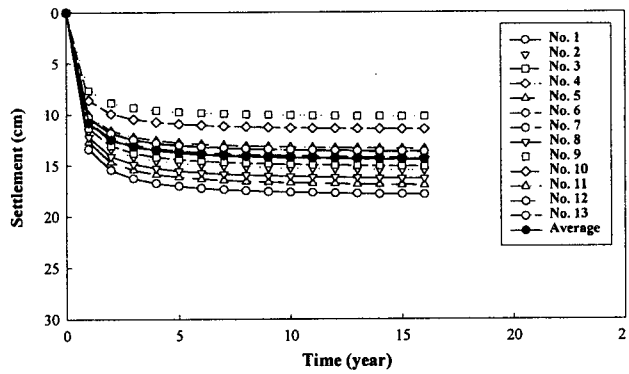


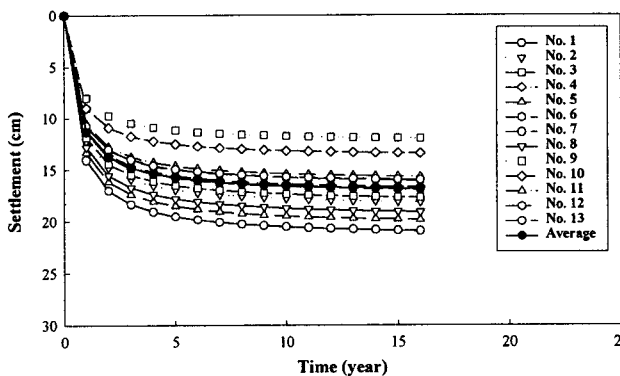
그림 2 계측에 의한 침하분석 흐름도



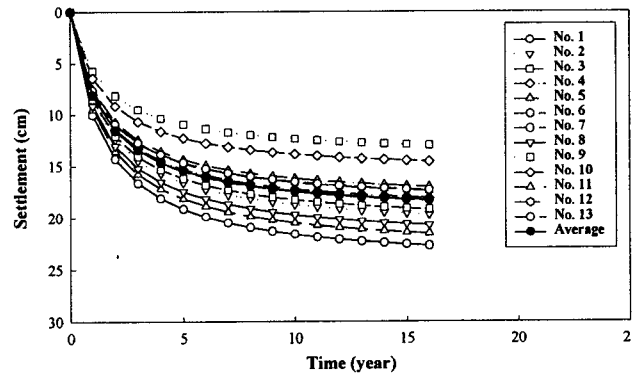
(a) 쌍곡선 방법



(b) Hoshino 방법



(c) Gibson & Lo 방법



(d) Power Creep Law 방법

그림 3. 시간에 따른 침하량

4.2 이론적 방법

그림 4는 Sowers 방법에 의한 13개 지점에 대한 시간에 따른 침하량을 보여주고 있다. 계측에 의한 방법결과와는 상이하게 침하는 수렴하지 않고 시간과 함께 증가하고 있다. 이것은 Sowers 방법은 시간의 함수로 구성되어 있으므로 시간이 증가함과 동시에 침하가 증가하게 되어 있기 때문이다. Sowers 방법에 의한 향후 17년(매립종료후 30년) 경과시점에서의 침하량의 범위는 11.821~16.388cm이며, 평균은 13.919cm 이다.

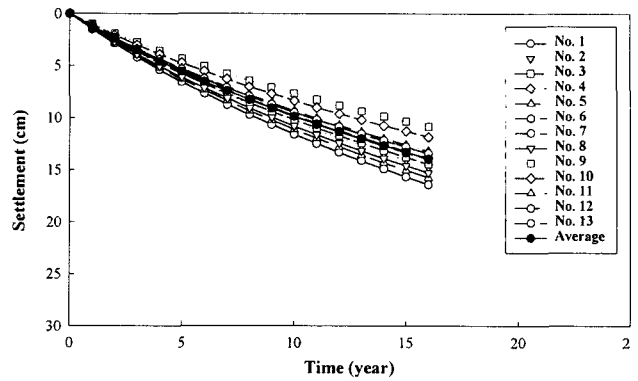


그림 4 Sower 방법에 의한 시간에 따른 침하량

4.3 유한요소에 의한 즉시 침하량 산정

연구대상지역에서 차량하중에 의한 즉시 침하량을 산정하기 위해 사용된 프로그램은 SAGE CRISP(3.02b)로, 지반과 구조물간의 거동을 해석할 수 있는 유한요소해석법이다. 그림 5는 본 해석에서의 유한요소망, 하중재하도 및 구속조건을 나타내고 있다. 변위경계조건은 요소망의 좌·측면은 수평변위를 구속하였고, 요소망 최저면은 연직 및 수평변위를 구속하였다. 그리고 요소망 최상부에서는 차량하중(1.3 t/m^2)에 상응하는 상재하중을 적용하였다.

본 해석에 사용된 Element Type은 2차원 평면요소(Plane Element)를 사용하였으며, 해석단면의 대상지반은 Mohr-Coulomb Model을 이용하였다. 또한 또한, 그라우팅과 지반과의 경계면에 interface 요소를 적용하였다. 그리고 해석에 이용된 유한요소망은 6절점 삼각형요소가 600개가 341개의 절점으로 구성되어있다. 또한, 실내시험결과 및 공내재하시험결과를 이용하여 각 해석에 부여한 입력매개변수를 표 1과 같이 결정하였다.

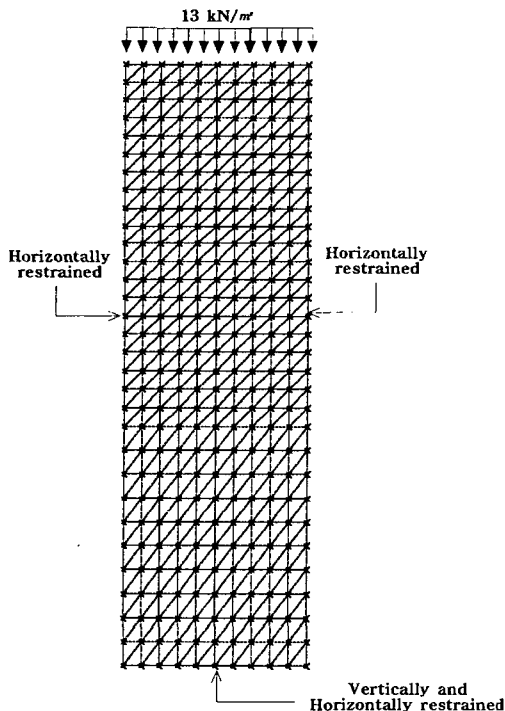


그림 5. 유한요소망

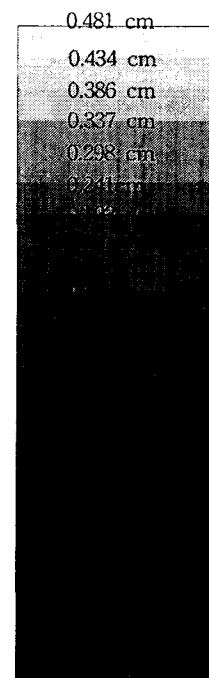


그림 6. 즉시침하 등고선

차량하중에 의한 즉시침하량 산정을 위해 유한요소해석을 수행한 결과 즉시침하량은 0.5cm 정도로 나타났다. 차량하중에 의한 즉시 침하량은 부패 침하량에 비하여 아주 미소하게 나타났다. 그림 6은 유한요소해석에 의한 즉시침하량의 등고선을 보여주고 있다.

표 1. 입력매개변수

심도	Es, (kg/cm ²)	ν'	C, (kg/cm ²)	ϕ , (°)	γ_t , (kg/cm ²)
0~10.0m	25.11	0.49	0.15	28.0	1.2
10~20.0m	75.34	0.49	0.15	28.0	1.2
20.0~30.0m	125.58	0.49	0.15	28.0	1.2

4.4 비교분석

그림 7은 각 침하예측방법별 시간에 따른 침하량을 보여주고 있다. 여기서 침하예측방법별 침하량은 13개 지점을 평균한 값과 즉시침하량을 합산한 값을 사용하였다.

각 방법에 의한 침하량은 20cm 이내이며, 매립 후 30년 경과 시점에서의 평균침하량은 16.311cm이다. 각 방법별 지점별 최종침하량은 표 2와 같다. 각 지점별 침하등고선은 그림 8과 같다.

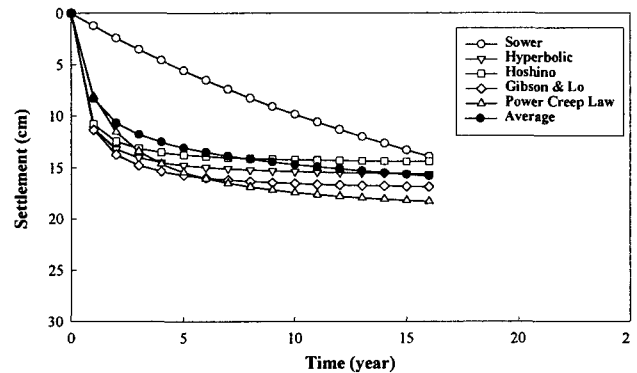
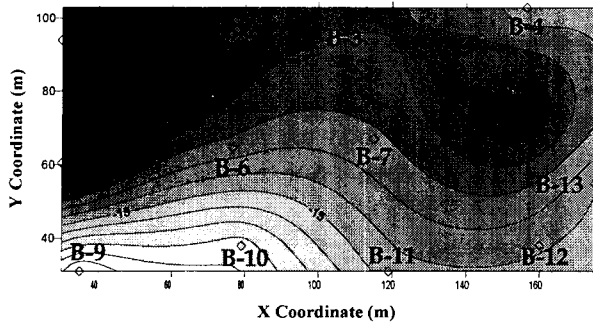


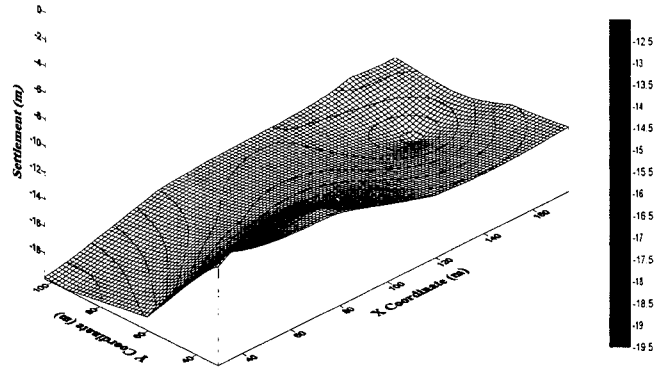
그림 7. 각 방법별 침하량 비교분석

표 2. 각 방법 및 지점별 최종침하량

구 분	각 방법별 침하량 (cm)					평 균
	Sowers	쌍곡선	Hoshino	Gibson & Lo	Power Creep Law	
No. 1	16.869	19.849	18.351	21.410	23.176	19.931
No. 2	15.180	17.282	15.983	18.636	20.168	17.450
No. 3	14.911	16.874	15.606	18.195	19.690	17.055
No. 4	14.297	15.940	14.745	17.187	18.596	16.153
No. 5	16.216	18.857	17.436	20.339	22.014	18.972
No. 6	14.413	16.115	14.906	17.376	18.801	16.322
No. 7	14.451	16.120	14.960	17.439	18.869	16.368
No. 8	15.756	18.157	16.790	19.582	21.193	18.296
No. 9	11.327	11.565	10.708	12.459	13.469	11.906
No. 10	12.302	12.907	11.946	13.908	15.041	13.221
No. 11	13.683	15.007	13.884	16.178	17.502	15.251
No. 12	13.914	15.357	14.207	16.556	17.912	15.589
No. 13	13.875	15.299	14.153	16.493	17.844	15.533
평균	14.400	16.102	14.898	17.366	18.790	16.311



(a) 2 차원



(b) 3차원

그림 8. 각 지점별 침하 등고선

6. 결론

현장계측자료를 여러 가지 침하예측식에 적용하여 시간-침하량관계를 산출하였으며, 유한요소프로그램을 이용하여 매립지의 침하를 산출하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 쌍곡선, Hoshino, Gibson & Lo 및 Power Creep Law 방법에 의한 매립종료 후 30년경과 후 (향후 17년) 시점에 대한 침하량의 범위는 11.084~19.368cm, 11.465~17.870, 11.978~20.929cm 및 14.560~22.395cm이며, 이의 평균은 15.625cm, 14.417cm, 16.885cm 및 18.309cm으로 나타나 대부분의 침하량이 20cm이내임을 알 수 있었다.
- (2) Sowers 방법에 의한 향후 17년(매립종료후 30년) 경과시점에서의 침하량의 범위는 11.821~16.388cm이며, 평균은 13.919cm 이다.
- (3) 차량하중에 의한 즉시침하량 산정을 위해 유한요소해석을 수행한 결과 즉시침하량은 0.5cm 정도로 나타났다. 차량하중에 의한 즉시 침하량은 부패 침하량에 비하여 아주 미소하게 나타났다.
- (4) 각 방법에 의한 침하량은 20cm 이내이며, 매립후 30년 경과 시점에서의 평균침하량은 16.311cm이다

참고문헌

1. Sowers, G. F.,(1973), "Settlement of Waste Disposal Fills", Proceeding The Eighth International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, Vol.2.2, pp.207~210.
2. Yen B.C. and Scanlon, B.,(1975), "Sanitary Landfill Settlement Rates", urnal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.105, No.GT5, pp.475~487.
3. Morris, D.V. and Woods. C.E.,(1990), "Settlement and engineering considerations in landfill and final cover design", Geotechnics of waste fill-theory and practice, ASTM 1070, Philadelphia, pp. 9~21.