

기 술 검 토 서

NO. 토질 및 기초 — 47

제 목: 동산2터널 시점부(서울방향)
갱구부 안정대책 적정성 검토

2006. 10

강 원 건 설 사 업 소
춘 천 ~ 동 홍 천 기 술 자 문 단

기술검토건명	동산2터널 시점부(서울방향) 갱구부 안정대책 적정성 검토		
공 구	제 2 공구	검 토 구 분	토질 및 기초
검 토 기 간	2006. 10. 17 ~ 2006. 10. 20	검 토 자	오 관 식
		담 당 자	오 성 민
근 거 공 문	구두지시(2006. 10. 17)	회 신 공 문	용마(홍천) 제2006 - 0062호

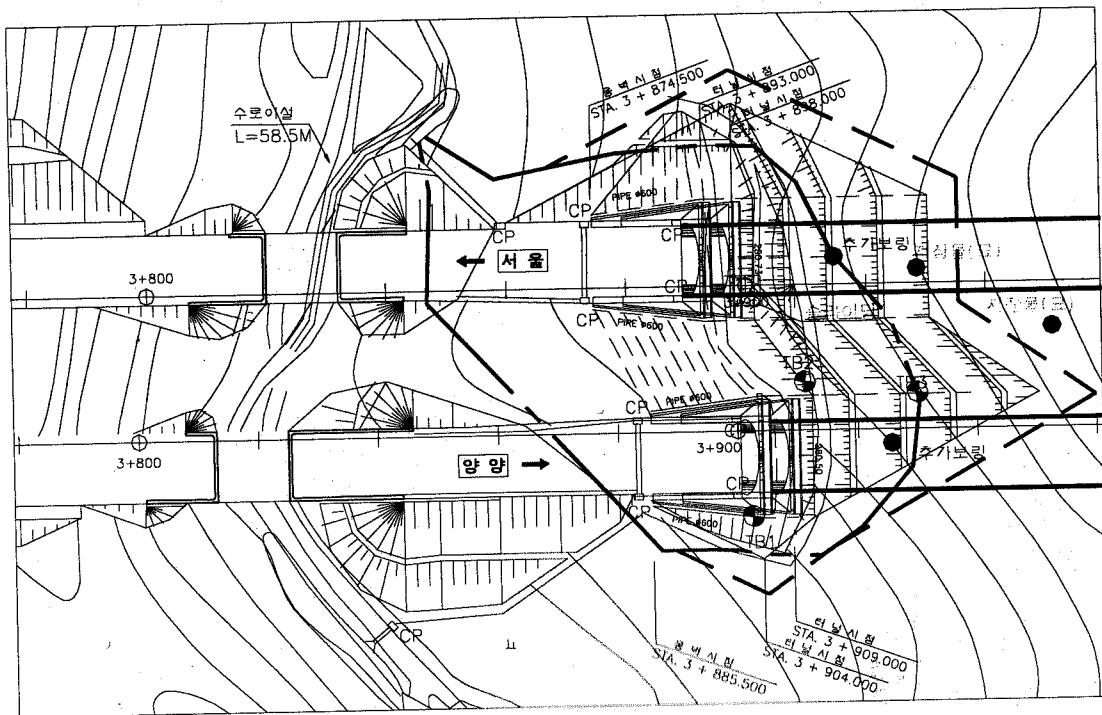
1. 검토목적

춘천~동홍천간 고속도로 건설공사와 관련하여 제2공구에 위치하는 동산2터널 시점부(서울방향) 갱구부의 암선이 하락함에 따라 현장에서 안정대책을 제시한 바 이에 대한 적정성을 검토하고자 함.

2. 검토내용

가. 일반 현황

1) 위치도

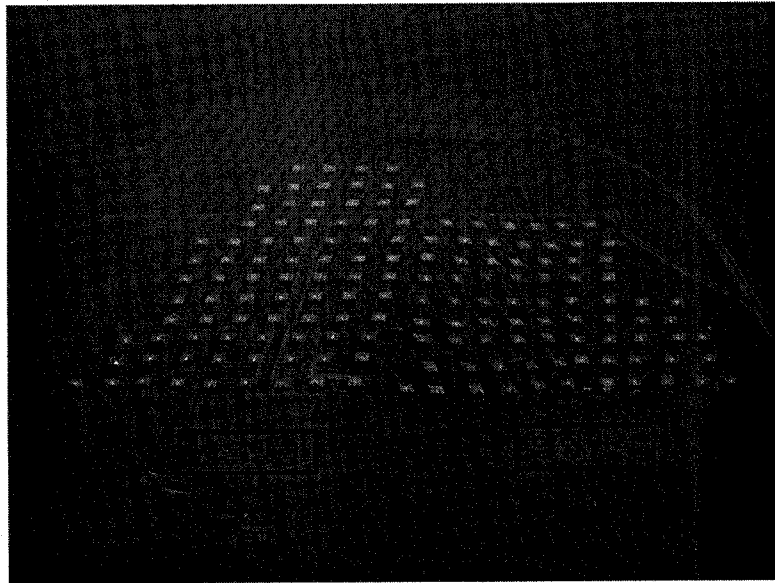


[그림-1] 동산2터널 시점부 위치도

2) 현황

(1) 시공현황

동산2터널 시점측 갱구부 상부 사면의 안정을 확보하기 위해 앵커시공이 완료되었으며, 가설갱문 설치를 위해 절취중에 있음.



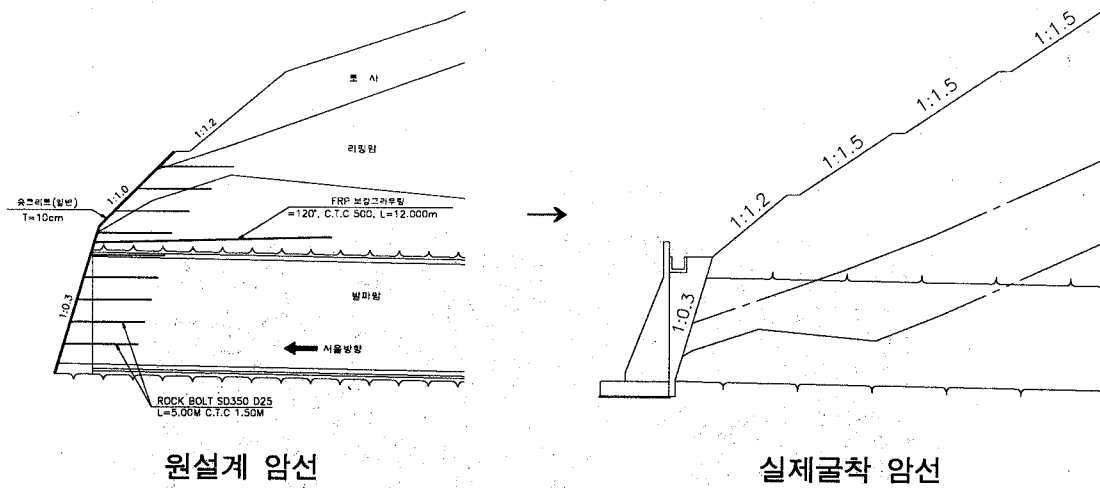
[사진-1] 동산2터널 시점부 갱구사면 전경

(2) 암선변경 현황

시공전 확인시추를 통해 원설계시의 지층선보다 암선이 다소 하락하는 것으로 조사되었으나, 실제 시공을 위해 굴착 진행중 암선이 더욱 하락하는 것으로 판단되어 현장에서는 백호우를 이용하여 약 4m 정도의 시험굴 및 크로러 드릴을 이용하여 굴진을 실시한 결과 확인시추보다 암선이 하락하는 것으로 나타남.

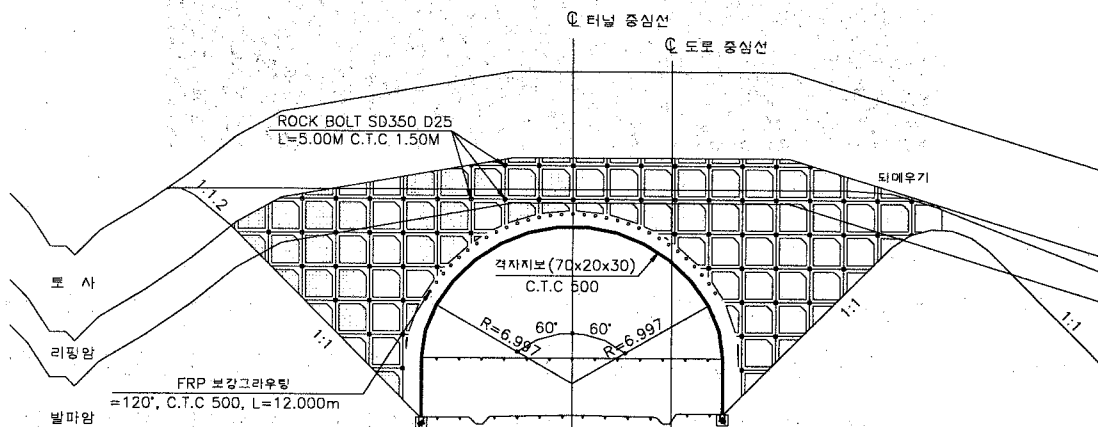


춘 천 ~ 동 흥 천 기 술 자 문 단



[그림-2] 동산2터널 시점부(서울방향) 암선변화

(3) 갱구부 보강 현황(원설계)



[그림-2] 동산2터널 시점부(서울방향) 갱구보강 계획도(원설계)

원설계에서는 갱구부의 안정을 위하여 보강공법으로 FRP보강그라우팅이 계획되어 있었으며, 세부적인 보강내용은 다음과 같다.

『표-1』 FRP보강그라우팅공법 설계현황

구 분	설계내용	비 고
보강범위	120° (1열) / 31공(372m)	
보강길이	12m	
설치간격	0.5m	

나. 원설계 적용시 문제점

- 1) 본 검토구간은 원설계에서 추정된 암선보다 기반암이 깊게 분포하고 있음.
- 2) 절취작업 결과 원설계시 추정된 지반조건과 다소 상이한 상태로 토층 및 풍화대의 층후가 두꺼운 상태로 암선이 저하하여 당초 계획된 터널 안정을 위한 FRP보강그라우팅공법의 설계 적정성에 대한 검토가 필요함.
- 3) 원설계에서 적용된 보강공법(FRP보강그라우팅공법, 1열, 120° , C.T.C 0.5m, L=12m)에 변경된 지층의 안정성 검토 결과에 따라 불안정한 경우 적절한 보강대책이 요구되는 실정임.

다. 현장검토 내용

현장에서는 보강방안으로 원설계에서 제안된 FRP보강그라우팅공법에 대하여 보강범위, 보강길이 등을 변경하여 안정여부를 검토하였으며 검토결과는 다음과 같다.

『표-2』 FRP보강그라우팅공법 현장검토 내용

구 분	해석단면 (STA.)	축압 계수	최 대 변 위		최대 지보재응력			안정성 판 단
			천단변위 (mm)	내공변위 (mm)	숏크리트 압축응력(tf/m ²)	숏크리트 전단응력(tf/m ²)	록볼트 축력(tf)	
원설계	3+903	0.5	30.39	2.03	248.11	20.51	7.78	N.G
		1.0	18.09	2.62	279.91	13.75	10.68	
변경설계 1안	3+903	0.5	19.83	1.37	26.92	13.21	1.48	N.G
		1.0	12.6	3.48	316.37	17.84	3.76	
변경설계 2안	3+903	0.5	16.8	1.02	256.08	10.21	1.37	O.K
		1.0	11.48	2.71	294.44	15.71	3.63	
허 용 기 준			20		800.0	35.0	8.6	

주) 1. 원설계 : FRP보강그라우팅공법, 1열, 120° , C.T.C 0.5m, L=12m

2. 변경설계 1안 : FRP보강그라우팅공법, 1열, 180° , C.T.C 0.5m, L=16m

3. 변경설계 2안 : FRP보강그라우팅공법, 2열, 180° , C.T.C 1열 0.5m(2열 0.6m), L=16m

“원설계는 최대변위 및 최대지보재응력이 관리허용기준을 초과하는 것으로 나타났으며, 변경설계 1안은 주요지보재인 숏크리트와 록볼트가 허용응력 기준을 만족하나 최대천단 변위가 19.83mm로 허용변위 20mm에 근접하여 터널의 장기적인 안정성을 확보하는데 불리한 것으로 판단됨. 변경설계 2안은 주요지보재의 응력과 최대변위 모두 안전관리기준을 만족하므로 터널의 안정성을 확보하는데 문제가 없을 것으로 판단됨.” 으로 기술됨.

라. 자문단 검토

1) 수치해석 검토

금번 검토단면에 대하여 현장에서 검토된 자료에 대하여 적정여부를 검토하였음.

① 수치해석 프로그램 : FLAC-2D(터널해석시 널리 적용되고 있음)

② 해석영역 : 터널의 좌우측방향 : 4D(D:터널반경)이상, 하부로는 3D이상, 상부로는 지표면까지 설정(해석 모델은 터널 굴착 영향권을 포함하되 일반적으로 터널 측방으로 4D이상, 터널 하부로 3D이상을 영향권으로 하여 지표면까지를 경계로 모델링한다 : 도로설계요령 제4권 P98에 의거 해석영역은 적정함.)

③ 하중분담율 : 원설계시 적용된 하중분담율 및 시공순서를 고려하여 다음과 같이 모형화함.

『표-3』 해석 단계에 따른 시공 모형화 및 하중분담율

구 분	시 공 내 용	하중분담율(%)
initial 단계	-	-
시공 1단계	갱구비탈면 절취 모형화 및 서울방향 FRP 보강	-
시공 2단계	서울방향 터널 상부 반단면 굴착	40
시공 3단계	서울방향 터널 상부 1차 슛크리트 + 록볼트	30
시공 4단계	서울방향 터널 상부 2차 슛크리트	30
시공 5단계	서울방향 터널 하부 반단면 굴착	40
시공 6단계	서울방향 터널 하부 1차 슛크리트 + 록볼트	30
시공 7단계	서울방향 터널 하부 2차 슛크리트	30

하중분배에서 필요한 하중분담율은 터널시공조건 및 지반조건 등에 따라 달라지므로 시공조건을 고려하지 않고 일률적으로 적용하는 것은 문제가 있을 수 있음. 따라서 하중분담율은 시공과정을 고려하여 선택하여야 하며 유사한 지반 및 시공조건에서의 계측자료를 이용하거나 3차원 예비해석을 통하여 얻어지는 종방향 침하곡선을 이용하여 선정할 수 있으며 일반적으로 2차원 터널해석시 적용되는 하중분담율은 40%, 30%, 30%정도임. 현장검토조건인 경우 시공 및 지반조건 등 상기조건을 만족하는 것으로 판단되므로 하중분담율은 적정한 것으로 판단됨.

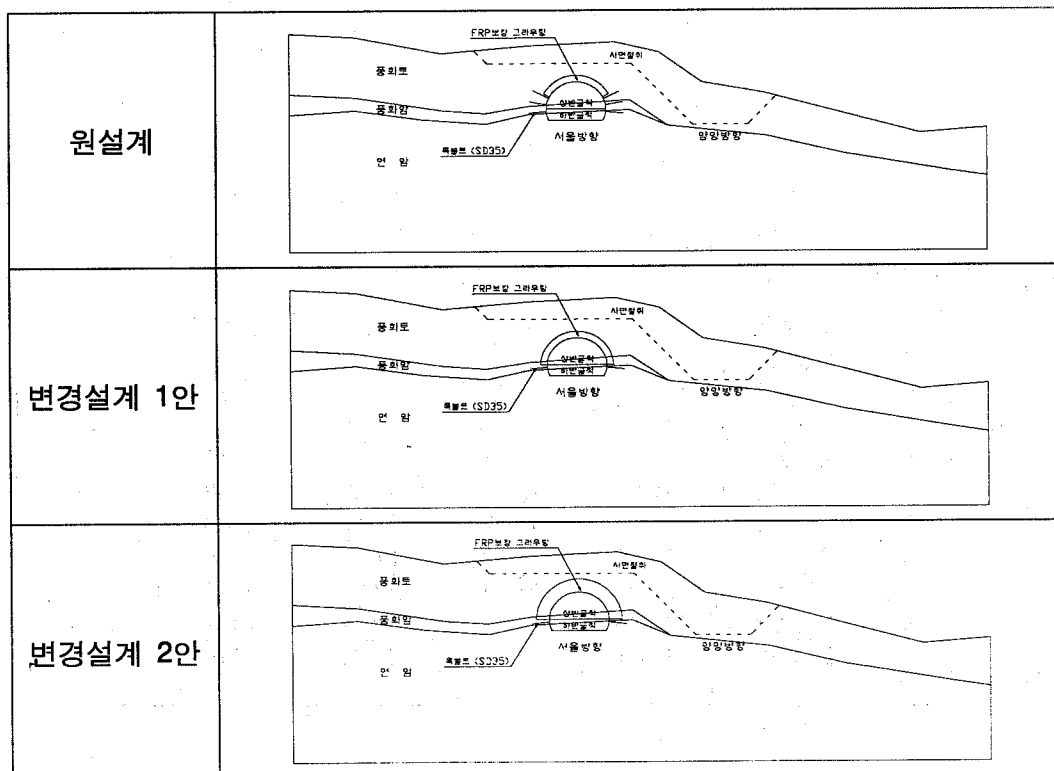
2) 지반강도정수

해석시 적용된 지반강도정수 암선이 하락하여 설계시 추정된 지층구성이 상이한 상태
이므로 원설계시의 강도정도를 이용하여 사면안정 검토를 실시하였으며, 검토시 적용된
지층별 강도정수는 다음표와 같다.

『표-4』 지반강도정수

구분		단위중량 (tf/m ³)	탄성계수 (tf/m ²)	점착력 (tf/m ²)	내부마찰각 (°)	포아슨비	
원지반	붕적토	1.9	1,500	0.0	28	0.35	
	풍화토	1.9	2,300	1.5	30	0.35	
	풍화암(V)	2.1	60,00	5.0	30	0.30	
	발파암	IV	2.5	190,000	34	30	0.29
		III	2.6	610,000	71	37	0.25
		II	2.7	1,220,000	181	42	0.21
		I	2.7	3,800,000	377	46	0.20
보강지반	풍화토	1.9	11,500	5.0	30	0.35	
	풍화암	1.9	180,000	7.0	30	0.30	

3) 해석단면



4) 해석결과 검토

금번 검토에서는 원설계, 변경설계 1안, 변경설계 2안에 대하여 재해석을 실시하였으며 각각에 대한 해석결과는 다음과 같다.

① 원설계

- 터널변위

구 분		서 율 방 향							
측압계수	STEP	a(mm)		b(mm)		c(mm)		d(mm)	
		현장안	자문단	현장안	자문단	현장안	자문단	현장안	자문단
0.5	4	23.53	23.54			0.09	0.09	0.07	0.07
	5	26.69	26.71			0.19	0.19	0.16	0.16
	6	28.80	28.80			0.14	0.13	0.18	0.20
	7	30.35	35.30	1.40	1.35	1.67	8.02	0.17	2.92
	8	30.39	35.28	1.57	1.55	1.87	8.00	0.28	2.89
	9	30.37	35.23	1.75	1.76	2.03	7.97	0.33	2.85
1.0	4	17.63	17.62			8.08	0.07	0.12	0.12
	5	18.09	18.09			0.11	0.11	0.14	0.14
	6	17.23	17.23			0.56	0.56	0.22	0.22
	7	17.46	21.62	1.17	1.17	1.67	9.18	0.49	3.87
	8	17.39	21.51	1.37	1.37	2.16	9.30	0.62	3.89
	9	17.27	21.40	1.58	1.58	2.62	9.40	0.73	3.90

- 최대 슛크리트 및 록볼트 응력

구 분		서 율 방 향					
측압계수	STEP	스딕리트 압축응력 (tonf/m ²)		스딕리트 전단력 (tonf/m ²)		록볼트 축력 (tonf)	
		현장안	자문단	현장안	자문단	현장안	자문단
0.5	5	122.56	119.90	5.99	6.05	1.64	1.59
	6	244.73	239.60	13.23	13.83	3.61	3.51
	7	248.11	241.00	17.35	31.45	7.51	14.96
	8	247.60	241.00	19.55	31.60	7.70	14.93
	9	247.54	241.06	20.51	31.63	7.78	14.90
1.0	5	141.80	141.83	6.25	6.09	2.89	2.87
	6	271.12	270.58	11.27	11.14	7.08	7.01
	7	277.55	291.35	13.31	20.34	9.95	17.53
	8	279.02	291.48	13.45	20.29	10.40	17.57
	9	279.91	291.41	13.75	20.22	10.68	17.57
허 용 기 준		800.00		35.00		8.60	

춘 천 ~ 동 흥 천 기 술 자 문 단

② 변경설계 1안

- 터널변위

구 분		서 울 방 향							
측압계수	STEP	a(mm)		b(mm)		c(mm)		d(mm)	
		현장안	자문단	현장안	자문단	현장안	자문단	현장안	자문단
0.5	4	14.77	14.78			0.11	0.11	0.08	0.08
	5	17.66	17.68			0.23	0.23	0.16	0.16
	6	19.33	19.36			0.18	0.17	0.24	0.25
	7	19.86	24.41	1.42	1.39	1.03	11.11	0.22	0.33
	8	19.84	24.38	1.60	1.59	1.21	11.10	0.20	0.31
	9	19.81	24.34	1.78	1.80	1.37	11.06	0.20	0.27
1.0	4	11.56	11.56			0.10	0.10	0.11	0.11
	5	12.60	12.60			0.17	0.17	0.14	0.14
	6	12.00	12.00			0.91	0.91	0.18	0.18
	7	11.84	13.30	1.26	1.22	2.41	12.50	0.26	0.40
	8	11.71	13.20	1.43	1.40	2.97	12.60	0.34	0.41
	9	11.54	13.10	1.59	1.60	3.48	12.70	0.41	0.42

- 최대 숏크리트 및 록볼트 응력

구 분		서 울 방 향					
측압계수	STEP	숏크리트 압축응력 (tonf/m ²)		숏크리트 전단력 (tonf/m ²)		록볼트 축력 (tonf)	
		현장안	자문단	현장안	자문단	현장안	자문단
0.5	5	121.98	119.69	5.06	4.98		
	6	262.26	257.25	12.19	11.99		
	7	269.20	298.19	13.14	11.88		
	8	269.21	298.06	13.20	11.58	0.82	0.46
	9	269.21	298.06	13.21	11.43	1.48	0.82
1.0	5	148.43	145.40	4.16	3.99		
	6	316.37	309.50	16.93	16.87		
	7	299.67	337.50	17.84	15.70		
	8	302.28	337.00	14.93	15.70	1.99	0.78
	9	303.94	337.70	14.46	15.70	3.76	1.65
허 용 기 준		800.00		35.00		8.60	

춘 천 ~ 동 흥 천 기 술 자 문 단

③ 변경설계 2안

- 터널변위

구 분		서 울 방 향							
측압계수	STEP	a(mm)		b(mm)		c(mm)		d(mm)	
		현장안	자문단	현장안	자문단	현장안	자문단	현장안	자문단
0.5	4	12.20	12.20			0.11	0.11	0.08	0.08
	5	15.01	15.01			0.23	0.23	0.18	0.18
	6	16.80	16.80			0.21	0.20	0.21	0.22
	7	17.53	23.32	1.45	1.43	0.71	7.04	0.28	6.84
	8	17.53	23.29	1.63	1.63	0.88	7.02	0.35	6.80
	9	17.51	23.24	1.80	1.83	1.02	6.99	0.38	6.75
1.0	4	9.98	9.98			0.12	0.12	0.11	0.12
	5	11.44	11.44			0.18	0.17	0.12	0.13
	6	11.48	11.50			0.66	0.66	0.15	0.15
	7	11.42	16.22	1.28	1.24	1.65	8.47	0.33	7.70
	8	11.29	16.13	1.45	1.44	2.20	8.59	0.43	7.71
	9	11.12	16.01	1.61	1.64	2.71	8.69	0.51	7.73

- 최대 슛크리트 및 록볼트 응력

구 분		서 울 방 향					
측압계수	STEP	스틉크리트 압축응력 (tonf/m ²)		스틉크리트 전단력 (tonf/m ²)		록볼트 축력 (tonf)	
		현장안	자문단	현장안	자문단	현장안	자문단
0.5	5	120.01	117.75	4.32	4.25		
	6	256.08	251.06	10.21	9.93		
	7	250.40	206.75	6.20	9.93		
	8	249.96	206.50	5.69	9.83	0.76	0.44
	9	249.77	206.10	8.48	9.63	1.37	0.80
1.0	5	136.20	133.63	4.99	4.87		
	6	277.87	271.94	9.55	9.31		
	7	288.77	282.38	15.23	8.54		
	8	292.15	282.56	15.71	8.26	1.81	0.76
	9	294.44	282.63	15.47	8.38	3.63	1.69
허 용 기 준		800.00		35.00		8.60	

춘 천 ~ 동 흥 천 기 술 자 문 단

④ 해석결과정리

구 분	해석 단면	축압 계수	검 토	최대변위		최대 지보재 응력			비 고
				천단변위 (mm)	내공변위 (mm)	숏크리트 압축응력 (tonf/m ²)	숏크리트 전단력 (tonf/m ²)	록볼트 축력 (tonf)	
원설계	STA 3+903	0.5	현장안	30.39	2.03	248.11	20.51	7.78	
			자문단	35.28	8.02	241.06	31.63	14.96	
		1.0	현장안	18.09	2.62	279.91	13.75	10.68	
			자문단	21.62	9.40	291.48	20.34	17.57	
변경 설계안(1)	STA 3+903	0.5	현장안	19.83	1.37	269.21	13.21	1.48	
			자문단	24.41	11.11	298.19	11.99	0.82	
		1.0	현장안	12.60	3.48	316.37	17.84	3.76	
			자문단	13.30	12.70	337.70	16.87	1.65	
변경 설계안(2)	STA 3+903	0.5	현장안	16.80	1.02	256.08	10.21	1.37	
			자문단	23.32	7.04	251.06	9.93	0.80	
		1.0	현장안	11.48	2.71	294.44	15.71	3.63	
			자문단	16.22	8.69	282.63	9.31	1.69	
				-		800.00	35.00	8.60	

3. 검토결론

- 1) 동산2터널 시점부 갱구사면은 당초 설계시 추정된 암선이 저하하여 원설계에서 안정대책으로 제안된 보강공법(FRP보강그라우팅공법, 1열, 120°, C.T.C 0.5m, L=12m)에 대하여 안정검토를 수행한 결과 불안정한 상태로 안정대책이 필요한 실정임.
- 2) 변경된 지층조건을 고려하여 자문단에서 재해석을 실시한 결과 FRP보강그라우팅을 180°로 넓히고 보강길이는 취약토층이 터널 종방향으로 넓게 분포하므로 16m로 조정(변경설계 1안)하여 안정검토를 실시한 결과 숏크리트응력 및 록볼트축력이 허용치 이내로 검토됨.
- 3) 현장검토는 천단변위과다에 따라 보강량을 늘리는 것으로 검토되었으나, 이는 허용변위

춘 천 ~ 동 홍 천 기 술 자 문 단

에 대한 기준이 없고 숏크리트응력 및 록볼트축력이 허용치 이내인 점 및 보강량을 늘려도 변위는 거의 변화가 없는 점 등을 고려할 때 보강량을 늘려도 보강 기대효과가 미미할 것으로 판단됨.

- 4) 따라서, 변경설계 1안과 같이 보강을 실시하되 굴착중 계측의 빈도를 높여 변위의 수렴 및 지속여부 등 변위의 경향이 보다 중요한 것으로 판단되므로 변위에 대한 지속적인 관찰이 필요한 것으로 사료되며 변위진전 여부에 따라 추가대책을 수립함이 타당한 것으로 판단됨.