The Journal of Engineering Geology
pISSN : 1226-5268 eISSN : 2287-7169

Vol. 31, No. 3, September, 2021, pp. 321-332
https://doi.org/10.9720/kseg.2021.3.321

RESEARCH ARTICLE

신장형 띠형 보강재의 형상에 따른 인발저항 및 시공성능 평가 실험 연구

정재형[1*] · 김재홍[2]

[1]한국건설기술연구원 지반연구본부 연구위원, [2]대한 콜크 연구소장

The Evaluation of Pullout Resistance and Installation Damage according to the Shape of Flexible Strip Reinforcement

Jaehyeung Jeoung[1*] · Jaehong Kim[2]

[1]Research Fellow, Geotech Research Division, Korea Institute of Civil and Building Technology
[2]Director of the Headquarters, Daihan Cork Co., Ltd.

Abstract

Though development of reinforced earth wall is on the rise recently, safety verification for various methods remains behind which has caused the problems including collapse after installation. This study aims to evaluate the field applicability of the shape of flexible strip reinforcement according to pullout resistance test and field damage test. The test specimens were 3 shape of reinforcement, the typical flexible band reinforcement, developed luged band reinforcement, and band type reinforcement made by cutting geogrid. It was found that reinforcement of type have strengths and weaknesses, respectively. The best type of flexible strip reinforcements can be selected, if the conditions are considered with the installation conditions of the reinforcing earth retaining wall and the particle size of the backfill materials.

Keywords: reinforced earth wall, pullout resistance, installation damage test, flexible strip reinforcement

초 록

최근 새로운 개념의 보강토 옹벽이 많이 개발되고 있으나, 개발된 보강재에서 발생되는 시공과정에서 문제나 붕괴와 같은 문제의 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 신장형 띠형 보강재의 형상에 따른 현장 적용성을 인발저항시험과 내시공성시험으로 평가하고자 하였다. 시험체는 일반적인 신장형 띠형 보강재, 돌기가 부착된 개발된 신장형 띠형 보강재, 지오그리드를 절단하여 만든 띠형 보강재를 사용하여, 신장형 띠형 보강재 형상의 차이에 대한 기초적인 연구를 수행하고 각 보강재료의 장단점을 비교하였다. 연구 결과로서 보강재의 형상에 따른 장·단점을 명확하게 가지고 있는 것으로 나타났으며, 보강토 옹벽의 설치 조건과 뒤채움재의 입도를 고려하여 선택한다면 최선의 보강재를 선택할 수 있을 것으로 나타났다.

주요어: 보강토 옹벽, 인발저항시험, 내시공성 시험, 신장형 띠형 보강재

OPEN ACCESS

***Corresponding author:** Jaehyeung Jeoung
E-mail: jjhcivil@kict.re.kr

Received: 10 August, 2021
Revised: 30 August, 2021
Accepted: 1 September, 2021

Ⓒ 2021 The Korean Society of Engineering Geology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

우리나라는 산지가 많아서 단층, 절리 및 두꺼운 풍화 잔적토층이 존재하는 지역이 있으며, 건설공사와 같은 인위적인 개발도 많아서 비탈면 붕괴의 위험이 높은 곳이 있다. 이러한 비탈면을 보강하기 위하여 앵커 공법이나 옹벽 등이 많이 설치되고 있다. 앵커의 경우는 비탈면 붕괴 예방 효과도 좋고 비탈면 하부의 공간 활용도 우수한 장점이 있는 반면에 비탈면에 직접 설치하기 때문에 시공비 등이 많이 소요된다. 특히, 지질학적 구조를 잘못 판단할 경우에는 앵커 보강의 효과도 줄어들뿐 아니라 오히려 비탈면의 붕괴를 가속시킬 수 있어서 지질전문가의 참여가 있어야 하는 등 이론적, 경험적 축적된 기술이 필요하다. 이와 다르게, 비탈면 하부에 비탈면 보강공을 설치할 수 있는 공간이 있다면 옹벽과 같은 토류구조물을 설치하는 것은 상대적으로 고도의 기술이 필요하지 않고 비용대비 효과가 우수한 보강 대책이라 할 수 있다.

옹벽 중에는 보강재를 포설하면서 성토로 건설하는 보강토 개념의 공법이 있으며, 설계와 시공의 개념이 단순하여 최근에는 기존에 콘크리토 옹벽이 건설되어야 하는 현장 대부분 대체하고 있는 실정이다. 보강토 옹벽에 삽입되는 보강재는 재료의 특성에 따라서 신장형 재료와 비신장형 재료로 구분할 수 있다. 비신장형 보강재는 주로 강재를 사용하는 강재스트립, 강그리드 보강재 등을 예로 들 수 있으며, 신장형 보강재는 지오그리드, 띠형 섬유 보강재 등이 있다.

비신장형 보강재는 지반의 초기 변위를 억제하므로서 토공량을 줄이고 향후 추가적인 변위가 적어서. 국내외에서 많이 적용하였다. 그러나 비신장형 보강재에 적용되는 강재 가격이 비싸고 부식방지를 위한 아연도금이 필요한 단점 때문에, 최근 우리나라에서는 신장형 보강재의 점유율이 높은 편이다.

신장형 보강재 중 지오그리드는 고분자 섬유 재료가 격자 구조로 만들어져 흙속에서 마찰저항과 지지저항을 동시에 발휘할 수 있도록 제작되어 가성비가 좋아서 인기가 있으나, 시공시 주의사항을 준수하여야 성능을 충분히 발휘할 수 있다. 특히, 각층의 지오그리드 포설 전에 지반 전면을 충분히 다짐하여 평평한 면을 유지하여야 하고, 지오그리드 포설 후 뒤채움재 반입과 동시에 다짐장비가 지오그리드에 직접 올라타지 않게 다짐하여 다음 층의 시공면을 마무리하여야 한다. 뒤채움재 또한 어느 정도의 기준을 만족하여야 하지만, 우리나라의 보강토 공법 시공 단가가 매우 낮은 상황 때문에 설계만큼의 성능을 보여주지 못하고 사고가 발생하는 사례가 보고되기도 한다. 그리고 지오그리드를 바닥 전면에 포설하는 기존공법에서는 보강토 옹벽전면에 부착물을 다양하게 만들 수 없어서 옹벽의 외관을 개선하기 힘든 측면이 있다.

신장형 보강재 중에서 띠형 보강재는 굴곡이 많거나 다양한 형태의 전면벽제를 적용하는 것이 가능하고, 일반적으로 지오그리드 보다 강한 재료를 적용하기 때문에 보강재가 힘을 받을 수 있는 여유가 있어서 물에 의한 침식이 발생하여 불확실한 상황이 우려되는 수변구역에 적용할 경우에도 뒤채움 배수재 등과 결합이 우수하다. 지오그리드를 적용하면 시공성이 나쁘고 품질관리가 안될 수 있는 상황에서는 신장형 띠형 보강재를 적용하는 것이 바람직하다고 생각되며, 신장형 띠형 보강재의 장점을 살릴 수 있는 연구도 필요하다고 판단된다.

새로운 신장형 띠형 보강재를 개발하기 위해서는 인발력과 내시공성이 확보되어야 하며, 인발력을 높이기 위해서는 마찰지지와 저항지지가 동시에 발휘될 수 있도록 하여야 하고, 내시공성 확보를 위해서 우수한 재료의 선택 및 형상에 대한 검토가 선행되어야 한다. 기존 연구의 결과에서 보면, Jung et al.(2013)은 띠형 보강재는 전면 포설 보강재와 비교하여 저항지지력이 낮은 것을 보완하여야 한다고 발표하였으며, Moon and Yoo(2014)는 지오그리드는 수동저항 돌기를 도입하는 등 보강재의 형상이나 돌기의 위치에 따라서 보강성능 개선이 가능한 것으로 보고하였다.

이에 본 연구에서는 보강토 옹벽의 외관을 다소 개선하고 전면 포설형 지오그리드보다 운반하야 할 자재의 중량과 부피를 줄여서, 현장 접근에 제약이 있는 지역에도 적용이 쉬운 신장형 띠형 보강재의 형상 종류에 따른 현장 적용성을 평가하고자 한다. 시험체는 일반적인 신장형 띠형 보강재(이하, “A형 보강재”라 함), 돌기가 부착된 개발된 신장형 띠형 보강재(이하 “B형 보강재”라 함), 지오그리드를 절단하여 만든 띠형 보강재(이하, “C형 보강재”라 함)에 대하여 인발저항과 내

시공성을 평가하여 장단점을 비교하고, 신장형 띠형 보강재 형상의 차이에 대한 기초적인 연구를 수행하고 각 보강재료의 장단점을 비교하고자 하였다.

이론적 배경

보강토 공법은 비신장형 스트립 보강재를 적용하여 최초 개발되었으며, 인장강도가 높은 보강재를 지반 내에 포설하여 지반과 일체화를 유도하여, 이에 따른 토압감소, 전단강도 증가에 의하여 토류구조물의 안정성을 높이는 공법이다. Hong(2011)은 기본적으로 보강재와 지반에서 발생되는 인발저항이 중요한 평가요소이며, 인발저항은 보강재의 형태에 따라서 마찰저항과 지지저항이 복합적으로 작용하여 발현된다고 하였다.

강재스트립과 같은 띠형 보강재는 마찰저항으로 대부분의 인발저항이 발현되고, 스틸 그리드와 같이 횡방향 부재가 부착되어 있는 경우에는 지지저항이 동시에 발현된다. 마찰저항은 보강토 옹벽속에서 인발에 저항하는 영역에 포함되는 보강재의 길이, 보강재에 작용하는 수직응력, 보강재와 지반 사이의 마찰력 등이 주요한 영향 요소가 되며, 지지저항은 지지부재의 형상과 위치가 중요한 요소가 된다. 새로운 형상의 보강재를 개발하기 위해서는 두 가지 저항이 복합적으로 발현될 수 있도록 하는 것이 유리하다. 특히, 본 연구에서 시험된 신장형 띠형 보강재는 강재스트립과 보다 유연하기 때문에 마찰저항만으로 인발저항을 충분히 발휘하기에는 한계가 있어서 돌기와 같은 지지부재를 설치하여 인발력을 증가 시키는 것이 중요하다.

이와 관련된 국내의 연구동향을 살펴보면, 강재스트립과 같은 비신장형 띠형 보강재에 대한 기존 연구는 많이 있으나 신장형 띠형 보강재 관련 연구는 다소 활발하지 못한 상황이며, 주로 비신장형 띠형 보강재 연구 결과를 참고하여 신장형 띠형 보강재 제품 디자인에 활용하고 있다. 인발저항 관련된 연구로서는 Hong et al.(2009)은 신장형 띠형 보강재의 인발저항을 평가하면서 수동저항체를 도입하여 동시에 평가 하였으며, Yuu et al.(2003)은 신장형 띠형 보강재의 크리프 특성에 대한 평가를 하였다. Lee et al.(2012)은 띠형 섬유보강재의 폭과 설치간격에 따른 변형율 분포 및 인발강도 특성 평가하여 새로 형태의 띠형 보강재를 제안하였다. 그리고 해석적 관점에서 Abdelouhab et al.(2011)은 신장형 띠형 섬유 보강재의 거동에 관한 해석적 모델을 제안하였으며 수치해석을 통하여 보강토 옹벽의 거동을 분석하여 제시하고 있다.

앞에서 설명한 보강재의 인발저항이 전반적인 성능을 나타내는 지표라고 한다면, 실제 현장에 적용될 때 발현되는 성능 또한 검토가 필요하다. 뒤채움 작업시 골재 등이 섞여 포설될 경우에 신장형 띠형 보강재에 펀칭과 같은 손실이 발생하여 설계강도를 유지하지 못할 우려가 있다. 지오그리드를 전체 바닥면에 포설하는 경우에는 뒤채움 골재 때문에 지오그리드 손상이 다소 발생하여도 전면에 포설하였기 때문에 어느 정도의 시공손실이 발생하여도, 손실율을 설계에 반영한다면 공학적으로 문제를 발생시키지 않는 것으로 보고 있다. 그러나 띠형 보강재 형태를 사용하는 경우에 전면포설 보강재 보다 상대적으로 보강재의 단면이 적으며, 고강도의 재료를 사용하기 때문에 시공의 의한 보강재 손실 발생되면 전체적인 보강토 옹벽에 심각한 손실을 발생시킬 수도 있다. 이러한 우려에 대하여 내시공성시험으로 평가할 수 있으며, 미국 연방고속도로국(Federal Highway Administration, FHWA)에서는 인발저항계수라는 개념을 도입하고, 시공시에 손실되는 보강재의 손실을 정량적으로 설계시에 반영하여 안전한 토공구조물이 건설되도록 하고 있다.

내시공성 시험은 현장에 포설된 보강재 상부에 성토재료가 포설된 후 다짐 작업에 의하여 설치된 보강재가 손상되는 정도를 평가하기 위하여 수행된다. 뒤채움 흙의 사용재료와 시공방법이 내시공성에 큰 영향을 주기 때문에, 대규모 공사에서는 현장에서 실제로 사용되는 뒤체움 흙을 사용하여 일정 토공량 비율에 몇 번씩 내시공성 시험이 반복되어야 한다. 그러나 지반이 불균질하기 때문에 매번 이러한 시험을 수행하기 어려운 현실적인 한계 때문에 일반적으로 표준화된 골재를

활용하여 내시공성 평가 후에 추정하고 있다. 기존 연구에서 Cho et al.(2001)은 뒤채움흙의 입도에 따른 지오그리드의 내시공성 평가를 수행하였으며, Koo et al.(2012)은 띠형 섬유보강재의 구조를 변경하여 내시공성을 개선한 연구를 발표하였다. 그리고 Kim et al.(2018)은 내시공성 평가와 동시에 현장적용 하여 토공구조물의 안정성을 평가하여, 보강재의 인발저항계수의 중요성을 발표하였다.

본 연구에서는 동일한 인장력을 가지는 다른 형상의 신장형 띠형 보강재에 대하여 보강토 옹벽에 적용하였을 때의 특성의 차이를 파악하기 위한 기초연구로서 기존의 신장형 띠형 보강재(Geosynthetic strip, A형 보강재)를 대조군으로 하고, 기존 띠형 보강재에 돌기를 추가하여 개량한 신장형 띠형 보강재(Lug-type geosynthetic strip, B형 보강재)와 기존의 지오그리드를 잘라서 신장형 띠형 보강재(Geogrid type strip, C형 보강재)로 인발저항과 내시공성 시험을 통하여 평가하였다. 동일한 인장력을 가지는 보강재 이지만, 현장에 적용되었을 때, 돌기를 포함하는 보강재와 지오그리드를 활용하는 보강재는 제한적 이지만 지지저항이 기대되며, 기존 신장형 띠형 보강재와의 비교 분석을 수행하였다.

시험 개요 및 방법

시험 분석에 사용된 3가지 형상의 보강재의 재료 특성에 대하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Material properties for experiments

	Materials	Unit weight	Width	Design tensile strength
Type A (Geosynthetic strip)	Polyethylene + Polyethylene terephthalate	198 g/m	9 cm	20 kN
Type B (Lug-type geosynthetic strip)	Polyethylene + Polyethylene terephthalate	132 g/m	9 cm	20 kN
Type C (Geogrid type strip)	Polyvinyl chloride + Polyethylene terephthalate	402 g/m^2	25 cm	20 kN

기존 신장형 띠형 보강재는 Polyethylene terephthalate 실에 Polyethylene을 피복한 형태이며, 개량한 신장형 띠형 보강재는 기존의 신장형 띠형 보강재의 Polyethylene 부분에 압입+절개 작업으로 돌기+구멍을 만들어 제한적이지만 지지저항을 유도한 보강재이다. 지오그리드형 신장형 띠형 보강재는 기존의 지오그리드를 띠형 보강재와 동일한 인장강도를 가지도록 폭을 조절하여 띠형 보강재 형태로 잘라서 제작되었으며, Polyethylene terephthalate 실에 Polyvinyl chloride가 피복된 형태이다. Fig. 1은 본 연구에 사용된 보강재를 보여주고 있다.

(a) Type A (Geosynthetic strip) (b) Type B (Lug-type geosynthetic strip) (c) Type C (Geogrid type strip)

Fig. 1. Shape of flexible strip reinforcement.

일반적으로 현장에서 많이 사용되는 인장강도 20 kN을 구현하였으며, 3종류의 신장형 띠형 보강재에 각각 동일한 양의 Polyethylene terephthalate 실이 사용되도록 제작하였다. 시험체는 동일한 인장강도의 신장형 띠형 보강재로 설계되었으나, 형상에 따른 제조과정 차이에 따라서 투입된 피복재료 양이 달라서 Table 1에서 나타낸 것과 같이 단위중량 차이가 발생하였으며, Table 2에서 나타낸 것과 각 형상의 시험 전 보강재 재료 인장력이 다소 차이가 확인되었으며, 이를 반영하여 결과 분석을 수행하였다.

Table 2. Results of installation damage test

Tensile strength (kN/m)	Type A (Geosynthetic strip)			Type B (Lug-type geosynthetic strip)			Type C (Geogrid type strip)		
	Before installation damage test	After installation damage test		Before installation damage test	After installation damage test		Before installation damage test	After installation damage test	
		40 mm aggreate	120 mm aggreate		40 mm aggreate	120 mm aggreate		40 mm aggreate	120 mm aggreate
1	23.5	22.1	20.3	24.2	23.8	17.9	24.4	13.6	5.2
2	23.0	22.3	21.6	24.5	24.0	22.1	23.0	14.4	6.1
3	22.9	21.3	16.7	23.5	23.5	15.9	24.0	13.9	5.3
4	22.9	22.2	22.2	23.9	23.8	18.2	24.0	13.4	5.3
5	22.9	22.2	16.9	23.6	22.9	17.8	24.0	14.2	6.9
6	-	22.4	19.9	-	24.1	21.3	-	13.9	4.3
7	-	22.2	22.2	-	23.4	12.7	-	14.9	5.4
8	-	22.5	16.6	-	24.2	21.2	-	12.6	5.8
9	-	22.1	21.8	-	24.4	17.3	-	14.0	5.9
10	-	22.6	22.2	-	24.6	19.1	-	12.8	5.4
11	-	22.5	18.8	-	22.8	19.3	-	12.3	5.8
12	-	21.6	21.9	-	23.8	17.2	-	13.8	4.6
13	-	22.6	21.9	-	24.2	21.6	-	13.7	5.8
14	-	22.3	19.5	-	23.9	20.1	-	15.3	8.4
15	-	22.4	22.1	-	24.6	23.9	-	13.2	8.2
16	-	22.7	19.5	-	21.9	23.0	-	14.3	6.4
17	-	21.9	21.2	-	24.5	23.6	-	11.9	7.1
18	-	22.7	22.4	-	23.8	22.7	-	12.3	6.3
19	-	22.4	21.9	-	24.1	21.8	-	11.5	4.0
20	-	22.7	21.9	-	24.4	22.8	-	13.4	5.4
Average	23.0	22.3	20.6	24.0	23.8	20.0	23.9	13.5	5.9
Quartile 1	-	22.2	19.5	-	23.7	17.9	-	12.8	5.3
Quartile 3	-	22.5	22.0	-	24.8	22.3	-	14.0	6.3
Standard diviation	-	0.36	1.92	-	0.66	2.87	-	0.96	1.10
Disperation	-	0.13	3.69	-	0.43	8.23	-	0.92	1.22

실내인발저항 시험

보강토 옹벽의 내적 안정성은 보강토체 내의 가상 파괴면을 중심으로 주동영역에서 보강재에 유발되는 활동력과 저항영역에 포설된 보강재에서 발현되는 인발력을 비교하여 평가한다. 특히, 보강토체 내의 저항영역에서 발현되는 인발저항력은 신장형 띠형 보강재의 형상이나 재료에 많은 영향을 받으며 일반적으로 Fig. 2와 같은 박스형 실내 인발저항시험(Pullout Resistance Test)으로 평가한다.

(a) Test box (b) Test of Type B strip

Fig. 2. Pullout test apparat.

본 연구에서는 ASTM D6706(2001)을 따라서 시험체 길이 1,200 mm, 인발속도 1 mm/min, 에어벡으로 구속압 50 kPa을 가하여 인발시험을 실시하였으며, 시험용 표준사(ISO 679, 2009)를 채움재로 사용하였다. 표준사는 비중 2.67, 함수비 0.2%, 상대밀도 85%, 최대밀도 1.654 g/cm^3, 최소밀도 1.398 g/cm^3, 내부마찰각 33도의 기본물성치를 가지고 있다.

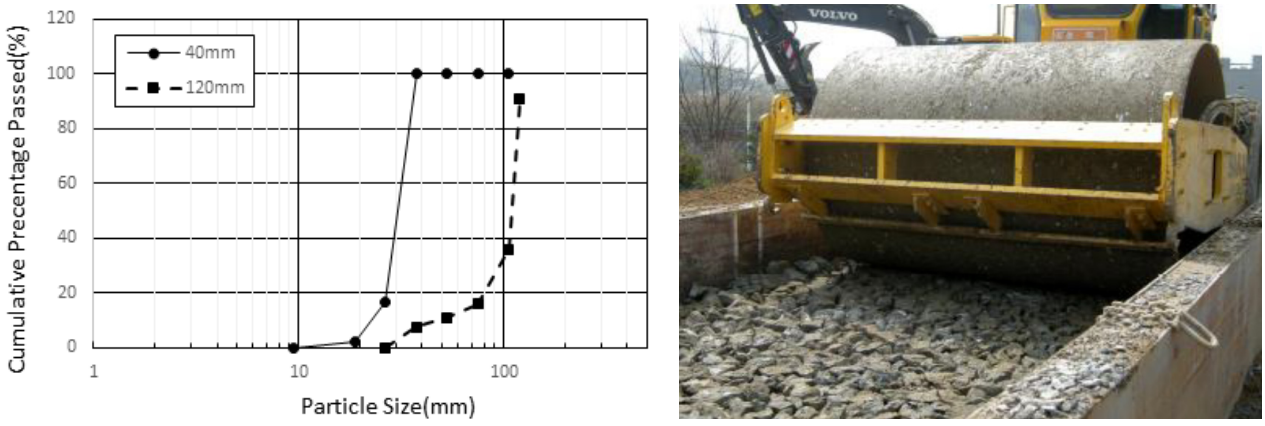
내시공성 평가 시험

내시공성 시험(Installation Damage Test)은 현장에 포설된 띠형 보강재 상부에 성토재를 포설하여 다짐작업을 시행하여, 시공에 의해 띠형 보강재가 손상되는 정도를 평가하기 위해 수행한다. 신장형 보강재의 경우에는 시공과정에서 발생하는 보강재의 손상을 정량적으로 평가하는 것이 중요하다. 장기설계 인장강도 평가시에 사용되는 내시공성 평가가 필요하다. 뒤채움 흙을 다양하게 사용하고 있는 실정으로 내시공 시험 방법은 ASTM D5818(2018)을 적용하고, 실제 구조물 축조시와 동일한 골재를 사용하고 동일한 다짐에너지를 적용하여 평가하는 것이 바람직하지만, 매번 시공상황을 반영하기 어렵기 때문에 일반적으로 사용되고 있는 골재 및 다짐방법을 사용하였다.

본 연구에서는 채움재의 입도에 대한 시공손상의 영향을 파악하기 위하여 Fig. 3과 같이 40 mm, 120 mm의 2가지 골재를 적용하였으며, Fig. 4에 나타낸 것과 같은 입도분포를 가지고 있다. 시험 시공시 20 cm 씩 단계 성토하였으며, 각 성토 사이에 시료를 설치하였으며, 성토시에 10 ton 진동로울러를 사용하여 진동수 30 Hz, 무진동 1회 왕복, 진동 4회 왕복하여 다짐하였다. 손상된 띠형 보강재를 회수하기 위해서, 다짐된 성토체를 띠형 보강재에 손상이 가지 않도록 제거하고 ISO 10319(2015)에 따라 시편을 추출한 후 인장시험을 수행하여 원시료와 손상된 시료의 각각 20개에 대하여 시험 전후의 인장강도를 비교하여 강도감소율을 평가하였다.

(a) 40 mm (b) 120 mm

Fig. 3. Aggregate of backfill.



(a) Distribution of particle size (b) Compaction for test

Fig. 4. Installation damage test.

시험시공 전, 후의 보강재의 손실 평가를 위하여 ISO 10319(2015)에 따라 인장강도를 측정하였다. 인장강도 시험기는 Instron사의 Model 5584로 한계측정강도 150 kN 용량의 장비를 사용하였고, 비접촉식 신도측정기인 Video-Extensometer를 사용하여 시료의 변형률을 동시에 측정하였다. 인장속도는 20 ± 5%/min으로 시료가 파단될 때까지 측정하였다.

시험결과 및 분석

3종류의 형상의 신장형 띠형 보강재에 대한 실내인발저항 시험을 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 변형율은 시험체의 선단 인발변위를 측정하여 계산한 값을 나타내었다. A형 보강재는 최대인발저항력 5.9 kN (변형율 2.03%), B형 보강재는 최대인발저항력 8.9 kN (변형율 6.26%) 이었으며, C형 보강재는 최대인발저항력 17.3 kN (변형율 9.64%) 이었다. 최대인발저항력은 C형 보강재가 가장 우수 하였으며, B형 보강재, A형 보강재의 순서로 나타났다. 이 결과는 C형 보강재와 B형 보강재에서 제한적이지만 지지저항을 유발할 수 있는 횡방향 부재와 돌기+구멍을 가지고 있기 때문인 것으로 보인다. 앞에서 언급한 것과 같이 Jung et al.(2013)과 Moon and Yoo(2014)는 강성의 횡방향 부재 또는 강성의 돌기가 부착되어 있는 경우에 지지저항의 효과가 나타남을 보고하였으나, 본 연구에서와 같이 연성의 횡방향 부재 또는 돌기+구멍에서도 인발

저항력이 증가함을 알 수 있었다. C형 보강재는 특히 다른 2개 형상의 신장형 띠형 보강재 보다 폭이 25 cm로 넓기 때문에 A형 보강재 보다 인발저항력이 2.93배, B형 보강재 보다 인발저항력이 1.94배 증가한 것으로 나타났다. C형 보강재가 횡방향 부재를 가지고 있고 폭이 넓어 인발저항력 측면에서는 대단히 큰 장점으로 나타났다. 동일한 폭의 A형 보강재 보다 B형 보강재에서 최대 인발저항력과 변형율이 동시에 크게 발생한 것은 삽입된 돌기+구멍으로 개선된 효과로 파악되었다.

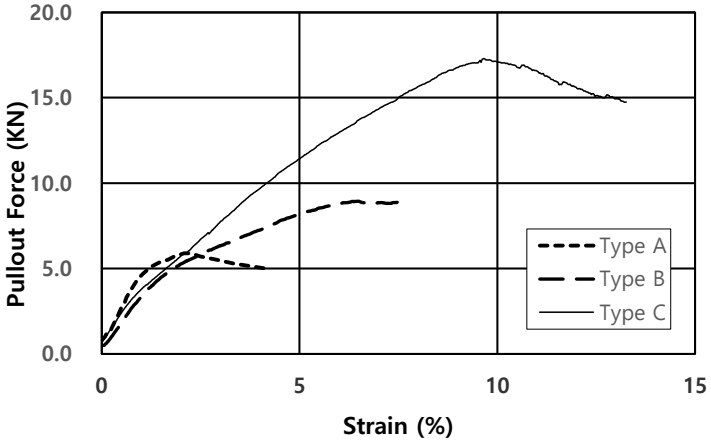


Fig. 5. Results of pullout resistance test.

반면에, 최대인장변형율을 보면 A형 보강재가 가장 우수 하였으며, B형 보강재, C형 보강재의 순서로 나타났다. 이 결과는 C형 보강재와 B형 보강재가 지지저항을 유발할 수 있는 횡방향 부재와 돌기+구멍을 가지고 있으나, 연성체이기 때문에 인발에 저항하면서 최대인장변형율이 크게 증가하는 것으로 보인다. 보강토 옹벽 설계에 있어서 본 연구의 인발저항 시험 결과를 수정없이 그대로 대입하여 사용하기는 어려우나, 보강재 형상에 따라 다른 인장변형 특성이 파악되어, 설치 예정 보강토 형식과 뒤채움재의 특성을 반영한다면, 경제적인 설계가 가능할 것으로 파악되었다.

인발저항시험에 있어서 구속압력은 보강재에 작용하는 상재 토압을 고려하여 결정한다. 일반적으로 구속압력이 증가하면 인발저항력도 증가하며, 변형율-인발저항력 그래프 곡선의 기울기가 급해지는 것을 볼 수 있다. 그리고 최대인발력이 발생하는 최대인발변위 역시 증가하며, 횡방향 부재의 저항도 증가하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 3종류의 신장형 띠형 보강재의 형상이 잘 유지된 상태에서의 성능을 평가하기 위하여, 낮은 성토높이 상황에 적합한 구속압 50 kPa만을 적용하였으나, 고성토 상황을 고려하여 구속압을 증가시켜 보강재 형상이 토압에 의하여 설치 초기 형상을 유지하지 못하는 상황에서의 인발저항력 평가도 중요할 것으로 판단되어 향후 연구 과제로 파악되었다.

내시공성 시험(Installation Damage Test)은 현장에 포설된 띠형 보강재 상부에 성토재를 포설하여 다짐작업을 시행한 후 시험 전, 후의 보강재 인장강도를 비교하여, 시공에 의한 손상정도를 파악하는 시험이다. 40 mm, 120 mm의 2가지 골재를 채움재로 적용하였으며, 진동롤러를 이용하여 다짐 후 손상된 보강재를 추출하고 인장시험 후 Table 2에 시험결과를 나타내었다. 3가지 형상의 띠형 보강재는 20 kN으로 제작되었으나, A형 보강재의 시험 전 인장력은 평균 23.0 kN, B형 보강재의 시험 전 인장력은 평균 24.0 kN이었으며, C형 보강재의 시험 전 인장력은 평균 23.9 kN이었다. 40 mm 뒤채움재를 적용하여 내시공시험한 경우, 시험 후 A형 보강재의 인장력은 평균 22.3 kN, 시험 후 B형 보강재의 인장력은 평균 23.8 kN이었으며, 시험 후 C형 보강재의 인장력은 평균 13.5 kN이었다. 120 mm 뒤채움재를 적용하여 내시공시험한 경우, 시험 후 A형 보강재의 인장력은 평균 20.6 kN, 시험 후 B형 보강재의 인장력은 평균 20.0 kN이었으며, 시험 후 C형 보강재의 인장력은 평균 5.9 kN이었다. Table 2에 각 시험 케이스에 대한 시험 후 인장력에 대한 평균, 표준편차, 분산, 4분위수를

나타내었으며, Fig. 6에서 도식화 하여 나타내었다. 뒤채움재로 40 mm를 적용한 것 보다 120 mm를 적용한 경우에 보강재에 손실이 크게 발생한 것으로 나타났으며, 인장력 측정치의 분산값도 120 mm를 적용한 경우에 크게 나타나 내시공성 시험 후 보강재의 손상이 많이 발생한 것으로 나타났다. 120 mm의 뒤채움재를 적용한 경우에서 B형 보강재에서 인장력 측정치 분산값이 크게 나타났으며, 같은 넓이의 Type A 보다 분산이 크게 나타났다. 이는 B형 보강재의 형상과 뒤채움재 골재의 크기의 관계와 관련이 있는 것으로 보인다. A형 보강재에서는 Polyethylene terephthalate실이 보강재 단면 전체에 고르게 분포되었으나, B형 보강재에서는 보강재 가운데 돌기를 삽입하기 위하여 Polyethylene terephthalate실을 한쪽으로 모아서 배치한 것이 원인으로 보인다.

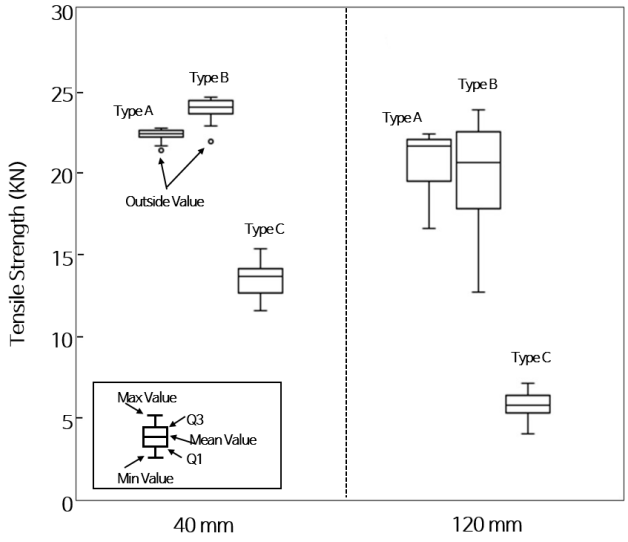


Fig. 6. Tensile strength disperation after installation damage test by backfill 40 mm and 120 mm.

골재들이 보강재에 손상을 줄 수 있는 간격과 보강재 실 부분 사이 간격이 일치해서 손상 발생된 경우와 손상이 없었던 경우의 보강재 인장력 차이가 큰 것으로 추정되었다. 신장형 띠형 보강재의 경우에 Polyethylene terephthalate실이 배치되는 간격과 내시공시험에 사용되는 뒤채움재 골재의 크기와 상관관계가 있을 것으로 추정되며, 추가적인 연구가 필요하다고 판단되었다.

내시공성 시험 후 잔여 인장강도를 시험 전 보강재의 인장강도로 나누어 인장강도 보유율(Retained Tensile Strength)을 구하면, 내시공성 시험을 통하여 발생된 보강재 손실을 정량화 할 수 있다. Fig. 7에서 내시공 시험에 사용된 채움재 종류별 인장강도 보유율을 나타내었다.

40 mm 뒤채움재를 적용하여 내시공시험한 경우, 시험 후 A형 보강재의 인장강도 보유율은 평균 97%, 시험 후 B형 보강재의 인장강도 보유율은 평균 99.2%이었으며, 시험 후 C형 보강재의 인장강도 보유율은 평균 56.4%이었다. 120 mm 뒤채움재를 적용하여 내시공시험한 경우, 시험 후 A형 보강재의 인장강도 보유율은 평균 89.6%, 시험 후 B형 보강재의 인장강도 보유율은 평균 83.3%이었으며, 시험 후 C형 보강재의 인장강도 보유율은 평균 24.5%이었다. 내시공성 시험에서 골재의 크기와 관계없이 C형 보강재가 3종류 형상 보강재 중에서 강도 손실이 가장 크게 발생하였으며, A형 보강재과 B형 보강재은 인장강도 보유율에서 거의 비슷한 성능을 보인 것으로 나타났다. 3가지 형상의 보강재가 동일한 인장강도로 설계되었지만, A형 보강재와 B형 보강재 폭이 9 cm, C형 보강재 폭이 25 cm의 차이가 인발저항시험에서는 C형 보강재에게 장점이 있었다면, 내시공성 시험에서는 단점으로 나타났다.

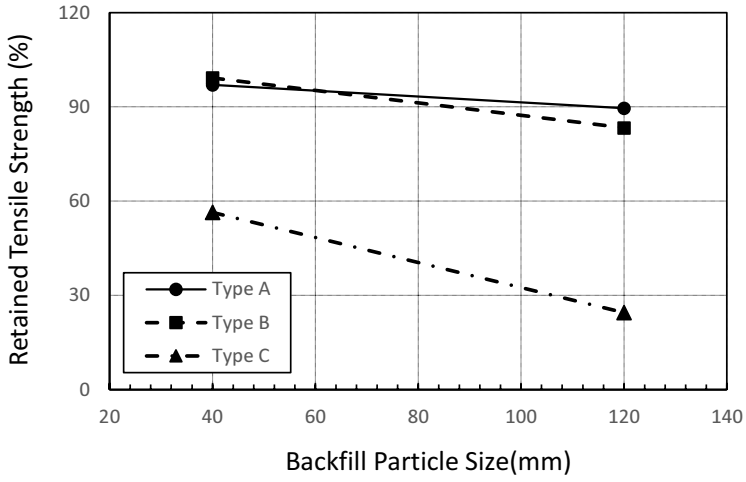


Fig. 7. Retained tensile strength by backfill size.

본 연구에서는 형상이 다른 신장형 띠형 보강재를 보강토 옹벽에 적용하였을 때 거동특성을 파악하기 위하여 3종류의 보강재에 대하여 인발저항시험과 내시공성시험을 통하여 기초적인 연구를 수행하였다. 시험에 사용된 3종류 보강재는 동일한 인장력으로 제작되어 형상의 특성이 실험 결과에 충분히 나타날 수 있도록 하였다. 인발저항시험의 결과를 분석하면 연성이라 하더라도 횡방향 부재와 돌기+구멍 등을 가지고 있는 신장형 띠형 보강재에서 제한적이지만 지지저항이 발생함을 알 수 있었다. 그리고 C형 보강재는 횡방향 부재를 가지고 있고, 폭이 넓어서 인발저항력이 대단히 크게 나타났으나, 최대인장변형율 또한 크게 발생되었다. 내시공성 시험 결과를 분석하면 C형 보강재가 3종류 형상 보강재 중에서 강도 손실이 가장 크게 발생하였으며, A형 보강재과 B형 보강재은 비슷한 성능을 보인 것으로 나타났다.

인발저항시험에 있어서 일반적으로 구속압력이 증가하면 인발저항력도 증가하고 최대인발변위 역시 증가하며, 횡방향 부재의 저항도 증가하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 3종류의 신장형 띠형 보강재의 형상이 잘 유지된 상태에서의 성능을 평가하기 위하여, 낮은 성토높이 상황에 적합한 구속압 50 kPa만을 적용하였으나, 구속압을 증가시켜 인발저항력 평가도 중요할 것으로 판단되어 향후 연구 과제로 파악되었다.

본 연구에서 3종류 형상의 신축형 띠형 보강재의 장단점이 발견되었으며, A형 보강재는 최대인장변형율이 가장 적고 뒤채움재의 영향이 적어서 내시공성이 좋은 것으로 나타났다. B형 보강재는 A형 보강재를 개량한 형태로서 동일한 양의 재료가 사용되었음에도 불구하고 돌기+구멍의 영향으로 인발저항력이 1.5배 증가, 최대인장변형율이 3.1배 증가하였다. C형 보강재는 형상의 영향으로 인발저항력이 매우 크지만 골재를 뒤채움재로 사용하였을 때 내시공성이 나쁜 것으로 나타났다. 보강토 옹벽에 적용할 때 뒤채움재를 반영하고 필요한 인발저항력을 사전에 충분히 검토한다면, 매우 경제적으로 보강재를 선택할 수 있을 것으로 파악되었다.

토의 및 결론

본 연구에서는 띠형 신장형 보강재의 형상에 따른 인발저항 및 시공성능 평가 실험 연구를 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 인발저항시험의 결과를 분석하면, 횡방향 부재와 돌기+구멍이 연성의 부드러운 재료로 제작되었다고 하더라도 신장형 띠형 보강재에서 제한적이지만 지지저항이 발생하여 인발저항이 상승함을 확인하였다. 이와 함께 최대인장

변형율도 동시에 증가함을 확인하였다. 신장형 띠형 보강재에 다양한 연성 또는 강성의 저항체가 삽입 가능한 것으로 나타났다.

(2) 내시공시험의 결과를 분석하면, C형 보강재가 3종류 형상 보강재 중에서 강도 손실이 가장 크게 발생하였으며, A형 보강재과 B형 보강재는 비슷한 성능을 보인 것으로 나타났다. C형 보강재는 다른 2종류의 보강재 보다 폭이 넓어서 인발저항시험에서 장점이었으나, 내시공성 시험에서는 단점으로 나타났다.

(3) 3종류 형상의 보강재가 각각 장·단점을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 보강토 옹벽의 설치 조건과 뒤채움재의 입도를 고려하여 선택한다면 최선의 보강재를 선택할 수 있을 것으로 파악되었다. A형 보강재는 최대인장변형율이 적고 뒤채움재의 영향이 적어서 표준적인 보강재로 판단되었다. B형 보강재는 A형 보강재와 동일한 양의 재료가 사용되었음에도 불구하고 인발저항력이 A형 보강재의 1.5배, 최대인장변형율이 3.1배 이며, 내시공성이 우수하였다. C형 보강재는 골재가 포함되지 않는 토사 위주 뒤채움이 적용되는 곳에 장점이 매우 큰 것으로 나타나서, 기존의 전면 포설 시공의 단점을 보완하는 띠형 보강재 적용도 고려해야 할 것으로 파악되었다.

(4) 인발저항시험에 있어서 일반적으로 실험 구속압력이 증가하면 인발저항력도 증가하고 최대인발변위 역시 증가하며, 횡방향 부재의 저항도 증가하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 3종류의 신장형 띠형 보강재의 형상이 유지된 상태에서의 성능을 평가하기 위하여, 낮은 성토높이 상황에 적합한 실험 구속압 50 kPa만을 적용하였으나, 구속압을 다양하게 증가시켜 형상에 따른 거동의 차이를 파악하는 것도 필요한 것으로 나타나 향후 연구과제로 판단되었다.

사 사

본 연구를 위하여 현장 실험 과 재료 실험에 도움을 주신 FITI 시험연구원의 조 항원 박사님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

References

Abdelouhab, A., Dias, D., Freitag, N., 2011. Numerical analysis of the behaviour of mechanically stabilized earth walls reinforced with different types of strips, Geotextiles and Geomembranes, 29(2), 116-129.

ASTM D5818, 2018, Standard practice for exposure and retrieval of samples to evaluate installation damage of geosynthetics, American Society for Testing and Materials.

ASTM D6706, 2001, Standard test method for measuring geosynthetic pullout resistance in soil, American Society for Testing and Materials.

Cho, S.D., Kim, J.M., Ahn, J.H., Lee, K.W., 2001, Evaluation of installation damage of geogrid by grain size of backfill, Proceedings of the Fall 2001 Geosynthetics Conference, The Korean Geosynthetics Society, 19-28 (in Korean with English abstract).

Hong, G.K., 2011, Evaluation of pullout resistance and design of strip-type reinforcement based on anchorage effect, Ph.D. Thesis, Chung-ang University, 17-43 (in Korean with English abstract).

Hong, G.K., Yoon, W.I., Han, J.G., Lee, K.W., Cho, S.D., 2009, An experimental study on pullout resistance of geosynthetic strip, The Fall 2009 Geosynthetics Conference, The Korean Geosynthetics Society, 49-56 (in Korean with English abstract).

ISO 10319, 2015, Geosynthetics — Wide-width tensile test, International Organization for Standardization.

ISO 679, 2009, Cement — Test methods — Determination of strength, International Organization for Standardization.

Jung, S.G., Kim, J.H., Cho, S.D., Lee, K.W., 2013, The evaluation for pullout performance of steel strip reinforcements with deformed-bars as transverse members, Journal of the Korean Geosynthetics Society, 12(4), 77-86 (in Korean with English abstract).

Kim, T.S., Lee, S.Y., Nam, M.S., Han, H.S., 2018, Pullout behavior of mechanically stabilized earth wall abutment by steel reinforcement and backfill properties, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 19(11), 750-757 (in Korean with English abstract).

Koo, H.J., Cho, H.W., Lee, J.W., Kang, M.H., 2012, A study on improvement of installation damage for hybrid geosynthetic strips, The Spring 2012 Geosynthetics Conference, The Korean Geosynthetics Society, 209-212 (in Korean with English abstract).

Lee, K.W., Cho, S.D., Han, J.G., Hong, K.K., 2012, Evaluation of strain distribution and pullout strength based on width and horizontal spacing of geosynthetic strip, Journal of the Korean Geosynthetics Society, 11(2), 39-47 (in Korean with English abstract).

Moon, H.D., Yoo, C.H., 2014, Pullout characteristics of geogrid with attached passive reinforcement, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, 15(11), 43-51 (in Korean with English abstract).

Yuu, J.J., Jeon, H.Y., Kim, H.T., Kim, G.M., Kim, Y.Y., 2003, Assessments of creep properties of strip type fiber reinforcement, The Spring 2003 Geosynthetics Conference, The Korean Geosynthetics Society, 27-39 (in Korean with English abstract).