

# AGS(Automatic Grouting System)를 이용한 그라우팅 관리기술



김진춘  
한국지오텍  
대표이사

## 1. 개발배경

국내 그라우팅 기술은 주입중에 주입압(p)과 주입속도(q)를 정확하게 측정하기 어려운 적산유량계를 사용함에 따라 주입대상지반의 주입특성과의 연관성을 파악하는데 어려움이 있다. 대상지반의 특성을 고려한 주입공사의 목적을 달성하기 위해서는 주입압(p), 주입속도(q)의 관리가 필요하며, 기존의 숙련기술자에 의한 시공관리에서 벗어나 체계적인 그라우팅 시공관리기술이 필요하다. 이러한 기존의 국내 그라우팅 기술을 보완하고자 자동화 그라우팅 시스템(AGS)을 개발하여 주입대상지반의 시공조건 평가, P~q~t chart검측 및 지반탐사, 주입시공 자동관리, 원격관리 등을 통해 최적의 그라우팅 관리기술을 개발하고자 하였다.

## 2. 신기술의 내용

### (1) 내용

본 신기술은 그라우팅에 대한 시공조건을 현장에서 합리적으로 결정할 수 있는 시공기술을 제공하기 위하여 그라우팅 자동화 시스템(Automatic Grouting System)을 이용한 현장관리 체계(computer aided grouting procedure)를 구축함으로써 그라우팅에 대한 정밀도를 향상시키는 것이다. 즉, 대상지반의 특성에 적합한 한계주입압( $p_{cr}$ )과 한계주입속도( $q_{cr}$ )를 현장에서 확인하고, 지반 특성에 적합한 주입재료와 공정을 조합하며, 한계주입압( $p_{cr}$ )과 한계주입속도( $q_{cr}$ )의 한계 내에서 주입중단을 합리적으로 결정할 수 있도록 관리하며, 주입압(p), 주입속도(q), 주입시간(t)과의 관계를 실시간으로 확인하여 주입특

성을 판정한다. 또한, 주입공의 step 및 주입공별로 평균 주입압과 누적주입량을 기록하거나 각 단위의 시간대(초, 분, 시간, 일, 월 등)별로 P~q~t chart를 기록하는 절차를 체계화시킴으로서 현장에서 즉시 대응 가능한 정밀 시공 및 다양하게 기록된 데이터에 의해서 사후관리가 가능한 그라우팅 자동화 시스템을 구축하였다. 또한 조사·설계·시공모니터링·효과확인·변상계측·자료축적의 각 분야를 일괄적으로 시행할 수 있는 그라우팅 전문가 시스템 (Grouting Expert System)을 적용함으로써 그라우팅에 대한 합리적인 계획, 객관적인 시공관리, 효과증진, 안정성 및 경제성을 획기적으로 향상시킨 통합 관리형 지반 개량공법이다.

### 3. 신기술의 원리 및 시공방법

#### (1) 원리

기존 기술에서 적용되어지는 적산유량계를 AGS로 단

순교체함으로써 대상지반의 특성에 적합한 한계주입압 ( $p_{cr}$ )과 한계주입속도( $q_{cr}$ )의 한계 내에서 주입중단을 합리적으로 결정할 수 있도록 관리하며, 주입압(p), 주입속도(q), 주입시간(t)과의 관계를 실시간으로 확인하여 주입 특성을 판정하고 주입공의 단계 및 주입공별로 평균주입압과 누적주입량을 기록하거나 각 단위의 시간대(초, 분, 시간, 일, 월 등)별로 P~q~t chart를 기록하는 장치를 포함하여 현장에서 즉시 대응 가능한 정밀시공이 가능하며 기록된 데이터에 의해서 사후관리가 가능한 통합관리형 자동주입 관리공법이다.

#### (2) 시공방법

AGS를 이용한 그라우팅 관리기술은 주입 전 주입지반의 시공조건 평가, P~q~t chart 검측 및 지반탐사, 주입 시공 자동관리, 원격관리 등의 순으로 시공관리시공관리를 수행하게 된다.



그림 1. AGS를 이용한 주입관리

표 1. 신기술의 시공절차 및 방법

시험 및 시공관리체계	평가내용
1. 주입지반의 시공조건 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>토사층 한계주수시험</li> <li>설계인자(p,q,r)적합성 검증</li> </ul>
2. p~q~t chart 검증 및 지반탐사	<ul style="list-style-type: none"> <li>chart 검증 및 지반탐사</li> </ul>
3. 주입중단 자동관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>chart형 관리기준</li> <li>주입 충전도 및 Lugeon시험</li> </ul>
4. 원격관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>p~q~t chart분석</li> </ul>

표 2. AGS 활용실적

공사명	발주처	공사기간	공사위치	시공규모
서울지하철 9호선 915공구	서울시 도시기반 시설본부	2009.04 ~ 2010.12	서울시 강남구	차수·보강
인천도시철도 2호선 201공구	인천시 도시철도 건설공사	2009.09 ~ 2011.12	인천시 서구	차수·보강
대구시 중로 1-277호선의 1개도로 신설공사	한국토지주택공사	2010.03 ~ 2011.01	대구시 동구	차수·보강
오리-수원 1, 2, 6공구 복선전철	한국철도시설공단	2008.08 ~ 2010.02	분당구~수원시	터널강관보강
고속국도 60호선 동흥천~양양간 14공구	한국도로공사	2010.04 ~ 2012.12	강원도 인제군	터널강관보강
목포~장흥 고속국도 4공구	한국도로공사	2010.07 ~ 2011.06	전남 강진군	터널강관보강
현릉로 연결도로 중 비탈면 보강공사	서울시 도시기반 시설본부	2009.11 ~ 2010.03	서울시 서초구	사면보강

## 4. 국내·외 건설공사 활용현황 및 전망

### (1) 적용현장 활용실적

AGS를 이용한 그라우팅 관리기술의 적용현장으로 서울지하철, 인천지하철, 고속도로 현장, 지방도 현장, 건물신축 현장, 비탈면 현장 등 다수의 현장 적용사례가 있으며, 주입전·후에 대한 주입평가시험을 통해 우수한 주입효과를 입증하였다.

### (2) 향후 활용가능분야 및 활용전망

AGS를 이용한 그라우팅 관리기술은 차수 및 지반보강, 연약지반 보강 등 그라우트 공정이 포함되는 모든 공정에 널리 적용될 수 있다. 또한, 댐건설, 터널, 해저시설물, 지하구조물 등 주요시설물 등의 대규모 시공현장에서 차수 및 지반보강을 위한 그라우트공법의 필요성은 확대되

고 있으므로 향후 AGS를 이용한 그라우팅 관리기술의 활용도는 크게 증대될 것으로 예상된다.

## 5. 기술·경제적 파급효과

### (1) 기술적 효과

우리나라의 그라우팅 공사현황은 선진국과 비교해 기술력이나 시공의 신뢰성 측면에서 너무 낙후되어 있다. 하지만, 본 신기술은 선진국과 같이 컴퓨터를 이용한 현장관리체계(computer aided grouting procedure)를 구축하여 최대주입압( $P_{max}$ )의 범위 내에서 주입중단을 합리적으로 결정할 수 있기 때문에 재래식 공법에서 발생되었던 주입압(p)과 주입량(q)의 경험적 주입을 막고, 현장에서 즉시 대응 가능한 정밀 시공을 수행할 수 있도록 개발되었으며 선진기술 대비 손색없는 기술이다. 또한, 기

존 주입시스템의 단순기록 적산유량계를 그라우팅 자동 관리 시스템(AGS)으로 교체함으로써 주입관리 자동화 시스템을 구축하기 때문에 별도의 공사비 증가가 발생되지 않고 기존장비 시스템을 활용하기 때문에 경제적이다.

## (2) 경제적 효과

본 신기술과 기존기술과의 설계단가를 비교해본 결과를 표 4에 나타내었다.

기존의 비현실적으로 적용된 주입작업 인원감소와 과다주입방지 등으로 5%이상 원가절감이 가능하고 정밀시공에 의한 하자요인을 감소시켜 자동화 시공으로 전체공

표 3. 기존 기술과의 기술 특성 비교

항목	신기술	기존기술
모식도		
기록장치	◦ AGS(automatic grouting system)	◦ 적산유량계 roll paper
주입 전 평가	◦ 한계주수시험 (토사층) ◦ Lugeon Test (암반층)	◦ 기능 없음
설계조건 평가	◦ 시험성과를 이론식에 적용하여 적합성 검증	◦ 기능 없음
주입압 관리	◦ 최대주입압( $P_{max}$ ) 및 최소주입압( $P_{min}$ )을 설정하여 수압파쇄 및 일탈주입 감시	◦ 기능 없음(수동관리)
주입재 정산	◦ 주입재, 주입량 자동관리	◦ 기능 없음(수동계산)
보고서류	◦ P~q~t chart ◦ 지반주입 현황도 ◦ 주입일보 등 자동 생성	◦ P~q chart (롤페이퍼)

표 4. 설계단가 비교

[단위 : 원/m]

지층	구분	신기술(AGS공법)	LW공법	SGR공법
사력층 ( $\phi=800$ )	재료비	44,400	46,000	47,300
	노무비	55,700	57,760	58,700
	경비	16,700	17,320	17,600
합계		116,900	121,100	123,600
공사비		100%	104%	106%

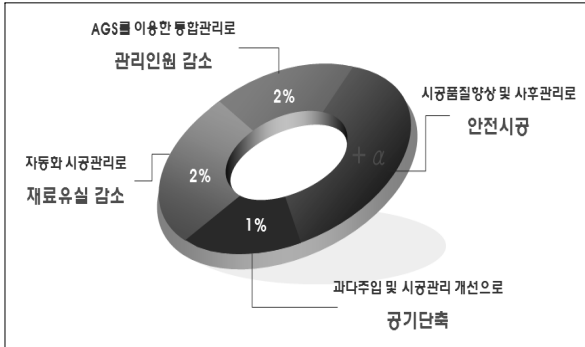


그림 2. AGS를 이용한 공사비 절감 효과

사비 약 5%+α의 절감효과가 기대된다(그림 1).

## 6. 공사기간의 단축 및 유지관리

### (1) 공사기간 단축

AGS를 이용하여 과다주입 및 시공관리 개선으로 공기 단축은 다음과 같다.

- ① 주입중단 자동관리에 의한 과다주입 방지로 불필요한 주입시간 단축.
- ② 별도 시험장치 조립·해체 없이 AGS를 이용하여 시험시간 단축.

- ③ 현장에서 실시간 시험 DATA 확인으로 분석시간 단축.
- ④ 강관다단 공사 시 주입 코킹 패커를 이용하여 양생 시간 단축.

### (2) 유지관리

그라우팅 자동관리 시스템 AGS(Automatic Grouting System)는 현장관리를 체계화시킴으로서 현장에서의 즉시 대응 가능한 정밀 시공 및 다양하게 기록된 데이터에 의해서 사후관리가 가능하여 유지관리측면에서도 유리하다.

## 7. 결론

본 신기술은 기존의 지반보강 그라우팅의 문제점인 수동 시공관리, 부정확한 자료 관리 및 사후관리 미흡으로 인한 시공품질저하 등을 보완하고자 시공기술을 향상시킬 수 있는 자동화 그라우팅 시스템(AGS)을 개발하여 그라우팅 관리체계를 구축함으로써 합리적인 시공계획, 객관적인 시공관리, 효과증진, 안정성 및 경제성을 획기적으로 향상시키는 그라우팅 최적화 지반개량공법이다.