

Geocomposite의 수평투수성에 관한 연구

장경호, 전한용, 김홍관*, 국윤환

전남대학교 섬유공학과, *한국원사지물시험연구원 토목재료분석센터

1. 서언

입자 필터 대신에 이용되는 지오텍스타일은 수직으로 물이 투과하는 성질과 수평으로 이동하는 성질이 있으며 이 때 수평으로 물이 흐르게 하는 성질을 수평투수도라하고 단위시간 동안 단위면적을 통과하는 물의 양으로 나타내며 이러한 수평투수도를 두께로 나눈 값을 수평투수계수라 한다[1-3].

지오텍스타일의 배수 특성중 수평투수도를 크게 감소시키는 요인으로 여러 인자들이 존재하지만 가장 크게 영향을 미치는 요인은 압축 응력에 의한 감소와 기공막힘(Clogging)에 의한 감소이다[4-6]. 본 연구에서는 기공막힘에 의한 수평투수도 감소를 최소화하기 위해 상층부와 하층부의 부직포 종류를 다르게 하여 열융착 방법으로 복합화한 6종의 Geocomposite를 제조하였으며 압축 응력에 의한 두께, 수평투수계수, 수평투수도의 변화를 고찰하였다.

2. 실험

2.1 부직포 복합재료 제작

Geocomposite를 제조하기 위해 사용된 부직포중 SB와 NP는 상층에 존재하는 부직포로써 SB는 스펀본딩 폴리프로필렌 부직포로써 투수계수가 매우 낮으며 NP는 니들펀칭 폴리프로필렌 부직포로서 투수계수는 SB보다는 크고 지오텍스타일용 부직포(GT)보다는 낮다.

지오텍스타일이 토목 구조물에 이용될 때 시간이 지남에 따라 재료의 기공보다 작은 토양 입자들이 물과 함께 내부로 침투하여 투수도를 감소시키므로 이를 보완하기 위해 기공크기가 다른 2종의 부직포를 복합화 하였다. 제조 조건은 결합온도, 결합시간, 압력이 최적으로 생각되는 조건에서 제조하였으며, Table 1은 이러한 조건으로 제조된 Geocomposite의 특성을 나타낸 것이다.

2.2 실험 방법

2.2.1 실험장치

응력 작용시 Geocomposite의 수평투수계수 및 수평투수도를 고찰하기 위해 Figure 1과 같은 수평투수장치를 만들었다. 투수장치는 지름 113mm인 시료(단면적 100cm^2)를 사용할 수 있도록 고안되었고, 압축 응력은 압축 실린더에 의해 시료에 $0\text{-}2.4\text{kgf/cm}^2$ 까지 부가할 수 있도록 되어있다. 수조의 높이는 일정하게 유지되도록 장치되어있으며 물은 투수셀 중심에 있는 지름 30mm의 원형 배출구로부터 유입된다.

Table 1. Physical properties of geocomposite samples

Group	Sample name	Layered nonwoven	Weight (g/m ²)	Thickness (mm)	Tension stress (kgf/cm)	Strain (%)
GC I	GC1	NP + GT	525	3.63	14.1	84
	GC2	NP + NP1	583	4.27	12.9	42
	GC3	NP + NP2	330	2.52	6.2	38
GC II	GC4	SB + GT	349	3.28	17.9	72
	GC5	SB + NP1	405	3.73	11.3	101
	GC6	SB + NP2	201	2.10	15.4	163

2.2.2 수평투수도 측정

수평투수도 측정시 Geocomposite 내부에 존재하는 공기의 영향을 제거하기 위해 증류수에 각각의 시료를 1시간 이상 침지시킨 후 수평투수도를 측정하였다. 응력에 따른 수평투수도의 변화를 평가하기 위해 압축 실린더를 이용하여 압축응력을 부가하였으며 그 때의 단위 시간당 투수량을 측정하였다. 측정된 투수량으로부터 다음 식을 이용하여 수평투수도, θ 를 구하였다.

$$k_p t = \theta = \frac{q \ln(r_2/r_1)}{2\pi \Delta h} \cdot \left(\frac{\eta_t}{\eta_{15}} \right) \quad (1)$$

여기서, r_2 : 지오텍스타일의 지름

r_1 : 투수셀의 배출구 지름

η_t : 실험 온도에서의 물의 점성계수(g·sec/cm²)

η_{15} : 15°C에서의 물의 점성계수(g·sec/cm²)

q : 단위 시간당 투수량(cc/sec)

Δh : 수두차(cm)

2.2.3 두께 측정

두께는 수평투수도 시험장치에 부착된 다이얼 게이지를 이용하여 압축 응력에 따라 두께를 측정하였다. 측정된 두께는 시간의 함수이므로 수평투수도 측정을 시작할 때를 기준으로 두께를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 압축응력과 두께변화의 관계

Geocomposite가 토양 내부에 설치되면 수직방향으로 토양 및 기타 건설물의 하중에 의해 압축응력이 작용하게 되므로 두께는 감소하게 된다. 수평투수도는 수평투수계수에 두께를 곱하여 얻을 수 있으므로 압축응력에 따른 두께 변화를 평가하는 것은 중요하다.

Figure 2는 투수시험 장치를 이용하여 압축 응력이 부가될 때 두께 변화를 나타낸 것으로 대부분의 시료는 압축응력이 1kgf/cm²이하에서 두께 변화는 매우 크게 나타났으나 1kgf/cm²이상에서는 두께 변화가 완만하게 나타났다. 이는 압축응력이 증가할수록 Geocomposite 내부에 존재하는 공극이 감소하기 때문이며 이로부터 두께와 압축 응력의 관계를 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$T = T_0 - a \ln \frac{\sigma}{\sigma_0} \tag{2}$$

$$= T_0 (1 - b \ln \frac{\sigma}{\sigma_0}) \tag{3}$$

여기서 T₀, T : Geocomposite의 초기 두께 및 응력하의 두께
 a , b : 변화상수
 σ₀, σ : 압축응력 (σ₀ = 0.04kgf/cm²)

σ₀ 값은 압축력이 작용하지 않을 때 투수셀의 무게에 의해 부여되는 응력으로 이 때의 두께는 식 (2)와 가장 큰 두께 편차를 갖는다. Table 2에는 Geocomposite의 종류에 따른 a, b, T₀ 및 상관계수 R²를 나타내었다. 두께 감소가 작을수록 a의 값은 작게 나타나고 두께 감소비율이 작을수록 b의 값이 작게 나타났다.

Table 2. Parameters of Geocomposite related thickness, in-plane permeability, transmissivity

Group	Sample name	Thickness				In-plane permeability				Transmissivity		
		T ₀	a	b	R ²	K _p	a _k	b _k	R ²	θ ₀	b _θ	R ²
GC I	GC1	3.463	0.359	0.104	0.985	0.0227	0.0035	0.154	0.982	0.0741	0.194	0.998
	GC2	4.314	0.495	0.115	0.992	0.0174	0.0031	0.178	0.986	0.070	0.216	0.997
	GC3	2.745	0.357	0.130	0.996	0.0162	0.0034	0.210	0.997	0.0347	0.233	0.979
GC II	GC4	3.413	0.414	0.121	0.993	0.0239	0.0034	0.142	0.914	0.0732	0.193	0.975
	GC5	4.019	0.577	0.144	0.998	0.0188	0.0033	0.176	0.953	0.0676	0.225	0.992
	GC6	2.409	0.420	0.174	0.982	0.0173	0.0039	0.225	0.981	0.0281	0.199	0.933

3.2 압축응력과 투수계수의 관계

Figure 3은 각각의 종류에서 압축 응력에 대한 수평투수계수의 변화를 나타낸 것으로 압축응력에 대한 투수계수 변화는 두께 변화와 비슷하여 1kgf/cm²이하에서는 큰 감소를 보이지만 그 이상에서는 큰 감소를 보이지 않는다. 이는 압축 응력이 증가함에 따라 공극 감소율이 낮아지기 때문이며 수평투수계수는 두께 변화와 비슷한 경향을 보인다.

Figure 4는 두께와 수평투수계수의 관계를 알아보기 위해 도시한 것으로 모든 종류의 시

료에 대해 두께와 수평투수계수의 관계는 선형적으로 나타났다. 따라서 압축응력과 수평투수계수의 관계는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$K_p = K_0 - a_K \ln \frac{\sigma}{\sigma_0} \quad (4)$$

$$= K_0 \left(1 - b_K \ln \frac{\sigma}{\sigma_0}\right) \quad (5)$$

각각의 시료에 대한 상수 a_K , b_K , K_0 및 R^2 를 Table 2에 나타내었다. 각각의 응력에 대한 수평투수계수를 고찰하면 GC I와 GC II 그룹 모두 하층 부직포가 GT일 때 가장 컸고 NP2일 때 가장 낮은 투수계수를 보였는데 이는 GT의 경우 다른 2종의 부직포에 비해 부직포를 구성하는 섬유 두께가 더 크고 응력에 대한 두께 감소율은 보다 적기 때문이다.

3.3 압축응력과 수평투수도의 관계

Figure 5는 압축응력에 대한 수평투수도의 변화를 나타낸 것으로 1kgf/cm^2 이하에서는 큰 감소를 보이지만 그 이상에서는 큰 감소를 보이지 않는다. 이러한 현상은 두께 및 수평투수계수에서와 같은 경향이지만 수평투수도의 경우 두께나 수평투수계수보다 큰 감소를 보이고 있는데, 이는 수평투수도는 수평투수계수와 두께의 곱으로 얻을 수 있기 때문이다. 수평투수도는 수평투수계수와 두께의 곱이므로 아래와 같이 유도할 수 있다.

$$\theta = T \times K_p \quad (6)$$

$$= T_0 \left(1 - b \ln \frac{\sigma}{\sigma_0}\right) \times K_0 \left(1 - b_K \ln \frac{\sigma}{\sigma_0}\right) \quad (7)$$

$$= (T_0 \times K_0) \cdot \left(1 - (b + b_K) \ln \frac{\sigma}{\sigma_0} + b \cdot b_K \ln^2 \frac{\sigma}{\sigma_0}\right) \quad (8)$$

$$= \theta_0 \left(1 - (b + b_K) \ln \frac{\sigma}{\sigma_0} + b \cdot b_K \ln^2 \frac{\sigma}{\sigma_0}\right) \quad (9)$$

식 (9)에서 σ/σ_0 이 충분히 크지 않다면 수평투수도 감소는 b_θ 의 영향을 받으므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta = \theta_0 \left(1 - b_\theta \ln \frac{\sigma}{\sigma_0}\right) \quad (10)$$

4. 결론

부직포를 복합화한 Geocomposite의 두께 변화, 투수계수 및 수평투수성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 연구에 이용된 Geocomposite의 경우, 압축응력이 1kgf/cm^2 이하일 때 응력 증가함에 따라 물성이 크게 변화하였지만 1kgf/cm^2 이상일 때 응력이 증가하여도 물성 변화는 크지 않았다.

2) 압축응력하에 두께변화, 수평투수계수 및 수평투수도 변화는 아래와 같은 식에 의해 표현할 수 있었다.

$$K_p = K_0 - a_K \ln \frac{\sigma}{\sigma_0}$$

$$= K_0 (1 - b_K \ln \frac{\sigma}{\sigma_0})$$

3) 두께 변화, 투수계수 및 투수도 감소율은 변화 계수, b에 의해 계산될 수 있으며, b의 값이 작을수록 감소율은 작았다.

참고문헌

- [1] N. W. M. John, "Geotextiles", pp.1-19, N.Y., 1987.
- [2] T. S. Ingold, "The Geotextiles and geomembranes manual", pp.193-203, E.A.T., 1994.
- [3] R. M. Koerner, "Designing with geosynthetics", 2nd, pp.84-96, Prentice Hall, 1990.
- [4] R. M. Koerner, "Designing with Geosynthetics", 3rd, pp.128-138, Prentice Hall, 1992.
- [5] V. K. Kothari and A. Das, *Geotextiles and Geomembranes*, 11, 235(1992).
- [6] Hoe I. Ling and Fumio Tatsuoka, *Geotextiles and Geomembranes*, 12, 509(1993).
- [7] O. G. Vermeersch, J. Mlynarek and J. F. Desrochers, "Geosynthetics '97 conference Proceedings", pp.1109-1122, IFAI, California, 1997.

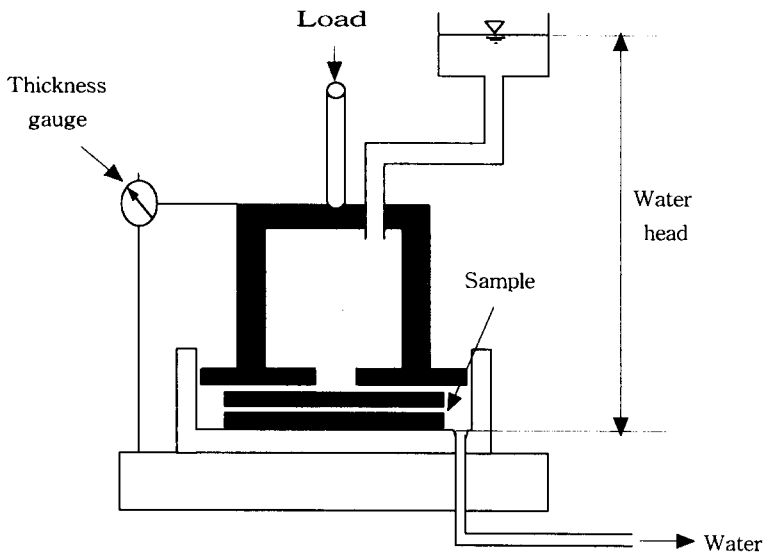


Figure 1. Radial flow transmissivity device for measuring in-plane hydraulic properties of the geocomposites.

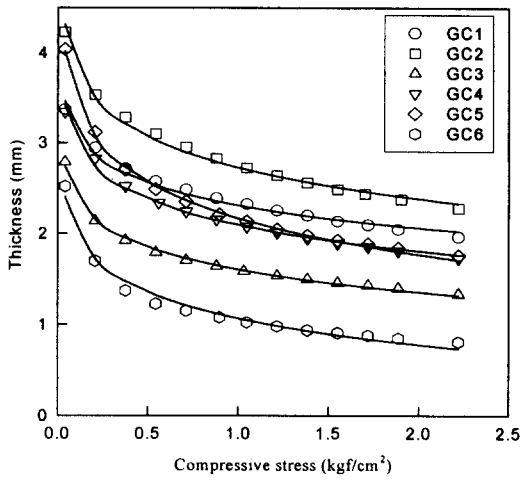


Figure 2. Relationship between compressive stress and thickness of the geocomposites

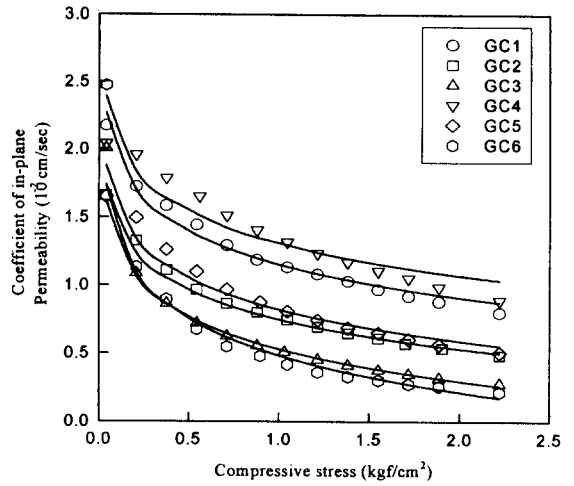


Figure 3. Relationship between compressive stress and in-plane permeability coefficient of the geocomposites

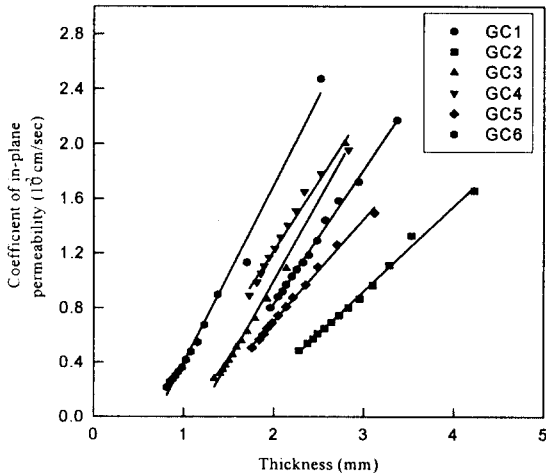


Figure 4. Relationship between thickness and in-plane permeability coefficient of the geocomposites.

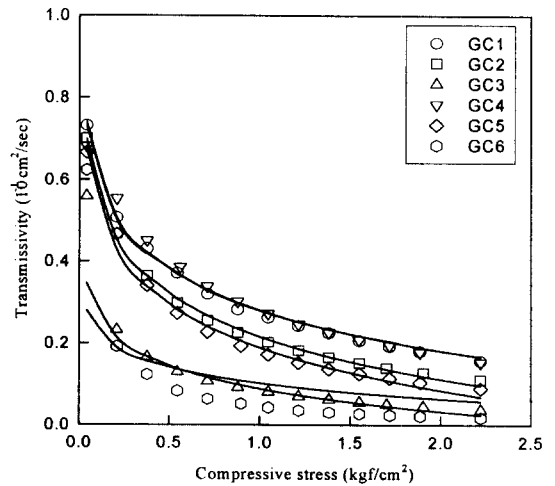


Figure 5. Relationship between compressive stress and transmissivity of the geocomposites.