

건설부지로서 폐기물 매립지반의 활용에 관한 연구

Utilization of Finished Municipal Landfill as a Construction Site

천 병 식*¹ Chun, Byung-Sik
여 유 현*² Yeoh, Yoo-Hyeon
최 춘 식*³ Choi, Choon-Sik

Abstract

In order to make use of finished municipal landfill as a construction site, it is necessary to consider environmental and geotechnical aspects for the ground improvement and application of waste landfill. In environmental aspect, methods for management of landfill gas and leachate have to be established, and in geotechnical aspect, it is necessary to investigate available method for constructing structure foundation. In this study, the finished landfill was selected for pilot test. Investigation about the environmental characteristics of the waste landfill was performed to establish the methods for management of landfill gas according to monitoring the gas quantity and to investigate economical efficiency according to utilizing landfill gas. Investigation about cases of utilizing the waste landfill in Korea and abroad as construction site was performed and pilot tests were performed to analyze the improvement effects of methods such as dynamic compaction method and PG pile method available to waste landfill. The results of this study showed that economical profits could be gained by utilizing landfill gas and improved waste landfill, besides, dynamic compaction method was effective in case of improvement depth being shallow, and PG pile method was effective in case of improvement depth being deep.

요 지

폐기물 매립지를 건설부지로 활용하기 위해서는 환경과 지반공학적 측면에 대하여 종합적인 검토가 이루어져야 한다. 환경적인 측면에서는 반드시 매립폐기물 특성에 따른 매립가스의 관리방안과 침출수에 대한 대책이 이루어져야 하며, 지반공학적인 측면에서는 양호한 구조물 기초지반을 조성하기 위한 적용 가능한 공법의 검토가 필요하다. 본 연구에서는 대상부지를 대규모 폐기물 매립지반인 ○○○ 매립지반으로 선정하여 환경적인 측면에서는 폐기물 특성 조사를 실시하여 매립가스 발생량 측정에 따른 매립가스 관리방안 수립 및 매립가스 이용에 따른 경제성을 검토하였으며, 지반공학적인 검토를 위하여 국·내외의 폐기물 매립지반을 건설부지로서 활용한 사례조사를 실시하였으며 폐기물 매립지반에 적용 가능한 공법(동다짐 공법, PG pile공법)에 대하여 현장 시험시공을 실시하여 개량특성을 파악하였다. 연구결과 매립가스의 자원화 및 안정화후의 토지이용에 따른 경제적 수익성을 파악할 수 있었으며, 폐기물 매립지반에서의 보강공법으로서 개량 필요 심도가 비교적 얇은 경우에는 동다짐 공법이, 심도가 깊은 경우에는 PG pile 공법이 개량특성이 양호한 것을 파악할 수 있었다.

Keywords : Dynamic compaction, Finished municipal landfill, Landfill gas, PG pile

*1 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수 (Member, Professor, Dept. of Civil Engrg., Hanyang Univ.)

*2 정회원, (주)가야이엔지 대표이사/한국해양대학교 공과대학 토목공학과 겸임교수 (Member, Concurrent Professor, Dept. of Civil Engrg., Korea Maritime Univ.)

*3 정회원, 한양대학교 대학원 박사과정 (Member, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Engrg., Hanyang Univ.)

1. 서론

최근 인구증가 및 도시공간의 밀집화로 도시 주변지역의 개발영역이 계속적으로 확장되고 있어 과거 도시 인근에 형성되었던 폐기물 매립지역을 도시생활공간의 일부로 활용하고자 하는 필요성이 점차 증가되고 있다. 현재 국내 발생 폐기물의 93%정도는 매립 처분되고 있어 폐기물 매립지의 수요가 증가하고 있고, 이와 같이 사용 완료된 폐기물 매립지에 대한 건설부지로서의 활용이 요구되고 있다. 특히 국내 폐기물 매립지는 대부분 단순 투기된 불량매립지로서 부지면적이 넓고 도시 인근에 위치해 있으므로 이에 대한 환경측면에서 체계적인 정비와 더불어 건설부지로 활용할 수 있다면 효율적인 가치는 매우 클 것으로 기대된다. 일반적으로 폐기물 매립지를 건설부지로 활용하기 위해서는 환경적인 측면과 더불어 지반공학적인 측면에 대한 접근을 통한 부지 활용계획이 모색되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 국내 대표적인 폐기물 매립지인 ○○○ 매립지를 중심으로 조사, 시험 및 시험시공을 실시하였다. ○○○ 매립지의 환경적 특성 파악을 위하여 매립지 현황과 폐기물의 성상, 침출수특성, 매립가스특성, 매립가스 발생유량 및 발생 압력 등에 대한 현장실험을 실시하여 적용성을 파악하고자 하였으며, 지반공학적인 특성 파악을 위하여 동다짐 공법과 PG pile공법을 검토·선정, 시험시공을 실시하여 공법의 적용성을 파악하였다.

2. ○○○ 폐기물 매립지 특성

2.1 지반특성

○○○ 폐기물매립지는 서울시 ○○동에 위치하고 있으며 제 1매립지와 제 2매립지의 2개의 인공산으로 이루어져 있으며 1978년 3월~1993년 3월까지 Open Dump 방식으로 매립되었다. 매립면적은 약 823,000평이며 매립폐기물 총용량은 91,972,000m³(약 111,694,000 ton)이다. 제 1매립지는 매립고 94m의 생활폐기물이 매립되어 있고, 제 2매립지는 매립고 98m, 생활폐기물, 건설폐기물이 매립되어 있다. 또한 1, 2매립지와 매립장 사이의 부지의 매립고는 37m로서 매립지반 하부에는 충적층(토사층, 사력층), 풍화대층(풍화토, 풍화암), 기반암층 등으로 구성되어 있다(천병식, 2000).

2.2 매립재 성분

3성분 분석에 따르면 제 1매립지는 수분, 가연분, 회분이 평균 각각 33.8%, 20.5%, 45.7%였으며, 제 2매립지는 각각 18.8%, 13.5%, 67.7%로 조사되었다.

2.3 침출수 특성

매립지내 침출수 수온은 슬러지의 분포에 따라 다른 양상을 보이나 최소 18.5℃ 에서 최대 56℃이며, 침출수의 분포상태를 파악하기 위해 전기 수직 및 수평탐사를 실시한 것을 인용하면 기저침출수의 수위가 제 1매립지의 경우 평균 E.L 38.5m이고 제 2매립지의 경우는 E.L 37.8m으로 나타났다. 매립층 상부에 존재하는 응축 및 부유침출수 수위는 제 1매립지의 경우 지표면하 약 2.1~0.3m, 제 2매립지의 경우는 지표면하 1.3~7m를 보이고 있다. 그러나 ○○○ 매립지 안정화 공사범위 중 매립가스 추출공의 보링작업시 육안으로 살펴본 결과는 상층부에 위치한 응축 및 부유침출수 수위의 범위가 당초 시험결과보다도 더욱 크고 넓게 나타남을 보이고 있다. 침출수 성상분석 결과를 살펴보면 pH는 6.6~8.7 범위로 일반 매립지침출수의 분석결과와 비슷하고, 유기물 농도는 매립지 상부가 가장 높고 매립지 사면부, 매립지 주변, 매립지 외곽의 순으로 농도가 낮아지는 것으로 조사되어 매립지 중심에서 침출수가 주변지역으로 확산되는 것으로 추정되었다. 또한 생물학적 성분해 특성으로 판단되는 지표로 사용되는 BOD/COD_{cr} 값은 주변지역 및 외곽지역을 제외하고 대부분 0.01~0.24 이하의 값을 보이므로 매립지내 유기물이 상당히 안정화되어 있는 것으로 판단된다. 매립지 침출수의 T-N농도는 제 1, 2매립지 상부의 경우 2,000mg/l이상으로서 미국 침출수의 경우 1,000mg/l인 것과 비교해 볼 때 차이가 나는 데 이는 매립폐기물 성분이 다르기 때문인 것으로 사료된다.

표 1에서와 같이 안정화 공사 전·후의 물수지를 살

표 1. 안정화 공사전·후의 매립지 물수지

구분		표면유출량	증발산량	침출수 발생량	배수층 배수량
안정화 공사전	m ³ /d	2,551.8	4,927.4	2,697.4	-
	%	25.1	48.4	26.5	-
안정화 공사후	m ³ /d	2,861.0	3,605.5	866.1	431.3
	%	36.9	46.4	11.1	5.6

표 2. Yard 별 다짐 패턴 및 다짐에너지

구 분	시험동다짐 부지정지형태	다짐에너지		Tamping 상세			비 고
		무 게	낙하고	단 계	Grid	타격횟수	
Yard-1	복토재를 제거하지 않고 실시하는 경우	15 t	20m	1	8×8m	10회	
Yard-2		15 t	15m	2 3 Ironing	8×8m 5.6×5.6m 2×2m	10회 5회 1회	
Yard-3	복토재를 0.5m제거하고 실시하는 경우	15 t	20m	1	8×8m	10회	
Yard-4		15 t	15m	2 3 Ironing	8×8m 5.6×5.6m 2×2m	10회 5회 1회	

퍼보면 매립지의 상부 및 사면에 최종복토를 실시하면 매립지 상부에서의 강우유입을 차단하여 침출수의 발생량을 감소시키는 효과가 있음을 알 수 있었다. ○○ ○ 매립지의 평균 침출수 발생량은 866m³/d이다.

2.4 매립가스 특성

시간의 경과에 따른 매립가스 평균 조성변화를 살펴 보면 CH₄는 52.96%, CO₂는 41.99%, O₂는 0.38%, N₂는 1.83%이다. 추출시험결과를 이용하여 메탄가스추출량을 추정하면 175Nm³/min 이다. 주요 성분 분석 결과 제 1매립지의 CH₄ 농도범위는 45~60%를 유지하고 있으며, 제 2매립지는 25~60%를 보이고 있다. CO₂의 경우 제 1매립지와 제 2매립지의 차이점은 없고 농도범위는 30~50%이다. 또한 미량 성분 분석 결과, 매립지에서 악취를 유발시키는 주요물질은 황화수소와 암모니아로 각각의 농도는 1.5ppm, 0.3ppm정도이며, Benzene, Toluene, Xylene의 농도는 1~10ppm내외의 값들을 보인다.

3. 지반개량 시험시공

폐기물 매립지반에서 건설부지활용을 위한 지반개량 공법 적용성 검토를 위하여 다양한 공법중 적용성 검토를 통하여 가장 적용사례가 많고 적용성이 우수한 것으로 평가되는 동다짐 공법과 신공법인 PG pile 대하여 시험시공을 실시하였다. 적용 공법은 모두 매립지반 조건에 따라 지반침하, 지지력 확보를 통한 구조물 기초지반으로서 적정성 확보 여부를 파악하고자 하였다.

3.1 동다짐 시험시공

3.1.1 동다짐 공법

동다짐공법은 1969년 Louis Menard에 의하여 최초로 개발된 공법으로서 개량하고자 하는 지반에, 10~60ton의 무거운 추를 10~40m높이에서 낙하시키면 100~2400ton·m의 충격 에너지가 탄성파로 지중에 전달되고, 수평방향의 인장응력이 발생하여 수직방향의 균열이 발생하고, 지반이 압축되면서 다짐효과가 발생하여 밀도의 증가 및 즉시침하를 일으켜 매립지 자체의 강도가 증진되는 공법이다(Menard 등, 1975).

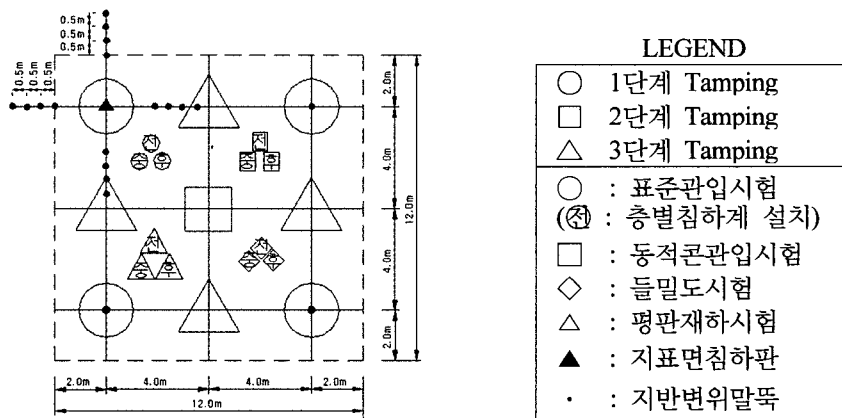


그림 1. 다짐 패턴 및 계측 계획

표 3. 동다짐 시험시공지역 실내토질시험 결과

심도(m)	함수비(%)	비중	액성한계(%)	소성지수	통일분류	지층
30.0	26.5	2.71	29.9	6.4	ML	충적층
53.5	17.8	2.78	26.1	4.2	ML	풍화토
59.5	14.5	2.75	NP	NP	SM	풍화암

3.1.2 시험시공계획

동다짐 시험시공은 제 1, 2매립지 중간위치에서 실시하였으며 각 Yard별 다짐 패턴 및 계획계획은 다음 표 2 및 그림 1에 나타난 바와 같다(김영목 등, 1992). 각 Yard별 구분은 표 2에 나타난 바와 같이 Yard-1, Yard-2는 복토재를 제거하지 않은 경우와, Yard-3, Yard-4는 복토재 0.5m를 제거한 경우로 구분하여 다짐에너지에 따라 4개 Yard로 구분하였다.

또한 동다짐시 발생하는 진동 및 소음을 측정하여 공사장 주변의 일정한 영향권 내에서 인접건물에 피해 영향을 파악하고자 하였다(천병식, 김도식 등, 2000).

3.1.3 동다짐 시험시공 결과

(1) 동다짐 시험시공 지반의 토질특성

○○○ 폐기물 매립지내 동다짐 시험시공 지반의 실내토질시험(물성) 결과를 교란시료를 대상으로 실시한 결과는 표 3과 같다(동아건설산업, 1999).

(2) 표준관입시험

동다짐공법 적용에 따른 지반개량정도를 확인하기 위하여 동다짐 전·중·후로 표준관입시험을 실시한 결과 그림 2와 같다. 동다짐 시공전 전·중·후의 관입저항치(N치)는 대부분 증가되고 심도 9~10m까지 전반적으로 지반이 개량된 것으로 확인되었다.

(3) 동적콘관입시험(DCPT)

그림 3에서는 각 Yard별로 동다짐 전·중·후로 구분하여 실시한 동적콘관입시험 결과를 보여주고 있다. 전체적으로 개량 후 동적콘관입저항치가 증가함을 알 수 있으나 불규칙적인 변화를 보이는 부분도 있다. 이와 같은 현상은 시험지점의 지반상태의 불규칙적인 구성 성분에 기인한 것으로 판단된다.

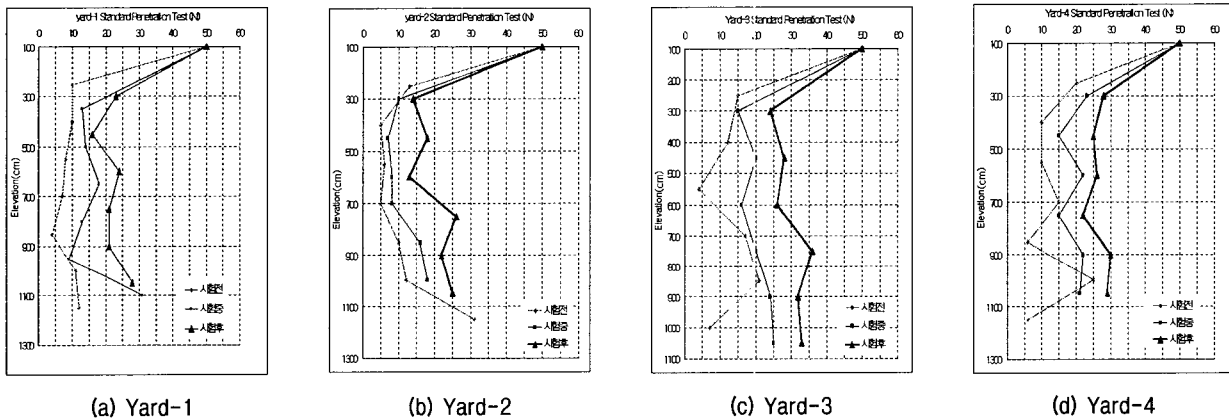


그림 2. 동다짐에 의한 표준관입저항치 변화

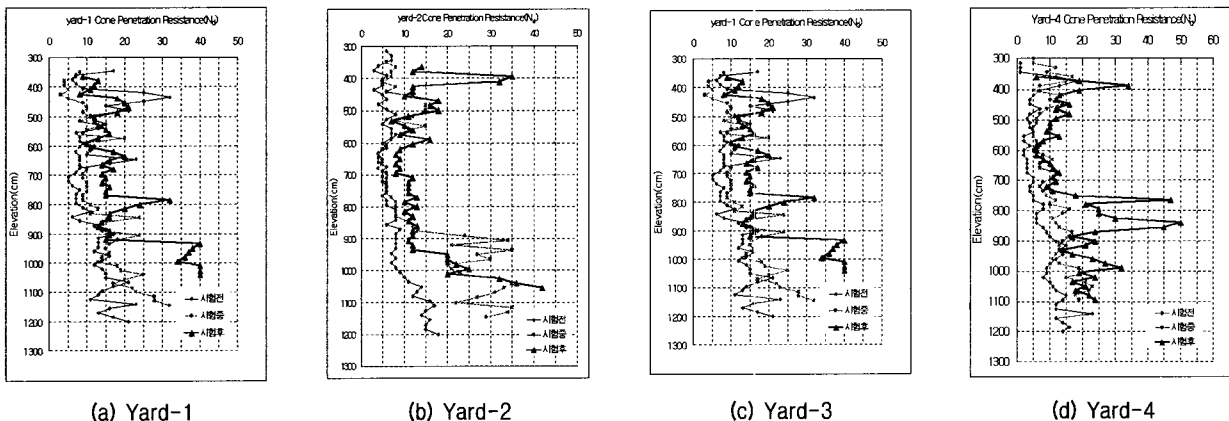


그림 3. 동다짐에 의한 동적콘 관입저항치 변화

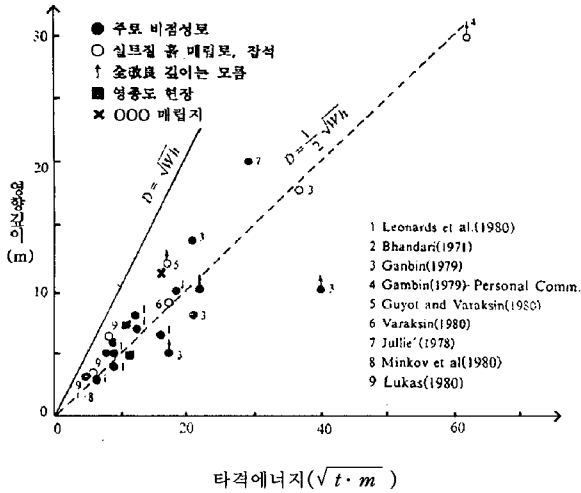


그림 4. 동다짐시 지반개량심도 비교

(4) 층별침하계 계측결과

층별침하계 계측수행결과 발생침하는 GL-3.0m에서 최대 16.5cm로서, 복토재를 제거한 경우 보다 제거하지 않은 Yard-1, 2에서 더 컸다. 또한 하층부(GL-7m, GL-11m)에서의 발생침하량은 복토재를 제거한 경우가 더욱 크게 발생한다. 이는 복토재를 제거하는 경우에 직접적으로 폐기물 매립부분에 동다짐 충격에너지가 탄성파로 지중에 전달되어 수평방향의 인장응력 발생으로 말미암아 수직방향의 균열과 지하수위 하부지반에서는 유로형성으로 충격으로 인한 과잉간극수압이 소산되어 지반을 압축시키므로 깊은 심도까지 개량이 가능한 것으로 판단된다. 따라서 깊은 심도까지 지반을 개량하기 위해서는 장비의 운영성을 고려한 최소두께의 복토재 설치가 필요한 것으로 판단된다. 계측수행 결과로부터 동다짐에 의한 개량 영향범위는 약 11m정도로 ○○○ 매립지가 매립 완료 후 15년 이하인 Young landfill로서 Menard 식 $D = \alpha \sqrt{W \cdot H}$ 에서 α 를 0.65(Van Impe 등, 1996)으로 적용하여 구한 개량심도($0.65\sqrt{15 \cdot 20} \approx 11m$)와 유사한 결

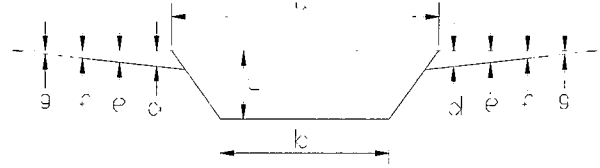


그림 6. Crater 형상계측

표 4. Crater 형상계측 결과

구 분	Yard-1	Yard-2	Yard-3	Yard-4
최적타격횟수	5~6 회	5~6 회	5~6 회	5~6 회
a (m)	3.36	3.21	2.82	3.01
b (m)	2.28	2.34	2.31	2.27
c (m)	0.726	0.682	0.497	0.475
d (m)	0.041	0.044	0.051	0.051
e (m)	0.026	0.021	0.026	0.023
f (m)	0.015	0.009	0.019	0.014
g (m)	0.009	0.003	0.013	0.011
A (m ²)	0.051	0.046	0.074	0.062
V2 (m ³)	-0.770	-0.675	-1.024	-0.887
V1 (m ³)	4.701	4.226	2.567	2.651
다짐효율 $\frac{v_1 - v_2}{v_1} \times 100(\%)$	116.379	115.973	139.891	133.459

과를 보이고 있다.

그림 4는 일반적인 경우와 시험시공지역의 개량심도 결과를 비교한 것으로서 다른 지역과 개량정도를 비교하였을 때, 폐기물 매립지반에 동다짐 적용시 그 효율이 일반토사지반보다 적용성이 우수함을 알 수 있다.

(5) 최적타격횟수 및 타격효율

각 Yard별 조건에 따른 적정타격횟수를 평가하기 위하여 타격횟수 증가에 따른 관입심도를 계측하여 그림 5와 같이 타격횟수 & 관입심도의 그래프의 접점에 타격횟수를 최적타격횟수로 하였다. 계측결과 복토재를 제거조건 및 다짐에너지의 구분없이 최적타격횟수는 5~

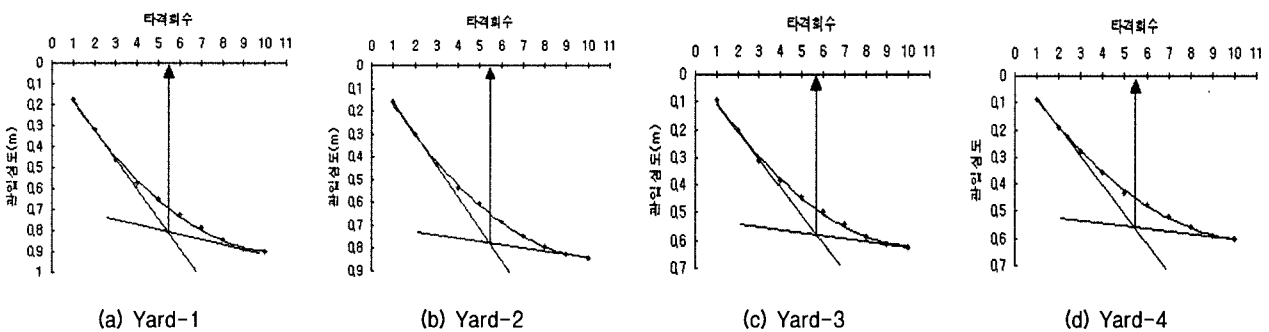


그림 5. 타격횟수에 의한 관입심도분포도

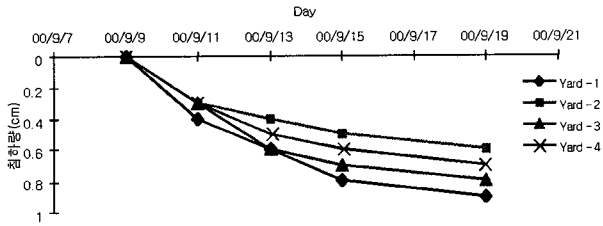


그림 7. 지표면 침하판 계측 결과

6회 정도로 평가되었다.

그림 6에서처럼 지반변위말뚝을 (+)형태로 설치하여 각 지점에서의 변형량을 계측 후 평균하여 산출하였는데 그 결과는 표 4에 나타내었다.

표 4에서와 같이 복토 제거 전 상태인 Yard - 1, 2에서

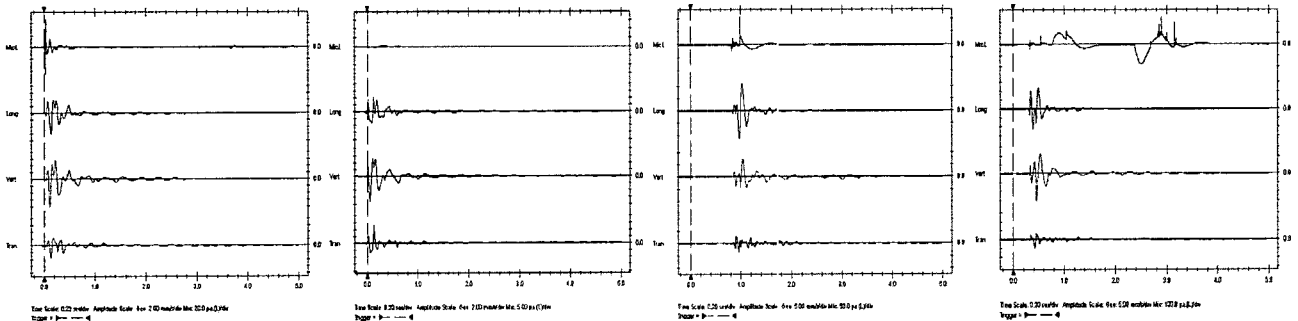
의 다짐효율은 112~116(평균 114)% 정도이며 복토 제거(약 0.5m)후 상태인 Yard - 3, 4의 다짐효율은 126~139(평균 133)%로 나타나 복토 제거 후 다짐효율의 증가는 약 19%정도 증가 한 것으로 나타났다.

(6) 지표면 침하판 계측

최종 타격후 지표면에서의 발생 침하량은 그림 7과 같이 최대 1cm정도이며 시간경과에 따라 수렴하는 것으로 나타나 입자 재배열을 통한 다소의 침하량 발생을 확인 할 수 있었다.

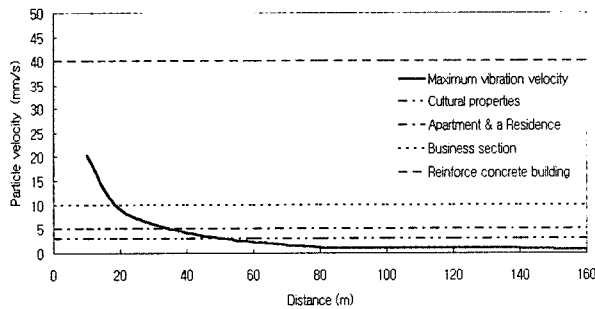
(7) 진동측정 결과

동다짐시 발생하는 진동 및 소음은 공사장주변 일정한 영향권 내에서 인접건물에 피해를 줄 수 있다. 이러

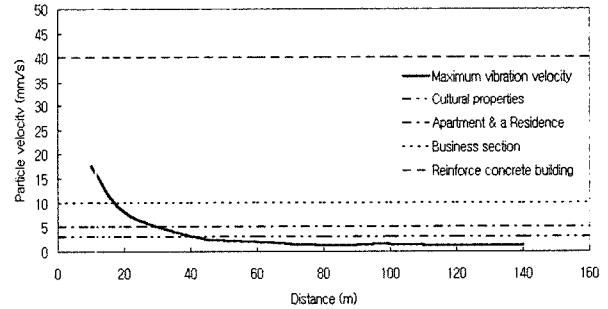


(a) Yard - 1의 경우(15t×20m) (b) Yard - 2의 경우(15t×15m) (c) Yard - 3의 경우(15t×20m) (d) Yard - 4의 경우(15t×15m)

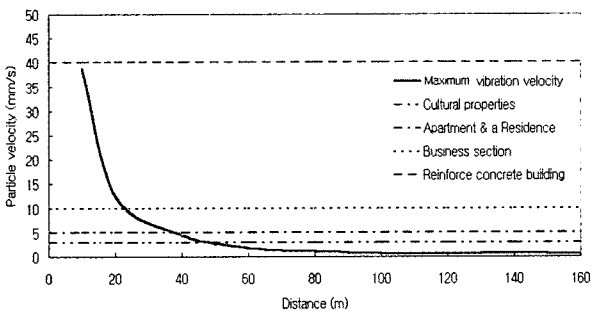
그림. 8 동다짐 시험시공시 대표적 파형기록(측정거리 20m)



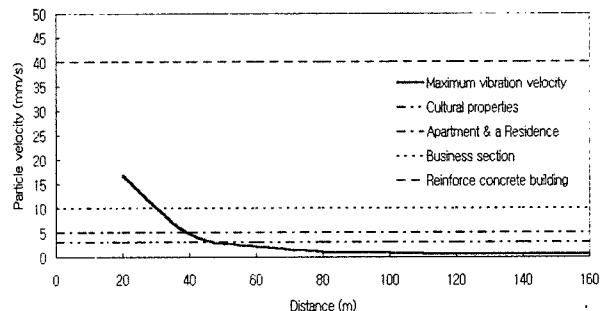
(a) Yard-1



(b) Yard-2



(c) Yard-3



(d) Yard-4

그림 9. 입자의 최대백터속도와 거리의 관계

표 5. 매립지반에서의 동다짐시공시 소요이격거리

Yard	Yard-1	Yard-2	Yard-3	Yard-4
구분	복토재를 제거하지 않은 경우		복토재를 0.5m 제거한 경우	
타격에너지	20m×15ton	15m×15ton	20m×15ton	15m×15ton
문화재 (2mm/s)	50~60m	40~50m	45~50m	50~55m
주택, APT (5mm/s)	35~40m	30~35m	35~40m	35~40m
상가 (10mm/s)	15~20m	15~20m	25~30m	30~35m

한 영향에서 벗어나기 위해 확보해야 하는 충분한 거리를 결정하기 위하여 동다짐시 발생되는 주변지반의 진동을 측정하고 분석하였다. 측정방법으로는 진동원로부터 떨어진 각각의 거리별로 진동을 측정하는 방법을 사용하여 진동이 미치는 영향반경을 구하고자 하였으며, 각각의 측정점에서 x, y, z 세 방향으로의 입자속도를 측정하였다. 측정장비로는 InstanTel Inc.의 BlastMateII (DS-477)을 이용하였고, 측정시에는 3-D Geophone을 사용하여 1회 측정시 마다 종방향(Longitudinal), 연직방향(Vertical), 횡방향(Transverse)의 진동측정이 동시에 이루어지도록 하였다. Geophone의 설치거리는 진동원(타격지점)으로부터 10m 및 20m간격씩 160m지점까지 측정하였으며 Yard별 대표적인 진동의 파형은 그림 8에 나타내었다.

측정된 결과를 분석하여 볼 때 진동속도는 횡방향, 연직방향, 종방향 순으로 나타났고 진동수는 암반발파나 말뚝향타와는 달리 10Hz내외의 저주파 진동이 나타나는 것으로 보여졌다. 그러나 동다짐에 의한 진동분석은 진동의 방향과 상관없이 최대속도 위주의 분석이 대부분이나 진동방향을 구분하여 피해정도를 분석하는 방안이 보다 바람직할 것으로 판단된다. 현재 시행되고 있는 진동에 관한 규정에 만족하고 있는지 서울·부산 지하철의 허용진동속도에 관한 규정을 참고하여 그림 9에 나타내었다.

그림 9의 결과로부터 동다짐 시공을 실시할 경우 구조물별로 제시된 진동속도허용치 기준에 따른 필요 이격거리를 나타내면 표 5와 같다. 표에서와 같이 문화재가 있을 경우 최소이격거리는 60m이상을 필요로 하게 된다.

또한 측정된 진동치를 진동원으로부터의 거리에 따라 Mayne(1985)의 회귀분석을 통해 도시하면 그림 10과 같다. 그림에서와 같이 낙하고가 증가할수록 최대입자가속도는 다소 증가함을 알 수 있는데 진동원으로부터 이격거리가 80m 이상에서 그 차이는 매우 작아짐을 알 수 있었다.

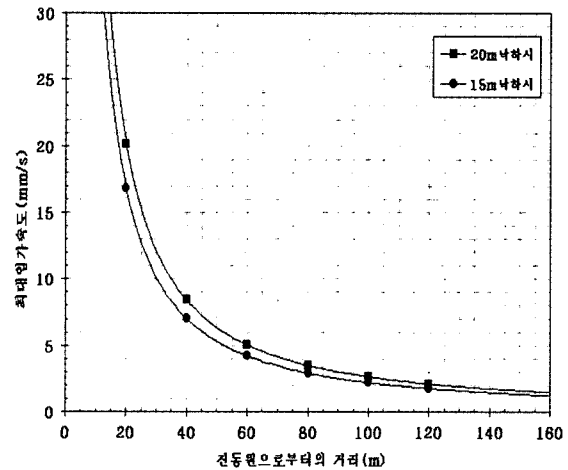


그림 10. 진동원으로부터 이격거리별 최대입자속도(Mayne, 1985)

3.2 PG pile 시험시공

3.2.1 PG pile 공법

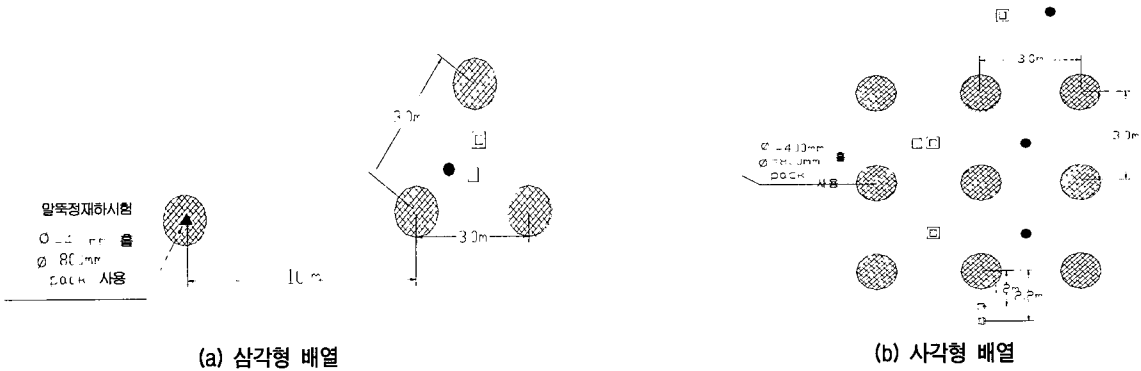
연약지반 또는 폐기물이 다량 함유된 지반에 오거로 소정의 깊이까지 천공한 후, 특수 제작한 Pack을 넣고 그라우팅 밀크를 적절한 압력으로 주입하면 Pack이 팽창하며 양생후 일정규모의 균질한 con'c pile을 형성하여 pile에 의한 선단지지말뚝 뿐만 아니라 설치시 주변 지반으로의 팽창으로 인해 지반을 압축강화시키는 복합지반 효과를 얻을 수 있는 공법이다. 표 6에서는 기존의 개량공법과 PG pile을 비교하여 검토하였다.

3.2.2 시험시공 계획

PG pile의 시험시공은 삼각형배열과 사각형배열로 각각 3×3m로 배치하였으며, 직경 400mm를 천공 후 팍 800mm를 삽입하여 각각 3공 및 9공을 타설 하였고, 개량심도는 10m로 하였다. PG pile 배치도 및 계측계획도는 그림 11과 같다(천병식, 최춘식 등, 2000).

표 6. PG pile과 기존 개량공법의 비교

구분	치환공법	PG 파일공법	약액주입공법	고압분사공법
공법 원리	연약지반을 양질의 토사 또는 모래로 치환하여 지반개량	천공지역에 Pack을 삽입하여 가압그라우팅을 실시하여 방사방향 압축에 의한 주변지반개량 및 연직지력 확보	주입관을 통하여 주입재(반원탁액계)를 지반 속에 압력을 걸어 넣어 간극을 메워 차수 및 지반강도 증가	초고압 경화재액을 지중에 회전·분사시켜 토사와 주입재의 혼합경화에 의한 고결체로 복합지반을 형성하여 지반강도 증가
공법 특징	장점	· 전토층에 걸쳐 개량 · 말뚝의 연직지력 효과가 큼 · 방사방향 압축으로 주변 지반개량 · Slime이 없으므로 환경친화적임	· 깊은 지반까지 개량가능 · 개량효과의 발현이 빠름	· 깊은 지반까지 개량가능
	단점	· 터파기 깊이에 따라 지하수 처리 및 사면안정 대책필요 · 굴착도 처리를 위한 투기장 확보 필요 · 굴착도에 의한 환경오염 발생	· 시공공정이 다소 복잡 · 현장조건 확인을 위한 시험시공 필요 · 오거천공시 토량발생	· 고압분사 교반공법에 비해 신뢰성저하 · 공사비가 고가임 · 2차 환경문제에 대한 대책 필요



(a) 삼각형 배열

(b) 사각형 배열

LEGEND

Symbol	◎	□	●	◻	▲
시험명	경사계	토압계	표준관입시험	평판재하시험	말뚝재하시험
수량	2개	2개	4	4	1
비고	· pile 중심으로부터 1.2m(심도 28m) · pile 중심으로부터 2.2m(심도 22m)	삼각형배열 및 사각형배열(심도 7m)	원지반 & 개량지반	· 원지반(0.2m) · 개량후(0.2, 0.7m)	pile길이 16m

그림 11. PG pile 배치 및 계획계획도

3.2.3 PG pile 시험시공 결과

(1) 시험시공 지반의 토질특성

○○○ 폐기물 매립지내 시험시공 지반에서 시료를 채취하여 실내토질시험을 실시하였으며, 시험결과를 요

표 7. 대상지반의 물리·역학적 특성

구분	1.0~8.0m
자연함수비 (%)	15~30
통일분류	SP
비중	2.14~2.8
액·소성한계	N.P
점착력 c (kg/cm ²)	0.0883~0.25
내부마찰각 φ (°)	34.34~41.99

약정리하면 표 7과 같다.

(2) 표준관입시험

개량 전·후 실시한 시추조사 결과 폐기물 매립지반의 경우 PG pile 주변지반에서의 N치는 4~11(평균 8)에서 8~15(평균 11)로 약 40% 정도 증가경향을 보이며, 느슨한 폐기물 매립지에서 지반강도 증대현상이 크게 발생하였다.

(3) 계측결과

말뚝주변에 일정한 거리를 두고 설치한 경사계(Inclinometer) 측정결과 그림 12에서와 같이 말뚝주변에서 10cm의 방사방향이 압축(반경 20cm⇒반경 30cm)이 진행된 PG pile에 의해 진행되었음을 알 수 있다.

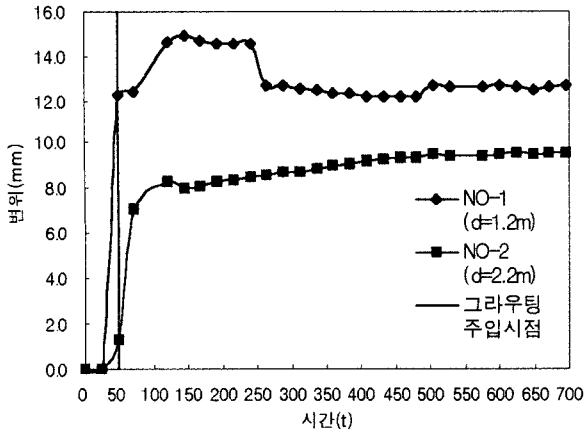


그림 12. PG pile 설치에 따른 주변지반 지중수평면위 경시변화

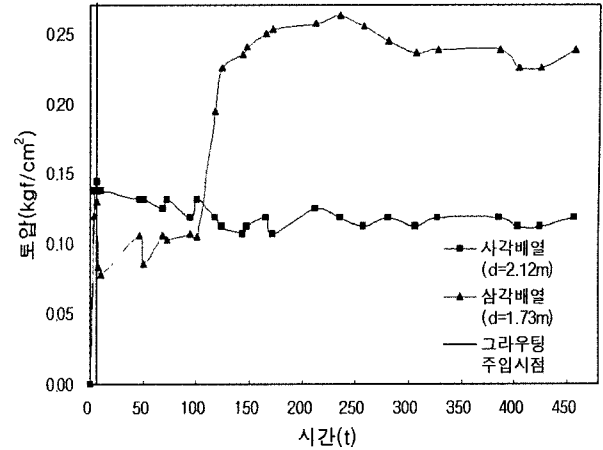


그림 13. PG pile 설치에 따른 주변지반 토압 경시변화

PG pile사이 지반내 설치한 토압계 계측결과 그림 13에서와 같이 PG pile 팽창과정 중 0.1~0.2t/m²정도의 토압이 수평방향으로 작용하고 있어서 PG pile 직경의 3D이상의 거리에서도 주입압에 의한 방사방향의 압력이 전달되면서 공동확장(Vesic, 1972)되었음을 확인할 수 있었다. 이와 같은 PG pile 주입시공시 발생하는 방사방향의 압축현상은 주변지반의 간극비를 크게 감소시키므로 복합지반효과에 의해 상재하중 작용에 의한 압축침하를 크게 줄이는 효과를 거둘 수 있다.

(4) 재하시험 결과

PG pile 주변지반은 평판재하시험 결과 원지반과 비교하여 11.7~34.6%(평균 23.2%) 정도의 지지력 증대 효과를 보이는 것으로 판단된다. 표 8에서는 일반매립토사지반에서 실시한 평판재하시험 결과로부터 지지력 증가율을 비교하여 나타낸 것으로 폐기물 매립지반에서의 지지력증가가 더 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 매립시 상황에 따라 불균질하고 매우 느슨한 특성을 지닌 폐기물 매립지반에서 지반개량공법으로서 PG Pile 공법의 개량효과가 크게 나타나고 있음을 보여 주고 있는 것이다.

표 8. 파일 주변지반 평판재하시험 결과

지반조건	일반매립토사지반			폐기물 매립지반					
	원지반	개량후(4각형 배치)		원지반	개량후				
		GL-0.2m	GL-0.7m		4각형 배치	3각형 배치			
시험조건	GL-0.2m	GL-0.2m	GL-0.7m	GL-0.2m	GL-0.7m	GL-0.2m	GL-0.7m	GL-0.2m	GL-0.7m
항복강도(t/m ²)	31.6	35.0	36.7	37.0	40.1	46.1	45.8	49.8	48.5
발생최종 침하량(mm)	12.5	10.2	8.8	3.3	6.0	3.2	5.8	4.6	5.0
허용지지력(t/m ²)	15.8	17.5	18.4	18.5	20.5	23.0	22.9	24.9	24.3
지지력증가율(%)	-	10.8	16.4	-	-	24.3	11.7	34.6	18.5

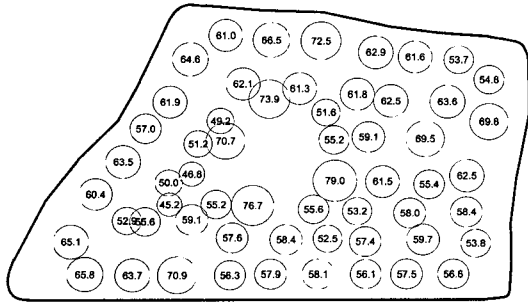
또한 PG pile에 대한 말뚝 재하시험결과 항복하중은 130ton/본으로 허용지지력은 65ton/본으로 평가할 수 있었다. 이와 같은 결과로부터 PG pile에 의해 개량된 지반은 PG Pile 주변지반의 지지력 증대와 더불어 강성이 큰 PG pile에 의한 파일 지지로부터 효과를 종합적으로 고려하는 복합지반효과(Nagaraj, 2000)를 얻을 수 있는 것으로 판단된다. 상기의 결과로부터 전층에 대하여 압축강화 시킬 수 있는 PG pile공법은 매우 느슨한 폐기물 매립지반에서 그 적용성이 매우 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

4. 환경처리계획

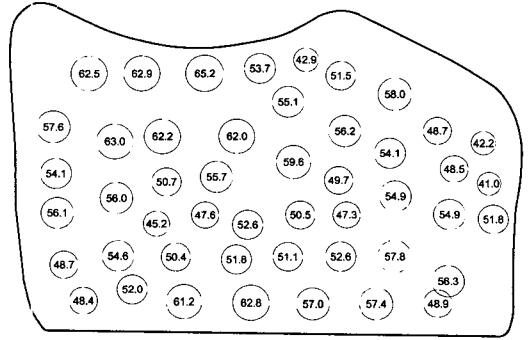
4.1 매립가스

4.1.1 가스포집정

제 1매립지는 58개공의 포집정(200mm)이 계획되어 각 포집정의 최대 배가스반경(maximal drainage radius of gas)은 평균 60m이고 제 2매립지는 48공개의 포집정(200mm)이 계획되어 각 포집정의 최대 배가스 반경



(a) 제 1 매립지



(b) 제 2 매립지

그림 14. 매립지별 최대 배가스 반경

(maximal drainage radius of gas)은 평균 54m이다. 매립지별 최대 배가스 반경은 그림 14에 나타내었다.

4.1.2 매립가스 발생량 측정

제 1매립지 포집정 매립가스는 유량 $1.59\text{m}^3/\text{min}$, 온도 32.4°C , 압력 1.0025atm 이고 제 2매립지 포집정 매립가스는 유량 $3.09\text{m}^3/\text{min}$ 온도 40.6°C , 압력 1.0031atm 으로 측정되었으며 매립가스 성분은 CH_4 51%, CO_2 46%, 기타 O_2 와 N_2 는 3% 정도이다.

4.1.3 파이프라인 시스템

본 매립지는 표 9와 같이 주배관망이 환형으로 외곽에 위치하며 주배관망과 연결된 부배관망은 포집정과 연결되어 있고, 주배관망 중앙에 역전방향으로 가스유동을 방지하기 위해 폐쇄밸브를 설치하며 주배관망에 추출기(Blower)를 설치하여 추출하는 방식으로 검토하였다.

4.1.4 매립가스 추출파이프라인 시스템

제 1매립지와 제 2매립지 파이프 라인망 중앙의 Blower를 통해 매립가스를 추출·수송하는 구조로서 매립가스추출을 위한 총 포집정 수는 106개소이고 매립

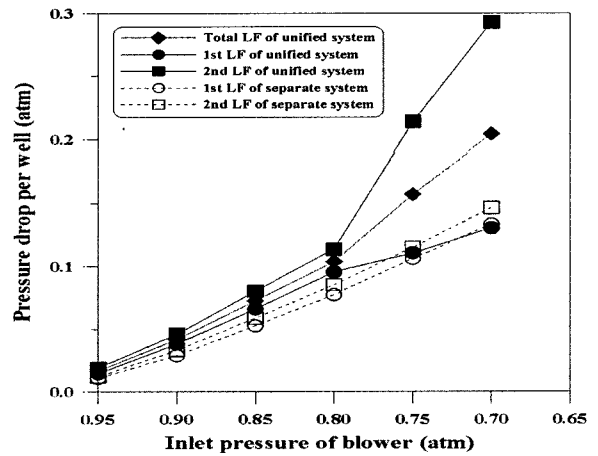


그림 15. Blower 흡입압력에 따른 포집정 압력강하

가스 추출 Blower의 입구압력은 $0.70\sim 0.95\text{atm}$ 이다. Blower 흡입압력에 따른 포집정 압력강하에 대하여 그림 15에 나타내었다.

그림 15는 Blower의 입구압력변화에 따른 1개 포집정에 걸리는 압력강하를 나타낸 것으로서 점선은 제 1매립지와 제 2매립지 매립가스를 개별적으로 추출하는 경우이고 실선은 제 1매립지와 제 2매립지 매립가스를 동시에 추출하는 경우로 계측결과 동시추출의 경우가 개별추출의 경우보다 압력강하가 크게 발생함을 알 수 있다.

표 9. 매립가스 포집 및 처리방안

구분	방식	개요
가스포집	강제추출방식 (Active system)	매립지내의 발생가스를 송풍기(Blower)로 강제흡인하여 포집
가스추출	복합방식	<ul style="list-style-type: none"> 매립지상부: 최종복토층에 차단층(HDPE sheet)을 설치하여 가스의 표면발산을 방지하고, 그 하부에 수명트렌치와 침출수위를 고려한 깊이로 수직압출정을 설치 매립지사면: 영향반경을 고려하여 수직압출정을 설치
이송관로설치	노출배관	가스이송관을 매립지 표면 상부에 설치하여 가스를 이송
가스처리	전력생산 및 잉여가스 소각	포집가스중 일부는 발전시설에 의해 전력을 생산하고 잉여가스는 연소시설에서 소각처리

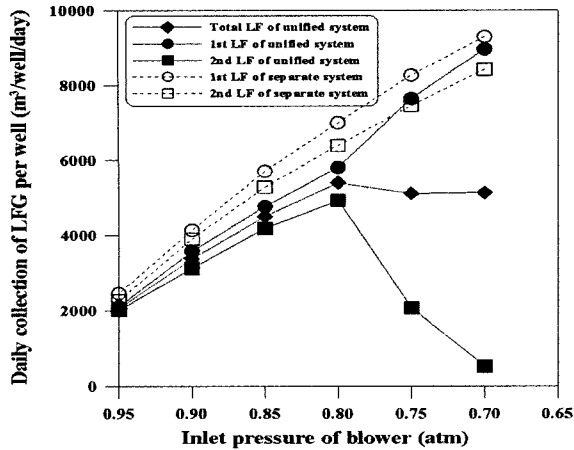


그림 16. Blower 흡입압력에 따른 매립가스 포집량

그림 16은 1개 포집정에서 1일 추출되는 매립가스 포집량으로 점선은 제 1매립지와 제 2매립지 매립가스를 개별적으로 추출하는 경우이고 실선은 제 1매립지와 제 2매립지 매립가스를 동시에 추출하는 경우로서 개별추출의 경우가 동시추출의 경우보다 1개 포집정에서 추출되는 매립가스량이 증가함을 알 수 있으며, 제 1, 2매립지에서 가스를 동시 추출하는 경우에는 Blower 입구압력을 0.8기압 미만으로 저하되지 않도록 흡입력을 조절해야만 제 2매립지의 가스를 모두 추출할 수 있을 것으로 관측된다. 특히 초기 가동시에는 작은 흡입력으로 서서히 가동시켜 Blower 입구압력을 0.95-0.9기압으로 유지하다가 파이프내에 침출수의 수분점유율이 상승하지 않으면 최하 0.9-0.8기압 상태에서 정상적으로 가동하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

4.2 매립가스 포집 및 처리방안

4.2.1 가스포집 방안

○○○ 매립지와 같은 경우 매립면적이 넓고 매립고가 깊으며 가스발생량이 많은 경우에는 외부에 가스누출에 대한 제어가 불가능하고 포집가스의 처리를 위한 대기 확산 또는 연소처리시 유해물질에 의한 대기오염 및 매립지 상부의 연소가스에 의한 경관저해와 지역주민에게 미치는 심리적 불쾌감을 유발하므로, 가스의 포집효율이 높고 매립가스의 대기오염을 최소화할 수 있을 뿐 아니라 가스를 회수하여 에너지원으로 재활용목적에 적합한 강제배출방식의 적용이 필요한 것으로 판단된다.

4.2.2 가스 추출 방안

매립지의 가스 압출방식은 매립지의 규모, 폐기물의 특성, 매립지의 깊이, 가스이동특성, 최종복토계획, 장래토지이용계획 등을 고려하여 결정되어야 한다. 압출관의 형태에 따라 수평트렌치, 수직압출정 두가지를 복합시킨 복합방식이 있다. ○○○ 매립지의 경우는 평균 매립고가 80~90m으로 매우 깊고 매립지내의 부유침출수위 및 기저침출수위(E.L 30m)가 높아 상부의 수직압출정만으로 가스추출시 포집효율면에서, 가스의 이동이 수직보다는 수평방향으로 매우 크기 때문에 사면으로의 가스누출이 많아 대기오염문제와 포집효율의 저하가 우려된다. 따라서 매립지 상부는 최종복토층에 차단층(HDPE sheet)을 설치하여 가스의 표면발산을 방지하고, 그 하부에 수평트렌치와 침출수위를 고려한 깊이로 수직압출정을 설치하며, 사면은 영향반경을 고려하여 수직압출정을 설치하는 복합방식의 계획이 필요한 것으로 판단된다.

4.2.3 이송관로설치 방안

각 압출정에서 강제포집된 매립가스는 이송관로를 통하여 가스관리시설로 이송되며 이송관의 설치위치에 따라 노출배관과 매설배관으로 구분할 수 있는데 이를 선정하기 위해서 매립가스의 발생량, 이송관의 재질, 매립지의 침하, 유지관리 및 경제성, 토지 이용성을 고려하여야한다. 이송관로를 매립배관으로 계획시 관의 신축변화가 적고 토지이용효율이 좋은 장점이 있으나 ○○○ 매립지의 경우, 폐기물 매립시 단순투기에 의한 복토 및 다짐이 이루어지지 않아 부등침하가 심하고, 매립 가스량이 많아 이송관의 규모가 크므로 설치비가 저렴하고 관의 유지관리가 용이한 노출배관으로 계획이 필요하다.

4.2.4 가스처리방안

○○○ 매립지 주변지역에 주거시설이 밀집되어 있는 지역 특성을 고려할 때 대기 확산 회색방법은 부적합하며, 연소시설에 의한 전량소각방법은 가스발생량 규모와 에너지 보존차원에서 상반되므로 포집가스 중 일부는 발전에 의한 전력을 생산하고 잉여가스는 소각처리하는 방안을 수립함이 바람직하다고 본다.

5. 고 찰

매립지반의 위치별·지층별 지층상태를 정확히 파악하는 일은 매우 어렵고, 개량공법 적용시에도 기초지반의 지지력을 만족하는 충분히 균질한 개량지반의 형성을 기대하기 어려우므로 제한적인 활용이 가능하다고 본다. 시험시공이 실시된 본 폐기물 매립지는 단순투기에 의해 장기간에 걸쳐 형성된 매립지로서 침출수에 의한 오염 및 가스분출에 대한 위험성이 큰 지역으로 이에 대한 처리가 우선적으로 이루어지고 있으며 폐기물 매립지반의 안정화 후에 건설부지로 활용이 가능한 기초지반으로서 적합하도록 하는 대책수립이 이루어져야 한다. 이에 대하여 고찰하면 다음과 같다.

5.1 건설부지로서의 활용에 있어서 일반적 문제점 및 대책

최근에 국내외적으로 폐기물의 발생량이 크게 증가하여 매립지의 숫자가 급증하고 있으며, 사용 완료된 매립지의 처리에 많은 어려움을 겪고 있다. 반면에 폐기물 매립지의 장기적인 거동과 매립된 폐기물의 물리, 화학, 역학적 특성에 대한 축적된 지식 및 경험이 풍부하지 않다. 이러한 폐기물 매립부지를 개발할 경우 토양 및 지하수 오염, 악취 등의 문제와 예상치 못한 매립지반의 거동으로 인하여 큰 어려움에 부딪히게 된다. 이와 같이 폐기물 매립지반은 일반 토사지반과는 다른 성질을 갖고 있기 때문에 부지이용에 있어서 폐기물에 의한 공학적 및 환경적 문제에 대한 대책을 강구할 필요가 있다. 폐기물 매립지 위에 축조된 구조물 중에는 구조물 축조 전에 폐기물을 치환하거나 폐기물을 완벽하게 안정처리하여 큰 문제가 없는 경우도 있으나 특별히 안정처리나 보강처리를 하지 못한 경우에는 지반침하, 가스발생, 지하수오염 등 많은 문제점이 노출되고 있다. 따라서 건설부지로서 폐기물 매립지반을 활용하기 위해서는 일반 지반특성과 다르게 다양한 다음과 같은 문제점과 이에 대한 대책수립이 필요하다.

(1) 폐기물 매립지반의 매립재가 지지력 확보가 양호한 재료일 경우 다짐작업에 의해서도 양호한 지반을 얻을 수 있지만 고함수의 무기성 폐기물 및 부패에 의한 분해정도가 큰 재료일 경우 이에 따른 별도의 처리 대책이 필요하게 된다.

(2) 또한 폐기물 매립지반은 간극 및 압축성이 크기 때문에 매립진행 및 구조물 하중 작용에 따라 지속적인

로 침하가 발생하게 된다. 발생 침하량이 구조물 기초의 허용침하량기준에 적합한 경우 문제가 없겠으나 대부분의 폐기물 매립지반의 발생 침하량은 일반적인 토사의 침하량과 비교하여 크게 발생하므로 침하발생과 관련한 지지력 부족 문제가 발생하게 된다. 일반적으로 폐기물 매립층의 지지력 부족은 관입전단 파괴형태와 유사하며 회전전단 파괴는 구조물 하중작용에 의한 사면 활동을 의미하게 된다. 이와 같은 지지력 부족문제를 해결하기 위하여 복토의 두께 및 밀도를 증가시키거나 폐기물 매립지반을 안정처리를 실시함으로써 구조물 하부지반의 지지력을 증대시킬 수가 있다. 복토를 돋우는 것은 지지력의 증가 외에도 우수의 침투방지, 가스와 침출수의 발생 억지 및 혐기성 분해 지연 등의 부수적인 효과도 얻을 수 있다. 폐기물 매립지반내의 침출수가 급격하게 누출되거나 부등침하가 발생하게 되면 매립지 표면에 곡면이 형성될 수도 있다.

(3) 폐기물은 생화학적, 전기화학적, 물리적 작용에 의하여 시간경과에 고유의 특성이 변하게 되고 침하량이 증대하게 되며 가스발생과 아울러 폐기물 분해과정에서 열이 발생하게 되는 데 이의 영향으로 지중온도가 상승하게 되고, 매립된 폐기물에서 발생된 침출수에 의하여 토양, 구조물 및 구조물 기초(pile)의 장기적인 안정성에 영향을 미치게 된다. 상기와 같은 발생문제의 해결을 위하여 지반개량공법 및 기초공법 적용시 사용자재의 내구성을 고려한 선정이 필요하다(예 : Gas 분출 폐기물 매립지반에 EPS공법의 적용은 부적절할 수 있음).

5.2 지반공학적 적용성에 관한 문제

폐기물 매립지반의 건설부지로서의 활용을 위해서는 지지력과 장·단기 침하량을 검토하여 구조물기초설계기준에 만족하여야 한다. 본 검토에서는 시험시공결과에 나타나는 지지력검토와 시험시공 대상지역의 장기침하에 대해 검토를 실시하였다.

(1) 지지력 검토

표 10과 같이 동다짐공법 적용전의 지반의 허용지지력은 $18 \sim 21t/m^2$ 이었으나 시험과정 중에는 $22 \sim 25t/m^2$ 으로 증가하였으며, 방치후(10일)에는 $24 \sim 27t/m^2$ 를 나타내어 약 30%의 지표면에서의 지반지지력이 증가된 것으로 나타났다. PG Pile 주변지반은 원지반과 비교하여 10.8~34.6%(평균 20.8%) 정도의 지지력 증대효과

표 10. 각 적용공법별 지지력 특성비교

위 치		항복강도 (t/m ²)	침하량 (mm)	허용지지력 (t/m ²)	비 고	
동다짐 시험시공	Yard-1	54	5.5	27	평판재하시험	
	Yard-2	48	5.8	24		
	Yard-3	54	12.0	27		
	Yard-4	48	6.6	24		
PG Pile 시험시공	개량지반삼각형내	No.1(G.L-0.2m)	49.8	4.6		25
		No.2(G.L-0.7m)	48.5	5.0		24
	개량지반사각형내	No.1(G.L-0.2m)	46.1	3.2		23
		No.2(G.L-0.7m)	45.8	5.8		23

를 보이는 것으로 나타났으며 지반조건이 느슨한 폐기물 매립지반의 강도증대효과가 크게 발생하는 것을 보여주고 있으며 말뚝과 주변지반의 상호복합지반 효과를 확인할 수 있었다.

(2) 장기 침하량 검토

○○○ 매립지의 침하량을 산정하기 위해 기본설계 및 실시설계기간 동안 매설된 총 60개의 침하판을 설치하여 계측하였다. 기본설계시 매설된 침하판의 경우 매설 당시로부터 약 760일이 경과한 1996년 1월말 현재 매립지의 침하거동은 일정한 침하속도를 갖는 장기적인 2차압밀 거동상태 혹은 1,2차압밀 사이의 과도기적 침하 양상을 보였다. 또한 매립지반의 불균질성, 불규칙한 매립이력으로 침하거동이 불규칙하게 일어날 것으로 예상하여 정지작업을 위한 매립고를 설정함에 있어 매립지별로 예상대표 침하량을 산정하여 정지계획고를 결정하기 위해 각 매립지별 최대침하량과 평균침하량을 산정하여 대표침하량을 결정하였다.

표 11은 대표침하량과 실측치를 비교하여 나타내었다. 대표침하량 산정을 위해 사용된 모델링은 Gibson & Lo model, Power Creep Law 및 Hyperbolic Model에 의한 침하해석법이며, 실측치는 1996년 1월말 기준으로 실제 측정된 침하량이다.

(3) 부지 조건별 공법의 적용성 검토

시험시공 결과에서와 같이 폐기물 매립지반의 건설 부지로서 활용함에 있어 폐기물 매립특성에 따른 부등

침하의 영향이 적은 구조물을 설치해야 할 것이며, 낮은 심도의 폐기물 매립지반의 개량공법으로서 동다짐 공법을 적용한다면 그 활용성은 매우 우수하며 개량심도와 진동·소음의 제한적인 요소가 많을 경우 PG pile 공법을 적용한다면 복합지반 효과에 의해 깊은 심도까지 개량할 수 있는 장점을 지니고 있다. 따라서 이들 공법은 건설부지로서의 폐기물 매립지반의 활용에 있어서 부지 특성을 고려하여 현장 적용할 경우 그 적용성이 양호할 것으로 판단된다.

5.3 매립가스 이용에 따른 경제성 검토

○○○ 제 1매립지와 제 2매립지 사이에는 가스와 침출수가 상호유동을 하지 못하는 독립된 매립지이며 그 형상은 최상부 복토층이 평평한 피라미드형이다. 제 1매립지와 제 2매립지를 각각 독립된 파이프 라인망을 통해 매립지 가스를 추출하여 그 효율성과 결과를 분석하고 또한 제 1매립지와 제 2매립지를 동시에 운용하는 통합체계에서도 파이프라인망을 분석하고 최종적으로 파이프라인망에 대한 최적 운용방안을 제시하여 이에 따른 부수적인 경제적 수익성이 도출되어야 한다.

4.1의 조건과 4.2의 계획 조건으로 4가지 경우의 조건하에 수도권 매립지 자원화 시설비를 기준하여 건설공사비를 계상할 경우 분석결과는 표 12와 같으며 내부수익률과 순현재가치를 종합하여 안정화 후 매립지의 토지를 이용하는 경우와 그렇지 않은 경우를 가정하여 개략적인 경제성을 분석하였다.

경제성 분석결과, 추정사례 3, 4, 2, 1의 순으로 발생빈도 가능순위가 나타났으며 결과적으로 안정화 후 매립지의 토지이용 효과가 발생하여야만 경제성이 있는 것으로 판단된다. 그러나 금번 연구는 정밀하게 구성한

표 11. 실측 침하량(단위:m)

구 분	대표침하량	실측치	
		최소침하량	최대침하량
제1매립지	1.235	0.4	2.95
제2매립지	1.360	0.61	2.04

표 12. 추정사례별 경제성 분석결과

사례	사례내용	토지이용	IRR(%)	NPV(억원)	(ROE, ROI)(%)	발생빈도가능순위
1	1년내 100% 가스추출 (감가상각 5년)	없음	1.18	△18.6	△18.72	4
2	5년내 100% 가스추출 (감가상각 5년)	없음	△6.05	△31.3	△24.04	3
3	5년내 70% 가스추출 후 5년내 소각 (감가상각 10년)	있음	36.62	847.3	338.40	1
4	5년내 100% 가스추출 (감가상각 5년)	있음	69.26	1,414.4	624.94	2

자료로 장래투자계획을 도출한 경우가 아닌 추정계획으로 예비타당성연구(PFS : Preliminary Feasibility Study)로 볼 수 있으므로 향후 보다 정확한 자료, 즉 매립지 안정화 종료시기와 이에 따른 투자이익에 관한 구체적인 정보를 활용해야만 사업투자에 대한 경제성을 정확히 판단 가능하리라고 사료된다.

6. 결론

건설부지로서의 폐기물 매립지반 활용연구를 위하여 ○○○ 폐기물 매립지반을 대상으로 수행한 연구결과를 요약 정리하면 다음과 같다

- (1) 측정한 가스유량으로부터 환산한 평균 가스압력은 제 1, 2매립지가 각각 1.0025기압, 1.0031기압으로서 안정적인 가스추출을 위해 Blower의 압력운용을 최적으로 조절해야만 하며 개별 가스추출시 Blower 입구압력을 0.8~0.9기압을 유지하는 것이 가스를 안정적으로 추출할 수 있으며, 매립가스를 자원화 하면서 매립지 안정화 후 토지를 이용할 경우 경제성이 있음을 확인하였다.
- (2) 폐기물 매립지반에서 지반처리대책으로 동다짐공법을 적용할 경우 시험시공시 타격에너지(225~300ton·m)에서 최적타격횟수는 5~6회, 다짐효율은 116~143%이며 복토재를 제거하는 경우가 복토재를 제거하지 않은 경우보다 다짐효율이 증가하며 동다짐에 의한 유효개량심도는 11m정도로 나타났다.
- (3) 진동 실측치를 분석해 보면 15t의 낙하추를 이용하여 20m높이에서 낙하시키는 동다짐 시공시 문화재는 최소 소요이격거리를 대략 70m정도로 해야 적당하고, 주택 및 아파트단지의 경우는 대략 45m, 상가의 경우는 30m정도로 하는 것이 진동에 의한 구조

물 피해를 최소로 줄일 수 있으리라 사료되며, 동다짐시 실측치와 Mayne에 의한 산정치는 근소한 차이를 보이므로, 실측 자료가 없을 경우에는 Mayne의 식으로 입자의 진동속도를 산정하여 이격거리를 확보함으로써 인접구조물에 피해를 최소화 할 수 있으리라 판단된다.

- (4) PG pile에 대한 시험시공 결과 강성이 큰 PG pile의 허용지지력은 65ton/pile 이상 평가가 가능하며, 방사방향으로 압축이 이루어진 주변지반은 원지반과 비교하여 약 20%이상의 증대효과가 예상되어 PG pile에 의한 파일지지와 주변지반의 개량에 의한 복합지반효과를 확인할 수 있었다. 일반적으로 폐기물 매립지반은 대상 지층이 매우 불균질하고 예상치 못한 공극의 존재로 개량효과의 정량화 하기가 어려운 문제가 있으나 PG pile은 Pack을 이용하므로 균질한 구체를 형성시킬 수 있고, Slime이 작고, 저소음, 무진동으로 환경측면에서 효과적인 공법으로 판단된다.
- (5) 폐기물 매립지반의 건설부지로서 활용함에 있어 폐기물 매립특성에 따른 부동침하의 영향이 적은 구조물을 설치해야 할 것이며, 비교적 낮은 심도(10m 이내)의 경우 동다짐 공법이, 개량심도와 진동·소음의 제한적인 요소가 많을 경우에는 PG pile 공법의 적용성이 양호한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 1998년도 건설교통부 연구비 지원(건설부지로서 폐기물 매립지반의 활용에 관한 연구)에 의하여 이루어졌으며, 이에 심심한 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 김영목, 이상용, 김만구, 이충환, 신승철(1992), “폐기물 지반에 대한 동다짐공법 적용의 타당성 분석 및 평가”, 대한토목학회 학술발표회 개요집(1), pp.481~484.
2. 동아건설산업(1999), “蘭芝島 埋立地 安定化 工事(地盤關聯 實施設計 및 施工現況)” 동아건설산업 난지도 출장소, pp.24.
3. 신승철, 이경수, 백승훈, 최성순(1993), “동다짐공법에 의한 쓰레기층의 지반개량 시공사례”, 대우엔지니어링 기술보 제10권 1호, pp.22~36.
4. 천병식(2000), “쓰레기 매립지 지반개량시험시공 연구용역 보고서”, 한양대학교 건설연구소(동아건설산업주식회사), pp.16~17.
5. 천병식, 김두영(1999), “건설부지로서의 폐기물 매립지반의 활용 연구보고서”, 건설교통부, 한국건설기술연구원 98' 연구개발사업 제 1차년도 연차보고서, pp.4~7.
6. 천병식, 여유현, 최춘식, 김재권, 장지수, 임병수(2000), “폐기물 매립지반에서 PG pile의 적용성”, 한국지반환경공학회 창립기념 학술발표회 논문집, pp.55~62.
7. 천병식, 여유현, 김재권, 장지수, 김도식, 김우중(2000), “건설부지로서의 폐기물 매립지반의 활용에 관한 연구”, 한국지반환경공학회 창립기념 학술발표회 논문집, pp.63~70.
8. Mayne, P. W.(1985) “Ground Vibration during Dynamic Compaction”, Proceeding of a Symposium by the Geotechnical Engineering Div. in Conjunction with the ASCE Convention in Detroit, Michigan, pp.247~265.
9. Menard, L. & Broise, Y.(1975) “Theoretical and practical aspect of dynamic consolidation” Geotechnique, (15), pp.1~18.
10. Vesic, A. S.(1972), “Expansion of Cavities in Finite Soil Mass”, J. of Soil Mechanics and Foundations Div., ASCE, Vol.98, No. SM3, Mar. pp.265~290.
11. Nagaraj, T. S. (2000), “Composite Soft Ground - Its Formation and Characterization”, Special Invitation Lecture, pp.1~25.
12. Van Impe W. F. & Abdelmalek Bouazza (1996), “Densification of Domestic Waste Fills by Dynamic Compaction”, Can. Geotech. J. 33, pp.879~887.

(접수일자 2001. 7. 26, 심사완료일 2001. 12. 12)