

# 국토해양부지정 신기술 제650호 폐쇄부재 장치를 이용한 압력 재주입 그라우팅 지반보강 공법



연구개발팀  
차장 김훈섭



연구개발팀  
대리 이성엽

## 1. 서론

본 공법은 네일, 앵커, 마이크로파일 공법 등의 지반보강 공법에 있어서 필수적인 그라우팅 주입공정을 개선한 공법으로써 국내의 중력식 그라우팅 공법이 갖고 있는 한계를 극복하고, 외국의 다양한 그라우팅 공법을 분석하여 시공의 용이성과 역학적 효율성을 향상시킨 공법이다.

## 2. 폐쇄부재 장치를 이용한 압력재주입 그라우팅 지반보강 공법(PRG 공법)

### 2.1 공법 개요

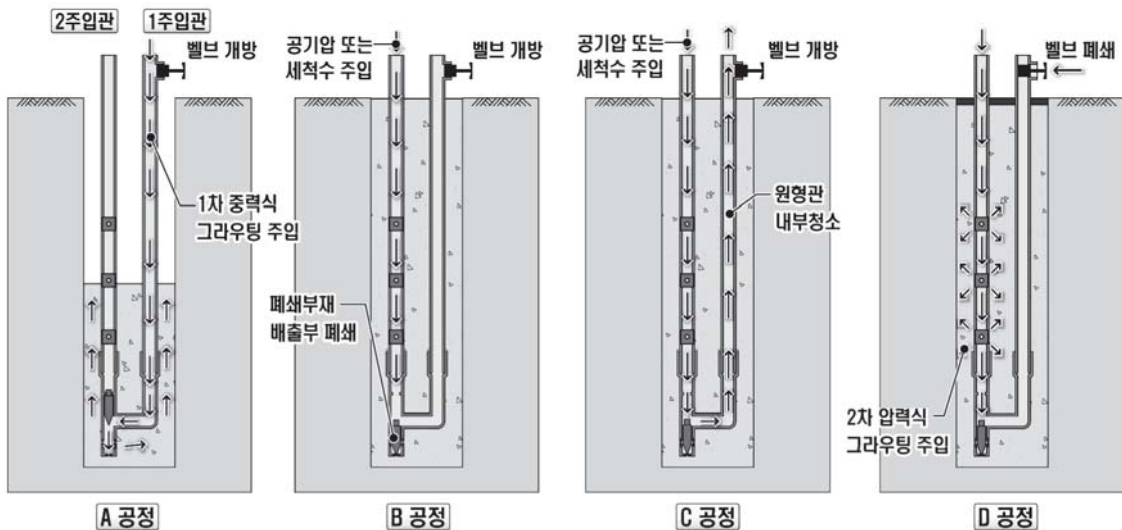
네일, 앵커, 마이크로파일 공법 등의 지반보강시 천공과 보강재 삽입 후 시멘트 그라우팅을 1차 주입 후 일정시간이상 경과 후 여러단계의 2차 그라우팅을 가압 재주입하여 밀착 확공된 말뚝체를 형성하여 지지력을 증가시키는 공법이다.

### 2.2 압력재주입 그라우팅 지반보강 시스템

1차 중력식 그라우팅 후 여러단계의 압력식 그라우팅이 가능한 공법으로 느슨한 지반, 절리 및 파쇄가 심한 암반층 등의 지반취약부 보강효과와 기존 압력식 그라우팅 공법에 있어서 필수적인 패커의 사용없이 시공할 수 있어 친환경적이며, 안정성과 경제성이 타 공법에 비해 매우 효과적이다.

천공시 발생한 공벽 주변의 이완층을 가압에 의해 밀착시켜 주어 마찰저항력을 극대화하여 확실한 지지력 확보가 가능하며, 주입된 그라우팅 주입액의 지반 및 균열 등의 공간으로 흡수, 유출로 발생하는 공극부 충전으로 안정적인 말뚝품질을 향상시킨 공법이다.

또한 공내 주입된 그라우팅액의 침하여부를 확인 가능하며 필요시 그라우팅액 재충진이 가능하다.



■ 그림 1 압력재주입을 위한 그라우팅 주입공정

### 2.3 기존 기술 현황 및 문제점

중력식 그라우팅	압력식 그라우팅
<p>케이스 그라우트 침투 토사압밀 지반이완 압력 소산</p>	<p>케이스 그라우트 지반침투 지반이완 공동발생 지반 수입 파쇄 현상 케이스를 따라 흐름</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 그라우팅체의 균질한 품질관리가 어려움</li> <li>• 지반침투 및 그라우팅 수축으로 상부 침하발생</li> <li>• 그라우팅 상부침하를 보완하기 위해 수회 반복하여 그라우팅 공정 필요</li> <li>• 지지력 및 저항력이 상대적 작음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 그라우팅이 케이스를 따라 흐를 경우 적용 난이</li> <li>• 투수성이 큰 지반이나 불연속면이 발달된 지층의 경우 그라우팅 양생이 이루어지기전 지반침투 및 흡수, 수축 발생</li> <li>• 패커하부 침하시 공동확인 곤란 및 재주입 불가</li> </ul>

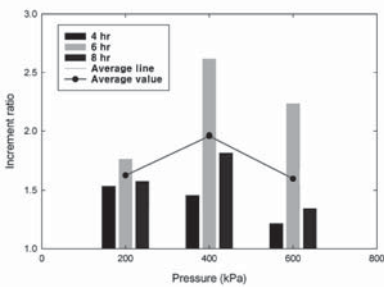
### 2.4 압력재주입 그라우팅 지반보강 검증 결과 및 분석

점토지반에서의 보강증가율 산정결과 압력재주입식 그라우팅(4hr)의 경우 평균 1.62, 압력재주입식 그라우팅(6hr)의 경우 1.96, 압력재주입식 그라우팅(8hr)의 경우에는 평균 1.60으로 나타났으며, 압력재주입식 그라우팅 주입시기는 6시간, 8시간, 4시간의 순으로 크게 형성되는 것으로 나타났다.

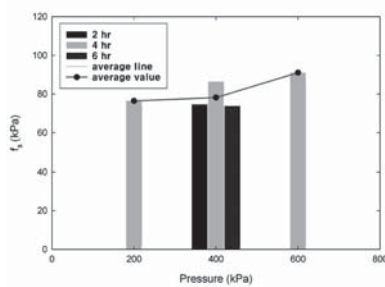
따라서, 점토지반에서의 인발력 변화는 중력식 그라우팅에 비

해 압력재주입식 그라우팅이 최소 1.2배에서 2.6배 크게 발휘 되는 것으로 나타났으며, 재주입 그라우팅 압력과 재주입시기에 민감한 영향을 받는 것으로 분석되었다.

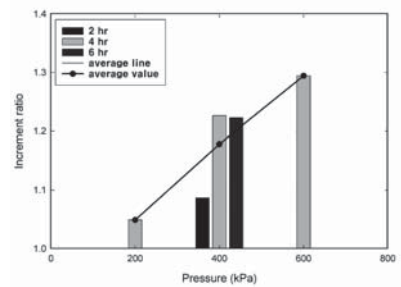
토사층 지반에서의 재주입시기에 따른 극한부착강도는 압력재주입식 그라우팅(4hr), 압력재주입식 그라우팅(6hr), 압력재주입식 그라우팅(2hr), 중력식 그라우팅 방식의 순으로 크게 형성되는 것으로 나타났다.



■ 그림 2 재주입압력에 따른 보강효과(혼합점토)



■ 그림 3 재주입압력에 따른 극한부착강도 비교(토사)



■ 그림 4 재주입압력에 따른 보강효과(토사)

중력식 그라우팅	압력식 그라우팅	압력재주입그라우팅
		

• 압력재주입 그라우팅의 경우 심도에 따라 분출구 위치까지는 비교적 일정한 단면이 형성되지만 분출구를 중심으로 최대 60cm에 이르고 있어, 타 방식에 비해 구근체의 증가효과가 큰 것으로 나타남.

### 2.5 공법 비교

항 목	기존 공법	본 공법
그라우팅침하 최소화 따른 안전성 개선	<ul style="list-style-type: none"> <li>그라우팅 후 일정시간 경과 후 지반침투 및 그라우팅 수축으로 인한 상부 침하 발생</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>압력 재주입 그라우팅 방식은 원하는 위치에 단계적인 압력 재주입 및 재가압을 통하여 그라우팅 침강 최소화</li> </ul>
지지력 증대 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>보강재의 지지력 및 저항력이 상대적으로 작음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>압력 재주입 그라우팅은 토사지반에서는 압력 그라우팅에 따른 구근확대를 크게 기대할 수 있고, 암반에서는 균열 및 파쇄공간을 압력 충전하여 기존의 중력식 그라우팅에 비해 큰 지지력 및 저항력 확보 가능</li> </ul>
불리한 지반조건에서도 양호한 지지력 발휘	<ul style="list-style-type: none"> <li>투수성이 큰 지반이나 불연속면이 발달된 지층의 경우 주입된 충전물의 양생이 이루어지기전에 지반침투 및 흡수, 수축 발생</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>압력 재주입 그라우팅 방식은 반복적인 압력 재주입이 가능하여 주입된 충전물의 유실 및 수축 되는 경우에도 반복 재주입을 통하여 지반침투 및 흡수, 수축이 발생된 이완 또는 발생된 공간을 압축 및 충전으로 양호한 지지력 확보가능.</li> </ul>
패커의 미사용으로 환경오염 저감	<ul style="list-style-type: none"> <li>압력식 주입공법에 필수적인 우레탄 패커의 경우 재회수가 불가능하여 지반오염을 야기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>압력식 주입공법에 필수적인 패커의 사용없이 가압할 수 있어 지반오염을 야기하는 문제를 근원적으로 해결할 수 있는 친환경적 기술.</li> </ul>
케이싱 사장 최소화	<ul style="list-style-type: none"> <li>대부분의 시공에서 케이싱을 사장시켜야 함에 따라 공사비 증가 및 환경성 저하</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>중력식에 비해 큰 지지력을 발휘함에 따라 케이싱 사장을 최소화 할 수 있어 자원절약에 의한 친환경적 기술.</li> </ul>
저압공법으로 주변 영향 최소화	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존의 외국공법의 경우 비교적 고압을 적용함에 따라 주변시에 영향이 있을 수 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존에 외국의 포스트그라우팅 기술에 있어서도, 마이크로파일의 대부분이 기존 도심지에서 시공되고 있으며, 인접구조물이 근접하여 있음 것을 고려할 때 저압력의 그라우팅 공법이 효과적</li> </ul>

### 3. 결론

압력재주입식 그라우팅의 보강효과는 기존에 제안된 이론보다 다소 큰 것으로 분석되었다.

압력재주입식 그라우팅공법을 이용한 보강공법은 그라우팅공정이 포함되는 대부분의 지반보강공법에 활용될 수 있어 국내외 다양한 건설공사에 반영될 수 있을 것으로 전망된다.

즉 지반 및 사면보강을 위해 국내에서 널리 사용되고 있는 보강공법으로 마이크로파일공법, 앵커공법 및 소일네일공법 등을 들 수 있다.

상기 공법의 경우 사용목적, 시공방법 및 역학적 원리와 포스트텐션 도입여부 등에 따라 다르게 적용되고 있지만 공통적으로 보강재를 삽입한 후에 그라우팅 작업을 실시하는 공정이 포함되어 있다.

따라서, 본 공법은 마이크로파일, 앵커, 네일 등 그라우팅이 필요한 보강공법에 모두 적용할 수 있으며, 공법 개선을 통한 보강력을 증가시킬 수 있어 그 적용성이 우수하다.

특히 마이크로파일 기술은 도심지 재개발을 위한 구조물의 증·개축시 부족한 기초 지지력을 향상시켜주는 언더피닝 기술의 일부로, 증·개축에 따른 추가하중을 고효율의 마이크로파일로 분담할 수 있고, 협소한 공간에서도 시공이 편리한 기초 보강시스템을 제공할 수 있을 것이다.