

터널 유지관리 계획의 기술 및 제도 정착 방안



김홍석 _ 정회원, 서울특별시 지하철건설본부 토목공사팀장
서강천 _ 정회원, 서울특별시 도시철도공사 설계공사팀장
우종태 _ 정회원, 경북대학 토목설계과 전임교수

1. 서론

최근 들어 사회기반시설 확충에 따라 지하철, 도로, 일반 및 고속철도, 전력구, 통신구, 공동구 등 국내 터널구조물들의 건설이 급격히 증가되고 있으며, 동서 고속철도, 남북간 철도연결, 시베리아 횡단철도, 일본과 연결되는 남해 해저터널, 중국과 연결되는 황해 해저터널 등 향후 건설이 예상되는 엄청난 터널공사가 예측되고 있다. 하지만 기존 터널에 대한 체계적인 유지관리는 현재까지도 미흡한 실정이며, 특히 토목구조물의 안전에 관한 문제는 사회문제로 대두된바 있어 이에 따른 터널구조물의 과학적이고 합리적인 유지관리에 관한 필요성이 제기되고 있다.

지하철 터널구조물은 많은 시민이 정기적으로 이용하며, 시공 후 차량운행 중에도 구조적 안전성 확보 및 유지관리에 세심한 배려가 요구된다. 토목구조물의 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 유지관리 계측이 일반화되어 가고 있으며, 특히 지하철 터널 구간에서는 앞으로 유지관리 계측을 이용한 구조물의 관리가 중요한 부분 을 차지할 전망이다.

따라서 여기에서는 서울지하철 2기 1단계 터널 구간

(5,7,8호선)에 설치 운영중인 유지관리 계측시스템을 토대로 터널 유지관리 계측의 문제점을 분석하여 현재 용역수행중인 2기 2단계(6,7호선) 지하철 터널 유지관리 계측에 효율적으로 적용하기 위한 유지관리 계측의 기술 및 제도 정착 방안을 제안하고자 한다.

2. 터널 유지관리 계측의 목적

계측이란 인간의 능력과 계측기기의 성능을 조합해서 공학적인 정보를 정확하게 수집하여 분석하는 행위로 이론과 기법, 통찰과 경험, 측정기술과 기기를 조합해서 공학적인 문제해결에 필요한 정량적, 정성적인 정보를 얻는 행위이며, 계측기를 통하여 측정된 자료를 검토 분석하여 정량적인 판단기준을 제시하며, 계측결과와 분석을 통하여 구조물의 특성과의 연관성을 파악하고 구조물의 현 상태 및 발생 가능한 문제를 관측 및 예측하는 행위를 의미한다.

터널에서의 유지관리 계측은 터널 구조물 완공 후 사용기간 중에 굴착면 주변지반의 변화와 영향으로 인하여 발생하는 배면지반, 토압 및 수압의 변화와 콘크리트 구조물의 변화 양상, 환경조건 등을 측정하여 터널 구조물의 안전성을 확인하는데 있다.

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 현장 여건의 공학적 특성에 따라 시공시 많은 문제가 야기될 수 있다. 또한 재료의 비등방성과 시공방식에 의해 완공된 구조물은 설계상태와 완전히 일치하지 않는 경우가 많아 공용상태에서 구조물의 열화상태 파악이 곤란하게 된다. 터널에서의 계측은 크게 시공중 계측과 유지관리 계측으로 구분되며, 시공중 계측은 주로 설계의 불확정성 요소를 보완하고 설계의 타당성을 규명함으로써 시공의 안전성과 경제성을 제공하는 반면, 유지관리 계측은 이미 완공된 구조물에 대하여 공용 중에 지속적으로 구조물의 안전성 확인과 최적의 유지관리가 되도록 객관적이고 연속적인 자료를 제공하여 효율적이고 경제적인 구조물 유지관리에 기여하는데 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 구간 중 지반 취약지점, 하천 횡단지점, 기존 지하철(도시철도, 국철)통과지점, 고가도로 및 교량 교각 직하부 통과지점, 도시개발 및 재개발 등으로 근접시공이 예상되는 지점 등과 같은 취약구간은 지하철 운행시 열차진동 및 풍압의 영향 외에 과대한 지하수위 변화, 외부하중의 변화, 근접 굴착에 따른 배면지반의 이완 등으로 지하철 구조물에 변위 발생과 응력 변동 등의 장기적 구조물 거동 발생 가능성이 예상되어 지하철 구조물에 대한 유지관리 계측의 중요성이 대두되고 있다.

따라서 유지관리 계측시스템은 지하철 공용기간 동안의 안전성을 확보하고 향후 건설되는 지하철의 설계 및 해석기술 개발에 필요한 자료를 제공하며, 구조물의 예방 유지관리를 가능하게 함으로써 이에 필요한 인력 및 전체적인 유지관리 비용 절감효과를 기대할 수 있다.

3. 터널 유지관리 계측의 문제점 및 대책

지하철 2기1단계 터널 구간(5,7,8호선)에 설치 운영중인 유지관리 계측 시스템의 문제점 및 대책은 다음과 같다.

3.1 계측기기별 문제점 및 대책

3.1.1 매립식 계측센서

토압계, 간극수압계, 철근응력계, 콘크리트응력계 등의 매립식 계측센서의 문제점 및 대책

(1) 문제점

센서 제작시 만들어지는 검정표(Calibration chart) 미비로 계산식에 적용되는 상수값이나 초기값 파악이 어려움

- 센서설치 당시의 영점이 계측업체에서 출하당시의 표준값(Certificated value)과 일치하지 않거나, 현장검정(Field calibration) 및 보정 미비로 인한 신뢰도 문제

- 초기치 측정시기가 적정한지의 여부
- 계측기기의 노이즈(Noise) 제거를 위한 접지방법
- 침수에 대비한 완전방수형 계측기기의 선택
- 터널내에 공급되는 전압이 일정하지 않음
- 콘크리트의 건조수축 및 온도에 의한 변형을 측정 미고려
- 콘크리트 재료의 물성시험 미실시로 정확한 응력값 환산 곤란

(2) 대책

- 센서 제작사의 검정표 입수하여 사전 상수값 및 초기값 파악
- 정확도, 정밀도, 내구성 위주의 검정과 교정 실시 및 전문 계측기술자에 의한 계측기 설치
- 최초 설치 후 수 차례 반복 측정으로 정확한 초기치 결정
 - 초기치 계측 측정시기는 외부 하중이 작용 하기

전, 후에 측정

- 계측기별 접지(Earth end) 또는 차폐 (Shielding, Cabling) 실시
- 계측기기의 시험항목 결정
 - 일정수준의 침수와 습기, 터널내 물청소, 열 차진 동, 가벼운 충격 등에 문제가 없을 정도의 내구성 확보
 - 일정한 전압유지를 위해 정전압 유지장치 설치
- 콘크리트의 건조수축과 온도변화에 의한 변형률 측정
 - 무응력계를 설치하여 콘크리트의 건조수축과 온도변화에 의한 변형률을 측정하고, 변형률 계의 계측부분 중 순수하게 외력에 의한 변형률과 구분
- 콘크리트 재료의 물성시험을 실시하여 정확한 응력 값 획득

3.1.2 부착식 계측센서

- 광섬유 센서 및 전기저항식 변위센서의 문제점 및 대책.
- (1) 문제점
 - ① 광섬유 센서
 - 외국 제작사로부터 기술 이전 받기가 매우 어렵고, 운영 프로그램 구입비가 고가이며, 계측자료 처리 때마다 별도 비용 요구 및 센서에 이상 발생시 문제 해결에 장기간 소요
 - 터널 내공 전단면에 부착된 광섬유 센서는 길이에 대한 변형량을 측정함으로 해당 길이에 대한 실변위 산정 곤란
 - ② 전기저항식 변위센서
 - 습기에 취약하여 부식 발생으로 손망실률이 큼
- (2) 대책
 - ① 광섬유 센서
 - 외국제품을 도입하여 사용하는 경우 가능한 한 기술 이전과 함께 운영프로그램을 공개 받아 호환성 있는 통합 운영프로그램에 포함시켜 운영

- 광섬유센서의 정밀도와 신뢰성에 대체할 수 있는 저가의 전단면 내공 변위계 개발
- ② 전기저항식 변위센서
 - 완벽한 방수처리, 습기에 강한 센서 사용
 - 표면부착식 계측센서 및 자동화 계측시스템은 제품 생산시 습기에 대해 완전해야 하며, 침수에 대한 고려 필요
 - 터널내 습기제거를 위해 항온 및 항습 장비 설치

3.1.3 3차원 광파측정기

- (1) 문제점
 - ① 광파기
 - 교정 없이 장기간 사용시 기계적 오차 발생
 - 터널 내 온도, 습도, 기압 등에 따라 측정 오차 발생
 - 유지관리 계측업체의 빈번한 변경으로 측정자가 서로 달라 개인오차 발생
 - ② 기준점
 - 터널벽면에 낮게 설치되어 터널 출입자에 의한 파손 및 위치 변동되어 이로 인한 오차 발생
 - 기준점 표면에 장기간 먼지가 묻어있어 측정 정도가 떨어짐
 - ③ 변위 측정점
 - 전동차 운행 시 진동, 풍압 영향으로 위치 변동되어 측정 시 오차발생
- (2) 대책
 - ① 광파기
 - 기계적 오차를 줄이기 위해 년1회 교정 실시
 - 터널 내 온도와 기압 등에 따라 측정치에 온도계와 기압계로 보정 실시
 - 동일한 측정자가 지속적으로 반복 측정토록 하여 개인오차 제거
 - ② 기준점
 - 터널 출입자가 쉽게 접근 및 접촉하지 못하도록 보

- 호함 설치
- 기준점 표면에 묻어 있는 먼지 제거시 기준점이 변동되지 않도록 유의
- 기준점 설치 위치는 터널 단면 외측에 설치하는 것이 유리
- ③ 변위 측정점
 - 전동차 운행시의 진동 및 풍압에 고정점이 움직이지 않도록 견고하게 고정
 - 변위 측정점을 현재 단면당 3개를 5개정도로 설치하여 정밀도 증대

3차원 광파측정에 의한 변위측정은 타켓(기준점, 변위 측정점) 유지관리(전동차 풍속으로 인한 타켓 움직임 및 파손, 먼지로 인한 시준오차 발생)가 어렵고, 계측 측정시 마다 오차가 발생되어 실제변위인지 확인을 위한 추가적인 정밀 육안관찰이 필요하며, 전차선 전원이 단전되는 심야시간에 계측 측정반(최소 3인)이 투입되므로 작업능률 저하 및 측정 인건비 과다 소요로 계측 신뢰도 및 경제성이 낮아 향후에는 3차원 변위 측정 수량을 최소화하되 매립식 또는 부착식 계측기기가 설치되는 대표관리단면 계측의 검증을 위한 보조적인 수단으로 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3.1.4 계측시스템

- (1) 문제점
 - 자동화 계측 시스템인 지하철 5호선 마포와 강동으로 이원화되어 있어 계측관리의 효율성이 저하됨
 - 운영프로그램이 MS-DOS 운영체제이며, 계측치 변화에 대한 그래픽기능 등의 계측관리자 편의 위주의 기능이 적음
 - 계측기기를 장거리 케이블(약 1~2km)로 연결하여 통신하므로 노이즈 영향이 있음
- (2) 대책
 - 기존의 지하철 5호선 계측시스템을 현재 설치 예정

- 인 2기 2단계 유지관리 계측시스템에 포함하여 서울 지하철 통합 유지관리 계측 운영체제로 관리
- 통합 운영 프로그램은 윈도우 환경에서 대상 구조물의 전경을 배경으로 센서 부착단면을 그래픽 화면에서 직접 선택하고, 계측치의 변화량을 즉시 판단하며, 각 계측이력은 실시간과 데이터 베이스의 기록을 통계 처리하여 다양한 비교 분석이 되도록 통합 운영프로그램 개발
- 계측기기의 통신방법은 다양하므로 고전압 및 유도장애, 누설전류, 온도나 습도 주위환경에 관계없이 정상작동 되도록 하며, 유지관리비를 고려하여 결정

따라서 지하철 5호선 수동계측 구간과 자동계측 구간을 2기 2단계 유지관리 계측용역에 포함시켜 낮은 기술수준의 계측 시스템을 업그레이드 시켜 통합운영 계측시스템에 포함하여 유지관리 계측의 효율성 증대와 일관성 있는 계측관리 및 계측치의 신뢰성 증진이 필요하다.

3.2 계측결과 분석 및 계측기기의 유지관리

유지관리 계측의 신뢰성과 연속성을 확보하기 위해 계측기 설치업체에서 일정기간 계측 측정, 분석 및 유지관리가 요구되나, 지하철건설기관(서울특별시 지하철건설본부)과 운영 및 유지관리기관(서울특별시 도시철도공사)이 구분되어 있어 계측기 설치시 발주처와 유지관리시의 발주처가 분리되고, 계약법규상 장기계속 계약이 되지 않아 1년 단위로 새로운 유지관리 계측업체를 공개경쟁 입찰로 선정하므로 이로 인해 발생하는 문제점은 다음과 같다.

- (1) 문제점
 - ① 매년 유지관리 계측업체가 변경됨
 - ② 계측업체의 난립으로 과도한 경쟁, 무분별 한 저가 수주로 계측 수준 저하
 - ③ 3차원 광파 측정의 경우 설치업체와 측정 업체가 달

라 측정 정밀도 저하

- 측정기기의 기종 변경에 대한 정밀도 차이
- 측각자 수시 변경으로 개인오차 발생
- ④ 계측 분석의 일관성 유지 곤란
- ⑤ 계측기기의 손상실에 대해 설치업체와 다 수의 측정 업체간에 의견 상충

(2) 대책

- ① 계측기기 설치업체가 무상보증기간 동안 계측 측정, 분석 및 유지관리가 되도록 장기 계속 계약 시행하고, 산학연 공동의 계측결과 분석 시행
- ② 자동계측 시스템을 확대 적용하고, 3차원 광파 측정은 대표관리단면 계측의 검증을 위한 보조수단으로 사용

4. 터널 유지관리 계측의 기술 및 제도 정착방안

4.1 계측기술 정착 방안

4.1.1 계측기기 및 통합운영 프로그램의 개발

계측기기(계측센서, 데이터 로저 등)와 운영프로그램은 국내 여러 계측전문업체에서 회사별로 다양한 계측기기를 생산하고 실현장에 적용하고 있으나, 생산업체별로 기술 수준차이로 계측기기의 신뢰도 차이가 크며, 특히 시스템으로 구성되어 자동계측 시스템으로 설치되는 계측기기는 더욱 신뢰도 차이가 큰 것이 현실이다. 그러므로 현장에서는 외국 제품이 선택되는 경우가 많은데 이는 국내제품에 비해 가격은 고가이나 내구성, 정밀도 및 사용 실적에서 우수한 것으로 인정되기 때문이다.

따라서 국내 계측기기의 선진화를 위해서는 계측업체별로 또는 계측업체간 통합 연구소를 중심으로 전문화된 분야를 집중개발 하여야 하며, 국가나 관련기관에서의 집중적인 지원이 필요할 것으로 판단된다.

유지관리 계측 운영 프로그램도 국내 여러 업체를 중심

으로 자체 연구진에 의해 많은 개발비용과 시간을 들여 개별 현장에 적합한 운영 프로그램을 개발하여 사용 중에 있으나, 서로 다른 계측센서와 계측시스템간의 호환성 등의 문제로 범용성이 떨어지고 계측관리자 편의기능도 부족한 실정이다.

따라서 산·학·연 공동이 참여하여 자동 측정빈도 조절기능, 자가 진단기능 및 다양한 시각적 기능, 정보시스템, 네트워크 기능, 인트라넷 기능이 종합된 통합운영 프로그램의 개발이 필요하다.

4.1.2 계측 분석 시스템 및 분석 기법 개발

우수한 계측 시스템에서 신뢰도가 높은 계측 데이터가 장기간에 걸쳐 데이터 베이스화 되면 설정된 분석시기별로 터널의 안전관리와 안전진단 등에 필요한 터널의 거동 상태와 경향을 연속적이고 체계적으로 분석할 수 있는 계측 분석 시스템 및 분석 기법이 필요하다. 유지관리 계측 분야에서는 이 부분의 연구가 미미한 실정이나 시공중 계측분야의 경우는 통계적 방법과 근사함수에 의한 최종 변위량 예측기법 연구가 활발하게 진행중이며, 통합 데이터 베이스를 근간으로 하는 각종 정보의 통합 분석기법이 활발하게 연구되고 있다.

이에 비해 유지관리 계측분석시스템 및 분석기법 개발은 초보적인 연구단계에 있으며, 현재의 분석은 토압, 간극수압, 콘크리트 라이닝의 응력 및 철근 응력, 콘크리트 라이닝의 결보기 균열 및 전단면 내공변위 등을 개별적으로 관리 기준치와 비교하는 수준으로 지반과 터널 구조물의 역학적인 상호관계에 대한 다양한 분석 시스템 및 분석 기법 개발과 함께 합리적이며 객관적인 터널 안전관리 기준치 설정을 위해 산학연 공동의 연구가 필요하다.

4.1.3 유지관리 계측 표준시방 및 세부지침의 제정

도시철도(지하철)공사 표준시방서에는 유지관리 계측이 언급되어 있지 않으나, 최근 건설교통부 제정 터널표

준시방서의 부록편인 유지관리 및 보수와 보강 내용 중에 유지관리 계획이 포함되어 있으며, 여기에서의 유지관리 계획의 정의를 보면 터널이 완공한 후 사용기간 중에 굴착면 주변지반의 변화와 영향으로 인하여 발생하는 콘크리트 라이닝의 변화 양상을 측정하는 행위로 규정하고 있으며, 유지관리 계획의 목적, 계획계획, 계획항목, 계획배치간격, 측정시스템의 구성, 측정빈도 등에 대해 일반적인 사항만 기술되어 있다.

따라서 설계 계획단계에서부터 유지관리 계획을 반영하여 시공중 계획이 유지관리 계획으로 연계되고, 시공이력과 유지관리 계획 결과를 바탕으로 정확한 구조물의 안전성 평가와 상태평가가 될 수 있도록 유지관리 계획의 표준시방 및 세부지침의 제정이 필요하다.

4.1.4 계획 감리 시행

유지관리 계획은 각 전문분야 (토목, 전기, 신호통신, 정보처리 등)의 종합 기술력이 필요하며, 장기간에 걸쳐 계획의 정밀도, 정확도, 내구성이 요구되는 분야이므로 계획기술력이 계획업체 선정시에 가장 우선 순위가 되어야 한다.

따라서 입찰자격 사전심사제도(PQ)로 계획업체를 선정할 경우에는 계획에 참여할 적격업체를 선정하기 위한 사업수행 능력평가서 작성지침과 평가기준을 수립하여야 하고, 계획기기의 공개적인 검증이 필요한 경우에는 시험운영 계획서 작성지침과 평가기준을 작성하고, 시험운영기간 중 평가기준에 의해 검증된 계획기기가 현장에 도입 설치되도록 해야 한다. 그러므로 계획계획 초기부터 계획 전문가 또는 계획 감리를 투입하여 계획 계획 적정여부 검토, 계획기기와 계획시스템의 검수 및 설치 확인, 계획 운영체제와 운영프로그램의 검수 및 정상 작동상태의 확인, 초기치 측정의 시기 및 적정여부 판단 등 각 계획 시공단계별로 계획 감리를 시행하여 계획 설치기술과 계획 관리기술이 향상 되도록 계획 감리 시행이 필요하다.

4.2 계획제도 정착 방안

4.2.1 계획 전문업 및 계획 하도급의 법제화

현재의 계획분야는 건설기술관리법, 건설산업기본법, 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 엔지니어링기술진흥법 등 관련 법규에 계획 전문업의 설립요건이나 자격기준이 없어 누구나 회사를 설립하여 영업활동을 할 수 있다. 그러므로 무분별한 영세업체 난립으로 저가의 하도급이 성행하고 이로 인한 불량계획기 설치 및 계획 무자격자에 의한 계획관리로 형식적인 계획이 수행되어 총체적인 부실 계획이 우려되고 있는 실정이다. 계획업무는 특수한 전문분야로 계획에 대한 전반적인 이해나 경험없이 계획기기의 설치, 관리, 데이터 처리, 개략분석 및 평가, 사후관리 등을 할 수 없기 때문에 계획기술자의 경험이 매우 중요하다.

따라서 일정수준의 기술인원, 자본금, 사무실, 계획장비를 갖춘 업체가 계획 전문업 또는 계획감리 전문업으로 등록하여 영업활동을 할 수 있도록 하는 법제화가 조속 시행되어야 하며, 구체적인 법제화 방안으로는 건설기술관리법의 품질검사 전문기관의 지정 등에 계획관리 전문업을 포함시키는 방안, 건설산업기본법에 계획관리 전문업을 포함시키는 방안, 시설물의 안전관리에 관한 특별법의 확보장비와 인력을 보완하여 계획관리 전문업을 규제하는 방안, 엔지니어링기술진흥법의 건설부분에 계획관리 전문업을 포함시키는 방안 등이 있다.

계획 하도급 실태를 살펴보면 건설산업기본법에 건설업의 종류는 일반건설업과 전문건설업으로 구분되어 있고, 건설산업기본법시행령에 건설업의 업종 및 업무내용 등 전문건설업의 30개 업종이 있으나, 계획관련업종은 전문건설업에 포함되지 않아 도급자(시공자)와의 정식 하도급 신고업종이 아니므로 계획 기술력보다는 저가의 가격으로 도급자와 하도급 계약이 이루어져 일부 계획업체에서는 손실을 줄이기 위해 불량 계획기와 저급의 기술인력 투입으로 인해 계획의 부실화가 가속되고 있다.

따라서 건설산업기본법에 계측관련업종을 전문건설업의 한 분야로 포함시켜 정식 하도급에 의해 관리가 되어야 한다.

4.2.2 계측용역 발주방법 개선

현재의 계측업체 선정은 시공자(도급자)가 본사 기준이나 현장 자체 평가기준으로 선정하고 있으나, 주로 계약금액이 가장 낮은 계측업체가 선정되는 경우가 많다. 이로 인해 계측업체와 시공사간에는 종속관계가 형성되어 실질적인 계측업무보다는 형식적인 계측관리가 되고있는 실정이다.

계측업무는 특성상 계측기 설치나 측정 및 유지관리시 시공사의 지원과 협조가 필수적이므로 시공사의 도움 없이는 원활한 계측업무 수행이 불가능하며, 계측관리를 통해 설계의 변경 또는 기술자문 등으로 공사비에 영향을 미칠 수 있으므로 현재와 같이 시공사에 종속이 되는 체제에서는 독자적이고 내실 있는 계측관리가 어렵다고 판단된다.

따라서 공사책임감리용역에 계측부분을 포함하여 공사감리업무 수준으로 계측관리가 되도록 발주하는 방안(예: 2기 1단계 5호선 도심 일부구간에서 계측관리 시행)과 발주처에서 계측업체를 직접 선정하여 계측관리하는 방안(예: 현재 수행중인 2기 2단계 유지관리 계측용역)을 검토하여 효과적인 계측관리가 되도록 발주방법의 개선이 필요하다.

4.2.3 계측비 산출기준 개선

현재의 계측비 산출기준은 토질 및 기초공사 표준품셈의 계측관리 부분으로 시공중 계측항목이 대부분이며, 공종별로는 크게 흙막이, 터널, 연약지반, 사면으로 구분되어 있으며, 일반적으로 수동계측에 의한 방법으로 계측비가 산출되도록 되어 있다.

따라서 자동계측 시스템이 많이 적용되고 있는 현실을 감안하여 시공중 계측과 유지관리 계측의 구분이 필요하

며, 토질 및 기초공사 표준품셈에 기초한 계측 재료비, 계측기기 설치비, 측정비, 분석비, 역해석비, 유지관리비 등을 합리적으로 적용할 수 있는 산출 기준 마련이 필요하다.

4.2.4 계측기기의 검정과 교정 방법 개선

계측기기는 정확한 측정을 위해 사용 전에 검정을 받고 사용 중에는 기계오차에 대하여 주기적인 교정이 필수적이나, 대부분의 국내 계측기기는 계량 및 측정에 관한 법률 시행규칙(검정의 생략 등) 내용 중 새로이 개발된 계량기로서 그에 대한 검정 설비가 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 계측업체에서 자체적인 기준에 의해 검정을 실시하고 있다.

국내에 등록되어 있는 교정검사기관에서 교정검사를 할 수 있다는 항목을 검토해 보면, 계측기기에 대한 1/1000mm 길이변형을 측정할 수 있는 기관은 서울의 생산기술연구원과 대전의 한국표준과학연구원 뿐이며, 온도교정의 경우는 한국표준과학연구원 외에는 교정검사가 시행되고 있지 않으며, 각 지역별로 있는 중소기업청의 경우는 길이변형을 측정할 수 있으나, 1/1000mm 교정검사 장비는 미보유 상태이며, 대기업 부설연구소의 경우는 자사 협력업체만 교정검사를 해주고 있는 실정이다.

따라서 국산 계측기기인 경우 공업진흥청에서 검교정 항목과 시험방법을 제정하고, 전국에 등록되어 있는 교정검사기관의 계측기기 검교정 설비를 확충하여 검교정을 할 수 있도록 하는 방안 또는 계측전문업체로 구성되는 가칭 건설계측협회를 설립하여 주기적인 검교정이 되도록 하는 방안이 있으며, 외산 계측기기인 경우 자국 또는 국제적으로 인증받은 기관의 검정 증명서를 계측기기 납품시 제출 받는 방법 또는 검교정 방법에 의해 국내 공인

기관에 의뢰하여 검토정하는 방법 등이 바람직 할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 보고서에서는 서울지하철 터널구간에 설치 운영중인 유지관리 계측시스템을 토대로 계측기술 및 계측제도에 대한 문제점을 분석하여 현재 운영 수행중인 2기 2단계(6,7호선) 지하철 터널 유지관리 계측에 효율적으로 적용하기 위한 유지관리 계측의 기술 및 제도 정착 방안을 제안하였으며, 결론은 다음과 같다.

지하철 유지관리 계측의 계측기술 정착 방안으로는

- 1) 신뢰도와 내구성이 높은 계측기기의 개발과 계측관리자 편의 위주의 계측 통합 운영프로그램의 개발이 요구되며, 이를 위해서 산학연 공동의 연구와 계측업체별로 또는 계측업체간 통합연구소를 중심으로 전문화된 분야의 집중개발 및 연구가 필요하다.
- 2) 신뢰도가 높은 계측데이터를 터널 안전관리와 안전진단 등에 유용하게 활용하기 위해 지반과 터널구조물의 역학적인 상호관계를 연속적이고 체계적으로 분석할 수 있는 계측 분석시스템 및 분석기법이 개발되어야 하며, 객관적인 안전관리 기준치 설정이 요구되고 있다.
- 3) 현재의 터널표준시방서에는 단편적이며 일반적인 유지관리 계측 사항만 기술되어 있으므로 설계 계획 단계에서부터 유지관리 계측을 반영하여 시공중 계측이 유지관리 계측으로 연계되고, 시공이력과 유지관리 계측결과를 바탕으로 터널 구조물의 안전성 평가와 상태 평가가 이루어지도록 유지관리 계측의 표준시방 및 세부지침의 제정이 필요하다.
- 4) 계측은 각 전문분야의 종합적인 기술력과 계측기기의 정밀도, 정확도, 내구성이 요구되는 분야이므로

계측업체 선정시 계측기술력이 가장 우선 순위가 되어야 하며, 계측 기술수준 향상을 위해 계측계획시 계측전문가 참여를 의무화하고, 계측 시공시는 계측 책임감리가 투입되어 계측 각 시공단계별로 계측관리자가 되도록 하는 방안이 요구된다.

지하철 유지관리 계측의 계측제도 정착 방안으로는

- 1) 일정수준의 기술인력과 계측장비, 자본금 등을 확보한 업체만 계측 전문업 또는 계측 감리 전문업으로 등록토록 하여 전반적인 계측 기술 수준의 향상이 요구되며, 공사 도급자(시공자)와 정식 하도급 계약이 이루어져 책임 있는 계측관리가 되도록 관계법규를 제정 정비하여 계측 전문업 및 계측 하도급의 법제화가 필요하다.
- 2) 계측업체가 시공사에 종속되어 있는 현재의 계약 형태로는 독립적이고 내실 있는 계측관리가 불가능하므로 공사책임감리용역에 계측부분을 포함시켜 공사감리업무 수준으로 계측관리가 되도록 하는 방안과 발주처에서 계측업체를 직접 선정하여 계측관리하는 등의 계측용역 발주방법의 개선이 필요하다.
- 3) 현재의 계측비 산출기준은 시공중 계측 항목이 대부분이며, 주로 수동계측에 의한 계측비 산출이 기준이므로 자동계측 시스템에 맞도록 하는 계측비 산출 기준의 개선이 필요하다.
- 4) 대부분 계측기기는 계량 및 측정에 관한 법률 시행규칙에 따라 검교정 대상이 아니며, 국가 표준 및 검인증 기준이 없어 계측업체 자체 검교정으로 대체되고 있어 계측기기의 공신력 확보를 위해서는 국산 계측기기인 경우 공업진흥청에서 검교정 항목과 시험방법을 제정하고, 전국에 등록되어 있는 교정검사기관의 계측기기 검교정 설비를 확충하여 검교정하는 방안과 계측 전문업체로 구성되는 가칭 건설계측 협회를 설립하여 주기적인 검교정이 되도록 하는 방안이 있으며, 외산 계측기기인 경우 자국 또는 국제

적으로 인증받은 기관의 검정 증명서를 계측기기 납품시 제출 받는 방법 또는 검교정 방법에 의해 국내 공인기관에 의뢰하는 방법 등이 바람직 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 대한터널협회, "터널표준시방서", 1999.
2. 대한토목학회, "도시철도(지하철)공사 표준 시방서", 1997.
3. 한국엔지니어링진흥협회, "토질 및 기초조사 표준품셈", 1996.
4. 김홍석, 우종태, "지하철 유지관리 계측의 문제점 분석 및 개선방안 연구", 정보화 시공위원회 불학술발표회 논문집, 2000.
5. 우종태, 양태선, 구재동, "하저터널 품질확인 및 유지관리 계측 연구", 한국구조물진단학회 논문집 제2권 제2호, 1998.
6. 우종태, 이근호, "지하철 유지관리 계측 용역발주 연구보고서", 서울특별시 지하철건설본부, 2000.
7. 유충식, 우종태, "지하철 유지관리 계측 세부지침(안)", 서울특별시 지하철건설본부, 2000.
8. 유충식, 우종태, "지하철 유지관리 계측 연구 보고서", 서울특별시 지하철건설본부, 2000.
9. Al Feldman, J.B McRae, "5th International Symposium on Field Measurements in Geomechanics", 1999.

10. B.Leger, J.C.Roussel, "Ten Years of Geotechnical Measurements through Chamoise Tunnel Marls", France, 1997.

[약력]

김홍석

- 동국대학교 토목공학과 박사과정 수료
- 서울특별시 지하철건설본부 건설2부 토목공사팀장

서강천

- 인하대학교 토목공학과 졸업
- (전) 서울특별시 지하철공사 및 지하철건설본부 토목감독관 근무
- (현) 서울특별시 도시철도공사 시설관리처 설계공사팀장

우종태

- 서울시립대학교 토목공학과 박사과정 수료
- (전) 서울특별시 지하철건설본부 건설2부 토목감독관 근무
- (현) 경북대학 토목설계과 전임교수
- 토목시공기술사, 토목품질시험기술사