

## 쐐기형 쏘일 네일의 인발 거동 특성

### Pullout Resistance Characteristics of the Wedge-shaped Soil Nail

김범주<sup>1)</sup>, Bumjoo Kim, 이용준<sup>2)</sup>, Yong-Jun Lee, 윤용수<sup>3)</sup>, Yong-Soo Yoon, 정민규<sup>3)</sup>, Min-Kyu Chung, 윤지남<sup>4)</sup>, Ji-Nam Yoon

- 1) 동국대학교 사회환경시스템공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil & Environmental System Engineering, Dongguk University
- 2) 포스코건설 기술연구소 차장, Deputy General Manager, R&D Center, POSCO Engineering & Construction, Co., Ltd.
- 3) 장평건설 상무, Senior Vice President, Jang Pyoung Construction Co., Ltd.
- 4) 포스코건설 토목설계그룹 과장, Manager, POSCO Engineering & Construction, Co., Ltd.

**SYNOPSIS :** In this study, the pullout resistance characteristic of a wedge-shaped soil nail, made by attaching small steel sticks to the tip of a nail in a wedge shape, was investigated. It was developed to improve the overall pullout resistance capacity of the existing soil nail system, composed of nail and grout, by making the wedge provide additional pullout resistance. In order to evaluate the pullout resistance of the wedge shape-soil nail, field pullout tests were conducted, and the results were compared with those for the existing soil nail without the wedge. The field test results showed that the pullout resistance capacity of the wedge-shaped soil nail was 50% larger than that of the existing soil nail without the wedge.

**Keywords :** pullout resistance, soil nail, wedge shape, field pullout tests

## 1. 서론

쏘일 네일링(Soil Nailing)공법은 원지반을 일정 간격으로 천공, 네일을 삽입한 후 그라우팅 하여 지반의 전체적인 강도를 증대시키고 발생 변위를 가능한한 억제하여 지반의 이완을 제한하는 공법으로, 굴착면이나 사면의 안정화를 위해 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 쏘일 네일 시공시 일반적으로 사용되는 네일의 선단부에 강재로 된 날개를 쐐기 형태로 부착하여 만든 '쐐기형 쏘일 네일(wedge-shaped soil nail)'의 인발거동 특성을 조사하였다. 쐐기형 쏘일 네일은 설치 후 네일 선단부에 부착된 날개가 쐐기 형태로 원 지반에 박히도록 하여 지반 변형시 기존 쏘일 네일 공법에서 네일체(네일+그라우트)의 저항이 주로 마찰력에 의해서만 발휘되는 한계를 보완하고 인발에 대한 저항 능력을 증가시키도록 고안된 것이다. 쐐기형 쏘일 네일의 현장 시공시 실제 인발거동 특성을 평가하기 위하여 풍화토 절취사면에 설치된 쐐기형 쏘일 네일에 대하여 현장인발시험을 수행하고 동일 조건에서 설치된 일반 쏘일 네일과 인발저항 특성을 비교, 평가하였다.

## 2. 쐐기형 쏘일 네일의 원리

쐐기형 쏘일 네일은 그림 1과 같이 일반적인 쏘일 네일의 선단부에 쐐기 모양으로 강철로 된 날개를 부착한 형태로 강철 날개는 일반 성인의 손 압력에 의해 자유롭게 접힐 수 있는 정도이며 압력을 제거

하면 접힌 날개가 펴지게 된다. 따라서, 네일을 천공홀에 삽입할 시에는 홀 크기에 맞도록 자동적으로 날개가 접히게 되며 그라우트 전 약간의 가인장 만으로 날개가 펴져 천공 홀에 고정되게 된다. 천공 지반이 연약한 토사 지반이면 날개가 지반 내에 박히게 되며, 날개가 지반에 박히기 어려운 풍화암 이상의 단단한 지반이라도 날개가 홀의 거친 면을 따라 걸쳐지거나 홀 벽면에 압력을 가하는 상태로 고정되게 된다. 이후에 천공 홀에 그라우팅을 실시하면 날개 주위에도 몰탈이 채워지게 된다.

썩기형 쏘일 네일의 시공 순서는 기존 네일에 날개를 부착하는 과정을 제외하곤 일반 쏘일 네일의 시공 순서와 동일하다. 그림 2와 사진 1은 썩기형 쏘일 네일의 시공 순서와 과정을 보여준다.

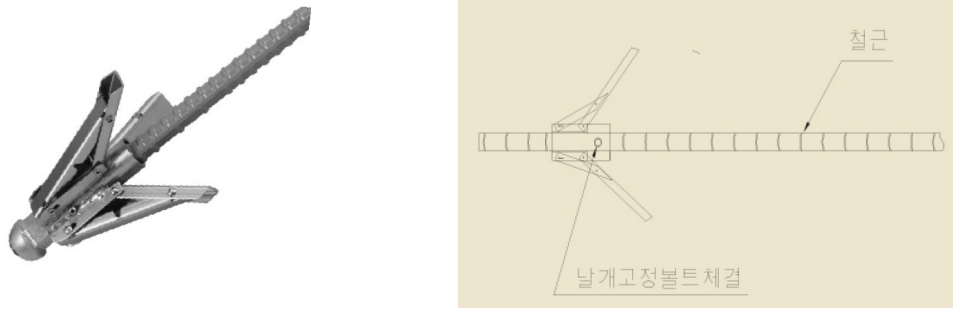


그림 1. 썩기형 쏘일 네일의 형태



그림 2. 시공 순서도



(a) 천공



(b) 네일 제작



(c) 네일 삽입



(d) 그라우팅

사진 1. 시공 과정

### 3. 현장 인발시험

본 연구에서는 썩기형 쏘일 네일의 인발저항능력을 측정하고 이를 일반 쏘일 네일과 비교, 평가하기 위하여 경기도 OO 도로 현장 중 풍화토 절취 사면에 시공된 썩기형 쏘일 네일 1공과 일반 쏘일 네일 1공에 대하여 인발시험을 수행하였다. 쏘일 네일 인발시험은 시험 목적에 따라 극한인발시험(Ultimate Test) 또는 확인인발시험(Proof Test) 및 크리프시험(Creep Test)으로 나눌 수 있으며, 당 현장에서는 확인인발시험과 크리프시험을 수행하였다. 극한인발시험은 실제 시공에 앞서 시험지반의 인발저항력과 시공방법의 적절성을 확인하기 위해서 실시하며 네일이 인발될 때까지 또는 최소한 인발시험에 규정되

어진 안전율을 설계하중에 곱한 하중까지 수행한다. 확인인발시험은 일반적으로 총 시공되어지는 네일 개수의 5%에 대해 실시하며 인발시험을 수행하지 않았던 지반에 시공된 네일에 대해 하중 확보 여부를 확인하고 설계하중의 150%까지 수행한다. 그리고, 크리프시험은 극한인발시험과 확인인발시험의 한 부분으로 수행되어지며 장기적으로 구조물에 손상을 줄만한 변위가 발생되지 않고 구조물의 사용기간 동안 안전하게 하중을 확보할 수 있는지를 확인하기 위해 수행된다(FHWA, 1994).

당 현장에서 수행된 인발시험에서는 표 1과 같은 절차로 점진적으로 하중을 증가시키면서 네일 두부에서 발생하는 변위를 측정하였다. 시험의 계획최대하중은 네일 항복강도인 20.0tf으로 정하였다. 네일 두부에 발생하는 변위는 현장 상황에 맞도록 제작된 LVDT set를 이용하였으며, 재하된 하중은 Load Cell 또는 유압펌프에 연결되어 있는 유압계이치를 이용하여 측정하였다. 시험에 사용된 네일의 사양은 표 2와 같다.

표 1. Proof Tests 절차

Load	Hold Time	Remark
AL	Until Movement Stabilizes	
0.25 DTL	"	
0.50 DTL	"	
0.75 DTL	"	
1.00 DTL	"	
1.25 DTL	"	
1.50 DTL	10 min.	Creep Test

여기서, AL : 초기하중(Alignment Load)  
DTL : 설계시험하중(Design Test Load)

표 2. 시험 네일 사양

종 류	사 양 (m)		강봉 종류	시험최대 하중 (tf)	비 고
	인장 여유장(m)	정착장(m)			
썩기형 네일	1.5	10.0	SD40D25	20.0	
일반 네일	"	"	"	"	

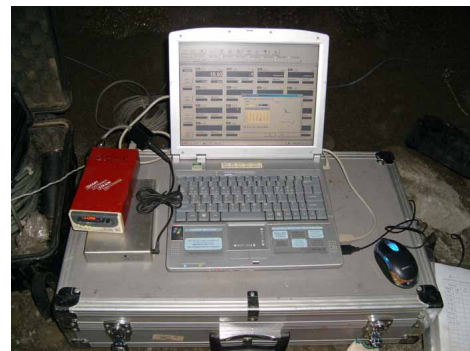


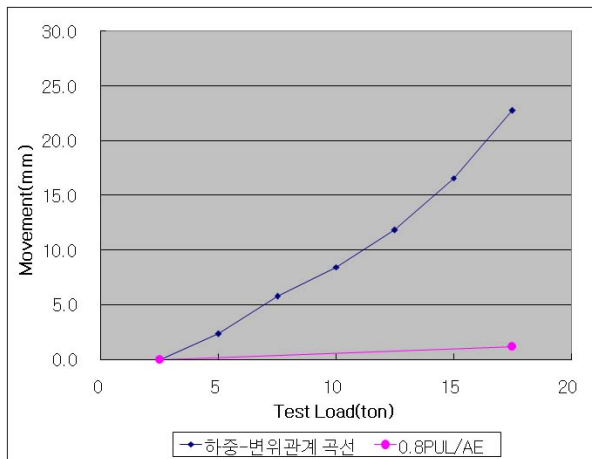
사진 2. 현장 인발시험

본 시험은 FHWA(1994)의 규정을 따랐으며, 그에 따르면 시험 네일은 다음의 항목을 만족시켜야 한다. 즉, 시험 최대 하중에서 1) 총 네일 변위는 네일 자유장의 이론적 탄성 변위의 80% 이상이어야 하고, 2) 1분과 10분 사이의 크리프 변위는 1mm 이하이거나, 혹은 6분과 60분 사이에서 크리프변위는 2mm 이하이고 크리프 비가 선형이어야 한다.

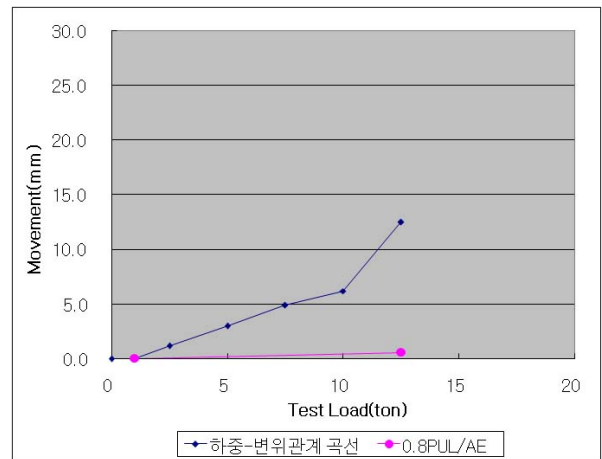
## 4. 시험 결과

그림 3은 현장 인발시험을 통해 얻은 썬기형 네일과 일반 네일에 대한 인발 하중과 변위와의 관계를 나타낸다. 앞서 설명한 것바와 같이 FHWA 규정에 따라 각 하중 단계마다 1분에서 10분 사이의 변위는 1mm 이하이어야 하고 이를 초과할 경우 인발된 것으로 판단하였으며, 각 하중 사이클에서 해당 규정을 벗어나지 않는 최대 하중을 단기 크리프에 의한 극한 하중으로 정의하였다.

그림 3에서 보는 바와 같이 썬기형 네일은 17.5tf에서 변위가 1mm를 초과한 반면, 일반 네일에서는 12.5tf에서 1mm를 초과하여 썬기형 네일의 인발 저항성이 일반 네일에 비하여 큰 것으로 나타났다. 그림 4는 각 하중 단계에서의 크리프변위를 나타낸 것이며, 표 3은 단기 크리프에 의한 극한 하중 산정 결과를 나타낸 것이다. 극한 하중의 크기는 썬기형 네일이 일반 네일보다 약 50% 큰 것으로 나타났다.



(a)



(b)

그림 3. 네일의 인발 하중-변위 관계



(a)



(b)

그림 4. 네일의 크리프 변위 결과

표 3. 단기 크리프에 의한 극한 하중

네일 종류	천공장(m)	여유장(mm)	천공직경(mm)	극한하중(tf)
썩기형 네일	10.0	1.5	90	15.0
일반 네일	"	"	"	10.0

## 5. 결 론

풍화토 사면에 시공된 썩기형 쏘일 네일과 일반 쏘일 네일에 대하여 FHWA에서 규정에 따른 현장 인발시험을 수행하고 그로부터 단기 크리프에 의한 극한 하중을 산정하였다. 그 결과, 썩기형 네일의 극한 하중은 15.0tf, 그리고 일반 네일은 10.0tf으로 나타나 해당 지반에서 썩기형 네일의 인발 저항력은 일반 네일에 비해 약 50% 큰 것으로 나타났다. 이로부터 썩기형 쏘일 네일의 경우 네일 선단부에 부착된 썩기형 날개가 어느 정도 인발 하중에 의한 네일의 변형을 억제하는데 기여를 하는 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. FHWA(1994), *Soil Nailing Field Inspectors Manual*, Publication No. FHWA-SA-93-068