

신장성에 따른 띠형 보강재의 인발저항 특성

Pullout Resistance Characteristics of Strip-type Reinforcement based on Extensibility

이광우¹, 조삼덕², 한중근³, 홍기권^{4*}

Kwang-Wu Lee¹, Sam-Deok Cho², Jung-Geun Han³, Kikwon Hong^{4*}

¹Member, Senior Researcher, Geotechnical Engineering, Research Division, Korea Institute of Construction Technology, 2311, Daehwa-Dong, Ilsan-Gu, Gyeonggi-Do, 411-712 Republic of Korea

²Member, Senior Research Fellow, Geotechnical Engineering, Research Division, Korea Institute of Construction Technology, 2311, Daehwa-Dong, Ilsan-Gu, Gyeonggi-Do, 411-712 Republic of Korea

³Member, Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Urban Design and Study, Chung-Ang Univ., 84, Heukseok-Ro, Dongjak-gu, Seoul, 156-756, Republic of Korea

⁴Member, Research Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Urban Design and Study, Chung-Ang Univ., 84, Heukseok-Ro, Dongjak-gu, Seoul, 156-756, Republic of Korea

ABSTRACT

This paper describes large scale pullout test results, in order to evaluate extensibility effect of strip-type reinforcement. The same test for ribbed steel strip reinforcement also is conducted to compare the friction resistance reinforcements' evaluation results. The pullout resistance of the ribbed steel strip reinforcement, which has a small cross sectional areas, was better than the friction resistance reinforcements' due to the bearing (passive) resistance. In case of friction resistance reinforcements, the pullout resistance of extensible reinforcement was better than inextensible reinforcement' even though they have a similar cross sectional areas.

요 지

본 연구에서는 띠형 형태의 보강재에 대하여 신장성에 따른 인발저항 특성을 평가하기 위하여, 강재스트립 및 띠형 섬유보강재를 대상으로 대형인발시험을 수행하였다. 또한 약간의 지지저항이 함께 발현되는 돌기형 강재스트립 보강재의 인발시험 결과를 마찰저항 보강재의 결과와 비교하였다. 단면적이 작은 돌기형 강재스트립 보강재는 지지저항에 기인하여 마찰저항만으로 인발저항이 발현되는 보강재에 비하여 우수한 인발저항 특성을 갖는 것으로 확인되었다. 그리고 단면적이 유사한 마찰저항 보강재의 경우에는 신장성 보강재가 비신장성 보강재에 비하여 우수한 인발저항 특성을 나타내는 것으로 평가되었다.

Keywords : Steel strip, Geosynthetic strip, Extensible characteristic, Pullout resistance, Reinforced earth wall

1. 서 론

최근에는 다양한 형태의 보강재에 대하여 연구·개발되면서, 수많은 현장에 활용되고 있다(Lee et al., 2009). 이와 같은 보강재들을 재료특성에 따라 구분하면, 비신장성

보강재로서 강재스트립 보강재, 강그리드, 와이어 메쉬, 앵커형 강봉 보강재 등이 있으며, 신장성 보강재로는 지오그리드, 띠형 섬유보강재, 지오텍스타일 등이 대표적이다(Han et al., 2010; Lee et al., 2009, 2011). 앞서 언급한 보강재들은 교대, 성토, 비탈면, 연약지반 및 옹벽 등의 안정성을 개선하기 위하여 폭 넓게 사용되고 있다(Yoo and Jung, 2006; Chen et al., 2007; Won and Kim, 2007; Yoo and Kim, 2008; Tatsuoka et al., 2009). 특히, 옹벽과 관련

Received 4 Dec. 2012, Revised 19 Dec. 2012, Accepted 22 Dec. 2012

*Corresponding author

Tel: +82-2-813-5345; Fax: +82-2-816-4160

E-mail address: kkhong@wm.cau.ac.kr (K. Hong)

하여 1980년대 초 국내에 처음으로 보강토옹벽이 도입되었을 당시에는 주로 강재스트립 보강재가 사용되었으나, 강재의 부식 문제로 인하여 크게 활성화되지 못하였다. 그리고 1990년대 중반에 들어서면서 토목섬유를 활용한 보강토옹벽이 도입되었으며, 이는 기존 콘크리트옹벽을 급속도로 대체하였다(Lee et al., 2009; Hong, 2011).

보강토옹벽은 지반과 보강재의 경계면에서 작용하는 저항메커니즘에 의해 구조물의 안정성이 유지되며, 가장 중요한 평가요소 중 하나는 지반 내 포설된 보강재가 토압 등의 외력에 의해 저항하게 되는 인발저항이라 할 수 있다(Lee et al., 2009). 보강재의 인발저항은 일반적으로 실험적 방법을 통하여 보강재와 지반 사이에서 발생하는 인발저항력으로 평가되며, 이와 같은 인발저항력은 지반과 보강재 표면 사이의 마찰저항력 및 보강재의 지지부재에 의한 지지저항력으로 구분된다(Jewell et al., 1990; Matsui et al., 1997). 이와 같이 보강토 원리를 적극 활용한 보강토옹벽 중, 블록식 보강토옹벽은 패널식에 비하여 보다 수려한 외관을 표현할 수 있고, 경제적 시공이 가능한 장점을 가지고 있다. 즉, 일반적인 보강토옹벽은 전면벽체의 형태에 따라 패널식과 블록식으로 구분되며, 패널식의 경우에는 강재스트립 및 띠형 섬유보강재, 블록식의 경우에는 지오그리드가 주로 적용되고 있다. 즉, 특정 형태의 전면벽체에 따라 설치 가능한 보강재는 적용성의 한계가 있기 때문에, 최근에는 다양한 형태의 전면벽체에 공통적으로 적용할 수 있는 보강재에 관한 연구의 일환으로 블록식 보강토옹벽에 적용이 가능한 띠형 보강재에 대한 연구가 진행된 바 있다(Han et al., 2010; Hong, 2011; Lee et al., 2011, 2012b).

본 연구에서는 띠형 보강재를 다양한 보강토옹벽에 적용하기 위한 노력의 일환으로, 신장성에 따른 띠형 보강재의 인발저항특성을 평가하기 위하여 강재스트립 보강재 및 띠형 섬유보강재에 대하여 대형인발시험을 수행하였다. 또한 시험결과를 바탕으로 각 보강재의 인발저항력 및 인발강도를 평가하였으며, 이를 기존에 적용되어온 돌기형 강재스트립 보강재의 시험결과와 비교하였다. 그리고 재료특성에 기인하는 신장성이 스트립 형태 보강재의 인발저항 특성에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 보강재의 인발저항 평가

전술한 바와 같이, 지반 내에서 발현되는 보강재의 인발

저항은 보강재와 지반의 경계면에서 발생하는 마찰저항과 보강재의 지지부재에 의한 지지저항에 의해 유발된다. 국내에서 보강토옹벽의 설계 및 시공에 주로 적용되고 있는 FHWA(2001) 설계기준에 나타난 인발저항력(P_r)은 보강토체로부터 보강재가 인발되는 최대 하중으로 정의하고 있으며, 식 (1)과 같이 산정할 수 있다.

$$P_r = F^* \cdot \alpha \cdot \sigma'_v \cdot L_e \cdot C \quad (1)$$

여기서, F^* : 인발저항계수(= *Passive Resistance* + *Frictional Resistance*)

α : Scale effect factor(비신장성 보강재의 경우 = 1.0)

σ'_v : 유효수직응력(kN/m^2)

L_e : 저항영역 내 보강재 유효정착길이(m)

C : 보강재의 유효 면(strip, grid & sheet = 2)

$$F^* = F_q \cdot \alpha_\beta + \tan \rho \quad (2)$$

여기서, F_q : 지지력계수

α_β : 지지부재의 수동지지저항 계수

ρ : 흙/보강재 마찰각

보강재의 인발저항 평가에 있어서 인발저항력에 영향을 미치는 인발저항계수(F^*)는 마찰저항뿐만 아니라 지지저항특성을 포함하고 있기 때문에 식 (2)와 같은 이론식을 사용할 수 있지만 보다 정확한 설계적용을 위해서는 반드시 보강재에 대한 인발시험이 수행되어야 하며, 그 결과를 이용한 평가가 이루어져야 한다. 이와 관련하여 식 (3)을 이용하여 인발시험 결과에 의한 최대인발력을 적용함으로써 인발강도(τ_p)를 산정한 후, 인발저항 특성을 평가할 수 있다.

$$\tau_p = \frac{P_r}{2A} \quad (3)$$

여기서, P_r : 최대인발력(kN)

A : 보강재 단면적(m^2)

3. 대형인발시험

신장성에 따른 강재스트립 보강재 및 띠형 섬유보강재

의 인발저항을 평가하기 위하여 일련의 대형인발시험을 수행하였으며, 시험방법은 FHWA(2001)에서 제안하고 있는 시험법을 참조하였다. 또한 전술한 바와 같이, 기존에 적용되던 돌기형 강재스트립 보강재의 인발시험도 동일한 방법으로 수행하였다.

3.1 시험장비

인발시험은 다양한 형태의 보강재에 대하여 지반과 보강재 사이의 마찰특성을 평가하고, 보강재의 인발과정 동안에 지반과 보강재 사이의 인발저항 특성을 평가하기 위한 시험이다(Lee et al., 2009). 본 연구에서 사용된 대형인발시험기는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 토조, 수직응력 가압장치, 인발하중 재하장치 및 시험기 제어장치 등으로 구성되어 있다. 토조는 길이 160cm, 폭 76cm 및 깊이 55cm

로서 ASTM D 6706-01(2003)의 최소 권고치(길이×폭×깊이 = 61cm×46cm×30.5cm)보다 크게 제작되었으며, 700kPa의 내압을 견딜 수 있는 강성을 가지고 있다. 그리고 지반 내에 포설된 보강재의 내부변위 측정이 가능하며, 수직응력은 공기주머니(air bag)를 이용하여 최대 500kPa까지 가압할 수 있다. 또한 인발 시 발생하는 전면변위는 최대 220mm까지 측정이 가능하며, 인발하중은 최대 200kN까지 재하가 가능하다(Lee et al., 2012a).

3.2 시험재료

3.2.1 보강재 특성

본 연구에 적용된 띠형 보강재는 총 3종류로서 비신장성은 돌기형 강재스트립 및 강재스트립 보강재이고, 신장성은 띠형 섬유보강재로서, 각 보강재의 특징을 살펴보면

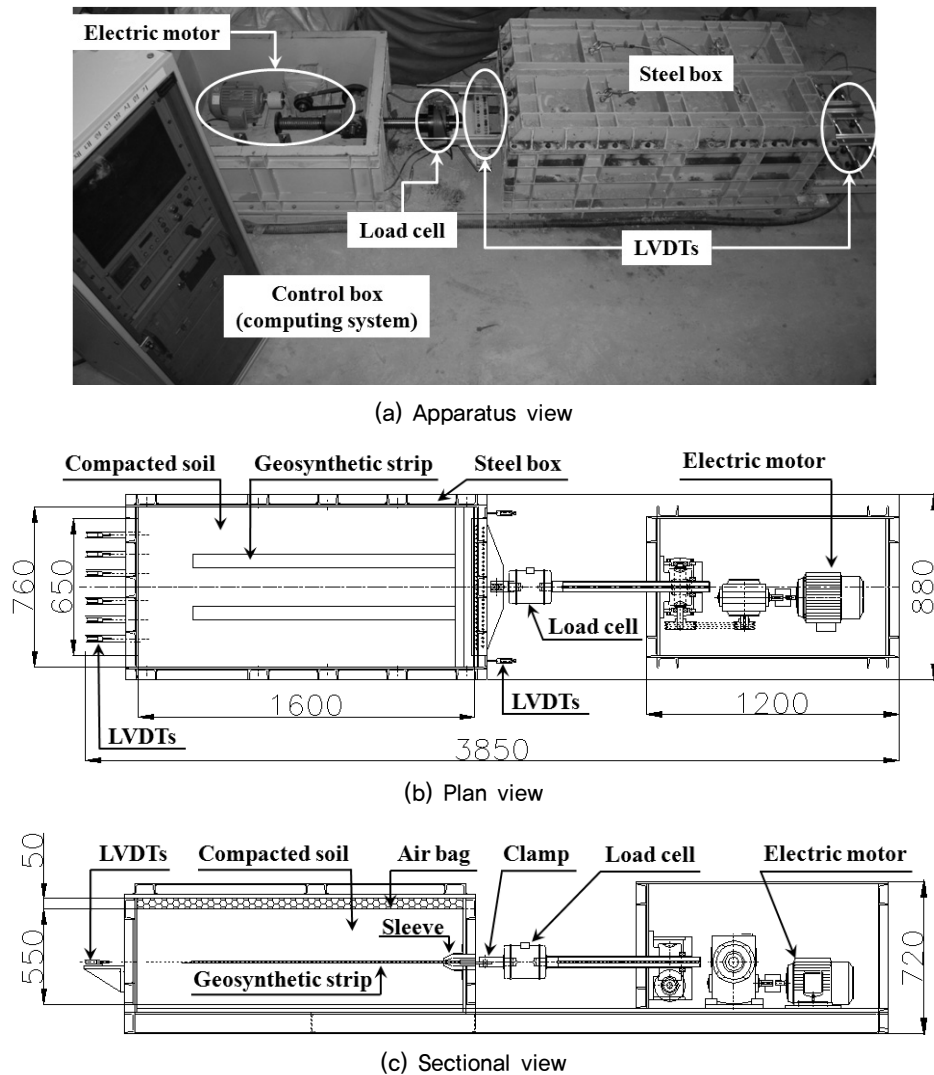


Fig. 1. Apparatus schematic (Lee et al., 2012a)

다음과 같다.

먼저, Fig. 2(a)에서 보는 바와 같이, 돌기형 강재스트립 보강재는 보강재 표면에 0.3cm의 높이를 갖는 돌기가 4.5cm 간격으로 규칙적으로 형성되어 있으며, 보강재의 두께는 0.4cm이다. 강재스트립 보강재는 두께 및 폭이 각각 0.5cm와 6.5cm이며, 일반구조용 강재인 SS400으로 제작되었다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이, 신장성 재료인 띠형 섬유보강재는 고강도 polyester(PET)와 polyethylene(PE)으로 구성되어 있으며, 보강재 폭과 생산자 제시 인장강도는 각각 7cm 및 25kN이다. 띠형 섬유보강재의 인장강도 특성을 확인하기 위하여 광폭인장강도시험을 5회 수행하였으며, 시험결과를 평균한 결과는 Fig. 3(b)에 나타낸 바와 같다. 인발시험에 적용된 띠형 섬유보강재의 최대인장강도 및 인장변형률은 각각 33.6kN 및 13.3%인 것으로 확인되었다.

3.2.2 모형지반

시험에 사용된 흙 시료의 공학적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같이, 입도분포가 좋은 모래질 흙(SW)으로 분류되었으며, 비중(G_s) 및 소성지수(PI)는 각각 2.67과 N.P로 나타났다. 시료의 다짐도 확인을 위하여 수행한 표준다짐시험 결과, 최적함수비(OMC)와 최대건조밀도($\gamma_{d_{max}}$)는 각각 14.1%와 $18.82kN/m^3$ 인 것으로 평가되었다. 또한 강도정수를 산정하기 위하여 수행된 직접전단시험 결과는 점착력과 내부마찰각이 각각 $8.7kPa$ 및 35.5° 인 것으로 나타났다.

3.3 시험방법

인발시험은 ASTM D 6706-01(ASTM, 2003)의 시험기준을 준수하였으며, 시험내용은 Table 2에서 보는 바와 같

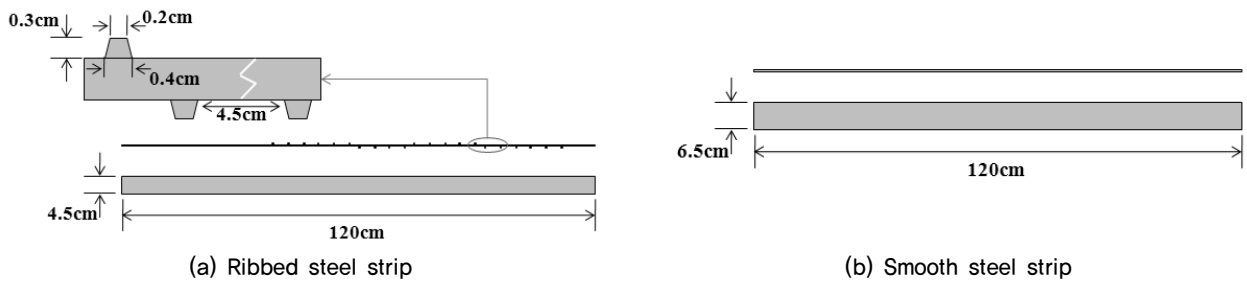


Fig. 2. Inextensible reinforcement (Lee et al., 2009)

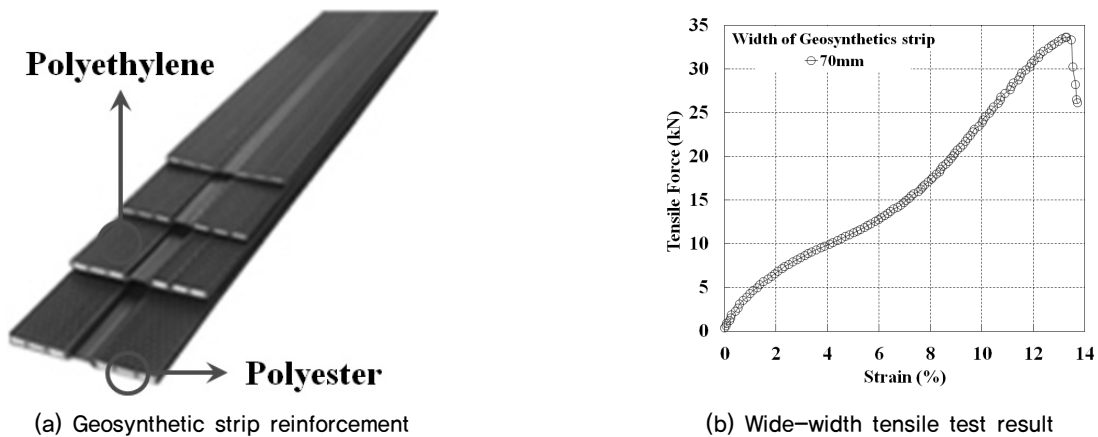


Fig. 3. Extensible reinforcement

Table 1. Soil characteristics

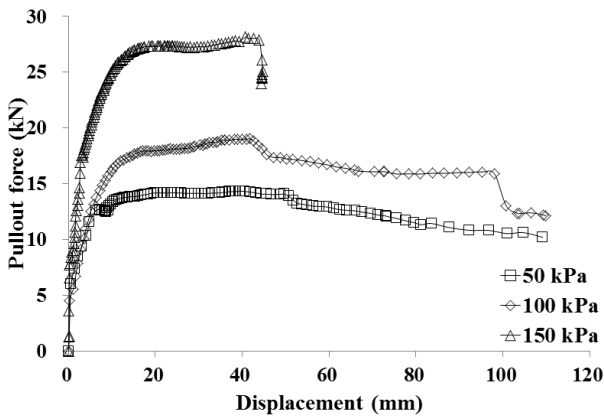
G_s	w_n (%)	PI (%)	U.S.C.S	Compaction test		Direct shear test	
				OMC (%)	$\gamma_{d_{max}}$ (kN/m^3)	c (kPa)	ϕ ($^\circ$)
2.67	9.58	N.P.	SW	14.1	18.82	8.7	35.5

다. 보강재에 작용하는 수직응력은 다짐시험 결과를 반영하여 보강재의 종류에 따라 25kPa~200kPa을 적용하였으며, 이는 뒤채움 흙의 높이를 약 1.5m~10.5m 정도로 고려한 것이다. 또한 보강재는 2열로 포설하였으며, 수평 설치간격은 토조의 크기 및 보강재 특성을 고려하여 비신장성의 경우에는 400mm, 신장성 보강재의 경우에는 260mm로 하였다.

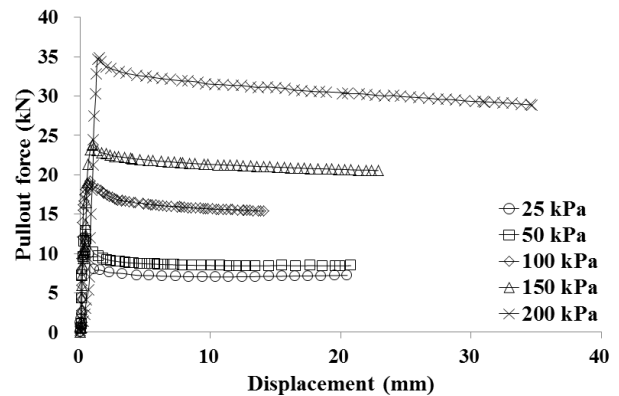
모든 조건에 대한 인발시험 시, 지반조성은 2열로 포설된 보강재를 중심으로 상·하부로 구분하여, 소형 진동다짐 램머를 이용하여 각각 3층 다짐을 하였으며, 다짐율은 95% 이상이 될 수 있도록 하였다. 또한 토조 내부의 벽면 마찰을 최소화하기 위하여 오일(oil)과 비닐랩을 이용하여

Table 2. Test classification

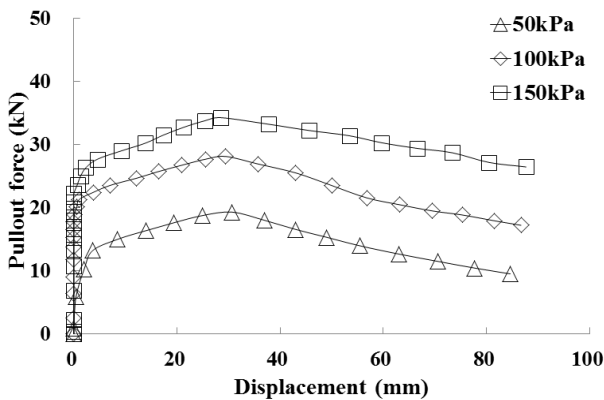
Reinforcement	Horizontal spacing of reinforcement (mm)	Normal stress (σ_v , kPa)
Ribbed steel strip	400	50, 100, 150
Smooth steel strip	400	25, 50, 100, 150, 200
Geosynthetic strip	260	50, 100, 150



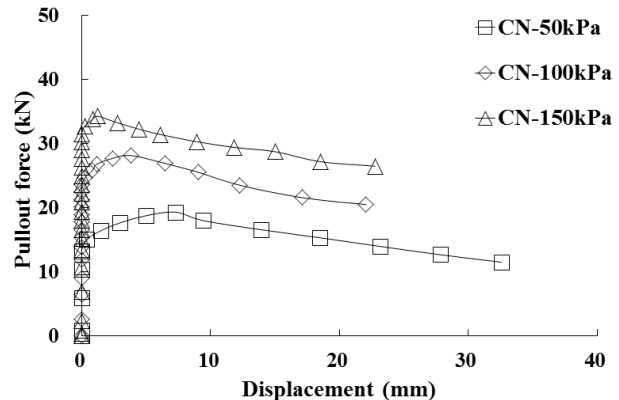
(a) Ribbed steel strip



(b) Smooth steel strip



(c) Front displacement of geosynthetic strip



(d) End displacement of geosynthetic strip

Fig. 4. Relationship between pullout force and displacement

마찰저감처리를 하였으며, 인발력은 1mm/min의 변위 제어 방식으로 적용하였다.

4. 시험결과 및 고찰

4.1 인발력-인발변위 관계

각 보강재의 인발시험결과를 이용하여 인발력-인발변위 관계를 Fig. 4에 나타내었으며, 이를 바탕으로 인발저항 평가를 위한 인발력을 선정하였다. 이 때, 각 수직응력에 따른 인발력 선정은 FHWA(2001) 설계기준을 근거로 하여 신장성에 따른 보강재의 저항특성을 반영한 기준변위량을 참조하였다. FHWA(2001) 설계기준에 의하면, 비신장성 보강재에 있어서, 마찰저항과 함께 약간의 지지저항이 발현되는 돌기형 강재스트립은 12mm, 마찰저항만 발현되는 강재스트립 보강재의 기준변위는 1.2mm이다. 그리고 신장성 보강재의 경우에는 보강재 시료의 끝단 변위가 15mm 발생하였을 때의 인발력을 이용하여 인발저항 평가를 하도록 하였다.

Fig. 4(a)와 같이, 돌기형 강재스트립 보강재의 인발력은 인발변위가 증가할수록 지속적으로 증가하다가 최대인발력이 발현된 이후에는 점차 감소 또는 수렴하는 경향으로 나타났지만, 높은 수직응력 조건(150kPa)에서는 최대인발력 발현 후에 지반의 상당한 교란으로 인하여 저항력이 급감하는 것으로 나타났다. 강재스트립 보강재의 경우에는 인발변위 초기에 인발력이 급속하게 증가하였으며, 점차 감소하면서 수렴하는 것으로 확인되었다(Fig. 4(b) 참조). 이는 최대인발력 이후, 지반과 보강재 사이의 잔류 저항이 존재하기 때문이다. 마지막으로 띠형 섬유보강재의 경우에는 전면변위 및 끝단변위에 따른 인발력으로 나타난 결과, Fig. 4(c)와 같이 전면변위에 따른 인발력은 인발변위 초기에 급증하고 인발이 진행될수록 점차 증가하다가 최대인발력 이후에는 감소하는 것으로 나타났으며, Fig. 4(d)와 같이 끝단변위에 따른 인발력은 수직응력이 증가할수록 인발변위 초기에 급증한 후, 지속적으로 감소하는 경향으로 확인되었다. 이와 같은 인발력과 인발변위 관계를 바탕으로, 각 보강재의 인발저항 평가를 위하여 기준변위에 따른 인발력을 수직응력에 조건에 따라 산정하여 Table 3에 나타내었다.

4.2 인발저항 평가

기준변위량을 통해 산정된 최대인발력을 바탕으로 수직응력에 따른 인발강도를 산정하였으며, 산정결과는 Fig. 5 및 Table 4에서 보는 바와 같다. 돌기형 강재스트립 보강재의 인발강도정수는 각각 30.6kPa와 29.7°로 평가되어, 다른 보강재에 비하여 큰 인발강도를 갖는 것으로 판

악되었다. 이는 보강재 표면에 형성되어 있는 돌기가 인발저항에 있어서 큰 영향을 차지하지는 않지만, 강재스트립 및 띠형 섬유보강재와 같은 마찰저항만으로 인발저항이 발현되는 보강재에 비하여 지지저항이 다소 발현됨으로서 인발저항 능력이 우수한 것으로 분석되었다. 특히, 보강재 폭이 다른 보강재에 비하여 크지 않아 단면적이 작음에도 불구하고, 이와 같은 결과가 나타난 것을 고려하면 동일한 단면적의 보강재에서는 매우 큰 인발저항이 발현될 것으로 판단된다. 그리고 강재스트립 보강재의 인발강도정수는 각각 22.8kPa와 20.3°로 평가되었으며, 띠형 섬유보강재는 각각 3.51kPa와 23.1°로 확인되었다. 즉, 동일한 마찰저항 보강재지만 신장성에 따라 지반과 보강재 사이의 마찰각은 유사한 반면에, 점착력은 신장성 보강재가 우수한 것으로 분석되었다. 이는 보강재의 단면적이 유사한 점을 고려하면, 마찰저항만으로 인발저항이 발현되는 신장성 보강재는 비신장성 보강재에 비하여 우수한 인발저

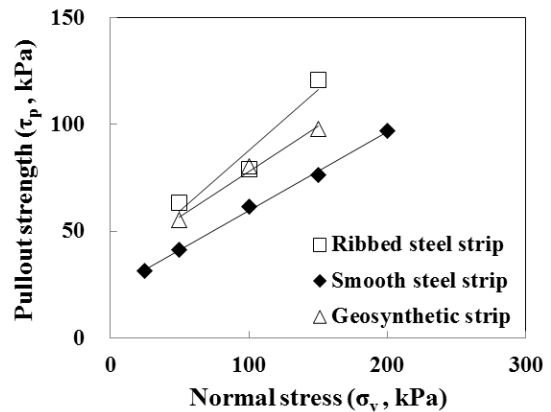


Fig. 5. Relationship between normal stress and pullout strength of reinforcement

Table 3. Decision of pullout force according to reinforcement type

Reinforcement	Criterion of pullout displacement (mm)	Normal stress (σ_v , kPa)	Maximum pullout force (P_r , kN)
Ribbed steel strip	12	50	13,72
		100	17,05
		150	26,06
Smooth steel strip	1,2	25	9,77
		50	12,90
		100	19,25
		150	23,90
Geosynthetic strip	15 (end displacement)	50	19,33
		100	28,15
		150	34,29

Table 4. Summary of pullout strength parameters

Reinforcement	Soil-reinforcement interface adhesion (kPa)	Soil-reinforcement interface friction angle (°)
Ribbed steel strip	30.6	29.7
Smooth steel strip	22.8	20.3
Geosynthetic strip	35.1	23.1

항 특성을 나타내는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 신장성에 따른 다양한 띠형 보강재를 이용하여 인발저항특성을 평가하고자, 강재스트립 보강재 및 띠형 섬유보강재에 대한 대형인발시험을 수행하였으며, 시험결과를 바탕으로 인발강도를 평가하였다. 또한 기존의 돌기형 강재스트립 보강재의 시험결과와 띠형 보강재와의 인발저항특성을 비교하였으며, 이를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 각 보강재의 인발력과 인발변위의 관계는 재료적 특성 및 수직응력 조건에 따라 매우 상이하게 나타났다. 특히, 마찰저항 보강재는 인발력이 수직응력 조건에 관계없이 유사한 인발변위 조건에서 최대인발력이 발현되는 반면에, 지지저항이 포함되는 돌기형 강재스트립 보강재는 수직응력 조건에 따른 최대인발력이 다소 상이한 것으로 확인되었다. 이는 수직응력 조건이 지지저항의 크기에 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- (2) 돌기형 강재스트립 보강재는 다른 보강재에 비하여 보강재 폭이 크지 않아 단면적이 작음에도 불구하고, 마찰저항만으로 인발저항이 발현되는 보강재에 비하여 지지저항 발현에 의하여 인발저항 능력이 우수한 것으로 확인되었다.
- (3) 마찰저항 보강재의 경우, 보강재의 단면적이 유사함에도 불구하고, 신장성 보강재가 비신장성 보강재에 비하여 우수한 인발저항특성을 나타내는 것으로 확인되었으며, 이는 신장성 보강재의 표면성질 뿐만 아니라, 인발력 증가에 의해 보강재가 지반 내에서 늘어남에 따라 마찰면적이 다소 증가한 것에 기인한 것으로 분석되었다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant from a Internal Research Project (Development of Environmentally Friendly Earth Structures) funded by the Korea Institute of Construction Technology

참고문헌

1. ASTM (2003), *ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS*, Section 4, Vol.04.13, pp.396-401.
2. Chen, H.-T., Hung, W.-Y., Chang, C.-C., Chen, Y.-J. and Lee, C.-J. (2007), "Centrifuge modeling test of a geotextile reinforced wall with a very wet clayey backfill", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.25, No.6, pp.346-359.
3. Elias, V., Christopher, B. R. and Berg, R. R. (2001), *Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes design and construction guidelines*, Publication No. FHWA-NHI-00-043, Federal Highway Administration, Washington, D.C., USA.
4. Han, J. G., Yoon, W. I., Hong, K. K., Hong, W. P., Lee, K. W. and Cho, S. D. (2010), "Evaluation on Bearing Resistance of Transverse Members in Steel Strip Reinforcement using Pullout Tests and Theoretical Equations", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.9, No.2, pp.33-40. (in Korean)
5. Hong, K. (2011), *Evaluation of pullout resistance and design of strip-type reinforcement based on anchorage effect*, Ph.D. Thesis, Chung-Ang university, 2p. (in Korean)
6. Jewell, R. A. (1990), "Revised Design Charts for Steep Reinforced Slopes", *Proceedings of Symposium on Reinforced Embankments ; Theory and Practice in the British Isles*, Cambridge, September, Thomas Telford. pp.1-27.
7. Matsui, T., Nabeshima, Y., Uchihata, K. and Han, J. G. (1997), "Tensile strength of Jointed Reinforcements in the Steel Grid Reinforced Earth", *Proc. of Soil Improvement, Macau*.
8. Lee, K. W., Cho, S. D., Han, J. G. and Hong, K. K. (2009), "Pullout Resistance of Steel Strip Reinforcement with Transverse Members using Large-scale Pullout Tests", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.8, No.4, pp.1-8. (in Korean)
9. Lee, K. W., Cho, S. D., Han, J. G. and Hong, K. K. (2011), "Pullout Resistance of Geosynthetic Strip with Rounded Band Anchor", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.10, No.3, pp.43-51. (in Korean)
10. Lee, K. W., Cho, S. D., Han, J. G. and Hong, K. K. (2012a), "Evaluation of Strain Distribution and Pullout Strength based on Width and Horizontal Spacing of Geosynthetic Strip", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.11, No.2, pp.39-47. (in Korean)

11. Lee, K. W., Cho, S. D., Han, J. G. and Hong, K. K. (2012b), "Evaluation on Stability of Reinforced Earth Wall using Geosynthetic Strip with Rounded Band Anchor", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.11, No.3, pp.43-51. (in Korean)
12. Tatsuoka, F., Hirakawa, D., Nojiri, M., Aizawa, H., Nishikiori, H., Soma, R., Tateyama, M. and Watanabe, K. (2009), "A new type of integral bridge comprising geosynthetic-reinforced soil walls", *Geosynthetics International*, Vol.16, No.4, pp.301-326.
13. Won, M.-S. and Kim, Y.-S. (2007), "Internal deformation behavior of geosynthetic-reinforced soil walls", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.25, No.6, pp.10-22.
14. Yoo, C. and Kim, S. B. (2008), "Performance of a two-tier geosynthetic reinforced segmental retaining wall under a surcharge load: Full-scale load test and 3D finite element analysis", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.26, No.6, pp. 460-472.
15. Yoo, C. and Jung, H. Y. (2006), "Case History of Geosynthetic Reinforced Segmental Retaining Wall Failure", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.132, No.12, pp.1538-1548.