

지하철 터널에서 유지관리계획의 문제점 분석 및 개선방안

Analysis for the Problem and Improvement of Maintenance Monitoring in Subway Tunnel

우 종 태* 김 종 수** 이 승***

Woo, Jong-Tae Kim, Jong-Soo Lee, Song

Abstract

By means of analyzing the problems in monitoring plan, design, installation, operation based on maintenance monitoring system installed in subway tunnel section, the improved methods of were proposed for applying to subway monitoring maintenance effectively in the future. The choice of the better monitoring system, the operating method of monitoring system, the confidence and continuity of maintenance monitoring, the performance of responsible monitoring supervision in the phase of the planning of monitoring and design were proposed. The problem and developed plan in the different monitoring systems, the calibration and correction of monitoring system, the analysis for the results and plan for maintenance in the phase of installation of monitoring system and operation were also proposed.

keywords : Tunnel maintenance monitoring, plan, design, installation, operation

1. 서 론

최근 들어 사회기반시설 확충에 따라 지하철, 도로, 일반 및 고속철도, 전력구, 통신구, 공동구 등 터널구조물들의 건설이 급격히 증가되고 있는 반면 이에 대한 체계적인 유지관리 및 보수 보강에 대한 대책은 미흡한 실정이다. 특히, 토목구조물과 관련된 사고와 안

전에 관한 문제는 사회문제로 대두되고 있으며, 이에 따라 터널구조물의 유지관리에 관한 필요성이 더욱 부각되고 있는 실정이다.

터널구조물은 수많은 시민이 이용하며 시공후 차량 운행 중에도 구조적 안전성 확보 및 유지관리에 세심한 배려가 요구된다. 토목구조물의 유지관리는 일반적으로 안전점검 및 안전진단을 통해 이루어져 왔으나,

* 정희원, 경북대학 토목설계과 교수

** 현대산업개발 토목설계팀 부장

*** 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 교수

● 본 논문에 대한 토의를 2001년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2002년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

최근 들어 안전점검 및 안전진단 이외에도 실시간 계측을 통해 구조물의 장기적인 거동을 파악하고 이를 유지관리하기 위한 자료로 사용하는 유지관리계측이 일반화되어 가고 있으며, 특히 터널구간에서는 앞으로 유지관리계측을 이용한 구조물의 관리가 중요한 부분을 차지할 전망이다.¹⁾ 따라서, 본 연구논문에서는 지하철 5, 7, 8호선 NATM 터널구간에 설치 운영중인 유지관리계측 시스템을 토대로 계측계획 및 설계단계와 설치 및 운영단계의 문제점을 분석하여 지하철 터널 유지관리계측에 효율적으로 적용하기 위한 개선방안을 제시하는데 목적이 있다.

2. 유지관리계측의 목적

터널에서의 유지관리계측은 터널구조물 완공후 사용기간 중에 굴착면 주변지반의 변화와 영향으로 인하여 발생하는 배면지반, 토압 및 수압의 변화와 콘크리트 구조물의 변화양상, 환경조건 등을 측정하여 터널구조물의 안전성을 확인하는데 있다.²⁾

일반적으로 터널구조물은 많은 가정사항을 포함하고 있는 이론적 해석방법과 불안전 요소를 갖는 경험적, 반 경험적 방법 등을 통해 설계가 이루어지고 있고, 시공의 정밀성이 구조물의 안정에 중요한 영향을 미친다는 점등으로 인해 구조물의 재료 및 구조적 특성이나 현장여건의 공학적 특성에 따라 시공 시 많은 문제가 야기될 수 있다.

터널에서의 계측은 크게 시공중계측과 유지관리계측으로 구분된다. 시공중계측은 주로 설계의 불확정성 요소 등을 보완하고 설계의 타당성을 규명함으로써 시공의 안전성과 경제성을 제공하는 반면, 유지관리계측은 이미 완공된 구조물에 대하여 공용중에 지속적으로 구조물의 안전성 확인과 최적의 유지관리가 되도록 객관적이고 연속적인 자료를 제공하여 효율적이고 경제적인 구조물 유지관리에 기여하는데 그 목적이 있다.

지하철에서의 터널구조물은 대개 환경변화가 적은 지하에 건설되어 구조적으로 타 구조물에 비해 비교적 안전한 것으로 알려져 있어 그 동안 다른 토목구조물에 비해 유지관리에 대한 인식이 적었으나, 지하철 건설 구간중 지반 취약지점, 하천 횡단지점, 기존 지하

철 및 국철 통과지점, 고가도로 및 교량 교각하부 통과지점, 도시개발 및 재개발 등으로 근접시공이 예상되는 지역 등과 같은 취약구간은 지하철 운행시 열차 진동 및 풍압의 영향 외에 과대한 지하수위 변화, 외부하중의 변화, 근접굴착에 따른 배면지반의 이완 등으로 지하철 구조물에 변위발생과 응력변동 등의 가능성이 있어 지하철 터널구조물에 대한 유지관리계측의 중요성이 대두되고 있다.

3. 유지관리계측의 문제점 분석 및 개선 방안

3.1 계측계획 및 설계단계

3.1.1 문제점

우수한 계측기종을 선정하기 위해서는 장기간에 걸친 계측기기의 성능확인이 필요하며, 계측기기의 성능이 우수하더라도 계측기기 설치기술자의 숙련도에 따라 계측치의 신뢰도 편차가 크며, 계측기기의 내구년한 및 무상하자 보증기간 설정에 어려움이 있다.

계측시스템은 초기투자비가 적은 수동계측 위주의 계측시스템이 채택되었으며, 지하철건설기관과 운영 및 유지관리기관이 구분되어 있어 계측의 연속성 유지가 곤란하다.³⁾

3.1.2 개선방안

우수한 계측기를 선정하기 위해서는 계측기의 현장 적용성, 정확성, 정밀도, 내구년한 등을 종합적으로 고려해야 하며, 특히 매립식 계측기기인 경우는 반영구적인 내구년한이 보장되어야 하므로 유사 현장조건에 기적용한 실적이 있는 계측기종을 선정하는 것이 바람직하며, 계측기기의 성능은 현재 국내에서도 여러 계측전문업체에서 다양한 계측기종을 생산하여 현장에 적용하고 있으나, 국내 계측기기의 조립과정이나 생산기반 등을 볼 때 생산업체별로 기술수준의 차이가 커서 계측기기의 신뢰도차이가 크며, 특히 자동시스템으로 구성되어 설치되는 계측기기인 경우는 신뢰도 차이가 더욱 큰 실정이다. 이에 비해 계측기술이 발달된 기술선진국의 경우는 계측업체별로 전세계 현장을 대

상으로 다양한 건설현장에서 각종 시험과정을 거쳐 대량생산하므로 인해 계속신뢰도가 높으며, 내구성이 검증된 다양한 종류의 계속기기가 있으나, 국산에 비해 고가이고, 고장 및 문제 발생시 신속한 대응이 어려워 계속시기를 상실하는 등의 문제점이 있다.

따라서, 계속기기의 성능은 일정기간 관련 전문가 참여하에 시험운명을 실시하는 검증절차가 필요하며, 계속기기의 자체성능이 아무리 우수하더라도 현장 설치과정 및 후속 공성관리가 미흡하다면 소기의 목적달성이 어려우므로 계속기 설치전문가에 의한 정교한 설치와 후속 작업공정으로 인해 계속기에 문제가 발생되지 않도록 하는 지속적인 현장관리가 필요하다.¹⁷⁾

최근 지하철구조물 내구성확보를 위한 설계 시공 및 유지관리 지침안에 따르면 지하철 구조물의 목표 내구년한은 100년으로 설정하여 장기적으로는 유지관리 계속시스템도 구조물의 내구년한에 비급가도록 하는 것이 이상적이나, 현재 국내에서 적용되고 있는 내구년한은 매립식의 경우 반영구적으로 30년 이상, 부착식 및 노출형인 경우 10년 이상의 내구년한이 적용되고 있다.^{5), 6), 7)}

계속기기의 내구년한은 내구년한 동안의 정상작동률인 생존률-손상실률로 표현 되며, 이는 계속기기의 성능과 내구성, 설치기술자의 기술수준, 철근배근, 거푸집설치, 콘크리트타설, 거푸집제거 등의 후속공정에 대한 철저한 관리여부와 유지관리 기술수준과 투자비에 따라 큰 차이를 보이므로 계속업체선정시 저가의 계속공사비가 아닌 계속기술수준이 높은 업체가 참여될 수 있도록 해야 하며, 매립식 계속기인 경우는 여유율인 손상실률을 전혀 고려하지 않고 설치하고 있으나, 잠정적으로 약 10~15% 범위 내에서 계속기를 추가 설치하여 계속기 고장 및 계속범위 초과 등으로 인해 유효한 계속데이터 획득에 문제가 없도록 대비해야 한다.^{8), 10), 11), 18)}

계속기기의 무상하자 보증기간 설정은 전기 및 전자제품의 규격과 같이 1년을 유효기간으로 하고 있으나, 전기 전자분야의 기술수준이 빠르게 발전하고 있어 무상하자 보증기간도 점차 늘어나는 추세에 있다. 당초 계속기기에 대한 무상하자 보증기간은 지하철 5호선 한강하저터널의 경우 토목구조물에 준해 하자담보 책

임기간을 5년으로 적용하였으나, 유지관리 기간중 계속기기의 손상실에 대해 계속기기 설치업체와 토목구조물 시공업체 및 유지관리계속 측정업체간의 의견차이로 분쟁이 있고, 특히 외부충격 등으로 인한 손상일인 경우 책임관계가 불분명한 경우가 많이 있다.

따라서, 이러한 문제점을 개선하기 위해 계속업체 선정시 장기적인 무상하자 보증기간을 제시하는 업체에 가산점을 추가하여 책임시공 및 보증을 유도하는 방안이 검토 될 수 있으며, 현재 국내에서 적용되고 있는 계속시스템의 무상하자 보증기간은 최종설치 준공일로부터 최소 3년 이상이 적용되고 있는 실정이다.^{12), 13)}

계속시스템은 운영방식에 따라 수동, 반자동, 자동 계속시스템으로 구분되며, 이러한 구분은 유지관리 측면에서의 경제성, 효율성, 신뢰성 및 계속데이터의 용량과 처리속도 등을 종합적으로 고려하여 결정된다.

수동 계속시스템인 경우는 계속치 획득에 많은 시간과 인력이 소요되고 구조물 상태평가에 따른 적기의 안전조치 시행시기가 상실되기 때문에 계속항목이 많고 계속기기가 집중적으로 설치되어 있는 구간은 자동 계속시스템으로 계획하는 것이 바람직하며, 향후 계속 분석 시스템과 상태평가 시스템이 현장에 적용될 경우에는 자동 계속시스템이 더욱 확대 시행될 것으로 예상된다.¹⁴⁾ 유지관리계속의 신뢰성과 연속성을 유지하고 계속기술의 발전을 도모하기 위해서 산학연 공동참여로 최초 계속기기 설치업체에서 무상하자 보증기간까지 계속 측정, 계속결과 분석 및 유지관리가 되도록 하는 합리적인 시행이 필요하다.

유지관리계속은 토목, 전기, 신호통신, 정보처리 등의 종합적인 기술력이 필요하며, 장기간에 걸쳐 계속의 정밀도, 정확도, 내구성이 요구되는 분야이므로 계속기술력이 계속업체 선정시에 가장 우선순위가 되어야 하며, 계속계획 초기부터 계속전문가 또는 계속 책임감리자 참여하에 계속계획 적정여부 검토, 계속기기 와 계속시스템의 검수 및 설치 확인, 계속 운영체제와 운영프로그램의 검수 및 정상 작동상태의 확인, 초기 측정시기 및 적정여부 판단 등 각 계속 시공단계별로 계속 책임감리를 시행하여 계속 설치기술과 계속관리기술이 향상 되도록 하는 것이 바람직하다.

3.2 계측기기의 설치 및 운영단계

및 개선방안은 다음과 같다.

3.2.1 계측기기별 문제점 분석 및 개선방안

1) 매립식 계측센서

토압계, 간극수압계, 철근응력계, 콘크리트응력계 등의 매립식 계측센서의 문제점 분석 및 개선 방안은 다음과 같다.

(1) 문제점

센서 제작시 만들어지는 검정표의 신뢰도 저하로 세 산식에 적용되는 상수값이나 초기값 파악이 어렵고, 센서 설치시의 영점이 계측업체에서 출하당시의 표준값과 일치하지 않거나, 현장경장 및 보정비율로 인해 계측신뢰도 문제가 예상될 수 있다. 또한 초기치 측정 시기가 적정하지 여부, 계측기기의 측정신호에 혼입되어 측정정도를 저하시키는 노이즈를 제거하기 위한 접지방범 및 방수형 계측기기의 선택 곤란, 터널내에 공급되는 전압이 일정하지 않으며, 콘크리트의 건조수축 및 온도변화에 의한 변형을 측정 미고려, 콘크리트 재료의 물성시험 미실시로 정확한 응력값 환산 등의 문제가 있다.

(2) 개선 방안

센서 제작사의 검정표를 상세히 분석하여 사전 상수값 및 초기값을 파악하고, 정확도, 정밀도, 내구성 위주의 검정과 교정을 실시하며, 전문 계측기술자에 의한 계측기 설치를 의무화 하고, 최초설치후 수 차례 반복 측정하여 신뢰성이 있는 초기치를 결정하고, 계측기별 접시 또는 차폐를 실시하며, 습기, 터널내 물청소, 열차진동 등에 문제가 없을 정도의 내구성 확보 기준을 제시하고, 일정한 전압유지를 위해 정전압 장치를 설치하며, 무응력계를 설치하여 콘크리트의 건조수축과 온도변화에 의한 변형을 측정으로 순수하게 외력에 의한 변형률과 구분하며, 콘크리트재료의 물성시험을 실시하여 정확한 응력값을 획득하도록 하여야 한다.

2) 부착식 계측센서

광섬유 센서 및 전기저항식 변위센서의 문제점 분석

(1) 문제점

광섬유 센서는 주로 외산제품으로 생산업체로부터 기술이전을 받기가 매우 어렵고, 운영프로그램 구입비가 고가이며, 계측자료 처리 시마다 별도 기술료를 지불해야 하며, 센서에 이상이 발생한 경우 문제해결에 장기간 이 소요되고, 터널 내공 전단면에 부착된 광섬유 센서는 길이에 대한 변형량을 측정함으로써 해당 길이에 대한 실변위량 산정이 곤란하다. 전기저항식 변위센서는 먼지 및 습기에 취약하여 이로 인해 손망실률이 크게 나타났다.

(2) 개선 방안

외국제품을 도입하여 사용하는 광섬유센서의 경우 가능한 한 기술 이전과 함께 운영 프로그램의 통신평약을 공개 받아 호환성 있는 통합운영 프로그램의 개발이 필요하며, 국내 계측기술 발전을 위해 광섬유센서의 정밀도와 신뢰성에 대체할 수 있는 경쟁력 있는 저가의 광섬유 및 광센서의 계측기 개발이 요구된다.

전기저항식 변위센서는 광섬유센서에 비해 저가이나, 표면부착식 계측센서인 경우는 습기 및 먼지에 취약하므로 항온 및 항습 장비와 분진방지가 필요하다.

3) 3차원 광파측정기

(1) 문제점

광파기기를 교정 없이 장기간 사용시 기계식 오차가 발생하고, 터널내 온도, 습도, 기압 등의 변동에 따라 측정오차가 발생하며, 계측업체의 잦은 변경으로 측정자가 바뀌어 개인오차가 크게 발생된다.

터널벽면에 설치된 기준점은 터널축력에 낮게 설치되어 터널출입자에 의한 파손 및 위치 변동으로 오차가 발생되고, 기준점 표면에 먼지가 자주 끼어 있어 측정정도가 떨어지는 경우도 있다. 변위 측정정도 장기간 전동차 운행시 진동 및 풍압의 영향으로 위치가 변동되어 측정시에 오차가 발생된다.

(2) 개선 방안

광과기기는 기계오차 검사를 위해 최소 년 1회 교정을 실시하고, 터널내 온도와 기압에 대해 보정을 실시하며, 동일 측정자가 지속적으로 반복 측정하여 개인오차가 최소화 되도록 하여야 한다.

기준점은 터널출입자에 의해 쉽게 저촉되지 않도록 보호함을 설치하고, 기준점 표면에 분이 있는 먼지 제거시 기준점이 변동되지 않도록 주의하여 관리하며, 정밀도 향상을 위해 기준점 설치위치는 터널단면 외측에 설치하는 것이 유리하다.

변위 측정점은 선동차 운행시의 진동 및 풍압에 고정점이 움직이지 않도록 견고하게 고정하고, 현재 1단 면당 터널 진단, 상부 좌우벽체에 3점이 설치되나, 하부 좌우벽체까지 추가하여 최소 유효 측정수가 5점이 되도록 설치하여 계측치의 정밀도를 증대시키고, 향후 역해석에 의한 터널라이닝의 응력산정에 활용되도록 개선이 필요하다.^{15),16)}

따라서, 3차원 광과측정에 의한 변위측정은 전동차 풍속으로 인한 기준점 및 변위 측정점의 움직임, 먼지로 인한 시준오차 발생등으로 유지관리가 어렵고, 계측 측정시 미다 오차가 발생되어 실제 변위인지 확인을 위한 추가적인 정밀 육안관찰이 요구되며, 전차선 전원이 단전되는 심야 3~4시간에만 계측이 가능하므로 이로 인해 작업능률 저하 및 측정 인건비 과다 소 요로 계측신뢰도 및 경제성이 낮아 향후에는 3차원 변위 측정수량을 최소화하고, 매립식 또는 부착식 계측기기가 설치되는 대표관리단면 계측의 검증을 위한 보조적인 용도로 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 계측시스템

(1) 문제점

자동화 계측시스템이 지하철5호선 마포구간과 강동구간으로 이원화되어 있어 계측관리의 효율성이 저하되고, MS-DOS 운영체제이며, 계측치 변화에 대한 그래픽 기능 등의 계측관리자 편의위주의 기능이 미비하고, 계측기기를 터널내에서 정거장내 계측 사무실까지 약 1~2km를 케이블로 연결하여 통신하므로 노이즈 영향이 있다.

(2) 개선 방안

기 설치된 낮은 기술수준의 지하철 5호선 계측시스템을 현재 설치 중에 있는 6, 7호선 유지관리 계측시스템에 포함하여 서울지하철 통합유지관리계측 운영체제로 관리하는 것이 바람직하며, 통합운영프로그램은 윈도우 환경에서 대상 구조물의 전경을 배경으로 센서 부착단면을 그래픽 화면에서 직접 선택하고, 계측치의 변화량을 즉시 판단하며, 각 계측이력은 실시간과 데이터베이스의 기록을 통계 처리하여 다양한 비교 분석이 되도록 통합운영프로그램의 개발과 적용이 요구된다. 또한 세측기기의 통신방법은 다양한 방법이 있으므로 고전압 및 유도장애, 누설전류, 온도나 습도, 주위환경, 유지관리비용을 감안하여 정상적인 작동이 되도록 통신방법을 선정하여야 한다.

따라서, 지하철 5호선 수동 계측구간과 자동 계측구간을 6, 7호선 통합유지관리계측 운영체제에 포함시켜 유지관리계측의 효율성 증대와 일관성 있는 계측관리 및 계측치의 신뢰성 증진이 필요할 것으로 판단된다.

3.2.2 계측기기의 검정과 교정

계측기기는 정확한 측정을 위해 사용 전에 검정을 받고 사용중에는 기계오차에 대하여 주기적인 교정이 필수적이거나, 대부분의 국내 계측기기는 계량 및 측정에 관한 법률 시행규칙 내용중 새로이 개발된 계량기로서 그에 대한 검정설비가 구비되어 있지 않은 계량기이거나, 검정에 특수한 설비를 필요로 하는 계량기에 해당되어 검교정 대상도 아니며, 국가표준 및 검인증 기준이 없어 국가공인기관에서의 검교정이 어려운 실정이며, 이로 인해 세측업체에서 자체적인 기준에 의해 검교정을 실시하고 있다.⁴⁾

국내에 등록되어 있는 교정검사기관에서 교정검사를 할 수 있다고 조사된 항목을 보면, 계측기기에 대한 1/1,000mm 길이 변형을 측정할 수 있는 기관은 서울의 생산기술연구원과 대전의 한국표준과학연구원 뿐이며, 온도교정의 경우는 한국표준과학연구원 외에는 교정검사가 시행되고 있지 않으며, 각 지역별로 있는 중소기업청(사무소)의 경우는 길이변형을 측정할 수 있으나, 1/1,000mm 교정검사 장비는 미 보유 상태이며, 대기업 부설연구소의 경우는 자사 협력업체만

교정검사를 해주고 있는 실정이다.¹⁸⁾

따라서, 국산 계측기기인 경우 공업진흥청에서 검교정 항목과 시험방법을 제정하고, 전국에 등록되어 있는 교정검사기관의 계측기기 검교정 설비를 확충하여 검교정을 할 수 있도록 하는 방안이나, 계측전문업체로 구성되는 가칭 건설계측협회를 설립하여 주기적인 검교정이 되도록 하는 방안이 있으며, 외산 계측기기인 경우 국제적으로 인증받은 기관의 검정증명서를 계측기기 납품시 제출 받는 방법 또는 검교정 방법에 의해 국내 공인기관에 의뢰하여 검교정하는 방법 등이 검토될 수 있다.

3.2.3 계측결과 분석 및 계측기기의 유지관리

유지관리계획의 신뢰성과 연속성을 확보하기 위해 계측기 설치업체에서 일정기간 계측 측정, 분석 및 유지관리가 요구되나, 지하철건설기관인 서울특별시 지하철건설본부와 운영 및 유지관리기관인 서울특별시 도시철도공사로 구분되어 있어 계측기 설치시 발주처와 유지관리의 발주처가 분리되었고, 계약법규상 장기계속계약이 되지 않아 1년 단위로 새로운 유지관리 계측업체를 공개경쟁입찰로 선정하므로 이로 인해 발생하는 문제점으로는 매년 유지관리 계측업체가 변경되었으며, 수많은 계측업체의 난립으로 과도한 경쟁, 부분별한 저가부찰로 계측수준의 저하가 우려되었고, 3차원 광과측정의 경우 설치업체와 측정업체가 서로 달라 측정기기의 기종 변경으로 인한 정밀도 차이 및 측4자의 수시 교체로 개인오차 발생이 우려되었으며, 계측분석의 일관성 유지가 곤란하였고, 계측기기의 손상실에 대해 설치업체와 나수의 측정업체간에 의견 상충되었다.

이에 대한 개선 방안으로 일반적인 계측관리의 운영은 설계자 또는 감리자를 책임자로 하는 계측전문단을 운영하는 방법이나, 설계자나 감리자 대신에 계측전문가와 산학연 공동연구그룹에서 운영하는 방법 또는 현재 가장 일반적인 방법인 시공자가 계측업체에 하도급을 주고 관리하는 등의 여러 가지 운영방법이 있다.

따라서, 계측계획 초기부터 산학연 공동참여에 의해 계측기 설치, 데이터 획득, 통합운영프로그램의 개발, 계측결과 분석 및 계측기기의 유지관리가 될 수 있도록

특 하는 장기 계속계약 시행이 필요하리다.

4. 결 론

본 연구에서는 지하철 5, 7, 8호선 NATM 터널구간에 설치 운영중인 유지관리 계측시스템을 도대로 계측계획 및 설계단계와 설치 및 운영단계의 문제점을 분석하고 이에 대한 개선방안을 제시하였으며, 결론은 다음과 같다.

- 1) 계측기종의 선정은 계측기기의 현장적용성, 정확성, 정밀도, 내구년한 등을 종합적으로 고려해야 하며, 특히 메립식 계측기기인 경우는 반영구적인 내구년한이 보장되어야 하므로 유사 현장조건에 기 적용한 계측기종을 선정하거나, 계측기기의 성능을 일정기간 시험운영을 통해 검증된 우수한 계측기종을 선정하는 것이 바람직하다.
- 2) 지하철구조물의 목표 내구년한은 100년으로 설정되어 현재 국내에서는 메립식 계측기는 내구년한이 반영구적으로 30년 이상, 부작식 및 노출형인 경우는 10년 이상 내구년한을 설정하고 있으며, 계측기기의 무상보증기간은 최종설치 준공일로부터 최소 3년 이상을 적용하는 추세이므로 계측업체 선정시 계측기술력이 가장 우선순위가 되어야 할 것이다.
- 3) 계측시스템의 운영은 계측항목이 많고 계측기기가 집중적으로 설치되어 있는 구간은 향후 계측분석 시스템과 상태평가 시스템이 실제 현장에 적용될 경우에 대비하여 지동 계측시스템이 유리하다.
- 4) 계측의 신뢰성과 연속성을 유지하고 계측 기술축적을 위해 계측계획 초기부터 산학연 공동참여에 의해 계측기 설치, 데이터 획득, 통합운영프로그램의 개발, 계측결과 분석 및 계측기기의 유지관리가 될 수 있도록 하는 계측 관리방안과 장기 계속계약 시행이 필요하다.
- 5) 계측은 각 전문분야의 종합적인 기술력과 계측기기의 정밀도, 정확도, 내구성 등이 요구되는 분야이므로 계측 기술수준 향상을 위해 계측 계획시에 계측전문가 참여 및 계측 시공사는 계측 책임감

- 리제를 의무화하여 계속 각 시공단계별로 계속 설치 기술과 계속 관리기술이 향상 되도록 하여야 한다.
- 6) 대부분 계속기기는 계량 및 측정에 관한 법률 시행규칙에 따라 검교정 대상이 아니며, 국가 표준 및 검인증 기준이 없어 계속업체 자체 검교정으로 대체되고 있어 계속기기의 공신력 확보를 위해서는 국산 계속기체인 경우 공업진흥청에서 검교정 항목과 시험방법을 제정하고, 전국에 등록되어 있는 교정검사기관의 계속기기 검교정 설비를 확충하여 검교정하는 방안이나, 계속전문업체로 구성되는 가칭 건설계측협회를 설립하여 주기적인 검교정이 되도록 하는 방안이 있으며, 외산 계속기체인 경우 국제적으로 인증받은 기관의 검정증명서를 계속기기 납품시 제출 받는 방법 또는 검교정 방법에 의해 국내 공인기관에 의뢰하는 방법 등이 검토 될 수 있다.

참 고 문 헌

1. 우종태, "한강 하저터널 구조물 설계 및 시공 (II)", 서울특별시지하철건설본부, 1997
2. 대한터널협회, "터널표준시방서", 1999, pp.136~138
3. 우종태, 양태선, 구재동, "하저터널 품질확인 및 유지관리계측 연구", 한국구조물진단학회 논문집 제2권 제2호, 1998, pp.185~194
4. 대한터널협회, "국내 터널 계속관리의 문제점 및 대책", 터널기술, 1999, pp.98~103
5. 서울특별시지하철건설본부, "지하철 구조물 내구성 확보를 위한 설계, 시공 및 유지관리지침(안)", 대한토목학회, 1999, pp.1~2

6. 한국도로공사, "특수교량의 계속시스템 구축과 시공방법 개발 연구", 1997, p.285
7. 우종태, 유충식, "지하철 유지관리 계속 세부지침(안)", 서울특별시지하철건설본부, 2001, p.55
8. 한국수자원공사수자원연구소, "배면 및 압밀 그라우팅이 콘크리트 라이닝의 안정성에 미치는 영향 연구", 1999, pp.82~88
9. 유충식, 우종태, "서울지하철 유지관리계측 연구보고서", 서울특별시지하철건설본부, 2001, pp.91~94
10. 대한토목학회지, "지하구조물 유지관리 및 계측", 제46권 제11호, 1998, pp.43~54
11. 과학기술, "현장실계계측 계획법", 1999, p.74
12. 한국고속철도건설공단, "경부고속철도 시험선구간 안전계측설비 구축", 1999
13. 우종태, 이근호, "서울지하철 유지관리계측 용역발주 연구보고서", 서울특별시지하철건설본부, 2000
14. B.Leger, J.C.Roussel, "Ten Years of Geotechnical Measurements through Chamoise Tunnel Marls", France, 1997, pp.1309~1312
15. M.Hisatake, T. Ito, "Back Analysis Methods to Tunnel Linings", International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, 1983, pp.1047~1056
16. M. Hisatake, T.Ito & T. Murakami, "トンネル A計測變位による 次覆工應力の推定", 第8回岩の力學國內シンポジウム講演論文集, 1990, pp.13~18
17. A.I Feldman, J.B McRae, "5th International Symposium on Field Measurements in Geomechanics", 1999, pp.95~100
18. Colin S Harris, Malcolm B. Hart, "Engineering Geology of the Channel Tunnel", 1996, pp.277~294

(접수일자 : 2001년 6월 8일)