

물이 토목섬유 사이의 접촉 전단강도에 미치는 영향 The Effect of Water on the Interface Shear Strength between Geosynthetics

서민우¹⁾, Min-Woo Seo, 박준범²⁾, Jun-Boum Park, 박인준³⁾, Inn-Joon Park

¹⁾ 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사수료

Graduate Student, School of Civil, Urban & Geosystem Engineering, Seoul National University

²⁾ 서울대학교 지구환경시스템공학부 조교수

Assistant Professor, School of Civil, Urban & Geosystem Engineering, Seoul National University

³⁾ 한서대학교 토목공학과 전임강사, Full Time Lecturer, Dept. of Civil Engineering, Hanseo University

개요(SYNOPSIS) : Various geosynthetics used as liners or the protection layers are installed in the solid waste landfill. The interface shear strength between geosynthetics installed at the slope of the landfill is a very important variable for the safe design of bottom and cover systems in the solid waste landfill. The interface shear strengths between (1) Geomembrane(GM)/Geotextile(GT) and (2) Geomembrane(GM)/Geosynthetic Clay Liner(GCL) were estimated by a large direct shear test in this study and were evaluated by the Mohr-Coulomb failure criterion. Especially, this research is focused on the effect of water which exists between geosynthetics because interfaces become easily wet or hydrated by rain, leachate and groundwater beneath liners. The strength reduction at large displacement and the effects of the magnitude of normal stresses and GCL hydration methods also investigated. The test results showed that the interface shear strength and shear behavior varied depending upon the magnitude of normal stresses, water at the interface, and hydration methods. Summary of secant friction angles, which could be used as reference values at a site where similar geosynthetics are installed, together with normal stress and hydration condition are presented,

주요어(Key words) : interface shear strength, water, landfill, geosynthetic, hydration

1. 서론

폐기물 매립지의 침출수는 환경에 유해한 물질이 다량으로 포함되어 있다. 이러한 유해물질이 외부로 누출되지 않도록 폐기물 매립지의 바닥과 사면에는 다양한 차수시설이 설치된다. 차수시설은 크게 점토 차수재와 지오멤브레인(Geomembrane, GM), 지오텍스타일(Geotextile, GT), 토목섬유 점토 차수재(Geosynthetic clay liner, GCL) 등의 토목섬유들로 이루어진 토목섬유 차수재로 나눌 수 있다. 매립지에 설치되는 전형적인 차수 및 최종 덮개 시스템은 그림 1과 같다.

이러한 여러층의 차수재가 매립지에 설치됨에 따라 다양한 접촉면(interface)이 형성되는데, 이들 접촉면은 매립지의 사면 안정성에 큰 영향을 미친다고 알려져 있다(Mitchell 등, 1990; Seed 등, 1990). 이들 접촉면은 크게 토목섬유/흙, 토목섬유/토목섬유로 나누어 볼 수 있는데, 본 연구에서는 토목섬유/토목섬유 사이의 접촉 전단강도를 대형 직접전단 시험기를 이용하여 측정하여 평가하였다.

한편 이러한 접촉면들은 매립지 내에서 생성되는 침출수와 우수 등에 의해 쉽게 수화되는데, 본 연구

에서는 특별히 이러한 물이 접촉면의 전단 거동 및 전단 강도에 미치는 영향을 고찰하였다. 본 실험을 통해 측정된 GM/GT, GM/GCL 사이의 접촉 전단강도는 본 연구에 사용된 토목섬유와 비슷한 재료가 설치되는 매립지의 설계시 참고자료로 사용될 수 있을 것이다.

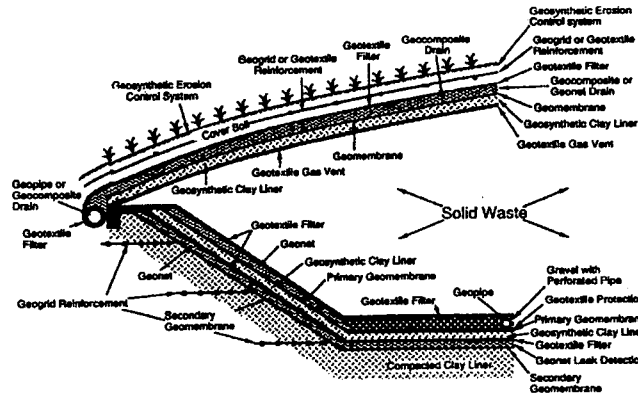


그림 1. 매립지 차수 및 최종 덮개 시스템 (Daniel과 Koerner, 1995)

2. 대형 직접전단 시험

2.1 실험 재료

본 연구에는 3종류의 토목섬유-GM, GT, GCL-가 사용되었으며, 이들의 특성은 표1과 같다.

표 1. 시험에 사용된 토목섬유의 특성

종 류	설 명	두께 (무게)
S-GM	Smooth GM	2.0 mm
T-GM	Textured GM	
GT	부직포	9.0 mm (1,000 g/m ²)
GCL(A)	점토가 부직포와 직포 사이에 needle punching 됨	7.0 mm (4,100g/m ²) (부직포:340g/m ² , 직포:170g/m ²)
GCL(B)	점토가 접착제로 GM에 부착됨	8 mm (GM : 2mm) (6,650g/m ²)

2.2 실험 방법

본 시험에 사용된 장비는 대형 직접전단 시험기로서 개략적인 모습은 그림 2와 같다. 시험기 상부와 하부 상자의 단면 크기는 30cm×30cm이고, 하부상자는 단단한 재료를 채워 전단면이 평평하게 유지되도록 하였다. 시험기의 구성과 전체적인 과정은 ASTM D 5321(1998)에 제시된 방법을 따랐다. 시험순서는 다음과 같다. 먼저 토목섬유를 각각 적당한 크기로 절단하고, 고정핀(clamp)을 이용하여 전단시험기의 상·하부 상자에 고정시킨다. 그리고 상·하부 상자에 고정된 토목섬유를 서로 접촉시킨 후, 상재 하중을 가한다. 총 5종류(6kPa~154kPa)의 연직 하중이 가해졌으며, 전단 속도는 1mm/min 었다. 실시된 시험 항목은 표 2에 정리하였다. GCL(A)/GM 시험에서는 GCL(A)의 부직포 부분이 GM과 접촉하였으며, GCL(B)/GM에서는 GCL(B)의 점토 부분이 GM과 접촉하도록 하였다.

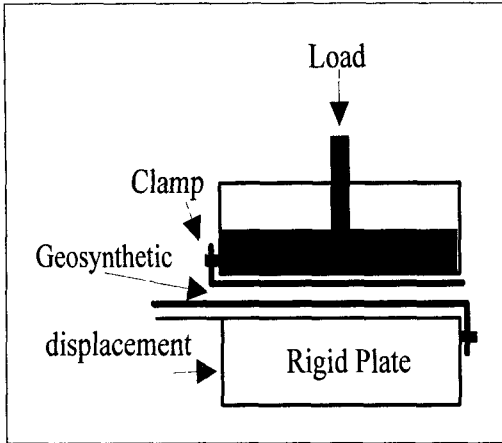


그림 2. 대형 직접전단 시험기의 모식도

표 2. 시험 항목

접촉면	접촉면 상태	시험 횟수
GT/S-GM	건조, 수화	10
GT/T-GM	건조, 수화	10
GCL(A)/S-GM	건조, 수화(FS*, CH**)	15
GCL(A)/T-GM	건조, 수화(FS*, CH**)	15
GCL(B)/S-GM	건조, 수화	10
GCL(B)/T-GM	건조, 수화	10

* FS(Free swelling) : 하중을 가하지 않은 상태로 수화

** CH(Constrained hydration) : 6kPa의 하중을 가한 상태로 수화시킴

2.3 토목섬유 접촉면의 포화

매립지의 접촉면(interface)이 침출수나 우수 및 지하수에 의해 수화되는 현상을 모사하기 위해 본 연구에서는 tap water로 토목섬유를 수화시켰다. GT/GM의 경우, GT를 3-5시간 동안 적신 후 시험을 실시하였으며, GCL/GM에서는 GCL 종류에 따라 다른 방법을 적용했다. GCL(A)는 (1) 하중을 가하지 않은 상태로 수화(FS) (2) 6kPa의 하중을 가한 상태로 수화(CH)를 시킨 후 전단을 실시하였다. 수화시간을 결정하기 위해서 수화시간에 따른 GCL(A)/GM의 접촉 전단강도의 변화를 측정하여, 6일 이후에는 전단강도가 일정해짐을 확인할 수 있었다. 이러한 결과와 기존 문헌 결과(Daniel 등, 1998)를 참고로 하여 수화시간을 10일로 결정하였다. 한편 GCL(B)는 점토부분이 물과 직접 접촉하기 때문에 GCL(A)와는 다른 수화 방법 택했다. 벤토나이트는 50%이상의 함수비에서는 강도가 급격히 감소한다는 결과를 참고로 하여(Daniel 등, 1993), GCL(B)의 점토가 함수비 50% 이상을 보이는 시간을 측정하여 그 시간동안 수화시키는 것으로 하였다. 시험 결과 10분 정도의 시간이면 충분히 50% 이상의 값을 보이는 것으로 나타나, 10분 동안 수화를 시킨 후 전단을 실시하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 변위에 따른 전단 거동

3가지 interface에서 변위와 접촉 전단강도의 관계는 그림 3과 같다. 그림 3을 보면 interface의 종류, GM의 표면 상태-smooth or textured-, 접촉면에서의 물 존재 유무 등에 따라 각기 다른 전단 거동을 보이고 있었다. 먼저 T-GM/GT에서는 연직하중이 100kPa일 때, 접촉면이 습윤상태가 됨에 따라 최대 전단응력은 약간 증가하고 최대값이 발현되는 변위도 증가하였다. 반면 동일한 하중에서 S-GM의 최대 전단응력은 감소하였다. 둘째로 GCL(A)/GM 경우, S-GM에서는 비교적 작은 변위($\leq 3\text{mm}$)에서 최대값이 나타난 후 감소하는 모습을 보였으며, 최대 전단강도는 FS(free swelling)에서 가장 작은 값이 측정되었다. T-GM은 비교적 큰 변위에서(8.7~30mm) 최대점이 나타났으며, 최대 전단강도는 역시 FS(free swelling) 조건에서 가장 작게 측정되었다. 수화상태에서는 건조상태보다 큰 변위에서 최대 전단강도가 발현되었으며, 대변형을 전단강도는 건조와 수화조건에 상관없이 비슷한 값을 나타내었다(그림 3(b)). 한편 GCL(B)에서는 GCL(A)와는 다른 거동 양상을 보였다. 건조 상태의 T-GM에서는 비교적 큰 변위에서 최대점이 나타났으나, 수화 상태에서는 초기(1mm)에 최대값을 나타낸 후 강도가 감소하였다. 이러한 현상은 수화로 인해 GCL(B)에 포함된 점토부분의 강도가 감소하여서 낮은 변위에서 쉽게 파괴되었기 때문에 나타나는 현상이라고 판단되었다. GCL(B)/S-GM 경우, 건조상태에서는 수화상태의 T-GM과 비

슷한 거동을 보였으며, 수화상태에서는 변위가 진행됨에 따라 강도가 감소하지 않고 일정한 값이 유지되었다.

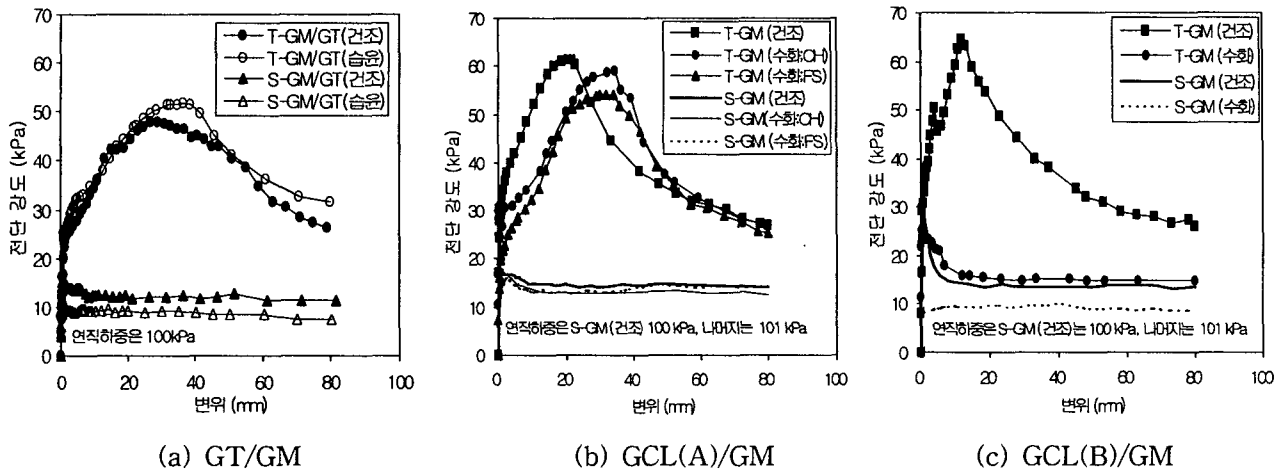


그림 3. 토목섬유/토목섬유 접촉면(interface)의 변위 및 전단강도

3.2 접촉 전단강도 평가

본 시험을 통해 측정된 최대 및 대변형(80mm) 접촉 전단강도는 Mohr-Coulomb 파괴 포락선 식을 이용하여 연직응력의 함수로 표현하였다(그림 4). 적용된 식은 아래 식(1)과 같으며, 식(1)로부터 구한 각 interface의 마찰각, 겔보기 점착력은 표 3에 제시하였다.

$$\tau = \alpha + \sigma \tan \delta \tag{1}$$

여기서, σ 는 접촉면에 가해진 연직응력(kPa), τ 는 접촉 전단응력(kPa), α 는 겔보기 점착력(kPa), δ 는 마찰각(°)이다.

그림 4를 통해 접촉면에 존재하는 물에 의해 접촉 전단강도가 변화를 확인할 수 있었다. 먼저 GT/GM에서는 습윤 상태에 의한 강도 변화양상이 GM 표면 형태에 따라 다르게 나타났다. S-GM/GT에서는 GT가 습윤 상태로 되면서 마찰각이 최대값은 1.1° 대변형을에서는 1.0° 감소하였다. 이 값들은 Yegina와 Lahlaf(1992)의 연구 결과와도 잘 일치하는 수치였다. 그러나, T-GM/GT의 경우는 이와는 다르게 경계면이 습윤 상태가 되면서 마찰각은 최대값에서 5.6° 잔류값에서 6.9° 증가하였으나, 점착력의 경우에는 오히려 최대값은 7.3 kPa 잔류 상태에서는 3.5 kPa이 감소하였다. Ellithy와 Gabr(2001)도 이와 유사한 연구 결과를 발표한 바 있다. 이러한 마찰각과 점착력의 변화는 T-GM/GT의 접촉 전단강도

표 3. 최대 및 대변형을 접촉 전단강도

Interface	습윤상태	최대 전단 강도			대변형을 전단 강도		
		마찰각 (°)	점착력 (kPa)	r ²	마찰각 (°)	점착력 (kPa)	r ²
GT/S-GM	건조	8.7	-	0.98	6.2	-	0.99
	수화	7.6	-	0.94	5.2	-	0.89
GT/T-GM	건조	15.7	20.7	0.98	10.3	9.4	0.95
	수화	21.3	13.4	0.95	17.2	5.9	0.95
GCL(A)/S-GM	건조	11.6	0.2	0.98	7.8	1.6	0.98
	수화(FS)	6.6	3.4	0.97	5.6	3.0	0.96
	수화(CH)	9.0	1.8	1.00	5.4	2.2	0.96
GCL(A)/T-GM	건조	30.0	7.0	0.98	16.8	2.4	0.95
	수화(FS)	22.8	4.9	0.96	10.8	4.0	0.95
	수화(CH)	27.6	10.3	0.97	14.1	5.5	0.96
GCL(B)/S-GM	건조	14.6	2.6	0.98	7.3	2.5	0.96
	수화	4.6	2.7	0.98	4.4	1.7	0.98
GCL(B)/T-GM	건조	29.7	4.4	0.99	13.1	4.3	0.98
	수화	13.0	4.8	0.99	4.5	4.5	0.90

의 경우 낮은 연직하중에서는 물에 의해 전단강도가 감소하지만, 하중이 증가할수록 전단강도가 증가하는 것을 의미한다.

표 3과 그림 4(b)를 살펴보면 GCL(A)와 GM 사이의 접촉 전단강도는 대부분 건조 상태에서 가장 크고, 그 다음으로 CH 조건에서의 수화, 그리고 FS 수화 조건에서 가장 작은 값을 나타내고 있었다. 단지 예외적으로 GCL(A)와 T-GM과의 접촉 전단강도에서 CH 조건에서 수화시킨 경우, 건조조건보다도 더 큰 겔보기 점착력을 가지는 것으로 나타났다. GCL(B)의 최대 접촉 전단강도의 경우(그림 4(c)), 6kPa을 제외한 모든 경우에서 수화로 인해 강도가 GCL(A)과 비교했을 때 크게 감소하였다. 수화상태에서의 GCL(B)/T-GM의 최대 접촉 전단강도는 건조상태에서의 GCL(B)/S-GM 접촉 전단강도와 유사한 모습을 보였는데, 이는 변위-전단강도(그림 3(c))의 경향과도 잘 일치하는 것이었다. GCL(B)의 수화로 인해 GCL(B)/T-GM 사이의 접촉 전단강도는 건조상태보다 46%의 강도감소가 발생하였다. 전체적으로 GCL(B)에서 수화시 강도감소가 크게 발생함을 확인할 수 있었다. 따라서, GCL(B)를 매립지의 사면 차수재나 덮개로 사용하는 경우, 사전에 현장에 설치되는 GCL을 대상으로 시험을 실시하여 강도를 평가한 후, 파괴에 대하여 안전하도록 설계를 실시하여야 한다.

한편 GCL(A)의 시험 결과 중에서 수화시 접촉 전단강도를 기준에 제시된 문헌결과와의 비교해보았다 (Triplett과 Fox, 2001). GM의 종류와 관계없이 CH 조건에서의 결과와 문헌의 결과가 잘 일치함을 발견하였다. Triplett과 Fox(2001)의 결과는 전단시험시 가해지는 하중과 동일한 하중을 가한 상태에서 수화를 시킨 후에 시험을 실시하여 얻은 것이었다. 비교를 통해 6kPa 정도의 하중을 가한 상태에서 수화를 시킨 후 시험을 실시하여도 다른 수화방법에 의한 결과와도 유사한 경향을 얻을 수 있다는 가능성을 확인할 수 있었다. 한편 FS 조건, 즉 하중을 가하지 않은 상태로 수화를 시킨 후 전단 시험을 실시할 경우에는 강도가 다른 조건에서보다 작게 측정되었는데, 이영애(1999)는 그 이유로 FS(free swelling) 조건에서 수화를 시킨 후 연직하중을 가하면 압밀로 인해 간극수가 전단 접촉면에 매끄러운 막(slipping film)을 형성해 강도 감소를 유발하기 때문이라고 하였다. 이는 FS 조건에서의 최종 함수비가 CH에서의 함수비보다 훨씬 크게 나타난 결과와도 잘 일치하는 결과이다(표 4).

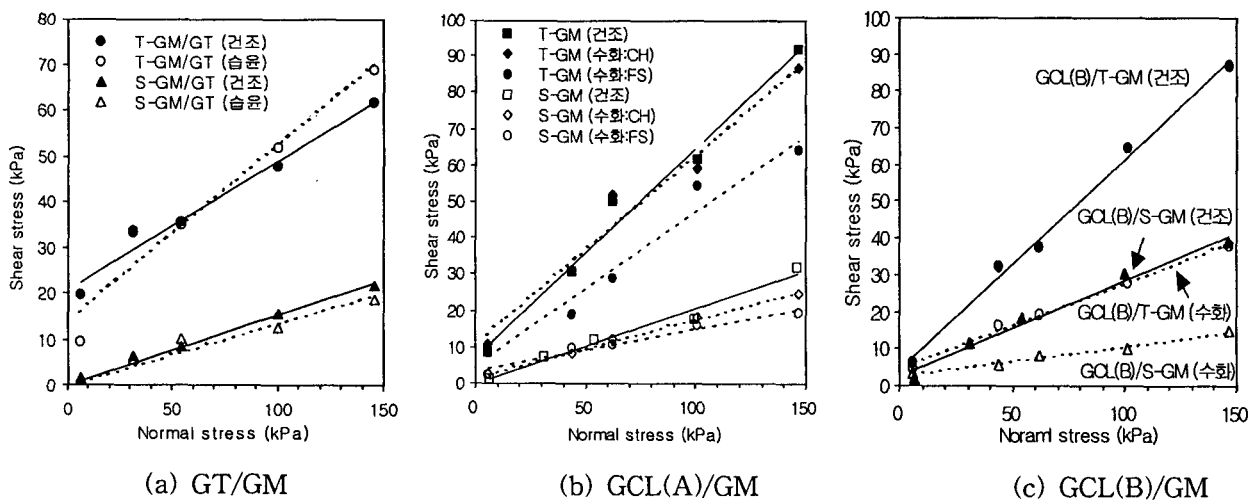


그림 4. 연직 응력에 따른 최대 접촉 전단강도

3.3 대변형률에서의 강도 감소

지반 구조물을 설계할 때 최대값과 잔류값 혹은 대변형률에서의 값 중에서 어떤 값을 적용하며, 또한 어떤 크기의 안전율을 채택할 것인가를 결정하는 것은 매우 중요하지만 어려운 일이다. 이러한 어려움은 접촉 전단강도를 설계에 적용함에 있어서도 동일하게 발생한다. 본 연구에서는 이러한 문제 해결을 위한 기초자료를 제공하기 위해 최대값과 80mm에서의 강도를 측정하여, interface 종류에 따른 강도 감소량을 평가하여 보았다. 그림 5는 연직응력에 따른 잔류 전단강도와 최대 전단강도의 비를 보여주고

있다. 본 시험에서 측정된 80mm에서의 값은 진정한 잔류상태의 전단강도를 나타내지 못하기 때문에 최대 및 대변형을 비에서 뚜렷한 경향을 발견하기는 어려웠지만, 수화상태와 토목섬유의 종류에 따른 몇 가지 특징은 발견할 수 있었다.

첫째 GT/GM에서는 T-GM을 제외한 나머지의 interface에서 대변형율(80mm)의 전단강도가 최대값의 60~80%의 범위에 존재하였으며, 습윤 상태에서 T-GM의 대변형율 전단강도는 건조 상태에 비해 변위에 따른 감소량이 적게 나타났다. 둘째, GCL(A)/GM의 경우, T-GM에서는 S-GM보다 훨씬 큰 강도 감소를 보였으며, 대변형율/최대의 비는 건조 및 수화조건에 상관없이 0.4에서 0.6사이에 존재하였다. S-GM은 연직하중이 증가함에 따라 대변형율/최대의 비가 감소하는 경향을 보였으며, FS 조건의 수화시 가장 작게 감소하였다. 마지막으로 GCL(B)와 GM 경우에도 T-GM에서 강도 감소가 더 크게 나타났다. 수화상태의 S-GM에서는 오히려 연직하중이 증가하면서 비가 증가, 즉 대변형율에서의 강도감소가 작게 나타났다. 한편, 건조상태에서 변위에 따른 GCL(B)/S-GM의 강도감소는 다른 경우에 비해 크게 나타났는데, 이는 GCL(B)의 접촉면(interface)에 미끄러운 벤토나이트 성분이 많이 존재하기 때문에 나타난 현상이라고 판단되었다.

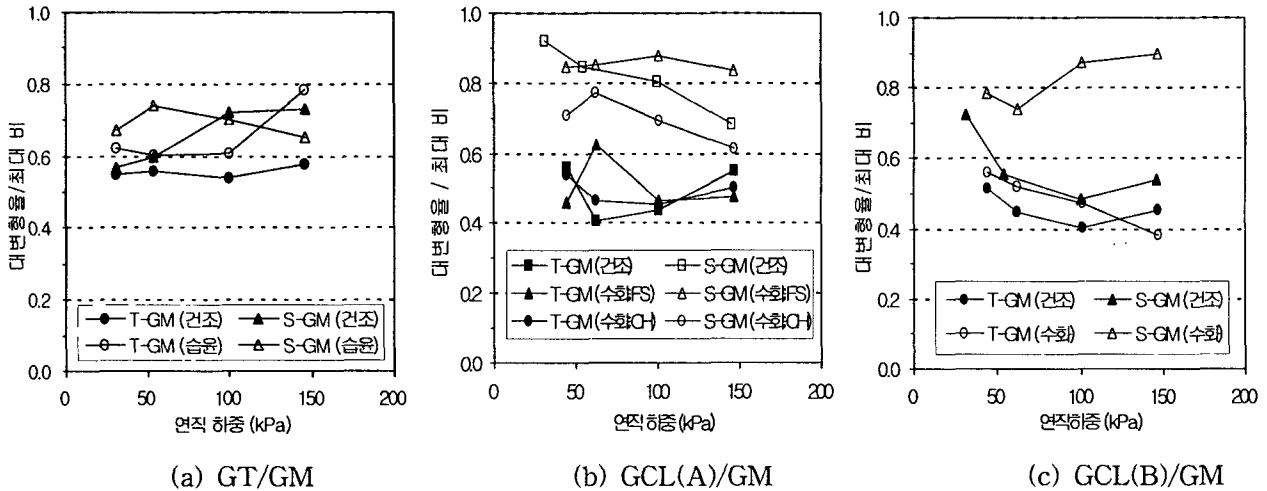


그림 5. 연직 응력에 따른 강도 감소량

3.4 연직하중이 전단강도에 미치는 영향

접촉 전단강도는 일반적으로 연직응력에 따라 달라진다고 알려져 있다(Wasti & Özdüzgün, 2001). 본 연구에서는 하중에 따른 마찰각의 변화를 평가하기 위해 점착력을 고려하지 않는 'Secant 마찰각'을 도입하였다. Secant 마찰각은 가해진 연직 하중과 전단 응력의 비율 이용하여 구하며(식2), 토목섬유 사이의 경계면의 한계 경사각을 의미하기도 한다. 연직 하중에 따른 각 interface의 secant 마찰각은 그림 6에 제시되어 있다.

$$\delta_{secant} = \tan^{-1} (\tau/\sigma) \quad (2)$$

여기서, σ 는 연직응력을 τ 은 전단응력을 의미한다. 그림 6에 제시된 마찰각은 각 토목섬유의 조합이 설치되는 현장의 연직하중을 아는 경우 좋은 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

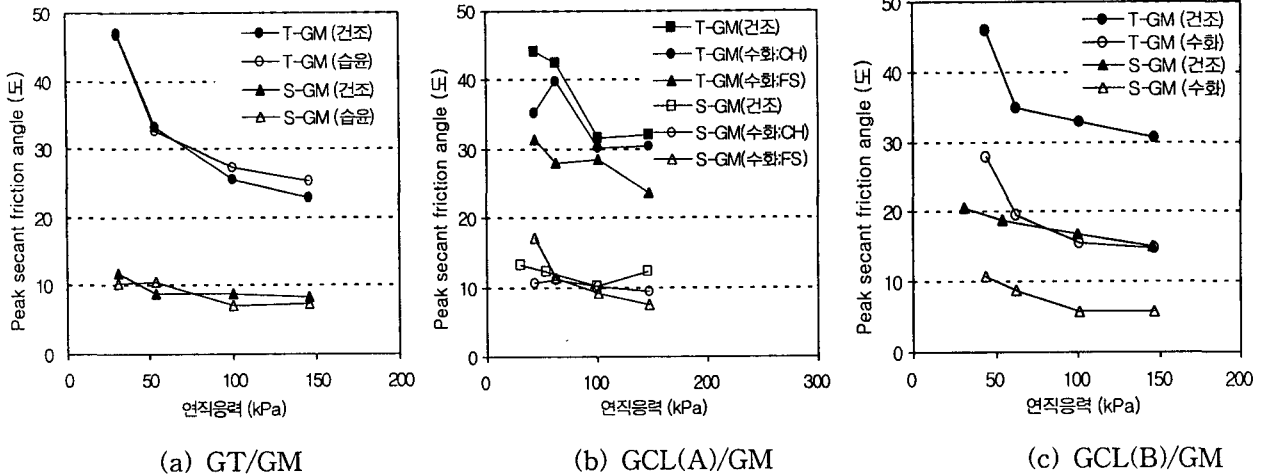


그림 6. 연직 응력에 따른 secant 마찰각의 변화

그림 6을 보면 대체로 모든 interface에서 연직 하중이 증가함에 따라 마찰각이 감소함을 발견할 수 있다. 특히 그림 6를 통해 연직하중에 따른 마찰각의 감소가 T-GM에서 매우 뚜렷하게 나타남을 확인할 수 있었다. 한편 GCL(B)에서는 수화시에 secant 마찰각이 건조시에 비해 매우 작았다. 이는 3.1~3.3절에서 언급한 내용과도 일치하는 결과이다.

Wasti와 Özdüzgün(2001)은 시험시 적용되는 연직응력이 작을수록 설계시 접촉 전단강도를 과대 평가할 가능성이 있음을 지적하면서, 설계 위치에 예상되는 연직하중을 미리 예측하여 해당 하중 혹은 더 큰 연직하중에 대하여 시험을 실시하여 그 결과를 설계에 반영할 것을 제안한 바 있다. 이 제안은 본 연구결과처럼 연직하중이 증가함에 따라 마찰각이 감소하기 때문에 나온 것으로, 연직하중이 증가함에 따라 마찰각의 감소하는 경향은 점착력을 제외하고 마찰각만을 설계시 적용하는 경우 꼭 고려해야 한다. 그림 6의 값들은 표 4에 다시 정리하였으며, 이 표는 유사한 토목

표4. 최대 secant 마찰각의 범위

Interface	수화조건	마찰각의 범위(°)	연직응력의 범위(kPa)	평균 최종 함수비(%)
GT/S-GM	건조	8~12	31~146	-
	습윤	7~10		-
GT/T-GM	건조	23~47		-
	습윤	25~47		-
GCL(A)/S-GM	건조	10~12	31~146	-
	FS	8~17		230
	CH	9~11		130
GCL(A)/T-GM	건조	32~44	44~147	-
	FS	24~31		221
	CH	31~40		140
GCL(B)/S-GM	건조	15~21	31~146	-
GCL(B)/T-GM	수화	6~11	44~147	86
	건조	31~46		-
GCL(B)/T-GM	수화	15~28	44~147	73
	건조	15~28		-

섬유와 연직 하중이 작용되는 현장에 좋은 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

4. 결론

대형 직접전단 시험기를 이용하여 매립지의 차수재 및 최종 덮개에 설계시 꼭 필요한 항목인 지오텍스타일(GT)/지오멤브레인(GM), 토목섬유 점토 차수재(GCL)/지오멤브레인(GM) 사이의 접촉 전단강도를 건조상태와 수화상태로 나누어 시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 접촉면이 수화되면서 변위에 따른 접촉면의 전단거동과 최대 전단강도는 건조시의 결과와는 다르게 나타났으며, 최대 전단강도가 발현되는 변위도 바뀌었다.

- (2) 측정된 접촉 전단강도에 Mohr-Coulomb 파괴 포락선을 적용하여 마찰각과 겔보기 점착력을 구하였다. GT/GM의 경우, S-GM에서는 습윤상태로 인해 마찰각이 1° 감소하였으나, T-GM에서는 마찰각은 증가하고 점착력은 감소하였다. GCL/GM에서는 모든 interface에서 수화로 인해 전단강도가 감소하였으나, 그 정도는 GCL의 종류와 수화 방법에 따라 다르게 나타났다.
- (3) Secant 마찰각은 모든 interface에서 연직하중이 증가함에 따라 감소하였으며, 습윤 혹은 수화 상태에서는 건조상태보다 작은 마찰각을 나타냈다. 강도 감소량은 T-GM에서 확연하게 나타났다. 한편 연직하중의 증가에 따른 마찰각이 감소하는 경향은 점착력을 제외하고 마찰각만을 설계시 적용하는 경우 반드시 고려해야 한다.
- (4) GCL(B)에서는 접촉면의 수화 혹은 GCL(B)에 접촉되어 있는 점토부분의 수화로 인해 접촉 전단강도가 건조시에 비해 매우 작게 관측되었다. 이러한 특성은 GCL(B)가 설치되는 현장에서는 GCL(B)로 수분이 유입되지 않도록 세심한 주의를 기울여야함을 보여주는 결과이다.
- (5) 시험결과 접촉면의 secant 마찰각은 본 연구 범위의 연직응력 내에서 설계시 참고 자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. 이영애 (1999), "폐기물 매립장 토목섬유 차수재의 접촉마찰특성 및 안정해석에 관한 연구", 인천대학교 석사학위 논문
2. ASTM D 5321 (1998), "Standard test method for determining the coefficient of soil and geosynthetic and geosynthetic and geosynthetic friction by the direct shear method", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania
3. Daniel, D.E., and Koerner, R.M. (1995), "Waste containment facilities - Guidance for construction, quality assurance and quality control of liner and cover system", ASCE, New York.
4. Daniel, D.E., Koerner, R.M., Bonaparte, R., Landreth, R.E., Carson, D.A., and Scranton, H.B. (1998), "Slope stability of geosynthetic clay liner test plots", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engr., Vol.124, No.7, July, pp.628-637
5. Daniel, D.E., Shan, H.Y., and Anderson, J.D. (1993), "Effects of partial wetting on the performance of the bentonite component of a geosynthetic clay liner", Proc. Geosynthetics '93, IFA, Int., St. Paul, Minn., pp. 1483-1496
6. Ellithy, G., and Gabr, M.A. (2001), "A model for interface shear strength of nonwoven geotextile", Proceedings of Geosynthetics Conference, USA, pp.121-133
7. Mitchell, J.K., Seed, R.B., and Seed, H.B. (1990), "Kettleman Hills waste landfill slope failure. I: Liner system properties", Journal of Geotechnical Engr., ASCE, 116(4), pp.647-668
8. Seed, R.B., Mitchell, J.K., and Seed, H.B. (1990), "Kettleman Hills waste landfill slope failure. II: Stability analyses", Journal of Geotechnical Engr., ASCE, 116(4), pp.669-690
9. Triplett, E.J. and Fox, P.J., (2001), "Shear strength of HDPE geomembrane / geosynthetic clay liner interfaces", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engr., Vol.127, No.6, pp.543-552
10. Wasti, Y., and Özdüzgün, Z.N. (2001), "Geomembrane-geotextile interface shear properties as determined by inclined board and direct shear box tests", Geotextiles and Geomembranes, 19, pp.45-57
11. Yegian, M.K., and Lahlaf, A.M. (1992), "Dynamic interface shear strength properties of geomembranes and geotextiles", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engr., Vol.118, No.5, pp.761-779