한국토목섬유학회논문집 제4권 3호 2005년 7월 pp. 11 ~ 19

감소인자에 의한 토목합성보강재의 장기안정성 평가

Assessment of Long-Term Stability of Geosynthetic Reinforcement Materials by Reduction Factors

*1 전한용 Jeon, Han-Yong
*2 목문성 Mok, Mun-Sung
*3 조성호 Cho, Seong-Ho
*4 차동환 Cha, Dong-Hwan
*5 김성철 Kim, Seong-Cheol
*6 안주환 Ahn, Ju-Hwan

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. Short term accelerated creep test was done for textile type geogrid but done for membrane drawn type geogrid at ambient temperature because of its thermal property. Creep strain for membrane drawn type geogrid was larger than the ultimate tensile strain by tensile test. Reduction factor by creep deformation of textile type geogrid was smaller than that of membrane type geogrid. From this result, it was seen that the textile type geogrid is more stable than membrane type geogrid by creep deformation.

요 지

2가지 형태의 지오그리드의 장기안정성을 평가하였다. 멤브레인 연신형 지오그리드는 지수함수 형 인장특성을 나타내었으며 섬유형 지오그리드는 파단점에 근접할수록 빠른 인장특성의 증가를 나타내었다. 단기 가속 크리프 시험은 섬유형 지오그리드에는 실시되었지만 멤브레인 연신형 지오그리드의 경우 열적특성 때문에 실온에서만 실시 하였다. 멤브레인 연신형 지오그리드의 크리프 변형률은 인장시험에 의한 극한 인장변형률보다 크게 나타났다. 섬유형 지오그리드의 크리프 변형에 의한 감소인자는 멤브레인 연신형 지오그리드보다 작게 나타났다. 이 결과로부터 섬유형 지오그리드가 멤브레인 연신형 지오그리드보다 크리프 변형에 안정성이 있음을 알 수 있었다.

Keywords : Long-term stability, Membrane drawn type geogrid, Textile type geogrid, Short term accelerated creep test, Reduction factor by creep deformation

*1 정회원, 인하대학교 나노시스템공학부 교수 (Professor, Division of Nano-Systems Engineering, INHA University)
*2 정회원, 인하대학교 나노시스템공학부 박사 후 과정 (Post Doctor, Division of Nano-Systems Engineering, INHA University)
*3 정회원, 삼양중앙연구소 수석연구원 (Program Coordinator, Samyang Central R&D Center)
*4 정회원, 삼양중앙연구소 책임연구원 (Senior Researcher, Samyang Central R&D Center)
*5 정회원, 삼양사 산업자재BU 과장 (Manager, Samyang Corporation Industrial Fiber & Products BU)
*6 정회원, 삼양사 산업자재BU 과장 (Manager, Samyang Corporation Industrial Fiber & Products BU)

1. 서론

토목구조물에 보강재로 이용되는 토목합성재료 중 지오그리드는 경사와 위사방향으로 1～10cm의 일정한 공극 크기를 가진 격자구조의 재료를 지칭하며, 강도가 요구되는 방향으로 높은 인장강도를 지님으로써 연약지반, 사면, 둑 그리고 옹벽 등에서 보강을 목적으로 이용된다.[1-3]

지오그리드는 제조공정 및 조직구성에 의해 구별되고, 각각 membrane drawn type, textile type(편성형(warp/knit)과 직포형(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 직포형(woven types)) 등에 국한되고 있는 실정이다.

일반적으로 토목구조물의 경우에는 그 수명이 최소 몇 십 년부터 길게는 반영구적인 경우가 대부분이므로 시공 후 장기간 이후에서의 구조물의 안정성이 매우 중요하게 고려되어져야한다. 또한, 보강구조물에서 토양의 보강기능을 수행하는 보강재료의 크리프 변형에 대한 장기 성능이 구조물에 중요하게 영향을 미치게 되며, 설계 시 이러한 보강재료의 장기 성능의 평가가 매우 중요한 요소가 되므로 크리프 변형에 의한 장기 물성의 감소는 반드시 고려되어져야만 한다.[4-6]

국내에서 보강용으로 주로 사용되고 있는 membrane drawn type 지오그리드와 직포형 지오그리드의 경우 재료특성 상 크리프 거동이 다름에도 불구하고 전반적인 안전율을 고려하여 설계 및 시공에 반영하고 있는 실정이다. 그러나 토목구조물에 적용된 membrane drawn type 지오그리드와 직포형 지오그리드의 크리프 변형에 의한 감소인자가 클수록 장기안정성은 감소되며 이로부터 지오그리드의 장기안정성을 평가하는 것은 매우 중요함에도 불구하고 이와 관련된 연구는 매우 드문 실정이다.[7-10]

이러한 점을 감안하여, 본 연구에서는 토목용 보강재료의 장기 성능을 평가하기 위하여 각각 membrane drawn type과 직포형 지오그리드에 대한 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 제조방법과 제조원료가 다른 차이를 보이고 있다.

Figure 1에 나타낸 직포형 지오그리드는 앞서 설명한 바와 같이 고 강력 폴리에스테르사가 외부 환경으로부터 손상을 받아 고유의 물성이 저하되는 것을 방지하기 위하여 PVC 수지로 코팅하였다.

Figure 2에 일축 연신 membrane drawn type 지오그리드의 제조공정에 대한 모식도와 일축 연신 membrane drawn type 지오그리드의 형상을 각각 나타내었으며, 연신과정에서 분자배열도 잘 조정되어 결과적으로 높은 강도를 나타내게 된다.

Table 1. Physical properties of each geogrid samples

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

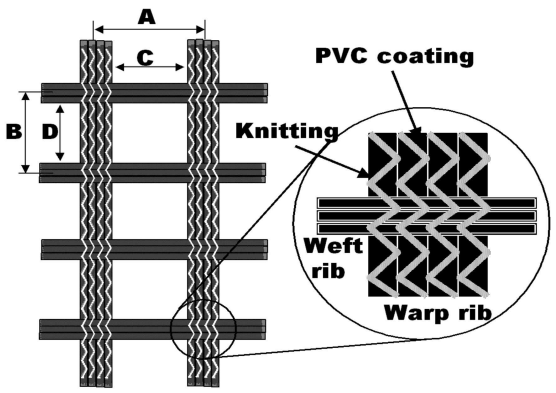

Figure 1. Shapes of fabric type geogrid A

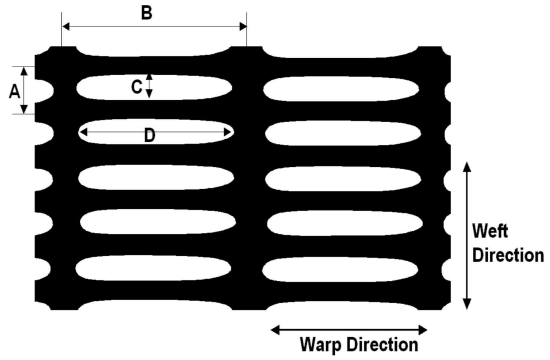

Figure 2. Shapes of uniaxial membrane drawn type geogrid B

2.2 광폭인장강도시험

광폭인장강도시험은 보강용도로 이용되는 구조물의 설계 시에 필요한 지오그리드 보강재의 설계인장강도를 산정 하는데 기초가 되는 최대인장강도와 그 밖의 인장특성을 평가하기 위하여 수행된다. 또한, 크리프 시험 시 적용하중을 결정하기 위하여 본 광폭인장강도시험이 실시된다. 이 시험은 ASTM D4595에 제시되어있으며, 시험의 개요를 Table 2에 나타내었다.

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

2.3 장기 크리프 시험

일반적으로 토목합성보강재료의 크리프 시험(unconfined tension creep test)은 일정한 온도조건에서 지속적인 인장하중이 재료에 작용할 때 재료의 불구속 인장 거동을 평가하여, 구조물의 설계에 있어서 보강재료의 장기 설계 인장강도 산정 시 고려되는 크리프에 대한 인장강도 감소계수(RF_{CR}; reduction factor)를 결정하기 위하여 수행된다.

크리프 시험은 크게 장기간 크리프 시험과 단기간 속성 크리프 시험으로 나뉘어 진다. 재료의 장기 거동 평가에 있어서는 실시간 시험이 매우 바람직하나

Table 2. Wide-width tensile test condition

Test Item	Test Condition
Apparatus	Universal tensile tester
Temperature	21±2℃
Relative humidity	65±5%
Extension rate	10±3%/min
Width of specimen	200mm
Number of specimen	6 specimens
Evaluation items	Ultimate tensile strength, strain, modulus

Table 3. Short-term accelerated 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 or 10,000

시간과 경제적인 이유로 그 결과가 매우 유사할 경우 단기 속성시험을 실시하는 경우가 대부분이다.

단기 속성 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 재하 하여 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 B)의 경우에는 25, 35, 40, 60%, 직포형 지오그리드(geogrid A)의 경우에는 50, 60%의 재하하중을 설정하여 1,000시간동안 시험을 실시하였다. Table 3에 장기 크리프시험조건을 나타내었다.

2.4 단기 속성 크리프 시험(stepped isothermal method, SIM법)

GRI Test Method GS-10에 따라 단기 속성 크리프 시험을 실시하였다. 그러나 본 연구에 사용된

membrane drawn type 지오그리드의 원료인 HDPE의 경우 T_g가 -80℃ 정도이므로 실제 적용되는 상온 이상에서는 온도에 매우 민감한 반응을 나타낸다. 이로 인하여, 온도조건을 단계적으로 등온 시키는 단기 속성 크리프 시험을 실시하기가 매우 곤란하다.

이와 반면에, 직포형 지오그리드의 경우에는 원료인 고 강력폴리에스테르사의 T_g가 80℃～120℃이므로 단기 속성 크리프 시험을 실시하는데 제약이 따르지 않는다.

따라서, 본 연구에서는 membrane drawn type 지오그리드의 경우 실온에서 단기 속성 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 폴리에스터의 경우는 기준온도가 26℃이며, 온도 구배는 14℃로, 각각의 온도 구간의 시험시간이 10,000초로 규정하고 있으며, 각각의 온도구간에 대한 크리프시험 데이터에 대한 시간 축으로의 이동인자 값을 제시하고 있다.

Table 4에 본 연구에서 직포형 지오그리드의 실시한 SIM법에 의한 크리프 시험의 개요를 나타내었으며, Table 5에 각각의 온도조건에서의 이동 인자 값을 나타내었다.

Table 4. SIM creep test condition

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

Table 5. Values of shift factor with time for SIM creep test method

Temperature(℃)	Shift factor(log a_T)
26	0
40	−1.22
54	−2.48
68	−3.70
82	−4.95

3. 결과 및 고찰

3.1 광폭인장특성

Figure 3에 membrane drawn type 지오그리드의 광폭인장특성을, Figure 4에 직포형 지오그리드의 광폭인장특성을 각각 나타내었다. Membrane drawn type 지오그리드와 직포형 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 확인할 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, 직포형 지오그리드의 경우 인장강도가 초기에는 완만하게 증가하다가 시료의 파단점에 가까워질수

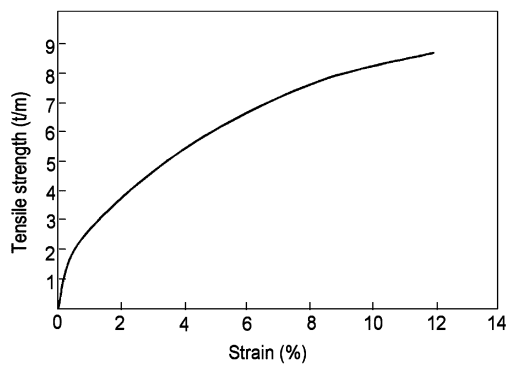

Figure 3. Wide-width tensile strength of geogrid B

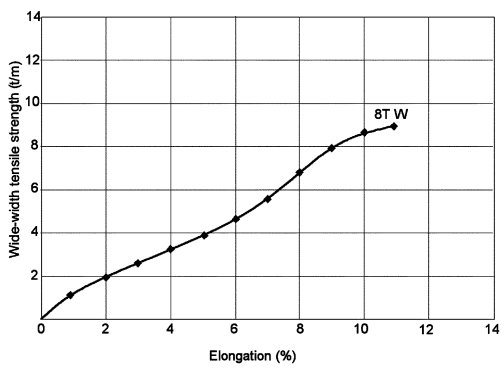

Figure 4. Wide-width tensile strength of geogrid A

록 비교적 급하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는, 직포형 지오그리드의 경우 제조 시 연신・배향이 양호하게 이루어진 고 강력 폴리에스테사를 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 때문에 시료가 파단점 근처에서도 계속적으로 연신되었다고 생각된다.

3.2 크리프 거동

Figure 5～9에 실온에서 membrane drawn type 지오그리드의 각각의 부가하중에 대한(25, 35, 40, 50, 60%) 단기 가속 크리프 시험결과를 나타내었다. 또한, Figure 10～11에 직포형 지오그리드의 부가하중에 대한(50, 60%) 단기 가속 크리프 시험결과를 나타내었다.

Membrane drawn type 지오그리드와 직포형 지오그리드의 단기 가속 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 400시간임을 확인할 수 있었다.

이와 반면에 직포형 지오그리드의 경우에는 시험시간 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 인장변형률(12%) 값보다 더 높은 값을 나타냄이 확인되었는데, 이는 광폭인장특성에서 언급한 바와 같

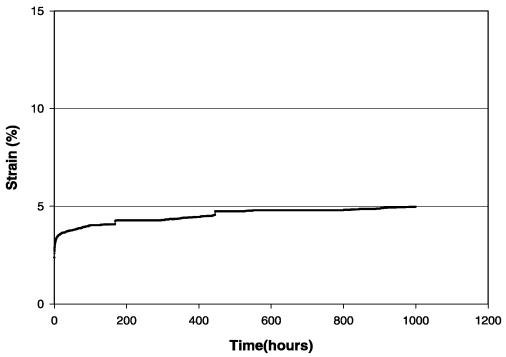

Figure 5. Long-term creep deformation curve of geogrid B at 25% of T_{ult}

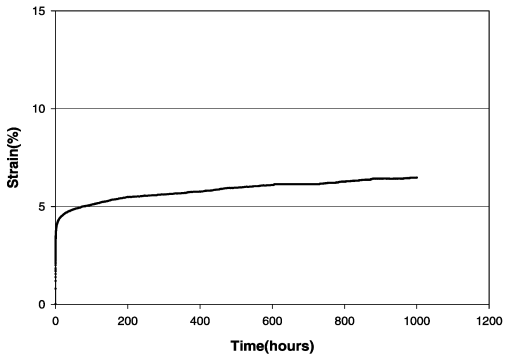

Figure 6. Long-term creep deformation curve of geogrid B at 35% of T_{ult}

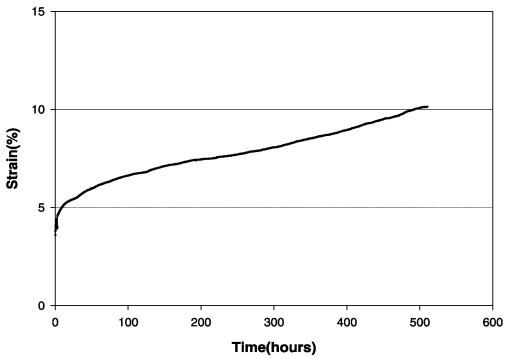

Figure 7. Long-term creep deformation curve of geogrid B at 40% of T_{ult}

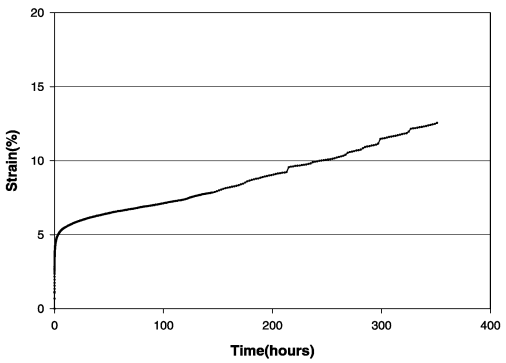

Figure 8. Long-term creep deformation curve of geogrid B at 50% of T_{ult}

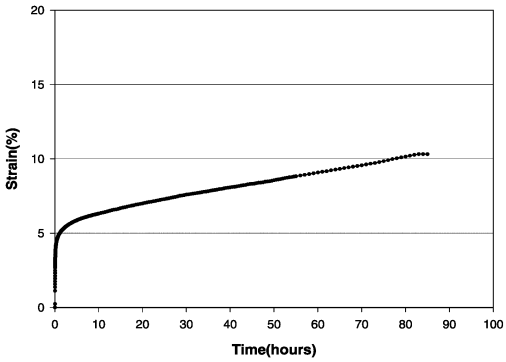

Figure 9. Long-term creep deformation curve of geogrid B at 60% of T_{ult}

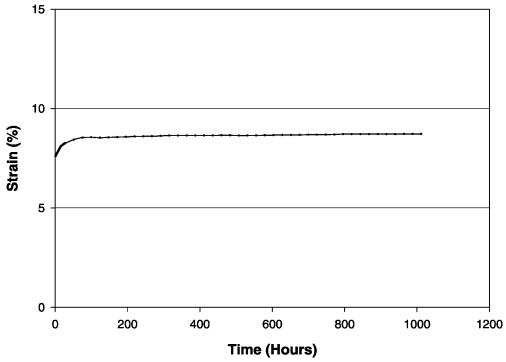

Figure 10. Long-term creep deformation curve of geogrid A at 50% of T_{ult}

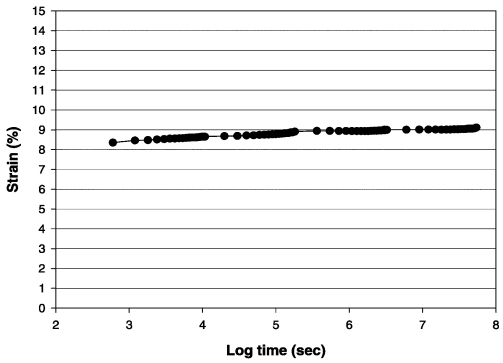

Figure 11. Long-term creep deformation curve of geogrid A at 60% of T_{ult}

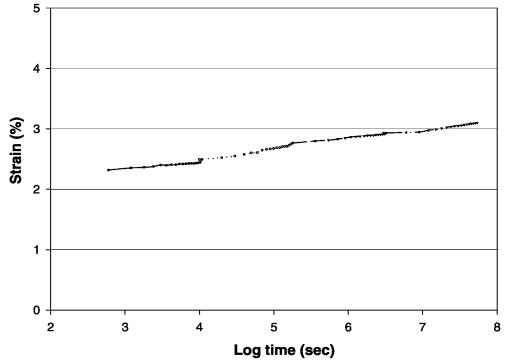

Figure 12. Creep master curve of geogrid A at 20% of T_{ult}

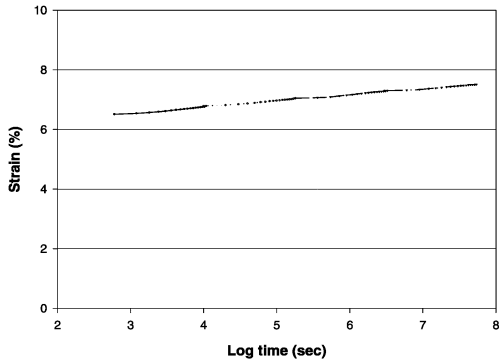

Figure 13. Creep master curve of geogrid A at 40% of T_{ult}

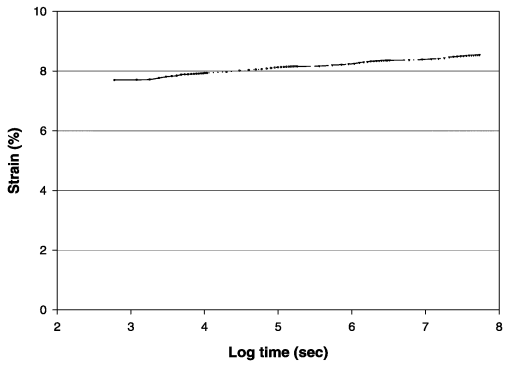

Figure 14. Creep master curve of geogrid A at 50% of T_{ult}

이 지오그리드 제조 시 충분한 연신・배향이 이루어지지 않았기 때문에 장기 크리프 시험 시 부가하중에 의한 연신・배향효과가 나타난 것으로 판단되어진다.

Figure 12～17에 직포형 지오그리드의 각각의 부가하중에 대한(20, 40, 50, 60, 70, 80%) 단기 속성 크리프 시험의 결과를 나타내었다. 여기서 직포형 지오그리드는 membrane drawn type 지오그리드의 크리프 거동과는 대조적으로 각각의 부가하중에서 크리프 변형률의 결과가 거의 선형적인 거동을 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 이로부터, 직포형 지오그리드의 경우 사용된 폴리에스테르사의 분자쇄의 배향이 충분히 잘 이루어졌음을 예측할 수 있다. 또한, 부가하중 80%에서는 적용시간 약 2700시간에서 시

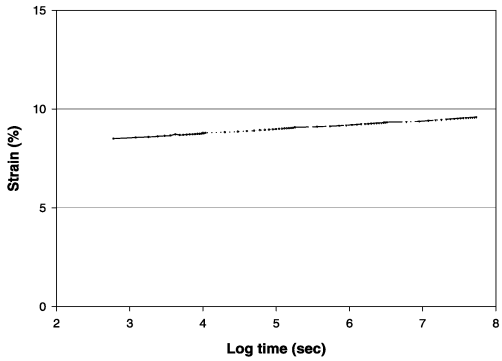

Figure 15. Creep master curve of geogrid A at 60% of T_{ult}

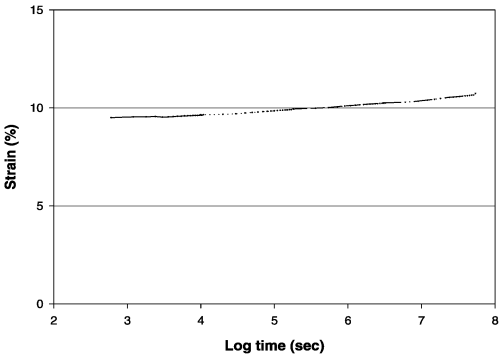

Figure 16. Creep master curve of geogrid A at 70% of T_{ult}

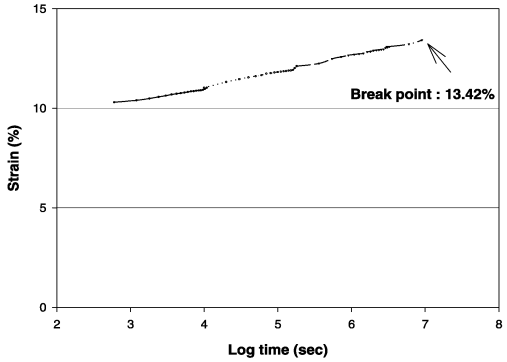

Figure 17. Creep master curve of geogrid A at 80% of T_{ult}

료의 파괴가 이루어졌으며 이때의 파괴 변형률 또한 광폭인장특성의 파단 변형률과 거의 일치함을 확인할 수 있다.

특히 직포형 지오그리드의 경우 크리프 하중이 광폭인장강도의 60%일 때 Figure 11에 나타난 바처럼 10,000시간 시험 후의 크리프 변형률이 10% 이내 임을 확인할 수 있었으며, 이로부터 1,000시간 시험하여 얻어진 단기 속성 크리프 시험결과의 유효성을 입증할 수 있다고 생각된다.

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 직포형 지오그리드의 경우는 이러한 시료의 계속적인 연신이 일어나지 않음을 확인할 수 있다. 따라서 membrane drawn type의 경우에는 제조 공정상의 품질관리를 통하여 변형특성을 제어하여 크리프 거동을 향상시킴이 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 10,000시간에서 10% 이하의 크리프 변형률에 점근하게 되는 최대 재하하중을 고려한 인장강도(kN/m)이다.

Figure 18～19에 각각의 재하하중에 대한 지오그리드의 크리프 거동을 나타내었으며, membrane drawn type 지오그리드의 경우 10%에 점근하는 하중조건을 구하기 위하여 최대인장강도의 37% 하중조건에 대하여 크리프 시험을 다시 실시하였다.

이로부터 membrane drawn type 지오그리드의 경우 10,000시간에서의 크리프 변형률이 10% 이하에 수렴하는 하중은 최대인장강도의 약 37%이며, 직포형 지오그드의 경우에는 최대인장강도의 약 60% 정

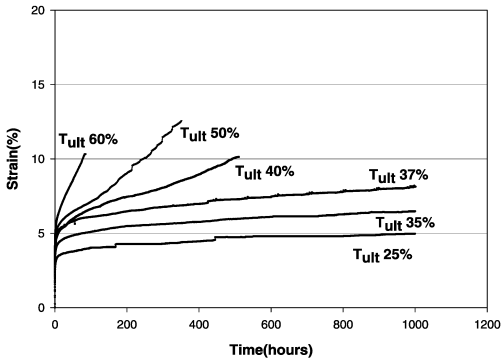

Figure 18. Creep curves of geogrid B with loading level

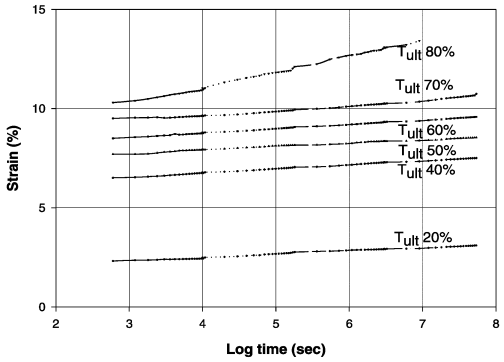

Figure 19. Creep master curves of geogrid A with loading level

Table 6. Reduction factor by creep deformation of geogrids

Reduction Factor by Creep Deformation	Geogrid A	Geogrid B
RF_{CR}	2.70	1.67

도임을 알 수 있었다.

이 값들을 식 (1)에 대입하여 최종 크리프 감소계수를 산출하여 Table 6에 나타내었다. 여기서 membrane drawn type 지오그리드의 크리프 감소계수는 약 2.7이며, 직포형 지오그리드는 약 1.67로 직포형 지오그리드의 크리프 변형에 대한 저항성이 membrane drawn type 지오그리드보다 훨씬 우수한 것으로 판단되어진다.

4. 결론

Membrane drawn type 및 직포형 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, 직포형 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, 직포형 지오그리드는 단기 속성 크리프 시험을 실시할 수 있었다.
3. membrane drawn type 지오그리드의 크리프 시험결과 크리프 변형률이 광폭인장시험을 통한 최대 인장변형률보다 더 높은 값을 나타내었다.
4. membrane drawn type 지오그리드의 크리프 변형에 의한 감소계수는 2.7, 직포형 지오그리드의 크리프 변형에 의한 감소계수는 1.67로써, 직포형 지오그리드가 membrane drawn type보다 더 작은 값을 나타내었으며, 이로부터 직포형 지오그리드의 크리프 변형에 대한 안정성이 더 우수하다고 판단할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 수당장학재단의 지원에 의해 진행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. A. Sawicki(1998), "*Creep Behaviour of Geosynthetics*", Geotextiles and Geomembranes, Vol.16 No.4, pp.365-382.
2. Thorton, J. S.(1997), "*Approaches for the Prediction of Long-Term Viscoelastic Properties of Geosynthetics from Short-Term Tests*", Geosynthetics 97, pp.277-291.
3. Khalid Farrag(1997), "*Prediction of Long-Term Strains of Geosynthetics from Accelerated-Creep Tests*", Geosynthetics 97, pp.267-276.
4. Navarrete, F. et al.(2001), "*Creep of Geogrid Reinforcement for Retaining Wall Backfills*", Proc. of Geosynthetics Con-

ference 2001, pp.567-578.
5. Koutsourais, M. et al.(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, pp.989-1002.
6. Orsat, P. et al.(1998), "*Study on Creep-Rupture of Polyester Tendons : Full Scale Tests*", Proc. of 6th International Conference on Geosynthetics, pp.675-678.
7. Baker, T. L. et al.(2001), "*Comparison of Results Using the Stepped Isothermal and Conventional Creep Tests on a Woven Polypropylene Geotextile*", Proc. of Geosynthetics Conference 2001, pp.729-740.
8. Thornton, J. S, Allen, S. R.,(1998) "*The Stepped Isothermal Method for Time-Temperature Superposition and Its Application to Creep Data on Polyester Yarn*", Geosynthetics 98, pp.699-706.
9. Jeon, H. Y., Kim, J. H.(2003), "*Interpretation of Long-Term Deformation Behaviors of Geogrid by Short-Term Accelerated Creep Tests*", Journal of the Korean Fiber Society, Vol. 40, No.4, pp.264-271.
10. Jeon, H. Y., Koerner, G. R.(2003), "*Manufacturing and Assessment of High Performance Geosynthetic Composite for Reinforcement*", Journal of the Korean Fiber Society, Vol.40, No.4, pp.272-280.