

감소인자에 의한 지오그리드의 내구성 평가

Durability Assessment of Geogrids by Reduction Factors

*1 전한용 Jeon, Han Yong

*2 허대영 Heo, Dai Young

Abstract

Long-term stability of two type geogrids were evaluated. Membrane drawn type geogrid showed the exponential type tensile property and textile type geogrid showed the rapid increase of tensile property closer toward the break point. Accelerated creep test was done for textile type geogrid but not done for membrane drawn type geogrid because of its thermal property. Creep strain for membrane drawn type geogrid was larger than the ultimate tensile strain by tensile test and reduction factor by creep deformation of textile type geogrid was smaller than that of membrane type geogrid.

요 지

2종류 지오그리드의 장기안정성의 검토되었다. 멤브레인 연신형 지오그리드는 지수함수형 인장거동을, 섬유형 지오그리드는 과단점에 가까울수록 빠른 인장특성 증가를 나타내었다. 섬유형 지오그리드의 경우 가속 크리프 시험을 실시하였지만 멤브레인 연신형 지오그리드의 경우에는 열적특성 때문에 가속 크리프 시험을 실시할 수 없었다. 멤브레인 연신형 지오그리드의 크리프 변형률은 인장시험에 의한 극한변형률보다 훨씬 큰 값을 나타내었으며, 섬유형 지오그리드의 크리프 변형에 의한 감소인자는 멤브레인 연신형 지오그리드에 비해 작은 값을 나타내었다.

Key words : long-term stability, membrane drawn type geogrid, textile type geogrid, ultimate tensile strain, accelerated creep test, reduction factor by creep deformation

1. 서 론

토목합성보강재 중 지오그리드는 경사와 위사방향으로 1~10cm의 일정한 공극 크기를 가진 격자 구조의 재료를 지칭하며, 강도가 요구되는 방향으로 높은 인장강도를 지님으로써 연약지반, 사면, 보강토 옹벽 등에 이용된다^{1,3)}.

지오그리드는 제조공정 및 조직구성에 의해 구별되고, 각각 membrane drawn type, textile type(편

성형(warp/knit)과 제직형(woven types)), junction bonded type, 복합형 지오그리드 등이 있다. 한편, 지오그리드는 국내에서 주로 보강토 옹벽 축조 시 보강재로 사용되고 있으며 그 종류도 membrane drawn type, textile type(편성형(warp/knit)과 제직형(woven types)) 등에 국한되고 있는 실정이다.

한편, 국내의 경우 이러한 지오그리드의 분류 및 정의에 대하여 너무 왜곡된 표현들이 사용되고 있는 실정이다. 예를 들면, 토목합성보강재 중 steel 보

*1 정회원, 전남대학교 응용화학공학부 교수 (Member, Faculty of Applied Chemical Eng., Chonnam National Univ.)

*2 정회원, 부산/거제간 연결도로건설조합 시설서기관 (Member, Vice-Chief, Busan/Geoje Fixed Link Association, 618-270, Busan, Korea)

강재를 stiff type(강성) 보강재라고 한다면, 고분자 재료를 사용한 지오그리드 제품은 엄밀하게 말하면 모두 soft type(연성) 보강재라고 정의할 수 있을 것이다. 그런데 국내에서는 고분자 재료를 사용한 지오그리드 제품 중 membrane drawn type 지오그리드를 stiff type(강성) 지오그리드란 용어로 사용하고 있으며, 나머지 textile type(편성형(warp/knit)과 제작형(woven types)) 지오그리드를 soft type(연성) 지오그리드란 용어로 시공현장에서 통용되고 있다.

그러나 이러한 명칭 및 분류는 근본적으로 문제가 있으며, 외국의 경우처럼 stiff type(강성) 또는 soft type(연성)의 개념이 아닌, 보강재의 재료 및 특성에 기인한 명칭부가 및 분류 국내에도 정착이 되어야 할 것으로 사료되며, 이를 위해서는 향후 연구자들이나 시공, 설계 및 감리분야의 실무종사들에 의한 토목합성보강재의 명확한 용어정의가 이루어져야만 한다고 생각된다.

일반적으로 토목구조물의 경우에는 그 수명이 최소 몇 십 년부터 길게는 반영구적인 경우가 대부분이므로 시공 후 장기간 이후에서의 구조물의 안정성이 매우 중요하게 고려되어야 하며, 특히, 보강구조물에서 토양의 보강기능을 수행하는 보강재료의 크리프 변형에 대한 장기 성능의 평가가 매우 중요하게 고려되어야만 한다^{4,7)}.

이러한 점을 감안하여, 본 연구에서는 국내에서 널리 사용되고 있는 토목용 보강재료의 장기 성능을 평가하기 위하여 각각 membrane drawn type과 제작형 지오그리드에 대한 장기 및 단기 속성 크리프 시험을 실시한 후, 설계 시 필요한 감소계수를 산출한 다음, 이에 의한 각각의 지오그리드의 장기 거동을 비교 분석하였다.

2. 실험

2.1 시료의 준비

Table 1에 국내 활용도가 높은 지오그리드의 일반적인 물성을 나타내었으며, 설계강도는 같으며 단지

Table 1. Physical properties of each geogrid samples

Specification	Geogrid A (membrane drawn type)	Geogrid B (textile type)
Raw Material	HDPE	High Tenacity Polyester filament yarn
Design Strength	8ton/m	8ton/m

제조방법과 제조원료가 다른 차이를 보이고 있다.

일반적으로 membrane drawn type 지오그리드는 연신과정에서 분자배열이 잘 조정되어 결과적으로 높은 강도를 나타내게 되며, 제작형 지오그리드는 앞서 설명한 바와 같이 고 강력 폴리에스테르사가 외부 환경으로부터 손상을 받아 고유의 물성이 저하되는 것을 방지하기 위하여 PVC 수지로 코팅처리 하였다.

2.2 인장강도시험

보강용으로 이용되는 구조물의 설계 시에 필요한 지오그리드 보강재의 설계인장강도를 산정 하는데 기초가 되는 최대인장강도와 그 밖의 인장특성을 평가하기 위하여 광폭인장강도시험을 수행하거나 또한, 크리프 시험 시 적용하중을 결정하기 위하여 광폭인장강도시험이 실시된다.

광폭인장시험에서는 시료의 폭이 20cm이며, 클램프 사이에 지오그리드 접점을 최소 3개 이상 포함하고 있어야 하며, 본 실험에서는 양 클램프 부분에서의 미끌림의 시험 결과에 대한 영향을 최소화하기 위하여 시료 중앙부에 LVDT(변위측정장치)를 설치하여 변위를 측정하였다.

2.3 크리프 시험

GRI Test Method GS-10에 따라 단기 속성 크리프 시험을 실시하였다. 그러나 본 연구에 사용된 membrane drawn type 지오그리드의 원료인 HDPE의 경우 T_g 가 -80°C 정도므로 실제 적용되는 상온 이상에서는 온도에 매우 민감한 반응을 나타낸다. 이

Table 2. SIM creep test condition

Test Item	Test Condition
Tester	Tension creep tester
Temperature (°C)	26, 40, 54, 68, 82°C (5 step)
Load (%)	50, 60 of T_{ult}
Time (sec)	50,000

로 인하여, 온도조건을 단계적으로 등은 시키는 단기 속성 크리프 시험을 실시하기가 매우 곤란하다.

이와 반면에, 제직형 지오그리드의 경우에는 원료인 고 강력폴리에스테르사의 T_g 가 80°C ~ 120°C이므로 단기 속성 크리프 시험을 실시하는데 제약이 따르지 않는다.

따라서, 본 연구에서는 membrane drawn type 지오그리드의 경우 장기 크리프 시험만을 실시하여 크리프에 의한 감소계수를 산출하였으며, 직포형 지오그리드의 경우에는 장기 크리프와 단기 속성 크리프 시험을 동시에 실시하여 크리프에 의한 감소계수를 산출하였다.

한편, GRI GS-10에 따르면 폴리에스테르의 경우는 기준온도가 26°C이며, 온도 구배는 14°C로, 각각의 온도 구간의 시험시간이 10,000초로 규정하고 있으며, 각각의 온도구간에 대한 크리프시험 데이터에 대한 시간 축으로의 이동인자 값을 제시하고 있다.

Table 2에 본 연구에서 실시한 SIM법에 의한 크리프 시험의 개요를 나타내었다.

그리고 장기 크리프 시험은 ASTM D5262에 규격화되어 있으며, 표준시험방법은 크리프 시험기에 고정되어 있는 상부 클램프와 하중재하 장치가 붙어 있는 하부 클램프 사이에 시료를 설치하고, 시료 중심부에 인장변형 측정장치를 설치한 후 하중을 재하하여 시간경과에 따른 인장변형을 측정한다.

재하하중으로 시료의 최대인장강도(T_{ult})에 대한 20, 30, 40, 60%의 하중을 추천하고 있으며, 본 연구에서는 membrane drawn type 지오그리드(Geogrid A)의 경우에는 20, 30, 40, 60%, 직포형 지오그리드(Geogrid B)의 경우에는 50, 60%의 재하하중을 설정하여 1,000시간 동안 시험을 실시하였다. Table 3에 장기 크리프시험조건을 나타내었다.

Table 3. Long-term creep test condition

Test Item	Test Condition
Tester	Tension creep tester
Temperature	Room temp.
Load (%)	Geogrid A; 25, 35, 40, 50, 60 of T_{ult} Geogrid B; 50, 60 of T_{ult}
Time (hour)	1,000

3. 결과 및 고찰

3.1 인장특성

Figure 1에 membrane drawn type 지오그리드의 광폭인장특성을, Figure 2에 제직형 지오그리드의 광폭인장특성을 각각 나타내었다. Membrane drawn type 지오그리드와 제직형 지오그리드의 경우 모두 설계강도 보다 높은 최대인장강도를 보유하고 있기 때문에 그 만큼의 추가 안전율이 제품에 내재되어 있는 것으로 판단되어진다. 인장변형률은 12 ~ 13% 정도로 양호한 인장변형특성을 지니고 있음을 확인

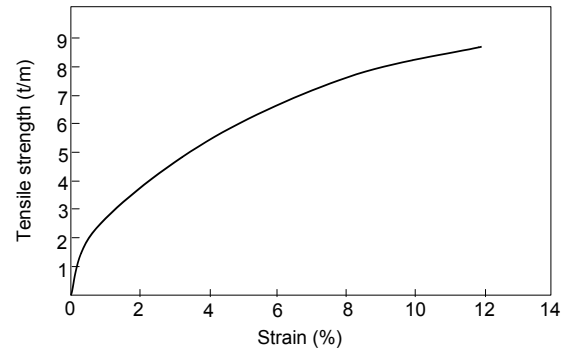


Figure 1. Wide-width tensile strength of geogrid A

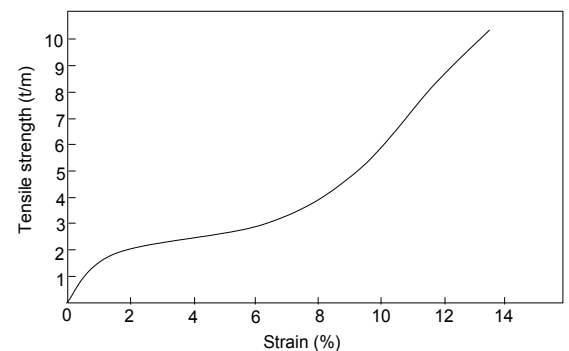


Figure 2. Wide-width tensile strength of geogrid B

할 수 있다. 또한, 광폭인장특성으로부터 각각의 지오그리드의 인장거동이 다르게 나타남을 확인할 수 있다.

Membrane drawn type 지오그리드의 경우 시료가 파단될 때까지 지수함수적인 거동을 보이고 있는 반면, 제직형 지오그리드의 경우 인장강도가 초기에는 완만하게 증가하다가 시료의 파단점에 가까워질수록 비교적 급하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는, 제직형 지오그리드의 경우 제조 시 연신·배향이 양호하게 이루어진 고 강력 폴리에스테르 사를 사용하여 제조되었기 때문에 파단점에 가까워질수록 더 이상의 시료의 연신이 이루어지지 않기 때문이다.

그러나 본 연구에 사용된 membrane drawn type 지오그리드의 경우에는 멤브레인 상태로 압출된 후 연신에 의해 지오그리드가 제조되는 과정에서 충분한 연신에 의한 분자 배향이 이루어지지 않았기 때문

에 시료가 파단점 근처에서도 계속적으로 연신되었다고 생각된다.

3.2 크리프 변형특성

Figure 3~8에 제직형 지오그리드의 각각의 부가하중에 대한(20, 40, 50, 60, 70, 80%) 단기 속성 크리프 시험의 결과를 나타내었다. 여기서 제직형 지오그리드는 각각의 부가하중에서 크리프 변형률의 결과가 거의 선형적인 거동을 보이고 있음을 확인할 수 있었으며, 또한, 부가하중 80%에서는 적용시간 약 2700시간에서 시료가 파괴되어 이때의 파괴 변형률 또한 광폭인장특성의 파단 변형률과 거의 일치함을 확인할 수 있다.

한편, Figure 9~13에 membrane drawn type 지오그리드의 각각의 부가하중에 대한(25, 35, 40, 50, 60%) 장기 크리프 시험결과를, Figure 14~15에 제

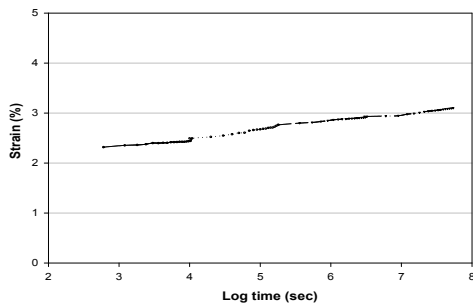


Figure 3. Creep master curve of geogrid B at 20% of T_{ult}

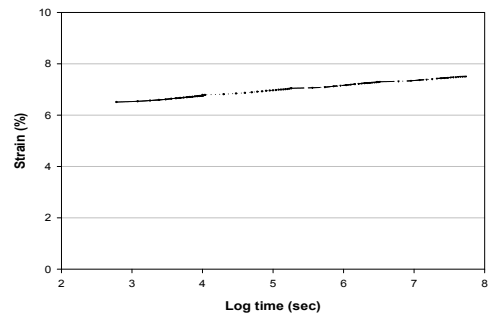


Figure 4. Creep master curve of geogrid B at 40% of T_{ult}

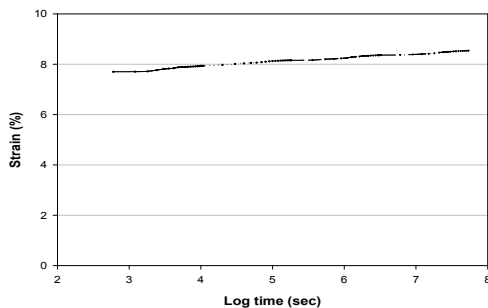


Figure 5. Creep master curve of geogrid B at 50% of T_{ult}

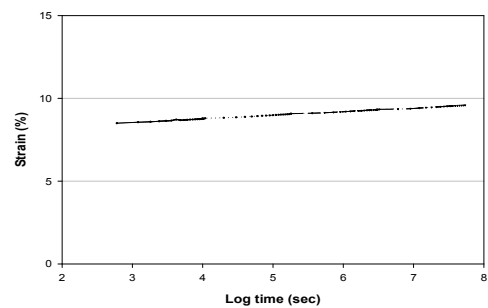


Figure 6. Creep master curve of geogrid B at 60% of T_{ult}

직형 지오그리드의 부가하중에 대한(50, 60%) 장기 크리프 시험결과를 각각 나타내었다.

Membrane drawn type 지오그리드와 제직형 지오그리드의 장기 크리프 시험의 결과를 상호 비교하였을 때, membrane drawn type 지오그리드의 경우에는 부가하중이 40%일 때 변형률이 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있으며 이때의 시험시간이 약 400

시간임을 확인할 수 있었다.

이와 반면에 제직형 지오그리드의 경우에는 시험 시간 약 400시간에서도 부가하중 50, 60%의 경우 모두 거의 선형적인 크리프 변형률의 경향을 나타내고 있으며 변형률 값 또한 10% 미만임을 확인할 수 있다. 그리고 membrane drawn type 지오그리드의 크리프 변형거동은 광폭인장특성에서 나타난 파단 시

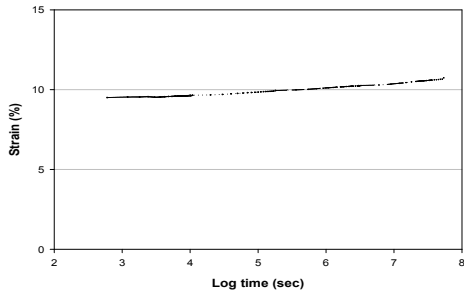


Figure 7. Creep master curve of geogrid B at 70% of T_{ult}

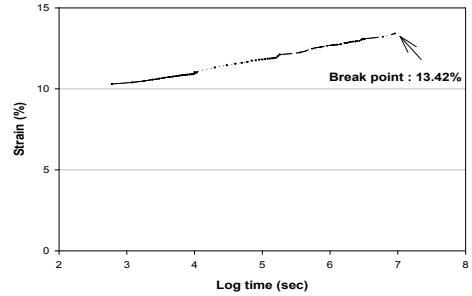


Figure 8. Creep master curve of fgeogrid B at 80% of T_{ult}

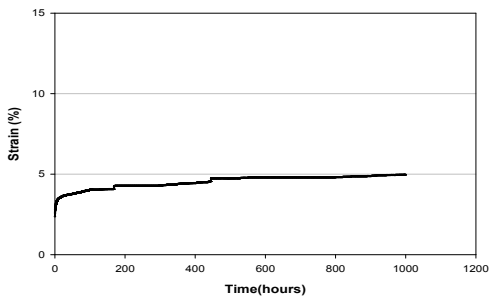


Figure 9. Long-term creep deformation curve of geogrid A at 25% of T_{ult}

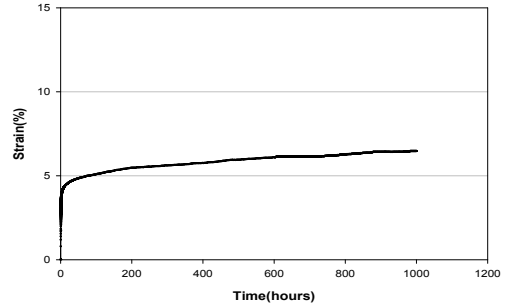


Figure 10. Long-term creep deformation curve of geogrid A at 35% of T_{ult}

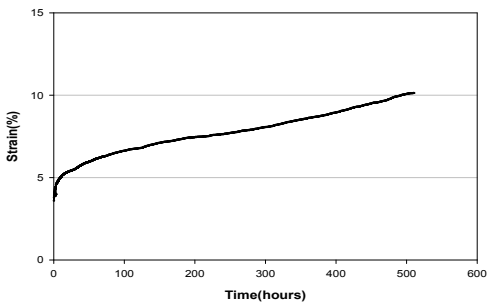


Figure 11. Long-term creep deformation curve of geogrid A at 40% of T_{ult}

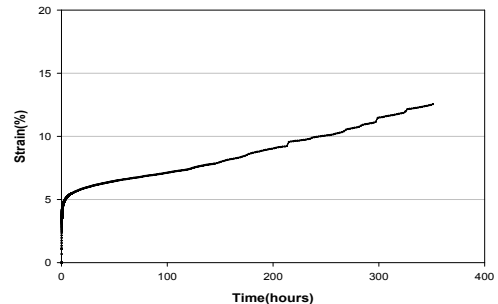


Figure 12. Long-term creep deformation curve of geogrid A at 50% of T_{ult}

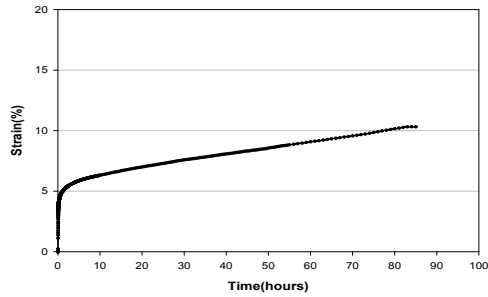


Figure 13. Long-term creep deformation curve of geogrid A at 60% of T_{ult}

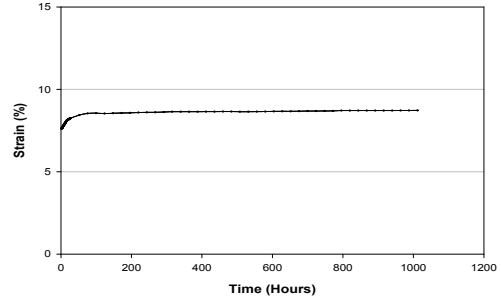


Figure 14. Long-term creep deformation curve of geogrid B at 50% of T_{ult}

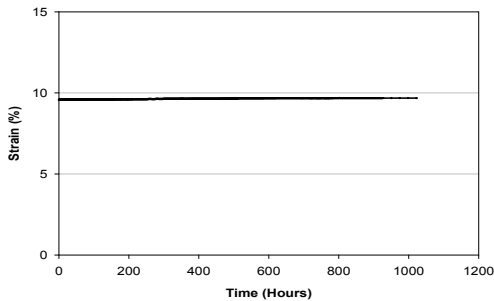


Figure 15. Long-term creep deformation curve of geogrid B at 60% of T_{ult}

인장변형률(12%) 값보다 더 높은 값을 나타냄이 확인되었는데, 이는 광폭인장특성에서 언급한 바와 같이 지오그리드 제조 시 충분한 연신·배향이 이루어지지 않았기 때문에 장기 크리프 시험 시 부가하중에 의한 연신·배향효과가 나타난 것으로 판단되어진다.

이러한 결과로부터, 본 연구에 사용된 membrane drawn type 지오그리드의 경우 충분한 연신과 분자쇄의 배향이 이루어지지 않았기 때문에 장기 인장시험에서 시료가 계속적으로 연신되는 결과가 나타났으며, 이미 연신·배향된 고강력 폴리에스테르사를 사용하여 제조된 제직형 지오그리드의 경우는 이러한 시료의 계속적인 연신이 일어나지 않음을 확인할 수 있다. 따라서, membrane drawn type의 경우에는 제조 공정상의 품질관리를 통하여 변형특성을 제어

하여 크리프 거동을 항상시킴이 바람직하다고 판단되어진다.

3.3 크리프 변형에 의한 감소계수

본 연구에서는 GRI에서 제시한 크리프 감소계수 산출법을 적용하여, 각각의 지오그리드에 대한 크리프 감소계수를 산출하였다. GRI Test Method GG-4 방법에 의하면 지오그리드의 크리프 감소계수(크리프에 의한 감소계수), RF_{CR} 는 다음과 같은 방법으로 산정된다.

$$RF_{CR} = T_{ult} / T_{10} \quad (1)$$

여기서, T_{ult} : 지오그리드의 최대인장강도(kN/m);
 T_{10} : 시간-크리프 변형률 곡선에서 10,000 시간에서 10% 이하의 크리프 변형률에 접근하게 되는 최대 재하하중을 고려한 인장강도(kN/m)이다.

Figure 16~17에 각각의 재하하중에 대한 지오그리드의 크리프 거동을 나타내었으며, membrane drawn type 지오그리드의 경우 10%에 접근하는 하중조건을 구하기 위하여 최대인장강도의 37% 하중조건에 대하여 크리프 시험을 다시 실시하였다.

이로부터 membrane drawn type 지오그리드의 경우 10,000시간에서의 크리프 변형률이 10% 이하에

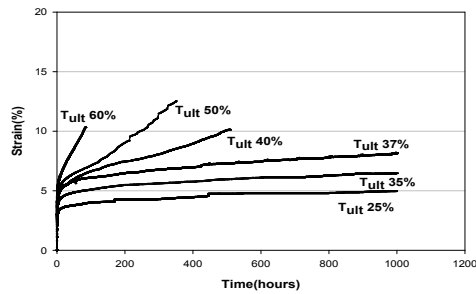


Figure 16. Creep curves of geogrid A with loading level

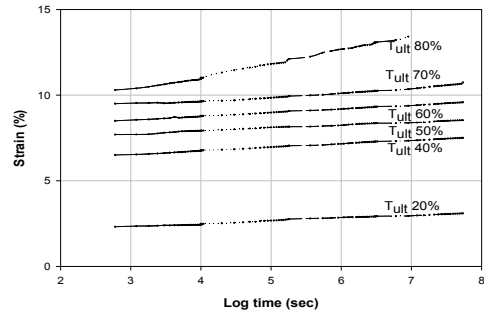


Figure 17. Creep master curves of geogrid B with loading level

Table 4. Reduction factor by creep deformation of geogrids

Reduction Factor by Creep Deformation	Geogrid A	Geogrid B
RFCR	2.70	1.67

수렴하는 하중은 최대인장강도의 약 37%이며, 제직형 지오그드의 경우에는 최대인장강도의 약 60% 정도임을 알 수 있었다.

이 값을 식 (1)에 대입하여 최종 크리프 감소계수를 산출하여 Table 4에 나타내었다. 여기서 membrane drawn type 지오그리드의 크리프 감소계수는 약 2.7이며, 제직형 지오그리드는 약 1.67로 제직형 지오그리드의 크리프 변형에 대한 저항성이 membrane drawn type 지오그리드보다 훨씬 우수한 것으로 판단되어진다.

4. 결론

Membrane drawn type 및 제직형 지오그리드의 크리프 변형에 대한 감소인자로부터 장기안정성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 광폭인장특성은 membrane drawn type 지오그리드의 경우 시료가 파단 될 때까지 지수함수적인 거동을 나타내었고, 제직형 지오그리드의 경우 인장강도가 초기에는 완만하게 증가하다가 시료의

파단점에 가까워질수록 비교적 급하게 증가하였다.

2. membrane drawn type 지오그리드는 HDPE의 원료특성으로 인하여 온도범위를 달리하여 실시하는 단기 속성 크리프 시험이 불가능하였지만, 제직형 지오그리드는 단기 속성 크리프 시험을 실시할 수 있었다.
3. membrane drawn type 지오그리드의 크리프 시험결과 크리프 변형률이 광폭인장시험을 통한 최대인장변형률보다 더 높은 값을 나타내었다.
4. membrane drawn type 및 제직형 지오그리드의 크리프 변형에 의한 감소계수는 제직형 지오그리드가 membrane drawn type보다 더 작은 값을 나타내었으며, 이로부터 제직형 지오그리드의 크리프 변형에 대한 안정성이 더 우수하다고 판단할 수 있었다.

참고 문헌

1. H. Y. Jeon, J. H. Kim(2003), "Interpretation of Long-Term Deformation Behaviors of Geogrid by Short-Term Accelerated Creep Tests", *Journal of the Korean Fiber Society*, Vol.40, pp.264~271.
2. H. Y. Jeon and G. R. Koerner(2003), "Manufacturing and Assessment of High Performance Geosynthetic Composite for Reinforcement", *Journal of the Korean Fiber Society*, Vol.40, pp.272~280.
3. J. S. Thornton(1997), "Approaches for the Prediction of Long-Term Viscoelastic Properties of Geosynthetics from Short-Term Tests", *Geosynthetics* 97, pp.277~291.

4. Khalid Farrag(1997), "Prediction of Long-Term Strains of Geosynthetics from Accelerated-Creep Tests", *Geosynthetics* 97, pp.267~276.
5. J. S. Thorton(1998), "Conventional and Stepped Isothermal Methods for Characterizing Long Term Creep Strength of Polyester Geogrid", *Geosynthetics* 98, pp.691~698.
6. J. S. Thorton, C. J. Sprague(1999), "The Relationship of Creep Curves to Rapid Loading Stress-Strain Curves for Polyester Geogrids", *Geosynthetics* 99, pp.735~744.
7. J. S. Thorton, S. R. Allen(1998), "The Stepped Isothermal Method for Time-Temperature Superposition and Its Application to Creep Data on Polyester Yarn", *Geosynthetics* 98, pp.699~706.