

## 쓰레기 매립지반에서 동다짐의 활용 사례

### Application of Dynamic Compaction For Finished Landfill

장연수<sup>1)</sup>, Jang, Yeon-Soo, 송윤섭<sup>2)</sup>, Song, Yun-Seop, 전한용<sup>3)</sup>, Han Yong Jeon

<sup>1)</sup> 동국대학교 사회환경시스템공학과 교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Dongguk University.

<sup>2)</sup> (주)한미씨엔디 토질부 차장, Member, deputy chief Engineer, Hanmi Civil & Design Co., Ltd.

<sup>3)</sup> 인하대학교 나노시스템공학과 교수, Professor, Div. of Nano System Engineering, Inha University.

**요 지 :** 매립지반이 주로 사질토로 구성되어 있거나 호박돌을 많이 함유하고 있는 지반이나 쓰레기 매립지반에서는 시공속도가 매우 빠르고 경제적 측면을 고려한 동다짐공법이 많이 적용되고 있다. 본 연구에서는 대구서부화물역 건설공사의 쓰레기 매립층에 적용된 동다짐공법에 대하여 지반개량효과를 분석하였다. 그 결과 중추낙하다짐 적용구간에 N치는 6.5/30에서 22.5/30으로 약 349% 증가하였다. 다짐전과 후의 지반고 측정결과 중추낙하다짐공법 적용구간은 0.706~1.729m가 침하되었다. 중추낙하다짐에 의한  $\alpha$ 값은 0.25~0.48로 폐기물층에 대한 일본토질공학회(1987)의 연구결과(0.3~0.5) 및 광산폐기물에 대한 Lukas(1986)의 연구결과(0.35~0.4)와 유사한 범위를 보이고 있다.

**Abstract :** The landfill ground that consists of sandy soil or contains boulder or has waste ground such as waste landfill can be often applied by dynamic compaction method considering quick construction and economic advantages. In this study, the improvement efficiency of the dynamic compaction method that is used on the waste disposal ground of Tague Freight Terminal construction site is analyzed. The results show that the N values are increased from 6.5/30 to 22.5/30, which is 3.5 times increase compared with the N value before dynamic compaction. The amount of settlement is in the range of 0.706~1.729m. the  $\alpha$  values suggested by Leonards et al.(1980) was about 0.25~0.48, which are quite similar to not only 0.3~0.5 of the findings of waste layer of the Society of Soil Engineering of Japan (1987) but also 0.35~0.4 of that of mine waste of Lukas (1986).

**Keywords :** dynamic compaction method, ground improvement, Heavy weight drop method, N value

## 1. 서론

연구의 대상지역은 대구광역시 서부화물역 건설공사 중 화물터미널 및 컨테이너 부지를 조성하기 위한 지반개량구간으로 지층상태는 표층으로부터 5.3~7.1m 깊이까지 쓰레기가 매립되었으며 토목 시설물 공사시 침하 발생으로 인한 구조물의 손상이 예상되었다. 따라서 지반의 지지력 확보 및 잔류침하를 최소화할 수 있도록 화물유통 부지 및 부대기지를 비롯하여 컨테이너 부지에 무거운 추를 일정한 높이에서 낙하시켜 지반을 강제 다짐하는 동다짐공법을 적용하였다. 지반개량효과는 동다짐전에 측정된 N치와 동적 콘관입시험치를 사용하여 평가하였다.

## 2. 현장 지반 특성

당 현장은 대구화물터미널 주식회사에서 발주한 현장으로 연약지반구간을 6개의 부지로 구분하였으며, 북측부지와 남측부지에 중추동다짐공법을 적용하였다. 당 현장의 쓰레기 매립층은 지반조사 및 실내 시험결과를 분석하면 생활쓰레기, 자갈 및 부분적으로 호박돌등을 함유한 실트 및 점토질 모래로 구성되어 있는 것으로 조사되었다.

쓰레기 매립층의 매립시기는 북측부지의 경우 1979년 2월에 매립이 시작되어 1982년 3월에 매립이 완료 되었으며 공사시점인 2001년 6월 현재 22년이 경과되어 부패에 대한 쓰레기 침하량은 완료된 것으로 확인되었다. 남측부지의 경우 1982년 4월에 매립이 시작되어 1984년 7월에 매립이 완료 되었으며 공사시점인 2001년 6월 현재 19년이 경과되었다. 검토대상이 되는 매립층 및 점성토층의 지반구성은 표 1과 같다.

표 1. 중추낙하다짐에 의한 지층두께 및 N치 분포

지층명	두께 (m)	성분	N 값 (다짐전)
매립층	4.9 ~ 5.8	쓰레기섞인 실트질 모래층, 부분적으로 자갈층	6/30 ~ 8/30
충적층	1.1 ~ 3.1	점토질 실트 및 실트질 점토층	7/30 ~ 9/30
충적층	0.0 ~ 1.5	모래층 및 자갈질 모래층	-
충적층	4.2 ~ 5.1	실트섞인 모래질 자갈 및 모래질 자갈층	44/30 ~ 50/22
연암		Black shale	-
N 값 평균			7/30

중추낙하다짐공법(북측, 남측)구간의 최상부층은 쓰레기 매립층으로 점토섞인 실트질 모래 및 쓰레기로 구성되어 있으며, 상대밀도는 느슨한 상태이다. 지하수위는 북측부지(GL-5.9m)보다 남측부지(GL-2.9m)의 지하수위가 높게 위치하고 있어 동다짐시 남측부지는 지하수위에 대한 영향이 있는 곳이다. 적용된 장비의 제원은 표 2와 같다.

표 2. 사용된 동다짐장비의 제원

장비 및 기계 명칭	형식 및 사양	단위	수량	중량
Crane	HS882HD	대	1	
B/H	1.0 m <sup>3</sup>	대	1	
중추(Pounder)	2.2m x 2.2m	조	1	23ton
	1.8m x 1.8m	조	1	14ton

동다짐에 따른 타격위치 및 타격방법은 그림 1와 표 3에 나타내었다.

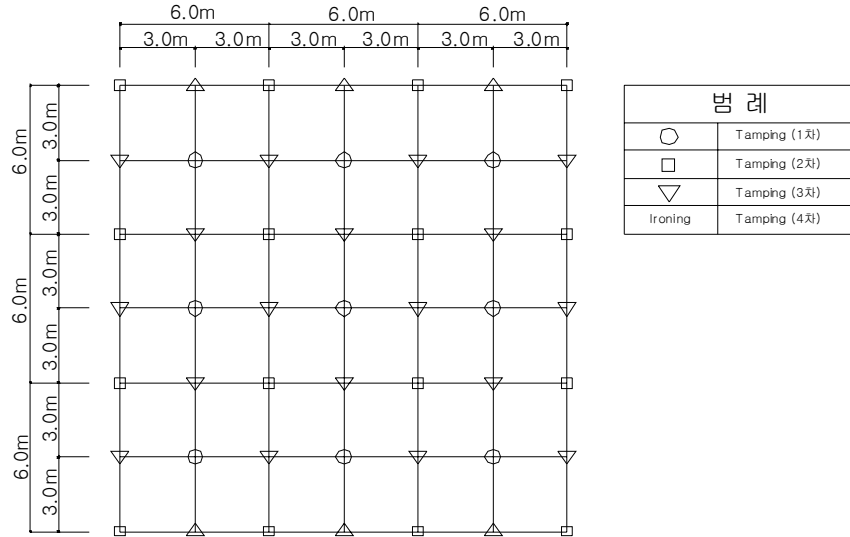


그림 1. 동다짐 타격위치

표 3. 동다짐의 타격 방법

단계	추 중량 (ton)	낙하고 (m)	타격회수 (회)	GRID (m×m)	다짐에너지 (t·m/m <sup>2</sup> )
1	23	9	25	6.0×6.0	143.7
2	23	9	20	6.0×6.0	115
3	23	9	10	6.0×6.0	57.5
4	14	9	1		
계					316.2

### 3. 개량효과 평가 방법

개량효과의 판정을 위하여 표준관입시험과 동적 콘관입시험, 지반고를 측정하였으며 시험수량을 표 4에 나타내었다.

표준관입시험은 KSF-2318 규정에 의하여 63.5kg의 Hammer를 75cm 높이에서 자유낙하시켜 30cm를 관입하는 관입저항치(N value)를 측정하였다. 표준관입시험은 각 지점별로 동다짐 시추공 중 대표적인 1개소에서만 실시하였고 측정심도는 지표하 1.0m부터 1.5m 간격으로 실시한다. 본 연구에서 표준관입시험은 동다짐 전후로 실시하여 지반강도 특성을 파악하고자 계획하였다.

동다짐 전과 시험 후의 지반강도 증가에 따른 지반개량 효과를 파악하기 위하여 각 시험 동다짐 지점별로 2개소에서 동다짐 전후로 동적콘관입시험을 실시하였다. 시험은 지표에서부터 15cm 간격으로 63.5kg Hammer로 75cm의 높이에서 자유낙하시켜 15cm 관입된 콘의 관입저항치(N<sub>d</sub>-Value)를 측정하였다. 본 연구에서는 동다짐 전, 후로 각 지점의 동적콘관입시험을 수행하였다.

중추낙하다짐 시공에 따른 부지 전체의 침하량을 산정하기 위하여 각 단계별 다짐이 끝난 후 Crater가 형성된 시험부지를 평탄작업을 실시한 후 총 8개소에서 지반고를 측정하여 평균값을 산정하였다.

표 4. 중추낙하다짐의 품질관리를 위한 현장시험 수량

공 종	단위	다짐전	1차 다짐후	2차 다짐후	3차 다짐후	4차 다짐후	소 계
시추조사	공	2	2	2	2	2	10
표준관입시험 (SPT)	회	16	15	15	15	15	76
동적콘관입시험 (DCPT)	공	2	2	2	2	2	10
지반고 측정	회	2	2	2	2	2	10

## 4. 개량효과 분석

### 4.1 표준관입시험에 의한 개량효과

지반개량전 N치가 6/30 ~ 9/30인 지반이 지반개량후 1차 다짐시에는 N치가 9/30 ~ 13/30, 2차다짐시에는 10/30 ~ 17/30으로 증가하며, 3차 다짐시 N치는 14/30 ~ 17/30, 4차 다짐시에는 19/30 ~ 25/30으로 증가하였으며 다짐으로 인하여 지표면으로부터 약 6m 하부지반까지의 N치가 크게 증가하였다(표 5). 개량깊이가 약 6.0m인 바 Leonards et al.(1980)가 제안한 식 (1)를 이용하여  $\alpha$ 값을 계산하면 0.42값을 나타낸다.

$$D = \alpha \sqrt{(W \cdot H)} \quad (1)$$

여기서, W : Hammer 무게 (ton), H : 낙하고 (m)  $\alpha$  : 개량심도계수 (경험적인 수치)이다.

1차 다짐후와 2차 다짐후 표준관입시험은 중추가 낙하된 지점을 피하여 타격점과 타격점 사이에서 조사를 시행한 결과로 실제 시공 부지 전체의 강도에 비하여 N치 증가량이 작게 나타나고 있으나 3차와 4차 다짐후 타격지점에서 조사된 결과를 살펴보면 전반적으로 평균 N치는 16/30 ~ 22/30으로 증가한 것으로 나타났다.

### 4.2 동적콘관입시험에 의한 개량효과 분석

동적콘 관입시험 결과는 매립층의 쓰레기로 인한 불균질 특성으로 인하여 연경이 교호하는 특징을 보이고 있으나 전반적으로 다짐에 의한 타격수는 평균 7/30에서 다짐완료후 평균 15/30으로 증가 경향을 뚜렷하게 보여주고 있다. 다짐으로 인하여 지표면으로부터 약 7.0m 하부지반까지의 N치가 크게 증가하였다. 개량깊이가 약 7.0m이므로 식 (2.1)를 이용하여  $\alpha$ 값을 계산하면 0.48을 나타낸다.

### 4.3 지반고 측정 결과분석

중추낙하다짐 시공에 따른 부지 전체의 침하량을 산정하기 위하여 각 단계별로 부지내 지반고를 측정하였다. 각 단계별 다짐이 끝난 후 Crater가 형성된 시험부지를 평탄작업을 실시한 후 총 8개소에서 지반고를 측정하여 평균값을 산정하였으며 측정값은 그림 2와 같다. 각 단계별로 각 지점의 지반고를 측정하여 최종침하량을 측정한 결과 침하량은 북측부지는 1.729m로서 침하 효과가 크게 나타나고 있으며 설계시 예상 침하량보다 크게 조사되고 있다.

표 5. 동다짐이전과 이후의 표준관입시험 결과

지층명	N 값					중추다짐에 의한 지층별 N치 변화
	다짐전	1차 다짐후	2차 다짐후	3차 다짐후	4차 다짐후	
매립층	6/30 ~8/30	9/30 ~13/30	10/30 ~17/30	14/30 ~17/30	19/30 ~25/30	
충적층	7/30 ~9/30	10/30 ~15/30	7/30	-	-	
충적층	-	-	17/30	22/30	24/30	
충적층	44/30 ~50/22	50/27 ~50/23	50/26 ~50/22	38/30 ~50/22	50/30 ~50/22	
연 압	-	-	-	-	-	
N 값 평균	7/30	11/30	13/30	16/30	22/30	

표 6. 동다짐 이전과 이후의 동적관입시험 결과

심 도 (m)	동적관입시험 타격횟수 (N <sub>d</sub> )					동적관입시험 타격수 변화도
	다짐전	1차 다짐후	2차 다짐후	3차 다짐후	4차 다짐후	
0.0~1.0	-	-	-	-	-	
1.0~2.0	3~5	5	-	-	-	
2.0~3.0	1~6	4~8	3~6	1	8~11	
3.0~4.0	1~3	3~8	6~10	1~12	11~13	
4.0~5.0	2~5	6~7	5~8	6~10	6~13	
5.0~6.0	3~10	6~8	7~10	7~14	7~16	
6.0~7.0	4~14	7~11	6~9	11~19	10~20	
7.0~8.0	7~13	9~15	5~12	8~15	6~14	
8.0~9.0	8~14	8~14	10~13	13~19	13~19	
9.0~10.0	9~24	8~27	13~23	15~30	17~30	
10.0~11.0	-	-	-	-	-	
평 균	7	8	9	12	15	

남측부지는 각 단계별 다짐 후 각 지점의 지반고를 측정하여 다짐후의 침하량을 측정한 결과 침하량은 0.379m로 측정되었으며 다짐종료후 최종 침하량은 0.706m로 나타났다. 남측부지보다 북측부지의 침하량이 크게 나타난 이유는 대상지반의 흙의 종류, N치 분포, 지하수위 및 중추의 제원에 따라 침하량의 차이가 있지만 북측부지(GL-5.9m)의 지하수위가 남측부지(GL-2.9m)보다 낮게 분포하여 북측부지의 다짐효과가 크게 나타났다고 판단된다(표 7 참조).

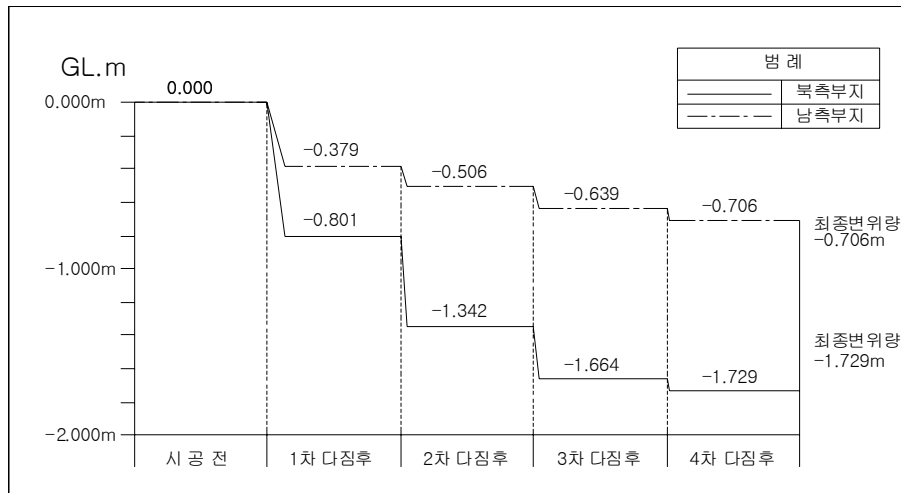


그림 2 중추낙하다짐에 의한 단계별 부지 침하량

표 7. 중추낙하다짐에 의한 지하수위와 침하량의 관계

구분	지하수위(GL-,m)	침하량(m)	다짐에너지(ton·m/m <sup>2</sup> )
북측부지	GL-5.9m	-1.729	316.2
남측부지	GL-2.9m	-0.706	389

## 5. 결론

- 1) 각 공법별 매립층에 대한 표준관입시험 결과를 정리하면 아래와 같다. 중추낙하다짐 적용구간은 N치가 6.5/30~22.5/30으로 약 349% 증가하였다.
- 2) 각 공법별 동적콘관입시험 결과, 중추낙하다짐 적용구간은 초기의 동적콘관입치( $N_d$ )가 7/30에서 17/30으로 약 243% 증가하였다.
- 3) 중추낙하다짐에 의한  $\alpha$ 값은 0.25~0.48로 폐기물층에 대한 일본토질공학회(1987)의 연구결과(0.3~0.5) 및 광산폐기물에 대한 Lukas(1986)의 연구결과(0.35~0.4)와 유사한 범위를 보이고 있다.
- 4) 각 공법별 표준관입시험결과와 동적콘관입시험결과와의 상관관계를 비교하면  $N = 0.9442 \times N_d$  관계로 측정되어, 동다짐에 따른 동적콘관입시험 결과가 표준관입시험의 결과보다 약 6%정도 크게 나타났다.

## 참고문헌

- 대구복합화물터미널 (주), “대구 서부화물역 건설공사 지반개량공 계측관리 종합보고서” 2002.
- Leonards, G. A., “Dynamic Compaction of Granular Soil.” Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 106, No. GT1, 1980, pp.35-44.
- Lukas, R. G., “Densification of Loose Deposits by Pounding.” Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 106, No. GT4, 1980, pp.435-446.
- 日本土質工學會, 軟弱地盤對策公法, 1987, pp. 321-328