

## 신장성 지오그리드 보강재의 포설길이에 따른 인발정수

### Pullout Parameter According to the Length of Spreading of Extensible Geogrid Reinforcement

박종범<sup>1\*</sup>, 주재우<sup>2</sup>, 나현호<sup>3</sup>

Jong-Beom Park<sup>1\*</sup>, Jae-Woo Ju<sup>2</sup>, Hyun-Ho Na<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Member, Chief, Shinmyeong Construction Engineering, 12 Gagok -gil, Suncheon-si, Jeollanam-do, Republic of Korea

<sup>2</sup>Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Suncheon National University, 255 Joungang-ro, Suncheon-si, Jeollanam-do, Republic of Korea

<sup>3</sup>Member, Director, Shinmyeong Construction Engineering, 12 Gagok -gil, Suncheon-si, Jeollanam-do, Republic of Korea

#### ABSTRACT

In a reinforced soil structure, the interaction between soil and an reinforcement occurs due to the frictional resistance on the contact surface between them or the pullout resistance of the reinforcement. Generally, a pullout test is conducted to measure pullout parameters of extensible geogrids. The factors affecting the pullout parameters in a pullout test include a density of backfill, shape of reinforcements, overburden pressure, length of spread reinforcements, and so on. The purpose of this study is to suggest a length of the spreading of an extensible reinforcement that can be used in estimating suitable pullout parameters of a pullout test. To this end, a pullout test was carried out. For the test, the length of spreading of an extensible reinforcement was set as 32 cm, 52 cm, 72 cm, and 100 cm, and effects of the lengths on pullout parameters were analyzed. As a result of the pullout test, it was confirmed that the frictional resistance between the soil and the reinforcement increases with the increase of the length of the reinforcement.

#### 요 지

보강토 구조물에서 흙과 보강재 상호작용은 접촉면 마찰저항 또는 보강재 인발저항에 의해 발생되며, 신장성 지오그리드 보강재의 인발정수를 측정하기 위하여 일반적으로 인발시험을 실시한다. 인발시험시 인발정수에 영향을 미치는 요소는 뒷채움재의 밀도, 보강재의 형상, 토피하중, 보강재의 포설길이 등이 있다. 본 연구에서는 인발시험시 합리적인 인발정수 산정을 위한 신장성 보강재의 포설길이를 제안하고자 인발시험을 실시하였으며, 보강재 포설길이는 각각 32cm, 52cm, 72cm, 100cm로 선정하였다. 인발시험결과 보강재 포설길이에 따른 인발정수의 영향을 분석하였으며, 인발시험에서 흙과 보강재사이의 마찰저항은 보강재 포설길이가 증가할수록 증가함을 확인하였다.

**Keywords** : Pullout Parameters, Spreading Length, Extensible Reinforcement

## 1. 서론

보강토 옹벽의 다양한 설계방법들이 토목섬유로 보강된 옹벽의 설계에 이용되고 있으며, 개개의 설계방법들은 제안자 나름대로 가정 사항과 안전율의 적용방법에 따라

상이한 결과를 도출하기도 한다. 이러한 토목섬유 보강토 구조물의 안정해석 및 설계 시 내적안정해석에 필요한 주요 인자 중의 하나는 흙과 토목섬유 사이의 마찰특성이다.

흙과 토목섬유 마찰특성을 평가하는 방법으로는 일반적으로 직접전단시험(direct shear test)과 인발시험(pull-out test)이 사용되고 있다. 직접전단시험에 의한 흙과 토목섬유의 마찰력은 주로 토목섬유의 표면과 흙 사이의 표면 마찰력을 나타내므로 직포와 부직포 등과 같이 공극크기가

Received 18 Oct. 2017, Revised 21 Dec. 2017, Accepted 27 Dec. 2017

\*Corresponding author

Tel: +82-61-750-8081; Fax: +82-61-727-4569

E-mail address: bankgeo@hanmail.net (J. B. Park)

작은 토목섬유에서는 양호한 결과를 줄 수 있으나, 표면 마찰력 이외에 그리드(grid)의 횡방향 부재에 의한 수동 저항력(passive bearing resistance)이 유발되는 지오그리드에 대해서는 적합한 결과를 얻기가 힘들다. 따라서 흙과 지오그리드의 마찰특성은 흙 속에 묻혀있는 지오그리드를 인발함으로써 표면 마찰력과 수동 저항력을 동시에 측정할 수 있는 인발시험에 의해 평가하는 것이 바람직하다. 지오그리드 보강재 인발시험은 보강재 포설길이에 따라 인발정수의 변화가 크게 나타난다.

Chang(1974), Alimi et al.(1977), Bacot et al.(1978), Schlosser & Elias (1978) 등은 현장 및 실내 인발시험으로 통하여 보강재 길이가 길면 길수록 흙과 보강재의 인발정수가 증가함을 규명하였다. Naylor & Richard(1977)의 분석에 따르면 인발력이 작용하는 보강재 단부에서는 상당한 크기의 미끄러짐(slippage)이 발생하며, 동일한 보강재와 성토재에 대해서는 이러한 미끄러짐이 발생하는 길이는 일정하기 때문에 전체 보강재 길이가 길수록 커진다. 보강재 길이에 따른 인발정수의 영향을 최소화하기 위하여 보강재 길이가 길면 길수록 유리하지만 상대적으로 보강재 길이가 길면 보강재의 국부적인 항복으로 인한 결속계수의 감소 원인도 있기 때문에 실제 적용에는 어려움이 따른다. 이처럼 보강재의 길이에 대한 영향분석은 되어 있으나 합리적인 인발정수 산정을 위한 보강재 포설길이에 대한 다양한 연구가 진행되어야 한다.

## 2. 보강재 포설길이에 따른 인발거동특성

보강재 포설길이는 보강토체 포설길이의 증감에 따라 인발정수에 미치는 주요 영향인자이며, 관련 연구로 Chang(1974), Alimi et al.(1977), Bacot et al.(1978) 등은 보강재 길이가 길면 길수록 흙-보강재의 결속계수(bond coefficient)가 증가함을 규명하였다. 또한, Naylor & Richard(1977)의 분석에 따르면 보강재 단부로부터 가까운 거리 내에서는 상당한 크기의 미끄러짐(slippage)이 발생한다고 하였다. 보강재 길이에 따른 결속계수의 영향을 최소화하기 위하여 보강재 길이가 길면 길수록 유리하지만 상대적으로 보강재 길이가 길면 보강재의 국부적인 항복으로 인한 결속계수의 감소 원인도 있기 때문에 실제 적용에는 어려움이 따른다.

Fig. 1에서는 그리드 길이에 따른 인발특성의 변화를 나타낸다. Fig. 1에서 보듯이 그리드의 포설길이가 증가할수

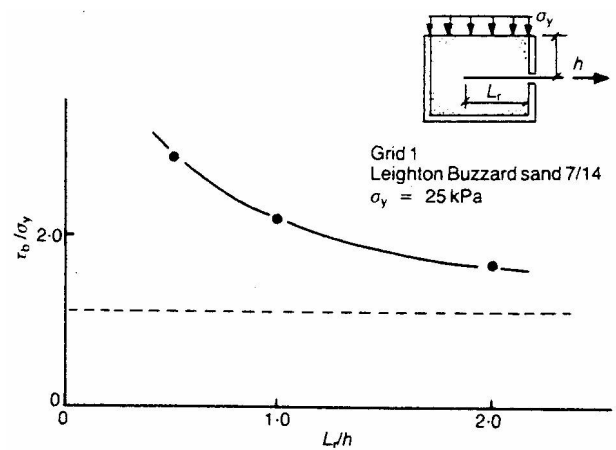


Fig. 1. Relation curve of  $\tau_b/\sigma_y$  with respect to pullout displacement(Palmeira & Milligan, 1989)

록 구속응력에 대한 인발저항의 비( $\tau_b/\sigma_y$ )의 값이 감소되는 것을 알 수 있다. 따라서, 표준 인발시험법의 제정에는 이에 대한 고려가 반드시 필요하다.

이와 같이 보강재의 포설길이에 따라 인발특성은 변화하게 되며, 결과적으로 보강재의 포설길이는 인발상자의 크기와 관련되어 있다. 특히 지오그리드와 같은 보강재의 경우 인발시험을 하는 동안 가로방향과 세로방향 부재의 잠재적인 상호작용은 인발시험장치의 기하학적인 구조와 치수에 대한 특별한 요구조건을 충족시켜야 한다. ASTM D6706에서는 대형 인발시험장치의 상자크기가 길이 61cm, 폭 41cm, 높이 30cm 이상이라고 규정하고 있다. 이러한 기준에 따라서 인발상자의 두께는 흙입자 크기의 최고 6배 또는 D85의 20배 이상이어야 하며, 인발상자의 길이는 그리드 크기의 최고 5배 이상이 되어야 한다고 규정하고 있다.

## 3. 인발시험

보강재 포설길이에 따른 인발저항 특성을 평가하기 위하여 보강재의 포설길이를 32cm, 52cm, 72cm, 100cm로 변화하여 인발시험을 실시하였다. 인발시험방법은 ASTM D 6706-01(ASTM, 2003), FHWA(2001)에서 제안하고 있는 시험법을 참조하였다.

### 3.1 인발시험장비

본 연구에서는 Fig. 2에서와 같이 인발시스템을 3단으로 구성하는 다단포설 인발시험장치를 이용하였다. 다단포설

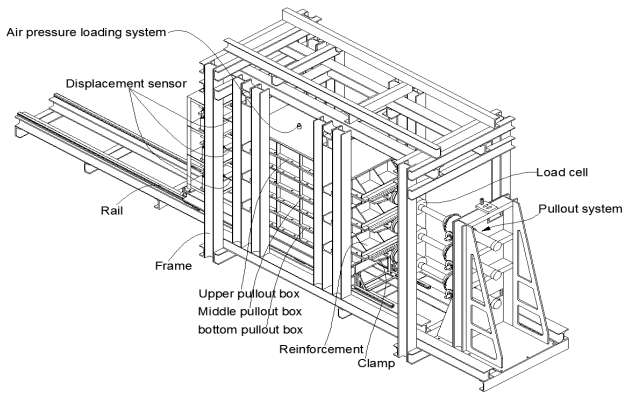


Fig. 2. Detail drawing of the multi-layer pullout test apparatus (Kim, 2008)

인발시험장치는 인발시험의 여러영향인자를 고려하여 제작된 인발시험장치이다. 본 연구에서는 Fig. 3에서와 같이 다단포설 인발시험장치의 1단을 이용하여 인발시험을 실시하였다. 인발시험장치로부터 보강토 옹벽의 주요 인발특성인 인발시 흡과 보강재사이의 상호거동특성을 파악하기 위해 보강재 포설길이를 달리하여 인발시험을 실시하였다.

인발시험의 구속응력 재하장치는 공기압 방식으로 제작하여 사용하였으며, 다단 인발상자의 크기는 길이×폭×깊이가 각각 100cm, 40cm, 90cm이다. 토조측면 벽체의 변위는 최대 45cm까지 가능하다. 토조는 상부, 중앙 및 하부로 분리되어 있으며, 각각의 깊이는 30cm이다. 공기압 재하장치(air pressure bag system)는 별도의 장치로 분리

되어 공기압에 의해 토조내에 균등한 구속응력을 재하할 수 있도록 되어 있다. 공기압 재하장치에 가할 수 있는 최대공기압은 200kPa이다.

토목섬유 고정장치(Clamp)는 나사를 조여 토목섬유를 고정하도록 되어있으며, 로드셀(Load cell)에 직접 연결되어 데이터를 얻는다.

### 3.2 시험재료

#### 3.2.1 보강재 특성

본 연구에서 사용된 보강재료는 고성능 섬유로 보강된 고분자 스트립을 입체교차 구조로 용착시켜 제조한 지오그리드이다. 토목용으로 특수하게 개발된 고강력사(PET)를 격자모양의 원단으로 만든 후 플라스틱 보호재(PP)로 코팅하여 제조한 결합형 지오그리드이다. 사용 보강재의 물리적 특성은 Table 1과 같다.

#### 3.2.2 모형지반

본 연구에서 사용한 흙시료는 주문진 표준사이며, 흙시료의 공학적 특성은 Table 2와 같다. 주문진 표준사를 통일분류법(USCS)에 근거하여 분류하면 입도가 불량한 모래, SP에 해당된다. 강도정수를 산정하기 위한 전단시험 결과 내부마찰각은 34.5°정도이며, 점착력은 0 정도이다.

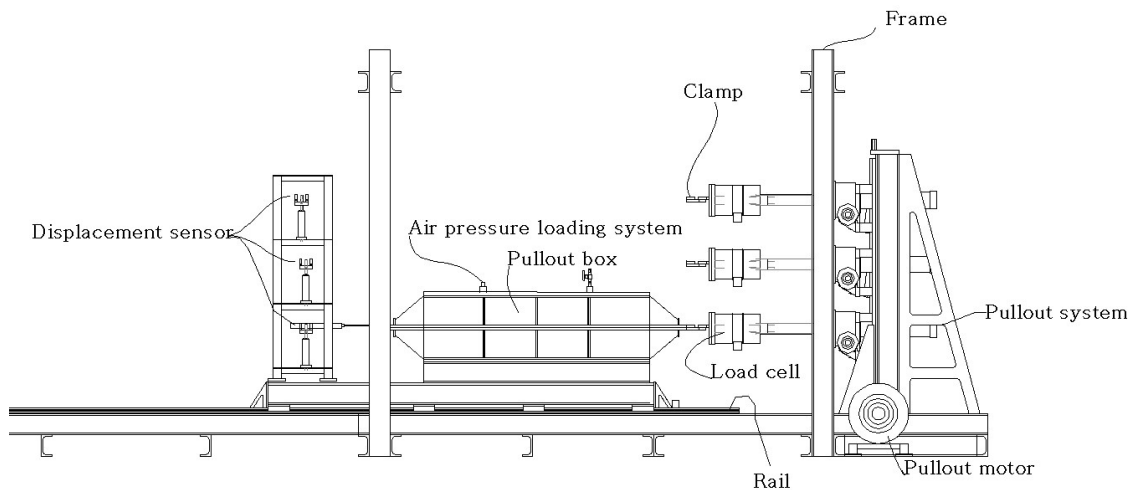


Fig. 3. Detail drawing of the pullout test apparatus

Table 1. Physical properties of reinforcements used for tests

Types of reinforcement	Maximum tensile strength (kN/m)	Maximum tensile strain (%)	Tensile strength in 5% tensile strain (kN/m)	Size (mm)	Remarks
Geogrid 10T	100,0	13%	50,0	Grid 40 × 40	Fig. 4

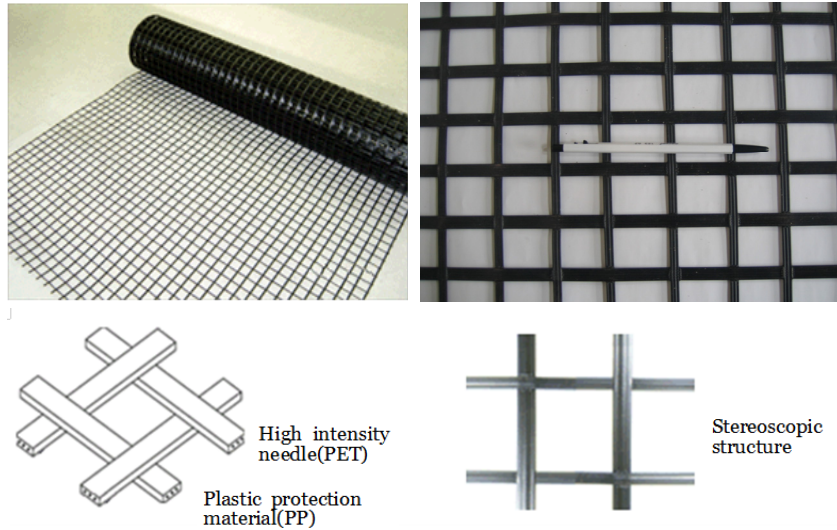


Fig. 4. Geogrid reinforcement

Table 2. Soil characteristics

Specific gravity GS	Water Content (%)	Maximum dry density (g/cm <sup>3</sup> )	U.S.C.S	Minimum dry density (g/cm <sup>3</sup> )	Density of model ground (g/cm <sup>3</sup> )	Relative density (%)	Direct shear test	
							Cohesion c (kPa)	Internal friction angle $\phi$ (°)
2.67	0.2	1.624	SP	1.358	1.59	85	0	34.5

### 3.3 시험방법

인발시험방법은 다음과 같은 시험순서로 진행하였으며, 시험순서에 따라 정리하였다.

- 1) 모형지반의 제작은 주문진 표준사를 이용하며, 주문진 표준사의 상대밀도를 균등하게 얻기 위해 다중체 낙하장치를 이용하였다. 주문진 표준사를 인발상자에 채워 모형지반의 규정된 밀도를 얻을 수 있는 시험을 실시한다(Photo 1 참조).
- 2) 다중체 낙하장치를 이용하여 주문진 표준사를 규정

된 밀도로 인발상자 하부를 채운다.

- 3) 하부상자에 주문진 표준사가 채워지고 나면 보강재를 설치한다(Photo 2 참조). 포설된 보강재를 클램프에 체결한다(Photo 3 참조).
- 5) 토목섬유 고정장치 한쪽 면에 1개의 변위계를 설치하고, 이를 데이터 로거(Data Logger)에 연결하여 60초 간격으로 인발변위를 측정한다. 또한 토조 내 지오그리드의 인발변위를 측정하기 위하여 Photo 4에서 보는 바와 같이 6개소에 고강도 합성섬유사를 연결하여 이를 인발상자 후면부 변위계에 연결하여



(a) Falling height



(b) Falling



(c) Check density

Photo 1. View of density verification test

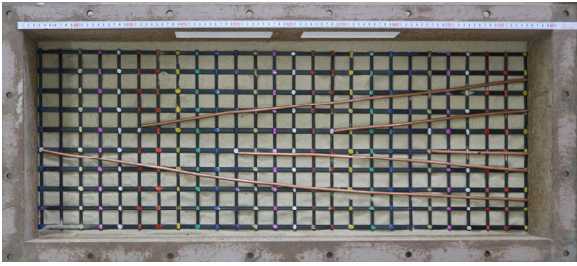


Photo 2. Reinforcing reinforcement in pullout box

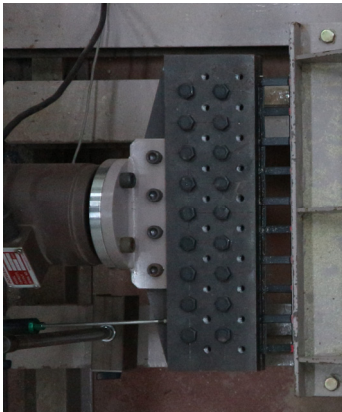


Photo 3. Geogrid reinforcement connection with clamp



Photo 4. Connection of high strength composite fiber installed on geogrid in pullout box

절점별로 인발변위를 측정한다.

- 6) 인발변위는 인발상자 내측에 내경 3mm의 동관을 이용하여 고강도 합성섬유사와 흙과의 마찰을 제거한다. Photo 5는 각 절점에 합성섬유사를 부착하고 이 고강도 합성섬유사를 보호하기 위해 동관을 토조에 매설되어 있는 지오그리드 위에 설치하는 모습이다.
- 7) 보강재의 설치 및 측정장치의 설치를 완료한 후 하부상자와 동일한 방법으로 보강재 상부의 인발상자에 주문진 표준사를 채운다(Photo 6 참조).
- 8) 모형지반의 제작이 종료된 후 공기압 재하장치를 토조 위에 설치한다. 인발시험을 위한 측정장치의 설치가 완료되면 인발시험조건에 알맞은 상재하중을

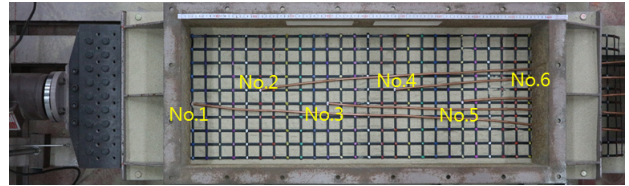


Photo 5. Points on geogrid for measuring displacement in pullout box (L=100 cm)

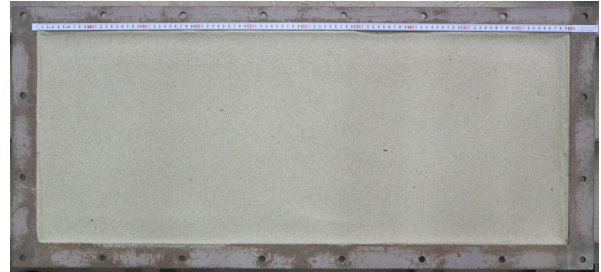


Photo 6. Jumunjin standard sand filled in the pullout box

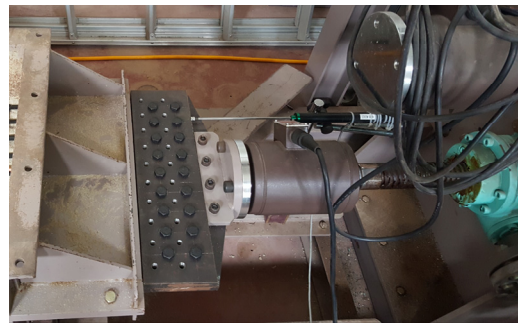


Photo 7. Load cell used for pullout test

가한다.

- 9) 인발시험시 인발속도는 1mm/min로 일정하게 하며, 인발력은 토목섬유 고정장치에 연결되어 있는 로드셀(Load Cell)에 의하여 측정한다(Photo 7 참조).
- 10) 인발하는 과정에서 선단인발변위와 인발력 그리고 절점에서의 변위를 측정한다.
- 11) 각각의 구속응력에 따른 인발력과 인발변위 관계 곡선으로부터 평가방법에 따른 인발정수를 결정한다.

## 4. 인발시험결과 및 고찰

### 4.1 인발력-선단변위 관계

Fig. 5는 보강재 포설길이를 달리 포설하여 구속응력에 따른 인발시험을 실시한 결과로서, 선단인발변위와 인발력과의 관계를 나타낸 것이다. 구속응력은 0, 20, 40, 60, 80, 100kPa이며, ★는 최대인발력을 나타낸 것이다.

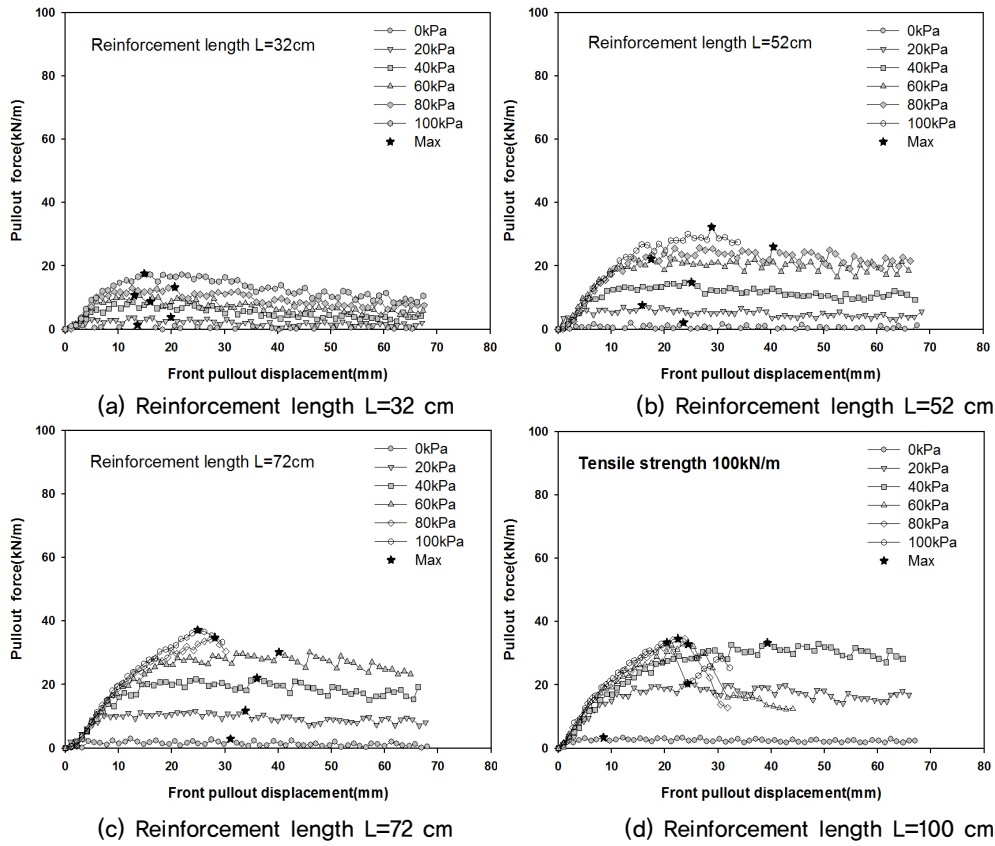


Fig. 5. Front pullout displacement versus pullout force with confining stress

인발시험결과, 선단인발변위 및 구속응력이 증가함에 따라 인발력도 증가하고 있으며, 전반적으로 최대인발력 이후 일정한 인발력으로 수렴하는 경향을 보인다. 포설길이 32cm의 경우 구속응력이 0(self-weight), 20, 40, 60, 80, 100kPa일 경우 포설길이 32cm의 최대인발력은 1.4, 3.8, 8.8, 10.7, 13.3, 17.6kN/m로 구속응력의 증가와 함께 단위 폭당 최대인발력값이 점진적으로 증가하였다. 포설길이 52cm의 최대인발력은 2.1, 7.6, 14.8, 22.2, 26.1, 32.3kN/m로 측정되었다. 포설길이 72cm의 최대인발력은

2.9, 11.8, 22.0, 30.2, 34.8, 37.2kN/m로 측정되었다. 포설길이 100cm의 최대인발력은 2.9, 11.8, 22.0, 32.9, 34.6, 33.4kN/m로 측정되었다.

#### 4.2 인발저항 평가

Fig. 6~12는 보강재 포설길이를 달리 포설하여 구속응력에 따른 인발시험의 결과를 바탕으로 전체구속응력과 인발저항응력과의 관계, 유효구속응력과 인발저항응력과

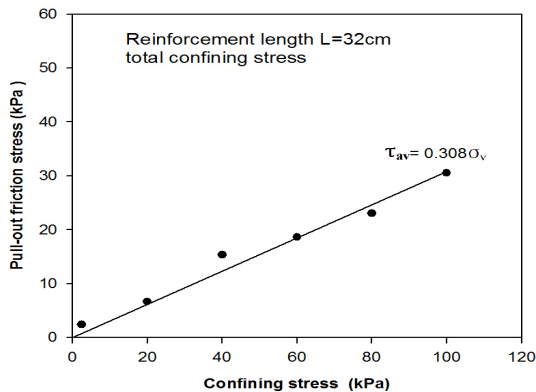


Fig. 6. Relation curve between confining stress and pullout friction stress by total confining stress(L=32 cm)

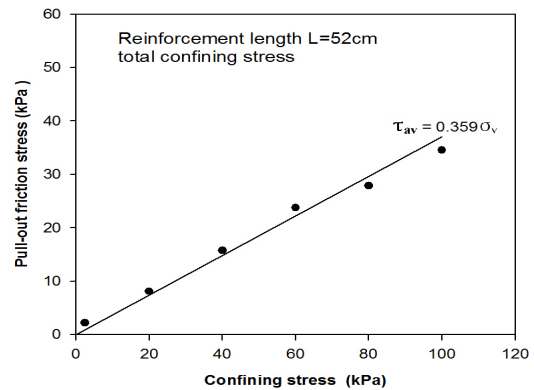


Fig. 7. Relation curve between confining stress and pullout friction stress by total confining stress(L=52 cm)

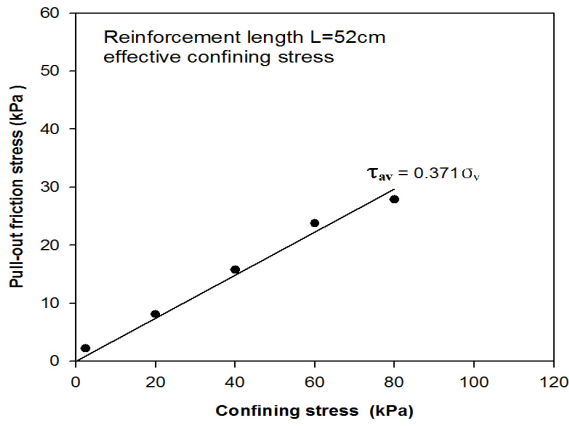


Fig. 8. Relation curve between confining stress and pullout friction stress by effective confining stress (L=52 cm)

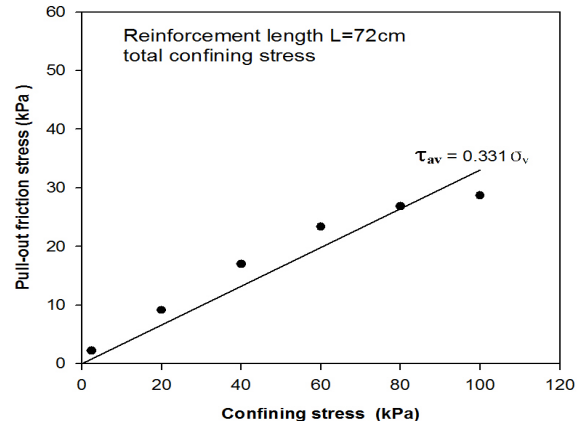


Fig. 9. Relation curve between confining stress and pullout friction stress by total confining stress (L=72 cm)

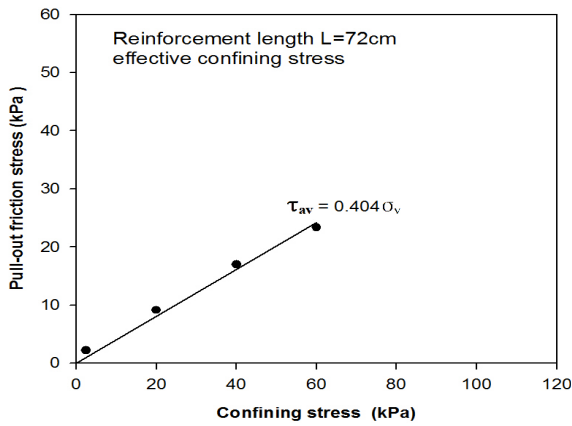


Fig. 10. Relation curve between confining stress and pullout friction stress by effective confining stress (L=72 cm)

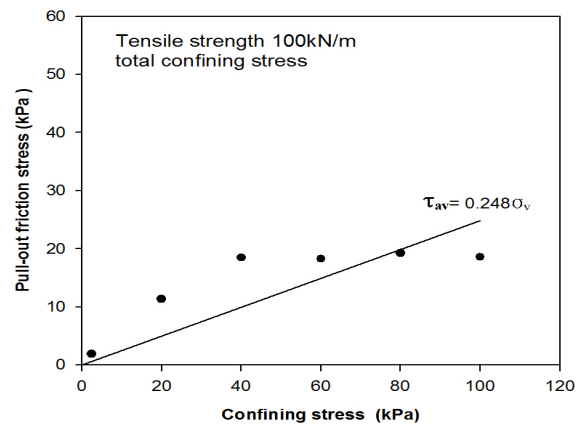


Fig. 11. Relation curve between confining stress and pullout friction stress by total confining stress (L=100 cm)

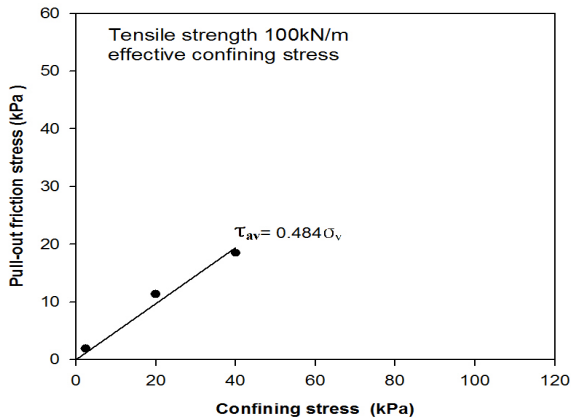


Fig. 12. Relation curve between confining stress and pullout friction stress by effective confining stress (L=100 cm)

의 관계를 도시하여 인발마찰각의 기울기를 측정하였으며, 그림에서와 같이 Table 3는 보강재 포설길이에 따른 인발마찰각을 나타냈다. 인발저항응력은 최대인발력을 보강재의 전체면적으로 나누어 구하는 전체면적법을 이용하여 산정하였다. 인발시험시 보강재의 손상(파단)이 발생하

지 않고 충분히 인발되어 인발특성이 잘 나타난 구속응력을 유효구속응력이라 명명하였다. 보강재의 포설길이가 증가함에 따라 인발마찰각도 증가하는 경향을 나타내고 있다. 보강재가 충분히 인발되어 인발특성이 잘 나타난 유효구속응력 인발시험의 경우, 보강재 포설길이 L=32cm의 인발마찰각은 17.09°, 보강재 포설길이 L=52cm의 인발마찰각은 20.34°, 보강재 포설길이 L=72cm의 인발마찰각은 22.00°, 보강재 포설길이 L=100cm의 인발마찰각은 25.81°로 인발마찰각의 차이는 작았으나 포설길이가 증가함에 따라 인발마찰각은 증가하였다.

인발시험에 활용된 전체구속응력과 인발저항응력의 그래프를 통한 인발마찰각은 보강재 포설길이 L=32cm의 경우 17.09°, 보강재 포설길이 L=52cm의 경우 19.76°, 보강재 포설길이 L=72cm의 경우 18.30°, 보강재 포설길이 L=100cm의 경우 13.94°로 측정되었다. 특히 보강재 길이가 L=32cm의 경우에는 전체면적법과 유효면적법에 의한 인발마찰각은 동일이다. 그 이유는 인발상자길이와 비교

Table 3. Pullout parameters according to reinforcement length

Confining stress (kPa)	B=40 cm, L=32 cm	B=40 cm, L=52 cm	B=40cm, L=72 cm	B=40cm, L=100 cm
	Pullout friction angle $\phi_p$ (°)	Pullout friction angle $\phi_p$ (°)	Pullout friction angle $\phi_p$ (°)	Pullout friction angle $\phi_p$ (°)
Total confining stress	17,09	19,76	18,30	13,94
Effective confining stress	17,09	20,34	22,00	25,81

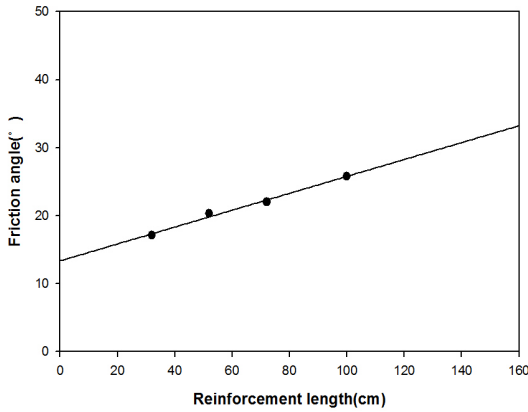


Fig. 13. Pullout friction angle by reinforcement length considering the effective confining stress

하여 포설길이가 매우 짧을 경우에는 보강재 전면적에서 마찰저항이 발현하기 때문이다. 또한 보강재 포설길이 L=52cm의 경우가 가장 큰 이유는 보강재 포설길이 L=72cm의 구속응력 80, 100kPa와 보강재 포설길이 L=100cm의 구속응력 60, 80, 100kPa에서 보강재 파단이 발생하였기 때문이다. 보강재의 포설길이에 따른 인발정수 특성은 보강재 포설길이에 따라 변화가 있었다. 포설길이 L=32cm의 경우 보강재 전면적이 인발에 저항하였으나 인발력은 작게 측정되어 인발정수도 작게 산출되었다. 인발시험 시 보강재 전면적이 인발될 경우 보강재 포설길이가 증가함에 따라 인발마찰각은 증가하였다.

본 연구에서는 보강재 포설길이를 32cm, 52cm, 72cm, 100cm 등 네가지 종류에 따라 구속응력에 따른 인발시험을 실시하였다. 신장성 지오그리드 보강재의 경우, 보강재 포설길이가 인발시험에 미치는 영향이 크기 때문에 적절한 포설길이를 결정하는 것이 필요하다.

Fig. 13은 유효구속응력을 고려한 보강재 포설길이별 인발마찰각을 나타낸 것이다. 본 연구에 사용된 인발시험기의 길이는 100cm로서 보강재 포설길이의 한계가 있다. 이러한 이유로 인해 인발시험결과를 바탕으로 보강재 포설길이 100cm 이상의 인발마찰각을 추정하였다. 추정한 결과, 보강재 포설길이 100cm이상인 경우의 인발마찰각 증가하는 것으로 나타났다.

## 5. 결론

본 연구에서는 신장성 보강재의 합리적인 인발정수를 산정하기 위해 보강재 포설길이를 달리하여 인발시험을 실시하였다. 연구결과 전체구속응력법에 따른 인발정수(인발마찰각)는 포설길이가 증가할수록 17.09°에서 13.94°로 감소하였으며, 유효구속응력법에 따른 인발정수(인발마찰각)는 포설길이가 증가할수록 인발정수는 17.09°에서 25.81°로 증가하였다. 인발시험에서 흙과 보강재사이의 마찰저항은 보강재 포설길이가 증가할수록 증가함을 확인하였다. 인발정수는 흙과 토목섬유의 마찰특성을 표현하는 것으로 인발할 때 인발상자 전면적에서 균등하게 마찰특성이 발현되지 않기 때문에 포설길이에 따라 인발정수가 달라진다. 이와 같이 포설길이에 따른 인발정수가 달라지는 문제점을 해결하기 위해서는 규격화된 인발시험법과 시험장치가 필수요소이다. 따라서 본 연구에서는 신장성 지오그리드 보강재를 이용하여 포설길이에 따른 인발정수를 산정하였으며, 인발정수를 결정하기 위해서는 흙과 보강재사이의 충분한 마찰저항이 발현 될 수 있도록 인발상자의 길이를 확보하여야 한다. 향후 보다 큰 인발시험장치를 통한 시험뿐만 아니라 현장 인발시험을 실시하여야 하며, 합리적인 인발정수를 산정하기 위한 포설길이는 추가적인 연구와 논의가 필요할 것으로 판단된다.

## References

1. Alimi, I., Bacot, J., Lareal, P., Long, N. T., and Schlosser, F. (1977), "Adherence between Soil and Reinforcement In situ and in the Laboratory", *Proceeding of 9th ICSMFE*, Vol.1, pp. 11-14.
2. ASTM Standard D 6706-01 (2003), "Test Method for Measuring Geosynthetic Pullout Resistance in Soil", *Annual Book of Standards*, Vol.4, No.13, ASTM International, West Conshohoken, PA.
3. ASTM D6706-01 (2001), Standard Test Method for Measuring Geosynthetic Pullout Resistance in Soil. *ASTM International*.
4. Bacot, J., Iltis, M., Lareal, P., Paumier, T., and Sanglerat, G.



- (1978), "Study of the Soil Reinforcement Friction Coefficient", *Proc. of ASCE Symposium on Earth Reinforcement*, Pittsburgh, pp.157-185.
5. Chang, J. C. (1974), "Earth Reinforcement Techniques", Final Report. *CA-DOT-TL-2115-9-74-37*, Department of Transport, California, pp.2-14.
  6. FHWA (2001), "Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design and Construction Guidelines", *FHWA Demonstration Project 82*, FHWA, Washington, DC, FHWA-NHI-00-043.
  7. Kim, J. H. (2008), Development and Applicability of Multi-layer Pullout apparatus System, Ph.D thesis, Sunchon National University.
  8. Naylor, D. J. and Richards, H.(1997), "Slipping Strip Analysis of Reinforced Earth", University of Wales-Swansea, *Civil Engineering Report C/R/295/77*, pp.27-36.
  9. Palmeira, E. M and Milligan, G. W. E.(1989), "Scale and other factors affecting the results of pullout tests of grids buried in sand", *Geotechnique*, Vol.39, pp.511-524.
  10. Scholsser, F. and Elias, V. (1978), "Friction in Reinforced Earth", *Proc. ASCE Symposium on Earth Reinforcement*, Pittsburgh, pp.735-762.