

쓰레기 매립지반의 지진거동 평가

Seismic Response Evaluation of Waste Landfills

김기태¹⁾, Ki-Tae Kim, 이지호²⁾, Jee-Ho Lee, 장연수³⁾, Yeon-Soo Jang

¹⁾ 동국대학교 토목환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Eng., Dong-Guk University

²⁾ 동국대학교 토목환경공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil & Environmental Eng., Dong-Guk University

³⁾ 동국대학교 토목환경공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil & Environmental Eng., Dong-Guk University

SYNOPSIS : Free-field ground motion during earthquake is significantly affected by the local site conditions and it is essential in the seismic design to perform the accurate site-specific ground response analysis. In this paper, one-dimensional seismic characteristics of waste landfill are studied based on the vertical propagation of horizontal shear waves through the column of soil/waste. Seismic response analysis is performed for short-period, long-period and artificial earthquake ground motions using a computer program for seismic response analysis of horizontally layered soil deposits. The computed peak ground accelerations are compared with the values calculated according to Korean seismic design guidelines. The analysis result shows that the long-period earthquake causes the largest peak ground acceleration while the artificial earthquake results in the smallest one.

Key words : seismic response, waste landfill, earthquake, ground acceleration, shear wave velocity, modulus reduction curve, damping curve

1. 서 론

지진은 인명과 재산에 가공할 피해를 가져올 수 있는 자연재해 중 하나로서 오늘날 우리나라에서도 지진에 대한 인식이 높아지기 시작하였다. 쓰레기 매립지는 지진에 의해 파괴될 경우 시설물 파괴로부터 직·간접적인 인명 및 경제적인 피해와 더불어 복구하기 어려운 환경적인 문제가 발생하게 된다. 따라서 지진시 지반 및 구조물의 거동을 정확히 예측하기 위해서는 신뢰성 있는 대상지반의 증폭현상 평가가 필요하다.

본 연구에서는 경기도 ○○지역의 쓰레기 매립지를 대상지반으로 선정하여 1차원 지반 증폭 해석 프로그램인 SHAKE91(Idriss and Sun, 1992)을 사용하여 쓰레기 매립지에서의 지진거동을 평가하였다. 기존 연구 및 조사자료를 이용하여 지반의 지층 주상도와 각 지층에 대한 전단파 속도 및 전단변형률에 따른 G/G_{max} 곡선과 감쇠비 곡선을 결정하였으며, 입력지진으로 장주기(Hachinohe지진) 및 단주기(Ofunato지진) 지진과 표준 설계응답 스펙트럼에 부합되는 인공지진을 선택하였다. 장주기 및 단주기 지진과 인공지진에 대하여 지진응답해석을 수행하였고 대상부지의 지진응답해석 결과와 국내 내진설계 표

준서(1999)를 이용하여 계산한 지표면 자유장 최대가속도를 비교하였다.

2. 해석 단면의 입력정수와 지진강도

2.1 지층 개요

본 대상지반의 지층구성상태는 상부로부터 쓰레기층, 상부 점성토층, 하부 점성토층, 조립 퇴적토층, 풍화암층의 순서로 구성되어 있는데 쓰레기층은 1단계 매립에서 4단계 매립까지 21m이며 5단계 매립에서 8단계 매립까지의 매립고는 20m이다. 상부 점성토층은 실트질 점토로 색조는 회색을 띠고 있고 표준 관입시험 결과 N치는 0~8정도로 대단히 연약하며 하부 점성토층도 실트질 점토로 이루어져 있으며 N치는 8~34정도로 중간~고결한 연경도를 보인다. 조립 퇴적토층은 실트섞인 모래, 자갈섞인 모래, 모래 섞인 자갈 등으로 구성되어 있고 N치는 11~50회 이상으로 중간~대단히 조밀한 상대밀도를 나타내며 풍화암층은 원위치에서 매우 치밀, 견고한 상태로서 색상은 갈색~회갈색을 띠고 있다.

2.2 전단파 속도

2.2.1 쓰레기의 전단파 속도

쓰레기의 전단파 속도는 기존 연구자료를 사용하였으며 깊이가 증가할수록 전단파 속도도 증가하는 것으로 조사되었다(그림 1). 본 연구에서는 Kavazanjian et al.(1995)이 제시한 결과에 근거하여 1단계 매립에서 4단계 매립층까지의 전단파 속도는 240 m/sec, 5단계~8단계 매립층까지의 전단파 속도는 150 m/sec로 결정하였다.

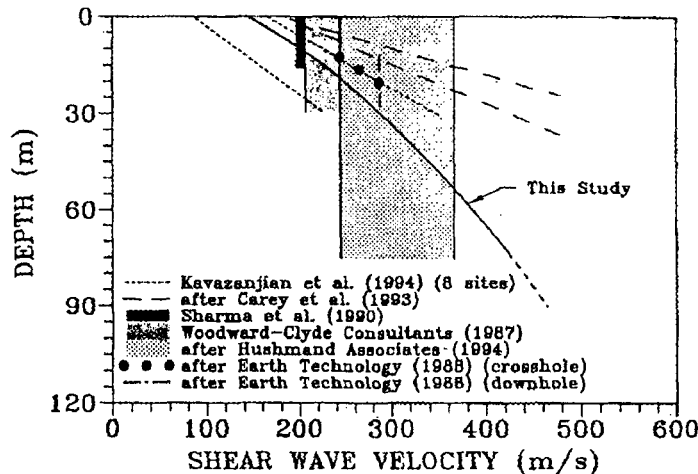


그림 1. 쓰레기의 전단파 속도

2.2.2 토층의 전단파 속도

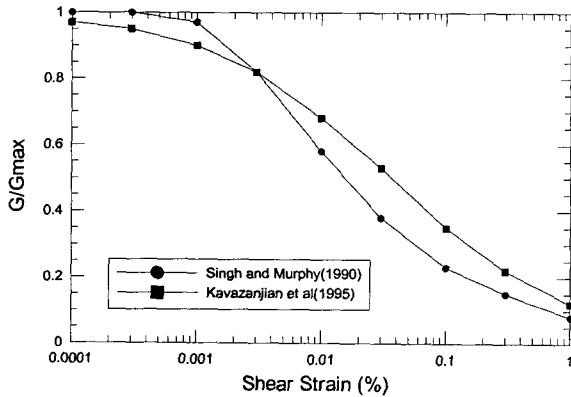
점성토층과 퇴적토층의 전단파 속도는 Imai(1982)가 제시한 표준관입시험으로부터 구한 N치와 전단파 속도와 관계식(식 1)으로부터 계산하였으며 풍화암과 기반암의 전단파 속도는(지질조사 및 암반분류, 2000) 각각 700 m/sec와 1,200 m/sec로 결정하였다.

$$V_s = 97.0 N^{0.314} \quad (m/sec) \quad (1)$$

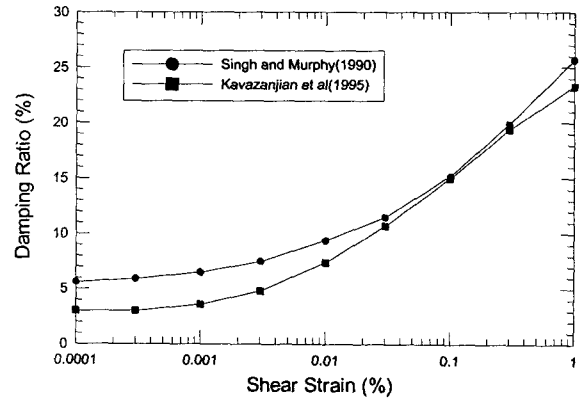
2.3 정규화 전단탄성계수와 감쇠비 곡선

2.3.1 쓰레기의 전단탄성계수와 감쇠비 곡선

본 연구에서 쓰레기의 전단변형률에 따른 정규화 전단탄성계수와 감쇠비 곡선은 Singh and Murphy(1990)와 Kavazanjian and Matasovic(1995)이 제시한 결과를 사용하였으며 그 관계를 그림 2에 나타내었다.



(a) 변형률에 따른 정규화 전단탄성계수 곡선

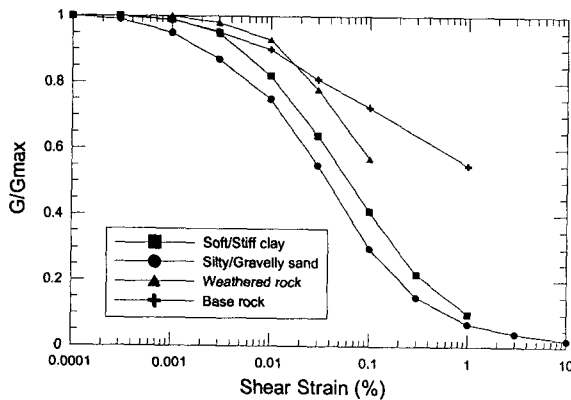


(b) 변형률에 따른 감쇠비 곡선

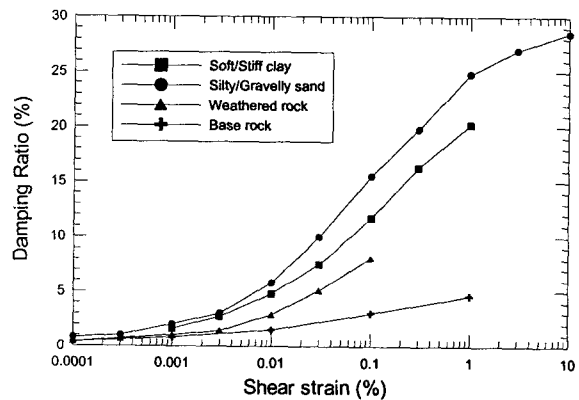
그림 2. 쓰레기의 전단변형률에 따른 정규화 전단탄성계수, 감쇠비 곡선

2.3.2 토층의 전단탄성계수와 감쇠비 곡선

점성토층의 경우 Vucetic and Dobry(1991)에 의해 제시된 관계로부터 소성지수(PI) = 15인 점성토에 대한 전단탄성계수와 감쇠비 곡선을 사용하였으며 사질토층의 경우 Seed et al.(1986)에 의해 발표된 비선형 곡선을 사용하였다. 풍화암의 경우에는 인근지역의 교란시료를 재성형하고 실내에서 공진주/비틀전단 시험을 수행하여 얻어진 연구결과를 사용하였고 기반암의 경우 SHAKE91에서 제공하는 대표곡선을 사용하였다. 각 토층의 변형률에 따른 정규화 전단탄성계수와 감쇠비 곡선은 그림 3과 같다.



(a) 변형률에 따른 정규화 전단탄성계수 곡선



(b) 변형률에 따른 감쇠비 곡선

그림 3. 각 토층의 전단변형률에 따른 정규화 전단탄성계수, 감쇠비 곡선

2.4 입력정수 결정

해석 대상지반의 지진거동 평가를 위하여 필요한 입력정수는 수도권 매립지 1공구 원지반 토질특성 확인조사 결과보고서(동아건설산업, 1997)와 수도권 매립지 1공구 7, 8단 매립작업 및 부대공사 실시

계 보고서(수도권 매립지 운영관리조합, 1997)를 참고하여 결정하였고, 각 층에 대한 입력자료를 표 1에 요약하였으며 해석단면의 지층 분류 주상도와 전단파 속도 주상도를 그림 4에 함께 나타내었다.

표 1. 해석에 사용된 입력정수

토층별 / 구분	단위중량 (t/m^3)	N 치	소성지수	전단파속도 (m/s)
쓰레기층-2	1.10	-	-	150
쓰레기층-1	1.30	-	-	240
상부 점성토층	1.85	8	7~28	187
하부 점성토층	1.90	30		283
조립 퇴적토층	2.00	43	-	316
풍화암층	2.10	50 이상	-	700
기반암층	2.40	50 이상	-	1,200

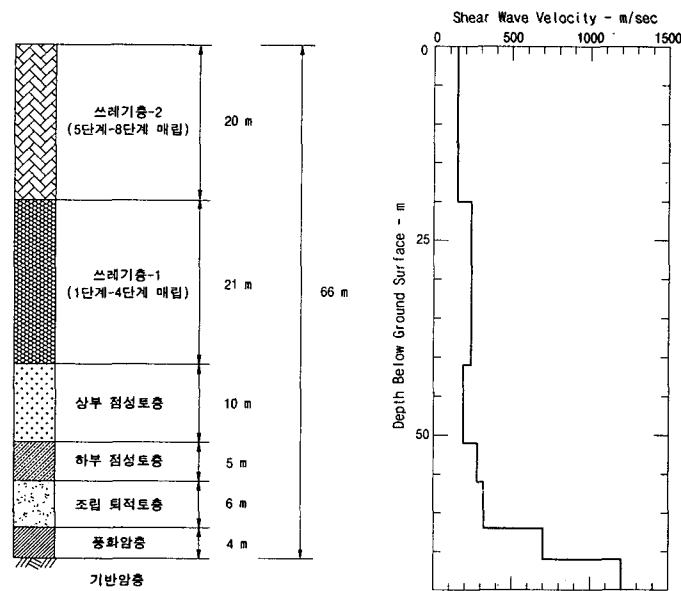


그림 4. 해석단면의 지층 분류 주상도와 전단파 속도 주상도

2.5 입력지진 및 지진강도

본 연구에서는 장주기(Hachinohe) 및 단주기(Ofunato) 지진과 국내 표준 설계응답 스펙트럼에 부합되는 인공지진을 입력지진으로 선택하였으며 입력지진의 크기는 국내 건교부 내진설계 기준(1997)에 따라 경기도 지역 2등급 구조물 붕괴방지 수준인 최대가속도 0.11g로 조정하여 사용하였다. 설계 지진계수 0.11g는 보통암 지반의 경우이므로 대상부지의 지진거동 평가시 기반암 최대가속도 0.11g의 지진이 노두 운동(outcrop motion)으로 작용하도록 적용하였다.

3. 1차원 해석 결과

SHAKE91을 사용하여 계산된 1차원 부지응답 결과를 표 2에 나타내었으며 지진 종류에 따른 깊이별 최대가속도를 그림 5에 나타내었다. 해석결과로부터 Hachinohe 지진과 Ofunato 지진의 경우 쓰레기 매립지 기초지반까지는 일반적으로 가속도 값이 증가하였고, 쓰레기 매립층을 통과하는 동안에는 가속도 값이 증가와 감소를 반복하다가 지표면에서 자유장 최대가속도가 최대가 되었으며 인공지진의 경우에는

그 변화폭이 미미하였다. 지표면 자유장 최대가속도는 Singh and Murphy(1990)가 제시한 쓰레기 동적 물성치를 적용하였을 경우 각각 0.131g, 0.126g, 0.108g이었고 Kavazanjian et al.(1995)이 제시한 값을 적용하였을 경우에는 각각 0.166g, 0.155g, 0.124g이었다. 지진 종류별 지표면 자유장 최대가속도는 Hachinohe 지진의 경우가 가장 크고 그 다음으로 Ofunato 지진, 인공지진의 순이었으며 Kavazanjian et al.(1995)이 제시한 쓰레기 감쇠비가 Singh and Murphy(1990)가 제시한 감쇠비보다 작기 때문에 가속도 값은 일반적으로 더 크게 나타났다. 특히 쓰레기 매립지와 기초지반 부근에서 가속도 값이 증가하다가 크게 감소하였는데 그 이유는 연약한 점토층 위에 쓰레기 매립층이 기초지반 보다 상대적으로 매우 두껍게 매립되어 있어서 지진에너지의 상당수가 점토층을 통과하면서 흡수되기 때문인 것으로 판단된다.

표 2. 1차원 부지응답 해석결과

지진종류	쓰레기 동적 물성치	기반암 가속도(g)	지표면 가속도(g)
Hachinohe	Singh and Murphy(1990)	0.110	0.131
	Kavazanjian et al.(1995)		0.166
Ofunato	Singh and Murphy(1990)	0.110	0.126
	Kavazanjian et al.(1995)		0.155
인공지진	Singh and Murphy(1990)	0.110	0.108
	Kavazanjian et al.(1995)		0.124

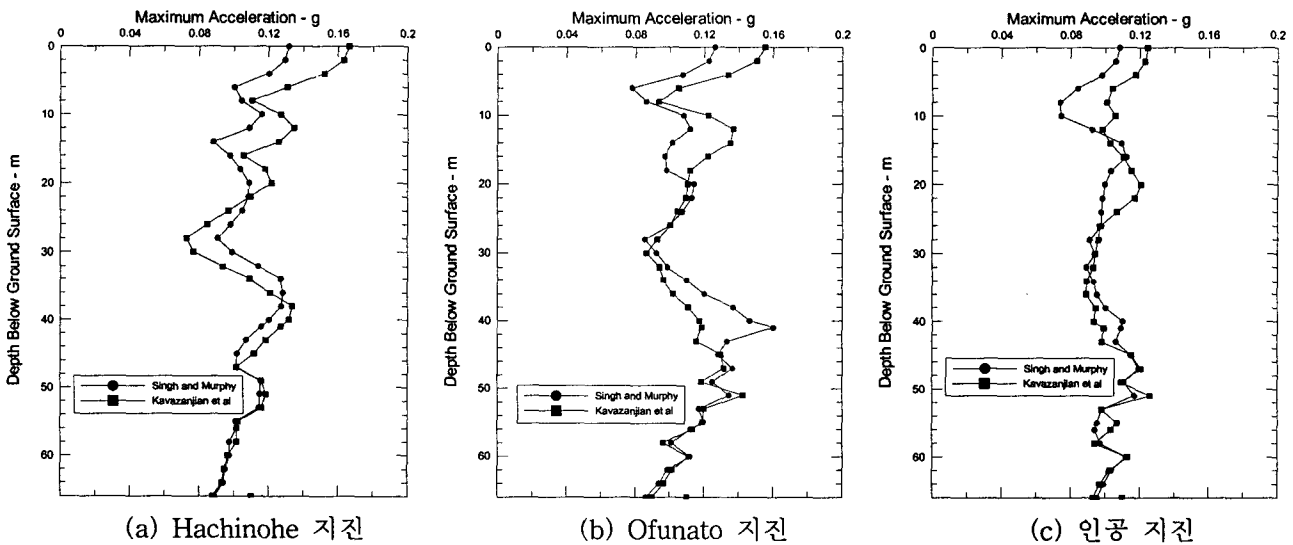


그림 5. 지진종류에 따른 깊이별 최대 가속도

4. 설계 지반가속도 비교

본 절에서는 대상지반의 1차원 해석으로부터 산정한 지표면 자유장 최대가속도와 국내 내진설계 표준서(1999)를 이용하여 산정한 지표면 자유장 최대가속도를 비교하였다. 대상지반을 S_D 또는 S_E 지반으로 가정하고 내진설계 표준서에 따라 지표면 자유장 최대가속도를 산정한 결과를 표 3에 나타내었으며 S_D 지반으로 가정한 경우 지표면 자유장 최대가속도는 각각 0.16g, 0.13g이고 S_E 지반으로 가정한 경우 각각 0.22g, 0.18g이었다. 1차원 해석결과와 비교하여 보면 인공지진의 경우 지표면 자유장 최대가속도는 내진설계 표준서로부터 산정한 가속도보다 작게 계산되었으며 Hachinohe 지진과 Ofunato 지진의 경우에는 Singh and Murphy(1990)가 제시한 쓰레기 동적 물성치값을 적용시 표 3의 지진재해도를 기준으로 산정한 S_D 지반의 지표면 최대가속도와 비슷한 결과를 나타내었고 Kavazanjian et al.(1995)이 제시한

값을 적용시 행정구역을 기준으로 산정한 S_D 지반의 지표면 최대가속도와 비슷한 결과를 나타내었다.

표 3. 내진설계 표준서에 따른 지표면 자유장 최대가속도의 크기

	설계지반운동 수준 기준		2등급 붕괴방지 수준
암반 노두 가속도 ①	행정구역 기준		0.11g
	지진재해도 기준		0.09g
지반계수 ②	S_D 지반		1.45
	S_E 지반		2.00
설계지진가속도 (①×②)	행정구역 기준	S_D 지반	0.16g
		S_E 지반	0.22g
	지진재해도 기준	S_D 지반	0.13g
		S_E 지반	0.18g

5. 결 론

본 연구로부터 쓰레기 매립지반의 지진거동에 대하여 평가한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 1차원 부지응답 해석결과 지표면 자유장 최대가속도는 Hachinohe 지진, Ofunato 지진, 인공지진의 순으로 나타났으며 쓰레기 동적 물성치별 최대가속도는 Kavazanjian et al.(1995)이 제시한 값을 적용하였을 경우가 Singh and Murphy(1990)가 제시한 값을 적용하였을 경우보다 크게 산정되었다.

(2) 1차원 부지응답 해석결과와 국내 내진설계 표준서를 이용하여 산정한 지표면 자유장 최대가속도를 비교하여 보면 일반적으로 S_E 지반보다는 S_D 지반의 설계 지반가속도와 비슷한 결과를 나타내었다.

참고문헌

1. 건설교통부(1997), 내진설계기준연구(Ⅱ).
2. 한국지반공학회(1997), 진동 및 내진설계.
3. 해양수산부(1999), 항만 및 어항시설의 내진설계표준서.
4. 김동수, 이진선, 윤종구(1999), "부지 고유의 지반 거동평가", 한국 지진공학회, 제12호, pp.1-10.
5. 신희순, 선우춘, 이두화(2000), 토목기술자를 위한 지질조사 및 암반분류, 구미서관.
6. Seed, H. B., Wong, R. T., Idriss, I. M., and Tokimatsu, K.(1986), "Moduli and Damping Factors for Dynamic Analyses of Cohesionless Soils", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 112, No. GT11, pp. 1016-1032.
7. Singh, S. and Murphy, B. J.(1990), "Evaluation of the Stability of Sanitary Landfills", Geotechnics of Waste Fills - Theory and Practice, STP 1070, ASTM, Philadelphia, PA.
8. Vucetic, M. and Dobry, R.(1991), "Effects of Soil Plasticity on Cyclic Response", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 1, pp. 89-107.
9. Idriss, I. M. and Sun, J. I.(1992), "User's Manual for SHAKE91", Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California at Davis.
10. Kavazanjian, E., Matasovic, N., Bonaparte, R., and Schmertmann, G.R.(1995), "Evaluation of MSW Properties for Seismic Analysis", Proceedings of Geoenvironment 2000, Vol. 2, Geotechnical Special Publication No. 46, ASCE, pp. 1126-1141.
11. Kavazanjian, E. and Matasovic, N.(1995), "Seismic Analysis of Solid Waste Landfills", Proceedings of Geoenvironment 2000, Vol. 2, Geotechnical Special Publication No. 46, ASCE, pp. 1066-1081.