

# 암반과 그라우팅 접촉면의 부착력 평가를 위한 실내 실험

김영욱\*, 박지호\*\*, 조성국\*, 허갑수\*\*, 이충렬\*\*\*, 정경한\*\*\*\*

\*명지대학교 토목환경공학과

\*\*극동건설(주)

\*\*\* (주)대우건설

\*\*\*\* (주)도담이앤씨

e-mail: jpark@mju.ac.kr

## Evaluation for Bond between Rock and Grouting

Young-Uk Kim\*, Ji-Ho Park\*, Sung-Kuk Cho\*, Kab-Soo Hur\*\*, Choong-Ryul

Lee\*\*\*, Kyeong-Han Jeong\*\*\*\*

\*Dept of Civil Environmental, Myongji University

\*\* Kukdong E&C

\*\*\* Daewoo E&C

\*\*\*\* Dodam E&C

### 요 약

이 연구에서는 암반에 마이크로 파일을 그라우팅하여 시공할 경우에 암반과 그라우트 접촉면에 발생되는 부착력을 특수 제작된 부착력실험용 몰드와 만능시험기를 이용하여 측정하고 그라우팅 방법(압력식, 중력식)을 달리하여 비교·분석하였다. 실험결과 압력식의 부착력과 일축압축강도가 중력식보다 크게 나타났다.

### 1. 연구 배경 및 목적

최근 건물의 기초보강, 사면안정, 지하 구조물 및 매설구조물의 보호 그리고 구조물의 지지 또는 지반 보강에 앵커(anchor), 마이크로파일(micro-pile), 쏘일네일링(soil-nailing) 등 천공과 그라우팅을 이용한 공법들이 널리 적용되고 있다. 특히 마이크로파일은 주변 구조물이나 지반 그리고 환경에 최소한으로 영향을 주면서 시공되며, 협소하고 접근성이 불량한 지역과 모든 종류의 토질조건에서 시공이 가능한 장점으로 사용이 증가되고 있다. 또한, 경사시공이 가능하며 고압 그라우팅으로 인한 주변마찰력의 확보가 가능하고 인장과 압축을 동시에 저항이 가능하며, 시공과정에서 진동과 소음이 적은 공법이다. 마이크로파일은 그라운드 앵커와 비슷한 방식으로 그라우트와 지반의 마찰력으로 강재가 지지하는 외부 하중을 지반으로 전달한다. 마이크로파일의 선단지력은 직경(일반적으로 300mm 이하)이 작으므로 보통 무시하며, 그라우트/지반 부착력은 주로 지반 조건이나 그라우팅 방법에 따라 크게 좌우된다.<sup>1)</sup> 그라우팅 방법에는 크게 중력에 의한 중력식 그라우팅(gravity grouting)과 가압에 의한 압력식 그라우팅(pressure grouting)으로 구분할 수 있다. 최근에는

그라우팅의 3~6회 반복 주입에 따른 공동 발생 및 충전 불량 등의 문제점을 지닌 중력식보다 1회의 압력 그라우팅만으로 중력식보다 보강 성능을 향상시킬 수 있는 압력식 그라우팅을 적용한 시공 사례가 증가되고 있다. 또한, 압력식 그라우팅은 토사지반에서 압력으로 인한 유효경 증가에 따른 부착력 증가 등의 보강효과가 향상되어 중력식 그라우팅에 비하여 전체적인 안전율이 증가되는 장점이 있다.<sup>2)</sup> 그러나 가압에 따른 그라우트와 지반 사이의 메커니즘이 매우 복잡하여 경험적인 설계에 의존하고 있으며, 특히 암반과 그라우팅 사이의 거동특성, 즉 암반과 그라우트 접촉면의 부착력에 대한 연구는 미흡하여 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

이 연구에서는 특수 제작된 부착력실험용 몰드와 만능시험기를 이용하여 암반과 그라우팅 사이의 거동, 즉 부착력을 그라우팅 방법을 달리하여 비교·분석하였다.

### 2. 실내 실험

#### 2.1 실험 장비

이 연구에서는 암반과 그라우팅 사이의 부착력을 측정하기 위하여 특수 제작된 부착력실험용 몰드(높이 10cm,

지름 5cm)와 만능시험기(최대 5ton)를 사용하였고, 압력식 그라우트 주입을 위하여 콤프레셔(compressor), 압력저장탱크를 사용하였다. 부착력실험용 몰드는 중력식과 압력식으로 구분하여 제작되었다. 각 장비를 그림 1과 2에 나타내었다.



(a) 중력식 몰드 (b) 압력식 몰드  
[그림 1] 부착력측정용 몰드



[그림 2] 실험 장비

## 2.2 실험 조건 및 방법

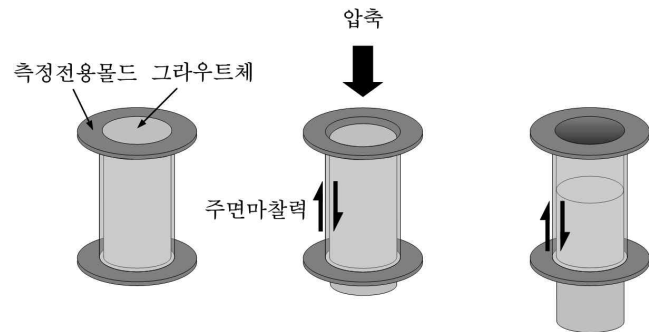
실험용 그라우트체를 제작하기 위하여 물/시멘트비(W/C, 중량비)가 0.5 인 시멘트 밀크를 만들고 압력식과 중력식 몰드를 준비하여 그라우팅방법에 따라 시멘트 밀크를 주입하였다. 압력식 그라우팅은 압력식 몰드에 5kg/cm<sup>2</sup>의 일정한 압력으로 준비된 시멘트 밀크를 주입하였으며, 이 때 주입하는 반대쪽 출구로 시멘트 밀크가 유출될 때까지 주입하고 시멘트 밀크가 유출되는 시점에서 유입구의 밸브를 잠그기 그라우트체의 성형이 완료될 때까지 몰드내의 압력이 유지되도록 하였다. 중력식 그라우팅은 중력식 몰드에 시멘트 밀크를 가득 부어 넣어 그라우트체를 성형하도록 하였다. 각각의 그라우트는 7일 동안 양생시켜 부착력실험과 압축강도시험을 수행할 수 있도록 하였다.

부착력실험은 만능시험기를 이용하여 그림 3과 같이 몰드내에 형성된 그라우트를 압축시켜 몰드로부터 밀어낼 때 발생하는 응력을 측정하여 부착력의

크기를 알아보았다. 그림 4는 부착력실험의 모식도이다.



[그림 3] 부착력실험



[그림 4] 부착력실험 모식도

이와 같은 실험 방법으로 압력식 그라우팅 4개, 중력식 그라우팅 1개를 제작하여 부착력실험으로 부착력을 측정하였다. 또한, 그라우트체를 완전히 몰드에서 뽑아낸 후에 이를 압축강도시험을 하여 압축강도를 비교·측정하였다. 실험 조건을 표 1에 정리하였다.

[표 1] 실험 조건

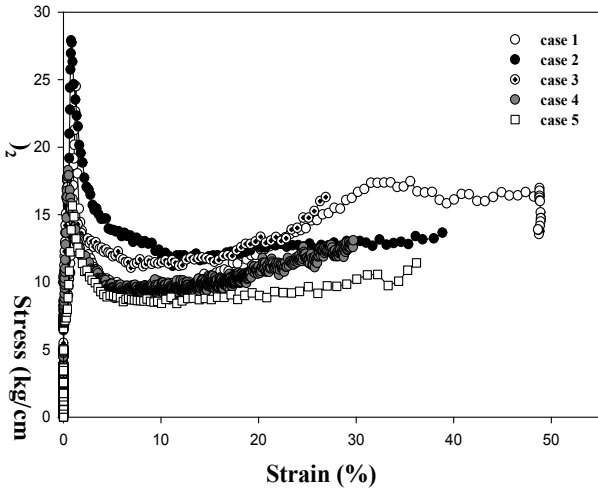
Case	그라우팅 방법	물/시멘트비	펌프압력 (kg/cm <sup>2</sup> )
1	압력식	0.5	5
2			
3			
4			
5	중력식		

## 3. 실험 결과

### 3.1 부착력실험

부착력실험결과로 중력식 그라우팅보다 압력식 그라우팅에서 응력이 크게 나타나 압력식의 부착력이 크다는 것을 간접적으로 알 수 있었으며, 약 2배 이상 큰 것으로 나타났다. 이를 그림 5에 나타내었다.

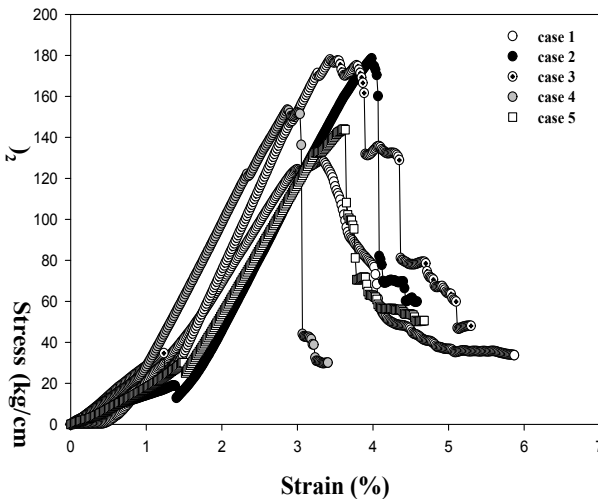
압력식으로 그라우팅한 4개의 경우 결과가 거의 일치 하는 경향을 보이지만 결과값이 차이를 보이는 것은 부착력측정용 몰드가 제작될 때 완전히 똑같은 몰드 벽의 표면을 제작할 수 없는 제작단계에서 발생하는 오차로 판단된다.



[그림 5] 부착력실험 결과

### 3.2 압축강도시험

압축강도시험은 부착력실험 종료 후에 추출된 그라우트체를 KS F2405 기준에 의거하여 일축압축시험을 하였다. 실험결과로 중력식 보다 압력식에서의 일축압축강도가 크게 나타나 압력식으로 그라우팅한 그라우트체의 강도가 중력식의 경우보다 큰 것을 알 수 있었다. 이를 그림 6에 나타내었다.

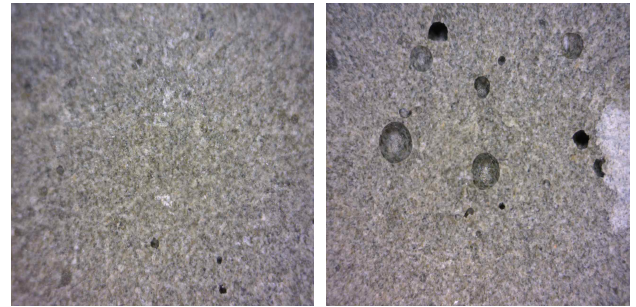


[그림 6] 일축압축시험 결과

### 3.3 시료형상

압축강도시험 종료 후에 중력식과 압력식 각각의 그라우트체 표면을 230배 확대하여 보았다. 230배

확대하여 그라우트체의 표면을 분석한 결과로 그림 7과 같이 중력식 그라우트체의 경우에 크기가 일정하지 않은 기포가 촘촘하게 많았고 압력식의 경우에는 상대적으로 적고 작은 기포들이 존재하였다. 이를 통하여 그라우팅방법에 따라 그라우트체의 형성이 달라짐을 알 수 있었으며, 압력식의 경우에 중력식보다 그라우트체가 더욱 조밀하게 형성됨을 알 수 있었다.



(a) 압력식 그라우트 (b) 중력식 그라우트

[그림 7] 230배 확대 분석한 그라우트체

## 4. 결론

이 연구는 암반과 그라우트 접촉면 사이에 발생하는 부착력을 알아보기 위하여 부착력실험과 일축압축강도시험을 하였다. 부착력실험과 일축압축시험결과 중력식보다 압력식의 부착력과 일축압축강도가 크게 나타났으며, 형성된 그라우트체를 230배 확대하여 표면을 분석한 결과, 압력식의 그라우트체 형성이 중력식의 그라우트체보다 더욱 조밀하게 형성됨을 알 수 있었다. 이 결과를 토대로 암반에 마이크로파일을 시공할 경우에 중력식으로 시공하는 방법보다 압력식으로 시공하는 방법이 보강효과가 증대될 것으로 판단된다. 그러나 이를 증명할 수 있는 이론적 근거와 자료는 아직 미흡하며, 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 사 사

이 연구는 (주)도담이앤씨에서 주관하는 “양방향 압력식 소구경 파일공법 개발” 연구 사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] 김원철, 조천환, 이정훈 “마이크로파일의 개념 및 분류” 한국지반공학회학회지, 제3권, 제4호, pp. 24-29, 2002.
- [2] 정경한, 박성원, 최항석, 이충원, 이인모 “가압 그라우팅 쏘일네일링의 인발저항력 증가 원인에 관한 연구” 한국지반공학회논문집, 제24권, 제4호, pp. 101-114, 2008.