

도시폐기물 매립지반의 개량과 화학적 성향분석

Improvement and Analysis of Chemical Inclination of Municipal Waste Landfill

김영득, Young-Muk Kim<sup>\*1</sup> 김인규, In-Kyu Kim<sup>\*2</sup> 이상용, Sang-Yong Lee<sup>\*3</sup> 김만구, Man-Ku Kim<sup>\*4</sup>

\*1: 대전산업대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Eng., Taejon National University of Technology

\*2: 성균관대학교 화학과 교수, Professor, Dept. of Chemistry, Sung Kyun Kwan University

\*3: 대전직할시 종합건설본부 과장, Chief of Section, Taejon City Public Construction Headquater

\*4: 대전직할시 종합건설본부 계장, Chief, Taejon City Public Construction Headquater

SYNOPSIS : The DDC(dynamic deep compaction) was carried out the main method of ground improvement for construction of municipal high way. The project area is composed of the municipal waste dumped, demolished building debris, coal ash and industrial waste made between 1983 and 1989. From the result of field measurement, it was found that waste landfill was compressed considerably (15 ~ 20% of full depth), and the strength was increased satisfactorily(20 ~ 120% of original N -value, 55 ~ 230% of original dynamic cone penetration resistance). And the chemical inclination of the municipal waste landfill was analyzed for expection and control of settlement.

1. 서 론

체계적인 계획과 설계를 수반하지 않은 단순투기(open dumping)에 의해 조성된 도시 폐기물 매립지반은 일반적으로 다양한 종류의 폐기물이 불규칙하게 혼재되어 그 구성상태가 대단히 불균질하며, 매우 느슨한 상태로 되어 있는 경우가 많다. 이러한 지반은 도시의 확장 등으로 인해 건설부지로서 활용이 요구될 때 과대한 침하, 낮은 지지력, 동 지반공학적 안정성 보장이 미흡하며, 또한 유기물의 분해로 인한 가스발생 등 환경공학적 측면에서의 해결해야 할 여러 문제점이 예상된다.

본연구에서는 대전직할시 도시고속도로인 갑천우안도로 건설공사 일 부구간에 분포하고 있는 도시폐기물 매립지반을 개량하기 위해 채택된 공법 및 개량효과, 그리고 매립토의 화학적 성향을 분석하였다. 대상 부지의 폐기물 매립지반은 1983년부터 1989년까지 대전개발공사에서 갑천변에 퇴적된 모래 및 자갈을 준설한 후 주로 생활쓰레기, 연탄재, 구조물해체 잔해물 및 일부산업폐기물을 별도의 처리없이 단순 매립을 행한 곳으로 매립과정 중간에 일반토사를 이용하여 부분적인 복토를 하고 매립완료후 상부 복토처리한 것이다.

1차 처리는 동다짐공법에 의해 폐기물지반을 압축시키고 2차로 동다짐시킨 지반상부를 양질토 또는 약액고화공법에 의해 노상을 강화하여 장기침하발생시 부동침하를 최대한 방지하는 방법이 채택되었다. 매립 토에 대한 화학적 성향분석은 유기물의 분해 등 폐기물 매립토의 화학적 변화로 인한 지반침하 및 유지관리에 대한 체계적인 계획을 수립하고, 지속적으로 도로기능을 발휘할 수 있도록 도움을 주고자 한 것이다.

2. 현장 조건 및 개량효과

2.1 지반 조건

폐기물 매립지반은 중간 구릉지(STA. 4+600 ~ STA. 4+780)를 중심으로 A구간과 B구간으로 구분되는데, A구간(STA. 4+000 ~ STA. 4+600)은 구릉지로부터 부산쪽으로 약600m에 걸쳐 1989년7월에 매립한 지역이고 B구간(STA. 4+780 ~ STA. 5+240)은 구릉지로부터 서울쪽으로 약460m구간으로 1983년에 매립한 지역이다(Fig.1참조). 매립지반의 상태는 Table과 같다.

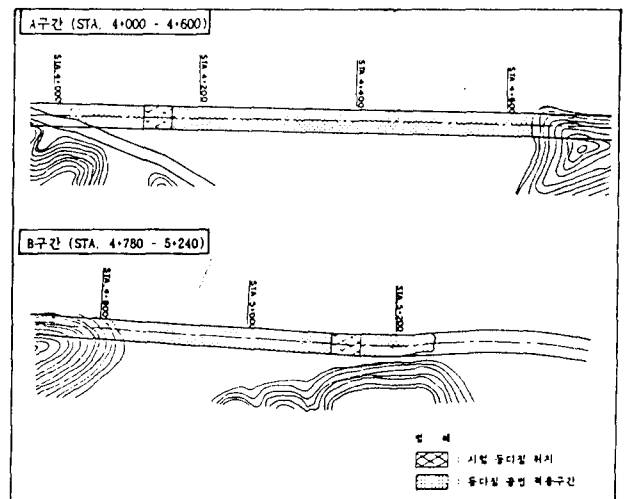


Fig.1 폐기물 매립지반의 개량구간

Table1. 개량대상지반의 조건

구분	매립토층		폐기물층		충적층		봉화암
	층두께	구성상태	층두께	구성상태	층두께	구성상태	
A	4.0~ 4.5m	silty sand, gravel	6.4~ 6.8m	비닐, 형강, 연탄재, 각종 산업 쓰레기	2.8~ 3.5m	sandy gravel	14.0~ 14.3m
B	0.3~ 2.3m	silty sand, gravel	3.7~ 5.0m	비닐, 형강, 연탄재, 각종 산업 쓰레기	4.3m 이상	sandy gravel	8.5m 이상

2.2 개량 공법의 시행 기준

본 사례의 경우 폐기물 매립층의 두께는 약 3.7 ~ 6.8m이므로 시험 동다짐 결과 및 제반여건을 고려하여 동다짐 공법의 타격에너지의 크기를 다음과 같이 결정하였다.

- 추의 중량 : W = 12 ton
- 추의 크기 : ϕ = 1.5 m
- 추의 낙하고 : H = 18 m
- 사용크레인 : 100 ton

이때 개량깊이는 다음과 같이 추정하였다.

$$D = \alpha \sqrt{W \times H}$$

$$= 0.5 \sqrt{216} = 7.5 \text{ m}$$

여기서 계수 α = 0.5 로 가정한 것은 현장시험 및 계속결과를 근거로 하여 결정한 것이다. 개량공법 시행 기준은 Table2와 같다.

Table2. 동다짐공법의 시행기준

구 간	위 치	타격간격	단계별타격횟수	부지정지형태	비 고
A	STA. 4+000 ~ STA. 4+600	3m x 3m 격자망	1단계: 8회 2단계: 8회 3단계: 5회	폐기물층+ 1.0 ~ 2.5m 복토	약액고화 처리구간
B	STA. 4+820 ~ STA. 4+920	3m x 3m 격자망	1단계: 7회 2단계: 7회 3단계: 1차 3회 2차 3회	폐기물층+ 1.0 ~ 1.5m 복토	약액고화 처리구간
	STA. 4+780 ~ STA. 4+820 STA. 4+920 ~ STA. 5+240	3m x 3m 격자망	1단계: 7회 2단계: 7회 3단계: 1차 3회 2차 3회	폐기물층+ 1.0 ~ 2.5m 복토	동다짐후 증다짐 실시

2.3 개량효과의 확인 및 분석

개량효과의 확인 시험으로는 시추조사, 표준관입시험, 동적관입시험, 평판재하시험, 지표침하계측 및 확인축량 등을 행하였으며, 시험 적용시에는 증별침하량 계측, 공간 탄성파속도측정 등도 실시하였다.

또한 인근 구조물에 주는 진동영향을 측정하였다. 동다짐 시행 전후 시추조사와 더불어 18개 지점에 대해 표준관입시험을 행하였고, 16개 지점에 대해 동적관입시험을 행하였다.

동다짐 후의 표준관입시험 저항값(N)은 약 20 ~ 120% 정도 증가된 것으로 나타났고, 콘관입시험 저항값 (N<sub>60</sub>)은 약 55 ~ 230% 증가된 것으로 나타났다. 그런데 전반적으로 동적관입시험값보다 표준관입시험값 부분적으로 불규함을 보이고 있는데, 이는 폐기물층에 혼재되어 있는 자갈, 호박돌, 구조물 해체 잔해물, 비닐, 형강 등의 영향으로 보인다. 전체적으로 보면, 폐기물의 두께는 3.7 ~ 6.8m로서 동다짐후 0.5 ~ 1.5m의 침하량이 나타났다. 즉, 폐기물층 두께의 약 15 ~ 20% 정도 압축된 것으로 나타났다.

동다짐 공법 시행전후의 토층단면 및 N-value의 변화를 도시한 결과는 Fig.2와 같다.

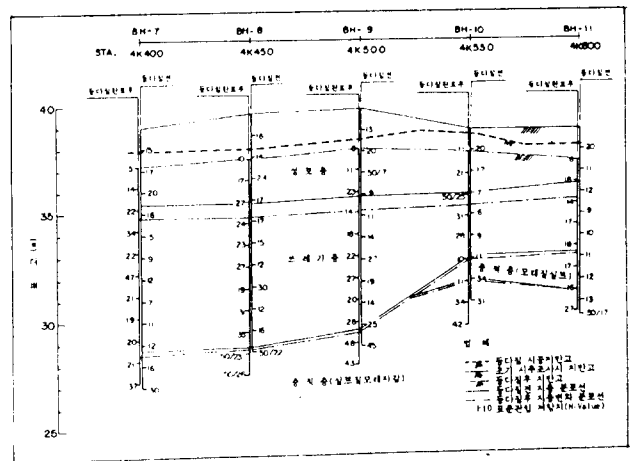


Fig.2 동다짐 공법 시행 전후의 토층단면도 (STA. 4+360 ~ STA. 4+600)

3. 매립 폐기물의 화학적 성향분석

3.1 조사 및 분석 범위

시료는 A구간 및 B구간 5개소에서 심도별로 총 22개를 채취하였다. 조사 위치별 시료채취 심도는 Fig.3에 도시된 바와 같다.

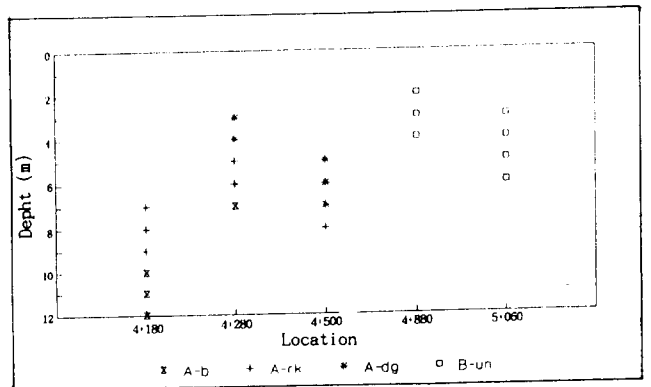


Fig.3 폐기물 매립토의 화학분석을 위한 시료채취위치

유기물의 성분 및 함량, 방출되는 gas의 성분과 량, 화학적 특성 등을 분석하고, 또한 지중온도, 수분, pH 등도 조사 분석하여 도로건설 후 장기적으로 폐기물의 부패, 부식 등의 화학적 특성에 의한 침하 및 유지관리에 연계하여 연구할 수 있는 유용한 자료가 되도록 하였다.

유기물 함량조사는 통상적으로 사용하고 있는 강열감량법에 의한 유기물 함량시험, 유기물 추출시험, 그리고 휘발성 유기물 함량 측정 등으로 각각 행하였다. 이때 추출된 유기물의 종류 및 함량, 그리고 휘발성 유기물의 종류, 함량 및 특성, 온도에 따른 무게감량 등을 분석하였다.

채취된 시료는 채취깊이, 색깔 및 분해정도 등을 육안으로 판별하여 4가지, 즉 A-b, A-rk, A-dg, B-un으로 분류하였다. 분류기호에서 대문자는 구간표시이고, 소문자는 시료의 색깔을 표시한 것이다. 또한, 분류상 시료S-st는 경기도 수원시 성균관대 구내에서 지표하 3m에서 채취한 흙으로 폐기물층의 매립토와 비교하기 위한 것이다.

### 3.2 결과 분석 및 고찰

#### 3.2.1 유기물 함량

폐기물 매립토의 성분 조성분포는 Table3과 같이 함수율이 11.6 ~ 41.3%이고 강열감량시험법에 의해 측정된 유기물 함량은 2.97 ~ 11.35%이었다. 또한, pH는 7.22 ~ 8.34이다. 이를 정리하면 Table3과 같다. 또한, 심도별 수분, 유기물 함량 및 회분을 도시하면 Fig.4와 같다.

Table3. 폐기물 매립토의 성분 조성 분석결과

Sample	Water content(%)	Organic content(%)	Residual ash (%)	pH
A - b	41.32	11.35	47.33	7.22
A - rk	16.30	2.97	80.73	7.79
A - dg	38.51	6.63	54.86	8.34
B - un	19.71	4.09	76.20	7.83
S - st	11.61	0.85	87.54	8.36

폐기물 매립토의 유기물 추출량은 0.17 ~ 6.5%이고, 시료별 휘발성 유기물 함량은 35°C, 45°C, 55°C 및 85°C의 온도에 각각 약 3주일 정도

Table 4 폐기물 매립토의 휘발성유기물 함량

Sample	Volatile organic compound (%)	Regidul solid (%)
A - b	33	67
A - rk	25	75
A - dg	23	77
B - un	26	74
S - st	7	93

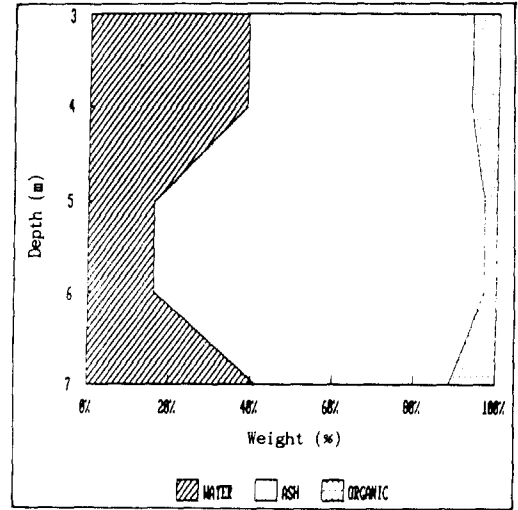


Fig.4 폐기물 매립토의 유기물 함량분포 (STA.4+280).

씩 양성하면서 측정된 결과 Table4와 같다. Table4에 의하면 휘발성 유기물 함량은 23 ~ 33%로서 강열감량시험법으로 측정된 유기물 함량 2.97 ~ 11.35%에 비해 크게 나타났다. Fig.5는 STA.4+280 지점의 심도별 휘발성 유기물 함량분포를 도시한 것이다.

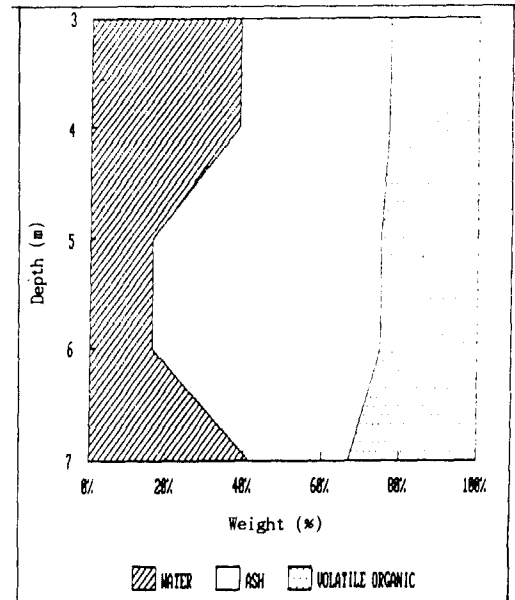


Fig.5 폐기물 매립토의 심도에 따른 휘발성 유기물의 함량분포 (STA.4+280).

### 3.2.2 유기물의 성분 분석

시료 A-b의 유기용매 추출량은 6.5%로서 이를 GC분석을 행한 결과 대략 22개의 성분으로 구성되어 있었다. 이 중 3가지 성분이 주종이고 나머지는 극미량으로 존재하였다. 이 세가지 성분은 NMR, IR, Mass spec.로 확인해 본 결과 유허(S<sub>6</sub>), 프탈산디옥틸, 및 트리부틸클로로스테난이었다. GC-MS에 나타난 이 세가지 성분의 상대적인 함은 유허이 제일 많고 프탈산디옥틸, 트리부틸클로로스테난 순이다.

취발성 유기물질의 성분을 조사하기 위해 증류장치를 이용하여 채취하고 이를 GC-MS로 분석한 결과 3성분으로 구성되어 있었는데, 이 중 아세톤과 염화메틸렌이 거의 비슷한 함으로 주종을 이루고 있으며, 이소옥탄이 미량으로 존재하였다.

### 3.2.3 매립토의 산도

폐기물 매립토의 산, 염기도는 pH 7.22 ~ pH 8.34로서 표준흙의 pH 8.36에 비해 최고 10배정도 낮게 나타났다(Table3 참조). 이는 일반적으로 알려져 있는 혐기성 분해에 적당한 조건이다.

### 3.2.4 온도변화에 따른 매립토의 중량변화

온도가 일정한 상태에서 매립토의 중량변화를 추적하였다. 우선 35°C로 22일, 45°C로 19일, 55°C로 20일, 그리고 85°C로 18일 등 총 79일간 양생하면서 중량변화를 측정하였다. 또다른 시료는 10 ~ 11°C로 57일간 양생하면서 중량변화를 측정하였다. 이를 정리하면 Fig.6 및 Fig.7과 같다. 여기서 중량변화는 중량비(weight ratio)로 표시하였는데, 이는 최초 시료의 중량에 대한 임의의 양생기간에서의 시료중량의 비이다.

35°C에서 양생 초기 2일간 무게감량은 약 12.5 ~ 24%로서 시료의 취발성 유기물 함량이 23 ~ 33%임을 고려해 볼 때 A-b의 경우 73%, A-rk의 경우 72%, A-dg의 경우 54%, 그리고 시료B-un은 78%가 취발되었다. 즉, 시료 A-dg를 제외한 대부분의 시료는 70%이상 양생초기 2일동안 취발되었다. 또한 표준흙인 S-st는 양생 2일동안에 무게감량이 7%로서 양생초기에 흙속에 있던 소량의 취발성 유기물이 대부분 취발된 것으로 보인다. 동일기간에 수분증발에 의한 중량감소율은 약 0.1%로서 무게감량의 대부분은 취발성 유기물에 의한 것으로 보인다.

Fig.6에 도시된 바와 같이 35°C의 온도에서 초기 취발성 유기물의 중량후에는 거의 중량변화가 없이 일정한 상태에서 초기 취발성 유기물의 중량이 활발했음을 보여준다.

온도 10 ~ 11°C에서는 양생개시 4일후 무게감량이 1 ~ 2%정도 있었으며, 양생기간 57일후 시료A-b의 경우 10.2%, A-rk의 경우 9.8%, A-dg의 경우 8.7% 그리고 시료B-un은 14% 무게감량이 되었다. 표준흙인 S-st의 경우 5.9%로서 폐기물 매립토의 무게감량은 표준흙을 기준으로 보면 3 ~ 8%정도 된 것이다.

Fig.7에서 의하면 취발성 유기물에 대한 온도의 영향이 대단히 크게 미치고 있음 알 수 있는데, Fig.6에서와는 달리 급격한 변화없이 상당히 완만하게 무게감량이 되고 있다. 특히 A구간에서 채취한 시료는 거의 일정한 크기의 변화를 보이는데 비하여 B구간에서 채취한 시료는 보다 활발한 중량감소 현상을 보이고 있는데, 이는 매립년도가 83년으로 A구간(매립년도 89년)에 비해 오래되었으며, 또한 매립 쓰레기의 성분도 시대의 흐름에 따라 다르기 때문으로 추측된다.

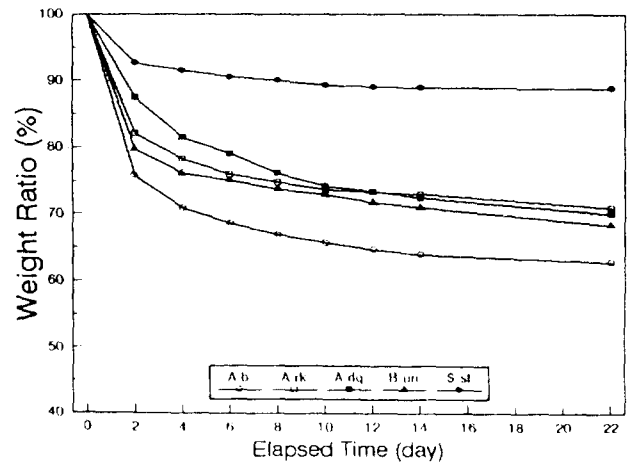


Fig.6 양생기간에 따른 중량변화 (양생온도 35°)

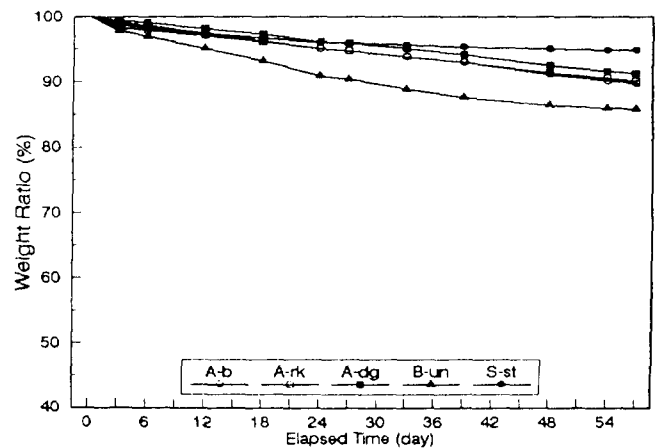


Fig.7 양생기간에 따른 중량변화 (양생온도 10°C)

### 3.2.5 유기물의 분해와 지반거동

폐기물의 유기물 분석에서 나타난 트리부틸클로로스테난, 유허 및 프탈산디옥틸은 화학구조로 보아 더이상 분해가 일어나기 어려운 난분해성이므로 이 유기물의 분해로 인한 지반침하나 변위는 거의 일어나지 않는 안정된 상태로 보인다. 또한 염화메틸렌, 아세톤, 이소옥탄 등도 생화학적 관점에서 볼 때 분해 중생물로서 더이상 분해가 어려운 물질이므로 본연구 대상 매립지반은 분해가 거의 완료된 안정된 상태에 이른 것으로 추정된다. 그러나 다량으로 존재하는 취발성 유기물인 염화메틸렌, 아세톤 및 이소옥탄은 취발성이 매우 높아 이들 유기물의 취발 및 배출로 인한 지반거동에 대해 계속적 관심과 관찰이 필요할 것으로 생각된다.

유기물의 분해시의 지반거동은 지반의 여러조건, 또는 폐기물의 종류, 지중온도 등 여러 요인에 영향을 받을 것이다. 특히 본 연구대상 지역과 같이 동다짐 공법과 같은 방법에 의해 상당히 압축된 조건에서 유기물의 거동과 침하를 연관지어 생각하는 것은 상당히 복잡하고 어려울 수도 있을 것이다. 그러나 지중온도의 크기가 휘발성 유기물의 분해에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며, 특히 하절기에 휘발성 유기물의 증발 및 배출로 인한 지반 거동 우려가 있음을 추론할 수 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 실험실에서는 10 ~ 11°C에서는 2개월이상 기간동안 휘발된 유기물량이 34°C에서는 1일동안에 증발하였다. 그러나 온도가 높고 특히 휘발성 유기물 함량이 크다해서 이에 비례해서 큰 침하량이 나타난다고는 볼 수 없을 것이다. 유기물 분해와 침하거동에 관계된 상관성 등을 규명하기 위해서는 장기간의 실험과 현장측정 및 분석이 필요할 것으로 생각된다.

### 3.3 침하 예측

본 개량지역은 지표침하 및 거동을 측정하기 위하여 전구간에 걸쳐 100m 간격으로 양끝단10개소, 도로 차선부에 12개소 등 총22개소의 침하측정지점을 설치하였다. 설치후 최초 1개월간은 주2회, 2개월간은 주1회 계측을 하였으며, 그후에는 월 1회 침하계측을 계속하고 있다. 계측 개시후 1년이 지난 94년 1월의 경우 A구간에서는 양끝단의 경우 2.9 ~ 4.3cm, 도로 차선부에서는 1.1 ~ 1.7cm의 침하가 계속되었다.

### 4. 결 론

도시고속도로 건설을 위해 폐기물 매립지반을 도로지반으로 활용하고자 동다짐 공법 및 약액고화공법을 행하였다. 또한, 유기물 분해로 인한 지반의 침하에 대비하고, 장기적인 도로의 유지관리의 효율성을 도모하기 위해 폐기물 매립토에 대한 유기물 성분 및 화학적 특성 등을 분석하였다. 이를 정리하면 다음과 같다.

1. 동다짐 공법에 의해 폐기물 매립지반은 0.5 ~ 1.5m 정도 압축되었으며, 이는 전체 폐기물층의 15 ~ 20%정도이다.
2. 강열감량시험에 의해 구해진 폐기물 매립토의 유기물 함량은 2.97 ~ 11.35%이었으나, 휘발성 유기물은 약 23 ~ 33%로서 강열감량시험에 의해 구한 유기물 함량보다 크게 나타났다. 즉 본 현장과 같은 경우 유기물 함량을 통상적으로 이용하고 있는 강열감량시험에 의해 구하게 되면 휘발성 유기물에 대해서는 고려하기 어려우므로 실제와는 다르게 된다.
3. 비휘발성 유기물은 0.17 ~ 6.5%로서 대략 22개 성분으로 구성되어 있는데 주로 유황, 프탈산디옥틸, 그리고 트리부틸스테난이 많고 기타는 극미량으로 존재하였다.
4. 22 ~ 33%의 휘발성 유기물은 아세톤과 염화메틸렌이 대부분이고 이소옥탄이 미량으로 존재하였다.
5. 매립토의 휘발성 유기물은 35°C에서 양생 2일동안에 유기물의 약 70% 이상이 증발되었다. 그러나 10 ~ 11°C의 온도에서는 2개월이상이 되어도 무게감량이 10%이하이었다.
6. 본 연구의 대상 매립토에서 분석된 유황, 프탈산디옥틸 및 트리부틸클로로스테난은 화학구조로 보아 더이상 분해가 일어나기 어려운 난분해성이므로 거의 분해가 완료된 것으로 보인다. 그러나 휘발성이 강한 유기물이 상당량 존재하므로 이 휘발성 유기물의 휘발로 인한 지반 거동에 대해서 장기적인 관측과 분석이 필요하다고 생각된다.

폐기물 매립토가 안정기에 이른 경우 잔여 유기물의 부패보다 기생성 휘발성 유기물의 거동이 지반 거동에 미치는 영향이 중요할 것으로 생각된다. 종래의 계측기준으로 삼았던 매립토의 온도, 수분함량, pH 및 강열감량에 의해 표시되는 유기물 함량뿐만 아니라 휘발성 및 비휘발성 유기물의 함량과 성분, 그리고 휘발성 유기물의 휘발에 따른 무게감량 등을 현장조건 과 침하계측 등과 연계하여 장기간 조사 연구함으로써 폐기물 매립지반의 활용에 대한 유용한 자료로 활용할 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

1. 김영목, 이상용, 김만구, 신승철(1993), "폐기물 매립지반에 대한 동다짐공법 적용 평가", 대한토목학회 논문집 제13권 제5호, pp.209-222.
2. 대전직할시 종합건설본부(1988), 대전시 갑천 우안도로 건설공사 (제1공구) 동다짐시공 종합보고서.
3. 대전직할시 종합건설본부(1993), 갑천 우안도로(1공구) 건설공사 폐기물 매립지반에 대한 화학 분석 연구보고서.
4. 이광열, 이광신(1993), "수도권 매립지의 차수시설에 관한 공학적 검토", '93년도 지반환경 매립에 관한 학술발표회 논문집, pp.6-27.
5. 장연수, 조삼덕, 김학삼, 김영진, 홍성완 (1992), "산업폐기물 매립지의 건설부지의 활용성", '92년도 한국지반공학회 가을 학술발표회 논문집, pp.69-74.
6. 지재성, 배영진, 장연수, 정하익, 김석구, 김진만(1993), "건설부지 조성을 위한 도시 쓰레기의 공학적 특성", '93년도 지반환경 매립에 관한 학술발표회 논문집, pp.45-69.
7. 한국건설기술연구원(1992), 도시폐기물 매립장의 건설부지 활용과 위생매립시스템에 관한 연구, 최종보고서.
8. Leonards, G. A., and Cutter, W. A., Holtz, R. D.(1980), "Dynamic Compaction of Granular Soils", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.106, No. GT4, Proc. Paper 15144, January, pp.35 - 44.
9. Lukas, R. G.(1985), "Densification of a Decomposed Landfill Deposit", 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, CA, Volume3, pp.1725-1728.
10. Lukas, R. G.(1992), "Dynamic Compaction Engineering Consideration", Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics, ASCE, Geotek, Special Publication, No. 30, pp.927-939.

11. Lukas, R. G. (1986), "Dynamic Compaction for Highway Construction, Volume 1 : Design and Construction Guidelines", FHWA Report No. RD-86/133.
12. Luongo, V. (1992), "Dynamic Compaction : Predicting Depth of Improvement", Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics , ASCE, Geotect, Special Publication, No. 30, pp.927 - 939.
12. Mayne, P. W. (1985), "Ground Vibrations during Dynamic Compaction", Vibration Problems in Geotechnical Engineering, ASCE, pp.247-265.
13. Menard, L. and Broise, Y. (1975), "Theoretical and Practical Aspects of Dynamic Consolidation", Geotechnique, Vol. 25, No.1, pp.3- 18.
14. Mitchell, J. K. (1981), "Soil - Improvement - State of the Art Report", Proceedings of the Tenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 4, Stockholm, pp.509 - 520.
15. Rahimi, M. M. and Bayetto, P. M. (1987), "Ground Improvement by Vibro Dynamic Compaction Techniques", Prediction and Performance in Geotechnical Engineering, Calgary, pp.183-192
16. Scower, W.F. (1973), "Settlement of Waste Disposal Fills", Proceedings, The Eighth International Conference of Soil Mechanics and Foundation engineering, Moscow, Vol.2.2, pp.207-210.
17. Welsh, J. P. (1983), "Dynamic Deep Compaction of Sanitary Landfill to Support Superhighway", Proceedings of 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, 1983, pp.319-321.
18. Yen, B.C., and B. Scanlon (1975), "Sanitary Landfill Settlement Rates", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.105, No. GT5, pp.475-487.