

## 실내 시험기에 의한 지오그리드의 시공 시 손상 평가

### Installation Damage Assessment of Geogrids by Laboratory Tester

전 한 용<sup>1</sup> Jeon, Han-Yong

진 용 범<sup>2</sup> Jin, Yong-Bum

장 연 수<sup>3</sup> Jang, Yeon-Soo

유 충 식<sup>4</sup> Yoo, Chung-Sik

#### Abstract

Installation damage of 3 types of geogrids was evaluated with compaction condition by laboratory tester. This experimental was in accordance with ENV ISO 10722-1. First, soil distribution and water content were conducted. And then we changed cyclic loading time and type of geogrids as a factor of installation damage. The samples are woven, warp-knitted, welded type of 6, 8, 10T. This study aims to give an insight into the relationships between installation damage and cyclic loading time. The result of studies was that strength of the damaged geogrids can be closely correlated with the time of loading cycles. Especially, welded type shows slower slope than two types of geogrids due to coating materials. That means welded type is coated with PP (Polypropylene), but the other two types of geogrids are coated with PVC (Polyvinyl Chloride). To confirm another factor different method was performed. The size of soil was used between 9.5 mm and 23.5 mm to compare initial experimental. Cyclic loading compaction is taken 200 times before installation test and the reason is that the reduction factor of this case by installation damage was higher than other compaction loading conditions.

#### 요 지

실내 시험기에 의하여 3가지 타입의 지오그리드의 시공 시 손상을 압밀조건에 따라 평가하였다. 이 실험은 ENV ISO 10722-1에 근거하여 실행되었다. 우선 실험에 사용된 흙 입자의 입도분석과 함수비를 측정하였다. 그리고 내시공성에 영향을 주는 인자로서 반복하중과 지오그리드의 타입을 변화시켰다. 실험에 사용된 시료는 6, 8, 10T woven, warp-knitted, welded type의 지오그리드이다. 이 실험은 반복하중과 감소계수의 관계를 설명하기 규명하기 위하여 진행되었다. 실험 결과 반복하중은 지오그리드의 손상과 밀접한 관련이 있었다. 특히, welded type의 지오그리드의 경우는 다른 종류의 지오그리드보다 더 낮은 감소경향을 보였는데 이는 coating material때문이다. 즉 welded type의 지오그리드는 피복 재료가 PP이나 나머지 다른 두 종류의 경우 PVC로 되어있다. 다짐 횟수 이외의 감소 계수를 측정하기 위하여 실험을 하였다. 흙 입자의 크기가 9.5mm 이상 23.5mm 이하인 자갈을 가지고 다시 내시공성 시험을 하였다. 시료 포설 전 흙의 다짐 횟수를 200회로 하였으며, 그 이유는 이때의 감소계수가 다른 조건보다 더 크기 때문이었다.

**Keywords** : Cyclic loading compaction number, ENV ISO 10722-1, Geogrids, Installation damage, Soil distribution and water content

1 정회원, 인하대학교 나노시스템공학부 교수 (Member, Prof., Div. of Nano-systems Eng., Inha Univ., hyjeon@inha.ac.kr, 교신저자)

2 정회원, 한국의류시험연구원 연구원 (Member, Researcher, KATRI)

3 정회원, 동국대학교 사회환경시스템공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil and Environmental Eng., Dongguk Univ.)

4 정회원, 성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil and Environmental Eng., Sungkyunkwan Univ.)

\* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2008년 1월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

## 1. 서론

토목합성재료(geosynthetics)는 다양한 섬유형상의 결합 및 압출성형, 피복 등에 의해 제조되며 크게 직포 및 부직포 지오택스타일, 지오펜브레인, 지오그리드, 지오네트, 지오웹, 지오매트, 지오셀, 지오파이프, 지오컴퍼지트, 콘크리트 강화용 섬유복합재료, EPS(expanded polystyrene) 블록 등으로 구분된다(Koerner, 1998; 전한용, 1998). 이러한 토목합성재료 중에서 지오그리드란 흙, 자갈 또는 다른 지반 공학적 재료가 통과할 만한 충분한 크기의 공극을 가지는 규칙적인 격자구조로 형성된 토목합성재료를 말한다. 다시 말해, 리브(rib)사이의 대략 1~10cm의 공극을 가진 격자형 재료이며 리브의 구성, 교차연결 또는 결합방법은 다양하게 변화시킬 수 있고 하중을 받는 보강재로 사용이 된다(Koerner, 1998; 전한용, 2001). 이러한 지오그리드는 연약지반 보강, 성토사면 보강, 보강토 옹벽 등 다양한 토목현장에서 폭넓게 활용되고 있다. 현장에서 사용되는 구조물의 경우, 특히 지오그리드와 같이 다짐작업이 요구되는 흙 구조물에 적용되는 경우 다짐에 의한 손상이 유발되며 시공 시 다짐에 의한 손상은 단기 및 장기 거동에서 예측되지 못한 성질 변화를 초래하게 된다(Silvano, 2004; Hufenus, 2005; Hufenus, 2006; Huang, 2004; Shulka, 2004). 따라서 적절한 시공 시 손상 평가방법을 토대로 변환된 단기 및 장기 거동의 예측이 가장 중요하며 이에 따른 설계 시 적절한 반영이 필요하다(Huang, 2006; Hsieh, 2000; Hsieh, 2001). 평가방법에는 실내시험(index test)과 현장시험(field test)으로 나뉘지는데 전자에는 ASTM D 5818, ENV ISO 10722-1, TRI(Texas Research Institute, U.S.A)로 구분된다. 후자에 속하는 시험방법은 많으나 그 대부분이 영국의 TRL(Transport Research Laboratory, U.K)의 방법을 따르고 있다. 위에서 서술한 각각의 테스트 방법들은 각각 단점을 가지고 있다. 인덱스 테스트의 경우는 표준화된 시험법이 없고, 현장조건에서 발생하는 토목합성재료의 파괴를 완벽하게 설명 할 수 있는 실험실 시험이 아직 존재하지 않으며, 현장 테스트의 경우는 경비와 시간이 많이 소비되며 다른 현장조건에 대한 충분한 데이터를 제시하지 못하는 단점이 존재한다. 이러한 사실을 감안하여 본 연구에서는 선행된 현장테스트를 기초로 하여 현재 사용되고 있는 지오그리드 3종 9개 제품에 대하여 실내 내시공성 시험을 하였다. 현장조건과 부합하는 골재를 채취한 후 입도분석과 함수비를 측정하였으며, 각각의 지오그리드에

대하여 다짐횟수를 변화시키고, 또한 골재의 크기를 변화시켜서 실험한 후 인장강도 변화를 측정하여 시공 시 손상에 의한 감소계수를 측정, 고찰하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 내시공성 시험의 개요

내시공성 시험(installation damage test)은 토목건설공사에 사용된 토목합성재료 상부에 성토재가 포설되고 시공 작업이 진행될 경우, 이러한 시공조건에 의해 토목합성재료가 손상되는 정도를 평가하기 위한 실험이다. KS 및 ISO 규격에 규정된 내시공성 시험은 압밀된 입상 시험재료의 2개 층 사이에 토목합성재료가 위치 할 때, 시공 중 손상을 예측하기 위한 실험실 내에서의 손상에 대한 시뮬레이션 절차 및 시험방법에 대하여 설명하고 있다. 내시공성 평가는 외관의 손상정도를 시각적으로 판정하는 방식과 처리 전, 후 시료의 인장강도를 측정하여 강도 손실을 평가하는 방법이 있다. 또한 본 시험에서 발생하는 손상의 정도를 평가하는 방식은 다른 기준을 적용하여 시험을 수행할 수도 있다. 내시공성 시험은 컨테이너의 전체면적에 60초 동안 200±2kPa의 압력으로 하부의 입상 재료를 압밀시키고 토목합성재료를 설치한 후 컨테이너 윗부분의 75mm깊이로 입상 재료를 채운 후 컨테이너 중앙부에 가압 평판을 위치하게 하여 5±5kPa의 하중을 가한다. 200kPa 가압 사이클의 경우, 진동수 1Hz로 5±5kPa에서 900±10kPa 사이의 주기적인 가압이 되도록 가압장치를 조절하여 시험한 후 시험편을 회수 한다. 이때 시험편에 부가적인 손상이 전파되지 않도록 주의하여야 한다. 시공 시 손상의 측정은 동일한 기준 시험에서 손상되지 않은 시험편과 손상된 시험편을 비교함으로써 행해진다. 일반적인 기준시험으로는 KS K ISO 10319(광폭인장강도)에 따라 실시되어야 하지만 다른 역학적 특성평가나 수리적 특성평가시험을 택하여 실시하여도 된다. 그 평가 방법으로는 KS K ISO 10319 이외에도 KS K ISO 12236, KS K ISO 12956, KS K ISO 11058 이 해당시험으로 선택될 수 있다. 특성평가 시험이 완료된 후 결과의 계산은 손상 전 시험편과 손상 후 시험편의 변화율로 계산한다.

$$\Delta R = (R_d/R_0) \times 100 \quad (1)$$

여기서  $R_d$  : 손상 후 시험편의 기준 값

$R_0$  : 손상 전 시험편의 기준 값

$\Delta R$  : 기준 값의 백분율 변화(손상 지수)

## 2.2 시공 시 손상에 의한 감소계수

지오그리드의 실내 실험을 통해 구한 인장강도와 흙 속에서 발휘하는 인장력에는 차이가 있다. 흙 속에서 발휘하는 인장강도와 장기간 동안 지오그리드가 사용될 때 나타나는 강도 감소경향을 정확히 파악하기 어렵다. 이러한 이유로 지오그리드가 흙 속에서 인장강도를 발휘할 때 영향을 미치는 인자와 장기간 나타나는 강도감소에 영향을 미치는 인자들의 영향을 설계단계에서 고려하여 최악의 조건에서 지오그리드가 발휘하는 인장강도를 예측하는데 이를 장기 허용강도(long-term tensile strength)라 한다. 현재 토목합성보강재를 이용한 모든 공법의 설계에서 감소계수를 적용하는 방법은 미국 Drexel 대학에 있는 GRI(Geosynthetics Research Institute, Drexel University, PA, USA)의 시험법 GRI Test Method GG-4에 제시된 방법으로 토목합성재료 적용분야에서 토목합성보강재의 강도감소를 유발할 수 있는 모든 인자의 영향을 고려하여 설계 허용강도를 산출하는 방법이다. 이때 보정계수를 감소계수라 하며, 고려되는 감소계수의 종류는 적용분야에 의해 좌우된다. 설계허용인장강도는 다음과 같은 산출식이 적용된다.

$$T_{allowable} = T_{ultimate} \left[ \frac{1}{\prod RF} \right]$$

$$= T_{ultimate} = \left[ \frac{1}{RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_{CD} \times RF_{BD} \dots} \right] \quad (2)$$

여기서,  $T_{ultimate}$  : 광폭 인장시험에서 나온 최대인장강도

$T_{allowable}$  : 설계허용인장강도

$RF_{ID}$  : 시공 시 손상에 대한 감소계수

$RF_{CR}$  : 크리프 변형에 대한 감소계수

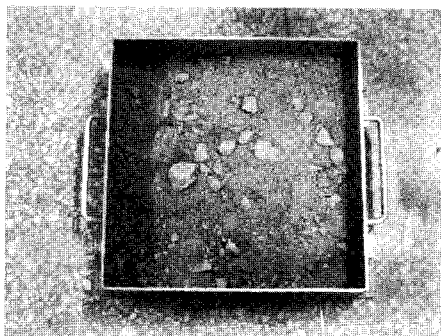
$RF_{CD}$  : 화학적 분해에 대한 감소계수

$RF_{BD}$  : 생물학적 분해에 대한 감소계수

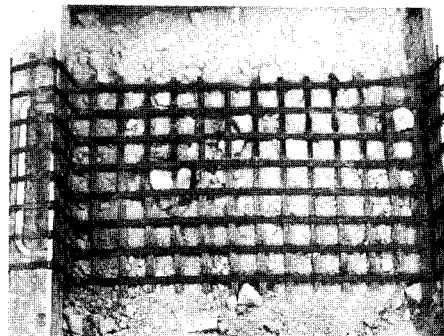
## 2.3 내시공성 시험방법

### 2.3.1 현장시험

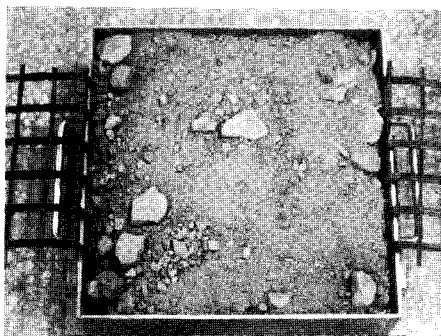
국내의 경우 토목합성재료의 내시공성 평가에 대한 규정이 아직 없는 관계로, 해외의 여러 시험법들을 비교 검토해보면 내시공성 시험은 현장에 포설된 토목합성재료의 상부에 성토재가 포설되고 다짐작업이 시행될 경우, 이러한 시공에 의해 토목합성재료가 손상되는 정도를 평가하기 위해 수행된다. 이 시험법은 ASTM D 5818-95, FHWA, GRI Test Method GG4(b) 등에 규정되



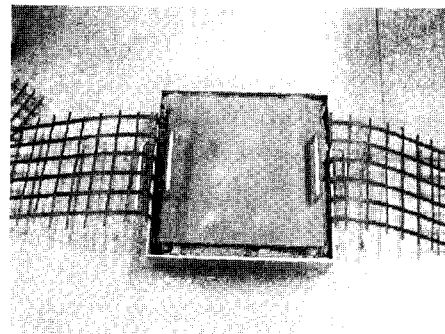
①



②



③



④

Fig. 1. Photographs of installation damage test process

어 있다. 시험방법은 기초노상을 실제 구조물 축조 시와 동일하게 처리한 후 규정 면적의 토목합성재료를 포설한 후 실제 구조물 축조 시와 동일하게 다짐한다. 다짐 완료 후에는 다짐된 상부 흙을 비기계적인 방법으로 토목합성재료에 손상이 가지 않도록 제거하여 토목합성재료를 추출하고, 추출된 시료에 대한 인장시험을 수행하여 원 시료와의 인장강도를 비교한다.

### 2.3.2 실내시험

다음 Fig. 1에서 보는 바와 같이 ENV ISO 10722에 의거, 제작된 실내 내시공성 시험기(Fig. 2)의 다짐상자에 지오그리드를 포설한 후 채움재를 넣고 다짐장비에 의한 다짐 후 물성 시험을 하게 된다. 이때 사용되는 상자의 크기는 300×300×100(mm)의 크기를 가지며 이용되는 원 시험법에서는 채움재는 10mm 체에서는 100% 통과하고 5mm 체에서는 0% 통과하는 크기의 표면이 거친 합성재료(sintered aluminum oxide)를 사용한다. 다짐기는 진동 다짐기를 사용하였으며, 진동수 1Hz로 5±5kPa~900±10kPa의 조건으로 다짐작업을 한다.

## 3. 실험

### 3.1 시료의 준비

#### 3.1.1 채움재

##### (1) 실내시험용

실내시험에 사용된 채움재는 실제 현장에서 사용되는 현장의 흙으로서, KS F 2324의 흙의 공학적 분류에 의하면 화강풍화토에 해당되며, Fig. 3과 4에 입도변화와 함수비를 각각 나타내었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 입경이 10mm인 입자가 99% 이상을 차지하고 있으며, 채움재는 통일분류법상 SW(입도분포가 양호한 모

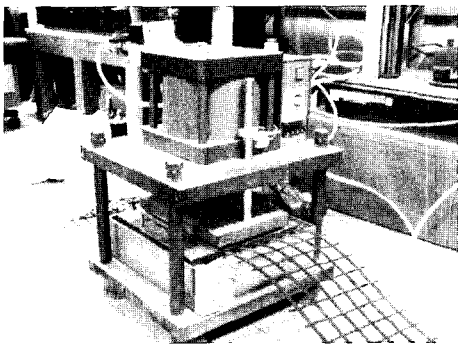


Fig. 2. Photograph of laboratory installation damage tester

래)로 분류되며, Fig. 4에서 채움재의 최대건조밀도는 2.3g/cm<sup>3</sup>, 최적함수비는 13.5%이다.

#### (2) 현장시험용

현장에서 흙 시료를 채취한 후 입도분석과 함수비를 측정하는 후 Fig. 1에서 보는 바와 같이 test box안에 흙 시료를 채운 후 그리드를 포설하였다. 그리고 다시 흙 시료를 그리드 위에 포설한 후 상부를 판으로 덮은 후 다짐작업을 하였다.

다짐작업은 지오그리드 시료 포설 전 극한 다짐조건을 구하기 위하여 흙 입도 크기가 9.5mm이상, 23.5mm이하인 흙을 사용하여 다짐한 경우 200회 다짐이 극한조건임을 알 수 있었다. 그리고 이 상태에서 지오그리드 시료를 포설한 후 200회, 400회, 600회, 800회 순으로 다짐한 다음 인장강도 변화를 측정하여 시공 시 손상을 평가하였다.

#### 1) 현장 채취 골재

실제 현장에서 사용되는 골재를 채취하여 입도분석을 하였으며, 본 실험에서 이용한 기구의 체의 크기는 각각 26.5, 9.5, 4.75, 2.36, 1.18mm, 500μm, 250μm, 150μm, 106μm의 10단계의 체를 사용하였다. 함수비의 측정은 KS F 2306에 의거하여 측정하였다.

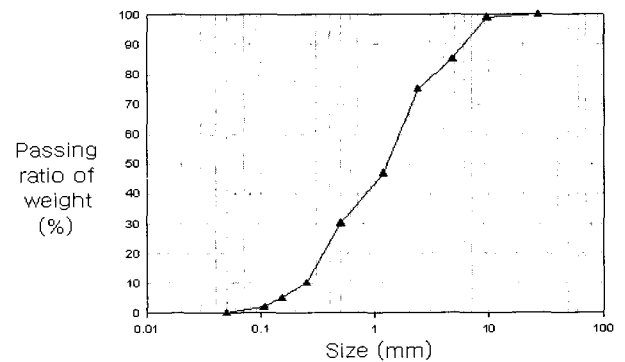


Fig. 3. Grain size distribution of test soils

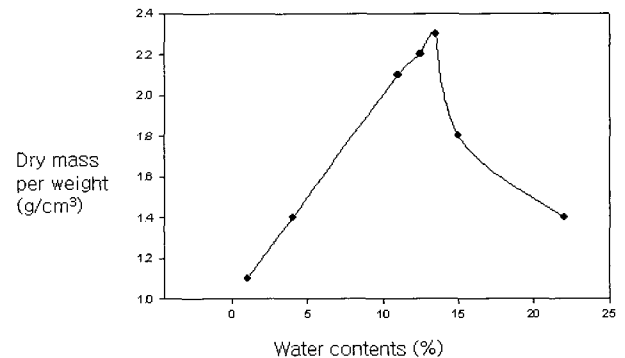


Fig. 4. Water content of soils

$$\omega = \frac{m_a - m_b}{m_b - m_c} \times 100 \quad (3)$$

여기서,  $\omega$  : 함수비(%)

$m_a$  : 시료의 용기와 질량(g)

$m_b$  : 노 건조 시료와 용기의 질량(g)

$m_c$  : 용기의 질량(g)

## 2) 쇄석

현장에서 채취한 골재 중 입자의 크기가 26.5mm 이상인 자갈을 가지고 내시공성실험을 하였다. 앞서 선행된 연구결과와 비교하기 위하여 실시하였으며, 선행 실험의 조건은 최대 입경이 40, 60, 80mm의 조건에 대하여 실시하였다.

### 3.1.2 지오그리드

본 실험에서 사용된 시료는 각각 6T, 8T, 10T의 인장강도를 가진 woven type과 warp-knitted type 그리고 welded type의 지오그리드를 사용하였다.

## 3.2 시공 시 손상 측정

내시공성 시험 후 지오그리드의 시공 시 손상을 시험 전 후의 인장강도 감소로 측정하였으며, 만능인장시험기를 이용하여, ASTM D 4595(Tensile properties of geotextile by the wide-width strip method)에 의거, 인장강도를 평가하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 다짐하중에 따른 강도변화

Welded type 6, 8, 10T 지오그리드의 다짐하중에 따른 인장특성을 Fig. 5~7과 Table 1에 각각 나타내었다.

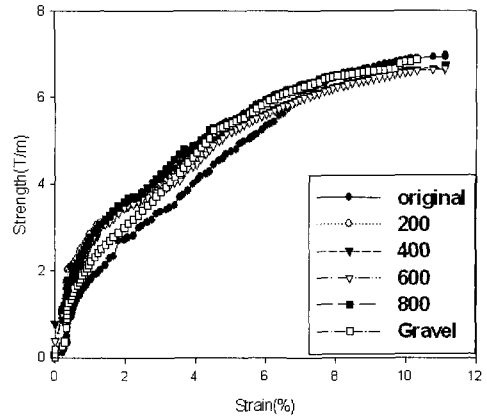


Fig. 5. Strength - strain curves of welded type geogrids (6T)

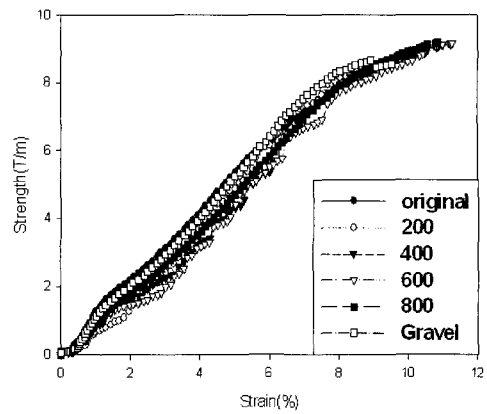


Fig. 6. Strength - strain curves of welded type geogrids (8T)

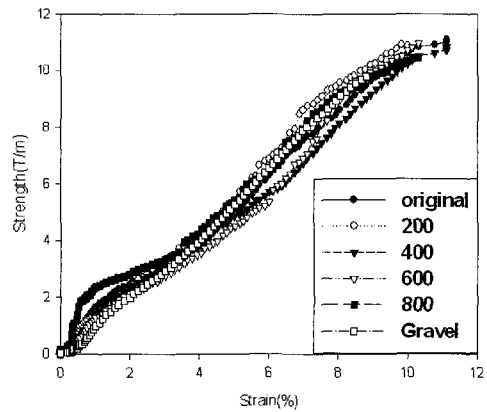


Fig. 7. Strength - strain curves of welded type geogrids (10T)

Table 1. Tensile property of welded type geogrids with cyclic loading time

Test condition	Design strength					
	6T		8T		10T	
	Strength (T/m)	Strain (%)	Strength (T/m)	Strain (%)	Strength (T/m)	Strain (%)
0	6.97	11.11	9.0	10.5	11	11.1
200	6.88	10.3	9.1	11.2	10.8	9.9
400	6.7	11.2	9.1	11.3	10.8	11
600	6.6	11.1	9.1	11.3	10.9	10.3
800	6.8	10.12	9.2	11.3	10.4	10.4
Gravel	6.8	10.7	8.5	9.5	9.7	8.9

Welded type의 경우 다짐 횟수가 증가하여도 급격한 인장강도의 감소를 보이지 않았다. Gravel의 경우에만 약간의 강도 감소를 나타내었다. 이러한 이유는 welded의 경우는 피복 재료가 PVC수지가 아닌 PP수지가 사용되었고, woven type 이나 warp-knitted type에 비하여 상대적으로 두껍게 접점부위가 피복되었기 때문이라고 생각된다. 또한 welded type의 경우 다른 종류의 지오그리드와는 다르게 접점부가 강화되어 강성이 커지기 때문에 강도감소가 작게 나타났다.

Fig. 8~10과 Table 2에 warp-knitted type 지오그리드의 인장특성을 각각 나타내었다. 반복하중이 증가할수록 감소되는 경향이 뚜렷하게 나타났다. Warp-knitted type 지오그리드는 전형적인 지오그리드의 인장강도 곡선을 따른다. 이는 이러한 warp-knitted type의 지오그리드는 내 시공성 시험에서 지오그리드에 손상이 많이 되기 때문이며 피복 재료에 영향을 받지 않기 때문이다. 즉 제품의 제조공정에서 발생하는 제품 자체의 구조적인 특징으로 인하여 지오그리드의 표면이 상대적으로 약하기 때문이다.

Fig. 11~13과 Table 3에 woven type 지오그리드의 인장특성을 각각 나타내었다. 반복하중이 증가함에 따라 인장강도의 감소경향은 다른 종류의 지오그리드와 비슷하게 나타났다. 그러나 gravel에서의 감소가 다른 종류의 지오그리드보다 더 크게 나타났는데 warp-knitted type와 마찬가지로 상대적으로 지오그리드의 표면구조가 반복하중에 약하기 때문이라고 생각된다.

Fig. 14는 지오그리드의 종류별 횟수에 따른 인장강도의 변화를 나타낸 것이다. Welded type의 경우는 큰 감소를 나타내지는 않았지만 woven 및 warp knit type 지오그리드의 경우는 반복하중의 증가, 특히 gravel에서의 시공 시 감소되는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 이는 극한조건에서의 손상을 의미하기 때문에 상대적으로 다른 두 종류의 지오그리드보다는 내시공성이 우수하

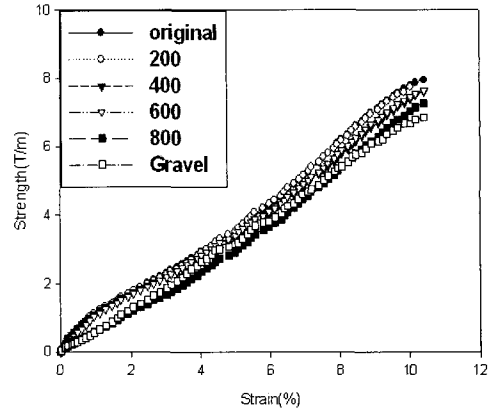


Fig. 8. Strength - strain curves of warp-knitted type geogrids (6T)

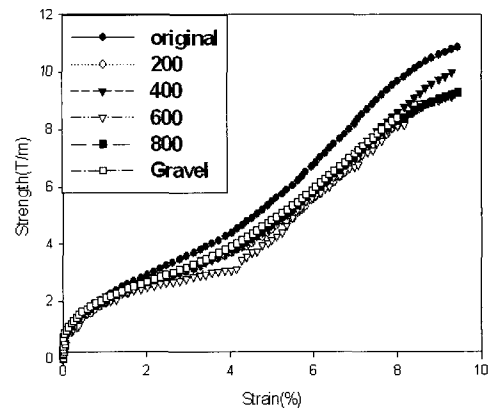


Fig. 9. Strength - strain curves of warp-knitted type geogrids (8T)

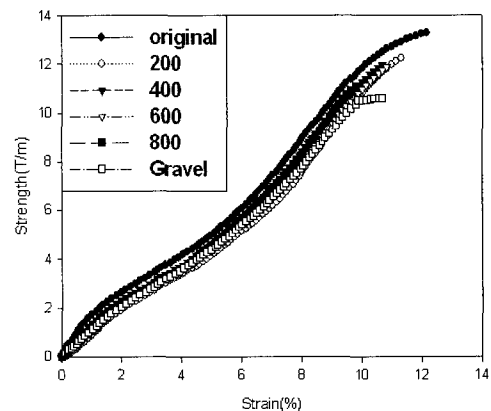


Fig. 10. Strength - strain curves of warp-knitted type geogrids (10T)

Table 2. Tensile property of warp-knitted type geogrids with cyclic loading time

Test condition	Design strength					
	6T		8T		10T	
	Strength (T/m)	Strain (%)	Strength (T/m)	Strain (%)	Strength (T/m)	Strain (%)
0	7.9	10.4	10.8	9.4	13.2	12.1
200	7.7	10.0	9.1	9.2	12.2	11.3
400	7.7	10.5	9.9	9.3	11.9	10.6
600	7.8	10.6	9.1	9.4	11.8	10.8
800	7.7	10.7	9.2	9.5	11.0	9.8
Gravel	6.9	10.4	8.4	8.0	10.5	10.8

Table 3. Tensile property of woven type geogrids with cyclic loading time

Test condition	Design strength					
	6T		8T		10T	
	Strength (T/m)	Strain (%)	Strength (T/m)	Strain (%)	Strength (T/m)	Strain (%)
0	7.9	8.5	9.5	10.2	12.7	10.4
200	6.9	8.5	9.5	10.3	12.9	10.2
400	6.9	8.4	9.6	10.2	12.4	10.1
600	6.8	8.5	9.7	10.4	12.5	10.2
800	7.0	8.5	8.6	9.9	12.3	10.0
Gravel	5.8	8.4	8.4	9.9	10.6	10.1

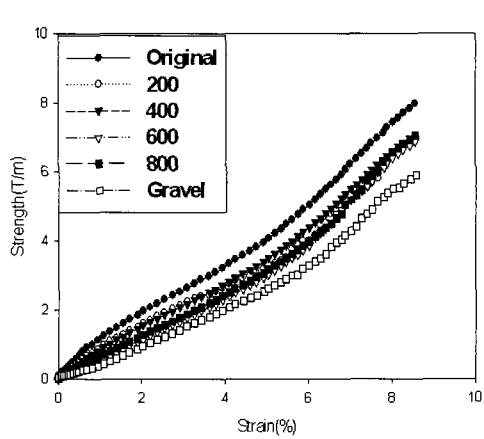
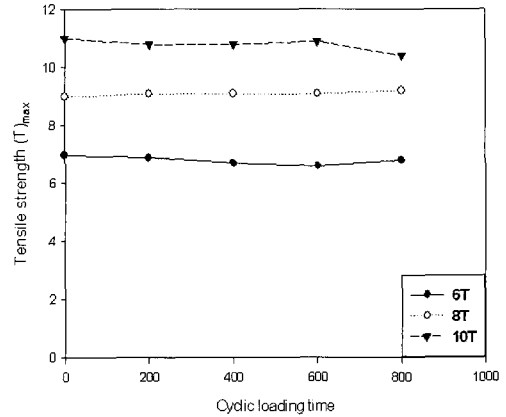


Fig. 11. Strength - strain curves of woven type geogrids (6T)



(a) welded type

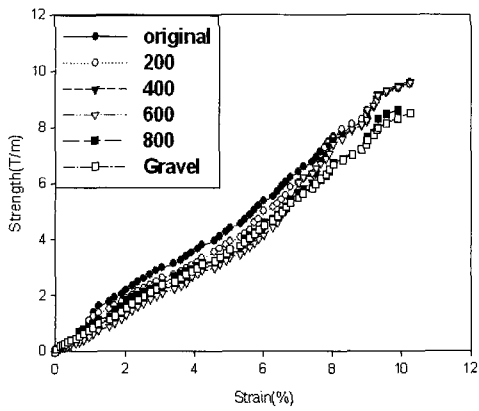
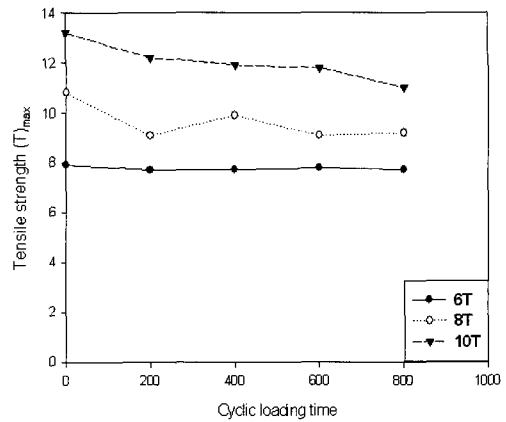


Fig. 12. Strength - strain curves of woven type geogrids (8T)



(b) warp-knitted type

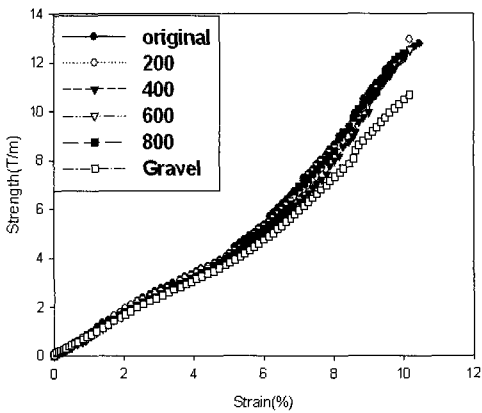
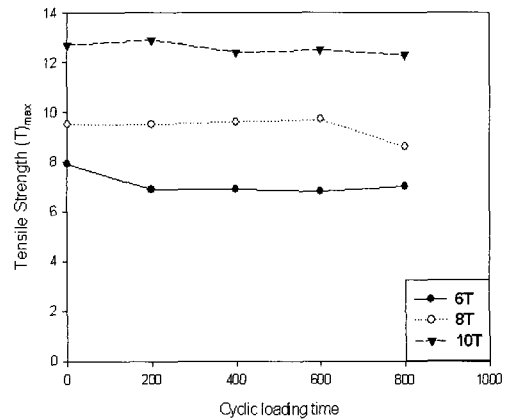


Fig. 13. Strength - strain curves of woven type geogrids (10T)



(c) woven type

Fig. 14. Tensile strength vs. cyclic load time curves

다고 할 수 있다.

Fig. 15에 지오그리드별 다짐 횟수별 P.R.S(Percent of residual strength)을 나타내었다. 다짐횟수가 증가할수록 residual strength는 감소하였다. 따라서 다짐횟수가 내시공성 시험에서 중요한 인자로 작용함을 확인할 수 있다. 특히 welded type의 경우는 그 감소정도가 다른 종류의 지오그리드보다 작음을 확인할 수 있다. 이는 지오그리

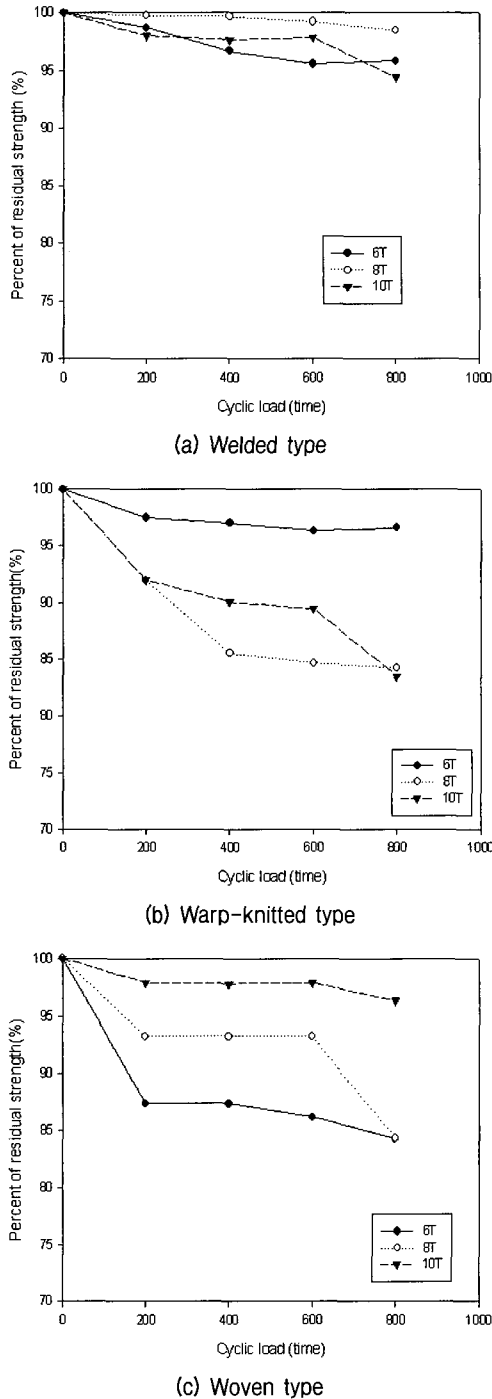


Fig. 15. Percentage of residual strength (P.R.S) vs. cyclic load time curves

드의 표면특성과 피복 두께와 재료 고유의 특성에 의한 것이라고 생각된다.

#### 4.2 시공 시 손상에 의한 감소계수

시공 시 손상에 의한 인장강도 변화로부터 구한  $RF_{ID}$ 를 Table 4에, 허용인장강도의 결정을 위한 감소계수의 범위를 Table 5에 각각 나타내었다. 감소계수의 범위가 1.1~1.5정도임을 고려할 때 시공 시 손상에 의한 감소계수는 이보다 작음을 알 수 있었다. Fig. 16에 다짐하중에 의한 시공 시 손상 감소계수를 나타내었다. 반복횟수가 증가함에 따라 감소계수는 또한 증가하였는데, 특히 극한조건인 gravel에서의 감소계수가 큼을 알 수 있었다.

#### 4.3 설계허용 강도

설계에 이용되는 토목합성보강재의 인장강도는 실내 시험을 통해 얻어진 최대인장강도의 값이 그대로 적용되는 것이 아니라 적용분야에서 고려되는 인장강도의 감소요인을 고려한 감소계수를 적용하거나 생산, 운송 및 저장단계에서 발생할 수 있는 보강재의 인장강도 값의 오차 등을 고려한 감소계수를 적용하는 방법이 있다. 즉 강도감소를 유발 할 수 있는 모든 인자의 영향을 고려하여 설계 허용강도를 산출하는 방법이다. 최악의 조건에서 지오그리드가 발휘하는 인장강도인 허용강도를 예측함으로써 실제 현장에서의 적용가능 한 지오그리드의 강도를 얻을 수 있다. Table 6에 각각의 지오그리드에 대한 설계 허용강도를 나타내었다.

Table 6에서 보는 바와 같이 지오그리드의 극한강도 ( $T_{ultimate}$ )와 허용강도( $T_{allowable}$ )를 비교해보면, welded

Table 4. Reduction factor of installation damage

Geogrid		RFID				
		200	400	600	800	Gravel
Welded type	6T	1.01	1.04	1.05	1.025	1.025
	8T	0.98	0.98	0.98	0.97	1.05
	10T	1.01	1.01	1.0	1.05	1.13
Warp-knitted type	6T	1.02	1.02	1.01	1.02	1.14
	8T	1.18	1.09	1.18	1.17	1.28
	10T	1.08	1.10	1.11	1.2	1.25
Woven type	6T	1.14	1.14	1.16	1.12	1.36
	8T	1.0	0.98	0.97	1.10	1.13
	10T	0.98	1.02	1.01	1.04	1.02

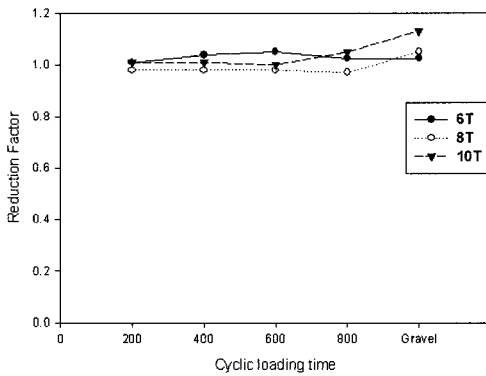


Table 5. Example of suggested  $RF_{ID}$  values

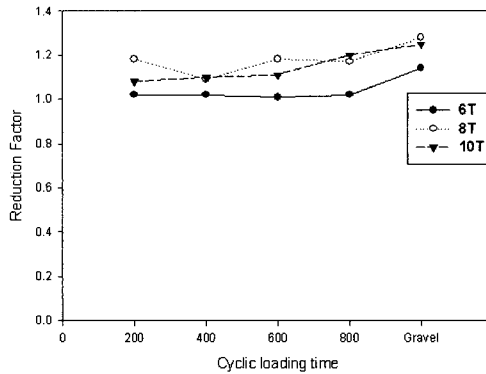
Organizations	Type of geogrid	Particle types	$F_{ID}$
FHWA (Elias, 2001)	PET yarn + PVC coating	Max. particle size: 100 mm	1.30–1.85
		Max. particle size: 20 mm	1.10–1.30
Hufenus et al. (2005)	PET yarn + PVC coating	Fine-grained soils (clay, silt, sand)	1.1–1.4(a)
		Rounded coarse-grained soil < 150 mm	1.1–1.5(a)
		Angular coarse-grained soil < 150 mm	1.2–1.8(a)
		Fine-grained soils (clay, silt, sand)	1.2–1.7 <sup>(b)</sup>
		Rounded coarse-grained soil < 150 mm	1.2–1.8 <sup>(b)</sup>
		Angular coarse-grained soil < 150 mm	1.3–2.1 <sup>(b)</sup>

\*For ground pressure < 55kpa; multiply by 1.19 when number of passes > 8.

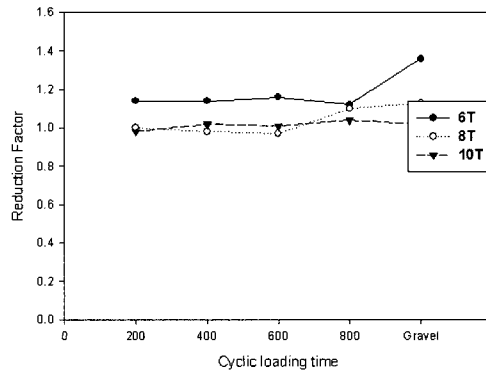
<sup>(b)</sup>For ground pressure > 55kpa; multiply by 1.19 when number of passes > 8.



(a) welded type



(b) warp-knitted type



(c) woven type

Fig. 16. Reduction Factor vs. Cyclic load time curves

Table 6.  $T_{allow}$  of geogrids

Geogrid		$T_{allowable}$	
		$T_{ultimate}$	$T_{allowable}$
Welded type	6T	6.9	6.8
	8T	9.0	8.5
	10T	11	9.7
Warp-knitted type	6T	7.9	6.9
	8T	10.8	8.4
	10T	13.2	10.6
Woven type	6T	7.9	5.1
	8T	9.5	8.4
	10T	12.7	12.4

type과 warp-knitted type 지오그리드의 경우는 실제 측정된  $T_{ultimate}$  강도만큼 실제 현장에 적용할 수 있다. 그러나 woven type 지오그리드의 경우는 설계강도 6T에서의 설계허용강도가 극한강도보다 작기 때문에 실제 6 ton/m 이상에서 사용할 경우 안전율 산출에 수정이나 보완이 필요함을 의미한다.

## 5. 결론

실내 실험을 통한 지오그리드의  $RF_{ID}$ 를 측정된 결과 시편의 종류에 따라 다른 결과를 나타내었으나 전체적인 경향은 일치함을 알 수 있었다. 또한 안전율을 고려하여 제품이 생산되었음을 확인 할 수 있었으며, 실험 결과를 요약하면 다음과 같다

- (1) Welded type의 경우 다짐횟수에 의한 어떠한 경향도 발견 할 수 없었다. 이는 welded type의 피복 두께와 피복 재료에 의한 것으로 생각된다. 특히 8T의 경우는 다짐횟수가 증가하더라도 강도가 증가하는

데 이는 초기 제품의 강도가 워낙 높기 때문에 오차의 범위 내에서 강도측정이 이루어졌기 때문이라고 생각된다.

- (2) Warp-knitted type의 결과에서 보듯이 다짐횟수가 증가 할수록 인장강도 감소율이 감소하는 경향을 나타냈다. 특히 자갈을 가지고 실험을 하였을 경우, 그 감소율이 다른 조건보다 큼을 확인할 수 있었다.
- (3) Woven type에서는 전형적인 다짐횟수와 인장강도의 감소를 살펴볼 수 있었다. 특히 800회의 반복하중과 자갈에서 큰 인장강도 감소를 나타내었다.
- (4) 각각의 지오그리드에 대하여 극한강도를 구하였다. woven type의 6T를 제외한 모든 지오그리드가 실제의 허용강도가 실제 측정된 강도보다 크게 나타났다.

이상에서 나타난 바와 같이 실제 시공현장의 골재를 가지고 실험을 한 결과 다짐횟수와 인장강도 감소의 관계를 파악할 수 있었으며, 이는 곧 실외실험을 대체할 수 있는 골재의 선정과 다짐횟수의 결정에 영향을 미칠 것이라 생각된다. 그러나 이번 실험에서는 골재의 입자분포가 좁게 이루어져 있으며, 또한 다른 종류의 골재에 대하여 어떠한 자료도 존재하지 않기 때문에 이러한 방향에서 좀 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 R01-2004-000-10953-0 지원으로 수행되었음.

## 참고 문헌

1. Huang C. C. (2006), "Investigation of installation damage of some geogrids using laboratory tests", *Geosynthetics International*, 13, No.1, pp.23-27.
2. Hsieh, C. (2000), "The study of the installation damage of flexible Geogrids", *Eurogeo 2000*, Vol.2. pp.889-892.
3. Hsieh, C. (2001), "The Installation damage of woven rib geogrids under various backfills", *Geosynthetics Conference 2001*, pp.553-557.
4. Silvano, R. P. (2004), "Damage during installation laboratory test-influence of the type of granular material in the behavior of non-woven geotextiles", *GeoAsia 2004*, pp.967-970.
5. Hufenus, R. (2006), "Full-scale field tests on geosynthetic reinforced unpaved roads on soft subgrade", *Geotextiles and Geomembranes*, 24, pp.21-37.
6. Hufenus, R. (2005), "Strength reduction factors due to installation damage of reinforcing geosynthetics", *Geotextiles and Geomembranes*, 23, pp.401-424.
7. Huang, C. C. (2004), "Damage of geogrids under cyclic load", *GeoAsia 2004*, pp.535-538.
8. Shukla, S. K. (2004), "Functions and installation of paving geosynthetics", *GeoAsia 2004*, pp.314-317.
9. 전한용 (1998), "토목건설용 고분자재료", 전남대학교 출판부, 광주, pp.9-116.
10. 전한용 외 3인 (2001), "토목합성보강재", 전남대학교 출판부, 광주, pp.9-61.
11. Koerner, R. M. (1998), "Designing with Geosynthetics", 4th Ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp.69-441.

(접수일자 2007. 5. 14, 심사완료일 2007. 7. 20)