

**북방1터널 설계 및 시공시
지보패턴 차이에 대한 의견서**

2006. 8.

**강 원 건 설 사 업 소
춘천~동홍천 기술자문단**

1. 개요

춘천~동홍천간 고속도로 건설공사와 관련하여 제2공구에 위치하는 북방1터널의 설계시 제시된 지보패턴과 시공시의 지보패턴이 심한 차이가 발생함에 따른 의견서임.

2. 현황

2.1 굴착현황

북방1터널은 서울방향(L=2257m), 양양방향(L=2286m)의 장대터널로 설계되어 있으며 굴착방향은 종점측에서 시점측으로 굴진중에 있음.

현재 서울방향은 굴착이 완료되었으며, 양양방향은 360m정도가 미굴착 상태임.

2.2 설계 및 굴착 지보패턴 비교

시공사에서 제출된 설계 및 시공의 지보패턴은 다음과 같다.

구 분	당 초			변 경			증 감
	서울방향	양양방향	계	서울방향	양양방향	계	
Type-1	774.500	799.500	1574.000	742.855	966.000	1708.855	134.855
Type-2	487.555	530.000	1017.555	335.555	39.000	374.555	-643.000
Type-3	516.445	711.500	1227.945	452.590	620.000	1072.590	-155.355
Type-4	364.500	134.000	498.500	547.200	550.000	1092.200	598.700
Type-5	18.000	24.000	42.000	82.800	24.000	106.800	64.800
Type-6	54.000	45.000	99.000	54.000	45.000	99.000	0.000
RP-1	42.000	42.000	84.000	42.000	42.000	84.000	0.000
계	2257.000	2286.000	4543.000	2257.000	2286.000	4543.000	0.000

3. 지보패턴 차이 추정

설계도서(토질조사보고서, 일반보고서)에 의하면 북방1터널은 호상편마암이 분포하며 암질의 변화가 심하지 않는 지층구조를 나타내는 것으로 판단되었으나, 실제 굴착결과 암질의 변화가 매우 심하며 엽리 및 편리에 의한 여굴발생이 심하고 암질이 불량하여 원설계에서 제시된 지보패턴과는 상당한 차이를 나타내고 있음.

시공중 암질의 변화가 심하고 굴착중 소규모의 낙반이 발생함에 따라 설계 지보패턴으로는 시공이 어려울 것으로 판단됨에 따라 전방의 암질을 예측하기 위하여 2차례에 걸쳐 선진수평시추를 실시하였으며, 조사결과 단층점토 충전 및 파쇄대가 분포하여 설계와는 다소 차이가 나는 것으로 조사되었음.

또한 인접한 동산2터널의 경우는 북방1터널과 반대로 상당히 복잡한 지질구조를 예상하여 반단면 굴착을 많이 설계하였으나 실제 굴착결과와는 비교적 암질의 변화가 거의 없는 상태로 설계시 제시된 지보패턴 보다는 다소 상향지보패턴을 적용하여 시공되고 있어 결과적으로는 북방1터널과 동산2터널의 예상이 반대로 나타나고 있는 실정임.

3.1 원인분석

1) 설계단계

- 설계단계에서는 시추조사가 가능한 갱구부 및 저토피부에 대해서 조사를 실시하였으며 터널중 양부등은 넓은 부지에 대한 조사가 가능한 물리탐사(전기비저항)에 의해 조사가 실시됨. 시추조사의 경우는 시료회수가 가능하여 육안판단 및 시험이 가능하고, 조사위치에 대한 수직방향에 대해 지층분포상태 및 연경도 등에 대해 신뢰도 있는 조사가 가능하나, 물리탐사의 경우는 넓은 면적에 대해 경제적인 조사가 가능한 장점이 있으나, 단점으로는 조사부지에 대해 개략적인 지층경계의 파악은 가능하나 절리빈도, 절리면의 주향 및 경사, 절리내의 협재물 및 협재상태 등은 고려가 어려운 측면이 있음. 이를 극복하기 위해서 일반적으로 수행되는 과정은 전기비저항치와 RMR(Rock Mass Rating)점수와의 상관관계를 설정하여 지반암반분류를 실시하여 지보패턴을 결정하나 이는 조사지반의 복잡다양성, 불확실성을 고려할 때 정확한 암질의 상태를 파악하기 어려운 현실적인 한계와 시추조사 등과 같은 원위치시험에 의한 결과보다 자료의 신뢰성이 떨어져 설계시와 시공시의 지보패턴차이를 발생시키는 원인이 되기도 함.

「표-1」 미시추구간 암반분류

암반분류	암반상태	RMR분류	전기비저항분류	비고
I	매우양호	100~81	>14,000	터널시점부, 터널종점부, 저토피부등 총6개소 시추
II	양 호	80~61	>7,600	
III	보 통	60~41	>700	
IV	불 량	40~21	<700	
V	매우양호	20이하	-	

- 시추결과 및 전기비저항 탐사를 근거로 암반이 양호한 상태로 판단된 구간은 전단면굴착의 지보패턴(Type-1,2,3)을 적용하였으며 터널연장에 대한 전단면굴착연장의 비율을 산정하면 서울방향은 78.8%, 양양방향은 89.3%로 터널연장에 대한 지보패턴을 고려할 경우 설계시에는 암질이 양호한 상태로 분석된 것으로 판단되며 각 지보패턴별 세부사항은 아래표와 같다.

「표-2」 전단면굴착구간 비율

구 분	설 계	비 율	터널연장
서울방향	Type-1 : 774.500m	34.3%	2257m
	Type-2 : 487.555m	21.6%	
	Type-3 : 516.445m	22.9%	
소계	1778.5m	78.8%	
양양방향	Type-1 : 799.500m	35.0%	2286m
	Type-2 : 530.000m	23.2%	
	Type-3 : 711.500m	31.1%	
소계	2041m	89.3%	

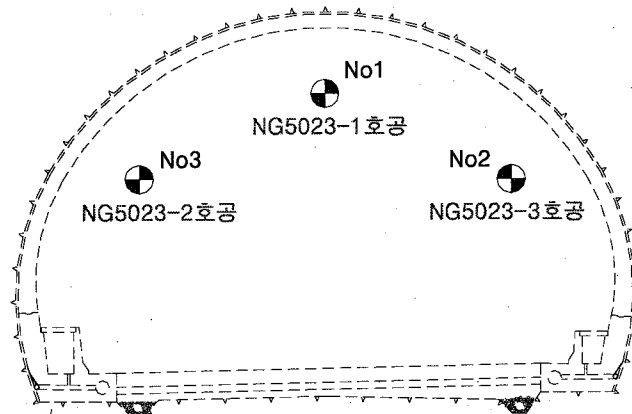
2) 시공단계

- 북방1터널은 설계에서 제시된대로 종점측으로부터 굴착이 진행되고 있으며 굴착중 설계지보패턴을 적용하기에는 무리가 있어 터널 막장면 압판정을 실시하여 수차례에 걸쳐 지보패턴을 변경하였으며 지보패턴이 과다하게 변경된 구간의 주요내용은 다음과 같다.

「표-3」 지보패턴 변경 현황

위치(STA.)	방향	설계패턴	변경패턴	주요내용
5+457.5	서울	Ⅲ	Ⅳ	수개소의 파쇄대, 흑색gouge다량함유, 미세절리발달
5+483.5	서울	Ⅱ	Ⅳ	심한풍화상태, 암질불량, 단층대는 토사화
5+542.0 5+564.0	서울	Ⅰ	Ⅳ	소규모 여굴발생, 암질불량 및 절리간격 좁음, 블록화에 따른 낙반가능성내재, 대규모 단층대분포
6+673.7	서울	Ⅱ	Ⅳ	좌측구간 상대적으로 암질불량, 파쇄대 폭이 넓은 상태로 주의시공, 절리교차에 따른 소규모 낙반위험
6+911.055	서울	Ⅰ	Ⅳ	지질해머타격시 쉽게 부서지는 암질불량, 우측어깨부는 소규모 붕락에 따른 여굴발생, 암편화
7+108.2	서울	Ⅱ	Ⅳ	굴착라인 주변은 심한 파쇄상태, 절리연장성이 긴 상태, 절리면내 흑색gouge협재
6+613.0	양양	Ⅱ	Ⅳ	수개소의 단층대분포, 천정부에 절리교차에 의한 낙반위험성내재, 밝은계열의 관입암분포, 계곡부 통과
6+910.5	양양	Ⅰ	Ⅲ	충전물 다량 협재, 수개소의 미세암맥관입, 막장면 좌·우측부에 미세절리 발달
7+107.5	양양	Ⅱ	Ⅳ	우측어깨부에 폭2~3m 정도의 낙반발생, 절리면내 흑색gouge협재, 천정부에 지하수 유출

- 상기 「표-3」 과 같이 설계시에는 암반이 양호한 상태로 판단됨에 따라 지보패턴을 높은 패턴인 전단면굴착(TYPE-1,2,3)이 주를 이루고 있었으나,
- 실제 굴착중 막장면의 Face Mapping 결과 설계와는 상이한 불규칙적인 지보패턴의 반복사례와 천단부 및 측벽부 낙반이 수차례 발생하였고, 보조공법인 Forepoling을 적용하여 시공하였으나 공사중에도 Forepoling 시공된 부위의 낙반사례가 있어, 보조공법으로는 터널 안전굴착을 하기에는 어려운 지질로 판단되어 현장에서는 암질불량구간에서 2차례에 걸쳐 막장면의 중앙부, 좌·우측에 3개소에 대해 선진수평시추를 실시하여 전방의 암질상태를 예측하고자 하였으며 선진수평시추 결과는 아래와 같다.



「그림-1」 선진수평시추 위치도

구분	위치(STA.)	공 번	시 추 결 과	비고
1차	7+007.7 (서울방향)	No1	- 0~2m:미세절리 발달 - 20~26m:미세절리 발달, 방해석 충전 - 25.2~26m:균열 및 절리 발달, 방해석 충전 - 28.4~30m:미세절리 발달, 방해석 충전	
		No2	- 1~3m:수직절리 발달, 방해석 충전	
		No3	- 2~4m:절리발달 - 4~6.5m:소폭의 파쇄대 협재, 수직절리 발달 - 12~15m:균열 및 절리 발달 - 23.6~23.9m:심한풍화로 약함	
2차	5+511.5 (서울방향)	NG5023-1호공	- 0~9m:심한균열상태 - 12~15m:심한균열상태	
		NG5023-2호공	- 0~5m:심한균열상태 - 5.4~7.1:단층점토질분포(RQD=0%) - 8.5~12m:심한균열상태	
		NG5023-3호공	- 0~2m:단층점토질분포(RQD=0%) - 2~7m:심한균열상태	

- 선진수평시추 결과를 분석하면 1차조사의 경우는 암질은 비교적 양호하나 미세균열이 발달되어 있으며 국부적으로 파쇄대, 수직절리 및 심한 풍화상태로 조사되었으며, 2차조사의 경우는 단층점토층이 분포하며 암반의 균열이 심한 상태로 조사되었음.
- 실제로 굴착시 암질의 변화가 매우 심하였으며 파쇄대층의 출현, 흑색Gouge 등이 발달되어 터널의 안전굴착을 위해 시공사에서는 Type-3구간의 경우는 전단면굴착의 설계단면을 상·하분할굴착에 의한 시공을 하였고, 보조공법 적용 및 지보하향적용이 이루어 짐. 시공시 막장면을 관찰한 결과 설계시 예측이 불가능하였던 압쇄화된 편마암류가 분포함에 따라 취약구간 및 낙반발생위험구간이 발생함에 따른 지보패턴의 하향적용이 불가피하였으며, 암반의 거동은 암반의 강도보다는 절리의 간격, 상태, 종류수, 주향과 경사, 틈새, 투수성, 면강도, 면거칠기, 연장성, 풍화정도, 협재물의 폭 등의 거동에 따른 안정여부가 더욱 중요한 요인이며 지하수의 조건에 따라 막장면의 안정성이 좌우되는 경우가 있는데 터널내의 유입수의 상태에 따라 협재물이 포화되어 연약대를 형성하여 지보패턴을 하향적용하는 요인이 되기도 함.

4. 결론

현재까지의 굴착결과 및 관통된 서울방향의 시공지보패턴을 토대로 미굴착 구간에 대한 암질변화를 판단할 경우 전방에 분포하는 암질역시 변화가 다양하며, 취약토층을 통과할 가능성이 높은 것으로 판단되므로 굴진중 선진수평시추 및 TSP 탐사 등을 통하여 막장전방의 위험요인을 사전에 인지하여 안전시공에 만전을 기함이 필요한 것으로 판단됨.