

서울지하철 건설공사 계측현황 및 개선방안

Problems of Field Instrumentation System in association with Seoul Subway Construction

이 인 근, In-Keun Lee

서울특별시 기술심사담당관, Director/Engineering Review, Seoul Metropolitan Government

SYNOPSIS : Enormous instruments have been installed to measure movement and stresses during and after the construction of Seoul Subway. However, a number of problems have been noticed and reported, such as planning, calibration, installation, contract procedure etc. Some of them are presented and discussed in this paper in order to call an attention to these problems and provide a baseline for the future improvement.

Key Words: Subway, Instrument, Contract, Cut and Cover, Tunnelling

1. 서 론

서울 등 대도시는 인구의 집중, 활발한 도시활동 등 운송수요의 증대에 따라 지하철을 건설하게 되었다. 서울의 지하철 건설은 1971년 4월 서울역에서부터 청량리까지 7.8km구간에 대한 건설공사를 시작으로 4호선(24km)에 대해 4개노선 118km의 제1기 지하철공사를 시작하였으며 제2기 지하철공사는 1989년부터 기존노선연장 공사와 5·6·7·8호선 신설공사 구간 160km에 대해 공사를 착수하여 2000년 2월 까지 112km를 완공하고 현재 48km를 공사 중에 있고 앞으로도 계속하여 제3기 지하철공사중 9호선에 대해 건설계획 추진을 추진 중에 있다.

지하철공사의 계측은 초기단계에서는 지하철 건설시 안전성 확보와 경제성 제고 및 구조물의 품질관리를 위해 보다 체계적이고 적극적으로 계측을 시행하였다. 그리고 성수대교 사고, 삼풍백화점 붕괴사고로 인한 사회적 비난이 팽배한 가운데 최근 들어 터널구조물의 안전에 관한 문제는 사회문제로 대두되고 있으며, 터널구조물의 유지관리에 대한 필요성이 부각됨에 따라 안전성 확보차원에서도 검토가 시작되었다.

그러나 계측 신기술을 도입하기 위해서는 충분한 사전조사와 연구, 그리고 시험 시공 등의 절차를 도입이 되어야 하나, 그 당시 여건은 중간 과정이 생략된 채 단기간 내에 결과만을 요구하는 사회적 분위기로 일부 외국사례와 전문가의 자문회의를 거쳐 계획이 수립될 수밖에 없는 실정이었으며, 혹자는 수십년간 육안 관찰에 의지하여 구조물 유지관리가 안전하게 되고 있다며 유지관리 계측 자체를 부정하는 기술자도 많은 형편이었다. 또한 계측업체도 기술력과 자본금이 미약하고 터널 유지관리 계측 실적이 전무한 상태에서 계측 신기술 도입은 시기상조처럼 보였다.

다행히 기술선진국 계측업체의 기술적인 도움과 사용실적이 일부 검증된 계측기종을 확인한 후 서울시 지하철건설본부에서는 적극적인 추진으로 국내 터널구조물 유지관리 계측이 도입 될 수 있었다. 본고에서는 이제까지 시행하였던 건설공사 계측현황에 대해 계측시행 효과를 서술해보고 앞으로의 발전방향에 대한 방안을 제시하고자 한다

2. 계측시행 현황

2.1 시행목적

지하철의 건설공사를 시행하기 위하여는 시공 전 사전 교통량, 지질 보링조사 등에 의해 설계정수를 결정하여 구조물에 작용하는 외력이나 지반거동, 구조물의 변형량, 지반침하량 등 공사의 안정성에 관한 검토가 이루어지고 있다. 그러나, 이들의 검토 결과는 모두 이론식에 의한 추정일 뿐 시공에는 기 조사된 data나 설계, 시공상의 오차에 의해 구조물에 예기치 못한 과대한 외력이나 변형이 발생한 경우가 종종 발생하고 있다. 계측은 이러한 경우 시공기간 중 부득이 고려치 못한 점이나 설계상의 오차를 보충하기 위한 수단으로써, 목적을 수행하며 완공후 사용기간 중에 굴착면 주변의 변화와 영향으로 인하여 발생하는 배면지반의 토압 및 수압의 변화와 콘크리트 구조물의 변화 양상, 환경조건 등을 측정할 수 있는 정보를 줄 수 있다.

2.2 시공중 계측현황

서울의 지하철공사는 1971년 4월 서울역에서 청량리까지 7.8km를 시작으로 제1기 지하철 118km를 완공하고 이어서 1989년부터 1996년까지 제2기 지하철 5,7,8호선 98.5km를 시행하면서 터널의 평균심도가 22m이상으로 제1기 지하철공사 비해 7미터 이상 깊어지고, 통과하는 노선도 주택이 밀집하고, 노선도 지질의 구조가 복잡하고 변화가 심하고, 지하수가 많은 한강변과 청계천 등 하천연안에 근접하거나 통과하므로 인하여 종래는 설계자의 현장사전 조사만으로도 시공이 가능했지만 여기에도 불확실성 요소가 많이 포함되므로 인해 공사를 착공 후 곧바로 계측을 실시하여 지반 및 구조물의 실제 거동을 측정하여 사전에 예측된 값과 계측값을 비교하여 다를 경우에는 적절히 설계와 시공법을 수정하여 공사를 진행하는 것이 중요시 되고 있다

이를 좀더 구체적으로 살펴보면 지하철 2기 1단계 공사구간은 공사 시공중에 계측관리를 위주로 하였으나 1995년부터는 지하철 구조물의 영구계측 계획을 수립하여 터널구간은 전구간(48km)에 설치토록 계획하고 개착구간(35.5km)에 대하여는 지반이 취약하거나, 지하수유출이 많은 지역이거나, 교량 등 구조물 통과하거나 주변에 주택이 밀집한 지역에 대하여 영구계측을 시행토록 하였다.

2.2.1 개착구간 계측

계측의 시행 내용은 지하철 5·7호선 57km를 24개공사 구간으로 나누어 시공하였는데 계측 설치수량은 9,664개소이며 종류별로는 버팀보의 응력과 축력, 어스양카 축력, 지하수위와 지중침하와 지중수평변위 및 지표침하, 건물의 기물기등을 주로 실시하였으며 굴착폭이 넓고, 굴착깊이가 깊은 정거장이 3,440개소로 전체의 36%를 실시하였다.

계측에 소요되는 비용은 발주처인 지하철건설본부에서 설계에 반영하였다. 총 예산은 81억 3100만원으로 그 내용을 살펴보면 재료비와 설치비로 실 계측비용에 근접한 수준이다. 그러나 시공사는 계측을 전문으로 하는 업체에 하도급을 주고 시공에 도움이 되도록 운영함으로써 관측비와 분석비를 포함 전체 계측비용이 103억 5400만원에 이르러 설계에서 계상해준 비용보다 약 28%를 초과하는 실정이었다.

2.2.2 터널구간의 계측

터널공사에 있어서의 계측은 종래부터 지하철공사 이외에도 다수의 현장에서 실시되어 왔으나, 계측 결과가 바로 시공에 Feed-back 되어 설계변경이나 시공관리에 충분히 반영되지 못하였다. 특히 서울의 지하철공사는 지하철 5호선 당시 현장에 근접한 영등포구간 및 청계천 구간에서 일부 터널이 붕락되는 현상이 나타나므로 인해 감리를 시행하면서 일상 계측관리 시 측정빈도 및 시기, 현장의 굴착면 조사시 정확도 유지, 계측의 경시변화도 관리 등에 보다 많은 관심을 가지고 실시하였으며, 특히 서울의 지하철

공사는 터널구조물 자체의 안전성보다는 터널상부에 공공시설의 기능을 유지 및 사유재산 피해 예방에 더 많은 관심을 두고 있어 터널의 계측을 실시하였다.

계측은 터널의 변위측정인 내공변위 및 천단침하 측정, 변위 영역측정인 지중변위, 쇼크리트응력, 록볼트 축력, 지중침하, 지중수평변위 지하수위 변위 등 17,958개소를 측정하였으며 이외에도 지보효과 응력측정을 위한 록볼트 인발시험, 복공응력 측정 등을 실시하였다. 그리고 터널의 계측에 소요되는 비용을 지하철건설일부에서는 설계에 계상된 비용과 거의 동일한 49억 9백만원이 소요되었다.

2.3 유지관리 계측

2.3.1 개착구간

지하철공사에 있어 유지관리 계측을 터널구조물의 거동을 장기간 지속적으로 계측하고 그 결과를 토대로 안정성을 검토함은 물론 현재의 구조물 상태를 판단하고 보수 및 보강 시기를 결정하는데 매우 중요하다. 그 이유는 지하철 건설구간중 지반취약 지점, 한강 등 통과 및 하천 횡단지점, 기존지하철(철도 포함) 통과지점, 고가도로 및 교량교각 직하부 통과지점 등과 같이 취약구간은 지하철 운행 시 열차진동 및 풍압의 영향 외에 과대한 지수수위 변화, 외부하중의 변화, 근접 굴착에 따른 배면지반의 이완 등으로 지하철 구조물에 변위발생과 응력 변동등 장기적 구조물 거동발생 가능성이 있으며 지하철은 운행이 연중 계속되고, 열차운행이 완료된 시간도 매우 짧아 현장 조사 및 확인에 많은 어려움이 있기 때문이다.

2.3.2 터널구간 계측

대표 단면계측은 지하철 5호선 여의도 인접구간과 한강을 통과하는 한강하저구간에 대하여 토압계와 간극수압계 및 콘크리트 라이닝 응력등 83개소에 대하여 실시하고, 일상관리계측은 한강통과 구간인 여의도 하저터널구간과 천호동 광나루 구간에 대하여 광섬유 및 전기식 변위센서 7개 단면과 전기저항센서 23개 단면 및 3차원 광파기 1개소등 31개 단면을 설치하였고, 취약구간 등에는 129개 단면의 3차원 광파기를 설치하였다. 상세한 내역은 다음 표 1과 같다.

표 1. 계측기기 설치현황

구 분		수량(개)	호 선		
			5호선	7호선	8호선
계		212	183	20	9
대표 관리 단면	소 계	52	52	-	-
	토 압 계	8	8	-	-
	간극수압계	8	8	-	-
	콘크리트라이닝응력	36	36	-	-
일반 관리 단면	소 계	160	131	20	9
	광섬유 센서	7	7	-	-
	전기 저항식 센서	23	23	-	-
	3차원 광파기	130	101	20	9

2.3.3 소요예산

제2기 1단계에 소요되는 비용은 7억 1700만원으로 이중 초기 설치비용이 4억 1700천만원과 유지관리 비용 3억원이 소요되었고 제2기 2단계는 현재 공사를 진행 중에 있어 소요예산이 파악되지 않고 있다.

2.4. 계속시행 절차

공사수행 중 시행하는 계속의 절차는 일반공사를 시행하는 것과 동일한 방법으로 시공계약 내역서에 필요한 수량과 개소를 포함하여 필요 예산을 반영하고 시공사는 자체 기술진으로 수행하거나 전문계측 업체에 위탁하는 경우로 구분된다.

계측기 설치 및 유지관리와 분석의 두가지 측면에서 참여업체를 살펴보면 계측기 설치 및 유지관리 전체 24개 공구중 시공사 자체 7개공구 전문업체 17개 공구로 70% 정도는 전문업체에 하도급을 시행중에 있으며 분석은 시공사 40%이고 전문업체에서 수행하는 경우 60%정도로 나타나고 있다.

계측을 감리하는 책임감리업체에서는 시공사에서 제출하는 및 관리계획서를 검토 및 승인절차를 거친 후 시공사에서 운영하는 계측반과 감리단에서 운영하는 계측확인반을 2원화하여 운영하고 계측결과는 매일·주·월단위로 분석하고 그 결과에 대하여 주요사항은 즉시 감리단 책임하에 시공사와 발주부서에 통보 및 대책을 강구하고 매월 발행되는 감리일지에 계측결과를 수록하고 있다.

유지관리 계속에 있어서는 공사발주당시에는 설계도서상에 없었던 것으로 지하철 2기 1단계 토목공사가 거의 완료되어 가는 시점에서 그 필요성 및 중요성이 부각되어 1995부터 공사현장에 설치하도록 내부지침을 정하고 시공사와 감리단에 설치가 필요한 계측위치 및 계측항목 등을 정하도록 한 후 지하철 건설본부 내에 계측심의 위원회를 만들어 현장별로 여건별로 심의 및 승인을 거쳐 계측기를 설치하도록 하고 추후에 설계에 반영하는 방법으로 유지관리계측작업을 시행하여 공사완료 후에는 유지관리 부서에 계속내용을 인계하여 관리토록 하였다.

3. 문제점 및 개선방안

지하철 건설공사는 건설공사기간이 5년이상 장기간에 걸쳐서 시행되고 있으며 서울과 같은 대도시는 인구의 밀집에 따라 교통수요가 과밀혼잡하며, 복잡하고 다양한 지상 지하의 매설물을 현 위치에서 기능을 유지시키면서 공사를 시행하여야 하며, 공사주변에 건물 등이 근접하고 있어 이에 대한 안전에 대해서도 특히 많은 관심을 많은 가져야 하는 실정으로 계속관리가 매우 중요하다. 본 절에서는 지하철건설과 관리에 따른 계속의 문제점과 개선방안을 살펴보고자 한다.

3.1 계속 시행

3.1.1 문제점

1989년 시작된 제2기 1단계 지하철 공사시행에 있어서는 계속의 설계와 계측기 설치·운영과 계속관리에 대한 상세한 시방내역이 확립되지 못하였고 이를 운영관리하는 시공사, 감리단 등에서도 계속계획, 측정빈도, 관찰방법, 경시변화도 관리 등의 운영 및 관리 System이 미흡하였다. 비록 계속관리와 직접적인 관계는 없다하더라도 '91년부터 '93년 사이에 터널막장 붕락사고가 영등포 당산동 사고를 비롯하여 크고 작은 붕락 사고가 6건이 발생하였으며 이는 이후 계속관리에 많은 관심을 갖는 계기가 되었다. 1993년부터 시작된 제2기 2단계 지하철공사에 있어서는 시공계획시 계속관리 등에 대하여는 많은 관심과 노력을 기울여 1단계 건설공사보다는 매우 체계적인 방법으로 계속을 시행하므로 인해서 공사의 시공 여건이 복잡하고 불리하였으나, 시공중 계속으로 인한 붕락사고 등은 거의 발생하지 않고 공사가 완료단계에 이르렀다.

공사를 시행하면서 실시한 계속구간이 (개착 및 터널구간 포함) 2기 지하철 공사구간의 160km에 걸쳐

서 시행되었으나 계측시행 및 관리는 공사 공구별로 또는 감리단 별로 관리하고 분석, 검토를 하였고, 설계와 시공법의 수정된 결과치가 현장에서 설계에 신속하게 반영되지 못하였으며 유사한 지역별, 동일한 공사여건별로 설계된 예측 관리 기준치와 계측 시행 결과 등을 종합적이고 체계적으로 분석, 적용하는 feed back이 제대로 이루어지지 못하였다.

그리고 계측 시행이 공사중 계측을 위주로 실시하므로 인하여 지하철의 운행의 중요성과 지하철 구조물의 안정성 확보에 대한 필요성이 점점 중요하게 인식되므로 유지관리에 대하여는 설계 및 공사 초기 단계에서는 구체적인 검토 및 대응이 미비하였으며, 또한 시공계측과 유지관리 계측이 계속 연계되어 실시되지 않고 단절됨으로 인하여 많은 문제점이 제기되어 현재는 유지관리 계측에 대한 효율적인 관리 방안을 적극적으로 강구 중에 있다

3.1.2 개선방안

공사구간(공구)별로 시행한 막장관찰 일지 및 계측 경시 변화도 등 관련자료와 계측시행 결과 분석된 내용 등을 매 건별 개별자료로 관리하는 여건에서 지하철 노선별, 공사위치별 여건별로 종합정리 자료를 data화하여 인접하여 구조물 설계 및 공사 시 활용 될 수 있도록 할 필요가 있다.

계측은 주로 설계와 구조해석에 의한 결과에 근거하여 시공 중 계측과 유지관리 계측이 수행되며 이 측정치는 미리 설정되거나 수년간의 분석을 통하여 마련된 관리 기준치와 비교하여 지속적으로 공공성을 판단하게 된다 따라서 서울의 지하철공사와 같이 장기간에 걸쳐 공사를 시행한 계측 결과를 종합적으로 정리하고 분석하여 앞으로 시행할 지하철9호선 및 대형시설물 건설의 시행 및 유지관리에 매우 중요한 자료로 활용하여야 할 것이다.

시공 중 계측에 대하여는 공사를 시행한 노선별, 지역별, 여건별, 시행단계별로 구분하여 계측현황 활용실적 및 문제점에 대한 대응방안을 분석 정리하여 동일지역 주변에 공사를 시행 시 활용하도록 하고 유지관리 계측은 터널구조물의 거동을 장기간 지속적으로 계측을 시행하고, 유지관리 시행과정에서 계측결과 활용내용에 대한 보수 또는 보강 내용을 현재 설치하고 있는 기기의 문제점, 계측기기의 정상작동 현황 등을 분석하고 정리하여 유지관리 계측의 문제점 및 발전방향의 도모가 필요하다. 그리고 유지관리를 위한 계측의 세부지침을 제정하여 공사계획 단계에서 부터 철저하고 계획적인 관리 및 공사 완료 후에도 계속하여 유지관리가 될 수 있도록 조치할 필요가 있다.

3.2. 계측장비

3.2.1. 문제점

계측장비의 선정에 있어서는 선정기준이 마련되어 있지 않았다. 또한 유지관리 계측의 본격적인 도입이 처음으로 계측기기의 성능확인 곤란 및 검증자료가 미비(표준화, 규격화, 내구연한, 관리기준치 등)하여 검증을 하지 못하였다. 또한 계측기기 설치, 매립기술 등 기술자의 숙련도에 따른 계측기기의 손상실 발생과 계측결과치의 신뢰도 저하 및 계측기기의 검·교정항목 및 공인기관의 공인절차 미이행으로 인한 계측편차가 발생하였고 계측기기의 내구연한이 검증되지 않아 오작동 계측기기에 대한 유지관리 및 하자처리 방안이 미흡하고 무상보증기간 확보에 대한 기준이 마련되지 못하였다.

또한 최근 지하철 구조물 내구성 확보를 위한 설계·시공 및 유지관리지침(안)에 따르면 지하철 구조물의 목표 내구연한은 100년으로 설정되어 유지관리 계측 시스템은 구조물의 수명 연수에 버금가도록 할 필요성이 있으며 매립식의 경우는 반영구적으로 최소 30년이상, 부착식 및 노출형인 경우 최소 10년간 내구연한이 보증되어야 할 것으로 보인다.

3.2.2. 개선방안

계측기종 선정은 계측기의 현장적용성, 정확성, 정밀도, 내구연한 등을 종합적으로 고려해야 하며 특히 매립식 계측기기인 경우는 반영구적인 내구연한이 보장되어야 하므로 유사 현장조건에 기 적용한 실적이 있는 계측기종을 선정하는 것이 바람직하고, 계측기기의 성능은 검증자료의 표준화와 규격화 및 내구연한기준치의 설정 및 일정기간 시험시공을 통한 검증절차 이행이 필요하며, 계측기기의 자체성능이 아무리 우수하더라도 현장 설치과정 및 후속 공정관리가 미흡하다면 소기의 목적 달성은 어려울 것이다. 현재의 계측항목은 주로 콘크리트라이닝의 변형여부 위주의 계측이므로 앞으로는 변형과 원지반의 외압변화를 동시에 측정하여 터널내부 또는 외부의 환경조건과 하중조건의 변화에 따른 응력분배의 변화와 지보기능을 검증하는 연구가 필요하다.

계측기기의 내구연한은 구조물의 내구연한 동안의 정상작동률(생존률-손망실률)로 표현이 되며, 이는 계측기기의 성능과 내구성, 설치기술자의 기술정도, 후속공정(철근배근, 거푸집설치, 콘크리트타설, 거푸집 제거등)의 철저한 관리여부, 유지관리 기술수준과 투자비에 따라 큰 차이를 보이므로 계측공사비 보다는 계측 기술수준이 높은 업체가 참여될 수 있도록 유도해야 하며, 매립식 계측기기인 경우는 여유율(손망실률)을 전혀 고려하지 않고 설치하였으나, 향후에는 잠정적으로 약 10 ~ 15% 범위 내에서 추가 설치하여 충분한 계측항목 및 유효한 계측데이터를 분석 및 역해석에 반영해야 한다.

3.3 유지관리 계측기술

3.3.1 문제점

계측시스템의 운영은 전반적으로 초기 투자에 우선한 수동계측을 위주로 하였다. 현재 운영실태를 살펴 보면

- 1) 영등포 교차로 교각하부 통과구간 (5-15공구) - 수동계측
 - 대표단면 : 1단면 (복선터널)
 - 계측항목 : 토압계, 간극수압계, 철근 및 콘크리트 응력계
- 2) 한강 하저터널 구간 (5-18공구) - 자동계측 (마포역)
 - 대표관리단면 계측 : 3단면 (단선터널)
 - 계측항목 : 토압계, 간극수압계, 철근 및 콘크리트 응력계, 광섬유 센서
 - 일상관리단면 계측 : 23단면 (단선터널)
- 3) 천호동 구간 (5-42, 43, 45 공구) - 자동계측 (강동역)
 - 일상관리계측 : 4단면 (복선터널)
 - 계측항목 : 광섬유 센서

이에 다른 문제점은 자동화 계측 시스템이 5호선 마포분소와 강동분소로 이원화되어 있어 계측의 효율성이 낮고, 운영프로그램이 MS-DOS 운영체제이며, 계측치 변화에 대한 그래픽기능 등의 계측관리자 편의 위주의 기능이 미비하며, 계측기기를 장거리 케이블(약1.5m)로 연결하여 통신하므로 전·자기장의 영향을 받을 우려가 있다.

그리고 유지관리 계측의 신뢰성과 연속성을 확보하기 위해 계측기 설치업체에서 일정기간 계측 측정, 분석 및 유지관리가 요구되나, 계측기 설치시 발주처와 유지관리시의 발주처가 분리되어 있고, 계약법규상 장기계측 계약이 되지 않아 1년 단위로 유지관리 계측업체를 공개경쟁으로 선정하고 있으며 이로 인해 발생하는 문제점은 다음과 같다.

- 1) 매년 유지관리 계측업체가 변경됨
- 2) 계측업체의 난립으로 과도한 경쟁, 무분별한 저가수주로 계측의 질 저하 우려
 - 3) 3차원 광파측정의 경우 설치업체와 측정업체가 달라 측정 정밀도 저하 (측정기기의 기종 변경에 대한 정밀도 차이, 측정자의 변경으로 개인오차 발생)

4) 계측 분석의 일관성 유지곤란

5) 계측기기의 손상실에 대해 설치업체와 다수의 측정업체간에 의견상충

또한 지하철 공사는 시행단계에서 부터 유지관리단계에 이르기까지 토목, 전기, 신호, 건축 등 복합공정에 따라 관리되므로 유지관리 시에도 이러한 종합system에 의해 계측기기 설치 위치, 설치기술, 및 관리기술 등이 필요하므로 각 각 시행단계별로 유기적인 운영이 필요하나 계측은 토목기술자에 의해 일방적으로 관리되는 실정이다.

3.3.2. 개선방안

2기 1단계 구간에서 시행하고 있는 영등포구간, 한강하저터널, 천호동구간 등은 서울지하철 통합 유지관리 운영체제로 관리가 필요하며 통합 운영프로그램은 원도우 환경에서 대상 구조물의 전경을 배경으로 센서부착단면을 그래픽 화면에서 직접 선택하고, 계측치의 변화량을 즉시 판단하며, 각 계측이력은 실시간과 데이터 베이스의 기록을 통계처리하여 다양한 비교분석이 되도록 통합 운영프로그램 개발 할 필요가 있다. 계측기기의 통신방법은 다양하므로 고전압 및 유도장애, 누설전류, 온도나 습도 주위환경에 관계없이 정상 작동되도록 하며 유지관리비도 고려하여 결정되어야 하므로 통합운영 계측시스템을 실시하여 유지관리 계측의 효율성 증대와 일관성 있는 관리 및 계측치의 신뢰성 증진이 필요하다.

계측 결과 분석 및 유지관리의 일관성을 위하여 설치업체가 일정기간(3~5년)동안 계측분석 및 유지관리가 되도록 장기계속계약 시행하여야 하며 자동계측 시스템을 확대 적용하고, 3차원 광과측정은 측정 인건비 과다소요 및 계측 신뢰도가 낮아 향후에는 3차원 변위측정 수량을 최소화하되 매립식 또는 부착식 계측기기가 설치되는 대표관리단면 계측의 검증을 위한 보조수단으로 사용하는 것이 바람직할 것이다.

유지관리시 계측은 각 전문분야 (토목, 전기, 신호통신, 정보처리 등)의 종합 기술력이 필요하며, 장기간에 걸쳐 계측의 정밀도, 정확도, 내구성이 요구되는 분야이므로 계측계획 초기부터 계측 책임감리를 투입하여 계측계획 적정여부 검토, 계측기기와 계측 시스템의 검수 및 설치확인, 계측 운영체제와 운영 프로그램의 검수 및 정상 작동상태의 확인, 초기치 측정의 시기 및 적정여부 판단 등 각 계측 시공단계별로 계측 책임감리를 시행하여 계측 설치기술과 계측 관리기술이 향상 되도록 계측 책임감리를 시행하여야 할 것이다.

3.4 기 타

3.4.1 계측기술 향상 방안

< 계측기기 및 운영 프로그램 개발 >

계측기기(계측센서, 데이터 로거등)와 운영 프로그램(소프트웨어)은 국내 여러 계측전문업체에서 회사별로 다양한 계측기기를 생산하여 현장에 적용하고 있으나, 생산업체별 기술수준의 차이로 계측기기의 신뢰도가 낮으며, 특히 시스템으로 구성되어 자동계측 시스템으로 설치되는 계측기기는 더욱 신뢰도가 낮은 것이 현실이다. 계측업체별로 또는 계측업체간 통합 연구소를 중심으로 전문화된 분야를 집중 개발하여야 하며 국가기관이나 관련기관에서의 집중적인 지원이 요구된다.

계측기기의 검정과 교정도 현재는 계측업체에서 자체적인 기준에 의해 실시되고 있으나 정밀도와 신뢰도 증진을 위해 국가공인기관이나 가칭 계측협회등에서 주기적인 검교정 실시되어야 하고, 유지관리 계측 운영 프로그램(소프트웨어)도 산·학·연 공동이 참여하여 자동 측정빈도 조절기능, 자가진단기능 및 다양한 시각적 기능, 경보시스템, 네트워크 기능, 인터넷 기능이 종합된 통합 운영프로그램의 개발이 필요하다.

< 계측 분석 시스템 및 분석 기법 개발 >

우수한 계측 시스템에서 신뢰도가 높은 계측 데이터가 장기간에 걸쳐 쌓이게 되면 설정된 분석시기별로 터널의 안전관리와 안전진단등에 필요한 터널의 거동상태와 경향을 연속적이고 체계적으로 분석할 수 있는 계측분석 시스템 및 분석기법이 필요하다. 시공중 계측분야의 경우는 각종 정보의 통합 분석기법이 실용화 단계에 와 있으나, 유지관리 계측분야에서는 연구가 미미한 실정이다. 현재 유지관리 계측 분석 시스템 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 관리기준치와 비교하는 수준으로 지반과 터널 구조물의 역학적인 상호관계에 대한 메카니즘의 분석과 다양한 분석시스템 및 분석기법 개발과 함께 합리적이며 객관적인 터널 안전관리 기준치 설정이 요구되고 있다.

3.4.2. 계측 제도 개선 방안

< 계측 전문업 및 계측 하도급의 법제화 >

현재의 계측분야는 건설기술관리법, 건설산업기본법, 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 엔지니어링기술진흥법등 관련 법규에 계측전문업의 설립요건이나 자격기준이 없어 누구나 회사를 설립하여 영업활동을 할 수 있다. 그러므로 무분별한 영세업체 난립으로 저가의 하도급이 성행하고 이로 인한 불량계측기 설치 및 계측 무자격자에 의한 계측관리로 형식적인 계측이 수행되어 총체적인 부실 계측이 우려되고 있다. 계측업무는 특수한 전문분야로 계측에 대한 전반적인 이해나 경험 없이는 계측기기의 설치, 관리, 데이터 처리, 개략분석 및 평가, 사후관리 등을 할 수 없기 때문에 계측기술자의 경험이 매우 중요하다.

따라서 관계법규를 개정하여 일정수준의 기술인원, 자본금, 사무실, 계측장비를 갖춘 업체가 계측 전문업 또는 계측감리 전문업으로 등록하여 영업활동을 할 수 있도록 하는 법제화가 조속 시행되어야 할 것이다.

< 계측 용역 발주 방법 개선 >

그리고 현재의 계측업체 선정은 시공계약자가 본사나 현장에서 선정하고 있으나 주로 계약금액이 가장 낮은 계측업체가 선정되는 경우가 많다. 이로 인해 계측업체와 시공사간에는 종속관계가 형성되어 실질적인 계측업무보다는 형식적인 계측관리가 되고있는 경우가 많다. 외국의 경우를 보면 계측을 담당하는 업체의 위치가 준감독기관으로 감리단과 시공사보다는 상위에서 시공의 안전성을 위협받는 상황 발생시 시공자에게 직접 공사중단 명령도 내릴 수 있는 독립적인 권한을 받아 독자적인 업무를 수행할 수 있는 체제로 되어 있다.

계측업무는 특성상 계측기 설치나 측정 및 유지관리 시 시공사의 지원과 협조가 필수적이므로 시공사의 도움 없이는 원활한 계측업무 수행이 불가능하며, 계측관리를 통해 설계의 변경 또는 기술자문 등으로 공사비에 영향을 미치므로 현재와 같이 시공사에 종속이 되는 체제에서는 독자적이고 내실 있는 계측관리가 어렵다고 판단된다. 따라서 책임감리용역에 계측용역을 포함하여 발주하는 방안과 발주처에서 계측업체를 직접 선정하여 계측관리하는 방안을 검토하여 효과적인 계측관리가 되도록 발주방법의 개선이 필요하다.

< 계측비 산출기준 개선 >

현재의 계측비 산출기준은 토질 및 기초공사 표준품셈(한국엔지니어링진흥협회, 1996)의 계측관리 부

분으로 이 부분은 크게 흠막이, 터널, 연약지반, 사면으로 구분되어 있으며 일반적으로 수동계측에 의한 방법으로 계측비가 산출되도록 되어 있다.

따라서 자동화계측 시스템이 많이 적용되고 있는 현실을 감안, 토질 및 기초공사 표준품셈을 기초로 하여 계측 재료비, 계측기기 설치비, 측정비, 분석비, 유지관리비등을 합리적으로 적용할 수 있는 산출 기준이 마련되어야 한다.

< 계측기기의 검교정 방법 개선 >

계측기기는 정확한 측정을 위해 사용 전에 검정을 받고 사용 중에는 기계오차에 대하여 주기적인 교정이 필수적이거나, 대부분의 국내 계측기기는 계량 및 측정에 관한 법률 시행규칙(검정의 생략 등) 내용 중 새로이 개발된 계량기로서 검교정 대상이 아니다. 즉 국가표준 및 검인증 기준이 없어 국가공인기관에서의 검교정이 어려운 실정이며, 계측업체에서 자체적인 기준에 의해 검교정이 실시되고 있다.

국산 계측기기인 경우 국립기술품질원에서 검교정 항목과 시험방법을 제정하고, 전국에 등록되어 있는 교정검사기관의 계측기기 검교정 설비를 확충하여 검교정을 할 수 있도록 하는 방안을 검토할 필요가 있다. 외국산 계측기기인 경우 자국 또는 국제적으로 인증받은 기관의 검교정 증명서를 계측기기 납품시 제출받는 방법 또는 검교정 방법에 의해 국내 공인기관에 의뢰하여 검교정하는 방법등이 검토될 수 있다.

4. 맺는 말

서울지하철 건설공사의 계측현황에 대하여 검토한 결과 지하철과 같은 지하구조물은 여타의 다른 구조물과 같이 건설 후 시간이 경과함에 따라 노후화되고 시공 당시의 역학적인 조건과는 상이한 상황이 발생 될 수 있으므로 지하철터널과 같이 장기간 지속적 서비스를 요하는 터널구조물을 효과적인 유지관리를 위해 계측의 필요성이 높아지고 있어 계측의 개선 방향으로서는 건설공사 시행중 실시한 계측결과에 대한 종합적인 분석 및 정리로 설계와 구조해석에 반영 필요하다.

유지관리 계측을 위해 종합적인 자동계측관리를 위한 통합관리시스템 확립하고, 유지관리 계측의 세부지침 제정으로 계측기기 및 계측기기의 검 교정 계측기 설치시 안정성, 설치요령 과 계측업무 방법 등 확립하는 것이 필요하며, 또한 계측 분석 시스템 및 계측 관리 기법 개발 등이 적극적으로 활용 및 연구되어야 할 것이다.