

대형전단시험에 의한 국내 도시폐기물의 전단특성 분석

Analysis of Shear Strength of Domestic Municipal Wastes by Large Shear Test

정하익¹⁾ Ha-Ik Chung, 이용수¹⁾ Yong-Soo Lee, 정길수¹⁾ Gil-Soo Chung, 홍승서¹⁾ Sung-Seo Hong

1) 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원, Senior Researcher, Civil Eng. Dept. KICT

2) 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Civil Eng. Dept. KICT

SYNOPSIS : This paper presented the characteristics of shear strength of domestic municipal wastes including S landfill wastes. A series of large direct shear tests were performed with waste specimens sampled from S landfill located in middle area of domestic land. Investigated items were cohesion and internal friction angle of shear strength parameter. The test result was compared with existing test data. The research results showed that cohesion $0.1296\sim 0.1340\text{kg/cm}^2$ and angle of friction $22.1^\circ\sim 25.3^\circ$ for S landfill wastes, cohesion $0\sim 0.381\text{kg/cm}^2$ and friction angle $22.1^\circ\sim 41.3^\circ$ for domestic landfill wastes.

Key words : shear strength, waste, cohesion, friction angle, landfill, direct shear test

1. 서론

폐기물의 강도특성은 매립지 설계, 매립지의 공학적 안정검토 및 매립완료 후 토지이용 등의 기초자료에 필요하다. 특히, 매립지의 안정해석에 있어서 매립된 폐기물의 강도정수를 아는 것은 필수적이다. 설계시에 일반토와 마찬가지로 쓰레기도 강도정수인 내부마찰각과 점착력 그리고 탄성변형계수가 사용된다. 폐기물의 강도를 측정하는 방법에는 여러 가지 방법이 있다. 실내시험으로는 삼축압축시험, 직접전단시험 등이 있고 현장시험으로는 사면파괴시험, 표준관입시험, 콘관입시험, 베인전단시험, 평판재하시험, 공내재하시험 등이 있다. 그리고 기타 역산방법(back calculation)과 모형시험 등이 있다.

실내시험에서 가장 일반적인 방법은 직접전단시험이라고 볼 수 있다. 쓰레기는 일반토와는 달리 구성입자의 크기가 크기 때문에 재래 토질시험에 사용되고 있는 소형전단시험기 보다는 대형전단시험기를 사용하게 된다. 본 연구에서는 국내 도시폐기물의 전단강도특성을 파악하기 위하여 실내 대형전단시험을 실시하였다. 전단박스의 크기는 가로×세로, $30\times 30\text{cm}$ 로 하였다. 시험대상 쓰레기는 S 폐기물매립장에서 채취된 도시쓰레기 시료로 하였다. 시험결과를 토대로 수직-수평변위, 전단응력-수평변위 및 전단응력-수직응력의 관계곡선을 구하였다. 이들 관계곡선으로부터 도시폐기물의 전단강도정수인 점착력과 내부마찰각을 구하였다. 그리고 기존의 전단시험결과와 비교분석을 실시하였다.

2. 대형전단시험

일반적으로 재료의 전단강도는 시료의 입도분포, 입자의 거칠기, 모양, 상대밀도, 다짐도 등에 따라 변한다. 전단시험 대상시료는 중부지역의 S매립지에서 채취하였다. 채취된 시료의 현장함수비 변화를 방지

하기 위하여 현장에서 비닐로 밀봉하여 실험실로 운반하였다. 본 연구의 시험재료인 도시폐기물의 주성분은 비닐, PET병, 목재, 형겔 등 생활 쓰레기로 구성되어 있었다.

전단시험시 시험재료의 밀도 및 함수비는 현장밀도 및 현장 함수비와 동일한 조건으로 하였다. 전단 시험시에 적용된 시료의 밀도는 표 1과 같다. 전단시험중 시료에 따라 최대 전단강도가 나타나지 않는 경우에 수평변위가 전단박스 길이의 15%(약 4.5cm)에 도달되었을 때를 전단강도의 최대값으로 결정하였다.

시험에 사용한 대형전단시험기의 전단박스 크기는 가로 30cm, 세로 30cm, 높이 30cm이었다(그림 1). 시험시 수직하중은 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 kg/cm²로 단계적으로 증가시켰다. 전단시험은 변형률 제어방식으로 하고 전단속도는 1mm/sec로 하였다.

표 1. 전단시험시 시료의 밀도

구 분	시료 1	시료 2	시료 3
시험밀도 (kg/cm ³)	1.923	1.387	1.902

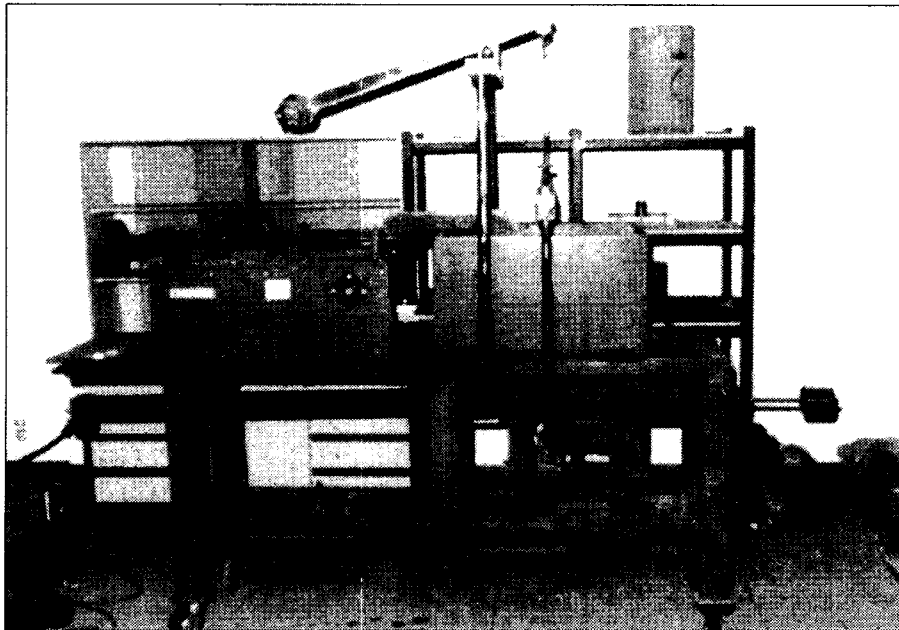


그림 1. 대형전단시험기

3. 시험결과 분석 및 고찰

3.1 전단응력과 수평변위의 관계

대형직접전단시험기에 의해서 구해진 쓰레기의 전단특성을 살펴보면 다음과 같다. 대상 쓰레기에 대한 전단응력(τ)-수평변위(δ)의 관계곡선을 대표적으로 시료 3에 대한 시료에 대하여 도시하면 그림 2와 같다. 그림에서 보는바와 같이 수평변위가 증가할수록 전단응력이 지속적으로 증가하는 것을 알 수 있으며, 시료와 수직응력에 따라 수평변위가 전단박스의 15%이상 되어도 전단응력이 수렴되지 않고 미소하게 계속 증가하는 현상이 발생되었다. 보통 폐기물은 최대강도에 이르기까지 일반 흙보다도 더 큰 변위를 나타내게 됨을 알 수 있다.

3.2 전단응력과 수직응력의 관계

대상 쓰레기에 대한 전단응력(τ)-수직응력(σ)의 관계곡선을 도시하면 그림 3과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 수직응력이 증가할수록 전단응력이 증가하는 것을 알 수 있다. 직접전단시험으로부터 얻은 강도데이터를 해석하는데 있어서는 많은 공학적 판단이 이루어져야 한다. 폐기물의 전단강도는 흙에 적용되고 있는 Mohr-Coulomb의 이론에 입각하여 구하였다. 이들 관계곡선에 대하여 선형회귀분석을 실시하여 1차 직선식을 유도하였으며 직선식의 절편과 기울기로부터 쓰레기의 점착력 및 내부마찰각을 산정하였다.

그림 3의 전단응력과 수직응력의 관계 곡선에서 대상 쓰레기의 점착력 및 내부마찰각을 구하여 표 2에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 시료 1의 점착력은 0.134kg/cm^2 , 내부마찰각은 22.13° 이고, 시료 2의 점착력은 0.1296kg/cm^2 , 내부마찰각은 22.19° 이고, 시료 3의 점착력은 0.1313kg/cm^2 , 내부마찰각은 25.34° 인 것으로 나타났다.

따라서 본 현장의 매립 쓰레기의 점착력은 대략 $0.1296\sim 0.134\text{kg/cm}^2$, 내부마찰각은 $22.1^\circ \sim 25.3^\circ$ 의 범위에 있음을 알 수 있다. 특히 시료 3의 내부마찰각이 다른 시료에 비해 상대적으로 크게 나타난 것은 시료내에 복토재로 추정되는 사질토의 비율이 상대적으로 많이 포함되어 있기 때문인 것으로 판단된다.

표 2. 대형직접전단 시험결과

시료명	점착력, c (kg/cm^2)	내부마찰각, ϕ ($^\circ$)
시료 1	0.1340	22.13
시료 2	0.1296	22.19
시료 3	0.1313	25.34

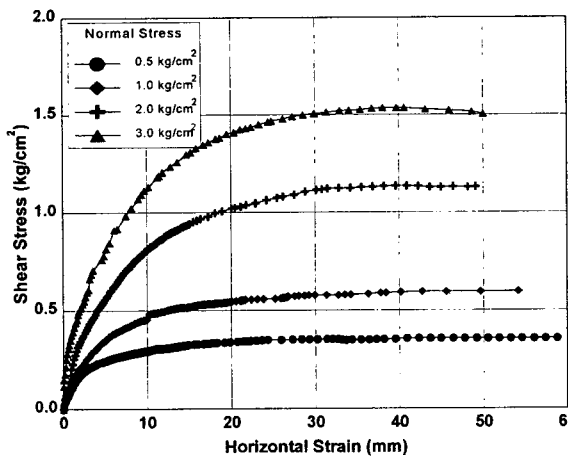


그림 2. 전단응력-수평변위 관계(시료 3)

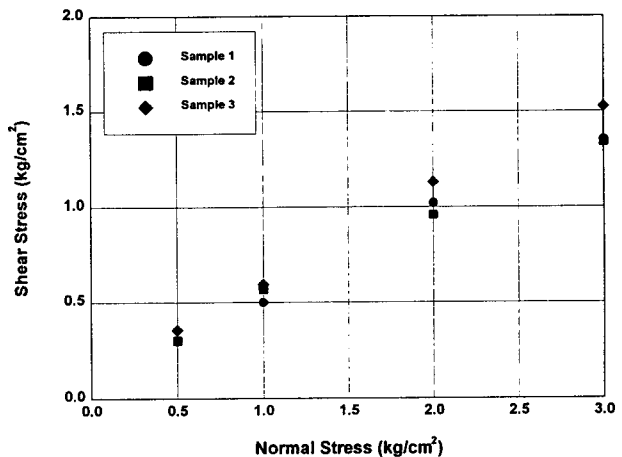


그림 3. 전단응력-수직응력 관계(시료 1, 2, 3)

3.3 기존 국내 시험결과와의 비교

국내에서 수행된 전단시험결과와의 비교를 위하여 기존에 발표된 시험결과와 본 시험결과를 그림 4에 함께 도시하였다. 그림내의 범례에 나타난 바와 같이 여기에 도시된 매립장은 난지도매립장, 김포매립장 1공구, 인천 경서동매립장, 안양평촌매립장, S매립장, 인공매립조로 국내의 대표적인 매립장이 포함되었음을 알 수 있다. 그림에서 보는바와 같이 국내 도시폐기물의 점착력 범위는 $0\sim 0.381\text{kg/cm}^2$ 으로 나타났고, 내부마찰각의 범위는 $22.1^\circ \sim 41.3^\circ$ 으로 나타났다. 이들 수치는 향후 국내 폐기물 매립장의 구조안정성 및 사면안정성 검토에 유익하게 이용될 수 있을 것이다.

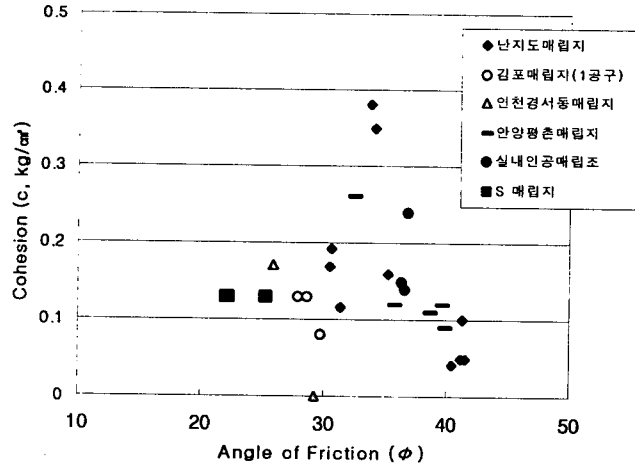


그림 4. 기존 국내자료와의 비교

4. 결론

이상과 같이 국내 도시폐기물에 대한 대형전단시험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1. S 매립장에서 채취한 도시폐기물에 대한 대형전단시험결과 점착력은 대략 $0.1296 \sim 0.1340 \text{ kg/cm}^2$, 내부마찰각은 $22.1^\circ \sim 25.3^\circ$ 의 범위에 있는 것으로 산정되었다.
2. S 매립장 폐기물시료의 경우 시료내에 복토재로 추정되는 사질토의 비율이 많이 포함되어 있는 경우에 상대적으로 내부마찰각이 증가되는 것으로 나타났다.
3. 기존의 국내 4개 매립장에 대한 전단시험결과와 함께 분석해 본 결과, 국내 도시폐기물의 점착력은 대략 $0 \sim 0.381 \text{ kg/cm}^2$, 내부마찰각은 $22.1^\circ \sim 41.3^\circ$ 의 범위에 있는 것으로 평가되었다.

참고문헌

1. 손준익, 장연수, 정하익, 김진만(1992), “도시폐기물 매립장의 건설부지 활용과 위생매립 시스템에 관한 연구”, 한국건설기술연구원, 연구보고서, 건기연 92-GE-112.
2. 정하익, 이용수, 정길수, 홍승서(1998), “매립쓰레기의 전단특성”, 한국건설기술연구원, 연구보고서, 건기연 98-048.
3. 정하익(1995), “쓰레기 매립지 활용현황 및 쓰레기 지반특성”, 쓰레기 매립지의 처리 및 토지이용 개발 기술.
4. 정하익(1998), “지반환경공학”, 유림출판.
5. Gifford, G. P., A. O. Landva and V. C. Hoffman(1990), “Geotechnical considerations when planning construction on a landfill,” Geotechnics of Waste Fills—Theory and Practice, ASTM STP 1070.
6. Jessberger, H. L. and R. Kockel(1993), “Determination and assessment of the mechanical properties of waste materials”, SARDINIA 93.
7. Landva, A. O. and J. I. Clark(1990), “Geotechnics of waste fill”, Geotechnics of Waste Fills—Theory and Practice, ASTM STP 1070.