

국내 터널 계측관리의 문제점 및 대책

남 순 성 ((주)은진건설 엔지니어링, 대표이사)

1. 개요

국내의 지하철, 댐, 도로터널, 연약지반상의 단 지조성등의 대규모 건설공사에 계측관리가 본격적으로 시행되기 시작한지 이제 10여년이 경과하였다. 최근에는 고속전철, 특수교량, 지하 LNG탱크에서는 시공중 뿐만 아니라 유지관리분야에서도 지금까지와는 한차원 다른 고도의 계측기술이 요구되며 시행되기 시작하였다.

우리나라는 국토면적이나 인구, 경제규모 등에 비하여 최근까지 어느 국가 보다도 활발하게 건설공사가 시행되어 왔다. 이로 인하여 2기 지하철 공사중에는 국내의 터널막장수가 유럽전체 터널공사에서의 막장수와 비슷하다고 할 정도였다. 이러한 환경은 국내의 건설기술을 비약적으로 발전시킬 수 있는 기회이며 그 중에서도 계측관리는 설계 및 시공관리 기술 발전에 상당한 효과가 예상되어 많은 토목기술자 및 학자들의 기대를 모았던 분야이다.

그러나 현 시점에서 설계 및 시공관리분야에 계측관리가 기대 만큼 기여를 했는지에 대해서는 상당히 회의적이라고 할 수 밖에 없다. 왜냐하면 현재 국내 계측관리용역의 대부분이 시공의 일부 정도로 인식되어 형식적으로 진행되며 간혹 제대로 계측을 수행하여 공사에 반영하고자 하는 노력은 국내의 감리, 감독기관 및 감사시스템의 경직적인

운용으로 시공법의 변경 및 설계변경등에 거의 반영이 되지 않고 있으며 사고시의 귀중한 계측자료는 책임문제로 인하여 사장되고 있는 실정이다.

본 보고서에서는 국내의 건설계측중 주로 터널 계측의 현황과 문제점을 밝히고 그 대책을 제시함으로써 계측관리를 위한 지출이 공사의 안전은 물론 설계, 시공관리기술의 발전에 다소나마 기여할 수 있게 되기를 기대한다.

2. 계측관리의 정의

토목공사는 변화무쌍한 자연을 상대로 인간의 경험과 지식, 노력, 재원을 동원하여 인간이 원하는 안전한 구조물을 축조하는 것이다. 그러나 자연을 상대로 충분히 안전한 구조물을 구축하기에는 경험과 지식, 자원, 시간적인 면등에서 여러 가지의 제약이 따르게 된다. 따라서 자연조건과 구조물 축조과정에서의 여러 가지 현상들을 보다 정확하게 파악하여 설계, 시공에 반영하고자 하는 노력이 필요하게 되었다.

과거에는 시공중 지반과 구조물의 거동에 대한 정확한 정보의 수집이나 그 정보를 바탕으로한 거동을 예측 계산하여 설계 및 시공에 반영하기에는 기술 및 시간적, 경제적인 한계가 있었다. 그러나 최근에 와서는 계측기기의 발전과 함께 설계기술과

컴퓨터의 발달로 실 시간대에 상술한 상당부분의 실행이 가능하게 되었으며, 이것이 바로 정보화시공의 현실화라고 할 수 있다. 이제는 이러한 기술을 적용하는 기업은 건설공사에서 경쟁력이 높아져 발전할 수 있으나 그렇지 못한 경우는 도태될 수밖에 없을 것이다. 따라서 계측관리는 토목공사에서 필수적인 사항이 되었다고 할 수 있을 것이다.

계측관리란 인간의 감각과 계측기기를 통하여 얻은 자료를 공학적으로 정확하게 처리, 분석하여 공사진행을 안전하면서도 경제적으로 수행할 수 있도록 정보를 관리하는 행위이다. 즉, 토목이론과 시공법, 통찰과 경험, 측정기술등을 이용하여 공학적 문제 해결에 필요한 정량적, 정성적인 정보를 얻는 것이다.

3. 터널계측관리의 목적

일반적으로 터널 주변 지반상태를 파악하고 굴착중 일어나는 지반의 거동을 이론적인 해석에 의해 정확히 예측하는 것은 지극히 어려운 일이다. 그 이유는 설계의 안정계산이 사전 지질조사에서 얻어지는 정보에 한계가 있으며 시공시 발생하는 지보재의 응력이나 지반강도 등은 시공방법 및 그 질등에 따라 크게 달라지는 경향이 강하기 때문이다. 그러나 시공중 실측에 의해 얻어진 계측 Data는 각종 지반 정보(즉 지반탄성계수, 소성변형의 계계수, 비등방의 상태, Poisson비, 인장의 진행, 담수상태, 함수율, 초기응력의 상태 및 터널의 Geometric특성, 시공방법, 일차지보의 내압효과와 Timing 등)에 대한 영향을 복합적으로 반영하고 있으므로 이러한 Data를 분석하여 그 결과를 시공에 Feed Back 하면 터널의 안정성을 확보할 수 있고, 또한 현장에 최적한 설계를 적용시킬 수 있어 경제성을 향상시킬 수 있다. 즉, 터널의 시공은 굴착에 의하여 발생하는 지반의 응력과 지반강도의 대·소 관련등에 관심을 두어 지반자체가 가지고 있는 강도를 적극적으로 활용하는 것이

NATM의 특성인데, 터널이 종방향으로 된 구조물이라는 특수성 때문에 사전 지질조사에서 얻어지는 정보에는 한계가 있고 또, 발생응력이나 지반의 강도는 시공의 질에 따라 변화하므로 사전에 예측하기가 매우 어렵다. 그러므로 시공시에 각종 계측을 실시하여 그 결과를 종합적으로 판단하여 설계와 시공에 반영하는 것은 공사의 안정성 및 경제성의 확보에 대단히 중요하다. 이러한 계측의 목적을 구체적으로 요약하면,

1) 안전성의 확인

- 주변 지반의 거동 파악
- 지보재의 효과 파악
- 반복적인 사용에 따른 터널 안전성 확인
- 주변 구조물의 영향 파악

2) 경제성의 확보

- 설계, 시공에 계측결과를 반영하여 경제적인 공사 유도
- 향후 공사 계획시 기초 자료로 활용
- 소송, 보상을 위한 근거 자료로 활용

즉, 현장계측은 조사, 설계, 시공시에 부득이하게 발생하는 오차나 설계·시공상의 오류를 보완하는 것으로서 구체적으로는 시공관리, 안전관리, 설계법의 확인, 유지관리를 하는데 그 목적이 있다.

4. 현황 및 문제점

국내 터널 시공법의 대부분은 NATM공법으로 계획되었고, 특히 지하철의 경우 노선의 대부분이 인구가 밀집된 도심지를 통과하기 때문에 터널시공의 안전성이 무엇보다 중요하다. 따라서 안전하면서도 경제적인 터널을 시공하여야 하는데 이를 위해서는 현지 지반조건에 가장 적합한 지보패턴 및 굴착공법이 적용되어야 한다.

터널의 특성상 지반조건의 상세한 변화 사항을

사전에 알기는 거의 불가능하므로 시공 중의 계측 관리의 중요성은 매우 클 수 밖에 없다. 터널 계측 관리를 성공적으로 수행하기 위해서는 각 계측항목에 대한 합리적인 관리기준치의 산정이 대단히 중요하나, 국내에서는 수 많은 지하철 공사를 수행했음에도 불구하고 국내 건설환경과 암반특성에 맞는 계측에 관한 자료축적이 제대로 되지않아 설계 및 시공에의 활용이 미미한 실정이다.

계측관리가 제대로 수행되지 않고 또, 가치가 있는 자료축적이 안되는 이유를 나름대로 아래에 수록 해 보았다.

1) 막장관찰이 매우 소홀히 취급되고 있다.

터널공사에서 지반조건의 변화를 설계 및 시공법에 반영할 때 가장 중요한 자료인 막장관찰을 대부분의 현장에서 별도 비용 없이 관련 기술자가 거의 전무한 계측업체에 떠맡겨 막장관찰 자료가 없거나 있어도 자료로서의 가치가 없는 것이 대부분이다.

2) 계측빈도, 계측기간, 계기의 손상실등에 대한 기준이 명확하지 않다.

어떤 경우에 측정빈도를 높이거나 낮추느냐, 어떤 조건일때 측정을 종료하느냐, 손상실의 책임 범위 등 이와 관련된 기준이 없으므로 측정빈도를 내리거나, 종료하는데 책임지고 동의하는 감리, 감독이 거의 없어 공사의 진행상황에 따라 소요되는 계측인원이 대폭적으로 변화되며, 경우에 따라서는 수많은 인력과 비용을 들여 전혀가치없는 자료가 폭주하는 경우도 있는 실정이다. 이로 인하여 한정된 자원이 정작 중요한 갱내관찰, 주위구조물 육안관찰 등과 공사진행에 따른 계측결과의 분석에는 제대로 활용되지 못하고 있다.

터널계측의 경우 막장에서 발파작업과 좁고 침침한 작업공간 등 열악한 작업여건에 의해 설치된 계측기들의 손상실이 심하다. 그런데 설치된 계측기의 손상실이 설치오류에 의한 것인지, 과도한

발파 또는 굴착작업 기계나 작업인부의 부주의에 의한 것인지 책임 소재가 불분명하여 계측자와 굴착작업자 사이에 불화가 수시로 발생함에 따라 아예 계측기 설치를 막장에서 상당히 떨어진 위치에 설치하여 계측기의 손상실을 줄이는 수를 쓰고 있다. 이는 결국 계측을 위한 계측이 되어 버리는 결과이다.

3) 계측기기에 대한 검교정이 안되고 있다.

모든 계측기기를 포함한 시험기기는 정확한 측정을 위하여 사용전에 반드시 검정을 거쳐야 하며 사용중 기계오차에 대비하여 주기적인 교정을 하여야 한다.

현재 국내의 건설관련 시험기구는 국가에서 공인하는 기관에 의하여 검교정이 이루어지고 있으나 계측기기에 대해서는 하중계(load cell)를 제외하고는 검교정을 수행하는 기관이 없다. 현재 지하철에서는 계측센서의 경우 생산자가 발행하는 시험성적서로서 검정을 대체하고 있으나 주기적인 검교정이 필요한 계측장비(측정기)에 대해서는 별다른 대책이 없는 실정이다. 일부 계측사에서는 자체 검정기구를 갖추고 검정을 하고 있으나 대부분의 영세한 계측사에서는 검정자체가 불가능하다.

현재, 계측장비의 교정을 위해서는 외국의 생산자에게 보내어 교정 및 수리를 하고 있으나 많은 시간과 비용이 소요되고 있는 실정이다. 여러 가지 계측기기가 활발히 국산화되고 있는데 최근 발주되는 주요 관공사에서는 국산의 경우 공인된 검교정증명서를, 외산의 경우에는 수입관련 증명서와 제작사의 검교정서를 엄격하게 요구하므로 국산 계측기자재의 발전에 막대한 지장이 초래되며 가까운 외화가 낭비되고 있다. 물론 아직 장기간, 동적인 거동계측에는 국산 기자재의 신뢰성은 약할 수밖에 없다.

4) 계측관리용역의 전문성의 문제

계측관리는 조사, 설계, 시공시의 불확실성을 가

능한 제거하여 안전하고 경제적인 공사를 수행하기 위한 것으로서 현장의 주요 구조물 및 지반에 정밀계측기기를 설치하여 실제 구조물 및 지반의 거동을 파악, 분석하여 이를 설계, 시공에 반영하는 매우 전문성을 요하는 분야이다.

효과적이고 정확한 계측관리를 위해서는 해당분야 즉, 토목(토질, 구조분야등)분야와 정확한 측정을 위한 전자, 전기, 기계분야, 계측된 자료의 정확한 관리 및 전송을 위한 정보통신 분야, 토목기술자들이 효율적으로 계측결과를 분석 및 활용할 수 있도록 수많은 계측자료를 효과적으로 관리하는 정보처리분야가 종합적으로 어우러져야 한다.

- 국내실정; 계측관리용역이 전문분야로 제한사항이 없기 때문에 누구나 회사를 설립하여 용역을 수행할 수 있다. 이로 인하여 전문기술로서 평가되지 못하고 오직 가격과 로비력으로 업체가 결정되고 있다. 특히 IMF 이후 이들 계측업체들의 구조조정에 따라 배출된 인원들이 수명단위로 모여 다시 회사를 만들고 로비력이 있는 공무원이나 공기업 명퇴자 및 대기업체 임원명퇴자를 영입하여 계측용역시장에 뛰어 들므로써 회사가 날립하여 예가의 50%이하에 낙찰되는 일이 다반사로서 실제 현장계측관리는 거의 형식에 흐르고 있는 실정이다.

현 제도하에서는 우수한 기술진을 갖춘 회사는 높은 인건비와 계측값을 실제시공에 반영하려는 분석관련 비용등으로 가격면에서는 거의 경쟁력이 약하여 고사위기에 처해있다. 단지 최근 일부 대형 건설회사 임직원들의 자각으로 실질적인 계측을 위하여 이 분야에서 PQ입찰제를 도입하여 운영함에 따라 우수한 기술력과 장비를 갖춘 계측전문사들이 명맥을 유지하고 있는 실정이다.

5) 공사비 대비 계측관리비가 현장마다 천차만별이다.

국내에는 공종별 계측관리계획에 대한 기준이 없기 때문에 비슷한 공사 및 공종에서도 계측항목,

수량 과업범위등이 매우 달라 공사비 대비 계측관리비가 천차만별인 상황이다.

계측관리는 조사, 설계, 시공시의 불확실성을 제거하기 위하여 실시하는 것이기 때문에 일률적인 기준을 마련할 수는 없다. 그러나 외국의 경우, 여러 가지 공사에 대한 축적된 시공자료를 바탕으로 총공사비 대비 계측관리비가 약 1~3%에 해당한다는 보고가 있다.

비록 우리나라의 계측관리 역사가 길지않고 해당기록이 잘 보존되지 않아 정확한 기준마련은 어려우나 보편타당한 방법으로 공종별 계측항목 및 설치단면수와 계측빈도, 분석방법등 과업범위에 대한 구체적인 사항을 미리 정하여 이를 설계에 반영할 필요가 있으며 지금부터라도 공사관련 기록의 관리, 보전에 힘써야 할 것이다.

6) 계측관리비의 예산산정 및 정산이 어렵다.

국내 계측관리용역이 본격 시작된 2기 지하철 공사초기에 계측관련 품셈이 제정되지 않아 계측관리용역에 대한 상세한 내역이 없어 용역예산작성이나 용역비 집행시에 발주처와 원청사, 원청사와 하도업체간에 분쟁의 소지가 많았다. 또한 계측관리의 근본적인 목적인 계측결과와 시공현장에서의 직접반영에 필요한 분석용역에 관한 비용이 생략되어 있었다.

이와같이 계측결과와 분석에 관한 책임이 전혀 없으므로 토목과는 무관한 수입외파상등에 의해 계측기자재가 수입이 되고, 계측기기를 팔기위한 서비스로서 계측관리용역이 진행됨에 따라 계측관리의 원래의 목적과 기능이 도외시 된 채, 왜 계측을 하는지도 알지 못하며, 측정원리도 모르는 인력에 의해 단순히 모니터의 값을 읽어 원청사에 보고하는 형식적인 계측이 되어, 마치 납품·설치만이 계측관리용역의 전부인 것으로 오해되기까지 하고 있는 실정이다.

이러한 문제점을 타개하기 위하여 한국엔지니어링진흥협회에서는 1985. 5. 7에 제정 공시된 표준

품셈 제4호 土質 및 基礎調査 標準 품셈중에 제 5 장 계측관리를 삽입하여 1996. 2. 22에 최종승인을 득한바 있다.

7) 시공사를 통한 계측관리에 따라 계측결과와 왜곡, 저가의 하도급으로 계측관리의 부실화 촉진

현재 계측관리용역을 토지공사외의 거의 대부분의 발주처에서 원청시공사에 예산을 넘겨 시공사 책임으로 수행토록하고 있으나 대부분의 원청시공사가 전체 공사비 중 적은부분이며 전문기술로서의 중요성에 대한 인식이 부족하여 단지 하나의 귀찮은 공정으로 간주하고 있다.

따라서 일부 시공사를 제외하고는 기술력에 대한 고려나 평가 없이 최저가에 하도급을 주고 있어, 실제 집행되는 계측관리비는 당초 발주처의 예산에 비해서도 현저히 낮아지고 있으며 IMF이후 더욱 그러한 현상이 두드러지고 있다.

계측관리에 대한 원청사의 인식이 대부분 매우 낮기 때문에 계측회사에 전적으로 떠 맡기다 시피 하고 있어 계측결과가 시공에 제대로 반영되지 않고 시공사에 불리한 계측결과가 나올 경우 은폐, 수정토록 하도업체인 계측회사에 압력을 가하는 형편이다.

5. 효과적인 계측관리를 위한 대책

1) 터널계측관리의 핵심은 막장관찰을 통한 실제 지반조건의 파악 및 설계시 가정된 지반조건과의 비교와 시공속도, 시공 패턴등의 자료와 계측기에 의한 거동 측정결과를 비교 분석하여 현단계의 안전을 판단하고 다음단계의 설계 및 시공에 반영하는 것이다. 즉, 막장관찰은 터널계측관리에서 기술적으로 가장 중요한 사항이라고 할 수 있다. 따라서 막장관찰은 반드시 지반, 지질분야의 전문지식을 갖춘 기술자가 수행하도록 규정하여야 할 것이다.

2) 한정된 자원으로 효과적인 계측을 하기 위해서는 계측기간, 계측빈도에 대한 합리적인 원칙이 필수적이며, 또한 공사관계자들이 이를 탄력적이고 효과적으로 잘 적용하고 운용하는 지혜가 필요하다. 따라서 시방서에 이에 관한 합리적인 기준과 책임소재, 운용방법에 대한 지침이 명확하게 기록되어야 할 것이다.

터널내 열악한 작업 환경하에서의 책임소재가 불분명한 손망실과 이로 인한 계측자와 작업자간의 분란, 이를 피하기 위한 막장근접 위치 설치 기피 현상등을 방지하기 위하여, 우선 터널내의 시공 작업인력에 대한 교육이 반드시 이루어 져야 하며 아울러 계측기의 설치, 보호기술에 대한 계측전문회사의 부단한 연구개발 노력이 요구된다. 그러나 이런 노력에 의해서도 해결하기 곤란한 부분이 있으므로 예산작성시 계측기의 손망실에 대하여 합리적인 비용이 반영되어야 효율적이고 실용성있는 계측관리가 가능할 것이다.

3) 정밀기구의 생명은 정확성이다. 따라서 반드시 검교정이 필수적이다. 우선 계측기자재에 대한 국내표준(KS)규격이 제정됨과 아울러 검교정이 국내에서 가능하도록 하는 조치가 있어야 할 것이다.

검교정의 방법으로는 기존의 국가 공인 검교정 기관으로 하여금 계측기기에 대한 검교정 장비를 갖추어 검교정이 가능하게 하거나 계측기자재의 검정기구가 매우 고가이므로 전설계측협회(아직 결성되어 있지 않음)등과 같은 업자 단체에서 시행할 수 있도록 하는 방법이 있다. 그외에 외국의 경우와 같이 생산방법에 대한 ISO 인증 및 계측기에 대하여 각 나라의 표준규격의 생산자 인증을 받은 업체로 하여금 자체의 검교정을 국가에서 인정해주는 방법이 있다.

4) 계측관리분야가 하나의 분명한 전문기술인 만큼 기술발전과 보호를 위하여 반드시 일정기준 이상의 기술력과 장비를 갖추어 과당경쟁으로 인

한 질저하를 방지하여야 할 것이다. 이를 위한 구체적 방안으로서

1 안 ; 시설물의 안전관리에 관한 특별법령에 따라 지정된 안전진단 전문기관에서 계측에 관련된 장비와 인력(토목 관련기술자외에 전기, 전자, 기계, 정보통신, 정보처리분야의 기술자)를 보완하여 계측관리용역을 수행토록 하는 방안.

- 장점; 현재 안전진단업무시에 계측을 많이 활용하므로 업무의 유사성이 있으며 기술인력 또한 중복되고 독립적인 업무영역으로 철저한 안전관리가 가능함. 현재 일감부족으로 과당경쟁에 존재의 위기에 있는 안전진단업체를 구제 할 수 있음.
- 단점; 현재 안전진단업체가 난립하여 형식적인 진단이라는 시비가 이어지며 저가수주에 시달리고 있는 상황임. 계측은 시공중에 주로 실시하므로 시공사와의 협조가 매우 중요하나 현재의 안전진단 수행 상황을 보면 협조체제가 쉽지않아 다소 어려움이 예상됨. 따라서 계측 관리를 위해서는 상기와 같이 협조분야의 인력과 계측 장비의 보완이 필요함.

2 안 ; 건설기술관리법 시행령의 제 49조 【품질검사전문기관의 지정등】에서 4. 특수분야에 계측관

리분야를 삽입하는 방안. 토목분야의 기술인력과 그 외 계측과 관련된 분야(전자, 전기, 기계, 정보통신, 정보처리)의 인력과 장비를 보완하도록 함.

- 장점; 품질관리의 한 부분이면서 건설분야의 특성을 비교적 잘 반영할 뿐 아니라 여러분야가 종합적이고 유기적으로 협조하여야 가능한 특수성을 잘 살릴 수 있음.
- 단점; 계측의 기능 중 안전관리의 기능이 비교적 덜 반영될 수 있다.

5) 계측관리예산 작성시 품셈을 적극사용하여 과업의 범위를 명확히하고 비용또한 합리적으로 계상한다면 우수한 기술인력이 좋은 장비로 계측관리용역을 성실히 수행하여 건설공사의 안전, 품질, 시공관리면에서 실질적인 도움이 될 뿐 아니라 향후 설계 및 시공기술의 발전에 이바지 할수 있을 것이다.

6) 왜곡되지 않은 실제 계측결과를 제대로 설계 및 시공에 반영하기 위해서는 발주방식을 시공사를 통하지 않고 감리와 같이 발주처의 직접발주 방식이 요구된다. 시공사의 비협조등 약간의 어려움은 예상되나 독자적인 관리기능 및 전문분야로서의 지위가 확보된다면 건설 기술의 상당한 발전이 예상된다.