

# 신장성 지오그리드 보강재의 인발저항특성 평가를 위한 시험 및 수치해석 기법

## Testing and Numerical Analysis Techniques for Pull-out Resistance Characteristics of the Extensible Geogrid

이성혁<sup>1</sup> · 고태훈<sup>2</sup> · 이진욱<sup>3</sup> · 황선근<sup>4</sup>

Seong-Hyeok Lee · Tae-Hoon Koh · Jin-Wook Lee · Seon-Keun Hwang

**keyword** : geogrid, reinforced earth retaining wall, large scale pull-out test, pull-out resistance, interface element

### Abstract

Reinforced earth structure has been regarded as general structure in order to achieve efficient land utilization as well as securing safety in railway service lines in other countries, but there are no construction actual results in Korea.

In this study, the soil-geogrid interaction mechanism was investigated experimentally and numerical analysis was performed to predict Pull-out behaviour of geogrid embedded in reinforced earth body. This experimental data and analysis result can not contribute to understand the soil-geogrid interaction mechanism at soil-geogrid interface but also be used in design practice of the railway reinforced earth structures.

### 1. 서론

국내 철도노반구축에 있어서 아직 시공실적이 미미한 보강토벽 구조물은 국외의 경우 철도 운행선상의 안전성 확보, 용지의 효과적인 활용 차원에서 일반화된 구조물로서 널리 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 지오그리드와 흙의 Interaction 메카니즘을 실험적으로 평가분석하고 보강토체내 지오그리드의 인발거동을 예측하기 위한 이론적 연구를 병행함으로써, 향후 철도 보강토벽 구조물의 효과적인 설계에 도움이 되고자 하였다.

### 2. 인발저항특성 평가를 위한 시험기법

흙-지오그리드의 Interface 특성을 평가하기 위해서 현재 인발시험과 전단시험이 주로 수행되어 오고 있으나, 일반적으로 인발시험이 보강토 구조물에서 보강재의 거동을 더 잘 모사하는 것으로 알려져 있다 [1,2]. 이러한 보강토체 내부에서의 인발저항은 지오그리드의 종방향 부재에 작용하는 흙의 마찰, 지오그리드 횡방향 부재에 작용하는 흙의 수동저항 그리고 지오그리드 Aperture 내에서의 흙 입자의 얽물림 (Interlocking)의 복합적인 상호작용에 의해서 발생되며, 이러한 인발메카니즘은 지오그리드의 강성, 형상, 표면의 거칠기, Aperture의 크기 그리고 흙입자의 크기 및 구속압 등에 좌우된다.

1 정회원, 한국철도기술연구원 선임연구원  
2 정회원, 한국철도기술연구원 주임연구원  
3 정회원, 한국철도기술연구원 선임연구원  
4 정회원, 한국철도기술연구원 책임연구원

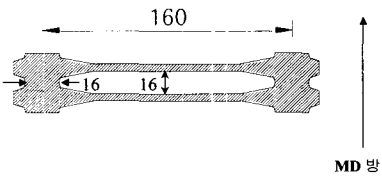
#### 2.1 시료토 및 지오그리드의 특성

본 연구에서 사용된 시료토와 지오그리드는 Table 1 ~ 2와 같은 특성을 보인다.

**Table 1 Material Properties of Test Soil**

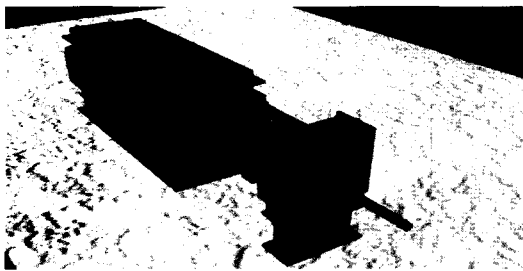
비 중	건조밀도 ( $\text{tf/m}^3$ )		상대 밀도 (%)	내부 마찰각 ( $^\circ$ )	점착력 ( $\text{kg/cm}^2$ )	통일 분류
	$\gamma_{d \max}$	$\gamma_{d \min}$				
Gs						
2.61	1.682	1.462	75.4	39	0	SP

**Table 2 Properties of Geogrid (Unit : mm)**

보강재 종류		
QC강도 (kN/m)	80.0	
재질	고밀도 폴리에틸렌 (HDPE)	

**2.2 대형인발시험기**

본 연구에서 사용된 인발시험기는 Fig. 1에 보인 바와 같이 인발상자, 인발장치, 계측기 및 자료 수집기 등으로 구성된다. 보강토체 파괴시 보강재 거동으로 인한 최대주응력 방향의 변화를 고려하여 인발시험기의 크기는  $55\text{cm} \times 170\text{cm} \times 32\text{cm}$ 로 제작하였으며, 구속압(0.3, 0.6, 0.9 $\text{kgf/cm}^2$ )은 에어백을 이용해서 공기압에 의해 제어되도록 하였다. 또한 대상 지오그리드의 길이는 다수의 예비시험을 수행하여 얻은 유효부착길이(Anchorage Length)이상을 확보하도록 길이 75cm와 폭 40cm로 선정하였으며 지오그리드의 인발속도는 1mm/min로 일정하게 유지하였다. 인발력과 인발변위는 각각 Load Cell(용량 5tonf)과 LVDT(선단인발변위 : 용량 300mm, 지오그리드 내부 절점변위 : 용량 50mm)를 이용하여 계측하였다.



(a) Schematic Diagram

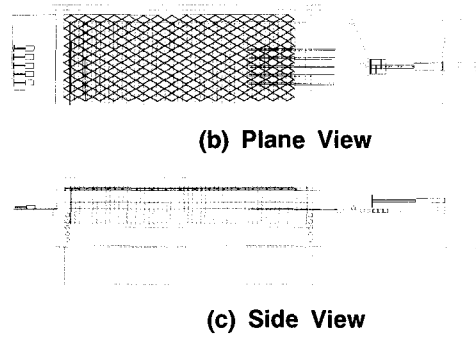


Fig. 1 Large Scale Pull-out Test Device

**Table 3 Location for Measuring Nodal Displacement of Geogrid**

그리드 내부 절점변위 측정 Node	측정위치	비고
Node (1)	0cm	인발상자 전면벽으로부터의 이격거리
Node (2)	30cm	
Node (3)	45cm	
Node (4)	60cm	

**2.3 시험방법**

대형인발시험은 GRI Standard[3]를 준용하여 수행하였으며(부록참조), 특히 인발시 시험기 전면벽의 영향을 최소화하기 위해서 슬리브를 설치하였으며, 또한 전면벽에서의 마찰저항을 최소화하기 위해 그리스를 도포한 셀을 부착하였으며, 슬리브로부터의 토사 유실을 방지하기 위해 슬리브 주변을 벤토나이트 슬러리로 처리하였다.

**2.4 시험결과**

**2.4.1 선단인발변위에 따른 인발하중**

인발하중과 선단인발변위와의 관계는 Fig. 2와 같다.

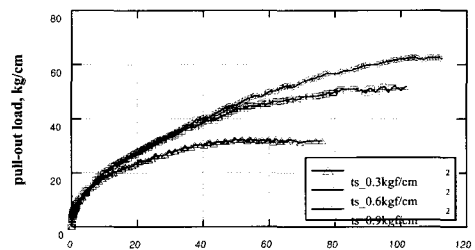


Fig. 2 Pull-out Load-Frontal Displacement Relationship

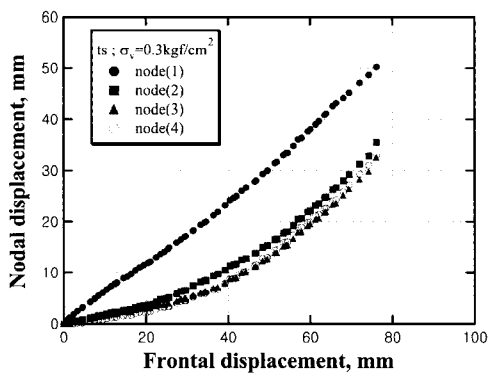
그림에 보인 바와 같이, 구속압력의 증가에 따라 인발력이 증가하며, 곡선의 기울기가 급해지는 것을 볼 수 있다. 또한, 최대인발력이 발생하는 최대인발변위 역시 증가하는 것을 알 수 있으며 이는 구속압력이 증가하면 지오그리드의 인발저항과 접촉강성이 증가한다는 것을 의미한다.

보강재의 마찰저항에 대한 구속압력의 효과는 국내외 여러 연구에 의해 입증되어온 것으로 McGown et al.(1982), Juran, I. et al.(1988)의 연구에서도 구속압력의 증가로 접촉면 주변의 저항이 증가한다고 제시되어 있다[4, 5]. 아울러 지오그리드 보강토에 있어서 구속압력의 증가는 횡방향 요소내의 흙과 입자의 얽물림(Interlocking)에 의해 수동저항이 증가되고 보강재의 신장이 억제됨으로써 인장강도와 강성계수의 결보기 증가를 가져온다.

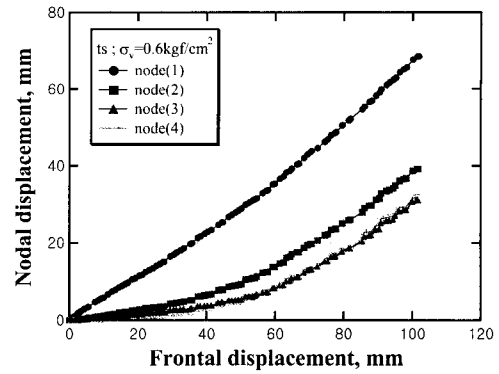
이러한 결과로부터 지오그리드 보강토 구조물에 대한 설계 시에는 지오그리드에 대한 불구속 인장시험으로부터 얻어진 재료 특성보다는 인발시험으로부터 얻어진 토체내 구속압 상태 하에서의 변형진행에 따른 인장특성을 고려해야 하는 것을 알 수 있다.

**2.4.2 선단인발변위에 따른 지오그리드 내부 절점 인발변위**

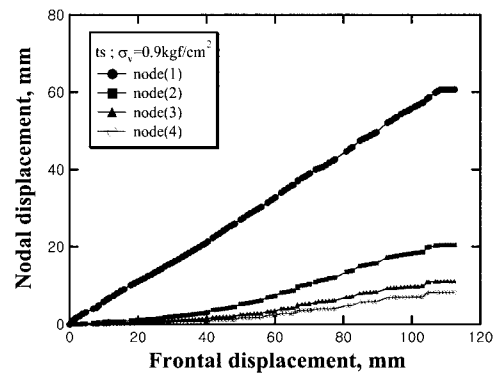
지오그리드 선단인발변위에 대한 보강토체내 지오그리드 내부의 각 절점에서 발생한 인발변위를 구속압에 따라 고찰함으로써 지오그리드의 절점을 따라 발생하는 진행성 하중전이 거동을 확인하였다.



(a) Confining Pressure 0.3kgf/cm<sup>2</sup>



(b) Confining Pressure 0.6kgf/cm<sup>2</sup>



(c) Confining Pressure 0.9kgf/cm<sup>2</sup>

**Fig. 3 Nodal Displacement - Frontal Displacement Relationship**

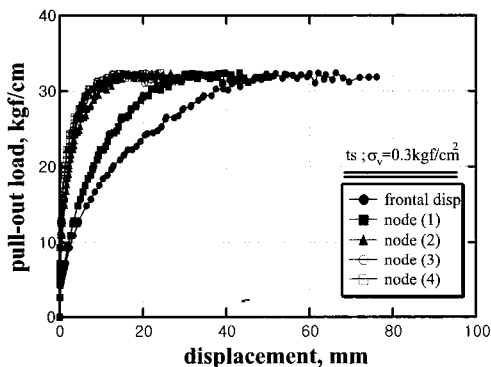
Fig. 3 (a) ~ (c)는 선단인발변위와 지오그리드 절점별 인발변위의 관계를 나타낸다. 여기에서, 선단인발변위와 Node(1)의 인발변위는 선형적인 상관관계를 갖고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 1 이하의 기울기를 갖는 선형관계는 Node(1)의 절점변위가 선단인발변위에 추종하여 작게 발생하는 것을 의미하고 있으므로 선단인발변위와 Node(1)에서의 인발변위의 차는 지오그리드의 강성에 따른 자체 신장성을 나타냄을 알 수 있다.

또한 기타 절점의 경우에는 초기에 구속압력에 따라 비선형적인 다른 경향을 보이고 있으나, 이후 인발이 진행됨에 따라 곡선의 기울기는 선형화되는 경향을 보이고 있다. 즉, 초기에 지오그리드의 인발저항이 발생하다가 일정한 변위(변곡점)이후부터 지오그리드가 인발되어 Node(1)과 유사한 기울기를 이루게 된다. 이러한 경향은 구속압에 따라 상이한 것을 알 수

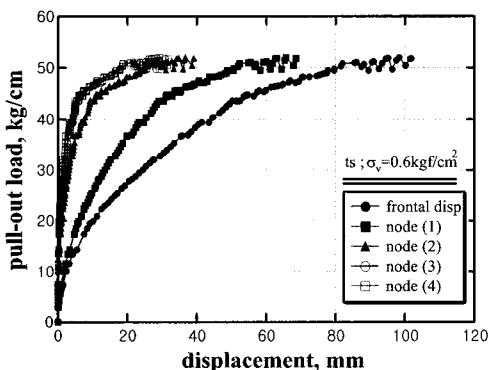
있다. 따라서 기울기의 변곡점은 인발저항의 최고값을 의미하는 것으로 볼 수 있으며, 또한 구속압력의 증가와 토조 전면에서 멀어질수록 지오그리드 절점인발변위가 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 보강재 내부 절점인발변위 특성으로부터 보강토체의 변형에 따른 보강재의 유효부착길이를 확인할 수 있다.

**2.4.3 지오그리드 선단 및 절점 인발변위에 따른 인발하중**

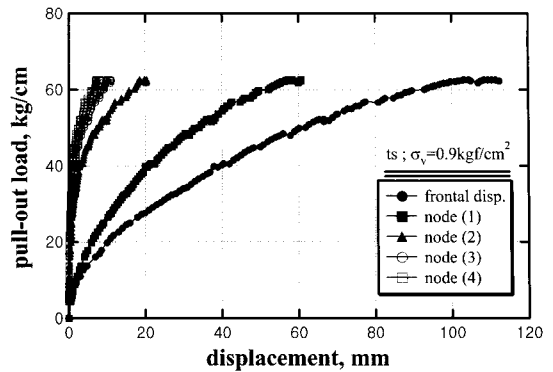
Fig. 4는 선단인발변위 및 보강토체내 지오그리드 내부 절점별 인발변위와 인발하중의 관계를 보인 것으로 그림에 보인 바와 같이 인발력이 토체 내의 지오그리드 선단으로부터 후미 자유단까지 전달되면서 그에 따른 지오그리드 각 위치에서 변위가 발생하여 지오그리드에 분포하게 된다.



(a) Confining Pressure 0.3kgf/cm<sup>2</sup>



(b) Confining Pressure 0.6kgf/cm<sup>2</sup>



(c) Confining Pressure 0.9kgf/cm<sup>2</sup>

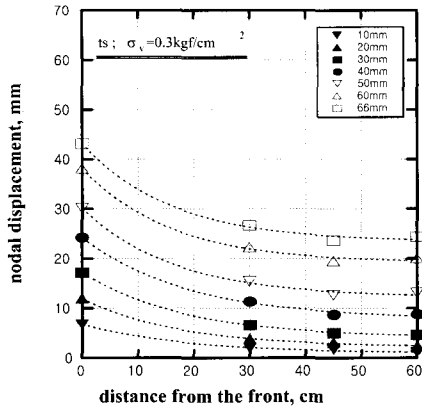
**Fig. 4 Pull-out Load - Frontal & Nodal Displacement Relationship**

실험결과에서 지오그리드 자체가 신장을 하면서 토체 내의 지오그리드가 인발되는 것을 볼 수 있으며 또한 신장량은 각 지오그리드의 위치에 따라 분명한 차이를 보이고 있다. 즉, 지오그리드 내부에서 발생하는 인발변위는 지오그리드 자체의 신장특성에 지배받는 것을 알 수 있으며 특히 구속압이 큰 경우에는 좀더 확연하다. 따라서, 이러한 토체내부에서의 하중전이 거동은 지오그리드의 인발저항을 평가하는데 있어서 매우 중요한 사항이라 할 수 있으며 설계와 해석시에 이를 고려할 필요가 있을 것이다.

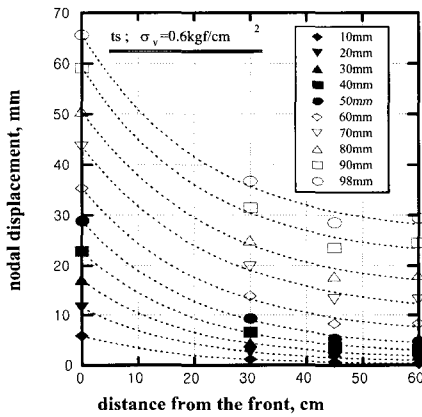
**2.4.4 지오그리드 선단인발변위에 따른 절점 인발변위 분포**

각 구속압에 대한 선단인발변위의 진행에 따른 보강토체 내부 지오그리드 각 절점(Node No.)에서의 인발변위들을 도시하면 Fig. 5와 같다.

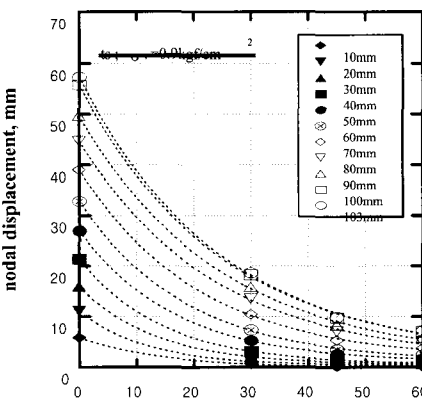
인발거동의 초기 단계에서는 지오그리드의 선단변위가 지배적이며, 전체적으로 인발이 진행되는 동안 지오그리드 선단인발변위가 증가할수록 선단인발변위와 보강토체내 지오그리드 각 위치에서의 인발변위 차이가 증가하는 경향을 보이고 있으며, 구속압이 증가함에 따라 지오그리드 선단으로부터 유발된 인발변위는 후면으로 갈수록 감소하며, 구속압이 증가할수록 지오그리드 내부에서 발생하는 인발변위가 구속되어 유효부착길이가 짧아지는 것을 알 수 있다.



(a) Confining Pressure 0.3kgf/cm<sup>2</sup>



(b) Confining Pressure 0.6kgf/cm<sup>2</sup>



(c) Confining Pressure 0.9kgf/cm<sup>2</sup>

Fig. 5 Distribution of Nodal Displacement

### 2.4.5 최대인발하중 작용시 지오그리드 변형률 및 정규화변위 분포

각 구속압에 따른 최대인발력 발생 시 지오그리드 내부 각 절점에서의 인장변형률 분포와 정규화변위 분포는 Fig. 6 ~ 7과 같다. 그림에서와 같이 구속압의 증가는 지오그리드에 발생하는 전단응력에 영향을 주어 유효부착길이를 감소시킴으로써 결국 지오그리드와 토체의 Interface에서의 전단저항을 증가시키게 된다.

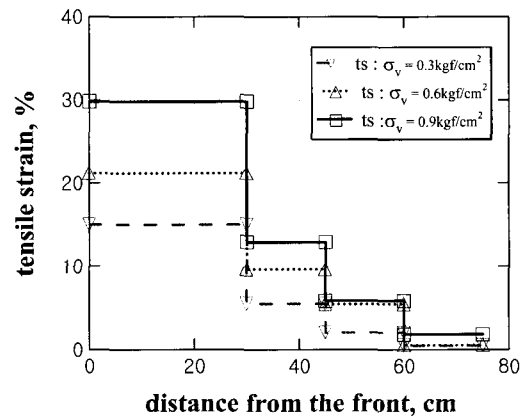


Fig. 6 Distribution of Geogrid Tensile Strain

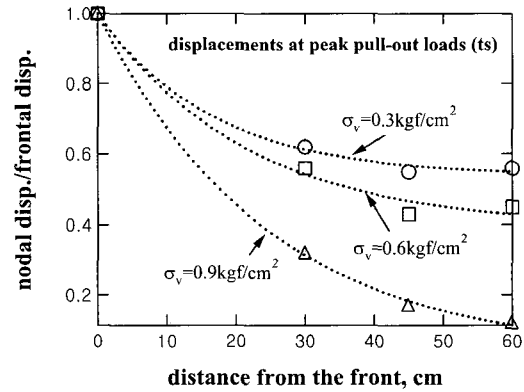


Fig. 7 Distribution of Normalized Displacement

### 2.4.6 평균인발저항 평가

최대인발력 발생시 구속압에 따른 지오그리드 각 절점에서의 변형률에 따른 인장력분포는 Fig. 8에 보인 바와 같다. Fig. 8에 보인 바와 같이, 인장력은 지오그리드 선단으로부터 후미 자유단으로 가면서 점진적으로

감소하는데, 이러한 경향은 서로 다른 구속압 하에서도 동일하게 나타난다.

한계평형법에 의한 보강토구조물의 설계에 있어서, 흙과 보강재간의 인발저항은 평균저항법에 의해 평가될 수 있는데, 이러한 인발저항을 평가하기 위한 세 가지 방법, 즉 Ochiai(1996)가 제안한 방법 중 전체면적법은 인발전단력이 부설재 전면적으로 저항한다고 가정한 것이며, 유효면적법은 보강재 후미의 인발전단저항에 기여하고 있지 않은 부분을 제거한 면적으로만 저항한다고 가정하고 또한 평균구배법은 유효면적법을 확장한 것으로서 실측치를 토대로 비교적 정밀도가 높은 인발전단응력을 구할 수 있는 방법으로 알려져 있다[6]. 이러한 평가방법은 모두 실내시험결과로부터 인발저항을 평가하는데 이용되는데 각 평가방법에 따라 인발저항을 산정한 결과를 보이면 Fig. 9와 같다.

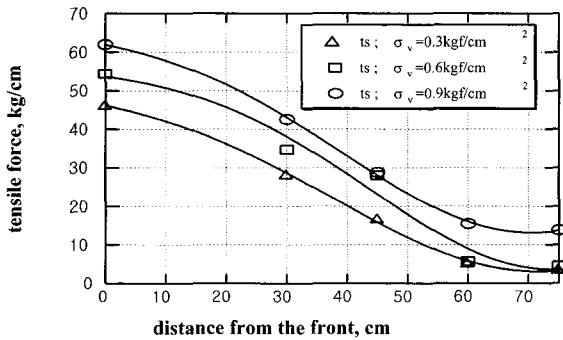


Fig. 8 Distribution of Pull-out Resistance

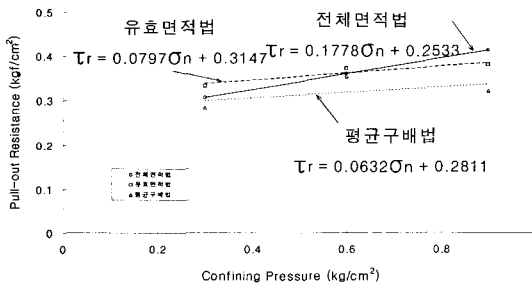


Fig. 9 Average Pull-out Resistance

Fig. 9의 경우, 지오그리드 자체가 약간 신장되면서 전체적으로 인발되는 작은 구속압의 범위(0.3kgf/cm<sup>2</sup>)에 대해서는 이러한 세 가지 방법 모두 유사한 인발

저항을 보였으며, 특히 전체면적법의 경우, 구속압에 좀 더 민감한 경향을 보였다.

### 3. 인발저항특성 평가를 위한 수치해석기법

지오그리드 보강토벽 구조물을 효과적으로 설계하기 위해서는 적절한 보강재의 길이를 산정하기 위해서 토체내에 설치되어 있는 보강재의 인발거동을 파악할 필요가 있다. 토체내에 설치되어 있는 토목섬유의 인발거동은 많은 연구자들에 의해 연구되어왔으며 [7, 8], 이러한 연구의 대부분은 실험적이며 토목섬유와 흙의 Interaction 메카니즘을 이해하는데 도움이 될 뿐만 아니라 많은 중요한 데이터를 제공하였다. 하지만 토체에 설치한 토목섬유의 인발거동을 예측하기 위한 이론적 연구는 제한적인 것이 사실이다[9].

Jewell et al.(1984)는 조립토에 설치한 지오그리드의 인발저항(Pull-out Capacity)을 평가하기 위한 경험적-이론적인 접근을 시도하였으며 또한 이러한 방법에 대한 개선이 제안되었다[7]. 하지만 전형적인 토목섬유 보강재의 적용(예, 보강토벽)에 있어서 인발저항은 사용응력(Working Stress)조건에 미치지 못한다. 그러한 사용응력조건에서의 보강토구조물의 거동을 이해하기 위해서는 전체적인 인발력-변위 응답에 대한 지식이 필요하게 되어 조립토에 설치한 토목섬유의 인발거동을 예측하기 위한 적절한 방법을 개발하기 위한 연구가 시작되었다.

따라서 본 장에서는 모래로 조성된 모형지반에 일체형 지오그리드 보강재를 설치한 대형인발시험을 모형화하여 보강토체 내부에서의 보강재의 인발거동을 예측할 수 있는 수치해석기법을 제시함과 동시에 앞서 수행한 대형인발시험 결과와의 비교분석을 통해 타당성을 검증하였다.

#### 3.1 해석모델

유한차분응력해석 프로그램인 FLAC을 이용하여 해석을 수행하였다. 이 프로그램에서는 평형방정식과 응력변형거동이 유한차분형태로 표현되며 Explicit Iterative Scheme에 의해 문제를 해결해 나간다.

본 장에서는 유한차분법을 이용하여 사질토에 일체형 지오그리드를 설치한 보강토체의 인발하중-인발변위 거동을 예측하기 위한 방법을 제시하였다. 이러한

인발거동 예측을 위해서 흙은 Elastic-Perfectly-Plastic Mohr-Coulomb, 지오그리드 보강재는 선형탄성 케이블로 모델링하였다. Fig. 10은 수치해석을 위해 구성된 대형인발시험의 개략도를 보인 것이다.

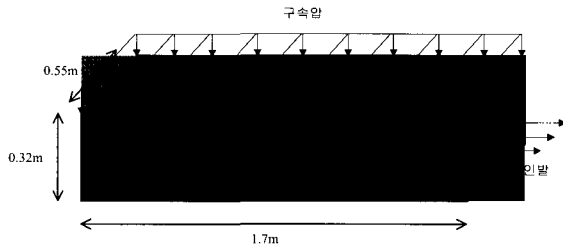


Fig. 10 Schematic Diagram of Large Scale Pull-out Test

모사된 대형인발상자의 실제 크기는 0.55m×1.70m×0.32m, 토체에 설치된 일체형 지오그리드는 0.75m×0.4m이며, 적용된 상부구속압은 0.3, 0.6, 0.9kg/cm<sup>2</sup>, 지오그리드 내부에 발생한 인발변위의 측정위치는 보강재의 선단을 기준으로 30, 45, 60, 75cm이다.

Fig. 11 Analytic Cross Section

Fig. 11과 같이 대형인발시험기를 총 2176 요소의 2차원 평면변형상태로 모사하였으며, 보강재는 총 31 Node로 모델링하였다.

### 3.2 각 모델의 물성

#### 3.2.1 시료토의 입력물성치

시료토는 SP(통일분류법)의 사질토를 대상으로 하였으며, 해석에 사용된 시료토의 물성은 직접전단시험결과와 Ortiz et al.(1986)에 의한 일반적인 범위의 값을 사용하였다[10](Table 4 참조).

Table 4 Input Material Properties of Test Soil

불성치	지반	시료토
$\phi$ (°)		39.7
c (Pa)		0
$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )		1730
Bulk Modulus (Pa)		$1.67 \times 10^4$
Shear Modulus (Pa)		$0.77 \times 10^4$

#### 3.2.2 지오그리드의 입력물성치

사용된 지오그리드 보강재는 국외에서 생산되고 있는 일체형 지오그리드이며 물성은 Table 5와 같다.

Table 5 Input Material Properties of Geogrid

A (m <sup>2</sup> )	$4.03 \times 10^{-4}$
E (Pa)	Table 6 참조
Tensile Yield Strength (N/m)	$8.15 \times 10^4$

인발시험의 해석적 분석과 실험적 고찰[7]을 통해서 보강재를 따라 발생한 최대변형은 하중을 받는 선단에서 발생하며 선단에서 멀어질수록 변형이 감소함을 알 수 있다. 또한 보강재를 따라 발생한 인발력은 토체내에서 전단응력을 유발시키고 토체에서 발생한 주응력의 방향과 크기를 계속 변화시키게 된다. 지오그리드와 같은 신장성 보강재를 시험에 사용하는 경우, 재료의 응력-변형 특성에 의해서 결과의 해석은 더욱 복잡해지며 이러한 복잡한 거동은 수치해석에 많은 어려움을 주게 된다.

Bauer & Mowafy (1988)와 Handel et al. (1990)에 의한 유한요소 시뮬레이션은 일반적으로 보강재의 전 길이에 걸친 재료의 하중-변형률 특성곡선으로부터 결정된 단일의 탄성계수를 적용해서 인발거동(하중 또는 변형률)의 예측을 수행하였는데, 이러한 방법은 강(Steel)보강재(하중-변형률 관계가 시간 의존적이지 않은 경우)에 국한해서 그 유효성이 입증되었다[11, 12].

본 수치해석에서 대상으로 하고 있는 보강재는 강(Steel)보강재에 비해 상대적으로 신장특성을 가지고 있는 일체형 지오그리드로서 위에서 언급한 단일 탄성계수의 적용은 논란의 여지가 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 구속압에 따른 대형인발시험으로부터 평가한 지오그리드 내부 절점에서의 인장변형률과 지오그리드 특성곡선(Index Curve)으로부터 평가한 인장력을 이용하여 지오그리

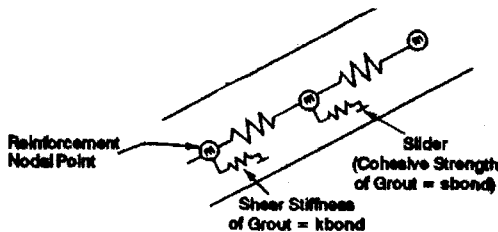
드 내부 절점별 탄성계수를 산정하였다. 이러한 각 절점별 상이한 탄성계수를 지오그리드에 적용함으로써 지오그리드의 신장특성을 고려하였다(Table 6 참조).

**Table 6 Elastic Modulus applied along Each Section of Geogrid with Confining Pressure**

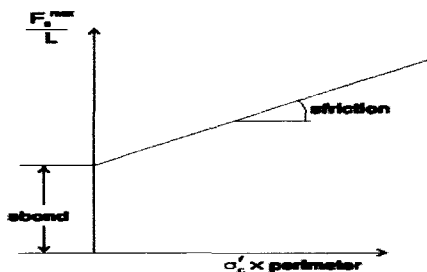
지오그리드 길이(m)	탄성계수			비고
	0.3kg/cm <sup>2</sup>	0.6kg/cm <sup>2</sup>	0.9kg/cm <sup>2</sup>	
0.0~0.15	2.13×10 <sup>8</sup>	2.445×10 <sup>8</sup>	2.08×10 <sup>8</sup>	선단율 기준으로
0.15~0.375	4.34×10 <sup>8</sup>	3.65×10 <sup>8</sup>	3.29×10 <sup>8</sup>	
0.375~0.525	2.23×10 <sup>8</sup>	1.624×10 <sup>8</sup>	8.136×10 <sup>8</sup>	
0.525~0.75	2.406×10 <sup>8</sup>	1.9×10 <sup>8</sup>	8.7×10 <sup>8</sup>	

**3.2.3 Interface요소의 입력물성치**

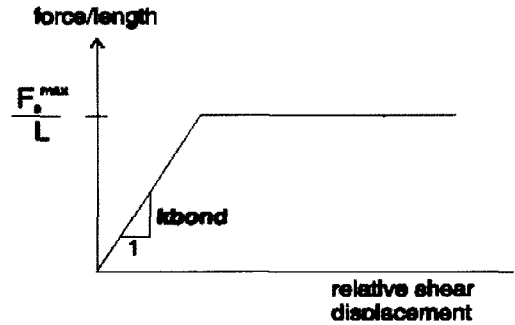
흙-보강재의 Interface는 무시할 만한 두께의 Grout 재료로 모델링되었으며, Interface 전단거동은 Fig. 12 와 같은 Spring-Slider 시스템으로 표현되었다. 또한 Interface에서의 최대전단력은 고유의 전단강도(부착강도, S<sub>bond</sub>)와 응력의존 마찰저항(sfriction)의 함수(Mohr-Coulomb 파괴기준)로서 정의(Fig. 13(a))되며, 전단강성(K<sub>bond</sub>)은 Fig. 13(b)와 같이 정의된다.



**Fig. 12 Spring-Slider System**



**(a) S<sub>bond</sub>, sfricrion**



**(b) K<sub>bond</sub>**

**Fig. 13 Material Properties of Interface Element**

이러한 흙-보강재의 상호거동을 모사하기 위한 Interface 물성은 인발시험결과를 통해서 직접 산정할 수 있는데, 인발력-선단인발변위관계의 초기선형탄성 구간의 기울기를 이용하여 K<sub>bond</sub>를 산정하였으며, S<sub>bond</sub>와 sfriction의 경우에는 전체면적법에 의한 구속압-인발저항응력 관계를 통해서 산정하였다. 여기에서 S<sub>bond</sub>는 구속압의 영향을 배제한 상태에서의 부착강도(전단강도)를 의미한다(Table 7 참조).

**Table 7 Material Properties of Interface Element with Confining Pressure**

Interface 요소 물성	0.3kg/cm <sup>2</sup>	0.6kg/cm <sup>2</sup>	0.9kg/cm <sup>2</sup>
K <sub>bond</sub> (N/m/m)	5.63×10 <sup>9</sup>	6.2×10 <sup>9</sup>	7.87×10 <sup>9</sup>
S <sub>bond</sub> (N/m)	4976	4976	4976
sfriction (°)	18.5	18.5	18.5

**3.3 수치해석결과 및 고찰**

Fig. 14는 구속압 0.3, 0.6, 0.9kg/cm<sup>2</sup>에 따른 일체형 지오그리드에 대한 선단인발변위-인발력의 응답특성을 수치해석결과와 실험결과를 비교한 것이다.

해석결과, 각 구속압에 따른 최대인발력은 시험결과와 합리적인 경향을 보였으며 특히 0.3kg/cm<sup>2</sup>의 구속압에 대해서는 전반적으로 일치하는 경향을 볼 수 있었다. 하지만, 이후 구속압 증가에 따른 해석결과가 시험결과와 상이한 것을 볼 수 있는데, 이는 수치해석시 인발시험기의 전면벽에 설치되어있는 슬리브의 영향을 고려할 수 없었기 때문인 것으로 판단된다. Khalid Farrag(1991)에 의하면(Fig.15 참조), 슬리브 길이가 없는 경우 상대적으로 상당히 큰 압력이 전면벽



에 작용하는 것을 알 수 있다[13].

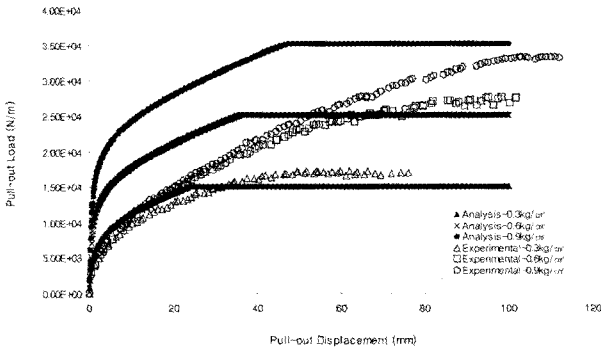


Fig. 14 Comparison of Numerical Analysis & Test Result

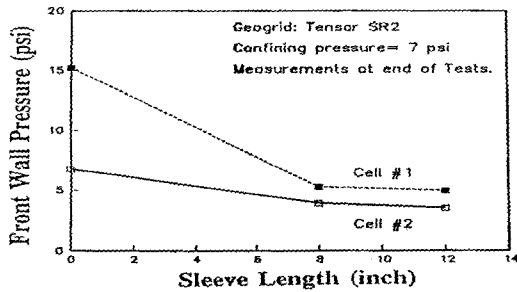


Fig. 15 Effect of Sleeve Length on Lateral Earth Pressure at the two points (cell #1, #2) of front wall

Fig. 16은 각 구속압에 따른 일정한 인발변위(50mm)에서의 지오그리드에서 발생한 인장변형률 분포를 보이고 있으며, Fig. 17은 각 구속압에 따른 다양한 인발변위(10, 20, 50mm)에 대한 인장변형률 분포를 보인다.

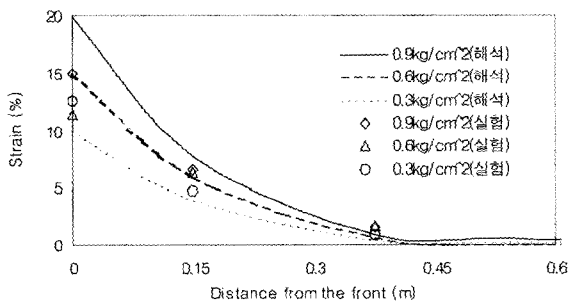
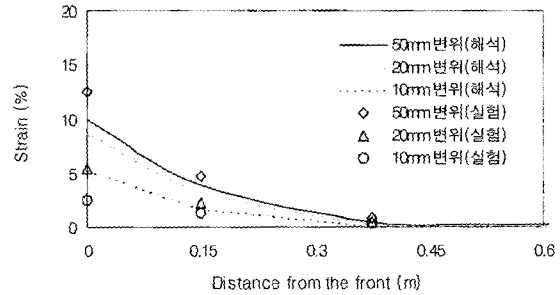


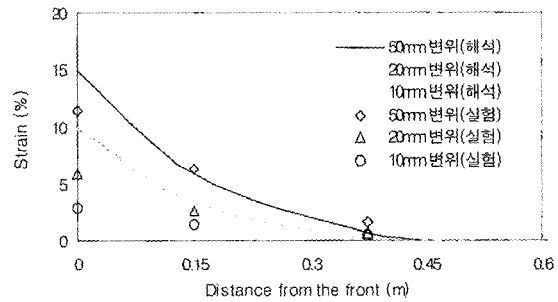
Fig. 16 Distribution of Geogrid Tensile Strain for Constant Pull-out Displacement(50mm)

전체적으로 구속압의 증가와 인발이 진행됨에 따라 지오그리드 인장변형률과 유효부착길이의 증가를 해

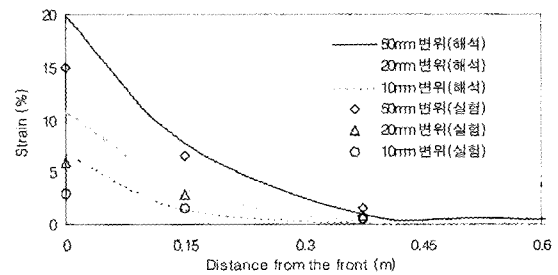
석결과와 실험결과에서 모두 확인할 수 있었으며 보강재에 하중이 작용한 선단에서 최대의 변형률을 보이며, 보강토체 내부로 하중이 전이되면서 변형률이 급격히 감소하였다. 또한 선단에서는 해석결과가 실험결과와 다소 차이를 나타내고 있지만 보강토체 내부에서는 근접한 결과를 보이고 있다.



(a) Confining Pressure 0.3kgf/cm<sup>2</sup>



(b) Confining Pressure 0.6kgf/cm<sup>2</sup>



(c) Confining Pressure 0.9kgf/cm<sup>2</sup>

Fig. 17 Distribution of Geogrid Tensile Strain with Confining Pressure

이렇게 선단인발변위에서 발생하는 시험결과와의 오차는 수치해석상 인발시험기의 단순화를 위한 전면벽 슬리브의 영향을 무시한 점, 그리고 지오그리드의 기하학적인 형상(Aperture 크기, 리브두께, 점점두께 등)의

잠재적인 변화를 고려하지 못한 점 등을 들 수 있다.

#### 4. 결 론

신장성 보강재는 인발력의 영향으로 종방향 부재에서 상당한 양의 신장이 발생하며, 각 횡방향 부재에 발생한 저항의 크기는 인발방향에 따라서 달라진다. 또한 최대저항은 선단에 위치한 횡방향부재에서 발생하며 더욱이, 적용된 인발력과 구속압력하에서 보강재의 일정 부분에서만 흙과의 상대변위가 발생한다. 따라서 인발과정에 있어서 보강재를 따라 발생한 전단응력은 아주 불규칙적으로 분포할 수도 있으며, 보강재의 후미에서는 전단이 발생하지 않을 수도 있다. 이와 같이 보강토구조물 설계시 설계인발저항은 구조물의 변형조건에 적합해야만 한다.

i) 따라서 본 연구에서는 이러한 변형특성을 고려하여 신장성 지오그리드 보강재에 대해서 선단인발변위와 내부 절점변위에 따른 인발력, 구속압에 따른 인발력과 인발변위의 관계를 고찰함으로써 흙-보강재의 하중전달이 거동, 구속압에 대한 보강재의 유효부착길이, 평균 인발저항을 평가하였다.

보강토체의 인발저항특성을 합리적으로 예측하기 위해서는 지오그리드의 변형특성, 즉 신장특성을 고려하여야만 하는데, 본 연구에서는 이러한 목적에서 지오그리드 내부 절점에 따라 상이한 탄성계수를 적용하였다. 이상과 같이, 모래로 조성된 모형지반과 신장성 지오그리드로 표현되는 대형인발시험을 모형화하여 인발거동을 예측한 결과,

i) 보강토체의 최대인발저항과 보강토체 내부 지오그리드의 신장특성인 절점별 인장변형률에 있어서 실험결과와 유사한 결과를 보임으로서 타당성을 검증하였다.

ii) 하지만 선단인발변위에서 발생하는 시험결과와의 오차는 수치해석상 인발시험기의 단순화를 위한 전면벽 슬리브의 영향을 무시한 점, 그리고 지오그리드의 기하학적인 형상(Aperture 크기, 리브두께, 접점두께 등)의 잠재적인 변화를 고려하지 못한 점 등을 들 수 있다. 따라서 향후 이러한 영향을 고려할 수 있는 수치해석 기법관련 연구수행이 필요하다고 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. Garbulewski, K., "Direct Shear and Pull-out Frictional Resistance at the Geotextile-Mud Interface", 4th

International Conference on Geotextiles Geomembranes and Related Products, Hague, pp. 737-742, 1990

2. Venkatappa, G. and Kate, J.M., "International Friction Evaluation of Some Indian Geotextiles", 4th International Conference on Geotextiles Geomembranes and Related Products, Hague, pp. 793, 1990

3. DREXEL Univ., "Geosynthetic Research Institute Standard Test Method", pp. GG5-1-GG5-12, 1995,

4. McGown A. , Andrawes K.Z. and Kabir M.H., "Load Extension Testing of Geotextiles Confined In-Soil", 2nd. International Conf. on Geotextiles, Las Vegas, Vol. 3, pp. 793-798, 1982.

5. Juran I., Knochenmus G., Acar Y.B. and Arman A., "Pull-out Response of Geotextiles and Geogrids (Synthesis of Available Experimental Data)", Proc. of Symp. on Geotextiles for Soil Improvement, ASCE, GSP No. 18, pp. 92-111, 1988.

6. Hidetoshi Ochiai, Jun Otani, Shigenori & Takao Hirai, "The Pull-Out Resistance of Geogrids in Reinforced Soil", Geotextiles and Geomembranes Vol. 14, pp. 19-42, 1996

7. Jewell, R.A., Milligan, G.W.E., Sarsby, R.W. and Dubois, D., "Interaction between Soil and Geogrids", Proceeding from the Symposium on Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering, London, England, pp. 18-30, 1984

8. Palmeira E.M. and Milligan G.W.E., "Scale and other factors affecting the results of pull-out tests of grids buried in sand", Geotechnique, Journal of the Institute of Civil Engineering, U.K., 39(3): pp. 511-524, 1989

9. Sobhi S. and Wu J.T.H., "An Interface Pullout Formula for Extensible Sheet Reinforcement", Geosynthetics International, 3, (5), pp. 565-582, 1996

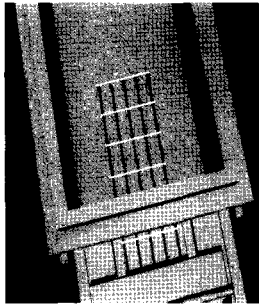
10. Ortiz J.M.R., Serra J. and Oteo C., "Curso Aplicado de Cimentaciones", 3rd Ed. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1986

11. Bauer G.E. & Mowafy Y.m., "The interaction mechanism if granular soils with geogrids", In Proceedings of the International Congress Numerical Methods in Geomechanics, Innsbruck, pp. 1263-1272, 1988

12. Handel E., Schweigiger H.F., & Yeo K.C., "A simple thin-layer element to model soil geotextile interaction", In Proceedings of the International Reinforced Soil Conference, Glasgow, U.K., 1987

13. Khalid Farrag, "Pull-out Test Facility for Geosynthetics", 1991, pp.88 ~ 92

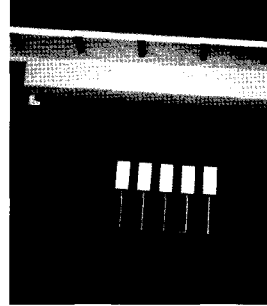
부 록



a) 지오그리드 설치

· 토조내부 벽체에 벤토나이트를 이용하여 토사유출 방지

· 샌드커튼방식으로 강사



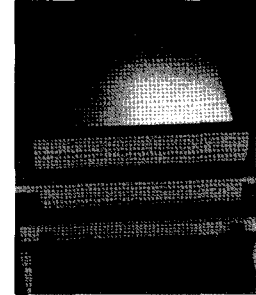
b) 내부절점 변위계 설치



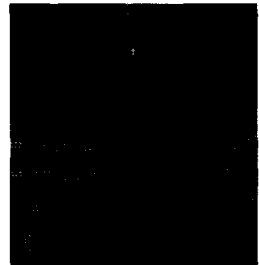
c) 상부마찰조건 구현

· 지오그리드 설치  
· 내부절점변위 측정용 변위계 설치

· 샌드커튼방식으로 강사후 상부마찰 조건 구현



d) 에어백 설치



e) Setting 완료

· 에어백 설치

· Setting 완료



f) 선단인발변위 측정용 변위계 설치

· 선단인발변위 측정용 변위계 설치