

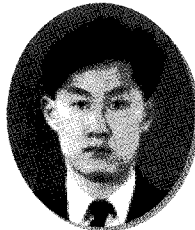
# 산성암맥 통과구간의 지보패턴 선정검토



**김희철**  
대우건설 14공구  
현장소장  
(hckim@dwconst.co.kr)



**이청**  
한국도로공사  
품질기술팀장



**김병용**  
대우건설 14공구 설계차장



**이건**  
이제이텍 이사

## 1. 서론

최근 터널설계 및 막장관찰시 파악되지 않은 연약대의 영향으로 터널 붕락이 빈번하게 발생되고 있는 것이 현재 실정이다. 따라서 지금까지는 국내 설계 적용에 있어서 다소 관대한 설계기준을 가지고 접근하였으나 앞으로는 더욱더 경각심을 가지고 보수적인 설계기준을 적용하여 안정성을 확보하여야 할 것으로 판단된다.

본 현장 「고속국도 60호선 춘천~양양간 건설공사 제 14공구」에서도 이런 보수적인 설계기준에 입각하여 재검토 하였으며 재검토된 구간은 인제터널 내 구간으로서 대안 설계시 춘천 및 양양방향 양방향에 걸쳐 국부적으로 산성암맥이 통과하는 것으로 나타났다. 그러나 지보패턴 선정시 산성암맥 통과구간에 대한 고려가 없었으며 이에 대한 재검토가 필요할 것으로 판단하였다.

따라서 본 연구에서는 현장 계측 자료를 이용하여 산성



그림 1. 현장 위치도

암맥구간과 일반구간의 지보패턴을 비교, 검토하였고 아울러 수치해석(FIAC-3D)을 이용하여 터널 굴착시 변위 및 응력을 검토하고 지보패턴 및 보조공법이 적절히 적용되었는지를 평가하였다.

## 2. 산성암맥 특성 분석

암맥(Dyke)은 관입암의 한 종류로 기존의 암석에 틈(Fissure)을 따라 연직 또는 연직에 가까운 모양으로 관입한 판상의 화성암체를 지칭한다. 두께는 수cm에서 수km에 이르기까지 그 크기가 다양하다. 암맥은 실리카(Silica)의 함량에 의하여 산성, 중성, 염기성암맥으로 불리기도 하며 그 형태에 따라 방사상, 평행, 환형 암맥군으로 구분

되어 진다. 산성암맥에는 크게 페그마타이트(Pegmatite)와 반화강암(Aplite)이 있다. 페그마타이트(Pegmatite)는 화강암질 마그마가 냉각되는 도중에 일부 유동성이 큰 마그마가 모여 이미 고결된 화강암이나 그 주위의 암석을 뚫고 들어가 큰 결정을 형성하는 암맥을 말한다. 거정질 내지 그이상의 결정을 형성하며, 주로 석영과 장석을 주 성분으로 암맥을 형성한다. 거정화강암이라고도 불린다. 반화강암(Aplite)의 성분은 페그마타이트와 유사하나 구성광물의 결정이 1mm이하인 완정질 암맥을 말한다. 백색, 회색, 담갈색을 주로 띤다.

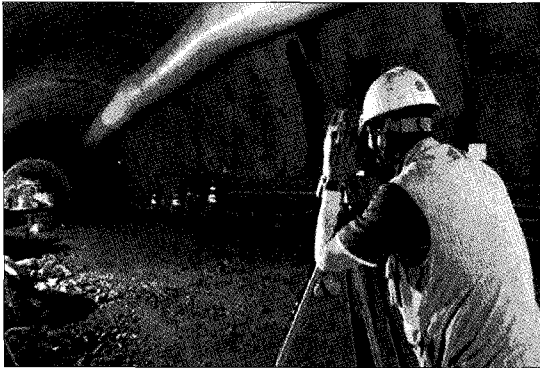
이처럼 암맥은 암반의 틈을 따라 관입한 화성암체로서 기반암과 다른 공학적 특성을 보이며 암맥 자체가 불연속면 거동을 보이는 경우가 있는 것으로 보고되어진다.

표 1. 대안설계시 구간별 지보패턴

구분	STA.	암종	지보패턴	보조공법	비고
출천 방향	0+129 ~ 0+147(18m)	편마암	P-6	강관다단	
	0+215 ~ 0+245(30m)	편마암	P-5B	강관다단	
	0+300 ~ 0+315(15m)	흑운모화강암	P-2	-	
	0+335 ~ 0+355(20m)	흑운모화강암	P-3	휩롤링	산성암맥구간
	0+630 ~ 0+650(20m)	흑운모화강암	P-2	-	
	1+025 ~ 1+045(20m)	편마암	P-1	-	
양양 방향	0+137 ~ 0+155(18m)	편마암	P-6	강관다단	
	0+167 ~ 0+187(20m)	편마암	P-5B	강관다단	
	0+305 ~ 0+320(15m)	흑운모화강암	P-2	-	
	0+335 ~ 0+355(15m)	흑운모화강암	P-3	휩롤링	산성암맥구간
	0+630 ~ 0+650(20m)	흑운모화강암	P-2	-	
	1+025 ~ 1+045(20m)	편마암	P-1	-	

표 2. 계측 항목 및 목적

계측 항목		설치 목적	기기 형식
터널 내 구간	천단 침하계	터널 천정부의 침하량을 측정하여 변위 속도에 의한 지반의 안정성 판단	평파기
	내공 변위계	터널내부의 변위량 및 변위속도를 측정하여 단면의 평형상태, 변위의 수렴상태를 파악	평파기



(a) 내공 및 천단 측정



(b) 측벽부 측정

그림 2. 터널 계측

표 3. 한국도로공사 현장적용 계측관리 기준

구분		천단침하	내공변위	비고
허용변위량		내공변위의 1/2, 20mm	45~50mm(연약지반)	P - 1 : 5mm
1차적 수렴		막장굴진 3D이상	막장굴진 5D이상	P - 2 : 15mm
막장굴진후 28일이후		수렴	0.1mm/day 이내	P - 3 : 30mm
상하반굴진후 45일이후		-	수렴	P - 4 : 50mm
관 리 치	1차	20mm이하(안정)	40mm 이하(안정)	내공변위계 설치전 손실변위량 : 20~30%
	2차	20~30mm(주의)	40~50mm(주의)	
	3차	30mm이상 (3차 creep상태, 정밀검토)	50mm이상 (변위속도가 진행성, 정밀검토)	

### 3. 산성암맥 통과 구간지보패턴 적정성 검토 및 변경

#### 3.1 대안 설계 지보패턴 검토

대안 설계시 지반특성에 따라 분류된 암반등급별로 공학적 접근방법(RMR분류, Q-System, 각종 경험식)을 이용, 적정 지보량을 산정하였다. 그러나 지보패턴 적용시 산성암맥 통과구간에 대한 고려 없이 일반구간과 같이 지보패턴을 적용하였으며 적용된 구간별 지보패턴은 표 4와 같다.

#### 3.2 계측 시험 결과

##### 3.2.1 계측 항목 및 목적

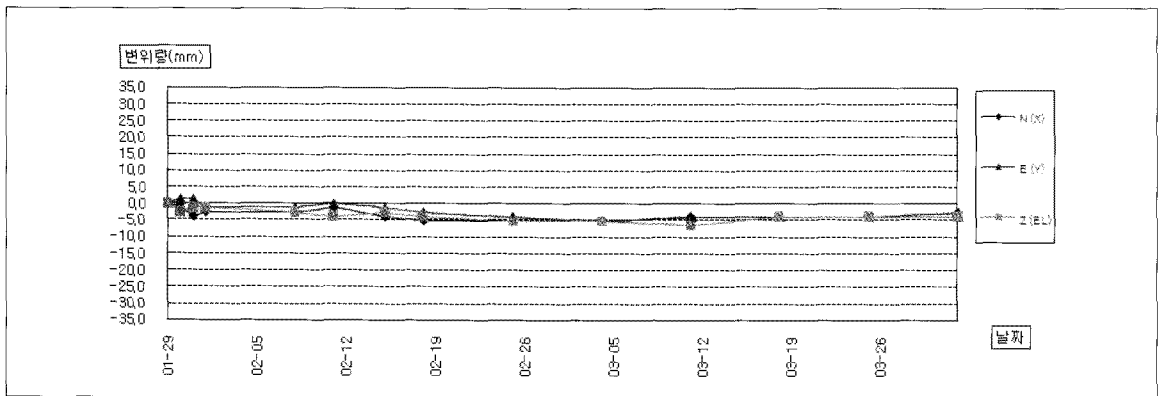
「고속국도 60호선 춘천~양양간 건설공사 제14공구」중 인제터널의 계측항목은 터널구간의 갱내 침하, 측벽변위 등이며 다음 표 1은 각각의 계측항목 및 목적을 나타낸 것이다.

##### 3.2.2 계측 관리 기준

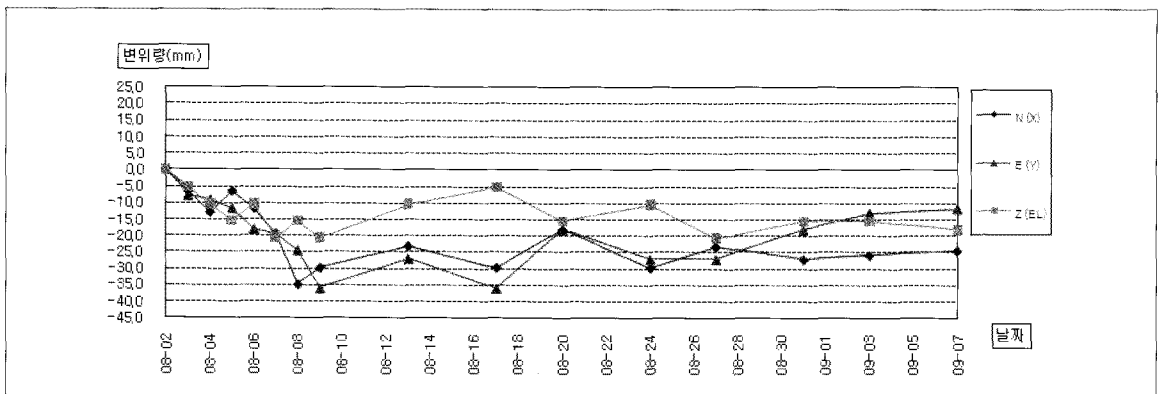
계측 관리 기준은 본 현장 실정에 맞게 한국도로공사 계측 관리 기준을 적용하였으며 적용된 계측 관리 기준은 다음 표 2와 같다.

표 4. 일반구간 및 산성암맥구간 계측 결과 비교(지보패턴 P-2)

DAY (일)	일반구간 (0km+630)			산성암맥구간 (0km+340)		
	내공변위(mm)		천단변위(mm)	내공변위(mm)		천단변위(mm)
	X	Y	Z	X	Y	Z
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	-2.6	-1.3	-2.6	-34.8	-24.5	-15.5
20	-5.2	-2.6	-3.9	-29.6	-27.1	-10.3
30	-5.2	-5.2	-5.2	-25.8	-12.9	-15.5
수렴	-2.6	-3.9	-3.9	-24.5	-11.6	-18.0



(a) 일반구간 (0km+630)



(b) 산성암맥구간 (0km+340)

그림 3. 일반구간 및 산성암맥구간 계측 결과 비교(지보패턴 P-2)

위 한국도로공사 계측 관리 기준의 1차 관리치를 참조하여 본 현장에 적용된 허용변위량은 천단침하 20mm, 내공변위 40mm로 적용하였다.

### 3.2.3 계측 결과 및 분석

대안 설계 지보패턴 선정시 일반구간과 산성암맥 구간을 별도로 구분하지 않았으므로 산성암맥 구간의 지보패턴 적정성 검토를 위해 같은 지보패턴 P-2 내의 일반구

## 산성암맥 통과구간의 지보패턴 선정검토

**표 5. 계측결과 및 수치해석을 통한 구간별 지보패턴 재산정**

구분	STA.	암종	지보패턴	보조공법	비고
춘천 방향	0+129 ~ 0+147(18m)	편마암	P-6	강관다단	
	0+215 ~ 0+245(30m)	편마암	P-5B	강관다단	
	0+300 ~ 0+315(15m)	흑운모화강암	P-2	-	
	0+335 ~ 0+355(20m)	흑운모화강암	P-3	휘폴링	산성암맥구간
	0+630 ~ 0+650(20m)	흑운모화강암	P-2	-	
	1+025 ~ 1+045(20m)	편마암	P-1	-	
양양 방향	0+137 ~ 0+155(18m)	편마암	P-6	강관다단	
	0+167 ~ 0+187(20m)	편마암	P-5B	강관다단	
	0+305 ~ 0+320(15m)	흑운모화강암	P-2	-	
	0+335 ~ 0+355(15m)	흑운모화강암	P-3	휘폴링	산성암맥구간
	0+630 ~ 0+650(20m)	흑운모화강암	P-2	-	
	1+025 ~ 1+045(20m)	편마암	P-1	-	

간 계측 결과와 산성암맥 구간 계측 결과를 비교·검토하였다. 각 구간의 계측 결과는 다음 표 3, 그림 3과 같다.

일반구간 및 산성암맥구간 계측자료를 비교·분석한 결과 과다하게 변위가 발생하는 것으로 나타난다. 허용변위량은 초과하지 않았지만 허용변위량과 근소한 차이를 보이며 같은 지보패턴의 일반구간 변위에 비해 산성암맥 통과구간에서 내공변위 6배, 천단변위 3배 이상의 과다한 변위가 발생하는 것으로 계측 결과 나타난다.

### 3.3 계측결과 분석을 통한 지보패턴 결정

계측 결과 산성암맥구간의 변위량은 허용치 이내로 나타났다지만 지보패턴 P-2의 일반구간 변위량에 비해 변위가 크게 발생되었으며 내공변위는 6배, 천단변위는 3배 이상의 큰 차이를 보였다. 이는 암반등급 2등급내의 산성암맥 구간에 대한 검토결과로서 암반등급 4~5등급 내 산성암맥 구간에서는 천단침하 및 내공변위가 허용치를 초과할 것으로 예측되며, 따라서 4~5등급 구간의 산성암맥 분포 구간 대해서는 별도의 보조공법 적용 또는 지보패턴을 하향 조정하여 터널 안정성을 확보하여야 할 것으로 판단된다. 본 현장의 경우 보조공법으로 휘폴링 공법을 적용하였으며 다음 표 5과 같다.

## 4. 유한요소해석을 통한 산성암맥 통과구간 변형지보패턴 적정성 검토

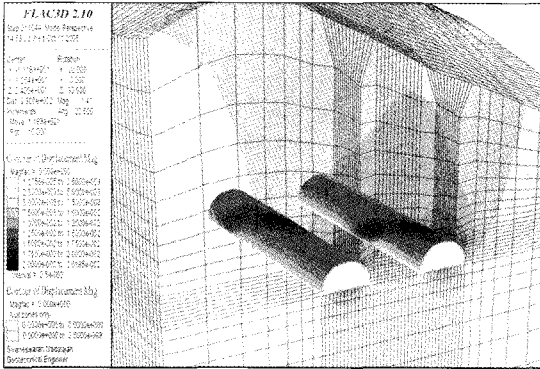
### 4.1 수치해석 방법 및 해석조건

본 검토구간은 Mohr-Coulomb 파괴규준을 따르는 탄소성 모델로서 범용 수치해석 프로그램인 FLAC-3D를 이용하였다. 인제터널 STA.0+335에 위치한 산성암맥 통과구간에 대하여 시공조건 및 지반조건을 고려한 3차원 수치해석을 통하여 터널의 안정성을 검토하였다. 굴착공법 및 보강조건으로는 산성암맥구간에 대한 과다변위를 고려하여 휘폴링 보강을 적용하였고 상하분할 굴착, 슛크리트 및 록볼트를 적용하였다. 해석영역은 산성암맥 구간을 중심으로 전후 45m 구간(STA.0+319~409)이며, 산성암맥의 폭 1m, 방향은 N40°E/85°SE 해석에 반영하여 검토하였다.

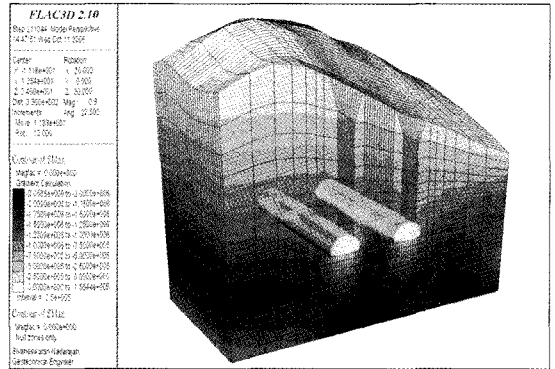
### 4.2 해석결과

산성암맥 통과구간에 대한 수치해석(FLAC-3D) 결과 선정된 변위 및 응력은 다음 그림 4, 표 6과 같다.

휘폴링 보강시 수치해석 결과 산성암맥 통과지점의 변



(a) 지반 합변위 분포 현황



(b) 지반 최대주응력 분포현황

그림 4. 변위 및 응력 분포현황

표 6. 발생 변위 및 지보재 응력

구 분	변위			지보재 응력	
	천단변위(mm)	내공변위(mm)	바닥변위(mm)	휨압축응력(MPa)	록볼트축력(kN)
양양방향	20.14	18.51	19.24	6.72	49.06
춘천방향	19.33	19.72	18.49	8.18	40.56

위 및 응력 발생치가 최대천단변위 20.14mm, 최대바닥 변위 19.24mm, 최대휨압축응력 8.18MPa, 최대전단응력 235.17KPa, 최대록볼트축력 49.06kN로 이는 허용치 이내로 안정한 것으로 나타난다.

## 5. 결론

본 연구에서는 「고속국도 60호선 춘천~양양간 건설공사 제14공구」중 산성암맥 분포구간에 대한 계측자료 분석 및 수치해석을 통해 산성암맥 영향성 검토를 실시하였으며 결론은 다음과 같다.

1) 일반구간 및 산성암맥구간 계측자료를 비교·분석한 결과 산성암맥구간의 경우 같은 구간 지보패턴 P-2를 적용한 일반구간에 비해 과다하게 변위가 발생하는 것으로 나타났다. 이는 허용변위량을 초과하

지는 않았지만 허용변위량과 근소한 차이를 보이며 같은 지보패턴의 일반구간에 비해 내공변위는 6배, 천단변위는 3배 이상의 변위 차이를 보인다.

2) 변위 및 응력이 허용치 이내지만 같은 지보패턴을 적용한 일반구간에 비해 과다하게 변위가 발생하는 것으로 확인되며 이는 암반등급 2등급 구간 내 산성암맥구간 계측 결과로서 4~5등급의 불량한 암반 상태 구간 중 산성암맥 통과구간의 경우 변위 및 응력이 허용치를 초과할 것으로 판단된다.

3) 본 현장의 경우 산성암맥구간 보조공법으로 휘폴링을 적용하였으며 이에 대한 수치해석(FLAC-3D) 실시 결과 변위 및 응력 발생치가 허용치 이내로 안정한 것으로 나타났다. 따라서 향후 터널 굴진시 산성암맥 분포 구간 중 암반등급이 불량한 구간에 대해서는 보조공법 적용이 필요할 것으로 보이며 수치해석을 통해 안정성을 검토한 후 시공계획을 수립하는 것이 적절할 것으로 사료된다.