

제거식 포스트텐션 쏘일네일의 설계 및 시공사례

A Case of Design and Field Construction on the Removable Post-tensioned Soil Nailing System.

박시삼¹⁾, Sisam Park, 박주석²⁾, Joo-Suck Park, 김웅수³⁾, Eung-Soo Kim,
윤명준⁴⁾, Myung-June Yoon, 박지웅⁴⁾, Ji-Woong Park 김홍택⁵⁾, Hong-Taek Kim

¹⁾ GS건설 기술본부 선임연구원, Senior Research Engrn., Technical Division, GS E&C Corp.

²⁾ 대작이앤씨(주) 대표이사, President, DAEJAK E&C Co. Ltd.

³⁾ 케이디 엔지니어링 전무, Senior Director, KD Engineering Co. Ltd.

⁴⁾ 홍익대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hong-Ik Univ.

⁵⁾ 홍익대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hong-Ik Univ.

SYNOPSIS : The general soil nailing support system may result in excessive deformations particularly in an excavation zone of the existing weak subsoils. Pretensioning the soil nails then, could play important roles to reduce deformations mainly in part of the nailed-soil excavation system as well as to improve local stability. Moreover, soil nails are installed underneath roads, underground structures, and subway structures, thereby resulting in difficulties in nail removal after completion of temporary soil nailed walls. Hence, to date, in order to solve the technical difficulties and avoid legal issues related to the construction of soil nails underneath the surrounding areas and structures, the removable soil nailing system has been developed and used. But, Therefore, a new soil nailing technique called Removable Post-tensioned Soil Nailing(RPTN) system has been developed in the current study. In this study, an investigation of the RPTN system has been conducted by carrying out field measurement. Hence, the RPTN system can reduce ground displacement and enhance stability of the soil nailed walls.

Key words : Excavation zone, Local stability, Removable Post-tensioned Soil Nailing(RPTN) system

1. 서 론

쏘일네일링 공법은 국내의 경우 1993년 가시설 흙막이 벽체에 처음으로 적용된 이후 주로 사면 지반굴착 분야 등에 그 적용성이 더욱 확대되고 있는 공법이며 이에 관한 이론적 연구 및 실무적 응용기술이 계속적으로 진보하여 개발되는 추세이다. 현재 쏘일네일링 공법은 최근 영구사면보강 등에 그 적용성이 점차 확대되고 있으나 도심지 지하굴착 공사에 있어서는 인접구조물에 대한 영향을 최소화하기 위해 굴착으로 인한 지반의 변형을 최소화하는 것이 중요한 문제로 대두되고 있다. 또한, 지중매설물이 인접하여 존재하거나 대지경계선 등의 준수 등 시공조건에 따라 설치네일의 길이가 제한되는 경우 및 연약한 지반조건으로 구성된 사면을 보강할 경우 등과 같은 벽체변위 및 배면 지반의 지표침하 억제와 안정성 증대 등을 도모하기 위하여 지반앵커공법(Ground anchor system)과 유사한 포스트텐션(Post-tension) 방식의 쏘일네일링 공법(Soil nailing system) 도입이 필요한 실정이다. 또한, 부분적으로 대지경계선을 벗어나 쏘일네일링의 시공이 이루어지는 경우가 있으며 이 경우 향후 인접건물 축조를 위한 흙막이 공사과정에서 기 매립된 쏘일네일링 구조체(철근+시멘트 그라우트체)의 제거에 어려움이 따를 수 있으며 도로 하부에 쏘일네일링이 매립 설치되는 경우에도

향후 지중매설물이나 지하철관 관련 구조물 등의 시공과정에서 역시 제거상의 어려움이 있을 수 있다. 이와 같은 기술적인 문제점과 대지경계선 침범, 점용료 납부 등 시공 및 행정상의 문제점 등을 사전에 해결하기 위한 대책의 일환으로 제거식 쏘일네일링 공법이 개발되어 현재 사용되고 있으나, 굴착시 유발되는 변위 증가 등으로 인해 적용대상 지반이 제한적이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 제거식 네일에 텐션력을 가하여 굴착시 유발되는 변위를 억제할 수 있는 방식의 제거식 포스트텐션 쏘일네일링(RPTN, Removable Post-tensioned Soil Nailing) 공법을 개발하였으며, 개발된 RPTN 시스템의 거동특성을 확인해보기 위해 현장시험시공을 수행하였으며, 현장시험시공시 텐션력에 의한 변위 억제효과 등을 확인하기 위해, 지중경사계, 변형율계 등의 다양한 계측기를 설치하였다.

2. 제거식 포스트텐션 쏘일네일

2.1 개요 및 구성

본 연구에서 개발한 RPTN 시스템의 기본적인 구성요소를 살펴보면, 포스트 텐션을 가해줄 때 정착장 역할을 하는 고정단(길이 47cm), 그라우트체와 이형철근이 부착되지 않도록 분리해주는 역할을 하는 PVC 파이프, 제거식 네일체 등이 본 공법의 주된 구성요소라 할 수 있다 (그림 1).

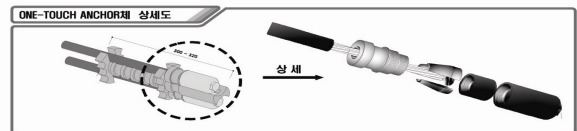


그림 1. 제거식 포스트텐션 쏘일네일 구조

포스트텐션 쏘일네일을 제거할 때 사용되는 제거식 앵커체와 제거식 네일체의 구성 및 상세도는 그림 2와 같다.



(a) 제거식 앵커체 및 상세도



(b) 제거식 네일체 및 상세도

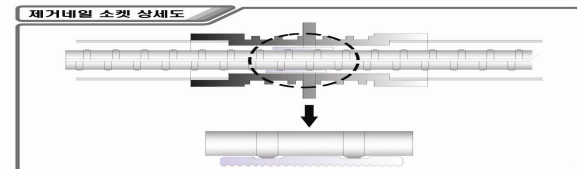


그림 2. 제거식 포스트텐션 쏘일네일 상세도

2.2 RPTN 시스템의 거동특성

RPTN 공법에서 네일 인발시 작용하는 마찰력을 일반 쏘일네일링 공법과 비교해보면 그림 3과 같다. 일반 쏘일네일의 경우에는 시멘트 그라우트체와 철근이 완전히 일체화되어 거동함으로써 네일의 인발시 네일두



(a) 슛크리트 타설



(b) 천공



(c) 네일 조립 및 삽입



(d) 그라우팅 및 양생



(e) L형 bar 및 지압판 설치



(f) 강선인장

그림 5. 포스트텐션 쏘일네일의 현장시험시공



(a) 자동계측 BOX



(b) 경사계



(c) 하중계



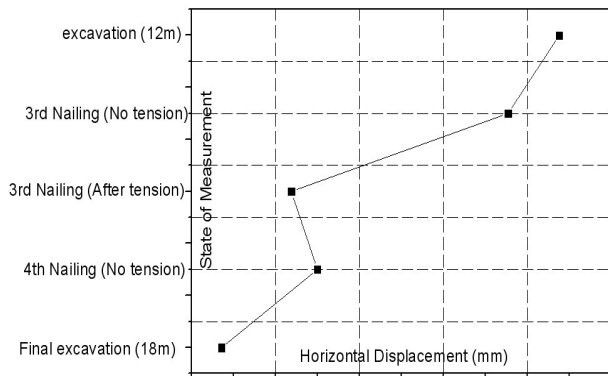
(d) 변형률계

그림 6. 계측기 설치

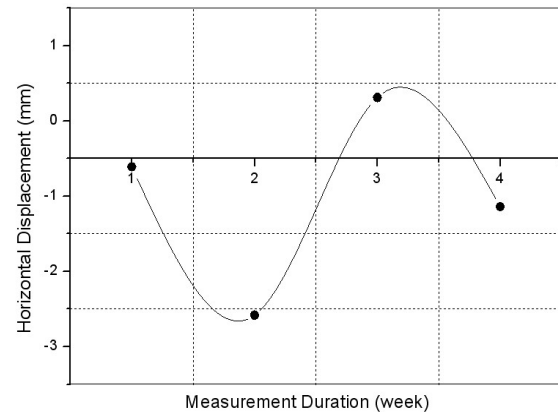
3.3 결과분석

3.3.1 경사계분석 결과

제거식 포스트텐션네일이 설치된 구간에서 12m까지 굴착하면서 유발된 수평변위량, 3단 및 4단 네일에서의 텐션력을 가하기 전과 후의 수평변위량 및 최종굴착 깊이(18m)까지 굴착했을 경우 유발된 수평변위량을 도시하면 그림 7(a)와 같다. 그림 7(a)의 수평변위 양상을 살펴보면, 3단 텐션네일에 텐션력을 가해줌에 따라 25% 정도의 수평변위가 감소하는 것으로 나타났으며, 4단 텐션네일에 텐션력을 가해줌에 따라 13.7% 정도의 수평변위가 감소하는 것으로 나타났다. 아울러 최종굴착(18m) 시공완료 후 수행한 주간 수평변위 계측결과를 살펴보면, 텐션하중을 재인장함에 따라 최대 2.58mm 정도의 변위 감소효과가 있는 것으로 계측되어, 텐션력에 따른 수평변위 억제 또는 감소 효과를 직접적으로 확인해 보았다(그림 7(b)).



(a) 시공단계에 따른 최대 수평 변위량



(b) 시간에 따른 주간 수평 변위량

그림 7. 지중경사계 측정결과

3.3.2 변형률계 및 하중계 분석결과

RPTN 시스템에 작용하는 축력을 평가해 보기 위해, 1단 네일(L=10m)에 2.5m 간격으로 변형률계를 설치하였으며, 2단, 3단 네일 두부에는 하중계를 설치하여 텐션력의 변화를 평가해 보았다. 1단 네일에서의 시간경과에 따른 축력 변화를 나타내면 그림 8과 같으며, 2단, 3단 네일의 시간 경과에 따른 텐션력의 변화를 정리하면 그림 9와 같다.

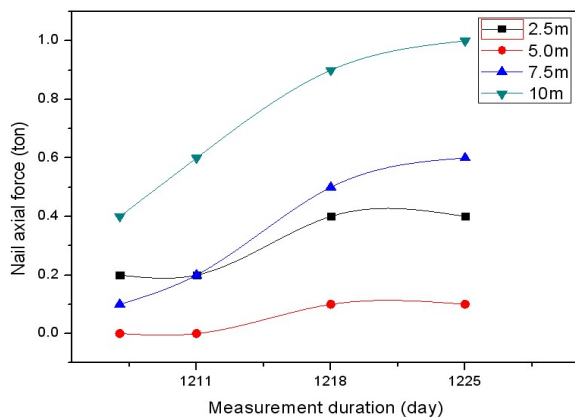


그림 8. 시간에 따른 축력의 변화(1단)

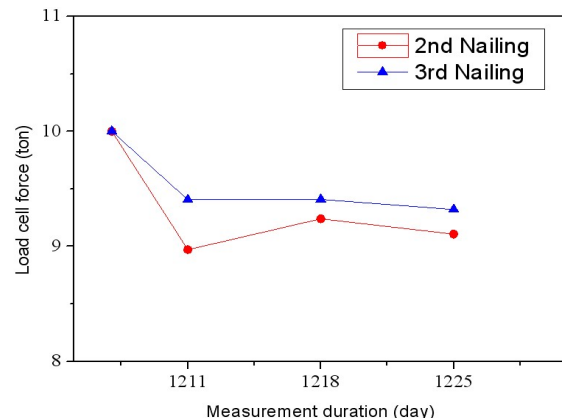


그림 9. 시간에 따른 하중계의 변화(2단, 3단)

일반적인 쏘일네일의 경우, 네일 두부에서의 축력이 가장 크며, 선단부로 갈수록 축력이 작아지는 거동특성을 나타내나, 제거식 포스트텐션 쏘일네일의 경우, 일괄적인 쏘일네일의 거동과는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 제거식 포스트텐션 네일의 마찰특성을 나타내는 그림 8을 살펴보면, 네일 두부에서 5m 길이까지는 일반적인 쏘일네일의 거동과 유사하게 나타나는 것으로 평가되었으나, 네일길이 5m 이후부터 네일 선단부 구간에서는 선단부에서의 축력이 가장 큰, 앵커의 주면마찰특성과 유사한 것으로 평가되었다. 따라서, 제거식 포스트텐션 쏘일네일의 경우, 쏘일네일과 앵커의 저항력이 복합적으로 작용하는 복합 저항 메커니즘을 나타내는 것으로 사료된다. 아울러, 시간 경과에 따른 텐션력의 변화를 살펴보면(그림 9), 시간경과에 따라 초기 텐션력 10ton이 2단 네일에서는 8.98ton~9.2ton으로 줄어드는 것으로 예측되었으며, 3단 네일에서는 9.41ton~9.4ton으로 감소하는 것으로 평가되었다. 따라서 시간경과에 따른 텐션력의 감소는 초기 굴착단계에서 10% 정도인 것으로 예측되었으나, 굴착시공 완료후에는 상당히 미미한 변화만 있는 것으로 평가되어, 네일 두부에 설치된 L형 bar 및 지압판이 텐션력을 잘 지탱하고 있는 것으로 판단된다.

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 RPTN 시스템의 거동특성을 확인해보기 위해 현장시험시공을 수행해보았으며, 현장시험시공시, 텐션력에 따른 벽체의 수평변위 감소 등의 효과를 확인해 보기위해 다양한 계측기를 설치하였다. 이상의 현장시험시공을 통해 얻어진 결과를 정리, 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굴착시 유발된 수평변위 양상을 살펴보면, 3단 텐션네일에 텐션력을 가해줌에 따라 25% 정도의 수평변위가 감소하는 것으로 나타났으며, 4단 텐션네일에 텐션력을 가해줌에 따라 13.7% 정도의 수평변위가 감소하는 것으로 나타났다(그림 7(a) 참조).
- 2) 최종굴착(18m) 시공완료 후 수행한 주간 수평변위 계측결과를 살펴보면, 텐션하중을 재인장함에 따라 최대 2.58mm 정도의 변위 감소효과가 있는 것으로 계측되어, 텐션력에 따른 수평변위 억제 또는 감소 효과를 직접적으로 확인해 보았다(그림 7(b)).
- 3) 일반적인 쏘일네일의 경우, 네일 두부에서의 축력이 가장 크며, 선단부로 갈수록 축력이 작아지는 거동특성을 나타내나, 제거식 포스트텐션 쏘일네일의 경우, 일발적인 쏘일네일의 거동과는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.
- 4) 네일 두부에서 5m 길이까지는 일반적인 쏘일네일의 거동과 유사하게 나타나는 것으로 평가되었으나, 네일 길이 5m 이후부터 네일 선단부 구간에서는 선단부에서의 축력이 가장 큰, 앵커의 주변마찰특성과 유사한 것으로 평가되었다. 따라서, 제거식 포스트텐션 쏘일네일의 경우, 쏘일네일과 앵커의 저항력이 복합적으로 작용하는 복합 저항 메커니즘을 나타내는 것으로 사료된다.
- 5) 본 연구에서는 Protocol type의 제거식 포스트텐션 네일링 시스템을 개발하였으며, 개발된 RPTN 시스템의 현장시험시공을 통해 RPTN 시스템의 거동특성을 확인해 보았다. 향후 텐션력에 따른 저항력 증가 등에 대한 설계인자를 파악하기 위한 수치해석을 비롯한 실내역학실험 및 현장인발시험 등을 수행할 예정이다.

참고문헌

1. 김홍택(2001), **Soil Nailing 공법의 과거 · 현재 · 미래**, 평문각.
2. 김홍택, 강인규, 이대형, 정성필, 박시삼(1993.3), “현장인발시험을 통한 제거식 쏘일네일의 거동 특성 평가”, **한국지반공학회, '99 봄 학술발표회 논문집**, pp. 137~144.
3. 김홍택, 박시삼(2004.3), “프리텐션 쏘일네일링 시스템의 안정해석 및 적용성 평가”, **한국지반공학회, 2004 봄 학술발표회 논문집**, pp. 783~790.
4. 김홍택, 박시삼, 김범석(2003.3), “프리텐션 효과에 따른 쏘일네일링 벽체의 거동특성에 관한 실험적 고찰”, **한국지반공학회 '03 봄 학술발표회 논문집**, pp. 61~68.
5. 박시삼(1999), “제거식 쏘일네일 벽체의 적용성 및 안정해석에 관한 연구”, 석사학위논문, 홍익대학교.
6. 박시삼(2003), “프리텐션 쏘일네일링 시스템 적용성 및 안정해석에 관한 연구”, 박사학위논문, 홍익대학교.
7. 이도섭, 이철주, 박시삼, 김홍택(2004.9), “현장 시험시공을 통한 포스트텐션 제거식 쏘일네일링 시스템의 저공 특성 평가”, **한국지반환경공학회, 2004 학술발표회 논문집**, pp. 109~116.
8. FHWA (1996), *Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Walls*, Publication No. FHWA-SA-96_069.
9. Recommendations Clouterre. (1991). *Soil Nailing Recommendations 1991 (English translation by Federal Highway Administration)*, Report No. FHWA-SA-93-093.
10. Park, S. S., Park, J. H., Lee, H. Y., Kim, H. T., & Kim, J. H. (2004.6) “Stability Analysis and Application of the Pretensioned Soil Nailing Systems in Underground Excavation”, *Geo-Asia2004, Proceeding of the 3rd Asian Regional Conference on Geosynthetics*, June 2004, pp. 740~747.