

현장인발시험을 통한 가압 그라우팅 쏘일네일의 변형특성

Deformation Characteristics of the Pressurized Grouting Soil Nailing Systems from the Field Pull-out Tests

천 병 식[†] · 박 주 석¹⁾ · 박 시 삼²⁾ · 정 종 주³⁾ · 공 진 영⁴⁾

Chun, Byungsik · Park, Joosuck · Park, Sisam · Jung, Jongju · Kong, Jinyoung

ABSTRACT : In this study, a newly modified soil nailing technology named as the PGSN (Pressurized Grouting Soil Nailing) system is proposed. Effects of various factors related to the design of the pressurized grouting soil nailing system, such as the length of re-bars and type of reinforcement materials, were examined throughout a series of the displacement-controlled field pull-out tests. 9 displacement-controlled field pull-out tests were performed and the ratio of injected grout volume to grout hole volume were also evaluated based on the measurements. In addition, short-term characteristics of pull-out deformations of the newly proposed PGSN system were analyzed and compared with those of the ordinary soil nailing system by carrying out field pull-out tests. The test results were shown that the displacements of pressurized grouting soil nailing system were decreased 30~36% in comparison with using gravity grouting soil nailing system by the pressurized effect. The displacements of steel tube were diminished 31~32% comparison with using deformed bar by the reinforcement type change from the field pull-out tests.

Keywords : Pressurized grouting soil nail, Displacement-controlled field pull-out tests, Ratio of injected grouting

요 지 : 본 연구에서는 PGSN(Pressurized Grouting Soil Nailing) 시스템이라는 가압 그라우팅 쏘일네일링 공법을 고안하였으며, 본 공법의 보강재의 길이변화 및 보강재의 변화 등의 설계인자에 따른 거동변화를 파악해 보기 위해 변위제어방식의 현장인발시험을 수행하였다. 본 연구에서 수행한 9차례의 현장인발시험에서 그라우트 주입비의 변화를 살펴 보기위해 계측을 수행하였으며, 단기거동특성을 평가하기 위해 일반 쏘일네일링 시스템과 비교해 보았다. 가압 그라우트 쏘일네일링 공법의 인발거동 특성을 통해, 중요한 설계인자인 주입압 및 그라우트 주입비 등의 영향을 살펴보았다. 시험 결과 가압효과에 따른 인발변형 특성은 중력식 그라우팅 쏘일네일에 비해 가압 그라우팅 쏘일네일의 경우 유발되는 변위량이 30~36% 정도 감소하였고, 보강재 변화에 따른 인발 특성을 살펴보면 이형철근에 비해 강관의 경우 유발되는 변위량이 31~32% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

주요어 : 가압 그라우팅 쏘일네일, 변위제어방식 현장인발시험, 그라우트 주입비

1. 서 론

쏘일네일링 공법은 주로 지하굴착 및 사면보강 등에 보편적으로 사용되고 있는 공법으로, 쏘일네일링 공법이 지닌 장점 등으로 인해 근래에 들어 영구사면보강 등에 그 적용성이 점차 확대되고 있는 실정이다(김홍택, 2001). 그러나 풍화가 심한 풍화암 등에 쏘일네일링 공법을 적용할 경우, 절리면 및 불연속면을 통해 그라우트가 침투되어 밀실한 그라우트체 형성이 불량한 경우가 있으며, 이러한 경우 향후 영구적인 구조체의 안정성을 확보하기 위한 충분한 주면마찰력 발휘를 기대하기 어려울 경우가 발생할 수 있다. 가압 그라우트의 경우, 중력식 그라우트에 비해 발휘되는 마찰저항력이 주입압에 비례하여 선형적으로 증대

하며(김홍택 등, 1998), 최근의 연구결과에 의하면 현장타설말뚝의 경우 가압 그라우팅의 주입압을 서서히 증가시켰을 경우가 일정하게 유지시켰을 경우보다 지지력이 우수할 뿐만 아니라 수압파쇄(hydrofractures) 현상도 방지할 수 있는 것으로 나타났다(Kleyner et al., 1993). 따라서, 최근에 소구경 현장타설말뚝 및 지반앵커 등 토목관련 구조물에 다양하게 적용하고 있는 가압 그라우팅 방식을 도입한 쏘일네일링 공법의 개발이 진행되고 있는 실정이다(박시삼 등, 2004; 2005; 천병식 등 1998).

본 연구에서 개발한 가압 그라우팅 쏘일네일링 공법은 중력식 그라우트 주입방식 대신에 5~10kg/cm² 정도의 가압이 가능한 그라우트 주입방식을 도입하였으며, 그라우트 주입시 천공경에서 그라우트가 넘쳐흐르지 못하도록 발포

† 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail : hengdang@unitel.co.kr)

1) 비회원, 공인건설 대표이사

2) 정회원, GS건설(주) 기술연구소 선임연구원

3) 비회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

4) 비회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 석박사과정

우레탄을 이용하여 네일 두부에 패킹처리를 하였다. 따라서 가압 그라우팅 쏘일네일의 경우 1회 그라우트 주입을 통해 밀실한 그라우트체를 형성할 수 있으므로, 밀실한 그라우트체 형성을 위해 수차례 그라우트 재주입을 하던 기존의 중력식 그라우트방식에 비해 공비감소 효과가 있을 것으로 예상되며, 주변지반으로의 그라우트 침투주입 및 천공경 확대효과 등에 의해 쏘일네일의 설치간격이 상당 부분 확대될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 가압 그라우팅 쏘일네일링 시스템의 인발거동특성을 규명하기 위해, 보강재의 길이 및 종류 등에 변화를 주어 9회의 변위제어방식 현장인발시험을 수행하였으며, 이를 통해 가압 그라우팅 쏘일네일링 공법을 개발하기 위한 기초적인 연구가 수행되었다.

2. 가압 그라우팅 쏘일네일의 기본원리

2.1 가압 그라우팅 쏘일네일의 구성

가압 그라우팅 쏘일네일은 설계시 필요한 설계주입압에 따른 적절한 압력의 그라우트 주입으로 인해 지반개량효과가 있다는 장점이 있으며, 가압식 네일 두부에는 70cm 정도의 발포우레탄 패커를 설치하여 가압시 그라우트가 천공경으로부터 넘쳐흐르지 않도록 고안하였다. 발포우레탄 패

커의 전, 후면부의 경우 우레탄이 발포되기 전에 유실되는 것을 방지하기 위해 재활용 고무로 만든 간격재를 설치하였으며, 간격재 사이에는 부직포로 감싸서 체결하였다. 또한 보강재의 경우 이형철근(re-bar) 및 고강도강관 두가지의 경우를 사용하여, 가압 그라우팅 쏘일네일에서의 최적의 보강재를 선정하였으며, 발포우레탄 패커 및 개략적인 가압 그라우팅 쏘일네일의 단면은 그림 1과 같다. 네일 인발시 일반 쏘일네일 및 가압 그라우팅 쏘일네일 주변에 작용하는 주변마찰력의 경우 거의 유사하다 할 수 있으나, 가압 그라우팅 쏘일네일의 경우 가압 그라우트 주입에 따른 주변지반개량효과 및 공팽창에 의한 주변마찰력 증대효과 등을 기대할 수 있을 것으로 예상된다.

3. 현장인발시험

3.1 현장개요

본 연구에서는 가압 그라우팅 쏘일네일링 시스템의 인발거동특성을 파악하기 위한 변위제어방식 현장인발시험이 시행되었다. 본 시험은 경상북도 대구-포항간 고속도로 현장의 절취사면(그림 2)에서 실시 되었으며, 가압 그라우팅 쏘일네일 및 일반 쏘일네일의 인발거동특성을 보다 객관적으로 비교, 검토하기 위해 동일한 지층조건(풍화암)에

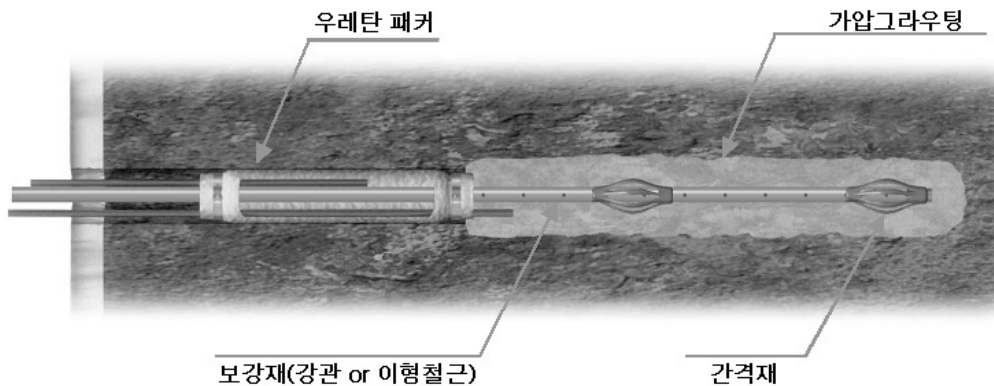


그림 1. 가압 그라우팅 쏘일네일의 대표단면

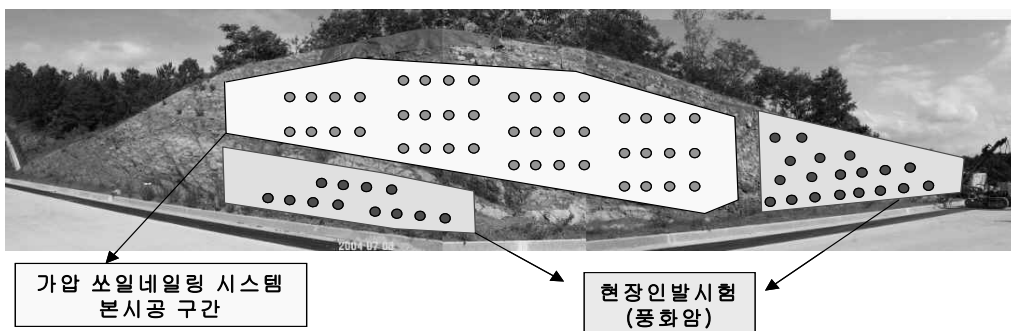
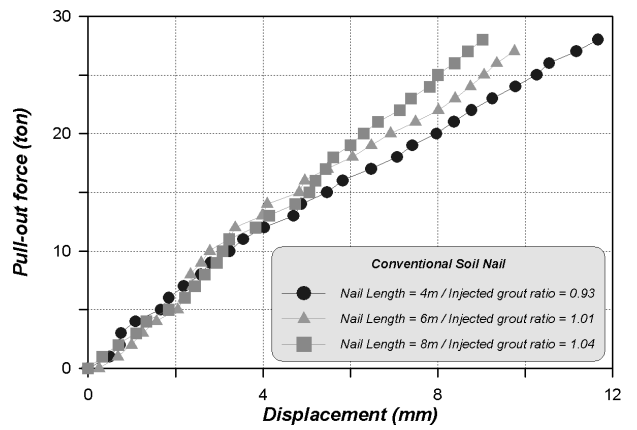


그림 2. 시험시공 및 현장인발시험 구간

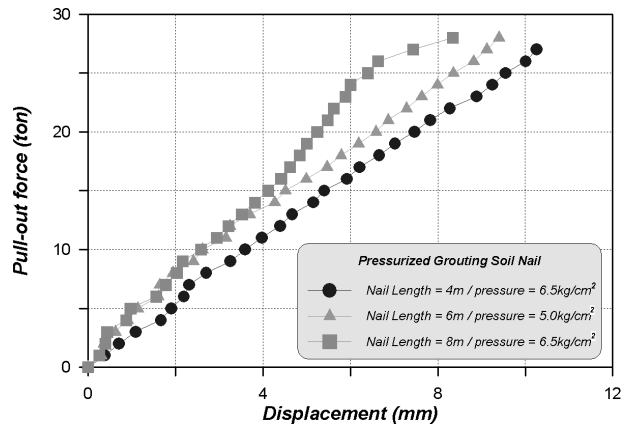
서 현장인발시험을 실시하였다. 본 현장의 대상사면의 경우, 절리면 사이에 1~2cm 정도의 점토층이 협제되어 있으며, 불연속면이 발달되어 대상사면 상부에는 길이 7m, 폭 10cm 정도의 인장균열이 발생한 상태이다. 가압 그라우팅 쏘일네일 및 일반 쏘일네일의 현장인발시험 방법 및 제원은 대상지반, 시험방법 및 시험횟수는 모두 동일하며 (표 1 참조), 인발시험은 각각의 경우에 대하여 2회씩 시행하였다. 그라우트 주입시 가압 그라우트의 효과를 살펴 보기 위해, 상부사면에 설치된 일부 시험용 네일을 굴착하여 그라우트체 구근형성 및 침투효과 등을 확인해 보았다. 본 연구에서 시행한 변위제어방식 현장인발시험의 인발 속도는, 'Clouterre 연구보고서(Schlosser, 1991)'에 소개된 변위제어방식의 현장인발시험 방법을 참고하여, 1mm/min (허용오차 ±10% 이내) 정도로 하였다. 또한 인발시험은 인발력이 최대치를 지나 감소하는 경향을 나타내거나 일정한 값에 수렴할 경우 종료하였다. 잔류하중이 나타나지 않는 경우에는 1mm변위에 대하여 1%이하의 하중증가가 있을 때 시험을 종료하였다.

3.2 길이변화에 따른 영향

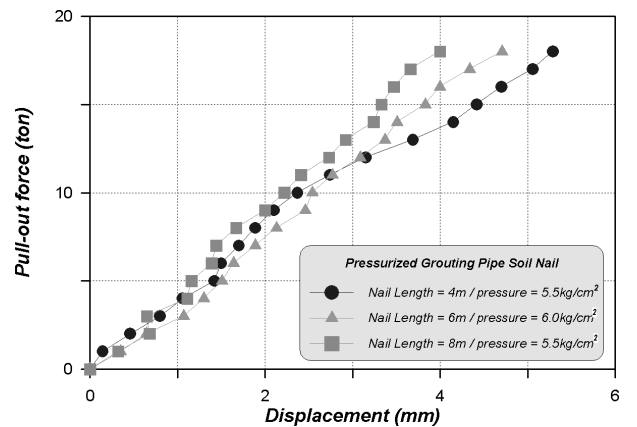
쏘일네일 보강재의 길이 변화에 따른 인발거동특성을 평가해 보기 위해 현장인발시험을 실시한 결과는 그림 3 과 같다. 설계축력 16t을 기준으로 길이변화에 따른 인발 변형특성을 살펴보면, 일반 쏘일네일에서 유발되는 수평 변위는 네일길이가 2m 증가할 때 마다, 0.3~0.6mm 정도, 가압 그라우팅 쏘일네일의 경우 0.4~0.9mm 정도, 가압 강관 쏘일네일의 경우 0.3~0.7mm 정도 감소하는 것으로 나타났다. 또한 극한인발력의 경우 일반 쏘일네일 및 가압 그라우팅 쏘일네일의 경우 28t 이상인 것으로 나타났으며, 강관 쏘일네일의 경우 유압제동이 보강재를 정밀하게 정착시키지 못하기 때문에 인발하중 18t까지만 인발시험을 수행하였다.



(a) 일반 쏘일네일



(b) 가압 그라우팅 쏘일네일



(c) 가압 그라우팅 강관 쏘일네일

그림 3. 인발변형특성

표 1. 현장인발시험 제원

구 분	대상지반	시험방법	보강재	네일길이 (m)	주입압 (kg/cm ²)	그라우트 주입비*	시험횟수	변위량 (mm)
C-1	일반 쏘일네일	변위 제어방식	이형철근 (SD40, D=29mm)	4	0.5	0.93	2	5.80
C-2				6	0.5	1.01	2	5.20
C-3				8	0.5	1.04	2	4.95
P-1	가압 쏘일네일	변위 제어방식	강관 (SD40, D=48.6mm, t=4mm)	4	5.5	7.87	2	5.93
P-2				6	6.0	3.02	2	5.01
P-3				8	6.5	5.31	2	4.42
PP-1	가압 강관 쏘일네일	변위 제어방식	강관 (SD40, D=48.6mm, t=4mm)	4	5.5	3.94	2	4.15
PP-2				6	6.0	4.16	2	3.50
PP-3				8	6.5	4.57	2	3.22

비고 *그라우트 주입비 = 정착장 체적 ÷ 그라우트 주입량

3.3 가압 그라우팅 및 보강재 변화에 따른 영향

본 연구에서는 가압 그라우팅에 따른 효과 및 보강재 변화에 따른 영향을 규명하기 위해, 일반 쏘일네일, 가압 그라우팅 쏘일네일 및 가압 그라우팅 강관 쏘일네일에 대한 현장인발시험을 실시하였으며, 정량적인 비교, 분석을 위해 설계축력 16t을 기준으로 유발되는 변위량을 요약, 정리하면 그림 4와 같다.

가압 효과에 따른 인발변형 특성을 살펴보면, 동일한 인발력(설계축력, 16t)이 가해졌을 때 중력식 그라우팅 쏘일네일에 비해 가압 그라우팅 쏘일네일의 경우 유발되는 변위량이 30~36% 정도 감소하는 것으로 평가되었다(그림 4). 또한 본 현장에서 가압그라우트 주입효과에 따른 지반개량효과 등을 살펴보기 위해, 현장인발시험이 종료된 이후, 사면일부를 절취하여 그라우트 침투효과를 확인해본 결과, 절리면 사이에 협재되어있던 1~2cm 정도의 점토층 및 불연속면 등에 그라우트가 충전되어 있는 것을 확인해 볼 수 있었다(그림 5).

계속해서 보강재의 변화에 따른 인발변형 특성을 살펴 보면, 동일한 인발력(설계축력, 16t)이 가해졌을 때 이형철근의 경우 유발되는 변위량이 5~10% 감소한 데 비해 강관의 경우 31~32% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 따라

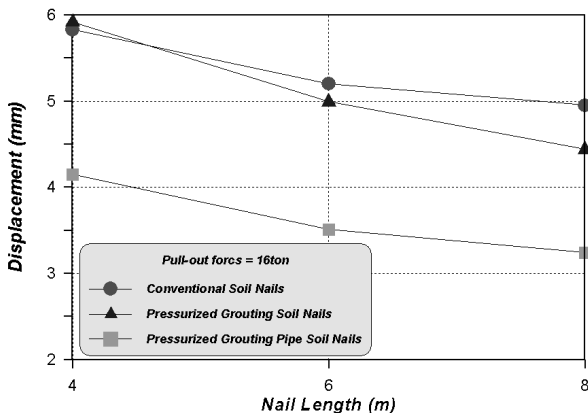


그림 4. 가압 그라우팅 및 보강재 변화에 따른 인발변형특성

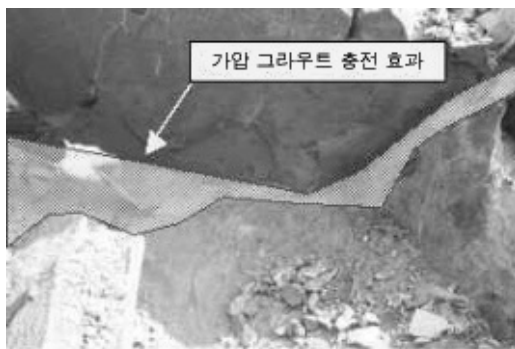


그림 5. 가압 그라우트 충전효과

서 일반 쏘일네일링 공법의 보강재로 사용되는 이형철근에 비해 강관을 사용할 경우 변형량 감소에 효과적이었음을 확인하였다(그림 4).

4. 결 론

본 연구에서는 일반 쏘일네일링 공법에 가압 그라우팅 방식을 도입한 가압 그라우팅 쏘일네일링 시스템의 인발 거동특성을 평가하기 위한 현장인발시험을 수행하였으며, 일반 쏘일네일링 시스템에서 보강재로 사용되는 이형철근 대신에 재료의 역학적 특성이 우수한 강관을 사용하여 적용성을 평가해 보았다. 본 연구에서 개발한 발포 우레탄 패커를 이용한 가압 그라우팅 쏘일네일에 대한 현장인발 시험 결과를 정리, 요약하면 다음과 같다.

- (1) 쏘일네일 보강재의 길이 변화에 따른 인발거동특성을 평가해 보기 위해 현장인발시험을 실시한 결과, 설계축력 16t을 기준으로 길이변화에 따른 인발변형특성을 살펴보면, 일반 쏘일네일에서 유발되는 수평변위는 네일길이가 2m 증가할 때 마다, 0.3~0.6mm 정도, 가압 그라우팅 쏘일네일의 경우 0.4~0.9mm 정도, 가압 강관 쏘일네일의 경우 0.3~0.7mm 정도 감소하는 것으로 나타났다.
- (2) 극한 인발력의 경우 일반 쏘일네일 및 가압 그라우팅 쏘일네일의 경우 27t 이상인 것으로 평가되었으며, 가압 강관 쏘일네일의 경우 유압제킹의 문제로 인해 인발하중을 20t 이상 가하지 못하였으나, 동일한 하중에서 유발된 수평변위량을 검토해본 결과 일반 쏘일네일 및 가압 그라우팅 쏘일네일의 극한 인발력 이상의 극한 인발력을 발휘할 수 있을 것으로 예상된다.
- (3) 가압 효과에 따른 인발변형 특성을 살펴보면, 동일한 인발력(설계축력, 16t)이 가해졌을 때 중력식 그라우팅 쏘일네일에 비해 가압 그라우팅 쏘일네일의 경우 유발되는 변위량이 30~36% 정도 감소하는 것으로 나타났다.
- (4) 가압그라우트 주입효과에 따른 지반개량효과 등을 살펴보기 위해, 현장인발시험이 종료된 이후, 사면일부를 절취하여 그라우트 침투효과를 확인해본 결과, 절리면 사이에 협재되어있던 1~2cm 정도의 점토층 및 불연속면 등에 그라우트가 충전되어 있는 것을 확인해 볼 수 있었으며, 가압 그라우트의 주입량을 살펴보면 중력식 그라우트에 비해 3.0~7.8배 정도 더 주입되어 밀실한 그라우트체 형성에 있어 탁월한 효과가 있는 것으로 나타났다.
- (5) 보강재의 변화에 따른 인발변형 특성을 살펴보면, 동

일한 인발력(설계축력, 16t)이 가해졌을 때 이형철근에 비해 강관의 경우 유발되는 변위량이 31~32% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 일반 쏘일네일링 공법의 보강재로 사용되는 이형철근에 비해 강관을 사용할 경우, 인발시 전단강성이 우수하게 평가되는 것을 확인 하였다.

참 고 문 헌

1. 김홍택(2001), *Soil Nailing 공법의 과거, 현재, 미래*, 평문각, pp. 18~25.
2. 김홍택, 강인규, 권영호, 박사원, 박시삼(1998), 압력분사 그라우트 유효경 평가기법 및 실내모형실험, *가을 학술발표회 논문집*, 한국지반공학회, pp. 11~18.
3. 박시삼, 박지현, 이훈연, 유지영(2004), 현장인발시험을 통한 가압 그라우팅 쏘일네일의 거동특성 평가, *2004 학술발표대회 논문집*, 대한토목학회, pp. 1359~1362.
4. 박시삼, 이훈연, 박주석, 이홍규(2005), 현장인발시험을 통한 가압 그라우팅 쏘일네일의 장기 인발거동특성, *2005 봄 학술발표회 논문집*, 한국지반공학회, pp. 137~144.
5. 천병식, 임해식, 김종대, 송경율(1998), 쏘일네일링에서 압력분사 시멘트 그라우팅에 의한 천공경 확공에 관한 연구, *사면안정위원회 학술대회 논문집*, 한국지반공학회, pp. 197~207.
6. Schlosser, F.(1991), Recommendations Clouterre, 1991(English Translation), Federal Highway Administration, FHWA-SA-93-026.
7. Kleyner, I. M., Krizek, R. J. and Pepper, S. F.(1993), Influence of Grout Pressure on Capacity of Bore-Injected Piles and Anchors, *Proc. of the International Conference on Grouting in Rock and Concrete*, Salzburg, Austria, pp. 159~165.

(접수일: 2007. 10. 25 심사일: 2007. 11. 19 심사완료일: 2008. 1. 10)