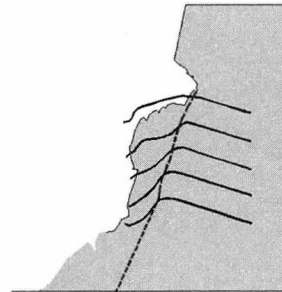


콘네일링 공법

주식회사 성우 C&C

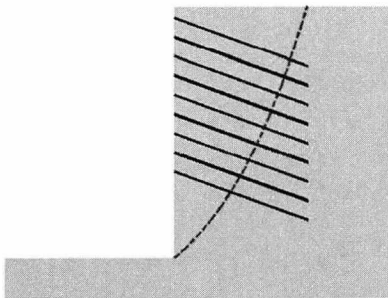
1. 신기술의 개요

국내에 쏘일네일 공법이 도입되어 지하터파기 가시선흔막이용 공법으로 적용되어지다가 최근에 와서 사면보강공법으로 적용되어지고 있다. 쏘일네일링공법은 지하 흙막이 터파기시 토압을 정지시키기 위해 단계적 터파기를 전제로 한 네일의 전단강도를 이용한 토압억제공법이다.(그림 1.)

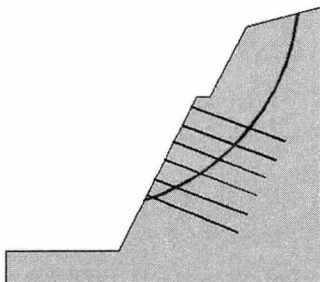


(c) 인발붕괴형태

[그림 1] 쏘일네일의 시공형태 및 붕괴형태

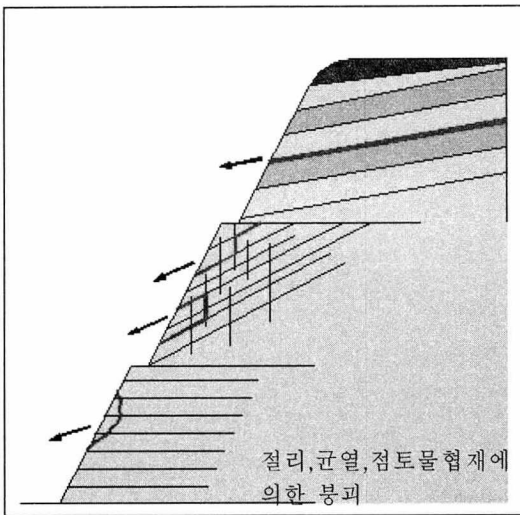
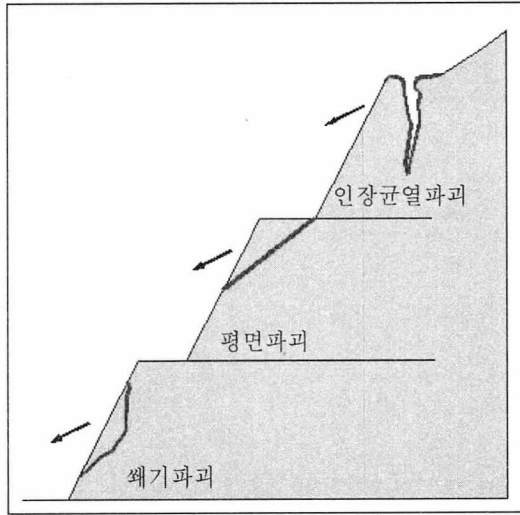


(a) 지하터파기시 시공



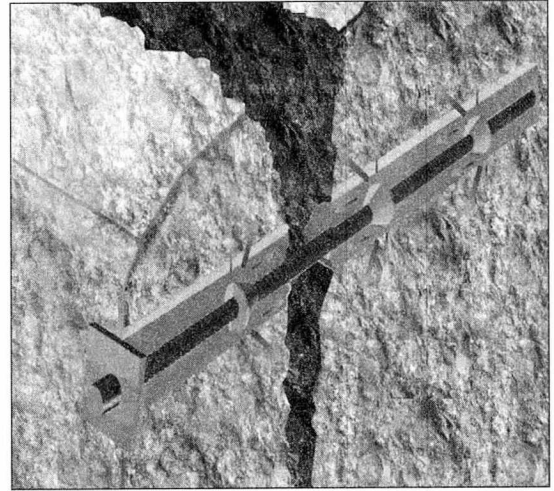
(b) 산사면 보강시 시공

그러나 이러한 원리가 사면붕괴 방지용으로 적용되면서 문제점이 도출되고 있는 것이다. 한국 도로공사 도로교통기술원에서 전국 고속도로 주변 붕괴사면 유형을 조사한 결과 지하흙막이 상태와 같은 원호파괴에 의한 붕괴가 일어나지 않고 인장에 의한 파괴, 썩기파괴, 부분적 급속붕괴가 주로 발생되며, 이 원인은 암반의 파쇄대, 단층파쇄대, 절리, 층리, 점토층의 협재등, 지반의 연약대를 따라 부분적으로 붕괴되는 특성을 가지는것으로 확인되었다.(그림 2.) 이들 특성이 대부분 미끄러지거나 암반이나 토층이 빠져나오는 현상을 보여 줌으로 네일의 전단강도가 아니라 빠져나오는 것을 방지하는 부착저항력 즉 인발력과 잔류강도가 필요한 것이다. 토사로 구성되는 사면은 대부분 낮은 구배로 절토 하므로 사면 보강대상지반은 거의 대부분 암반사면이다.



[그림 2] 사면의 붕괴유형

이에 따라 사면 보강시 필요한 인발력보다 전단강도를 중요시한 쏘일네일링 공법적용에 문제점이 제기되어 이를 개선하기 위한 새로운 방법이 요구되었고 네일에 어떤 형태의 돌기물을 부착해 인발력과 잔류강도를 얻는 효과를 고안했으며, 그 결과물이 원추형 콘 형태로 개발되게 되었다. 그림 3.은 콘 네일의 인발형태를 보여준다.

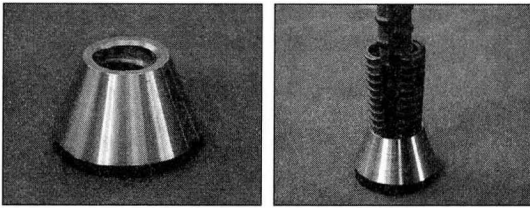


[그림 3] 콘네일의 인발형태

2. 신기술의 개발

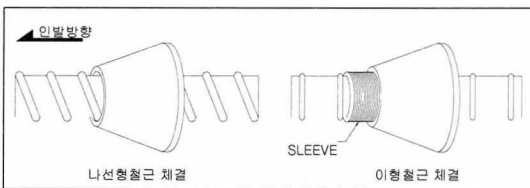
사면의 붕괴방지를 위해 이용되는 네일링공법, 특히 쏘일네일링공법에서 부착저항력과 잔류강도를 증가시키면 사면보강에 아주 효과적인 방법임이 판단된 후 이를 증가시키기 위한 여러 가지 돌기물을 고안한 결과 육각형, 원통형, 날개형은 저항단면적 확대효과밖에 없는 반면 원추형 콘 형태가 입체방사형으로 가장 많은 부착저항력과 잔류강도를 확보할 수 있다는 것을 확인하였다.

실내시험, 현장, 모델링, 이론적 근거에 의해 원추형 콘 형태중 가장 최적인 것이 밑지름 65~70mm, 윗지름 35~43mm, 높이 40~45mm, 기울기 19° ~23° 인 철재 원추형콘을 개발하였으며, 원추형콘을 보강철근에 부착시키는 방법으로 나선형(Screw bar)과 이형철근에 이용할 수 있는 철근연결구를 이용한 나선형콘 형태를 개발하였다.(그림 4). 콘을 장착했을때의 장착력은 철근의 항복강도보다 높다.



(a) 나선형철근용 (b) 이형철근용

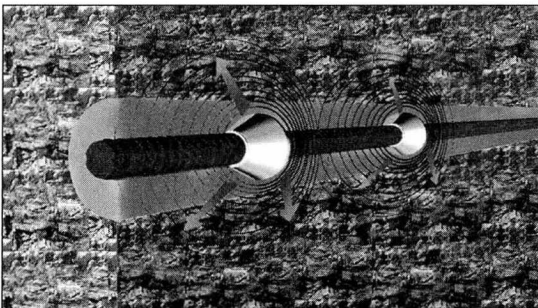
[그림 4] 원추형 콘



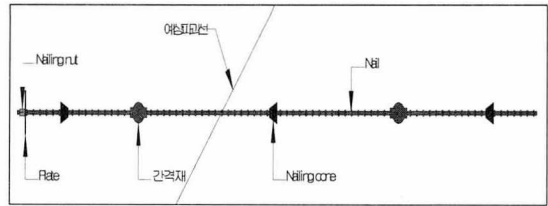
[그림 5] 원추형콘 체결방법

3. 공법의 원리

사면 붕괴 방지공사 중 네일링공사에 있어 보강철근에 원추형 콘을 장착하여 네일이 그라우트재와 완전 분리되지 않도록 하며 보강철근의 부착력 및 네일의 인발력을 증가시키고, 사면과괴 시 콘이 그라우트재 내에서 썩기 역할을 감당하게 함으로서 그라우트재와 주변 원지반까지 인발력이 전달되어 부착저항력을 증가시켜 네일의 인발강도 증대와 잔류인발력을 확보한 사면안정 공법이다.



[그림 6] 원추형콘의 인발력 증대 원리



[그림 7] 원추형콘 네일 구성도

4. 원추형콘의 시험 결과

원추형콘을 부착함으로써 부착저항력(인발력)과 잔류강도가 얼마나 확보되는지를 알아보기 위해 기존 쏘일네일과 같은 조건, 같은 지반에서 비교 시험하였다. 시험결과를 요약하면 아래와 같다.

① 실내시험결과

- 극한인발력 : 쏘일네일보다 23% 증가
- 잔류인발력 : 극한인발력의 90.2% 확보

② 현장시험결과

- 극한인발력 : 쏘일네일보다 20~23%증가
- 잔류인발력 : 극한인발력의 98.8% 확보

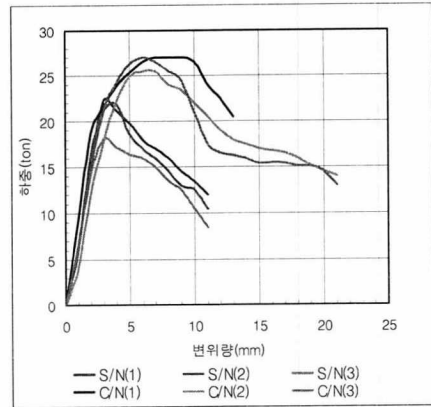
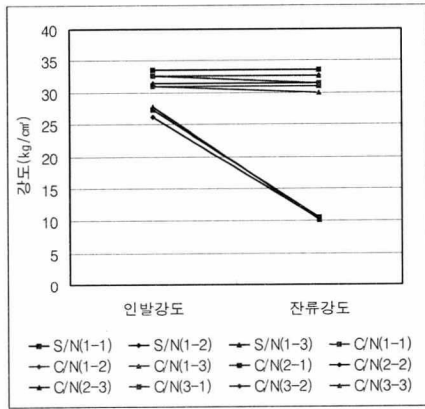
③ 현장실제시공후 시험결과

- 극한인발력 : 쏘일네일보다 36~57%증가
- 잔류인발력 : 극한인발력의 90.3~96.5% 확보

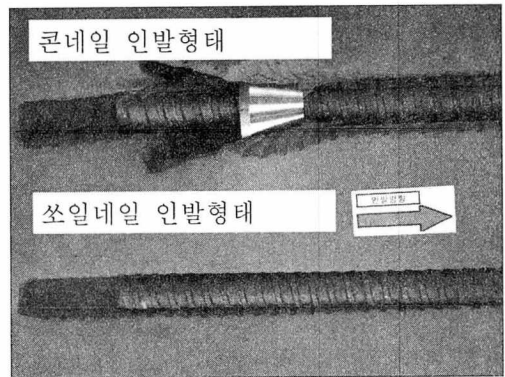
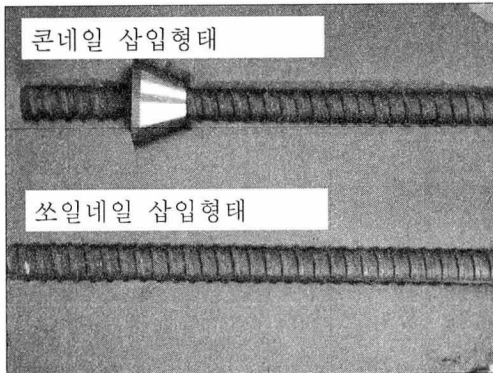
④ 이론적모델링시험결과

- 인발력 : 쏘일네일보다 20%증가
- 잔류인발력 : 이론적 모델링 시험 불가

상기 시험결과와 같이 원추형콘에 의해 인발력, 즉, 부착저항력 증가는 20% 이상, 잔류강도 확보는 원추형콘네일 극한인발력의 90% 이상 임이 확인되었다.



[그림 8] 쏘일네일과 콘네일의 인발시험결과



사진설명) 상단은 원추형콘네일과 쏘일네일이 지중에 삽입 그라우트 된상태이며 하단은 지반변형시 빠져나오면서 그라우트제와 원지반에 미치는 영향을 실험모델링 한 것으로 쏘일네일은 아무런 변화없이 그라우트제의 접촉부만 분리되어 빠지는 반면 원추형 콘은 그라우트제와 원지반까지의 힘이 미치는 모양을 보여주고 있다

[그림 9] 네일의 인발형태

5. 원추형콘네일의 효과(실용성)

- 1) 쏘일네일에 비해 극한인발력과 잔류인발력 증대효과.
- 2) 쏘일네일은 지반변형시 잔류인발력의 급격한 감소로 갑작스런 사면붕괴를 초래하나 원추형콘네일은 높은 잔류인발력으로 안정성을 확보함으로써 재난위기 관리에 적합.
- 3) 공내그라우트 불량발생에 대한 콘의 효과로 품질보장.
- 4) 진행성 파괴현상의 방지.
- 5) 인발력 증가로 쏘일네일과 같은 안전을 적용시 간격을 넓혀 시공할 수 있어 경제적.
- 6) 공기단축, 교통통제 일수감소, 간접공사비 절감.

6. 실제현장적용사례(경제성비교)

1) 위치

동해선 23.5k(하) (동해1터널 입구 우측사면
(강릉방향))

2) 적용물 성치

Soil no	1	2	3
γ	1.8	1.8	2.3
c	0.5	5	10
ψ	30	35	40
qs	15	30	50
pl	140	300	500

3) Nail 적용

구 분	원추형콘네일링	쏘일네일링
인장강도 (ton/m ²)	10.31	8.59
수평간격 (m)	1.4	1.2
경사방향간격 (m)	1.4	1.2
네일길이 (m)	8	8
설치각도 (°)	20	20
천공경 (mm)	100	100

4) 결과 (우기시)

조 건	원추형콘네일링	쏘일네일링
안전율(Fs)	1.29	1.29

5) 공사비 비교표

구 분	단위	원추형콘네일링	쏘일네일링	비 고
적용면적	m ²	300	300	기준면적
간 격	m	1.4×1.4	1.2×1.2	36.1%증가
시추공수	공	154공	179공	25공 감소
m ² 당단가	원	145,742	183,496	37,754 감소
직접공사비	원	43,722,600	55,048,800	11,326,200 절감

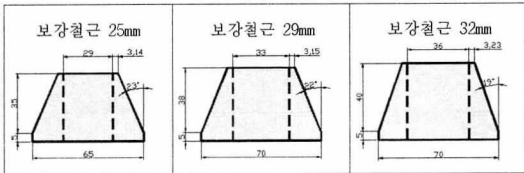
총공사비는 타공정 포함으로 비교에서 제외

7. 신기술의 요약 및 범위

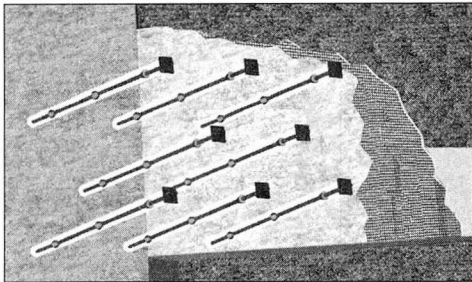
본 기술은 암반사면 보강공법에서 철근보강재인 네일(Nail)에 원추형콘(철근 규격에 따라 기울기 19~23°, 높이 40~45mm, 아랫변 65~70mm)을 일정한 간격으로 다수 장착하여 그라우트재와 원 지반까지 방사입체형으로 힘을 미치게 하는 암반사면 보강공법이다.

본 신기술의 범위는 다음과 같다.

보강철근에 부착력을 증가시키는 원추형 콘을 체결한 암반사면 보강공법.



[그림 10] 보강철근에 따른 콘의 규격



[그림 11] 암반사면보강에 적용한 콘네일 시공도

8. 콘네일링 공법의 역학적 특성 결과에 의한 현장 적용 설계 기법

1) 설계의 기준

원추형콘 네일의 설계 기준에 따른 토질정수, 천공경, 네일크기, 네일길이, 그라우팅방법. 현장 시공 방법은 현재까지 일반적으로 널리 이용되고 있는 쏘일네일링 설계 기법에 따른다.

2) 원추형콘 네일의 설계

이형철근 표면과 그라우트 사이에 발생하는 부착저항력을 식.19에 근거하여 계산하면 각 철근에 따른 부착저항력은 아래와 같다.

$$\delta T = \pi d_b l_b c$$

철근	25	29	30	32	35	38
부착저항력	23.56	27.33	28.27	30.16	32.99	35.81

※ 철근길이 2M 기준 (철근 2m당 콘 1개 부착)

콘이 장착된 철근의 그라우트 내 부착저항력을 식.21에 근거하여 사용되는 각 철근에 따른 부착 저항력을 계산하면 부착저항력은 아래와 같다.

$$T = F_x \pi \tan \alpha \frac{1 + \mu \cot \alpha}{1 - \mu \tan \alpha} + A_c \frac{l_b}{S_r} \frac{c}{\sin \alpha (\cos \alpha - \mu \sin \alpha)} + \pi d_b l_b c$$

철근	25	29	32
부착저항력	28.32	32.87	36.19

※ 철근길이 2M 기준, 콘 1개 체결

콘이 장착된 철근의 부착저항력을 콘이 장착되지 않은 철근의 부착저항력으로 환산하면 D25mm 는 D30mm 철근과 같은 부착력을 보이고 D29mm 는 D35mm 와 같으며, D32mm 는 D38mm 철근과 같은 부착력을 가지는 것을 알 수 있다.

따라서 설계 적용시 이용되는 인장강도등 필수요소를 적용할 때 D25mm로 설계시에는 실제 계산 적용치는 최대 D30mm를 기준 하여 설계하도록 한다. D29mm 및 D32mm로 설계시에도 같은 기준으로 최대 D35mm, D38mm로 적용하여 계산하면 쏘일네일보다 더 넓은 간격으로 시공할 수 있으며 안전율 또한 확보할 수 있다.