

개랑 강관네일링 공법을 이용한 사면 보강사례 연구

최동남* · 임희대* · 송영수** · 이규환†

*충남대학교 토목공학과 · ** (주)지오택엔지니어링 · 건양대학교 토목시스템공학과
(2006. 12. 4. 접수 / 2007. 2. 12. 채택)

A Case Study on the Slope Reinforcement by Improved Steel Pipe Nailing

Dong-Nam Choi* · Heui-Dae Lim* · Young-Su Song** · Kyu-Hwan Lee†

*Department of Civil System Engineering, Chungnam University

**Geotech Engineering Co., Ltd

Department of Civil System Engineering, Konyang University

(Received December 4, 2006 / Accepted February 12, 2007)

Abstract : This paper describes typical design and construction practice for in-situ ground reinforcement technique using improved steel pipe pressure grouting. A case history is presented to illustrate the benefit gained by application of the technique. This technique was applied to cut slopes developed in the construction of auxiliary spillway of OO dam. Applicable conditions, method of survey, slope stability analysis and construction are given in this paper. As for the construction method, a procedure is given and the main points are the control of construction work. As a result of the pull-out test, it is shown that steel pipe nailing is particularly useful for stabilizing rock slope.

Key Words : fracture zone, sedimentary rock, steel pipe nail, pressure grouting, pull-out test

1. 서 론

자연사면을 인위적으로 절취하여 새로운 법면을 조성하면 대상지반의 응력조건이 변함에 따라 사면의 불안정을 발생시키는 경우가 종종 있다. 특히, 퇴적암이 기반암으로 구성되어 있어 층리 또는 열리 등의 불연속면이 발달한 지반을 절취하여 대기 중에 노출시키거나, 우수 등에 의한 침투수의 영향을 받도록 방지할 경우 절취된 법면의 강도는 급격히 감소하여 사면이 붕괴 될 가능성이 매우 높다. 우리나라의 지반은 지형 및 지질조건 등에 따라 공극 및 균열을 포함하고 있는 경우가 많아 우기 또는 해빙기에 크고 작은 비탈면 붕괴가 자주 발생되고 있으며 이에 대한 대책으로 쏘일 네일링이나 록볼트 또는 어스앵커공법 등이 주로 사용되고 있다. 이러한 공법들은 주로 무압 또는 매우 낮은 압력으로 그라우팅을 실시하므로 붕괴이력으로 이완된 지반이나 균열 및 절리가 매우 심한 지반, 지하수위가 높은 지

반 등에서는 그라우팅 품질이 불량하여 보강효과가 현저히 저하되고 이로 인해 보강 후 2차적인 비탈면 붕괴 사례가 종종 보고되고 있다. 특히, 사면활동의 내적인 요인으로 작용하는 균열 및 절리를 보강하지 못할 경우 장기적인 안정성이 크게 저하된다. 본 연구에서는 쏘일네일링이나 록볼트 또는 어스앵커공법 등과 같이 주로 무압 또는 매우 낮은 압력으로 그라우팅을 실시하는 공법의 문제점을 개선하고 양호한 보강효과를 얻기 위해 강관네일링 공법을 개발하였다.

강관네일링 공법은 기존 보강공법들의 문제점을 개선하고 양호한 보강효과를 얻기 위해 천공 후 강관 사이를 급결 시멘트로 코킹한 후 그라우트를 가압하여 주입함으로써 고강도 강관에 의한 직접적인 보강효과뿐만 아니라 원지반의 전단강도 증가를 동시에 얻을 수 있는 강관 네일링 공법에 대한 연구내용을 발표코자 한다. 또한 충분한 지반조사와 토질시험을 실시하여 강관네일링 공법의 적용성을 검토하였으며, 실시공과 인발시험을 통하여 보강효과를 확인하였다. 본 연구에서는 연약한 퇴적암으로 구성된 지역에 OO댐의 보조 여수로를 신설하는

† To whom correspondence should be addressed.
khlee@konyang.ac.kr

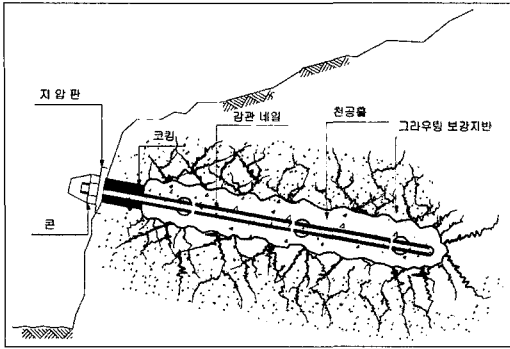


Fig. 1. Steel pipe nailing method.

과정에 절취사면안정 대책공법으로 적용한 강관 네일링 공법의 설계 및 시공사례를 분석을 통하여 사면 보강공법으로서의 강관네일링 공법의 효과 유무를 판단하고자 하였다.

2. 강관네일링 공법

본 연구에서 절취사면 보강용으로 적용한 강관 네일링 공법은 대상 비탈면의 전단강도가 낮거나 붕괴된 지반, 절리 및 균열이 발달하고 풍화가 심한 파쇄대 지반, 풍화에 약한 암반 구간 등 전단강도 증가가 필요한 자연 비탈면 또는 절취되는 대상지역이 넓고 규모가 커서 불연속면의 연장이 길어지고, 취약부가 노출됨에 따라 비탈면의 안정성이 상대적으로 감소된 지반 등의 보강효과를 증가시키기 위해 개발되었다.

기존의 쏘일네일링 공법은 굴착면에 대한 원위치 지반보강공법으로서 보강재를 비교적 촘촘한 간격으로 지반에 삽입한 후 슛크리트 등으로 전면판을 설치하여 원지반의 전체적인 전단강도를 증가시키는 방법이다.

이에 비해 강관네일링 공법은 천공 홀과 삽입된 강관 사이를 급결 시멘트로 코킹 한 다음 강관 측면의 주입구를 통해 지반내 간극이나 불연속면 등에 그라우트를 가압하여 주입함으로써 도금강관에 의한 직접적인 보강 효과뿐만 아니라 원지반의 전단강도 증가를 유발하여 비탈면의 장기적인 안정성을 확보하는 공법이다.

3. 강관네일링 공법 특징 및 적용

강관네일링 공법은 고강도 도금강관을 사용함으로써 전단강도를 크게 증진시킬 수 있으며 패커를

이용한 압력주입방식으로 천공시 발생한 이완영역 및 주변 파쇄대 등도 그라우트로 충전 하여 장기적인 안정을 확보할 수 있다. 또한, 시공시 패커 설치 및 주입이 간단하여 공기를 단축할 수 있으며 공작 제작된 고강도 강관사용으로 우수한 품질을 확보할 수 있다. 특히, 압력 주입으로 보강범위를 조절할 수 있으므로 경제적이며 패커설치 횟수를 줄임으로써 공기단축에 의한 원가를 절감할 수 있다.

강관네일링 공법은 지반의 강도가 낮거나 이미 붕괴 또는 이완된 비탈면, 원호파괴 범위가 매우 깊어 중력식 주입으로는 보강이 어려움 지반, 단층대와 절리 및 균열이 심한 파쇄대 지반 또는 풍화가 심한 지반, 점착력이 거의 없는 사질토 지반이나 불경토 지반, 굴착공사 수행시 지하수 유출에 따른 주변 지반의 침하가 예상되는 경우 등 여러 가지 다양한 목적으로 활용할 수가 있다. 강관네일링 공법의 시공 순서는 다음과 같다.

3.1. 천공

천공기로 설계도서에 규정된 천공직경은 일반적으로 105mm로 설계심도까지 천공한다. 이때 천공 각도는 설계 각도에서 $\pm 3^\circ$ 이상의 오차가 생기지 않도록 하고 천공 홀은 네일을 삽입하기 전까지 붕괴되지 않도록 유의해야한다. 천공은 주위의 지하매설물, 건물 등의 시설물을 충분히 조사한 후 현장조건에 맞는 천공장비를 선택해야하는데, 통상 압축공기를 이용하는 크로라 드릴을 사용하는 것이 효과적이며 점성토 지반이나 느슨한 매립토 지반인 경우 유압식 드릴을 이용할 수 있다.

3.2. 강관제작 및 삽입

강관의 삽입은 소정의 위치에 정확히 실시하고 그라우트가 양생될 때까지 이동이 생기지 않도록 주의

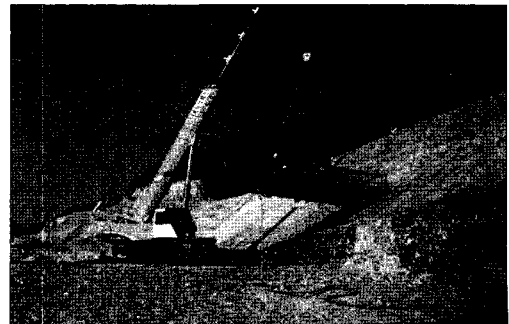


Fig. 2. Drilling method.

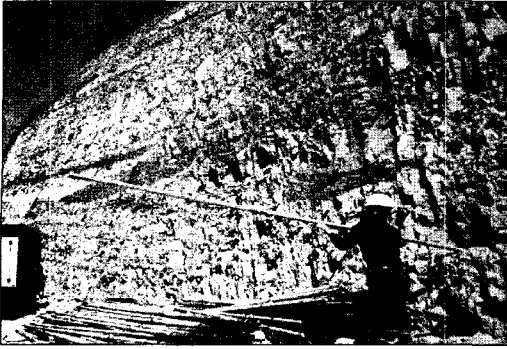


Fig. 3. Insert of steel pipe nailing.

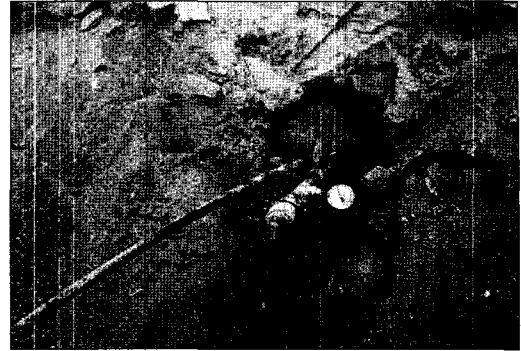


Fig. 5. Pressure grouting.

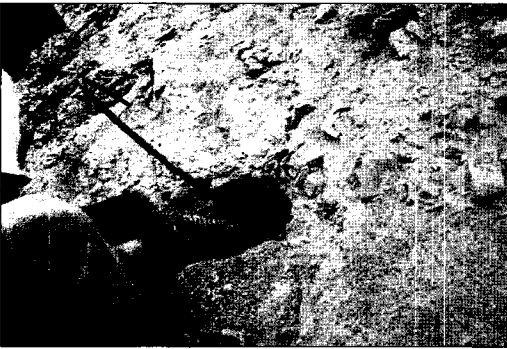


Fig. 4. Calking work.



Fig. 6. Bearing plate setup.

하여야 한다. 강관은 이음부 없이 한 본을 그대로 사용하는 것을 원칙으로 하나 부득이 연결해야 하는 경우에는 커플러를 이용하고, 커플러 연결을 위한 가공회사 제작시 연결부의 네일 단면이 줄어들지 않도록 해야 한다. 또한 강관이 천공 홀의 중앙에 위치할 수 있도록 간격재를 설치해야 하며 간격재는 강관네일 전용 간격재를 사용하고 2~3m 마다 설치해야 한다.

3.3. 주입구 코킹

강관 삽입 후 주입재의 역류방지 및 압력주입을 위해 강관 외벽과 천공 홀 내벽 사이에 급결 시멘트를 사용하여 코킹을 실시한다.

3.4. 그라우팅

주입작업은 주입관 입구에 패커 시스템을 사용하여 압력 주입한다. 주입압력은 현장여건 및 지질조건에 따라 조절이 가능하며, 기준압력은 $P=1\sim 10 \text{ kgf/cm}^2$ 를 적용한다. 또한 주입시 주입압력을 육안으로 확인할 수 있는 게이지를 설치해야 하며 게이지는 가능한 주입구에서 가까운 곳에 설치해야 한다.

설계시 주입압 상태에서 예상된 그라우트량 보다 과다하게 주입되거나 현저히 적게 주입되는 경우 원인을 확인한 후 재검토하여 그라우팅을 실시해야 한다. 그라우트가 종료되면 소요강도를 얻기 위한 양생기간이 최소 1주일정도 소요되므로 이 기간 내에는 네일의 인장 또는 심한 충격이 가해지는 일이 없도록 해야 한다. 단, 혼화재를 사용하여 소요강도의 80%에 도달(약 1~3일)하면 다음 단계의 작업을 실시할 수 있다.

3.5. 지압판 및 너트 설치

강관과 절취면의 결속력을 높이기 위하여 지압판을 설치하며 모든 형태의 지압판은 지반의 변형을 구속하는 효과를 충분히 발휘하고 지반의 붕락을 방지할 수 있도록 지표면에 밀착시켜 시공한다.

4. 강관네일의 재료 특성

4.1. 강관 네일

강관의 재질은 다음 Table 1의 재료 또는 동등이상의 재료를 사용해야하며 영구보강을 목적으로 하

Table 1. Quality of steel pipe

규격	기계적 성질	
	항복 강도	인장강도
Ø 48.6~60.5 (T = 4m/m ± 0.5m/m)	24kgf/mm ²	41kgf/mm ²

는 경우 네일의 부식방지를 위해 코팅이나 방식처리를 한 강재를 사용하거나 설계시 부식두께를 고려해야한다. 강관은 그 자체에 결함이 없어야 하며, 그라우트와의 부착이 양호해야 하므로 유해한 물질, 기름 등을 제거한 후에 사용해야한다. 또한, 강관은 그라우팅을 위한 그라우트 분사구가 설치되어야 하며 분사구는 흙 및 지하수의 역류를 방지하기 위한 장치가 설치되어 있어야 한다.

4.2. 코킹제

코킹제는 수축현상이 발생하지 않는 시멘트 혼합물로서 압력 주입시 최대압력(20kgf/cm² 이상)을 충분히 견딜 수 있는 Ceromax CX-1, SSA-C제, 또는 이에 상응하는 재질을 사용해야한다.

4.3. 그라우트

주입용 그라우트는 시멘트와 혼화제 및 물을 배합하여 사용하며, W/C = 45~55% 사이에서 현장여건에 맞게 적용할 수 있다. 시멘트는 일반적으로 KS L 5210에 적합한 보통 포틀랜드 시멘트와 혼화제(팽창제 및 급결제)를 혼합하여 사용한다. 또한, 그라우트는 배합시에 28일 강도가 210kgf/cm² 이상이어야 하며, 물/시멘트비(W/C)는 45~55% 범위로 하고 필요시 시험배합을 통해 배합비를 결정해야한다.

특히 공극이 큰 토사 지반이나 다공성 암반의 경우 또는 지하수면이나 피압대수층에서 그라우팅 할 경우에는 시험주입과 배합시험 결과에 의해 물/시멘트비와 혼화제 사용 종류 및 양을 결정해야한다.

4.4. 지압판 및 너트

지압판은 보강재를 비탈면에 고정하기 위하여 200mm × 200mm × 9T 규격의 철판을 사용하며, 지반여건에 따라 지압판의 규격은 변동될 수 있다.

Table 2. Normal mixing ratio of grout

구분 (m ³)	시멘트 (kgf)	물 (ℓ)	혼화제 (kgf)	W/C (%)
1	1,302	586	13.0	45.0

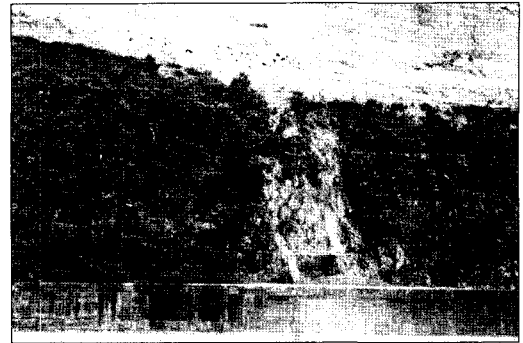


Fig. 7. Reinforcement target area.

5. 대상지역 및 지반특성

이 지역은 경상북도 영천시 외곽에 위치한 OO댐 일원으로서 주로 사암과 암회색 또는 녹회색의 세일이 넓게 분포하고 있으며 일부구간은 석영 안산암 관입시 열변성 작용으로 혼펠스화 되어 나타났다.

주변지역은 과거 심한 지각변동에 의해 습곡이 형성되어 있고 대소규모의 단층이 발달되어 있으며 오랜기간 동안 수차례의 변형 및 변성작용으로 균열 및 절리가 발달된 단층 파쇄대층도 조사되었다. 강관네일링 보강대상 구간은 Fig. 10에 나타난 것과 같이 A~E까지 5개 구간으로 구분하였다. 5개의 단면중 A구간에 대한 평가 결과는 다음과 같다. A구간의 사면방향은 236° 마찰각은 25°로 Fig. 8과 같이 평사 투영망 해석 결과 평면과피, 전도과피 가능성이 높은 복합적인 암반과피가 일어날 가능성이 높은 것으로 분석되어 사면보강을 위해 강관네일링 공법을 적용키로 하였다.

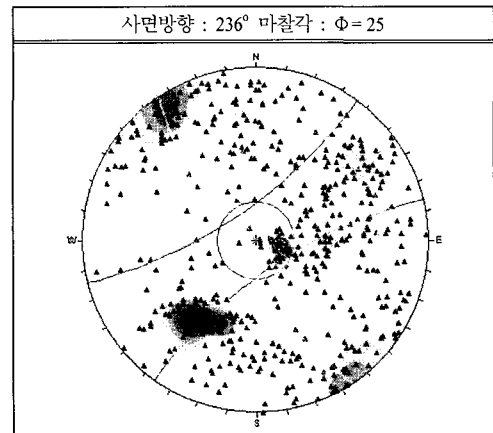


Fig. 8. Analysis of stereographic projection.

Table 3. Stratum distribution

지층	층후(m)	구 성 상 태
붕적토	0.5~1.0	• 모래 및 실트 섞인 자갈 • 황갈색~암갈색, 습함, 보통 조밀함~매우 조밀함
풍화토	2.0	• 암편 및 실트 섞인 모래 • 암갈색, 젖함, 매우 조밀함
풍화암	0.8~2.5	• 암편 및 실트 섞인 모래 • 담회색~담회갈색, 습함, 매우조밀
기반암		• 출현심도 : 1.3~3.7m • 담회색 내지 암회색의 사암 및 세일 교호 • 수직절리 및 단층영향으로 파쇄발달

대상지역의 지층구성조건 및 지반공학적 특성을 파악하기 위하여 현장조사 및 실내시험 등을 실시하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

5.1. 시추조사

대상지역에서 4공의 시추조사를 실시하였으며 지층분포현황을 정리하면 Table 3과 같다.

5.2. 지하수위

조사지역내의 지하수위 분포현황을 파악하기 위하여 시추가 완료된 후 24~96시간이 경과한 후에 대한 공내 지하수위를 측정하였으며 그 결과를 정리하면 Table 4와 같다.

전체적으로 지하수위 심도가 8.53m까지 상승되는 것이 측정되었으며 지하수위가 건기시의 경우와 강우시의 경우의 차이가 그리 크지 않은 것으로 측정되었다.

5.3. 시추공 전단시험(BST)

대상구간에 분포하는 토사층 및 풍화암의 강도정수(C, ϕ)를 측정하기 위하여 시추가 완료된 후 공내 직접전단시험을 실시하였다.

Fig. 9는 풍화암의 강도산정 결과를 보여주고 있다. 붕적토의 강도정수 산정결과는 $c = 0.0\text{tf/m}^2$, $\phi = 27^\circ$ 풍화토의 강도정수 산정결과는 $c = 0.5\text{tf/m}^2$, $\phi = 27^\circ$, 풍화암의 강도정수 산정결과는 $c = 1.0\text{tf/m}^2$, $\phi = 30^\circ$ 로 나타났다.

Table 4. Ground water level

공 번	지하수위(G.L.- m)		
	24시간 경과 후	48시간 경과 후(우천시)	96시간 경과 후
BH-1	29.10	23.50	26.10
BH-2	16.70	8.53	14.80
BH-3	18.00	12.70	16.00
BH-4	32.50	26.30	30.50

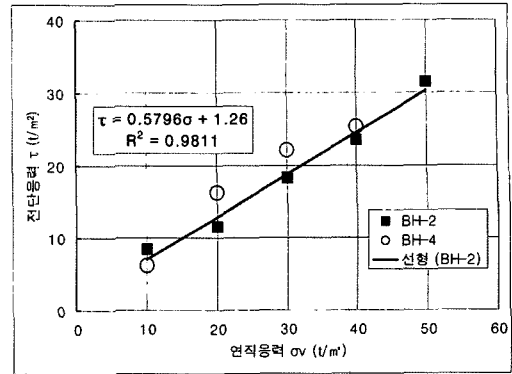


Fig. 9. Shear strength of weathering rock.

5.4. 실내 암석시험

시추조사시 회수된 암석코어를 이용하여 암석물성시험 및 역학실험 등을 실시하였다. 그 결과를 정리하면 암석물성시험과 일축압축시험 결과 비중은 2.44~2.71의 범위를, 흡수율은 0.16~3.62%의 범위를 일축압축강도는 699~2,263kgf/cm²의 범위를 보였다. 경암에 대한 불연속면 물성치 산정결과 절리면 점착력은 0.41~0.46kgf/cm²의 범위를 보이고, 절리면 최대마찰각은 27.3~27.6°, 잔류마찰각은 24.7~25.5°로 산정되었다. 슬레이킹 현상으로 인한 암석의 풍화 저항능력은 대체로 큰 것으로 나타므로 과업구간의 분포하는 암종에 따른 문제발생 가능성은 극히 적을 것으로 판단되었다.

5.5. 토질정수 산정

현장조사 및 실내시험 등을 종합 분석하여 강관 네일링 보강 절취사면의 안정분석에 필요한 각 지층의 토질정수를 결정하였다.

6. 강관네일 보강효과 평가

사면절취 후 안정성을 분석하기 위하여 대표단면에 대한 한계평형해석을 실시하였으며 그 결과 건기시에는 안정하나 우기시에는 안전율이 1.06으로 허용안전율 1.2 이하로 불안정한 것으로 나타났다.

Table 5. Soil properties of stratum

구 분	c (tf/m ²)	ϕ (°)	γ _t (tf/m ³)
붕 적 토	0.0	27	1.8
풍 화 토	0.5	27	1.9
풍 화 암	1.0	30	2.2
암반(절리면)	(4.4)	(27.5)	2.5

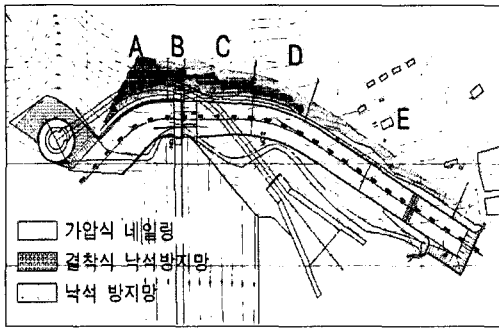


Fig. 10. Reinforcement of steel pipe.

설계단면과 같은 조건으로 사면을 절취할 경우 대상사면은 붕괴가 우려되므로 사면의 전단강도를 증가시킬 수 있는 강관네일링 공법을 적용한 후 사면의 안정성을 분석하여 장기적인 안정을 확보할 수 있도록 하였다. Fig 10은 대상사면의 가압식 강관네일링 보강단면을 보여 주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 사면의 보강을 위해 강관네일링 외에도 낙석 방지망을 설치하여 파쇄된 암석의 붕락으로 인한 피해를 최소화 하고자 하였다.

Fig. 11은 사면의 한계평형 해석 모델링 결과를 보여 주고 있다. A-구간 암반 비탈면의 안정해석 결과 안전율은 건기시는 0.956, 우기시는 0.567으로 기준 안전율 이하로 불안정하게 나타났으나 강관네일링 보강후 해석결과는 건기시 안전율은 2.14, 우기시 안전율은 1.2로 각각의 허용 안전율인 1.5와 1.2를 만족하는 것으로 나타났다.

7. 인발시험

본 현장에 적용된 강관네일링 공법이 설계시 계획한 강도를 발휘하는지 파악하기 위하여 11개 소에 대하여 인발시험을 실시하였다.

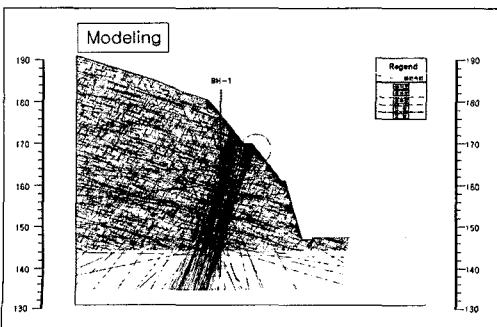


Fig. 11. Slope stability analysis.



Fig. 12. Tension test of steel pipe.

인발시험시 인발하중의 평균 재하속도는 1tf/min을 표준으로 하여 충분한 정착효과가 얻어 진후에 가능한 빨리 재하한다. 최대 인발하중의 재하는 주변마찰저항력(Qs)과 설계 인장력(TR)중 최소값에 도달하면 시험을 종료 하였다. 강관네일의 인장시험은 길이가 6m, 8m, 10m인 강관네일에 대하여 실시하였다. 인발시험에 사용된 강관 네일링의 제원 및 인발하중은 다음 Table 6과 같다.

길이 6m인 강관네일링을 대상으로 인장 확인을 위해 본당 14.0tf까지 인장력을 주어 시험한 결과 Fig. 13과 같이 인장 내력 한계 구간이 나타났다. 이는 강관네일의 시공길이가 짧아 발생한 것으로 강관 네일링은 본당 12.0tf의 인장력을 갖는 것으로 추정되었다.

강관네일링의 길이를 8m로 하여 시험시공에 대한 인발시험시 본당 20.0tf까지 인장력을 주어 시험한 결과 Fig. 14와 같이 인장 내력 한계 구간은 나

Table 6. Spec of steel pipe pile and tension load

제 원	설계 인장력	인발하중
구조용 탄소강관 Ø48.6mm, T=4mm	12.7tf (휨응력 : 2.478tf/m ²)	12tf

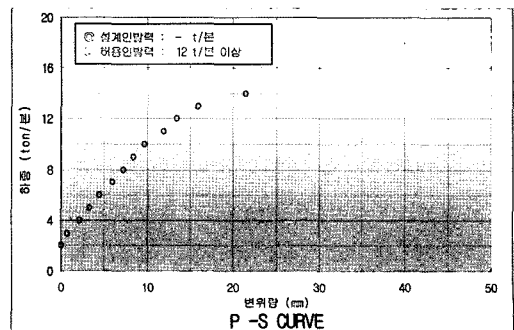


Fig. 13. Tension test of steel pipe(Length=6m).

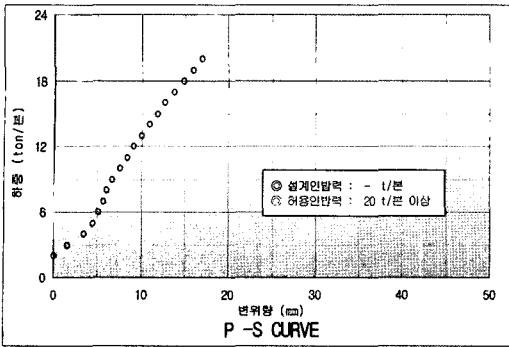


Fig. 14. Tension test of steel pipe(Length=8m).

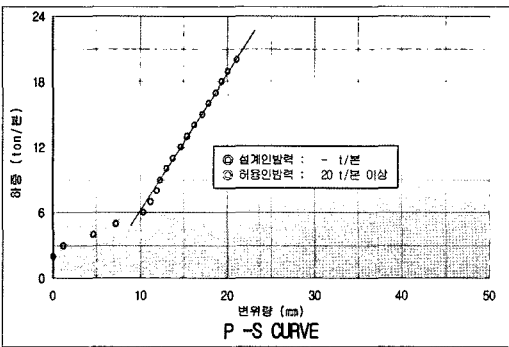


Fig. 15. Tension test of steel pipe(Length=10m).

타나지 않았다. 그러므로 본당 20.0tf 이상의 인장력을 갖는 것으로 추정되었다.

강관 네일링의 길이를 10m로 시험시공 하여 인장력 확인을 위해 본당 20.0tf까지 인장력을 주어 시험한 결과 Fig.15와 같이 인장 내력 한계 구간은 나타나지 않았다. 그러므로 본당 20.0tf 이상의 인장력을 갖는 것으로 추정된다. 인발시험결과 시공길이에 따라 인발력이 차이는 것으로 확인되었다. 이는 주입된 몰탈 및 마찰면의 차이로 시공길이가 길어지면서 마찰면이 늘어나 인발력의 차이를 보이는 것으로 판단된다.

8. 결론

쏘일네일링이나 록볼트 또는 어스앵커공법 등과 같이 주로 무압 또는 매우 낮은 압력으로 그라우팅을 실시하는 공법의 문제점을 개선하고 양호한 보강효과를 얻기 위해 강관 네일링 공법을 개발하였으며, 현장 시공 및 인발시험을 실시하여 보강효과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 절취사면에 강관네일링을 시공한 후 현장시험을 실시하여 본당 12.0tf의 설계 인발하중을 확인하였으며, 변위가 최대 10.3mm 정도로 미소하게 나타나 보강효과가 충분히 발휘됨이 입증되었다.

2) 일반적인 쏘일네일링공법과 비교할 때 강관 네일링 공법은 고강도 강관에 의한 직접적인 보강효과뿐만 아니라 그라우팅에 의한 원지반의 전단강도 증가효과를 동시에 얻을 수 있으므로 설치간격을 넓힐 수 있어 경제적인 공법으로 평가된다.

3) 붕괴이력으로 원지반 강도가 현저히 저하된 구간, 절리 및 균열이 발달하고 풍화가 심한 파쇄대 지반 등에서 강관네일링 공법은 다른 보강공법보다 양호한 보강효과를 얻을 수 있을 것으로 판단되며, 특히 이와 같은 지반에서는 억지말뚝과 그라운드 앵커공법 등을 병행하여 적용하면 보강효과가 극대화될 수 있을 것이다.

4) 최근까지는 강관네일링을 개발하고 적용한 기간에 짧고 시공실적도 많지 않아 이론적인 연구나 현장 적용성이 낮은 편이나, 향후 보강원리 및 설계법 등을 체계화하고 양질의 시공사례를 축적함으로써 경제적이고 파쇄암반 사면 보강에 효과적인 공법으로 자리잡아 나갈 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 김홍택, “쏘일네일링의 원리 및 지침”, 평문각, 2001.
- 2) 그라운드 앵커 공법, 윤지선譯, “그라운드 앵커공법”, 구미서관, 1996.
- 3) 지오텍 엔지니어링 주식회사, “NEW 강관네일링 사면보강공법”, 2006.3.
- 4) 천병식, “최신 지반주입 이론과 실제”, 원기술, 1998.
- 5) 한국수자원공사, “영천댐 보조 여수로 좌안부 사면안정성 검토보고서”, 2004.10.
- 6) Bieniawski, “Engineering rock mass classification”, John Wiley & Sons, Inc., N.Y., 1989.
- 7) DIN 4125, “Ground Anchorages Design, construction and testing”, 1990.
- 8) Hoek & Brown, “Manual of filed geology”, John Wiley & Sons, Inc., N.Y. 1981.
- 9) Lee, W. Abramson, Thomas, S. Lee, Sunil Sharma and Glenn, M. Boyce, “Slope Stability and Stabilization Methods”, John Wiley & Sons, Inc., N.Y. 2000.