

토압식 쉴드TBM 장비설계를 위한 설계항목과 세부 요구사항의 구성에 관한 제안

김기환^{1*} · 김혁² · 김성철³ · 강시온⁴ · 문철화⁵

¹정회원, (주)삼보기술단 이사

²정회원, (주)삼보기술단 전무

³비회원, (주)삼보기술단 부장

⁴비회원, (주)삼보기술단 대리

⁵정회원, (주)삼보기술단 부사장

The suggestion of tunneling information and detail requirements for EPB shield machine design

Ki-Hwan Kim^{1*} · Hyouk Kim² · Seong-Cheol Kim³ · Si-On Kang⁴ · Cheol-Hwa Mun⁵

¹Director, Geotechnical Business Division, Sambo Engineering Co., Ltd.

²Senior Managing Director, Geotechnical Business Division, Sambo Engineering Co., Ltd.

³General Manager, Geotechnical Business Division, Sambo Engineering Co., Ltd.

⁴Assistant Manager, Geotechnical Business Division, Sambo Engineering Co., Ltd.

⁵Vice President, Geotechnical Business Division, Sambo Engineering Co., Ltd.

*Corresponding Author : Ki-Hwan Kim, kihwan@daum.net

OPEN ACCESS

Journal of Korean Tunnelling and
Underground Space Association
22(6)611-622(2020)
<https://doi.org/10.9711/KTAJ.2020.22.6.611>

eISSN: 2287-4747

pISSN: 2233-8292

Received October 13, 2020

Revised November 5, 2020

Accepted November 9, 2020



This is an Open Access article
distributed under the terms of the
Creative Commons Attribution

Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2020, Korean Tunnelling and Underground
Space Association

Abstract

Recently, tunneling projects using shield TBM are increasing in Korea, but the information of client for machine design and manufacturing considering the characteristics of the tunneling phase is not formal, and it is difficult to optimized machine for suitable tunneling works. This paper suggest as for reference the required terms that can be used in Korea on the design items and detailed requirements for ordering of EPB shield TBM based on overseas case study. It would be hope that the TBM user can request the overall tunneling plan and required machine specification when ordering TBM, and the TBM supplier can design and manufacturing that is clear condition and suitable machine for the successful project, so that there are no residential civil complaints and for safe tunneling as well, shield TBM tunneling method will be activated.

Keywords: Client, EPB, Shield TBM, Specification, Guidelines

초 록

최근 국내에서 쉴드TBM을 이용하는 터널공사의 발주가 증가하고 있으나 터널구간의 특성을 고려한 장비제작을 위한 정보의 제공은 체계적이지 못하여, 적합한 장비설계를 하는데 어려움이 많다. 본 기술보고는 외국의 사례검토를 바탕으로 토압식 쉴드TBM의 장비발주를 위한 설계항목과 세부 요구사항의 구성에 대해 국내에서 활용 가능한 내용을 예시로서 제시하였다. 제안하는 내용을 바탕으로 발주자는 장비 발주 시 필요한 전반적인 방향을 제시가능하고, 입찰자는 명확하고 과업조건에 적합한 장비를 설계, 제작하여 민원이 없고, 안전한 토압식 쉴드TBM 터널공사의 활성화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어: 발주처, 토압식, 쉴드TBM, 장비 사양, 가이드 라인

1. 서론

외국에서는 이미 많은 국가에서 쉴드TBM을 이용하는 다양한 프로젝트의 발주가 이뤄지고 있으며 국내 기업도 많이 참여하여 수행하고 있다. 국내의 경우는 직경 3 m급 전력구, 가스관로, 상하수도 터널공사에서 쉴드TBM을 주로 이용해 왔지만, 최근에는 7 m급 이상의 지하철에서도 쉴드TBM을 이용하는 터널공사의 발주가 점진적으로 증가하고 있는 추세이다.

쉴드TBM은 고가의 장비이며, 다양한 기능을 가지고 있기 때문에 발주 후 제작이 완료되어 터널공사를 시작하게 되면, 굴착 중에는 장비의 기능을 추가하거나 개조하기가 어렵다. 그러므로 쉴드TBM 장비를 발주하는 경우에는 최적의 장비를 제작할 수 있도록 설계 및 시공 시 참고할 수 있는 충분한 정보를 입찰안내서에 포함해서 제공하여 시공할 때 장비의 변경, 트러블로 인한 공기, 공사비에 대한 리스크를 최소화할 필요가 있다.

외국의 경우, 발주자는 쉴드TBM 제작을 위한 입찰안내서를 작성할 때, 과업의 노선 개요와 함께 터널구간과 계획에 대한 설계검토사항을 포함하여 터널공사 중에 예상되는 정보를 제공하고 있다. 그리고 이러한 정보에는 공사구간의 지반조건, 주변 현황과 제약조건, 쉴드TBM 장비에 요구되는 기능과 성능 등이 포함되어 있어, 입찰에 참여하는 제조사가 현장조건에 적합한 쉴드TBM을 제안할 수 있도록 하고 있다(Kim et al., 2017).

그러나 국내의 경우, 대부분의 쉴드TBM 제작을 위한 입찰안내서에서는 과업구간의 특성에 따라 쉴드TBM 장비를 제작하기 위한 정보라기보다는 터널단면의 조건과 굴착에 대한 일반적인 정보만을 제공하여, 입찰하는 제조사가 설계와 시공조건을 모두 검토하여 제안하도록 제시하고 있어, 제공된 짧은 시간 내에 과업조건에 적합한 장비설계가 매우 어려운 실정이다. 또한, 관련 전문가가 많지 않으므로 입찰하는 장비제조사별로 과업의 조건에 적합한 장비를 설계하였는지 판단과 비교검토가 어려운 상태이므로 명확한 입찰이 이루어지지 않고 있고, 결국 가격에만 의존하는 발주가 이루어지고 있는 실정이다.

국내 재정발주의 경우에는 입찰안내서에서 터널공법에 대한 사항과 쉴드TBM 장비제작에 대한 가이드를 명확하게 제시하지 않기 때문에 낙찰 받은 시공사는 장비 선정 시 전문자료와 데이터 없이 입찰하고 있으므로 터널

공법과 장비선정에 대해 발주처 간에 분쟁이 발생하기도 하며, 시공 중에는 성능에 대한 검증이 없었으므로 굴진 효율이 떨어지거나 트러블로 인해 많은 어려움과 분쟁을 겪고 있는 실정이다.

이에 본 기술보고에서는 토압식 쉐드TBM 장비발주를 위한 설계항목과 세부 요구사항의 구성을 제시하여 향후 장비를 발주할 때 필요한 전반적인 방향을 제하고자 한다.

2. 외국 장비발주 사례

외국의 재정발주에 대한 사례로서, 싱가포르 LTA (Land Transport Authority)가 발주한 Circle Line Stage 6 (LTA, 2016), 영국 Thames Water Utilities Ltd가 발주한 Thames Tideway Tunnel (Thames Water Utilities Ltd, 2013), 태국 MRTA (Mass Rapid Transit Authority of Thailand)가 발주한 MRT Orange Line (Thailand Cultural Centre -Min Buri, 2017) 프로젝트의 입찰안내서에서 제시하는 토압식 쉐드TBM 장비 제작 사양서를 Fig. 1에 나타내었다.

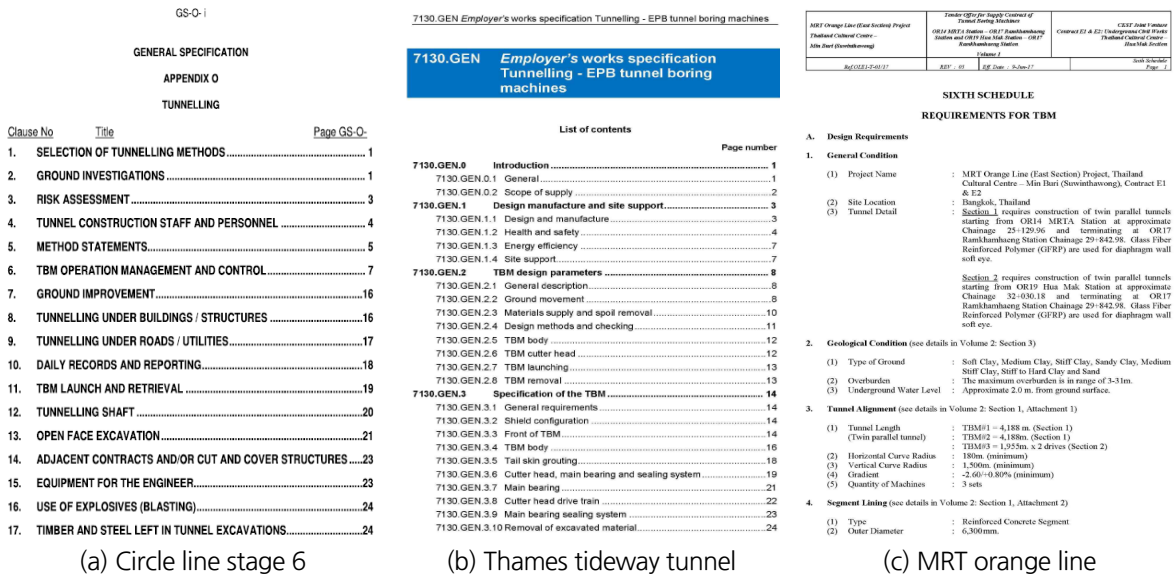


Fig. 1. Required specification for EPB shield TBM

장비설계를 위한 요청서는 장비 설계를 위한 기본 구성항목, 사양, 최소 필요 성능을 제시하고 있으며, 별도로 입찰자가 고려해야 하는 사항을 제시하고 있다.

입찰자의 장비 설계를 위해 발주자는 과업의 위치, 터널구간에 대한 종단 및 평면 선형계획과 지반조사(지반조사보고서 및 설계보고서), 장비가 투입되고 완료해야 할 공정계획, 운영되는 장비대수, 발진 및 도달부 작업장의 규모와 주변 환경 등에 대한 사항을 제공하고 있다. 그리고 세그먼트 설계, 굴진 중 시공관리에 주의가 필요한 구

간의 정보, 현장에서 공급되는 전력과 관련된 내용도 제시하고 있다.

장비사양 제시항목에는 장비 제작과 관련된 기본적인 항목과 함께 세부설비, 시스템, 추력, 면판 등에 대한 사양, 후방시설과 같은 운영 시 장비가 갖춰야 할 필수 항목, 그밖에 검수와 주변설비, 시스템 등으로 크게 구분되어 제시되어지고 있다.

이와 같이 외국의 발주자는 입찰자가 과업의 특성에 맞게 쉴드TBM 장비를 설계하여 제작하고, 공사 중 운영 및 관리해야 할 기본 항목을 제시하고 있다. 즉 발주자는 입찰자가 최적의 장비를 설계 및 제작하고, 운영과 관리에 필요한 정보를 충분히 제공함으로써 사전에 리스크를 인지시키고 최소화하여 안전하게 터널공사가 시공될 수 있도록 계획하고 있다.

2.1 입찰안내서 중 설계내용 제공자료 항목 검토

과업특성에 맞는 쉴드TBM 장비를 제작하기 위해서는 기본적인 터널설계 내용과 함께 과업에서 고려하고 있는 굴진 중 시공관리 포인트 등 현황을 장비제작사가 파악할 수 있도록 하여야 한다. 국내에서는 앞서 언급하였지만 이러한 정보를 제공하고 있지 못한 반면 외국에는 명확하게 설계내용과 장비사양으로 구분하고 있다.

일반조건으로서 프로젝트명과 위치정보, 터널 시공계획(쉴드TBM 시점, 종점, 수직구, 병설터널 여부 등), 쉴드TBM 통과구간에 대한 지장물 접근현황, 세그먼트의 재질과 제원에 대한 정보를 제공하고 있다.

지반조건에 대해서는 발주처가 수행한 지반조사보고서를 별도로 제공하고 지반조건, 토피고 범위, 지하수위, 지질이상대, 쉴드TBM 굴진 시 주의구간에 대한 정보를 제공하여 면판설계 및 막장압 관리에 관련된 장비설계에 참고하여야 하는 사항을 제시하고 있다.

터널 내에서 이뤄지는 선형정보(중단 곡선, 평면곡선, 경사도), 장비대수 등을 제공하여 선형조건을 만족하는 장비제작이 가능하도록 하고 있다. 세그먼트 설계에 대해서는 세그먼트 재료와 외경, 내경, 두께, 분할계획, 세그먼트 링(ring) 당 중량, 1피스의 최대 중량 등을 제공하여 장비가 세그먼트를 충분히 운반하고 조립할 수 있는 성능을 가진 장비제작이 이뤄지도록 하고 있다.

그 외로는 수직구를 통한 작업구가 이뤄질 경우에는 수직구의 경사, 폭, 길이, 깊이에 대한 정보를 제공하여 장비 조립에 대한 공간을 고려할 수 있도록 제공하고 있다. 쉴드TBM이 전기로 운영되는 만큼 현장의 전원공급과 전기설비에 대한 정보를 제공하여 지역과 국가에 별로 전압과 주파수, 제어판, 계기판 등에 전기설비에 대한 전력 공급에 문제가 없도록 하기 위해서이다.

2.2 입찰안내서 중 장비사양 제시항목 검토

입찰안내서 중 장비사양에 대한 요구 항목으로는 장비타입을 기본적으로 제시하고 있다. 쉴드TBM의 구성요소인 본체, 커터헤드나 막장부근 유지관리 작업을 위한 통로로서 맨록(Man Lock), 추진책과 중절책, 각 종 주입구와 제어, 커터의 종류, 버력처리 시스템, 세그먼트 이렉터 시스템과 호이스트, 그리스를 포함한 주입 시스템, 운

전제어시스템, 화재감지시스템과 같이 장비 본체에 관련된 항목과 제반조건을 제시하고 있다. 그리고 장비본체 운영을 위한 후방설비, 편의시설, 공급시설 등을 제시하고 기타사항으로 장비검수를 비롯한 전반적인 관리시스템에 대해서 요구항목을 제시하고 있다.

외국의 입찰안내서 검토를 통해 장비견적요청서(Request for Quotation, RFQ)에는 장비의 설계와 제작에 필요한 세부 요구사항 중에는 구체적인 사양을 제시하거나 최소한 성능을 제시하는 경우도 있지만, 성능을 만족시키기 위한 용량과 수량에 대해서는 장비 제작사가 자체 노하우를 바탕으로 제안하고 향후 협의하여 조정할 수 있도록 제시하고 있는 것으로 파악되었다.

장비를 설계하고 제작하는 필요한 세부 요구사항을 살펴보면, 쉴드TBM 본체에 대해서 주로 제시하고 있는 항목 중 전동부, 중동부, 후동부는 장비사마다 차이가 있기 때문에 입찰자가 제안하도록 하고 테일부 내정에 대한 최소한의 테일클리어런스, 뒤채움 주입방식과 주입구 수량 등을 제시하고 있다. 터널구간에 작용하는 막장압은 최대 토압 또는 수압으로 제시하여 이에 견딜 수 있게 제작하도록 유도하고 있다. 또한, 현장까지 장비를 운반하는데 있어서도 고려해야 할 분할계획과 하중조건을 제시하고 있다.

터널설계 항목으로 선형특성을 제시하고 있으며, 장비의 굴진능력과 관련된 구동부에 대해서는 구동방식, 추진축, 중절축의 제어시스템에 대한 구체적인 사항도 제시하고 있다.

쉴드TBM에서 중요한 요소인 커터헤드에 대해서는 개구율, 디스크커터, 비트커터, 오버커터, 카피커터, 마모 감지 커터의 수량까지 제시하는 경우도 있고, 입찰자의 판단으로 제안하도록 요청하는 경우도 있다. 커터헤드 구동장치인 메인드라이브는 유압식 또는 전동식의 운전방식, 모터출력, 회전속도, 작용 토크압, 메인베어링의 사양과 크기를 제시하거나 입찰자의 판단으로 제안하도록 요청하는 경우도 있다.

굴착버력의 배토를 위한 스크류 컨베이어는 스크류의 형식과 용량에 필요한 세부사항을 제시하는 경우도 있으며, 후방반출을 위한 벨트컨베이어를 기본 사양으로서 최소한의 운반용량을 제시하여 과소하게 제작되지 않도록 하고 있다.

세그먼트 조립을 위한 이렉터와 운반 크레인에 대해서 제시하고 있으며, 최소한의 용량을 제시하거나 입찰자의 판단으로 제안하도록 요청하는 경우도 있다.

막장에서 작업원의 유지관리 점검을 위해 필요한 가압시설(Man Lock)에 대한 설치를 제시하고 있으나, 설치 위치와 충분한 압력이 공급되기 위한 설비와 이를 위한 부속설비는 입찰자가 제시하도록 하고 있다.

후방대차에 대해서는 크기, 차량수, 주행형식을 제시하고, 구동/냉각/씰링을 위한 그리스와 오일의 공급을 위한 운할시스템, 뒤채움 주입시스템 및 형식, 폼(foam)/폴리머(polymer)/벤토나이트(bentonite) 주입시스템, 안전과 관련된 화재감지 및 화재 제어를 위한 설비와 자동감지시스템, 변압기, 조명시스템, 환기시스템, CCTV 시스템, 선형관리 시스템과 제어항목을 기본 구성과 옵션으로서 구분하여 제시하고 있다. 그 외 장비의 공장검수에 대한 제반사항을 제시함으로써 발주자의 제작과정 중 검사계획을 사전에 제공하고 있다.

이에 비해, 국내 발주자의 입찰안내서에는 기본적인 터널의 선형정보와 지반조사보고서만 제공하고, 모든 제반사항을 입찰자의 경험과 판단으로 제안하도록 요청하고 있는 실정으로서 Table 1에 제공내용을 비교하였다.

Table 1. Invitation to Bid (ITB) document's contents

| Div | Details for TBM tunneling information | | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|------|------|--------------------|--------------------|------------|-----------|-------------------|----------|
| | Geo-technical baseline report | Risk | Type | Specification | Segment | Management | Operation | Equipment quality | Document |
| Circle line | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Thames tideway tunnel | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Bangkok metro | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Seoul subway corporation line 9 (Seoul City Urban Railway Development, 2009) | ○ | × | × | Depend on tenderer | Depend on tenderer | × | × | × | × |
| Incheon international airport 2nd passenger terminal connection railway (Korea Rail Network Authority, 2012) | ○ | × | × | Depend on tenderer | Depend on tenderer | × | × | × | × |

3. 토압식 실드TBM 장비설계를 위한 터널설계 항목의 제시

상술한 외국의 사례를 참고하여 향후 국내 입찰안내서에서 제시하여야할 최소한의 기본적인 사항을 Table 2에 제안하였다. 장비 설계를 위한 터널설계 항목으로는 사업명, 사업지역에 대한 굴착 중 고려사항, 터널계획에 대한 정보, 지반정보, 세그먼트 구조물에 대한 정보와 작업장 및 수직구 계획과 공급 가능한 전기용량에 대한 정보를 기본적으로 제공할 필요가 있다.

Table 2. Tunneling information for shield machine design (for reference)

| General project information | | | Client/ Contractor | Remark |
|-----------------------------|----------------------------------|---|--------------------|--------------------------------|
| 1-1 | Project name | ○○~○○ project | ○ | |
| 1-2 | Project location | ○○ city ○○ ~ ○○ city ○○ (○○ km) | ○ | - Launching, Arrival |
| 1-3 | Shield TBM tunneling information | ① Shield TBM tunneling : Shaft#1 (Sta.) ~ Shaft#2 (Sta.) ② Tunnel type (metro/road, single/twin tube, etc) ③ Tunneling environment (closed building around ○ m etc) ④ Alignment : Tunnel lengths, Max vertical slope ± ○%, Min plane curve radius ○ m ⑤ Required machine Qty's | ○ | - Design report - Alignment |

Table 2. Tunneling information for shield machine design (for reference) (continued)

| General project information | | | Client/ Contractor | Remark |
|-----------------------------|---------------------|--|-----------------------|--------------------------------|
| 1-4 | Geology information | ① Ground condition/strengths, Geology property ② Over burden, Min soil cover depth ③ Water level, Max water pressure | ○ | - Geotechnical baseline report |
| 1-5 | Segment information | ① Type : RC, Steel, SFRC ② Outer diameter : ○ mm ③ Inner diameter : ○ mm ④ Width : ○ mm ⑤ Separation : ○+○ Key ⑥ Weight : A-piece ○ ton/each, B-piece ○ ton/each, K-piece ○ ton | ○ | - Segment design |
| 1-6 | Others | ① Shaft information : Height, Depths, Inner diameter ② Power supply : ○ kV ③ Required project conditions ④ Inspection, Reporting plan | △ | - Depend on project conditions |

이러한 정보를 충분히 제공함으로써 최적의 장비를 설계 및 제작하고, 운영과 관리에 요구되는 사항을 사전에 파악할 수 있으므로 리스크 대응이 가능하고, 안전하게 터널공사를 완료할 수 있을 것으로 판단된다.

표 중, 발주처(자)가 제시하여야 할 필수항목을 (○), 필요시 제시 또는 제조사와 협의하여야 하는 사항을 (△)로 구분하였다.

3.1 터널정보

과업명과 과업지역을 알 수 있도록 제공하여 공장에서 제작한 후 운반해야 할 항구과 내륙운반경로의 조건을 참고할 수 있도록 하여야 한다. 터널의 형식과 쉴드TBM 적용구간, 굴진 중 리스크 회피를 위한 주변의 주요 구조물 및 지하 지장물 등 현황정보, 선형정보(최소 곡선 반경, 최대 종단 구배 등), 터널의 표준단면으로는 세그먼트의 내경, 외경 및 폭, 그리고 계획하고 있는 장비대수 등을 제시할 필요가 있다.

3.2 지반정보

지반조사로부터 파악된 지층구성과 지반특성, 강도, 토피고, 지하수위 현황을 종합적으로 파악할 수 있도록 터널구간의 종단 및 평면도를 작성하고 제시하여 수행 시에는 장비운영 및 리스크를 사전에 파악하고 예측하여 장비제작 시에 고려할 수 있도록 제공할 필요가 있다.

3.3 세그먼트

완성된 터널의 사용목적과 운영 시 터널내부의 설비계획을 참고할 수 있는 단면설계사항, 세그먼트의 종류, 외경, 내경, 두께, 폭, 링분할 계획 및 각 피스(A, B, Key 세그먼트)의 중량을 제공하여야 한다.

3.4 기타 필요한 정보

셴드TBM의 현장반입과 조립, 해체를 위한 현장 제반조건과 장비 운영 시 현장에서 공급 가능한 전기공급형식과 전기설비, 현장 작업장 면적과 입지조건을 제공하여 제조사가 장비설계에 참고할 수 있도록 한다.

4. 토압식 셴드TBM 장비 발주를 위한 세부요구사항의 구성

발주자의 충분한 프로젝트 정보를 바탕으로 토압식 셴드TBM 장비 발주를 위한 입찰안내서에 제시할 필요가 있는 세부 요구사항의 구성과 항목에 대하여 Table 3과 같이 제시하고자 한다.

Table 3에는 발주자가 반드시 제시하여야 하는 필수항목을 (○), 발주자가 제시하기 어렵거나 또는 장비 제조사와 협의가 필요한 사항을 (△)으로 구분하였다.

Table 3. Suggestion as reference of detail requirements terms for EPB shield design (for domestic projects)

| Requirement specification for EPB shield TBM | | | Client/ Contractor |
|--|-------------------------|---|-----------------------|
| 1 | EPB shield TBM | | ○ |
| 1.1 | TBM General overview | All brand new | ○ |
| | | Geology condition | ○ |
| | | Excavation diameter (mm) | △ |
| | | Cutter head rotation speed (rpm) | △ |
| | | Max. advance speed (mm/min) | ○ |
| | | Maximum thrust (kN) | △ |
| | | Total length (main body, backup gantry) | △ |
| | | Total weight (main body, backup gantry) | △ |
| | | Segment dimension (OD, ID, W, separation) | ○ |
| | | Maximum operating pressure (bar) | ○ |
| | | Installed power (kW) | △ |
| | | Minimum horizontal curve radius (mm) | ○ |
| | | Maximum vertical slope (%) | ○ |
| | | Estimated heaviest transport component (less than ○○ ton) | ○ |

Table 3. Suggestion as reference of detail requirements terms for EPB shield design (for domestic projects) (continued)

| Requirement specification for EPB shield TBM | | | Client/ Contractor |
|--|-----------------|---|-----------------------|
| 1.2 | Cutter head | Shape | △ |
| | | Opening ratio (%) | △ |
| | | Cutting tools (disc cutter, bit cutter, scraper etc) | △ |
| | | Quantities of foam, Bentonite and polymer port | △ |
| | | Wearing detection | △ |
| | | Copy cutter, Over cutter if required | △ |
| 1.3 | Main drive | Drive type (electric or hydraulic motor) | ○ |
| | | Minimum main bearing diameter (over 50% of front body diameter, mm) | ○ |
| | | Main bearing life (over 10,000 hrs) | ○ |
| 1.4 | Shield body | Type (active PR passive articulation) | ○ |
| | | Front shield diameter (mm) | △ |
| | | - Earth collapse detector | ○ |
| | | Middle shield diameter (mm) | △ |
| | | Tail shield diameter (mm) | △ |
| | | - Rows of tail shield seal brushes | ○ |
| | | - Tailskin installation clearance (mm) | ○ |
| | | - Emergency tailskin sealing | ○ |
| - Tail shield grouting excluder | ○ | | |
| 1.5 | Man lock | Chamber Qty, Capacity, Working pressure | ○ |
| 1.6 | Screw conveyer | Type (shaft, ribbon, etc) | ○ |
| | | Diameter (mm) | △ |
| | | Max size of particle (mm) | ○ |
| | | Max discharging capability (m ³ /hr) | △ |
| 1.7 | Segment erector | Pick up method (mechanical, vacuum) | ○ |
| | | Lifting force (safety factor 2.5) (kN) | △ |
| 1.8 | Segment feeder | The number of segment on feeder (○ piece) | △ |
| 1.9 | Segment crane | Type | △ |
| 1.10 | Belt conveyer | Belt width (mm) | △ |
| | | Transfer capability (m ³ /hr) | ○ |
| | | Muck weighing system | △ |
| | | Muck volume scanner | △ |
| 1.11 | Thrust system | Max. thrust speed (mm/min) | ○ |
| | | Max. thrust force (kN) | △ |
| | | Cylinder stroke (mm) | ○ |

Table 3. Suggestion as reference of detail requirements terms for EPB shield design (for domestic projects) (continued)

| Requirement specification for EPB shield TBM | | | Client/ Contractor |
|--|--|---|-----------------------|
| 1.12 | Articulation system | Type (active PR passive articulation) | ○ |
| | | Total thrust force (kN) | △ |
| | | Cylinder stroke (mm) | △ |
| 1.13 | Back up gantry | Gantry Qty | △ |
| | | Tracking type (rail, rubber wheel) | ○ |
| | | Backup towing cylinder stroke and Qty | △ |
| 1.14 | Double liquid grouting system | Type (TAC, E-TAC) | ○ |
| | | Injection capacity (m ³ /hr) | △ |
| | | Storage tank capacity (m ³) | △ |
| 1.15 | Foam injection system | Injection capability (liter/hr) | △ |
| 1.16 | Bentonite injection system | Injection capability (m ³ /hr) | △ |
| 1.17 | Industrial compressed air systems | Supply air pressure (bar) | △ |
| | | Air compressor capacity (m ³ /hr) | △ |
| 1.18 | Active face control system | Volume of bentonite tank (m ³) | △ |
| 1.19 | Industrial water supply and cooling system | Water supply - rated temperature (28°C) | △ |
| | | Type of cooling system (inner and outter circulation) | △ |
| 1.20 | Gear oil system | Amount of gear oil (liter) | △ |
| 1.21 | Tailskin grease system | Depend on TBM supplier | △ |
| 1.22 | The HBW sealing system | Depend on TBM supplier | △ |
| 1.23 | Main drive (EP2) sealing system | Depend on TBM supplier | △ |
| 1.24 | Dewatering system | Sewage tank capacity (m ³ /min) | △ |
| 1.25 | Pressure resisting and breathable air system | Depend on TBM supplier | △ |
| 1.26 | Ventilation system | Flow of ventilation (m ³ /hr) | ○ |
| 1.27 | Electrical system | Primary (high) voltage (kV) | ○ |
| | | Secondary (low) voltage (V) | ○ |
| | | Lighting voltage (V) | ○ |
| | | Valve control voltage (V) | △ |
| | | Frequency (Hz) | △ |
| | | Length of cable in the storage box (m) | △ |
| | | High voltage cable cross-section (mm) | ○ |
| 1.28 | Guidance system | System name | △ |
| | | Accuracy (2 sec) | △ |
| 1.29 | Monitoring system | Camera Qty | △ |
| 1.30 | Data logging system | Output format | △ |

Table 3. Suggestion as reference of detail requirements terms for EPB shield design (for domestic projects) (continued)

| Requirement specification for EPB shield TBM | | | Client/ Contractor |
|--|-------------------------------|---|-----------------------|
| 1.31 | Communication system | Telephone Qty | △ |
| 1.32 | Lighting system | Specifications (W) | △ |
| 1.33 | Fire extinguishing system | Portable extinguisher | △ |
| 1.33 | Harmful gas monitoring system | CO ₂ /CO/O ₂ /CH ₄ | ○ |
| | | portable monitoring sensor | △ |
| 1.34 | Probe drill | Diameter of drilling bit (mm) | △ |
| 2 | Factory inspection | Inspection time : ○ times at factory | ○ |
| | | Inspection attendance : ○ persons / time | ○ |

5. 결론

토압식 쉴드TBM의 장비발주를 위한 설계항목과 세부 요구사항의 구성에 대해 외국의 사례를 바탕으로 국내에서도 활용 가능한 내용을 예시로서 제시하였다.

쉴드TBM은 일단 터널공사를 시작하면 이후에 사양과 성능을 개조하기 어렵기 때문에 프로젝트를 성공적으로 계획된 공기 내에 안전하게 수행하기 위해서는 장비 발주에 있어서 충분한 정보를 제공하고, 예상되는 리스크를 사전에 파악하여 발주자의 의도와 목적을 정확하게 제시할 필요가 있다.

또한 국내에서도 향후에는 외국에서 시행하는 방식과 같이 기본설계나 실시설계를 실시하고 건설회사가 입찰할 때 사전에 장비업체(2개 업체)의 장비 사양서를 제출하도록 하여, 경쟁력을 향상시키고, 건설사 선정 후 장비에 대한 기술미팅을 통해 선정된 장비제조사가 양질의 장비를 제작하여 현장에 반입될 수 있도록 하는 일련의 과정을 도입할 필요가 있을 것으로 판단된다.

본 제안 내용을 참고하여 발주자는 과업의 특성을 고려한 토압식 쉴드TBM의 사양과 성능, 항목을 조정할 수 있으므로 장비 발주 시 필요한 전반적인 제작 방향을 제시할 수 있고, 입찰자는 주어진 상세한 정보를 통해 최적의 장비를 설계, 제작하여 성공적인 터널공사를 수행하여 완료함으로써 민원이 없고, 안전한 터널공법으로서 향후 활성화되기를 기대한다. 또한, 발주자가 이수식 쉴드TBM을 적용하는 경우에는 이수식 쉴드TBM의 특징을 고려하여 추가해서 활용 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 건설기술연구사업(과제번호: 20SCIP-C129646-04)인 “TBM 커터헤드 설계자동화 및 운전·제어 시스템 개발”의 지원으로 수행되었습니다.

저자 기여도

김기환은 연구개념과 원고를 작성하였고, 김혁은 연구방향 설정하였고, 김성철은 수집된 자료를 분석하였고, 강시온은 자료를 수집하고 정리하였고, 문철화는 원고 검토를 하였다.

References

1. Kim, K.H., Kim, H., Mun, C.H., Kim, Y.H., Kim, D.H., Lee, J.Y. (2017), “A study on the establishment of domestic criteria through analysis of shield TBM requirements in overseas ITB (Invitation to Bid)”, *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, Vol. 19, No. 6, pp. 985-997.
2. Korea Rail Network Authority (2012), Incheon international airport 2nd passenger terminal connection railway of construction work, invitation to bid.
3. LTA (Land Transport Authority) (2016), Tunnel machine, general specification, appendix P, circle line stage 6 (CCL6) mainline.
4. Seoul City Urban Railway Development (2009), Seoul subway corporation line 9 of construction work, invitation to bid.
5. Thailand Cultural Centre -Min Buri (Suwinthawong) (2017), Tender offer for supply contract of tunnel boring machines, MRT orange line (east section) project.
6. Thames Water Utilities Ltd (2013), Employer’s works specification - Tunnelling: Earth pressure balance tunnel boring machines, Thames Tideway Tunnel -Main Works - West.