

## 스마트 건설기반 번들네일의 축응력 평가

### Axial Stress Evaluation of Bundle Nails in Smart Construction

이 동 혁<sup>†</sup> · 류 재 구<sup>1)</sup>

Donghyuk Lee · Jaekoo Ryu

Received: April 9<sup>th</sup>, 2024; Revised: April 12<sup>th</sup>, 2024; Accepted: May 5<sup>th</sup>, 2024

**ABSTRACT** : The general soil nailing method, which is currently used domestically and internationally to stabilize the slopes of sandy slopes, is to form a kind of gravity-type retaining wall by drilling the ground and grouting it with a single steel bar. This method can reduce construction costs, ease of construction, relative strength and displacement, and is highly efficient. The difference between grouting and rebar adhesion to the yield pullout force and the difference between the amount of deformation in relation to the same pullout resistance was analyzed through field tests to identify engineering excellence, and in terms of construction cost, the reduction effect was evaluated by analyzing the difference in the number of drillings and the impact on the overall construction cost, such as material cost, when the same strength constant is applied to the ground with the same resistance.

**Keywords** : Soil nailing, Adhesion, Deformation, Reduction of construction costs, Smart construction

**요 지** : 현재 국내외적으로 토사사면의 사면안정을 위해 사용하고 있는 일반 Soil Nailing은 지반을 천공 후 단일 철근을 활용, 그라우팅하여 일종의 중력식 옹벽을 형성하여 사면의 안정을 도모하고 있다. 이러한 공법을 공사비 절감과 시공의 용이성, 상대적인 강도와 변위면에서 우수한 효율을 낼 수 있는 공법이다. 동일한 공종으로 진행하되 단일 철근을 다발철근으로 변경하여 활용할 경우 항복 인발력에 대한 그라우팅과 철근의 부착력 차이, 동일한 인발저항 대비 변형량의 차이를 현장시험을 통해 분석하여 공학적 우수성을 규명하고 공사비 측면에서 강도정수가 동일한 지반에 대하여 저항력이 동일하게 적용할 경우, 천공수의 차이와 재료비 등 전체 공사비에 미치는 영향분석을 통해 절감효과의 비교를 분석하여 평가하였다.

**주요어** : 쏘일네일링, 부착, 변위량, 공사비 절감, 스마트 건설

## 1. 서 론

Soil Nailing은 굴착하고자 하는 보통 Nail로 수평이나 경사지게 경사면에 설치하여 수동저항에 의해 휨과 전단에 저항한다.

동시에 흙과 그라우팅과의 마찰력, 그라우팅과 Nail과의 마찰력이 발휘된 후 인장력이 발휘된다.

일단 시공이 완료되면 보강토 옹벽과 유사한 중력식 옹벽의 안정성을 발휘하여 구조물의 안정성이 도모된다.

이러한 Soil Nailing은 하나의 천공경에 하나의 철근을 삽입하여 시공하게 된다. 공학적 안정성을 발휘하기 위하여 활동면의 변위가 발생한 후 휨과 전단, 마찰력, 부착력이 재료자체의 허용응력을 초과하지 않는 안전을 범위 내 존재하도록 설계하여 시공하게 된다.

발상의 전환으로 동일한 공학적 안정성을 발휘하거나 좀 더 우수한 공학적 안정성과 재료자체의 강도를 증가시키기 위해 Single Nail이 아닌 Bundle Nail을 활용한다. Bundle Nail

을 활용할 경우에는 재료자체가 발휘되는 천공경당 고유 항복강도의 증가로 인해 발생 휨 모멘트, 전단력에 대하여 더 작은 천공수로도 발생 토압에 효과적으로 대응할 수 있게 된다.

한편 Soil Nailing에 대한 연구는 모형시험, 현장시험 및 유한요소해석 등을 통한 연구가 진행되고 있다. 한계평형해석적 방법으로 Schlosser(1982)해석, Shen et al.(1981)방법, Stocker et al.(1979)방법이 있으며, 운동역학적 한계평형개념을 기반으로한 Juran et al.(1990)방법 모형시험과 현장계측을 통한 방법으로 Stocker & Riedinger(1990)등에 의해 연구가 진행되었다.

국내에서 진행되는 네일링 연구들을 살펴보면 한계평형해석의 한계점을 보완하기 위한 방법으로 유한차분해석을 진행한 연구(You & Min, 2013; You, 2014), 현장시험들을 분석하여 평가하는 연구(Bang et al., 2015; Son et al., 2015; Park & Lee, 2016; Park et al., 2021), 국내외 설계기준을 평가하는 연구(Seo et al., 2012; You & Kim, 2019)등 다양

<sup>†</sup> Lecturer, Department of Fire Protection Engineering, Sanji University (Corresponding Author : idonghyuk@hanmail.net)

1) CEO, Hanwool E&C

한 방법으로 네일링에 대하여 진행되고 있다.

이번 연구에서는 변위제어방식으로 일반 Single Nail과 Bundle Nail을 현장시험을 통해 부착력과 변위량의 차이를 분석하여 공사비를 절감 시키기 위한 현장조건과 적용결과를 도출하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 개요

본 연구에서는 일반적으로 사용하는 한 공당 D32 한가닥을 이용한 Soil Nailing과 한 공당 D16 이형철근 4가닥을 삽입한 Soil Nailing에 대한 부착강도 실험과 변형량에 대하여 현장실험을 시행하여 재료의 역학적 거동을 분석하였다.

### 2.2 실험조건법

#### 2.2.1 Nail의 인발시험

현장 인발 시험은 과도한 변위가 발생하지 않으면서 설계 축력이 확보되는지를 확인하고, 적절한 안전율로 설계되었는지를 확인하기 위한 시험이다. Nail은 직경 32mm에 길이 8m, Bundle Nail은 직경 16mm×4에 길이 8m로 Table 1과 같다.

Table 1. Types and specifications of attraction test

No	Type	Specification	Length	Test maximum load (tf)
1	Nail	D=32mm	8m	300% (38.4tf) of design pull (12.8tf)
2	Bundle Nail	D=16mm×4	8m	

#### 2.2.2 위치별 축력시험(Axial force test)

축력시험의 위치는 Fig. 1과 Table 2와 같이 Nail, Bundle Nail 모두 근입깊이 1m, 4m, 7m에서 측정하였으며, 각 위치 별로 2회씩 실험하였다. 실험위치는 ○○~△△ 도로건설현장이며, 지반은 풍화암 지대에서 진행하였다.

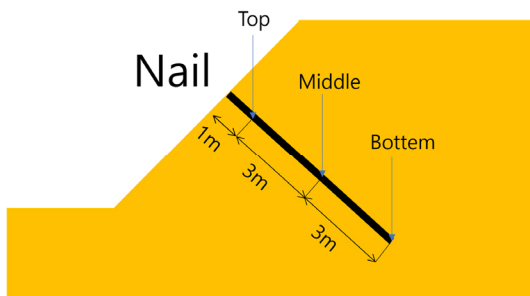


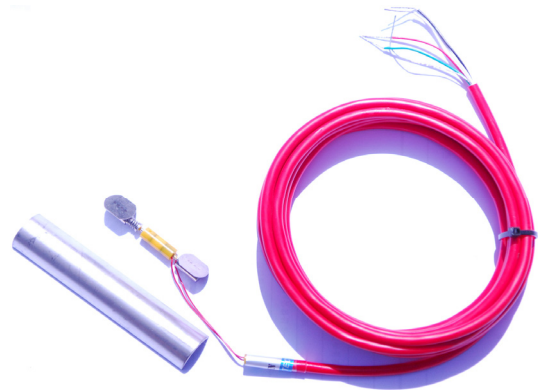
Fig. 1. Nail schematic diagram

Table 2. Axial force test

Type	Number of tests	Axial force test point	Test maximum load (tf)
Nail	2 Set	1m	300% (38.4tf) of design pull (12.8tf) - 12.5% (1.6tf) - 50.0% (6.4tf) - 100% (12.8tf) - 200% (25.6tf) - 300% (38.4tf) - Full Out Test
	"	4m	
	"	7m	
Bundle Nail	"	1m	
	"	4m	
	"	7m	

#### 2.2.3 실험장비 Nail의 인발시험

현장 시험결과 하중에 따른 변위와 관련한 인발시험의 주요 장비는 Fig. 2, Table 3과 같다.



(a) Use Instruments



(b) Attach the instrument (capping)



(c) Instrument attachment complete

Fig. 2. Equipment of axial meter

Table 3. Test equipment

No.	Test equipment	Number	Standard
1	Jack	1	30tf
2	Dial Gauge	1	0.01mm
3	Magnetic Holder	1	-
4	Other equipment	1	-

### 2.2.4 실험방법

하중은 변위제어방식(1.0mm/min)으로 단계화하여 설계 하중의 12.5%(1.6tf), 50.0%(6.4tf), 100%(12.8tf), 200%(25.6tf), 300%(38.4tf)로 시험을 행하였다.

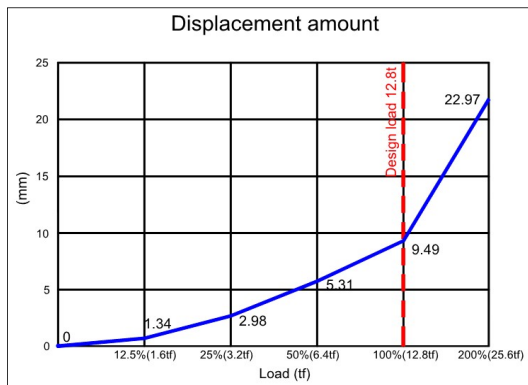
## 3. 시험 결과

### 3.1 개요

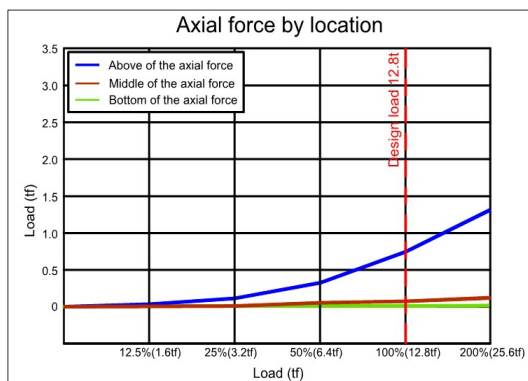
본 연구에서 일반적으로 사용하는 한 공당 D32 한가닥을 이용한 Soil Nailing과 한 공당 D16 이형철근 4가닥을 삽입한 Soil Nailing에 대한 부착강도 실험과 변형량에 대하여 실험한 결과는 다음과 같다.

### 3.2 일반 Soil Nailing의 설계하중 대비 변위량 분석

일반 Nail의 인발시험 결과 Fig. 3, 4와 같이 200%인 25.6t



(a) Displacement amount



(b) Axial force by location

Fig. 3. Nail No.1 test

에서 No.1과 No.2 네일이 각각 22.97mm, 22.40mm가 나타나 평균 22.685mm로 나타났다.

축력계 값은 지표면에서 가까운 위치에서 하중에 따라 비선형 증가 거동을 보였다.

그 이하의 같은 곳에 매설된 축력계의 변화는 깊을수록 미비하게 변화되는 것으로 관찰된 바, 축력의 전달은 깊이에 따라 마찰력 증대와 관계있는 것으로 사료된다.

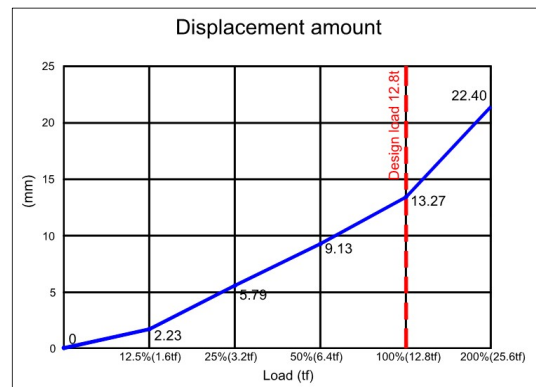
### 3.3 Bundle Nail

Bundle Nail의 인발시험 결과 Fig. 5, 6과 같이 200%인 25.6tf에서의 No.1과 No.2 네일에서 각각 변위량은 15.93mm, 14.92mm로 나타나 평균 15.425mm로 나타났다.

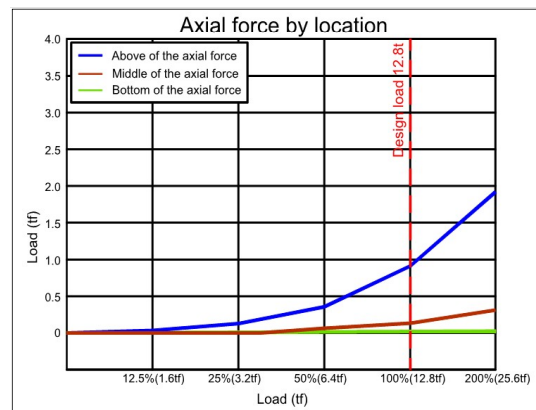
일반 Nail과 마찬가지로 축력계 값은 지표면에서 가까운 위치에서 하중에 따라 비선형 증가 거동을 보였다.

그 이하의 같은 곳에 매설된 축력계의 변화는 깊을수록 미비하게 변화되는 것으로 관찰되었다.

일반 Nail에 비교 시 상층에서의 축력이 상대적으로 크게 관찰되었으나 파괴면의 활동에 의한 축력발생이 아닌 인발 하중에 대한 축력분포로 진행성 파괴와 관련한 마찰력의 분포와는 상이하였다.

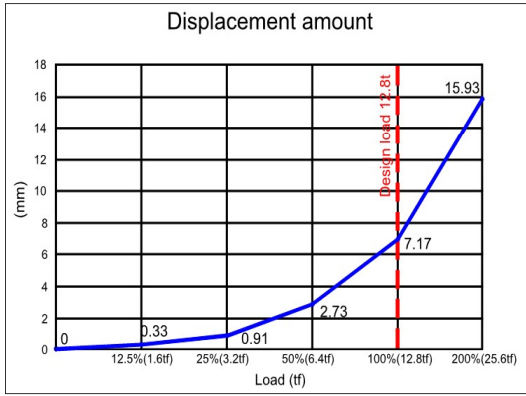


(a) Displacement amount

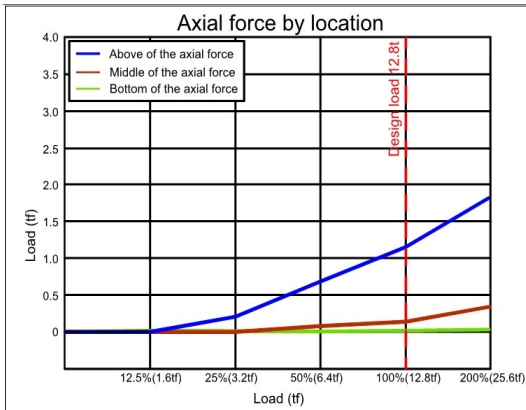


(b) Axial force by location

Fig. 4. Nail No.2 test

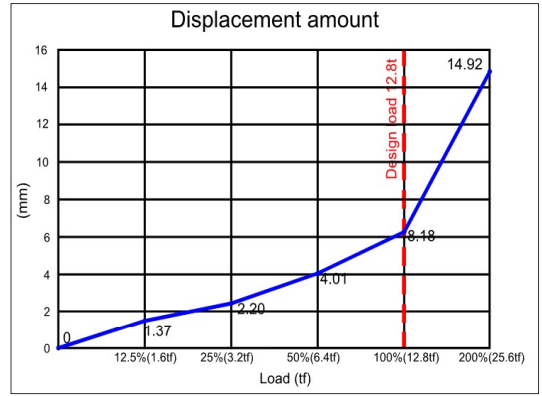


(a) Displacement amount

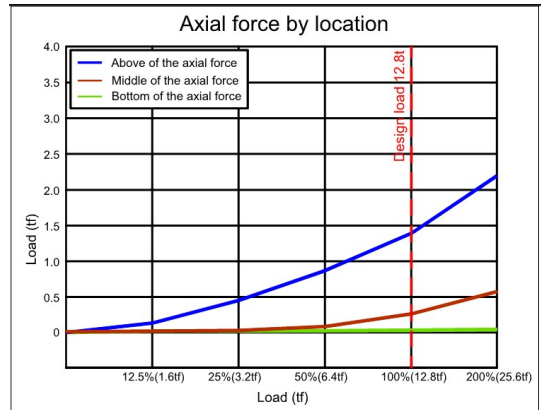


(b) Axial force by location

Fig. 5. Bundle nail No.1 test



(a) Displacement amount



(b) Axial force by location

Fig. 6. Bundle nail No.2 test

#### 4. 시험 결과 분석

시험에 적용된 Nail과 Bundle Nail의 일반시험을 통한 결과 분석은 Fig. 7과 같이 나타났다.

설계하중의 12.5%인 1.6tf에서 적용된 Nail의 변위량은 1.06mm, Bundle Nail의 변위량이 1.32mm로 Bundle Nail의 변위량이 0.26mm으로 약 25% 더 크게 나타났다.

설계하중의 25%인 3.2tf에서 적용된 Nail의 변위량은 5.06mm, Bundle Nail의 변위량이 2.11mm로 Bundle Nail의 변위량이 2.95mm으로 약 58% 더 작게 나타났다.

설계하중의 50%인 6.4tf에서 적용된 Nail의 변위량은 9.12mm, Bundle Nail의 변위량이 3.89mm로 Bundle Nail의 변위량이 5.23mm으로 약 57% 더 작게 나타났다.

설계하중의 100%인 12.8tf에서 적용된 Nail의 변위량은 14.70mm, Bundle Nail의 변위량이 8.07mm로 Bundle Nail의 변위량이 6.63mm으로 약 45% 더 작게 나타났다.

설계하중의 200%인 25.6tf에서 적용된 Nail의 변위량은 22.69mm, Bundle Nail의 변위량이 15.43mm로 Bundle Nail의 변위량이 7.26mm으로 약 32% 더 작게 나타났다.

설계하중이 25% 이상이 되는 경우 일반네일의 변위와 변들 네일의 변위는 항복하중이 약 2배 이상 향상되었다.

Nail과 Bundle Nail의 축력계 값은 둘다 지표면에 가까운 위치에서만 하중에 따라 비선형으로 증가하는 거동을 보였다.

그보다 깊은 곳에 매설된 축력계들은 미비하게 변화되었다.

특히 Bundle Nail은 Nail에 비교 시 상층에서의 축력이 상대적으로 크게 관찰되었으나 수치비교 시 오차범위 수준으로 볼 수 있는 값으로 나타났다.

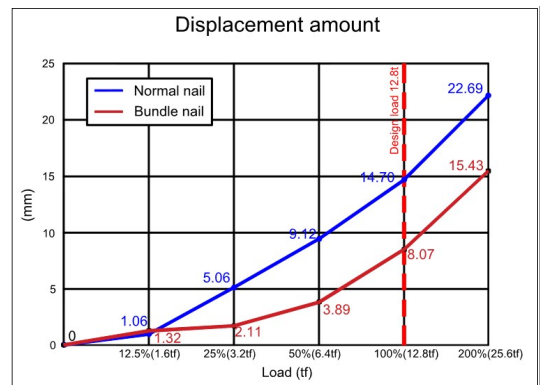


Fig. 7. Nail vs Bundle nail

## 5. 결 론

시험에 적용된 Nail과 Bundle Nail의 인발시험을 통하여 비교하였을 때, 설계하중의 100%인 12.80tonf일때 변위와 Bundle Nail의 설계하중의 200%인 25.60tonf일때 변위가 유사하게 나타나는 것으로 나타나 항복하중이 약 2배 강화되었다.

Nail과 Bundle Nail의 축력계 값은 둘다 지표면에 가까운 위치에서만 하중에 따라 비선형으로 증가하는 거동을 보이고, 그보다 깊은 곳에 매설된 축력계들은 미비하게 변화되었다.

- (1) 부착력의 성능개량은 지반과 그라우트재의 마찰력이 그라우트와 Nail과의 부착력보다 약할 때 유효하다.
- (2) 한 공당 항복하중이 Bundle Nail이 우수하나 지반과 그라우트가 먼저 항복하여 변위가 발생할 경우 무의미한 성능개량으로 판단된다.
- (3) 암반, 풍화암 등 토사와 다양한 지반조건을 고려하여 그라우트와 지반의 마찰력이 상대적으로 그라우트와 지반의 부착력을 초과하는 지반의 경우 유효한 공법으로 판단된다.
- (4) 현장시험, 유한요소해석 등 다양한 방법으로 하중과 변위 관계를 고려한 한 공당 인발 시 항복하중을 결정하여 천공으로 인한 공사비를 절감할 수 있는 정량적 분석이 추가로 연구되어야 할 것이다.

## 감사의 글

이 연구는 “스마트건설기술개발국가R&D사업(과제번호 RS-2020-KA157089)”의 지원으로 수행하였습니다.

## References

1. Bang, Yoonkyung, Yang, Younghoon, Suh, Jeeveon, Yoo, Namjae and Kim, Hongtaek (2015), A study on the application of bamboo soil nailing system through experimental construction, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 16, No. 3, pp. 23~34 (In Korean).
2. Juran, I., Baudrand, G., Farrag, K. and Elias, V. (1990), Kinematical limit analysis for design of soil-nailed structures. Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 1, pp. 54~73.
3. Park, Hyun-Gue and Lee, Kang-II (2016), Estimation of ultimate pullout resistance of soil-nailing using nonlinear, Journal of Korean Geosynthetics Society, Vol. 15, No. 2, pp. 65~75 (In Korean).
4. Park, Jeaman, Park, Duhee, Lee, Jongkwon and Jung, Kyoungsik (2021), Evaluation of the behavioral characteristics of soil nail using high-strength steel pipe through field test, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 22, No. 2, pp. 5~13 (In Korean).
5. Schlosser, F. (1982), Behavior and design of soil nailing, Proc., Symposium for Recent Developments in Ground Improvement Techniques, Bangkok, Thailand, pp. 399~413.
6. Seo, Hyung-Joon, Lee, Gang-Hyun, Park, Jeong-Jun and Lee, In-Mo (2012), Optimization of soil-nailing designs considering three failure modes, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 28, No. 7, pp. 5~16 (In Korean).
7. Shen, C.K., Bang, S. and Herrmann, L.R. (1981), Ground movement analysis of an earth support system, Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 107, No. 12, pp. 512~374.
8. Son, Byeong-Doo, Lim, Heui-Dae and Park, Joon-Mo (2015), Estimation of LRFD resistance bias factors for pullout resistance of soil-nailing, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 31, No. 10, pp. 5~16 (In Korean).
9. Stocker, M. F., Korber, G. W., Gässler, G. and Gudehus, G. (1979), Soil Nailing. C. R. Coll. Int. Reinforcement Des Sois. Paris, pp.469~474
10. Stocker, M. F. and Riedinger, G. (1990), The bearing behaviour of nailed retaining structures, ASCE Geotechnical Special Publication, No. 25, New York, pp. 612~628.
11. You, Kwang-Ho (2014), Reinforcing effect of a soil nailing on plane failure of a slope by comparing finite difference analysis with limit equilibrium analysis, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 30, No. 11, pp. 5~15 (In Korean).
12. You, Kwang-Ho and Kim, Tae-Won (2019), Evaluation of domestic and foreign design standards for soil nailing method by analysis of slope restoration case, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 20, No. 11, pp. 11~22 (In Korean).
13. You, Kwang-Ho and Min, Kyoung-Sun (2013), Influence of soil nailing angle on slope reinforcement effect by finite difference analysis, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 29, No. 8, pp. 27~36 (In Korean).