

# 비탈면 보강을 위한 압력식 쏘일네일링 공법의 현장적용

국내의 깎기 비탈면 보강공법으로 다수의 공법이 적용되고 있으며 이 중에서 쏘일네일링 공법이 상당부분을 차지하고 있다. 그러나 무압상태에서 3~6회의 반복 그라우팅을 통해 충전하는 그간의 공법은 충전상태의 불확실성 및 품질관리의 어려움 등 많은 문제를 안고 있었다. 이러한 문제점들을 해결하고자, 발포우레탄 패커를 이용한 압력식 쏘일네일링 공법의 현장적용 사례를 살펴보고 실내 및 현장시험을 통한 효과 및 활용성에 대해 알아보하고자 한다.



## 01 서론

국내의 깎기 비탈면 보강공법으로는 쏘일네일링, 락앵커, FRP 보강그라우팅 및 록볼트 공법 등이 있으며, 이중 쏘일네일링 공법은 네일을 프리스트레스 없이 비교적 촘촘한 간격으로 원지반에 삽입하여 전체적인 전단강도를 증대시키고 공사도중 및 완료후에

예상되는 지반의 변위를 억제하는 공법이다. 본 공법은 무압 반복 그라우팅을 실시하는 중력식 쏘일네일링과 압력 그라우팅을 실시하는 압력식 쏘일네일링으로 구분되며, 본 고에서는 발포우레탄 패커 시스템을 이용, 원지반의 전단강도 및 쏘일네일링의 저항력을 증진시킨 압력식 쏘일네일링 공법의 개요 및 시공사례에 대하여 소개한다.

## 02 압력식 쏘일네일링 공법

### 2-1. 개요

그간의 중력식 쏘일네일링 공법은 무압상태에서 3~6회의 반복 그라우팅을 통해 시공하였으며 이는 충전상태 및 품질확인이 어려운 문제점을 내포하고 있었다. 이를 해결하고자 고안된 압력식 쏘일네일링 공법은 원지반 천공후 그라우팅 입구부의 패커에 급결성 팽창제를 주입하여 네일(이형철근, D25~D32) 정착부를 완전 밀폐하고 압력 그라우팅(5~10kgf/cm<sup>2</sup>)을 실시, 정착부의 유효직경 및 전단저항력을 증가시킴으로써 사면의 전체 안전율을 증가시킨다.

압력식 쏘일네일링 공법의 개요도를 <그림 1>에, 본 공법과 기존의 중력식 공법의 비교를 다음의 <표 1>에 제시하였다.

그림 1 | 압력식 쏘일네일링 공법 개요도

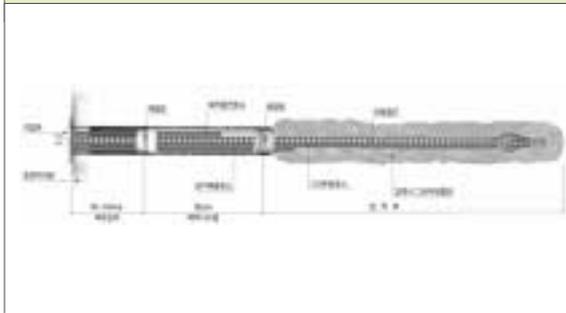


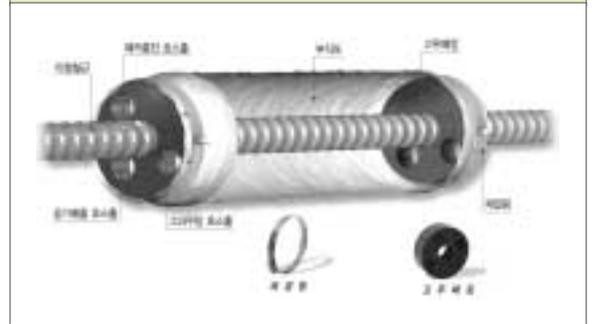
표 1 | 기존 공법과의 비교

| 구분  | 압력식 쏘일네일링   | 중력식 쏘일네일링  |
|-----|---|--|
| 개요도 |   |  |
| 특징  | <ul style="list-style-type: none"> <li>유효경 확대 → 인발저항력 증가</li> <li>1회압력주입(5~10kgf/cm<sup>2</sup>) → 공정, 공기단축</li> <li>밀실충진 → 품질양호</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>무압으로 그라우팅</li> <li>3~6회 반복주입 → 공기 지연</li> <li>공벽 보강재간 공극발생 → 충전상태 불량</li> </ul> |

### 2-2. 발포우레탄 패커 시스템

압력식 쏘일네일링은 기존의 중력식 쏘일네일링의 그라우팅을 압력식으로 대체하는 개념이므로 그라우팅부를 완전히 밀폐시킬 수 있는 패커가 핵심이라고 할 수 있다. 발포우레탄 패커시스템의 개요도를 <그림 2>에 나타내었다.

그림 2 | 발포우레탄 패커시스템



압력식 쏘일네일링에서 패커는 이형철근에 설치되어야 하므로 반복사용이 어렵고, 지반내에서 그라우팅 부위처럼 영구구조물로 작용해야 한다.

또한 설치가 간단해야 하며 경제적으로도 유리해야 한다.

이러한 성질을 보유하기 위하여 발포제를 <표 2>와 같이 비교하였으며, 이를 통하여 암반보강용 발포 우레탄 용액을 적용하도록 하였다.

표 2 | 발포우레탄 용액별 비교

| 구분   | 암반보강용  | 연질형  | 경질형  |
|------|--|--|--|
| 특징   | <ul style="list-style-type: none"> <li>소수성</li> <li>경화 후 강도 우수</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>친수성</li> <li>침투성 높아</li> <li>자수효과 양호</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>소수성</li> <li>침투성 없고</li> <li>수축현상 없음</li> </ul> |
| 팽창율  | 400 %  | 1,400 %  | 2,500 %  |
| 인장강도 | 40kgf/cm <sup>2</sup> ↑  | 8.3kgf/cm <sup>2</sup> ↑   | 4.7kgf/cm <sup>2</sup> ↑   |
| 배합비  | <ul style="list-style-type: none"> <li>이액형</li> <li>주제:경화제 (100:100)</li> </ul>  | 일액형  | 일액형  |
| 선정   | ◎  |  |  |
| 선정사유 | <ul style="list-style-type: none"> <li>천공후 밀폐 : 패커시스템에 좌우</li> <li>일정 팽창압 유지, 경화후 수축없고 강도가 우수한 암반보강용 발포우레탄 적용</li> </ul> |  |  |

### 2-3. 발포우레탄 패커의 제작

발포우레탄 패커 제작은 다음의 과정으로 이루어지며, 이를 <그림 3>에 나타내었다.

#### ① 고무판 설치

- 우레탄 용액의 발포시 횡방향 팽창을 억제하고 천공면에 밀착하여 패커의 기능을 유지하기 위해 패커 접촉부를 고무판으로 고정시킴

#### ② 주입 호스 설치

- 발포 우레탄 용액을 주입하기 위해 주입호스를 패커 내에 설치함

③ 그라우팅 호스 설치

- 발포 우레탄 용액으로 패커 형성후 공저에 그라우팅을 실시하기 위해 패커를 통과하는 그라우팅 호스와 그라우팅 주입시에 공기를 배출하기 위한 에어 호스를 설치함

④ 부직포 설치

- 우레탄 용액 발포시 우레탄을 패커내에 구속시 키는 역할을 하며 횡방향의 팽창을 억제하기 위해 고무판을 체결링으로 고정시킴

| 그림 3 | 발포우레탄 패커 제작



우레탄 패커시스템을 장착한다. 네일은 용접이음 없는 단일본을 사용하되 길이가 매우 길면 연결구(커플러)를 사용, 연결한다.

④ 우레탄 패커 충전 및 발포

- 주입호스로 우레탄 주입, 발포되면 네일 정착부는 완전 밀폐된다. 발포는 1분30초~5분 이내에 완료되며 압력유지를 위해 충분한 경화후(최소 6시간후)에 그라우팅을 실시한다.

⑤ 압력 그라우팅 실시

- 우레탄 패커 경화후, 압력그라우팅을 실시하며(1회) 공 내부 충전후 네일 정착부가 밀실하게 된 상태에서 주변지반 침투 경향에 따라 15초~3분간 일정압력(5~10kgf/cm<sup>2</sup>)을 유지하여 그라우트한다.

⑥ 지압판 및 표면보호공

- 강판을 지압판으로 사용하며, 연결철근으로 네일거리 횡방향 연결시킨다. 표면보호공으로는 일반적으로 와이어 메쉬+숏크리트를 타설하며 필요시 식생공법을 적용한다.

| 그림 4 | 압력식 쏘일네일링의 시공순서



2-4. 시공순서 및 방법

압력식 쏘일네일링의 시공은 다음과 같이 이루어지며, 이를 <그림 4>에 나타내었다.

① 지반굴착

- 압력식 Soil Nailing의 지반굴착 방법은 중력식 Soil Nailing 및 일반 굴착시공과 같으며, 굴착 장비는 지반교란을 최소화할 수 있어야 한다.

② 천공

- 설계도서에 명기된 천공위치, 각도 및 길이를 준수해야 하며, 공벽은 네일삽입, 우레탄 주입, 그라우팅 완료시까지 붕괴되지 않아야 한다.

③ 패커시스템이 장착된 네일 설치

- D25~D32(SD30이상) 표준 이형철근을 사용하고 여기에

03 압력식 쏘일네일링의 특성 평가

압력식 쏘일네일링의 특성을 평가하기 위해 압력식, 중력식 쏘일네일링 모형으로 실내실험을 실시하였으며 시험시공을 통한 현장시험을 실시하였다.

3-1. 실내 모형실험

실내 모형실험은 다음과 같이 수행하였으며 시험 개요를 <그림 5>~<그림 7>에 나타내었다.

① 인발시험

- 압력식(주입압 4.0~6.0kgf/cm<sup>2</sup>) 및 중력식 쏘일네일링 모형에 인발시험 수행 결과, 압력식이 중력식에 비해 인발저항력이 22~35%(평균 28%) 증가하는 것으로 나타났다.

② 유효경 평가 시험

- 압력식이 중력식에 비하여 23%(4.0kgf/cm<sup>2</sup>), 35%(6.0kgf/cm<sup>2</sup>)의 유효경이 증가하여 압력식 쏘일네일링이 중력식에 비해 그라우팅 충전효과가 우수한 것으로 나타났다.

③ 재하시험

- 쏘일네일링 보강토체의 상부에 균등하중을 가하는 본 시험에서 그라우팅의 파괴하중은 압력식이 평균 1,700kgf로 중력식의 1,350kgf에 비해 25%정도 높아, 상재하중의 대한 저항능력이 우수한 것으로 평가되었다.



3-2. 현장시험

현장시험 및 결과를 다음에 서술하였으며, 각 시험에 대한 개요도를 <그림 8>~<그림 10>에 나타내었다.

① 시험 현장

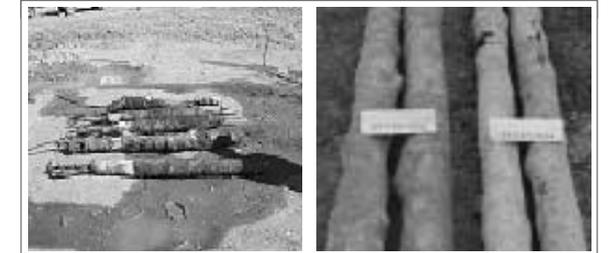
- 위치 : 경기도 남양주시
- 부지 : 마석지구 택지개발 현장
- 대상지반 : 풍화암 및 연암 지반

② 현장 시험

- 현장 인발시험
  - > 하중-변위간의 비율인 강성계수 (P/δ) 평가 결과, 압력식 인 경우가 중력식보다 풍화암의 경우 20~53%, 연암의 경우 24~64% 증가하는 것으로 나타나 압력식 쏘일네일링의 인발저항력이 우수한 것으로 평가되었다.
- 유효경 증가 확인시험
  - > 구근 확인에 의한 유효경 측정 결과 중력식은 그라우팅 구근이 천공크기 및 모양과 유사하였으나 압력식은 그라우팅의 침투 및 확장현상에 의해 중력식보다 16~24% 증가한 것으로 나타나 압력식 쏘일 네일링의 유효경 증가효과를 확인하였다.



| 그림 10 | 압력식 쏘일네일링 구근(중력식과 비교)



04 수치해석

기준사면에 대해 한계평형해석 및 유한차분해석을 수행하여 압력식 쏘일네일링의 효과를 정량적으로 검토하고자 하였다.

4-1. 해석방법 및 착안사항

압력식 및 중력식 쏘일네일링의 비교를 위하여 다음과 같이 해석 계획을 수립하고 착안사항에 대하여 개별적으로 검토하였다.

표 3 | 수치해석별 착안사항

| 구분      | 착안사항   | 해석Tool    |
|---------|--|-----------|
| 한계평형 해석 | <ul style="list-style-type: none"> <li>공법별 안전율</li> <li>Nail 분담면적(중일안전율시)</li> </ul> | TALREN 97 |
| 유한차분 해석 | <ul style="list-style-type: none"> <li>변위 검토</li> </ul>                              | FLAC 3D   |

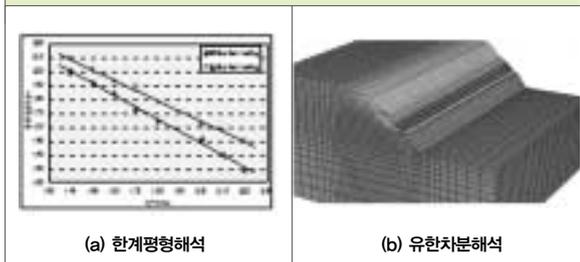
4-2. 해석결과

한계평형해석 결과, 안전율은 압력식이 중력식보다 약 15%, 분담면적은 18~20% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 유한차분해석 결과, 변위는 중력식보다 25% 감소하는 것으로 나타나 압력식 쏘일네일링의 사면보강효과가 우수하였다. 수치해석 결과를 <표 4> 및 <그림 11>에 나타내었다.

표 4 | 수치해석 결과

| 구분  | Nail 분담면적(F.S=2.0)     | 변위량    |
|-----|------------------------|--------|
| 압력식 | 2.25m <sup>2</sup> /EA | 5.24mm |
| 중력식 | 1.88m <sup>2</sup> /EA | 7.01mm |

그림 11 | 수치해석 Output



05 현장 적용 성과

5-1. 부산과학지방산업단지 사례

본 공법을 부산광역시 강서구에 소재한 부산과학지방산업단지 조성공사 현장의 깎기 비탈면 구역에 적용하였으며 공사 현황은 다음과 같다.

① 사면 현황

- 연장 : 총 11구역 3,260m
- 높이 : 약 10~15m 내외

② 공법 적용 현황

- Nail 길이 : L=4.0m~10.0m,
- Nail 간격 : C.T.C 1.6m×1.6m~2.0m×2.0m
- 천공 : Ø 105mm, 각도 30°

본 현장 시공상황을 <그림 12>에 나타내었다.

그림 12 | 부산과학단지 압력식 S/N 시공사진



본 현장에 적용된 압력식 쏘일네일링의 효과는 다음과 같다.

- 압력식 쏘일네일링 보강으로 인해 1:1 구배의 토사, 풍화암 비탈면의 안전율을 허용안전율 이상으로 확보하였다.
- 네일 철근의 방청처리 및 발포우레탄 패커를 이용한 밀실한 그라우팅 주입으로 영구적인 안정성을 확보할 수 있었다.
- 압력식 쏘일네일링이 중력식보다 그라우팅 유효경이 약 20%, 안전율이 약 15% 증가되므로 네일링 공수 축소가 가능해 공사비를 15%정도 절감하였다.

5-2. 그 외의 현장 적용 사례

2002년부터 현재까지 총 16개 현장에 적용되었으며, 1회의 압력 그라우팅으로 시공속도를 향상시키고 네일 1본당 단가를 경감시켜 시공성 및 경제성을 제고할 수 있었다. 현재까지의 적용 현황을 <표 5>에 나타내었다.

표 5 | 압력식 쏘일네일링 적용 현장

| 현장명            | 적용물량           |
|----------------|----------------|
| 남양주 마석지구       | 413공           |
| 광주제2순환도로(지산터널) | 1236공          |
| 화성 동탄 성원아파트    | 451공           |
| 옥천문화마을 수해복구    | 358공           |
| 석수동 도시계획도로     | 808공           |
| 부산과학지방산업단지     | 19,246공        |
| 화순정수장          | 250공           |
| 공주-이인간 도로      | 637공           |
| OO지역 군사시설      | 1,416공         |
| 해미-덕산간 도로      | 2,771공         |
| 운산-당진간 도로      | 1,648공         |
| 안양 화양 성원아파트    | 312공           |
| 안양 동덕아파트       | 1,794공         |
| 학산-영동간 도로      | 380공           |
| 국도 42호선 유천2지구  | 171공           |
| 각해C-호남고속도로     | 670공           |
| <b>Total</b>   | <b>32,561공</b> |

06 결론

발포우레탄 패커시스템을 이용한 압력식 쏘일네일링 공법은 기존 중력식 공법의 반복 그라우팅에 따른 공기저연 및 품질관리 불량 등의 문제점을 개선하여 1회의 압력그라우팅으로 시공속도를 향

상시키고, 유효경 증가 및 밀실한 구근 형성에 의한 네일의 인발 저항력 증대로 원지반의 전단강도를 제고할 수 있었다. 이는 실내 및 현장시험과 실제 적용을 통하여 확인되었으며, 중력식 쏘일네일링에 비해 20%이상 높은 저항력을 발휘하므로 네일링의 공수를 줄일 수 있어 공사비를 절감, 경제성을 확보하였다. 현재 총 16개 현장에 시공되어 적용성을 입증받은 본 공법은 사면 뿐만 아니라 굴착면, 터널 지보재, 기존 옹벽 등의 보강, 구조물 신설 등의 다양한 분야에 대해 단독 혹은 병용공법으로서의 활용이 기대된다. S

참고문헌

1. 도담이앤씨(2005) 신기술자정신청서(명칭:발포우레탄 패커를 이용한 압력식 쏘일네일링 공법)
2. 김홍택(2001), "Soil Nailing 공법의 과거, 현재, 미래", 도서출판 평문각
3. 김홍택, 강인규, 권영호, 박사원, 박시삼(1998), "압력분사 그라우트 유효경 평가기법 및 실내모형실험", KGS Fall '98 National Conference
4. Juran, I. & Elias, V.(1992) "Soil nailed retaining structures : Analysis of case histories", Geotechnical Special Publication, ASCE, No. 12, New York
5. Juran, I., Baudrand, G., Farrag, K. & Elias, V.(1990) "Kinematical limit analysis for design of soil-nailed structures", Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 1