지오그리드의 공학적 특성 및 설계인자 적용성 평가에 관한 연구

A Study on Engineering Characteristics of Geogrids and the Applicability in Fields

신은철[1], Eun Chul Shin, 김두환[2], Du Hwan Kim, 신동훈[2], Dong Hoon Shin

[1] 시립인천대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of civil Eng., Univ. of Inchon

[2] 시립인천대학교 공과대학 토목공학과 석사과정, M.S. Student, Dept. of civil Eng., Univ. of Inchon

SYNOPSIS : In recent, the superior economic benefits and the convenience of installation increased the use of geosynthetics, especially geogrids with the effects of high tensile strength. In this study, various tests were conducted to determine the physical and chemical properties of geogrids which contains durability under various critical conditions, creep behavior and the stability for installation damage in fields. With analysis of test results, the partial and total safety factors were determined and presented the long term design strength of flexible geogrids.

Key words : tensile strength, creep behavior, Installation resistance, Long term design strength of flexible geogrids

1. 서론

1980년대초 인장강도가 일반 토목섬유보다 큰 지오그리드가 소개된 이후 보강토 옹벽, 제방보강이나 도로보강 등 국내외에서 그 적용범위가 확대되고 있다. 고밀도폴리에틸렌(HDPE), 폴리프로필렌(PP), 폴리에스테르(PET) 및 유리섬유(Fiber Glass)등의 재질로 이루어진 지오그리드는 현장 적용시 원소재의 기계적 물성, 열적 성질 및 내약품성과 내환경성에 대한 면밀한 검토, 비교 분석을 한 후 적절한 재료를 선택하고 설계하여야 한다. 본 연구에서는 국내에서 PET로 제조된 연성지오그리드(HG-10T, HG-20T)에 대하여 ASTM, GRI 등의 기준에 따라 그 품질과 공학적 특성 및 현장 적용성에 대하여 연구하였다. 즉, 지오그리드의 물리적 특성, 내구성, 크리프 특성 및 시공에 대한 안전성을 조사하고 이에 따른 안전율 평가를 실시하여 최종적인 설계인장강도를 산출하였다.

2. 실험 방법

2.1 물리적 특성

실험에 사용한 지오그리드의 일반적인 사항은 표 1에 제시한 바와 같다. 두께를 제품의 길이방향인 MD(Machine Direction)와 폭방향인 CD(Cross Machine Direction) 및 접점에 대하여 측정하였다. 두께 및 Aperture 크기측정은 감도 1/100㎜로 실시하였으며, 밀도는 1/100g 감도의 저울로 측정하여 단위 면적당 무게로 나타내었다. 인장강도 시험은 그리드의 재질이 연성이므로, 롤형식의 그립인장시험기를 사용하여 광폭(20cm)으로 실시하였다. 인발저항 시험은 그림 1, 그림 2와 같이 같이 60㎝×40㎝ 크기의 인발시험기를 사용하여 실시하였다. 토사는 주문진 표준사를 사용하였으며, 수직응력에 대한 그리드의 인발저항력을 측정하여 마찰저항각을 산출하였다.

표 1. 사용한 지오그리드의 일반사항

구 분	종 류	재 질	두께(㎜) MD, CD, Junction	Aperture 크기	밀도(g/㎡)	접점강도(kN/m) MD, CD
HG-10T	2방향 지오그리드	폴리에스테르	1.21, 0.77, 1.39	1.78㎜×2.16㎜	467.0	7.0, 4.3
HG-20T			1.39, 0.76, 1.99	1.75㎜×2.02㎜	697.5	7.7, 5.1

2.2 내구성

지오그리드의 내구성 시험은 화학적 안정성, 온도 안정성, 자외선 안정성, 생물학적 안정성 시험으로 나누어 실시하였다. 각각의 내구성 시험은 지오그리드를 기간별(1개월, 2개월, 3개월, 4개월)로 특수 조건하에 보관후 인장강도의 변화를 조사하는 방식을 사용하였다. 화학적 안정성 시험은 산성용액(황산 30% 수용액), 염기성 용액(수산화나트륨 10% 수용액), 증류수를 사용하여 50±2℃를 유지하는 환경챔버에 저장하고 기간 경과에 따른 인장강도의 감소를 측정하였다. 온도 안정성 시험을 하기 위하여 -20±2℃, 23±2℃, 50±2℃, 83±2℃하에서 상기의 기간에 따른 인장강도의 감소를 조사하였다. 자외선 안정성은 4개월간 옥외 노출시켜 실시하였으며, 생물학적 안정성 시험은 인천제철 유수지 오니 시료를 사용하였다.

2.3 크리프 특성 및 시공에 대한 안정성

크리프 특성 시험은 인장시험으로부터 얻은 결과에 대하여 극한인장강도의 40%, 50%, 60%의 하중을 각각 가하여 실시하였다. 사용한 시료의 폭은 20㎝이며 시간에 대한 그리드의 변형 자료를 회귀분석하여 장기적인 변형을 유추하였다.

시공에 대한 적용 및 안전성을 파악하고자 대형실내 지지력 시험을 실시하였다. 토조는 100㎝×25㎝×70㎝ 크기이며, 24㎝×24㎝의 정방형 기초에 대하여 하중을 재하하였다. 모형지반은 국내에서 쉽게 접할 수 있는 화강풍화토를 사용하여 100%의 다짐도로 조성하였다. 지오그리드를 지반내 포설하므로써 다짐 및 하중재하에 따른 인장강도의 감소율을 조사하였다. 하중은 q=200kg/㎠까지 가하여 지반의 파괴를 유도하므로써 그리드가 충분히 성능을 발현하도록 하였다. 그림 3과 그림 4는 각각 시험에 사용한 화강풍화토의 다짐곡선 및 입도분포를 나타낸다.

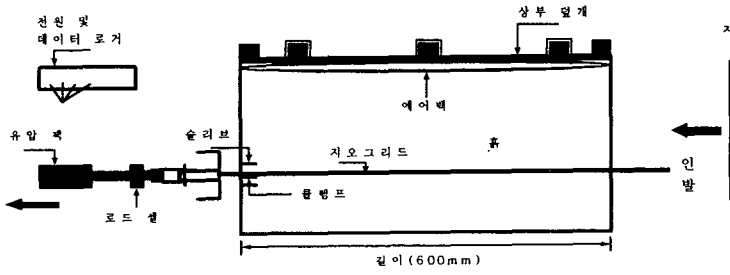

그림 1. 인발시험 개념도 (측면도)

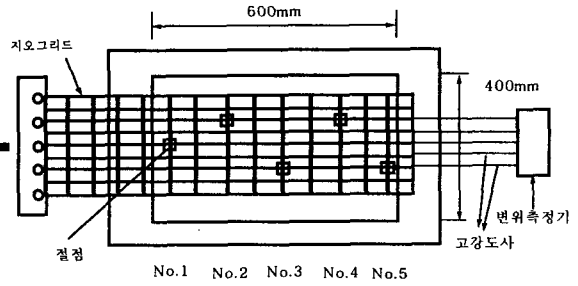

그림 2. 인발시험 개념도 (평면도)

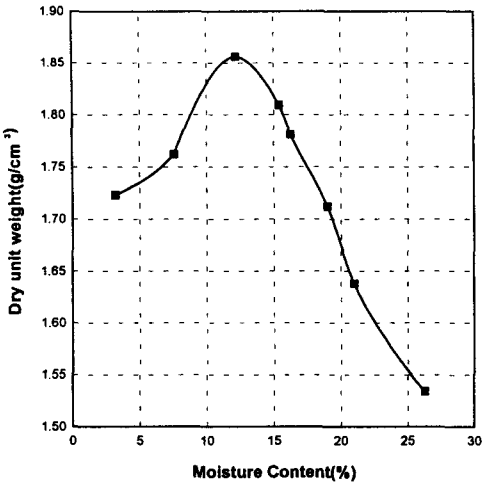

그림 3. 토사의 표준다짐곡선

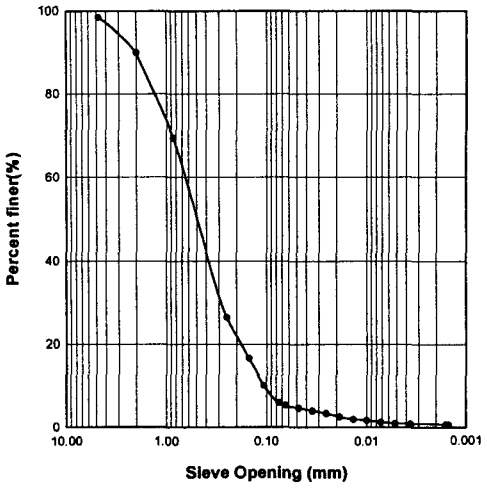

그림 4. 토사의 입도분포곡선

2.4 지오그리드의 안전율 및 설계인장강도 산출

이상의 각종 시험을 통하여 지오그리드의 각각의 부분안전율(Partial safety factor) 및 최종설계 안전율을 구하였으며 이에 따른 설계인장강도를 산출하였다.

$$T_{allow} \leq T_{ult} \tag{1}$$

$$FS = \frac{T_{allow}}{T_{design}} \tag{2}$$

여기서, FS = 최종 설계 안전율

T_{ult} = 극한 강도 (kN/m 또는 ton/m)

T_{allow} = 허용 강도 (kN/m 또는 ton/m)

T_{design} = 설계 또는 소요 강도(kN/m 또는 ton/m)

여기서, 허용강도는 전통적인 안전율 공식에 의하여 식 (3)을 적용한다.

$$T_{allow} = T_{ult} \left[\frac{1}{FS_{ID} \times FS_{CR} \times FS_{CD} \times FS_{BD}} \right] \tag{3}$$

여기서, FS_{ID} = 지오그리드의 시공에 대한 안전율

FS_{CR} = 크리프 변형에 대한 안전율

FS_{CD} = 화학적 작용에 대한 안전율

FS_{BD} = 생물학적 요인에 대한 안전율

설계인장강도에 대해 GRI 규격에서는 접점강도에 대한 안전율을 고려하지만 여기서는 ASTM 규격을 사용하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 인장시험 결과

사용한 지오그리드에 대한 MD 및 CD 광폭인장시험 결과는 그림 5 및 그림 6과 같다. 약 2% 신장후 인장강도의 발현이 완만해지다가 MD의 경우 약 4%, CD는 약 6%~8%에서 인장강도의 발현이 커지는 것을 알 수 있다. 보강토 옹벽등에서 요구하는 2% Secant Modulus(할선탄성계수)는 MD의 경우 HG-10T가 1307kN/m, HG-20T가 2286kN/m로 나타났다. CD의 경우는 각각 314kN/m, 404kN/m로 나타났다.

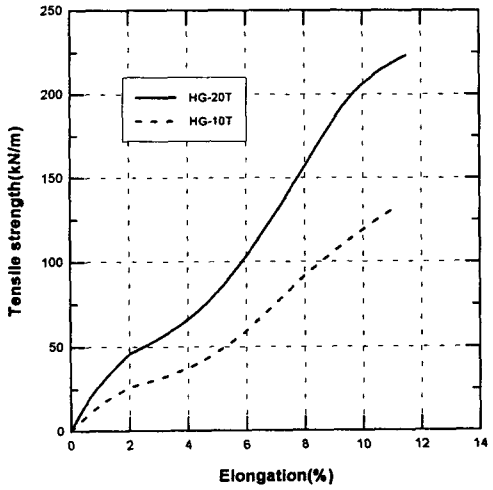

그림 5. MD 인장곡선

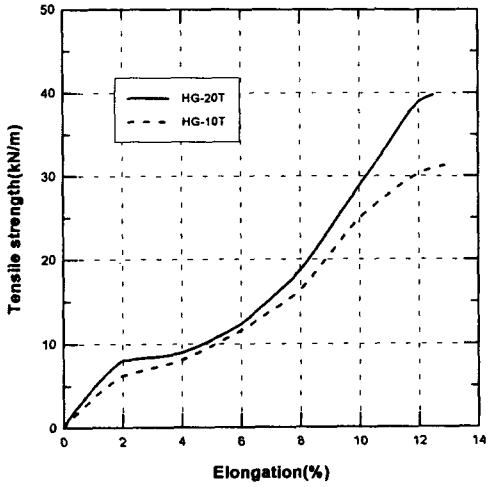

그림 6. CD 인장 곡선

3.2 인발시험 결과

인발시험 결과를 전면적법(Total area method)에 의해 분석하면 사용한 지오그리드의 주문진 표준사에 대한 인발 마찰저항각은 그림 7과 같이 20.9° 및 20.7° 로 매우 근사한 값으로 나타났다. 이것은 지오그리드의 인발저항은 인장강도와 정비례하지 않으며, 리브의 연경도 및 접촉면적, Transverse rib의 작용에 따라 변하기 때문이다. 표 2는 인발 마찰각 산출과정을 나타낸다.

표 2. 인발마찰각

구 분 / 종 류	수직응력 σ_v (kgf/㎠)	최대 선단 인발력 (kg)	최대인발력에서의 선단인발변위(㎜)	τ_{pmax} (kgf/㎠)	TAM ϕ_p(°)
HG-10T	0.3	682	12.70	0.142	ϕ_p =20.9
	0.5	1061	26.84	0.221	
	1.0	1968	34.62	0.41	
HG-20T	0.3	638	9.24	0.133	ϕ_p =20.7
	0.5	1051	20.16	0.219	
	0.7	1363	31.07	0.284	

3.3 내구성 시험 결과

지오그리드의 화학적 안정성 시험결과 증류수에 수침시킨후 온도 50±2℃하에서 120일 경과하였을때 약 3% 정도 강도가 감소하였으며, 같은 조건하에서 황산 30%용액에 대해서는 4% 정도로 나타났으나, 수산화나트륨 10% 수용액에 대해서는 약 25%의 강도 감소를 나타내어 상대적으로 염기성에 약하게 나타났다(그림 8). 자외선에 대한 실험 결과 그림 9와 같이 120일 경과후 약 14~15%의 강도 감소를 보였다. 유수지 오니에 대한 생물학적 안정성 시험 결과 약 3%의 강도 감소를 나타내었다(그림 10). 내수성 및 내화학성, 내생물학성은 초기 1개월간에 전체 강도감소량의 90%이상이 발생한 후 거의 일정한 상태를 유지하여 장기적으로 매우 안정하다고 평가할 수 있다. 일반적인 PET 지오그리드의 경우와 같이 사용한 시료도 내염기성과 자외선 안정성은 상대적으로 취약함을 알 수 있다.

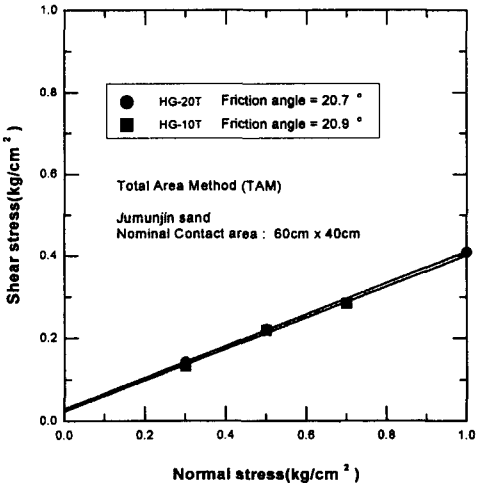

그림 7. 주문진 표준사와의 마찰각

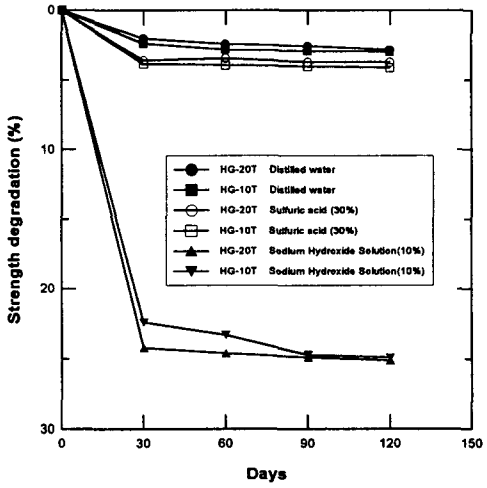

그림 8. 여러 용액에 대한 강도의 감소

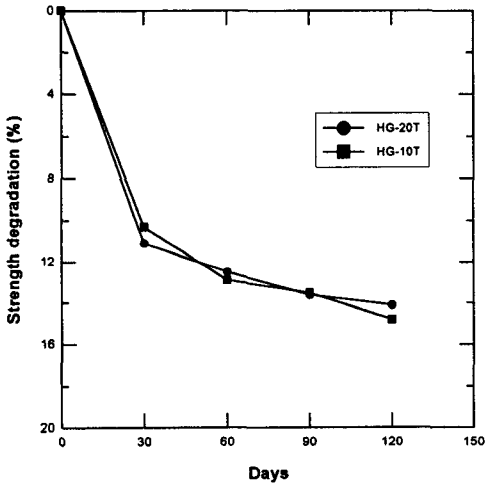

그림 9. 자외선에 의한 강도 감소

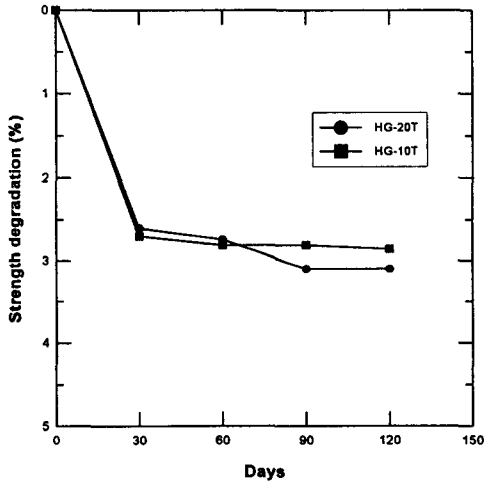

그림 10. 생물학적 영향에 의한 강도 감소

3.4 크리프 및 시공에 대한 안전성 시험 결과

인장강도 시험 결과(그림 5, 그림 6)로부터 얻은 극한 인장강도에 대하여 40%, 50%, 60%의 하중을 가하여 시간에 대한 변형 특성을 나타내면 그림 11 및 그림 12와 같다. 극한인장강도의 40%, 50% 하중

에 대하여는 두가지 시료 모두 매우 안정된 변형을 보이며, 60%의 하중에 대해서는 변형률이 다소 증가하는 경향이 보이나 회귀분석하면 장기적으로 약 4% 이하의 변형이 예상된다.

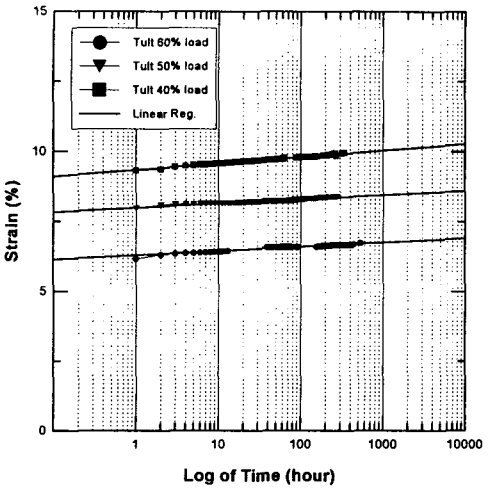

그림 11. HG-10T의 크리프 곡선

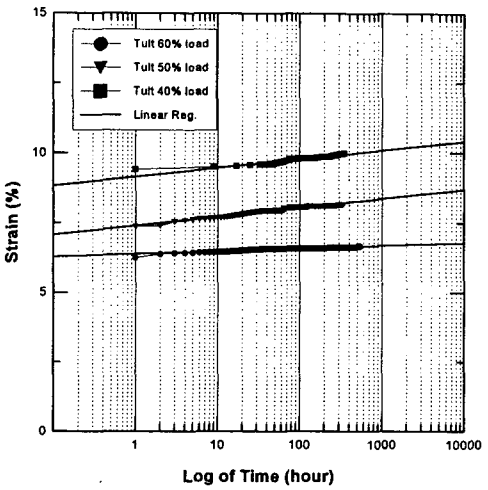

그림 12. HG-20T의 크리프 곡선

3.5 시공성 평가 결과

지오그리드의 시공에 대한 안정성을 평가하기 위하여 화강풍화토로 최적함수비의 100% 다짐을 하고 재하시험을 한 결과 그림 13과 같이 5%이내의 강도감소가 일어났다. 지오그리드의 포설 깊이가 약 0.8B(B =기초폭)가 되면 하중 재하에 의한 그리드의 강도손실이 거의 발생하지 않는 것을 볼 수 있다.

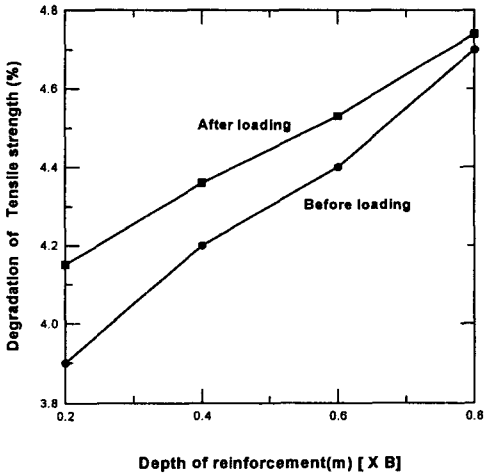

그림 13. 시공 및 재하에 의한 강도감소

3.6 설계 안전율 및 설계인장강도 산정

이상의 각종 시험결과로부터 식 3을 이용하여 지오그리드의 설계 안전율 및 설계 인장강도를 산정하면 표 3과 같다.

표 3. 지오그리드의 안전율 및 장기설계인장강도 산정

구분 / 제품명	극한인장강도 (kN/m)	부분 안전율				장기설계 안전율	장기설계 인장강도 (kN/m)
		시공성	크리프	화학적 작용	생물학적 작용		
HG-10T	130.4	1.05	1.82	1.33	1.03	2.62	49.8
HG-20T	223.6	1.05	1.82	1.34	1.03	2.64	84.7

4. 결 론

본 연구에서는 국내의 PET 연성 지오그리드에 대한 물리적 특성, 내구성, 크리프 특성 및 시공에 대한 안전성 등의 시험을 통하여 현장 적용가능성에 대하여 고찰하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 인장강도 시험 결과 MD에 대하여 HG-10T는 130.7kN/m, HG-20T는 223.1kN/m의 강도를 나타냈다. 이에 대응하는 파단시 신율은 각각 11.0%, 11.5%로 나타났다. 또한 CD에 대하여 HG-10T는 31.4kN/m, HG-20T는 39.8kN/m의 강도를 나타내었으며 파단시 신율은 각각 13%, 12.5%로 나타났다.
(2) 접점강도 시험결과 길이방향 리브의 경우 HG-10T는 7.0kN/m, HG-20T는 7.7kN/m, 폭방향 리브의 경우 각각 4.3kN/m, 5.1kN/m로 나타났다.
(3) 인발저항 시험결과 주문진 표준사에 대한 인발 저항각은 HG-10T는 20.9° , HG-20T는 20.7° 로 나타났다.
(4) 화학적 안정성 시험 결과 내산성은 50±2℃하에서 황산 30% 용액에 120일간 수침한 결과 강도의 변화는 평균 각각 4.08%, 3.69%로 나타났다. 내염기성 시험결과 동일조건하에서 수산화 나트륨 10%용액에 수침시 인장강도의 감소율은 각각 24.9%, 25.1%로 조사되어 상대적으로 염기성 용액에 대하여 취약성을 드러냈다.
(5) 온도 안정성 시험 결과 저온인 -20±2℃하에서는 강성의 증가로 인하여 인장강도가 각각 9.89%, 11.19% 증가하였다. 내열성에 대하여는 83±2℃하에서 120일 노출시 각각 평균 3.61%, 3.14%의 강도 감소를 보였다.
(6) 자외선 안정성 시험 결과 옥외에 120일 노출시 각각 평균 14.8%, 14.1%까지 강도가 감소하여 일반적인 PP 및 PE 제품이 자외선에 취약한 점이 드러났으나 기존의 여러 외국제품과 비교하면 양호한 성능이라 할 수 있다.
(7) 생물학적 안정성을 평가하기 위하여 유수지의 오니를 사용하였으며, 각각 평균 2.86%, 3.09%의 강도 감소를 나타내었다.
(8) 크리프 시험은 극한인장강도의 40%, 50%, 60%의 하중을 각각 적용하여 실시하였다. 각각의 하중에 대하여 대체로 안정하게 나타났으나 60% 하중에 대하여는 300시간 경과시부터 다소 변형률이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 회귀분석한 결과 10000시간에 대하여 크리프에 의한 신율의 변화는 2%~4% 정도로 일반적인 기준치인 5% 범위를 만족하였다.
(9) 시공성 평가 결과 대형 실내 모형 지반에 지오그리드를 포설하고 화강풍화토를 최적다짐의 100%다짐한 결과 3.9~4.7% 정도의 강도감소를 나타냈으며, 200kg/㎠의 하중 재하후에는 4.15%~4.74%정도 강도가 감소하였다.
(10) 상기의 여러 안정성 시험 등을 통하여 설계인장강도를 산정한 결과 HG-10T 및 HG-20T의 최종설계 안전율이 각각 2.62, 2.64로 나타났다.

감사의 글

본 연구를 위해 많은 도움을 주신 한국원사직물시험연구원, 순천대학교 지반공학연구실, 전남대학교 토목섬유연구실, 시료를 제공하는 등 지원을 아끼지 않은 (주) 효성 산자영업팀에 감사드립니다.

참고문헌

(1) 이은수(1985), "**보강토 공법의 경제성 연구**", 동국대 석사학위 논문, pp. 14~42.
(2) 한국건설기술연구원 (1995), "**토목섬유 보강토 구조물의 합리적인 해석과 설계**", 한국건설기술연구원 연구보고서
(3) 방윤경(1997), "**GRS-RW 보강토옹벽의 3차원 안정해석 및 보강재의 인발특성에 관한 연구**", 홍익대학교 박사학위논문, pp. 10~14
(4) Shin, E. C. (1994), *"Shallow Strip Foundation on Geogrid-Reinforced Clay Under Static and Cyclic Loading"*, Ph. D. Thesis, Southern Illinois University at Carbondale, Illinois, USA
(5) Robert M. Koerner(1997), "Designing with Geosynthetics", Fourth Edition
(6) GRI Test Method GS4 Time Dependent(Creep) Deformation Under Normal Pressure
(7) GRI Test Method GG4(a) Determination of the Long-Term Design Strength of Stiff Geogrids
(8) GRI Test Method GG4(b) Determination of the Long-Term Design Strength of Flexible Geogrids
(9) *ASTM Standards:*
ASTM D 543-87 Standard Test Method for Resistance of Plastics to Chemical Reagents
ASTM D 4355-92 Deterioration of Geotextiles from Exposure to Ultraviolet Light and Water
ASTM D 4594-91 Effects of Temperature on Stability of Geotextiles
ASTM D 4594-96 Effects of Temperature on Stability of Geotextiles
ASTM D 4595-86 Tensile Properties of Geotextiles by Wide-Width Strip Method
ASTM D 4632-91 Grab Breaking Load & Elongation of Geotextiles
ASTM D 4885-88 Determining Performance Strength of Geomembranes by the Wide-Strip Tensile Method
ASTM D 5199-91 Measuring Norminal Thickness of Geotextiles and Geomembranes
ASTM D 5261-92 Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles
ASTM D 5262-92 Evaluating the Unconfined Tension Creep Behavior of Geosynthetics
ASTM D 5322-92 Standard Practice for Evaluating the Chemical Resistance of Geosynthetics
ASTM D 5323-92 Determation of 2% Secant Modulus for Polyeththylene geomembranes
ASTM D 5496-93 Standard Practice for In Field Immersion Testing of Geosynthetics
ASTM D 5747-95 Standard Effect of Temperature on Stability of Geotextiles