

## 지지부재를 설치한 띠형 강판보강재의 인발마찰 특성 평가

### Pull-Out Properties of Steel Strip Reinforcement with Transverse Steel Bar

이 광 우<sup>1</sup> Lee, Kwang-Wu  
주 재 우<sup>3</sup> Ju, Jae-Woo

조 삼 덕<sup>2\*</sup> Cho, Sam-Deok  
박 종 범<sup>4</sup> Park, Jong-Beom

#### ABSTRACT

A steel strip reinforcement for the reinforced earth structures was recently developed to substitute the existing ribbed steel strip reinforcement. The developed reinforcement consists of the punched steel strip having dimension of 65mm width and 4.5mm thickness and the transverse steel bar for increasing bearing resistance. The punched steel strip has holes of 11mm diameter in every 50cm spacing with 2mm rising around perimeter of the holes. A series of shear friction tests and pull-out tests were carried out to evaluate the friction properties of the developed reinforcement. The results of these tests show that pull-out resistance of the developed reinforcement was significantly increased when the transverse steel bars are installed in the punched steel strip.

#### 요 지

국의 수입에 의존하고 있는 띠형 강판 보강재를 대체할 수 있는 새로운 강(steel) 보강재로서, 강판과 지지부재를 결합한 새로운 형태의 보강재를 고안하였다. 개발 보강재는 폭×두께가 65mm×4.5mm인 띠형 강판에 50cm 간격으로 11mm 직경의 천공 구멍 및 돌기가 형성된 형태를 가지고 있으며, 인발저항력 증대를 위한 지지부재의 설치가 가능하다. 개발 보강재의 마찰특성 평가를 위한 전단마찰시험 및 인발시험 결과, 지지부재를 설치하면 보강재의 인발저항력이 크게 증가하는 것으로 나타났다.

**Keywords :** Steel strip reinforcement, Reinforced earth, Shear friction test, Pull-out test

#### 1. 서 론

보강토옹벽에 사용되는 보강재는 재질에 따라 크게 금속성 보강재와 토목섬유 보강재로 구분된다. 또한 형상에 따라서는 띠형 보강재와 전면 포설형 보강재로 구분할 수 있다.

1980년대 초 국내에 처음으로 보강토옹벽이 도입되었을 당시에는 강재스트립에 돌기를 형성시킨 형태의 보강재가 사용되었으나 강재의 부식 문제가 제기되면서, 국내에서 크게 활성화되지 못하였다. 이후 1990년대 중반 토목섬유 보강재를 채용한 보강토옹벽이 도입되면서, 기존 콘크리트옹벽을 급속도로 대체하고 있다(Cho & Shin, 1999).

최근에는 국내에서도 다양한 형태의 보강재가 개발되어 현장에 적용되고 있다. 국내에서 현재 현장에 적용되고 있는 보강재를 재질별로 살펴보면, 우선 금속재 보강재로 띠형 강판 보강재, 강그리드, 철망(wire mesh), 앵커형 강봉 보강재 등이 있으며, 토목섬유재료는 지오그리드, 띠형 섬유보강재, 지오텍스타일 등이 있다. 이들 다양한 보강재중 아직까지는 지오그리드를 적용한 형태의 보강토옹벽이 국내 보강토옹벽 시장의 대부분을 차지하고 있으며, 다음으로 띠형 강판 보강재, 띠형 섬유보강재 순으로 시장을 점유하고 있는 것으로 보인다.

한편, 해외의 보강토옹벽 설계지침서에서는 보강재의 신장성(extensibility)에 따라 신장성(extensible) 및 비신장

1 정희원, 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원 (Researcher, Geotechnical Eng. Research Dept., KICT)

2\* 정희원, 한국건설기술연구원 지반연구부 책임연구원 (Research Fellow, Geotechnical Eng. Research Dept., KICT, E-mail: sdcho@kict.re.kr)

3 정희원, 순천대학교 토목환경공학부 교수 (Professor, Dept. of Civil & Enviro. Eng., Suncheon National Univ.)

4 정희원, 순천대학교 공업기술연구소 연구원 (Research Fellow, Resarch Center of Industrial Technology, Suncheon National Univ.)

성(inextensible) 보강재로 구분하고 있다. 보강재를 신장성 보강재와 비신장성 보강재로 구분하는 기준은 각 국의 설계기준마다 상이하게 규정하고 있으나, 토목섬유 보강재는 신장성 보강재로, 금속성 보강재는 비신장성 보강재로 취급하는 것이 일반적이다. 보강재의 신장성은 보강토옹벽 설계시 보강토체 내의 잠재적인 활동면을 가정하는데 있어 중요한 역할을 하게 된다(FHWA, 2001).

국내에서 보강토옹벽에 가장 많이 채용되고 있는 지오그리드의 경우 국산화가 많이 이루어져 다양한 종류의 국산지오그리드 제품들이 개발 및 적용되고 있으나, 최근 저가 중국산 지오그리드의 도전에 직면하고 있는 실정이다. 띠형 섬유보강재의 경우도 다양한 형태의 제품이 개발되고 있으며, 국산화가 상당히 진전되어 있다. 반면에 띠형 강판 보강재의 경우는 대부분 해외 수입에 의존하고 있다.

따라서 본 연구에서는 국의 수입에 의존하고 있는 띠형 강판 보강재를 대체할 수 있는 새로운 보강재의 개발을 목표로 강판과 지지부재를 결합한 새로운 형태의 보강재를 고안하였으며, 개발 보강재의 장기 내구성과 마찰특성을 평가하였다.

## 2. 지지부재를 설치한 띠형 강판 보강재 개발

### 2.1 개발 보강재의 구성

새로운 보강재는 시공이 용이하면서도 경제성과 안정성이 우수한 특성을 가지도록 하여야 한다. 이에 본 연구

에서는 기존 띠형 강판 보강재를 적용한 패널식 보강토옹벽의 설계 및 시공사례에 대한 검토와 보강토체의 형성원리 및 보강토옹벽의 설계 개념에 대한 분석을 통해 그림 1에 나타낸 바와 같이 보강재를 개발하였다.

본 연구에서 개발한 보강재는 띠형 강판, 지지부재 및 전면벽체와의 연결부로 구성되어 있다.

띠형 강판은 폭×두께가 65mm×4.5mm이며, 50cm 간격으로 11mm 직경의 구멍이 천공되어 있다. 띠형 강판의 천공은 기계적인 방법에 의해 수행되며, 천공 완료후 구멍 주위에 약 2mm두께의 돌기가 형성된다. 이 천공구멍은 2가지 역할을 수행한다. 천공구멍 및 돌기에 의해 보강재 인발에 대한 지지저항력이 증가하는 효과를 기대할 수 있고, 이 천공구멍에 그림 1에 나타낸 바와 같이 지지부재(환봉)를 설치하여 인발저항력을 증대시킨다. 한편, 전면벽체와의 연결부(그림 1의 A부분)는 직경 11mm의 구멍을 천공하여 전면벽체 배면의 ㄷ형 후면스크린과 볼트로 체결한다. 이 때 체결부의 연결장도를 증가시키기 위하여 후면스크린 방향 보강재 끝단부의 150mm 구간은 띠형 강판을 2중으로 중첩시킨다. 지지부재는 보강재의 인발저항력 발현 영역에 설치한다.

### 2.2 개발 보강재의 내구성 및 장기설계인장장도

영구구조물로 사용되는 보강토옹벽은 최소한 75년의 내구년수를 갖도록 설계되고 있으며, 특별히 고속도로나 철도 구조물로 사용되거나 교대에 사용되는 경우에는 100

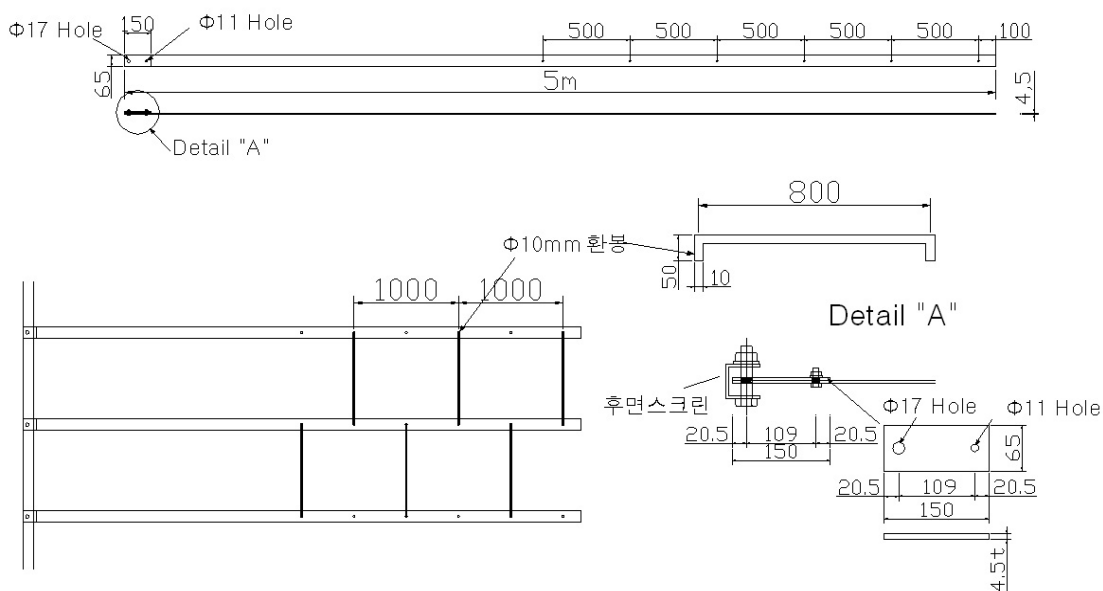


그림 1. 개발 보강재 형상 및 전면벽체와의 접속 방법

년 이상의 내구년수를 갖도록 설계되고 있다. 또한 임시구조물로 사용되는 보강토옹벽은 일반적으로 3년 이하의 내구년수를 갖도록 설계되고 있다. 따라서 보강토옹벽의 안전한 설계를 위해서는 내구년수 동안 발생할 수 있는 보강재의 성능 저하를 적절히 반영해야 한다. 일반적으로 보강토옹벽 설계시, 내구년수 동안 일어날 수 있는 보강재의 성능저하를 반영하여 장기설계인장강도  $T_a$ 를 산정하고, 이를 보강재의 소요인장력  $T_{max}$ 와 비교하는 방법으로 보강토옹벽의 장기안정을 평가한다. 따라서 보강재의 장기설계인장강도를 합리적으로 산정하는 것은 보강토옹벽의 설계에 있어서 대단히 중요하다.

미국 FHWA(2001)의 보강토옹벽 설계기준에서는 강재 보강재의 경우, 식 (1)에 나타낸 바와 같이, 보강재 항복강도( $F_y$ )의 48~55%를 장기설계인장강도,  $T_a$ 로 사용한다.

$$T_a = \begin{cases} 0.55 \frac{F_y A_c}{S_h} & \text{for steel strip} \\ 0.48 \frac{F_y A_c}{S_h} & \text{for steel grids} \end{cases} \quad (1)$$

여기서,  $T_a$  ; 보강재의 장기허용인장강도(kN/m)

$F_y$  ; 강재 보강재의 항복응력(kN/m<sup>2</sup>)

$A_c$  ; 보강재의 유효 단면적(m<sup>2</sup>)

$S_h$  ; 보강재의 수평간격(m)

기준에 일반적으로 사용하고 있는 돌기형 강보강재와 본 연구에서 개발한 강보강재의 사양과 식 (1)에 의해 산정된 장기설계인장강도는 표 1과 같다. 표 1에서 기존 보강재에 대한 파단강도 및 크기는 생산자가 제시한 값이고, 장기설계인장강도는 식 (1)을 이용하여 산정한 값이다. 개

발 보강재에 대해서는, 인장 특성을 평가하기 위해 천공된 띠형 강판에 대한 인장하중시험을 KS B 0802에 따라 수행하였으며, 그 결과 파단시의 인장하중이 104kN 이상인 것으로 나타났다. 표 1에 나타낸 기존 돌기형 강보강재는 많은 현장 시공사례로부터 그 적용성이 입증된 보강재이다. 표 1을 살펴보면, 개발 보강재의 장기설계인장강도는 기존 돌기형 강보강재의 장기인장강도와 유사한 것을 알 수 있다.

개발 보강재가 기존 보강재에 비해 단면 치수가 더 크더라도 불구하고 표 1에 나타낸 바와 같이 서로 유사한 강도값을 보이는 이유는, 개발 보강재의 경우 띠형 강판에 11mm 직경의 구멍이 천공되어 있기 때문이다.

한편, 개발보강재의 부식대책으로는 모든 보강재 구성 요소에 대한 아연도금을 원칙으로 한다. 아연도금 두께는 FHWA(2001) 규정에 따라 일반적인 조건에서 최소 86µm 혹은 610g/m<sup>2</sup>(AASHTO M-111) 이상, 보강토옹벽이 물에 잠길 수 있는 경우에는 최소 140µm 이상이어야 한다.

### 3. 지지부재를 설치한 띠형 강판 보강재의 마찰 특성 평가

#### 3.1 실험 장비 및 계획

개발 보강재의 전단특성 및 인발특성을 평가하기 위하여 일련의 대형직접전단시험 및 인발시험을 수행하였다.

우선, 개발 보강재의 구성요소중 띠형 강판의 표면마찰 특성을 평가하기 위하여 천공전의 띠형 강판에 대한 전단마찰시험 및 인발시험을 수행한다. 다음으로 띠형 강판의 천공 및 지지부재의 설치가 보강재의 인발저항력 증가에 미치는 영향을 평가하기 위한 인발시험을 수행한다. 표 2는

표 1. 아연도금 강판 보강재의 사양 및 장기설계인장강도

구분	사양	파단강도(kN)	내구년수에 따른 장기설계인장강도(kN/m)		폭(mm)	두께(mm)	아연도금기준(µm)
			75년	100년			
기존 보강재	HA 50×4	101	47.85	36.74	50	4(-0~+0.5)	86 (일반적인 경우) 140 (물에 잠기는 경우)
	HAR 45×5	109	57.30	47.70	45	5(-0.2~+0.3)	
개발 보강재	띠형 강판	104	49.00	39.47	65	4.5	

표 2. 전단마찰시험 및 인발시험 계획

실험종류	구속하중(kg/cm <sup>2</sup> )	보강재 조건
전단마찰시험	0.4, 0.8, 1.2, 1.6	무천공 띠형 강판
인발시험	0.5, 1.0, 1.5	천공 띠형 강판 2열
		천공 띠형 강판 2열 + 지지부재 1개
		천공 띠형 강판 2열 + 지지부재 2개
		천공 띠형 강판 2열 + 지지부재 3개

마찰특성 평가 시험계획을 보여 준다.

사진 1은 본 연구에서 대형직접전단시험 및 전단마찰시험을 수행하기 위해 사용한 대형직접전단시험기를 보여준다. 본 시험기의 전단상자 크기는 길이×폭×높이가 30×30×20cm이다. 직접전단시험기는 전단상자와 구속하중 재하시스템, 모터 및 전단하중 측정장치로 구성되어 있다. 또한 상부 전단상자와 하부전단상자 사이에는 평면베어링(Flat bearing)이 부착되어 있어 직접전단시험시 상부토조의 이동이 가능하도록 되어있다. 본 시험기는 전단속도를 0~3mm/min로 조절할 수 있으며, 최대 측정용량은 3,000kgf이다.

사진 2는 인발시험에 사용한 실험장치 모습이다. 본 시험기는 토조와 공기압에 의한 구속하중 재하장치, 수평하중 측정장치 및 데이터수집부 등 크게 4부분으로 구성되어 있으며, 인발시험과 직접전단시험이 모두 가능하도록 제작되어 있다.



사진 1. 대형직접전단시험기

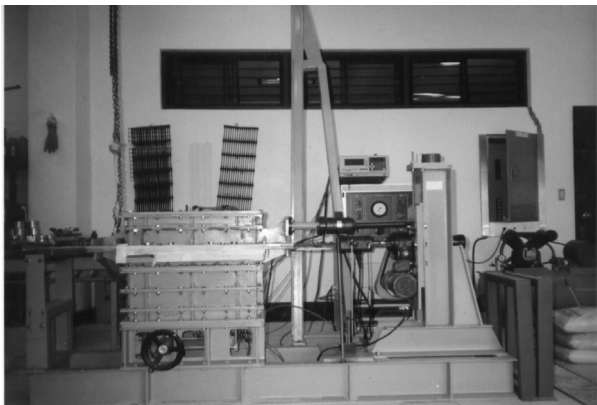


사진 2. 대형 인발시험기

본 시험기 토조는 강판으로 제작되었으며, 크기는 길이 60cm, 폭 40cm, 깊이 20cm이다. 또한 토조는 대형직접전단시험도 가능하도록 하기 위해 상·하부로 분리되어 있으며, 상부와 하부 토조는 각각 깊이가 10cm이다. 상부토조에는 평면베어링(Flat bearing)이 부착되어 있어 직접전단시험시에는 상부토조의 이동이 가능하도록 되어있다.

상부토조의 상부에는 공기압 재하장치의 설치가 가능하도록 제작되어 있어 공기압에 의해 토조내에 균등한 수직하중을 가압할 수 있으며, 최대 2kg/cm<sup>2</sup>의 구속하중을 가할 수 있다. 또한 수평하중 측정장치는 용량이 최대 5,000kgf이며, 변위제어가 가능하다.

### 3.2 사용재료

본 실험에서는 전라남도 화순군에서 채취한 산흙을 흙시료로 사용하였다. 흙시료의 입도분포곡선은 그림 2에 나타내었고, 토질특성은 표 3에 나타내었다. 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 흙시료는 200번체 통과율이 98.2%이며 통일분류법상 SP로 분류되는 모래질 흙이다. 또한 흙시료의 비중( $G_s$ )은 2.67이고, 소성지수는 N.P.로 나타났다.

한편, 표준다짐시험(A다짐) 결과와 흙시료의 강도특성 평가를 위한 대형직접전단시험 결과는 각각 그림 3과 그림 4에 나타내었다. 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 다짐시험 결과, 최적함수비(OMC)와 최대건조밀도( $\gamma_{d_{max}}$ )는 각각 14.8%와 1.82t/m<sup>3</sup>인 것으로 평가되었다. 또한 대형직

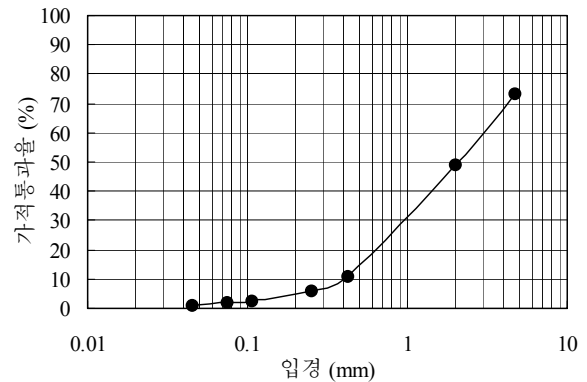


그림 2. 흙시료의 입도분포곡선

표 3. 흙시료의 물리적 및 공학적 특성

비중 ( $G_s$ )	액성한계 ( $W_L$ , %)	소성지수 (PI, %)	U.S.C.S	다짐시험		대형직접전단시험	
				최적함수비 (OMC, %)	최대건조밀도 ( $\gamma_{d_{max}}$ , t/m <sup>3</sup> )	점착력 c, (kg/cm <sup>2</sup> )	전단마찰각 $\phi$ (도)
2.67	N.P.	N.P.	SP	14.8	1.82	0.29	36.2

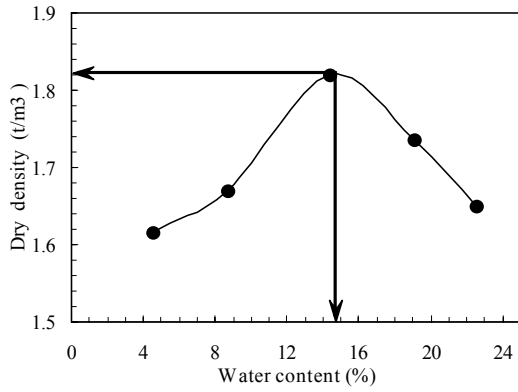


그림 3. 흡시료의 다짐곡선

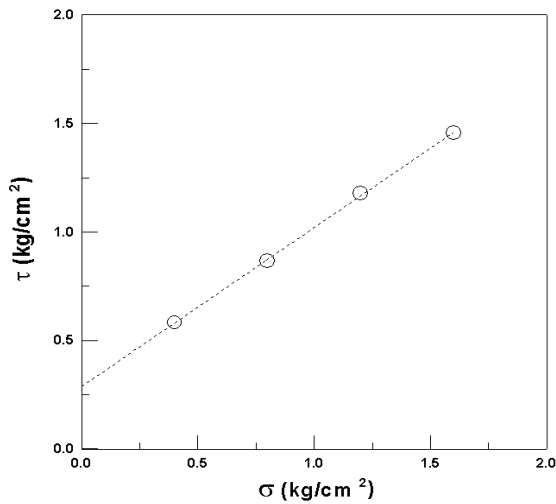


그림 4. 대형직접전단시험 결과

접전단시험 결과 흡시료의 전단강도정수는 점착력과 전단 마찰각이 각각  $0.29\text{kg/cm}^2$ 과  $36.2^\circ$ 인 것으로 나타났다.

### 3.3 전단마찰시험 결과

띠형 강판의 표면마찰 특성을 평가하기 위하여 천공전의 띠형 강판에 대한 전단마찰시험을 수행하였으며, 그 결과는 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 전단마찰시험에 의해 평가된 강도정수는 점착력과 전단마찰각이 각각  $0.09\text{kg/cm}^2$ 과  $26.2^\circ$ 인 것으로 나타났다.

### 3.4 인발시험 결과

개발 보강재의 인발저항 특성을 평가하기 위하여 표 2에 나타난 바와 같이 보강재의 설치형태를 4종류로 달리하여 일련의 인발시험을 수행하였다. 본 연구에서 개발한 보강재는 폭 65mm, 두께 4.5mm인 띠형 강판에 50cm 간격으로 직경 11mm 크기로 천공 및 돌기를 형성시키고, 지지부

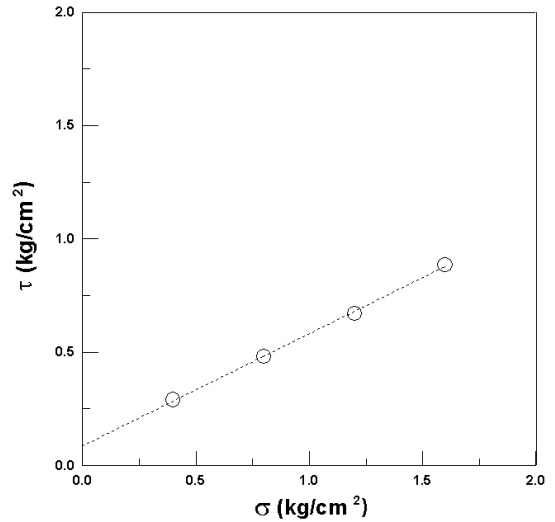


그림 5. 전단마찰시험 결과 수직응력-마찰응력 관계

재를 추가로 설치하는 형식을 가진다. 따라서 일련의 인발 시험을 통해, 천공 및 돌기로 인한 인발저항력 증가 효과와 지지부재의 설치 개수가 인발저항력 증가에 미치는 효과를 평가하였다.

사진 3에 보인 바와 같이 인발토조 중앙부에 2열의 실험용 띠형 강판을 설치하였으며, 이 때 중심간격은 토조의 크기를 고려하여 150mm로 하였다. 본 연구에서 개발한 띠형 강판에는 50cm 간격으로 천공구멍 및 돌기가 형성되어 있다. 그러나 본 연구에서 사용한 인발시험기의 토조 크기는 길이×폭×깊이가  $60\text{cm}\times 40\text{cm}\times 20\text{cm}$ 로 다소 작은 점을 고려하여, 띠형 강판에 100mm 간격으로 총 6개의 천공구멍 및 이로 인한 돌기를 형성시켜 인발시험용 시편을 제작하였다. 지지부재는 항복강도가  $3,000\text{kg/cm}^2$ 이형 철근(D10)을 ㄱ형으로 절곡하여 제작하였으며, 천공구멍을 통과하여 흡속에 15mm정도 삽입되도록 설치하였다.

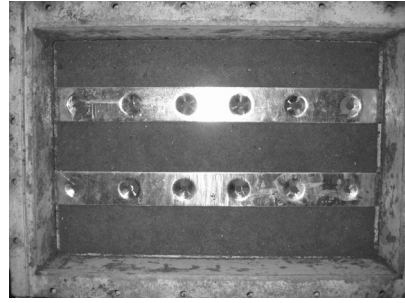
인발시험결과 인발변위-인발력 관계 중 대표적인 결과를 각각 그림 6에 나타내었으며, 전체 인발시험결과를 표 4와 같이 정리하였다. 그림 7은 수직응력-인발응력 관계를 보여준다.

띠형 강판의 천공 및 지지부재 설치가 보강재의 인발저항력 증가에 미치는 영향을 평가하기 위하여 보강재 형태에 따른 인발저항각을 그림 8과 같이 나타내었다.

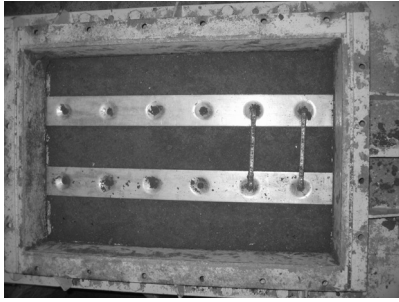
표 4 및 그림 8에서 알 수 있는 바와 같이, 천공 띠형 강판의 경우 인발마찰각이  $21.6^\circ$ 로 평가되었으나, 띠형 강판에 지지부재를 1개, 2개 및 3개 설치한 경우에는 인발마찰각이 각각  $30.7^\circ$ ,  $32.3^\circ$  및  $34.7^\circ$ 로 평가되었다. 이러한 결과는 지지부재를 1개, 2개 및 3개 설치한 경우, 인발저항각이 천공 띠형 강판에 비해 각각 42%, 50% 및 61%



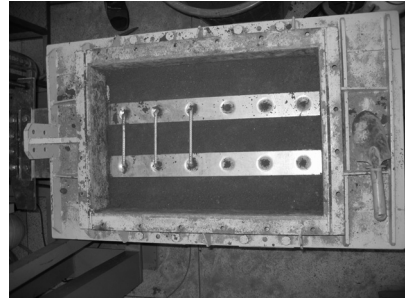
(a) 무공 띠형 강판 보강재



(b) 유공 띠형 강판 보강재

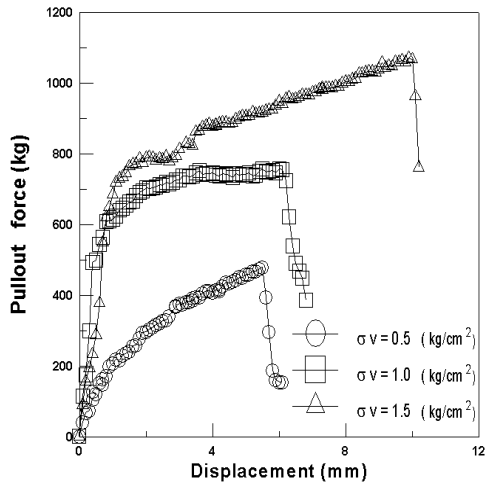


(c) 유공 띠형 강판에 지지부재 2개 설치

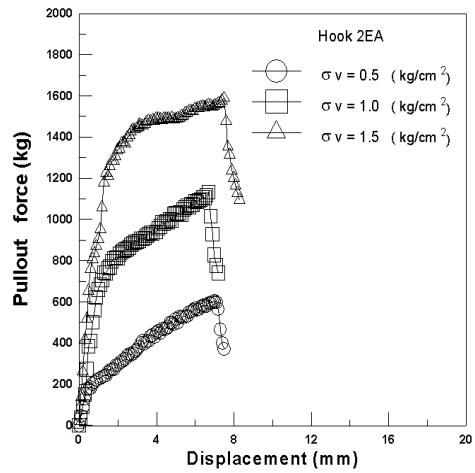


(d) 유공 띠형 강판에 지지부재 3개 설치

사진 3. 인발시험시 보강재 설치 모습



(a) 천공된 띠형 강판 보강재를 사용한 경우



(b) 천공 강판에 지지부재 2개를 보강한 경우

그림 6. 인발변위-인발력 관계

표 4. 인발시험 결과

보강형태	지지부재	구속하중 (kg/cm <sup>2</sup> )	인발응력 τ <sub>p</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	인발정수	
				인발점착력 c <sub>p</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	인발마찰각 δ <sub>p</sub> (도)
유공	-	0.5	0.291	0.09	21.6
유공	-	1.0	0.486		
유공	-	1.5	0.686		
유공	○ (1EA)	0.5	0.341	0.05	30.7
유공	○ (1EA)	1.0	0.647		
유공	○ (1EA)	1.5	0.934		
유공	○ (2EA)	0.5	0.387	0.08	32.3
유공	○ (2EA)	1.0	0.724		
유공	○ (2EA)	1.5	1.018		
유공	○ (3EA)	0.5	0.493	0.16	34.7
유공	○ (3EA)	1.0	0.877		
유공	○ (3EA)	1.5	1.186		

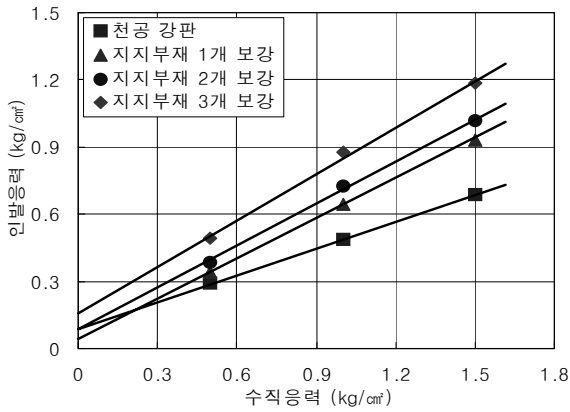


그림 7. 수직응력-인발응력 관계

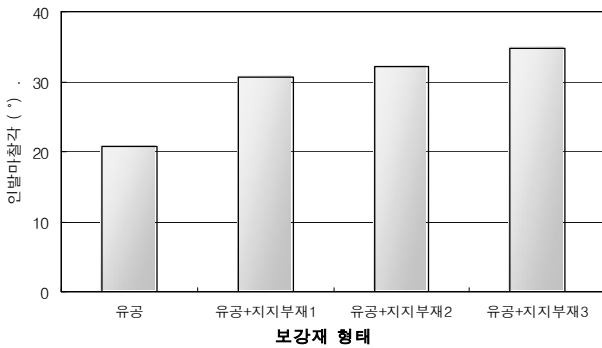


그림 8. 보강재 형태에 따른 인발마찰각

정도 증가하였음을 의미한다.

결론적으로 지지부재를 설치하면 보강재 인발시 지지부재에 수동저항력이 작용하게 되어 결국 보강재의 인발저항력이 크게 증가하게 됨을 인발시험 결과로부터 확인할 수 있다. 또한 지지부재의 개수 증가가 인발저항력 증가에 미치는 영향은 그다지 크지 않은 것으로 판단된다. 따라서 개발 보강재를 적용한 보강토옹벽 시공시, 저항영역에 지지부재를 반드시 설치해야 하며, 설치 개수는 2~3개 정도로 하는 것이 안정성, 시공성 및 경제성 측면에서 가장 효율적일 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

국외 수입에 의존하고 있는 띠형 강판 보강재를 대체할 수 있는 새로운 강(steel) 보강재로서, 강판과 지지부재를 결합한 새로운 형태의 보강재를 고안하였으며, 개발 보강재의 장기 내구성과 마찰특성을 평가하였다. 연구결과 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 개발 보강재는 폭×두께가 65mm×4.5mm인 띠형 강판에 50cm 간격으로 11mm 직경의 천공 구멍 및 돌기가 형성된 형태를 가지고 있으며, 인발저항력 증대를 위한 지지부재의 설치가 가능하다.
2. 개발 보강재의 마찰특성 평가를 위한 전단마찰시험 및 인발시험 결과, 지지부재를 설치하면 보강재의 인발저항력이 40% 이상 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 지지부재의 개수 증가가 인발저항력 증가에 미치는 영향은 그다지 크지 않은 것으로 평가되었다.
3. 본 연구에서 개발한 보강재의 장기설계인장강도는 내구년수를 75년 및 100년으로 한 경우 각각 49.0 kN/m 및 39.5 kN/m인 것으로 평가되었다.
4. 개발 보강재를 적용한 보강토옹벽 시공시, 저항영역에 지지부재를 반드시 설치해야 하며, 효율적인 설치 개수는 2~3개가 적정하다.

#### 참고문헌

1. Cho, S.D. and Shin, E.C. (1999), "Application of Geosynthetics and Earth Reinforcement Technique in Korea", *Earth Reinforcement Technique in Asia, Special Volume for the Proc. of 11th ARC*, Seoul pp.43-49.
2. FHWA (2001), *Mechanically Stabilized Earth Walls and reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines*, Publication No. FHWA-NHI-00-043, U.S. DoT, FHWA.

(논문접수일 2007. 7. 23, 심사완료일 2007. 9. 3)