

중부내륙고속도로(여주~수안보) 공사 구간 중 터널부분에 대한 시공, 터널해석보고서 및 계측결과의 검토 결과는 다음과 같다.

1. 시공진행 현황

1. 각 터널별 설계 및 시공진행 현황은 다음과 같다.

공구	터널명	설계(m)	시공(m)	비 고
2공구	중원터널	1,940	1,940	
4공구	가금터널	1,610	839.5	시공중(2000. 10. 30 현재)
5공구	부연터널	760	773.18	
	장고개터널	820	0	미 착공
	두정터널	1,095	1,125	
	수현1터널	520	540	
	수현2터널	510	506	
	매현터널	1,690	1,690	
6공구	조곡터널	1,590	1,590	
	추점터널	940	940	
계		11,475	9,943.68	86.65% 진행 중

2. 각 터널의 굴착 Type별 시공결과 및 진행현황은 다음과 같다.

1) 2공구

- 중원터널

구분		Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-6	계
설 계	상행선	530	210	80	80	70	0	970
	하행선	490	170	120	108	82	0	970
	소 계	1,020	380	200	188	152	0	1,940
시 공	상행선	507	249	155	35	24	0	970
	하행선	425.5	321.5	139	46.5	37.5	0	970
	소 계	932.5	570.5	294	81.5	61.5	0	1,940

2) 4공구

- 가금터널 : 현재 작업 진행 중

구분		Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-6	계
설 계	상행선	0	0	684	72	24	30	810
	하행선	0	0	674	72	24	30	800
	소 계	0	0	1,358	144	48	60	1,610
시 공	상행선	0	0	94	337.5	12	15	458.5
	하행선	0	0	0	354	12	15	381
	소 계	0	0	94	691.5	24	30	839.5

3) 5공구

a) 부연터널

구분		Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-6	계
설 계	상행선	126	146	20	24	24	35	375
	하행선	133	144	20	24	24	40	385
	소 계	259	290	40	48	48	75	760
시 공	상행선	132	111	47	51	0	44.78	385.78
	하행선	114	120	75	27	9	42.4	387.4
	소 계	246	231	122	78	9	87.18	773.18

b) 장고개터널

구분		Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-6	계
설 계	상행선	0	0	138	84	138	50	410
	하행선	0	0	124	96	150	40	410
	소 계	0	0	262	180	288	90	920
시 공	상행선	0	0	0	0	0	0	0
	하행선	0	0	0	0	0	0	0
	소 계	0	0	0	0	0	0	0

c) 두정터널

구분		Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-6	계
설 계	상행선	119	258	50	24	24	45	520
	하행선	119	222	146	24	24	40	575
	소 계	238	480	196	48	48	85	1,095
시 공	상행선	0	294	64	125	16	36	535
	하행선	0	304	96	136	18	36	590
	소 계	0	598	160	261	34	72	1,125

d) 수현1터널

구분		Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-6	계
설 계	상행선	49	62	56	34	24	35	260
	하행선	42	64	56	34	24	40	260
	소 계	91	126	112	68	48	75	520
시 공	상행선	49	60	75.9	40.5	15.6	29	270
	하행선	72	50	74	30.4	9.6	34	270
	소 계	121	110	149.9	70.9	25.2	63	540

e) 수현2터널

구분		Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-6	계
설 계	상행선	0	0	96	60	54	40	250
	하행선	0	0	106	60	54	40	260
	소 계	0	0	202	120	108	80	510
시 공	상행선	0	0	148	40	35	25	248
	하행선	0	0	130	47	45	36	258
	소 계	0	0	278	87	80	61	506

f) 매헨터널

구분		Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-6	계
설 계	상행선	315	312	60	42	36	40	805
	하행선	334	342	40	39	90	40	885
	소 계	649	654	100	81	126	80	1,690
시 공	상행선	494	165	39	34	33	40	805
	하행선	396	309	48	90	15.6	26.4	885
	소 계	890	474	87	124	48.6	66.4	1690

4) 6공구

a) 조곡터널

구분		Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-6	계
설 계	상행선	40	160	350	195	20	20	785
	하행선	40	160	360	205	20	20	805
	소 계	80	320	710	400	40	40	1,590
시 공	상행선	0	238	414.9	92.1	20	20	785
	하행선	0	252	390	123	20	20	805
	소 계	0	490	804.9	215.1	40	40	1590

b) 추점터널

구분		Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-6	계
설 계	상행선	40	120	170	105	20	20	475
	하행선	40	120	160	105	20	20	465
	소 계	80	240	330	210	40	40	940
시 공	상행선	53	151.4	162.6	68	20	20	475
	하행선	62	114	169	80	20	20	465
	소 계	115	265.4	331.6	148	40	40	940

5) Type별 집계

구분	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-6	계
설 계	2,417	2,490	3,510	1,487	946	625	11,475
시 공	2,304.5	2,738.9	2,321.4	1,757	362.3	459.58	9,943.68
진행율(%)	95.34	110	66.14	118.16	38.3	73.53	86.65

※ 현재 작업중인 가금터널의 미 시공분과 미 착공인 장고개터널의 시공물량은
가산되지 않은 것임.

II. 터널해석 및 계측결과 검토

1. 터널해석

터널해석에 사용된 해석 프로그램은 FDM(Finite Difference Method, 유한차분법)을 이용한 FLAC을 사용하여 해석되었으며, 해석에 사용된 각 지반의 물성치는 여러자료와 실험에 의한 자료를 비교 분석하여 적용하였으며 각 터널별로 적용된 물성치는 붙임 자료와 같다.

- ① 터널별로 적용된 해석 물성치는 적정하게 적용된 것으로 판단 됨.
다만, 2공구의 탄성계수값이 타 해석치보다 다소 크게 적용되었으나 터널의 안정성에는 영향이 없는 것으로 판단됨.(붙임 자료 참조)
- ② 해석결과의 각 Type에 따른 변위, 슛크리트 응력, 록볼트 축력 등은 허용치 이내로 해석되었음.

2. 계측결과

터널계측의 관리 기준치 설정에 사용되는 방법은 다양하나 대체적으로 변위를 기준으로 관리하는 방법과 응력을 기준으로 관리 하는 방법으로 크게 나누어지며, 일반적으로 수치해석에 의한 변위를 기준으로 관리하는 방법이 대부분이다.

그러나 관리기준은 지반의 거동상태, 암반역학적인 조건에 의하여 결정되므로 기준적인 수치를 정확히 제시하기 어렵다.

검토한 터널의 계측보고서의 계측관리기준은 다음과 같은 기준에 의해 관리되었거나, 관리하고 있다.

- ① 암반의 예상변위량을 기준으로 하는 방법
- ② 변위속도를 기준으로 하는 방법
- ③ 암반과 지보의 탄성한계를 기준으로 하는 방법
- ④ 기타 방법
 - 터널의 안정성과 관련된 관리기준치 : 일반적으로 변위를 기준 함.
 - Shotcrete 응력, Rock Bolr 축력 등의 관리기준치 : 설계 기준치와 비교
- ⑤ 한국도로공사 품질관리 실무(1992. 12)

1) 각 공구별 관리 기준

a) 2공구

- 천단, 내공변위 : 해석 변위량
- Shotcrete 응력 :
 - 1차 관리기준치 : 해석 응력
 - 2차 관리기준치 : - $5.94\text{kg/cm}^2 \sim 50.0\text{kg/cm}^2$
- Rock Bolt축력 :
 - 1차 관리기준치 : 해석 축력
 - 2차 관리기준치 : 9.0ton($0.5\sigma_{yAs}$)

b) 4공구

- 천단, 내공변위 : 해석 변위량
- Shotcrete 응력 : 해석 응력
- Rock Bolt축력 :
 - 1차 관리기준치 : 해석 축력
 - 2차 관리기준치 : 8.75ton($0.5\sigma_{yAs}$)

c) 5공구

- 천단, 내공변위 : 해석 변위량
- Shotcrete 응력 : 해석 응력
- Rock Bolt축력 : 해석 축력

d) 6공구

- 천단, 내공변위 : 해석 변위량, 3~4mm/일
- Shotcrete 응력 : 해석 응력, 84kg/cm^2
- Rock Bolt축력 : 해석 축력, 10ton

2) 검토결과

터널의 계측결과를 검토한 결과는 다음과 같다.

a) 2공구(중원터널)

- 천단, 내공변위

초기 상반굴진 시 터널 천단부의 수직하중에 따른 천단침하 및 내공팽창형태의 변위를 보였으나 2D굴진 이후 수렴 상태의 변위를 보였음.

- Shotcrete 응력

Radial(축 방향), Tangential(반경 방향)의 계측 응력은 일부 단면에서 1, 2차 관리기준치를 훨씬 상회한 값(-85.94kg/cm^2)을 나타내고 있다.

이는 슛크리트내에 설치된 Gage가 목적에 적합하지 않은 제품이거나 설치미흡으로 발생한 사항으로 허용응력 범위를 훨씬 벗어나는 값은 계측의 의미를 상실한 값이라 판단된다.

따라서 본 중원터널의 슛크리트 응력 측정값은 신뢰할 수 없는 값이라 판단되나 기타 측정값의 관리기준치 내외에서 수렴되어 있어 안정한 것으로 판단된다.

- Rock Bolt 축력

Rock Bolt의 축력은 최대 9.68ton으로 측정되어 설계치(STA. 6+910 : 0.916ton) 보다 훨씬 상회하는 값을 보였으나 빠른 시일 내에 수렴하는 양상을 보여 터널의 안정성에 문제가 없는 것으로 판단된다.

b) 4 공구(가금터널)

- 천단, 내공변위

설계 기준치보다 측정치가 큰 천단변위가 발생되었으나 안정성에는 영향이 없을 것으로 보여지며, 기타 구간의 변위량은 허용범위내에 있어 안정한 것으로 판단되나 현재 굴착 작업중이므로 수렴 시까지 관찰이 필요하다.

- Shotcrete 응력

Radial(축 방향), Tangential(반경 방향)의 응력은 슛크리트의 허용응력 범위 내외에서 수렴하고 있어 안정한 상태를 보이고 있으며 슛크리트의 허용 압축 및 인장응력범위내에 있다.

- Rock Bolt 축력

작은 값을 나타내고 있어 터널의 안정성에 문제가 없는 것으로 판단된다.

c) 5 공구(부연터널 외 4개 터널, 장고개터널은 미 착공)

- 천단, 내공변위

큰 변위량 없이 미소변위로 안정적으로 수렴상태를 보였다.

- Shotcrete 응력

Radial(축 방향), Tangential(반경 방향)의 응력은 슛크리트의 허용응력 범위 내에서 수렴하고 있어 안정한 상태를 보이고 있다.

- Rock Bolt 축력

허용축력 미만의 미소한 축력 또는 초기의 불규칙한 경향을 보였으나 측정된 축력 모두 수렴하는 양상을 보여 터널의 안정성에 문제가 없는 것으로 나타났다.

d) 6 공구(조곡터널, 추점터널)

- 천단, 내공변위

안정적인 변위량을 보이며 막장에서 4D~5D이내에서 변위발생이 현저하나 그 이후에는 거의 변위가 없으며 수렴되는 것으로 나타났다.

- Shotcrete 응력

Radial(축 방향), Tangential(반경 방향)의 응력은 슛크리트의 관리기준치 이하에서 수렴하고 있어 안정한 상태를 보이고 있다.

- Rock Bolt 축력

0.10~2.97ton으로 나타나며 최대치는 2~3m구간, 이완 영역의 분포는 1.5~3.0m의 범위에서 형성되는등 Rock Bolt가 작용하는 효과가 양호한 것으로 나타났다

3) 결론

터널해석에서 검토된 변위(천단, 내공), Shotcrete 응력, Rock Bolt축력 등의 결과와 계측치에 나타난 결과의 차이는 일부 단면을 제외하고 전체적으로 설계 값과 비교 시 크게 차이가 없는 것으로 확인되었으며, 계측의 결과 또한 전체적으로 수렴하는 등 안정적인 상태를 보이고 있다.

2공구 중원터널(상행선)

설							계							측							비 고
굴착 Type	STA.	변 위 량			숏크리트 응력		Rock Bolt 축력 (ton)	구 분	변 위 량		숏크리트 응력 (+ : 압축, - : 인장)		Rock Bolt 축력 (ton)								
		천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	최대 (kg/cm²)	인장 (kg/cm²)			천단 (mm)	내공 (mm)	Radial (kg/cm²)	Tangential (kg/cm²)									
Type-1	6+ 910	-1.03	-0.9	0.623	13.7	-3.72	0.916	굴착일시	01/30/99	06/20/99	06/18/99	06/18/99	02/27/99	Rock Bolt ; + : 인장, - : 압축							
								설치일시	02/01/99	06/22/99	06/20/99	06/20/99	03/02/99								
								측정치	-7.0	11.58	-9.10~ 44.46	-8.45 47.06	9.68~ -1.02								
								STA.	6+660	6+770	6+750	6+750	6+750								
Type-2	7+ 200	-0.46	-0.29	0.213	4.58	-2.52	0.285	굴착일시	09/14/99	11/10/99											
								설치일시	09/08/99	11/12/99											
								측정치	-8.0	11.13											
								STA.	7+100	6+470											
Type-4	6+ 430	-3.48	-2.7	2.173	26.86	-5.08	1.834	굴착일시	10/26/99	01/26/00	11/08/99	11/08/99	11/08/99								
								설치일시	10/28/99	01/28/00	11/10/99	11/10/99	11/10/99								
								측정치	0.0	-0.87	-13.16~ 3.97	-13.66~ 5.74	0~ -2.39								
								STA.	7+320	7+320	7+300	7+300	7+300								
Type-5	7+ 310	-4.08	-3.19	2.278	22.69	-4.57	4.3	굴착일시	10/04/99	10/04/99											
								설치일시	10/06/99	10/06/99											
								측정치	-2.0	-3.33											
								STA.	7+340	7+340											

4공구 가금터널(상행선)

설				계				측				비 고		
굴착 Type	STA.	변 위 량			숏크리트 응력		Rock Bolt 축력 (ton)	구 분	(+: 확대, -: 축소)		숏크리트 응력 (+: 압축, -: 인장)		Rock Bolt 축력 (ton)	
		천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	최대 (kg/cm²)	최소 (kg/cm²)			천단 (mm)	내공 (mm)				Radial (kg/cm²)
Type-3	9+ 576							굴착일시					Rock Bolt : +:인장, -:압축	
		-3.44	3.404	3.246	50.38	3.87	2.406	설치일시						
								측정치						
								STA.						
Type-3	10+ 220							굴착일시					현재 계측 중	
		-0.36	0.373	0.410	6.50	0.44	0.14	설치일시	05/30/00	05/30/00	05/28/00	05/28/00		
								측정치	-3.0	-1.0	-1.344 ~ 28.351	-2.730 ~ 15.597		0 ~ 0.86
								STA.	10+223	10+223	10+233	10+233		
Type-6	9+ 510							굴착일시						
		-2.49	5.646	5.08	22.78	-1.56	1.603	설치일시						
								측정치						
								STA.						
Type-5	10+ 290							굴착일시					현재 계측 중	
		-0.58	0.615	0.716	29.84	0.01	1.26	설치일시	05/08/00	05/08/00	06/17/00	06/17/00		
								측정치	-3.0	-0.90	0 ~ 16.325	-0.421 ~ 11.689		0 ~ -0.68
								STA.	10+293	10+293	10+303	10+303		10+303

설				계				계				속		비 고	
굴착 Type	STA.	번 위 량			췁크리트 응력		Rock Bolt 췁력 (ton)	구 분	번 위 량 (+ : 췁대, - : 췁소)		췁크리트 응력 (+ : 압췁, - : 인장)		Rock Bolt 췁력 (ton)		
		췁단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	췁대 (kg/cm ²)	췁소 (kg/cm ²)			췁단 (mm)	내공 (mm)	Radial (kg/cm ²)	Tangential (kg/cm ²)			
Type-3	9+ 576													Rock Bolt ; + : 인장, - : 압췁	
		-2.48	3.383	3.125	38.24	3.81	1.876								
Type-3	10+ 220							궂착일시							
		-0.36	0.349	0.395	6.31	0.43	0.135	설치일시	05/29/00	05/29/00	05/29/00	05/29/00	05/29/00		
								췁정치	-2.0	-1.08	0~ 14.142	-0.998~ 26.099	0~ -0.66		
								STA.	10+220	10+220	10+220	10+220	10+220		
Type-6	9+ 510														
		-5.9	3.378	4.486	25.21	-1.57	1.476								
Type-5	10+ 290							궂착일시							
		-0.62	0.582	0.702	32.42	0.005	1.427	설치일시	05/07/00	05/07/00	05/07/00	09/08/00	05/07/00		
								췁정치	-3.0	-0.90	-5.327~ 12.786	0~ 8.786	0~ 0.43		
								STA.	10+290	10+290	10+290	10+290	10+290		

5공구 부연터널(상행선)

설 계										측 계						비 고
굴착 Type	STA.	변 위 량			췏크리트 응력		Rock Bolt 축력 (ton)	구 분	변 위 량 (+ : 확대, - : 축소)		췏크리트 응력 (+ : 인장, - : 압축)		Rock Bolt 축력 (ton)			
		천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	압축 (kg/cm²)	전단 (kg/cm²)			천단 (mm)	내공 (mm)	Radial (kg/cm²)	Tangential (kg/cm²)				
Type-1	2+000							굴착일시								
		-14.9	2.971	12.03	49.99	0.04		설치일시	09/08/99	09/05/99	08/27/99	08/27/99				
							측정치		-1.2	-2.08	-0.15	-0.2	-0.17			
							STA.		1+925	1+966	1+966	1+966				
Type-6	2+180							굴착일시								
		-3.98	-0.59	4.298	24.72	0.19	1.26	설치일시	07/18/99	07/18/99	10/23/99	07/19/99	07/19/99			
								측정치	-0.5	-0.61	-0.12 ~ 0.24	-0.03 ~ -0.33	0.33			
								STA.	2+180	2+180	2+180	2+180	2+180			
								굴착일시								
								설치일시								
								측정치								
								STA.								
								굴착일시								
								설치일시								
								측정치								
								STA.								

5공구 부연터널(하행선)

설				계				측				비 고	
굴착 Type	STA.	변 위 량			shots		구 분	변 위 량 (+ : 확대, - : 축소)		shots (+ : 인장, - : 압축)			Rock Bolt 측력 (ton)
		천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	압축 (kg/cm²)	전단 (kg/cm²)		천단 (mm)	내공 (mm)	Radial (kg/cm²)	Tangential (kg/cm²)		
Type-1	2+000						굴착일시						
		-14.9	0.011	13.71	49.99	0.04	설치일시	08/21/99	08/21/99	08/14/99	08/14/99	08/14/99	
							측정치	-1.00	-2.27	-0.16	-0.25	-0.18	
							STA.	1+961	1+961	1+991	1+991	1+991	
Type-3	2+180						굴착일시						
		-4.83	0.534	4.289	29.49	0.16	설치일시	07/02/99	07/02/99	07/02/99	07/02/99	07/22/99	
							측정치	-1.50	-1.54	-1.25 ~ 1.20	-1.62 ~ 1.54	-0.95	
							STA.	2+180	2+180	2+180	2+180	2+180	
							굴착일시						
							설치일시						
							측정치						
							STA.						
							굴착일시						
							설치일시						
							측정치						
							STA.						

5공구 장고개터널(상행선) - 미 착공

설				계				측				비 고		
굴착 Type	STA.	변 위 량			췁크리트 응력		Rock Bolt 축력 (ton)	구 분	변 위 량 (+ : 확대, - : 축소)		췁크리트 응력 (+ : 인장, - : 압축)		Rock Bolt 축력 (ton)	
		천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	압축 (kg/cm ²)	전단 (kg/cm ²)			천단 (mm)	내공 (mm)	Radial (kg/cm ²)			Tangential (kg/cm ²)
Type-4	2+ 980	-7.4	1.159	6.853	27.35	0.18	2.03	굴착일시						
								설치일시						
								측정치						
								STA.						
Type-5	2+ 760	-5.82	0.265	5.724	48.41	0.67	1.37	굴착일시						
								설치일시						
								측정치						
								STA.						
Type-6	3+ 060	-3.70	1.157	3.913	21.19	0.23	0.87	굴착일시						
								설치일시						
								측정치						
								STA.						

5공구 장고개터널(하행선) - 미 착공

설 계						계 측						비 고		
굴착 Type	STA.	변 위 량			췁크리트 응 령		Rock Bolt 축 령 (ton)	구 분	변 위 량		췁크리트 응 령		Rock Bolt 축 령 (ton)	
		천 단 (mm)	내 공 (mm)	바닥 (mm)	압 축 (kg/cm ²)	전 단 (kg/cm ²)			(+ : 확대, - : 축소)	천 단 (mm)	내 공 (mm)			Radial (kg/cm ²)
Type-4	2+ 980	-6.22	0.504	5.608	27.35	0.11	2.03	굴착일시						
								설치일시						
								측정치						
								STA.						
Type-5	2+ 760	4.811	0.431	4.68	50.45	0.78	1.38	굴착일시						
								설치일시						
								측정치						
								STA.						
Type-6	3+ 060	-3.39	0.388	3.346	21.19	0.13	0.87	굴착일시						
								설치일시						
								측정치						
								STA.						
								굴착일시						
								설치일시						
								측정치						
								STA.						

5공구 두정터널(상행선)

설 계										측						비 고
굴착 Type	STA.	변 위 량			아웃리트 응력		Rock Bolt 축력 (ton)	구 분	변 위 량 (+ : 확대, - : 축소)		아웃리트 응력 (+ : 인장, - : 압축)		Rock Bolt 축력 (ton)			
		천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	압축 (kg/cm ²)	전단 (kg/cm ²)			천단 (mm)	내공 (mm)	Radial (kg/cm ²)	Tangential (kg/cm ²)				
Type-2	4+ 200	-6.04	-0.84	5.659	17.33	0.03	1.31	굴착일시								
								설치일시	12/05/99	12/05/99	12/12/99	12/12/99				
								측정치	-1.0	-1.51	-0.19	-0.29	-0.18			
								STA.	4+192	4+192	4+222	4+222	4+222			
Type-5	4+ 500							굴착일시								
								설치일시	03/11/00	03/11/00	03/11/00	03/11/00	03/11/00			
								측정치	-1.2	-1.69	-0.31 ~ -0.07	-0.15 ~ -0.53	0.31			
								STA.	4+495	4+495	4+495	4+495	4+495			
								굴착일시								
								설치일시								
								측정치								
								STA.								
								굴착일시								
								설치일시								
								측정치								
								STA.								

5공구 두정터널(하행선)

설										계										비 고
굴착 Type		STA.	번 위 량			쑈크리트 응력		Rock Bolt 축력 (ton)	구 분	번 위 량 (+ : 확대, - : 축소)			쑈크리트 응력 (+ : 인장, - : 압축)		Rock Bolt 축력 (ton)					
			천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	압축 (kg/cm ²)	전단 (kg/cm ²)			천단 (mm)	내공 (mm)	Radial (kg/cm ²)	Tangential (kg/cm ²)							
Type-2	4+ 500								굴착일시											
		-5.69	0.43	5.412	26.31	0.21	1.29	설치일시	03/02/00	03/02/00	03/02/00	03/02/00	03/02/00							
								측정치	-1.20	-1.01	-0.07 ~ -0.29	-0.07 ~ -0.44	-0.31							
								STA.	4+496	4+496	4+496	4+496	4+496							
Type-3	4+ 200								굴착일시											
		-7.52	0.386	6.672	17.33	0.03	1.31	설치일시	11/29/99	11/01/99										
								측정치	-0.90	-1.03										
								STA.	4+206	4+145										
Type-5	4+ 000								굴착일시											
		-4.97	0.716	4.824	29.72	0.12	1.48	설치일시												
								측정치	-1.10	-1.19										
								STA.	4+006	3+995										
									굴착일시											
								설치일시												
								측정치												
								STA.												

5공구 수현1터널(상행선)

설					계					측					비 고
굴착 Type	STA.	변 위 량			췁크리트 응력		Rock Bolt 췁력 (ton)	구 분	변 위 량 (+ : 확대, - : 축소)		췁크리트 응력 (+ : 인장, - : 압축)		Rock Bolt 췁력 (ton)		
		천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	압축 (kg/cm²)	전단 (kg/cm²)			천단 (mm)	내공 (mm)	Radial (kg/cm²)	Tangential (kg/cm²)			
Type-1	5+360							굴착일시							
		-7.92	-0.54	7.171	16.06	0.01		설치일시	07/03/00	08/18/00	07/07/00	07/07/00	08/20/00		
							측정치		-7.0	3.3	0 ~ -18.67	0 ~ -23.61	1.61		
							STA.		5+363	5+363	5+344	5+344	5+344		
Type-6	5+260							굴착일시							
		-2.49	-0.12	2.899	14.32	0.09	0.68	설치일시	07/24/00	08/28/00	07/22/00	07/22/00	08/25/00		
								측정치	-9.0	2.9	0 ~ -14.26	0 ~ -14.86	1.18		
								STA.	5+263	5+263	5+274	5+274	5+274		
								굴착일시							
								설치일시							
								측정치							
								STA.							
								굴착일시							
								설치일시							
								측정치							
								STA.							

5공구 수원1터널(하행선)

설 계					계 측					비 고		
굴착 Type	STA.	변 위 량			췁크리트 응 령	Rock Bolt 축 령 (ton)	구 분	변 위 량 (+ : 확대, - : 축소)			췁크리트응 령 (+ : 인장 - : 압축)	Rock Bolt 축 령 (ton)
		천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)				압축 (kg/cm ²)	전단 (kg/cm ²)			
Type-1	5+360						굴착일시					
		-8.86	-0.14	7.628	19.87	0.01	설치일시	07/07/00	07/07/00	07/14/00	07/14/00	
							측정치	-9.0	3.4	-0.79 ~ 15.92	0 ~ 17.59	1.53
							STA.	5+370	5+370	5+339	5+339	5+339
Type-6	5+260						굴착일시					
		-2.44	0.066	2.896	23.64	0.14	설치일시	08/28/00	08/31/00	07/24/00	07/24/00	09/01/00
							측정치	-6.0	2.6	0 ~ 9.29	0 ~ -11.92	1.66
							STA.	5+265	5+265	5+255	5+255	5+255
							굴착일시					
							설치일시					
							측정치					
							STA.					
							굴착일시					
							설치일시					
							측정치					
							STA.					

5공구 수원2터널(상행선)

설 계							측							비 고
굴착 Type	STA.	변 위 량			췁크리트 응력		Rock Bolt 속력 (ton)	구 분	변 위 량 (+ : 확대, - : 축소)		췁크리트 응력 (+ : 인장, - : 압축)		Rock Bolt 속력 (ton)	
		천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	압축 (kg/cm ²)	전단 (kg/cm ²)			천단 (mm)	내공 (mm)	Radial (kg/cm ²)	Tangential (kg/cm ²)		
Type-3	6+000						2.7	굴착일시						
		-9.29	0.273	8.278	22.037	0.02		설치일시		08/30/99				
								측정치		4.50				
								STA.		5+956				
Type-4	6+100						1.58	굴착일시						
		-6.54	0.486	6.162	28.38	0.33		설치일시		09/15/99				
								측정치		1.10				
								STA.		6+101				
Type-6	6+160						0.62	굴착일시						
		-2.53	-0.38	2.788	14.31	0.08		설치일시	09/11/99	09/19/99	09/11/99	09/11/99		
								측정치	-5.0	2.90	-9.21 9.42	-0.2 ~ 9.11	2.7	
								STA.	6+145	6+145	6+145	6+145	6+145	
								굴착일시						
								설치일시						
								측정치						
								STA.						

5공구 수현2터널(하행선)

설 계										계 측						비 고
굴착 Type	STA.	변 위 량				췁크리트 응 력		Rock Bolt 축 력 (ton)	구 분	변 위 량 (+ : 확대, - : 축소)		췁크리트 응 력 (+ : 인장, - : 압축)		Rock Bolt 축 력 (ton)		
		천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	압축 (kg/cm²)	전단 (kg/cm²)	천단 (mm)			내공 (mm)	Radial (kg/cm²)	Tangential (kg/cm²)				
Type-3	6+000							굴착일시								
		-8.85	0.283	7.583	24.53	0.01	2.85	설치일시		09/02/99						
								측정치		2.9						
								STA.		5+976						
Type-4	6+100							굴착일시								
		-4.49	0.43	3.955	29.21	0.24	1.59	설치일시		09/12/99						
								측정치		2.3						
								STA.		6+093						
Type-6	6+160							굴착일시								
		-3.08	-0.16	3.297	25.59	0.14	0.61	설치일시	09/10/99	09/10/99	09/10/99	09/10/99	09/10/99			
								측정치	-6.0	3.8	-6.36 ~ 11.98	-1.83 ~ 14.95	2.54			
								STA.	6+175	6+175	6+175	6+175	6+175			
								굴착일시								
								설치일시								
								측정치								
								STA.								

5공구 매현터널(상행선)

설 계						계 측						비 고		
굴착 Type	STA.	변 위 량			쏿크리트 응력		Rock Bolt 축력 (ton)	구 분	변 위 량 (+ : 확대, - : 축소)		쏿크리트 응력 (+ : 인장, - : 압축)		Rock Bolt 축력 (ton)	
		천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	압축 (kg/cm ²)	전단 (kg/cm ²)			천단 (mm)	내공 (mm)	Radial (kg/cm ²)			Tangential (kg/cm ²)
Type-1	6+940							굴착일시						
		-19.60	0.837	15.63	65.65	0.06	설치일시	09/04/99	09/04/99	09/04/99	09/04/99			
							측정치	-1.0	0.7	-1.43 ~ 1.84	-1.13 ~ 1.33	0.16		
							STA.	6+950	6+950	6+950	6+950	6+950		
Type-6	6+560							굴착일시						
		-2.8	-0.27	3.158	21.17	0.12	설치일시							
							측정치							
							STA.							
								굴착일시						
							설치일시							
							측정치							
							STA.							
								굴착일시						
							설치일시							
							측정치							
							STA.							

5공구 매천터널(하행선)

설 계										측						비 고
굴착 Type	STA.	변 위 량			shot리트 응력		Rock Bolt 축력 (ton)	구 분	변 위 량 (+ : 확대, - : 축소)		shot리트 응력 (+ : 인장, - : 압축)		Rock Bolt 축력 (ton)			
		천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	압축 (kg/cm²)	전단 (kg/cm²)			천단 (mm)	내공 (mm)	Radial (kg/cm²)	Tangential (kg/cm²)				
Type-1	6+940							굴착일시								
		-20.3	0.22	22.63	73.82	0.70		설치일시	09/03/99	09/03/99	09/03/99	09/03/99				
								측정치	-2.0	-0.9	-0.31 ~ 4.61	0 ~ 2.76	0.11			
								STA.	6+927	6+927	6+927	6+927	6+927			
Type-5	7+400							굴착일시								
		-2.32	-2.47	5.518	15.10	0.14	0.95	설치일시								
								측정치								
								STA.								
Type-6	6+560							굴착일시								
		-3.02	0.087	3.303	26.50	0.15	0.94	설치일시								
								측정치								
								STA.								
								굴착일시								
								설치일시								
								측정치								
								STA.								

6공구 조곡터널(상행선)

설 계										측 계						비 고
굴착 Type	STA.	변 위 량			숏크리트 응력		Rock Bolt 축력 (ton)	구 분	변 위 량		숏크리트 응력		Rock Bolt 축력 (ton)			
		천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	최대 (kg/cm ²)	인장 (kg/cm ²)			천단 (mm)	내공 (mm)	Radial (kg/cm ²)	Tangential (kg/cm ²)				
Type-4	1+750						2.974	굴착일시								
		4.707	5.36	2.425	38.464	-		05/09/99	05/09/99	05/09/00	05/18/00	04/21/00				
								-4.0	-1.7	0~ 8.115	-1.185~ 3.105	0~ -0.91				
								1+750	1+750	1+750	1+750	1+750				
Type-1	2+125							굴착일시								
		1.202	0.969	0.972	11.892	-		12/22/99	12/22/99	12/22/99	12/22/99	01/03/00				
								-2.0	-1.45	0~ 11.042	-4.354~ 3.012	0~ 0.86				
								2+125	2+125	2+125	2+125	2+125				
Type-5	2+515						1.622	굴착일시								
		4.13	1.58	1.92	18.151	-		08/06/99	08/06/99	09/02/99	09/02/99	08/06/99				
								-4.0	-2.50	0~ 13.9	-4.362~ 7.255	0~ 0.73				
								2+515	2+515	2+515	2+515	2+515				
								굴착일시								

6공구 조곡터널(하행선)

설										계										측										비 고
굴착 Type	STA.	변 위 량			췁크리트 응력			Rock Bolt 췁력 (ton)	구 분	변 위 량		췁크리트 응력		Rock Bolt 췁력 (ton)																
		천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	최대 (kg/cm²)	인장 (kg/cm²)	천단 (mm)			내공 (mm)	Radial (kg/cm²)	Tangential (kg/cm²)																		
Type-4	1+750							0.928	굴착일시																					
		5.976	2.7	1.966	16.947	-	04/21/00		04/25/00	04/21/00	04/21/00	04/25/00																		
							-3.0		-1.7	0~ 9.230	-0.969~ 5.199	0~ -1.18																		
							1+750		1+750	1+750	1+750	1+750																		
Type-1	2+125								굴착일시																					
		1.197	0.874	1.197	12.508	-	01/03/00		01/03/00	01/03/00	01/03/00	01/03/00																		
							-2.0		-1.70	-5.602~ 9.769	-5.939~ 10.364	0~ -0.63																		
							2+125		2+125	2+125	2+125	2+125																		
Type-6	2+515							1.476	굴착일시																					
		3.76	4.23	3.76	35.315	-	08/14/99		08/14/99	10/20/99	10/20/99	08/14/99																		
							-4.0		-1.95	0~ 10.764	0~ 8.873	0~ -0.82																		
							2+515		2+515	2+515	2+515	2+515																		
									굴착일시																					

6공구 추점터널(상행선)

설 계										측 계										비 고
굴착 Type	STA.	변 위 량			췁크리트 응력		Rock Bolt 축력 (ton)	구 분	변 위 량		췁크리트 응력		Rock Bolt 축력 (ton)							
		천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	최대 (kg/cm²)	인장 (kg/cm²)			천단 (mm)	내공 (mm)	Radial (kg/cm²)	Tangential (kg/cm²)								
Type-5	8+ 425							굴착일시												
		3.047	3.767	2.344	19.585	-	1.645	설치일시	07/14/99	07/14/99	07/14/99	07/14/99	08/02/99							
								측정치	-4.0	-4.30	-1.476~ 13.685	-2.993~ 5.560	0~ 0.93							
								STA.	8+425	8+425	8+425	8+425	8+425							
Type-2	8+ 605							굴착일시												
		0.798	0.726	0.666	8.824	-	2.52	설치일시	09/03/99	09/03/99	09/03/99	09/03/99	09/03/99							
								측정치	-3.0	-2.70	0~ 6.717	-1.224~ 3.065	0~ 0.85							
								STA.	8+605	8+605	8+605	8+605	8+605							
Type-3	8+ 775							굴착일시												
		9.99	4.65	6.74	63.061	-	2.544	설치일시	10/16/99	10/16/99	10/16/99	10/16/99	10/16/99							
								측정치	-2.0	-1.65	0~ 13.940	-1.726~ 8.688	0~ -2.97							
								STA.	8+775	8+775	8+775	8+775	8+775							
								굴착일시												
								설치일시												
								측정치												
								STA.												

6공구 추점터널(하행선)

설										계										측										비 고
굴착 Type	STA.	변 위 량			쏫크리트 응 령			Rock Bolt 축 령 (ton)	구 분	변 위 량			쏫크리트 응 령			Rock Bolt 축 령 (ton)														
		천단 (mm)	내공 (mm)	바닥 (mm)	최대 (kg/cm²)	인장 (kg/cm²)	천단 (mm)			내공 (mm)	Radial (kg/cm²)	Tangential (kg/cm²)																		
Type-5	8+ 425								굴착일시																					
		2.611	1.448	2.282	18.572	-	1.498	설치일시	07/02/99	07/02/99	07/06/99	07/19/99	07/06/99	07/06/99																
								측정치	-4.0	-3.40	0~ 11.721	-4.929~ 8.933	0~ -1.48																	
								STA.	8+425	8+425	8+425	8+425	8+425																	
Type-2	8+ 605								굴착일시																					
		0.821	0.418	0.649	8.247	-	2.576	설치일시	08/31/99	08/31/99	08/31/99	08/31/99	08/31/99																	
								측정치	-4.0	-1.95	0~ 11.303	-3.961~ 8.001	0~ -0.59																	
								STA.	8+605	8+605	8+605	8+605	8+605																	
Type-3	8+ 775								굴착일시																					
		6.62	8.61	5.9	55.377	-	2.461	설치일시	10/11/99	10/11/99	10/11/99	10/11/99	10/11/99																	
								측정치	-2.0	-2.05	-4.615~ 24.633	-3.412~ 1.620	0~ -0.83																	
								STA.	8+775	8+775	8+775	8+775	8+775																	
									굴착일시																					
								설치일시																						
								측정치																						
								STA.																						

3. 검토결과

터널해석보고서 및 계측자료에 검토결과는 다음과 같다.

1) 터널해석보고서

터널해석보고서의 검토 결과 해석에 적용된 물성치는 적정하게 적용된 것으로 판단되며, 해석결과의 각 Type에 따른 변위, 슛크리트 응력, 록볼트 축력 등은 허용치 이내로 해석되었음.

2) 계측자료

일부 단면을 제외하고 전체적으로 설계 값과 비교 시 크게 차이가 없는 것으로 확인되었으나 중원 2터널의 Shotcrete응력 계측치는 잘못된 값으로 판단되며 기타 계측결과는 전체적으로 수렴하는 등 안정적인 상태를 나타낸 것으로 확인되었다.

그러나 2, 4, 5, 6공구의 터널계측에 사용되고 있는 계측기기의 사양이 각 공구마다 상이하여 터널계측관리를 통한 전체적인 관리를 함에 있어 기준이 정하여 있지 않은 것으로 확인되었다.

또한 Shotcrete응력계의 경우에 있어 NATM의 Shotcrete에 적합한 응력계를 부착하여야 함에 불구하고 Tunnel Lining용 Gage를 부착하여 측정관리를 하고 있으며, 응력계산식에 적용되는 Shotcrete의 탄성계수값을 현장 실험값에 의한 값을 적용하지 않고 Concrete의 탄성계수 공식 및 값을 적용하므로 결과적으로 측정값에 신빙성이 결여되는 등 계측의 목적에 맞지 않은 결과가 나타난 것으로 판단된다.

붙임 : 1) 각 공구 터널의 굴착Type별 설계, 시공수량 1부

2) 굴착 터널해석 입력물성치 결과표 1 부

3) 공구별 계측기기 사용 현황 1 부

4) Shotcrete응력계 설치 현황 및 제품설명서(응력계산식 포함) 1 부

5) 외국의 NATM용 Shotcrete 응력 측정용 Cell 안내서 1 부

각 공구 터널의 굴착Type별 설계, 시공수량

글자Type별 집계표(설계&시공)

구분		설						시공							
		Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-6	계	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-6	계
2공구	상행선	530	210	80	80	70	0	970	507	249	155	35	24	0	970
	하행선	490	170	120	108	82	0	970	425.5	321.5	139	46.5	37.5	0	970
	소계	1,020	380	200	188	152	0	1,940	932.5	570.5	294	81.5	61.5	0	1,940
4공구	상행선	0	0	684	72	24	30	810	0	0	94	337.5	12	15	458.5
	하행선	0	0	674	72	24	30	800	0	0	0	354	12	15	381
	소계	0	0	1,358	144	48	60	1,610	0	0	94	691.5	24	30	839.5
부연터널	상행선	126	146	20	24	24	35	375	132	111	47	51	0	44.78	385.78
	하행선	133	144	20	24	24	40	385	114	120	75	27	9	42.4	387.4
	소계	259	290	40	48	48	75	760	246	231	122	78	9	87.18	773.18
장고개터널	상행선	0	0	138	84	138	50	410	0	0	0	0	0	0	0
	하행선	0	0	124	96	150	40	410	0	0	0	0	0	0	0
	소계	0	0	262	180	288	90	820	0	0	0	0	0	0	0
두정터널	상행선	119	258	50	24	24	45	520	0	294	64	125	16	36	535
	하행선	119	222	146	24	24	40	575	0	304	96	136	18	36	590
	소계	238	480	196	48	48	85	1,095	0	598	160	261	34	72	1,125
수원1터널	상행선	49	62	56	34	24	35	260	49	60	75.9	40.5	15.6	29	270
	하행선	42	64	56	34	24	40	260	72	50	74	30.4	9.6	34	270
	소계	91	126	112	68	48	75	520	121	110	149.9	70.9	25.2	63	540
수원2터널	상행선	0	0	96	60	54	40	250	0	0	148	40	35	25	248
	하행선	0	0	106	60	54	40	260	0	0	130	47	45	36	258
	소계	0	0	202	120	108	80	510	0	0	278	87	80	61	506

구분		설						시						공	
		Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-6	계	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5		Type-6
5 공구	상행선	315	312	60	42	36	40	805	494	165	39	34	33	40	805
	하행선	334	342	40	39	90	40	885	396	309	48	90	15.6	26.4	885
	소계	649	654	100	81	126	80	1,690	890	474	87	124	48.6	66.4	1,690
6 공구	상행선	40	160	350	195	20	20	785	0	238	414.9	92.1	20	20	785
	하행선	40	160	360	205	20	20	805	0	252	390.0	123	20	20	805
	소계	80	320	710	400	40	40	1,590	0	490	804.9	215.1	40	40	1,590
추점 터널	상행선	40	120	170	105	20	20	475	53	151.4	162.6	68	20	20	475
	하행선	40	120	160	105	20	20	465	62	114.0	169.0	80	20	20	465
	소계	80	240	330	210	40	40	940	115	265.4	331.6	148	40	40	940
합 계		2,417	2,490	3,510	1,487	946	625	11,475	2,304.5	2,738.9	2,321.4	1,757	362.3	459.58	9,943.68

굴착 터널해석 입력물성치 결과표

터널해석 입력물성치

구분	2공구	4공구		5공구				6공구	
	중원터널	가금터널	부연터널	장고개터널	두정터널	수현터널	애현터널	조곡터널	추정터널
터널 길이(하)	1030m	850m	445m	475m	635m	360m	970m	870m	536m
암반분류	RMR분류	II ~ IV	II ~ IV	III ~ IV	II ~ IV	I ~ II	II ~ V	I ~ IV	I ~ IV
	Q-System	IV ~ IX	II ~ IV	IV ~ V	I ~ IV	II	II ~ VI		
탄성계수 (t/m ²)	토사	611	2,000				3,000		
	풍화암	15,000	122,000				30,000		
	연암	560,000	35,000	148,000				60,000 ~ 80,000	
점착력 (t/m ²)	보통암, 경암	3,640,000	120,000 ~ 2,117,000	165,000 ~ 220,000				350,000 ~ 3,200,000	
	토사	0.5	0	0.3				1.5	
	풍화암	20	2	9				30	
내부마찰각 (°)	연암	100	13.3	18				80	
	보통암, 경암	170	22.4 ~ 33.7	25 ~ 34				100	
	토사	20	20	25				30	
포아송비	풍화암	35	20	33				33	
	연암	35	18	37				35	
	보통암, 경암	45	27 ~ 38	42 ~ 45				40	
측압계수	토사	0.33	0.4	0.3				0.35	
	풍화암	0.25	0.4	0.3				0.3	
	연암	0.2	0.21	0.25				0.25	
연, 보통, 경암	보통암, 경암	0.2	0.17 ~ 0.36	0.23 ~ 0.24				0.22	
	토사		0.7	0.5				0.5	
	풍화암		0.7	0.5				0.5	
암반물성치		1.0	0.5 ~ 1.5	1.0				1.0 ~ 1.5	

공구별 계측기기 사용 현황

공구별 계측기기 사용 현황

공구	2 공구		4 공구		5 공구			6 공구
	한양건설	Model No.	현대건설	Model No.	S.K건설	Model No.	국동건설	현대건설
시공자 (주)간사)								
계측시행자	(주)유경기술단		(주)지오넷		(주)신풍		한맥지반기술	(주)지오넷
구 분	제조사	Model No.	제조사	Model No.	제조사	Model No.	제조사	Model No.
내공변위계	GEOKON		SOIL INSTRUMENT	3E	LEICA	TCA 1800	SOKKIA	C-32
천단침하계	TOPCON	AT-G4	SOKKISHA	C3I	LEICA	TCA 1800	SOKKIA	C-32
숫크리트 응력계	홍인E.I	VCE-4200	(주)지오넷	JCS	(주)신풍	VS-16	GTC Eng.	SG-4200
지중변위계	MITUTOYO	CD-15CP	(주)지오넷	JRE400	(주)신풍	EE-5	GTC Eng.	VBE-496M
Rock Bolt축력계	MITUTOYO	CD-15CP	(주)지오넷	JRB400	(주)신풍	VR-16	GTC Eng.	VBE-496M
R/B 인발시험기	ENERPAC INC		ENERPAC INC	P-39	ENERPAC INC	RCH302	현대정밀 산업	ENERPAC INC
								P-39

Shotcrete응력계 설치 현황 및 제품설명서

Shotcrete 응력계 설치 현황

구 분		2공구	4, 6공구	5공구(S.K)	5공구(극동)	
계측시행자		유경기술단	지오넷	(주)신풍	한맥기술단	
제품명		변형율계	숏크리트응력계	숏크리트응력계	변형율계	
제작회사		홍인E.I	진산지오시스템	(주)신풍	GTC Eng	
Sensor Type		V/W Type	V/W Type	V/W Type	V/W Type	
Model No.		VCE-4200	J.S.C	VS-16	SG-4200	
사 양	Range		3000 $\mu\epsilon$	3600 $\mu\epsilon$	2500 $\mu\epsilon$	3000 $\mu\epsilon$
	Accuracy			$\pm 0.3\%$ FS	$\pm 0.25\%$ FS	$\pm 0.1\%$ FS
	Temperature Range		-20℃ ~ 80℃	-20℃ ~ 100℃	-30℃ ~ 70℃	-29℃ ~ 105℃
	Sensitivity		1.0 $\mu\epsilon$	0.5 $\mu\epsilon$	0.5 $\mu\epsilon$	0.3 $\mu\epsilon$
	방수성능				150psi	200mH ₂ O
탄 성 계 수	설계	Soft S/C	$5 \times 10^5 \text{t/m}^2$	$5 \times 10^5 \text{t/m}^2$	$50 \times 10^3 \text{t/m}^2$	$50 \times 10^3 \text{t/m}^2$
		Hard S/C	$1.5 \times 10^6 \text{t/m}^2$	$1.5 \times 10^6 \text{t/m}^2$	$1.0 \times 10^6 \text{t/m}^2$	$1.0 \times 10^6 \text{t/m}^2$
	적 용		$1500\sqrt{\sigma_{ck}}(\text{kg/cm}^2)$	$217,370\text{kg/cm}^2$		$140,000\text{kg/cm}^2$
압축강도(σ_{ck})		200kg/cm^2	200kg/cm^2	210kg/cm^2	210kg/cm^2	
설치상세도		○	○	○	○	
응력계산식						
온도보정		○				
시험성적서			○			

**진동현식 매설형 변형률계 (VW Embedment Strain Gauge)**

진동현식 매설형 변형률계는 강과 콘크리트나 콘크리트 구조물에 매설하여 콘크리트 내부에 작용하는 유효 변형률을 정확하게 계측할 수 있도록 설계되었습니다.

특별 부속품으로 제공되는 Rosette Block을 이용하여 2~4방향으로 변형률계를 거치하여 변형률의 크기, 분포 방향 및 경합등을 쉽게 계측할 수 있습니다. 또 장기 계측이 필요한 담과 같이 대형 토목 공사에 있어서 무응력 상태와 하중 인가 상태를 비교 검증하기 위한 무응력 변형률계용 케이스를 이

용하여 매설후 응력 변화의 경향이나 추세를 확인할 수 있을 뿐만 아니라 터널 라이닝재로 사용하는 쇼크리트 급결 시멘트의 응력을 Tangential 방향이나 Radial 방향 거치용 Bracket를 이용하여 설치하고, 쉽고 정확하게 계측하게 계측할 수 있습니다.

게이지의 물체 내부에는 진동현이 내장되어 있으며, 가로 방향의 변위를 스트레인 게이지가 감지하였을 때 마그네틱 코일에 의해 자화된 진동현이 공진 주파수를 발생시키며 출력장치로 전송되어 공학 단위로 표시하며, 제공되는 전환계수에 의하여 쉽게 응력이나 변형률로 계산해 낼 수 있습니다.

장기간 올바른 계측을 위하여 보호 커버 내부에 설치하여야 하며 Rosette Block을 이용하거나 부드러운 콘크리트 내에 직접 Rosette 형상으로 배치하는 것이 설치에 좋은 예입니다.

게이지의 열팽창 계수를 보정하기 위한 고정확도의 저항 온도센서를 내장하였습니다.

- ◇ 극한 환경에서도 동작 가능한 안정성과 신뢰성
- ◇ 케이블 길이나 저항 변화에 주파수 출력이 영향을 받지 않아 재현성과 응답성이 매우 우수
- ◇ 케이블 접속부의 내충격성 고밀도 에폭시 성형
- ◇ 200 m H₂O 방수 구조
- ◇ 고정확도의 저항 온도센서 내장
- ◇ 100% 부재 변형률 홀수를 위한 구조 설계
- ◇ 영구 방식 방청 재료 채택





1) 진동현식 표면부착용 변형률계 (VW Surface-Mount Strain Gauge) 사양

모델	SG 4200
적용 센서	진동현식 센서(VW Type)
측정범위	3,000 microstrain
분해능	0.3 microstrain
정확도	0.1% FSR
열팽창 계수	10.8ppm/℃
동작온도	-29 ~ 105 ℃
내장 온도센서	NTC Thermistor (3KD-ATF)
온도센서 동작범위	Thermistor : -20 ~ 80℃
온도센서 정확도	Thermistor : ±1℃
주요 재질	스테인레스 강재 300 계열, 플로우트 계열 O-RING, 고밀도 에폭시 Potting
방수 능력	200 m H ₂ O
제품 중량	0.18 kg
신호 케이블	∅5.4 mm, 0.235mm×4C 차폐 PVC 시스 케이블 2m

※이 계측기는 주파수 신호를 출력하는 진동현식 센서로서 진동식 센서 출력 장치류(Readout, Datalogger, 자동화 계측을 위한 Multiplex Module)에 접속하여 사용할 수 있으며, 어느 회사 제품이든 호환이 될 수 있습니다.(온도센서 제외)

2) 주문시 확인 사항

- ① 설치장소 및 용도
- ② 보유 출력장치
- ③ 신호 케이블 전장 (표준은 2 m)
- ④ 별도 판매 특별 부속품 구매 여부(Rosette Block)
- ⑤ 자동계측시스템은 센서의 종류, 수량, 설치장소, 운영방법, 운영체계를 고려하여 상담 후 공급 할 수 있습니다.



※ SHOTCRETE 용벽 측정기 설치시 유의사항

① Hilt Drill을 이용하여 3/4inch Hole을 약 70mm를 천공한다.

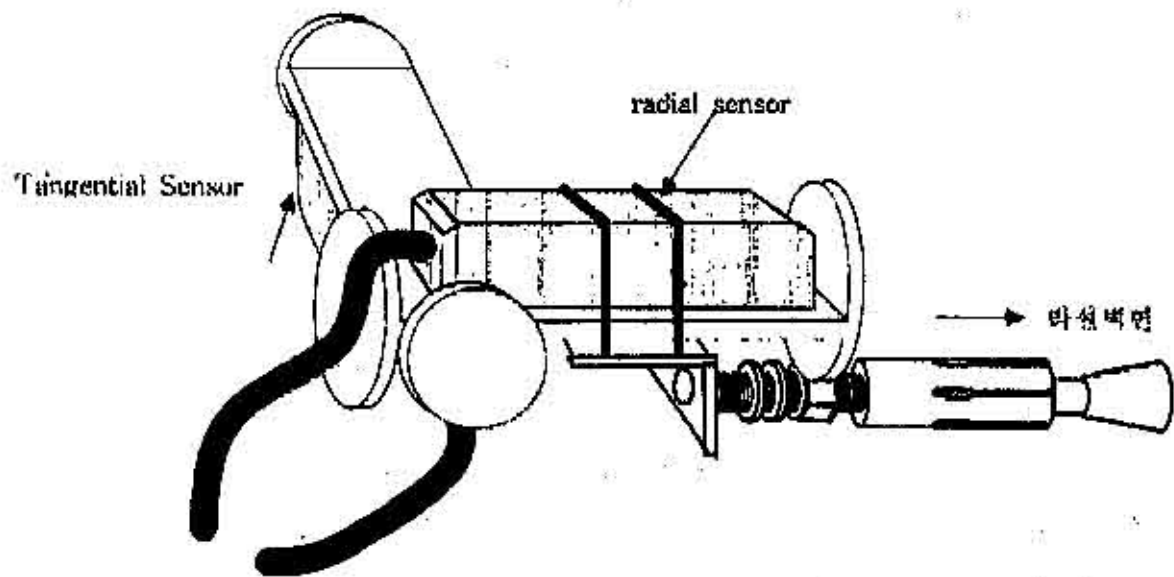
② Anchor 의 nut부분은 밀어넣고 볼트완 고정될때까지 돌려 고착시킨다.

이때 strain gauge 방향이 radial 및 Tangential 방향에 잘 맞도록 맞추어야한다. (Cable에 미리 방향을 표시해 주어야 한다)

③ Sensor 부분을 시멘트 모르타르를 이용하여 보호한다. 이때 Cable은 보호관을 이용하여 보호한다. (Shotcrete 타설시 파손이 되지 않게 하기 위함이다)

* Anchor 가 Sensor에 부착되어서 납땜되는때 설치시 불편하면 분리해서 Anchoring후 연결 나사볼트 이용하여 고정한다.

* 타설벽면에서 전후방향이 radial sensor이고 상하 방향이 Tangential Sensor임.



SHOTCRETE 응력계 계산식(4100장착)

측정값 산정식

1) Radial

$$\text{변형율 (Strain : } \epsilon_r) = F \times (R_{\alpha} - R_{1r})$$

$$\text{응력 (Stress: } \sigma_r) = E \times (\epsilon_r - K(T_{\alpha} - T_{1r}))$$

2) Tangential

$$\text{변형율 (Strain : } \epsilon_t) = F \times (R_{\alpha} - R_{1t})$$

$$\text{응력 (Stress: } \sigma_t) = E \times (\epsilon_t - K(T_{\alpha} - T_{1t}))$$

$$\text{※ 계기상수(F) = 0.73124}$$

$$\text{온도상수(K) = 0.6581}$$

Orientation

$$\text{Radial} = \text{초기값 (R}_{0r}\text{)}$$

$$\text{Tangential} = \text{초기값 (T}_{0t}\text{)}$$

$$\text{초기온도() } = 15.3^{\circ} \text{ C}$$

$$\text{초기온도() } = 15.3^{\circ} \text{ C}$$

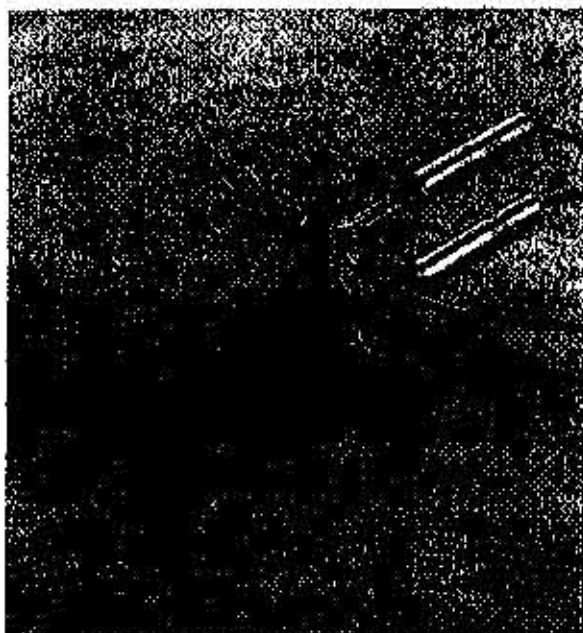
$$\text{탄성 계수(E) = 140,000 Kg/cm}^2$$

탄성계수는 현장에서 채취한 CORE에서 측정하는 것이 가장 바람직하고 COPE 채취가 어려우면, 파설시 공시체에서 측정하는 것이 바람직함.-----

외국의 NATM용 Shotcrete Stress Cell 안내서

Model 4850 NATM Style Shotcrete Stress Cells

- Vibrating wire sensor for quick and easy readout.
- Excellent long-term stability.
- Rugged, waterproof all stainless steel construction for high reliability.
- Mercury filled for high rigidity, (modulus > 50,000 Mpa) and accurate response.
- Thermistor included for temperature measurements.
- Readily adaptable to dataloggers.



Geokon NATM style concrete stress cells are designed for the measurement of radial and tangential stresses in shotcrete tunnel linings. They are often used in conjunction with the Model 160Q Tape Extensometer and the Model A3 or A6 Borehole Extensometers to measure the performance of the lining and to determine whether the lining is thick enough. This procedure is an integral part of what is sometimes called the New Austrian Tunneling Method (NATM).

The cells consist of two rectangular steel plates welded together around the periphery. The intervening space between the plates is filled with mercury using a special process which guarantees that all the air is excluded. The rigidity of the cell exceeds 50,000 Mpa and ensures that it will respond immediately and accurately to the onset of increasing concrete stresses.

A thermistor inside the transducer housing allows the temperature to be read at the cell.

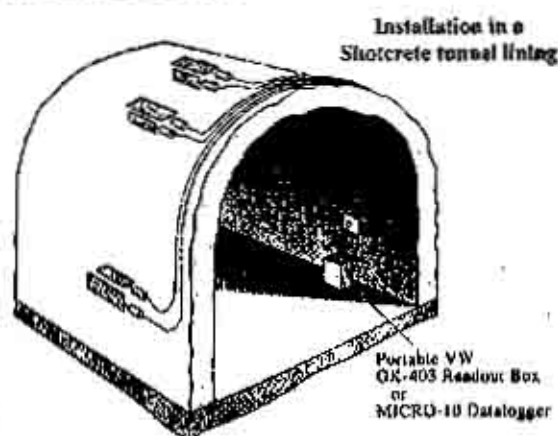
Stress cells installed in concrete or shotcrete will expand if the temperature rises as the concrete cures. On cooling, the cell will contract and leave a

gap between it and the surrounding concrete, preventing the concrete stresses from reaching the cell. To overcome this, a special set of pliers is used to pinch a mercury-filled repressurizing tube connected to the cell. Mercury is forced out of the tube and into the cell which expands until the gap is eliminated.

Increasing concrete stresses cause a corresponding rise in the mercury pressure as the steel plates are squeezed together. The mercury in the cell is connected via a short tube to a vibrating wire pressure transducer. Here the mercury pressure is converted to an electrical signal which is transmitted as a frequency over a four-conductor electrical cable to the readout location which may be over a thousand meters from the cell. The advantage of the vibrating wire pressure transducer over more conventional electrical resistance (or semiconductor) types lies mainly in the use of a frequency, rather than a voltage, as the output signal from the strain gage. Frequencies may be transmitted over long cable lengths without appreciable degradation caused by variations in cable resistance or leakage to ground.

geokon
INCORPORATED

INSTALLATION



Stress cells are usually installed in pairs as shown above. Attachment of the cells to the tunnel walls prior to shotcreting is facilitated by the provision of lugs welded to the corners of the cell. Cells to measure radial pressures have mortar pads between the cells and the tunnel wall. Cells to measure tangential stresses are either attached to short pieces of rebar protruding from the wall, or to the rebar cage (if one is used). Pinch tubes are bent so that they will protrude from the finished lining, and be accessible for pinching. Cables are routed to the readout location which may include a terminal box or switch box embedded in the lining.

STRESS CELL SPECIFICATIONS

Model no.	4850-1	4850-2
Application	tangential pressure	radial pressure
Cell dimensions*mm.	100x200x6	150x250x6
Standard pressure ranges MPa	7 and 20	3.5 and 5
Pinch tube length mm.†	600	600
Accuracy %F.S.	±0.5	±0.2
Linearity %F.S.	±1.0	±0.5
Overrange capacity %F.S.	200	200
Resolution %F.S.	±0.025	±0.025
Excitation sq.wave volts	5	5
Output Hz.	2000-3000	2000-3000
Weight Kg.	1.0	2.0
Connecting cable	4x22AWG shielded PVC jacket, 6.5mm. dia.	

*Other sizes and pressure ranges available on request.
†Other lengths available on request.

Ordering Information:

Specify:

1. Model number.
2. Cell dimensions.
3. Pressure range.
4. Pinch tube length.
5. Cable length.
6. Any accessory required.

Optional Accessories:

Readout box	Model GK-403
Pinching pliers	Model 4850-10
Terminal box	Model 4999-16 (16 channel)
Dataloggers	Model MICRO-10

geokon
Incorporated

For further information contact us . . .

48 SPENCER STREET
LEBANON, NH 03766 USA
TEL: 603/448-1562
FAX: 603/448-3216

SM 4/96-3