

## 한강하저 터널에서의 지반상태에 따른 보강공법

- 그라우팅을 중심으로 -

박 남서\*1

\*1 : 대덕공영 주식회사, 대표이사

### 요 약 / Abstract

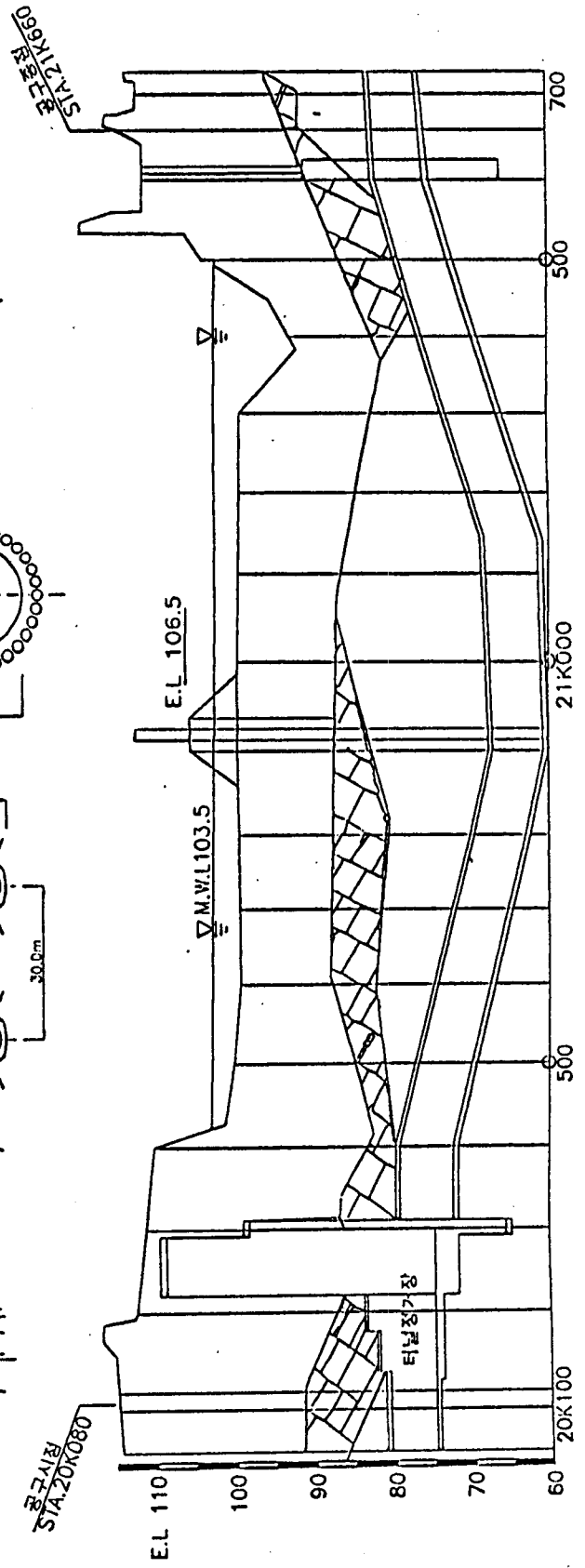
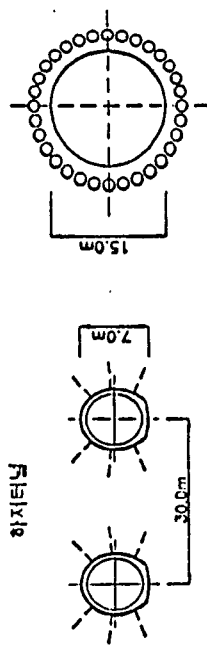
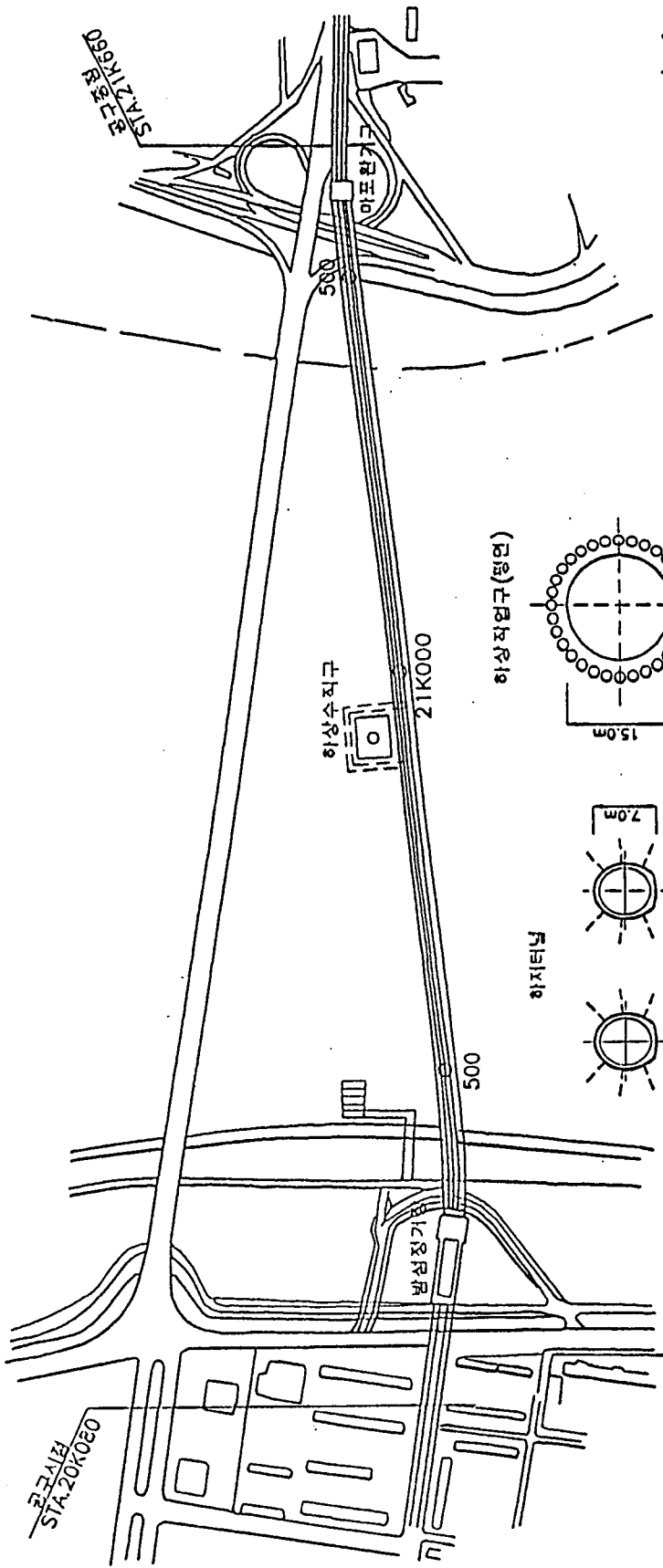
한강하저의 지질은 수많은 대·소 단층들로 인해 심하게 교란되어 있어 지질상황의 변화가 매우 심하며, 터널을 굴착함에 있어 지하수의 유입을 차단하는 것이 안전시공을 위한 필수 과제로 직면한다. 본 고에서는 기 시공실적을 바탕으로 암반상태에 따른 차수그라우팅의 패턴을 비교·검토하였다. 본 구간에서는 암반상태에 따라 5가지 패턴이 적용되었으며, 경암 암반일 경우는 상부반단면만을 주입범위(주입범위 : 3.5m, 28공)로 하고 암반의 전단강도증진을 위해 강관보강을 시행하였다. 연암 암반 내지 파쇄대가 부분적으로 협재된 경우는 상부반단면만을 주입하되 주입범위 및 그라우팅 공수를 늘리는 방식(주입범위 : 5~7m, 42~56공)으로 보강하였다. 풍화암 암반의 경우는 전단면을 주입범위로 하여 그라우팅 공수를 늘림(주입범위 : 7m, 81공)으로서 차수효과를 증진시켰다. 또한 본 공사구간 중 가장 난제였던 연약지반대(잔류토 내지 풍화토) 85m 구간은 자문회의 등을 거쳐 주입범위, 주입길이 및 주입공수, bulk head 구간을 늘려 시공하고, 굴착하면서 차수효과를 확인하는 방식을 취하였다.

### 1. 서 언

서울시 도시 교통난을 완화하기 위하여 시공중에 있는 서울시 지하철 5호선 구간중 한강 하저부분을 통과하는 5-18공구 하저터널은 한강 수면하 23cm에서 굴착 공사를 시행중에 있는 국내 최초의 하저 터널로서, 국내의 짧은 경험 상태에서 건설하게 됨으로써 관련학계 및 업계에 많은 논란과 우려를 불러 일으켜 왔다.

한강 하저의 지질은 수많은 대, 소 단층들로 인해 파쇄되고 교란되어져 지질상황의 변화가 매우 심하며 특히 단층점토대 및 깊은 풍화대의 발달로 극도로 연약화된 지반을 만났을때의 작업여건은 최악의 상황이었으나 굴착 진행중 정밀한 지반조사가 시행되고 관계 전문가들로 구성된 자문회의를 통해 안전시공을 위한 의견들이 수렴되어지면서 어려운 난제들이 해결되어졌으며 95년 12월 B갱(하행선) 및 95년 1월 17일에 A갱(상행선)의 관통으로 총연장 1,288m에 달하는 하저터널 전구간이 관통되었다.

본 보고서는 한강하저터널의 지반상태 및 그에 따른 보강공법에 대해 기술하는데 목적을 두었으며, 시공중의 지질조사를 통해 암반상태에 따른 보강패턴의 표준을 설정하고자 하는데 목적이 있다.



<그림 1 > 지하철 5호선 5-18공구 하서터널 종단도

## 2. 지반상태

### 2.1 지질개요

본 공사구간의 지질은 Pre-cambrian에 해당되는 경기 편마암 복합체의 일부로서 주로 호상혹운모 편마암으로 구성되어 있으며, 부분적으로는 변성정도의 차이에 기인하는 것으로 보이는 편마암류(운모편암, 흑연편암)가 일부 인지되는 곳도 있으며, 극히 일부에서는 산성질 Dyke rock의 관입도 있다.

암상은 주로 흑운모로 구성되는 우혹대와 석영, 장석 등으로 구성되는 우백대로 이루어지는 호상구조를 보이는 것이 특징이며, 본 구역에서의 흑연의 산출상태는 층상인 경우 외에 단층파쇄대, 절리 등 불연속면을 따라 2차적으로 충진된 얇은 띠상의 흑연이 매우 불규칙하게 분포하는데, 흑연의 물리적 성질에 기인하는, slip에 의한 slickenside(경면)화한 경우가 거의 대부분으로 이로 인해 본 공사 구간의 암반을 불안정하게 하는 가장 큰 요인이 되고 있다.

본 공사구간의 암반상태는 그 구성암석인 호상편마암의 극심한 이방성(Anisotropy), 즉 오랜 지질시대를 통한 변성 및 변형작용을 거치면서 파쇄되어 수많은 불연속면(단층 및 단층파쇄대, 절리, 엽리 등)들을 형성하고, 이들의 영향으로 인해 본 공사구역에서의 암반상태는 매우 불규칙하게 교란되어져 있으며, 주로 불연속면(특히 단층파쇄대)을 따라 발달하는 풍화대와 단층점토등의 지반강도가 현격히 낮은 지반을 포함하여, 연암대와 경암대 내에서는 암석자체의 강도는 강하나 절리, 엽리 등을 따라 심하게 균열되어 파쇄대를 형성하는 경우가 많다.

### 2.2 불연속면(지질구조)

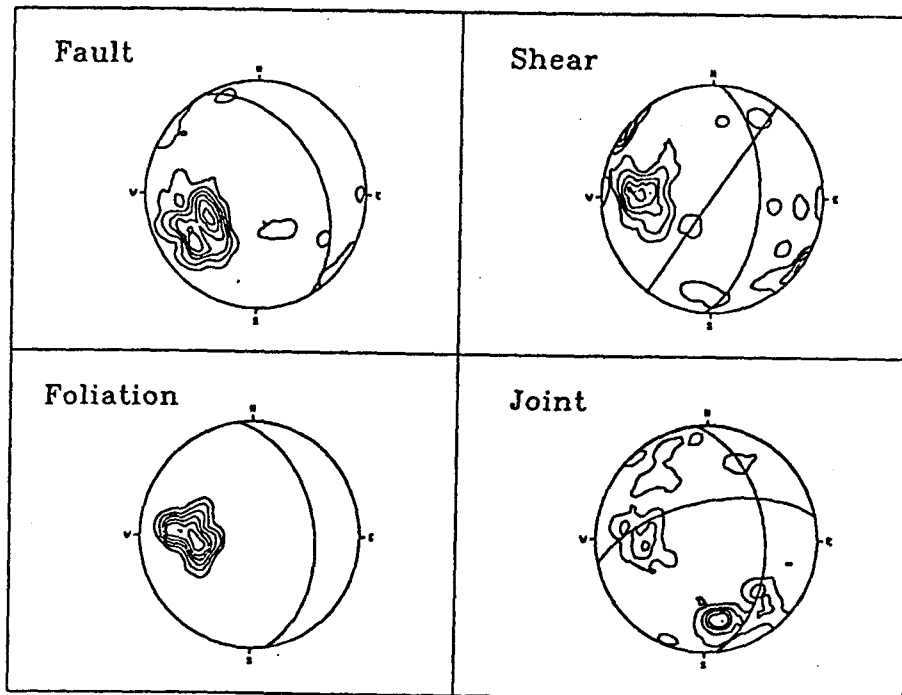
본 하저터널 구간에서의 단층을 포함한 불연속면들의 방향성은 평사투영(Stereographic projection)에 의한 주 분포영역(max. area)을 구해본 결과<표 2-1 및 그림 2-1 참조>

- 1) 단층의 경우 N25W/50NE(N15W~N50°W 영역)의 방향성으로 나타나고
- 2) Sheared plane(강한절리 또는 소규모 단층)의 경우 N12°E/57SE(NS~N20E 영역)의 방향성
- 3) 절리의 경우 N5°W/53NE 및 N78°E/60NW의 2개의 방향성이 거의 직교하면서 Conjugate Joint로써 나타나는 경우가 대부분이고
- 4) 엽리(foliation)의 경우 NS/50E(N5°W~N10°E 영역)의 방향성으로 Sheared plane 혹은 절리계와 거의 나란한 방향성을 보이는 것이 특징이다.

각 불연속면들의 분포빈도수(입력자료수)는 <표 2-2>에서처럼 절리가 49% 정도이고 단층 및 Sheared plane이 약 40% 그외 엽리 및 기타 면구조들이 11% 정도의 순서로 입력자료를 구성하고 있다.

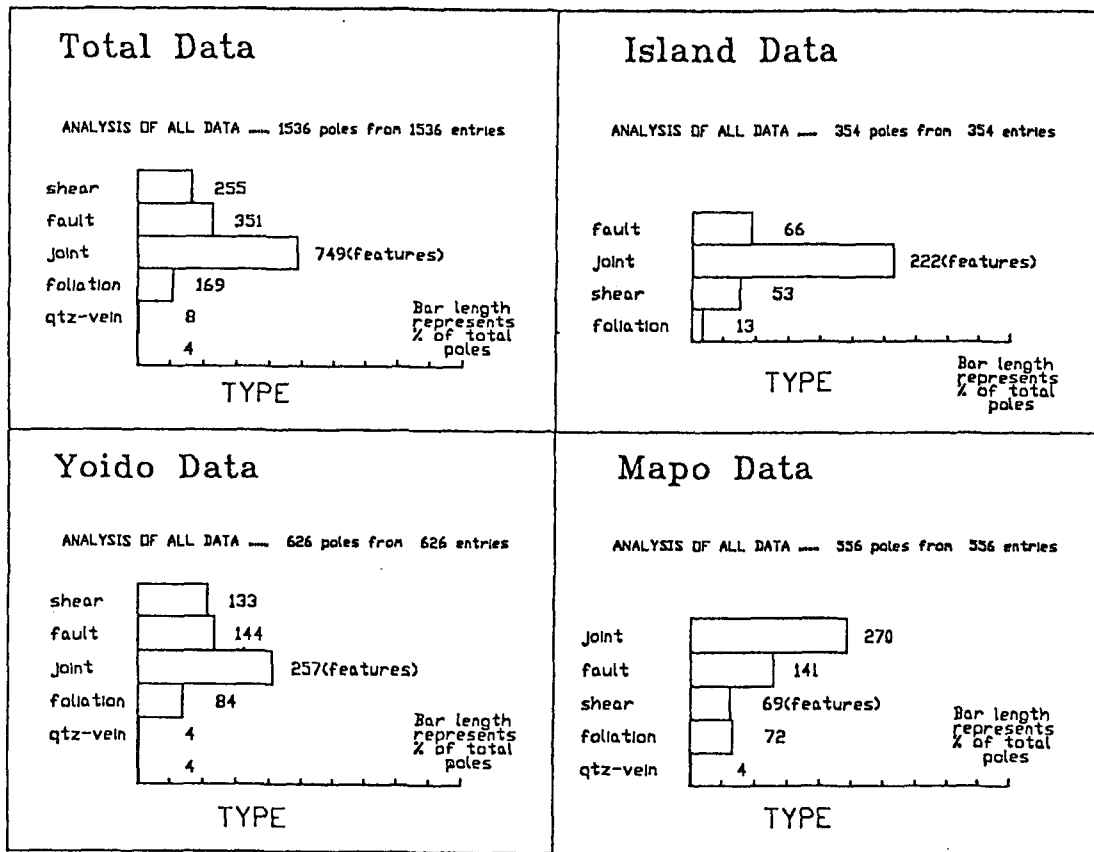
<표 2-1> 한강하저터널 구역별 불연속면 평사투영 결과분석

Domain \ Sets		Set. #1	Set. #2
YOIDO	Fault	N30° W/40° NE	
	Shear	N2° W/55° SE	N34° E/vertical
	Joint	N77° W/63° NW	N6° W/46° NE
	Foliation	N8° W/42° NE	
MAPO	Fault	N29° W/48° NE	
	Shear	N13° W/57° SE	
	Joint	N12° W/46° NE	N74° E/55° NW
	Foliation	N2° E/44° SE	
ISLAND	Fault	N18° W/60° NE	
	Shear	N7° W/63° SE	N20° W/45° NE
	Joint	N5° W/60° NW	N80° E/57° NW
	Foliation	NS/64° E	
5-18 TOTAL	Fault	N23° W/45° NE	N26° W/57° NE
	Shear	N12° W/57° SE	
	Joint	N5° W/53° NE	N78° E/60° NW
	Foliation	N7° W/43° NE	N3° E/58° SE



<그림 2-1> Stereographic Projection : 5-18 Total

<표 2-2 > 입력자료 Histogram



이들 불연속면들 중에서 비교적 큰 규모의 단층 또는 파쇄대로써 존재하면서 깊은 풍화대를 구성하거나 혹은 흑연층의 협재 및 경면(Slickensided plane)의 발달로 인해 시공중 가장 어려웠던 조건에 해당하는 1) 계열의 단층(N25° W/50° NE)의 의 경우 한강의 방향성과 유사한것으로 보아 한강의 성인과 관련되는 단층의 방향성으로 생각되어지고 그의 절리, 엽리를 포함한 소규모 단층 혹은 Sheared plane으로 나타나는 2) NS계열(NS~N20° E 영역)의 불연속면들은 그 노출빈도면에서는 단연 압도적으로 많은 즉 한강하저 지질구조의 주된 방향성이라 할수 있는데 그중에서 소규모 단층 혹은 파쇄대의 경우 그 성격은 주엽리 방향성과 거의 평행한 저각의 Over-thrust 단층의 성격 혹은 그 이동방향이 거의 수평에 가까운 주향이동단층(Strike-slip fault)적인 성격 등으로 생각되어 지며 1) 계열의 단층을 절단하는 경우가 있다.

따라서 2) 계열 단층의 기원에 대한 생각으로써

- 비교적 큰 규모의 단층 생성시 주변부에 수반되어 나타나는 소규모 수반단층이거나
- 혹은 1) 계열 단층 생성후기에 1) 계열단층을 절단하는 새로운 단층군으로써 엽리의 방향성과의 상관 관계로 보아 Over-thrust 구조 혹은 거의 수평에 가까운 이동방향을 가지는 주향이동단층(Strike-slip fault)등으로 복합적으로 구성되어 있는 것으로 판단된다.

이들 단층 및 절리군들이 특히 일정규모 이상의 파쇄대 혹은 강한 연속성을 가질경우 거의 예외없이 흑연층이 협제하게되고 따라서 흑연층의 경면(Slickenside)화로 인한 전단력,마찰력의 현저한 감소로 굴착시 압반 Failure 를 발생시키는 주 원인이 되고 있었다.

특히 그 굴착방향이 불연속면들의 경사방향과 대체로 반대방향(against dipping)인 마포측의 경우 Direct tensional failure의 발생가능성이 항상 존재하고 있으며 여의도측의 경우는 그 반대의 상황으로서 비교적 안정적이라 할수 있으나 불연속면이 규칙적으로 발달하여 단층파쇄대를 따라 풍화가 심하게 진행된 경우에는 막장내의 변위가 크게 발생함으로써 막장의 안정성을 불안정하게 하는 요인이 되고 있었다.

### 3. 보강공법

본 공사구간에서는 암반의 사전보강을 위해 여러 공법을 시행하였다. 그중 특히 상부굴착면의 안정성 확보 및 지반보강을 위한 강관보강공법 및 차수를 위한 L.W.Grouting에 대해 살펴보고자 한다.

#### 3.1 강관 그라우팅

강관 그라우팅공법은 일명 mini-pipe-roof공법이라고도 하는데, 암괴의 전단보강을 함으로써 단층파쇄대 및 파쇄절리의 이탈을 방지하며, 상부굴착면의 안정적 확보 및 Grouting의 2차 효율 증대를 목적으로 시행한다. 주입방식에 따라 강관일단과 강관다단으로 나뉘며 암반이 양호한 경우는 강관일단이 유리하나 대상암반이 절리로 인해 심하게 파쇄되거나 풍화가 많이 진행된 경우 또는 용수가 다소 존재하는 경우에는 강관다단이 유리하다. 본 현장에서는 주입효과를 높이기 위해 강관다단으로 시행하였다. 시공방법은 차수 Grouting완료 후 시행하며 외경 50mm의 강관을 S.L. 상부 120° 내에 암반상태에 따라 13~26개를 시공하며 15cm를 표준시공길이로 하는데 그중 5m를 겹침시공함으로써 막장의 안정성을 도모한다(그림 3-1). 이 공법은 암반 내의 비교적 규모가 큰 block을 interlocking함으로써 대규모 암반붕락에는 효과적이나 파쇄정도가 심한 경우의 소규모 붕락에는 그 효과가 미치지 못하므로 암반파쇄가 심한 경우에는 작업시의 안정성 및 소규모 붕락으로 인한 암반의 이완방지를 위해 길이 3cm의 fore-poling을 시행한다.

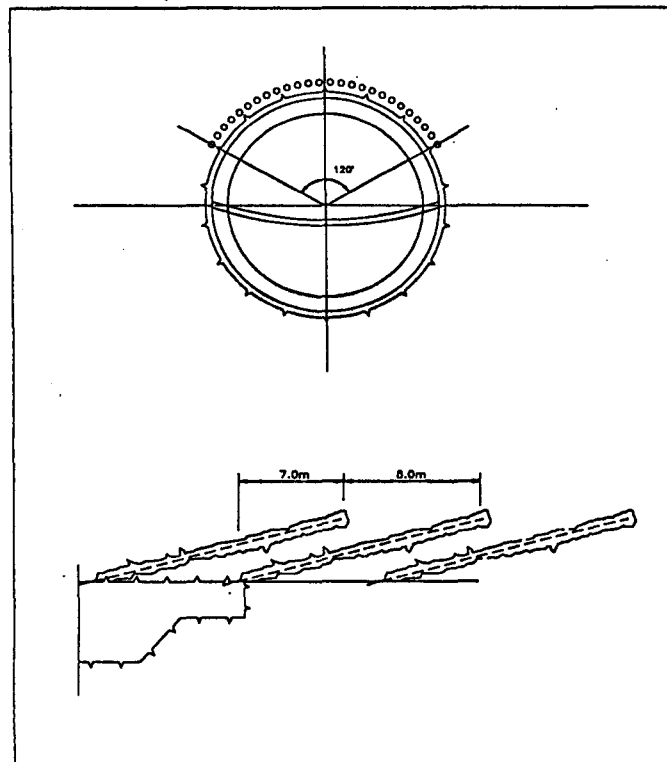


그림 3-1. 강관 보강 계획도

### 3.2 차수 그라우팅

본 공사구간은 한강하저라는 특수한 상황으로서 터널의 안정성 및 시공성 확보를 위해 막장내로 유입되는 지하수량을 줄이는 것이 본 공사의 핵심과제라고 할수 있다.

따라서 본 공사구간에서는 지하수의 유입차단을 위한 현탁액형 Grouting공법을 시행하였으며 이로 인한 차수효과는 매우 크다 할수 있다.

본 공사구간의 차수 grouting의 설계 및 그 내용에 대해 살펴보면 다음과 같다.

차수 grouting의 주입 zone은 원형공동에의 주입시 역학적 해석 및 외국 경험치를 따르면 주입 zone을 아무리 크게 해도 별 의미가 없으며 터널반경의 2~3배가 적정치가 된다고 알려져 있다. 따라서 본 공사구간에서는 주입범위 7m를 표준으로 하며 암반상태 및 시공방법에 따라 주입범위를 다소 변경하였다. 주입간격은 저압주입시의 유효범위 중복을 고려하여 1.5~2.0m 로 하고 주입량은 시공실적인 공동의 주입량 상한치와 이론적 계산 방법인 간극율, 주입공간격, 대상체적 등으로 구해지는 방법으로 부터 주입율을 잠정결정 시공하였다. 또한 막장변형방지, 주입제 및 지하수 유출방지를 목적으로 막장암반상태에 따라 주입장 및 BULK HEAD를 결정하며, 일반적으로 주입장 25m, BULK HEAD 5m를 표준패턴으로 시공하였다.

주입순서는 주입제의 주입대상밖으로의 일출방지와 시공과 병행하여 주입효과의 확인이 용이한 내삼법(외측→내측)으로 시행하며, 동일 line은 2공 간격으로 주입하여 천공시의 주입량이 주입당초의 용수량에서 감소됨으로서 주입효과를 확인하였다.

주입압은 외국기술자 자문(일본 가지마건설, 고젠)에 따르면, 수두의 4~6배 내지 지반의 토피에 대비하는 주입압을 기준으로 한다. 일례로 일본이 토질별 주입압을 살펴보면 사력 : 2~3kg/cm<sup>2</sup>, 일반토사 : 12kg/cm<sup>2</sup>, 점토 : 20~22kg/cm<sup>2</sup> 의 주입압을 사용하고 있다. 마포측에서의 주입압은 평균 12~18kg/cm<sup>2</sup> 이고 여의측에서의 주입압은 평균 18kg/cm<sup>2</sup> 이었다. 그러나 파쇄대등의 구간은 45kg/cm<sup>2</sup> 까지 주입 한곳도 있다.

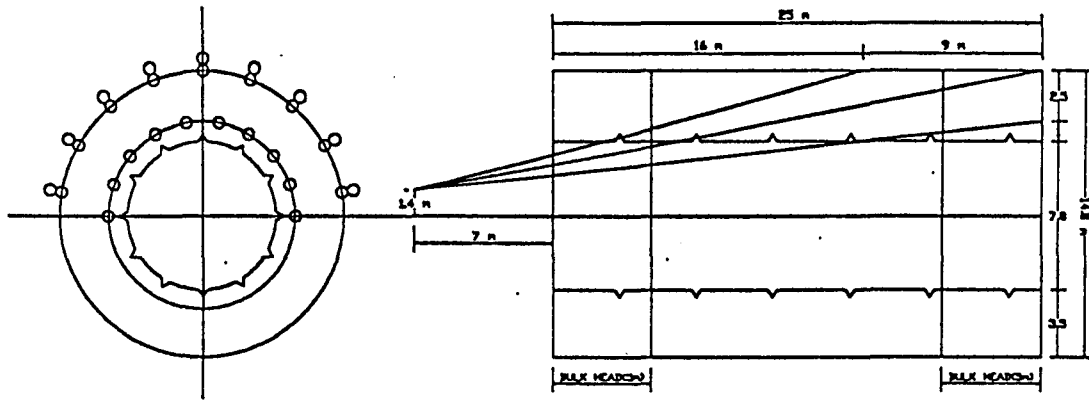
본 공사구간의 주입방법은 이중관 Rod를 사용하여 다단주입을 하며 이중관 복합주입을 하고, 주입속도는 편액기준 최대 25 l/min로 한다.

본 공사구간에서 시행된 주입패턴을 지반조건과 대비하여 살표보면 크게 5가지로 나눌수 있으며, 이를 살표보면 다음과 같다.

#### 가) 28공 패턴 - 주입범위 3.5m

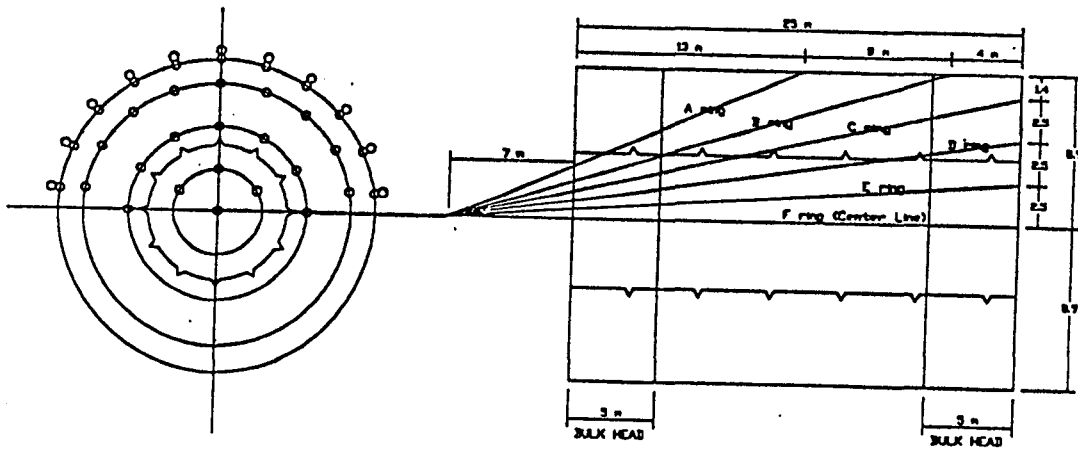
암반분류 II 등급(80-61)의 양호한 경암구간의 그라우팅 패턴으로 주입범위 3.5m의 상부 반단면만을 주입하는 방식이다. 초기에는 하부단면까지 주입하는 방식으로 설계되었으나 주입간격을 줄이고 주입효과를 높이기 위해 상부 반단면만을 주입하는 방식으로 변경되었으며, 암반상태에 따라 천단부 보강을 위해 강관보강 그라우팅과 병행하여 실시한다.





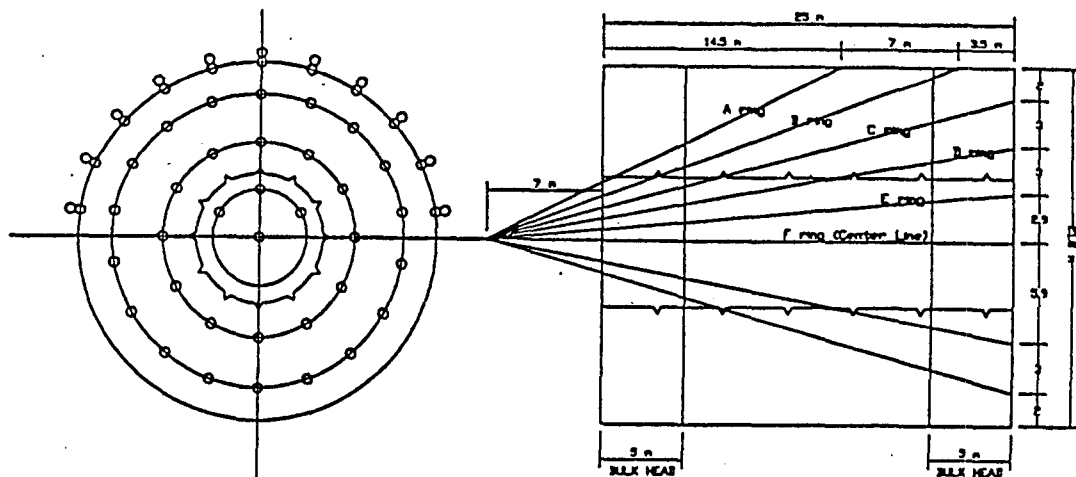
나) 42공 패턴 - 주입범위 5.0m

암반분류 II~III등급(54~78)의 경암우세/부분적연암 구간의 그라우팅 패턴으로서 주입범위 5.0m의 상부 반단면만을 주입하는 방식이다. 암반조건은 대체로 경암이 우세하고 부분적으로 연암이 혼재되는 상태로서 graphite가 협재된 파쇄대가 분포하지 않는 구간에서 시공되었으며 천단부 보강을 위해 강관 그라우팅과 병행하여 실시되었다.



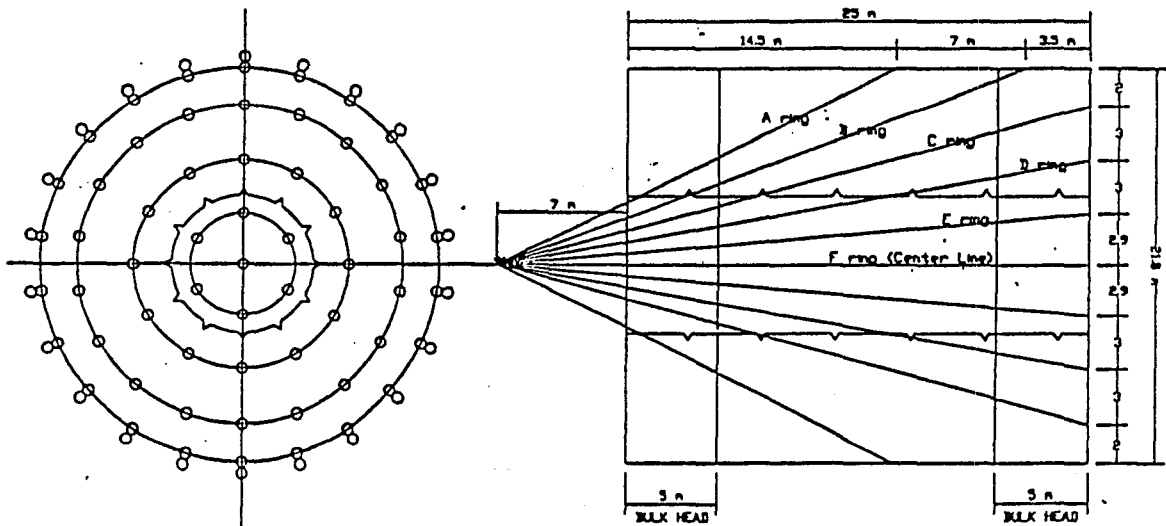
다) 56공 패턴 - 주입범위 7.0m

암반분류 II~III등급(34~76)의 연, 경암 혼재구간의 그라우팅 패턴으로서 폭 1.0m 이상의 파쇄대(graphite 협재)가 협재된 구간에서 시공된 주입범위 7.0m의 상, 하부 전단면을 주입하는 방식이다. 파쇄대의 협재로 인해 천공시 출수량이 다소 많은 상태의 암반인 경우, 막장내에 check공을 설치함으로써 굴착시 주입효과를 확인하고자 하였다. 또한 파쇄대의 분포로 인해 막장 천단부에서의 낙반 및 Sliding 가능성이 항상 내재하므로 강관 보강을 필수적으로 시행하고 또한 막장내에 파쇄대가 인지되면 즉각 fore-poling을 설치하여 작업의 안정성을 도모하였다.



라) 81공 패턴 - 주입범위 7.0m

암반분류 III~IV등급(20~48)의 파쇄연암/보통풍화암 구간이 그라우팅 패턴으로서 주입범위 7.0m의 상, 하부 전단면을 주입하는 방식이다. 본 패턴의 적용암반은 여의도측에서는 상부풍화암/하부연암의 경우 및 연암파쇄대에 해당되고 마포측의 경우는 풍화암구간 및 상부풍화암/하부연암의 구간으로서 지하수의 출수량이 다소 많은 구간이다. 그라우팅 완료후 굴착시에 출수량이 다소 발생하는 경우가 많았으며 굴착후 즉시 막장 sealing를 함으로서 출수로 인한 막장암반의 이완을 방지하는 것이 매우 중요했던 구간이다. 본 구간에서는 강관보강을 필수적으로 시행하고 또한 fore-poling도 굴착후 즉시 시행하는 system 방식으로 시공하였다.

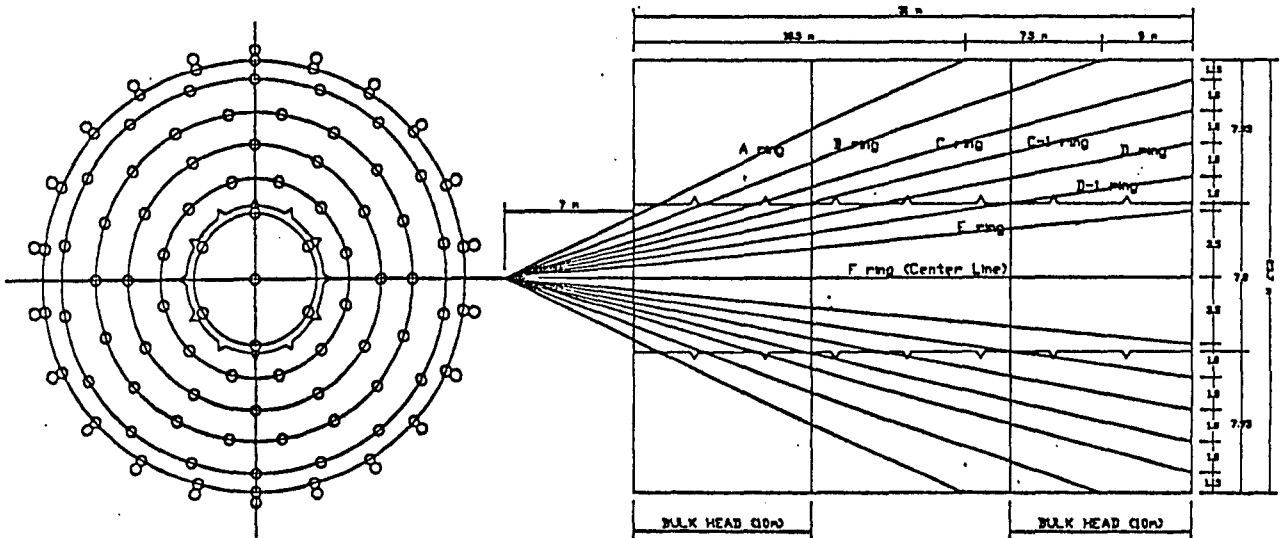


마) 111공 패턴 - 주입범위 7.95m

93년 8월 말경 여의도측 상행선(하저 A)터널 굴착 진행중 sta.20k485m 지점에서 터널 전방 지반을 조사하기 위해 수평시추조사를 하던중 R.Q.D.20~25%, T.C.R.70% 정도의 연암 코아가 채취되다가 10m 전방지점(sta.20k495m)에서 단층자력암(Fault Breccia)이 출현하고 그후에 3~4m 구

간의 풍화대를 지나서부터는 풍화토 및 점토와 함께 200~400 l/min/공당 의 지하수가 출수되었다. 이 연약지반대는 sta.20k495m ~ 20k580m 의 약 85m 정도 연장되는데 암반분류 V등급의 아주 불량한 풍화토 구간에 해당된다.

본 구간에서의 지하수 유입은 지반의 지지력약화를 초래하여 막장의 붕괴를 초래하므로 지하수 유입차단을 위한 차수그라우팅 패턴을 주입범위 7.95m의 상, 하부 전단면을 주입하여, 실내토질시험 성과로 부터 주입을 21%로 잠정결정하여 시공하였으며 막장변형 방지, 주입재 및 지하수 유출 방지를 위해 주입장 31m, bulk head 10m로 하여 일반구간보다 겹침시공을 크게 하였다. 또한 지반 지지력 증가를 위한 보강공법으로서 강관 그라우팅을 26공씩 7m 겹침시공이 되도록 시공하고 원지반의 교란을 최소화하기 위해 상반분할굴착방식을 취하였다. 또한 기타 보조공법으로서 매 막장마다 fore-poling을 설치하고 shotcrete 두께 및 강지보공의 규격을 증대(Shotcrete 두께 : 25cm, 강지보공 : H-125 x 125, C.T.C. 80cm)하고, 계측결과 변위수렴이 지연되는 경우에는 하부를 20cm의 shotcrete로 폐합하는 가인버트 시공을 시행하였다.



#### 4. 결 언

지반상태에 따른 보강공법을 시행하는데 있어서는 사전에 지반상태의 정확한 예측이 필수적 과제이다. 본 구간에서는 그라우팅 전에 선진수평시추를 통하여 (core/slime checking) 암반상태를 예측하며 또한 굴착하면서 face-mapping을 통해 불연속면의 분포상태 및 풍화상태등을 조사하는 방식을 취하였다. 이러한 조사는 터널굴착시 야기되는 크고 작은 막장 붕괴사고의 위험성을 인지하고 대처하는데 필수불가결한 요소로서, 터널시공시 암반상태의 사전예측 및 내재된 암반파괴의 가능성을 사전 예측하여 안전시공을 도모할수 있는 반드시 필요한 조사로써 추천되어진다.

지금까지 살펴본바와 같이 본 하저터널 굴착중 지반조사를 통해 얻어진 하저터널의 암반조건은 주로 불연속면(단층파쇄대 내지 절리)을 따라 발달하는 풍화대와 단층점토등의 지반강도가 현격히 낮은 지반을 포함하여 연·경암대 내에서도 절리 등을 따라 심하게 파쇄된 경우가 많아 절리면의 전단강도를 크게 약화시키므로 연·경암대 내에서의 절리면을 따른 파괴의 위험성을 내제한다. 또한 그 방향성은 일정한 패턴을 보여주며 굴착방향과 관련되어 마포측의 경우에는 against dipping이 지배적이며 여의측의 경우에는 with dipping이 지배적으로 우세하여 마포측의 경우 경암대에서도 방향성에 따른 파괴가 발생할 가능성이 매우 크다.

본 구간에서의 터널시공시 적용된 그라우팅 공법을 지반상태에 따라 비교해 보면 다음과 같으며 보강공법 및 굴착패턴을 다음 <표 4>에 요약하였다.

- 1) 경암구간 : 불연속면의 틈새를 따라 지하수가 유동하므로 막장의 상단부에 할렬주입의 형태로서 주입범위 및 주입간격을 줄여 주입하고, 암반의 전단보강을 위해 강관그라우팅을 병행하여 시공하였다.(28공 패턴)
- 2) 연암구간 : 연암구간 내에 파쇄대의 분포유무는 암반거동 및 지하수의 유동에 큰 영향을 미친다. 따라서 본 구간에서는 천공시 선진보링등의 사전조사 및 지하수량의 측정을 통해 암반상태를 분석하여 연암파쇄대의 분포유무에 따라 주입범위를 달리하여 시공, 지하수 유입차단 및 암반의 지지력 증가 효과를 기대하였으며, 강관 그라우팅도 병행하여 시공하였다.(43공 패턴, 56공 패턴)
- 3) 풍화암구간 : 풍화암구간에서의 지하수 흐름은 불연속면의 틈새 및 암석 자체의 공극을 통해서 이루어진다. 풍화암의 공극을 통한 지하수유동은 불연속면의 틈새를 통한 유동에 비해 매우 느리고 소량이므로 본 구간에서는 할렬주입의 형태로서 주입범위 및 주입공수를 늘려 시공하여 차수효과 및 암반강도증진효과를 기대하였고 그라우팅 완료후 굴착시에 출수량이 다소 발생하는 경우에는 즉각적인 막장 sealing 및 배수공을 설치하였다. 또한 강관보강을 필수적으로 시행하고 fore-poling도 굴착후 즉시 시행하는 system방식으로 시공하였다. (81공 패턴)

<표 4> 하저터널의 지반조건에 따른 보강 및 굴착패턴

지반조건	암반분류 (R.M.R.)	보 강 공 법	굴 착 패 턴
경암구간	54~78 (양호)	- GROUTING : 28공 - 강관보강 : L=15.0m, C.T.C=0.5m, 13EA - No Fore Poling	- 굴진장 : 1.0m - Shotcrete : T=15cm - Rock Bolt : L=3.0m Ispan, 4EA - Steel Rib : H=100×100 C.T.C=1.0m - 굴착방법 : 발파
경암/부분적 연암구간	47~78 (양호)	- GROUTING : 42~45공 - 강관보강 : L=15.0m, C.T.C=0.5m, 17, 15, 13EA - No Fore Poling	- 굴진장 : 0.8m - Shotcrete : T=20.0cm - Rock Bolt : L=3.0m Ispan, 4EA
연/경암 혼계 구간 (파쇄대 협제)	34~76 (보통~양호)	- GROUTING : 55~58공 - 강관보강 : L=15.0m, C.T.C=0.5m, 17EA, - Fore Poling(random) L=3.0m, 6~13EA	- Steel Rib : H=100×100 C.T.C=0.8m - 굴착방법 : 발파+R/H 발파+I.T.C
'파쇄 연암/ 보통풍화암 구간	20~48 (불량)	- GROUTING : 81공 - 강관보강 : L=15.0m, C.T.C=0.5m, 17EA - Fore Poling(system) L=3.0m, 8~13EA	- 굴진장 : 0.8m - Shotcrete : T=20.0cm - Rock Bolt : L=3.0m Ispan, 4EA - Steel Rib : H=125×125 C.T.C=0.8m - 굴착방법 : R/H I.T.C Breaker
연약대 구간 (완전 풍화대)	17~40 (매우불량)	- GROUTING : 111공 - 강관보강 : L=15.0m, C.T.C=0.3m, 26EA - Fore Poling(system) L=3.0m, 13~20EA	- 굴진장 : 0.8m - Shotcrete : T=25.0cm - Rock Bolt : no bolting - Steel Rib : H=125×125 C.T.C=0.8m - 굴착방법 : Breaker I.T.C

4) 풍화토구간 : 본 공사구간의 가장 난제였던 큰 규모의 단층으로 인한 연약지반대 구간으로서 약 85m 연장의 암반분류 V등급으로 아주 불량한 풍화토 구간에 해당된다. 본 구간에서의 차수그라우팅 패턴은 주입범위 7.95m, 주입율 21%, 주입공수 111공으로 시공하고 막장변형 방지, 주입계 및 지하수 유출방지를 위해 주입장 31m, bulk head 10m로 하여 일반구간보다 겹침시공을 크게 하였다. 또한 강관그라우팅 및 fore-poling 공수를 늘리고 shotcrete 두께 및 강지보공 규격을 증대하였으며 원지반의 교란을 최소화하기 위해 상반분할굴착방식을 취하였다. 굴착후 막장의 안정성을 검토하기 위하여 계측을 실시한 결과 변위수렴이 지연되는 경우에는 하부를 가인버트 폐합하여 변위수렴이 되도록 하였다.

또한 막장 갱구부와 횡갱 설치시 또는 암반의 상태가 아주 불량한 경우에는 PUIF(우레탄시공)으로 억제화 시공을 하였으며, 그라우팅 전후에 Lugeon test를 실시, 그라우팅 효과를 확인하고 굴착하면서 차수효과를 확인하는 방식을 취하였다.