

점탄성 모형에 의한 지오그리드의 장기 거동 평가

전한용, 김정효
전남대학교 섬유공학과

1. 서론

지오그리드는 토목, 건설용으로 사용되는 토목섬유로써 경, 위사 방향으로 일정 크기의 aperture가 형성된 격자 구조를 갖는 것을 지칭하며 강도가 요구되는 방향으로 높은 인장강도를 지니므로써 도로의 기초 지반과 도로포장 층의 보강, 제방과 사면의 보강 및 보강토 옹벽공사 등에 사용되고 있다. 지오그리드를 이용한 구조물이 대부분 영구구조물임에 따라 구조물의 내구성과 관련된 장기간의 하중에 대한 안정성을 평가할 수 있는 크리프특성이 매우 중요시 취급된다. 지오그리드 제품중 고밀도 폴리에틸렌으로 이루어진 시트형 지오그리드의 장기거동은 일반적으로 3성분으로 구성된 표준 점탄성 모형을 이용하여 해석, 가능하지만 직포형 지오그리드의 경우 고강력 폴리에스테르사를 사용하기 때문에 이러한 표준 점탄성 모형을 개선하여 적용해야만 해석, 가능하다. 본 연구에서는 직포형 폴리에스테르 지오그리드의 크리이프 및 응력완화 실험값에 개선된 점탄성 모형을 적용한 다음, 설계하중과 관련된 성분값들을 구한 후 이를 통하여 장기간 거동을 평가하였다.

2. 이론적 배경

일반적인 섬유고분자 재료의 점탄성 거동 해석에 이용되는 표준 점탄성 모형은 Figure 1과 같으며 stiffness, E_1 과 siffness, E_2 와 viscosity, η 로 표현되는 Kelvin 요소가 직렬 연결된 형태로 구성된다. 이 모형의 응력-변형률 거동을 나타내는 구성방정식은 아래와 같이 표현된다.

$$\frac{1}{E_1} \left(\frac{d}{dt} + \frac{E_1 + E_2}{\eta} \right) T = \left(\frac{d}{dt} + \frac{E_2}{\eta} \right) \epsilon \quad (1)$$

(여기서, T 는 단위 폭당 하중, ϵ 은 변형률, t 는 시간임.)

한편, 일정하중이 부가되는 크리이프 실험의 경우 식 (1)의 해는 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\epsilon}{T} = \frac{1}{E^*} - \frac{1}{E_2} \exp \left(-\frac{E_2}{\eta} t \right) = \phi(t) \quad (2)$$

(여기서 $\phi(t)$ 는 크리프 함수, E^* 는 $(E_1E_2)/(E_1+E_2)$ 를 나타내며 표준 점탄성 모형의 delayed elastic modulus를 의미함.)

그리고 일정변형률이 부가되는 응력완화 실험의 경우 식 (1)의 해는 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{T}{\varepsilon} = (E_1 - E^*) \exp\left(-\frac{E_1 + E_2}{\eta} t\right) + E^* = \Psi(t) \quad (3)$$

(여기서 $\Psi(t)$ 는 완화 함수임.)

식 (2)와 (3)은 $t = 0$ 에서 instantaneous response에 대해 $T/\varepsilon = E_1$ 의 동일한 관계를 나타내고 지오그리드의 직선적인 asymptotic 거동이 나타나는 $t \rightarrow \infty$ 에서 $T/\varepsilon \rightarrow E^*$ 의 관계를 갖는다. 따라서 이러한 결과는 크리이프와 응력완화에 의한 asymptotic modulus의 값이 거의 유사한 시트형 고밀도 폴리에틸렌 지오그리드의 경우 크리이프나 응력완화거동을 설명하는데는 적합하다. 그러나 실험적으로 크리이프와 응력완화에 의한 asymptotic modulus의 값이 서로 다른 직포형 폴리에스테르 지오그리드의 점탄성 거동해석의 경우에는 부적합하여 새로운 역학적 모형 설정을 필요로 한다.

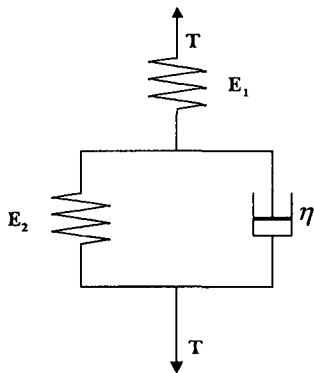


Figure 1. Standard rheological model

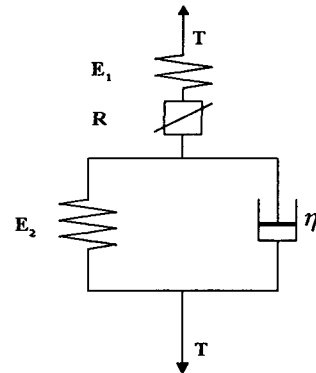


Figure 2. Modified viscoelastic model

3. 실험

크리이프 실험은 ASTM D 5262와 GRI Standard GG4(a) 시험법을 참고로 실시하였으며 크리이프에 의한 재료의 파괴가 진행되는 tertiary 크리이프 구간이 나타나지 않는 낮은 하중단계에서의 하중을 적용하였다. 응력완화 실험은 탄성한계내의 변형율을 부가하여 실온에서 실시하였다.

4. 결과 및 고찰

직포형 폴리에스테르 지오그리드의 장기거동을 평가할 수 있는 개선된 점탄성 모형을 Figure 2에 나타내었다. 이 모형은 세 가지 성분이 직렬로 연결되어 있으며 stiffness, E_1 과 소성변형에 관계되는 stiffness, R 과 stiffness, E_2 와 viscosity, η 로 표현되는 Kelvin 요소가 직렬 연결된 형태로 구성된다. 소성 요소, R 은 가해진 하중에 비례하여 순수한 소성 변형을 나타내며 하중이 제거되면 강직한 형태로 바뀌게 된다. 하중이 가해지는 동안 이 모형의 응력-변형률 거동에 관한 구성방정식은 아래와 같이 표현된다.

$$\left(1 + \frac{E_3}{\xi}\right)T + \frac{\eta}{\xi} \frac{dT}{dt} = E_3\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (4)$$

표준 점탄성 모형에서와 마찬가지로 크리이프의 경우에는

$$\frac{\varepsilon}{T} = \left(\frac{1}{E_3} + \frac{1}{\xi}\right) - \frac{1}{E_3} \exp\left(-\frac{E_3}{\eta} t\right) \quad (5)$$

(여기서 ξ 는 $(E_1R)/(E_1+R)$ 임.)

이 되고 응력완화의 경우에는

$$\frac{T}{\varepsilon} = \left(\xi - E^{**} \left[1 - \frac{\xi}{R}\right]\right) \exp\left(-\frac{E_1 + E_3}{\eta} t\right) = E^{**} \left(1 - \frac{\xi}{R}\right) \quad (6)$$

(여기서 E^{**} 은 $E_1E_3/(E_1+E_3)$ 를 나타내며 개선된 모형의 delayed elastic modulus임.)

한편, $t=0$ 에서의 크리이프와 응력완화의 instantaneous response는 식 (5)와 (6)에 의해 계산되어지고 $T/\varepsilon = \xi$ 의 관계를 갖는다. 크리이프의 경우 식 (5)의 asymptotic 거동은 $t \rightarrow \infty$ 일 때 $\varepsilon/T \rightarrow 1/E_3 + 1/\xi$ 이며 응력완화의 경우 식 (6)의 asymptotic 거동은 $t \rightarrow \infty$ 일 때 $T/\varepsilon \rightarrow E^{**}(1 - \xi/R)$ 의 관계를 갖는다. 여기서 표준 점탄성 모형을 적용하여 크리이프와 응력완화의 경우 instantaneous 값을 구해보면 $E_0 = 490\text{kN/m}$, asymptotic 값은 크리이프의 경우 $E_\infty = 460\text{kN/m}$, 응력완화의 경우 $E_\infty = 282\text{kN/m}$ 이다. 이러한 asymptotic값의 차이에 의해 직포형 폴리에스테르 지오그리드의 점탄성 모형을 설정하는데 소성변형을 지배하는 성분을 고려해야만 한다. Figure 3에 각각의 instantaneous와 asymptotic response에 대한 경향을 나타내었다. 식 (5)와 (6)에서 instantaneous와 asymptotic response의 관계에 의해 나타나는 각각의 변수들은 Figure 3의 (a), (b)에서 보여지는 실험적 데이터를 plot한 개개의 직선 기울기에 의해 구해진다. 따라서, 제시된 모형의 성분 값 E_1 , E_3 , R , η 를 결정할 수 있으며, 각각의 값은 지오그리드의 설계하중(8T~15T)에 따라 $E_1 = 800 \sim 1,000\text{kN/m}$, $E_3 =$

2,000~7,500kN/m, $R = 300\sim 500\text{kN/m}$, $\eta = 1,000\sim 1,200\text{kN/m/h}$ 범위의 값을 가진다. 이 값들은 개선된 점탄성 모형에 의한 직포형 폴리에스테르 지오그리드의 instantaneous와 asymptotic responses 두 가지 경우를 적절히 설명할 수 있으며 장기간 성능을 예측할 수 있는 적합한 모형이라고 생각된다.

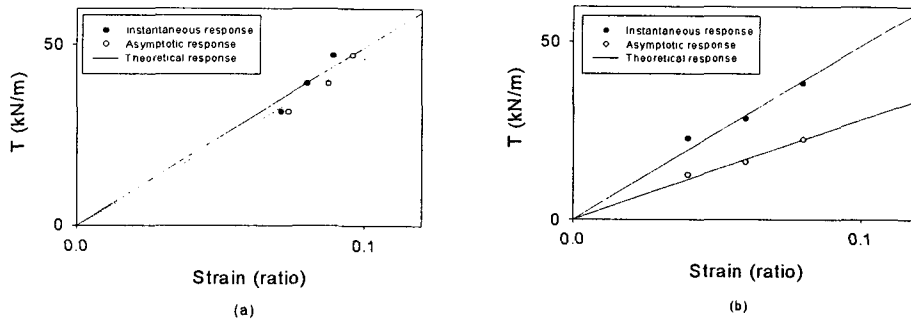


Figure 3. Instantaneous and asymptotic response of fabric type 8T polyester geogrid : (a) creep, (b) stress relaxation.

5. 결론

직포형 폴리에스테르 지오그리드의 장기간 거동을 평가하기 위하여 소성변형거도를 고려한 개선된 점탄성 모형을 사용하였으며 구성방정식과 크리이프 및 응력완화 실험결과를 해석하였다. 그 리고 제시된 점탄성 모형에서 지오그리드를 장기간 사용 시 설계하중(8T~15T)에 따라 안정성을 부여할 수 있는 각각의 성분 값들은 $E_1 = 800\sim 1,000\text{kN/m}$, $E_3 = 2,000\sim 7,500\text{kN/m}$, $R = 300\sim 500\text{kN/m}$, $\eta = 1,000\sim 1,200\text{kN/m/h}$ 범위임을 알 수 있었다.

참고문헌

1. H. Y. Jeon, J. H. Kim, S. H. Cho and D. H. Cha, "Proceeding of 1998 Fall Conference of Korea Fiber Society", pp348~351, Pusan Univ, October 30, 1998.
2. D. Leschinsky, M. Dechasakulsom, V. N. Kaliakin and H. I. Ling, "Creep and Stress Relaxation of Geogrids", *Geosynthetics International*, 4(5), 463(1997).
3. A. Sawicki, "A Basis for Modelling Creep and Stress Relaxation Behaviour of Geogrids", *Geosynthetics International*, 5(6), 637(1998).
4. J. T. H. Wu and S. M. B. Helwany, "Discussion on Long-Term Creep Behaviour", Proceedings of Seiken Symposium, pp343~344, Tokyo, Japan, 11, 1992.