

암반특성에 따른 지하철 NATM 터널의 변위거동에 대한 사례연구

A Case Study on the Displacement Behavior of the Subway NATM Tunnel with the Rock Character

천병식¹, BYUNG-SIK CHUN, 이문구², MOON-GU LEE, 남순성³, SOON-SUNG NAM, 신경섭⁴, GYUNG-SEOB SHIN

1 한양대학교, 토목공학과, 교수

Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University.

2 금호건설, 상무이사(지하철 6-1공구 주재임원)

Director, Kumho Construction Co.

3 (주)은진건설엔지니어링, 대표이사

President, Eunjin Construction Engineering Co., LTD.

4 (주)은진건설엔지니어링, 지반공학부 차장

Senior Engineer, Eunjin Construction Engineering Co., LTD.

SYNOPSIS : To solve the heavy downtown traffic congestion, many subway projects are under planning or being carried out in Seoul and many other big cities. Almost subway tunnel construction in Korea is planned as NATM technology and almost lines pass through the populous city area. Therefore, for safe and effective construction, the importance of measurement is emphasized. For the successful performing of tunnel measurement, appropriate selection of the limit value of each measurement item is the most important. However, in Korea, appropriate application of the measurement result is not carried out properly because the selection basis of the limit value of measurement which fits to the construction circumstance and the character of rock in Korea is not precise, although many subway projects have been carried out. In this study, to rise the utility of the tunnel design and construction including efficiency, safety and the effective design change in the case of appearance of unexpected ground, the relation between the rock character and the convergency and the crown settlement of the support pattern PS-2, PS3-A, PS3-B and PS-4 is investigated based on the study as follows for the selection of the limit value of measurement which fits to the construction circumstance and the character of rock in Korea: Examine already introduced methods of selection of the limit value of measurement and apply this examination result to the subway projects then produce the limit value. Make a comparative analysis this limit value and the actually measured displacement of the convergency and the crown settlement which are usual tunnel measurement items and has many measuring points. And also make a comparative analysis this measured displacement and the result of face survey.

1. 서론

교통수요의 폭증에 따라, 국내 대도시에서 수많은 지하철공사가 시공 또는 계획중에 있다. 지하철 노선이 많아질수록 점차 계획심도가 깊어지게 되어, 터널구간이 증가되는 추세에 있다. 국내에서는 지하철 터널의 대부분을 NATM공법으로 계획하고 있으며 노선의 대부분이 인구가 밀집된 도심지를 통과하기 때문에 터널설계의 적정성파악 및 안전시공을 위한 계측관리의 중요성이 매우 커지고 있다. 터널 계측관리를 성공적으로 수행하기 위해서는 각 계측항목에 대한 관리기준치의 적절한 선정이 무엇보다 중요하나, 국내에서는 수많은 지하철공사를 수행했음에도 불구하고 우리실정과 암반특성에 맞는 계측관리 기준치의 산정기준이 명확치 않아 계측결과의 적절한 활용이 매우 곤란한 실정이다.

따라서 본 연구는 이런 문제점을 해결하기 위하여 터널계측항목중 우선 천단침하와 내공변위항목에서의 활용가능한 암질특성과의 관계를 도출하여, 이후 계측결과의 활용에 극대화를 기하는데 그 목적이 있다.

2. 관리 기준치

2.1 천단침하 관리기준치

2.1.1 기존 일본 관리기준치 이용방법

관리기준치 이용방법은 주로 일본에서 많이 사용하는 방법으로 많은 계측결과와 암반 일축압축강도의 상관관계를 이용하여 지질조사시 채취한 암반시료의 일축압축강도로 부터 어느 지점의 침하를 관리하는 방법이다. 표 2.1은 계측결과와 터널반경(a)으로 침하율을 구해 등급에 의한 안정성 정도를 파악하는 것으로 각 현장에 따라 다소의 차이는 있을수 있다. 표 2.1에서 일축압축강도는 현장에서의 암반 일축 압축 강도(σ_c')로 $\sigma_c' = (V_{PF} / V_{PL}) \times \sigma_c$ 이며, V_{PF} 는 현장에서의 탄성파속도, V_{PL} 는 실험실에서의 탄성파속도 실험결과이며, σ_c 는 암석시료의 일축압축강도를 나타낸다. 또한 δC 는 천단 침하량, $a = D/2$, D 는 터널폭을 나타낸다. 또한 레벨 I은 천단침하의 발생이 안정적임을 의미하고, 레벨 II는 지반에 이완영역이 발생하고 있음을 의미하는 것이고, 레벨 III은 굴착시 주의를 요하는 정도를 말한다. 아래 표 2.1을 이용하여 천 단침하 관리기준치를 산정하기 위해서는 통상 표 2.2의 각 지점별 R.Q.D와 탄성파속도 지수와의 관계 및 실험실에서의 암석시편 일축압축강도와 현장암반의 일축압축강도의 관계를 이용한다.

표 2.1 천단침하의 관리기준치

$$\text{침하율 } \varepsilon = \delta C / a (\%)$$

일축압축강도 레벨	0.1~5.0kg/cm ²	5.0~100kg/cm ²	100~500kg/cm ²
I	0.2~0.6%	0.1~0.2%	0.06~0.1%
II	0.8~1.8%	0.3~0.8%	0.2~0.3%
III	2.2~5.4%	0.8~2.2%	0.6~0.8%

현장에서의 암반일축압축강도(σ_c')는 다음과 같다.

$$\sigma_c' = \left(\frac{V_{PF}}{V_{PL}} \right) \times \sigma_c \quad (1)$$

표 2.2 R.Q.D와 탄성파속도 지수와의 관계

Quality Classification	R.Q.D	Fracture Frequency(m ²)	Velocity Index (V_{PF} / V_{PL}) ²
Very poor	0~25	>15	0~0.2
Poor	25~50	15~8	0.2~0.4
Fair	50~75	8~5	0.4~0.6
Good	75~90	5~1	0.6~0.8
Excellent	90~100	1	0.8~1.0

2.1.2 탄성해석법

본 방법은 지질조사시 구한 암반특성치를 이용하여 비교적 간편하게 천단침하를 구하는 탄성해석법으로 현장에서 쉽게 적용할 수 있으며 개략적인 판단이 가능하다. 터널굴착즉시 강지보공의 설치가 이루어 지므로 부분적인 지질특성 및 굴착패턴등은 충분히 고려되어 있지 않으나 터널반경 및 토피두께, 지질조사결과등을 토대로 하여 지보패턴이 동일한 구간에서의 최종변위 예상치를 구할수 있는 탄성해석방법이다.

$$U = \frac{(1+\nu) \times R}{2 \times D} ((P_v + P_h) + (3-4\nu)(P_v - P_h) \cos 2\theta) \quad (2)$$

$\theta = 90^\circ$ 일때(수평방향에서의 반시계방향) 천단침하 U_v 는 다음과 같다.

$$\text{천단침하 } U = \frac{(1+\nu) \times R}{2 \times D} [(1+K_o) - (3-4\nu) \times (1+K_o)] \times P_v \quad (3)$$

여기서, D : 변형계수(kg/cm²)

R : 터널의 반경

Ko : Ph / Pv

ν : 프와송비

$P_v = r \times h$

r : 암반의 단위중량(kg/cm³)

h : 토피두께(m)

각각의 물성치는 암반층에 대한 실험결과를 사용하고, 식(3)을 이용하여 각 터널패턴별로 계산하여 각 구간별 관리기준치의 선정기준의 한가지로 활용할 수 있을 것이다.

2.2 내공변위 관리기준치

2.2.1 기존 관리기준치 이용방법

본 방법은 표 2.3, 표 2.4에 의한 암종 및 지반등급을 정하여 지반분류에 따라 터널패턴별 내공변위 관리기준치를 표 2.5로 부터 구하는 것이다.

2.2.2 탄성해석법

본 방법은 지질조사시 구한 암반특성치를 이용하여 비교적 간편하게 내공변위를 구하는 방법이다. 부분적인 지질특성

및 굴착패턴 등은 충분히 고려되어 있지 않으나 터널굴착 즉시 강지보공의 설치가 이뤄지므로 터널반경 및 토피두께, 지질조사결과 등을 토대로 하여 지보패턴이 동일한 구간에서의 최종변위예상치를 간편하게 구할 수 있는 탄성해석방법이다.

$$U = \frac{(1+\nu) \times R}{2 \times D} ((P_v + P_h) + (3-4\nu)(P_v - P_h) \cos 2\theta) \quad (4)$$

$\theta = 0^\circ$ 일때(수평방향에서의 반시계방향)

$$\text{측변변위 } U = \frac{(1+\nu) \times R}{2 \times D} [(1+K_o) + (3-4\nu) \times (1+K_o)] \times P_v \quad (5)$$

여기서, D : 변형계수(kg/cm²)

R : 터널의 반경

Ko : Ph / Pv

ν : 프와송비

Pv = r × h

r : 암반의 단위중량(kg/cm³)

h : 토피두께(m)

내공변위는 위의 식(5)에 2를 곱한 값으로 위와 같은 방법으로 각 터널패턴별로 계산하면 각 터널패턴별 관리기준치의 선정기준의 한가지로 이용할 수 있을 것이다.

표 2.3 암반 분류표 (일본 토목학회)

암종	지층명, 암석명
A	고생층, 중생층(점판암, 사암, 역암, 휘록, 응회암, 석회암등) 신생암(화강암, 편암류편마암, 천매암, 호른펠스등)
B	세충리의 고생층, 중생층
C	중생층(혈암) 화산암(유문암, 석영조면암, 안산암등) 고제삼기층의 일부(규질사암, 규질혈암등)
D	고제삼기층~신제삼기층(혈암, 사암, 역암, 응회암, 강력응회암등)
E	신제삼기층(이암, Silt암, 사암, 응회암등)
F	홍적층, 신제삼기층의 일부(저고결층, 사, 토단층)
G	표토, 붕적토등

표 2.4 지반분류기준안(일본국철기연자료)

지반 등급	경 압		중 경 압	연 압	토 사(F, G압종)	
	A, B 압종	C 압종	D 압종	E 압종	점성토	사질토
1) V _N	VP ≥ 5.2	VP ≥ 5.0	VP ≥ 4.2			
2) IV _N	5.2 > VP ≥ 4.6	5.0 > VP ≥ 4.4	4.2 > VP ≥ 3.4			
3) III _N	4.6 > VP ≥ 3.8	4.4 > VP ≥ 3.6	3.4 > VP ≥ 2.6	2.6 > VP ≥ 1.5 $\frac{\sigma_c}{\gamma H} \geq 6$		
4) II _N	3.8 > VP ≥ 3.2	3.6 > VP ≥ 3.0	2.6 > VP ≥ 2.0 $\frac{\sigma_c}{\gamma H} \geq 4$	2.6 > VP ≥ 1.5 $6 > \frac{\sigma_c}{\gamma H} \geq 4$		
5) I _N	3.2 > VP ≥ 2.5	3.0 > VP ≥ 2.5	2.6 > VP ≥ 2.0 $4 > \frac{\sigma_c}{\gamma H} \geq 2$ 2.0 > VP ≥ 1.5 $\frac{\sigma_c}{\gamma H} \geq 2$	2.6 > VP ≥ 1.5 $4 > \frac{\sigma_c}{\gamma H} \geq 2$	$\frac{\sigma_c}{\gamma H} \geq 2$	
6) I _S , I _L 특L, 특S	2.5 > VP	2.5 > VP	1.5 > VP or $2 > \frac{\sigma_c}{\gamma H}$	1.5 > VP or $2 > \frac{\sigma_c}{\gamma H}$	$2 > \frac{\sigma_c}{\gamma H}$	

VP : 탄성과 속도(km/sec)

σ_c : 암반의 일축압축강도(kg/cm²)

γ : 암반의 단위중량(t/m³)

H : 토피두께(m)

표 2.5 내공변위 관리기준치

구분	조건	내 공 변 위 량		비 고
	최대허용 변위량	터널반경 및 R/B길이의 10 % 이내		(1) 오스트리아 Alberg 터널에서의 관리기준치
	이상적인 변위량	터널반경 및 R/B길이의 3~4 % 이내		
	내공변위 속도	< 2차 라이닝 설계강도 > 0~1 mm/30일 → 200 kg/cm ² 1~3 mm/30일 → 240 kg/cm ² 3~5 mm/30일 → 320 kg/cm ²		
지 반 분 류	특 _S	단 선	75 mm 이하	(2)일본 국철 관리 기준치
		복 선	150 mm 이하	
	I _N	단 선	25~75 mm 이하	
		복 선	50~150 mm 이하	
	II _N V _N	단 선	25 mm 이하	
		복 선	50 mm 이하	

3. 6-1공구의 사례연구

3.1 개요

- 1) 현장위치 : 서울특별시 은평구 신사동, 역촌동, 대조동, 불광동 일대
- 2) 공사규모 : - 총연장 : 7,168.22 m
- 터널구간 : 6,010.44 m
- 개착구간 : 1,157.78 m
- 정차장 6개소(응암, 역촌, 불광, 독바위골, 연신내, 구산정거장)
- 환기구 13개소(터널: 7개소, 개착: 6개소)
- 3) 공사기간 : 1994년 3월 ~ 1997년 2월
- 4) 굴착공법 : NATM (Bench cut)
- 5) 지보패턴 : 풍화토 통과구간인 PS-2, 풍화암 통과구간인 PS-3A와 PS-3B, 연암 통과구간인 PS-4 구간으로 구분된다.
- 6) 주변현황 : 본 공구는 신사동 사거리를 시점으로 하여 진흥로와 대조시장을 지나 불광동 사거리에서 지하철 3호선과 교차하고 연서시장을 지나 연신내 사거리에서 3호선과 교차한 다음 연서로를 따라 신사동 사거리에 이르는 순환선이다. 터널 통과구간 주변은 재래 상권이 형성되어 상가와 주택 등이 밀집되어 있으며, 이들 건물들의 지하구조물 깊이가 얕다.
- 7) 특기사항 : 대부분 터널통과구간이 도로 하부의 하수 Box 를 따라 통과하며, 기존 3호선과 2개소(불광역, 연신내역)에 걸쳐 교차된다.

3.2 지질특성

본 조사지역의 30개소에서 실시한 시추조사 결과, 본 지역에는 흑운모 호상편마암이 기반암으로 분포하고 있으며 기반암의 풍화대가 상당히 불규칙한 층후로 발달하여 기반암을 피복하고 있고 그 상부에는 하상퇴적층 및 매립층이 피복하고 있다. 지층의 분포상태는 지표면으로 부터 매립층, 하상퇴적층, 풍화잔류토층, 풍화암층, 연암층, 경암층으로 분류할 수 있다. 매립층은 도로 및 도시개발을 위한 매립에 의해 형성된 지층으로서 본 지역에서는 1.4~4.0m의 층후로 분포하고 있다. 주로 실트, 모래, 및 자갈이 혼재하며 부분적으로는 유기질 등을 포함하고 있다.

하상퇴적층은 홍적세에 일어난 한강과 주변 하천으로 퇴적작용에 의해 퇴적된 비고결층으로 모래층이 하상퇴적층의 대부분을 차지하고 있다.

풍화잔류토층은 기반암이 완전풍화된 상태로서 경암의 본래조직은 유지하고 있으며, 분포층후는 1.2 ~ 7.5m이다.

풍화암은 대부분 2.8~8.1m의 층후로 분포하나 일부 지역에서는 깊은 심도까지 풍화가 진행되어 있다.

연암은 기반암이 중간정도 풍화된 상태로 1.0~28.5m의 층후로 매우 불규칙한 분포를 보이는데 파쇄가 매우 심해 R.Q.D는 매우 낮게 나타나고 있으며 암질 또한 약한상태에서 강한상태까지 그 변화가 매우 심한상태이다.

경암은 기반암인 흑운모 호상 편마암으로 약간 풍화된 상태에서 신선한 암의 상태로 석영, 장석, 흑운모등으로 구성되어 있으며 광물의 재결정 작용시 집중정도에 따라 호상구조 및 안구상 구조를 보이거나 피상으로 분포하기도 하며, R.Q.D는 각 시추공에 따라 매우 다양한 값을 나타내고 있다. 다음 표..는 본 공구에 대한 지질조사 위치별 지층조건 및 터널통과 지층의 암질특성이다.

지하수위는 GL(-)2.7~4.7m 정도로 대부분 하상퇴적층내에 분포하고 있어서 터널굴착시 터널통과구간이 풍화암인 경우

에는 지하수위의 저하가 예상된다.

그림 3.1과 3.2는 지질조사가 실시된 시추공의 평면도 및 지층단면도이며, 표 3.1과 3.2는 각각 본 공구에 대한 지질 조사 위치별 지층조건 및 터널통과지층의 암질특성이다.

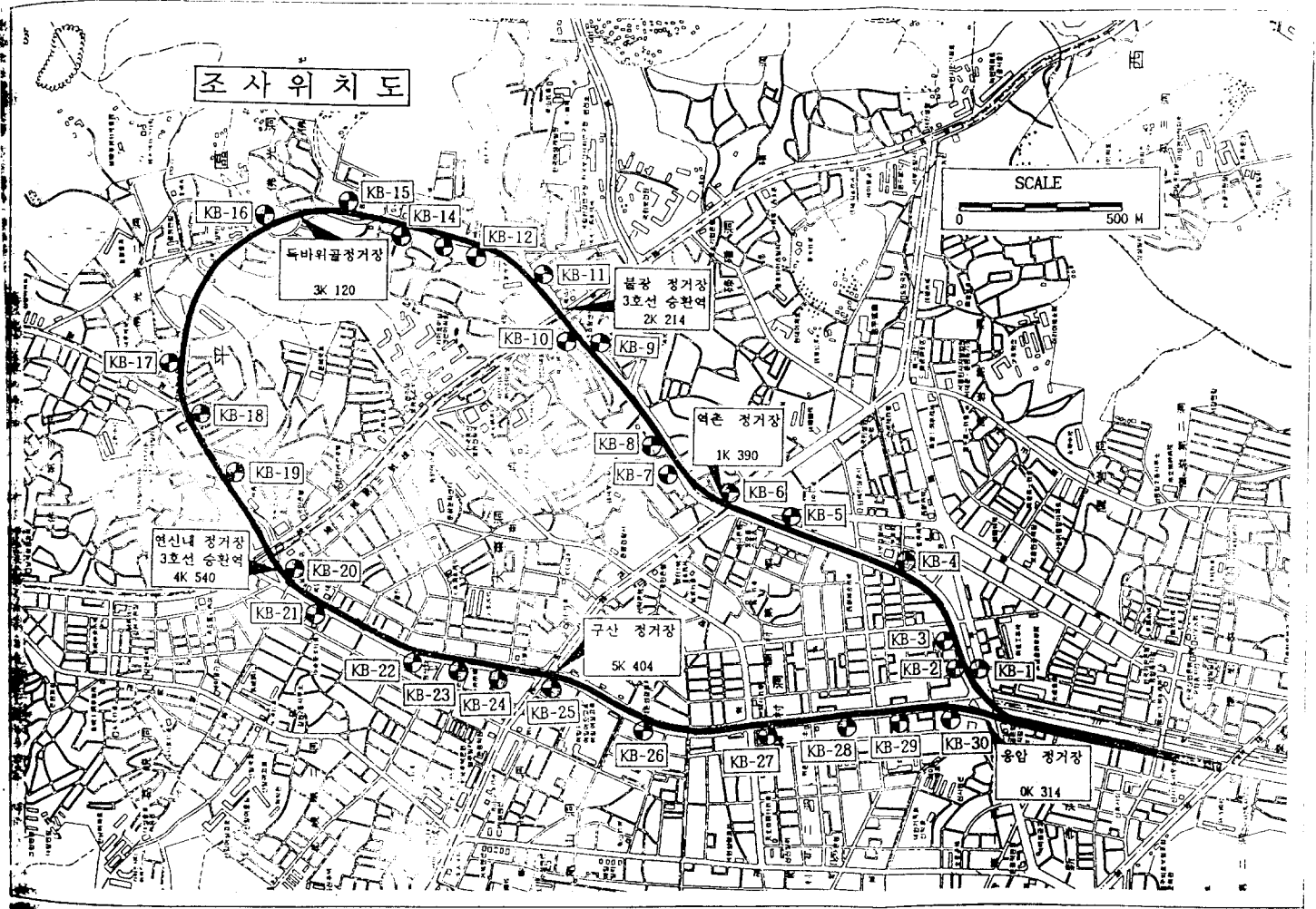


그림 3.1 시추조사평면도

표 3.1 지질조사 위치별 지층조건

단위 : m

지층명 공번	위치	매립층	하상퇴적층			풍화간 류토층	풍화암	연암	경암	계
			실트층	모래층	자갈층					
KB-1	0K460	2.3		9.3			5.4	6.0	1.5	24.5
KB-2	0K500	4.0	2.5	4.0			7.5	5.0	2.0	25.0
KB-3	0K600	2.3	3.2	4.5		1.5	5.5	5.5	4.5	27.0
KB-4	0K870	1.7		9.3		1.5	10.2	9.3		32.0
KB-5	1K240	1.8		7.9		2.8	16.0	4.5	0.5	33.5
KB-6	1K420	4.0		4.9		4.1	14.5	4.3	5.2	37.0
KB-7	1K620	3.5	2.0	3.5		3.0	6.5	7.9	9.6	36.0
KB-8	1K710	4.8	1.5	2.3		2.4	7.9	3.6	14.3	36.8
KB-9	2K040	3.5		3.3	2.0	1.2	4.0		24.0	38.0
KB-10	2K150	4.0		4.7		1.3		14.5	14.0	38.5
KB-11	2K350	2.4		7.8			21.3	10.5		42.0
KB-12	2K580	1.9	2.4	2.9		1.8	22.0	12.7		43.7
KB-13	2K660	3.2		4.3			20.7	12.8		41.0
KB-14	2K800	2.8				4.7	10.5	1.0	23.5	42.5
KB-15	2K990	2.2					2.8		40.0	45.0
KB-16	3K240	2.6				5.2	12.7	3.0	25.5	49.0
KB-17	3K800	1.5			1.0		3.0	3.6	29.9	39.0
KB-18	3K960	2.0			1.5	7.5	7.5	4.5	14.0	37.0
KB-19	4K180	3.4		1.0	2.3		0.3	13.0	15.5	35.5
KB-20	4K540	2.0			4.8	3.7	8.1	4.2	10.7	33.5
KB-21	4K680	1.4			5.2	2.1	3.3	1.0	18.0	31.0
KB-22	5K000	2.0		3.2	1.4		4.6	4.8	14.5	30.5
KB-23	5K110	2.1		3.8	0.5	6.1	7.4	2.1	8.0	30.0
KB-24	5K260	1.6	2.0	4.5			3.9	4.5	14.0	30.5
KB-25	5K410	1.9		7.0			6.2	6.1	9.8	31.0
KB-26	5K760	4.7	2.9	3.3	1.6	3.5	6.5	0.5	6.5	29.5
KB-27	6K080	2.3		7.7			5.5	2.8	9.7	28.0
KB-28	6K290	1.5	3.0	6.0			4.3	3.7	8.5	27.0
KB-29	6K500	3.0		7.5	3.3			2.2	12.5	28.5
KB-30	6K660	3.0	1.5	5.5	2.0		3.0	2.0	6.5	23.5
계		79.4	21.0	118.2	25.6	52.4	231.1	155.6	342.7	1026.0

~~KB-5, KB-11, KB-12, KB-21, KB-27~~ 현재 굴착된 곳

표 3.2 터널통과지층의 암질특성

단위 : m

지층명 공번	위치	시추심도(m)	터널통과구간(m)	분류심도(m)	암 종	R.Q.D(%)	R.M.R	분 류
KB-1	0K460	24.5	14~23	14~17	풍화암	0	7	V
				17~23	연 암	0	23	IV
KB-2	0K500	25.0	14~23	14~18	풍화암	0	11	V
				18~23	연 암	0	23	IV
KB-3	0K600	27.0	17~25	17~22.5	연 암	0	28	IV
				22.5~25	경 암	50	57	III
KB-4	0K870	32.0	17~26	17~22.7	풍화암	0	15	V
				22.7~26	연 암	0	26	IV
KB-5	1K240	33.5	21~31	21~28.5	풍화암	0	15	V
				28.5~31	연 암	0	26	IV
KB-6	1K420	37.0	20~31	20~27.5	풍화암	0	15	V
				27.5~31	연 암	0	26	IV
KB-7	1K620	36.0	21~31	21~26.4	연 암	9	26	IV
				26.4~31	경 암	12	39	IV
KB-8	1K710	36.8	22.5~32	22.5~32	경 암	53	57	III
KB-9	2K040	38.0	22~32	22~32	경 암	39	52	III
KB-10	2K150	38.5	22~32	22~24.5	경 암	75	59	III
				24.5~32	경 암	15	42	III
KB-11	2K350	42.0	22.5~31.5	22.5~31.5	풍화암	0	26	IV
KB-12	2K580	43.7	23~33	23~31	풍화암	0	26	IV
				31~33	연 암	0	23	IV
KB-13	2K660	41.0	24~34	24~28.2	풍화암	0	21	IV
				28.2~34	연 암	13	26	IV
KB-14	2K800	42.5	24~35	24.5~35	경 암	22	47	III
KB-15	2K990	45.0	27~37	27~37	경 암	26	57	III
KB-16	3K240	49.0	33~42	33~42	경 암	52	62	II
KB-17	3K800	39.0	23~33	23~33	경 암	52	57	III
KB-18	3K960	37.0	25~36	25~36	경 암	32	49	III
KB-19	4K180	35.5	23~33	23~33	경 암	27	44	III
KB-20	4K540	33.5	23~33	23~33	경 암	52	57	III
KB-21	4K680	31.0	20~29	20~29	경 암	41	52	III
KB-22	5K000	30.5	20~30	20~30	경 암	80	66	II
KB-23	5K110	30.0	20~29	20~22	연 암	12	23	IV
				22~29	경 암	57	62	II
KB-24	5K260	30.5	20~29	20~29	경 암	82	66	II
KB-25	5K410	31.0	18~28	18~21.2	연 암	20	23	IV
				21.2~28	경 암	26	44	III
KB-26	5K760	29.5	19~28	19~23	풍화암 ~연암	0	13	V
				23~28	경 암	70	57	III
KB-27	6K080	28.0	16~26	16~18.3	연 암	0	24	IV
				18.3~26	경 암	28	44	III
KB-28	6K290	27.0	16~25	16~18.5	연 암	0	15	V
				18.5~25	경 암	27	41	III
KB-29	6K500	28.5	14~24	14~16	연 암	0	15	V
				16~24	경 암	0	29	IV
KB-30	6K660	23.5	13~23	13~15	풍화암	0	15	V
				15~17	연 암	8	17	V
				17~23	경 암	5	31	IV

3.3 시공순서 및 지보패턴

굴착공법은 상·하반 분할굴착으로 상반을 약 2m 이상 굴진한후 하반을 진행하였다. 시공순서는 ①굴착, ②버럭처리, ③강 지보공설치, ④숏크리트타설, ⑤Wire Mesh(PS-3구간), ⑥숏크리트타설, ⑦Wire Mesh, ⑧록볼트설치등의 순으로 진행되었으며, 매막장 굴진장 및 지보설치는 표 3.3에 준하여 실시하였다.

터널의 설계 및 시공을 위한 지보패턴은 다음 표 3.3과 같다.

표 3.3 지보패턴

지보패턴 구분		PS - 2	PS - 3A	PS - 3B	PS - 4	PS - 5
적용지반		풍화토	풍화암 (굴착면:풍화암)	연암 및 경암 (천정부 굴착면의 상부:풍화암, 굴착면:연암)	연암 보통암	경암
굴착공법		Long Bench + Temp. invert	Long Bench + Temp. invert	Long bench	Long bench	Bench cut
단면형상		난형	난형 혹은 수정 마제형	난형 혹은 수정 마제형	난형 혹은 수정 마제형	난형 혹은 수정 마제형
굴진장(m)	상반	0.8 m	1.0 m	1.0 m	1.2 m	1.2 m
	하반	0.8 m(RS) 1.6 m(WR)	1.2 m	1.2 m	2.4 m	2.4 m
1차 복공 Shotcrete	1 차	5	5	5	5	5
	2 차	10	10	10	10	5
	3 차	10	10	5	-	-
		25cm	25cm	20cm	15cm	10cm
Mesh	1 차	φ5×100×100	φ5×100×100	φ5×100×100	φ5×100×100	φ5×100×100
	2 차	φ5×100×100	-	φ5×100×100	-	-
Rockbolt	재원	SD35, D25 L = 3,000	SD 35, D25 L = 3,000	SD35, D25 L = 3,000	SD35, D25 L = 3,000	SD35, D25 L = Random
	갯수	8개 / 0.8m	8개 / 1.0m	8개 / 1.0m	7개 / 1.2m	-
	타설위치					Random Bolting
강지보공	재원	SS41, H - 100	SS41, H - 100	SS41, H - 100	SS41, H - 100	-
	설치간격	매막장당	매막장당	매막장당	매막장당	-
내부복공	설계강도	240 kg/cm ²	240 kg/cm ²	240 kg/cm ²	240 kg/cm ²	240 kg/cm ²
Concrete	최소두께	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm
보조공법		Fore Poling (C.T.C 20~50cm L = 4.0m, 설치간격 1.6m) 필요시 강관다단 주입(C.T.C 40cm L=16.25m) 필요시 차수 및 지반 개량주입	Fore Poling (C.T.C 20~50cm L = 2.5m, 설치간격 1.0m) 필요시 강관다단 주입(C.T.C 40cm L=16.25m) 필요시 차수 및 지반보강 주입	Fore Poling (C.T.C 20~50cm L = 2.5m, 설치간격 1.0m) 필요시 강관다단 주입(C.T.C 40cm L=16.25m) 필요시 차수 및 지반보강 주입	Fore Poling (C.T.C 20~50cm L = 2.5m, 설치간격 1.0m) 필요시 강관다단 주입(C.T.C 40cm L=16.25m) 필요시 차수 및 지반보강 주입	필요시 강관다단 주입(C.T.C 40cm L=16.25m)

3.4 계측관리

6-1공구 현장에서 수행한 계측중 천단침하와 내공변위측정은 603002환기구(단선구간, PS-2, PS-3A, PS-3B, 0K 990~1K 460), 600101작업구(단선구간, PS-3A, PS-3B, 2K 290~2K 739), 독바위골정거장(정거장 터널구간, PS-4, 3K 073~3K 255), 60101작업구(단선구간, PS-4, 4K 612~4K 725), 임시작업구(단선구간, PS-4, 5K 946~6K 127)에서 터널연장 20m 간격으로 아래 그림 3.1과 같이 터널측벽의 상,하반과 천단부에 각각 핀(지름 25mm, 길이 40cm)을 암반내에 관입 설치하였으며 설치시기는 초기읽음시 막장과의 이격거리는 1.0~2.0m로 하였다. 내공변위측정은 독일 글로쓰사의 제품으로 정밀도 0.05mm인 측정기를 터널 좌,우측의 핀에 연결하여 기준선이 일치할 때의 값을 측정치로 하였으며, 천단침하측정은 천단핀에 스타프를 대고 레벨기를 이용하여 천단침하를 측정하였다. 측정은 설치일로 부터 변위가 수렴되는 것을 확인할 때 까지 계측빈도(설치일~7일:1회/일, 8일 이후:2회/주)를 조절하여 수행하였다. 계측기 설치시기는 가급적 시공 초기단계, 즉 굴착후 즉시 설치하는 것이 굴착에 따른 변위발생량을 최대한 수집할 수가 있다. 본 연구에서 대부분의 내공, 천단침하측정핀이 막장으로 부터 약 1.0~2.0m 떨어진 곳에 설치되었다. 국내시공 여건상 터널굴진시 별도의 계측기 설치시기가 주어지지 못하는 경우가 대부분이며 주·야간작업도중 록볼트설치를 위한 천공시에만 천단 및 내공변위핀의 설치가 가능하므로 비교적 제대로 계측관리를 수행할 경우 막장면에서 설치위치까지의 거리는 대개 2.0~3.0m로 알려져 있다. 막장면에 최대한 근접하여 설치를 하여도 초기치 읽음시기등을 고려하면 계측값의 획득시기는 다소 지연되게 된다. 최근에도 국내지하철 공사현장중 극히 일부구간에서만 막장으로부터 약 1.0m 이내에 계측기가 설치되고 있는 실정이다.

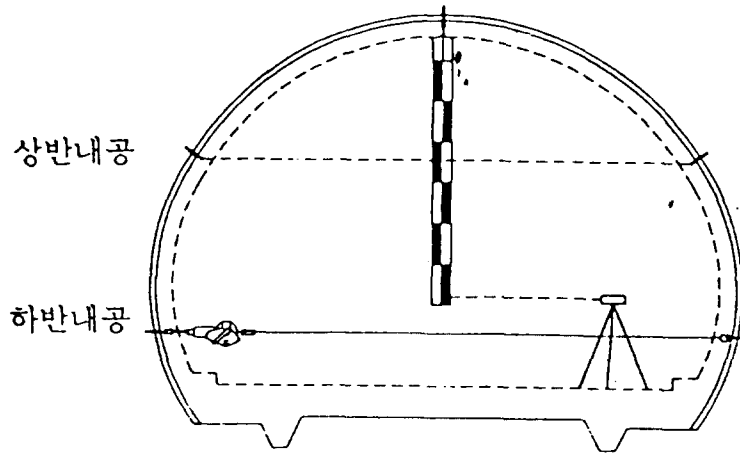


그림 3.3 천단 및 내공변위 측정단면도

계측이 수행된 터널패턴별 특성 및 계측수행 측선수를 나타내면 다음 표 3.4와 같다.

표 3.4 터널패턴별 특성 및 계측수행 측정단면수

터널패턴	적 용 구 간		측정단면수	암의 피복두께(m)	굴착방법	비 고
PS-4	독바위골 정거장	3K 073~3K 255	6 개소	22~26.15	Bench Cut	
	60101 작업구	4K 612~4K 725	9 개소	12.3~13.05		
	임시 작업구	5K 946~6K 127	9 개소	6.65~11.0		
PS-2	603002 환기구	0K 990~1K 460	28 개소	10.1~10.9	Bench Cut + Temp Invert	
PS-3	600101 작업구	2K 290~2K 739	35 개소	7.1~17.5		

4. 계측결과 분석 및 고찰

본 장에서는 지하철 6호선 6-1공구중 현재 계측이 완료된 지점에서의 계측결과를 터널패턴과 지질조사에서 나타난 암질, 토피하중, 암의 피복두께와의 상관관계를 분석해 보았다.

4.1 PS-2패턴의 적용구간

본 패턴은 터널굴착면이 풍화토지대 이거나 풍화암지대 중 암질상태가 불량한 구간에 적용되는 패턴으로 본 패턴의 적용은 막장관찰 결과를 토대로 하였다. 본 패턴이 적용된 구간의 굴착방법은 상·하반 코아굴착으로 시공되었으며, 이와 같은 지보패턴이 적용된 계측지점의 지질특성 및 계측결과는 다음 표 4.1 및 그림 4.1과 같다.

표 4.1 PS-2지보패턴 적용구간의 암질특성 및 계측결과

STATION	R1(평점)	R2(평점)	R3(평점)	R4(평점)	R5(평점)	R6(평점)	RMR(평점)	암등급	토피하중 (t/m ²)	암의 피복두께	천단침하 (mm)	상반내공 (mm)	하반내공 (mm)	비고
IK 161														
IK 162	2	5	12	7	8	-11	21	IV	44.94	10.7	6	46.3	18.8	토사존재
IK 170	2	5	11	6	8	-11	19	V	45.98	10.9	5	32.8	19.4	토사존재
IK 181	2	3	17	4	8	-12	22	IV	45.7	10.5	5	16.4	47.9	토사존재
IK 190	2	3	20	5	7	-12	25	IV	45.7	10.5	7	9.2	11.4	토사존재
IK 200							19	V	45.9	10.5	6	6.7	7.1	
IK 207							19	V	46.1	10.5	6	6.1	4.5	
IK 237							19	V	47.22	10.1	8	7	2.5	
IK 244	2	3	15	6	8	0	34	IV	47.22	10.1	5	3.25	2.9	
IK 245														

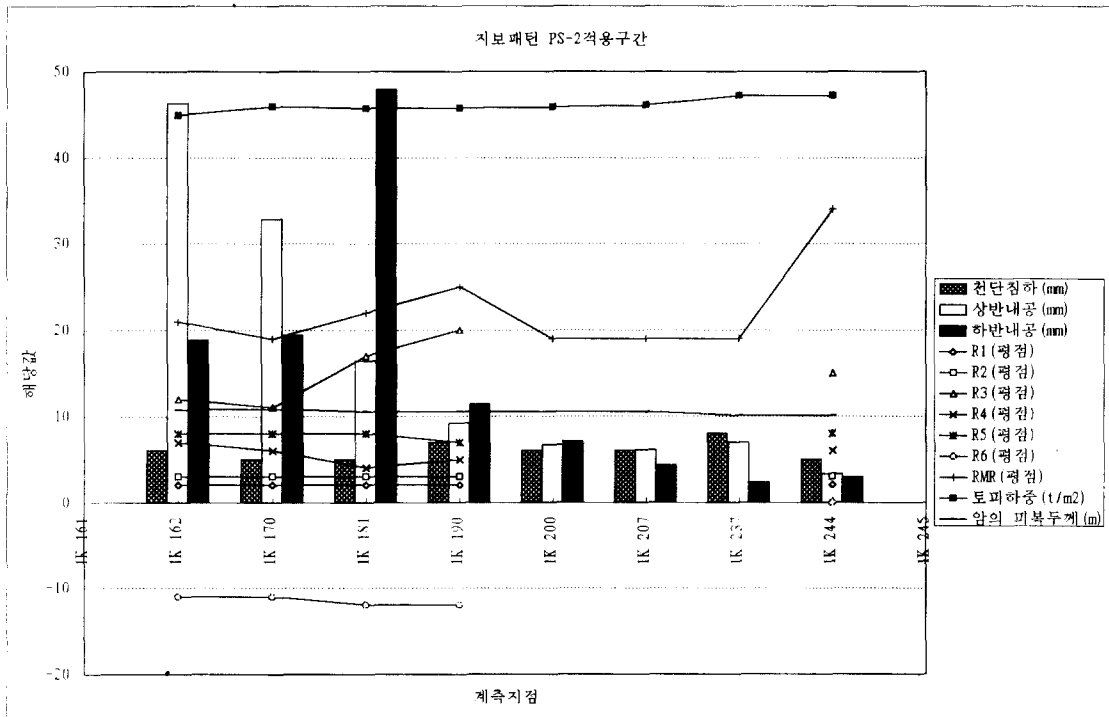
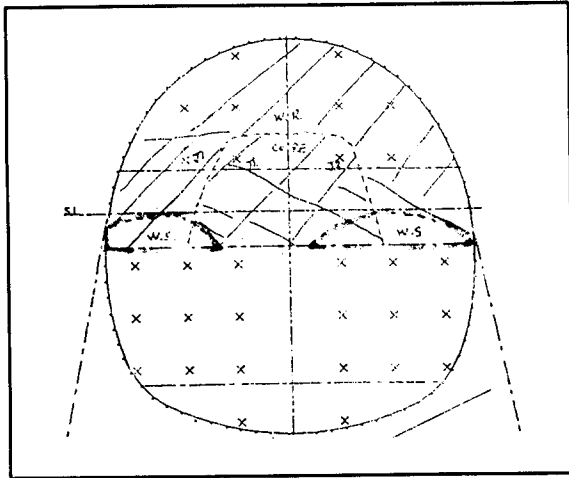


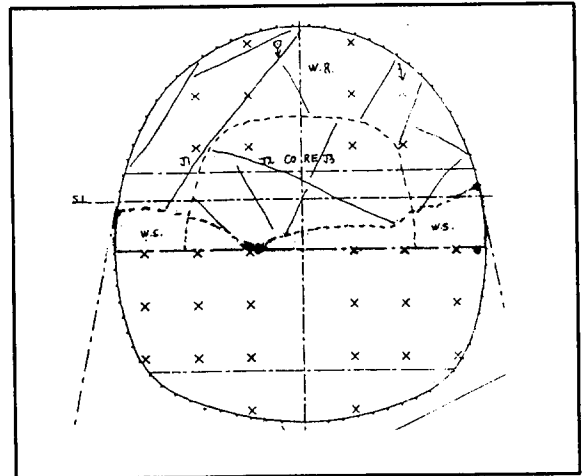
그림 4.1 암질특성과 천단침하 및 내공변위와의 관계

위의 표와 그림에서 슛크리트 보강으로 인해 계측기가 망실되어 재 설치하여 측정한 지점은 제외하였다. 표 4.1 및 그림 4.1에서 알 수 있는바와 같이 STA.1K162~STA.190구간과 같이 굴착면이 풍화암이지만 터널의 SL주변에 토사가 존재할 경우는 내공변위가 매우 크게 발생하였는데, 이러한 변위값은 막장관찰결과, 토사가 분포하는 폭이 넓으면 상대적으로 큰 변위가 발생하는 것을 알 수 있었다. 발생된 천단침하는 풍화암구간에서 5~7mm보다 풍화토구간에서 6~8mm로 다소 크게 발생했지만 큰 차이를 보이지는 않았다. 이와같은 이유로는 풍화토가 풍화암에 가까운 것이기 때문으로 사료된다. 내

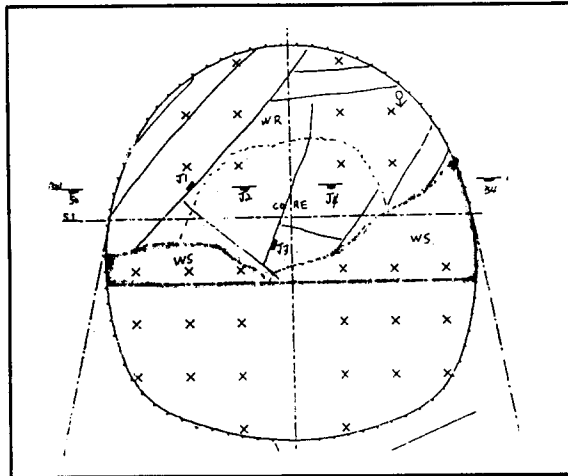
1K 138.6



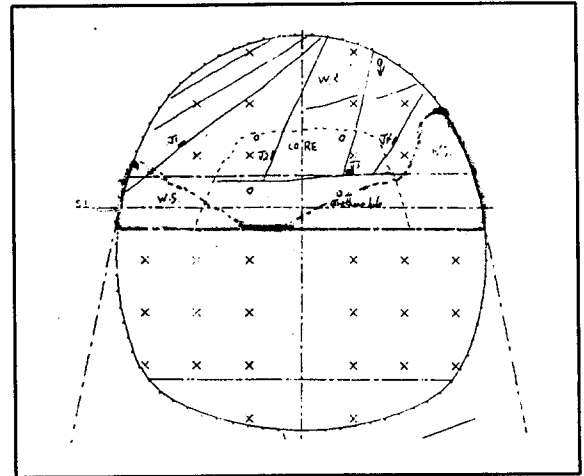
1K 151.6



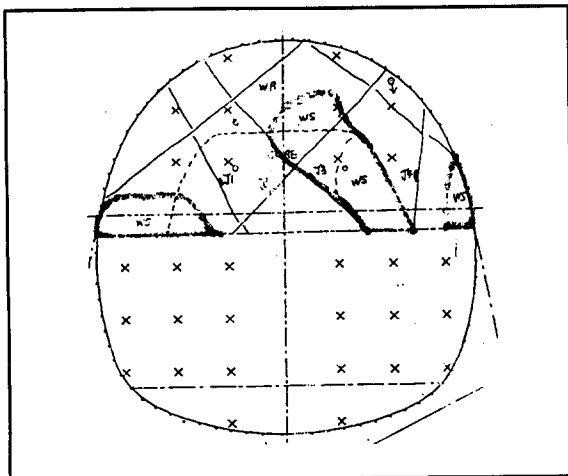
1K 162.8



1K 170.8



1K 181.2



1K 189.2

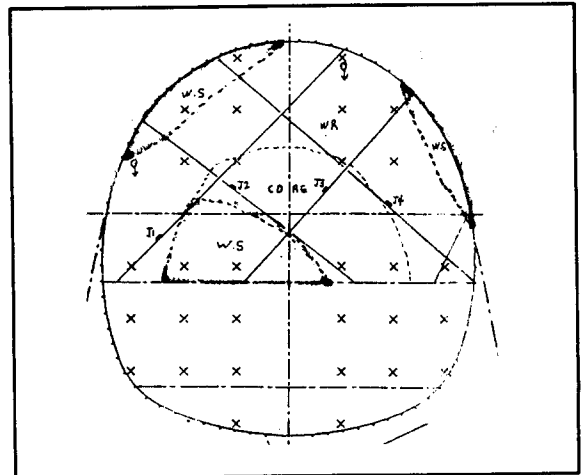


그림 4.1-1 막장관찰결과(토사층 출현구간)

공변위는 STA.1K162~STA.1K190구간을 제외하면 STA.1K200~1K237구간과 같이 막장면이 풍화토인 지점에서 약 6~7mm로 STA.1K244의 풍화암 지점에서의 변위 3.25mm보다 큰 변위를 나타내고 있다. 천단침하와 내공변위를 비교해 보면 S.L근처에 토사가 존재하지 않는 풍화암에서는 천단침하가 5mm로 내공변위 3.25mm보다 크게 발생했으나 STA.1K200~1K237구간과 같이 굴착면이 풍화토인 구간에서는 약 7mm정도로 비슷한 결과를 나타내었다. 상반측 내공변위와 하반측 내공변위를 비교해 보면 현재 상·하반 분할굴착상태에서는 암중에 관계없이 상반측 내공변위가 하반측 내공변위보다 다소 크게 발생하는 특징이 있었다.

4.2 PS-3A패턴의 적용구간

터널시공시 막장관찰 결과를 토대로 PS-3A패턴을 적용한 계측지점의 굴착방법은 STA.1K138 지점과 STA.1k150 지점(상·하반 코아굴착)을 제외하고는 상·하반 분할굴착으로 이루어 졌으며 본 패턴이 적용된 구간은 풍화암 지대로 이루어져 있다. PS-3A 지보패턴이 적용된 계측지점의 암질특성 및 계측결과는 다음 표 4.2 및 그림 4.2와 같다.

표 4.2 PS-3A지보패턴 적용구간의 암질특성 및 계측결과

STATION	R1(평점)	R2(평점)	R3(평점)	R4(평점)	R5(평점)	R6(평점)	RMR(평점)	암등급	토피하중(t/m2)	암의 피복두께	천단침하(mm)	상반내공(mm)	하반내공(mm)	비고
1K 094														
1K 095	4	7	18	13	7	-12	37	IV	45.1	10.5	4	12.9	1.8	
1K 121	2	4	15	10	8	-12	27	IV	45.1	10.5	4	17.1	6.1	
1K 138	2	3	15	8	8	-12	24	IV	45.62	11.1	7	35.6	6.4	토사존재
1K 150	2	3	16	6	8	-12	23	IV	45.2	11	6	22.3	6.1	토사존재
1K 300	4	3	20	6	8	-12	29	IV	48.76	10.8	6	7.2	9.7	
2K 368	2	3	10	6	8	-12	17	V	50.38	13.9	5	2.75	1.45	
2K 383	2	3	10	6	7	-5	23	IV	50.02	14.1	12	9.55	2.45	횡갱
2K 385	2	3	10	6	4	0	25	IV	50.06	14.3	9	5.7	2.25	횡갱
2K 390	2	3	10	6	4	0	25	IV	50.5	14.5	10	8.3	2.65	횡갱
2K 391	2	3	10	6	4	0	25	IV	50.5	14.5	10	4.8	1.9	횡갱
2K 395	4	3	10	6	4	-2	25	IV	50.5	14.5	8	7.35	2.7	횡갱
2K 415	2	3	10	6	8	0	29	IV	51.2	15	7	4.05	3.6	횡갱
2K 416														

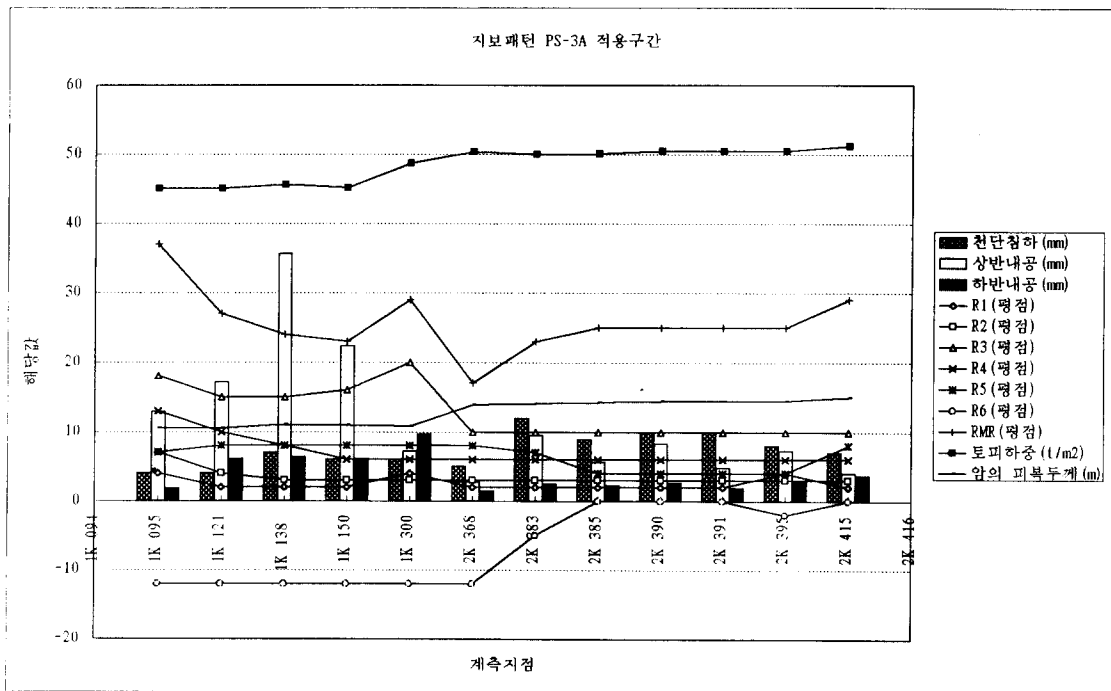


그림 4.2 암질특성과 천단침하 및 내공변위와의 관계

위의 표와 그림에서 STA.1K138 지점과 STA.150 지점은 S.L주변에 토사가 존재하는 지점으로 다른 계측지점에 비해

큰 내공변위가 발생하는 것을 알 수 있었다. 그리고 STA.2K238~2K415 구간은 횡갱이 설치되는 구간으로서 이 구간은 본선구간과는 다른거동을 나타내어 특히 천단침하가 7~12mm로 다른 본선구간의 천단침하 4~7mm에 비해서 크게 발생했다. 상반측 내공변위와 하반측 내공변위를 비교해 볼 때 현재 상·하반 분할굴착방법(터널높이 7.31~7.75 m, 폭 6.77~7.23m, 상반굴착고3.26~4.35m)에서는 일반적으로 상반측 내공변위가 하반측 내공변위보다 다소 큰 경향을 띄고 있으나, STA.1K300지점과 같이 간혹 이와 상반되는 경우도 있었다. 이와 같은 원인으로서는 하반측 암질상태가 상반측보다 불량하기 때문인 것으로 사료된다. PS-3A 지보패턴이 적용된 구간의 천단침하와 내공변위를 비교해 보면 S.L주변에 토사가 존재하는 경우를 제외하고는 일반적으로 천단침하가 내공변위보다 더 크게 발생했다.

표 4.3 PS-3B지보패턴 적용구간에서의 암질특성 및 계측결과

STATION	R1(평점)	R2(평점)	R3(평점)	R4(평점)	R5(평점)	R6(평점)	RMR(평점)	암등급	토피하중 (t/m ²)	암의 피복두께 (m)	천단침하 (mm)	상반내공 (mm)	하반내공 (mm)	비고
1K 309														
1K 310	4	5	21	8	8	-12	32	IV	45.2	9	3	17.3	5.4	정거장 구간
1K 326	4	5	15	10	8	-8	32	IV	44.54	8.7	6	13.9	5	정거장 구간
1K 340	5	5	16	11	8	-12	29	IV	44.56	8.8	4	14.6	6.4	정거장 구간
1K 360	5	5	14	11	7	-8	30	IV	45	10	6	16.8	3.8	정거장 구간
2K 217	4	5	21	6	8	-12	30	IV	49	8	6	5.15	4.1	
2K 235	4	5	23	6	8	-12	38	IV	49.62	7.1	7	4.6	2.2	
2K 345	4	5	20	6	8	-12	29	IV	49.66	13.5	5	3.05	2.15	
2K 355	4	5	22	6	8	-12	31	IV	49.7	13.5	5	3	4.4	
2K 423	4	5	20	6	8	-5	36	IV	51.86	15.3	6	2.9	2.65	
2K 430	4	5	20	6	8	0	41	III	52.1	15.5	5	3.15	2.1	
2K 437	4	5	20	6	8	-12	31	IV	51.5	15.5	6	4	3.15	
2K 444	4	5	20	6	7	0	40	IV	51.1	15.5	7	4.6	4.95	
2K 460	4	5	22	6	8	-12	31	IV	50.78	15.9	6	5.55	3.3	
2K 475	4	5	23	9	8	-12	37	IV	50.74	15.7	6	6.35	4	
2K 490	4	5	20	6	8	-12	29	IV	50.9	14.5	6	3.7	2	
2K 505	4	5	20	9	8	-12	35	IV	52.94	14.7	7	3.9	2.65	
2K 520	4	5	19	10	7	-10	35	IV	53	15	6	10.45	4.95	
2K 535	4	5	20	12	8	-12	35	IV	52.8	15	5	6.85	5.2	
2K 550	4	5	23	12	8	-12	40	IV	53.1	15.5	7	7.55	3.5	
2K 565	4	6	24	12	8	-12	42	III	50.5	14.5	5	7.2	4.65	
2K 580	4	5	18	12	8	-12	35	IV	53.2	16	6	7.15	3.85	
2K 595	4	5	21	12	8	-12	41	III	53	16	5	7.5	3.5	
2K 610	4	5	21	12	6	-12	39	IV	53.3	16.5	6	7.55	6.6	
2K 625	4	5	19	12	6	-12	37	IV	53.4	17	5	6.6	3.5	
2K 640	5	5	15	12	5	-12	28	IV	54.06	17.3	6	5.1	2.05	
2K 655	4	6	16	12	7	-12	33	IV	53.5	17.5	4	4.4	1.8	
2K 656														

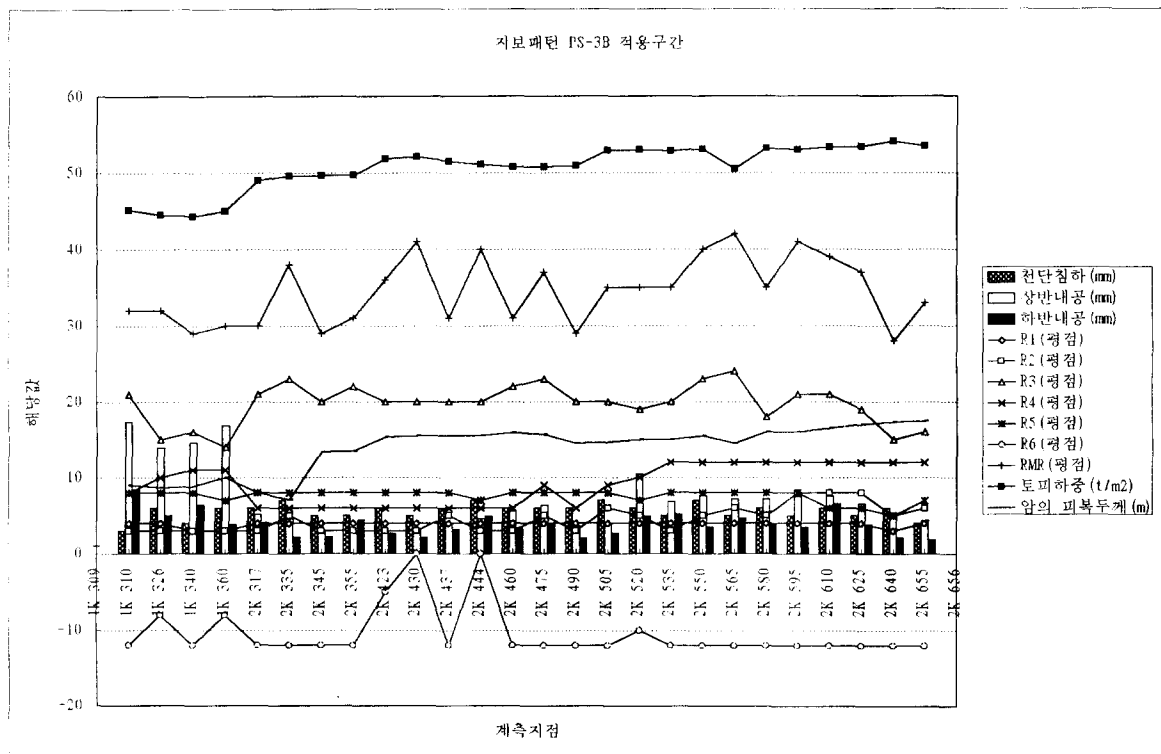


그림 4.3 암질특성과 천단침하 및 내공변위와의 관계

4.3 PS-3B 패턴의 적용구간

터널시공시 막장관찰 결과를 토대로 풍화암지대 중에서 굴착면의 암질상태가 양호한 구간에서는 PS-3B 지보패턴을 적용하였다. 본 패턴이 적용된 계측지점의 굴착방법은 굴착면의 암질상태가 불량한 STA.1K340 지점과 STA.1K360 지점(상·하반 코아굴착)을 제외하고는 상·하반 분할굴착으로 이루어 졌다. PS-3B 지보패턴이 적용된 계측지점의 암질특성 및 계측결과는 표 4.3 및 그림 4.3과 같다. 정차장구간의 터널 폭은 15.4m, 높이 11.6m 이다.

표 4.3에서 STA.1K310~1K360 구간은 정거장이 설치되는 구간으로 단면이 확대되어 시공되었다. 이와같이 단면이 확대된 구간의 계측지점에서는 내공변위(상반)가 평균 16mm로 다른 일반 본선구간의 계측지점에서의 평균 5mm에 비해 크게 발생하였다. 발생한 천단침하와 내공변위를 비교해 보면 단면확대구간을 제외하고는 다른 지보패턴과 마찬가지로 천단침하가 내공변위보다 대체로 크게 발생했으나 STA.2K520~STA.2K625 구간은 상반내공변위가 천단침하보다 다소 크게 발생하였는데 이와같은 이유로는 계측 측점에서의 절리의 부분적인 방향성에 기인한 것으로 사료된다. 내공변위 역시 상반측이 하반측 내공변위보다 크게 발생하였는데, 이와같은 이유로는 하반굴착을 시행할 경우에는 이미 상반굴착으로 인해 어느정도 변위가 발생하였고 계측은 이와 같은 변위가 발생한 이후에 실시되기 때문인 것으로 사료된다.

4.4 PS-4 패턴의 적용구간

터널시공시 막장관찰 결과를 토대로 굴착면의 암질상태가 연암내지 경암지대에는 PS-4 지보패턴을 적용하였다. 본 패턴이 적용된 계측지점의 굴착방법은 상·하반 분할굴착으로 시공되었다. PS-4 지보패턴이 적용된 계측지점의 암질특성 및 계측결과는 표 4.4 및 그림 4.4와 같다.

표 4.4와 그림 4.4에서 STA.3K120~3K230 구간은 정거장이 설치되는 구간으로 단면이 확대되어 시공되었으며, 6K036 지점은 횡개이 설치되는 지점이다. 정거장이 설치되는 구간은 심도가 다른 계측지점에 비해 매우 깊었지만 발생한 천단침하는 정거장구간이나 일반본선구간 모두 0~3mm정도로 계측지점 전반에 대해서 거의 같은 값으로 수렴하였다. 정거장 구간에서의 내공변위는 풍화암에서의 PS-3B지보패턴과는 달리 단면확대로 인해 특별한 영향을 받지않고 다른 본선구간과 비슷한 결과를 나타내었다.

표 4.4 PS-4지보패턴 적용구간에서의 암질특성 및 계측결과

STATION	R1(평점)	R2(평점)	R3(평점)	R4(평점)	R5(평점)	R6(평점)	RMR(평점)	암등급	토피하중 (t/m ²)	암의 피 복부계	천단침하 (mm)	상반내공 (mm)	하반내공 (mm)	비고
3K 119														
3K120	12	8	22	18	8	-10	58	III	74.35	24.75	2	0.4		정거장 구간
3K140	12	7	15	18	8	-12	48	III	72.73	25.1	3	3.4		정거장 구간
3K175	12	8	16	16	7	-10	49	III	60.22	22	2	1.7		정거장 구간
3K190	12	7	17	19	7	-12	50	III	74.38	26.15	2	1.1		정거장 구간
3K210	12	8	19	17	7	-12	51	III	76.44	26.1	2	0.7		정거장 구간
3K250	10	8	22	18	8	-9	55	III	74.48	24.65	2	0.6		정거장 구간
4K625	12	8	19	20	7	-10	56	III	50.68	12.25	1	0.3		
4K640	12	5	16	19	8	-12	48	III	49.18	12.5	2	0.5	0.6	
4K655	12	5	15	20	8	-5	58	III	49.58	12.5	3	0.8	1	
4K689	12	3	25	20	8	-12	56	III	48.68	12.5	3	1	0.6	
4K700	12	6	22	17	8	-12	53	III	51.29	15.05	1	0.4	0.8	
4K714	12	5	19	20	7	-10	56	III	51.26	12.6	0	0.2		
5K960	12	8	25	20	7	-12	60	III	43.85	7.5	1	0.2		
5K990	12	8	18	20	8	-12	54	III	42.45	8	2	0.8		
6K010	12	13	20	17	8	-11	59	III	42.03	8.1	1	1.6	0.5	
6K026	12	8	20	20	8	-12	56	III	43.6	8.8	2	0.5	0.6	
6K036	12	13	25	20	8	-12	66	II	44.15	9.5	4	1.3	0.7	횡개
6K045	12	6	18	20	8	-12	52	III	43.49	9.1	2	1.2	0.4	
6K062	12	8	13	15	8	-12	44	III	40.41	8.4	2	1.9	0.5	
6K085	12	8	15	20	8	-12	51	III	46.1	11	3	1.2	0.4	
6K119	12	8	20	19	7	-12	54	III	40.29	6.65	2	0.2		
6K611														

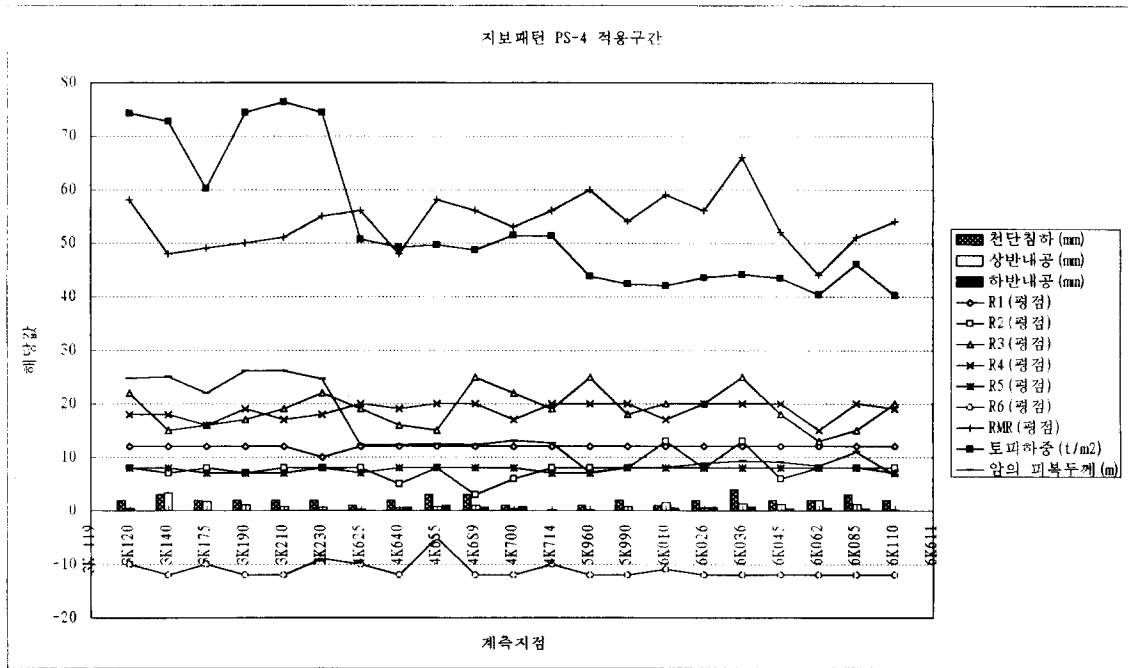


그림 4.4 암질특성과 천단침하 및 내공변위와의 관계

횡갱이 설치되는 지점은 풍화암에서의 PS-3A지보패턴 적용시와 마찬가지로 천단침하는 4mm로 다른 계측지점에 비해 다소 크게 나타났으나 내공변위는 비슷한 결과를 나타내었다. 발생된 내공변위(상반)는 계측지점 전반에 대해서 평균 0.8mm정도로 거의 같은값을 나타내었다. 천단침하와 내공변위를 비교해 보면 천단침하가 평균 2mm정도로 내공변위보다 다소 크게 나타났으며, 상반내공변위가 하반내공변위보다 크게 나타났다.

4.5 기존관리 기준치와의 비교

4.5.1 천단침하

본 사례연구에서 관리기준치 산정에 대한 여러가지 방법중 가장 간편한 탄성해석법과 일본관리치를 구하여 계측결과와 비교해 보았다. 암반의 물성치는 원설계시 적용한 물성치를 사용하였으며, 비교표는 표 4.5와 같다.

표 4.5 탄성해석법에 의한 천단침하예상치 및 실측침하평균치

터널 패턴	지 층	변형계수 (kg/cm ²)	프와송비 (ν)	단위중량 (t/m ³)	실측침하 평균(mm)	천단침하 예상치(mm)	일본관리치(mm)		
							I	II	III
PS-3B	IV	1,500	0.33	2.2	5.77	4.94	13.6	44.2	129
PS-4	III	10,000	0.285	2.6	1.71	0.28	5.1	18.7	51

위의 표 4.5로부터 실측침하평균값은 각 계측치중 정거장구간이나 횡경구간은 제외하고 일반본선구간에 대해서 평균한 값이다. 탄성해석법에 의한 천단침하 예측치와 실측값을 비교해보면 천단침하의 경우 지보패턴 PS-3B구간에서 계측된 천단침하량 5.77mm가 탄성해석법에 의한 계산값 4.94mm보다 다소 크게 나타났다. 그러나 PS-4구간에서는 실측침하평균치가 1.71mm로 탄성계산법에 의한 0.28mm보다 매우크게 나타났다. 실측침하평균치와 일본 관리기준치를 비교해보면 일본관리치의 레벨 I 보다 모두 작게 나타났다.

4.5.2 내공변위

내공변위계산식을 이용하여 터널구간별 최종변위예상치를 구하여, 각 터널패턴별로 계산하여 정리하면 표 4.6과 같다.

표 4.6 탄성해석법에 의한 내공변위예상치 및 실측내공변위평균치

터널 패턴	지 층	변형계수 (kg/cm ²)	프와송비 (ν)	단위중량 (t/m ³)	실측변위 평균(mm)	최종변위 예상치(mm)
PS-3B	IV	1,500	0.33	2.2	5.46	36.6
PS-4	III	10,000	0.285	2.6	0.77	4.98

표 4.7 외국의 기준에 의한 내공변위 관리기준치

터널패턴	오스트리아 Alberg 터널 관리기준	일본국철 관리기준
	록볼트길이의 3~4%	
PS-3B	90.0~120.0mm	75.0mm 이하
PS-4	90.0~120.0mm	75.0mm 이하

*Rock Bolt길이는 3m로 시공됨.

표 4.6로부터 각각의 물성치는 지보패턴이 동일한 구간에서 암반층에 대한 원설계시 적용된 값을 사용하였으며, 실측변위평균값은 수렴된 변위값들중 정거장구간이나 횡경구간은 제외하고 일반 본선구간에 대해서 평균한 값이다. 외국의 관리기준치를 본 현장에 적용하면 표 4.7과 같다. 탄성해석법에 의한 내공변위 예측치와 실측값을 비교해보면 내공변위의 경우 지보패턴 PS-3B 구간에서 계측된 내공변위량 5.46mm가 탄성해석법에 의한 계산값 36.6mm보다 매우 작게 나타났다. PS-4구간에서도 실측침하평균치가 0.77mm로 탄성계산법에 의한 4.98mm보다 작게 나타났다. 실측침하평균치와 외국 관리기준치를 비교해보면 두 지보패턴 모두 관리기준치보다 매우작게 나타났다.

4.6 암질특성과 터널거동과의 관계

사례 현장에서 얻은 천단침하, 내공변위 실측치를 RMR 점수와의 관계를 비교분석 해본 결과는 아래 그림 4.5 ~ 4.7과 같다.

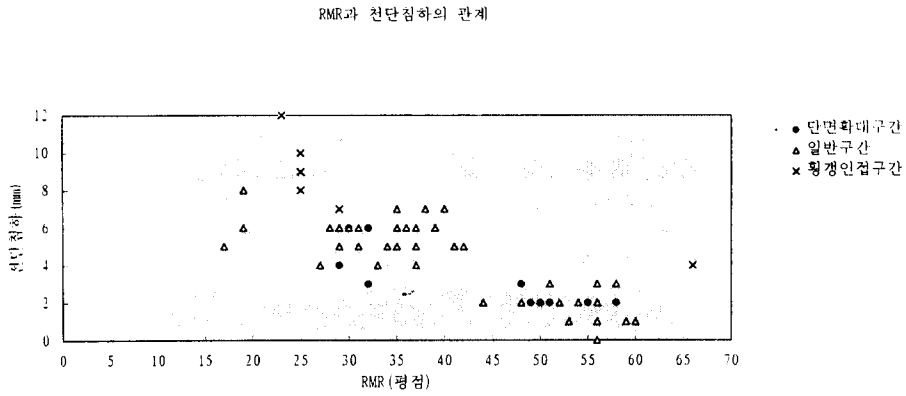


그림 4.5 RMR과 천단침하의 관계

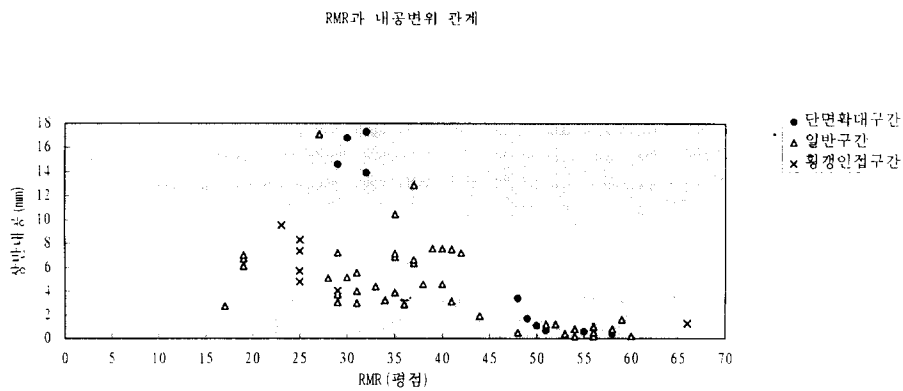


그림 4.6 RMR과 내공변위 관계

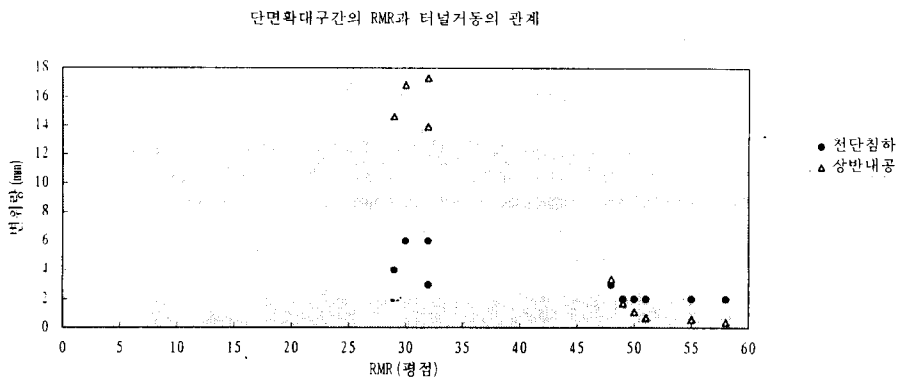


그림 4.7 단면확대구간의 RMR과 터널거동의 관계

그림 4.5, 4.6에서 보는 바와 같이 3차원적인 영향이 없는 지하철의 일반적인 단선구간에서는 RMR 점수가 높을수록 암반이 신선할수록 천단침하 및 내공변위가 줄어드는 경향이 있음을 알 수 있다. 또, 단면확대에 따른 터널거동에서 천단침하는 비슷한 RMR 조건의 일반구간과 별다른 변화를 발견할 수 없었으나, 내공변위는 RMR 35이하에서는 변위량이 2배 이상 증가되었고, RMR 45이상의 암반에서는 단면확대의 영향을 거의 받지 않은 특징을 보였다. 그림 4.7은 단면확대구간(정차장구간)의 터널변위만을 RMR 점수에 따라 분석한 것인데 RMR 점수가 낮을수록 천단침하보다는 내공변위가 단면확대에 따른 영향을 많이 받는다는 것을 잘 나타내 주고 있다.

3차원적 영향을 받는 또하나의 구간인 횡갱인접구간에서는 단면확대구간과는 달리 천단침하가 내공변위보다 더 기하학적인 영향을 받는 것으로 사료된다.

5. 결 론

1. RMR 점수가 높을수록 천단침하 및 내공변위가 줄어드는 경향이 있다.
2. 일반구간인 지하철 단선구간에 비하여 단면이 확대되는 정거장구간의 경우 천단침하는 단면확대에 따른 영향이 나타나지 않았으나 내공 변위의 경우 RMR 35이하에서는 변위량이 2배 이상 발생하는 반면 RMR 45이상 구간에서는 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 즉 RMR이 높은 신선한 암반일 수록 단면확대에 따른 영향이 작은 것으로 나타났다.
3. 횡갱에 인접한 본선구간의 경우 RMR 점수가 낮은 구간에서 천단침하가 증가된 반면 내공변위는 일반구간과 차이를 발견할 수 없었으며 횡갱인접으로 인한 본선 터널에 미치는 기하학적인 영향은 단면확대에 따른 경우와는 달리 내공변위보다 천단침하에 더 영향을 미치는 것으로 나타났다.
4. 풍화암지대의 막장관찰결과 막장면에서의 토사층 출현시 토사층의 분포 상황에 따라 터널 거동이 크게 영향을 받는데, 특히 SL부근에 토사층이 존재 할 경우 천단침하에는 영향이 크지 않으나 내공변위는 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.
5. 상반내공변위가 하반내공변위보다 대체로 크게 나타났는데 이는 하반 굴착시행시 이미 상반굴착으로 인한 변위가 이미 상반굴착으로 인한 변위가 이미 발생된 후이며 계측은 하반굴착후 시행되기 때문인것으로 사료된다.
6. 단면확대구간 및 횡갱인접구간, 토사층 출현구간등 특이사항이 있는 곳을 제외한 본선구간의 경우 지보패턴 PS-3B 구간의 천단침하량은 평균 5.77 mm, 내공변위량은 5.46 mm(상반)이었으며, 지보패턴 PS-4 구간의 천단침하량은 평균 1.71 mm, 내공변위량은 2.50 mm(상반)으로 측정되었다.

감사의 글

본 논문의 일부는 (주)금호건설에서 시공중인 서울 지하철 6-1공구 계측 분석 업무를 수행중 획득한 정보와 자료로서 이를 논문의 자료로서 사용토록 허락해 주신 금호건설과 지하철 건설 본부 관계자 여러분께 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. 高山 昭, "NATM의 理論と 實際", 日本土木工學社, 1993. 7, p.31
2. 大志万和也, "土留め計測の現場活用法", 山海堂, 1987.10
3. "서울 지질 특성에 따른 터널의 설계·시공 현황 및 개선방안", 지하철 건설본부, 1992. 1, pp182~229
4. 岩盤力學委員會 トンネル・地下空洞小委員會, "トンネルにおける 調査, 計測の 評價と 利用", 日本土木學會, 1992. 3, p.211
5. 岩盤力學委員會제2分科會, "トンネルの地質調査と岩盤計測", 日本土木學會, 1988.3, p.121
6. 岩盤力學委員會, "トンネルの 地質調査と岩盤計測", 日本土木會, 1988. 3, p.131
7. 지하철 건설본부, "서울 지질 특성에 따른 터널의 설계·시공 현황 및 개선방안", 1992. 1, pp182~229
8. 4-1 감리단 계측분석반, 서울시 지하철 감리구간 계측분석 최종 보고서, 1994.9
7. "지하철 6-1공구 계측결과 보고서", 금호건설 1996.1
8. "지하철 6-1공구 실시설계 지질조사 보고서", 서울특별시 지하철건설본부, 1993.12
9. "지하철 6-1공구 막장관찰결과 일지", 금호건설, 1995.12
10. 정한중, 조정태, 김태영, 김용일, "도시 NATM 터널에서 변위예측기술의 적용사례연구", '93년도 봄학술 발표회 논문집, 한국지반공학회, 1993.3, pp27~32
11. "지하철 6-1공구 터널 F.E.M.해석보고서", 서울특별시 지하철건설본부, 1994.10
12. 천병식, 남순성, "서울 지하철 터널의 계측관리 기준치에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 1996, pp.47~59
13. 한국 건설 기술 연구원, "토목 구조물의 현장계측에 관한 연구", 한국전력공사 기술 연구원, 1989. 3, pp722~739
14. F.G.BELL, "ENGINEERING IN ROCK MASSES", Butterworth-Heinemann Ltd, 192, p.119
15. "Tunnel and shafts in Rock", DEPARTMENT OF THE ARMY Office of the Chief of Enginners Washington, p.k-63.