

Tunnelling Technology

터널 주변 지반의 손상 및 그라우팅 보강



김진춘
(주)한국지오텍
대표이사



사공명
한국철도기술연구원
선임연구원

1. 서론

터널의 시공은 근본적으로 주변 지반에 영향을 미치는 행위로서 안전하고 경제적인 터널 시공을 위해서는 터널 주변지반의 거동에 대한 이해가 필수적이다. 특히 터널 주변지반의 손상에 대한 정확한 평가를 바탕으로 합리적인 터널 설계가 이루어 질 수 있으며 그에 따른 효과적인 지 보재의 설치가 가능할 것이다. 현재 국내에서 수행되고 있는 RMR 이나 Q 값을 바탕으로 이루어지는 패턴 설계는 경험적인 접근 방법으로서 다양한 현장 상황을 고려하기에는 한계가 있을 수 밖에 없다. 따라서 본 기사에서는 터널공학자들의 관심사항인 터널시공으로 인한 터널 주변의 손상 및 이에 대한 보강을 위한 그라우팅 공법에 대한 내용을 소개하고자 한다. 터널 손상분야의 경우 현재에도 다양한 시도가 이루어지고 있는데 본 기사에서는 캐나다

URL(Underground Research laboratory) 현장에서의 경험을 중심으로 소개하며 그라우팅의 경우 최근 국내에서도 개발 완료되어 실용화 단계에 있는 컴퓨터를 이용한 시공관리 기법(computer aided grouting evaluation system)의 적용성에 관해서 소개하고자 한다.

2. 터널 굴착으로 인한 주변지반의 손상

2.1 터널 굴착에 있어 주변지반 손상의 정의

터널의 시공으로 인한 주변지반의 상태 변화는 굴착과정에서의 발파 및 기계굴착으로 인한 주변 지반에 대한 영향과 공동의 형성으로 인하여 터널 주변 지반에 작용하는 초기 지압의 집중 및 이완에 기인한다. 굴착 및 초기

지반응력에 의한 주변지반의 손상은 상호 독립적인 것이 아니라 연계되어 발생할 것이다.

한편 국내에서는 지반 “이완” 및 “손상”의 단어가 혼용되고 있는 실정인데 “손상”이 더욱 적합한 단어로 판단된다. 이완의 경우 정신이나 육체가 풀어지고 느슨해진 상태를 의미하는 것으로 반대 개념인 수축과 더불어 가역적(reversible) 변형의 발생을 의미하는 것으로 이해될 수 있으므로 비가역적(irreversible) 변형을 나타내는 손상이 터널하중과 관련된 부분으로 더욱 적절한 용어로 판단된다.

터널 굴착으로 인하여 공동 주변지반의 가역 및 비가역적인 현상의 발생으로 손상(damage) 및 교란(disturbance)영역을 발생시킨다. Tang 등(2005)은 손상 및 교란영역에 대하여 다음과 같이 정의 내리고 있다.

- The EDZ (Excavation disturbance Zone) is a zone with hydromechanical and geochemical modifications, without major changes in flow and transport properties.
- The EDZ (Excavation Damage Zone) is a zone in

which hydromechanical and geochemical modification induce significant changes in flow and transport properties. These changes can for example, include one or more orders-of-magnitude increase in flow permeability.

이상의 정의를 바탕으로 손상영역은 비가역적인 변형 및 파쇄가 발생한 구간으로서 해당 구간에서는 투수계수의 증가 및 장기강도의 저하가 예상되는 영역으로서 터널에 작용하는 하중과의 상관성이 있을 것으로 판단된다.

2.2 현장실험을 통한 손상영역 관측

손상영역의 발생에 대해서 현장에서의 계측이 용이하지 않으나 캐나다에서 핵폐기물 저장시설과 관련하여 AECL(Atomic Energy of Canada Limited)에서 주관하고 있는 URL(Underground Research Laboratory)에서 다양한 실험이 수행되었다. 본 절에서는 여러 실험 결과 중 공동형성으로 인한 주변 암반의 거동 및 반응에 대해 소개하고자 한다.

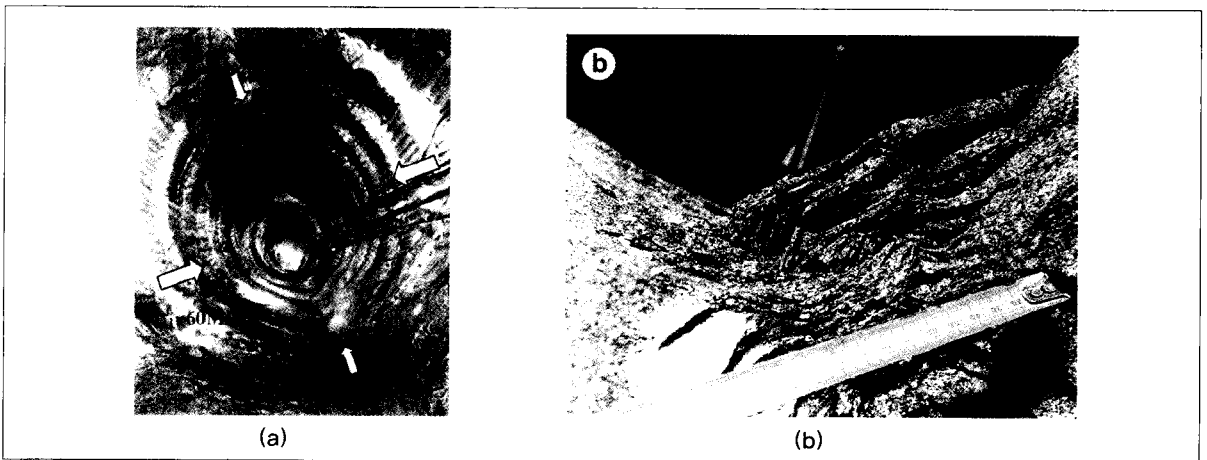


그림 1. (a) 천단부와 하단부 부위에 V 형태의 노치가 생성된 상태 (Cai & Kaiser, 2005)
(b) 노치가 형성된 위치에서의 근접사진 (Read, 2004)

터널 주변 지반의 손상 및 그라우팅 보강

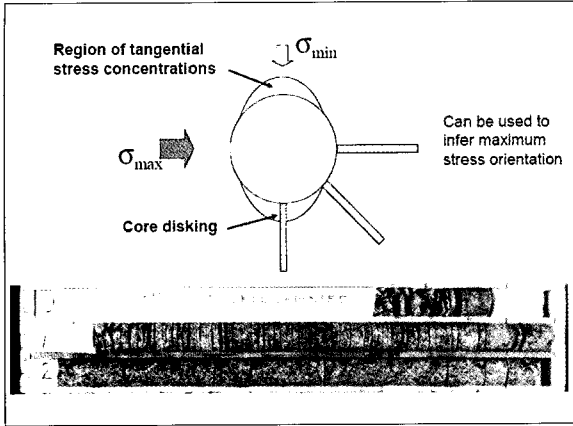


그림 2. 코어 디스킹 발생 (Martin, 2005)

여러 종류의 실험중 지하 420m 위치에서 직경 3.5m 길이 46m 터널을 굴착하여 터널 굴착에 따른 주변지반의 반응을 관찰하는 실험이 공동 주변 손상과 관련된 실험으로서 이때 주변지반의 손상을 최소화하기 위하여 발파가 아닌 수압 할렬에 의한 굴착이 이루어 졌다. 초기지압 조건은 최대주응력이 60MPa, 최소주응력이 11MPa 작용하고 있는 상황이다. 실험이 이루어진 위치에서의 암반조건은 화강섬록암이 화강암에 관입된 상태이며, 불연속면이 간헐적으로 위치해 있으며 변질되지 않은 상태이다. 굴착후 표면적인 터널주변의 손상 발생은 그림 1(1)과 같이 V 형태의 노치가 터널의 천단 및 하단부에 발생한 것을 확인할 수 있다.

초기지압과 굴착으로 인한 응력집중 및 이완현상으로 인하여 점진적인 파괴가 발생하였는데 응력집중으로 인한 국부적인 크랙의 발생 이후 해당 기점을 중심으로 slabbing과 spalling이 발생하였다. 얇은 박판형태의 slab이 발생하는 것은 전단(shear), 할렬(splitting), 좌굴(buckling)에 기인하며, 점진적인 slabbing이 발생한 후 최종적으로 천단과 하단부에 V형 노치가 형성된 단면이 생성된다(그림 1(a)).

V 형 노치의 발생은 최소주응력의 수직방향으로서 국부적인 손상이 시작하는 위치이며 그림 1(b)와 같이 상당

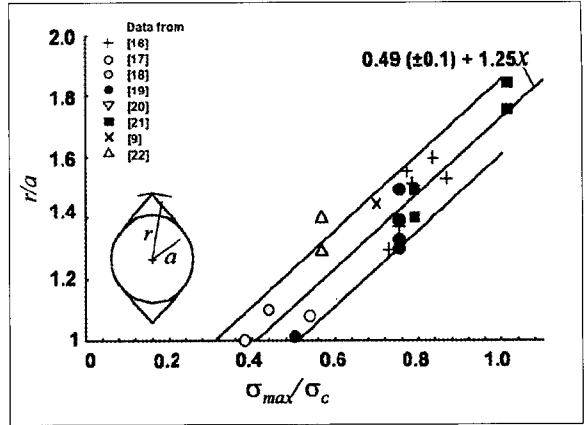


그림 3. 경계부 최대 응력과 암석의 일축압축강도의 상관성을 바탕으로 원형 터널의 파괴 발생 범위 (Diederichs, 2004)

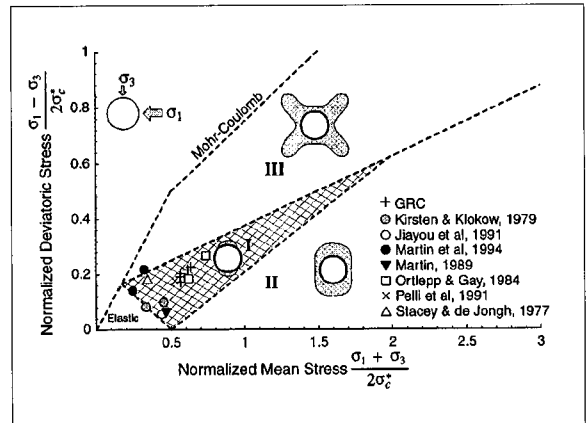


그림 4. 무지보 공동에 작용하는 초기지압응력과 파괴모드의 상관성 (Martin 등, 1999)

한 손상이 발생한다. 노치의 발생으로 어느 정도 안정화된 상태에서 수평방향으로 시추를 하면 그림 2와 같이 코어 디스킹(core disking) 현상이 관측된다. 코어 디스킹과 slabbing 현상은 결국 취성의 암석이 파괴되는 기본 메커니즘은 인장에 기인함을 나타내고 있다.

Diederichs 등(2004)는 터널주변 손상이 발생한 여러 케이스들의 자료를 바탕으로 그림 3과 같은 내용을 제안하고 있다. 그림상에서 sigma_max는 경계부에서의 최대응력을 나타내며 sigma_c 무결암의 일축압축강도이다. 따라서 그림 3

기술강좌

터널 주변 지반의 손상 및 그라우팅 보강

의 내용을 바탕으로 판단하면 초기지압조건에 의한 경계부에서의 응력이 암석의 일축압축강도의 40% 이하인 경우 손상이 발생하지 않는 것을 알 수 있다.

이상과 같은 V형 노치와 같은 손상영역의 발생 범위는 원지반의 초기지압과 암석의 일축강도의 크기에 의존적임을 알 수 있다. 또한 초기 지압은 손상영역의 발생 범위 뿐만 아니라 손상의 형태에도 영향을 미친다(그림 4).

2.3 불연속체 조건에서의 공동주변 지반의 거동

이상의 내용은 암반내 불연속면의 빈도가 높지 않아서 암반이 불연속체기이기 보다는 연속체 거동을 하는 조건에서 나타나는 현상이라 할 수 있을 것이다. 따라서 불연속면의 빈도가 높은 현장에서는 앞서 언급한 손상거동과 다른 거동을 보일 수도 있다. 불연속체 조건에서의 터널 주변의 손상은 원지반의 암석 공학적 특성, 불연속면의 방향성, 강성, 두께, 마찰특성 등 여러 요소에 영향을 받을 것이다. 또한 불연속면이 존재하는 경우 터널주변에서의 거동은 응력 집중으로 인한 암반 블록의 파괴 및 활동이 초기지압 및 암석의 강도에 따라 동시에 혹은 개별적으로 발생할 수 있을 것이다.

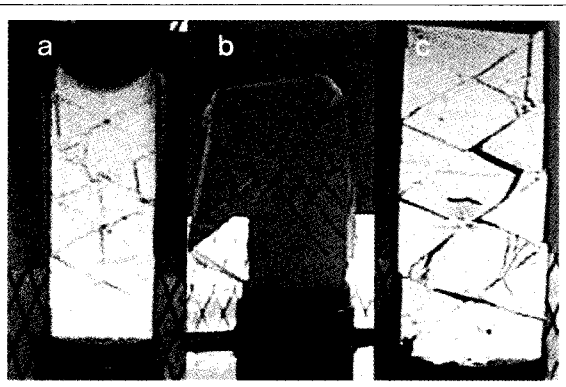


그림 5. 불연속면의 각도에 따른 불연속체 모델의 파괴모드 (Kulatilake, 2001)
 (a) 암석의 파괴 (b) 불연속면을 따른 활동
 (c) 암석파괴 + 불연속면 활동

Kulatilake 등(2001)의 불연속체 모델에 대한 일축압축 실험결과를 살펴보면 수평방향을 기준으로 불연속면의 각도가 저각인 경우 암석의 파괴가 발생하며 고각인 경우 불연속면을 따라서 활동이 주로 발생하였으며, 불연속면의 각도가 중간 수준인 경우 파괴와 활동이 동시에 발생하는 현상이 관측되었다(그림 5 참조).

이러한 결과는 터널 주변에 불연속면이 존재할 경우 손상영역의 발생은 불연속면의 마찰거동에 영향을 미치는 요소와 암반의 파괴에 영향을 미치는 요소의 상대적인 우세성에 의해 손상이 발생함을 알 수 있다.

그림 6은 불연속면이 있는 경우에 대한 모델실험결과의 검증을 위한 PFC 해석 결과이며 모델의 크기는 40×40cm이며 중앙부 공동의 크기는 8cm이다. 회색으로 표현된 부분이 불연속면을 나타내며 불연속면의 간격은 법선방향으로 4cm이다. 구속압이 5MPa 작용하는 상황이므로 일축압축 조건에서와 같은 암반 블록의 활동이 발생하지는 않았으며 불연속면의 각도가 고각인 경우 모암의

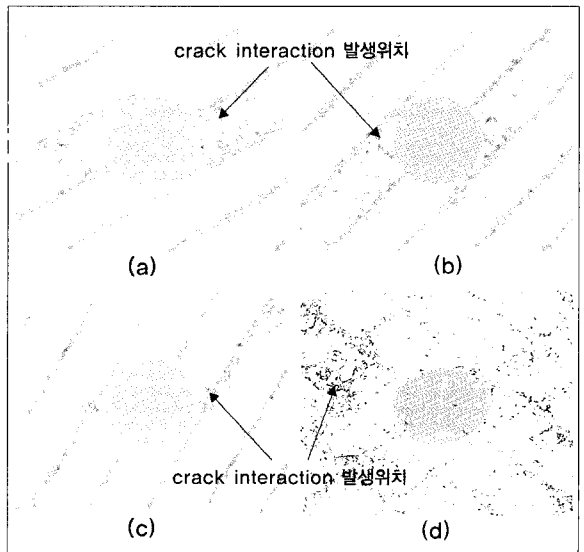


그림 6. 불연속면방향 및 빈도에 따른 공동주변 거동 해석 결과
 (a) 불연속면각도 30°(수평방향 기준) (b) 불연속면방향 45°
 (c) 불연속면방향 60° (d) 불연속면방향 45° (양방향) (붉은색 선은 전단크랙, 검은색 선은 인장크랙을 나타냄)

파괴에 의한 손상이 발생하였으며 저각인 경우 파괴심도가 얕은것을 알 수 있다. 또한 불연속면이 한 방향과 양 방향으로 발달한 경우를 비교해 보면 (45° 조건) 불연속면이 한 방향으로 발달한 경우에는 불연속면이 이루는 암반부는 slab의 형태가 되어서 단순보의 거동과 유사하며 이때 암반블럭의 파괴는 최대모멘트가 발생하는 지지점에서의 인장파괴가 발생하며 불연속면이 양방향인 경우 암석블럭의 활동과 파괴가 같이 발생하는 것이 관측된다.

이상 간략히 소개된 내용만을 참고하여도 터널 주변 암반의 손상에 영향을 미치는 요인은 상당히 다양하며 손상의 발생은 복잡한 과정을 거치는 것으로 이해된다. 따라서 지반조건에 따른 공동주변의 손상영역에 대한 방향과 범위를 정확히 추정할 수 있다면 상당히 유연한 터널시공(지보재 및 그라우팅 시공에 있어)이 가능할 것으로 판단된다.

정도, 손상 발생으로 인한 주변지반의 불균질성등으로 인하여 유사한 지반조건이더라도 발생한 손상정도에 따라 그라우팅 패턴이 달라질 수 있다(서울시, 1996).

그라우팅 시공에 있어 지반의 간극율, 투수성, 지하수 상황, 재료의 침투성 등 여러 가지 변수를 가지고 있으므로 설계단계에 있어 특정한 몇 가지 변수를 가지고 그라우팅 설계를 하기에는 한계가 있다. 그러므로 실제 그라우팅 주입단계에서 주입상태를 파악하여 시공관리 하는 것이 가장 확실한 방법이 될 것이다. 이러한 목적을 위하여 그라우팅에 대한 설계 및 시공관리를 일괄적으로 관리할 수 있는 시스템을 소개하고자 한다.

3. 그라우팅 선진 시공 관리시스템

3.1 개요

터널에서의 그라우팅은 지반 조건과 지하수 조건은 물론 터널 굴착시의 응력분포, 이완영역범위, 주입재의 침투성, 환경영향 등을 고려하여 주입목적을 충분히 달성할 수 있는 방법으로 시공되어야 하며, 터널시공시와 지반보강을 위한 그라우팅 시공과정은 서로 상이할 수 있으나 그라우트재의 주입은 결국 지반조건에 의존적이다. 특히 손상이 발생한 터널주변 지반에서의 그라우팅의 경우 발생된 손상으로 인한 주입경로의 연결

3.2 그라우팅 설계 · 시공관리 시스템

그라우팅 주입에 있어 주입관리는 조사, 설계, 시공모니터링, 변상계측, 자료축적의 각 분야를 일괄적으로 시행할 수 있는 AGS(All-in-one Automatic Grouting System)를 적용함으로써 시공 전 대상지반 특성평가, 설

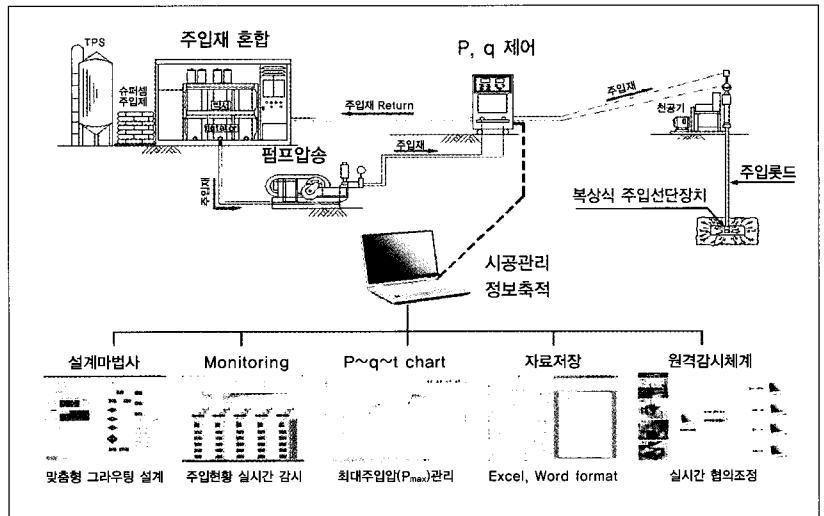


그림 7. AGS 적용 모식도 ; 한계주입입(p_{cr})과 한계주입속도(q_{cr})의 한계내에서 그라우팅이 시행되도록 관리하며, 주입입(p), 주입속도(q), 주입시간(t)과의 관계를 실시간으로 확인하는 설계 · 시공관리 시스템.

기술 강좌

터널 주변 지반의 손상 및 그라우팅 보강

계사양 검토 및 조정, 시공 중 주입현황감시, data 축적 및 주입시공보고서 작성 등을 통합적으로 관리 할 수 있으며 적용 모식도는 그림 7과 같다.

3.3 주입 전 지반특성 평가

주입 대상지반의 지반특성과 당초 설계에 반영된 주입재 조건, 주입방법에 의한 침투유형을 평가하기 위해서 주수시험 시행하며, 주입 중 침투 시험은 토사지반과 암반지반으로 구분하여 적용할 수 있다.

1) 토사지반 주수시험 ; 한계주수시험

와세다대학의 모리연구실에서는 약액주입에 따른 지반의 고결상황에 대해 연구를 실시하여 한계주입속도 이론을 제시하였으며, 이를 바탕으로 토사지반에서 침투주입으로 양호한 고결체를 형성시킬 수 있는 한계주입압(p_{cr})과 한계주입속도(q_{cr})를 결정하기 위한 주수시험을 구축하였으며, 시험방법은 그림 8과 같이 시험 홀을 보링하여, 그 저부에 주입선단장치를 설치하고 주입관을 셋팅한 후 물을 주입하면, 지반중의 주입선단장치에서 부터 물이 주입되어 그 때의 주입속도(q)와 유효 주입압(p)을 구해서 도시하면, 그림 8(b)에 나타나듯이 관계가 구해진다.

다. 그림 8(b)에는, 지표면에서부터 6m와 8m 깊이의 점에서의 2열이 쌓여있지만 어느 쪽도 초기의 단계에서는 p-q관계가 직선성을 가지고 있다. 이 사이에 확실히 침투주입이 이루어지고 있는 것으로 생각할 수 있기 때문에, 이 구배를 초기직선구배 i_{ow} 라고 한다. 이 시점부터 더욱 주입속도를 높이면 p-q 곡선은 초기직선에서부터 떨어져서, 주입속도를 증가시켜도 주입압이 증가하지 않게 된다. 그 상태가 되면 할렬이 발생된다. 모리 등은 한계주입속도를 약액이 할렬·침투주입상태에서 지반 내에 주입되어 가서, 양호한 고결형상을 나타낼 때의 주입속도를 그 상한치라고 정의하고, 이것이 실용적인 속도로 충분한 개량지반을 만드는 것이 가능한 것이라고 생각했다. 거기서 한계구배 i_{cr} 을 다음과 같이 구한다. 여기서 정수사는 한계비로써 본 시험은 물을 사용하여 실시하기 때문에 최적 주입속도를 산출하는 단계에서 약액의 점성을 보정해야 한다(한국지오택, 2003).

$$i_{cr} = \lambda \cdot i_{ow}$$

AGS 상에서의 토사지반 한계주수 시험에 대한 화면의 구성은 그림 9와 같다.

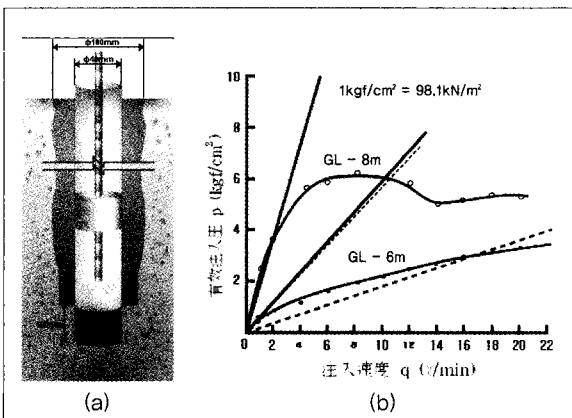


그림 8. 한계주수시험 모식도

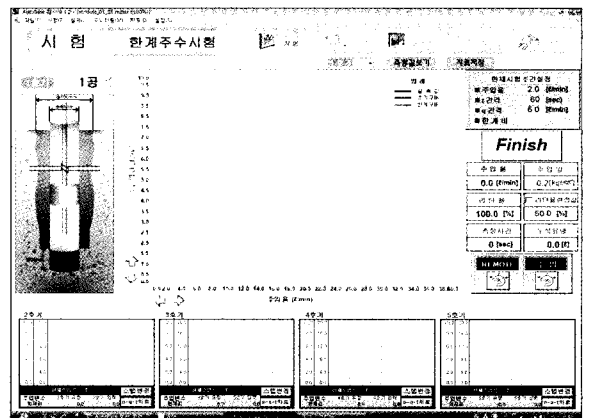


그림 9. 한계주수시험

기술 강좌

터널 주변 지반의 손상 및 그라우팅 보강

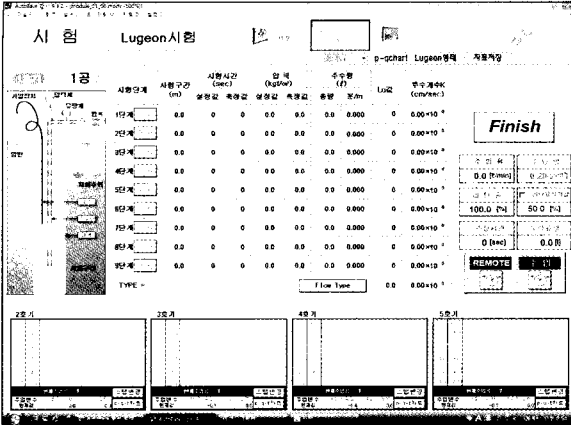


그림 10. Lugeon 시험 ; 9단계별 압력변화 시험가능

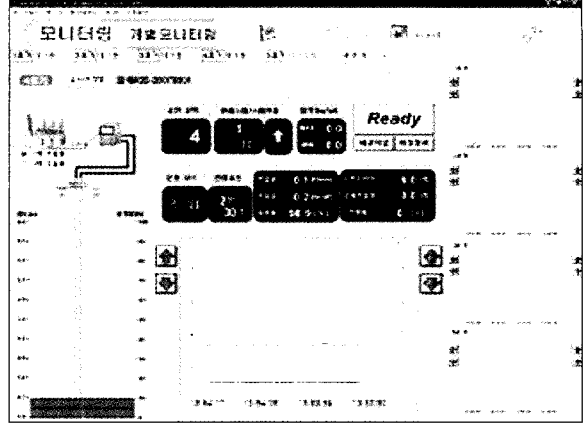


그림 11. p-q-t 검출 시험

2) 암반지반 주수시험 ; Lugeon 시험

암반지반의 주수시험은 국내에서도 많이 시험하고 Lugeon 시험을 시스템화 시킨 방법으로 단계별로 압력을 변화시키면서 Lugeon 시험을 하면 암반의 상태 즉 절리에 끼어있는 점토분의 유거, 파쇄, 변위여부를 알 수 있으며, 시공 시 적용할 적정 주입압력을 결정하기 위해서 임의의 압력(random pressure)을 가하면 암석의 파쇄압력(cracking pressure)도 알 수 있다(농촌공사, 2001). AGS의 화면구성은 그림 10과 같다.

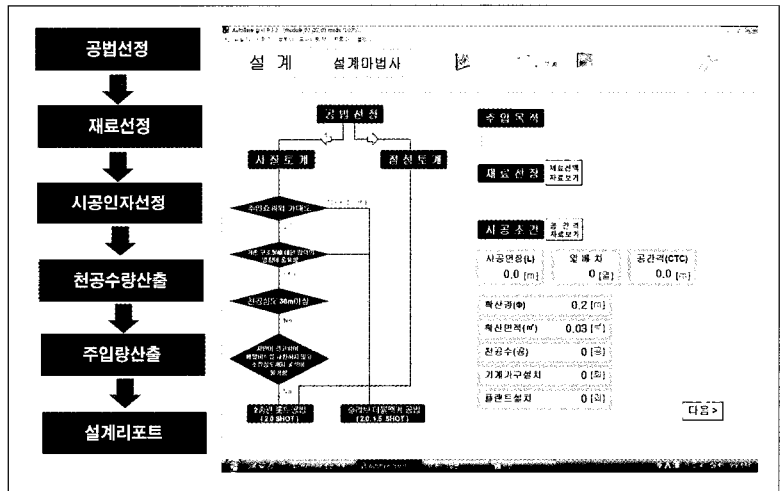


그림 12. 그라우팅 설계 프로세스

3) P~q~t chart 검출 및 분석

주수시험을 통해 토사지반과 암반지반의 한계주입압(p_{cr})과 한계주입속도(q_{cr})가 결정되면 실제 원설계배합의 주입재를 이용하여 한계주입압력을 설정하지 않은 상태에서 주입압(p)과 주입속도(q) 변화를 관측하여 대상지반의 주입특성을 파악함으로써 원설계조건의 적합성을 확인하기 위한 주입시험으로 화면구성은 그림 11과 같다.

3.4 그라우팅 설계사양 검토 및 조정

주입 전 지반특성 평가시험의 성과와 설계 당시 지반조사에 근거하여 제시된 주입압(p), 주입속도(q), 주입재 종류 및 공법 등을 비교 검토하여 현장여건에 적합하게 시공조건을 설계마법사를 이용하여 조정한다.

1) 주입재료 검토

기술강좌

터널 주변 지반의 손상 및 그라우팅 보강

〈표 1〉 지반특성별 주입재료 적용형태 분류
 〈표 1〉 지반특성별 주입재료 적용형태 분류
 〈표 1〉 지반특성별 주입재료 적용형태 분류

지반 특성		주입재료	형 태
대공극		PBG (Paste Backfill Grouts)	페이스트
파쇄대층 및 암반균열층		MCG (Micro Cement Grouts)	현탁액형
토사층	$k = a \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ 이상	NCG (Normal Cement Grouts)	현탁액형
	$k = a \times 10^{-2 \sim -4} \text{cm/sec}$	MCG (Micro Cement Grouts)	현탁액형
	$k = a \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 이하	ICG (Inorganic Chemical Grouts)	용액형

〈표 2〉 주입재료별 대상지반 분류

분 류	분말도	용 도	대상지반
초미립자 시멘트	8,000 cm ² /g 이상	침투주입	사질토, 풍화토, 균열암반
콜로이드 시멘트	6,000 cm ² /g 이상	침투할릴	점성사질토
보통시멘트	4,000 cm ² /g 이상	할릴충전	점성토, 대공극

〈표 3〉 주입목적 분류

구 분		내 용
공동(배면)충전 Cavity(Back) Filling		암반내 용융동, 터널복공 및 돌쌓기공의 배면공동, 구축물 하부 공동 등의 충전 및 뒷채움 주입.
균열 주입	암반강화주입 Consolidation Grouting	파쇄 또는 균열암반의 변형성 개량과 지지력 증가.
	접속(밀착)주입 Joint(Contact) Grouting	구축물간 및 암반간의 밀착 일체화.
	지수(차수)주입 Curtain(Blanket) Grouting	침투류 억제, 양압력 저하, 누수방지.

지반보강을 위한 주입재는 주입목적(지수, 지반강화 등)과 주입의 형태(침투주입, 맥상주입)를 확인하고 지반의 간극율, 투수성, 지하수 상황, 재료의 침투성, 강도와 내구성을 고려하여 선택하고 현장토질조사 및 주수시험을 근거하여 지반특성이 확인된 후 다음 표 1~4와 같은 기준에 의해서 적절한 주입재료를 선택한다(천병식, 1998).

2) 주입압(p), 주입속도(q), 주입경(D) 적합성 검토

본 기술에서는 선행 p~q~t chart 검출 및 주입 전 지반특성을 분석하여 표준주입속도(p), 스텝당 설계주입량을 가정하고 1 스텝당 주입압력(p)을 파악해서 설계가정 조건 적합성을 검토하며 검토방법은 다음과 같다(米倉 亮三, 2007).

〈표 4〉 주입재료별 대상지반 공극 및 균열 특성

구 분	내 용
시멘트(에어)몰탈주입 Cement(Air) Mortar Grouting	cm급 폭이상의 공동 충전
보통시멘트 시멘트 주입재 주입 Normal Cement Milk Grouting	mm급 폭의 대공극 충전
초미립자 시멘트주재 주입 Superfine Cement Milk Grouting	μm급 폭의 미세공극 충전

① 주입설계가정

- q ; 표준주입속도 - 현장 주입시험을 통해 도출.
- Q ; 스텝당 설계주입량 - 시공계획에 따른 정량으로 가정.

② 1 스텝당 주입압력 파악

- 실제 주입되는 p~q chart 통해 초기압력, 최종압력 분석.

③ 적정 주입속도(q') 결정.

- 스텝당 최종압력(p₂) ≥ 스텝당 초기압력(p₁) 만족 여부 확인.
- 적정 주입속도(q') ≤ 표준주입속도(q) 확인.
- 적정 주입속도 결정.

④ 침투반경(r) 추정.

- 시험시공 중 적정 주입속도(q)와 주입압력(p) 결정.
- Maag식에 의해 침투반경 추정.

$$p = \left(\frac{q'}{4\pi k}\right) \times \left\{ \left(\frac{\mu_g}{\mu_w}\right) \times \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r}\right) + \frac{1}{r} + \frac{1}{R} \right\}$$

- 현장 투수계수(k) 결정.
- 주입구 반경(r₁).

⑤ 침투반경 검토 확인.

이를 정리한 주입설계 조정 flow는 그림 13과 같다.

3.5 시공관리

그라우팅 시공관리는 앞에서 결정된 시공인자 한계주입압력(p_{cr}), 한계주입속도(q_{cr})를 이용하여 관리하며, 현장 지반특성에 따라 즉시 조정·대처할 수 있도록 구성되어 있다.

1) Monitoring

실제 그라우팅 현장에서 주입되는 주입기는 1~5호기까지 구성이 되어 있으며, 이중 5호기는 비상용으로 배치되었다. 이와 같이 본 시스템에서는 1~5호기까지 전체시공을 한눈에 확인할 수 있는 전체화면과 각각의 호기별로 모니터할 수 있는 개별 모니터로 구성되어 있으며, 한계주입압(p_{cr})과 한계주입속도(q_{cr}) 범위 내에서 실시간으로 그라우팅 상황을 확인하면서 스텝별, 각 주입공별 주

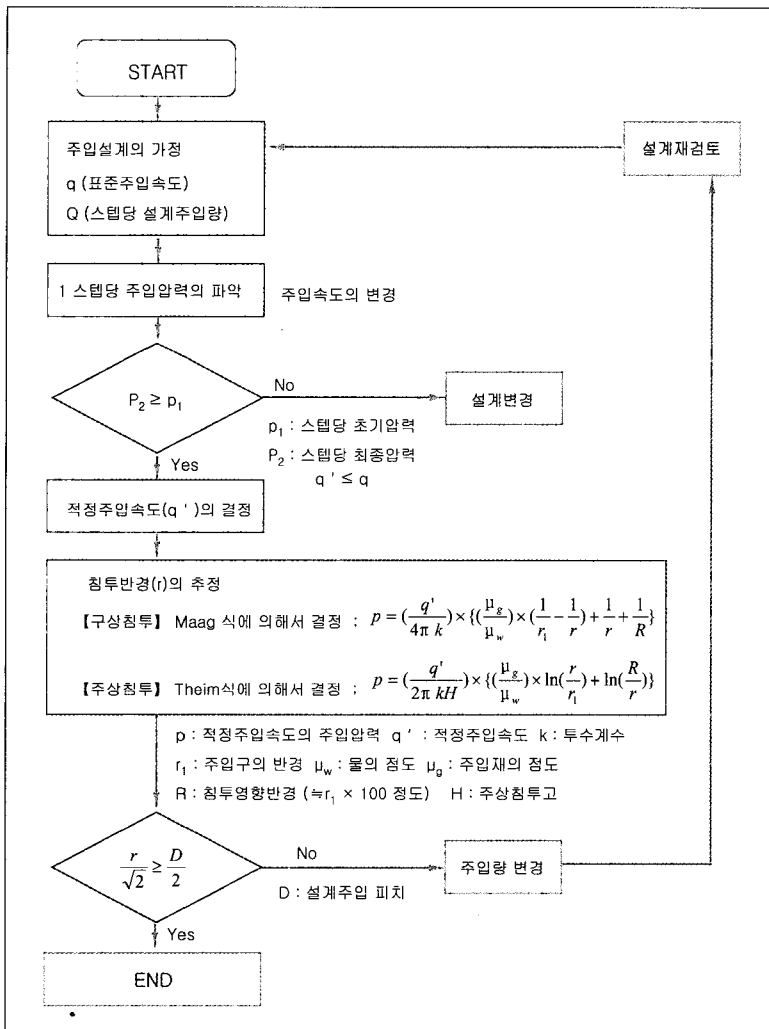


그림 13. 주입설계 조정 flow

공을 재배열하여 그라우팅 주입현황 단면(grouting profile section)을 제공하며 화면출력 예는 그림 16과 같다.

3) 주입일보

현장 시험시공, 설계마법사, p~q~t chart 생성, 지반 주입현황도 등 모든 자료들을 기록 저장하여 사후관리를 지원하는 기능으로 자료는 엑셀과 워드양식으로 기록 및 출력하며 화면출력 예는 그림17과 같다.

4. 결론

터널 주변 손상의 발생에 대한 이해와 손상 발생으로 인한 지하수 및 해수의 유입을 차감하기 위한 그라우팅 기술은 안정적인 터널의 시공을 위한 필수적인 요소이다. 터널 주변 지반의 손상의 방향 및 심도를 사전 추정할 수 있다면 그라우팅의 방향 및 주입범위를 효과적으로 결정할 수 있을 것이다. 터널 주변지반에서의 손상의 발생은 다양한 원지반의 암반 특성(초기지압, 암반강도, 절리방향, 강성, 두께, 폭, 마찰거동, 암석 파괴특성)에 의존적이므로 이러한 부분들에 대한 고려가 필요하며 이에 대한 추가 연구가 필요하다. 또한 본 기사에서 소개하는 AGS는 그라우팅 기술발전 단계에서 최근의 핵심기술로서 사용이 간단하며 기존장비에 적용이 가능하다. 따라서 과도한 비용 상승도 없으며 과도한 주입재의 이탈을 방지할 수 있으므로 경제성을 높일 수도 있다. 이러한 장점을 활용하여 향후 정밀시공을 요구하는 많은 지하구조물의 차수보강 그라우팅에서 AGS의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

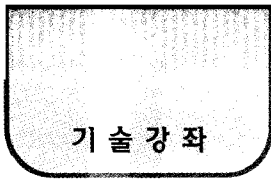
감사의 글

본 기사는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2006년도 건설핵심기술연구개발

사업(과제번호: 05-건설핵심 D10, 과제명: 해저시설물 차폐기술 연구)을 통한 연구결과를 포함하고 있습니다. 저자 일동은 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 농촌공사(2001), "댐그라우팅 설계 및 시공실무치침서", 농촌공사, pp 63~78.
2. 서울시(1996), "지반보강편람-주입공법 중심", 서울특별시, pp 17~38.
3. 천병식(1998), "최신 지반주입 -이론과 실제-", 원기술, pp.23~37.
4. (주)한국지오택(2003), "마이크로시멘트 현장제조 및 실시간 시공모니터링을 이용한 최적그라우팅 시스템 개발 연구", R&D/목적 1-07, 건설교통부, pp.187~200.
5. Cai, M. and Kaiser, P. K. (2005), "Assessment of excavation damaged zone using a micromechanics model" Tunnelling and Underground Space Technology 20. pp.301-310.
6. Diederichs, M. S., Kaiser, P. K., and Eberhardt, E. (2004), "Damage initiation and propagation in hard rock during tunnelling and the influence of near-face stress rotation" International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 41, pp.785-812.
7. Kulatilake, P.H.S.W., Malama, B. and Wang, J. "Physical and particle flow modeling of jointed rock block behavior under uniaxial loading" International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 38, pp.647-657.
8. Martin, D. (2005), Quantifying in-situ stress, KIGAM seminar, Deajeon, Korea.
9. Martine, C. D. Kaiser, P. K. and McCreath, D. R. (1999) "Hoek-Brown parameters for predicting the depth of brittle failure around tunnels" Canadian Geotechnical Journal, 36, 136-151.
10. Read, R. S. (2004), "20 years of excavation response studies at AECL's Underground Research



기술강좌

터널 주변 지반의 손상 및 그라우팅 보강

Laboratory" International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 41, pp.1251-1275.

11. Tsang, C-F, Bernier, F. and Davis, C. (2005), "Geohydromechanical processes in the excavation damaged zone in crystalline rock, rock salt, and indurated and plastic clays-in the context of

radioactive waste disposal. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 42, pp.109-125.

12. 米倉 亮三, 島田 俊介, 大野 康年(2007), "恒久グラウト・本設注入工法; 薬液注入の耐久性と耐震補強の設計施工", 山海堂, pp49~119.

● 우리학회 발간물 관련 인쇄업체 공개 입찰 결과 알림 ●

지난 8월 5일 우리학회에서는 인쇄업체 공개입찰을 실시, CIR, 에이스나라, 삼우 등 3개 업체가 참여하여 CIR이 낙찰되었습니다.

입찰평가 방식은 가격 30%, 수행능력(기술, 사후관리능력) 70%를 기준으로 학회지편집, 논문집편집, 총무, 재무이사가 평가를 담당하였으며, 2009년 5월까지 우리 학회의 모든 발간물은 **CIR**에 맡겨지게 됩니다.

● 2008년도 (제5회) 서울특별시 토목상 시상식 ●

서울특별시 토목상 우수상 수상 - 신중호 교수(논문집 전담이사)

지난 9월 10일(수요일) 세종문화회관 세종홀에서 개최된 2008년도 서울특별시 토목상 시상식에서 우리 학회 논문집 전담이사이신 **신중호** 교수(건국대학교)가 서울시 **토목상 우수상**을 수상하였습니다. 수상을 진심으로 축하드립니다.