한국터널지하공간학회논문집 2012년 3월
제14권 제2호, pp. 117-129

터널 유지관리계측의 측정 및 분석주기 설정 연구

우종태[1]*, 이강일[2]

A study on establishment of measurement and analysis frequency of maintenance monitoring in tunnel

Jong-Tae Woo, Kang-Il Lee

ABSTRACT In this study, research was performed to establish the measurement and frequency of analysis for maintenance monitoring by investigation of tunnel maintenance monitoring system in the tunnel which was installed in the Seoul metro line 5, 7 and 8, using that the domestic and foreign application case, results of analyzed maintenance monitoring in the domestic tunnel and legal safety management standard of the facility. The results of the monitoring management about analysis frequency to the present are considered that the problem about measuring frequency does not occur. According to the analysis results of the maintenance monitoring which are located on the 5, 6th subway line, they are analyzed that the stress of concrete lining and reinforced bar are converged gradually after 45 months. Therefore Monitoring of measurement and analysis frequency is conduct more often within about 4 years after the measuring instrument installation. Four years later, slowing the frequency of measurement is considered reasonable.

Keywords: Maintenance monitoring, monitoring measurement, analysis frequency, Channel Tunnel, Seikan Tunnel

요 약 본 논문에서는 1995년 서울지하철 5, 7, 8호선 터널구조물에 국내 최초로 설치되어 운영 중에 있는 터널 유지관리계측시스템에 대한 측정 및 분석주기를 국내 및 국외 적용사례와 국내 터널의 유지관리계측 분석결과 및 시설물안전관리 관계법령기준을 검토하여 향후에 적용할 터널 유지관리계측의 측정 및 분석주기를 설정하고자 연구를 수행하였다. 현재까지의 계측주기로 계측관리를 한 결과 계측주기에 따른 문제는 없는 것으로 판단되었다. 국내 지하철 5, 6호선 4개 터널의 유지관리계측 분석결과 콘크리트 라이닝 응력과 철근응력이 약 45개월 경과시점에서 서서히 수렴하는 것으로 분석되어 계측기 설치 후 약 4년 까지는 계측 측정 및 분석주기를 빈번하게 하고, 4년 이후에는 빈도를 늦추는 것이 타당할 것으로 판단된다.

주요어: 유지관리계측, 계측측정, 분석주기, Channel Tunnel, Seikan Tunnel

접수일(2012.2.6), 수정일(2012.2.22), 게재확정일(2012.3.7)

[1]정회원, 경복대학교 건설환경디자인과 교수
[2]비회원, 대진대학교 건설시스템공학과 교수

***교신저자: 우종태 (E-mail: jtwoo@kbu.ac.kr)**

www.kci.go.kr

1. 서 론

최근 들어 사회기반시설 확충에 따라 지하철, 도로, 일반 및 고속철도, 전력구, 통신구, 공동구 등 터널구조물들의 건설이 급격히 증가되고 있으며, 체계적인 터널의 유지관리 및 보수보강에 대한 연구와 실무적용이 점차 확산되고 있다. 특히, 토목구조물과 관련된 사고와 안전에 관한 문제는 사회문제로 대두되어 터널구조물의 체계적이며, IT기반의 과학적인 유지관리에 대한 필요성이 더욱 부각되고 있는 실정에 있다. 터널구조물의 유지관리는 일반적으로 안전점검 및 안전진단을 통해 이루어져 왔으나, 최근 들어 안전점검 및 안전진단 이외에도 실시간 계측을 통해 구조물의 장기적인 거동을 파악하고 이를 유지관리하기 위한 자료로 사용하는 유지관리계측이 일반화되고 있으며(이대혁 등, 2000), 특히 IT산업의 급속한 발전에 따라 터널구간에서도 유지관리계측을 이용한 구조물의 관리가 중요한 부분을 차지할 것으로 전망된다.

본 논문에서는 1995년 서울지하철 5, 7, 8호선 터널구조물에 국내 최초로 설치되어 운영 중에 있는 터널 유지관리 계측시스템에 대한 측정 및 분석주기를 국내 및 국외 적용사례와 국내터널의 유지관리계측 분석결과 및 시설물안전관리 관계법령기준을 검토하여 향후에 적용할 터널 유지관리계측의 측정 및 분석주기를 설정하고자 연구를 수행하여 터널 유지관리계측 기술발전에 기여하고자 한다.

2. 터널 유지관리계측의 필요성 및 계측항목 선정

2.1 유지관리계측의 목적 및 필요성

터널에서의 유지관리계측은 터널구조물 완공 후 공용기간 중에 굴착면 주변지반의 변화와 영향으로 인하여 발생되는 배면지반, 토압 및 수압의 변화와 콘크리트 구조물의 변화 양상, 환경조건 등을 측정하여 터널구조물의 안전성을 확인하는데 있다(우종태 등, 2002). 또한, 예방적인 유지관리를 실현하기 위한 기본전제 조건으로서 구조물의 안정성 및 건전성을 분석 평가하고 구조성능을 제어하며, 공용상태의 실 거동 분석을 통한 구조성능의 개선을 목적으로 수행하는 정기적 또는 상시적 조사행위를 의미한다.

터널구조물은 대개 환경변화가 적은 지하에 건설되어 구조적으로 타 구조물에 비해 비교적 안전한 것으로 알려져 있어 그 동안 다른 토목구조물에 비해 유지관리에 대한 인식이 부족하였다. 그러나 터널 건설구간 중 지반 취약지점, 하천 횡단지점, 기존 지하철, 도시철도, 국철 등의 터널 통과지점, 고가도로 및 교량 교각 직하부 통과지점, 도시개발 및 재개발 등으로 근접시공이 예상

www.kci.go.kr

되는 지역 등과 같은 취약구간은 과대한 지하수위 및 외부하중의 변화, 근접굴착에 따른 배면지반의 이완 등으로 터널구조물에 변위발생과 응력 변동 등의 장기적 구조물 거동 발생 가능성이 예상되어 터널구조물에 대한 유지관리계측의 중요성이 대두되고 있으나(우종태 등, 2003), 현재까지는 단기간의 축적기술과 내구성 등의 계측기기적인 문제 및 분석기술의 미비 (백기현 등, 2002) 등으로 구조물 이상거동의 조기파악을 위해 많은 연구와 함께 실무 적용이 필요한 분야이다.

2.2 터널의 유지관리 계측항목 선정

터널 유지관리계측의 항목 선정에 있어서는 시공시의 현장여건이 매우 중요하므로 시공중 터널의 함몰이나 붕괴가 발생한 지역, 1차 지보재의 품질관리가 불량하여 지보재의 재시공이 이루어진 구간, 과다변위 및 응력 발생으로 인해 지보재를 추가로 설치한 구간, 성토 절토 등 외력조건이 크게 변화하는 구간, 인접구조물과 근접 시공구간, 장기변형이 예측되는 지반 등에 주로 유지관리 계측기기가 설치된다.

계측항목 선정시 터널의 용도 및 크기, 방수와 배수 형식, 터널 지보재의 재료적 특성, 지질상태 및 지하수 조건(우종태, 2009), 하중재하 조건 및 응력 상태, 주변 환경 및 유지관리여건(우종태, 2005) 등을 종합적으로 고려하여 결정하고, 공사 중 계측기기를 유지관리 계측기기로 전환하여 지속적으로 장기계측이 수행되도록 하는 것이 가장 바람직하나, 장기계측에 따른 계측기기의 내구년한이 문제점으로 부각되고 있다.

3. 국내 터널 유지관리계측의 측정 및 분석주기

3.1 서울지하철 5, 7, 8, 9호선 적용 분석주기

서울지하철 5, 7, 8, 9호선 터널 유지관리계측 수행 중에 계측 측정 및 분석주기는 국외의 사례를 참조하여 표 1과 같이 설정하였다(서울특별시지하철건설본부, 1997; 한국터널공학회, 1999).

표 1. 서울지하철 5, 7, 8, 9호선 유지관리계측 측정 및 분석주기

구 분	정기계측	특별계측
설치 후	- 설치 즉시 초기치 측정	- 지진, 홍수, 화재, 사고 등이 발생하거나, 터널구조물에 인접하여 공사 시행 시 별도 계측 측정 및 분석 빈도를 조정 시행
준공 시	- 종합 조사	
최초 1년	- 년4회 계절별	
2~3년	- 년2회	
4~5년	- 년1회	
5년 째	- 종합조사	
6년 경과	- 매 2년마다 1회	
10년 경과	- 매 5년마다 1회	

www.kci.go.kr

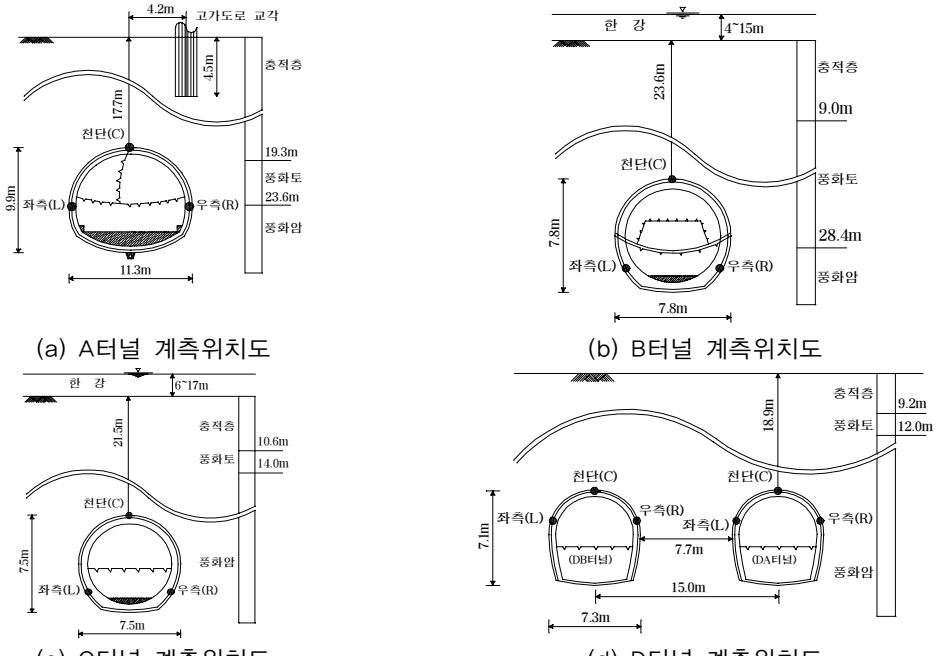
3.2 서울지하철 5,6호선 유지관리계측 분석결과

3.2.1 유지관리계측 분석 대상 터널 현황

서울지하철 5호선 한강하저터널 여의도와 마포구간 등을 포함한 유지관리계측의 현황 및 결과 분석은 지반조건 및 터널심도가 유사한 4개의 터널인 A터널~D터널을 대상으로 선정하였으며, 터널별 현황비교는 표 2와 같고, 터널별 계측위치도는 그림 1과 같다.

표 2. 터널별 현황 비교

구 분	A 터널	B 터널	C 터널	D 터널
터널단면	복선터널	단선터널	단선터널	단선터널
터널형태	마제형	원형성 마제형	원형성 마제형	마제형
크기(폭×높이, m)	11.3×9.9	7.8×7.8	7.5×7.5	7.3×7.1
상부 반단면의 지반	풍화토	풍화토	풍화암	풍화암
콘크리트 라이닝 두께 (mm)	400	500	500	500
토피고 (m)	17.7	23.6	21.5	18.9
계측기간	’95.3～’02.9	’95.3～’02.9	’95.10～’96.7	’99.7～’00.8
위치	5호선 영등포 교차로구간	5호선 한강하저터널 여의도구간	5호선 한강하저터널 마포구간	6호선 용산선 횡단구간



(a) A터널 계측위치도 (b) B터널 계측위치도

(c) C터널 계측위치도 (d) D터널 계측위치도

그림 1. 터널별 계측위치도

www.kci.go.kr

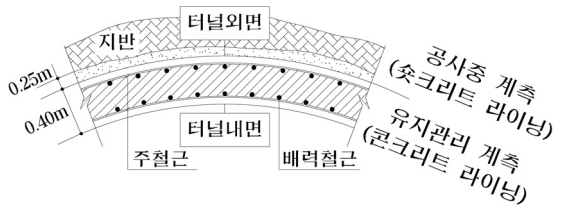


그림 2. 공사계측과 유지관리계측 영역구분도(우종태, 2002, 2003)

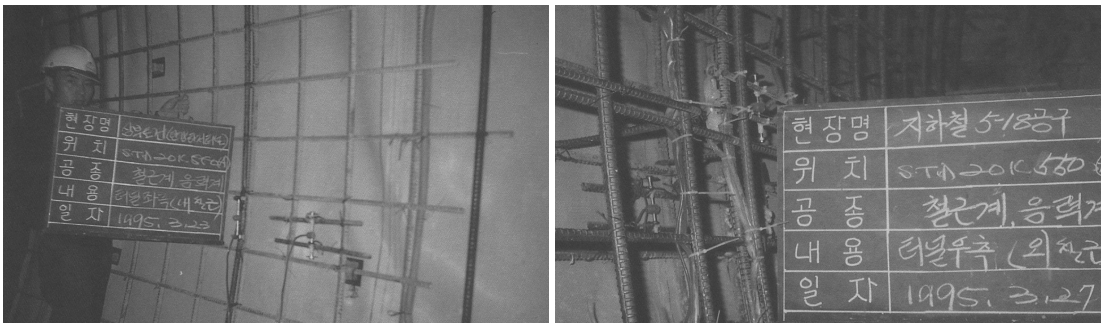
지하철 터널에서 공사계측과 유지관리계측의 영역 구분은 그림 2와 같으며, 본 연구에서는 계측기기 설치 후 계측치가 수렴되는 기간까지 철근콘크리트 라이닝의 콘크리트응력과 철근응력의 계측결과를 중점적으로 분석(우종태 등, 2002, 2003)하여 유지관리계측에 활용할 수 있는 측정 및 분석주기를 검토하였다.

3.2.2 콘크리트 라이닝의 응력

콘크리트 라이닝에 설치된 변형률계는 그림 3과 같이 콘크리트 라이닝의 외측철근과 내측철근에 각각 설치하여 계측을 실시하였다.

4개의 터널에 대한 천단외면 및 내면의 터널별 콘크리트 라이닝 응력과 회귀분석곡선은 그림 4와 같다.

그림 4(c)의 천단 콘크리트 라이닝 응력 회귀분석곡선에서 천단외면은 압축응력이 최대 1.7 MPa로 수렴되는 형태의 회귀분석곡선을 보였다. 천단내면은 인장응력이 최대 0.7 MPa로 수렴되는 형태의 회귀분석곡선을 보여 콘크리트의 휨 인장강도인 파괴계수 2.9 MPa에 24% 정도로 콘크리트 라이닝은 안전한 것으로 평가할 수 있다.



(a) 외측철근 (b) 내측철근

그림 3. 변형률계 설치전경(우종태, 2002, 2003)

www.kci.go.kr

3.2.3 콘크리트 라이닝의 철근 응력

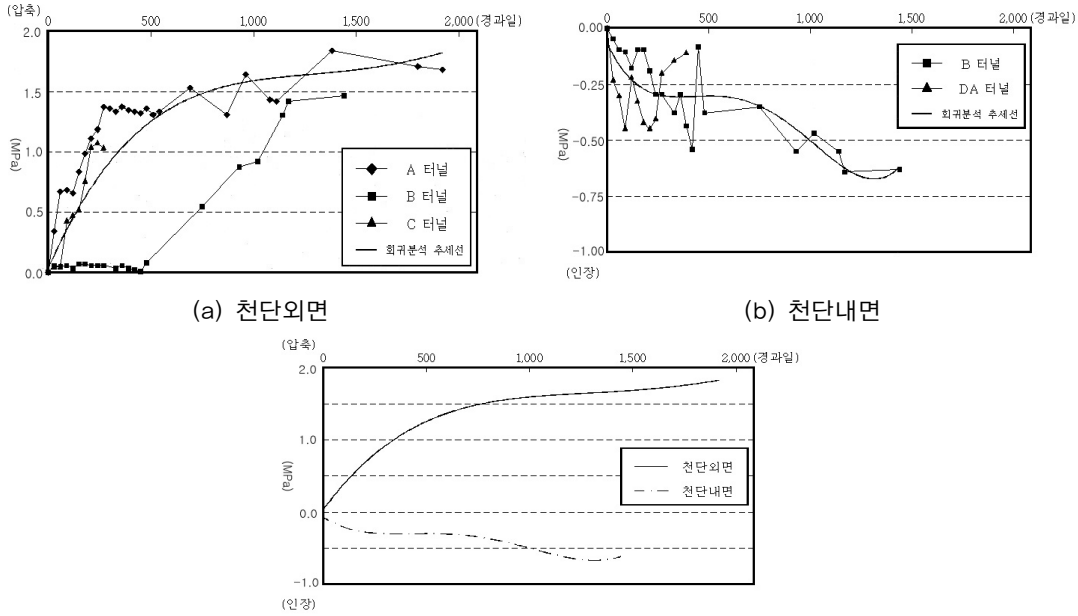
4개의 터널에 대한 천단외면 및 내면의 콘크리트 라이닝 철근 응력과 회귀분석곡선은 그림 5와 같다.

그림 5(c)의 천단 콘크리트 라이닝 철근 응력 회귀분석곡선에서 천단외면은 압축응력이 최대 22.6 MPa로 수렴되는 형태의 회귀분석곡선을 보였다. 천단내면은 인장응력이 최대 11.5 MPa로 수렴되는 형태의 회귀분석곡선을 보여 철근의 허용응력인 150 MPa에 최대 15%정도로 콘크리트 라이닝은 안전한 것으로 평가할 수 있다.

3.2.4 콘크리트 라이닝 응력과 철근 응력 비교

천단 콘크리트 라이닝 응력 회귀분석곡선인 그림 4(c)와 철근 응력 회귀분석곡선인 그림 5(c)를 콘크리트 응력 기준과 철근 응력 기준으로 표시하면 그림 6과 같다.

그림 6(a)에서 n은 철근콘크리트에서 탄성계수비(Es/Ec)이며, 콘크리트 응력 기준 회귀분석곡선에서 콘크리트 라이닝 응력의 천단외면의 압축응력과 천단내면의 인장응력은 시간경과에 따라 서서히 증가하는 추세를 보이나, 콘크리트 라이닝 철근응력의 천단외면의 압축응력과 천단내면의 인장응력은 급격히 증가하는 추세를 보이고 있다.



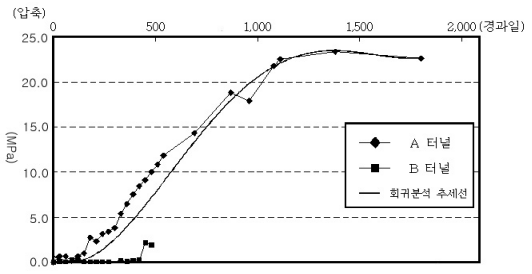
(a) 천단외면

(b) 천단내면

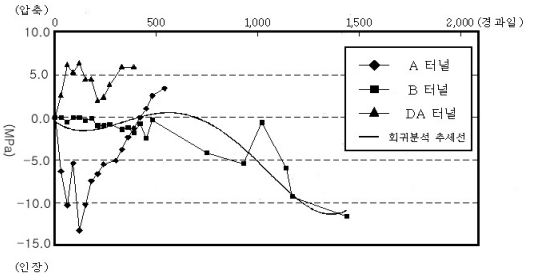
(c) 회귀분석곡선

그림 4. 천단 콘크리트 라이닝 응력도

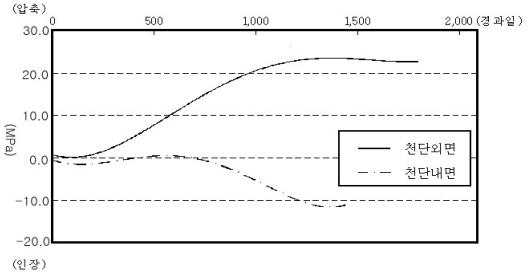
www.kci.go.kr



(a) 천단외면



(b) 천단내면



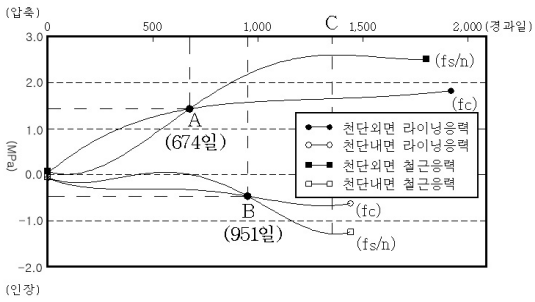
(c) 회귀분석곡선

그림 5. 천단 콘크리트 라이닝 철근 응력도

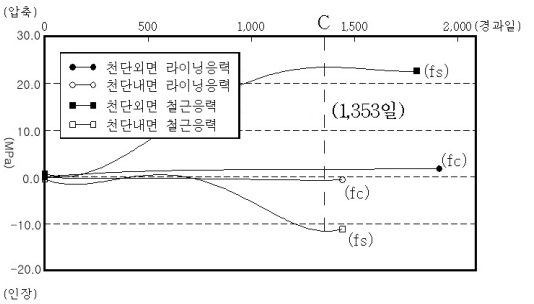
천단외면의 압축응력은 674일인 약 23개월 경과지점인 A점에서 철근 응력과 콘크리트 응력이 교차되어 1.4 MPa의 값을 보였다.

복철근 라이닝 콘크리트 두께 400~500 mm를 통과한 천단내면의 인장응력은 951일인 약 32개월 경과지점인 B점에서 철근 응력과 콘크리트 응력이 교차되어 0.4 MPa의 값을 보였다.

따라서 터널 주변의 작용하중과 터널 지보재의 상호영향으로 지반과 접한 터널 콘크리트 라이닝의 외면에서 콘크리트 응력과 철근 응력이 먼저 교차되고, 9개월 후에 복철근 라이닝 콘크리트 두께 400~500 mm를 통과하여 천단내면의 콘크리트 응력과 철근 응력이 교차하는 것을 알 수 있다.



(a) 콘크리트 응력 기준



(b) 철근 응력 기준

그림 6. 회귀분석곡선 조합

www.kci.go.kr

표 3. 정밀안전진단 실시 주기

안전등급	정밀안전진단
A등급	6년에 1회 이상
B · C등급	5년에 1회 이상
D · E등급	4년에 1회 이상

그림 6(b) 철근 응력 기준 회귀분석곡선은 시간경과에 따라 증가하는 추세를 보이며, 계측경과일이 1,353일인 약 45개월 경과지점인 C점에서 콘크리트 라이닝 응력과 철근 응력이 최대인 것으로 나타나, 콘크리트 라이닝 시공 후 약 4년 동안은 응력이 증가하다가 그 이후에는 수렴하는 것으로 분석되어 이 값을 터널 유지관리계측 측정 및 분석주기 결정에 적용할 수 있을 것으로 판단하였다.

3.3 시설물안전관리 관계법령 기준

시설물안전관리에 관한 특별법은 성수대교 및 삼풍백화점 붕괴사고 발생이후에 시설물의 안전점검과 준공후의 유지관리를 통해 재해를 예방하고 안전점검 및 유지관리에 관한 업무를 체계화하기 위하여 1995년 1월에 제정되어 시행하고 있다. 관리주체는 시설물의 기능 및 안전을 유지하기 위하여 안전점검 및 정밀안전진단 지침에 따라 소관 시설물에 대한 안전점검을 실시하여야 한다.

터널에 대하여 시행시기별로 정기안전점검은 매 반기에 1회, 정밀안전점검은 2년에 1회, 정밀안전진단은 표 3과 같이 안전등급에 따라 4~6년에 1회 이상을 의무적으로 실시하도록 규정되어 있다(국토해양부, 2010).

또한 건설산업기본법 및 국가계약법에 의한 건설중인 터널의 준공후의 하자담보책임기간은 철근콘크리트 또는 철골구조부는 10년, 그 외 공종은 5년으로 규정되어 터널공종의 대부분은 10년의 하자담보책임기간을 갖는다(국토해양부, 2012).

4. 국외 터널 유지관리계측의 측정 및 분석주기

4.1 Channel Tunnel (Euro Tunnel)

Channel Tunnel은 총연장 50.45 km, 해저깊이 평균 45 m, 횡단시간 35분, 단면크기는 주 터널 직경 7.6 m, 서비스 터널 직경 4.8 m, 건설기간은 1987년에서 1994년까지 7년이 소요되었으며, Channel Tunnel의 유지관리계측 측정 및 분석주기(Curtis et al., Moore et al., 1996)는 표 4와 같다.

www.kci.go.kr

표 4. Channel Tunnel 유지관리계측 측정 및 분석주기

계측기 설치 후	측정 및 분석주기
설치 후~2주까지	일 1회
2주~1개월까지	주 2회
1개월~2개월	주 1회
2개월~6개월	1개월 1회
6개월~2년	3개월 1회
2년 이후	6개월 1회

4.2 Seikan Tunnel

Seikan Tunnel은 총연장 53.85 km로 최심부는 해면 아래 약 240 m, 해저 아래 약 100 m에 위치하므로 약 2.4 MPa의 큰 수압을 받는 해저부 총 연장 23.3 km에 이르는 장대 해저터널이다. 이런 특수한 환경조건 때문에 터널구조물은 일본의 과학 기술력을 총 동원하여 토압, 수압, 지진 등에 충분히 견디도록 설계 및 시공되었다.

Seikan Tunnel의 기능을 항구적으로 보존하기 위해 터널의 지질, 시공법, 용수, 지반주입, 상태변화 등의 전 건설기록의 분석과 장기적인 주변지반의 변화, 지진 등으로 인한 라이닝 변형, 용수량, 수질 등의 변화를 충분히 점검, 계측하고 그 경향을 해석·파악하여 정확한 판단과 적절한 조치를 취할 필요가 있기 때문에 이에 대한 유지관리계측이 도입되었으며(Maeda et al., 1992), Seikan Tunnel의 유지관리계측 측정 및 분석주기(大貫富夫 et al., 1992)는 표 5와 같다.

5. 향후에 적용할 터널 유지관리계측 측정 및 분석주기 설정

계측측정 및 분석주기는 터널의 용도, 규모, 지반조건, 자동 또는 수동 계측시스템, 시공 이력, 유지관리상태, 계측결과 등을 종합적으로 고려하여 결정하여야 한다.

국내와 국외의 터널 유지관리계측 측정 및 분석주기를 비교해 보면 Channel Tunnel과 Seikan Tunnel의 계측주기는 서울지하철 5, 7, 8호선 적용 계측주기에 비해 계측기 설치 후 2년 미만까지는 계측주기가 많으며, 2년에는 년 2회로 같으나, 3년 이후에는 년 2회로 국내 주기보다 빈번한 계측관리가 시행되고 있다.

표 5. Seikan Tunnel 유지관리계측 측정 및 분석주기

계측기 설치 후	측정 및 분석주기
설치직후~1년까지	3개월 1회
1년~2년	4개월 1회
2년 이후	6개월 1회

www.kci.go.kr

국내 지하철 5, 6호선 4개 터널의 유지관리계측 분석결과를 보면 콘크리트 라이닝 응력과 철근 응력이 초기부터 증가하여 약 45개월 경과시점에서 응력이 수렴하는 것으로 분석되었다. 따라서 계측기 설치 후 약 4년 까지는 계측 측정 및 분석주기를 빈번하게 하고, 4년 이후 부터는 계측 측정 및 분석주기를 늦추는 것이 타당할 것으로 판단된다.

국내에서 1995년에 최초 설치한 터널 유지관리 계측시스템을 현재까지의 계측주기로 계측관리를 한 결과 계측주기에 따른 문제는 없는 것으로 판단되나, 터널굴착 후 초기에 지반이 안정상태를 유지하는 기간을 고려, 국외의 기준을 참고하여 설치 초기부터 2년 이내를 상세하게 구분하여 적용하고, 계측결과 분석 시는 계측항목을 종합적으로 비교하여 산·학·연 공동으로 객관적인 분석을 시행하며, 터널구조물의 하자담보책임기간인 10년에는 종합조사 및 분석을 시행하는 방안을 제안한다.

또한, 계측기 설치 후 10년 이후의 계측측정 및 분석주기는 정밀안전점검은 2년에 1회, 정밀안전진단은 안전등급에 따라 4~6년에 1회 이상 시행하므로 유지관리주체에서 터널구조물의 상태를 판단하여 3~5년에 년 1회 실시하는 것을 추천한다.

그리고 계측측정 및 분석주기 기준은 구조물 경과년도 기준에서 계측기 설치년도 기준으로 변경하는 방안을 추천하고, 계측기기의 내구성에 문제가 없는 경우 표 6과 같이 향후에 적용할 터널 유지관리계측 측정 및 분석주기를 설정하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

1) 정기계측

정기계측 시 향후에 적용할 터널 유지관리계측 측정 및 분석주기는 표 6과 같다.

표 6. 향후에 적용할 터널 유지관리계측 측정 및 분석주기

계측기 설치년도	측정 및 분석주기	비 고
설치직후	초기치 3회 측정	· 계측항목을 종합적으로 비교하여 분석 · 산·학·연 공동으로 객관적인 분석 시행 · 터널구조물의 하자담보책임기간인 10년에 종합 조사 및 분석시행
설치직후~1개월	주 1회	
1개월~6개월	월 1회	
6개월~1년	2월 1회	
1년~2년	3월 1회	
2년~3년	6월 1회	
3년~5년	1년 1회	
5년~10년	2년 1회	
10년 이후	2년~5년 1회	· 정밀안전점검은 2년에 1회, 정밀안전진단은 4~6년에 1회 이상 시행하므로 유지관리주체 에서 터널구조물의 안전등급 상태를 판단하여 측정 및 분석주기를 결정

www.kci.go.kr

2) 특별계측

지진이나 홍수, 화재 혹은 사고 등의 재해가 발생한 경우나, 터널에 인접하여 타 공사가 진행될 경우 현장 여건을 감안하여 별도의 계측빈도를 조정하여 계측을 수행하여야 한다.

6. 결 론

본 논문에서는 서울지하철 5, 7, 8호선에 국내 최초로 설치되어 운영중에 있는 터널 유지관리 계측시스템에 대한 측정 및 분석주기를 국내 및 국외 적용사례와 국내 터널의 유지관리계측 분석 결과 및 시설물안전관리 관계법령기준을 검토하여 향후에 적용할 터널 유지관리계측의 측정 및 분석주기를 설정하고자 연구를 수행하였으며, 연구결과는 다음과 같다.

1. 국내와 국외의 터널 유지관리계측 측정 및 분석주기를 비교해 보면 Channel Tunnel과 Seikan Tunnel의 계측주기는 서울지하철 5, 7, 8, 9호선 적용 계측주기에 비해 계측기 설치 후 2년 미만까지는 계측빈도가 많으며, 2년에는 년 2회로 같고, 3년 이후에는 년 2회로 국내 빈도보다 빈번한 계측관리가 시행되고 있다.
2. 철근 응력 기준 회귀분석곡선은 시간경과에 따라 증가하는 추세를 보이며, 계측경과일이 약 45개월 경과지점에서 콘크리트 라이닝 응력과 철근 응력이 최대인 것으로 나타나, 콘크리트 라이닝 시공 후 약 4년 동안은 응력이 증가하다가 그 이후에는 수렴하는 것으로 분석되어 이 값을 터널 유지관리계측 측정 및 분석주기 결정에 적용하였다.
3. 국내에서 1995년에 최초 설치한 터널 유지관리 계측시스템을 현재까지의 계측주기로 계측관리를 한 결과 계측주기에 따른 문제는 없는 것으로 판단되나, 터널굴착 후 초기에 지반이 안정상태를 유지하는 기간을 고려, 국외의 기준을 참고하여 설치 초기부터 2년 이내를 상세하게 구분하여 적용하고, 계측결과 분석시는 계측항목을 종합적으로 비교하여 산·학·연 공동으로 객관적인 분석을 시행하며, 터널구조물의 하자담보책임기간인 10년에는 종합조사 및 분석을 시행하는 방안을 제안한다.
4. 계측기 설치후 10년 이후의 계측측정 및 분석주기는 정밀안전점검은 2년에 1회, 정밀안전진단은 안전등급에 따라 4~6년에 1회 이상 시행하므로 유지관리주체에서 터널구조물의 상태를 판단하여 3~5년에 년 1회 실시하는 것을 추천한다.
5. 계측측정 및 분석주기 기준은 구조물 경과년도 기준에서 계측기 설치년도 기준으로 변경하여 계측측정 및 분석주기를 설정하는 것을 추천한다.

www.kci.go.kr

감사의 글

이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 일반연구자지원사업 기본연구지원사업(유형Ⅱ, 과제번호 2011-0009456)으로 "건설 및 터널 계측 기술의 공학적 응용을 위한 핵심 요소기술 개발"의 2011년 1차년도 연구과제인 "터널계측의 최적 분석빈도 설정 연구"의 일부 내용이며, 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 국토해양부 (2010), "시설물의 안전점검 및 정밀안전진단지침", 국토해양부고시, 제2010-1037호, pp. 1-11.
2. 국토해양부 (2012), "건설산업기본법시행령", 제30조 관련 별표4, 국토해양부.
3. 백기현, 오영석, 김용전, 김영근 (2002), "터널 유지관리계측의 효율화 방안 연구", 대한터널협회논문집, 제4권, 제4호, pp. 355-369.
4. 서울특별시지하철건설본부 (1997), "지하철5호선 한강하저터널 구조물 설계 및 시공(Ⅱ)", 서울특별시 지하철건설본부, pp. 89-95.
5. 우종태, 이 송 (2002), "유지관리계측에 의한 지하철 터널의 역학적 특성", 대한토목학회논문집, 제22권, 제1호, pp. 89-97.
6. 우종태 (2003), "터널의 계측결과 종합분석에 의한 지반의 거동 및 터널구조체의 역학적 특성연구", 한국 구조물진단학회논문집, 제7권, 제3호, pp. 115-124.
7. 우종태 (2005), "도심지터널에 유입된 지하수량 및 침전물의 성분분석 연구", 한국터널공학회 논문집, 제7권, 제3호, pp. 219-226.
8. 우종태 (2006), "터널계측의 이론과 실무", 구미서관, pp. 390-392.
9. 우종태 (2009), "서울지하철 터널내의 지하수 유입량에 대한 비교 연구", 한국터널공학회 논문집, 제11권, 제4호, pp. 353-359.
10. 이대혁, 한일영, 김기선, 전석우 (2000), "터널 시공 및 유지관리 단계 내공변위 계측시스템 적용사례 연구", 대한터널협회논문집, 제2권, 제3호, pp. 59-69.
11. 한국터널공학회 (1999), "터널표준시방서", 한국터널공학회, pp. 136-138.
12. Curtis, D.J, Spaul, J.A. (1996), "Monitoring of the UK tunnel linings", Engineering Geology of The Channel Tunnel, pp. 277-286.
13. Maeda, K., Obata, T. (1992), "The measurement of the behavior at the undersea portion of the seikan tunnel", pp. 143-148.

www.kci.go.kr

14. Moore, D.R., Crease, A. (1996), “Tunnel instrumentation, engineering geology of the channel tunnel”, pp. 287-294.

15. 大貫富夫, 先山友康, 鎌田拓司, 及川浩 (1992), “青函トンネルの保守·維持管理 最終回”, トンネルヒ地下, pp. 71-79.

www.kci.go.kr