

선진화된 TBM 조달 시스템 Modern TBM Procurement System



지왕률
태조엔지니어링
TBM사업부 사장



한명식
태조엔지니어링
대표이사



최재화
태조엔지니어링
TBM사업부 부장

Abstract

최근 영국을 비롯한 터널기술 선진국에서는 터널 프로젝트 관련 조달(Procurement) 시스템에 대해 많은 연구가 진행되고 있다. 조달 시스템은 오늘날 기존의 터널 공법이 발파·버력제거·보강 공정으로 이어지는 전통적인 NATM 공법에서 TBM 기계화 시공으로 점차 변화하고 있

는 가운데, TBM 장비의 설계·구매·조달 시스템은 매우 중요한 공정으로 자리 잡고 있다.

따라서 터널 프로젝트의 조달 관련, 해외 연구 상황을 파악하고 기계화 시공의 핵심 공정인 TBM 조달에 필요한 내용에 관해 알아보려고 한다.

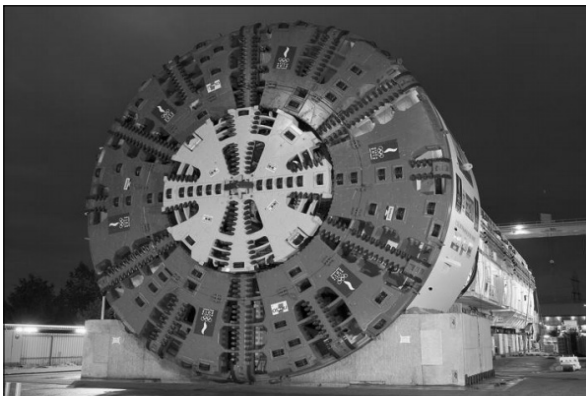


그림 1. TBM 조달 및 공간 디자인 전경

1. 터널공사 조달방안 개요

터널 관련 프로젝트의 조달(Procurement) 방안은 영국을 비롯한 여러 터널 선진국 주도로 최근 몇 년 동안 많은 발전을 이루었으며, 조달 관련 기초 계약 양식을 바탕으로 보다 다양하고 복잡한 계약 체결을 해야 한다.

조달은 설계, 시공, 감리 단계에서 협력과 균형을 이루어야 하며 터널 프로젝트에서 리스크의 분배를 통한 공기 단축과 공사비 절약을 목표로 한다.

터널 프로젝트에서 조달의 각 요소 항목, 및 시기를 일 반화시키는 것은 어려운 일이며, 현재까지도 많은 시행착 오를 하고 있는 중이다. 최근 들어 세계 메이저 발주처는 동반합의 방식(Partner Arrangements)을 철회하고 현재 완전 개방 입찰(Full Open-Market Tendering)을 통해 주 계약을 체결하고 있다.

TBM 공사에 있어서 발주자, 설계자, 시공자, 감리자에 덧붙여 TBM 제작사의 역할이 중요하며, TBM 장비의 기술적 적합성, 적정 장비가의 산출, 구매, 시험운전, 현장 이동, 갱구부 초기굴착 등 원활한 공사 수행을 위해서 전문적인 기술자집단에 의한, TBM Procurement Service 가 절대적으로 필요하다.

1.1 발주처 행위 (Client Mobilization)

터널 프로젝트에서의 조달은 대체적으로 정부 정책이나, 개발 규제에 따르기 위해 행해진다. 터널 프로젝트에 대해서 여러 변수를 초반기부터 선정하기 어려우나 조달 문제 해결은 가능하다. 유기적인 연계를 갖는 발주처, 주요 프로젝트의 정책, 초기 단계에서의 제반 요건은 사업의 성패를 좌우하는 중요 요소이다.

발주처의 프로젝트에 대한 면밀한 검토는 리스크를 예측할 수 있는 것과 예측이 어려운 리스크로 구분할 수 있으며, 이러한 부분에 대해 기술적 검토 및 공사비 증액 투입 여부를 가늠할 수 있다.

이러한 쟁점을 분명하게 규명하기 위해서 적합한 조달 방안과 실질적인 계약 체결이 수반되어야 한다. 이러한 대부분의 쟁점은 설계와 공사비투입에 연계되어 있으며 때로는 초반기부터 상세한 검토를 요구하기도 하므로 이러한 내용은 분명하게 언급을 해야 한다. 상세한 검토 내용으로는 조달 계획, 모든 계약 요건들의 준수 여부에 대해 검토가 필요하며, 제3자의 요구사항, 자원관리, 협력사 선정 등이 있다.

1.2 시공자와의 계약 체결 (Contractor Engagement)

시공사를 선정하고 계약하는 것은 일반적으로 프로젝트 리스크 정도에 달려있다. 리스크의 분배는 비용에 따라 결정되며 시공사의 기술력과 리스크 관리 능력에 따라 결정된다. 발주처는 조달 작업을 수행하는 동안, 보다 정밀한 분석을 통해 주 위험 요인을 선정하고 각 공정의 품질을 향상시킬 수 있다. 또한 경쟁 입찰을 통해 리스크 요소를 가능한 제거시켜야 한다.

리스크 분석을 통한 비용 절감 방안은 다음과 같다.

① 초기 시공사의 참여 증진

두 단계의 계약 과정을 통해 성사되며 계약은 설계 초기에 이루어져 설계자의 경험을 최대한 활용함으로써 설계 리스크를 최소화할 수 있다. 그러나 초기 계약자와의 계약이 반드시 좋은 것만은 아니며 가격 변수를 충분히 고려하지 않은 상태에서는 오히려 손실이 발생할 수 있다.

철도에서 사용하는 COCIM (Crossrail's Optimised Contractor Involvement Method)는 계약자가 설계 단계에서 전반적인 비용에 대한 검토를 통해, 문제점 해결에 대해 상당한 기여를 하는 동시에 구매업무와 물류관리 기술력에 따라 보다 향상된 결과를 얻을 수 있다.

② 예측되지 못한 지반조건의 리스크 할당

지반 상태에 대한 불확실성은 NATM 공사 뿐 아니라,

TBM 터널공사에서도 가장 비용부담이 많이 예상되는 리스크이며, 시공사 입장에서도 이러한 리스크를 수용하기 힘든 조항이다. 따라서 발주처와 협력하여 지반관련 민원에 대한 대처가 필요하며 국제적으로 시공사는 공사 보증을 통해서 지반 관련 문제를 해결하고 있다.

③ 리스크 관리 및 확인을 위한 협력

리스크 요인을 선정하고 초기 경보 시스템을 갖는 매커니즘을 활용하는 것은 성공적인 프로젝트 수행을 위한 핵심 요소이다.

④ 변화된 관리 시스템 정립

모든 표준 계약 양식은 비용과 시간의 관리에 대한 내용으로 구성되며 상재하는 리스크에 대한 내용이 반영되어야 한다. 더욱이 터널관련 프로젝트에서는 예상치 못한 지반 상태의 변화에 따른 리스크 요인을 정립하여 유연하게 대처하여야 한다.

1.3 계약 양식

계약 기간은 주 계약 입찰서를 바탕으로 산정하여야 하며 상세 계약에서는 관리 처리 방안 및 리스크 요소를 기재해야 한다. 표준계약서는 핵심적인 프로젝트의 요소를 반영하여야 하며 이에 대한 맞춤개정안 까지 이해하기 쉽도록 요약하여야 한다.

2. TBM 조달방법(TBM Procurement)

2.1 기존 국내 TBM 조달 현황

소구경 공동구용 Utility TBM은 1984년 당시 Utility Tunnel 건설의 국내 필요성(북한 공격용 땅굴에 대한 대응터널 굴착용)과 업체의 수로터널용 등 사업의지로 출발하였다. 장비의 도입과정을 보면 독일, 미국, 일본의 TBM Maker에서 보유한 기성품 32대가 구매(Purchasing)되었다.

이 때의 장비도입은 특정한 사업장에 대비한 장비의 사양을 고려한 것이 아니라, 어디에서나 사용할 수 있다는 보편적인 건설장비라는 개념 하에 일반 건설 장비를 구매하는 방식으로 기존의 TBM 장비를 구입하였다.

결과적으로 특정지반에 적합한 엔지니어링을 통해 선정된 장비가 아니기에 대부분의 장비가 현장 지반 상태에 부적합하여 제 효율을 발휘하지 못 하고 굴착 적응도 및 가동률이 떨어지는 결과를 낳았으며, 프로젝트 후 이 장비들은 TBM 전문 업체에서 소유하게 되어 굴착공사에 참여하므로써, 종합건설사(Genecon)의 굴착전문 협력업체(Sub-Contractor)로 자리매김 하였다.

이런 상황은 Utility TBM 터널 Project에서 TBM의 엔지니어링 건설팅이 적용된 전문 구매부분이 생략되었고 나아가 모든 TBM 공사에서 TBM Procurement의 개념이 형성되지 못 하는 계기가 되었다.

Utility TBM 터널이 대구경 Traffic Tunnel과의 다른 점은 표 1과 같다.

표 1. Utility Tunnel과 Traffic Tunnel의 차이점

항 목	Utility 터널	Traffic 터널
교통관련법의 제한	무	유
터널 단면	5m 이하	7m 이상
안전·환경의 문제	보통	매우 중요
위치	산악·도심지	도심·산악·하저·해저
정밀도 요구	보통(용통성 있음)	고도정밀 요구

2.2 향후 TBM 공사 활성화를 위한 TBM장비 조달 방안제안

과거에 비해 대형화 한 Traffic TBM공사는 현재 세계적으로 최대장비 직경이 $\Phi 19m$ 까지 이르고 있다. 이러한 규모의 직경이 $\Phi 7m$ 가 넘는 대구경 Traffic TBM은 장비라기 보다는 Plant에 가까운 실정이다. 일반적으로 TBM의 구매는 단순한 건설장비를 넘어서 TBM 전문가의 Procurement Service를 통해 이뤄진다. 중국 등 외국의 경우도 발주처는 장비구매를 Procurement Consultant에게 Service를 의뢰하며, 이를 통하여, 이 복잡한 Plant를 설계목적에 맞는 사양으로 경제적인 구매가 이뤄지도록 하고 있다. 국내의 일반 건설기술자들은 대구경 TBM을, Dozer같은 일반 건설장비로 생각하는 우를 범하는데, TBM은 엔지니어링이 필요한 설계를 통해 주문 제작되고, 장비의 제작, 검수, 시운전, 인수 등 복잡한 과정이 전문가의 Procurement Service를 통해 이뤄진다. 터널공사가 TBM공법을 채택할 경우, TBM 장비에 대한 EPC System이 적용되어야 하고, 이러한 중요한 문제들이 국내에서는 일반건설 장비를 사듯이 간과되어 있어, 제대로 된 사양의 TBM장비 구입을 하지 못하여, TBM 터널공사의 주된 실패요인이 되어 왔다. 즉 TBM장비는 Plant적 요소를 갖고 있고, 터널 구조물이나, 시공은 일반 토목적 요소를 갖고 있는데, TBM장비 구매는 일반 Plant 공사와 같이 Procurement Service를 절대적으로 필요로 한다.

2.2.1 TBM의 예비설계(Preliminary Design) 단계에서의 구매 행위

일반적으로 건설 장비의 구매에서 장비의 설계제작은 구매 행위에 포함되지 않고 제작사의 자체 모델의 사양에 의하여 구매의사가 결정된다. 그러나 TBM 장비는 Plant나 조선의 경우와 마찬가지로 Procurement 과정이 설계 제작에 당연히 포함된다. 따라서 구매자는 이 과정의 관리에 참여 하여야 한다.

특히 대구경 터널의 경우 장비의 규모가 직경이 $\Phi 7\sim 19m$, 대당 하중이 3,000~6,000ton에 이르며 길이 또한 150m~250m가 되므로 터널의 설계 시에 장비의 조립운전에 대한 여건이 반영되어야 하며 장비설계 또한 터널의 제반 환경에 맞게 설계되어야 하므로 TBM제작사와 터널 관련 TBM Procurement Engineer와의 기술정보교환 및 합의는 매우 중요하다(그림 2).

TBM의 Preliminary Design이 입찰과정의 심의를 거쳤음에도 다시 진행되는 것은 터널의 모든 설계분야와의 기술합의와 Risk Management의 과정에서 나타난 문제를 반영해야 하기 때문이다. 이때 반영해야 할 사항 중에는 TBM 구매계약의 범위를 넘어서는 경우도 있다. 이때 해외의 경우에는 계약 당사자들의 계약에 입각한 합의에 의해서 변경을 한다. 구매 중 이런 과정은 지반환경의 불확실한 상황에 대해 설계 진척도에 따라 보다 적절한 대응 방안을 마련하는 것이고, 나아가 TBM 장비가 현장에 투입하기 이전에 대부분의 Risk 사항을 제거하거나 축소시키는 결과를 가져오므로 TBM 장비의 굴진율이 개선되어 공사비 절감이 가능해 진다.

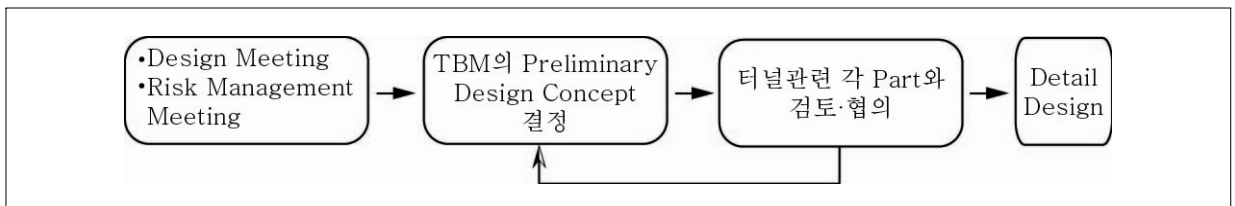


그림 2. Preliminary Design 단계의 Coordination Process

2.2.2 TBM 상세 설계 단계에서의 구매 행위

TBM 상세설계(Detailed Design)단계는 크게 보아 Preliminary Design 단계와 유사하다. 기술회의, Risk Management 회의가 반복적으로 행해지며, 이때 발생한 기술적·원자재 문제를 해결하고 TBM 자재 구매의 착수 등 총괄적 공정 관리를 필요로 하는 때이다. 특히 중요한 사항은 TBM 장비의 주요자재 및 장비 중 구매 기간이 긴 것(Long Lead Item)은 반드시 장비제작 기간 등을 고려하여 즉시 구매(Purchasing)가 시작되어야 한다는 것이다.

그리고 장비의 Detail Design은 품질 관리 측면에서 발주자의 승인 사항이고 이는 곧바로 제작 투입을 의미한다. 이런 의미에서 Procurement Consultant는 승인 업무를 대행하게 된다. 또한 이 과정에서 발생된 추가 사항에 대한 계약 변경도 실시된다.

TBM 장비의 사양은 Preliminary Design, Detail Design을 통하여 완성된다. 초기 Client의 TBM Engineer가 작성한 "Preliminary TBM Specification"은 발주과정, TBM 설계과정을 통하여 완성되고 이 사양의 결과에 대한 책임은 TBM 제작사가 지는 것이 Modern TBM 구매의 실상이다.

2.2.3 장비 제작 시 구매 행위

장비 제작 시 구매 행위는 아래와 같이 품질관리와 공정관리로 이루어진다.

- 제작감독(Manufacturing Supervision)
- 공정관리(Management & Controlling of The Progress)
- 품질관리(The Quality Controlling of The Equipment Manufacturing)

Supervision 업무의 기준(Principle & Rule)은 구매 계약서에 명시된 제작감독의 경로와 상세규칙에 따른다.

제조공정의 기술적 분류는 기계·전기·계장·배관·구조·자재로서 각 분야의 품질관리 기준을 수행할 Engineer의 감독활동을 필요로 한다. 품질관리란 TBM에 포함된 많은 System, Equipment, Structure 등이 설계도서에 맞게 자재가 투입되고 제작되는가를 Client를 대신해서 감독하는 것을 말한다. 그리고 제작의 마지막 시험단계인 시험운전을 거치게 된다.

TBM 장비가 조립(Assembly) 완료된 상태를 기계적 준공(Mechanical Completion)이라 한다. 이후 TBM의 많은 System을 개별 운전 시험하는 것을 사전시운전(Pre-Commissioning)이라 하고, 전체를 시험운전하며 성능을 시험운전하며 성능을 Test하는 것을 시운전(Commissioning)이라 한다. Mechanical Completion까지의 관계는 품질관리 기준에 따른 검사, 승인의 과정을 거치나, 사전시운전(Pre-Commissioning)과 시운전(Commissioning)은 제작사(Manufacturer)에서 작성한 절차(Procedure)에 의해서 실시된다.

제조과정 중 공장에서의 시운전(Commissioning) 기간은 약 2개월 정도가 필요하다. 이 기간 중 현장에서의 조립, 시운전에 나타날 다수의 문제점을 사전에 발견하여 조치함으로써 올바른 현장 조립 및 시운전 Procedure의 작성과 공기의 단축을 도모할 수 있도록 한다.

2.2.4 현장 조립(Assembly) 및 Commissioning 단계

현장에서의 TBM 조립(Assembly) 및 시운전 작업환경은 공장의 경우와는 많은 차이가 난다. 공장은 조립 Line에서 공장의 많은 설비를 이용하여 제작과정에서 자연스럽게 전체 조립이 완료되고, 이 상태에서 시운전이 진행되므로서 완전한 조립 상태와 환경에서 진행된다. 그러나 현장은 협소한 가설부지와 때론 좁은 수직구를 활용한 설치용 수직구(Shaft)는 장비의 전체조립이 불가능한 상태에서 진행되기도 한다. 터널설계와 공사관리계획을 통하여 제조공장과 유사한 상황에서 TBM 장비의 조립, 시험운전이 되도록 하는 것이 바람직하나, 국내의 경우 터널

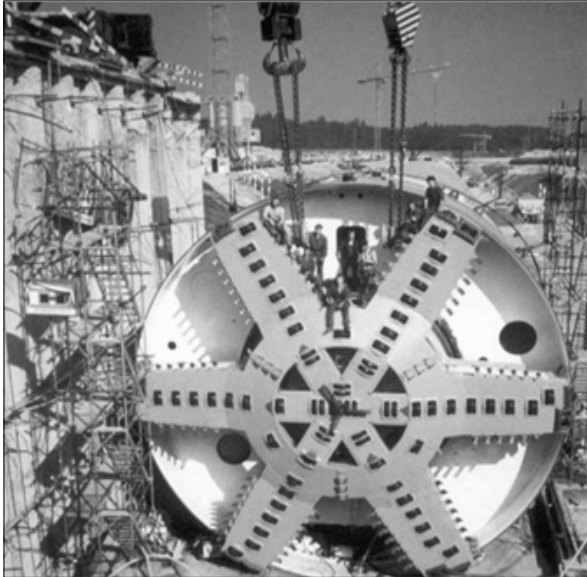


그림 3. TBM 현장조립(Assembly) 전경

기본설계 시 TBM 제작사와의 협업의 기회가 없으므로 대구경 Traffic TBM 임에도 불구하고 소구경 Utility TBM에서 적용했던 방법으로 터널설계를 하고 있는 현실이다.

현장에서의 조립, 시운전 기간도 공장의 시운전기간의 2~3배를 예상하여야 한다(그림 3). 이를 극복하는 방법은 터널설계 및 공사계획(Construction Planning)이 TBM Engineer와 협업을 통해서 TBM 장비의 원활한 조립, 시운전을 위한 기본 바탕을 함께 마련하는 것이 중요하다. 그리고 제작사가 작성하는 절차서(Procedure)를 면밀히 검토하여 승인하는 것과 절차서가 요구하는 사항을 터널의 설계·공사에 철저히 반영토록 하는 것이 필요하다. 그 공정을 보면 아래와 같다.

- 쉴드 본체 설치 (Start Shield Body Installation)
- 주요구동설비 설치 (Driver Installation)
- 후방설비 설치(Start Back-up Steel Structure Installation)
- 구조물 용접 작업 (Structure Welding Work)

- 커터 설치 (Cutter Arms Installation)
- 시운전 시작 (Start Commissioning)
- 시운전 완료 (Completion of Commissioning)

이 모든 작업이 현장의 품질 관리·감독 하에 시행되어야 한다. 여기서 문제가 되는 것은 이 작업이 비록 현장에서 진행된다 하나 관리감독에 대한 권한과 책임은 Procurement 관점에서 볼 때 장비의 인도(Head-Over)이전이기 때문에 구매의 품질 관리 기준에 따라야 한다는 것이다. 구매의 품질 관리는 장비의 설계·공장제작·공장시운전의 과정을 거쳐 진행하여 왔으므로 비록 현장이다 하더라도 TBM의 품질 관리의 마지막 단계로서 동일한 품질 관리 기준 하에서 실시되어야 한다는 것이다.

2.2.5 TBM 승인 및 발진(Acceptance 및 Launching 단계)

장비의 시운전(Commissioning)이 성공적으로 끝난 다음 발주처(Client)는 제작사(Manufacturer)에게 최종승인서(Final Acceptance)를 발행하며 이를 근거로 하여 장비 이관작업(Hand-over)을 시작하게 된다. 대체로 승인(Acceptance)의 발행 조건은 시운전(Commissioning) 과정 중의 절차에 의하여 승인여부를 가름하게 된다.

- 시운전절차서(Commissioning Procedure) 승인
- 각종 Test 입회검사 및 승인
- 시운전(Commissioning) 준비검사 및 시작승인
- 시운전(Commissioning) 과정 중의 문제점에 대한 조치관리 및 승인
- Mechanical Performance(기계적 성능 검토)
- 시운전시험(Test & Commissioning) 관련 서류(Document)의 충실도 확인 및 접수

이와 같은 과정이 성공적으로 이루어졌을 때 Procurement

consultant는 발주처의 승인을 받아 최종승인서(Final Acceptance)를 발행하게 된다.

이후 장비는 현장 팀에게 인계되며 아울러 설계, 제작 과정의 모든 문서가 계약 내용대로 발주처(Client)에게 제출된다. 이 모든 과정이 완료되었을 때 장비 이관 증서가 발행된다.

발진(Launching)업무는 장비운영절차(Operation Procedure)에 포함되기도 하고, 때에 따라 시운전(Commissioning)의 연속작업으로 생각하며 시운전절차(Commissioning Procedure)에 포함되기도 하는데 계약의 업무 영역에 따라 좌우되는 것이다. TBM 발진업무(Launching Work)가 시운전(Commissioning)에 포함되었을 경우 승인(Acceptance)과 장비이관작업(Hand-over)은 발진(Launching)과 함께 이루어진다. 그러나 엄밀한 의미에서 본다면 발진(Launching)은 공사 업무 범위에 속한다고 하겠다.

2.2.6 발진 이후 장비운영절차 단계

장비의 Procurement에서 장비가 이관 (Hand-over) 되었다는 것은 구매 행위가 끝났다고 보아도 무방하다. 그러나 계약에 포함된 각종 Service 업무가 살아있을 경우, 이 계약 내용에 대한 계속 수행(Follow-up)은 제작사(Manufacturer)에서 계속하여 수행하게 되는데 이 부분

을 공사관리에서 담당하기도 하고 때론 TBM Engineer가 소속된 Procurement consultant에서 수행하기도 한다. 시운전(Commissioning) 이후 제작사(Manufacturer)에서 작성한 절차서(Procedure)에 의한 TBM의 관리 행위는 아래의 절차서에 따른다.

- 발진절차 (Launching Procedure)
- 운영절차 (Operating Procedure)
- 유지관리절차 (Maintenance Procedure)
- 유티절차 (U-Turn Procedure)
- 부품관리절차 (Spare Part Control Procedure)
- 도달절차 (Reception Procedure) 등

이 서류들은 현장 개설 초기에 제작사(Manufacturer)가 제출하여 공사관리에 반영하게 되는데 기계화 시공의 특성상 이 Manual이나 Procedure가 정상적으로 지켜지고 있는가에 대한 감독과 문제점이나 Risk 발생 시 기계적 대응에 있어서는 TBM Engineer의 주도적 참여에 의한 컨설팅이 필요하다. 이 부분에 있어서 국내에서 행하는 책임감리의 업무로 보기에 매우 특수한 전문성을 요하기에 TBM Engineer의 폭이 좁은 우리 실정에서는 구조적 문제가 있다.

이 부분에 대해서는 많은 현실적 연구가 필요하며 TBM



그림 4. 터널 갱구부 TBM 발진(Launching) 전경

공법의 특성에 맞는 플랜트적 성격에 적합한 외국과 같은 시스템감리제도(System Supervision)의 도입이 절실한 상태이다.

3. 결론

지금까지 해외 터널 프로젝트의 TBM 조달(Procurement) 상황 및 국내 TBM 조달 현황에 대해 살펴보았다. 해외의 경우 프로젝트의 성패는 계약 자체보다는 계약과 관련된 내용을 어떻게 전문적으로 운영하는지가 더욱 관건이며 발주처에서 끊임없이 터널 관련 조달 항목을 감리 감독함으로써 성공적인 프로젝트를 수행할 수 있으리라 믿고 있다.

국내의 경우 Traffic TBM 적용이 거의 전무한 상태에서 TBM 조달 방안에 대한 방법도 구체적이고 체계적으로 정립되어 있지 않은 게 현실이다.

따라서 향후 국내에서 계획되어지고 있는 대규모 터널 프로젝트에서 공기 단축 및 리스크 발생에 따른 비용 증가를 최소화하기 위해서는 TBM 터널 선진국인 유럽·미국·호주·중국·일본 등과 같이 각 공정별 조달 시기 및 항목을 정립하고 TBM Engineer를 통한 TBM Procurement Consulting Service를 체계적으로 실시하여 각 프로젝트에 필요한 맞춤형 제작형 TBM 장비의 원활한 조달이 전문적인 TBM Procurement System을 통하여 이루어져야

한다.

TBM Engineer의 역할은 조사·설계·구매·시공운전·유지관리·터널완공에 이르기까지 총체적 Consulting 관리를 하는 것이, 설계·시공이 분리되어 전문화된 일반 발파식 NATM 공법과 차별화되는 것이다. TBM 장비의 적정 설계·구매·운용에 있어서도 Software적인 Procurement Consulting Service가 공기를 줄이고, 공사 중 문제점을 해결하므로 매우 중요하다.

체계적인 조달 시스템은 결론적으로 TBM 터널의 품질을 높이고, 유지관리비의 절감을 통한 터널구조물의 수명을 연장시켜 터널의 가치를 높이는 결과를 얻을 수 있다.

Plant적인 성격이 큰 대구경 TBM 장비의 성공적 굴착 수행을 위해서 EPC System의 일원화가 필요하며, 중국 등 외국의 경우 TBM Procurement 전문 Consultant가 다수 활동하고 있다.

TBM 장비, 공사비 견적, 장비구매 등 주요 일련 작업이 전문 TBM Engineer에 의해 수행되어, 공사나 구매 중 발생하는 많은 시행착오를 줄여 굴진을 향상 및 공기절감, 공사비 절감 효과를 얻을 수 있다. 전문가 집단을 통한 TBM 구매가 이루어지면 TBM 시공의 가장 핵심인 국내 지반 조건에 맞는 적정장비 구매에 대한 Risk를 최소화 할 수 있다. TBM Procurement Service에 의한 장비 구매 시스템의 도입이 국내에 앞으로 널리 도입될 TBM Project의 성공적 시공관리에 중요한 요인이라 하겠다.