

Tunnelling Technology

지하철9호선 터널 유지관리계측 분석기법

Classification skill for monitoring of maintenance work at the 9th Seoul subway line



우중태
경북대학교
건설환경디자인과
교수

1. 서론

서울지하철9호선1단계 유지관리계측 자동화시스템 구축용역은 2008년 11월 서울특별시 도시기반시설본부에서 산학연 컨소시엄으로 협상에 의한 계약체결 입찰방식으로 발주함에 따라 산학연 컨소시엄으로 참여해서 기술제안서와 업체평가서를 작성하여 평가를 거쳐 협상대상업체로 선정된바 있다.

2008년 12월말에 계약이 체결되어 2009년 부터 2014년까지 5년간 계측결과 분석 연구가 수행되고 있어 본 학회지에 기술기사로 게재하여 서울지하철9호선1단계구간 터널 유지관리계측의 분석기술 연구에 대한 일부 내용을 발표하여 계측분석 기술 수준 향상에 기여 하고자 한다.

2. 산학연 컨소시엄 업무수행 내용

지하철9호선1단계구간 7개소의 단면 역해석 수행을 실

시하였고, 총 49개 단면에 대하여 590개 계측센서 분석을 하였으며, 5년간(60개월) 유지관리계측 분석 수행 및 보고서 작성을 수행할 예정이다.

2.1 역해석 수행

역해석 수행은 총 6개의 공구에 대하여 시행을 하였으며, 대상구조물은 복선터널, 개착박스, 단선숄드터널로 구체적인 역해석 수행 위치는 표 1과 같다.

표 1. 역해석 수행 위치

공구	STA.	대상 구조물	수량
902공구	4K470	복선터널	1 단면
904공구	7K800	개착박스	1 단면
906공구	10K630	복선터널	1 단면
907공구	13K420	개착박스	1 단면
909공구	15K345 및 16K160	단선 숄드터널	2 단면
912공구	23K328	복선터널	1 단면

2.2 계측분석 실시

굴착터널 구조물의 계측단면 수량은 단선 3개소, 복선 23개소, 정거장 3개소, 단선샐드 10개소로 총 39개소이며, 개착터널 박스구조물은 본선 6개소, 정거장 4개소로 총 10개소로 계측단면수량은 총계 49개소이다.

매립식 계측센서 수량은 토압계 18개소, 간극수압계 63개소, 콘크리트응력계 74개소, 철근응력계 141개소, 라이닝응력계 234개소, 세그먼트응력계 57개소, 기타(반사경) 3개소로 총계 590개소의 계측센서로 구성되어 있다.

유지관리계측 수행은 총 5개년도로 구성되며, 구체적인 사항은 표 2와 같다.

표 2. 유지관리계측 수행 구분

과업연차	과업내용
1차년도 (12개월)	• 년 4회 계측 분석 및 보고서 작성
2차년도 (12개월)	• 년 2회 계측 분석 및 보고서 작성
3차년도 (12개월)	• 년 2회 계측 분석 및 보고서 작성
4차년도 (12개월)	• 년 1회 계측 분석 및 보고서 작성
5차년도 (12개월)	• 년 1회 계측 분석 및 최종 보고서 작성

표 3. 지하철9호선1단계구간 유지관리계측 센서 현황

구분	계측항목							
	토압계	간극수압계	콘크리트응력계	철근응력계	라이닝응력계	세그먼트응력계	기타(반사경)	계
계	18	63	74	141	234	57	3	590
비율(%)	3.0	10.7	12.5	23.9	39.7	9.7	0.5	100

표 4. 지하철6,7호선 유지관리계측 센서 현황

구분	계측항목									계측단면
	토압계	간극수압계	콘크리트응력계	철근응력계	지중변위계	하중계	전단면내공변위계	기타	계	
6호선	33	9	264	184	20	12	5	23	550	53
7호선	16	22	47	31	0	0	4	0	120	19
계	49	31	311	215	20	12	9	23	670	72
비율(%)	7.3	4.6	46.4	32.1	3.0	1.8	1.4	3.4	100	

3. 계측분석기법 적용방안

3.1 유지관리계측 항목 비교 분석

지하철9호선1단계구간의 계측센서 및 항목을 검토하고, 기존의 유지관리 센서 및 항목과 비교(서울지하철 6,7호선 등)를 통하여, 기존 분석기법 외 신규 및 추가 계측 항목에 대한 분석기법을 개발한다.

1) 지하철9호선1단계구간 유지관리계측 센서 현황

주요 유지관리계측 항목은 콘크리트라이닝의 응력 및 철근응력계이며, 응력계 수량은 506개(74+141+234+57개)이며, 총 센서 대비 85.8%를 차지하고 있다. 총 628개 중 38개 망실 수량을 제외하고 정상작동 센서는 590개로 조사되었다.

2) 지하철 6,7호선 유지관리계측 센서 현황

서울특별시 지하철건설본부와 도시철도공사에서 1998년~2007년까지 수행한 서울지하철 6,7호선 유지관리계측 센서는 총 72단면에 총 670개이며, 주요 유지관리계측 항목은 콘크리트라이닝의 응력 및 철근응력계이며, 계측

지하철9호선 터널 유지관리계측 분석기법

기 수량은 526개(311+215개)로 지하철9호선1단계와 유사하며, 차지하는 비율은 78.5%이다.

검토결과 지하철9호선1단계구간과 상이한 계측 항목은 6,7호선에서는 부착식 전단면 내공변위계가 9단면이 있으나, 본 과업에는 부착식 전단면 내공변위계는 없고, 매립 계측센서가 주된 항목이다.

따라서 기존의 지하철6,7호선의 계측 분석기법 외에 본 과업의 신규계측 항목인 쉴드터널 세그먼트 응력계와 개착박스구조물의 응력계 등에 대한 계측분석기법 개발이 요구된다.

3.2 유지관리계측 분석기법 개발

1) 기존 분석기법 조사

기존의 분석기법에는 Eisentein & Nahhas(1992)에 의한 콘크리트 라이닝과 프리캐스트 세그먼트 라이닝의 작용 응력 분석법이 있으며, Loger & Roussel(1995)의 콘크리트 라이닝의 구속력과 변형률 경향 분석법이 있다. 그리고 Heldman & Buechel(1999)에 의한 콘크리트 라이닝의 변위와 균열 경향 평가기법이 사용되고 있다.

2) 지하철9호선1단계구간 적용 분석기법 개발

지하철9호선1단계구간에 적용할 분석기법의 개발항목은 다음과 같다.

터널별 유지관리계측 경시도 비교 분석, 콘크리트 라이닝의 응력 분석 및 회귀분석 비교, 콘크리트 라이닝 철근

응력 분석 및 회귀분석 비교, 콘크리트 라이닝 응력과 철근 응력 회귀분석 조합 평가, 세그먼트 라이닝 응력과 철근 응력 분석 및 회귀분석 비교, 간극수압 비교 분석 및 회귀분석 비교, 토압 비교 분석 및 회귀분석 비교, 개착터널 박스구조물의 안전성 해석 비교, 계측 항목별 계측관리기준 설정과 비교 분석 항목으로 구성된다.

3.3 계측분석기법 적용 방안

1) 터널별 유지관리계측 경시도 비교분석

경시도 비교분석은 콘크리트라이닝 응력의 시간경과에 따른 경시변화 분석을 통한 안정성 평가를 실시하고, 콘크리트라이닝 철근응력의 시간경과에 따른 경시변화 분석을 통한 안정성 평가를 통하여 수행된다(그림 1).

2) 콘크리트라이닝 응력분석 및 회귀분석

전단외면의 작용 압축응력과 콘크리트 허용압축응력을 비교하여 안정성 분석을 실시하고, 전단내면의 인장응력과 콘크리트 휨인장강도와 비교하여 라이닝 안정성 분석을 실시한다(그림 2).

3) 콘크리트라이닝 철근응력분석 및 회귀분석

전단외면의 작용 압축응력과 철근의 허용압축응력을 비교하여 안정성 분석을 실시하고, 전단내면의 인장응력과 철근 허용응력과 비교하여 철근 및 라이닝의 안정성 분석을 수행한다(그림 3).

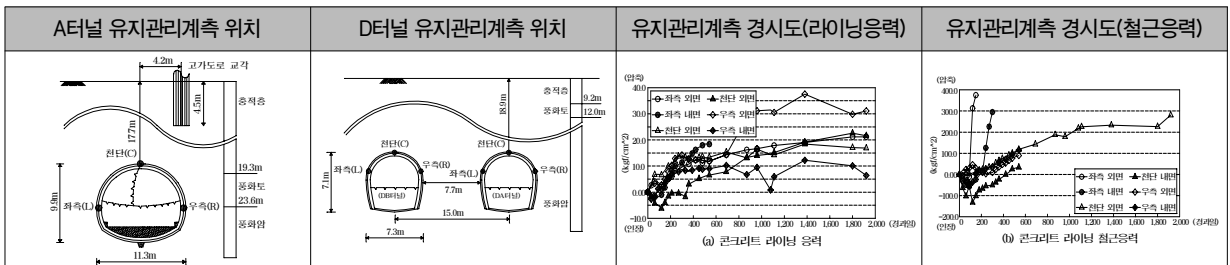


그림 1. 터널별 유지관리계측 경시도 비교분석

지하철9호선 터널 유지관리계측 분석기법

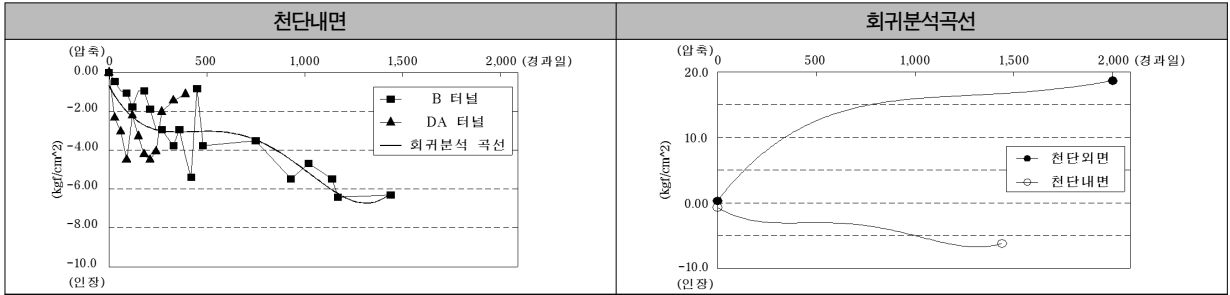


그림 2. 콘크리트라이닝 응력분석 및 회귀분석

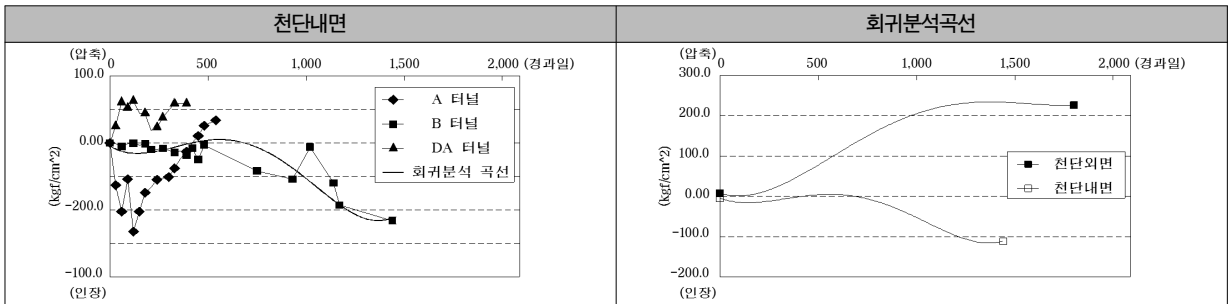


그림 3. 콘크리트라이닝 철근응력분석 및 회귀분석

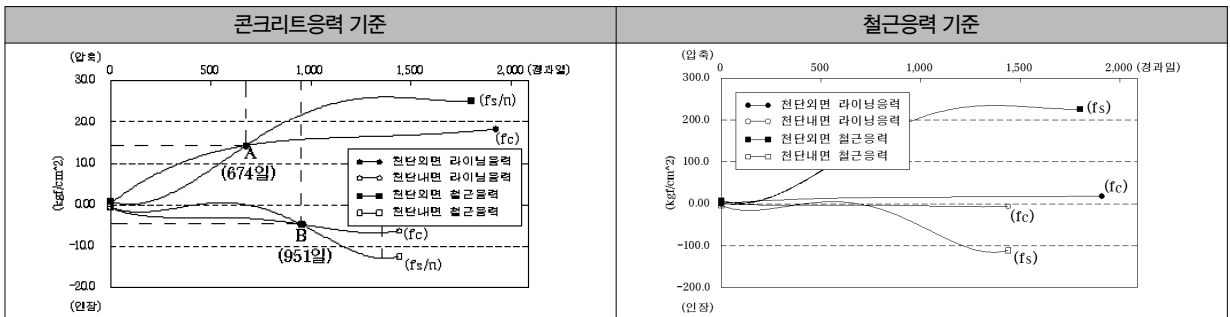


그림 4. 콘크리트라이닝 응력과 철근응력 회귀분석 조합 평가

- 4) 콘크리트라이닝 응력과 철근응력 회귀분석 조합 평가
내면과 외면의 압축응력과 인장응력을 허용응력과 비교 검토하고, 압축응력과 인장응력의 교차 시점 및 응력 비율 등을 검토한다(그림 4).
- 5) 실드터널 세그먼트라이닝 응력과 철근응력 분석 및 회귀분석
실드터널의 세그먼트라이닝 응력과 철근응력에 대하여

압축응력과 인장응력을 허용응력과 비교하여 라이닝 안전성 검토를 실시하고, 압축응력과 인장응력의 교차시점 및 응력비율 등을 검토한다(그림 5).

- 6) 간극수압 비교 분석 및 회귀 분석
간극수압, 한강수위, 터널 내 양수량의 다각적 비교 검토로 구조물의 안정성을 분석하고, 터널의 배수 및 방수 형태에 따른 간극수압변화를 검토한다(그림 6).

지하철9호선 터널 유지관리체계 분석기법

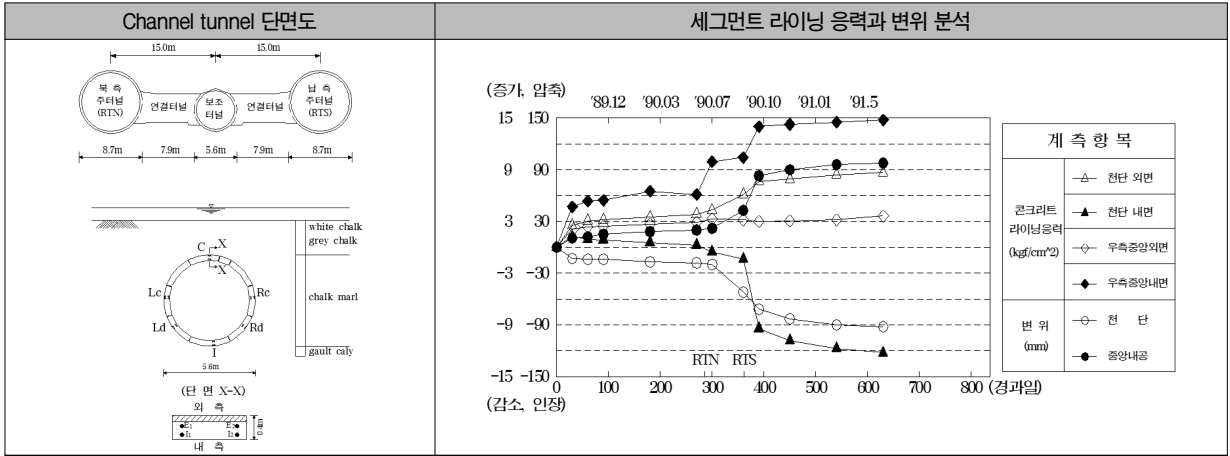


그림 5. 세그먼트라이닝 응력과 철근응력 분석 및 회귀분석

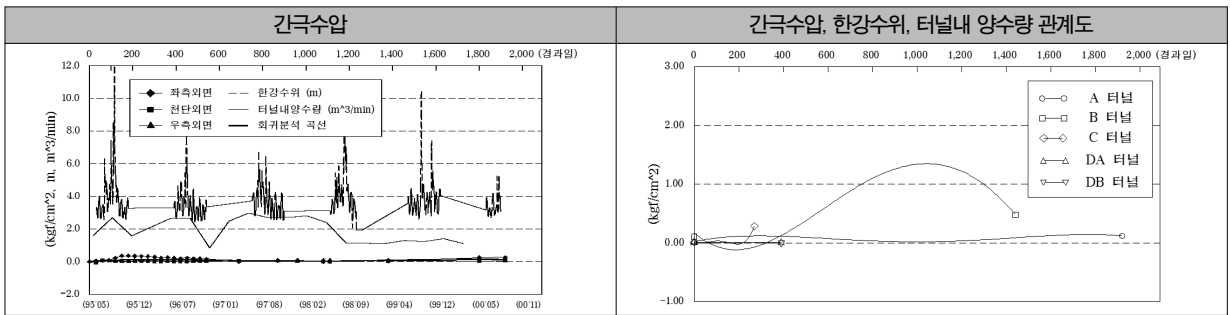


그림 6. 간극수압 비교 분석 및 회귀분석

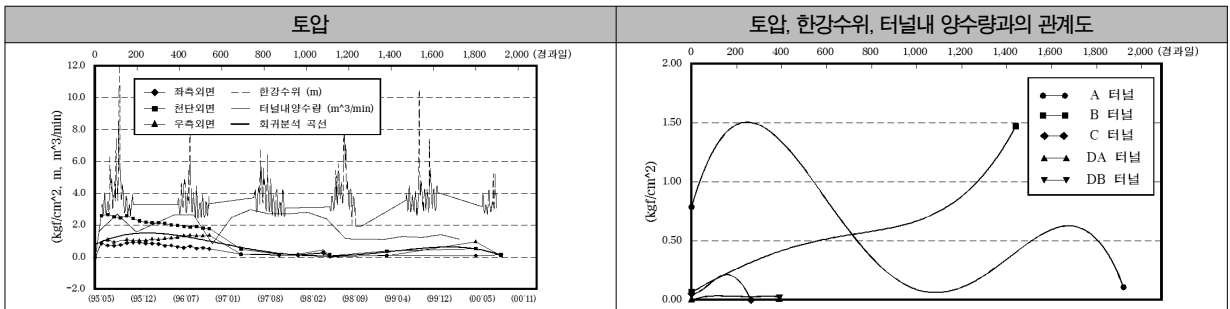


그림 7. 토압 비교 분석 및 회귀 분석

7) 토압 비교 분석 및 회귀 분석

토압, 한강수위, 터널 내 양수량의 다각적 비교 검토로 구조물의 안정성 분석을 실시하고, 천단토압 및 측벽토압

비교, 집중하중 영향검토, 한강수위 등 외부영향 검토를 실시한다(그림 7).

참고문헌

1. 김병홍, “터널 자동화계측시스템에 의한 메트로 NATM 터널의 장기거동분석”, 한양대학교 대학원 박사학위논문, 2007.08
2. (사)한국구조물진단유지관리공학회, (주)바이텍코리아, “지하철9호선1단계구간 유지관리계측 자동화시스템 구축용역 업체 평가서”, 서울특별시 도시기반시설본부, 2008.12.
3. (사)한국구조물진단유지관리공학회, (주)바이텍코리아, “지하철9호선1단계구간 유지관리계측 자동화시스템 구축용역 기술 제안서”, 서울특별시 도시기반시설본부, 2008.12.
4. 서울특별시 도시기반시설본부, “지하철9호선1단계구간 유지관리계측 자동화시스템 구축용역 입찰안내서”, 2008.10.
5. 우종태, 이래철, “도시철도 토목구조물 변위계측 종합조사보고서”, 서울특별시 도시철도공사, 2003. 3.