

진동대를 이용한 Geomembrane-Geotextile 사이의 동적 접촉마찰특성 평가

김동진 · 서민우 · 박준범
서울대학교 지구환경시스템공학부
Email : dorong78@hanmail.net

요 약 문

Geosynthetics are widely used in landfill for filtration, drainage, separation and so on. For many landfill failure cases, interfaces of geosynthetics can be potential failure surfaces. Therefore, it is very important to estimate the interface properties of geosynthetics. In this study, shaking table tests were performed between smooth geomembrane and geotextile. From the test results, it was found that there is a limited acceleration that can be transmitted from smooth geomembrane to geotextile. And the influence of normal stress and frequencies of excitation were discussed.

key word : geosynthetic, geomembrane, geotextile, shaking table

1. 서론

일반적으로 토목섬유는 매립지에서 폐기물 차수시설재로서 많이 이용된다. 매립지에 이러한 토목섬유가 사용되는 경우 매립지의 안정성 검토가 필요하며, 이 때 토목섬유/토목섬유, 흙/토목섬유 사이의 마찰특성이 검토되어야 한다. 토목섬유/토목섬유 혹은 흙/토목섬유 사이의 마찰특성은 크게 정적 접촉마찰특성과 동적 접촉마찰특성으로 나눌 수 있다. 현재 정적 접촉마찰특성에 대한 연구는 활발히 이루어져왔으나, 동적 접촉마찰특성에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이며, 설계 및 시공시 대부분의 매립지에서 정적상태에 대한 안정성만을 고려하고 있다(Yegian et al., 1995, De and Zimme, 1998). 하지만, 최근 들어 매립지 내진해석평가의 필요성이 대두됨에 따라 이에 대한 기본적인 연구가 필요하게 되었다. 본 연구에서는 진동대를 이용하여 토목섬유/토목섬유 사이의 동적 접촉마찰특성에 대해서 평가하였다. 또한 연직응력과 주파수를 변화시켜가면서 동적 접촉마찰특성에 대한 영향을 살펴보았으며, 가속도에 대한 접촉면의 최대 미끄러짐(상대변위)을 평가하였다.

2. 재료 및 시험방법

본 시험에서는 HDPE(high density polyethylene) 지오멤브레인과 지오텍스타일을 사용하였다. 그림 1은 토목섬유사이의 동적 접촉마찰특성을 평가하기 위해 사용된 진동대의 개요도이다. 진동대는 마찰력이 없는 수평방향으로 움직이는 두 개의 바퀴 위에 놓여진 알루미늄판으로서 진동을 유발시키는 vibration exciter와 연결되어 있으며 진폭을 조절할 수 있다. 진동대 위에 지오멤브레인을 설치하고 그 위에 지오텍스타일을 설치한 상자를 올려 둔 후 하중과 진동수를 변화시키면서 실험을 실시하였다. 상자와 테이블의 가속도를 측정하기 위해 가속도계를 설치하였고, 상자에 변위계를 설치하여 상자와 테이블의 상대적인 미끄러짐의 정도를 측정하였다.

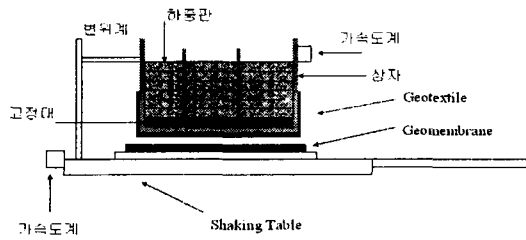


그림 1 진동대 시험기 개요도

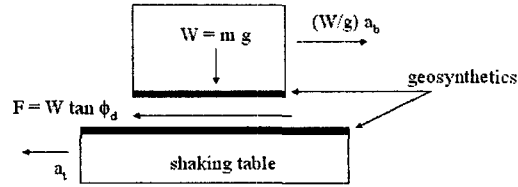


그림 2 동적힘의 개략도

3. 실험결과 및 분석

그림 3은 작은 진폭, 즉 낮은 가속도에서 테이블과 상자의 가속도를 보여주는 그림이다. 그림에서 보듯이 상자의 가속도는 테이블의 가속도와 거의 일치하였다. 그림 4는 진폭이 클 때 즉 미끄러짐이 일어난 이후의 테이블과 상자의 가속도를 보여주는 그림이다. 상자의 최대가속도가 테이블의 최대가속도보다 작게 측정되는 것을 볼 수 있다.

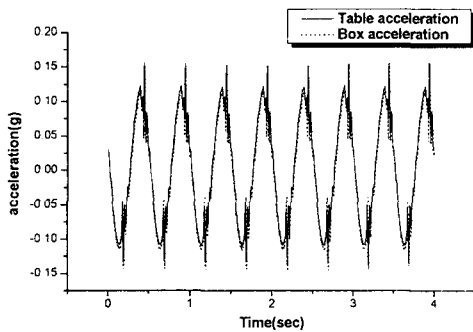


그림 8 테이블과 상자의 가속도
(2Hz, 3.6kPa 연직응력, 7mm 진폭)

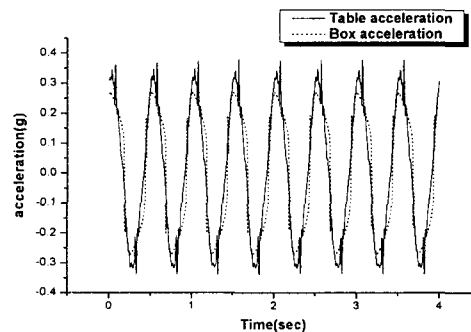


그림 9 테이블과 상자의 가속도
(2Hz, 3.6kPa 연직응력, 20mm 진폭)

그림 5는 동일 주파수와 동일 연직응력에서 진폭을 변화시켜 가면서 테이블과 상자의 최대가속도의 관계를 나타낸 그림이다. 그림 6은 테이블 가속도의 변화에 따른 상자의 상대변위를 나타낸 것이다. 그림 5와 그림 6에서 보듯이 작은 진폭(가속도가 작은 경우)에서는 박스와 테이블의 최대가속도는 거의 같으며 일정하게 증가하지만, 미끄러짐이 일어난 이후부터는 가속도가 증가함에 따라 박스의 가속도가 테이블의 가속도보다 작은 것을 알 수 있다. 이는 지오멤브레인과의 지오텍스타일 사이를 통해 전달되는 힘이 일정가속도를 초과하면 감소된다는 것을 의미한다. 그림 2는 테이블과 상자에 작용하는 동적힘의 개략도를 나타낸 것이다. 테이블이 가속도 a_t 로 운동하게 되면 이것은 마찰력 F 로서 상자에 전해지게 된다. 이러한 마찰력은 토목섬유의 최대 접촉전단강도를 초과하지 못하며, Mohr-Coulomb 형태의 파괴를 가정한다면 F 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$F = W \tan \phi_d \quad (1)$$

여기서 W 는 상자와 가해진 하중의 무게이며, ϕ_d 는 토목섬유의 동적 접촉마찰각이다. 상자의 미끄러짐이 일어나는 순간, 마찰력은 상자와 가해진 하중과 상자의 가속도(a_b) 의 곱으로써 나타내어질 수 있으므로

$$F = m \cdot a_b = (W/g) \cdot a_b \quad (2)$$

$$\therefore \tan \phi_d = (a_b/g) \quad (3)$$

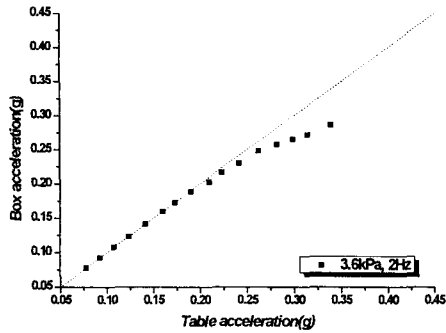


그림 10 상자와 테이블 가속도 관계

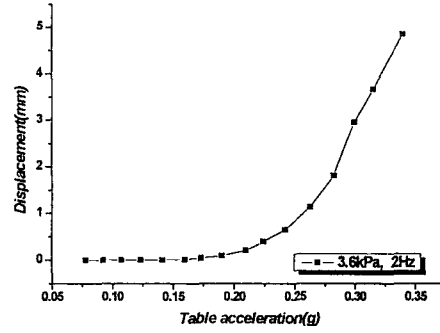


그림 11 테이블 가속도와 상대변위 관계

따라서, 그림 6으로부터 테이블의 최대 가속도가 0.18g일 때 미끄러짐이 일어나기 시작하며, 상자와 테이블 가속도의 관계에서도 0.18g 이후부터 가속도관계 직선이 꺾이므로 이 점에서 최대전단응력이 전달된다고 볼 수 있다. 이를 이용하여 지오멤브레인파 지오텍스타일 사이의 동적 접촉마찰각을 구해보면, $\tan^{-1} 0.18 = 10.2^\circ$ 이다.

연직응력과 주파수가 동적접촉마찰특성에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 3가지의 다른 연직응력(1.6kPa, 3.6kPa, 6.8kPa)과 3가지의 다른 주파수(2Hz, 5Hz, 10Hz)에서 위의 실험을 반복하였다. 그림 7은 연직응력을 달리하였을 때 상자와 테이블의 최대가속도의 관계를, 그림 8은 주파수를 달리하였을 경우 상자와 테이블의 최대가속도의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 연직응력과 주파수 모두 동적접촉마찰각에는 별로 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

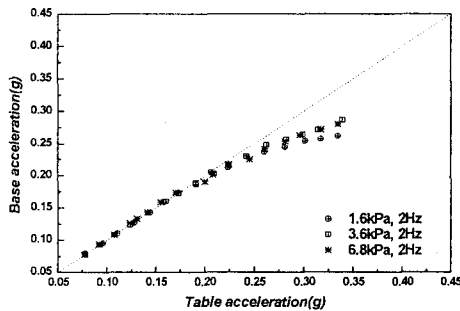


그림 13 상자와 테이블 최대가속도(주파수 2Hz)

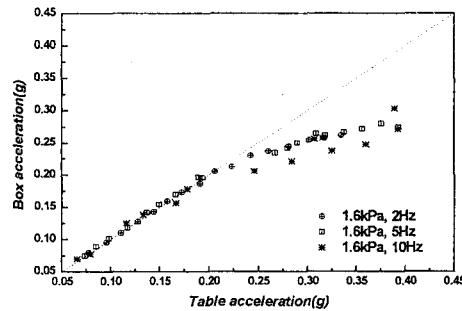


그림 13 상자와 테이블 최대가속도(연직응력 1.6kPa)

그림 9는 테이블 가속도와 최대 미끄러짐의 정도와의 관계를 나타낸 것이다. 작은 테이블 가속도에서는 상대변위가 일어나지 않지만 미끄러짐이 일어나기 시작하면 테이블 가속도가 증가함에 따라 최대 미끄러짐의 크기가 지수적으로 증가하였다. 또한 연직응력에 따른 미끄러짐의 정도는 크게 차이가 나지 않는 반면 주파수가 작은 경우 주파수가 큰 경우에 비해 미끄러짐이 크게 일어나는 것을 알 수 있었다. 그림 10은 이러한 미끄러짐의 정도를 정규화시켜 K_y/K_a 와의 관계를 나타낸 것이다. 정규화된 미끄러짐은 아래와 같이 나타낼 수 있으며, K_y 는 yield acceleration으로써 미끄러짐이 일어날 때의 테이블의 가속도이며, K_a 는 테이블의 최대가속도이다(Yegian and Harb, 1995).

$$S_n = \frac{S_d}{K_a \cdot T^2} \quad (4)$$

여기서 S_n 은 정규화된 미끄러짐 정도이며, S_d 는 실제 측정된 미끄러짐의 크기, T 는 주기를 의미한다. 지진시 주기와 가속도를 알 수 있으면 그림 10을 이용하여 S_n 을 평가할 수 있으

며, 식 (4)를 적용하여 실제로 일어나는 미끄러짐의 정도를 예측할 수 있다. 즉 매립지에서 사용된 토목섬유의 조합을 안다면, 진동대 실험을 통해서 K_y 값을 구할 수 있으며 이를 이용하여 지진이 일어날 시 지진의 가속도 크기와 지진의 주파수를 알게 되면 토목섬유 사이의 미끄러짐 정도를 평가할 수 있다.

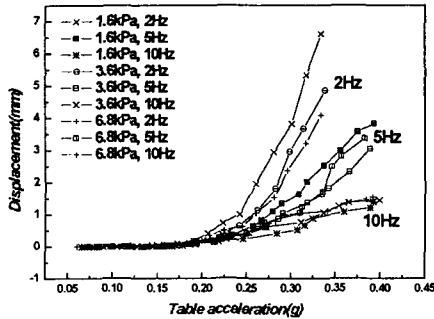


그림 15 테이블 가속도와 상대변위

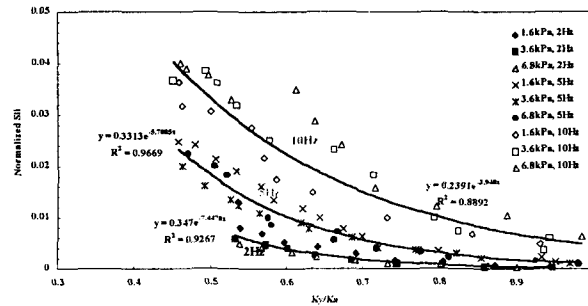


그림 15 정규화된 미끄러짐과 K_y/K_a

5. 결론

지오멤브레인과 지오텍스타일 사이의 동적 접촉마찰특성을 평가하기 위해 진동대를 이용한 실험을 실시하였다. 낮은 가속도에서는 테이블과 상자가 일체로 움직이지만, 어느 지점에 도달하면 상자의 최대가속도는 테이블의 최대가속도보다 작아진다. 이 지점에서 상자의 미끄러짐이 일어나며, 이 때 토목섬유사이를 통해 전달되는 힘은 감소된다. 또한 이 지점의 테이블의 최대가속도를 이용하여 토목섬유 사이의 동적 접촉마찰각을 산정하였다.

연직응력은 지오멤브레인과 지오텍스타일 사이의 동적 접촉마찰특성에 거의 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었으며, 주파수의 경우에도 동적 접촉마찰각은 크게 변하지 않았다. 그러나, 주파수 크기가 작은 영역에서는 미끄러짐의 정도가 주파수가 큰 경우보다 크게 산정되었다. 작은 테이블 가속도에서는 미끄러짐이 일어나지 않지만, 미끄러짐이 일어난 후에는 최대 미끄러짐의 크기는 테이블 가속도가 증가함에 따라 지수적으로 증가하였다. 이러한 미끄러짐, 즉 상대변위는 매립지에서 사용된 토목섬유의 조합과 지진시 지진의 주기를 알 수 있으면 정규화된 미끄러짐과 K_y/K_a 관계의 그래프를 이용하여 예측할 수 있다.

7. 참고문헌

- (1) De, A. and Zimme, T. F., "Estimation of dynamic interfacial properties of geosynthetics", Geosynthetics International, Vol. 5, Nos. 1-2, 1998
- (2) Yegian, M. K. and Harb, J. N., "Slip displacement of geosynthetic systems under dynamic excitation", Earthquake Design and Performance of Solid Waste Landfills, Geotechnical Special Publication No. 54, pp. 212-236, 1995
- (3) Yegian, M. K., Yee, Z. Y. and Harb, J. N., "Response of geosynthetics under earthquake excitation", Proceedings of Geosynthetics 95, IFAI, pp. 677-689, 1995