

# 비탈면 보강을 위한 압력식 쏘일네일링 공법

이명재\*1, 정경한\*2, 김준엽\*3

## 1. 서언

국내의 각기 비탈면 보강공법으로는 쏘일네일링, 락앵커, FRP 보강그라우팅 및 록볼트 공법들이 주로 적용되고 있다. 이중 쏘일네일링 공법은 네일을 프리스트레싱 없이 비교적 촘촘한 간격으로 원지반에 삽입하여 원지반 자체의 전체적인 전단강도를 증대시키고 공사도중 및 완료후에 예상되는 지반의 변위를 억제하는 공법으로 타 공법에 비하여 시공성, 경제성, 효율성 등 많은 장점이 있다. 쏘일네일링은 네일, 그라우팅, 전면판으로 구성되어 있으며 지반 파괴에 대한 주저항력은 네일의 인장력과 그라우팅의 부착력으로 그라우팅 방법에 따라 무압 반복 그라우팅을 실시하는 중력식 쏘일네일링과 압력 그라우팅을 실시하는 압력식 쏘일네일링으로 구분된다.

압력식 쏘일네일링은 그라우팅 공내를 완전히 밀실시켜 구근을 형성하는 것이 중요하며

본 고에서는 원지반의 전단강도 증진효과 및 쏘일네일링의 저항력 증대효과가 우수한 발포우레탄 패커 시스템을 이용한 압력식 쏘일네일링 공법에 대하여 소개한다.

## 2. 압력식 쏘일네일링 공법

### 2.1 개요

압력식 쏘일네일링 공법은 원지반 천공후 그라우팅 입구부의 패커에 급결성 팽창제를 주입하여 네일(D25~D32) 정착부를 완전히 밀폐하고 5~10kgf/cm<sup>2</sup>의 압력 그라우팅을 실시하여 정착부의 유효직경 및 전단저항력을 증가시켜 이로 인해 전체 안전율을 증가시키는 공법으로 중력식 쏘일네일링의 그라우팅 충진확인 및 품질관리가 어려운 단점을 보완하여 정착부의 유효직경, 부착력 증가 및 전체적인 안전율을 증대시키는 공법이다.

### 2.2 발포우레탄 패커 시스템

압력식 쏘일네일링은 기존의 중력식 쏘일네일링의 그라우팅을 압력식으로 대체하는 개념이므로 그

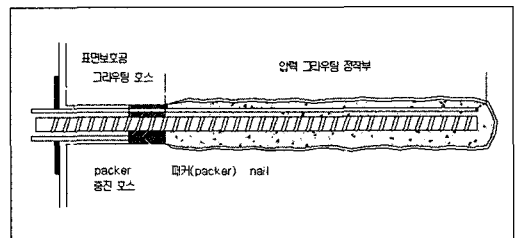


그림 1. 압력식 쏘일네일링 공법 개요도

\*1 주)도담E&C 대표이사(mjlee92@chollian.net)

\*2 (주)도담E&C 이사

\*3 비회원, (주)도담E&C 대리

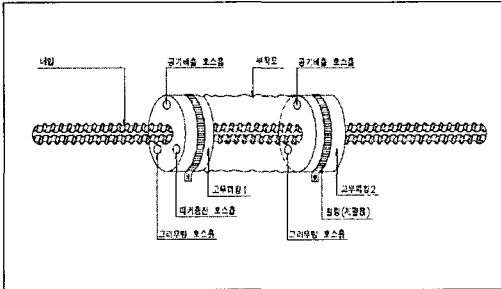


그림 2. 발포우레탄 패커시스템

라우팅부를 완전히 밀폐시킬 수 있는 패커가 핵심이라고 할 수 있다.

압력식 쏘일네일링에서 패커는 이형철근에 설치되어야 하므로 반복사용이 어렵고, 지반내에서 그라우팅 부위처럼 영구구조물로 작용해야 한다. 또한 설치가 간단해야 하며 경제적으로도 유리해야 한다.

발포우레탄 패커 시스템의 발포제는 발포시간(가사시간 약 1분30초~5분) 및 경화시간(약 6시간)이 짧고 발포후 인장강도가 40kgf/cm<sup>2</sup> 이상인 암반 보강용 발포 우레탄 용액을 패커에 주입한다. 암반보강용 발포우레탄 용액은 발포후 강도가 우수하므로 압력 그라우팅시 패커를 급속 팽창시키므로 일반 패커 시스템에 비해 고결시간이 빠르고 체적팽창으로 인해 밀폐성이 양호하여 원하는 압력상태의 유지가 가능하다.

표 1. 우레탄 비교

구 분	연질형 발포제	경질형 발포제	암반보강용 발포제
특 징	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 친수성 수치</li> <li>■ 침투성이 뛰어나 지수효과 기대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 소수성 수치</li> <li>■ 침투성이 없으며 수축현상 없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 이액형 소수성 수치</li> <li>■ 경화후 강도가 우수</li> </ul>
팽창율	1,400 %	2,500 %	400 %
인장강도	8.3 kgf/cm <sup>2</sup> 이상	4.7 kgf/cm <sup>2</sup> 이상	40 kgf/cm <sup>2</sup> 이상
배합비	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 일액형</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 일액형</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 이액형</li> <li>■ 주제 : 경화제 (100 : 100)</li> </ul>

■ 전공후 밀폐는 패커시스템에 좌우되므로 일정한 팽창압을 유지할 수 있고 경화후 수축현상이 거의 없으며 강도가 우수한 암반보강용 발포 우레탄을 적용

또한 정착부 그라우팅후 입구부를 중력식으로 그라우팅을 실시하므로 발포 우레탄의 장기간 열화가 성능감소에 영향을 미치지 않는 장점을 보유하고 있다.

## 2.3 발포우레탄 패커의 제작

발포우레탄 패커 제작은 고무판 설치, 주입호스 설치, 그라우팅 호스 설치, 부직포 설치 과정으로 이루어지며 다음과 같다.

### 2.3.1 고무판 설치

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

### 2.3.2 주입호스 설치

패커내 우레탄 용액을 주입하기 위해 주입호스를 패커내 설치함

### 2.3.3 그라우팅 호스 설치

발포 우레탄 용액으로 패커 형성후 공저에 그라우팅을 실시하기 위해 패커를 통과하는 그라우팅 호스와 그라우팅 주입시 에어 배출을 위한 에어 호스를 설치함



고무판 설치



호스 설치



부직포 설치



패커제작 완료

그림 3. 발포우레탄 패커 제작

### 2.3.4 부직포 설치

우레탄 용액의 발포시 우레탄을 패커내에 구속시키는 역할을 하며 횡방향의 팽창을 억제하기 위해 고무판에 조임링을 사용하여 고정시킴

## 2.4 공법 특징

### 2.4.1 네일 재료

이형철근을 사용하여 단면 강성이 양호하며 영구 사면 보강시 에폭시 코팅 또는 방청처리를 하여 내구성을 향상시켜야 한다. 또한 기성자재 사용으로 자재수급 및 경제성을 향상시킬 수 있다.

### 2.4.2 발포 우레탄 패커

현장조립이 용이하여 시공성이 증대되며 부직포를 사용하므로 우레탄 용액의 지반 침투로 부착력이 증가하는 효과를 얻을 수 있다. 우레탄 용액은 2액형 발포우레탄을 사용하며 팽창율은 4배 발포, 팽창시간은 1분 30초~5분 정도이다.

우레탄은 발포 후 지하수 용해 및 중금속, 유해물질이 없으므로 환경오염을 방지할수 있다.

### 2.4.3 기대효과

발포우레탄 패커시스템을 이용한 압력식 쏘일네일링 공법의 장점은 시공성 및 재료구입이 용이하며

표 2. 기존공법과의 비교

구분	발포우레탄 압력식 쏘일네일링	중력식 쏘일네일링
공법 개요도		
사용재료	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 보강재 : 이형철근</li> <li>■ 주입재 : 시멘트 밀크                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1회 압력주입</li> <li>- 주입압 5~10 kgf/cm<sup>2</sup></li> </ul> </li> <li>■ 패 커 : 부직포 + 우레탄 약액</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 보강재 : 이형철근</li> <li>■ 주입재 : 시멘트 밀크                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 무압 그라우팅</li> <li>- 3~6회 반복 그라우팅 실시</li> </ul> </li> </ul>
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 1회의 입력 그라우팅 실시로 공정 및 공기가 단축됨</li> <li>■ 정착부의 유효경 확대로 전단 및 인발저항력 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 고결시간이 길어 공벽과 보강재 사이에 공극이 발생</li> <li>■ 충전상태의 확인 및 품질관리가 용이하지 못함</li> </ul>

그라우팅 유효경 증가에 의한 인발저항력 증가, 네일 설치 본수 감소에 의한 공사비 절감 및 공정단순화로 공기단축의 효과가 있다.

## 2.5 시공순서 및 방법

압력식 쏘일네일링의 시공순서는 지반굴착후 천공→패커설치→패커장착된 네일설치→우레탄 패커 충전 및 발포→압력 그라우팅 실시→전면판 설치→표면보호공 순으로 이루어진다.

### 2.5.1 지반굴착

압력식 Soil Nailing의 지반굴착 방법은 중력식 Soil Nailing 및 일반 굴착시공과 같다. 굴착면은 설계시 명시된 정확한 형상으로 굴착하여야 하며 굴착면의 자립이 가능한 굴착깊이를 산정하여야 한다. 굴착깊이는 지반의 조건에 따라 상이하나 연직높이 2m 이내로 하는 굴착하는 것이 안정성을 확보할 수 있으며 굴착장비는 지반교란을 최소화 하는 장비를 선정하여야 한다. 또한 굴착면 마감처리가 매끄럽고 양호하게 처리되어야 하며 굴착면에 돌출부 및 연약한 부분이 있을 경우 제거하여 굴착면의 안정성과 압력식 Soil Nailing의 시공성

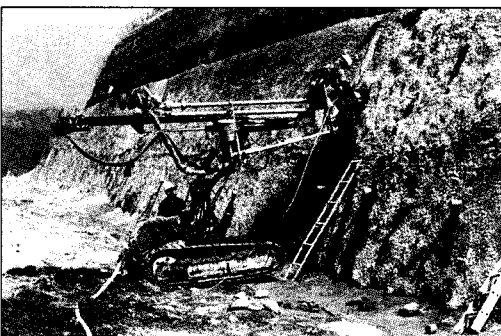


그림 4. 크롤러 드릴을 이용한 천공

을 확보하여야 한다.

### 2.5.2 천공

천공은 설계도서에 명기된 천공위치, 천공각도 및 천공깊이를 준수하여야 한다. 또한 설계조건 및 지반조건에 맞는 천공장비를 선택하여 천공하여야 하며, 주변시설물의 유동이나 지반이 심하게 교란되는 것을 방지하여야 한다. 천공된 구멍은 네일삽입, 우레탄 주입, 그라우팅 완료시까지 붕괴되지 않아야 하며 공내부가 청결하여야 한다.

### 2.5.3 패커시스템이 장착된 네일 설치

압력식 쏘일네일링에 사용되는 네일의 재료는 D25~D32mm(SD30이상)의 표준 이형철근에 우



그림 5. 패커시스템 장착



그림 6. 압력식 네일의 삽입

레탄 패커 시스템을 장착하여 사용하며 영구사면에 적용시에는 방청처리 또는 재료의 부식을 고려하여야 한다. 또한 네일은 자체결합이 없고 그라우트와 부착하는 부분에서 유해한 이물질을 제거하여 사용하며 용접이음을 하지 않은 단일본으로 사용하여야 한다. 단, 네일길이가 매우 길어 연결하여 사용할 경우 반드시 연결구(커플러)를 이용하여 연결해 주어야 하며 연결구 사용시 연결부의 네일 강재 단면손실이 발생하지 않도록 주의하여야 한다.

### 2.5.4 우레탄 패커 충전 및 발포

네일을 설치하고 우레탄 주입호스를 통하여 패커 내에 우레탄(암반보강용 2액형 발포제)을 주입하여 우레탄이 발포되면 네일정착부를 완전히 밀폐시킨다. 우레탄은 암반보강용 2액형 발포제를 사용하므로 주제 및 경화제의 비율을 준수하여 혼합하여야

표 3. 발포 우레탄 약액 특성표

		100 ± 10
비 중		1.20 ± 0.05
기준발포배율		4배
평균발포입력 (kgf/cm <sup>2</sup> )		3.5
호모겔	무발포	180 ± 10
압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )	4배 발포	40 ± 5

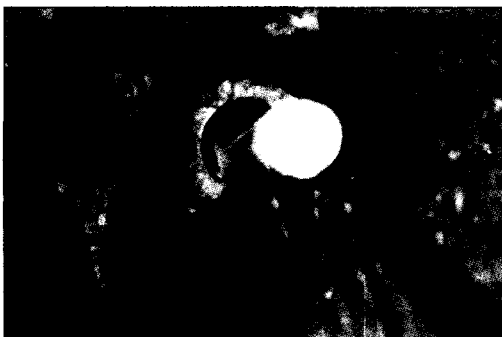


그림 7. 발포된 우레탄 패커

하며 충분히 교반될 수 있도록 전용주입기를 사용하여야 한다. 또한 패커 상, 하단에 설치된 고무패킹은 우레탄을 주입한후 우레탄 주입호스를 밀폐시켰을 때 횡방향 팽창압의 분산을 막을수 있도록 조임상태가 양호하여야 한다. 발포는 1분30초~5분 이내에 완료되며 그라우팅 압력상태의 유지가 가능하도록 우레탄이 충분히 경화된 이후(최소 6시간)에 압력 그라우팅을 실시한다.

### 2.5.5 압력 그라우팅 실시

우레탄 패커가 발포후 경화되면 압력식 그라우팅을 실시한다. 사용재료는 일반적으로 보통 포틀랜드 시멘트 및 조강시멘트와 혼화제로는 급결제, 팽창제 또는 그라우트제를 사용한다. 주입압력은 5~10kgf/cm<sup>2</sup>으로 공내부를 완전히 충전하며 그라우팅 품질은 28일 강도가 180kgf/cm<sup>2</sup>이상의 품질을 가져야 한다.

주입호스는 2개를 설치하여 하나는 주입호스로서 천공홀 최저부에 위치토록 하며 또 하나는 예비호스로서 공 입구에서 패커를 통과하여 패커 바로 밑 네일 정착부에 위치토록 한다. 예비호스는 공벽내부의 붕괴 등으로 주입호스나 공기배출호스에 이상이 있을 때에 대체할 수 있도록 한다. 이때 주입호스가 구



그림 8. 압력식 그라우팅



그림 9. 지압판 설치

분이 되도록 표시를 하여 관리하도록 한다.

그라우팅은 1회 압력그라우팅으로 실시하고 공내부가 충전된 후 네일 정착부가 밀실하게 된 상태에서 주변지반에 침투되는 경향에 따라 15초~3분간 더 일정한 압력(5~10kgf/cm<sup>2</sup>)을 유지하여 그라우트한다.

### 2.5.6 지압판 및 표면보호공

압력식 쏘일네일링의 지압판은 일반적으로 강판 판넬을 사용하며 시공시 너트의 부착력을 좋게 하여 조임상태가 양호하게 유지되도록 하여야 한다. 또한 연결철근을 사용하여 네일끼리 횡방향으로 연결시켜야 한다.

표면보호공으로는 일반적으로 와이어 메쉬+숏크리트를 타설하며 필요시 식생공법을 적용하기도 한다.

## 3. 실내모형실험 및 현장시험

발포우레탄 패커 압력식 쏘일네일링의 특성을 평가하기 위하여 중력식 및 압력식 쏘일네일링 모형을 제작하여 실내모형실험을 실시하였으며 시험시공을 통한 현장시험을 실시하였다.

### 3.1 실내 모형실험

실내 모형실험은 네일링의 인발저항력을 평가하기 위한 인발시험과 그라우팅의 유효경을 평가하기 위한 유효경 평가 시험 및 상재하중의 저항능력 평가를 위한 재하시험을 수행하였다.

#### 3.1.1 인발시험

중력식 쏘일네일링 모형 2개와 압력식 쏘일네일링 주입압 4.0kgf/cm<sup>2</sup>과 6.0kgf/cm<sup>2</sup>을 적용한 모형에 대하여 인발시험을 수행한 결과 압력식 쏘일네일링이 중력식 쏘일네일링에 비해 인발저항력이 22~35%(평균 28%) 증가하는 것으로 나타났다.

#### 3.1.2 유효경 평가 시험

유효경 평가시험 결과 압력식 쏘일네일링 주입압력 4.0kgf/cm<sup>2</sup>시 중력식 쏘일네일링에 비하여 23% 유효경이 증가하였으며 6.0kgf/cm<sup>2</sup> 압력 그라우팅

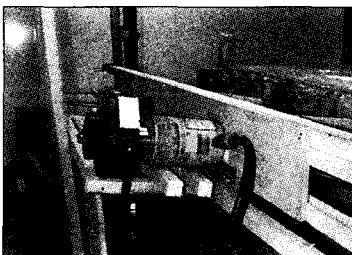


그림 10. 인발시험

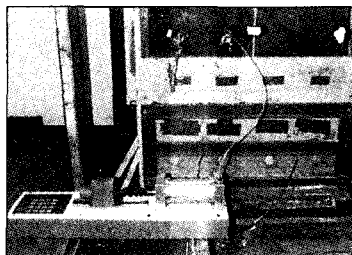


그림 11. 유효경 평가 시험

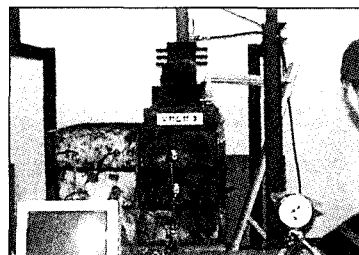


그림 12. 재하시험



시 35% 유효경이 증가하여 평균 28% 유효경 증가를 보여 압력식 쏘일네일링이 중력식에 비하여 그라우팅 충전효과가 우수한 것으로 나타났다.

### 3.1.3 재하시험

그라우팅의 파괴하중을 평가하기 위하여 재하시험을 수행한 결과 압력식 쏘일네일링의 평균파괴하중이 1,700kgf로 중력식 쏘일네일링의 평균파괴하중 1,350kgf에 비하여 25%정도 높은 값을 나타내므로 상재하중의 대한 저항능력이 우수한 것으로 평가되었다.

## 3.2 현장시험

현장시험은 중력식 쏘일네일링과 압력식 쏘일네일링을 시험시공하여 풍화암과 연암에 대하여 각각 현장 인발시험을 실시하였으며 실제 구근을 확인하기 위한 유효경 증가 확인 시험을 수행하였다.

### 3.2.1 현장 인발시험

중력식 및 압력식 쏘일네일링의 하중-변위간의 비율인 강성계수 ( $P/\delta$ ) 평가 결과 대상지반이 풍화암인 경우는 압력식 쏘일네일링이 중력식 쏘일네일링에 비하여 강성계수가 20~53% 증가하였으며 연암의 경우에는 압력식 쏘일네일링이 24~64%

증가하는 것으로 나타나 압력식 쏘일네일링의 인발 저항력이 우수한 것으로 평가되었다.

### 3.2.2 유효경 증가 확인시험

실제 시험시공을 통한 유효경 측정 결과 중력식 쏘일네일링의 경우는 그라우팅 구근이 천공크기 및 모양과 유사하였으며 압력식 쏘일네일링의 경우 그라우팅의 침투 및 확장현상이 육안으로 확인되었다. 또한 그라우팅 구근의 유효경은 중력식 쏘일네일링에 비하여 16~24% 증가하는 것으로 측정되었다.

## 4. 비탈면 보강 사례

### 4.1 보강현황

부산광역시 강서구 지사동에 부산과학지방산업단지 조성공사 중 깎기 비탈면을 11구역으로 구분하여 토사 비탈면과 풍화암 비탈면의 보강을 발포우레탄 패커 시스템을 이용한 압력식 쏘일네일링 공법으로 적용하였다. 공사기간은 2003년 9월부터 2004년 12월까지로 현재 공사중에 있다

#### ■ 공사현황

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



그림 13. 현장인발시험



그림 14. 유효경 측정



그림 15. 압력식 쏘일네일링 구근

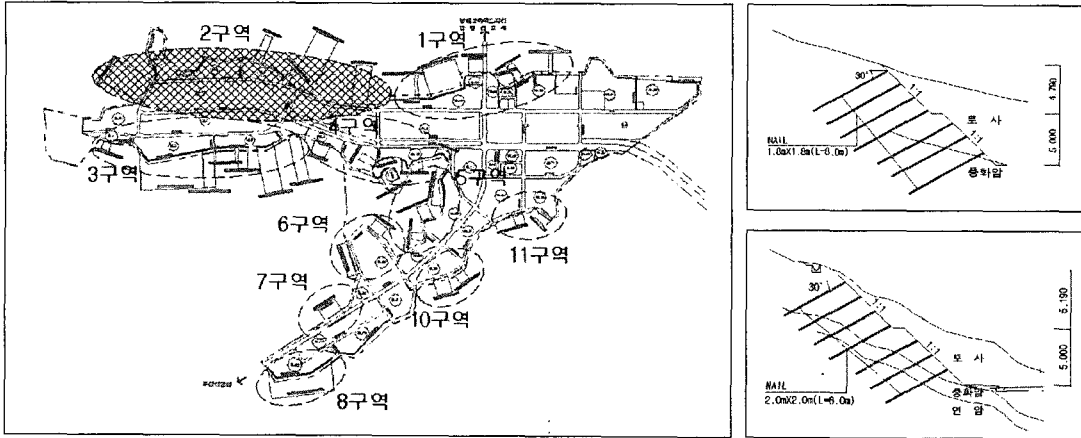


그림 16. 부산과학단지 평면 및 횡단면도

- 네일 : L=4.0m~10.0m,
- 네일 간격 : C.T.C 1.8m×1.6m~2.0m×2.0m
- 천공경105mm, 설치각도 30°

## 4.2 보강효과

부산과학산업단지 비탈면 보강에 적용된 압력식 쏘일네일링의 적용효과는 다음과 같다.

- 압력식 쏘일네일링 보강으로 인하여 1:1 구배의 토사, 풍화암 비탈면의 안전율을 허용안전율 이상으로 확보하였다.
- 네일 철근의 방청처리 및 발포우레탄 패커를 이

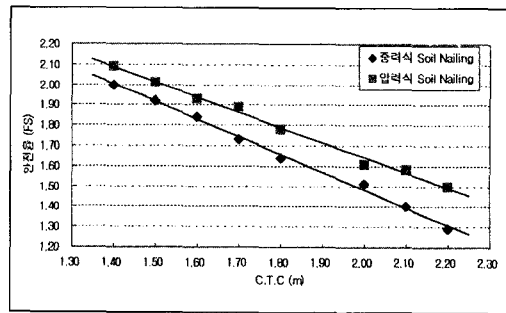


그림 17. 압력식, 중력식 쏘일네일링 안전율 비교

용한 밀실한 그라우팅 주입으로 영구적인 안정성을 확보할 수 있었다.

- 압력식 쏘일네일링의 경우가 중력식 쏘일네일



천공과정

압력식 쏘일네일링 삽입과정

압력 그라우팅 실시후

그림 18. 부산과학단지 압력식 쏘일네일링 시공사진





표 4. 압력식 쏘일네일링 적용분야

적용분야	내용
① 굴착면의 안정	■ 굴착면의 안정에 이용되는 쏘일네일은 상당량의 수평변위를 억제
② 사면의 안정	■ 도심지 재건축 아파트 및 신도시 아파트 주변사면 등 사면의 안정 및 보강 등에 적용시 영구벽체 형태로 시공
③ 터널의 지보재	■ Spile Reinforcement System은 쏘일네일의 원리를 터널에 적용하여 시공이 간편하고 그 자체가 영구지보 체계를 확보
④ 기존옹벽등의 보강	■ 기존 옹벽의 안정성에 문제점이 도출 또는 낡은 석구조물을 보존 및 보강하기 위한 수단
⑤ 구조물 신설, 기존도로 및 철도 확장등에 활용	■ 상부에 구조물을 새로이 설치하는 경우 추가하중에 따른 안정성 증대를 목적으로 별도의 부지 확보없이 쏘일네일 구조체를 이용
⑥ 병용공법으로 활용	■ 주위에 대형건물이 존재하는 경우 벽체 변위를 더욱 억제하기 위해 지반앵커와 쏘일네일을 병용하여 사용

링에 비하여 그라우팅 유효경 20% 증가, 안전율이 약 15% 증가로 네일링 공수를 축소할수 있어 공사비가 15%정도 감소하였다.

- 발포우레탄 패커의 현장제작 및 기존 네일링 사용재료를 사용하여 시공성을 향상시켰다.

## 5. 결론

발포우레탄 패커시스템을 이용한 압력식 쏘일네일링은 기존의 중력식 쏘일네일링의 그라우팅 충전 및 품질관리 불량 등의 문제점을 개선하고자 발포우레탄 패커를 개발함으로써 그라우팅의 품질을 향상시켰으며 압력 그라우팅으로 유효경을 증가시키고 밀실한 구근형성으로 원지반의 전단강도 및 네일의 인발저항력을 증대시켰다.

또한 실제 시공사례를 분석한 결과 기성재료를 사용하여 현장에서 직접 조립이 가능하도록 공중을 단순화 하여 시공성을 향상시켰으며 중력식 쏘일네일링에 비하여 20%이상 높은 저항능력을 발휘하므로 네일링의 공수를 줄일 수 있어 공사비를 절감할수

있는 경제성을 확보하였다.

압력식 쏘일네일링의 적용분야는 비탈면의 안정뿐만 아니라 굴착면의 안정, 터널 지보재, 기존 옹벽 등의 보강, 구조물 신설, 도로 및 철도확장, 타공법과 병용공법 등의 다양한 분야에 적용할수 있으며 최근에 시공되는 비탈면 보강공법으로 새로운 역할을 담당하고 있으며 향후에도 연구와 시공경험을 통한 압력식 쏘일네일링의 다양한 활용성이 기대되고 있다.

## 참고문헌

1. 김홍택(2001), "Soil Nailing 공법의 과거, 현재, 미래", 도서출판 평문각
2. 도담E&C(2002) 부산과학지방산업단지 조성공사 비탈면 안정검토 보고서
3. 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

4. Juran, I. & Elias, V.(1992) "Soil nailed retaining structures: Analysis of case histories", Geotechnical Special Publication, ASCE, No. 12, New York

5. 김홍택, 강인규, 권영호, 박사원, 박시삼(1998), "압력분사 그라우트 유효경 평가기법 및 실내모형실험", KGS Fall '98 National Conference

## 제 4회 한일 지반 환경세미나

지반환경을 연구하는 대학원생의 연구역량을 향상시키고, 대학, 기업체, 및 연구소의 전문가그룹이 한일간의 지반환경의 제반문제를 논의하게될 제4회 한일지반환경세미나를 알려드립니다.

• 일 시 : 2004년 4월 24일 (토)

• 장 소 : 일본 교토대학교

• 논문발표주제 :

(1) Contamination of Soil and Groundwater Site investigation, Fate and transport of contaminant, Remediation techniques for soil and groundwater, Risk assessment and management

(2) Waste Disposal and Management in Geotechnics Reuse and disposal of industrial wastes, Waste containment

(3) Other Geoenvironmental Issues

• 참가비 : 없음

• 논문제출기한

March 12, 2004 Submission of abstract

(영문 200-300단어, 제목, 저자, 소속, 이메일주소, keywords 포함할것) (이메일접수)

April 2, 2004 Submission of full paper (4,6, 혹은 8쪽) (이메일접수)

• 연락처 및 논문제출처

권오정, 서울대학교 지구환경시스템공학부

전화) 02-880-7354 e-mail) saojung@snu.ac.kr

Junboun Park, Ph.D.

Associate Professor

Dept. of Civil, Urban, and Geosystem Engineering

Seoul National University

Kwanaku, Seoul, S.Korea 151-742

(Phone) +82-2-880-8356 (Fax) +82-2-887-0349 (e-mail) junbounpark@snu.ac.kr