

**지오멤브레인의 보호기능을 향상시킨 복합재료의 제조 및 평가**  
**Manufacturing and Assessment of Composite Materials to be developed**  
**Protection Function of Geomembrane**

전한용<sup>1)</sup>, Han-Yong Jeon, 정진희<sup>2)</sup>, Jin-Hee Jeong, 김홍관<sup>3)</sup>, Hong-Kwan Kim

<sup>1)</sup> 전남대학교 섬유공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Textile Eng., Chonnam National Univ.

<sup>2)</sup> 전남대학교 섬유공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Textile Eng., Chonnam National Univ.

<sup>3)</sup> 한국원사직물시험연구원, 토목재료분석센터, FITI Testing & Research Institute, GSI-Korea

**SYNOPSIS** : Composite materials were made to develop the protection function by using nonwoven geotextile and smooth high density polyethylene geomembrane and thermal bonding method was used to bind these materials. Tensile, tear, puncture and bursting strength of geomembrane were increased by thermal bonding but strains at break point of composite materials were decreased due to the fiber separation of geotextiles on bonding areas. Friction properties of composite materials through direct shear test were improved between these materials/conducted soils interface. Finally, chemical stability of composite materials was influenced by geotextile rather than geomembrane.

**KEYWORDS** : Composite materials, Thermal bonding method, Protection function, Interface friction, Chemical stability

## 1. 서론

토목섬유는 목적에 따라 보강, 분리, 여과, 배수, 차수 등의 기능으로 널리 사용되고 있으며 최근에는 한가지 기능을 강화하거나 다양한 기능성을 부여하기 위해 복합화된 재료들이 사용되고 있다. 현재 토목섬유는 여러 종류의 관련제품이 개발되어 상품화되고 있으며 폐기물 매립장의 경우 차수재인 FML(flexible membrane liner)로 이용되고 있는 지오멤브레인과 자체의 인장강도에 의해 흙 구조물의 안정성을 증가시키는 보호기능을 갖는 지오텍스타일이 주로 사용되고 있다. 한편, 지오멤브레인의 국내 수요는 1972년 이후 꾸준히 증가하여 최근 고형 폐기물이나 위생 매립장, 산업폐기물 매립장, 운하, 터널, 인공호수, 수영장 등의 차수시설이나 침투제어 시설분야 등에 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 이러한 지오멤브레인은 매끄러운 시트(sheet)상의 외형을 갖기 때문에 토양과의 마찰력이 낮으며 설치 시 자갈, 콘크리트 조각, 나무뿌리 등과 같은 날카로운 물체에 의한 표면손상이 많이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 폐기물 매립장에 적용되는 지오멤브레인의 보호기능을 향상시키기 위하여 지오멤브레인의 표면에 지오텍스타일을 접합시킨 복합재료를 제조하였다. 그리고 마찰특성을 향상시키기 위하여 열융착기를 이용, 지오멤브레인의 표면에 요철을 부여하였으며 제조된 복합재료의 인장, 인열, 파열, 찢김성질과 침출수에 대한 화학적 안정성을 검토, 분석하였다.

## 2. 실험

### 2.1 복합재료의 제조

복합재료의 제조를 위하여 시판되는 두께 1.5mm, 밀도 0.945g/cm<sup>3</sup>의 고밀도 폴리에틸렌 지오멤브레인 (GM)과 중량 200g/m<sup>2</sup>의 폴리프로필렌 니들펀칭 부직포 지오텍스타일(GT)을 사용하였다. 그리고 두 시료의 복합화를 위하여 내열성 합금으로 제작된 평판에 1×1cm<sup>2</sup>의 돌기를 돌출 시킨 열판이 부착된 열융착기로 지오텍스타일과 지오멤브레인을 융착시켜 GT/GM, GT/GM/GT의 시료를 제조하였다. Figure 1에 열융착원리와 열융착기를 나타내었으며, Figure 2에 제조된 복합재료의 단면과 측면사진을 나타내었다. 한편, 최적결합조건을 설정하기 위하여 여러 번의 예비실험을 실시하였으며 그 결과 온도 190℃, 압력 6kgf, 결합시간 20초를 최적결합조건으로 택하였다. 그리고 시판되는 지오멤브레인이 매우 rigid하기 때문에 결합효과를 향상시키기 위하여 결합전 90℃에서 약 30분 동안 예열시킨 다음 두 시료를 결합하였다.

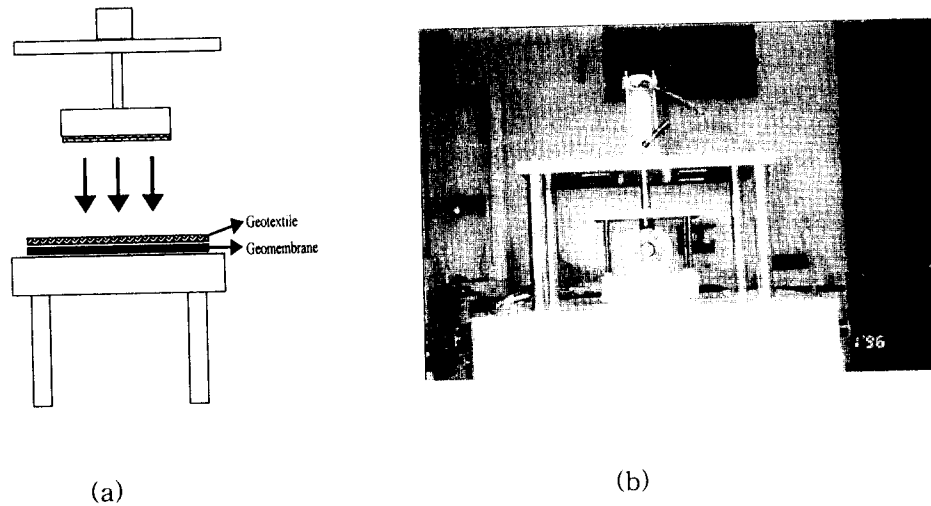


Figure 1. Photographs of Thermal bonding machine : (a) principle of thermal bonding (b) apparatus

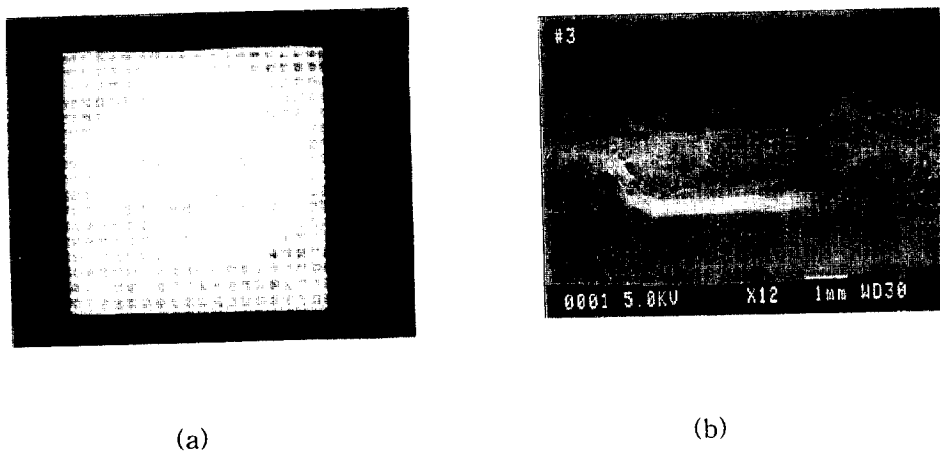


Figure 2. Photographs of composite materials : (a) surface area (b) cross-sectional area

## 2.2 물성평가

### 2.2.1 역학적 성질 평가

인장강도는 ASTM D 638 Type IV에 의거, 측정하였으며 인열강도는 ASTM D 1004에 의거, 측정하였다. 파열강도는 ASTM D 3787의 Ball Bursting 시험법으로 측정하였으며, 찢김 강도는 ASTM D 4833 Index Puncture Test method에 의거, 측정하였다.

### 2.2.2 마찰특성

지오멤브레인의 보호기능을 향상시킨 복합재료를 제조한 후 대형 직접 전단시험기를 이용하여, 고정 전단시험방법으로 흙과의 마찰특성을 평가하였다. Figure 3의 (a)에 고정 전단시험의 전단상자 구성도를 (b)에 대형 직접 전단시험기의 사진을 나타내었다. 이때 사용된 접촉토사는 사질토(주문진 표준사)와 화강풍화토를 사용하였다. 다짐도의 변화는 사질토의 경우 상대밀도( $D_r$ )를 80%와 40%로 다짐하였으며, 화강풍화토는 최대건조밀도( $\gamma_{d(max)}$ )의 90%, 80%로 다짐하였다. 이때 전단속도는 1mm/min으로 일정하게 유지하여 실시하였다.

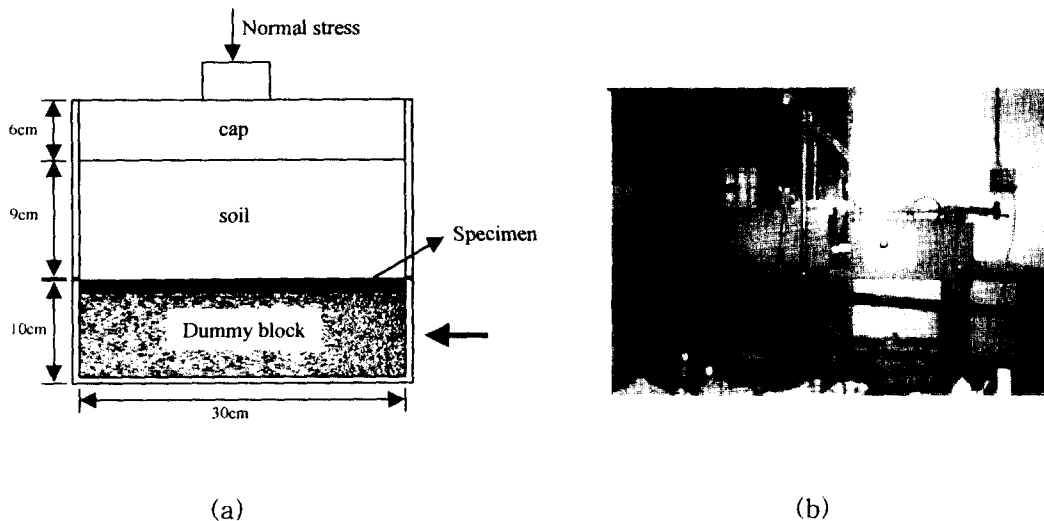


Figure 3. Schematic diagram of shear box, (a) and photograph of direct shear test apparatus, (b)

### 2.2.3 화학적 안정성 평가

미국 환경부에서 제시한 FML(Flexible membrane liner)의 화학적 안정성을 평가하는 방법인 EPA 9090 Test Method를 적용하였다. 이 방법은 25℃와 50℃에서 pH 3과 pH 12의 완충용액(Buffer solution)에 시료를 침지시킨 후 매 30일 간격으로 120일까지 시료를 취하여 ASTM D 638 Type IV의 방법에 의거, 인장강신도를 측정 후 화학적 안정성을 평가하는 방법이며, 본 연구에서는 관련 실험의 진행과정을 고려하여 우선 30일까지의 처리한 시료의 화학적 안정성을 평가하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 역학적 성질

### 3.1.1 인장 및 인열성질

Figure 4와 Table 1에 각각 복합재료의 하중-변위곡선과 인열강도를 나타내었다. Figure 4에서 인장강도는 MD(machine direction) 및 CD(cross direction)방향 모두 증가하였으며 특히 두 방향에서 강신도의 차이가 거의 없음을 알 수 있는데 이는 GM에서 일반적으로 나타나는 연신에 의한 두 방향에서의 강신도 차이가 열융착 복합화에 의하여 보완되었기 때문이라고 생각된다. 그리고 파단변형율은 두 방향에서 모두 감소하는데 이는 복합화 재료의 융착점, 특히 GM/GT부분에서 응력집중에 의한 GT의 섬유분리에 기인한다고 생각된다. Table 1의 인열강도도 인장강도의 경우와 비슷한 경향을 나타내었다.

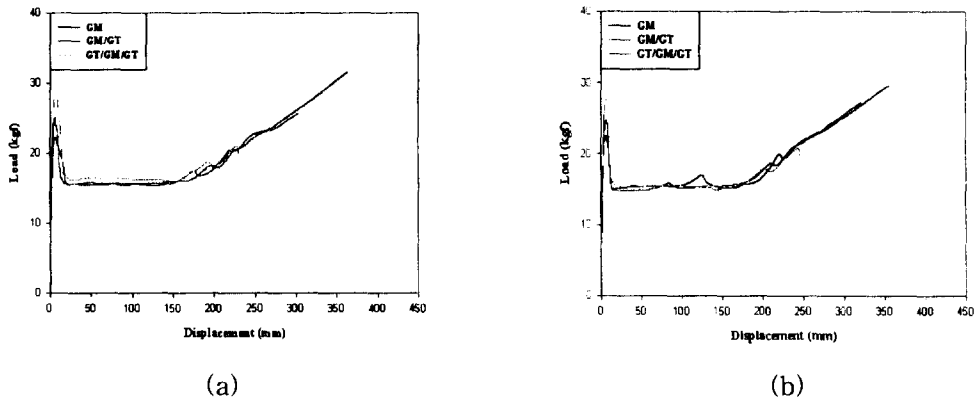


Figure 4. Load-displacement curves of composite materials : (a) MD (b) CD

Table 1. Tear Strength of composite materials

시 료	인열강도(kgf)	
	MD	CD
GM	26.50	25.12
GT/GM	31.21	29.22
GT/GM/GT	34.94	33.20

### 3.1.2 찢김 및 파열성질

복합재료의 찢김강도를 Table 2에, 파열강도를 Figure 5에 각각 나타내었으며 인장 및 인열성질에서 나타난 바와 같이 열융착 복합화에 의해 향상됨을 보이고 있다.

Table 2. Puncture strength of composite materials

시 료	GM	GT/GM (GT front)	GT/GM (GT behind)	GT/GM/GT
찢김강도 (kgf)	66.59	89.80	72.85	114.60

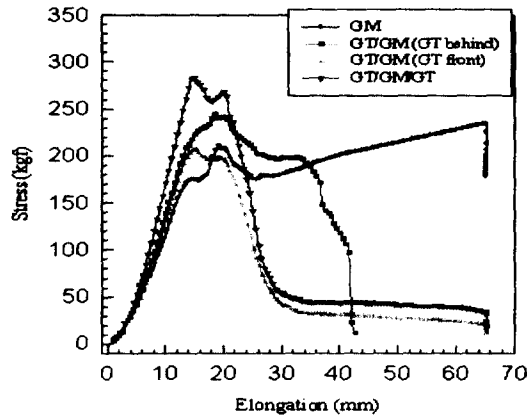


Figure 5. Bursting behaviors of composite materials

이상의 결과로부터 GM을 단독으로 사용한 경우보다 열융착 복합화시킨 GT/GM 또는 GT/GM/GT의 경우 역학적 성질이 전반적으로 향상됨을 알 수 있었으며, 이로 인한 보호기능의 향상도 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

### 3.2 마찰특성

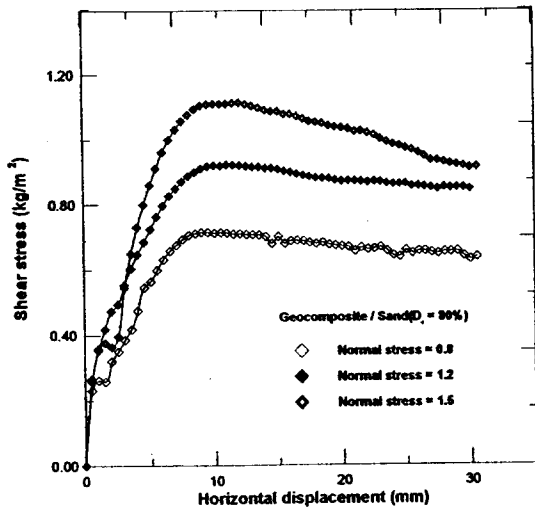
지오멤브레인과의 접촉토사와의 접촉마찰각도를 Table 3에, 지오멤브레인과 지오텍스타일 복합재료의 접촉마찰각도를 Table 4에 각각 나타내었다. 그리고 Figure 6에 상대밀도가 40%, 80%인 사질토에서의 전단변위에 대한 전단 응력곡선을, Figure 7에 다짐도가 80%, 90%인 화강풍화토에서의 전단변위에 대한 전단 응력곡선을 각각 나타내었다. 이들 Table과 Figure에서 볼 수 있듯이 열융착 복합화에 의해 접촉마찰각도가 증가함을 보이고 있는데 이는 제조된 복합재료의 표면요철에 기인하는 결과라고 생각되며, 접촉토사의 경우 상대밀도(사질토)와 다짐도(화강풍화토)가 증가할수록 접촉마찰각도가 증가함을 보였다.

Table 3. Interface friction angles of geomembrane/conducted soils interface

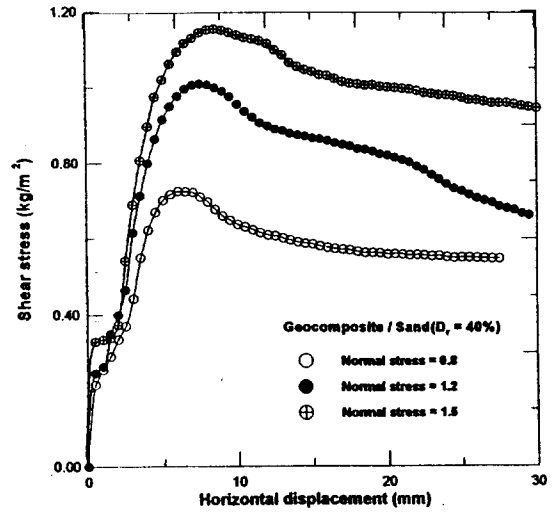
접촉토사	다 짐 도	접촉마찰각, $\psi$ (°)
사 질 토	$D_r = 40\%$	19.65
	$D_r = 80\%$	29.19
화강풍화토	$\gamma_{d(max)}$ 의 90%	23.83

Table 4. Interface friction angles of composite materials/conducted soils interface

접촉토사	다 짐 도	접촉마찰각, $\psi$ (°)	겉보기 점착력, $c$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
사 질 토	$D_r = 40\%$	29.536	0.257
	$D_r = 80\%$	31.728	0.241
화강풍화토	$\gamma_{d(max)}$ 의 80%	27.480	0.254
	$\gamma_{d(max)}$ 의 90%	36.793	0.183

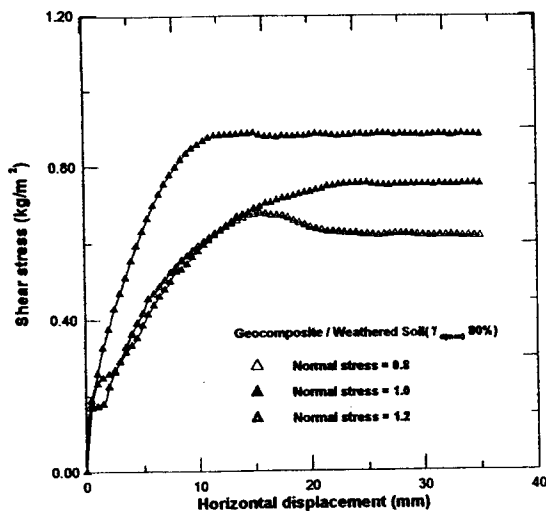


(a)

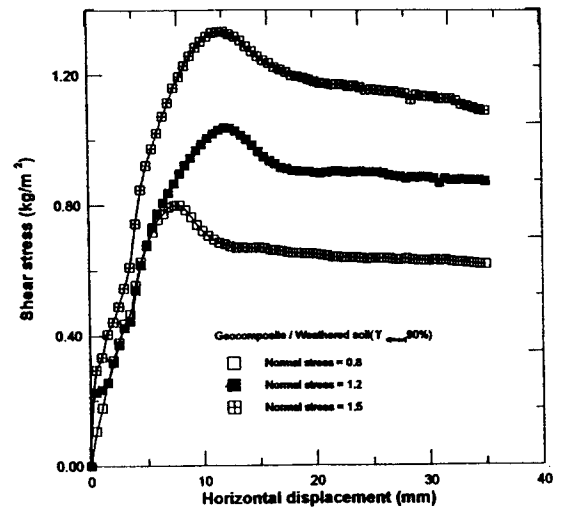


(b)

Figure 6. Results of direct shear test of composite materials with sand soil  
(a)  $D_r=40\%$  (b)  $D_r=80\%$



(a)



(b)

Figure 8. Results of direct shear test of composite materials with granite weathered soil  
(a)  $\gamma_{d(max)}=80\%$  (b)  $\gamma_{d(max)}=90\%$

### 3.3 화학적 안정성

EPA 9090 Test Method를 적용하여 제조된 복합재료의 화학적 안정성을 측정하였으며 GT/GM, GT/GM/GT 모두 MD 및 CD 방향에서의 인장강도변화는 거의 비슷한 경향을 나타내었기 때문에 여기서는 MD방향에서의 하중-변위곡선을 각각 Figure 9, 10, 11에 나타내었다. 일반적으로 매립되는 폐기물 중 음식쓰레기의 경우에는 매립과정에서 분해되어 강산성의 침출수를 발생하며 기타 고형폐기물등이 산화, 분해되면 침출수는 강알칼리성이 되는 경우도 고려하면 침출수의 pH범위는 산성에서 알칼리성까지 매우 광범위하다고 볼 수 있다. 이러한 점을 감안해 볼 때 폐기물 매립장에 사용되는 지오멤브레인의 물성저하에 따른 성능변화는 내구성에 중요한 영향을 미치게 되며 선진국의 경우 지오멤브레인이 화학적 환경에 노출될 경우 인장강도의 변화범위를  $\pm \sim 25\%$ 로 적용하는 예를 찾아볼 수 있다. 본 연구에서는 처리온도 25°C와 50°C에서 pH 3과 12의 완충용액에 GM 및 제조된 복합재료를 침지시킨 후 우선 30일 동안 처리한 시료를 취하여 인장강신도의 변화를 측정하였다. 세 가지 시료 모두 pH 3과 12에서 인장성질의 변화가 나타나지만 실험초기이므로 향후 120일까지의 실험결과를 분석해야만 되며 GT와 GM의 경우 인장성질이 GT보다는 GM에 의해 좌우되는 경향을 찾아볼 수 있고 인장강신도의 감소율은 초기단계인 30일의 경우  $\pm 5\%$  미만임을 확인할 수 있다.

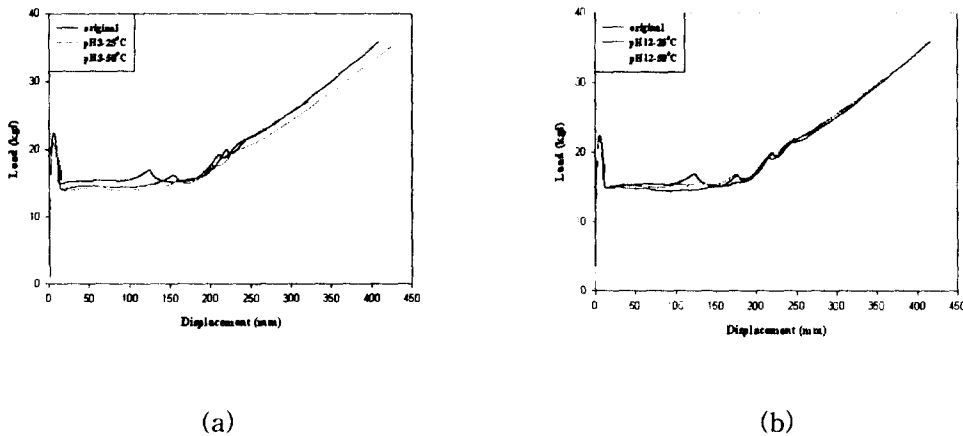


Figure 9. Load-displacement curves of GM by EPA 9090 test method : (a) pH 3 (b) pH 12

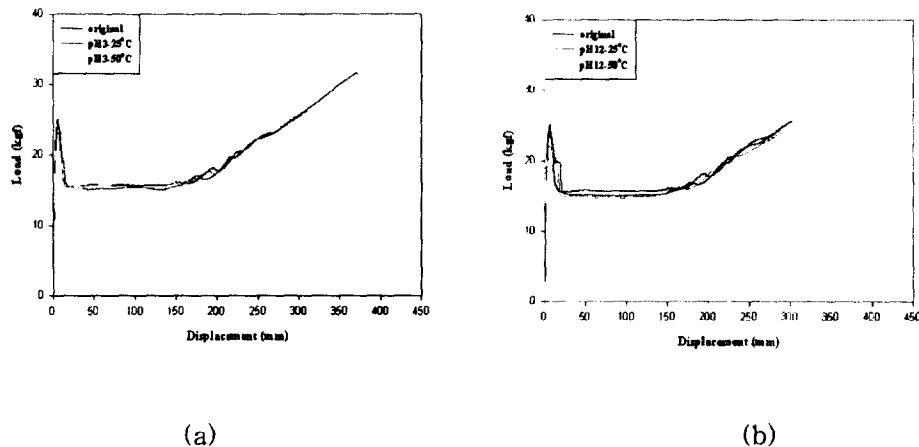


Figure 10. Load-displacement curves of GT/GM by EPA 9090 test method : (a) pH 3 (b) pH 12

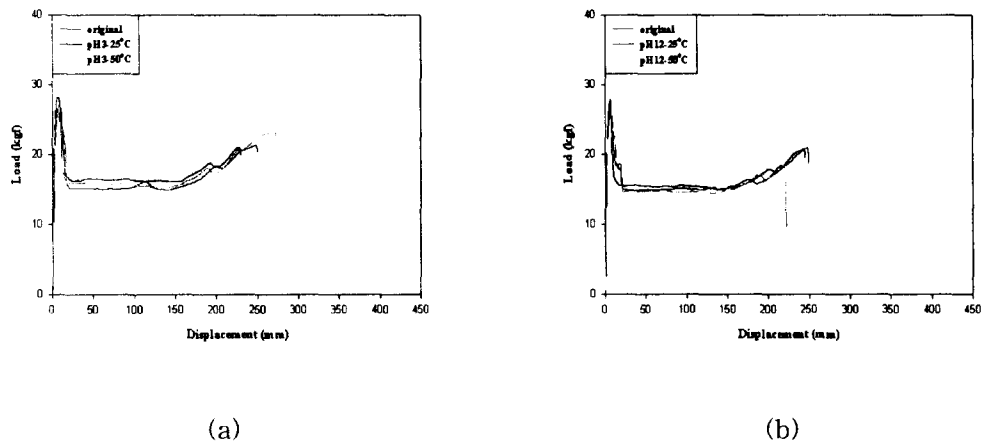


Figure 11. Load-displacement curves of GT/GM/GT by EPA 9090 test method : (a) pH 3 (b) pH 12

#### 4. 결론

보호기능을 향상시키기 위한 지오멤브레인과 지오텍스타일의 복합재료를 제조한 후 물성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 지오멤브레인의 복합화에 의해 인장 및 인열강도는 증가하였다.
- 2) 파열 및 찢김 강도를 측정된 결과 복합화에 따라 강도는 증가하였지만 파단변형율은 감소하였으며 특히, GT/GM보다는 GT/GM/GT의 경우 감소 폭이 큰 경향을 보이고 있다.
- 3) 복합재료의 접촉토사에 대한 내부마찰각은 증가하였으며, 상대밀도(;사질토의 경우)와 다짐도(;화강풍화토의 경우)가 증가할수록 접촉마찰각이 증가함을 보였다.
- 4) 화학저항성 평가 결과 복합재료의 인장성질은 지오텍스타일보다는 지오멤브레인에 의한 영향이 더 큼을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

지오멤브레인과 복합재료에 대한 직접전단시험을 도와주신 인천대학교 토목공학과 지반연구팀의 적극적인 협조에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Koerner, R. M.(1998), "Designing with Geosynthetics", 4th Ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp.415~612.
2. Takasumi, D. L., Green, K. R. and Holtz, R. D.(1991), "Soil-Geosynthetics Interface Strength Characteristics : A Review of State-of-the-Art Testing Procedures", Proc. of Geosynthetics '91 Conference, Atlanta, USA, Vo. 1, pp.87~100.
3. ASTM Committee D-35(1995), "ASTM Standard on Geosynthetics", Philadelphia, PA.
4. EPA Test Method 9090(1986), "Compatibility Test For Waste and Membrane Liners", Technical Resource Document SW-846, Test Methods for Evaluating Solid Wastes, U.S., Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 3rd Edition.
5. GRI(1995), "GRI Standard Test Methods on Geosynthetics", Drexel University, Philadelphia, PA.