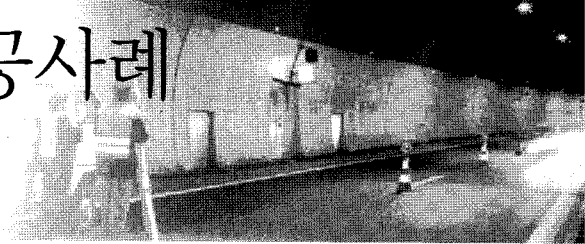


금호강 하저터널 시공사례



경상현 _ 정회원, 삼성중공업 토목사업본부장
윤성훈 _ 정회원, 삼성중공업 대구지하철2-3공구 현장소장
곽태호 _ 정회원, 삼성중공업 대구지하철2-3공구 공사과장

1. 서언

터널공사는 지하수위 아래에서 실시되는 경우가 대부분이므로 지하수 유입에 대한 대비를 철저히 하여야 한다. 특히, 함수미고결 지반에서의 굴착은 지하수에 의해 민감하게 영향을 받으므로 터널굴착전 반드시 적절한 조치를 취하여야 한다.

터널굴착시 적용되는 지반보강공법은 시공을 위한 일시적인 안정공법인가 아니면 터널구조물 수명기간 동안 안정을 도모하여야 하는 보강공법인가를 결정하여야 한다. 특히, 지반의 강도를 최대한으로 활용하고자 하는 경우에는 후자에 대하여 신중하게 고려하여야 한다.

본 고에서는 다양한 현장 지반 특성을 가진 금호강 하저터널을 시공하면서 기존 참조 자료들의 부족함으로 어려움을 느꼈는 바, 향후 유사사례 시공시 좋은 참고 자료로서 활용가치가 있을 것 같아 시공사례와 특이사항 몇가지를 L.W 수평 그라우팅 공법과 강관다단 그라우팅 공법을 위주로 기술하고자 한다.

아울러 기회가 주어지면 하저터널 굴착시

- 1) 암질에 따른 굴착 CYCLE TIME과 굴착방법의 상관관계
- 2) 터널 발파시 폭발음 영향에 의한 계측 위치에 따른 진동 측정치의 변화와 관리 대책

- 3) 통합 터널 계측 관리시스템(3차원 변위측정)을 적용한 선형 관리 및 전방의 지질조건 예측 방법에 대하여도 기술하고자 한다.

2. 공사 개요

2.1 공사진행 현황

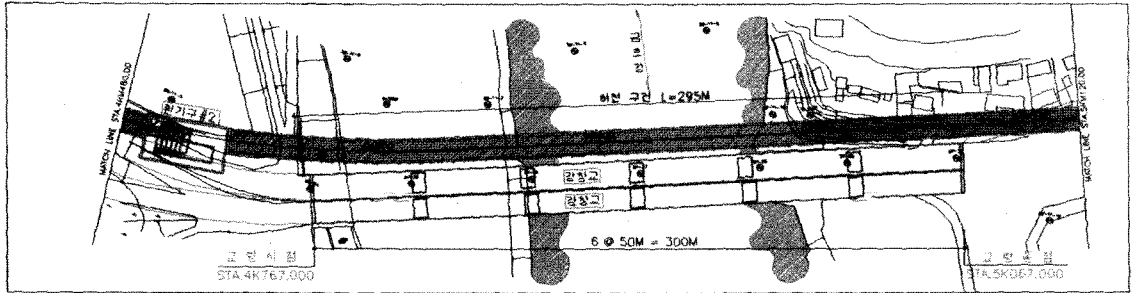
본 구간은 금호강 하류지점(낙동강 합류지점으로 부터 1.0 km 상류지점)을 횡단하는 비배수 복선터널로 달성군 다사읍에서 금호강(수심 1.54~8.63m, 폭원 300m)을 하저로 통과하여 대구시 달서구 파산동을 연결하는 국내 최초의 대단면 복선 터널로 현재 하저터널 총연장 275M중 150M 굴진한 상태이다.

2.2 지반조건

본 구간(대구지하철 2호선 3공구)의 지질 구조는 중생대 백악기의 경상누층군에 속하는 퇴적암류가 주로 분포되고 있으며, 신라역암층에 속하는 저색의 조립질 사암과 이에 협재된 저색 역암 및 반야월층으로 분류되는 암회색~흑색의 셰일, 이암으로 구성되어 있다.

특히 하저 터널 주변의 지반은 파쇄정도의 변화가 매우

평면도



중단면도

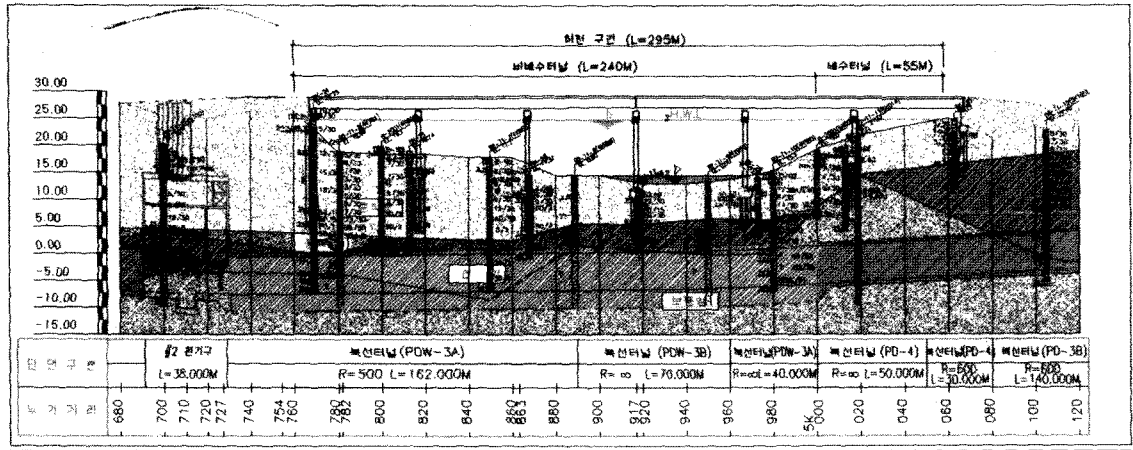


그림 1. 금호강 하저터널 현황도

큰 풍화암, 연암, 경암층으로 다량의 용수를 동반한 지층이기 때문에 굴착시 주변 지반에 대한 보강은 필수적이다.

2.3 차수 및 보강공법 적용

당 현장에서는 차수효과 증대와 주변 지반의 강도 증진 및 파쇄 절리의 이탈을 방지하여 굴착면의 안정성을 확보하고자 그동안 보강공법으로 국내에서도 수많은 경험사례가 있는 수직 L.W 공법을 변형시킨 L.W 수평 Grouting 공법과 강관다단 그라우팅(Mini-Pipe Roof) 공법을 적용하였다.

2.4 공사의 애로사항

- 1) 구 강창고 하부통과 (터널과 이격거리=20~25m)
- 2) 대·소단층 및 불규칙한 불연속면의 발달로 암반파쇄 및 전단강도 낮음
- 3) 터널시점부 (환기구#2)에 깊은 풍화대의 발달로 지반 연약화 및 터널상단에 분포된 모래 및 자갈층에 피압대 수층이 있어 완전차수가 요구됨
- 4) 다량 용수 유출 예상 (L.W 천공시 80ℓ /min 출수)
- 5) 금호강 하상하 14~25m 에서의 굴착공사로 인해 붕괴 시 강물유입에 따른 막대한 피해 예상

3. 보강공법 시공현황

3.1 L,W 수평 Grouting 공법

3.1.1 개요

본 구간은 파쇄가 심한 풍화암, 연암, 보통암층으로 파쇄 정도의 변화가 매우 크고 다량의 용수를 동반하고 있기에 시멘트 입자의 유실등으로 충분한 강도를 기대하기 어렵다. 그러므로 Cement Milk에 Water glass를 혼합하여 Gel Time을 갖게한 L,W Grouting을 시공하는 것이 물에 의한 Cement의 유실을 최소화 할 수 있다.

L,W 그라우팅은 토양을 고결시켜 원지반의 강도를 향상시키기 위한 것으로 구조물의 배면보강이나 기초공사용으로 많이 사용되어 왔으며, 최근에는 수직 그라우팅 공법을 누수방지 및 연약층 보강을 위해 수평 L,W 그라우팅 공법으로 변형시켜 터널 보강공법으로도 사용하고 있다.

그런데 하저 터널과 같이 지층이 불규칙하고 변화가 심한 구간에서 주입량과 주입압, 주입방법등을 일괄적으로 적용하기에는 다소 무리가 따르게 된다. 본 장에서는 수평 L,W 그라우팅과 수직 L,W 그라우팅과의 차이점 그리고 하저터널에 적용시 발생됐던 문제점과 개선안을 위주로 기술하고자 한다.

3.1.2 수직·수평 L,W 공법의 차이점

표 1. 수직·수평 L,W 그라우팅 공법 비교

구분	수직 L,W 공법	수평 L,W 공법
적용 대상	기초공사, 흙막이공사	터널 보강 공사
적용 토질	토사, 풍화암 지반	모든지반 (토사, 풍화암, 연암)
천공 방법	수직 천공	수평 천공 (원추형)
주입 방법	Back step (하강·상승)식	수평 Back step 방식
패커 위치	맨젯튜브 내부	원지반 천공 Hole
시공 순서	천공→케이싱 삽입→맨젯튜브 삽입→Seal재 주입→케이싱 인발→Packer 삽입→주입	인발:천공→Packer설치→주입 연약지반:천공→이중관 ROD삽입→주입

3.1.3 주입재의 배합비

배합은 용수가 유수 상태임으로 지반보강을 위한 침투성 및 지수를 위한 Gel Time을 고려하여 다음 4가지 배합중 현장 여건에 적합하도록 하였다.

표 2. 주입재의 시방 배합

구분	주입량 (l)	A 액		B 액		Gel Time (Approx.)	
		규산소다 (l)	물 (l)	시멘트 (kg)	물 (l)		W/C (%)
배합 I	400	100	100	60	181	302	1Min
	1,000	250	250	150	453		45sec
배합 II	400	100	100	80	175	219	1Min
	1,000	250	250	200	438		30sec
배합 III	400	100	100	100	168	168	1Min
	1,000	250	250	250	420		15sec
배합 IV	400	100	100	140	156	111	1Min
	1,000	250	250	350	390		

- A액과 B액의 혼합비 = 1:1
- 시멘트 비중 = 3.15
- Mixer의 1Batch 용량(200ℓ)를 기준 하였고, 시공의 편의를 위하여 Cement의 대수를 정수로 만들어 결정하였음

3.1.4 주입범위 및 주입압

1) 주입 구간의 상태(암종류, 불연속면상태, 용수량 등)에 따라 적합한 시공 패턴을 적용하며 주입범위 및 적용대상 지반은 다음 표와 같다.

표 3. 대상지반별 주입 범위

공수	주입 범위	적용 대상 지반
88 공	5 M	용수량大, 절리발달, 아주 불안정한 지반
78 공	5 M	용수량中, 불안정한 지반
69 공	3 M	용수량小, 양호한 지반

2) 지반에 따라 주입압과 주입 속도를 달리할 수 있다.
- 당 현장의 경우 주입압력이 서서히 증가하다 20kg/cm²에서 급상승하는 것으로 보아 주입 완료 압력은 20kg/cm²이 적당할 것으로 판단된다.

- 분당 주입속도는 주입시간과 주입량을 시험한 결과 15l /min로 시공하는 것이 가장 바람직한 결과가 나왔다.

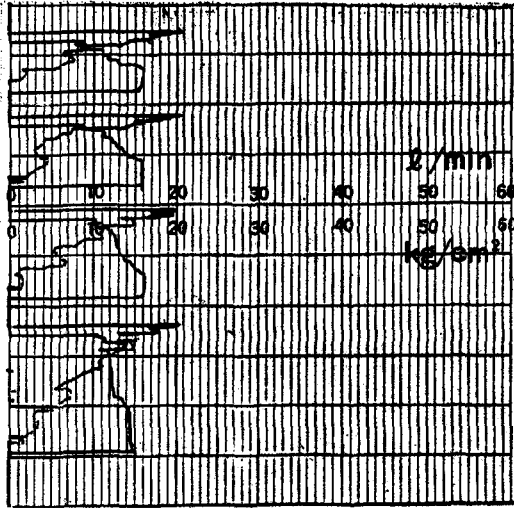


그림 2. L.W Grouting 주입압 결정

3) 주입순서는 내삽법으로 외측공에서 내측공 순으로 주입한다.

4) 주입장은 25m, Bulk Head 5m를 표준 패턴으로 한다.

3.1.5 주입 전·후의 효과 확인

(1) 투수시험 (Lugeon Test)

주입압 (kg/cm²)	시 간		주 입 량				비 고
	min	누 계 min	주 입 량 (l)	누 계 (l)	분당 주입량 (l/min)	m당 분당 주입량 (l/m/min)	
2	3	3	42	42	14.0	2.8	GROUTING 전
4	3	6	57	99	19.0	3.8	
6	3	9	75	174	25.0	5.0	
8	3	12	96	270	32.0	6.4	
10	4	16	148	418	37.0	7.4	
8	3	19	96	514	32.0	6.4	
6	3	22	75	589	25.0	5.0	
4	3	25	57	646	19.0	3.8	
2	3	28	42	688	14.0	2.8	
6	5	5	12	12	2.4	0.5	
10	5	10	20	32	4.0	0.8	
6	5	15	10	42	2.0	0.4	

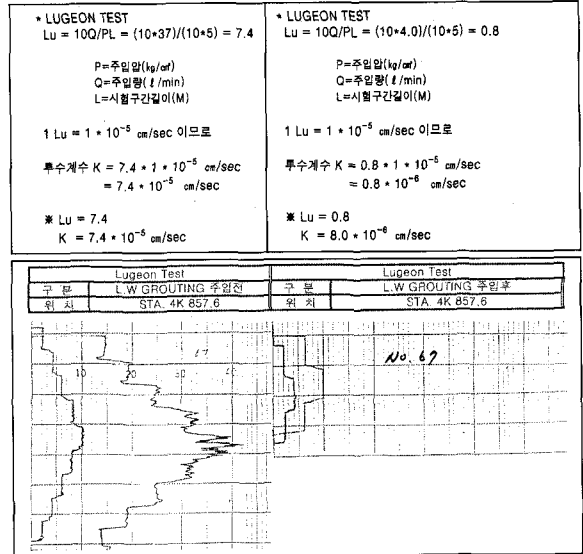


그림 3. LUGEON TEST 결과표

(2) 확인공 시험

- 주입완료후 확인공 천공 : 지수효과 판단 및 수발 공 설치 목적

- 판단기준 : 단층 파쇄대 0.2l /min/공~10l /min/공

- 표준 3공 시험 : 10 m/공

표 4. 공별 주입 효과

공 번	LW 주입전	확인공 결과	비 고
NO.1	15 l/min	0 l/min	지수 효과 우수
NO.2	20 l/min	1 l/min	
NO.3	10 l/min	0 l/min	

(3) 공내재하시험

L.W 시공전·후에 실시한 공내재하시험 결과 탄성계수가 63,974에서 118,065으로 +54,091만큼 증가하여 L.W 주입에 의한 암반의 강도가 향상된 것으로 나타났다.

표 5. 탄성계수 변화

위 치	토질명	심도 (m)	탄성계수		탄성계수 증감
			LW 주입전	LW 주입후	
#2 종점부 (4k 857.6)	암반 (연암)	1.5	63,974	118,065	+54,091

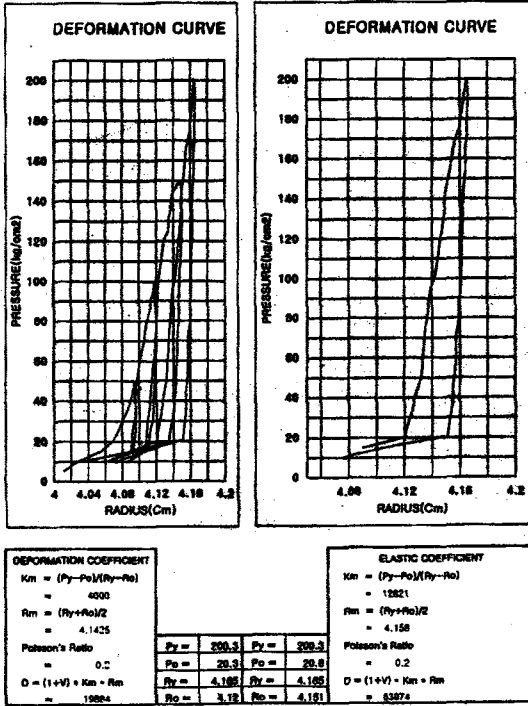


그림 4. L.W 주입전

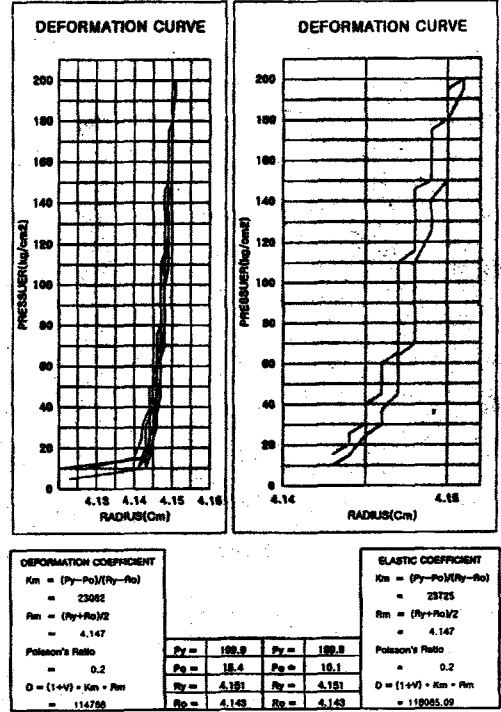


그림 5. L.W 주입후

3.1.6 L.W Grouting 주입 패턴

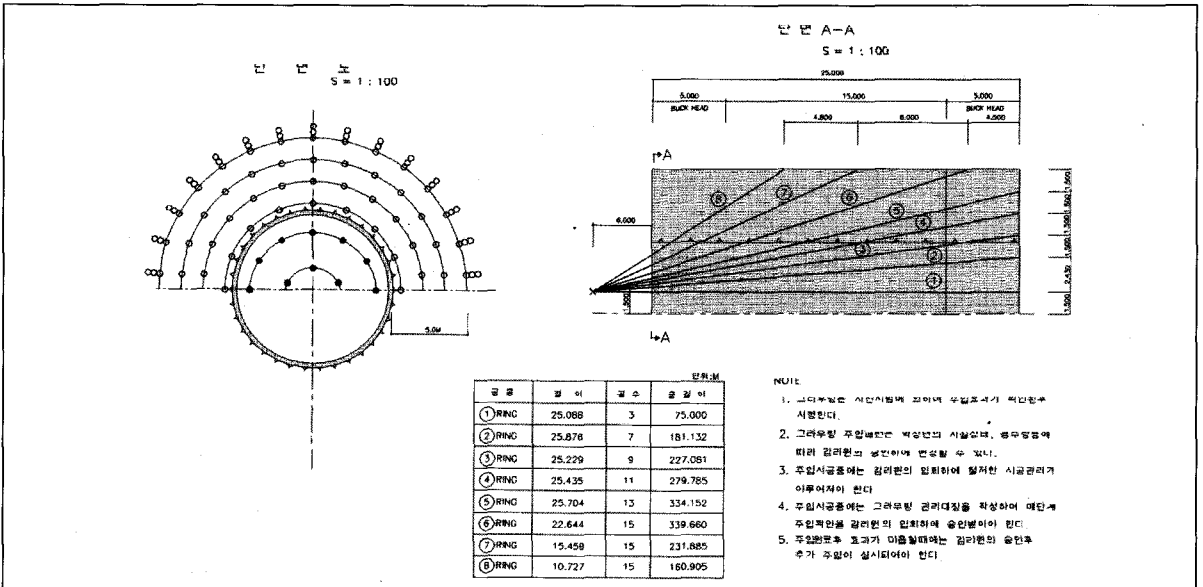


그림 6. L.W Grouting 시공도면

3.1.7 L.W Grouting 시공현황

표 6. SPAN별 L.W Grouting 시공 현황

STATION		4K797.6	4K817.6	4K837.6	4K857.6	4K882.2				
L.W GROUTING	전공시간 (Min)	3,560	6,625	6,000	5,788					
	1공단	41	75	68	66					
	SPAN	7,608	5,174	3,808	3,179					
	1공단	67	59	43	36					
	주입량 (t)	200,558	135,384	108,178	86,292					
공석공	공석시간 (Hr)	SPAN	79	85	302	320	217	187	150	217
	1차장	7	7	25	25	18	15	13	18	
R M R		34	36	45	46	47	49	48	51	
용수량		40	30	20	20	30	30	38	60	
비고										

3.1.8 L.W Grouting 시공결과

(1) 암질상태(R.M.R)와 천공시간, 주입시간과의 관계

- 암질의 강도와 천공시간은 대체로 비례

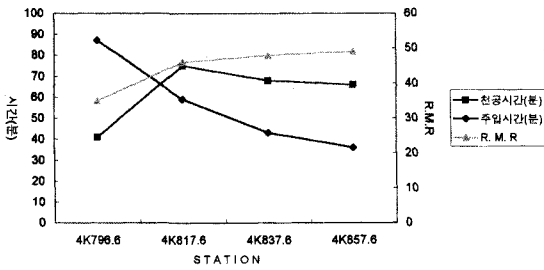


그림 7. R.M.R 과 L.W 천공, 주입시간과의 관계

(2) 암질상태(R.M.R)와 주입량과의 관계

- 주입량은 절리상태나 암의 종류, 용수량과 밀접한 관계가 있음

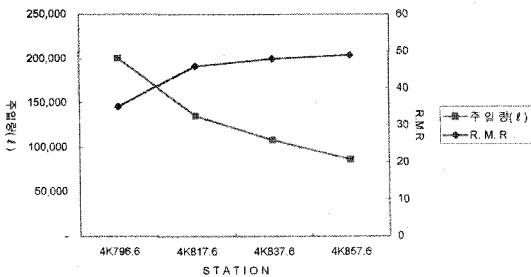


그림 8. R.M.R과 L.W 주입량의 관계

(3) Step 별 주입량 및 주입시간과의 관계

- Step 주입이 정상적으로 이루어지고 있으며 5 Step의 주입량이 적은 것은 Bulk head 구간으로 이전 Span에서 이미 충전된 상태임

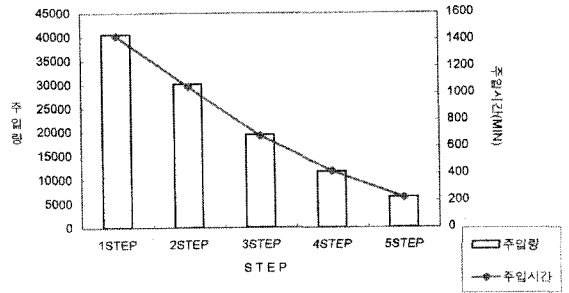


그림 9. L.W Step별 주입현황

(4) 공별 주입량 및 M당 주입량

- 7,8 번링의 m당 주입량이 작은 원인은 Bulk Head의 영향으로 이전 Span 주입시 이미 주입이 완료된 상태이기 때문임

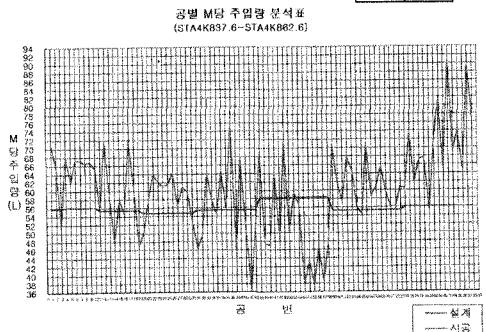
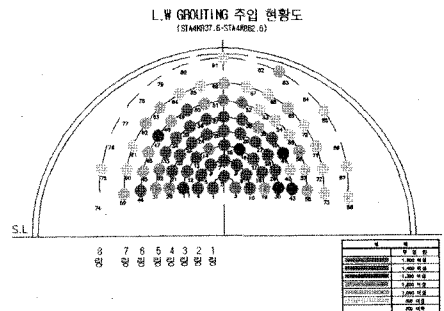


그림 10. L.W 주입현황도 및 M당 주입량 분석표

(5) 위치에 따른 주입량의 크기

- Back step할수록 주입량은 줄어들며 굴착면에서 멀어질수록 주입량은 증가

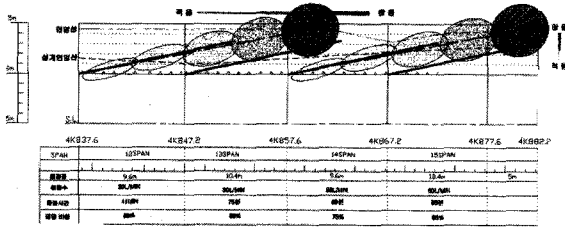


그림 11. 위치에 따른 주입량 변화 (L.W Grouting)

표 7. 시멘트량에 따른 비교

시멘트량	大	小
Gel time	↑	↓
강도	↑	↓
침투범위	↓	↑

(2) 온도의 상승에 따른 Gel time

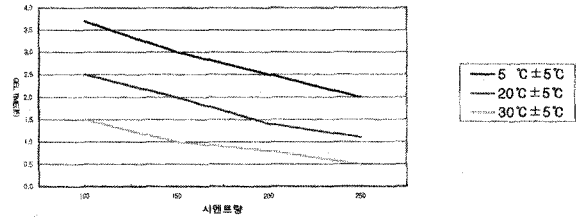


그림 12. 온도와 Gel time 의 관계

3.1.9 특이사항 및 개선사례

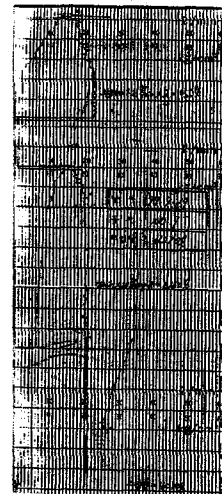
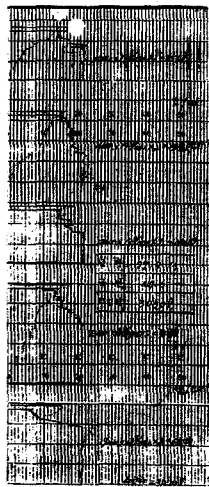
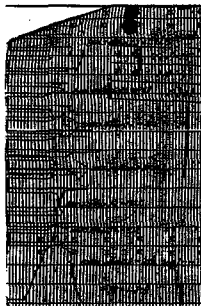
(1) 시멘트양에 따른 L, W 액의 강도와 Gel time 과의 관계



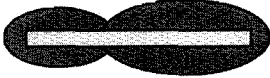
(3) Back step 간격에 따른 주입현황

표 8. Step 수와 간격에 따른 주입효과 비교

구분	A-TYPE	B-TYPE	C-TYPE
천공심도	25.223 M	25.294 M	25.000 M
Step 수	12	5	2
Step 간격	2 M	5 M	12 M
주 입 량	1,280 l	3,070 l	4,210 l
주입시간	39 MIN	83 MIN	104 MIN

주입기록지



구분	A-TYPE	B-TYPE	C-TYPE
주입분포도			
주입 형태	① Step간격이 적을경우 전 Step 확산범위와중복되어 주입효과 적음 ② Packer 설치시간의과다로 작업능률 저하.	① 첫번째 Step에서 다섯째 Step까지 등분 포 주입으로 주입효과 양호함.	① 주입 확산 범위 과다로 한방향으로 편중 주입됨.
현장 적용		◎	

- 상기 표와 같이 Step수가 적을수록, Step 간격이 길수록 주입량은 증가하나 설계 주입압력에서 등분포 주입이 가능한 다음 방법으로 시공하였음.

- Step간격 : 5 m
- 주 입 압 : 15 ~ 20 kg/cm²
- 주 입 량 : 편액 최대 15~25ℓ /min

(4) 갯문 구간 시공시 유의 사항

- 주입압에 의해 토류벽의 측압이 증가하므로 주입 전, 후 토류벽의 정밀계측 및 버팀보 보강등 대책이 필요하다.
- 측압의 과다 발생시 시차를 두고 서서히 주입하는 것이 효과적임.

3.2 강관다단 그라우팅 공법

3.2.1 개요

강관다단 그라우팅 공법은 일명 Mini Pipe Roof 공법 이라고도 하는데 터널 주변에 천공후 일정한 간격으로 구멍을 뚫은 강관을 천공 구멍에 삽입하고 Packer Grouting에 의하여 주변 지반을 보강하는 공법이다.

주입 방식에 따라 강관 일단과 강관 다단으로 나누며 암반이 양호한 경우는 강관일단이 유리하나 대상 암반이 절리로 인해 심하게 파쇄되거나 풍화가 많이 진행된 경우 또는 용수가 있는 경우에는 강관 다단이 효과적이다.

3.2.2 강관 간격 결정

강관다단 설계시에는 하중증가에 따라 강관사이 에 구 성되어 있는 흙에서 전단파괴가 유발될 수 있으므로 각 강관의 설치간격이 중요한 요소가 된다. 강관의 설치간격 은 지질조건, 토압의 크기등에 따라 통상 다음과 같이 시 공되고 있다.

표 9. 지반별 강관 간격

지반 및 토압상태	강관 순간격(cm)	당현장 적용
극연약 점성토 및 사질토 (토포15m이내)	8 - 13	
일반점성토 및 사질토 (토포 25m이내)	15 - 25	
고결 점성토 및 조밀사질토 (토포 25m이상)	25 - 40	◎

3.2.3 배합비

배합비는 배합 I 을 기준으로 하고 소정의 압력까지 도 달하지 않으면 시멘트의 분량을 80 Kg, 100 Kg 까지 증 가시킨다.

표 10. 목표 도달 압력과 배합비

구분	주입량 (ℓ)	A 액		B 액		
		규산(ℓ)	물(ℓ)	물(ℓ)	시멘트(kg)	W/C(%)
배합 I	400	100	100	188	60	313
배합 II	400	100	100	181	80	226
배합 III	400	100	100	152	100	152

- A 액과 B 액의 혼합비 = 1 : 1

- 시멘트 비중 = 3.15
- 1Batch 는 400ℓ 를 기준으로 하고 시공의 편의를 위하여 시멘트 대수를 정수로 만들어 배합 결정을
- 주입시 주입량의 압력 변화에 따라 상기 3개 배합을 조정한다.

3) 이때 Seal재료의 주입압력은 주입 위치에서 지하수위의 정수압 정도로 한다 (일반적으로 3kg/cm²).

3.2.4 Sealing

- 1) Corking 작업을 완료한후 기 설치된 전선관을 통하여 Sealing재료를 충전한다 (1.0 shot 방식).
- 2) Seal 재의 주입은 이중으로 설치된 배기 호스에서 Seal재가 누출되면 배기 호스를 차단하여 주입을 종료한다.

3.2.5 주 입

- 1) 주입압력은 지하수위의 정수압에 3~4배 정도로 관리한다.
- 2) Packer는 Back step 방식으로 주입할 경우 Air Packer를 사용한다.
- 3) 주입량은 정량을 원칙으로 하되, 지질여건에 따라 정압을 병행 시공한다.

3.2.6 강관다단 Grouting 시공 단면도

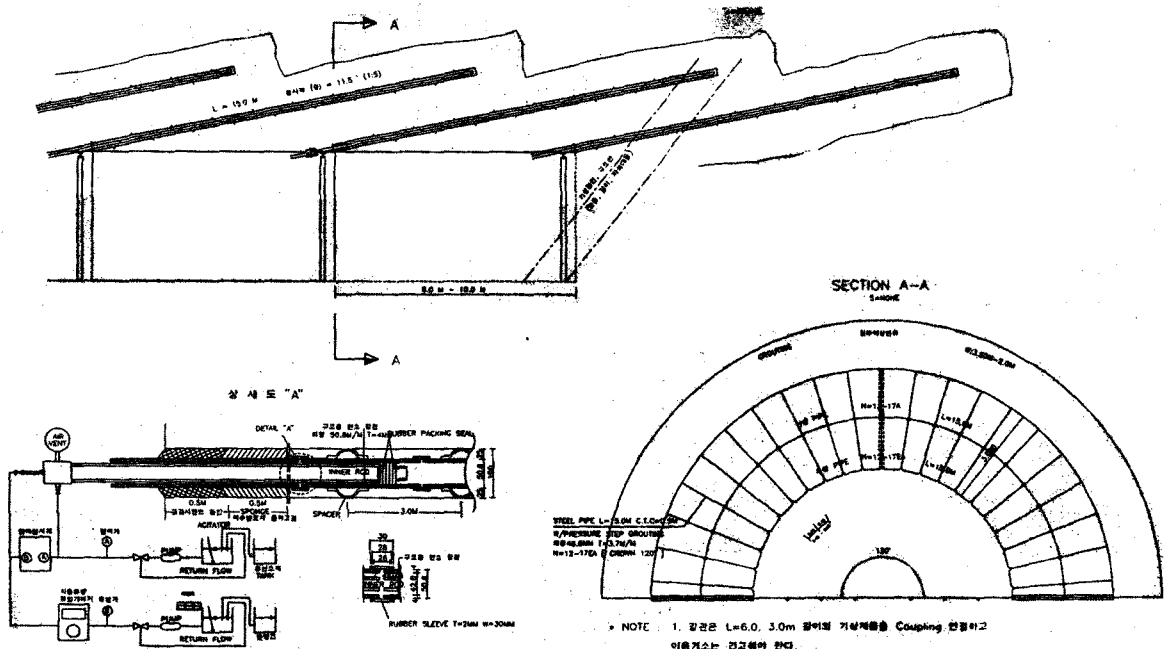


그림 13. 강관다단 그라우팅 시공 도면

3.2.7 강관다단 Grouting 시공 현황

표 11. SPAN별 강관다단 그라우팅 시공 현황

강관다단 그라우팅	STATION	구분	4K977.8		4K977.2		4K977.6		4K977.2		4K977.6		4K980.2	
			천공	주입	천공	주입	천공	주입	천공	주입	천공	주입	천공	주입
공역상	SPAN	1공당	990	1,685	2,700	2,720	2,245	2,370	2,720	2,285				
		1공당	93	98	93	94	76	82	79	79				
		주입시간 (Min)	581	558	584	591	649	654	591	578				
공역하	SPAN	1공당	20	19	20	20	23	19	21	20				
		주입량 (t)	8,661	8,143	10,091	10,081	9,853	8,090	8,882	8,648				
		공역시간 (H)	78	86	302	320	217	187	150	217				
R. M. R	1차량	1차량	7	7	26	26	18	15	13	18				
		합수량	34	38	45	48	47	49	49	51				
비고														

3.2.8 강관다단 그라우팅 시공결과

(1) 암질상태(R.M.R)와 천공시간, 주입시간과의 관계

- 암질의 강도와 천공시간은 대체로 비례

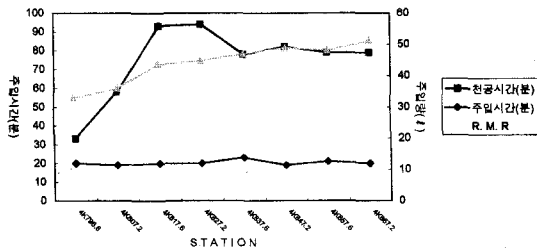


그림 14. R.M.R과 강관다단 천공, 주입시간과의 관계

(2) 암질상태(R.M.R)와 주입량과의 관계

- 주입량은 절리상태나 암의 종류, 용수량과 밀접한 관계가 있으나 L,W 완료된 지반에서공되므로 주입량은 R.M.R 값과는 무관한 결과가 나옴

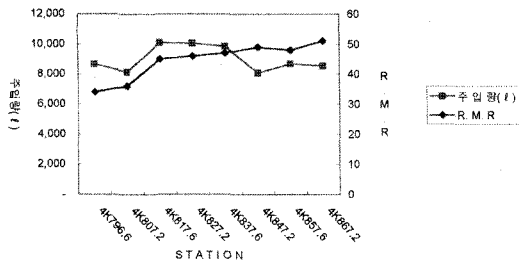


그림 15. R.M.R과 강관다단 주입량과의 관계

(3) Step 별 주입량 및 주입시간과의 관계

- 다단 주입이 정상적으로 이루어지지 않고 있다. 이는 파쇄가 발달되어 있지 않거나 강관다단 주입이 L,W Grouting이 완료된 지반에 이루어지기 때문에 기존 절리면은 어느정도 주입이 완료된 상태이므로 Step주입시 설계보다 적게 주입되어 다단효과가 떨어진다.

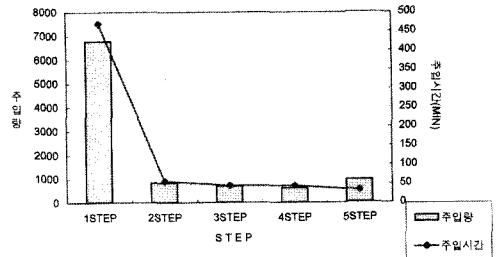


그림 16. 강관다단 Step별 주입현황

(4) 공별 주입량 및 M 당 주입량 그래프

강관다단 GROUTING 주입 현황도
(STA4837.6-STA4862.6)

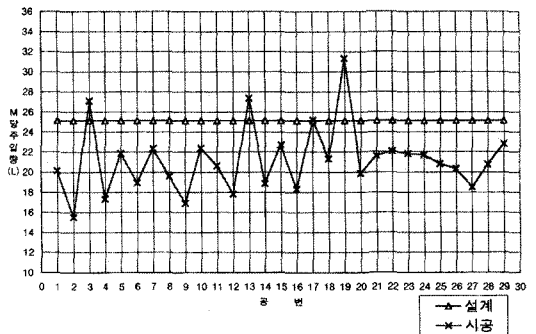
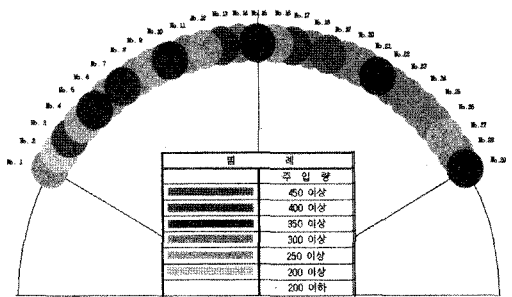


그림 17. 강관다단 주입현황도 및 M 당 주입량 분석표

- NO.13,15,17 공의 m 당 주입량이 많은 이유는 터널 천단부의 암질을 Check 하기 위하여 다른 공보다 상향으로 천공(일반공:11.5° → 확인공:18°)하여 L,W Bulk Head의 영향이 상대적으로 작기 때문이다.

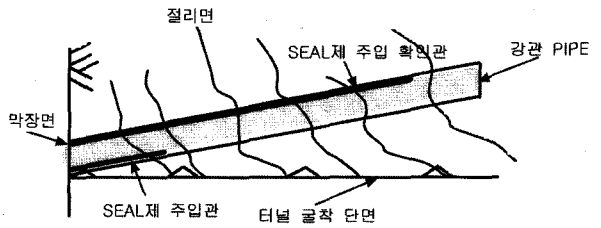


그림 19. Seal제 주입 개요도

(5) 위치에 따른 주입량의 크기

- Back Step할수록 주입량은 줄어들며 굴착면에서 멀어질수록 주입량은 증가 (Bulk Head 및 L,W 층진 완료된 지반의 영향)

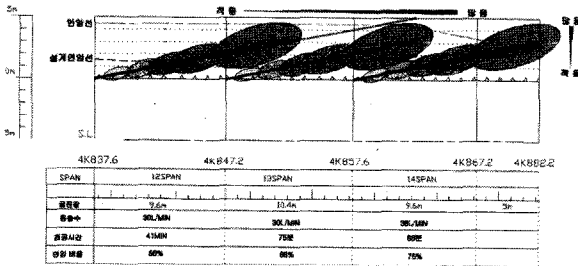


그림 18. 위치에 따른 주입량 변화 (강관다단 그라우팅)

2) Seal제의 침전으로 다단 주입효과 감소

주입관을 통해 Seal제를 주입하여 천공홀 내부를 충전시킨후 어느 정도 시간이 경과하면 비중의 차이에 의해 시멘트 입자가 물과 분리되어 사진과 같이 천공홀 입구 측에 침전이 발생한다. 이때 하부측은 침전된 시멘트 입자에 의해 공극이 막히게 되지만 물로 남아 있는 상부측은 절리면을 따라 스며들게 되어 빈 공극으로 남아 있게 된다. 여기에 다단주입을 실시할 경우 첫 Step시 빈 공극과 절리면 사이로 본 주입액이 침투하여 전체 주입량의 60% ~ 80% 가 주입되어 다단 주입의 효과가 떨어지게 된다.

3.2.9 특이 사항 및 개선 사례

(1) Seal제 주입의 문제점

1) 절리면따라 과다 주입으로 본주입 효과 감소

Seal제 주입은 공당 체적을 계산하여(87ℓ) Seal제 주입관(짧은 전선관)으로 주입하여 확인관(긴 전선관)으로 Over Flow 되어 나와야 최상의 주입 효과를 기대할 수 있다. 그러나 현장 시험 결과 Seal제 주입을 예상 체적량보다 2.7배(240ℓ) 정도까지 주입하였으나 확인관으로 Over Flow 되어 나오지 않고 암반 절리면을 따라 계속 주입되어 차후 본주입시 Grouting의 효과가 감소될 뿐 아니라 오히려 붕락의 위험을 증가시켰다.

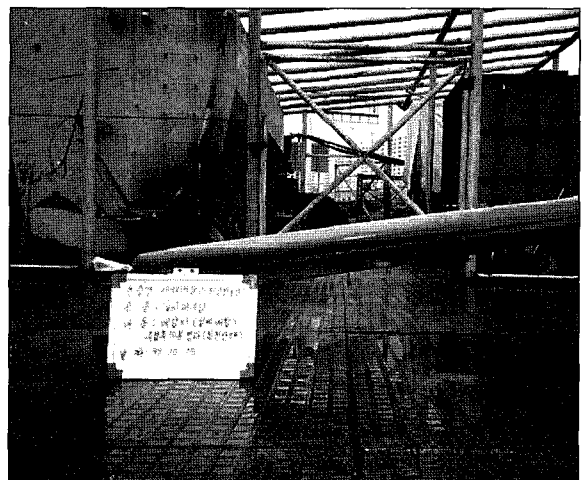


사진 1. Seal제 침전 상태 - 설계배합후 10분 경과시

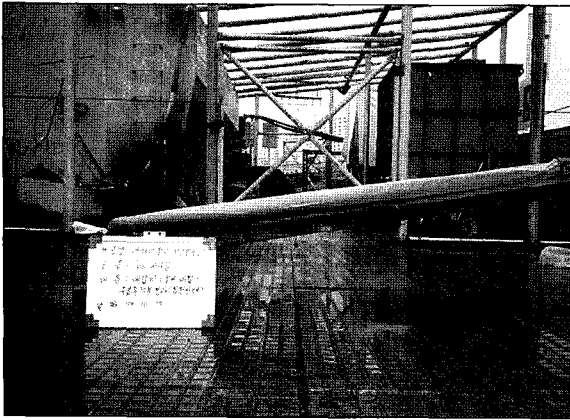


사진 2. Seal제 침전 상태 - 설계의 2배 배합후 10분 경과시

(2) 현장 개선 사례

1) 1차 주입 완료후 확인관으로 2차 재주입 실시

주입관으로 1차 주입하여 확인관으로 Over Flow된 것을 확인후 시간이 경과하면 하부측에 침전이 발생하여 상부측은 물과 함께 빈 공극으로 남게 되는데 여기에 확인관을 통하여 Seal제를 설계량만큼 2차 재주입하여 상부의 빈 공극을 충전하였다.

2) 시멘트량의 조절에 의한 침전범위 확대

표 12. Seal제의 표준 배합비

Cement	Bentonite	Water
200 kg	62.5 kg	855.1 kg

배합비에 따른 Seal제의 침전상태(사진 2 참조) 결과에서 알수 있듯이 설계 배합비로 주입후 10분 경과시 천공홀 하부측 일부분만 Cement와 Bentonite 입자가 Gel 상태로 침전되어 있고 상부의 천공홀은 Water 상태로 남아 있게 된다. 그런데 원지반상 시공시 공내에 남아있는 Water는 절리 틈사이로 스며들기 때문에 빈 공극으로 남게 된다. 당 현장에서는 이를 개선하기 위해 Cement 량과 Bentonite 량 설계배합비의 2배로 배합하여 초기 침전 범위를 확대하였다.

(3) 암질에 따른 다단 주입 비교

1) 정상적인 다단 주입이 이루어 지는 경우

- 파쇄 절리가 발달한 지반의 시공시
- 토사, 풍화암등 연약지반 시공시

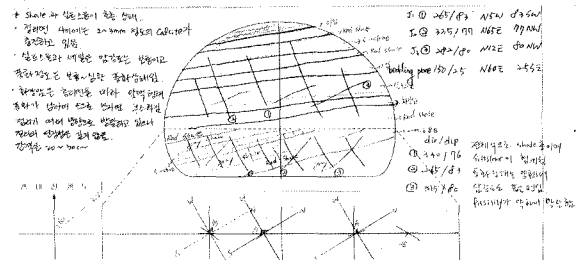


그림 20. FACE MAPPING (절리면 발달)



사진 3. 암질 상태 (절리면 발달)

2) 다단 주입이 불량한 경우

- 절리면이 없거나 L.W 그라우팅이 완료된 지반의 시공시
- Seal제의 침전되어 천공홀 상부측이 공극으로 남아 있는 경우

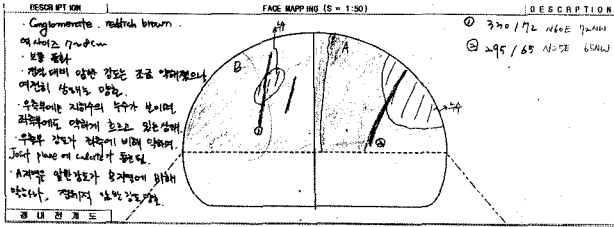


그림 21. FACE MAPPING (절리면 없음)

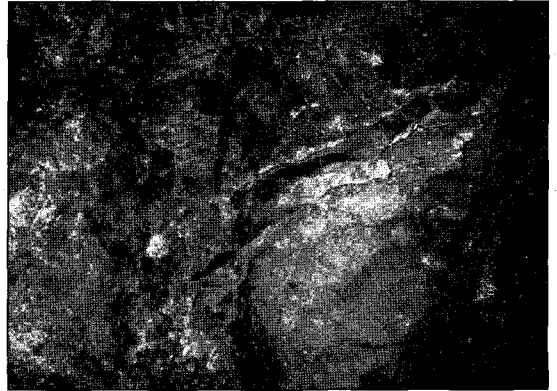


사진 4. 암질 상태 (절리면 없음)

3) 암질에 따른 주입 형태 비교

표 13. 암질별 주입 형태

구분	다단주입양호	다단주입분량	일단주입																		
절리 상태	절리 발달	절리 없음	-																		
암강도	약함 (풍화암, 모래, 자갈층)	강함 (연암, 보통암)																			
용수 상태	소량	소량	다량의 용수발생																		
주입기록지	<table border="1"> <tr><td>날 짜</td><td>2000년 1월 12일</td></tr> <tr><td>위 치</td><td>4K797.6</td></tr> <tr><td>주 입 량</td><td>420 ℓ</td></tr> </table>	날 짜	2000년 1월 12일	위 치	4K797.6	주 입 량	420 ℓ	<table border="1"> <tr><td>날 짜</td><td>2000년 6월 20일</td></tr> <tr><td>위 치</td><td>4K867.2</td></tr> <tr><td>주 입 량</td><td>284 ℓ</td></tr> </table>	날 짜	2000년 6월 20일	위 치	4K867.2	주 입 량	284 ℓ	<table border="1"> <tr><td>날 짜</td><td>2000년 6월 3일</td></tr> <tr><td>위 치</td><td>4K857.6</td></tr> <tr><td>주 입 량</td><td>612 ℓ</td></tr> </table>	날 짜	2000년 6월 3일	위 치	4K857.6	주 입 량	612 ℓ
날 짜	2000년 1월 12일																				
위 치	4K797.6																				
주 입 량	420 ℓ																				
날 짜	2000년 6월 20일																				
위 치	4K867.2																				
주 입 량	284 ℓ																				
날 짜	2000년 6월 3일																				
위 치	4K857.6																				
주 입 량	612 ℓ																				
원 인	절리면 발달로 Back step시 단계별 주입 효과 양호	암강도가 강하고 절리가 없어 첫Step 주입으로 공극의 대부분 충전됨	다량의 용수를 동반하여 규산과 함께 주입함																		

4. 결론

금호강 하저 터널은 암질의 변화가 크고 다량의 용수를 동반한 지반을 통과하기 때문에 주 공종인 터널 굴착과 함께 지반보강 그라우팅 공법은 큰 비중을 차지하고 있다. 당 현장에서는 지하수의 차단과 파쇄 절리의 이탈 방지 및 터널 굴착시 안정성 확보를 위하여 L.W 수평 Grouting과 강관다단 그라우팅을 병행하여 시행하고 있는데, 품질 및 안전시공을 위하여 다양한 연구와 시험을 통해 현장 여건에 가장 적합한 방법을 찾고 부족한 사항들을 개선하는 가운데 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) L.W 수평 Grouting 공법

- 1) 배합 : 침투성 및 용수상태를 감안하여 실시한다.
- 2) Gel time : 시멘트량 및 온도가 증가함에 따라 짧아진다.
- 3) 천공 : 용수량 과다나 천공홀 불량시 약액 주입후 재천공 실시하며 토사구간 천공시 이중관 ROD를 사용한다.
- 4) 주입압 : 지반조건에 따라 달리할 수 있으며 15~20 kg/cm²가 적당하다.
- 5) 주입량 : 절리상태, 암의 종류, 용수량과 밀접한 관계가 있으며 Bulk Head 구간에서의 주입량은 감소한다.
- 6) 주입효과 :
 - Step 간격이 적을수록 전 Step 확산범위와 중복되어 주입효과가 감소함.
 - Step 간격이 길수록 한방향으로 편중주입되어 주입효과가 감소함.
 - 25M 천공시 Back step 간격을 5M로 적용하면 등분포 주입되어 효과가 양호하다.

(2) 강관다단 그라우팅 공법

- 1) 강관 간격 결정 : 지질조건, 토압의 크기에 영향이 있으며 당현장은 0.4M 적용함.
- 2) 주입량 : 정압주입을 원칙으로 하되, 지질여건에 따라 정량주입을 병행한다.
- 3) 주입압력 : 지하수위 정수압의 3~4배가 적당하며 당현장은 15kg/cm² 적용함.
- 4) 다단주입 효과 : 절리가 발달하지 않은 신선한 암반이나 용출수가 다량으로 유출되는 구간(Sealing효과 저하) 및 L.W 주입 완료된 지반은 보강주입시 다단주입이 비효율적이며 파쇄가 발달하고 토사, 풍화암 등 연약지반 주입시 다단효과가 양호하다.
- 5) Seal제 주입 : 과압력 주입시 절리면따라 계속 주입되어 본 주입효과가 감소하며 주입압력은 지하수위 정수압 정도인 3 kg/cm²로 관리한다.
- 6) Seal제 침전으로 다단 주입효과 감소
 - 강관 천공이 상향(11.5°)으로 이루어지기 때문에 주입후 일정시간 경과시 비중의 차에 의해 시멘트 입자는 천공홀 하부에 침전되고 상부의 물은 절리면으로 스며들어 빈 공극으로 남게 되는데 여기에 다단 주입시 첫 Step에서 빈 공극과 절리면으로 주입량의 60~80%가 주입되어 다단 주입의 효과가 떨어지게 된다.
- 7) Seal제 주입 개선 방안
 - 주입관으로 1차 주입(주입속도 : 5 l /min)완료(정량주입 후 원액 유출 확인)후 침전으로 인한 상부측 공극에는 확인관으로 2차 재주입을 실시한다.
 - 표준배합비에서 Cement와 Bentonite의 양을 증가시키면 주입후 침전 범위를 확대하여 Sealing의 효과를 증대시킬수 있다.

이와 같이 L.W 수평 Grouting과 강관다단 그라우팅 공법은 하저터널이라는 불리한 현장 여건을 극복하며 고도의

품질과 안정성 확보를 위한 중요한 요소이다. 그러나 아직도 토질조건에 맞는 주입압, 속도, 주입량등에 관한 체계적인 자료가 나와 있지 않는 것을 볼 때 현장 시공시 과거의

자료를 답습하기 보다는 다양한 연구개발과 시험을 통해 현장 여건에 맞는 시공방법을 찾고 자료화하여 정확한 품질관리가 되도록 노력해야 할 필요성을 느끼게 된다.

● 회비납부 및 신상변동 신고안내 ●

회원여러분께서 납부하시는 회비는 협회운영의 소중한 재원으로 활용되고 있습니다.

회원제위께서는 체납된 회비를 납부하시어 원활한 협회운영에 협조하여 주시기 바랍니다.

회비납부는 입회안내를 참고하시고 또한 신상에 변동이 있는 회원께서는 **협회사무국(전화 : 2203-3442, 팩스 : 2203-3553, e-mail : krtna@chollian.net)**으로 연락하여 주시기 바랍니다.