

숫자와 그림으로 보는 터널 이야기

- 제12강 선진 터널공사 관리시스템(T-CMS) -

Advanced Tunnel Construction Management System

김영근 | (주)건화 부사장, 한국터널지하공간학회 부회장, 공학박사, 기술사



최근 지하공사 중의 싱크홀 및 지반침하와 같은 사고들이 발생함에 따라 지하안전에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 지하터널공사에 대한 안전관리에 대한 효율적인 방안이 추진되고 있다. 본 고에서는 지반불확실성에 의한 지반 리스크와 이를 시공 중에 관리해야 하는 지하터널공사의 특성을 살펴보고, 국내 터널공사의 문제점을 조사/설계, 시공/감리 및 감독 등의 측면에서 고찰하였다. 또한 해외 선진국에

서의 운영되고 있는 글로벌 터널 공사관리의 핵심사항을 분석함으로써 선진 터널공사 건설시스템을 도출하였다. 이 시스템은 국제엔지니어링 계약시스템에서 발주자, 시공자 그리고 엔지니어(PMC)간의 관계를 현재의 국내 건설사업관리 방식에 도입하거나 개선하는 터널공사 관리시스템이라 할 수 있다. [표 1]에는 선진 터널공사관리시스템(T-CMS)의 주요 특징을 10가지 키워드로 정리하여 나타내었다.

[표 1] 선진 터널공사관리시스템(T-CMS)의 주요 내용과 특징

구분	내용		특징
국내 터널공사 문제점	• 터널 현장에서의 의결결정 부족		현장 의사결정중심으로의 전환
	• 설계/시공이 별개로 설계자권한 부족		설계-시공통합으로의 전환
	• 터널현장에 전문가 부재		터널전문기술자 위주로의 전환
	• 감리의 역할과 책임이 제한		선진 PMC중심으로의 전환
	• 기술외적인 영향 크다(공기/공사비)		프로세스 중심으로의 전환
선진 터널공사 관리시스템 T-CMS	• 터널 전문감리시스템	T-CMr	터널 전문가에 의한 의사결정
	• 터널 설계검증시스템	T-ICr	터널 설계에 대한 상호체크
	• 설계-시공통합시스템	T-PDr	현장에 대한 설계자 권한강화
	• 터널 리스크관리시스템	T-RMs	정량적인 리스크 관리 도입
	• 터널통합정보관리시스템	T-IDMs	전과정의 데이터 통합관리운영

1. 글로벌 터널 공사관리시스템의 핵심 요소

최근 터널지하공간 건설사업이 대형화, 복잡화, 전문화됨에 따라 건설사업관리에서의 터널 공사관리의 중요성이 강조되고 있다. 특히 지하공사라는 특수성으로 인하여 계획단계의 리스크 관리의 중요성이 강조되면서, 계획단계부터 프로젝트 리스크를 관리하는 형태의 발주방식이 점차 증가되고 있다.

국내 지하터널공사사업의 글로벌 경쟁력을 확보하기 위해

서는 건설사업관리 및 통합 건설엔지니어링에 대한 기술역량의 강화가 시급하다. 특히 글로벌 스탠다드의 지하터널공사의 건설사업관리 방법에 대한 면밀한 검토를 통하여 해외 건설시장에서의 경쟁력 제고를 위해 지하터널공사 전반에 대한 제도 개선을 꾸준히 추진해야만 한다.

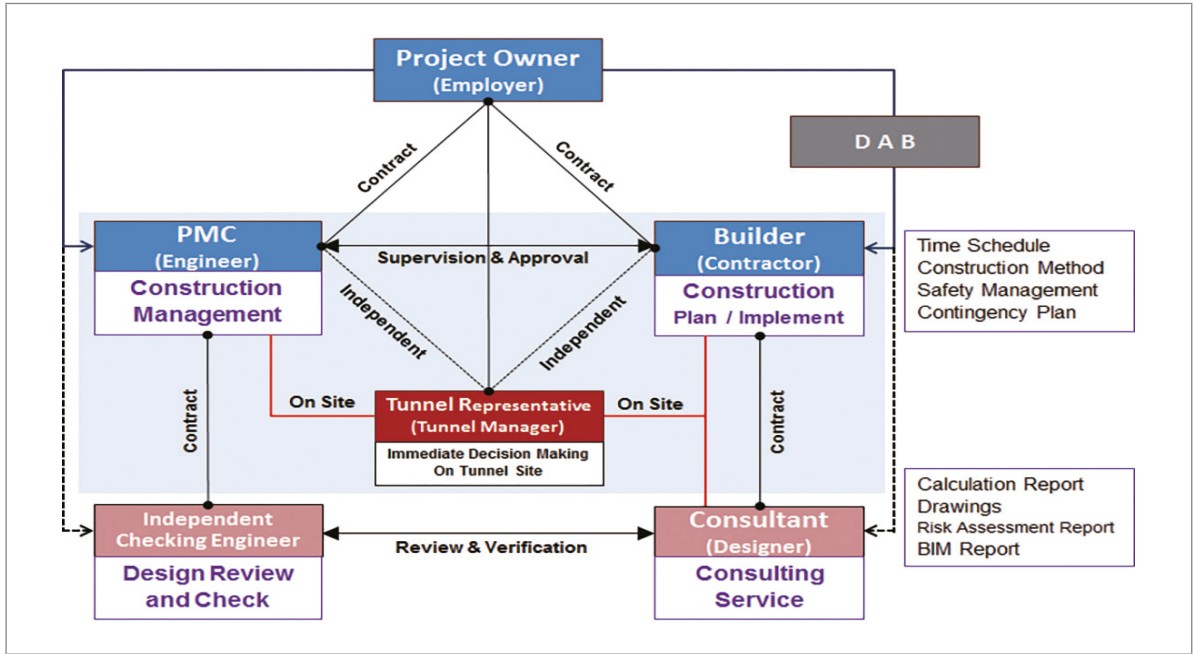
따라서 본 고에서는 국내에서 운영되고 있는 터널공사 관리시스템의 제반문제점을 분석하고, 선진국에서 운영되고 있는 공사관리시스템을 고려하여 합리적인 개선방안을 제안하고자 하였다.

1.1 글로벌 터널 공사관리시스템의 기본 구조

지금까지 선진국에서 있는 건설공사관리체계를 검토하고, 특히 지하터널공사에서의 공사관리시스템을 중점적으로 살펴보았다. 가장 중요한 점은 “FIDIC에서 규정하는 발주자와 시공사, 그리고 엔지니어” 사이의 관계가 정확하게 명확하고, 그 책임과 규정이 명확하다는 것이다. 글로벌 터널 공사 관리시스템의 기본 특징을 보면 다음과 같다.

관리측면	핵심 요약
공사관리	책임감리의 역할과 권한을 명확히 하여 프로젝트 관리(PM) 기능을 강화한다.
현장관리	터널 전문 기술자를 현장에 상주시켜 신속하고 독립적인 기술적 의사결정을 하도록 한다.
엔지니어링 관리	설계자가 시공과정을 직접 확인하여 설계의 정확한 반영과 책임을 유지한다.
리스크 관리	조사·설계 단계부터 리스크를 평가하여 시공 중 체계적인 안전관리를 수행한다.

[그림 1] 글로벌 터널공사관리 시스템의 기본 구조



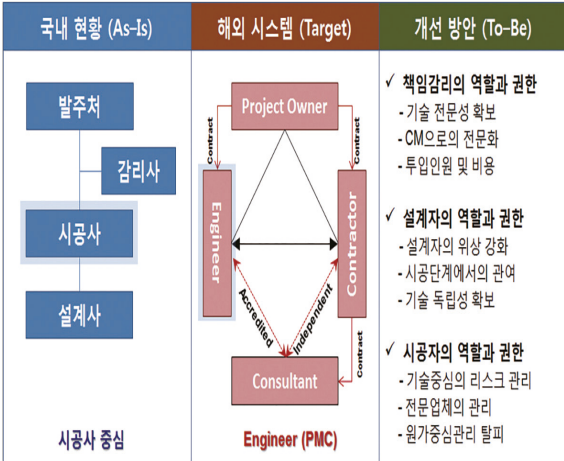
이상의 특징을 종합적으로 정리하여 나타낸 글로벌 터널공사시스템의 기본구조는 그림 1과 같다. 지하터널공사는 설계단계에서 지반의 불확실성을 완전히 파악하기 어렵기 때문에 시공중에 이를 확인한 후 적절한 공사를 수행하여야만 한다. 이러한 터널공사의 특징을 반영하고 합리적인 공사가 가능하도록 하기 위하여 가장 중요한 것은 독립성과 공인성을 갖도록 하는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 글로벌 터널공사시스템의 구조는 터널전문기술자(Tunnel Engineer or Representative)가 터널현장에 상주하도록 하여, 발주자와 시공자와는 별도로 기술적인 의사결정을 현장에서 즉각적으로 수행할 수 있도록 하는 것이다. 또한 프로젝트 전 과정에서 안전설계개념을 도입하여 일반적인 설계와 별도로 리스크 평가와 관리를 수행하도록 하는 것이다. 그리고 책임감리의 기능과 권한을 더욱 강화하여 발주자를 대행하여 프로젝트 관리를 할 수 있어야 한다. 또한 설계내용을 확인하는 독립적인 체커시스템(Independent Checker)도 운용되고 있다.

1.2 글로벌 터널 공사관리시스템의 핵심 사항

◎ 건설사업관리(CM) 측면

국내에 감리자는 「건설기술관리법」 및 「감리업무수행지침서」에 규정된 감리업무의 역할분담이 명확치 않고, 현장에서는 실질적으로 설계변경 확인 등 기술능력을 요구하는 감리업무가 효율적으로 이루어지지 않고 있다. 법과 지침서에 감리자의 권한(재시공, 공사중지명령 등)과 책임이 규정되어 있지만 발주처 감독관행이 그대로 공사 현장에 남아 있어 감리원의 실질적인 권한 행사가 이루어지지 않고 있다. 많은 감리원들이 실질적인 감리권한을 행사하기 위해 노력하고 있지만 감리경험이 부족하거나 기술역량이 미흡하여 자율적인 권한행사를 하지 못하는 경우도 많다. 선진국의 시스템을 바탕으로 한 개선방안으로는 감리자가 기술전문성을 확보하여 건설사업관리(CM)으로의 전문화를 이루어 책임과 권한을 부여하도록 한다. 이에 필요한 인력과 비용을 반드시 확보해야 한다. 또한 설계자와 시공자의 역할과 권한을 명확히 하도록 하여야 설계자의 기술위상을 강화하고 기술독립성을 확보하게 함으로써 시공단계에서도 적극적으로 관여하도록 하여야 한다. 또한 시공자는 기술중심의 리스크 관리를 통해 전문업체를 효율적으로 관리하여 원가중심의 시공관리를 탈피하도록 한다.

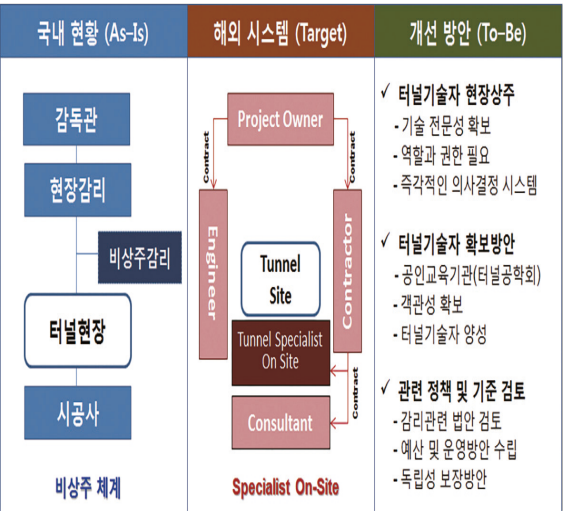
[그림 2] 해외 건설 관리시스템의 특징 - 건설관리 측면



◎ 터널 현장기술 측면

국내 터널공사에서는 현장에 상주하는 감리원(상주감리)과 토질 분야의 전문성을 가진 비상주감리로 구성하여 제반 업무를 수행한다. 「건설기술관리법령」의 정의에 따르면, “비상주감리원”이란 감리업체에 근무하면서 상주감리원의 업무를 기술적·행정적으로 지원하는 자를 말하며, 이 중 1명은 반드시 고급감리원 이상으로 임명하도록 규정하고 있다. 그러나 비상주감리원이 터널 현장에서 발생하는 리스크를 직접 파악하기는 현실적으로 어려우며, 주로 설계 변경에 대한 확인 절차에 그치는 실정이다. 또한 상주감리원의 전문성과 기술력이 부족하여 터널공사에서 독립적인 의사결정을 내리는 데에는 한계가 있다. 선진국의 제도를 바탕으로 한 개선방안으로는, 기술 전문성을 갖춘 터널기술자가 현장에 상주하며 일정한 권한과 책임을 부여받아 즉각적이고 독립적인 의사결정을 수행하도록 하는 것이다. 이를 통해 터널 현장에서 발생하는 각종 기술적 문제에 적극적으로 대응할 수 있다. 이는 선진국의 지하터널공사에서 운용되는 Tunnel Manager 또는 Tunnel Representative 제도와 유사한 것으로, 터널공사의 기술적 책임을 현장에 상주하는 터널기술자에게 일임하여 시공 중 리스크를 효과적으로 관리하도록 하는 것이다.

[그림 3] 해외 건설관리시스템의 특징 - 터널 현장기술 측면

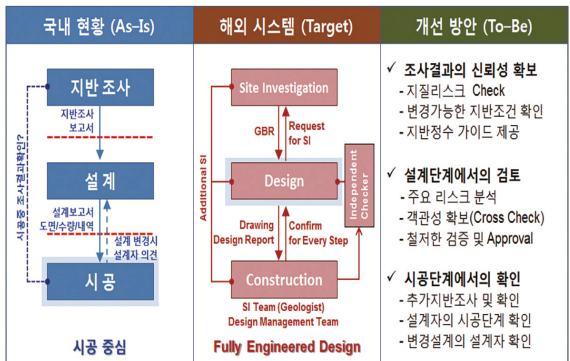


● 설계 엔지니어링 측면

설계 엔지니어링은 과학기술 지식을 응용하여 사업 및 시설물의 기획, 타당성 조사, 설계 및 분석과 이와 관련된 사업관리를 수행하는 것으로, 시공과 더불어 건설공사의 핵심적인 역할을 담당한다. 현재 국내 터널공사의 경우, 설계 엔지니어가 터널 설계를 수행한 이후 실제 현장에서 발생하는 제반 조건과 변경 사항에 적극적으로 관여하기 어려운 실정이다. 이는 시공자 중심으로 현장이 운영되고, 상주 감리원의 기술력 부족과 비상주감리원의 한계 등이 복합적으로 작용하기 때문이다. 따라서 설계자가 현장에서 발생하는 설계 변경을 확인하고, 설계조건과 시공조건 간 차이를 검토하며 원설계의 기술적 의도를 반영해야 함에도, 현재 국내 터널공사에서는 이러한 절차가 제대로 이루어지지 않고 있다.

선진국의 제도를 바탕으로 한 개선방안으로는, 설계자를 중심으로 조사결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 시공 중 조사결과를 체계적으로 피드백하도록 하고, 설계단계에서 주요 리스크를 사전에 분석하도록 하는 것이다. 특히 시공 단계에서는 설계자가 직접 공정 전반을 확인하고, 변경 설계에 대한 검증 과정을 반드시 거치도록 해야 한다. 이러한 방식은 Fully Engineered Design 개념에 해당하며, 조사단계부터 시공단계까지 설계자에게 권한과 책임을 부여하여 설계 목적을 충실히 달성할 수 있도록 하는 제도적 장치라 할 수 있다.

[그림 4] 해외 건설관리시스템의 특징 - 설계 엔지니어링 측면

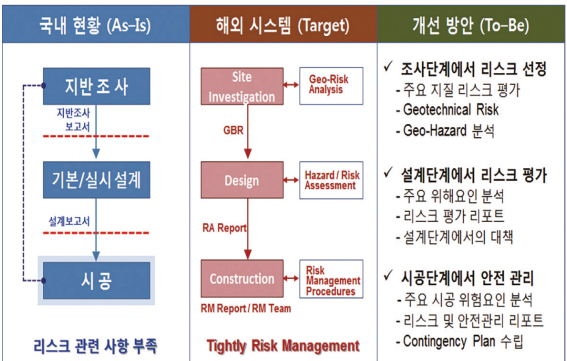


● 리스크 관리 측면

터널공사는 다른 공사와 달리 지반의 불확실성으로 인한 리스크가 상대적으로 크기 때문에, 공사의 전 단계에서 이를 확인·평가하고 철저히 관리해야 한다. 그러나 현재 국내 터널공사의 경우 리스크 관리 개념이 확립되어 있지 않으며, 리스크 관리 방법이나 절차에 관한 규정도 마련되지 않은 상태이다. 특히 터널공사의 리스크 및 안전관리는 단순히 시공 중 점검 절차로만 인식되고 있어, 조사 단계나 설계 단계에서 수행해야 할 리스크 평가가 사실상 간과되고 있다. 그 결과, 조사·설계 단계에서의 리스크 검토나 분석 보고서 작성 절차가 제대로 이루어지지 않고 있다.

이에 대한 개선방안으로는, 첫째 조사 단계에서 지반 리스크를 사전에 도출하고, 둘째 설계 단계에서 주요 위해 요인을 분석하여 리스크 평가 및 대응 대책을 수립하는 것이다. 또한 설계 단계에서는 별도의 리스크 평가 보고서를 작성하여 ‘안전을 고려한 설계(Design for Safety)’를 실현하도록 해야 한다. 마지막으로 시공 단계에서는 사전에 수립한 리스크 대책을 기반으로 안전관리계획과 비상대책을 마련하고, 이를 실행 과정에서 피드백해 나감으로써 리스크 관리가 체계적으로 이루어지도록 해야 한다.

[그림 5] 해외 건설관리시스템의 특징 - 리스크 관리 측면



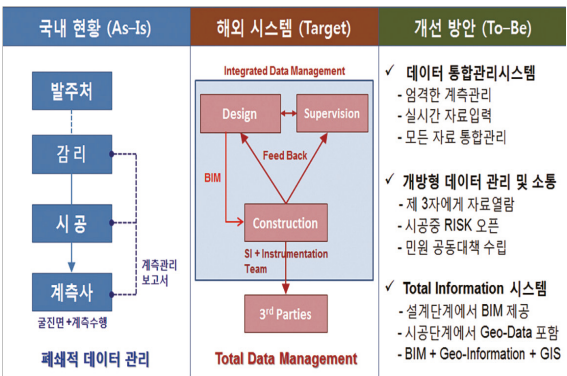
● 정보관리 측면

터널 시공 과정에서는 각 막장의 조사 결과와 계측 결과 등 다양한 시공 정보가 생산된다. 이러한 정보는 터널의 시공

조건과 안정 상태를 평가할 수 있는 핵심 자료로, 이에 대한 철저한 관리가 매우 중요하다. 그러나 현재 국내 터널공사에서는 계측업체를 중심으로 조사 및 계측 결과가 분석되고 있으나, 설계자·시공자·감리자 간의 상호 커뮤니케이션이 부족하여 공학적 분석이 제대로 이루어지지 못하고 있다. 특히 모든 시공 관련 자료가 일부 관리자에게만 제한적으로 운영되고 있어 주민과 관련 단체의 불신을 초래하고 있으며, 단순 시공 자료로서만 활용되고 있는 실정이다. 이로 인해 설계 조건이나 시공 상태와의 연계 분석 및 체계적인 정보관리가 이루어지지 못하고 있다.

선진국의 사례를 참고한 개선방안으로는, 시공 중 발생하는 모든 자료를 통합적으로 관리·운영하고, 개방형 데이터 관리 방식을 통해 제3자가 관련 자료를 열람할 수 있도록 하며, 시공 리스크를 공개하여 민원에 대한 공동 대응 방안을 수립하는 것이다. 특히 설계 단계에서 제공된 BIM 자료는 시공 조건에 따라 변경·수정되도록 하고, 시공 단계에서의 조사 및 계측 결과를 연계 입력하여 모든 자료가 종합적으로 관리되는 Integrated Data Management 체계에서 운영되도록 해야 한다.

[그림 6] 해외 건설관리시스템의 특징 - 정보관리 측면



2. 선진 터널 공사관리시스템의 구성과 특징

지하터널공사는 설계 단계에서 지반의 불확실성을 완전히 파악하기 어렵기 때문에, 시공 중 이를 확인한 후 적절한 공

사를 수행해야 한다. 이러한 터널공사의 특성을 반영하여 합리적인 시공을 가능하게 하기 위해서는 무엇보다 독립성과 공인성을 확보하는 것이 중요하다. 이를 달성하기 위해 선진 터널공사 관리시스템에서는 터널 전문 기술자가 현장에 상주하며, 발주자와 시공자와는 별도로 기술적 의사결정을 즉각적으로 내릴 수 있도록 하고 있다. 또한 프로젝트 전 과정에 안전 설계 개념을 도입하여 일반 설계와 별도로 리스크 평가와 관리를 수행하도록 하고, 설계자의 책임과 권한을 강화하여 현장에서 발생하는 설계 변경을 직접 확인·검증하도록 한다. 이를 통해 터널 현장을 중심으로 설계와 시공이 통합적으로 운영되는 체계를 구축할 수 있다.

2.1 선진 터널공사 건설시스템의 기본 방향

기존 국내의 터널공사 관리의 문제점을 개선하기 위하여 선진 터널공사 건설시스템에서 중점적으로 추진하고자 하는 핵심적인 사항을 정리하면 다음과 같다.

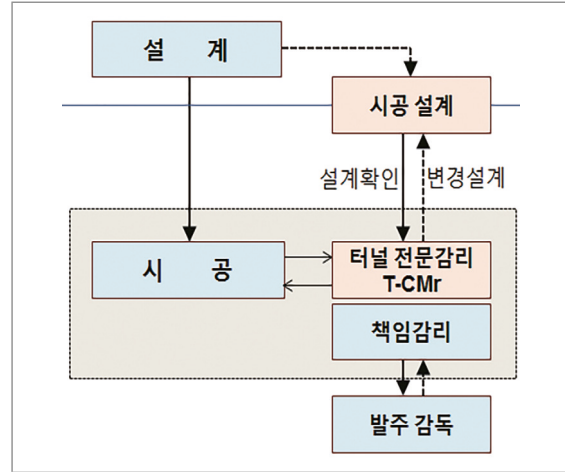
전환 방향	핵심 요약
터널 현장 중심	모든 의사결정이 터널 현장에서 이루어지도록 시스템을 전환한다.
설계-시공 통합 중심	설계자가 시공 단계에서 직접 참여하여 설계와 시공을 통합 관리한다.
전문 기술자 중심	터널 전문 기술자가 현장에서 신속한 기술적 판단으로 공사를 주도한다.
건설사업관리 중심	단순 감리에서 벗어나 책임과 권한을 가진 선진국형 건설사업관리를 도입한다.
프로세스 중심	발주자, 시공자, 관리자 간 역할과 책임을 명확히 규정하고 의사결정 프로세스를 정립한다.

2.2 터널 전문감리 시스템

현재 국내 터널공사에서는 토질 분야 전문가가 현장에 상주하지 않고 비상주 체계로 운영되고 있어, 터널 현장에서

발생하는 제반 문제에 대해 효과적인 기술적 판단을 내리기 어렵고 즉각적인 의사결정도 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

[그림 7] 터널 전문감리 T-CMr 역할



개선된 시스템에서는 공인된 전문 기술력을 갖춘 터널 전문감리(T-CMr)가 현장에 상주하여, 터널 현장에서 발생하는 다양한 기술적 사안에 대해 권한과 책임을 가지고 즉각적인 의사결정을 수행할 수 있다. 이를 통해 현장 변경 설계, 지보공 및 보강공 선정 시 신속하고 합리적인 판단이 가능해진다.

[그림 8] 기존 운영시스템과 터널 전문감리 T-CMr 제도의 비교

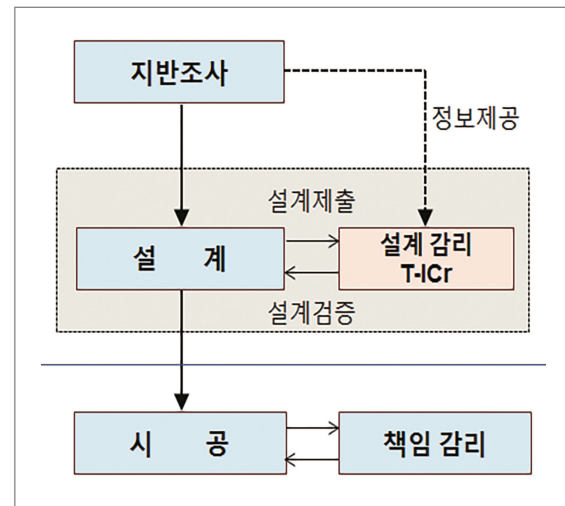
국내 현황	T-CMS	주요 내용
감독관 책임 감리 시공사 터널현장 비상주 감리	감독관 책임 감리 터널 전문감리 T-CMr 시공사 터널현장	- 터널 전문기술자 현장상주 - 기술 전문성 확보 - 역할과 권한 필요 - 즉각적인 의사결정 시스템 - 터널현장에서의 의사결정 - 공인교육기관(터널공학회) - 객관성 확보 - 터널기술자 양성 - 독립적 권한 부여 - 감리관련 법안 검토 - 예산 및 운영방안 수립 - 독립성 보장방안

2.3 터널 설계검증 시스템

현재 국내 터널공사에서는 터널 설계에 대한 기술 검토를 설계자문위원회에 의존하고 있어, 설계 과정에서 발생하는 다양한 문제에 대해 효과적인 기술적 검증이 어렵고 상세한 기술 검토도 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

개선된 시스템에서는 공인된 전문 기술력을 갖춘 터널 설계감리(T-ICr)가 독립적인 지위를 가진 상태에서 터널 설계 도서 전반에 걸쳐 세밀한 기술 검토를 수행하고, 설계 내용을 재검증함으로써 설계 오류를 최소화할 수 있다.

[그림 9] 터널 설계감리 T-ICr 역할



[그림 10] 기존 운영시스템과 터널 설계검증 T-ICr 제도의 비교

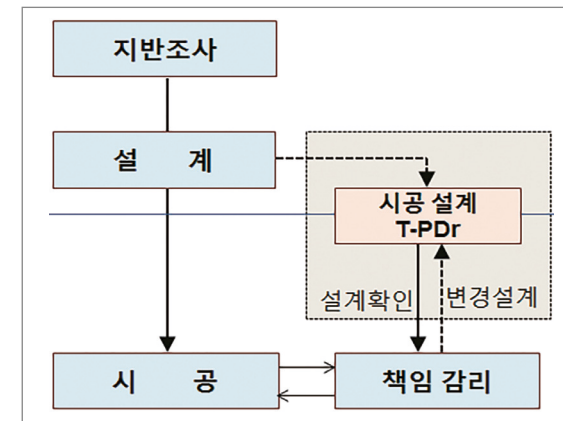
국내 기존 시스템	T-CMS	주요 내용
조사 설계 시공 설계 감리	조사 설계 시공 설계 감리 T-ICr	- 터널설계 내용 체크 - 기술 전문성 확보 - 역할과 권한 필요 - 즉각적인 의사결정 시스템 - 시공중 설계변경 검증 - 공인교육기관(터널공학회) - 객관성 확보 - 터널기술자 양성 - 독립적 권한 부여 - 감리관련 법안 검토 - 예산 및 운영방안 수립 - 독립성 보장방안

2.4 책임설계자의 시공관리 시스템

현재 국내 터널공사에서는 시공자를 중심으로 공사가 진행되고 있어, 설계자가 설계 결과물을 제출한 이후 시공 과정에 관여하거나 협업하는 경우가 드물다. 이로 인해 터널 시공 과정에서 설계가 어떻게 구현되는지에 대한 기술적 확인과 검증이 어려운 실정이다.

개선된 시스템에서는 공인된 전문 기술력과 설계 전반에 대한 책임을 가진 터널 책임설계(T-PDr)가 시공 현장에서 발생하는 설계 관련 사항과 중대한 변경 설계에 대해 상세한 기술 검토를 수행하고, 시공자에게 기술 지원과 협업을 제공하도록 한다.

[그림 11] 터널 책임설계 T-PDr 역할



[그림 12] 기존 운영시스템과 터널 책임설계 T-PDr 제도의 비교

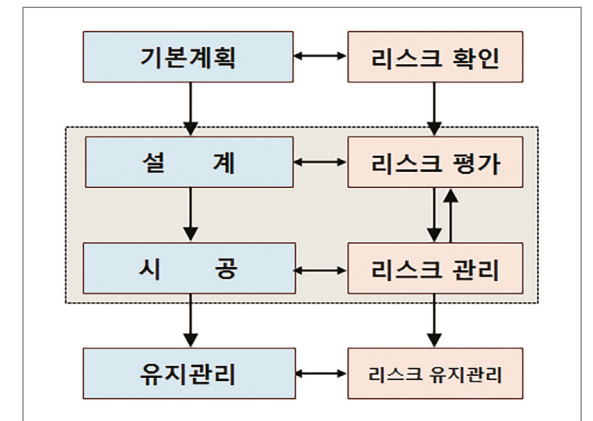
국내 현황	T-CMS	주요 내용
지반조사 설계자 시공자 감리자	지반조사 설계자 T-PDr 시공자 감리자	- 설계내용 시공확인지원 - 기술 전문성 확보 - 역할과 권한 필요 - 즉각적인 의사결정 시스템 - 시공중 설계변경 협업 - 공인교육기관(터널공학회) - 객관성 확보 - 터널기술자 양성 - 독립적 권한 부여 - 감리관련 법안 검토 - 예산 및 운영방안 수립 - 독립성 보장방안

2.5 터널 리스크 관리 시스템

현재 국내 터널공사에서는 조사 단계에서의 지반 리스크 확인, 설계 단계에서의 리스크 평가를 기반으로 한 안전 설계, 그리고 시공 단계에서의 정량적 리스크 관리가 제대로 수행되지 않아 터널 공사 전반의 체계적인 리스크 및 안전 관리에 문제점이 발생하고 있다.

개선된 시스템에서는 공인된 리스크 평가 절차와 방법을 포함한 터널 리스크 평가시스템(T-RMs)을 도입하여, 설계 단계에서 예상되는 리스크 사항과 시공 중 발생 가능한 리스크에 대한 상세한 기술 검토를 수행하고, 이를 통해 현장에서의 안전 관리를 강화하도록 한다.

[그림 13] 터널 리스크 관리 시스템



[그림 14] 기존 운영시스템과 터널 리스크 관리시스템 T-RMs 제도의 비교

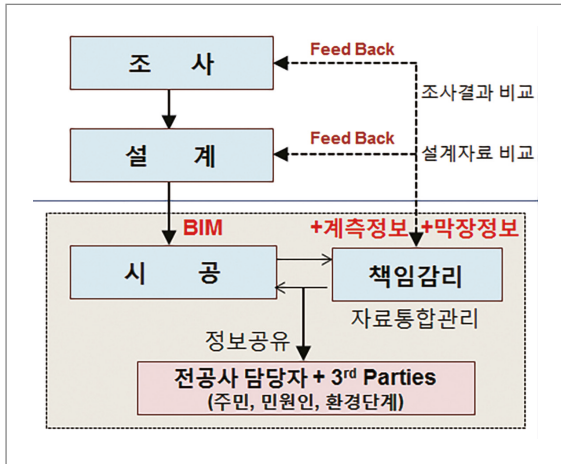
국내 기존 시스템	T-CMS	주요 내용
지반조사 기본/실시 설계 시공	지반조사 설계 시공	- 조사단계에서 리스크 선정 - 주요 지질 위험요소 평가 - Geo-Risk Register 작성 - Geo-Risk 평가 - 설계단계에서 리스크 평가 - 주요 위험요인 분석 - 리스크 평가 리포트 - 설계단계에서의 대책 - 시공단계에서 안전 관리 - 주요 시공 위험요인 분석 - 리스크 및 안전관리 리포트 - Contingency Plan 수립

2.6 터널 통합 정보 관리시스템

현재 국내 터널공사에서는 BIM 기법이 적용되지 않아 설계 성과품 작성에 어려움이 있으며, 시공 중 생성되는 시공 자료와 계획 자료 또한 제대로 피드백되지 않아 터널 공사 과정에서 체계적인 데이터 통합 관리(Integrated Data Management)가 이루어지지 않고 있다.

개선된 시스템에서는 BIM 기법을 포함한 터널 통합 정보 관리 시스템(T-IDMs)을 도입하여, 설계 단계에서 BIM 기반의 정보 관리를 실현하고 시공 중 발생하는 다양한 정보를 통합 관리함으로써 터널 현장에서 개방형 통합 정보관리체계를 제공하도록 한다.

[그림 15] 터널 통합 정보관리 시스템 T-IDMs



[그림 16] 기존 운영시스템과 터널 통합 정보관리시스템 T-IDMs 제도의 비교

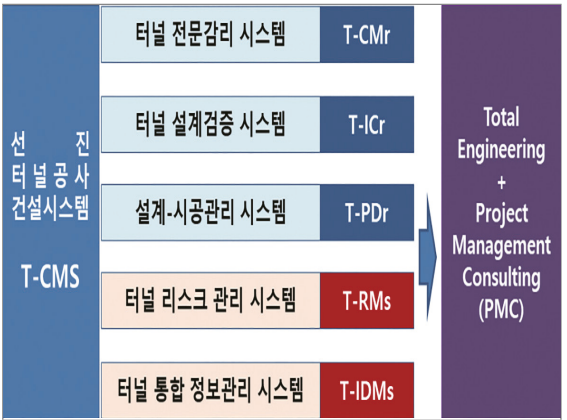
국내 기존 시스템	T-CMS	주요 내용
		✓ 데이터 통합관리시스템 - 엄격한 계측관리 - 실시간 자료입력 - 모든 자료 통합관리 ✓ 개방형 데이터 관리 및 소통 - 제 3자에게 자료열람 - 시공중 RISK 오픈 - 민원 공동대책 수립 ✓ Total Information 시스템 - 설계단계에서 BIM 제공 - 시공단계에서 Geo-Data 포함 - BIM + Geo-Information + GIS

2.7 선진 터널공사 건설 관리시스템

국내의 터널공사 관리의 문제점을 개선하기 위하여 선진 터널공사 건설시스템을 도출하였으며, 본 시스템의 핵심적인 구성요소를 정리하면 다음과 같다.

시스템 명칭	핵심 요약
T-CMr (전문감리)	터널 전문가를 현장에 상주시켜 신속한 현장 의사결정을 지원한다.
T-ICr (설계검증)	독립된 엔지니어가 설계를 검증하여 설계 오류를 최소화한다.
T-PDr (설계-시공 협업)	책임 설계자가 시공 과정에 참여하여 설계와 시공의 일관성을 확보하고 협업한다.
T-RMs (리스크 관리)	설계 단계부터 리스크를 평가하고 시공 중 저감 대책을 시행하여 체계적으로 관리한다.
T-IDMs (통합정보 관리)	BIM을 도입하여 설계부터 시공까지의 모든 정보를 통합적으로 관리한다.

[그림 17] 선진 터널공사 건설시스템 구성

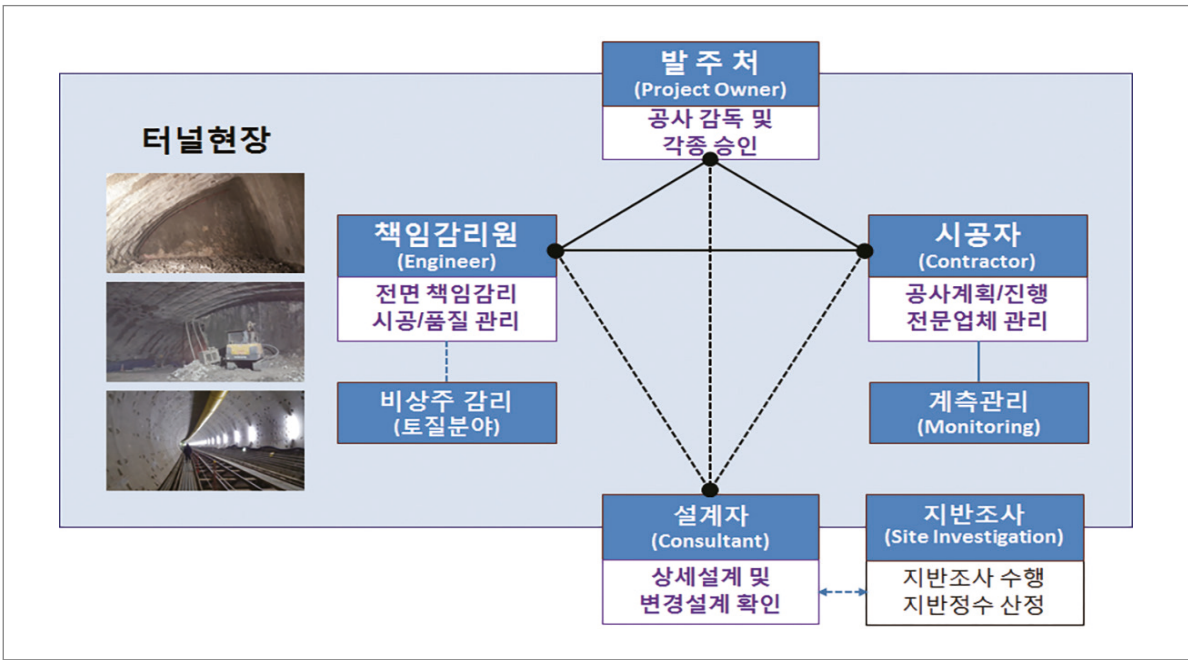


국내 터널공사의 건설관리시스템의 기본 체계는 그림 18에 제시되어 있다. 그림에서 보는 바와 같이 국내 터널공사 관리리는 발주자, 시공사, 그리고 건설사업관리자(또는 책임감리자)로 구성된다.

건설사업관리(CM) 제도의 도입으로 건설사업관리자의 권한, 역할, 업무 범위 등이 제도적으로 정리되어 있으나, 실제 현장에서 이러한 시스템이 정상적으로 운용되기는 쉽지 않은 것이 현실이다. 이는 발주자와의 계약 관계, 시공자의

원가 중심 관리 방식, 감리원의 기술적 제약 등에서 기인한 것으로, 단지 터널공사만의 문제가 아니다. 그러나 지반 불확실성으로 인한 지반공학적 리스크가 상대적으로 큰 지하 터널공사의 경우, 이러한 한계로 인해 안전사고의 위험이 존재하며 실제로 부실시공과 안전 문제로 이어지는 사례가 발생하고 있다.

[그림 18] 국내 터널공사 건설시스템의 체계



선진국에서 운영되는 터널 공사 관리 방법을 참고하고, 국내의 현재 여건을 반영하여 선진 터널공사 건설관리시스템을 도출하였다. 본 시스템의 기본적인 체계는 [그림 19]에 나타나 있다. 그림에서 보는 바와 같이 발주자, 시공사, 건설사업관리자(또는 책임감리자) 외에 터널 기술자로 구성된다.

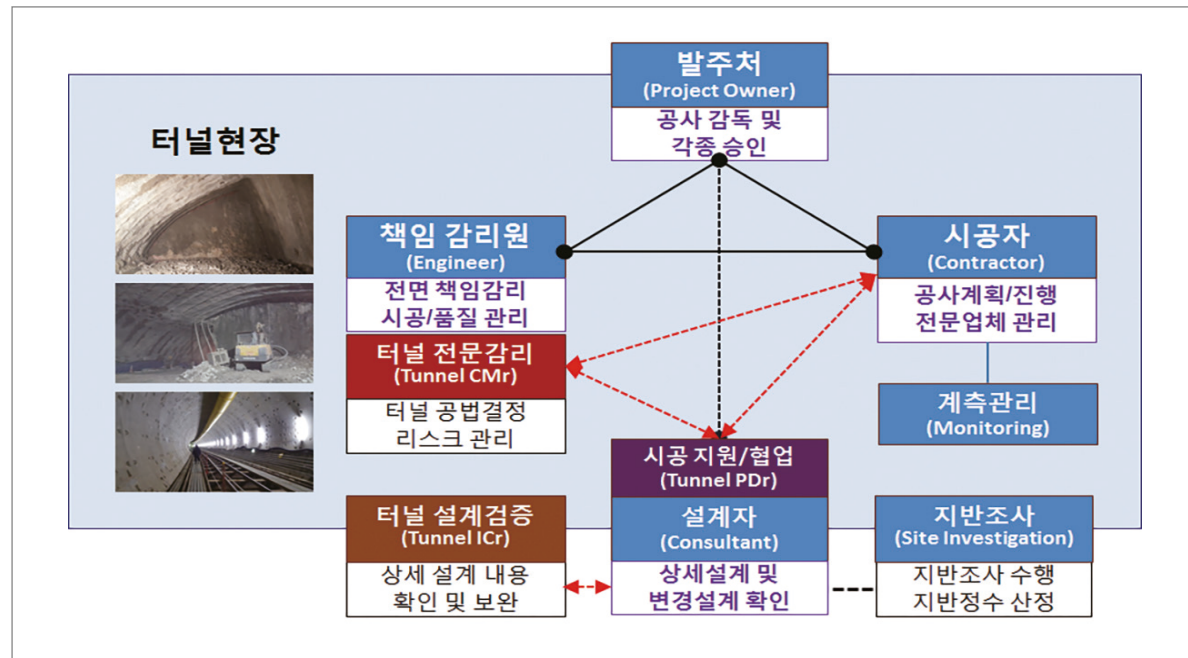
본 시스템의 기본 방향은 터널 전문가가 현장에 상주하면서 지반의 불확실성에 따른 리스크를 시공 중에 확인하고 이에 즉각적으로 대응하도록 하는 것이다. 이러한 역할을 담당하는 전문 감리자(T-CMr)는 발주자와 시공사로부터

터널공사에서 가장 합리적인 시스템은 터널 전문 기술자가 현장을 중심으로 시공 중 즉각적인 의사결정을 수행할 수 있도록 보장하고, 이들에게 독립적인 권한과 책임을 부여하는 것이다. 이를 위해서는 선진국에서 운영되는 터널 공사관리시스템을 참고하여 관련 법규, 제도, 시스템을 총체적으로 개선할 필요가 있다.

객관성과 독립성을 확보하여 기술적 의사결정을 수행한다. 또한 터널 설계의 책임기술자(T-PDr)가 설계 단계에서 리스크 평가를 통한 안전 설계를 수행하고, 설계 내용이 시공에 구현되는 과정을 확인함으로써 설계자가 시공 단계에서도 권한과 책임을 갖도록 한다. 아울러 설계자는 설계 내용과 성과품에 대해 독립적인 체커 엔지니어(T-ICr)의 검증을 받아 설계 오류 및 문제점을 사전에 방지하도록 한다.

이와 같이 본 시스템은 각 기술자가 일정한 권한과 책임 하에서 독립적이고 동등한 관계를 유지하면서, 상호 검증을 통한 협업 체계로 운영되는 것이 특징이다.

[그림 19] 선진 터널공사 건설시스템의 체계



3. 선진 터널공사 건설시스템의 전망과 과제

국내 지하터널공사의 문제점을 근본적으로 개선하고 보다 효율적인 공사 시스템으로 전환하는 것은 터널 기술자들에게 오랜 과제이자 숙제이다. 이는 지하터널공사가 가진 기술적 특수성을 현재의 일반 건설공사 시스템에 어떻게 반영할 수 있느냐 하는 문제이기도 하다. 결국 가장 열악한 조건의 터널 막장에서 공사를 보다 합리적으로 수행하고자 하는 터널 기술자들에게 던져진 커다란 명제와도 같다.

현재 우리 앞에 산적한 많은 문제점과 해결해야 할 과제들을 보면서, 과연 현실적으로 선진 터널공사 건설시스템(T-CMS)이라는 새로운 시스템이 도입되고 정착될 수 있을지 의문을 갖지 않을 수 없다. 분명한 것은 선진국에서 운영되는 터널 공사 관리 방법을 검토하면서 보다 개선된 시스템으로의 전환을 추진해야 하며, 나아가야 할 추진 방안에 대해 구체적인 계획이 반드시 수립되어야 한다는 점이다.

본 검토에서는 국내 터널공사의 문제점을 분석하고 해외 터널공사 관리 방법을 참고하여 국내 적용이 가능한 선진 터널공사 건설시스템을 도출하였다. 본 시스템은 실제 터널 현장에서 적용 가능하고 활용될 수 있도록 해야 하며, 이를 위해 현장 기반의 문제점 분석, 전문가 중심의 의사결정, 해외 선진 시스템의 적극적 도입이 이루어져야 한다. 본 시스템의 구체적인 활용 방안은 다음과 같다.

● 선진화된 터널 리스크 관리(Advanced Tunnel Risk Management)

현재 국제터널협회(ITA)에서는 터널 공사에 대한 리스크 관리 방안을 수립하고 이를 각국의 터널 공사에 적용하도록 권장하고 있다. 본 검토에서는 설계 단계에서부터 터널 공사 발생 가능한 주요 위험 요소를 규명하고, 이에 대한 리스크를 국제 터널 리스크 평가 기준에 따라 분석하며, 그 결과를 시공 단계에서 확인하고 다시 수정하는 리스크 관리 시스템을 국내 모든 터널 공사에 적극 적용하도록 한다.

● 체계적인 터널 안전관리(Systematic Tunnel Safety Management)

국가적으로 터널 또는 지하 공사 중의 안전성 확보는 가장 중요한 안전 이슈가 되고 있다. 따라서 터널 공사 중 안전 사고를 최소화하여 사회적 비용 손실을 줄이고, 터널 공사의 낙후성(후진성)에 대한 인식을 개선할 수 있도록 본 검토에서 제시된 안전관리 절차와 시스템을 국내 모든 터널 공사에 적극 적용해야 한다.

● 글로벌 터널 공사관리(Global Tunnel Construction Management)

글로벌 설계 기준 및 계약 시스템, 의사결정 구조에 기반을 둔 발주처, 시공자, 설계자 그리고 공사관리자의 권한과 역할을 명확히 하고, 상호 간의 의사결정 시스템을 명문화하여 효율적인 공사관리가 이루어지도록, 본 검토에서 제시된 터널공사 관리시스템을 국내 모든 터널공사에 적극 적용해야 한다.

선진 터널공사 건설시스템은 지하터널공사를 수행함에 있어 조사-설계-시공 과정에서 기술자 중심의 합리적인 의사결정 시스템이라 할 수 있다. 이는 지반의 불확실성에 적극적으로 대응하여 공사 중 리스크를 최소화하기 위한 능동적인 공사관리 형태로, 발주자·시공자·설계자·건설사업관리자가 각각의 역할을 수행하면서 책임과 권한을 함께 부여받도록 하고 있다.

다만, 본 시스템을 국내 터널 현장에 적용하기 위해서는 앞으로 풀어야 할 많은 과제가 남아 있다. 이는 현재의 제도와 시스템을 개선하는 작업이자, 국내 법·제도와 엔지니어링 능력, 그리고 관행적 건설 시스템을 글로벌 스탠다드 시스템으로 전환하는 과정이기도 하다. 따라서 본 시스템을 도입하고 정착시키기 위해서는 터널 기술자들의 기술적 노력뿐 아니라 정책적 개선 노력도 절실히 요구된다.

[선진 터널공사 건설시스템의 도입과 정착]

본 검토에서는 글로벌 터널 공사 관리의 핵심 사항으로부

터 ‘선진 터널공사 건설시스템’을 도출하였다. 이 시스템은 FIDIC 계약 시스템에서 발주자, 시공자, 그리고 엔지니어(건설사업관리자) 간의 상호 관계를 국내 건설사업관리 방식에 부분적으로 도입하거나 그 역할과 책임을 명확히 하고자 하는 체계라 할 수 있다. 그러나 갑을 관계의 왜곡된 계약 구조에 익숙한 우리 엔지니어들에게는 그 도입과 실현 가능성에 의문을 갖는 것이 당연할 수도 있다.

분명한 것은, 이러한 글로벌 공사 관리 시스템이나 선진 건설사업관리 방법이 도입되지 않는다면 앞으로 글로벌 건설 시장에서 우리의 도전은 상당한 제약을 받을 수밖에 없다는 점이다. 따라서 이제는 선진화된 시스템을 적용하여 모든 엔지니어들이 동등한 권한을 보장받도록 하는 것이 곧 엔지니어의 공정한 가치를 지키는 길이라고 생각한다.

[글로벌 터널공사관리는 현장중심의 터널 전문기술자가 수행한다]

건설공사 중 가장 큰 리스크를 가진 지하터널공사에서는 일반적인 리스크 관리 방법에 한계가 있으므로, 보다 체계적인 공사 관리가 필요하다. 영국, 싱가포르 등 선진국에서 운영되고 있는 터널 공사 관리 방법을 검토한 결과, 터널 현장을 중심으로 공인성(Accredited)과 전문성(Qualified)을 갖춘 터널 전문기술자가 현장에 상주(On Site)하여 즉각적인 의사결정을 수행하고, 독립적(Independent)인 책임과 권한을 가지고 엔지니어(Engineer)의 역할을 수행한다는 점이 확인되었다.

터널 현장의 터널 전문기술자는 설계자, 시공자, 감리자와 함께 터널 막장을 직접 조사하고, 지보 패턴과 지보량을 결정하며, 보강 방안과 계측 결과에 대한 판단을 내리고 이를 발주자에게 보고한다. 이처럼 중대한 책임과 권한을 가지고 감리자와 함께 터널공사를 관리하도록 하고 있다.

[선진 터널공사 건설시스템은 리스크를 분담하고 대응하는 시스템이다]

선진 터널공사 건설시스템(T-CMS)은 FIDIC 계약체계에서의

공사 시스템을 합리적으로 개선하고, 설계 기준 및 시방 기준에 대한 검토도 수행되어야 한다

발주자, 시공자, 그리고 엔지니어(건설사업관리자) 간의 상호 관계를 국내 건설사업관리 방식에 부분적으로 도입하거나 개선함으로써 공사 중 발생하는 리스크를 분담하고 대응하는 시스템이다.

본 시스템의 목적은 터널 전문가가 현장에 상주하면서 지반의 불확실성에 따른 리스크를 시공 중에 확인하고 이에 즉각적으로 대응하도록 하는 것이다. 이러한 역할을 담당하는 전문 감리자(T-CMr)는 발주자와 시공자로부터 객관성과 독립성을 확보하여 기술적 의사결정을 수행한다. 또한 터널 설계의 책임기술자(T-PDr)가 설계 단계에서부터 리스크 평가를 통한 안전 설계를 수행하고, 설계 내용이 시공에 구현되는 과정을 확인함으로써 설계자가 시공 단계에서도 권한과 책임을 갖도록 한다. 아울러 설계자는 설계 내용과 성과물에 대해 독립적인 체커 엔지니어(T-ICr)의 검증을 받아 설계 오류 및 문제점을 사전에 방지하도록 한다.

[선진 터널공사 건설시스템의 추진 주체는 엔지니어이다]

선진 터널공사 건설시스템은 터널공사의 문제점을 근본적으로 해결하고 그 특수성을 반영하기 위한 것으로, 국내 터널기술자 학·협회를 중심으로 추진 방안과 추진 전략을 수립해야 한다.

본 시스템의 제도 개선 부분인 터널 전문 감리, 터널 설계 검증, 터널 설계·시공 협업은 「건설기술관리법」 등 관련 법과 밀접하게 연관되어 있으므로 이에 대한 면밀한 검토가 필요하다. 이를 위해서는 관계 기관에 대한 설명과 정책 홍

보가 우선적으로 선행되어야 한다. 또한 시스템 개선 부분인 터널 리스크 관리 시스템과 터널 통합 정보관리 시스템은 구체적인 시스템(안)을 조속히 마련하고, 이를 터널공사에 의무적으로 적용할 수 있도록 발주처에 홍보하고 법제화해야 한다. 아울러 터널 교육 인증 프로그램을 통해 지원이 이루어져야 한다.

[선진 터널공사 건설시스템 실현은 터널기술자의 노력에 달려있다]

선진 터널공사 건설시스템은 지하터널공사를 수행함에 있어 조사·설계·시공 과정에서 기술자 중심의 합리적인 의사결정 시스템이라 할 수 있다. 이는 지반의 불확실성에 적극적으로 대응하여 공사 중 리스크를 최소화하기 위한 가장 능동적인 공사관리 형태로, 발주자·시공자·설계자·건설사업관리자가 각각의 역할을 수행하면서 책임과 권한을 부여받도록 하고 있다.

본 시스템을 국내 터널 현장에 적용하기 위해서는 앞으로 풀어야 할 많은 과제가 남아 있다. 이는 현재의 제도와 시스템을 개선하는 작업으로서, 국내 법·제도와 엔지니어링 능력, 그리고 관행적 건설 시스템을 글로벌 스탠다드 시스템으로 전환하는 과정이기도 하다. 따라서 본 시스템을 국내 터널공사에 도입하고 정착시키기 위해서는 터널 기술자들의 기술적 노력뿐만 아니라 정책적 제도 개선 노력도 절실히 요구되며, 본 시스템의 성패는 모든 터널 기술자의 지속적인 노력에 달려 있다.

4. 터널공사의 선진화를 위한 제언

지하터널공사는 다른 구조물에 비해 지반공학적 불확실성(Uncertainty)으로 인해 많은 어려움을 겪는 것이 사실이다. 이는 터널 낙반사고와 같은 대형 사고를 수반하기도 하고, 공사의 어려움으로 인해 부실시공의 형태로 나타나기도 한다. 실제 터널 현장에서 조사자, 설계자, 시공자가 느

끼고 고민하는 문제는 상상 이상으로 크며, 매우 열악한 것이 작금의 현실이다. 또한 이러한 문제점을 직시하고 이를 개선하기 위한 노력은 모든 터널 기술자의 바램일 것이다. 그렇다면 이러한 문제점을 개선할 방법은 무엇일까? 이를 구체적으로 살펴보기 위한 첫 번째 과정은 다른 나라, 특히 선진국에서는 터널공사를 어떻게 관리하고 있는지를 확인하는 것이다. 지난 3년간 해외에서 근무하면서 전혀 다른 시스템으로 관리·운영되는 모습이 놀라웠고, 동시에 과연 이러한 시스템이 국내에 적용될 수 있을지 회의적이기도 하였다. 물론 그곳에서도 터널 사고가 발생하고 기술적 문제점이 없는 것은 아니지만, 그들이 보유한 기술적 장점은 분명히 존재하며 우리가 반드시 배워야 할 부분이다.

해외 선진 터널공사의 건설시스템을 이해하기 위해서는 먼저 국제 계약시스템을 이해해야 하는데, 이를 기반으로 한 공사관리시스템을 파악해야만 한다. 이것은 건설공사시스템의 기본 프레임으로서 해외 건설문화에 대한 종합적인 사고의 틀 속에서 가능한 것이기도 하다. 다시 말해, 거대한 건설시스템의 한 축으로서 터널과 같은 지하공사에는 특장적인 관리가 필요하며, 이는 지반 불확실성으로 인한 지반 리스크를 분석·평가하고, 그 리스크를 공사 당사자 간에 분담(Sharing)하며, 관리 책임을 명확히 하는 것이라 할 수 있다.

이러한 관점에서 지하터널공사 건설시스템의 중심적인 핵심 사항과 기본적인 틀이 이번 정책연구를 통해 충분히 도출되었다고 판단된다. 또한 많은 터널 기술자들의 현장 Need와 VOC를 바탕으로 보다 현실적인 방안이 마련되어야 함은 물론이다. 나아가 이러한 결과들이 정책과 제도 속에 반영될 수 있도록 우리 터널 기술자들이 꾸준히 노력해야 할 것이다.

본 시스템은 현재 지하터널공사의 문제점을 근본적으로 개선하기 위한 것으로, 선진화된 합리적 방법으로 터널공사를 수행하게 함으로써 지하터널공사 중 발생하는 리스크에

능동적으로 대응하고, 공사 당사자 간의 리스크를 적극적으로 분담하도록 하는 것이다. 이러한 시스템을 도입함으로써 부실공사를 예방하고 안전한 터널 시공이 가능할 것이다.

지하터널공사의 부실공사와 안전사고 문제는 일반 국민들에게 뜨거운 이슈로 부각되면서 우리 터널 기술자들에 대한 부정적 인식으로 이어져 자부심을 갖지 못한 것도 사실이다. 이제는 우리 터널 기술자들이 지하터널공사에 대한 정확한 인식을 바탕으로 문제점을 개선하고자 노력해야 한다. 터널 현장과 기술자들이 당면한 문제를 우리 스스로 진단하고, 그 문제를 해결하기 위한 기술적 대책과 정책적 개선 방안을 마련함으로써 정부기관과 발주처의 정책 방향 수립에 터널 기술자들의 의견을 분명히 반영하는 노력이 필요하다고 생각한다.

또한 터널 분야의 기술적 발전뿐만 아니라 터널 및 지하공간 사업으로 인한 사회·환경적 영향 평가와 경제적 이득 분석, 이를 뒷받침할 수 있는 정책적·제도적 개선 방안의 수립, 해외 진출을 향한 글로벌 기술로의 전환 등 풀어나가야 할 많은 과제들이 있다. 이러한 과제는 우리 터널인들이 공동의 인식을 가지고 『터널과 지하공간』이라는 공동의 토대 속에서 함께 노력하고 나아가간다면 분명히 해결될 것이라 생각한다.

지금 터널을 포함한 토목 분야는 변화를 요구받는 시점이다. 아마도 국내의 현실적 한계와 다양한 제약을 극복할 유일한 돌파구는 해외라는 인식에는 이견이 없을 것이다. 이에 우리 엔지니어들도 해외 진출을 위한 본격적인 준비가 필요하다. 이러한 관점에서 터널 분야 역시 글로벌 스탠다드에 맞추어 공사 시스템을 합리적으로 개선하고, 설계 기준 및 시방 기준에 대한 검토도 수행되어야 한다고 본다. 이러한 노력들이 모여져 국민들에게 안전하면서도 사회·환경적으로 우수한 터널공사라는 인식이 재정립될 수 있을 것이다. 