

연약지반상의 현장계측관리 실태와 개선방향 고찰(도로를 중심으로)

The reviews and Proposals for field instrumentation and management in embankment construction on soft ground

정종홍¹⁾ Jong-Hong Jung, 김홍중²⁾ Hong-Jong Kim, 김성환³⁾ Sung-Hwan Kim

¹⁾ 한국도로공사 서해2건설사업소 연구원, Researcher, Highway Research Center, KHC

²⁾ 한국도로공사 서해2건설사업소 책임연구원, Chief Researcher, Highway Research Center, KHC

³⁾ 한국도로공사 도로연구소 수석연구원, Research Director, Highway Research Center, KHC

SYNOPSIS : Field instrumentation has been important part of construction management in embankment on soft ground. Most of all, well organized plan, instrumentation, maintenance, analysis and feed-back to the construction procedure are the key to the successful construction.

In this paper, We review problems of field instrumentation has been performed at road construction on soft ground. And then, several proposals to improve field instrumentation and management are suggested

Keywords : field instrumentation, soft ground

1. 서론

현재 모든 토목공사에서 계측관리를 포함한 정보화 시공은 매우 중요한 시공관리의 요소가 되고 있다. 연약지반상의 도로성토에서도 조사-설계-시공에서 발생하는 불확실성과 침하 및 파괴 등의 기술적 문제들을 극복하기 위해 시공 중 및 후에도 체계적인 계측관리가 필수적이다. 특히 계측관리는 사전 조사에 의한 계측 계획, 계측기 선정, 매설 및 계측(계측빈도 등), 유지관리 등이 체계적으로 이루어져야 하며 계측된 결과에 대한 정확하고 합리적인 해석과 신속한 정보전달, 피드백(Feed-back)등 일련의 과정이 매우 중요하다. 이러한 현장계측 자료의 분석과 결과의 이용은 해당 공종의 성패를 좌우하는 결정적인 요소가 된다.

그러나, 현행 계측관리 실태를 살펴보면, 계측이나 분석기술 등 기술적인 문제 외에도 발주방식과 관행적으로 이루어지고 있는 계측관리 체계 등 일련의 과정에서 몇가지 문제점이 발견할 수 있다. 따라서 정상적인 기술행위와 이를 통한 건설시공을 위해서는 조속히 개선되어야 할 사항이다. 본 논문에서는 현장 계측관리 실태의 문제점과 발주 - 계측기 매설 및 계측 - 분석 - 유지관리 등으로 이어지는 일련의 과정에 대해 제도와 현장 계측관리 여건 등 기술 외적인 부분을 중심으로 몇 가지 개선안을 제시하고자 한다.

2. 계측관리 실태와 문제점

현행 우리나라의 계측관리 실태를 살펴보면, 그간의 노력과 성과에도 불구하고 계측기기의 기술수준, 계측 및 분석 기술 등의 기술적인 문제는 차치하고도 이러한 기술행위를 위한 관행, 제도와 장치에 있어서 몇 가지 문제점들이 대두되고 있다.

이러한 기술외적인 문제점의 핵심은 ①합리적인 계측기 매설 계획(수량, 종류, 위치 등)의 수립과 ②신속하고 시기 적절한 정보의 획득을 위해 충분한 인적, 물적자원(계측인원과 장비)과 ③정확한 분석을 위

한 기술력(고급기술인력), ④신속한 의사전달 및 시공상황으로 피드백을 위한 의사소통 체계 ⑤관리감독을 위한 정확한 시방과 지침의 정비 등이라 할 수 있고 이러한 사항은 계측관리에서 가장 중요한 부분이기도 하다. 이러한 관점에서 현행 우리나라의 계측관리의 문제점을 대략 다음과 같이 요약하였다.

2.1 계측계획 수립의 문제점

2.1.1 설계시 계측기 매설계획 수립 상의 문제점

계측계획의 수립단계라고 할 수 있는 실시설계시, 계측관리를 위한 세부 계측기 매설 계획 및 설계는 여타의 공종에 비해 상대적으로 안이하게 다루어지고 있다. 특히, 계측전문가의 의견이나 검토 등이 적절히 반영되지 않고 있는 실정으로서 그 결과 계측결과의 효용성을 결정하는 계측기 선정, 품질(성능), 계측기 종류별 매설위치 및 수량 등의 결정에 있어 지반조사 결과와 목적물의 규모, 해당 구간의 지형적 특성, 구조물 위치, 지장물 등이 적절히 반영되지 않고 일률적인 기준에 의해 일정 간격의 위치와 수량을 결정하는 수준의 설계나 계획이 이루어지는 것이 보통이다.

이러한 이유로, 계측목적이 분명하지 않은 계측기가 과다하게 반영되거나 꼭 필요한 지점에는 누락되는 등의 문제가 발생하게 되며 현장마다 그 수량과 위치가 합당한 기준없이 과다 또는 과소하게 결정되어지는 경우가 허다하다. 또, 현장답사 등의 사전조사가 적절히 수행되지 않은 결과로 매설이 불가능한 지점에 매설하는 것으로 반영되어 있는 등 실제 시공상황과 부합되지 어려운 계측계획의 수립이 이루어지는 문제점이 있다.

2.1.2 계측관리(인적, 물적자원 투입) 계획의 문제점

계측기 매설계획이 수립된 후 이를 계측하고 분석, 관리할 인적, 물적 투입 및 관리계획을 수립하게 된다. 계측관리의 특성상 자료의 신뢰성을 확보할 수 있는 계측기 매설기술은 정확하다고 전제하더라도 신속하고 시기 적절한 정보의 획득을 위해 충분한 인적, 물적자원(계측인원과 장비)과 정확한 분석과 기술적 판단을 위한 기술력(고급기술인력)의 확보가 매우 중요하다. [표]2.1은 서해안고속도로 건설공사(00구간) 현장의 계측관리를 위한 인적자원 예이다.

표2.1 계측용역에 투입되는 인적자원현황의 예

구 분	계 측	분 석	비 고
설계에 명시된 기술자의 등급과 인원	고급 기술자 1인 중급 기술자 1인 초급 기술자 1인 중급 기능사 2인	특급 기술자 1인 고급 기술자 1인 중급 기능사 1인	계측 및 정리비 : 고급기술자(A1) 1인×0.1×111,484 초급기술자(A2) 1인×0.1×90,147 초급기술자(A3) 1인×0.2×63,872 중급기능사(A4) 1인×0.2×55,263
하도급시(현설) 명시된 인원	초(중)급 기술자 1인 기능사 3인	-	(A1+A2+A3+A4)×27개월 = 1,187,732.7
실제 운용 기술자 등급과 인원	초(중)급 기술자 1~2인 기능사 2~4인	특급기술자 1인(비상주) 초(중)급 기술자 1인(상주)	분석비 : 특급기술자(A5) 1인×0.02×153,805 고급기술자(A6) 1인×0.04×11,484 중급기능사(A7) 1인×0.05×55,263 (A5+A6+A7)×27개월 = 278,062

표2.1에서 설계에 명시된 기술자의 등급과 인원은 단일 항목의 계측기에 대한 계측 및 분석 인원이고 실제 운용 기술자 현황은 모든 항목의 계측을 총괄하고 있는 실제 가용 인력이다. 결과적으로 설계에 명시된 인적자원과는 아무 상관없이 원도급자(시공사)와 계측업체간의 계약관계에 의해서만 계측인원이 결정되고 투입된 것을 알 수 있다. 그나마 기능사의 경우, 현재직을 고용하는 경우가 많아 경험이 적고

잡은 이직과 퇴사 등으로 인해 전문성이나 업무의 연속성 등은 기대하기 어려운 실정이다. 또 계측장비의 경우에도 인적자원과 마찬가지로 각 계측항목별로 1기 정도가 운용되고 있어 해당 장비에 고장이 발생하거나 계측 대상이 많은 경우 정상적인 계측이 불가능하다. 따라서, 현행 시방과 지침에 의한 계측빈도를 준수하기에도 절대 인원과 계측장비가 부족한 실정이다. 이것은 현행 설계방법 및 제도하에서는 계측기 종류나 수량, 분석결과와 판단과 현장 적용성 등에 관계없이 일위대가에 의한 산출(자재비, 기계손료, 계측 및 정리비, 분석비)에만 근거하고 있어 기술자의 상주여부나 어떤 등급의 기술자가 어느 수준의 분석을 수행해야 하는지에 대해 분명히 정해지지 않은 것에도 일정 부분의 책임이 있다고 하겠다. 마찬가지로, 계측결과와 분석의 경우에도 관행적으로 책임자인 특급기술자가 현장 비상주 하는 경우가 대부분이어서 현장의 시공상황을 정확히 파악할 수 없을 뿐만 아니라 신속한 분석과 판단이 요구되는 현장계측관리에서 그 효용성이 떨어진다. 따라서, 계측에 의한 결과분석과 결과의 현장 적용에 따른 시공계획 변경 등 시간을 다투는 현장 시공에서는 중요한 정보를 놓치게 되어 문제가 발생한 이후에나 인지하게 되는 경우가 허다하다. 실제로 연약지반상 성토공사에서 발생한 전단파괴의 사례를 살펴보면 이미 파괴 이전부터 계측결과에서 파괴 또는 과도한 변형의 징후가 나타나고 있었음을 알 수 있다. 또, 매월 보고되는 “월간계측보고서”를 살펴보면 각 항목별 계측결과와 나열이 대부분을 차지하고 분석이 되었다 하더라도 초보적인 수준이거나 원론적인 수준에 머물고 있어 각 단계별 성토시공에서 필요한 종합적인 안정성 분석이나 시간-침하 거동 분석 등은 기대하기 어렵다. 한편, 그림2.1은 서해안 고속도로 건설현장의 계측관리 비용의 구성비를 나타낸 것으로 전체 계측관리비 중에서 자재 및 설치비가 70% 이상을 차지하고 계측 및 분석비는 30% 정도에 지나지 않는다. 총 공사비 대비 계측용역비의 비율에서도 설계가 기준으로 1% 내외이며 도급액을 기준으로 볼때 0.5% 내외로 비교적 낮은 편이어서 계측과 분석이라는 기술행위에 계측업체가 책임감을 가지고 적극적으로 참여하기에 다소 무리가 있는 점도 문제점이라 할 수 있겠다.

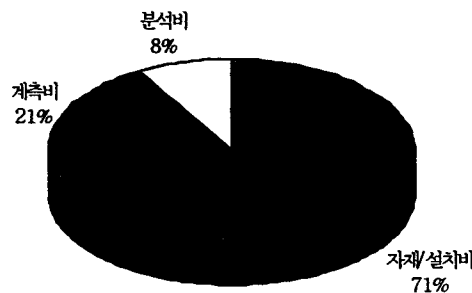


그림2.1 계측관리 비용의 구성

2.2 의사전달 체계의 문제

정확한 매설과 계측 및 분석이 이루어졌다 하더라도 이러한 기술적 판단을 신속히 전파하고 이를 시공상황에 피드백(Feed-Back)하는 체계가 없으면 지금까지의 계측결과는 무용지물이다. 다음에 좀더 자세히 언급하겠지만 근본적으로는 현행 제도하에서 계측용역이 원도급자(시공사)의 하도급 체제로 되어 있어 시공사의 통제와 관리를 받을 수 밖에 없다. 따라서, 계측을 담당하고 있는 기술자는 계측결과에 근거한 기술적인 판단을 시공자에게 관철시키기 어려운 상황이다. 특히 현행 계측은 시공계획에 의한 시공-계측-분석 및 판단-계측결과가 반영된 시공 등과 같은 과정을 통하여 이루어 진다기 보다 대부분 원도급사의 시공상황에 따라 계측이 시행되므로 돌발상황이나 예정되지 않은 시공이 계측관리 당사자와 협조없이 자주 발생하여 체계적인 계측이나 분석이 매우 어려운 실정이다. 이러한 문제점은 원칙적으로 현행 발주방식과 계측관리 계획의 문제점에 일차적인 책임이 있기는 하나 관계자의 계측관리에 대한 인

식과 현장에서 이루어지는 관행적인 시공관리에도 문제가 있다 하겠다.

일반적인 시공현장의 구성과 계측관리에서의 의사전달 체계는 그림2.2과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 시공사의 관리 체제하에 있는 계측기술자의 판단이 감독관을 거쳐 다시 시공상황에 피드백 되기까지는 여러 단계의 보고절차를 거쳐야 하며 이 과정에서 담당자간의 이견과 인식의 차이, 유기적 의사소통의 부재 등으로 인해 정확하고 신속한 의사전달은 기대하기 어렵다.

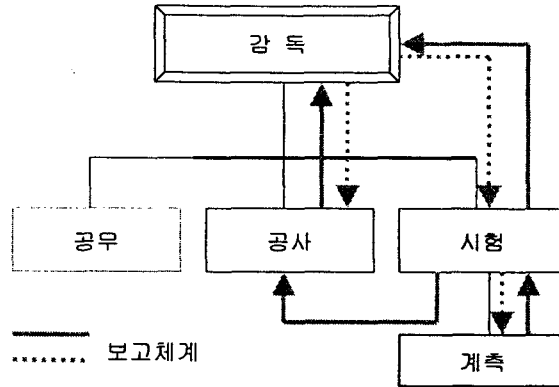


그림2.2 시공현장의 구성과 계측관리 보고체계

2.3 관리감독을 위한 시방이나 지침의 문제점

현행 토목공사의 시방에는 매설될 계측기의 종류와 개략적인 위치 및 계측빈도 뿐만 아니라 계측기 선정, 계측작업, 계측관리방법, 분석의 내용, 보고체계 등이 명시되어 있기는 하나 실질적인 지침이기보다는 다소 원론적이고 참고자료의 성격이 강하다. 실제 현장계측관리에서는 오계측이나 계측 누락 등이 자주 발생하며 계측업체는 시공상황이나 시공조건에 관계없이 시방서에 규정된 일률적인 빈도만을 준수하려는 경향이 있다. 현행 시방이나 지침에 따르면 이러한 사항을 포함하여 결과의 분석, 후속 공정의 의사결정 등을 감독관과 협의, 보고, 승인을 얻도록 하고 있으나 현행 감독체계의 현실을 감안할 때 현실성이 없다. 따라서 대부분의 경우 계측용역업체의 기술수준이나 관리감독자의 관리능력에 따라 천차만별의 결과가 도출되는 현실이다.

2.4 계측관리 용역 발주 체계상의 문제

언급한 바와 같이 현행 제도하에서는 계측 용역사가 시공사(원도급사)의 하도급 체제로 되어 있어 시공사의 관리체제 속에서 목적하는 시공관리가 되기 위한 적극적인 기술행위나 이를 전달하는 일련의 의사소통 과정이 어렵게 되어 있다. 따라서 계측관리의 핵심인 신속한 불안정 징후의 인지과 전파, 분석과 피드백, 이를 통한 대책수립 등의 과정이 적절히 시공상황에 반영되지 못함으로써 많은 비용과 시간, 인력의 손실은 물론 어렵게 매설한 계측기의 본래의 기능까지 손상시키는 결과를 가져온다.

이와 관련하여 발생하는 다른 문제점은 계측용역과 관련한 용역가액에 대한 문제이다. 표2.2는 우리나라에서 비교적 최근에 발주된 한 현장의 계측용역 발주현황이다. 표에서 볼 수 있듯이 설계가액을 살펴보면 평균 (1억4천만원/연약지반연장1km) 정도의 금액이 반영된 것을 볼 수 있으며 설계자의 입장에서 보면 비교적 합리적인 금액이라 할 수 있다. 다만 발주처-원도급사-계측업체와의 일련의 계약과정에서 상당한 손실이 발생함을 알 수 있다. 따라서 현행 “최저 입찰제”하에서는 현재 난립하고 있는 업체들의 과당 경쟁으로 저가낙찰이 많고 낙찰된 업체도 적절한 이윤을 보장받기는 어렵다. 그럴 경우, 짧은 공기 등 건설환경이 열악한 환경에서는 안정한 시공관리를 위한 정상적인 계측관리가 시행된다고 보기는 어렵다.

또 다른 문제점은 상기 발주체계와 관련하여 계측관리 용역업체의 선정이 전적으로 원도급자(시공사)에 달려 있기 때문에 선정업체의 기술수준(계측기의 종류, 품질, 기술수준, 분석수준, 기술자의 보유 여부)을 합리적으로 평가하거나 검증할 수 없어 엄격한 선정절차(P/Q심사 등)를 통해 결정되는 것과는 비교가 된다.

표2.2 계측용역 발주현황

공구	연약지반 연장(km)	설계가액(백만원)①	원도급액(백만원)	하도급액(백만원)②	비 고(②/①)
A	3.8	660	570	540	81.8%
B	8.8	1,276	963	460	36.1%
C	4.6	412	308	308	74.8%
D	5.5	880	693	479	54.4%
E	2.5	265	218	240	90.6%

본 자료는 100m당 침하관 3EA,
200m마다 경사계(좌,우), 간극수압계(중앙), 지하수위계, 층별침하계(중앙) 1식을 반영한 경우의 산출금액임.

3. 개선방안

3.1 계측계획의 수립의 내실화

3.1.1 계측기 매설계획

계측기 매설계획을 수립 할때, 계측기 종류 선정, 품질(성능), 매설위치, 수량 등의 결정은 지반조사 결과와 목적물의 규모, 해당 구간의 지형적 특성, 구조물 위치, 지장물 등이 고려되어야 하며 일률적인 기준에 의해 일정 간격의 위치와 수량으로 정해지는 것이 아니고 전문 기술자의 의견이나 판단이 반영되어야 할 것으로 판단된다.

그 대안으로 설계시, 계측전문가의 기술적 판단과 의견이 적절히 반영될 수 있도록 해야 할 것이다. 설계에 참여하는 계측전문가는 충분한 지반조사결과를 바탕으로 사전조사(현장 답사, 기 시행한 건설공사의 실적 등)를 철저히 시행하고 목적물의 규모나 현장여건 등을 고려하여 계측목적에 부합하는 계측기의 선정과 수량 및 위치를 결정해야 할 것이다.

실제 현장의 시공여건은 설계시와 상이할 수 있으며, 특히 공사 착공 후 확인조사, 연약지반 처리공법 적용시 얻을 수 있는 추가적인 정보에 의해 계측기의 종류와 위치 및 수량에 변경이 융통성 있게 수행될 수 있도록 전문가의 지속적인 공사 참여가 반드시 필요하다.

3.1.2 계측관리(인적, 물적투입)계획의 개선

현행 일위대가에 의한 계측 및 분석인원의 책정 방식은 현실적으로 불합리한 점이 있어 시공상황을 고려하여 충분한 정도의 계측관리가 이루어지기 위해서는 현재보다는 더 많은 인원이 투입되어야 할 필요가 있다. 또,현장 계측기의 종류 및 수량에 따라 측정장비의 충분한 지원이 필요하다.

현재까지의 현장 계측관리 실태를 파악한 결과를 토대로 적정 계측관리 인원을 산출해 보면 그림3.1 및 표3.1과 같다. 측정장비는 제시된 인원을 한 팀으로 할때 최소한 각 팀에 1식을 지원해야 할 것이다. 침하계측을 위한 측량은 현재 일반 시공측량과 일식으로 단가 및 수량이 책정되어 있으나 계측의 특성상 시공측량과 분리하여 별도의 측량팀을 두는 것이 바람직하다.

계측, 관리, 분석에 필요한 기술자의 등급과 인원 및 현장 상주여부를 분명히 해야 하며 해당 프로젝트

트의 규모에 따라 다르겠지만 최소한 계측을 총괄할 중급 이상의 기술자 1인과 분석을 담당할 고급 또는 특급 기술자 1인에 대해서는 현장상주를 원칙으로 하는 것이 타당하며 이에 상응하는 계측 및 분석비를 반영해야 할 것이다.

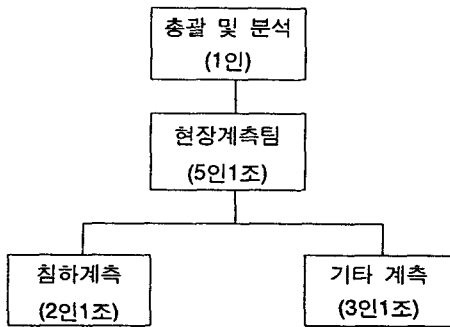


그림3.1 계측팀의 구성

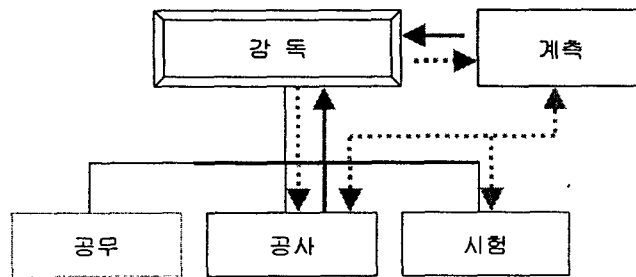
표3.1 적정 계측인원

계 측 기	적정 인원	비 고
지표침하판	2인 1조	25~30개 단면 당 1조 (연장 2.5~3km)
층별침하계		
경사계	3인 1조	13~15개 단면당 1조 (연장 2.5~3km)
간극수압계		
지하수위계		

분석과 관련하여 인력과 장비의 낭비를 막고 계측관리 효율을 극대화 하기 위한 방안으로 해당 프로젝트 단위로 각 용역업체가 컨소시엄(Consortium)을 구성하여 각 현장에는 현장계측인력을 파견하고 분석과 관리에 필요한 기술인력과 장비를 한 곳에 집중하여 건설사업소 등 공사총괄부서(예: 건설사업소)의 직할 자문기구의 형식으로 운영하는 방식을 고려해 볼 수 있을 것이다. 이 방안은 의사전달 체계가 단일화 되고 자동적으로 공사와 관련한 감독권의 일부가 부여되며 업무효율을 높일 수 있으나 일차적으로 각 업체가 사용하고 있는 계측기의 사양이나 관리기준 등을 통일할 필요가 있으며 현장과의 신속한 정보교환을 위한 기반시설(통신망 등)과 업체간의 이해관계 조정, 발주와 관련한 제도와 행정 사항 등이 선결 과제이다.

3.2. 의사전달 체계의 개선

계측관리 본래의 목적에 부합하는 계측-분석 및 판단-시공상황에 피드백 등의 과정을 원활히 수행하기 위해서는 계측을 담당하는 기술자의 의견이 시공자와 감독관에 직접 전달되고 지체없이 시공상황에 반영되어야 한다. 이를 위해서는 다음과 같은 신속한 보고 체계가 이루어지는 것이 바람직하며 계측-공사-감독이 정기 및 수시로 회의를 실시하여 계측결과에 따라 공정 조정, 성토속도 조정 등의 시공상황에 즉시 반영하는 것이 바람직하다.



..... 보고체계

그림3.2 개선된 의사전달 체계

3.3 시방이나 지침의 정비

현행 시방에 명시된 계측목적에 부합하는 계측기의 성능이나 내구성, 매설 및 관리방법, 분석의 내용

보고체계 등에 대해 보다 상세한 기준을 설정하고 책임과 권한을 분명히 하여 계측관리 시행에 발생하는 오해와 곡해의 여지와 혼란을 미연에 방지할 필요가 있다. 그러나 이 문제는 단기간에 해결하기에는 어려움이 있고 시방과 지침으로 시공현장의 변화무쌍한 상황을 모두 극복하기는 역부족이므로 각 계측업체와 시공자, 발주처 간의 지속적인 노력과 협의가 필요하다. 다만 계측용역업체 선정기준 등에 대해서는 우수한 기술력과 풍부한 실적을 갖춘 업체가 우선권을 부여받을 수 있도록 엄격하고 공정한 심사제도를 도입해야 할 것으로 판단된다. 이러한 심사제도는 중소기업의 난립과 과당 경쟁으로 적정 이윤을 보장 받기 어려운 현실에 비추어 책임있는 기술행위와 이에 상응하는 대가를 유도하는 하나의 방안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

3.4 계측관리 용역발주 형식의 개선

현장에서 정상적인 기술행위가 가능해지기 위해서는 계측관리자에 제한된 범위의 감독기능(성토속도 조정, 성토중지 지시 등)을 부여할 수 있는 제도적 장치가 필요하다. 이를 위해서는 현행 발주 방식 자체에 대한 수정을 고려해 볼 수 있다.

현행 발주 방식에 대한 대안으로 ①실시설계시에 설계용역 업체와 계측용역 업체가 공동으로 설계에 참여하여 전문 기술자의 의견을 반영하는 것을 보장하는 방안이나 전술한 바와 같이 ②공사 발주 후 선정된 각 계측업체가 컨소시엄(Consotium)을 구성하여 계측관리에 참여하도록 하는 방안, ③계측용역(계측계획, 계측, 분석 일체)을 발주처에서 별도 발주하는 방안 등을 들 수 있겠다.

그러나, 업체간 과당경쟁에 의한 저가낙찰로 발생하는 손실분에 대해서는 별도 논의의 대상으로 업체 스스로 이를 지양하고 기술개발, 경쟁력 강화 등에 노력하는 자세가 요구된다 하겠다. 이러한 분위기 조성을 위해서는 전술한 바와 같이 계측업체 선정시 자격심사제도 도입이 절실하며 업체가 당해 프로젝트를 수행할 수 있는 기술적, 조직적 능력을 보유하고 있는지를 충분히 검토하도록 하고 특히 무분별한 중소기업의 난립을 억제하여 과당경쟁을 막고 자생적인 기술개발 노력과 책임감 있는 프로젝트 참여를 유도하는 것이 바람직하다.

4. 결론

현행 현장 계측관리의 실태를 조사하고 현장관리의 경험과 자료를 토대로 기술적인 면보다 제도와 관행의 문제에 초점을 맞추어 기술외적인 부분을 중심으로 문제점을 도출하고 그 개선방향을 제시하였다.

제도와 관행의 측면에서 계측관리의 문제점은 주로 계획수립 및 발주형식과 관련한 문제, 시방이나 지침, 계측관리에 대한 인식 등의 문제로 볼 수 있었으며 계측계획 수립의 내실화, 인적, 물적 자원 투입의 현실화, 발주형식 수정, 시방이나 지침의 정비 등을 대안으로 제시하였다. 물론 제시된 개선방안으로 모든 문제를 해결하기에는 현실적인 어려움이 많으며 무엇보다도 계측관리 관계자들의 인식제고와 노력이 어느 때보다 중요한 시기라고 보여진다.

참고문헌

1. 김홍중, 정중홍(1999), 연약지반 시공관리 및 성토안정관리에 대한 연구, 한국도로공사 연구보고서
2. 고속도로 전문시방서 토목편(1997), 한국도로공사
3. 서해안고속도로(군산-무안간) 건설공사 특별시방서(1997), 한국도로공사
4. 서해안고속도로(군산-무안간) 건설공사 수량산출서(1999), 한국도로공사