

변형을 적합성을 고려한 토목섬유 보강재의 장기허용강도 결정 모델 Model to Determine Long-term Allowable Strength of Geosynthetic Reinforcements Considering Strain Compatibility

전한용¹⁾, Han-Yong Jeon, 유중조²⁾, Jung-Jo Yuu, 목문성³⁾, Mun-Sung Mok

¹⁾ 인하대학교 나노시스템공학부 교수, Professor, Division of Nano Systems Eng., Inha University

²⁾ 보강기술(주) 선임연구원, Senior Researcher, E&S Eng. Co. Ltd.

³⁾ 전남대학교 대학원 섬유공학과 공학박사, Ph.D., Dept. of Textile Eng., Chonnam National University Graduate School

SYNOPSIS : To calculate the long-term allowable strength of geosynthetic reinforcement, replacement method was recommended. The isochronous creep curve by S. Turner was used to define the relation between creep strain and allowable strength. In isochronous curve at given time, one can read the allowable strength at allowable creep strain. The allowable strain gets from specification by directors or manufacturers according to the allowable displacement of reinforced structures. The allowable strength can be determined in relation to the allowable horizontal displacement each structures case by case. The effect of install damage on isochronous behaviors of geosynthetic reinforcement was little. In previous study, install damage increase the creep strain slightly. And the degradation was not identified. But it is supposed that degradation increase the creep strain. In conclusion, The recommended model to determine long-term allowable strength of geosynthetic reinforcements considering tensile deformation of reinforcement and soil is fit for proper, correct and economic design for reinforced earth walls.

Key words : Geosynthetic reinforcement, reinforced wall, allowable strength, compatibility

1. 서 론

토목섬유 보강재와 이를 이용한 보강토 공법은 보편화된 공법으로 자리 매김하고 있으며, 새로운 형태의 토목섬유 보강재와 보강토공법이 소개되고 있다. 많은 연구들이 토목섬유 보강재와 보강토 공법에 대해 이루어지고 있으며 그 결과 보다 안정적인 구조물을 얻을 수 있게 되었다. 이러한 기본 이론을 바탕으로 이제는 보다 합리적이고 경제적인 설계를 통해 경쟁력을 확보하는 노력이 필요한 시기이다. 이러한 관점에서 기존에 토목섬유 보강재의 장기허용강도를 결정하는 방법에 대해 보다 합리적이고 유용한 방법을 제안하고자 한다. 토목섬유 보강재의 장기허용강도를 결정하는 기존의 방법은 인장시험을 통해 얻어진 최대인장강도에 대해 다양한 감소요인을 고려하여 설계연한 동안에 토목섬유 보강재에 잔류되는 인장강도를 허용강도로 결정하여 보강토구조물의 설계에 적용하였다. 따라서 제조회사나 공법의 종류에 의해 그 설계값은 고정된 값으로 적용되고 있다. 이러한 경우 보강토 구조물의 설계연한이나 중요도, 허용변형 등을 고려하지는 못한다. 구조물의 적용분야에 따라 허용되는 수평변형 등이 다르고 파괴의 기준도 과도한 변형이 허용되는 경우와 그렇지 않은 경우 등으로 세분화되어 각각의 경우에 따라 동일한 토목섬유 보강재와 보강토 공법이 적용되더라도 설계에 적용되는 장기허용강도는 차등적으로 적

용되면 매우 경제적이고 합리적인 결과를 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 보강토 구조물의 적용분야와 설계연한, 허용변위 등을 고려하여 토목섬유 보강재의 장기허용강도를 결정할 수 있는 모델을 제시하였다. 또한 선행연구의 재해석을 통해 제안 모델의 타당성과 적용성을 평가, 고찰하였다.

2. 이론적 배경

2.1 토목섬유 보강재의 장기 허용강도

토목섬유 보강재 장기허용강도는 감소계수를 적용하는 방법(Koerner, 1994)과 물질계수를 이용한 방법(Collin, 1997 and BS 8006, 1995)으로 대별되어 적용되고 있다. 전자의 경우, 미국의 토목합성재료 연구소인 GSI(Geosynthetic Institute)의 부속기관인 GRI(Geosynthetic Research Institute, Drexel University)시험법 GRI GG-4에 제안된 방법으로 토목섬유 보강재의 강도감소를 유발할 수 있는 모든 인자의 영향을 고려하여 설계 허용강도를 산출하는 방법이다. 이때 보정계수를 감소계수(reduction factor)라 하며, 고려되는 감소계수의 종류는 적용분야에 의해 좌우된다. 후자의 경우는, 영국의 BRITISH STANDARD BS 8006 "Code of practice for Strength/reinforced soils and other fills"에 기초한 방법으로 토목섬유 보강재의 강도감소에 기여하는 인자로 감소계수대신에 물질계수(materials factor)를 적용하여 장기허용강도를 산출하는 방법이다.

2.2 감소인자

토목섬유 보강재의 크리프 거동에 대한 감소인자는 크리프 시험을 통해 얻어진 데이터의 해석에 있어 한계 크리프 변형률(일반적으로 10%)를 기준으로 구하는 방법과 크리프 과단 강도를 정하여 구하는 방법이 있다. 이들 방법의 차이는 결정된 크리프 강도의 값이 다르며, 동일한 제품에 대해 2가지 방법에 의해 결정된 감소계수가 다르게 나타나는 문제점이 있다. 대부분 시공 시에 발생하는 토목섬유 보강재의 손상은 설계 시 고려한 하중조건보다 실제 응력이 큰 경우에 발생하며, 부주의한 시공과 취급에 의해서 유발된다. 시공 시 손상의 발생에 영향을 미치는 인자는 흙 입자의 모난 정도, 최대 입경, 다짐장비의 무게와 형태 그리고 다짐두께 등이다. 토목섬유 보강재의 시공 시 손상에 대한 평가는 토목섬유 보강재가 적용되는 분야가 다르고 시공과정에서 토목섬유 보강재에 추가되는 하중의 과정이 다르기 때문에 통일된 실내 시험을 통해 그 특성을 평가하는 것은 타당하지 않다. 다만 해당 토목섬유 보강재들의 상호비교를 위해서라면 적용이 가능하다 하겠다. 그 결정법은 손상 전 최대 인장강도에 대해 시공 시 손상이 유발된 시료에 대해 얻어진 최대인장강도 사이의 비를 통해 얻어진다. 전술한 2가지의 주요 인자 이외에 여러 가지 화학적 환경에 의해 토목섬유 보강재의 강도감소가 유발될 수 있다. 이러한 화학적 분해 거동을 고려해야 할 필요가 있는 적용분야의 경우 각각의 화학적 환경에 대한 인자를 도입하여 장기허용강도를 결정한다. 이러한 화학적 환경에는 가수분해, 자외선 분해, 열분해 등이 있으며 각기 제안된 표준 시험법이나 공법에서 지정한 방법에 의해 강도감소를 평가하여 적용한다.

3. 변형률 적합성(Strain Compatibility)

보강토 옹벽에서 토목섬유 보강재는 보강력을 발휘하기 위해서 일정량의 인장변형을 수반한다. 이렇게 변형이 발생함으로써 요구되는 인장 보강력을 발현하고 토체는 하중관계의 평형에 도달하게 된다. 이때 토목섬유 보강재에서 충분한 인장 보강력의 발현을 위해 나타나는 변형의 크기가 어느 정도가 허용가능한가는 많은 관심이 되어왔지만, 그 크기에 대해서는 구체적인 연구와 규정된 기준이 제시되지 않고 있다. 다만 기본적인 개념에서 이해되는 보강토체와 토목섬유 보강재의 사이의 거동에 대한 이론이 제안되어 있을 뿐이다. R. A. Jewell(1996)에 의해 제안된 토체와 보강재 사이의 변형률 적합성에

대한 기본개념은 다음과 같다. 흙의 거동은 전단시험을 통하여 평가한다. 전단시험에도 여러 종류의 장비가 이용되는데 복잡한 흙의 거동을 정확히 묘사하기는 불가능하므로 단순화된 시험법에 의한 값을 기준으로 특성을 평가하는 것이다. 이 시험을 통해 전단강도와 변형률 관계 곡선을 얻게 된다(Figure 1(a)). 이 곡선을 기준으로 토체가 안정한 상태에 도달하기 위해 필요한 요구인장강도는 Figure (a)의 곡선 (A)와 전단강도 곡선 사이의 차를 나타내는 Figure 1(c)과 같게 된다.

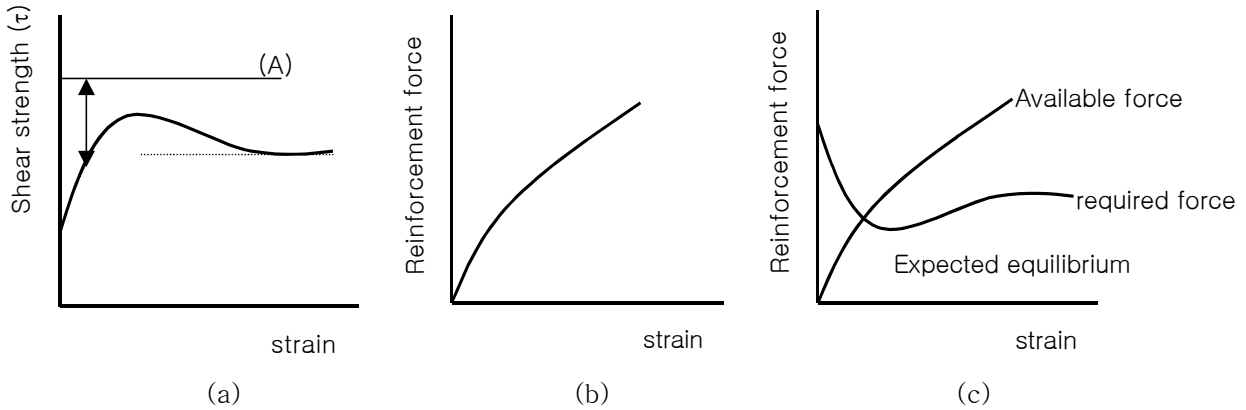


Figure 1. Relation for strain compatibility: (a) Mobilized soil shearing resistance, (b) Mobilized reinforcement force, (c) Compatibility curve for determining the equilibrium in reinforced soil

토목섬유 보강재는 토체속에서 인장변형을 일으키고 이에 따라 저항력을 발휘하게 된다. 저항력은 토체 내 가상파괴 면에서 가장 큰 값을 나타내게 되며, 곧 이 부분에서 가장 큰 변형을 보이게 된다. 전술한 요구강도와 허용강도 곡선을 동일 인장 변형률의 값으로 놓고 도시하였을 때 교차점이 존재하는데 이 상태가 한계평형상태가 되며 토체는 안정상태에 있게 된다. 이때 토목섬유 보강재의 허용강도는 이 값보다 큰 상태를 갖도록 하여야하며, 필연적으로 허용강도 발현을 위해 변형률만큼 인장변형을 나타내게 된다. 이 교차점(평형상태를 나타내는 교점)이 과대한 변형률을 보이는 부분에서 나타난다면 토체에는 과대한 변위가 유발된 이후에 인장보강력이 발현된다는 의미이며, 다른 종류의 토목섬유 보강재를 선택하여야 한다.

4. 변형률 적합성을 고려한 토목섬유 보강재의 장기허용강도 결정

4.1 등시(isochronous) 크리프 거동에 의한 장기허용강도의 결정

크리프 데이터를 기준으로 하여 보강토 옹벽의 장기변형거동을 평가하고 설계인자로 적용하기 위해서는 하나의 전제조건이 붙는다. 토목섬유 보강재가 보강토체에서 나타나는 모든 인장력을 수용하고 유발 수평변형을 보인다는 것이다. 다소 보수적인 전제이나 토체속에서 토립자의 기여와 토목섬유 보강재의 기능적 분담이 명확하지 않은 현 시점에서는 이와 같은 전제하에 논리를 전개하는 것이 합리적이다. 그러므로 크리프 시험을 통하여 평가된 토목섬유 보강재의 장기변형거동과 흙의 장기 인장변형을 함께 해석하면 보강토체의 변형을 고려한 허용강도를 얻을 수 있다. 그러면 토목섬유 보강재의 장기 크리프 거동에서 장기변형과 하중 관계를 얻을 수 있는 모델을 얻어야 하는데 이와 관련된 곡선이 등시(isochronous) 크리프 곡선이다. 등시(isochronous) 크리프 곡선은 Figure 2 (a)에 제시된 바와 같이 시간-응력-변형률의 3축 좌표에 얻어진 크리프 데이터를 도시하여 일정 시간(재료의 수명)을 기준으로 재료의 크리프 변형률 거동해석(등시(isochronous) 크리프 곡선)하는 방법이다. 구체적으로 등시(isochronous) 크리프 곡선은 Figure 2(b)의 크리프 시험 데이터에서 임의 설정된 일련의 크리프 시간

축과 각 부가하중에서의 크리프 변형률과 만나는 좌표는 Figure 2(c)에서와 같이 크리프 변형률과 장기 인장강도의 좌표로 전환, 도시하여 얻을 수 있다. 얻어진 등시(isochronous) 크리프 곡선은 설계연한을 일련의 크리프 시간 축에 제한하여 그 기간동안에 예측되는 토목섬유 보강재의 장기 크리프 변형과 이에 대응하는 허용강도(발현인장강도)를 의미한다. 즉, 시간 $t=10^4\text{hr}$ 의 등시(isochronous) 크리프 곡선은 설계연한이 10^4hr 인 경우 토목섬유 보강재의 크리프 변형률과 이에 따른 허용인장강도거동이다. 이때 대상 토목섬유 보강재가 구조물의 수평변형을 모두 담당한다고 한다면, 구조물의 허용수평변형은 토목섬유 보강재의 허용변형률(ϵ_1)이 되며, 이렇게 허용변형을 결정하면 적용 구조물에서 토목섬유 보강재가 설계연한에 나타내는 허용인장강도는 $T_{\text{allowable}}$ 가 되는 것이다. 결국, 대상 토목섬유 보강재의 허용인장강도는 장기인장변형의 함수로 표현가능하며, 보강토구조물의 허용변위를 고려하여 결정하게 되는 것이다. 등시(isochronous) 크리프 곡선을 보면 설계연한이 감소하면 동일한 허용 변형률에서 허용인장강도는 증가하게 된다. 또한 동일한 설계연한에서도 허용변형률(보강토구조물의 허용변위)이 큰 경우일수록 장기허용인장강도는 증가함을 알 수 있다. 등시(isochronous) 크리프 곡선에 의한 장기허용강도는 구조물의 허용 변위와 관계된 값이 되며, 제품에 따라 확정된 단일 값이 아닌 적용시스템에 따라 결정해야 한다.

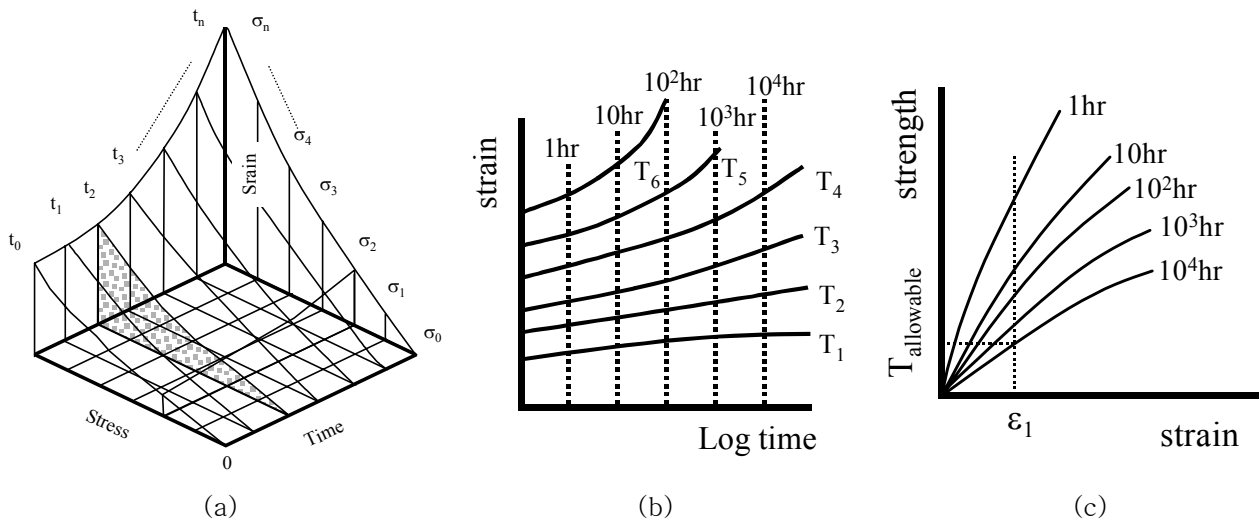


Figure 2. Stress-strain-time relationship obtained from creep test: (a) Traditional creep test results, (b) Isochronous creep curves, (c) Determination isochronous creep curves

4.2 보강토 옹벽의 허용 수평변위 및 토목섬유 보강재의 허용 변형률

4.2.1 보강토 옹벽의 허용 수평변위

보강토 옹벽의 허용수평변위는 설계단계에서 정수값으로 결정되는 값은 아니다. 보통 시공 후 얻어지는 보강토 옹벽의 수직도와 선형 등에 대한 시방기준으로 그 기준으로 정하고 있다. 토목섬유 보강재의 인장보강력은 보강재 자체의 인장변형이 발생함에 유발되는 것은 확실한 사실이다. 그러므로 보강토 옹벽의 허용수평변위의 크기는 각 보강재를 사용하는 공법마다 각 지역 및 국가마다 기준이 다르다. 보강토 옹벽에 대한 관련 시방기준이나 이론의 기준이 되는 관리시방서는 미국의 FHWA의 지침(2001), 영국의 BS 8006(1996), 일본의 토질기초공학 라이브러리 29, 보강토 공법(1986) 등이 있으며, 국내에는 도로교통설계편람과 토목섬유 설계 및 시공 요령 등이 있다. 전술한 관련 시방책자에 제시된 허용오차의 범위에서 수평변위 및 오차기준을 찾고 이 값을 허용수평변위의 값으로 설정한다. 실제 보강토 옹벽

의 시공에 있어 완벽한 상태로 시공은 되지 않지만 완벽한 시공을 가정한다면 장기동안 허용되는 변위의 기준은 시방기준에 정한 값이 되기 때문이다. 각 관련 시방기준의 값을 정리하면 Table 1에 제시된 바와 같다. 현재까지 보강토 옹벽의 허용변위에 대해서는 Table 1에 제시된 기준이 모든 관련 검토시 참고자료로 이용되고 있다. 따라서 설계단계에서 고려되는 보강토 옹벽의 허용변위를 관련 자료를 기준 하여도 무방하며 각 공법 및 토목섬유 보강재의 제품 시방에 명기된 경우에는 특별시방서의 값을 따라야 한다.

4.2.2 토목섬유 보강재의 허용 크리프 변형률

등시(isochronous) 크리프 곡선을 통해 설계수명동안 예상되는 변형률과 하중관계를 얻고, 보강토 옹벽의 허용수평변위 기준을 설정하였다면, 이 값을 기준으로 토목섬유 보강재의 장기허용강도를 결정하여야 한다. 위 Table 1을 통해 그리고 설계에 적용되는 토목섬유 보강재의 길이의 표현식에서의 공통항은 옹벽의 높이, H이다. 즉, 보강토 옹벽의 설계에서 토목섬유 보강재의 포설 뒷길이는 0.5H-1.0H의 값을 갖도록 설계에 적용되고 있다. 그리고 허용 수평변위 기준 또한 보강토 옹벽의 높이에 대한 일정 비율로 기준하고 있으며, 보강재의 전체 길이(포설길이, 뒷길이)도 보강토 옹벽의 높이의 함수관계로 표현되므로 이러한 관계에 따라 크리프 허용 변형률을 결정할 수 있다. 예로, 수직도 관리기준인 0.03H를 허용수평변위로 놓는다면 크리프 허용 변형률을 x 그리고 뒷 길이를 설계 당시 결정된 값 약 0.7H로 놓는다면 크리프 허용 변형률은 약 4.29 %가 되며 이 값이 크리프 허용변형률이 된다. 따라서 등시(isochronous) 크리프 거동곡선에서 크리프 변형률과 만나는 강도 값이 장기허용강도가 되는 것이다.

이렇게 동일한 제품의 등시(isochronous) 크리프 거동곡선을 통해 허용 수평변위와 설계연한에 따라 얻어지는 토목섬유 보강재의 장기허용강도는 각기 다르게 된다. 본 연구에서는 전술한 0.03H의 값을 기준으로 가정하여 계산하였다.

Table 1. Vertical tolerance of reinforced wall criteria in various guides

Structure	Terms	Value	Range	Source of Data
Segmental block wall		3.0 cm	every 3 m	Collin, J. G., 1997
		7.6 cm	height	
Concrete panel wall	vertical tolerance	$\pm 0.03H$ or 30 cm	height	日本土質工學會, 1986
Reinforced wall	bulging	$\pm 20\text{mm}$	every 4.5 m	BS 8006, 1995
	vertical tolerance	$\pm 5\text{mm}$	every 1 m	
Concrete facing wall	vertical tolerance	13mm	every 3 m	Elias et al., 2001
Reinforced wall	vertical tolerance	$\pm 0.03H$ or 30 cm	height	토목섬유 설계 및 시공요령 (한국지반공학회), 1999

5. 선행연구의 재해석

5.1 M. Koutsourais(1995)의 연구

M. Koutsourais는 고강도 폴리에스테르를 이용한 직포형 지오그리드에 대해 최대 인장강도의 30.1-57.9% 수준의 하중을 부가한 크리프 시험을 20,000-30,000시간 동안 실시하여 그 결과를 Figure 3과 같이 제시하였다. 그리고 나타난 크리프 변형률 차(원문에는 크리프 변형률로 표기되었으나 본 의미는 초기 크리프 변형률과 설계연한에 나타나는 크리프 변형률의 차이를 말함)가 114년을 설계연한으로 할 때, 2% 미만이며 최대 인장강도의 60%를 크리프 강도로 결정하였다. 또한 serviceability strain limit를 5%와 10%로 하였을 때, 단기 인장거동에서 각각 3% 및 8%의 시퀀트 modulus를 크리프강도로 설정하는 것이 합리적이라고 하였다.

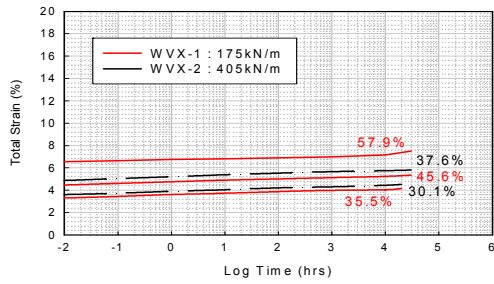


Figure 3. Creep of woven PET geogrids at 20°C (ASTM D5262)

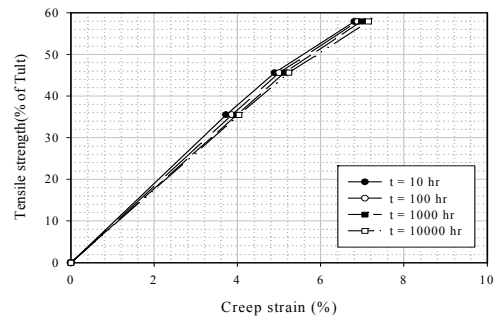


Figure 4. Isochronous creep curves of woven geogrid

여기서, Figure 4를 통해서 10^4 hr의 곡선을 기준으로 크리프 허용변형률의 크기를 5% 또는 10% 했을 때 얻어지는 허용장도가 달라지며 Koutsourais의 결론처럼 단기인장강도의 60%를 만족하는 변형률은 약 7.5-8% 사이의 값으로 허용변형률의 값이 고정되는 단점을 개선하는 방법이다. 즉 동일한 토목섬유 보강재라도 적용되는 시스템에 따라, 크리프 허용변형률에 따라 선택적으로 그 장기허용장도가 결정되는 합리적인 방법이 되는 것이다.

5.2 Niegel E. Wrigley(1989)의 연구

Niegel E. Wrigley는, HDPE extruded 지오그리드에 대한 크리프 시험 결과를 실시하여 Figure 5와 같은 결과를 제시하였다. 시료는 약 80kN/m의 단기인장강도를 갖는 제품으로 부가하중의 범위는 약 20% 수준에서부터 시작하여 크리프 시험을 실시하였음을 알 수 있다. 여타 시험에서는 단기인장강도의 일정 %로 표시된 것과는 달리 직접 부가하중의 값으로 표시하는 것이 합리적이다. 단기인장강도는 표준 시험에 의한 공칭강도의 의미이며 실제 장기거동과 관련된 직접적인 정보를 제공하지 못하기 때문이다. 그리고 하중의 수준이 대부분 30% 이상으로 설정된 것과는 달리 20% 이하에서부터 시작하여 낮은 크리프 변형률에서의 거동까지 파악할 수 있는 정보를 제공할 수 있다. Figure 6으로 얻어진 등시(isochronous) 크리프 곡선을 통해서 다양한 수준의 크리프 부가하중이 보다 많은 해석정보를 제공함을 확인할 수 있다.

5.3 R. J. Muller(1998)의 연구

R. J. Muller는 새로운 기술로 개발된 지오그리드와 기존의 지오그리드에 대한 비교시험으로 크리프 시험을 실시하였으며, 시험에 사용된 지오그리드의 단기인장특성을 나타낸 Figure 7과 얻어진 크리프 데이터를 기본으로 등시(isochronous) 크리프 곡선을 도시하면 Figure 8과 같은 결과를 얻을 수 있다. 여기서 단기인장거동에서는 동일한 인장강도를 보이더라도 장기 크리프 변형에서는 상이한 거동을 보임을 알 수 있다. 결과적으로 단기인장거동에서 나타나는 특성을 통해 정성적 경향은 예측할 수 있다. 그러나 정량적으로는 Figure 8과 같은 등시(isochronous) 크리프 곡선을 통해서만이 그 크기를 평가할 수 있다.

5.4 J. W. Billing, J. H. Greenwood와 G. D. Small(1990)의 연구

이들은 PP 직포 지오택스타일과 폴리에스테르 직포, 락형 섬유 보강재 그리고 HDPE 지오그리드 시

료에 대해 시공 시 손상에 대해 나타나는 강도 감소와 손상된 시료에 대한 크리프 시험을 실시하였으며, Figure 9와 같이 PP 직포 지오텍스타일의 손상 후 크리프 거동 시험결과를 제시하였다. 시험 결과 손상이 발생한 경우 크리프 변형률은 감소하였으며 크리프 파단 변형률도 감소하는 것으로 보고하였다.

크리프 변형률의 감소거동은 등시(isochronous) 곡선으로 도시하면 곡선의 시간영역의 감소방향으로 나타나고 반대로 크리프 변형률이 증가한다는 것은 시간영역이 증가하는 쪽으로 난다. 단순한 크리프 거동을 놓고 보면 시공 시 손상에 의해 장기 변형거동에서는 유리한 거동을 보이고 있다. 손상에 의해 강도 감소는 소폭이지만 크리프 변형률의 크게 증가한다면 하중관계에 의한 안정성이 확보되었다 하더라도 나타나는 수평변위의 과대는 예측할 수 없게 된다. 반대로 강도감소가 심각해도 등시(isochronous) 크리프 곡선 상에 나타나는 크리프 변형률이 감소경향으로 허용강도의 증가효과를 유발할 수 있다.

7. 결론

토목섬유 보강재의 장기허용강도 결정에 있어 토목섬유 보강재의 장기변형에 기준한 방법으로 등시(isochronous) 크리프 곡선을 도시하여 이와 관련하여 토목섬유 보강재의 허용변형률을 결정하고 이에 따른 장기허용강도를 결정하는 방법을 제안하였다. 이 방법에 의해 고정된 허용강도의 값이 아닌 보강토구조물의 허용수평변위, 설계기준 및 구조물의 수명을 고려하여 각 설계 프로젝트에 따라 유동적인 값으로 원활히 적용이 가능하며 토목섬유 보강재의 변형특성을 충실히 반영하는 기법임을 확인할 수 있었다. 등시(isochronous) 크리프 곡선을 해석함에 있어 보강토구조물의 수평변위와 이와 관련된 토목섬유 보강재의 허용크리프 변형률의 결정을 보강토 옹벽 높이, H의 함수를 도입하여 정량화하여 쉽게 해석할 수 있으며 시방기준 등에 명기된 기준과 일치시켜 관리단계에서도 손쉽게 해석이 가능하다.

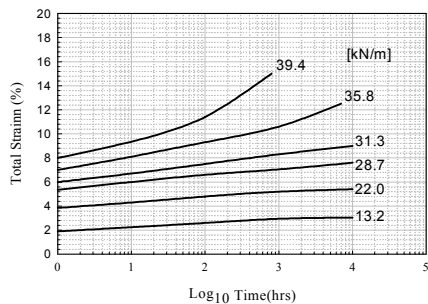


Figure 5. Strain-Time Relationship for Uniaxial HDPE geogrid at various Loads at 20°C

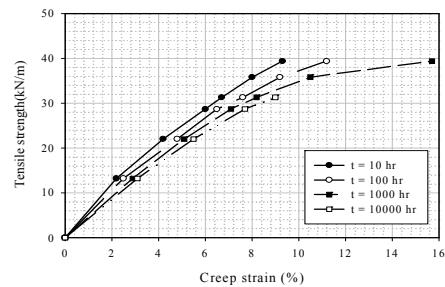


Figure 6. Isochronous creep curves of HDPE extruded geogrid

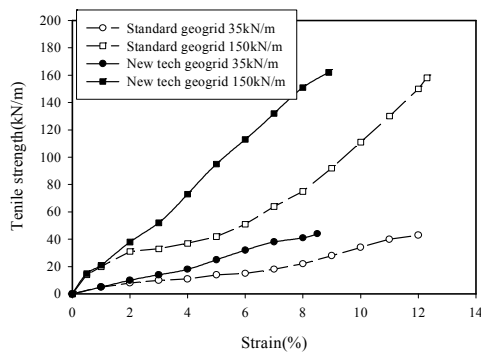


Figure 7. Short term tensile properties of new technology and standard geogrids

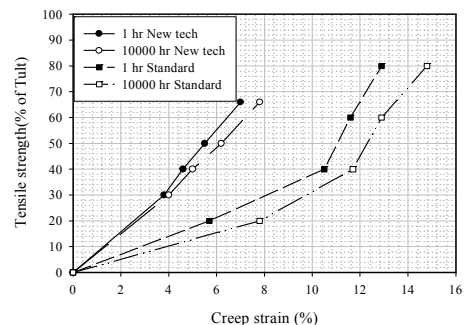


Figure 8. Isochronous creep curves of new technology and standard geogrids

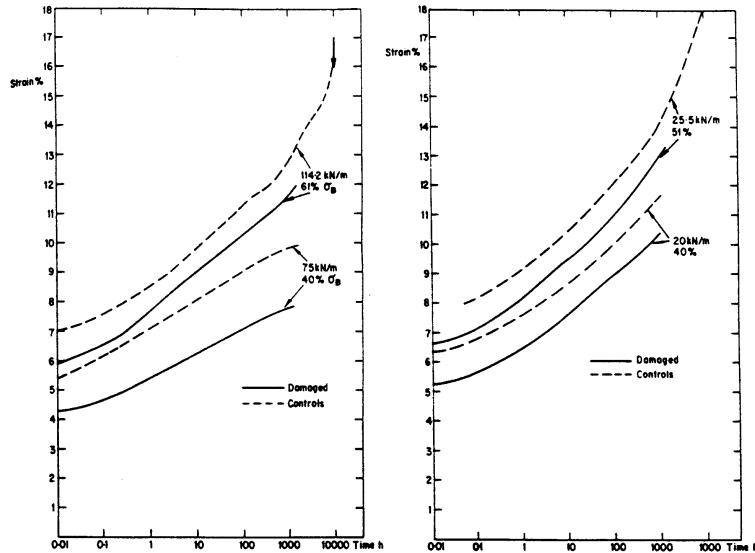


Figure 9. Damage effect to creep behavior for 2-PP geotextiles

참고문헌

1. Allen, T. M., & Bathurst, R. J.(2002), "Long-term Performance of Geosynthetic Walls", *Geosynthetics International*, Vol. 9, No. 5-6, pp. 575~578.
2. Allen, T. M., & Bathurst, R. J.(1996), "Combined Allowable Strength Reduction Factor for Geosynthetic Creep and Installation Damage", *Geosynthetics International*, Vol. 3, No. 3, pp. 407~437.
3. Billing, J. W., Greenwood, J. H. and Small, G. D.(1990), Chemical and mechanical durability of geotextiles, *Proc. of the 4th international conference on geotextiles, geomembranes and related products*, Vol. 2, pp. 621~626.
4. BRITISH STANDARD INSTITUTION(1995), BS 8006 : 1995, Code of practice for Strengthened/reinforced soil and other fills, London, pp. 7.
5. Cancelli, P. and Montanelli, F.(2000), Geogrid construction Damage Resistance: Preliminary Test Results, *Proc. of the 2nd European Geosynthetics Conference*, Vol. 2, pp. 883~888
6. Elias, V. and Christopher, B.R.(2001), **Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes**, Design & Construction Guidelines, U.S. DOT, FHWA, Washington, D.C., pp. 289.
7. Jewell, R. A. (1996), **Soil reinforcement with geotextiles**, CIRIA, London, pp. 46~47.
8. Koerner, R. M.(1994), **Designing with Geosynthetics**, Prentice Hall, New Jersey, pp. 328~393.
9. Koutsourais, M.(1995), Correlation the Creep-Strain Component of the Total Strain as a Function of Load-Level for High-Tenacity Polyester Yarns Geogrids and Geotextiles, *Proc. of Geosynthetics'95*, Vol.3, pp.989~1002.
10. Muller-Rochholz, J., Alexiew, D., Recker, C. & Lothpeich, S. E. (1998), "Coated PET-geogris, Woven and yarn-comparion of long time performance under tension", Georgia, USA, Vol. 2, pp. 679~682.
11. Niegel E. Wrigley(1989), "The Durability and Aging of Geogrids", in Koerner, R. M.(Ed.), **Durability and Aging of Geosynthetics**, pp. 128.