

마찰돌기를 부착한 지오그리드의 인발특성 평가

Pullout Characteristics of Geogrid with Attached Passive Reinforcement

문 흥 득[†] · 유 철 호¹⁾

Hongduk Moon · Chulho Yoo

Received: July 28th, 2014; Revised: August 6th, 2014; Accepted: September 14th, 2014

ABSTRACT : In this study, a series of pullout experiments were conducted on geogrid with attached passive reinforcement with respect to silt containments. Experiments were performed on man-made sand ground containing different silt of 0 %, 17 %, 35 % under various normal stresses 30 kPa, 60 kPa, 120 kPa respectively. The pullout test results showed that passive reinforcement increased the pullout strength over all silt contained condition and showed up to 20 % increases for same soil condition. The test results converted to the coefficient of interaction of pullout test to investigate the effect of reinforcement and the case of passive reinforcement showed 0.7~1.6 distribution depend on a silt contents. Therefore it is concluded that the overall length of geogrid can be reduced under the low vertical stress conditions.

Keywords : Reinforced retaining wall, Geogrid, Frictional reinforcement, Backfill materials, Attached Passive Reinforcement (APR), Coefficient of interaction (Ci)

요 지 : 본 연구에서는 실트함유율과 상재하중에 따른 보강재(지오그리드)의 인발저항력의 변화를 알아보기 위하여 실트함유율이 각각 0 %, 17 %, 35 %, 수직하중이 각각 30 kPa, 60 kPa, 120 kPa인 형태로 그리드를 무보강과 마찰돌기 형태로 변화를 주어 인발시험을 시행하였다. 인발시험결과 일반 지오그리드의 경우 실트함유율이 증가하면 인발저항력이 감소되지만 마찰돌기를 부착한 그리드의 경우는 동일조건에서 약 20 %의 증가를 보이는 것으로 확인되었고, 상호작용계수는 실트함유량에 따라 0.7~1.6의 분포를 보였다. 이러한 결과를 바탕으로 낮은 수직하중상태에서 보강토옹벽의 설계 시 마찰돌기 부착형 보강재는 뒷채움재료 특성에 따라 사용 길이를 감소시킬 수 있을 것으로 평가되었다.

주요어 : 보강토옹벽, 지오그리드, 마찰저항, 뒷채움재료, 수동저항체(APR), 상호작용계수(Ci)

1. 서 론

보강토옹벽은 뒷채움 흙내에 보강재를 포설하여 수직에 가까운 벽면을 구축하는 흙쌓기 구조물로 사질토의 뒷채움 흙에 인장력이 크고 마찰력이 좋은 보강재를 수평으로 삽입하여 흙의 횡방향 변위를 억제함으로써 토체의 안정을 기하도록 한 공법이며, 이는 크게 세 가지의 구성요소인 보강재, 전면판 혹은 전면블록, 뒷채움용 토사로 구성된다. 특히 보강토옹벽의 거동특성을 결정하는 중요한 인자는 사용되는 보강재의 특성과 보강재의 상호작용으로 보강효과를 발휘하는 뒷채움 토사이다. 보강재 재질과 형상에 따라 마찰계수는 변하는데 여러 보강재 중 마찰돌기가 부착된 강철 띠형 스트립이 마찰계수 및 뒷채움 흙의 영향을 가장 적게 받는 보강재이지만(Kim & Lee, 1996), 방청, 방식, 경제성 등의 이유로 PP, 혹은 PET 재질의 지오그리드보다 덜 사용되

고 있다. 일반적으로 사용되는 PP, PET 재질의 지오그리드는 가격이 저렴하며 보관과 수송이 용이한 장점이 있으나 플라스틱 재질이 가지는 Creep 특성 및 현장시공 중 포설 골재에 의한 손상 등의 문제를 가지고 있다(FHWA, 2001). 지오그리드의 보강효과는 보강재와 뒷채움 흙 사이의 마찰저항과 격자의 수동저항성분의 합으로 발휘되며(Jewell, 1990), 점착력이 상대적으로 높은 토사의 경우 격자형태의 일반 지오그리드 보다는 수동저항력을 발휘할 수 있는 수동저항성분, 즉 강철 띠형 스트립의 돌기가 있는 보강재가 우수한 보강효과를 보인다(Kim & Lee, 1996).

최근 중소규모의 시공현장에서는 보강토옹벽에 적합한 양질의 토사를 구하는데 많은 애로가 있어 현장의 토사를 뒷채움 흙으로 사용하고 있는 점을 감안한다면 뒷채움 흙의 영향을 덜 받는 보강재를 사용할 수 있다면 매우 유용한 시공방법이 될 것이다. 그러나 이러한 보강재를 생산하기 위

[†] Department of Civil Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology (Corresponding Author : hdmooon@gntech.ac.kr)

1) Daepyeong C&C

해선 시장규모, 경제성분석 및 현재 지오그리드 생산공정에서 극복해야 될 많은 문제 등이 존재한다. 본 연구에서는 보강토 옹벽 뒷채움 흙의 재로기준을 초과하는 다량의 실트가 포함된 뒷채움 흙을 인위적으로 제조하여 일반 격자형 지오그리드 및 마찰돌기를 부착한 지오그리드의 인발저항력을 비교·분석하였다. 지오그리드의 인발저항력은 ASTM(D-6706-01) 규정에 의거 변형을 제어방식의 Pullout test로 실시하였는데, 뒷채움 흙의 실트함유율을 여러 가지로 변경하면서(0 %, 17 %, 35 %) 인발특성을 분석하였으며, 또한 부착형 마찰돌기의 인발저항력 증가효과를 상호작용계수(Coefficient of interaction)를 적용하여 평가하였다.

2. 보강재의 인발저항

일반적으로 그리드형 보강재에 대한 인발저항은 보강재의 표면과 흙 사이에 유발된 표면 마찰저항과 보강재의 수동저항 부재에 대한 수동저항의 합으로 나타낸다. Jewell(1990)은 보강재의 인발저항, P_p 를 Eq. (1)과 같이 표현하였다.

$$P_p = 2L_r W_r \sigma_v' f_b \tan \phi \quad (1)$$

여기서

- f_b : 인발저항계수($0 < f_b < 1$)
- σ_v' : 보강재 표면에 작용하는 유효 수직응력
- L_r, W_r : 인발저항을 제공하는 그리드의 길이와 폭
- ϕ : 흙의 내부마찰각(°)

보강재와 흙 사이에는 인발변형이 발생할 때 보강재와 뒷채움 흙의 특성에 따라 인발 저항력이 결정되며 이는 보강효과의 주요 성분으로 보강토 옹벽 구조물의 안정에 기여하게 된다. 보강재의 보강특성은 흙과 보강재 사이의 마찰특성에 좌우되며 이들 마찰특성은 순수한 흙의 마찰계수($\tan \phi$)에 대한 마찰효율 즉 인발 시의 상호작용계수(Coefficient of interaction for pullout) C_i 와 보강재 층을 따른 활동 시의 직접전단계수(Coefficient of direct sliding) C_{ds} 로 표현한다 (Cho & Kim, 1996).

뒷채움 흙 속에 매립된 보강재 인발 시의 상호작용계수는 일반적으로 0.8~1.0 사이의 분포를 보이며, 흙의 내부마찰각과 상부구속압력 및 보강재의 종류에 따라 변화한다 (Kim & Lee, 1996).

인발 시의 상호작용계수 C_i 는 Pullout test와 같이 흙 속에 매설된 보강재에 대한 인발시험결과로부터 Eq. (2)와 같이 구할 수 있다.

$$C_i = \frac{R_{po}}{2L_e \sigma_n \tan \phi} \quad (2)$$

- 여기서 R_{po} : 인발시험으로부터 얻은 보강재의 인발저항력
- L_e : 인발 시의 유효 보강재 길이
- σ_n : 보강재 위에 작용하는 수직응력
- ϕ : 흙의 내부마찰각

상호작용계수, C_i 는 보강재의 유효길이 산정 시 적용되며 Eq. (3)으로 구한다.

$$L_e \geq \frac{F.S T_{max}}{2C_i \sigma_n R_c \alpha} \geq 1m \quad (3)$$

여기서 T_{max} : 보강재의 최대인장력

- L_e : 인발 시의 유효 보강재 길이
- σ_n : 보강재 위에 작용하는 수직응력
- R_c : Coverage ratio
- α : Scale correction factor
- F.S : 안전율

상호작용계수, C_i 는 Pullout test를 실시하여 결정하여야 하지만 실험을 할 수 없을 경우 안전 측의 값인 $0.67 \tan \phi$ 를 적용하도록 권고하고 있다(FHWA, 2001).

3. 인발 시험

3.1 시료의 특성

본 연구에 사용된 흙 시료는 진주시 남강 지역의 강모래를 채취하여 세척, 건조 후 실트 시료를 중량비에 따라 혼합 제조하여 실트함유율 0 %, 17 %, 35 %로 각각 제조하였다. 사용된 시료의 입도분포는 Fig. 1과 같고, 역학적 특성과 강

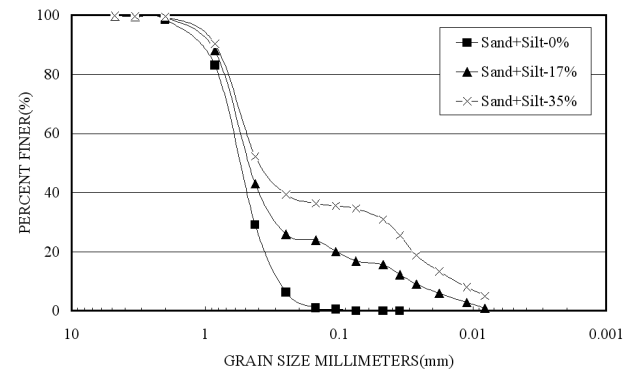


Fig. 1. Grain size distribution of sand+silt soils

도정수는 Table 1 및 Table 2와 같다.

Fig. 2는 각각의 흙 시료의 강도정수를 파악하기 위해 직접전단시험을 수행한 결과이다. 보강재의 인발시험 시에 사용되는 함수비 및 다짐도에 따라 재성형한 시료에 대하여 직접 전단시험을 실시하였다.

3.2 Pullout 시험 장비 및 방법

본 연구에 사용된 시험장비는 Fig. 3, Fig. 4과 같이 제작되었으며 흙 시료와 지오그리드가 포설되는 토조(Soil box)와 인발장치 및 지오그리드와 인발장치를 연결하는 지오그리드 고정장치 등 크게 3부분으로 구성되어 있다. 토조 내부의 크기는 길이 155 cm × 폭 60 cm × 높이 60 cm이며, 인발방향의 전면벽 중앙에는 간격 2.0 cm 정도의 슬릿(Slit)이 있어 지오그리드가 자유롭게 인발될 수 있도록 되어 있다. 토조의 상부에는 Air spring과 상재판을 설치하여 공기압에 의해 토조 내에 균등한 수직하중을 가압할 수 있도록 제작하였다.

인발장치는 유도 전동기(Induction motor), Chain coupling, Worm reducer, 스크류 잭(Screw jack), Worm gear 및 하중계(Load cell) 등으로 구성되어 있어, 토조 내 지오그리드를 일정한 변위속도로 인발하고, 인발 시의 인발력을 측정할 수 있도록 되어 있다. 지오그리드 고정장치는 지오그리드를 인발장치에 연결시키기 위한 장치로써 인발장치와 연결된

하부 강판과 지오그리드를 고정하기 위한 상부 강판을 5개의 볼트로 체결하여 지오그리드를 고정시키도록 구성되어 있다. 상·하부 강판사이에 포설되는 지오그리드를 좀 더 고정할 수 있도록 각 판 사이에는 우레탄 재질의 덮개를 설치하였다. 지오그리드 고정강판 중앙과 양측 면에는 인발변위를 측정할 수 있도록 LVDT 및 변위 게이지를 부착하였고, 인발시험 장비의 부속장치로는 토조 내 상부에 설치되는 에어스프링에 작용하는 공기압 레귤레이터, LVDT 및 Load cell 등의 센서(Sensor) 등에서 나타나는 데이터들을 읽기 위한 Data Logger 시스템 등이 사용되었다.

토조 내의 흙 시료의 다짐은 준비된 시료를 소요밀도(다짐도 : 90 %)로 맞추어서 15 cm 높이씩 4층으로 다짐하여

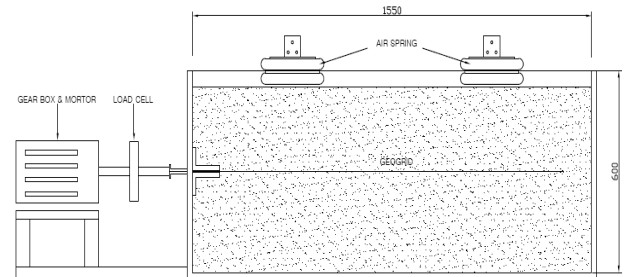


Fig. 3. The configuration of pullout test equipment (unit: mm)

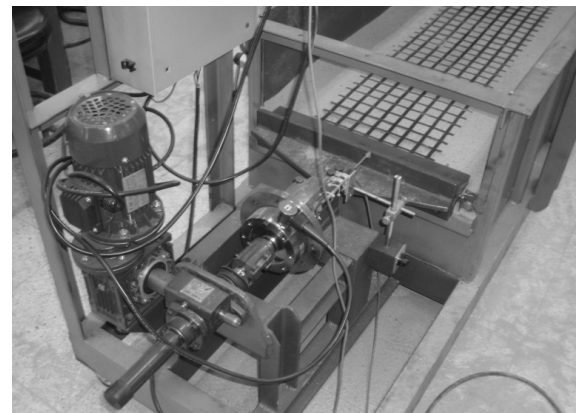


Fig. 4. The photo of pullout test equipment

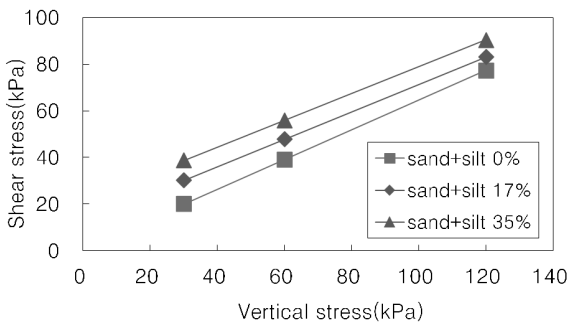


Fig. 2. The results of direct shear test

Table 1. Index properties of sand+silt soils

Samples	Grain size distribution			Specific gravity, G _s	USCS	Compaction test	
	D ₁₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₆₀ (mm)			γ _{dmax} (kN/m ³)	O.M.C (%)
Sand+silt 0 %	0.28	0.41	0.62	2.637	SP	16.5	9.8
Sand+silt 17 %	0.029	0.043	0.55	2.638	SM	16.2	17.8
Sand+silt 35 %	0.015	0.42	0.49	2.638	SM	15.9	19.8

Table 2. Internal friction angle and cohesion of sand+silt soils

Soil parameters	Sand+silt 0 %	Sand+silt 17 %	Sand+silt 35 %
Internal friction angle (°)	32.6	30.5	29.8
Cohesion (kPa)	1.0	12.5	21.5

제작하였으며, 다짐에는 직경 35 cm의 발판을 갖는 소형 Vibrator를 사용하였고, 토조 내 흙 시료의 다짐도를 확인하기 위하여 각 층 다짐 후에는 코어를 채취하여 밀도와 함수비를 측정하였다.

지오그리드 하부시료 다짐 후에는 토조 전면벽을 설치하였으며, 전면벽에는 슬리트를 설치하였고 또한 상·하 슬리브판 사이를 지오그리드가 통과하도록 하여 다짐 된 흙 시료 위에 지오그리드가 포설되도록 하였다. 슬리브 길이는 15 cm이며 슬리브 길이를 고려하여 지오그리드는 115 cm가 포설되도록 하였다.

보강재 인발시험은 ASTM에 명시된 시험절차를 준용하여 수행하였으며, 토조 내 흙 시료에 작용하는 수직하중은 30 kPa, 60 kPa, 120 kPa로 설정하였다.

3.3 보강재 특성

본 연구의 인발시험에 사용된 보강재는 국내에서 토목용으로 사용하기 위해 개발된 Geogrid이며 고강도 폴리에스테르 섬유를 폴리프로필렌수지로 피복하여 띠 형태의 스트

Table 3. Physical properties of Geogrid used in this study

Items	Contents	Geogrid type	
Dimensions	Hole size of geogrid (mm)	A × B	C × D
		40 × 41	33 × 35
	Thickness (mm)	Main rib	Auxiliary rib
2.0		2.0	
Geogrid density	Number of rib (/m)	Main rib	Auxiliary rib
		25 ± 1	25 ± 1

립을 제조한 후 제조된 스트립을 격자형태로 입체교차(평직 조직)시키고, 교차점을 용착하는 방식으로 제조되었다. 인발시험에 사용된 보강재의 물리적 특성은 Table 3과 같다. Fig. 5는 본 연구에 사용된 마찰돌기가 부착된 지오그리드를 인발시험기에 설치한 모습이다.

3.4 수동저항체

부착형 마찰돌기는 최초 직사각형 형태의 부착형 저항체를 선정하여 인발시험을 실시하였으나 인발시험 중 직사각형 형태의 문제점이 발견되어 원형의 마찰돌기 형상으로 변경하여 실험하였다. 마찰돌기는 현장 시공성을 향상시키기 위해 쉽게 조립이 될 수 있도록 설치바닥에 돌출부위를 제거하였으며 인발변형 시 적절한 변위가 발생할 수 있도록 내부공간을 주었다. 마찰돌기의 단면도와 평면도는 Fig. 6

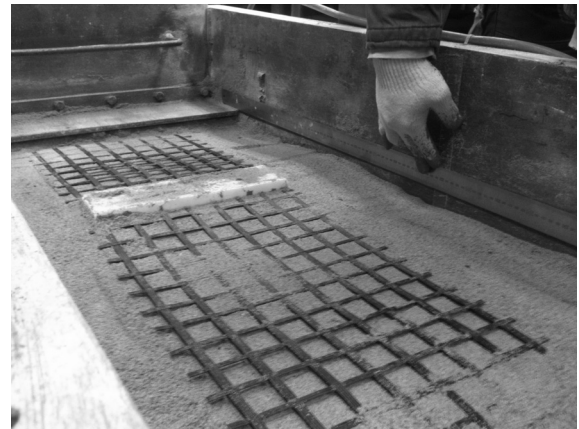


Fig. 5. The installation of geogrid and attached passive reinforcement

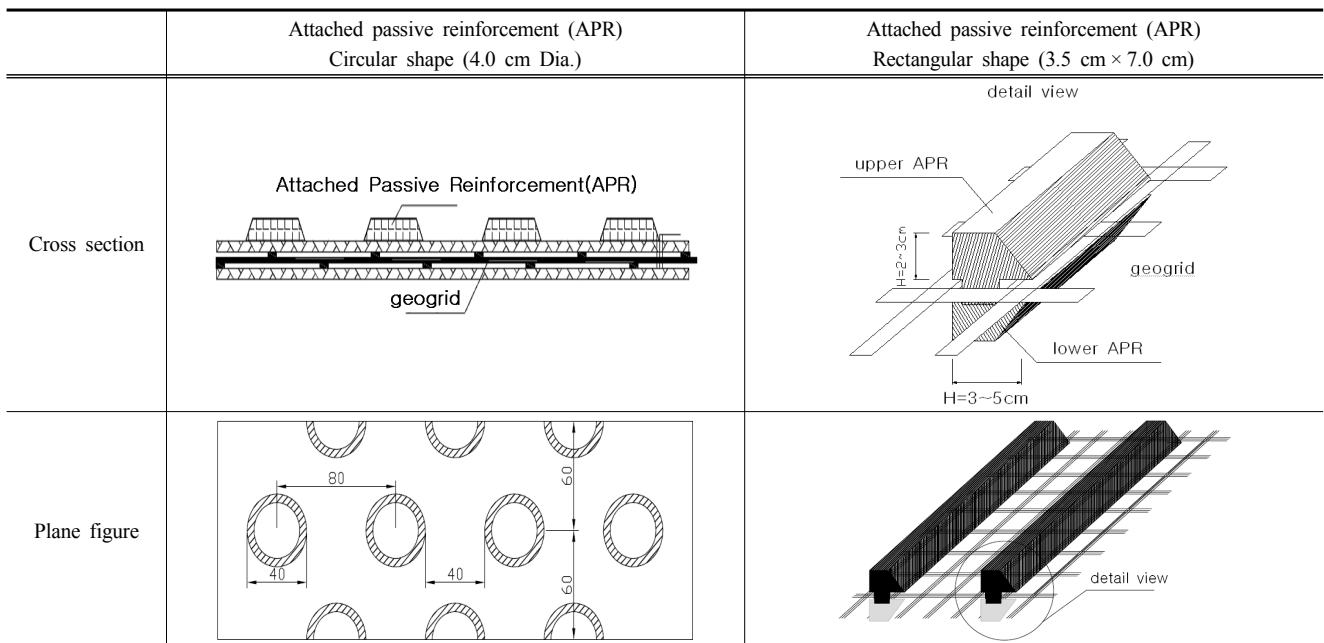


Fig. 6. The Configuration of attached passive reinforcement

과 같다.

수동저항력을 발휘하는 마찰돌기는 하부판의 높이를 포함 3.5 cm를 초과하지 않도록 계획하였으며, 직경 4.0 cm 원형돌기를 지그재그형식으로 배치하여 Arching 효과를 발휘하여 저항력이 향상되도록 하였다.

3.5 실험내용

부착형 마찰돌기의 인발저항력 향상효과를 판단하기 위해 흙의 종류에 따른 인발저항력을 측정하였다. 인발시험에서 주요한 영향인자인 인발속도와 지오그리드의 폭은 ASTM 시험규정을 따라 진행하였으며, 부착형 저항부재의 크기와 종류에 의한 수동저항성분을 고찰해 보기 위해 본 연구에서 제조한 인공 흙 시료별로 인발시험을 수행하였다. Table 4는 본 연구에서 수행한 인발시험의 종류와 내용이다.

Table 4. Pullout test conditions

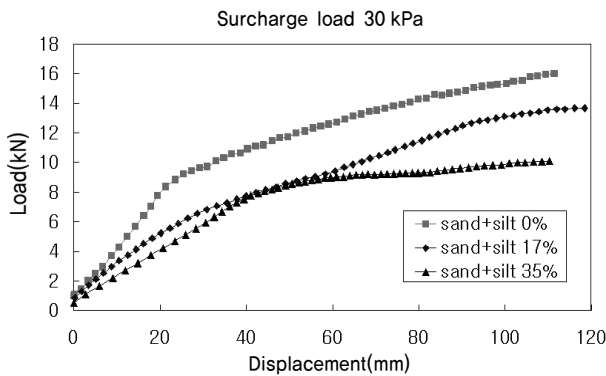
Influence factors	Conditions of applied in this study	Test conditions
Size of attached passive reinforcement	- No passive reinforcement - Attached passive reinforcement (rectangular shape) - Attached passive reinforcement (circular shape)	· Vertical pressure (kPa) : 30, 60, 120 · Pullout speed (mm/min.) : 1.0
Kind of soils	- Sand+silt 0 % - Sand+silt 17 % - Sand+silt 35 %	

4. 실험결과 및 분석

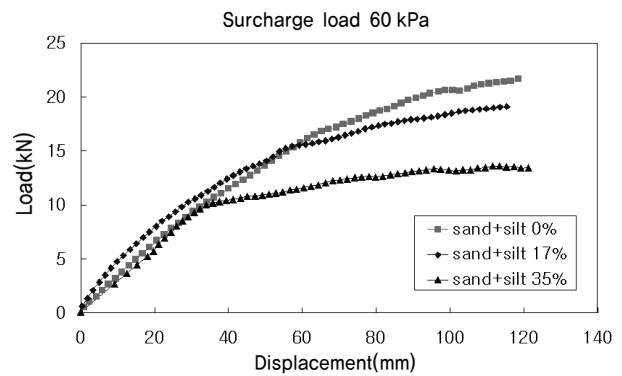
4.1 일반 지오그리드 인발시험

본 연구에서 개발한 부착형 마찰돌기를 설치하지 않은 일반 지오그리드의 인발시험결과는 Fig. 7과 같이 수직하중의 증가에 따라 시료의 실트함유량에 관계없이 최대인발저항력이 증가하였다. 모래+실트 17 % 시료의 인발저항력은 낮은 수직하중 30 kPa, 60 kPa에서 모래+실트 0 % 시료의 최대인발력에 70~85 %까지 발휘되었으나 120 kPa의 수직하중에서는 실트함유량에 관계없이 최대 인발저항력에 55 %의 저항력을 발휘하였다.

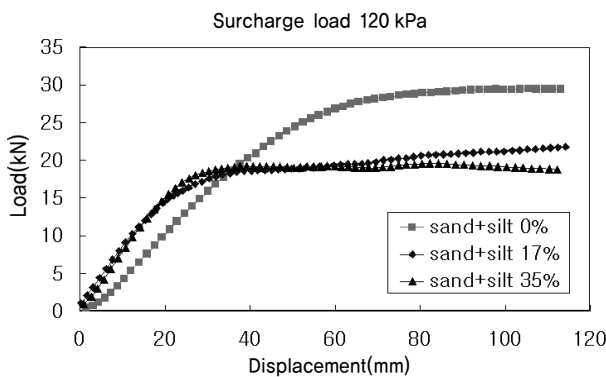
Table 5와 같이 작용 수직하중과 실제 작용 저항력의 비를 포함하는 상호작용계수로 환산하였을 경우 일반 지오그리드는 수직하중이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.



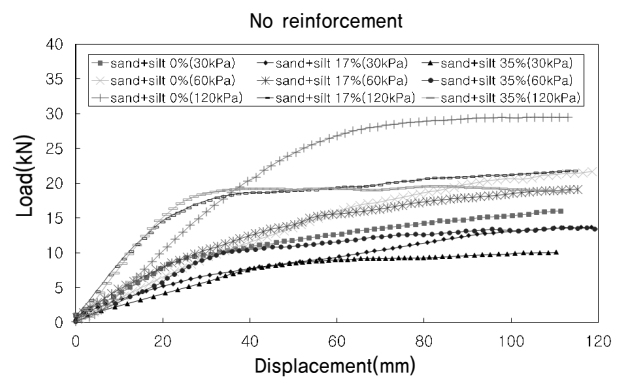
(a) No reinforcement geogrid, vertical pressure of 30 kPa



(b) No reinforcement geogrid, vertical pressure of 60 kPa



(c) No reinforcement geogrid, vertical pressure of 120 kPa



(d) No reinforcement geogrid of all vertical pressure

Fig. 7. Pullout resistance of no reinforcement geogrid

Table 5. Peak pullout capacity of general geogrid without reinforcement

Vertical pressure (kPa)	Samples	Peak pullout capacity (kN/m)	Coefficient of interaction, C_i
30	Sand+silt 0 %	16.22	1.21
	Sand+silt 17 %	13.67	1.11
	Sand+silt 35 %	10.09	0.84
60	Sand+silt 0 %	21.67	0.81
	Sand+silt 17 %	19.11	0.77
	Sand+silt 35 %	13.46	0.56
120	Sand+silt 0 %	29.45	0.55
	Sand+silt 16 %	21.78	0.44
	Sand+silt 35 %	19.57	0.41

수직하중 30 kPa, 60 kPa 상태에서는 모래+실트 0 %와 모래+실트 17 %의 효율이 1.0을 초과하며 근소한 차이를 보이지만 모래+실트 35 %의 경우 상호작용계수 값이 0.5까지 감소하는 경향을 보인다.

수직하중이 120 kPa인 경우 상호작용계수는 흙 시료의 실트함유량에 관계없이 감소하였으며, 이와 같은 원인은 지오그리드가 지중에서 저항력을 발휘할 때 수반되는 지지력은 수직하중에 의해 억제되며 저항력이 전체적으로 감소하는 것으로 판단된다.

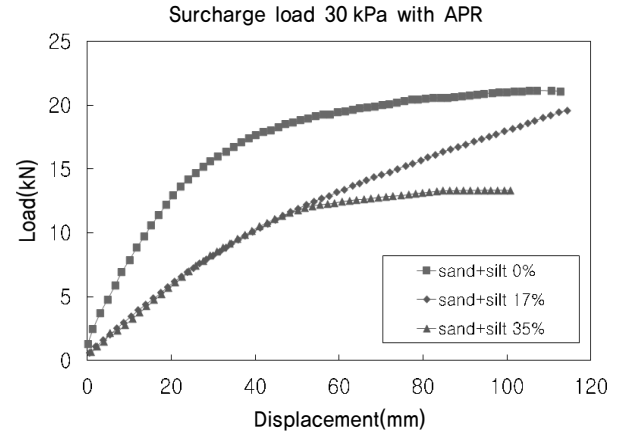
4.2 부착형 마찰돌기 지오그리드 인발시험

격자형 일반 지오그리드에 마찰돌기 부착 후 실트함유량을 조정된 시료에 대하여 Pullout test를 수행한 결과는 Fig. 8과 같다. 마찰돌기에 의한 인발저항력의 증가는 모래시료에서 가장 크게 발휘되었으며 실트함유량 17 %와 35 %의 시료는 지오그리드의 변위가 진행됨에 따라 인발저항력이 지속적으로 증가되는 경향을 보였다.

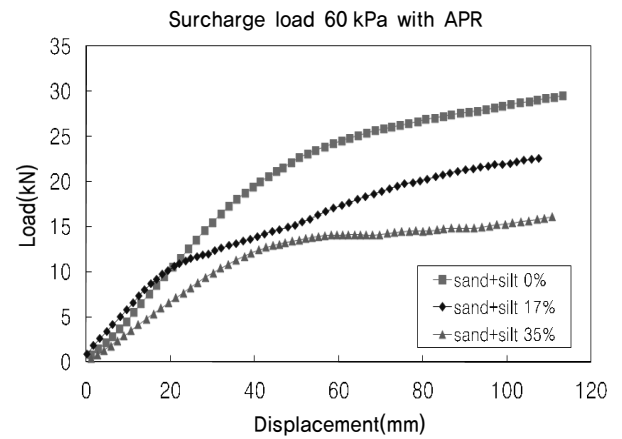
또한 모래시료의 경우 직사각형(3.5 cm × 7.0 cm) 형태의 수동저항체에 대한 인발저항력 증가효과를 평가하였으며 인발저항력-변위관계는 Fig. 9와 같다. 모래시료의 경우 직사각형 형태의 수동저항체는 인발저항력의 증가가 마찰돌기와 유사하나 수동저항체 배면에 침하를 일으키게 되며 변형이 되어 실제 현장 적용 시 문제를 유발할 가능성이 많을 것으로 판단되어 본 실험과정에서는 제외하였다. Table 6에는 모든 실험의 최대인발저항력과 상호작용계수를 수치로 제시하였다.

4.3 원형 마찰돌기에 의한 인발저항력 평가

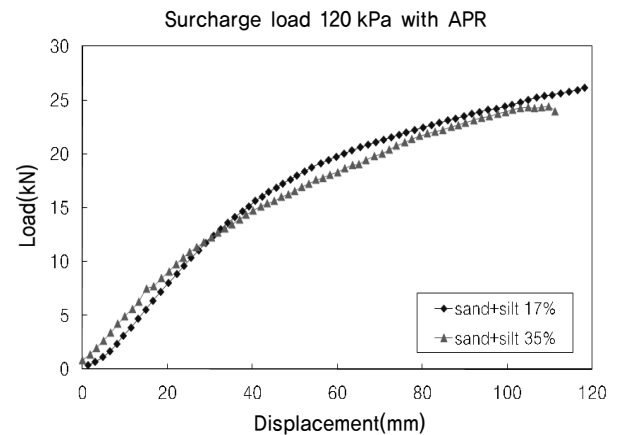
뒷채움 흙과 보강재 사이에 유발되는 인발저항력의 크기는 동일한 흙일 경우 사용되는 보강재의 형태에 크게 의존



(a) Geogrid attached passive reinforcement, vertical pressure of 30 kPa



(b) Geogrid attached passive reinforcement, vertical pressure of 60 kPa



(c) Geogrid attached passive reinforcement, vertical pressure of 120 kPa

Fig. 8. Pullout resistance of geogrid attached passive reinforcement

한다. Kim & Lee(1996)는 연구결과, 동일한 화강암풍화토 시료에 대한 인발저항력은 돌기가 있는 강재스트립이 우수한 결과를 보였음을 보고하고 있다. Jewell(1990)의 인발저항 산정식에서는 수동저항부재, 즉 횡방향 지오그리드의 두께에 의한 수동저항력 발현을 설명할 수 있도록 하였다. 본

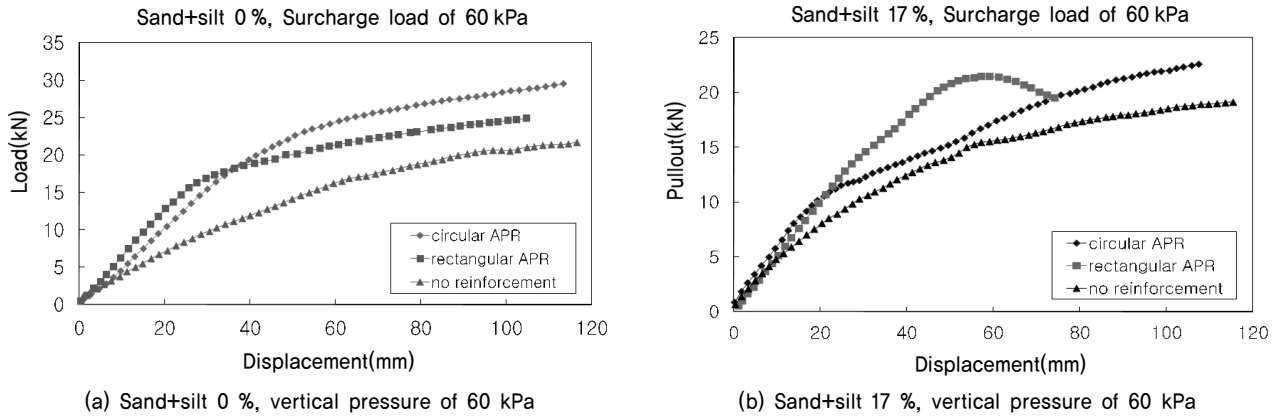


Fig. 9. Pullout resistance of geogrid with attached passive reinforcement types

Table 6. Pullout test results of geogrid with attached passive reinforcement types

Sample	Vertical pressure (kPa)	Attached reinforcement types	Peak Tensile Capacity (kN/m)	Coefficient of interaction, C_i
Sand+silt 0 %	30	No reinforcement	16.22	1.21
		Rectangular (3.5 cm × 7.0 cm)	20.78	1.55
		Circular shape	21.13	1.57
	60	No reinforcement	21.67	0.81
		Rectangular	24.77	0.92
		Circular shape	29.50	1.10
Sand+silt 17 %	30	No reinforcement	13.67	1.11
		Circular shape	19.80	1.60
	60	No reinforcement	19.11	0.77
		Rectangular	21.20	0.86
		Circular shape	22.59	0.91
	120	No reinforcement	21.78	0.44
Circular shape		26.16	0.53	
Sand+silt 35 %	30	No reinforcement	10.09	0.84
		Circular shape	13.29	1.11
	60	No reinforcement	13.46	0.56
		Circular shape	16.09	0.67
	120	No reinforcement	18.79	0.39
		Circular shape	23.97	0.50

연구에서 실험한 부착형 마찰돌기와같이 수동저항력을 인위적으로 극대화한 저항체는 실트함유량이 증가하여도 일정한 인발저항력이 유발되었으며, 실험결과 모래+실트 35%가 포함된 시료에서도 부착형 마찰돌기를 사용한 경우 인발저항력은 모래시료+실트 0%인 경우의 인발저항력에 약 65%까지 발휘되었다.

인발시험에 의해 산정된 부착 마찰돌기의 인발저항력 증가특성은 Fig. 10에 도시하였으며, Table 7에는 여러 가지 형태의 보강재에 대한 인발저항력 실험결과를 종합하여 제시하였다.

4.4 부착형 마찰돌기의 상호작용계수 평가

Pullout test로 산정되는 상호작용계수 C_i 는 수직하중과 뒷채움 흙의 전단저항각에 의해 발휘될 수 있는 이론으로 구한 인발저항력과 실제 측정된 인발저항력의 비율로써 보강토옹벽 설계 시 보강재(지오그리드)의 길이 산정에 직접적 영향을 주며(FHWA, 2001), 또한 보강재의 내적안정 검토 시 보강재 인발하중에 대한 안전을 산정에 간접적으로 사용된다.

일반적으로 구조물 뒷채움 재료기준에 적합한 양질 토사의 경우 이러한 상호작용계수는 0.9~1.0의 값을 보이지만, 시공현장 재료의 불확실성 및 안전한 설계를 위해 통상 뒷

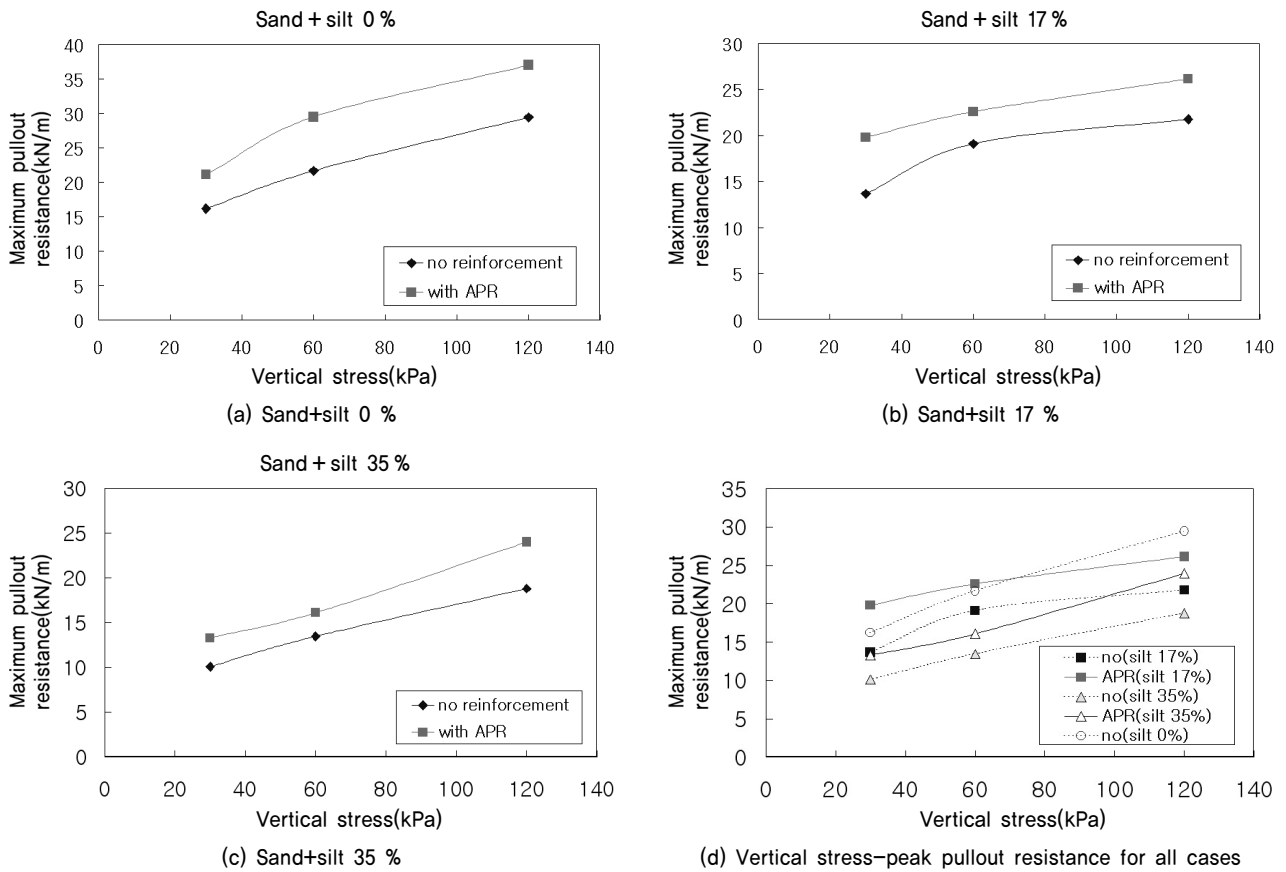


Fig. 10. Vertical stress-peak pullout resistance relationship with and without attached reinforcement

Table 7. Pullout resistance results with and without attached reinforcement for various samples

Sample	Vertical pressure (kPa)	Peak pullout resistance (kN/m)		
		No reinforcement	Rectangular	Circular shape attached reinforcement
Sand+silt 0 %	30	16.22	20.78	21.13
	60	21.67	24.77	29.50
	120	29.45	-	36.70
Sand+silt 17 %	30	13.67	-	19.80
	60	19.11	21.20	22.59
	120	21.78	-	26.16
Sand+silt 35 %	30	10.09	-	13.29
	60	13.46	-	16.09
	120	18.79	-	23.97

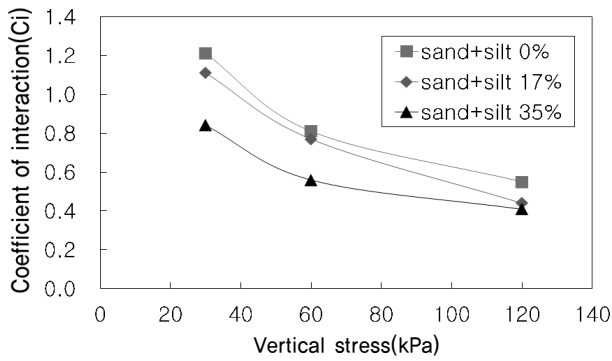
채움재료의 전단저항각에 0.67을 곱하여 사용한다(FHWA, 2001).

본 연구에서 진행한 실험결과를 상호작용계수로 분석한 결과를 Fig. 11에 제시하였는데, 수직응력 120 kPa 이상의 경우 마찰돌기의 영향은 크게 나타나지 않았으나 낮은 수직하중 상태, 즉 보강토옹벽의 상단에 설치되는 보강재의 경우 상호작용계수는 0.7~1.6까지 발휘되었다. 이와 같은 현상은 보강재에 부착된 마찰돌기가 낮은 수직하중에서 마찰돌기의 수동저항력에 의한 영향을 크게 받아 인발저항력이 증가되는 것으로 설명할 수 있다. 따라서 이러한

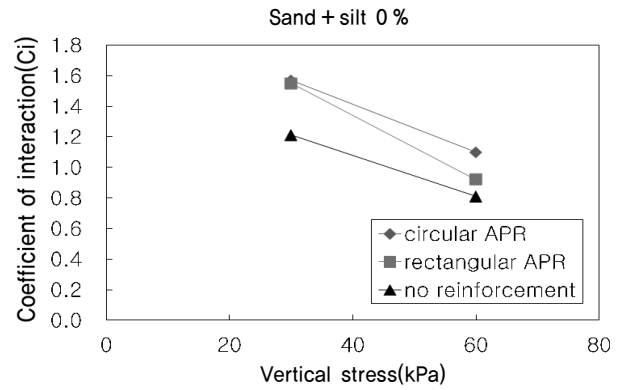
실험결과를 보강토옹벽 설계에 적용하는 경우 만약 마찰돌기가 부착된 보강재를 사용하는 경우 보강토옹벽 상단으로부터 약 3.0 m까지는 뒷채움재료의 특성에 따라 20~50 %까지 보강재의 설치길이를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

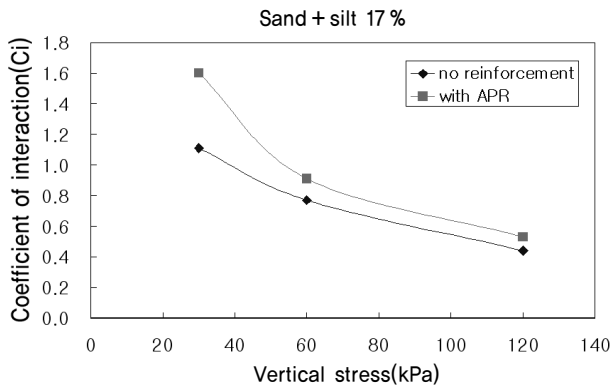
본 연구는 원형부착형 마찰돌기를 적용한 새로운 형태의



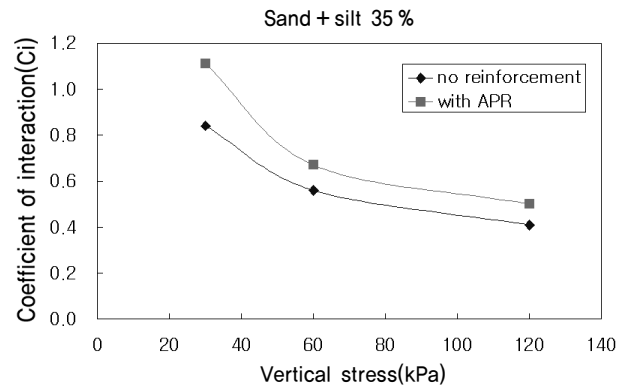
(a) Coefficient of interaction : No reinforcement



(b) Coefficient of interaction : Sand+silt 0 %



(c) Coefficient of interaction : Sand+silt 17 %



(d) Coefficient of interaction : Sand+silt 35 %

Fig. 11. Coefficients of interaction for various test samples

보강재에 대하여 인발시험을 수행하여 인발저항력을 평가 하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 마찰저항이 주로 발현되는 일반 지오그리드와 수동저항력을 극대화한 원형부착형 마찰돌기가 부착된 지오그리드의 인발저항 특성을 최대인발저항력을 기준으로 실트함유량 0 %, 17 %, 35 %에 대한 시료에 대하여 인발시험을 실시하였다. 실험결과 원형 마찰돌기를 부착한 지오그리드의 인발저항력이 동일한 시료일 때 최대 20 %까지 증가되었으며, 모래시료의 실험자료를 기준으로 실트함유량 증가에 따른 인발저항력을 살펴보면 실트함유량 17 %의 인발저항력은 모래+실트 0 % 시료에 비해 약 12~16 % 감소하였다.
- (2) 원형마찰돌기 부착 지오그리드의 인발저항력 증가는 실트함유량 17 %의 시료를 제외한 나머지 시료에서는 수직응력 증가에 따른 선형적 증가를 보였으며, 직사각형 형태의 수동저항체 보다는 원형의 마찰돌기가 인발저항력 증가효과가 우수하였다.
- (3) 실험결과에 대한 상호작용계수 분석결과, 낮은 수직응력인 30 kPa 및 60 kPa 상태의 보강재의 경우 상호작용계수는 시료특성별 0.7~1.6까지 나타났으며, 이러한 실험결과는 실제 보강토옹벽 설계 시 예상과괴면 밖에 설

치된 마찰돌기로 인해 보강재의 설치 길이를 감소시킬 수 있는 것으로 평가되었다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 경남과학기술대학교 기성회 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

1. Cho, S. D. and Kim, J. M. (1996), Evaluation of friction characteristics and pullout test of weathered granite soil/geogrid, Journal of The Korean Geotechnical Society, Vol. 12, No. 4, pp. 87~99 (in Korean).
2. FHWA (2001), Federal highway administration, NHI-00-043, Washington, D.C. USA. pp. 1~50.
3. Jewell, R. A. (1990), Revised design charts for reinforced slopes, Proceedings of Symposium on Reinforced Embankment; Theory and Practice in the British Isles, Cambridge, September, Thomas Telford, pp. 1~27.
4. Kim, S. K. and Lee, E. S. (1996), Coefficient of apparent friction of strip reinforcement for weathered granite soil, Journal of The Korean Geotechnical Society Vol. 12, No. 5, pp. 137~151 (in Korean).