

제거식 쏘일 네일 개발 및 성능 평가 Development of Removable Soil Nail

김낙경¹⁾, Nak-Kyung Kim, 김성규²⁾, Sung-Kyu Kim, 김웅진³⁾, Ung-Jin Kim, 김웅규⁴⁾, Woong-Kyu Kim, 조규완⁵⁾, Kyu-Wan Cho, 신상훈⁶⁾, Sang-Hoon Sin

- 1) 성균관대학교 건설환경시스템공학과 부교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, SungKyunKwan Univ.
- 2) 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정, Graduate student, Dept. of Civil & Environmental Engineering, SungKyunKwan Univ.
- 3) 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정, Graduate student, Dept. of Civil & Environmental Engineering, SungKyunKwan Univ.
- 4) 삼성건설 주택사업팀 토목파트 과장, Senior Manager, Housing Construction Team(Civil), Samsung Engineering & Construction
- 5) 삼성건설 주택사업팀 토목파트 과장, Senior Manager, Housing Construction Team(Civil), Samsung Engineering & Construction
- 6) (주)효창이엔지 이사, Director, Hyochang Engineering Co. Ltd.

SYNOPSIS : A Soil Nail is a structural element which provides load-transfer to the ground in excavation reinforcement applications. The nail may simply consist of a steel tendon, but most commonly the tendon is encapsulated in a cement grouted body to provide corrosion protection and improved load-transfer to the ground. For temporary excavation support in a congested urban area, the steel bar of Soil Nails should be removed to get permission of the private land to install Soil Nails. Several removable nail systems were developed and evaluated by pull-out load tests. The Soil Nail pull-out tests were performed on five nails installed in soft and hard rock at a 00 housing-redevelopment area in seoul. Two nails are plastic socket type and two are complex socket type mixed steel and plastic. The nail was 0.1mm in diameter, 4m long. In this study verification tests, and steel bar removing tests of plastic socket type nails and complex socket type nails were performed and presented.

Keywords : plastic socket, complex socket, removable soil nail, verification tests, removing tests

1. 서론

쏘일네일(soil nail) 공법은 NATM공법과 유사한 원위치지반보강 공법으로써 굴착면에 대한 유연한 지보체계의 제공 또는 사면의 안정 등을 목적으로 개발되었다. 쏘일네일은 기본적으로 인장력, 전단력 및 휨 모멘트에 저항할 수 있는 보강재를 프리스트레싱 없이 비교적 촘촘한 간격으로 삽입하여 원지반의 전체적인 전단강도 증대 및 발생변위를 가능한 억제하고 또한 굴착공사 도중이나 완료 후에 예상되는 이완을 제한하는 공법이다.

근래에 들어서는 지반환경문제 예방뿐만 아니라 도심지 지하굴착 공사에 있어서는 인접구조물에 대한

영향을 최소화하고 굴착으로 인한 지반의 변형을 최소화하는 것이 중요한 문제로 대두되고 있다. 따라서 공사 완료후 지반에 잔류하는 강봉을 제거할 수 있는 제거식 쏘일네일공법(removable soil nail)이 활발하게 사용되고 있다. 제거식 쏘일 네일은 강봉 전체가 나선으로 이루어진 네일과 그라우트에 삽입되는 고정자 소켓 및 네일과 그라우트의 부착을 방지하기 위한 쉬스관으로 구성되어 있다. 굴착 등으로 발생하는 응력은 지반-그라우트 사이 마찰력에 의해 그라우트로 전이되고 그라우트에 작용하는 하중은 그라우트 속에 삽입되어 있는 소켓 및 강봉에 전달되어 강봉의 인장력 및 전단력 등으로 지반 변형에 저항하는 메커니즘이다. 그러나 기존의 제거식 쏘일 네일의 경우 고정자소켓이 플라스틱으로 제작되어 그 강도가 강봉의 강도보다 훨씬 적어 하중이 전이되는 강봉-소켓 연결부위에서 소켓의 마모 및 변형으로 인한 항복이 발생된다. 따라서 본 연구에서는 고정자소켓을 철근(steel bar)과 플라스틱이 복합된 복합소켓으로 제작하여 강봉-소켓 연결부위의 강도를 증대시켰으며, 네일이 쉽게 제거될 수 있도록 하였다. 본 연구에서 개발된 복합소켓 제거식 네일을 실제 현장에 적용하여 인발시험 및 제거시험을 수행하였으며 기존 플라스틱소켓 네일과 비교하였다.

2. 쏘일 네일 현장시험 종류 및 시험절차

쏘일 네일 현장시험은 과도한 변위가 발생하지 않으면서 설계축력이 확보되는지를 확인하고 적절한 안전율로 설계되었는지를 확인하기 위한 시험이다. 시험 목적에 따라 Verification or Ultimate Tests, Proof Tests 및 Creep Tests로 나눌 수 있다(FHWA). Verification or Ultimate Tests의 경우 실제시공에 앞서 시험지반의 인발저항력과 시공방법의 적절성을 확인하기 위해서 실시하며 네일이 인발될 때까지 또는 최소한 인발시험에 규정되어진 안전율을 설계하중에 곱한 하중까지 수행한다. Proof Tests는 일반적으로 총 시공되어지는 네일 개수의 5%에 대해 실시하며 인발시험을 수행하지 않았던 지반에 시공된 네일에 대해 하중확보여부를 확인하고 설계하중의 150%까지 수행한다. Creep Tests는 Ultimate Tests와 Proof Tests의 한 부분으로 수행되어지며 장기적으로 구조물에 손상을 줄만한 변위가 발생되지 않고 구조물의 사용기간 동안 안전하게 하중을 확보할 수 있는지를 확인하기 위해 수행되어지며 특히 크리프 변위가 크게 발생하는 연약한 토사나 점토지반에서 수행되어진다.

표 1. Verification Tests 절차

Load	Hold Time	Remark
AL	1 min.	
0.25 DTL	10 min.	
0.50 DTL	10 min.	
0.75 DTL	10 min.	
1.00 DTL	10 min.	
1.25 DTL	10 min.	
1.50 DTL	60 min.	Creep Test
1.75 DTL	10 min.	
2.00 DTL	10 min.	
2.50 DTL	10 min.	
3.00 DTL or Failure	10 min.	
AL	1 min.	

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

3. 쏘일 네일 현장시험

현장시험은 서울특별시 은평구 불광동 일대의 주택재개발사업지구에서 실시되었고 시험현장의 흙막이 공법은 토류벽체공법과 벽체지보공법으로서 쏘일 네일 공법이 사용되었다. 현장 인발시험은 보통암에서 연암으로 구성된 암반지역을 대상으로 실시하였다.

현장인발시험에 사용된 쏘일 네일은 총 4공으로 벽체 하단에 시공하였으며 2공에 대해서는 네일의 하중분포를 확인하기 위해 소켓 위쪽에 스폿 용접형 변형률 게이지를 장착하여 네일에 작용하는 하중을 계측하였다. 현장시험 방법은 FHWA에서 제안하고 있는 Verification Tests를 수행하였다.

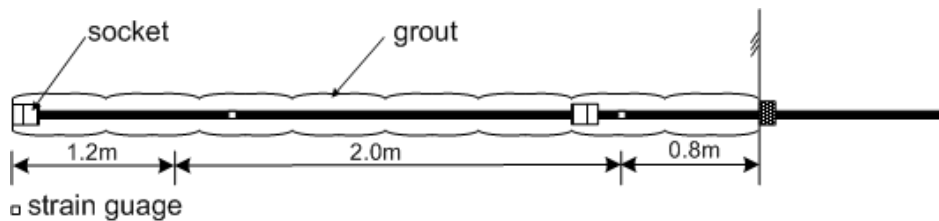
3.1 시험 네일 시공 및 제원

본 현장에 시공된 네일은 가설구조물에 시공된 것으로 그 사양은 다음 표 2와 같다. 시험최대 하중은 SD40 25mm 철근 항복강도 90%인 20tf까지 계획하였다.

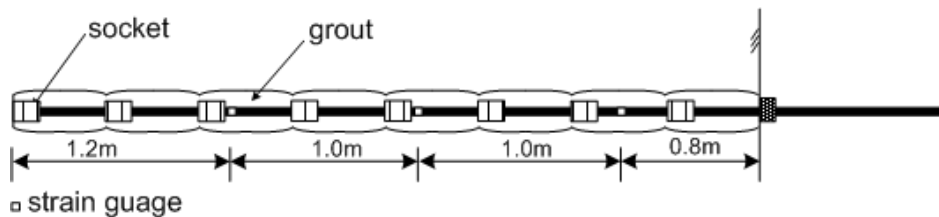
표 2. 시험 네일 사양

No.	소켓 종류	사 양 (m)		강 봉 종류	시 험 하 중 (tf)	기 타
		인장 여유장	정착장			
1	복합	1.0	4.0	SD40D25	20.0	게이지부착
2	"	"	"	"	"	
3	플라스틱	"	"	"	"	게이지부착
4	"	"	"	"	"	

네일 Verification Tests 중에 네일 부두에서 발생하는 하중과 변위를 유압게이지 및 LVDT로 각각 측정하며 네일에 작용하는 하중분포를 확인하기 위해 그림 1과 같이 복합소켓의 경우 네일 선단부터 1.2 및 3.2m 위치, 플라스틱소켓의 경우 네일 선단으로부터 1.2, 2.2, 및 3.2m 위치에 스폿 용접을 이용한 스트레인 게이지를 부착하였으며 게이지 손상을 방지하기 위해 캡을 씌우고 고무테이프를 이용하여 방수처리 하였다. 설치된 계측기는 진동현식 스트레인 게이지이며 계측기 부착전경은 그림 2-a) 및 b)와 같다.



a) 복합소켓 네일



b) 플라스틱소켓 네일

그림 1. 변형률계(strain gauge) 부착 개요도

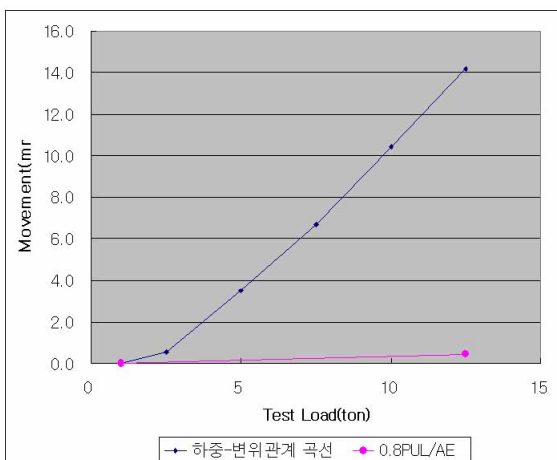
현장시험은 앞에서 설명한 Verification Tests 절차에 의해 수행 되었다. 네일 두부에 발생하는 변위는 현장 상황에 맞도록 제작된 LVDT set를 이용하였으며, 재하된 하중은 유압펌프에 연결되어 있는 유압 게이지를 이용하여 측정하였다. 변위의 경우 1/50mm까지 실시간으로 측정이 이루어진다. Verification Tests 전경 및 실시간 측정장비는 그림 2-c)와 같다.



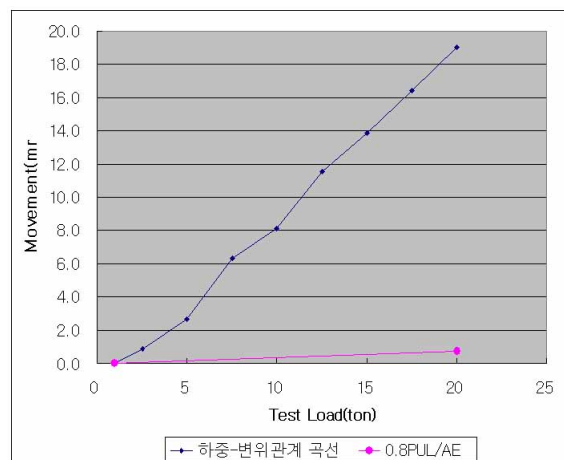
그림 2. 게이지 부착 및 시험 전경

3.3 현장 시험 결과

Verification Tests 절차에 의해 현장시험이 수행되었으며 각 단계별 하중에서의 하중-변위 관계는 그림 3에서와 같이 시험 네일 모두 변형량이 최소 변형량 이상 발생하고 있다. 각 단계에서 측정된 크리프 변위는 복합소켓 네일의 경우 12.5tf까지 이상이 없었으나 15.0tf에서 리니어 스크류 키가 판단되었다. 플라스틱 소켓 네일의 경우 20.0tf까지 시험을 수행하였으나 15.0tf 이상의 하중에서 1분에서 10분 사이 크리프 변위가 규정치인 1.0mm를 초과하고 있다. 시험 시공된 네일에 대해 인장재 제거 시험을 수행하였다. 복합소켓 네일의 경우 소켓 내부에 있는 키가 키홈을 이탈되면 이형철근을 감싸고 있는 리니어 스크류가 소켓을 빠져나와 제거되는 원리이며 플라스틱소켓 네일의 경우 인장재가 나선철근이 0.5m 간격으로 설치되어 있는 플라스틱 소켓 전체에 연결되어 있으므로 네일 전체를 파이프 렌저 등과 같은 장비를 이용하여 돌려서 제거해야 한다. 따라서 인력으로 제거할 경우 상당한 시간이 걸리며 장비를 이용할 경우 고가의 제거 비용이 소요되게 된다. 현장에 연암 이상의 지반에 시험 시공된 네일의 인력 제거 시간을 측정하였으며 네일 길이가 길어짐에 따른 제거시간을 예상해 볼 수 있다 (표 3). 네일이 풍화암 또는 토사지반에 시공이 되어있을 경우에는 벽체 변위가 크게 발생할 수 있으므로 네일에 하중이 작용하여 다음 예상시간보다 오랜 시간이 소요 되거나 인력으로 제거가 불가능할 수 있다.



a) No. 1 복합소켓 네일



b) No. 3 플라스틱소켓 네일

그림 3. 쏘일 네일 하중-변위 곡선 결과



a) No. 1 복합소켓 네일



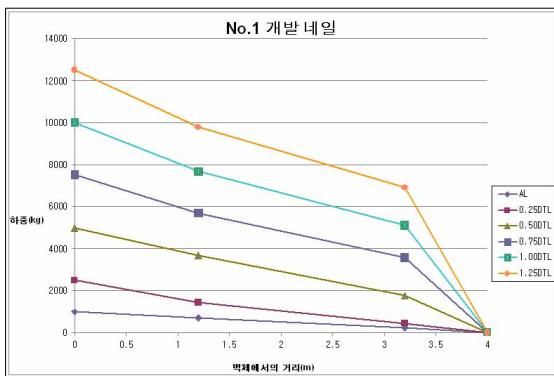
b) No. 3 플라스틱소켓 네일

그림 4. 쏘일 네일 크리프 변위 결과

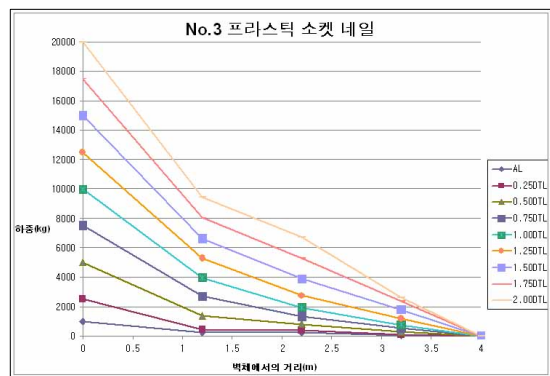
표 3. 각 네일의 인력 제거시간

네일 종류	제 거 시 간			비 고
	4.0m	8.0m	10.0m	
복 합 소 쏘	약 5초	약 10초 예상	약 13초 예상	전동장비 미사용
플라스틱소켓	약 900초 (15분)	약 1800초 예상 (30분)	약 2200초 예상 (37분)	

플라스틱소켓 네일의 경우 소켓 개수가 다수 개이므로 두부에서 가해진 하중이 급격하게 감소하고 있으며, 복합소켓 네일의 경우 비교적 완만한 하중감소를 보이고 있다. 각 하중 단계별 네일 위치에 따른 하중분포는 그림 5와 같다.



a) No. 1 복합소켓



b) No. 3 플라스틱 소켓

그림 5. 쏘일 네일 크리프 변위 결과

4. 결론

본 현장시험은 FHWA에서 규정하고 있는 네일 현장시험 방법 중 Verification Tests 시험 방법을 이용하여 4공에 대해 현장시험을 수행하여 하중-변위 관계, 크리프 변형량 및 제거시험을 수행할 수 있었다. 현장시험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 현장에서 시험이 수행된 쏘일 네일은 제거식 네일로 사용 후 인장재인 철근을 제거하기 위해 그라우트에 부착되지 않도록 플라스틱 쉬스관으로 보호되어 있으며 하중은 고정자 소켓 또는 나선 쉬스관을 통해 그라우트로 전달된다. Verification Tests 결과 복합소켓 네일 No. 1 및 2 네일의 경우 편심으로 하중이 하나의 소켓에 집중되어 15.0tf에서 이형철근 리브가 파단 되었다. 플라스틱 소켓 네일의 경우 20.0tf까지 하중을 제하할 수 있었으나 15.0tf 이상의 하중에서 크리프변위가 1.0mm 이상 발생하였다.
2. 실내시험 결과에서 복합소켓 네일의 경우 리니어 스크류 한 개에서 10.0tf 이상의 하중을 받았다. 그러나 복합 소켓 2개를 사용한 실제 현장인발시험에서는 20.0tf의 하중을 확보하지 못하였다. 이것은 이형철근 제조사마다 리브의 공차가 있기 때문에 리브와 리니어 스크류 사이 공차로 인한 것으로 이형철근 제조사를 한 곳으로 선택할 경우 현장시험 결과가 실내시험과 유사한 인발력 만큼 발휘할 수 있을 것으로 사료된다.
3. 제거식 네일의 경우 도로나 사유지에 시공되기 반드시 인장재가 제거되어야 한다. 따라서 제거식 네일은 인장강도뿐만 아니라 제거율이 높아야 하며 제거비용이 저렴해야 경제적인 시공이 이루어질 수 있다. 따라서 제거효율이 월등하고 제거비용이 거의 소요되지 않는 본 복합소켓 네일의 경우 도심지 굴착공사에서 경제적인 가시설 공법이라 할 수 있다.

감사의 글

본 연구를 위해 연구비를 지원해주신 삼성건설 관계자 분들께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. FHWA(1994), “Soil Nailing Field Inspectors Manual”, Publication No. FHWA-SA-93-068
2. FHWA(1998), “Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Wall”, Publication No. FHWA-SA-96-069R
3. FHWA(2003), “Soil Nail Walls”, Publication No. FHWA-IF-03-017
4. “CLOUTERRE(1991)”, French National Research Project Clouterre
5. 김낙경, 김성규, 윤승권, 조규완, 김웅규, 이충호 (2008), “제거식 쏘일네일의 고정자소켓 강도에 관한 실험적 해석”, 한국지반공학회 봄학술발표회 논문집, pp. 1250~1253
6. 김홍택(2001), “Soil Nailing 공법의 과거, 현재, 미래, 평문각”
7. 천병식, 임해식 공저, “Soil Nailing 공법”
8. (사)한국지반공학회(2002), “굴착 및 흩막이 공법”, 구미서관, pp. 598.