

도시 폐기물 매립지반의 내진해석

최진욱, 장연수*

(주)한국해외기술공사(abaqus@kcieng.com), *동국대학교 토목환경공학과(ysjang@dongguk.edu)

<요약문>

폐기물 매립시설물은 지진에 의해 파괴될 경우 시설물 파괴로부터 인명 및 경제적인 피해와 더불어 복구하기 어려운 환경적인 문제가 발생한다. 따라서 지진시 지반 및 구조물의 거동을 정확히 예측하기 위한 신뢰성 있는 지반 가속도의 증폭현상 평가가 필요하다.

본 연구에서는 1차원 지반응답특성 평가 프로그램인 SHAKE91과 유한차분 프로그램인 FLAC을 이용하여 폐기물 매립지에서의 지진거동 특성을 분석하였다. 1차원 해석결과 연약층이 존재하는 곳에서 지반변형이 많이 이루어졌고, FLAC 해석결과 폐기물층 사면부에서 뚜렷한 변위벡터가 발생하였으나 내진 2등급 매립지의 허용변위 30cm 이내이므로 해석 대상 구조물은 안전함을 알 수 있었다.

key word : municipal waste landfill, seismic ground motion, seismic response analysis

1. 서론

지진시 지반 및 구조물의 거동을 정확히 예측하기 위해서는 부지의 증폭현상과 신뢰성 있는 평가가 매우 중요하며 특히 폐기물 매립지와 같이 액상화 가능성이 있거나 연약층 지반에서는 내진설계시 부지의 영향을 반드시 고려하여야 한다.

따라서 본 논문에서는 기존 폐기물 매립지를 대상부지로 선정하여 1차원 지반응답특성 평가 프로그램인 SHAKE91(Idriss and Sun, 1992)과 유한 차분 프로그램인 FLAC(Itasca, 1993)을 이용하여 폐기물 매립지의 지진거동 특성분석 및 변위해석을 수행하여 안정성 평가를 수행하였다.

2. 대상매립지 현황

대상매립지는 경기도 화성군 서신면 전곡리 630-5번 일대에 위치하고 있으며 매립부지는 가로 175m, 세로 90m, 매립고는 일반폐기물 8m이다. 매립지를 포함한 대상지역은 주변이 평탄한 지형이며 과거에 염전으로 이용되었던 부지로 서해안에 인접하고 있고 인근주변은 저구릉지와 경작지이다.

원지반의 지층은 지표면으로부터 폐기물 매립층, N치의 변화가 뚜렷한 차이를 보이는 상·하부 해성 퇴적층과 그 하부에 풍화토층, 연암층으로 구성되어 있다. 해성퇴적층은 대상지역에 넓게 분포되어져 있으며 기반암은 선캠브리아기 경기편마암 복합체에 속하는 편암이 분포하고 있다.

3. 1차원 지반응답해석

경기도에 위치한 우원환경 매립지를 대상부지로 선정하여 1차원 지반응답 해석 프로그램인 SHAKE91(Idriss and Sun, 1992)을 사용하여 폐기물 매립지에서의 지진응답 해석을 수행하였다. 입력지진으로는 표준 설계응답 스펙트럼에 부합되는 인공지진(최대가속도 : 0.11g)을 선택하여 지진응답 해석을 수행하였다.

3.1 대상지역의 지층개요 및 입력자료

해석 대상지반의 지진거동 평가를 위하여 필요한 입력정수는 표 1과 같이 우원환경개발 기본 및 실시설계보고서(1999)을 참고하여 결정하였으며, 대상지역의 지층구성과 입력단면은 그림 1과 같다. 각 토층의 정규화 전단탄성계수와 감쇠비 곡선은 Seed and Idriss(1984)가 제시한 문헌값을 사용하였고, 폐기물 매립지반의 정규화 전단탄성계수와 감쇠비 곡선은 Singh and Murphy(1990)와 Kavazanjian et al.(1995)이 제시한 곡선을 사용하였다.

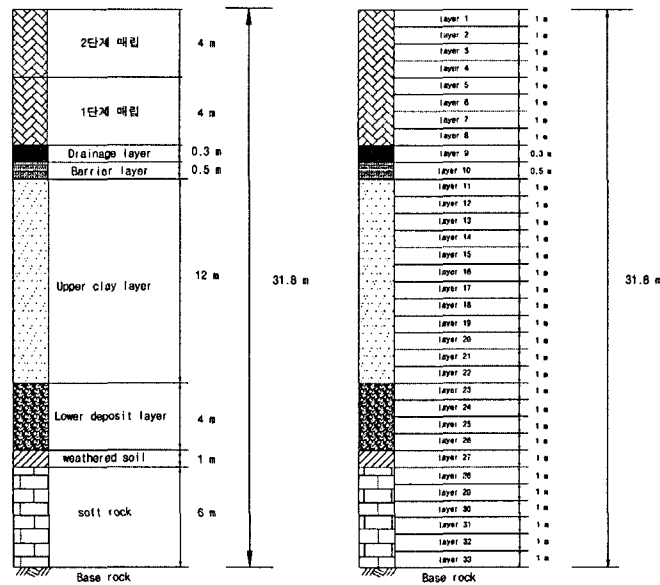


그림 1 대상지역의 지층 구성도와 입력단면

표 1 해석에 사용된 입력정수(우원환경개발 기본 및 실시설계보고서, 1999)

	두께 (m)	단위중량 (t/m ³)	소성지수	감쇠비	N치	전단파속도 (m/s ²)
폐기물층-2	4.0	1.30	-	0.05	-	200
폐기물층-1	4.0	1.30	-	0.05	-	200
배수층	0.3	1.88	8 - 16	0.05	4 - 20	249
차수층	0.5	1.82		0.05	1 - 4	150
상부 퇴적층	12.0	1.75		0.05	1 - 4	150
하부 퇴적층	4.0	1.80	-	0.05	4 - 20	249
풍화토층	1.0	1.90	-	0.05	50 이상	331
연암층	6.0	2.20	-	0.05	50 이상	760
기반암층	-	2.40	-	0.01	50 이상	1,200

3.2 1차원 지진응답 해석

인공공지진에 대한 폐기물 매립지에서의 1차원 부지응답 특성평가 결과를 그림 3과 표 2에 각각 나타내었다. 지표면 자유장 최대가속도는 Singh and Murphy(1990)가 폐기물 동적 물성치를 적용하였을 경우(case 1) 0.098g이었고 Kavazanjian et al.(1995)이 제시한 값을 적용하였을 경우(case 2)에는 0.138g이었다. Case 1 과 Case 2 비교결과 Kavazanjian et al.(1995)이 제시한 폐기물 감쇠비가 Singh and Murphy(1990)가 제시한 감쇠비보다 작기 때문에 가속도 값은 일반적으로 더 크게 나타났다. 깊이별 최대가속도는 그림 2와 같이 기반암층으로부터 하부 퇴적토층(-20.8m)까지는 가속도값이 증가하였고 상부 퇴적토층(-9.8m~ -20.8m)을 통과하는 동안에는 다시 감소하는 경향을 나타내었다.

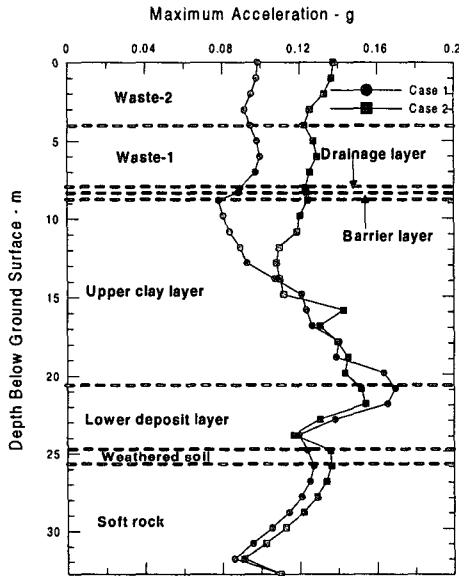


그림 2 깊이별 최대가속도

표 2 1차원 지반응답 해석결과

깊이	토층	최대 가속도 g	
		case 1	case 2)
0.0	매립층	0.098	0.138
4.0	매립층	0.094	0.114
8.0	배수층	0.089	0.122
8.3	치수층	0.088	0.123
8.8	상부퇴적층	0.078	0.124
20.8	하부퇴적층	0.169	0.152
24.8	풍화토	0.124	0.135
25.8	연암	0.127	0.136
31.8	기반암	0.11	0.11

폐기물층과 점토층 부근에서 가속도 값이 증가하다가 감소하였는데 그 이유는 지진에너지가 연약한 점토층과 폐기물층을 통과하면서 많이 흡수되기 때문인 것으로 판단된다.

4. 폐기물 매립지의 내진해석

폐기물 매립시설의 지역적 특성과 동적물성치 등을 가지고 유한차분 프로그램인 FLAC을 이용하여 2차원 내진해석을 실시하였다. 해석 대상구조물에 대해 지진시 안전한 설계를 위하여 "폐기물 매립시설의 내진설계 기준연구(환경부, 2001)"에서 규정하고 있는 2등급 붕괴방지 수준의 허용범위 30cm에 대한 내진해석을 실시하여 최대변위를 산정하였다. 해석 대상구조물의 동적변형해석에는 1차원 지반응답 해석 결과 증폭된 가속도 값 0.124g를 설계가속도 크기로 산정하여 인공지진을 생성하였다.

4.1 매립지의 형상 및 단면의 입력정수 결정

매립지의 형상은 2단 폐기물 매립으로 각 단의 매립고는 4m이며 차수층은 그림 3과 같이 바닥부와 사면부 모두 1m 높이의 점토혼화토만을 사용하였다. 하부지반은 사질토층으로 구성되어 있으며 점토차수층 위에 30cm의 배수층을 설치하였다.

해석 대상지반의 지진거동 평가를 위하여 필요한 입력정수는 우원환경개발 기본 및 실시설계 보고서

(우원환경개발, 1999)를 참고하여 각 층에 대한 입력정수를 결정하였으며 표 3에 요약하였다.

지반의 구성모델은 흙의 탄소성 성질을 고려하는 Mohr-Coulomb으로 모델링하였으며, 지반모델의 최대요소의 크기가 전파되는 파의 파장보다 작도록 해석 Mesh를 구성하여 요소의 크기에 따른 오차가 발생하지 않도록 하였다. 또한 지반의 반무한성을 고려하기 위하여 모델의 좌·우에 점성경계와 자유장 경계를 적용하였다.

표 3 해석에 사용된 입력정수(우원환경개발 기본 및 실시설계보고서, 1999)

구분	단위중량 (t/m^3)	점착력 (t/m^2)	전단저항각 ($^\circ$)	체적탄성계수 (t/m^2)	전단탄성계수 (t/m^2)
매립층	1.30	0.7	20	330	150
배수층	1.88	0.0	30	2,680	1,631
점토차수층	1.82	1.1	10	1,667	816
사질토층	1.90	0.5	35	16,672	7,689

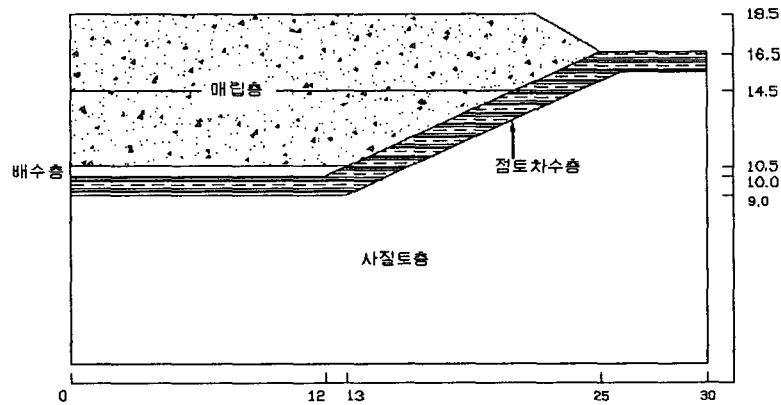


그림 3 대상 매립지의 형상

4.2 내진해석 결과

동적해석 결과 그림 4의 위치 2에서 최대수평변위가 발생하였으며, 시간 이력이 20초 일때 최대 수평 방향 변위 14cm가 그림 5와 같이 발생하였다. 이는 폐기물층 사면부가 다른 지반보다 강성이 작고 불안정하기 때문에 뚜렷한 변위가 발생하였다.

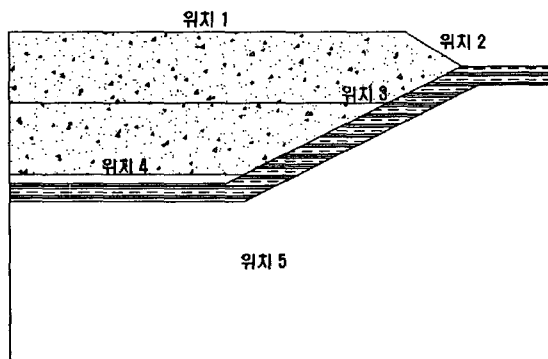


그림 4 대상 매립지 형상

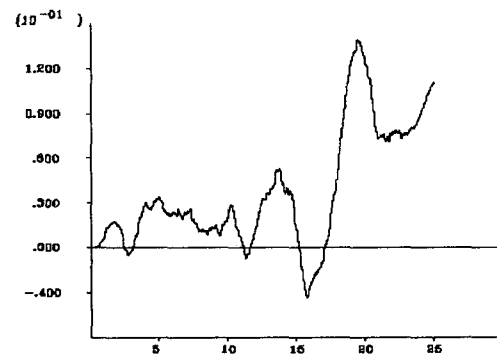


그림 5 위치 2에서의 시간이력 수평변위

각 위치별 수평·수직변위량을 정리하면 표 4와 같다. 그리고 최대변위 14cm는 내진 2등급 구조물의 허용변위 30cm이내이므로 본 구조물은 해당등급에 안전함을 확인할 수 있었다.

표 4 각 위치별 동해석 수평·수직방향 변위(cm)

	위치 1	위치 2	위치 3	위치 4	위치 5
수평방향변위량	8	14	9	7	5
수직방향변위량	6	8	5	3	3

5. 결론

1) 1차원 부지응답 해석결과 지표면 자유장 최대가속도는 Singh and Murphy(1990)가 폐기물 동적 물성치를 적용하였을 경우 0.098g 이었고 Kavazanjian et al.(1995)이 제시한 값을 적용하였을 경우에는 0.138g이었다. 두 물성치들을 비교한 결과 Kavazanjian et al.,(1995)이 제시한 폐기물 감쇠비가 Singh and Murphy(1990)가 제시한 감쇠비보다 작기 때문에 가속도 값은 일반적으로 더 크게 나타났다.

2) 1차원 지진응답해석 결과 연약층이 존재하는 곳에서 지반가속도가 최대가 된 후 감소하는 현상은 연약층에서 지반변형이 많이 이루어져 지진에너지가 흡수되기 때문에 가속도 값이 감소되는 것으로 판단된다.

3) 동적해석결과 연약한 폐기물층 사면부에서 뚜렷한 변위벡터가 발생하였으며 이는 폐기물층이 다른 지반보다 강성이 작기 때문이다.

4) FLAC을 이용한 동적변형해석결과 내진 2등급 매립지의 허용범위는 30cm 이내이므로 본 구조물은 해당등급에 안전함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 3-4-2)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 우원환경개발(주)(1999), 우원환경개발 기본 및 실시설계 보고서.
2. 환경부(2001), 폐기물 매립시설의 내진설계 기준연구, pp. 120.
3. 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.
4. Seed, H. B. and Idriss, I. M.(1970), *Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses*, Report No. EERC 70-10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA.
5. Singh, S. and Sun, J.(1995), "Geotechnical Considerations in the Seismic Response Evaluation of Municipal Solid Waste Landfills", *Earthquake Design and Performance of Solid Waste Landfills*, ASCE, Geotechnical Special Publication, No. 54, pp. 181-195.