

동다짐공법에 의한 쓰레기매립지반의 개량특성 분석

Improvement of waste landfill by dynamic compaction method

정하익¹⁾, Ha-Ik Chung, 콕수정²⁾, Soo-Jung Kwak

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

²⁾ 지한엔지니어링 대표이사, President, Ji Han Engineering

SYNOPSIS : Dynamic compaction is an efficient ground improvement technique for loose soils and waste landfill. The improvement is obtained by controlled high energy tamping and its effects vary with the soil properties and energy input. This study demonstrated the application of dynamic compaction method for the improvement of waste landfill in construction site. Various tests and measurements such as standard penetration test, bore hole loading test, crater settlement, ground settlement, pore water pressure were performed during dynamic compaction field test. From the field test results, the efficiency of dynamic compaction method for the improvement of waste landfill was proved.

Key words : dynamic compaction, ground improvement, settlement, waste, landfill

1. 서 론

쓰레기매립지반이 적절하게 처리되지 않은 상태에서 건물, 도로, 배수관 등의 구조물이 세워지게 되면 부등침하 등에 의하여 구조물에 균열 및 이격이 발생하게 되며, 균열 발생시 때마다 보수작업을 수행해야 하는 번거로움이 있고 심하게 되면 파손의 우려도 있다. 이를 방지하기 위하여 구조물이 세워지는 지역의 쓰레기 매립지반을 개량하는 것이 필요하다. 대부분의 도시쓰레기 매립지반은 비교적 큰 간극이 있으므로 이의 부피를 줄이거나 개량체를 충전함으로써 침하량을 줄이는 작업이 요구된다. 쓰레기 매립지반의 처리방안으로는 굴착치환, 굴착선별재매립, 산화촉진, 그라우팅, 동다짐, 선행재하 등이 있다.

본 연구에서는 이 중에서 동다짐공법(dynamic compaction method)에 의한 쓰레기 매립지반의 개량사례를 분석하고자 한다. 동다짐공법이란 지표면위에 중량의 추를 떨어뜨려 지반의 밀도와 강도를 증가시키고 압축성을 감소시키는 공법이다. 중량물체의 타격으로 인한 충격파는 깊은 심도까지 전하여지며 불포화상태의 매립지반은 바로 다짐되고 포화상태의 매립지반은 액상화 현상이 발생되어 빠른 압밀이 유도된다. 본 연구에서는 연구대상 쓰레기 매립지반에 대하여 동다짐 시험시공을 실시하여 쓰레기성분, 표준관입, 동적관입, 공내재하, 지표변위, Crater 관입심도, 간극수압, 진동, 소음 등의 특성을 분석하였다.

2. 동다짐 시험시공 개요

본 동다짐 시험시공은 건설공사 중 발견된 쓰레기매립지반에 대하여 동다짐 공법의 적용성을 확인하기 위하여 실시하였으며 시험시공부지에서 총 4차로 타격하여 타격후 조사된 시험자료를 검토·분석하

여 지반개량 및 지반진동 발생 현황을 분석하였다. 동다짐 시험시공은 지반거동 측정지점에 위치 및 측정말뚝을 설치하고, 타격에 필요한 크레인, Pounder, 측량기 등을 준비한 후 Crater 및 지반거동을 다음 순서와 같이 측정하였다.

- 1) 지반거동 측정을 위한 수준점을 지반침하와 다짐작업등에 의한 영향을 받지 않는 곳에 2개 이상 측정한다.
- 2) 다짐작업전 부지정지작업을 실시하고 타격지점 위치표시 및 다짐전 지반고를 측정한다.
- 3) 타격지점 위치에 Pounder를 정확한 타격이 되도록 타격지점에 놓는다.
- 4) 타격지점에 놓인 Pounder의 상단과 주변 지반 거동 측정 말뚝의 지반고를 측정하여 기록한다.
- 5) Pounder를 25m 높이까지 들어올려 자유낙하시켜 1회 타격을 실시한다.
- 6) 1회 타격에 의하여 관입된 Pounder의 상단과 주변 지반 용기 측정 말뚝의 지반고를 측정 기록한다.
- 7) 1회 타격에 의하여 관입된 Pounder를 들어 올려 시험 동다짐 위치 밖으로 놓은 후 타격으로 형성된 Crater의 체적을 측정하여 기록한다.
- 8) 5), 6), 7)의 작업을 15회까지 매회 반복한 후, 각각의 타격으로 형성된 Crater의 상태와 Crater의 체적을 측정하여 기록한다.
- 9) 시험 동다짐 지점에서 15회의 다짐이 완료된 후 시험 동다짐 계획도에 표시함 바와 같이 지반거동 측정 지점과 동일하게 주변 지점에 각각 25m의 낙하고에서 15회의 타격으로 1단계 다짐을 실시한다.
- 10) 1단계 다짐이 완료된 후 2단계 다짐을 6m×6m 격자망의 중앙 지점에 12m의 낙하고에서 15회의 타격으로 2단계 다짐을 실시한다.
- 11) 3단계 다짐은 낙하고 9m에서 낙하회수를 6회로 다짐을 실시한다.
- 12) 4단계 다짐은 Pounder의 무게를 14ton으로 조정하여 낙하고 9m에서 각 1회씩 다짐을 실시한다.

표 1. 시험동다짐 타격 방법

구 분	1 단계	2 단계	3 단계	4 단계	비 고
타격높이 (m)	25	12	9	9	
타격회수 (m)	15	15	6	1	
햄머중량 (ton)	23	23	23	14	

3. 동다짐 시험시공 결과 및 분석

3.1 N값

동다짐 시험시공 부지를 대상으로 시공전 및 각 단계별 다짐후로 구분하여 표준관입시험을 실시하여 N치 상태를 분석한 결과는 다음과 같다. 지반개량전과 지반개량후의 표준관입시험 결과 N치가 증가하였으며 다짐으로 인하여 지표면 부근의 상부층의 N치가 크게 증가하였다. 표준관입시험은 중추가 낙하된 지점을 피하여 타격점과 타격점 사이에서 조사를 시행한 결과이므로 타격지점에서 개량된 N치를 고려하면 전반적으로 평균 N값은 크게 증가한 것으로 판단된다.

표 2. 동다짐 단계별 N값 변화

지층명	두께	성분	N 값					비고
			다짐전	1차 다짐후	2차 다짐후	3차 다짐후	4차 다짐후	
매립층	0.6~0.9	자갈 및 호박돌	-	-	-	-	-	
매립층	4.9~7.1	쓰레기 섞인 실트질 모래층, 호박돌층, 점토질 실트층 혼재	5/30 ~8/30	4/30 ~11/30	9/30 ~15/30	11/30 ~35/30	12/30 ~41/30	
충적층	2.4~4.7	점토질 실트	4/30 ~6/30	4/30 ~5/30	7/30 ~12/30	10/30 ~17/30	11/30 ~13/30	
충적층	1.3~2.1	모래 및 모래질 자갈층	50/19	27/30	50/23 ~50/20	50/24 ~50/20	50/26 ~50/27	
풍화암	0.0~0.5	실트질 모래	-	-	-	-	-	
연암	풍화대 하부	Black shale	-	-	-	-	-	
N 값 평균			6/30	7/30	11/30	17/30	20/30	50타 이상 제외

3.2 탄성계수

시추조사와 병행하여 공내재하시험을 실시하였다. 심도 1.5m 간격으로 공내재하시험을 실시하여 동다짐에 의한 지반의 탄성계수 변화를 측정하였다. 공내재하시험에 의한 탄성계수는 초기의 탄성계수보다 4차다짐이 종료된 후 전반적으로 증가상태에 있으나 쓰레기층의 불균질로 인하여 불규칙한 변화를 보여주고 있다. 다짐전 평균 탄성계수는 19.04kg/cm²에서 최종 다짐시 평균 탄성계수는 35.20kg/cm²으로 약 1.85배 가량 증가됨으로서 전반적으로 지반개량이 효과적으로 이루어졌음을 나타내고 있다. 특히 상부 매립층의 경우 지반강도가 매우 증가했음을 보여주고 있다.

표 2. 동다짐 단계별 탄성계수 변화

심도 (GL-m)	탄성계수(kg/cm ²)					최종 변화율
	다짐전	1차 다짐후	2차 다짐후	3차 다짐후	4차 다짐후	
0.0	-	-	-	-	-	
1.5	62.17	17.15	19.83	35.71	41.84	
3.0	14.70	74.16	29.95	97.67	41.15	
4.5	4.30	31.58	25.51	25.27	50.50	
6.0	8.12	30.97	17.88	10.32	17.43	
7.5	12.67	13.48	10.82	12.09	25.07	
9.0	12.33	13.86	24.29	17.22	20.68	
10.5		-		21.25	48.77	
12.0	-	-	-	39.55	36.21	
평균	19.04	30.20	21.38	32.38	35.20	85% 증가

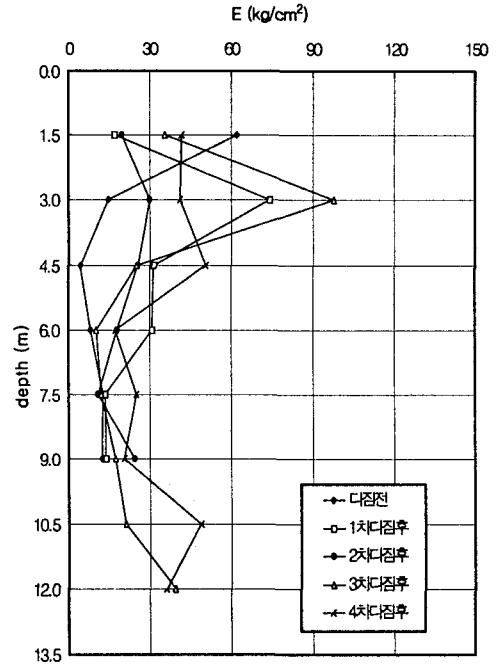
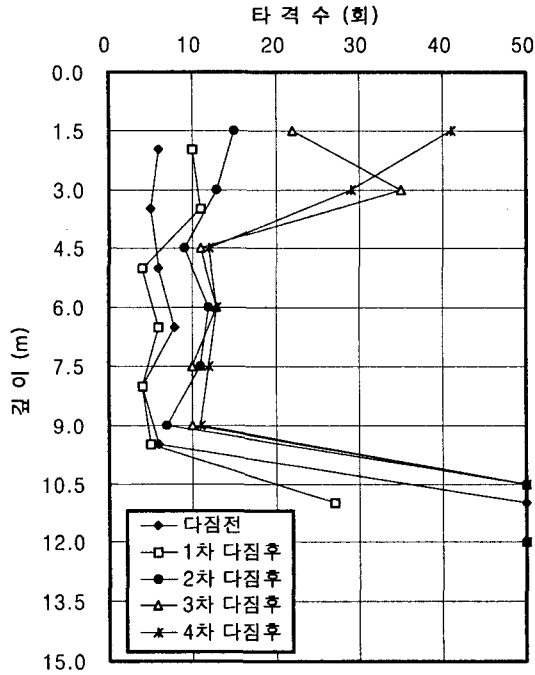


그림 1. 동다짐 단계별 심도에 따른 N값 변화도

그림 2. 동다짐 단계별 심도에 따른 탄성계수 변화도

3.3 Crater 관입심도

시험 동다짐시 최적다짐회수를 결정하기 위해 시험동다짐 단계별로 Crater의 관입심도를 측정하였다. 측정결과 Crater 주변의 최대침하량은 1차 다짐시 2.497m이며 2차 다짐시 1.595m, 3차 다짐시 1.060m로 나타났다. 상부 쓰레기층의 특성상 각 단계별 1~2회 타격시 매우 많은 침하량 발생하였으며 2~3회 타격시부터 선형으로 증가하고 있다.

표 3. 동다짐 단계별 Crater 관입심도

타격회수	관입량 (m)				비 고
	1차다짐	2차다짐	3차다짐	4차다짐	
1	0.520	0.030	0.360	-	측정회수 1차다짐 : 15회 2차다짐 : 8회 3차다짐 : 3회 4차다짐 : 1회
2	1.029	-	-	-	
3	1.197	0.602	-	-	
4	1.447	-	0.832	-	
5	1.519	0.828	-	-	
6	1.652	-	1.060	-	
7	1.627	0.997	-	-	
8	1.697	-	-	-	
9	1.937	1.133	-	-	
10	1.947	-	-	-	
11	2.047	1.245	-	-	
12	2.327	-	-	-	
13	2.357	1.518	-	-	
14	2.397	-	-	-	
15	2.497	1.595	-	-	

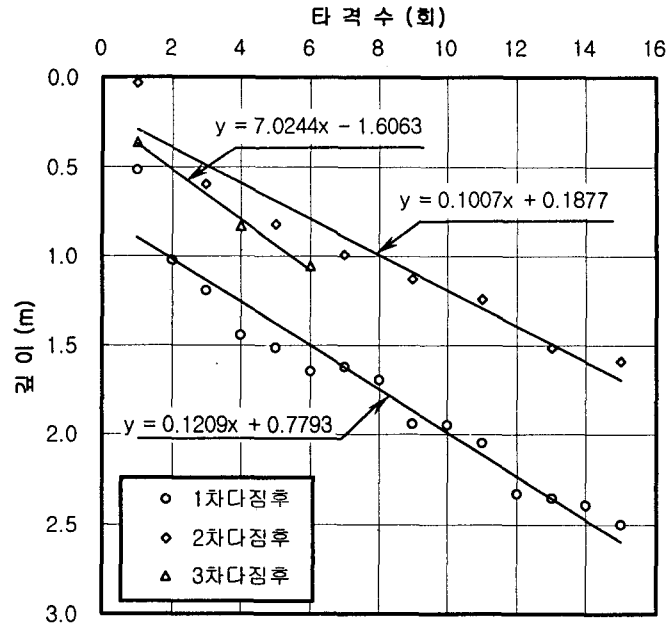


그림 3. 동다짐 단계별 심도에 따른 Crater 관입심도 변화도

3.4 부지 지반고

동압밀 시험 시공에 따른 부지 전체의 침하량을 산정하기 위하여 각 단계별로 부지내 지반고를 측정하였다. 각 단계별 다짐이 끝난후 Crater가 형성된 시험부지를 평탄작업을 실시한후 총 8개소에서 지반고를 측정하여 평균값을 산정하였다. 지반고는 1단계 동다짐후 0.379m, 2단계 동다짐후 0.507m, 3단계 동다짐후 0.640m, 4단계 동다짐후 0.706m가 발생하였다. 따라서 동다짐이 진행됨에 따라 지반의 침하가 크게 증가됨을 알 수 있다.

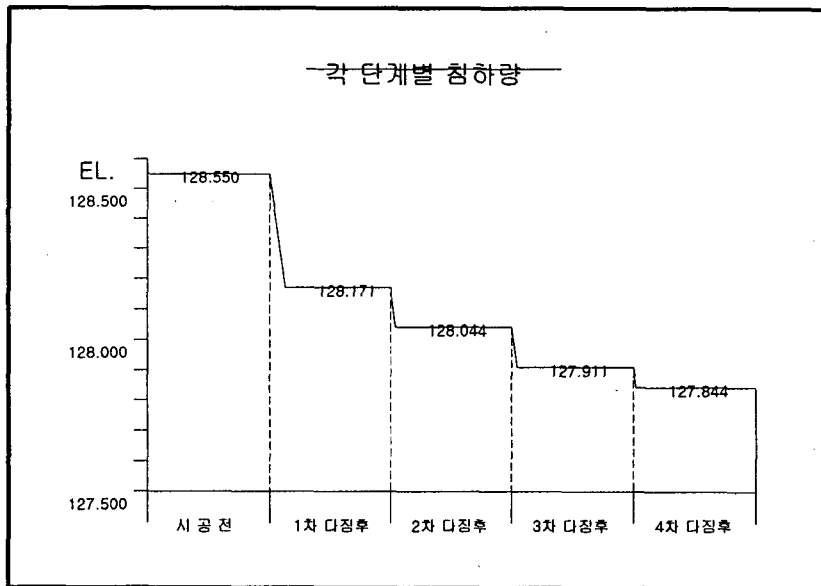


그림 4. 동다짐 단계별 지반침하량 변화

3.5 간극수압

시험 동다짐시 간극수압의 소산속도를 파악하기 위하여 각 간극수압계를 설치하여 각 다짐 단계별로 간극수압을 측정하였다. 이때 정수압 측정을 위한 지하수위는 시추조사시 측정된 지하수위를 적용하였다. 간극수압 측정결과 다짐에 의한 과잉간극수압 소산속도는 빠르게 진행되고 있으며 다짐 단계별 간극수압 변화양상을 살펴보면 타격시 휴지기간은 48시간 이상 필요한 것으로 판단된다.

표 4. 동다짐 단계별 간극수압

계 측 일	간극수압 (kg/cm ²)	지하수위 (EL)	정 수 압 (kg/cm ²)	과잉간극수압 (kg/cm ²)	비 고
00/08/22	1.2152	124.44	0.370	0.845	시험시공전
00/08/23	1.5638	124.44	0.370	1.194	1차 다짐후
00/08/24	1.6074	124.89	0.415	1.193	
00/08/25	1.4663	124.89	0.415	1.052	
00/08/28	1.3264	124.89	0.415	0.912	
00/08/29	1.6833	124.89	0.415	1.269	2차 다짐후
00/08/30	1.5675	124.89	0.415	1.153	
00/08/31	1.4650	124.89	0.415	1.050	
00/09/01	1.3783	124.89	0.415	0.964	
00/09/02	1.4600	125.40	0.466	0.994	3차 다짐후
00/09/04	1.3484	125.50	0.476	0.872	4차 다짐후
00/09/05	1.2861	125.50	0.476	0.810	
00/09/06	1.2347	125.50	0.476	0.758	

4 결 론

본 연구에서는 건설공사에서 발견된 쓰레기매립지반의 개량을 위하여 동다짐공법에 대한 시험시공을 실시하고 그에 따른 계측결과를 분석하였다. 이의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 시추조사 결과 지층 구성상태가 매우 불규칙하며 표준관입시험 결과 N치는 다짐전 평균 6/30에서 다짐 완료후 20/30으로 크게 증가되어 전반적으로 동다짐이 효율적으로 이루어진 것으로 나타났다.
- 2) 공내재하시험에 의한 탄성계수는 불규칙한 변화를 보여주고 있으나 다짐전 평균 탄성계수는 19.04kg/cm²에서 최종 다짐시 평균 탄성계수는 35.20kg/cm²으로 약 1.85배 가량 증가됨으로서 전반적으로 지반개량이 효과적으로 이루어졌음을 나타내고 있다. 특히 상부 매립층의 경우 지반강도가 매우 증가했음을 보여주고 있다.
- 3) Crater 최대침하량은 1차 다짐시 2.497m이며 2차 다짐시 1.595m, 3차 다짐시 1.060m로 나타났으며, 상부 쓰레기층의 특성상 각 단계별 1~2회 타격시 많은 침하량 발생하였으며 2~3회 타격시부터 선형으로 증가하고 있다. 시험시공부지 전체 침하량은 0.706m 로 측정되었다.
- 4) 간극수압 측정결과 다짐에 의한 과잉간극수압 소산속도는 빠르게 진행되고 있으며 다짐 단계별 간극수압 변화양상을 살펴보면 타격시 휴지기간은 48시간 이상 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. J. L. Pan and A. R. Selby(2002), "Simulation of dynamic compaction of loose granular soils", Advances in Engineering Software 33, Elsevier Science Ltd.
2. G.A. Leonards, W.A. Cutter and R.D. Holtz(1981), "Dynamic compaction of granular soils", J Geotech Engng Div, ASCE 106.
3. P.W. Mayne, J.S. Jones and J.C. Dumas(1984), "Ground response to dynamic compaction", J Geotech Engng v.110 n.6.
4. J.H. Roesset, E. Kausel, V. Cuellar, J.L. Monte and J. Valerio(1993), "Impact of weight falling onto the ground", J Geotech Engng v.120 n.8.
5. R.A.P. Bement and A.R. Selby(1997), "Compaction of granular soils by uniform vibration equivalent to vibrodriving of piles", Geotech Geolog Engng v.15 n.2.