

버팀재 볼트 접합형 강재스트립 보강재의 인발거동특성 평가

An Evaluation of Pullout Behavior Characteristics of the Steel Strip Reinforcement Bolted with Braced Angles

김홍택¹⁾, Hong-Taek Kim, 방윤경²⁾, Yoon-Kyung Bang, 정중섭³⁾, Choong-Sub Chung, 박시삼⁴⁾, Si-Sam Park, 김현조⁵⁾, Hyun-Jo Kim

¹⁾ 홍익대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hong-Ik Univ.

²⁾ 대원과학대학 토목과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Daewon Science College

³⁾ 포항산업과학연구원 강구조연구소 연구원, Researcher, Steel Structure Research Lab., Research Institute of Industrial Science & Technology

⁴⁾ 홍익대학교 토목공학과 박사수료, Ph.D Candidate, Dept. of Civil Engineering, Hong-Ik Univ.

⁵⁾ 홍익대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hong-Ik Univ.

SYNOPSIS : In this study, the steel strip reinforcement bolted with braced angles is displayed skin friction resistance as well as passive resistance through existing the steel strip reinforcement. To understand pullout behavior characteristics, friction effects between soil and reinforcement are evaluated with the width of reinforcement, magnitude of surcharge, and existence of passive resistance member through laboratory pullout test. To analyze interference effects for passive resistance member, various tests are carried on case that the number, the location, and the spacing of braced angles are different. Using this test result, pullout resistance factor is calculated to consider location of braced angles and degree of interference for spacing ratio.

Key words : steel strip reinforcement, braced angles, passive resistance, pullout test

1. 서론

보강토 공법을 이용한 조립식 옹벽은 성토체내에 항장력이 크고 흙과의 마찰력이 우수한 보강재(reinforcement)를 넣어 수평방향의 변위를 억제함으로써 성토자중 및 외력에 의하여 발생하는 토압을 근본적으로 배제하거나 최소화하여 자체의 안정성을 확보하는 흙 구조물로서, 조성된 토체는 스스로 급경사를 이룰 수 있으므로 기존 옹벽의 토류구조물 기능을 대체할 수 있다. 따라서, 보강토 공법은 압축에 비하여 상대적으로 인장에 취약한 흙의 단점을 보완하기 위하여 지반내부에 보강재를 포설함으로써 흙과 보강재가 접하고 있는 경계면에서의 마찰특성과 보강재 자체의 인장특성에 의하여 흙과 보강재가 포함된 전체적인 전단강도 및 지반의 지지력 등을 증진시키는 공법으로 정의할 수 있다.

본 연구에서는, 기존의 강재스트립 보강재를 통해 발휘되는 표면마찰저항력 이외에도 수동저항력의 발휘가 동시에 예상되는 새로운 형태의 버팀재 볼트 접합형 강재스트립 보강재가 개발되었으며, 이에 대한 인발거동특성을 파악하기 위해 실내인발시험을 통하여 보강재의 폭, 상재하중의 크기 및 수동저항부재 유·무 등이 흙과 보강재 사이의 마찰특성에 미치는 영향을 평가하였다. 또한 수동저항부재간의 상호간섭효과 등을 분석하기 위해, 수동저항부재의 설치개수와 위치 및 간격 등을 달리한 여러 조건 하에서 시험을 실시하였고, 이와 같은 시험결과를 바탕으로 하여 버팀재의 위치와 간격비에 따른 상호간섭의 영향 등이 고려된 인발저항계수 산정식을 제시하였다.

2. 버팀재 볼트 접합형 강재 스트립 보강재의 기본원리

일반적으로 강재 스트립 보강재에 대한 인발저항은 보강재의 표면과 흙 사이에 유발된 표면 마찰저항과 버팀재에 대한 흙의 수동저항에 의해서 유발된다. 이에 대한 이론적 해석연구는 Jewell et al.(1984,1990)이 그리드형 보강재의 인발저항에 대해 체계적으로 수행하였으며, 그의 연구결과를 토대로 새로이 개발된 버팀재 볼트 접합형 강재스트립 보강재에 대한 표면 마찰저항 및 버팀재 등의 인발저항 해석방법을 제안하고자 한다.

2.1 강재 스트립 보강재의 인발저항력

강재 스트립 보강재의 인발저항력(P_p)은 그림 1에서 정의된 보강재 단면에 대해서 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$P_p = 2L_s W_s \sigma_v f_b \tan \phi \quad (1)$$

여기서, f_b : 인발저항 계수

ϕ : 흙의 내부마찰각

L_s, W_s : 강재 스트립의 길이와 폭

σ_v : 강재 스트립 표면에 작용하는 연직응력

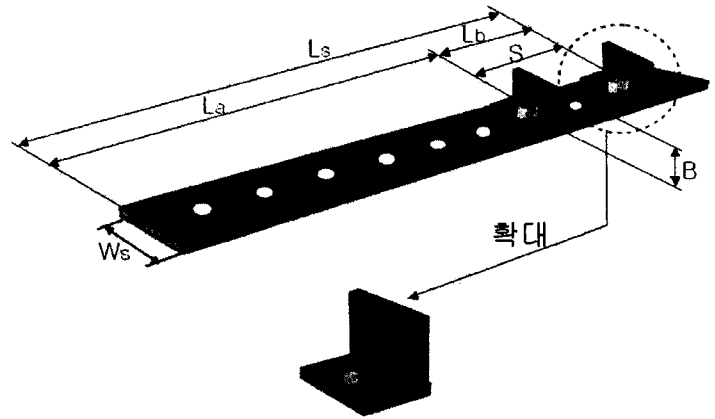


그림 1. 버팀재 볼트 접합형 강재 스트립 보강재 단면

또한, 강재 스트립 보강재의 인발저항력(P_p)을 표면마찰(skin friction)저항($(P_p)_{sf}$)과 버팀재에 의한 지지응력(bearing stress) ($(P_p)_{bs}$)으로 나누어 표현하면 각각에 관한 식은 다음과 같다.

$$(P_p)_{sf} = 2 \alpha_s L_s W_s \sigma_v \tan \delta \quad (2)$$

$$(P_p)_{bs} = \frac{L_b}{S} \alpha_b B W_s \sigma_b \quad (3)$$

여기서, L_a : 버팀재가 부착된 곳까지의 길이,

L_b : 버팀재가 설치된 구간의 길이

S : 버팀재의 설치간격,

δ : 흙과 보강재 표면 사이의 마찰각

L_b/S : 버팀재의 개수(n),

σ_b : 버팀재에 작용하는 저항응력

α_s : $A_s (= L_s W_s)$ 에 대한 보강재 표면적만의 비율

α_b : 가상 저항면적($B W_s$)중 실제 수동저항이 유발되는 면적의 비율

따라서, 식(1), 식(2), 식(3)으로부터 인발저항계수(f_b)를 구하면 다음 식(4)와 같고, $L_b/S = n$ 으로 치환하면 식(5)와 같이 나타낼 수 있다. 버팀재가 1개일 경우는 식(5)에 $n=1$ 을 대입하여 구하고, 버팀재가 2개 이상일 경우 간격에 의한 버팀재 사이의 상호 간섭이 발생하므로 상호 간섭효과를 고려하여 구해야 한다.

$$f_b = \alpha_s \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right) + \left(\frac{L_b}{L_s} \right) \left(\frac{\alpha_b B}{S} \right) \left(\frac{\sigma_b}{\sigma_v} \right) \frac{1}{2 \tan \phi} \quad (4)$$

$$f_b = \alpha_s \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right) + \left(\frac{n \alpha_b B}{L_s} \right) \left(\frac{\sigma_b}{\sigma_v} \right) \frac{1}{2 \tan \phi} \quad (5)$$

표면 마찰저항은 보강재 표면을 따르는 흙의 전단에 의해서 측정될 수 있으며, 일반적으로 흙의 전단 저항과의 비로서 표현된다. 인발력이 표면 마찰저항에 의해서만 나타나는 보강재의 경우에는, 식(4)에 $\alpha_s = 1, \alpha_b = 0$ 의 값을 대입하여 다음 식(6)과 같이 구한다.

$$f_b = \frac{\tan \delta}{\tan \phi} \quad (6)$$

식(6)에서 δ 는 흙과 강재스트립 보강재 사이의 마찰각을 나타내는데, 흙과 보강재 표면 사이의 인발 마찰강도를 산정하는 식은 다음과 같다.

$$\tau_{p, \max} = \frac{F_{p, \max}}{2 W_s L_s} \quad (7)$$

여기서, $\tau_{p, \max}$: 인발 마찰강도(t/m'), $F_{p, \max}$: 최대 인발저항력(t)

따라서, 식(7)과 수직하중-인발 마찰강도 관계로부터 흙 속에 묻혀있는 강재스트립의 인발 마찰정수 (δ)는 다음 식(8)과 같이 구할 수 있다.

$$\tau_{p, \max} = C_p + \sigma_v \cdot \tan \delta \quad (8)$$

여기서, C_p : 흙과 보강재 사이의 부착력(adhesion) (t/m'), δ : 흙과 보강재 사이의 마찰각(°)

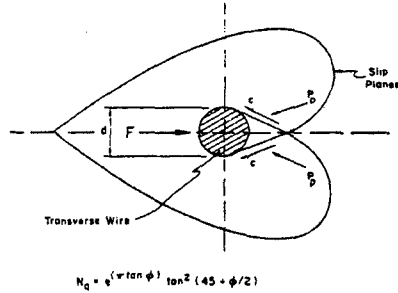
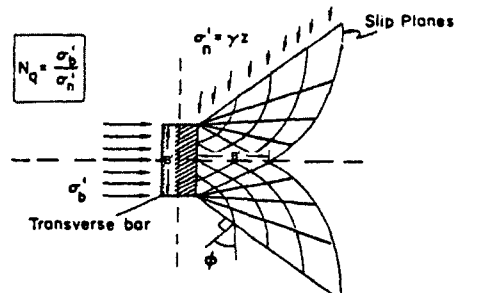
2.2 버팀재의 수동저항력 평가

횡방향 보강재에 대한 기존의 수동저항에 대한 평가는 대부분 Prandtl이론에 근거해서 구하게 되며, 전반전단파괴(General Shear Failure; Peterson & Anderson (1980)) 및 편칭전단파괴(Punching Shear Failure; Jewell et al.(1984,1991))의 2가지 유형으로 크게 분류된다. Terzaghi-Buisman의 대상기초 지지력이론을 수동저항의 일반식에 확대적용하면 식(9)와 같다.

$$\sigma_b = CN_c + \sigma_v N_q \quad (9)$$

여기서, σ_b : 버팀재에 작용하는 저항응력, C : 뒤채움 흙의 점착력
 σ_v : 흙과 보강재 접촉면에 작용하는 연직응력, N_q, N_c : 지지력 계수

표 1. 수동저항부재의 파괴거동에 따른 지지력 계수

전반전단파괴	편칭전단파괴
$N_q = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) e^{\pi \tan \phi}$ $N_c = (N_q - 1) \cot \phi$	$N_q = \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) e^{(\frac{\pi}{2} + \phi) \tan \phi}$ $N_c = (N_q - 1) \cot \phi$
	
(a) 전반전단파괴(Peterson & Anderson (1980))	(b) 편칭전단파괴(Jewell et al.(1984,1991))

2.3 버팀재의 상호간섭효과를 고려한 수동저항력

강재 스트립에 접합되는 버팀재의 상호간섭효과는 동일한 흙시료를 대상으로 버팀재의 간격 및 개수 등을 변화시켜 가며 실내인발시험을 수행함으로써 평가될 수 있다. 이와 같은 상호간섭 정도의 정량적인 평가에 대하여 Palmeira & Milligan(1989)에 의해 제시된 상호간섭 계수(DI)를 사용하였다. 수동저항 부재들의 상호간섭계수(DI)를 고려하여 보강재가 오직 수동저항 응력만으로 작용될 때 인발저항계수(f_b) 산정식은 다음과 같다.

$$f_b = (1 - DI) \left(\frac{\alpha_b B}{S} \right) \left(\frac{\sigma_b}{\sigma_v} \right) \frac{1}{2 \tan \phi} \quad (10)$$

따라서, 버팀재가 2개 이상일 경우 강재 스트립 보강재의 표면마찰(skin friction)저항과 버팀재에 의한 지지응력(bearing stress) 및 상호간섭계수(DI)를 고려한, 인발저항계수(f_b) 산정식을 제안하면 다음 식(11)과 같다.

$$f_b = \alpha_s \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right) + (1 - DI) \left(\frac{\alpha_b B}{S} \right) \left(\frac{\sigma_b}{\sigma_v} \right) \frac{1}{2 \tan \phi} \quad (11)$$

3. 실내인발시험 방법 및 제원

본 연구에 사용된 인발시험 장비는 그림 2에서 도시한 바와 같이 흙과 보강재가 포설되는 인발상자 및 보강재와 인발장치를 연결하는 클램프, 인발장치, 자료수집기 등으로 구성된다. 인발시험 상자의 내부크기는 길이 130cm×폭 60cm×높이 60cm 이며, 한쪽 측면에는 외부로부터 인발상자 내부의 흙 입자의 거동과 다짐상태를 관찰할 수 있도록 아크릴 판으로 제작되어있다. 인발상자 내부의 흙은 일정한 두께로 층다짐을 실시하며 다짐도 90%를 기준으로 하여 각 층에 필요한 중량만큼의 일정 함수비의 시료를 단위중량에 맞도록 할당하는 중량-체적할당법(Alfaro 등, 1995)을 이용하여 각 층의 높이가 채워질 때까지 하였고, 완성된 다짐상태는 강재스트립 부근 상부와 하부 2개 지점에서 확인하였다. 전면부에는 하중계(Load cell), 변위계(LVDT)를 설치하고, 인발에 따라 유발되는 변위, 인발력 등은 Data Logger와 측정장비를 사용하여 매 5초 간격으로 자료를 수집하였다. 흙/보강재 사이의 인발시험에서 표면마찰저항과 수동저항이 모두 적절히 발휘될 수 있도록 하기 위해, 인발속도는 1.0mm/min로 유지하였다. 시험에 사용된 강재 스트립 시료의 폭은 5cm와 7cm 두 가지를 사용하였고, 길이는 그림 3과 같이 클램프 체결부를 포함하여 110cm로 일정하게 하였다.

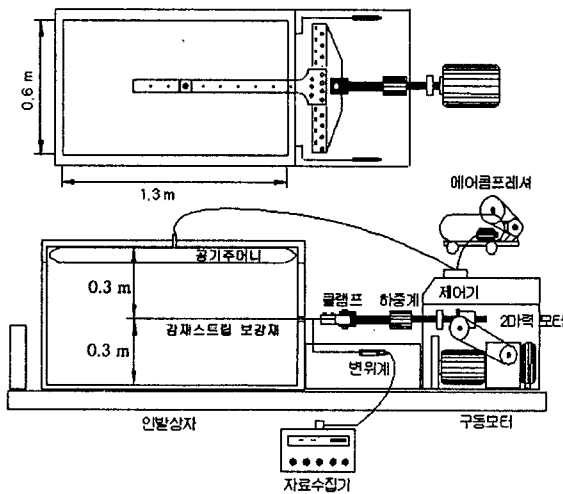


그림 2. 인발시험장비 모형도

표 2. 흙 시료의 특성

구분	시료종류	화강풍화토 (SP)
강도정수	c (kg/cm ²)	0.46
	ϕ (°)	42.2
입도	균등계수, C_u	3.61
	곡률계수, C_c	1.81
다짐특성 (A다짐)	건조밀도(g/cm ³)	1.71
	최대건조밀도(g/cm ³)	1.92
	최적함수비(%)	13.3
인발시험시 다짐상태	비중	2.66
	다짐도(%)	90
	함수비(%)	9.38

본 시험에서는 인발상자의 상부에 고무로 된 공기주머니를 설치하여 공기압을 이용, 균등한 연직응력을 재하 할 수 있도록 하였다. 흙시료에 작용하는 연직응력은 $1.0\text{kg}/\text{cm}^2$, $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 및 $2.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 세가지로 하였으며, 인발상자 내부 흙시료에 가해지는 압력의 균등한 분배를 위해 하중을 재하한 상태에서 일정 시간동안 방치한 후 인발시험을 수행하였다. 본 연구에서 사용한 흙시료는 주문진 표준사와 화강풍화토를 1:1.5로 혼합하여 사용하였고, 본 시험전 기본 물성시험을 수행하였고 그 결과는 표 2와 같다. 또한, 실내인발시험에서 사용된 시험방법 및 버팀재 볼트 접합형 강재 스트립의 제원은 표 3과 같다.

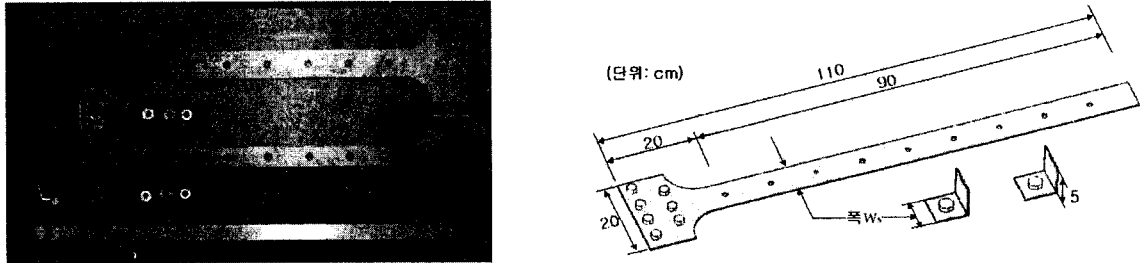


그림 3. 강재 스트립 보강재의 형상 및 제원

표 3. 실내인발시험에 사용된 시험방법 및 버팀재 볼트 접합형 강재 스트립의 제원

구분	No.	상재하중	버팀재 설치 위치	간격	구분	No.	상재하중	버팀재 설치 위치	간격
CASE A (폭=5cm)	1	상재하중 고정 ($1.0\text{kg}/\text{cm}^2$)		-	CASE B (폭=7cm)	1	상재하중 고정 ($1.0\text{kg}/\text{cm}^2$)		-
	2			-		2			-
	3			10 cm		3			10 cm
	4			20 cm		4			20 cm
	5			30 cm		5			30 cm
	6			20 cm		6			20 cm
CASE B (폭=7cm)	13	$1.0\text{kg}/\text{cm}^2$		-		7			10 cm
		$1.5\text{kg}/\text{cm}^2$		-		8			10 cm
		$2.0\text{kg}/\text{cm}^2$		-		9			-
						10			-
						11			-
						12			-

4. 분석 및 고찰

4.1 버팀재 설치위치에 따른 영향

1개의 버팀재 설치위치에 대해 다양하게 변화를 주어 총 5회의 실내인발시험을 수행하였으며, 시험결과 버팀재가 시험토조의 전면벽으로부터 거리가 멀어질수록 최대인발력은 증가하는 것으로 나타났다.

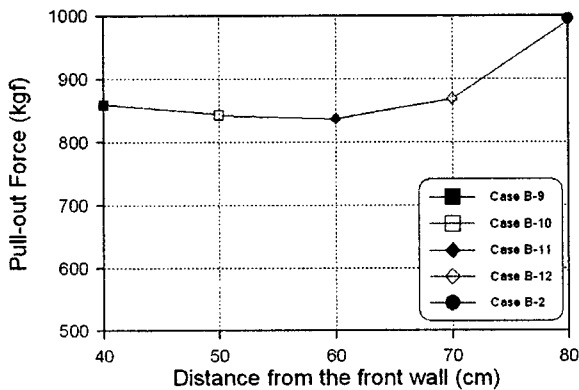


그림 4. 버팀재의 위치변화에 따른 영향

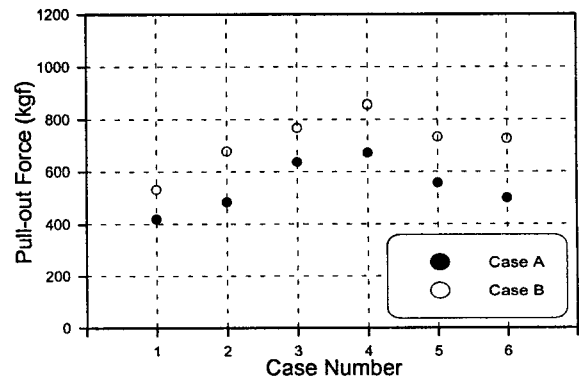


그림 5. 버팀재 배치형태의 영향

4.2 버팀재 배치형태에 따른 영향

버팀재 배치형태에 따른 영향을 검토하기 위해, 같은 시험조건 하에서 강제 스트립 시료의 폭을 5cm 및 7cm로 변화를 주어 수행된 총 12회의 실내인발시험 결과는 그림 5와 같다. 그림 5를 살펴보면 강제 스트립 시료의 폭이 7cm인 경우가 강제 스트립 시료의 폭이 5cm인 경우에 비해 최대인발력은 대략 28~44% 정도 크게 평가되었다. 또한, 상재하중이 1.0 kg/cm²일 때 허용변위를 6mm로 가정하면 Case A-4 및 Case B-4의 배치형태에서 최대인발력이 발휘되는 것으로 평가되었다.

4.3 버팀재 볼트 접합형 강제 스트립 보강재의 인발마찰특성

Case A 및 Case B에 대한 실내인발시험 결과는 그림 6과 같으며, 그림 6을 살펴보면 버팀재가 부착된 모든 경우의 최대 인발력은 Case A(강제 스트립 폭=5cm)의 경우 810kgf~864kgf 정도의 범위인 것으로 평가되었으며, Case B(강제 스트립 폭=7cm)의 경우 854kgf~1018kgf 정도의 범위인 것으로 나타났다. 따라서, 강제스트립의 폭이 5cm에서 7cm로 증가할 경우, 최대인발력의 증가율은 대략 5%~18% 정도로 평가되었다.

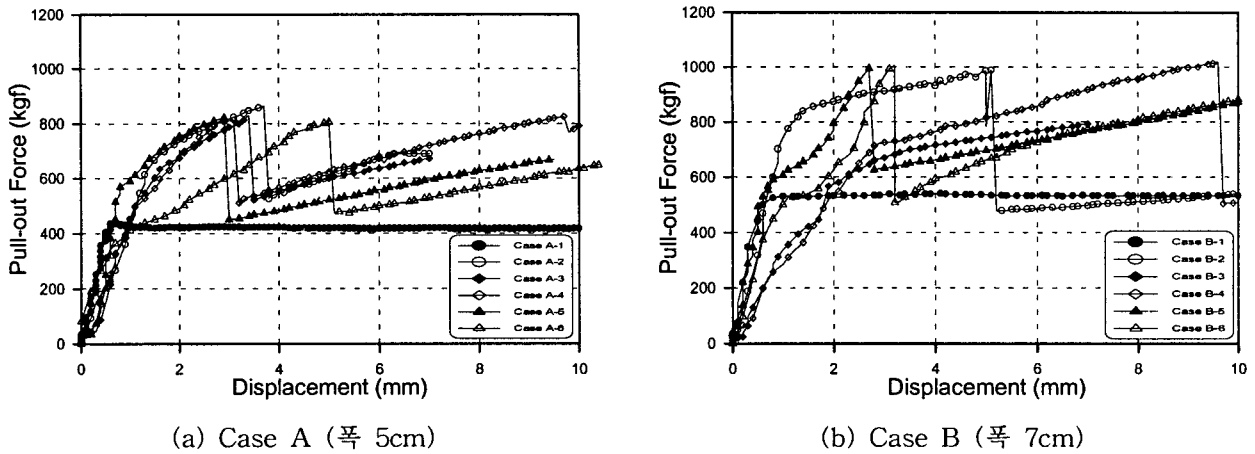


그림 6. Case 별 최대인발력 비교

강제 스트립 보강재의 인발마찰특성을 검토하기 위해, 실내인발시험시 상재하중을 1.0kg/cm², 1.5kg/cm² 및 2.0kg/cm²로 다르게 하여 총 3회의 인발시험을 수행하였으며, 흙과 보강재 표면 사이의 인발마찰강도를 산정하는 식(7)을 이용하여 구한 인발 마찰강도를 수직하중에 따라 도시하면 그림 7과 같다.

수직하중-인발 마찰강도 관계로부터 흙 속에 묻혀있는 강제스트립의 인발 마찰정수(δ)는 식(8)로부터 구할 수 있으며, 그림 7로부터 강제스트립의 폭이 7cm, 길이가 90cm, 인발속도가 1mm/min인 경우 인발마찰정수는 $C_p=0.073\text{kg/cm}^2$, $\delta=19.5^\circ$ 로 평가되었다. 또한, 상재하중을 1.0kg/cm², 1.5kg/cm² 및 2.0kg/cm²로 다르게 하여 인발시험을 수행하였으며, 상재하중변화에 따른 실내인발시험 결과는 그림 8과 같다. 그림 8을 살펴보면 상재하중이 1.0kg/cm²에서 1.5kg/cm²로 증가할 경우 최대인발력이 32%, 상재하중이 1.5kg/cm²에서 2.0kg/cm²으로 증가할 경우 최대인발력이 19% 정도 증가하는 것으로 나타났다.

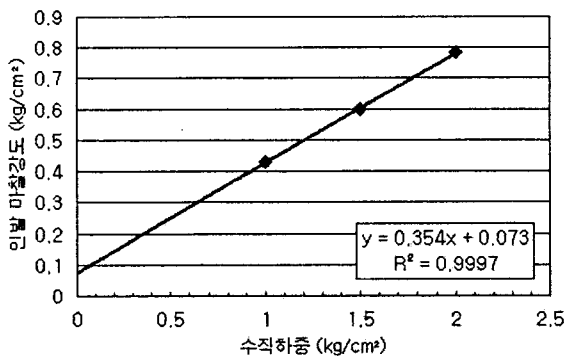


그림 7. 수직하중-인발 마찰강도 관계

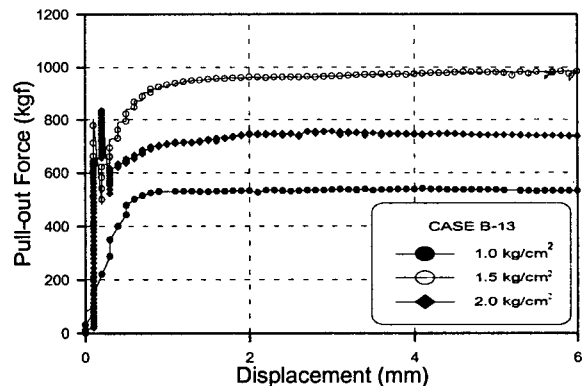


그림 8. 상재하중의 영향

4.4 버팀재 설치개수에 따른 영향

강재 스트립의 폭이 7cm인 Case B를 대상으로 총 5회의 실내인발시험을 수행하였다. 버팀재 설치 위치 및 개수는 강재 스트립 선단으로부터 0, 1, 2, 3 및 5개로 변화를 주었으며, 시험에서 사용된 버팀재의 간격 및 폭 등은 동일조건으로 하였으며 검토결과는 그림 9와 같다. 그림 9를 살펴보면, 1개의 버팀재가 설치된 경우의 최대인발력은 버팀재를 설치하지 않은 경우에 비해 83% 정도 증가한 것으로 나타났다. 또한, 버팀재가 1개 부착된 경우에 비해 2개 및 3개 부착된 경우의 최대인발력은 각각 2.9% 및 4.3% 정도 증가한 것으로 나타났으며, 버팀재가 5개 부착된 경우의 최대인발력은 3.1% 정도 감소되는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서 개발된 강재 스트립에 2개 이상의 버팀재를 설치할 경우, 대체적으로 버팀재의 개수가 증가함에 따라 최대인발력이 증가했으나, 5개 이상 설치하는 경우에는 버팀재 상호간의 간섭효과가 비교적 크게 유발되기 때문에 오히려 최대인발력이 감소한 것으로 판단된다.

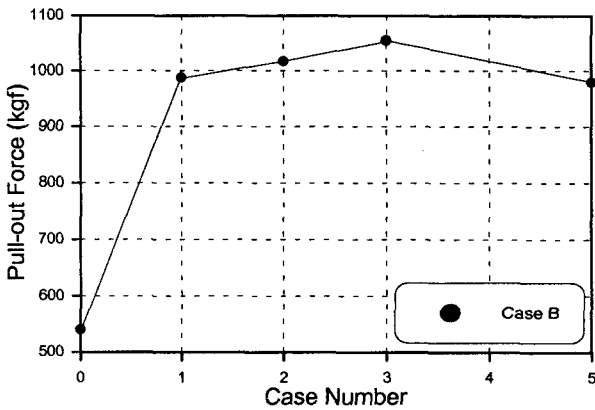


그림 9. 버팀재 설치개수에 따른 영향

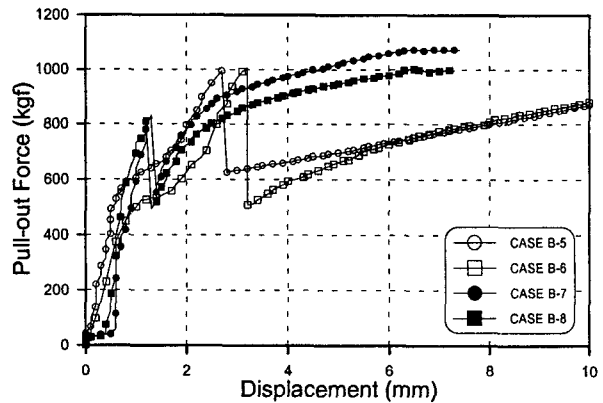
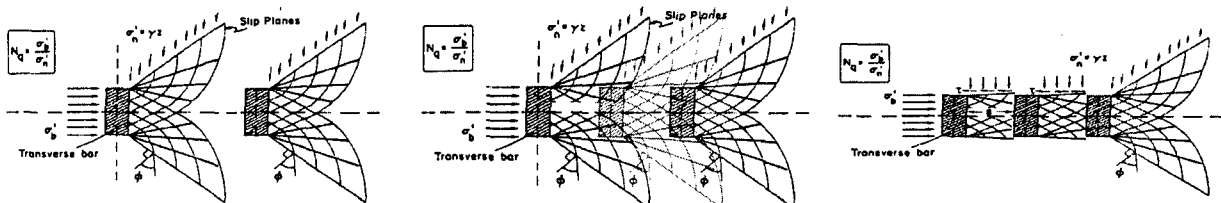


그림 10. 간격비(S/B)에 따른 영향

4.5 간격비(S/B)에 따른 상호간섭의 영향

시료가 조밀한 상태이고 낮은 변형단계에서의 버팀재에 의한 파괴형태를 편칭전단파괴로 가정하여 버팀재에 작용하는 저항응력(σ_b)을 산정하였다. 식(11)을 이용하여 인발저항계수(f_b)를 구해보면, 강재 스트립 표면에 작용하는 연직응력이 1.0kg/cm²로 일정할 때 버팀재의 간격비(S/B)가 2이하일 경우 매우 큰 값을 나타낸다.

그러나, 실내인발시험을 통해서 간격비(S/B)가 2이하일 때 그림 10과 같이 비교적 작은 변위에서 인발력은 첨두값을 나타내고 식(11)에 의해 예측한 값보다 작은 경향을 나타냄을 알 수 있다. 이는 간격비(S/B)가 2이하일 경우 그림 11(b)와 같이 중첩되어 버팀재와 버팀재 사이에서의 저항력이 지지저항형태(그림 11(a))가 아닌 마찰저항형태(그림 11(c))로 발휘되는 것 때문이라고 판단된다. 간격비(S/B)가 2이하일 경우 그림 11(c)와 같이 버팀재의 위치가 전면판으로부터 가까이 설치된 버팀재만 지지저항응력을 발휘하고 나머지 버팀재의 사이는 모두 마찰저항이 작용하는 것으로 보고 상호간섭계수(DI)를 고려하지 않고 인발저항계수(f_b)를 결정하는 식(5)를 이용하여 산정한 결과는 표 4와 같다. 또한 버팀재 볼트 접합형 강재스트립 보강재의 인발력-변위관계는 김 등(1999)의 연구결과를 참고하여 그림 12와 같이 지오그리드, 지오텍스타일 및 합성 토목섬유에 비해 초기 변형을 단계에서 우수하게 평가됨을 알 수 있었다.



(a) 지지저항형태(Case B-4) (b) 간격비(S/B)가 2이하일 경우 (c) 마찰저항형태(Case B-7)

그림 11. 버팀재의 간격비(S/B)에 따른 파괴형태

표 4. 인발저항계수 산정

분류	버팀재 설치 위치	DI	S/B	인발저항계수 (f_b)
CASE B-3		0.43	2	1.99
CASE B-4		0.37	4	2.73
CASE B-5		0.30	6	2.12
CASE B-6		0.49	4	2.28
CASE B-7		0.58	2	2.78

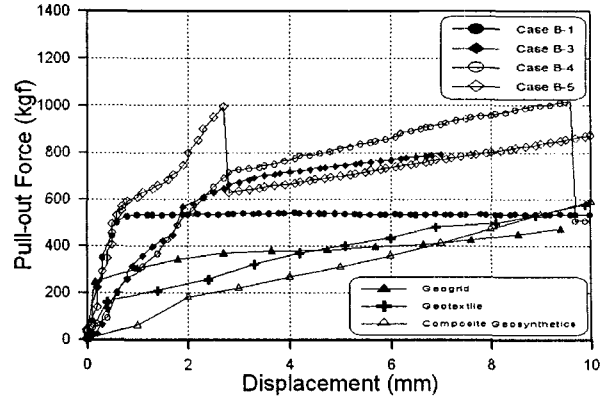


그림 12. 인발력-변위관계의 비교

본 연구에서는, 실내인발시험을 통하여 보강재의 폭, 상재하중의 크기 및 수동저항부재 유·무 등이 흙과 보강재 사이의 마찰특성에 미치는 영향을 평가하여 버팀재의 위치와 간격비에 따른 상호간섭의 영향 등이 고려된 보다 합리적인 인발저항계수 산정식을 제시하였다. 본 연구에서 수행한 인발시험결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 실내인발시험을 통해서 간격비(S/B)가 2이하일 때 비교적 작은 변위에서 인발력은 첨두값을 나타내고 식(11)에 의해 예측한 값보다 작은 경향을 나타냄을 알 수 있었다. 이는 간격비(S/B)가 2이하일 경우 시료가 조밀한 상태이고 낮은 변형단계에서의 버팀재에 의한 파괴형태를 펀칭전단파괴로 가정할 때, 버팀재와 버팀재 사이에서의 저항력이 지지저항형태가 아닌 마찰저항형태로 발휘되는 것 때문이라고 판단된다.

(2) 실내인발시험 결과, 상재하중이 1.0 kg/cm^2 일 때 허용변위를 6mm로 가정하면 Case A-4 및 Case B-4의 배치형태에서 최대인발력이 발휘되는 것으로 평가되었다. 버팀재가 2개 이상일 경우, 간격비(S/B)가 2이하일 경우는 제안된 식(5)을 이용하고 간격비(S/B)가 그 이상일 경우 상호간섭계수(DI)를 고려한 식(11)을 이용하여 인발저항계수(f_b)를 산정한 결과, 실내인발시험 결과와 같은 경향을 갖는 것임을 알 수 있었다.

(3) 실내인발시험 결과, 버팀재가 부착된 모든 경우의 최대 인발력은 강제스트립의 폭이 5cm에서 7cm로 증가할 경우, 최대인발력의 증가율은 대략 5%~18% 정도로 평가되었다.

(4) 상재하중 변화에 따른 실내인발시험 결과, 상재하중이 1.0 kg/cm^2 에서 1.5 kg/cm^2 로 증가할 경우 최대 인발력이 32%, 상재하중이 1.5 kg/cm^2 에서 2.0 kg/cm^2 으로 증가할 경우 최대인발력이 19%정도 증가하는 것으로 평가되었으며, 수직하중-인발 마찰강도 관계로부터 강제스트립의 폭이 7cm, 길이가 90cm, 인발속도가 1mm/min인 경우 강제스트립의 인발마찰정수는 $C_p=0.073 \text{ kg/cm}^2$, $\delta=19.5^\circ$ 로 평가되었다.

(5) 본 연구에서 개발된 버팀재가 부착된 강제 스트립이 최대인발력을 발생하기 위해서는 버팀재가 없는 경우의 강제스트립에 필요한 변위보다 상대적으로 큰 허용변위가 필요하지만, 지오그리드, 지오텍스타일 및 합성 토목섬유에 비해 초기 변형률 단계에서 우수하게 평가됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 김홍택, 김승욱, 전한용, 이인모 (1999), 화강풍화토 뒤채움흙 내부 토목섬유 복합보강재의 거동특성에 관한 기초연구, 한국지반공학회 논문집, 제15권 제5호, pp. 171~191.
2. 조삼덕, 김진만 (1995), 토목섬유 보강토 구조물의 합리적인 해석과 설계, 한국건설기술연구원, 연구보고서, 95-GE-1101.
3. Bergado, D.T., Kam-Hung Lo, Jin-Chun Chai, Ramaiah Shivashankar, Alfaro, M.C., and Anderson, L.R.(1992), Pullout Tests Using Steel Grid Reinforcements with Low-Quality Backfill, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE Vol. 118, No. 7, pp. 1047~1063.
4. Jewell, R.A. (1990), Reinforcement Bond Capacity, Geotechnique 40, No. 3, pp. 513~518.
5. Palmeira, E.M., and Milligan, G.W.E. (1989), Scale and other Factors Affecting the Results of Pull-Out Tests of Grids Buried in Sand, Geotechnique 39, No. 3, pp. 511~524.