

기 술 검 토 서

NO. 토질 및 기초 — 12

제 목: 터널 갱구 보강부 본선
락볼트 설치 적정성 검토

2005. 7

강 원 건 설 사 업 소
춘 천 ~ 동 흥 천 기 술 자 문 단

기술검토건명	터널 갱구 보강부 본선 락볼트 설치 적정성 검토		
공 구	전공구	검 토 구 분	토질 및 기초
검 토 기 간	2005. 7. 11 ~ 2004. 7. 22	검 토 자	오 관 식
		담 당 자	오 성 민
근 거 공 문	구두지시(2005. 7. 11)	회 신 공 문	용마(홍천) 제2005 - 0026호

1. 검토목적

춘천~동홍천간 고속도로 건설공사를 시행함에 있어 전공구에 위치하는 터널의 시·종점 갱구부는 보조공법인 FRP보강그라우팅으로 터널 주변 지반을 선 보강하고, NATM 굴진 과정에서 갱구부 표준지보 패턴(6-Type)에 의해 Rock Bolt로 보강할 경우 선 시공된 FRP보강그라우팅과 Rock Bolt의 중복보강에 의해 간섭이 발생하므로 이에 대한 적정성을 검토하고자 함.

2. 검토내용

가. 갱구부 일반현황

터널의 일반부는 주로 암질, 지질구조, 지하수 등 원지반 내부의 조건에 따라 그 거동이 지배되는데 반해, 갱구부의 터널거동은 지형, 기상 등의 외적 조건에 의해서도 지배된다. 따라서, 갱구부는 터널 일반부와는 달리 특별한 구조와 시공법이 필요한 곳이다.

갱구부의 정확한 위치를 설정하는 것은 곤란하나, 최근 많은 사례연구, 기술향상 및 근래 대두되는 환경보호정책방향에 의해 터널 천단부로부터 상부 지층의 암종 또는 토질에 상관없이 갱구상단부 토피가 3~5m 정도 확보되는 지점에 갱구형성을 표준으로 하고 있는 실정임. 통상 갱구부는 갱구보강용인 지보패턴 Type-6을 적용하고, 필요시 보조공법을 병행하여 시공하는 것이 일반적임.

[표-1] 터널 갱구부 지보 현황(도로설계 요령 제4권 터널 P103)

터널단면		1회 굴착거리	굴착방법	쉴크리트 두께	락볼트		강지보공		내부라이닝 두께
					길이	간격	규격	간격	
2차선	Type-6	1.0m/1.0m	반단면	16cm (강섬유)	4m	중:1.0m 횡:1.5m	100×100×6×8 Type-70×20×30	1.0m	30cm (철근보강)

춘 천 ~ 동 홍 천 기 술 자 문 단

나. 터널 설계현황

춘천~동홍천구간내에는 7개소의 터널이 있으며, 공구별로는 1공구(동산1터널), 2공구(동산2터널, 북방1터널), 3공구(북방2터널, 북방3터널), 4공구(송정1터널, 송정2터널)로 구분되며, 세부현황은 아래표와 같다.

[표-2] 터널 설계현황

공구	터널명	터널연장		NATM연장		갱문형식	
		서울방향	양양방향	서울방향	양양방향	서울방향	양양방향
1	동산1	699m (STA.3+001 ~ STA.3+700)	680m (STA.2+988 ~ STA.3+668)	671m (STA.3+004 ~ STA.3+675)	674m (STA.2+991 ~ STA.3+665)	시점:면벽식 종점:분리형면벽식	시점:면벽식 종점:면벽식
2	동산2	1225m (STA.3+893 ~ STA.5+118)	1167m (STA.3+904 ~ STA.5+071)	1212m (STA.3+896 ~ STA.5+108)	1100m (STA.3+907 ~ STA.5+007)	시점:면벽식 종점:돌출아치형식	시점:면벽식 종점:돌출아치형식
	북방1	2290m (STA.5+380 ~ STA.7+670)	2311m (STA.5+352 ~ STA.7+663)	2257m (STA.5+390 ~ STA.7+647)	2286m (STA.5+360 ~ STA.7+646)	시점:돌출아치형식 종점:면벽식	시점:돌출아치형식 종점:면벽식
3	북방2	328m (STA.9+290 ~ STA.9+618)	326m (STA.9+267 ~ STA.9+593)	322m (STA.9+293 ~ STA.9+615)	320m (STA.9+270 ~ STA.9+590)	시점:면벽식 종점:면벽식	시점:면벽식 종점:면벽식
	북방3	1518m (STA.9+762 ~ STA.11+280)	1520m (STA.9+720 ~ STA.11+240)	1492m (STA.9+765 ~ STA.11+257)	1474m (STA.9+723 ~ STA.11+197)	시점:면벽식 종점:면벽식	시점:면벽식 종점:면벽식
4	송정1	679m (STA.12+496 ~ STA.13+175)	721m (STA.12+470 ~ STA.13+191)	660m (STA.12+500 ~ STA.13+160)	704m (STA.12+474 ~ STA.13+178)	시점:분리형면벽식 종점:파라페트식	시점:분리형면벽식 종점:파라페트식
	송정2	366m (STA.13+318 ~ STA.13+684)	375m (STA.13+329 ~ STA.13+704)	350m (STA.13+330 ~ STA.13+680)	360m (STA.13+340 ~ STA.13+700)	시점:파라페트식 종점:분리형면벽식	시점:파라페트식 종점:분리형면벽식

다. 검토방향

- 1) 설계시 갱구부에 보조공법(FRP 또는 강관다단 그라우팅) 적용 여부 확인
- 2) 공구별 터널해석 보고서의 수치해석과정 검토
 - 갱구부(6Type)구간에 FRP보강그라우팅과 Rock Bolt의 중복보강 여부 검토
- 3) Rock Bolt의 중복보강으로 설계된 공구는 Rock Bolt 미설치시 안정여부 검토(설계사)
- 4) 적정시공방안 제시 등

라. 갱구부(Type-6) 설계 현황

[표-3] 갱구부 설계 현황

공구	터널명	방향	위치(STA.)	보조공법	비고
1	동산1터널	서울(시점)	3+004~3+030(26m)	FRP(18m)	Rock Bolt 미설치
		서울(종점)	3+650~3+675(25m)	FRP(18m)	
		양양(시점)	2+991~3+011(20m)	FRP(18m)	
		양양(종점)	3+645~3+665(20m)	FRP(18m)	
2	동산2터널	서울(시점)	3+893~3+920(27m)	FRP(12m)	Rock Bolt 미설치
		서울(종점)	5+090~5+108(18m)	FRP(12m)	
		양양(시점)	3+904~3+931(27m)	FRP(16m)	
		양양(종점)	4+989~5+007(18m)	FRP(12m)	
	북방1터널	서울(시점)	5+390~5+417(27m)	FRP(12m)	
		서울(종점)	7+620~7+647(27m)	FRP(12m)	
		양양(시점)	5+360~5+378(18m)	-	
		양양(종점)	7+619~7+646(27m)	FRP(12m)	
3	북방2터널	서울(시점)	9+290~9+308(18m)	FRP(12m)	Rock Bolt 설치
		서울(종점)	9+600~9+618(18m)	FRP(12m)	
		양양(시점)	9+267~9+285(18m)	-	
		양양(종점)	9+575~9+593(18m)	FRP(12m)	
	북방3터널	서울(시점)	9+762~9+780(18m)	-	
		서울(종점)	11+239~11+257(18m)	FRP(12m)	
		양양(시점)	9+720~9+738(18m)	FRP(12m)	
		양양(종점)	11+179~11+197(18m)	FRP(12m)	
4	송정1터널	서울(시점)	12+500~12+518(18m)	-	Rock Bolt 미설치
		서울(종점)	13+142~13+160(18m)	FRP(24m)	
		양양(시점)	12+474~12+492(18m)	-	
		양양(종점)	13+160~13+178(18m)	FRP(30m)	
	송정2터널	서울(시점)	13+330~13+348(18m)	FRP(36m)	
		서울(종점)	13+662~13+680(18m)	FRP(12m)	
		양양(시점)	13+340~13+358(18m)	FRP(36m)	
		양양(종점)	13+682~13+700(18m)	FRP(12m)	

춘 천 ~ 동 흥 천 기 술 자 문 단

마. 터널 안정성 검토

1) 당초 설계시 1,2,4공구는 터널 갱구부에 보조공법(FRP보강그라우팅)을 적용한 구간은 락볼트를 미설치하는 조건으로 검토를 수행하였으나, 3공구는 안정성을 더욱 확보해주는 차원에서 FRP보강그라우팅 적용구간에 락볼트를 설치하는 조건으로 검토가 수행되었으나, 락볼트를 미설치하는 조건에서의 안정성을 확인하기 위하여 재해석을 실시하였음.

2) 해석단면

[표-4] 터널 안정성 해석단면

공구	터널명	방향	단면선정	지보패턴	해석위치
1	동산1터널	서울	갱구부시점	TYPE-VI	3+008
			갱구부종점	TYPE-VI	3+598
		양양	갱구부시점	TYPE-VI	3+010
			갱구부종점	TYPE-VI	3+600
2	동산2터널	서울	갱구부시점	TYPE-VI	3+910
			갱구부종점	TYPE-VI	-
		양양	갱구부시점	TYPE-VI	3+910
			갱구부종점	TYPE-VI	-
	북방1터널	서울	갱구부시점	TYPE-VI	5+400
			갱구부종점	TYPE-VI	7+620
		양양	갱구부시점	TYPE-VI	5+400
			갱구부종점	TYPE-VI	7+620
3	북방2터널	서울	갱구부시점	TYPE-VI	-
			갱구부종점	TYPE-VI	5+590
		양양	갱구부시점	TYPE-VI	-
			갱구부종점	TYPE-VI	5+580
	북방3터널	서울	갱구부시점	TYPE-VI	-
			갱구부종점	TYPE-VI	11+183
		양양	갱구부시점	TYPE-VI	-
			갱구부종점	TYPE-VI	11+180

[표-4] 계속

공구	터널명	방향	단면선정	지보패턴	해석위치
4	송정1터널	서울	갱구부시점	TYPE-VI	12+510
			갱구부종점	TYPE-VI	13+170
		양양	갱구부시점	TYPE-VI	12+510
			갱구부종점	TYPE-VI	13+170
	송정2터널	서울	갱구부시점	TYPE-VI	13+355
			갱구부종점	TYPE-VI	13+690
		양양	갱구부시점	TYPE-VI	13+355
			갱구부종점	TYPE-VI	13+690

3) 해석결과

[표-5] 터널 안정해석 결과

공구	터널명	해석 위치	축압 계수	변위(mm)		쏟크리트 압축응력(kgf/cm ²)			쏟크리트 전단응력(kgf/cm ²)			락볼트 축력(kgf)		
				천단	내공	작용력	허용력	판단	작용력	허용력	판단	작용력	허용력	판단
1	동산1	3+010	1.0	2.723	0.428	24.8	80	O.K	0.38	3.54	O.K	0.36	8.867	O.K
			1.5	2.474	0.760	22.9	80	O.K	0.36	3.54	O.K	0.46	8.867	O.K
			2.0	2.254	1.093	25.4	80	O.K	0.43	3.54	O.K	0.64	8.867	O.K
		3+600	1.0	4.765	2.081	46.2	80	O.K	1.18	3.54	O.K	2.51	8.867	O.K
			1.5	4.415	4.825	50.4	80	O.K	1.41	3.54	O.K	3.81	8.867	O.K
			2.0	4.236	5.496	79.2	80	O.K	1.58	3.54	O.K	4.67	8.867	O.K
2	동산2	3+910	0.5	3.794	0.581	21.343	80	O.K	0.307	3.54	O.K	0.827	8.867	O.K
			1.0	3.377	0.826	20.670	80	O.K	0.346	3.54	O.K	1.080	8.867	O.K
			2.0	2.727	2.419	38.920	80	O.K	0.686	3.54	O.K	1.590	8.867	O.K
	북방1	5+400	0.5	5.112	1.034	38.686	80	O.K	0.712	3.54	O.K	3.000	8.867	O.K
			1.0	4.515	2.289	43.221	80	O.K	1.065	3.54	O.K	3.190	8.867	O.K
			2.0	3.812	5.935	74.573	80	O.K	1.352	3.54	O.K	4.540	8.867	O.K
		7+620	0.5	2.934	0.727	23.744	80	O.K	0.312	3.54	O.K	0.996	8.867	O.K
			1.0	2.657	1.120	24.594	80	O.K	0.459	3.54	O.K	1.260	8.867	O.K
			2.0	2.191	2.732	29.560	80	O.K	0.869	3.54	O.K	1.970	8.867	O.K

춘 천 ~ 동 흥 천 기 술 자 문 단

[표-5] 계속

공구	터널명	해석 위치	축압 계수	변위(mm)		-shotcrete 압축응력(kgf/cm ²)			-shotcrete 전단응력(kgf/cm ²)			-rock bolt 축력(kgf)		
				천단	내공	작용력	허용력	판단	작용력	허용력	판단	작용력	허용력	판단
3	북방2	9+580	0.5	0.948	0.192	8.671	80	O.K	0.054	3.54	O.K	0.345	8.867	O.K
			1.5	0.821	0.821	8.608	80	O.K	0.100	3.54	O.K	0.578	8.867	O.K
			2.0	0.760	1.174	11.792	80	O.K	0.123	3.54	O.K	0.626	8.867	O.K
	북방3	11+180	0.5	1.071	0.235	13.199	80	O.K	0.057	3.54	O.K	0.524	8.867	O.K
			1.5	0.892	0.786	13.628	80	O.K	0.102	3.54	O.K	1.180	8.867	O.K
			2.0	0.816	1.128	14.073	80	O.K	0.124	3.54	O.K	1.344	8.867	O.K
4	송정1	12+510	0.5	1.026	0.174	10.426	80	O.K	0.003	3.54	O.K	0.477	8.867	O.K
			1.0	0.879	0.505	11.489	80	O.K	0.001	3.54	O.K	0.477	8.867	O.K
			1.5	0.750	0.912	13.708	80	O.K	0.010	3.54	O.K	0.628	8.867	O.K
		13+170	0.5	15.180	2.985	70.871	80	O.K	0.198	3.54	O.K	1.798	8.867	O.K
			1.0	11.230	1.984	47.871	80	O.K	0.062	3.54	O.K	3.587	8.867	O.K
			1.5	9.832	3.852	53.562	80	O.K	0.083	3.54	O.K	3.945	8.867	O.K
	송정2	13+355	0.5	4.264	0.485	27.419	80	O.K	0.029	3.54	O.K	0.772	8.867	O.K
			1.0	3.523	1.080	26.098	80	O.K	0.044	3.54	O.K	0.989	8.867	O.K
			1.5	3.129	1.997	27.183	80	O.K	0.056	3.54	O.K	1.334	8.867	O.K
		13+690	0.5	2.662	0.118	14.521	80	O.K	0.031	3.54	O.K	0.334	8.867	O.K
			1.0	2.157	0.944	15.419	80	O.K	0.059	3.54	O.K	0.772	8.867	O.K
			1.5	1.805	1.868	23.635	80	O.K	0.087	3.54	O.K	1.307	8.867	O.K

▶ Shotcrete 허용응력

- 28일 설계기준강도 : $f_{ck} = 200 \text{ kgf/cm}^2$
- Shotcrete 허용압축응력 : $f_{ca} = 0.4f_{ck} = 80 \text{ kgf/cm}^2$
- Shotcrete 허용전단응력 : $f_{ta} = 0.25\sqrt{f_{ck}} = 3.54 \text{ kgf/cm}^2$

▶ Rock Bolt 축력(D25/SD35)

- Rock Bolt 허용축력 : $P = A \cdot f_{sa} = \frac{(\pi \times 2.54^2)}{4} \times 1750 = 8.867 \text{ ton}$

춘 천 ~ 동 흥 천 기 술 자 문 단

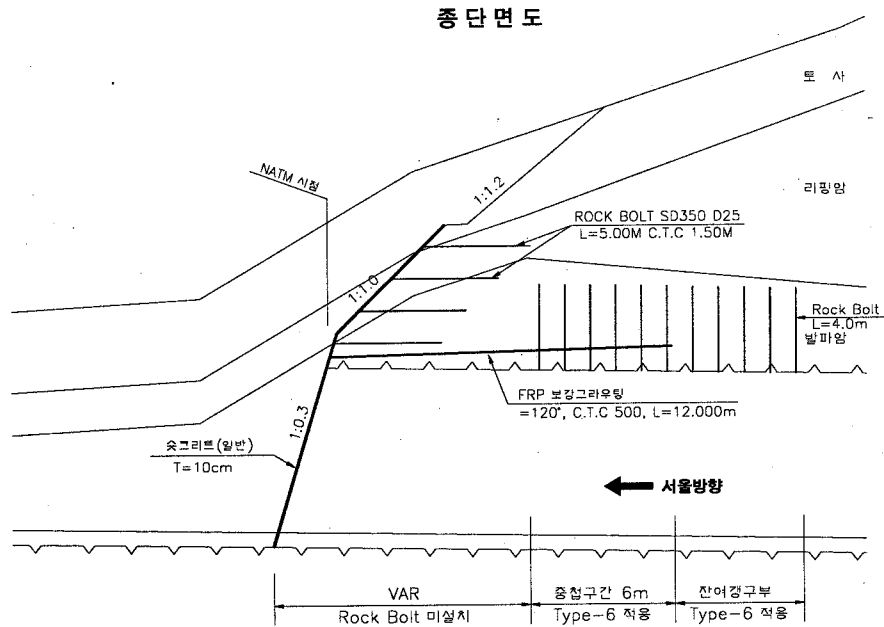
바. 수치해석 결과 분석

- 1) 천단침하량은 최소 0.75mm ~ 최대 15.18mm 발생함.
- 2) Shotcrete에 발생하는 압축응력은 최소 8.608kgf/cm^2 ~ 최대 79.2kgf/cm^2 발생하는데 이는 허용압축응력 80kgf/cm^2 이내이므로 안정함.
- 3) Shotcrete에 발생하는 전단응력은 최소 0.001kgf/cm^2 ~ 최대 1.58kgf/cm^2 발생하는데 이는 허용전단응력 3.54kgf/cm^2 이내이므로 안정함.
- 4) Rock Bolt에 발생하는 축력은 최소 0.334ton ~ 최대 4.67ton 발생하는데 이는 허용축력 8.867ton 이내이므로 안정함.

사. 갱구부 보강방안 검토

- 1) 수치해석 결과에 의하면 갱구부(Type-6)구간에 FRP보강그라우팅이 적용된 구간은 Rock Bolt를 설치하지 않아도 터널의 변위 및 지보재(슛크리트 및 락볼트)응력이 안정성을 확보하는 것으로 나타남.
- 2) 이상의 검토 결과를 종합할 때 FRP보강그라우팅이 적용된 구간은 Rock Bolt를 설치하지 않아도 안정성을 확보하나,
- 3) FRP보강그라우팅 보강구간은 견고한 빔형성 및 보강효과를 고려하여 마지막 보강공과 6m 중첩하여 Type-6을 적용함이 바람직할 것으로 사료됨.
- 4) FRP보강그라우팅 보강구간과 Rock Bolt시공구간의 중첩시공구간은 간섭이 발생하지 않도록 정밀시공을 하여야 함.
- 5) 검토구간은 계측관리를 철저히 하여 이상징후 발생여부를 면밀히 관찰하여야 함.

아. 시공방안



[그림-1] 시공개념도

3. 검토결론

- 1) 수치해석 결과에 의하면 갱구부(Type-6)구간에 FRP보강그라우팅이 적용된 구간은 Rock Bolt를 설치하지 않아도 안정성을 확보하는 것으로 나타남.
- 2) 상기 검토결과를 종합적으로 고려할 때 FRP보강그라우팅 보강구간은 Rock Bolt를 미설치하는 것이 타당한 것으로 판단됨.
- 3) 갱구부 구간중 보강공법이 적용되지 않는 구간은 Type-6을 적용하고, 보강구간은 견고한 빔형성과 보강효과를 고려하여 마지막 보강구간과 6m정도 중첩하여 Type-6을 적용함이 안정적인 것으로 사료됨.(“ [그림-1] 시공개념도” 참조)
- 4) 금번 검토는 원설계의 지반조건을 적용하여 검토한 결과이므로 굴착과정에서 지반조건이 원설계 지반조건과 상이할 경우에는 재검토를 실시하고, 계측관리를 철저히 하여 이상징후 발생여부를 면밀히 관찰하여야 함.