

최적 TBM 장비 발주를 위한 선정 기준 및 체크리스트 사례 검토

김기환^{1*} · 김혁² · 김성철³ · 강시온⁴

¹정회원, (주)삼보기술단 이사

²비회원, (주)삼보기술단 전무

³비회원, (주)삼보기술단 이사

⁴비회원, (주)삼보기술단 대리

Case study for technical evaluation and check list to decision of optimized TBM

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

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

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

³Director, Geotechnical Business Division, Sambo Engineering Co., Ltd.

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

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

Abstract

When ordering a slurry shield TBM to be used for power cable tunneling, the client organizes an evaluation committee composed of experts, suggest the criteria and evaluation method for technical specifications for supplier selection, and based on the manufacturer's technical proposal were attempted to evaluate and select. It is expected to be referred to as a guideline for future projects to using Shield TBM as one of the methods of verifying performance and quality in advance and securing economic feasibility in the shield TBM tunneling in the recent increasing trend.

Keywords: Client, Shield TBM, Specification, Evaluation, Guideline

초 록

국내 전력구 터널공사에 투입할 이수식 쉴드TBM의 발주에 있어서 발주자가 주관하여 전문가로 구성된 위원회를 구성하고, 장비발주를 위한 기술 및 사양에 대한 선정 기준을 수립한 후, 제조사의 기술제안서를 바탕으로 평가하여 적합판정된 장비를 선정하는 일련의 과정이 시도되었다. 쉴드TBM 공법의 최근 증가추세에 따라 성능과 품질을 사전에 검증하고, 경제성을 확보하는 방법의 하나로서 향후 쉴드TBM의 발주를 위한 가이드라인으로 참고될 것으로 기대된다.

주요어: 발주처, 쉴드TBM, 장비사양, 평가, 가이드라인

OPEN ACCESS

Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association
23(6)385-392(2021)
<https://doi.org/10.9711/KTAJ.2021.23.6.385>

eISSN: 2287-4747

pISSN: 2233-8292

Received September 11, 2021

Revised October 21, 2021

Accepted October 21, 2021



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 © 2021, Korean Tunnelling and Underground Space Association

www.kci.go.kr

1. 서론

최근 국내에서는 도심지와 해·하저에서의 터널공법으로 쉘드TBM을 선정하는 사례가 증가하고 있다. 국내에서는 주로 전력구 터널공사에서 직경 2~3 m급 이 가장 많이 발주되고 있고, 지하철에서는 7~8 m급으로 검토되고 있으며, 도로터널에서는 13~14 m급으로 검토되고 있듯이 쉘드TBM을 이용하는 터널공사의 발주가 점진적으로 증가하고 있는 추세이다.

해외의 경우에는 지하철급 6~7 m급의 터널공사가 가장 많이 발주되고 있으며, 공사를 발주하는 기관에서 많은 경험을 바탕으로 입찰안내서에 쉘드TBM 설계와 제작방법을 과업구간의 지반조건과 장비설계시 고려해야 하는 사항을 입찰자에게 제시하고 있다. 발주자의 제시조건에 대해 입찰자와 장비제조사는 각자의 경험을 바탕으로 현장조건에 적합한 쉘드TBM을 설계하고, 제안하고 있다.

한편, 국내에서 점진적으로 증가하고 있는 쉘드TBM 터널공사에 비해 가장 먼저 고려해야할 쉘드TBM 장비를 어떻게 최적화 설계를 해야 하는지에 대해서는 많은 토의가 되고 있지만, 아직까지 정비되지 않은 실정이다. Kim et al. (2017; 2020)은 토압식 쉘드TBM 장비발주를 위한 설계항목과 세부 요구사항의 구성을 제시하여 쉘드TBM 장비를 발주할 때 필요한 전반적인 방향을 제안하였고, 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 쉘드TBM은 일단 터널공사를 시작하면 이후에 사양과 성능을 개조하기 어렵기 때문에 프로젝트를 성공적으로 계획된 공사기간 내에 안전하게 수행하기 위해서는 장비 발주에 있어서 충분한 정보를 제공하고, 예상되는 리스크를 사전에 파악하여 발주자의 의도와 목적을 정확하게 제시할 필요가 있다.
- 국내에서도 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 과정도 입찰 필요가 있다.
- 발주자는 과업의 특성을 고려한 토압식 쉘드TBM의 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 수행하도록 하며, 발주자가 이수식 쉘드TBM을 적용하는 경우에는 이수식 쉘드TBM의 특징을 고려하여 추가해서 활용 가능하다.

이에 본 기술보고에서는 최근 전력구 터널공사에서 이수식 쉘드TBM의 발주사례를 통해 Kim et al. (2020)이 제안한 사항의 활용성에 대해 검토하고자 한다.

2. 터널공사의 개요

본 사례 검토는 최근 ○○지역 내 산업단지 개발에 따른 부하분담 및 안정적 전력 공급을 위해 신설하는 전력구 공사이며, 공사의 개요는 다음과 같다. 터널구간의 선형은 통과지층, 수압조건, 터널연장, 터널단면 등의 터널공법 선정을 기초조건으로 하여 종단심도 계획을 수립하고, 전구간 풍화암, 연암 및 경암층을 통과하여 안정성 확보를 위한 선형으로 계획되었다(Fig. 1, Fig. 2).

- 공사규모 : 총연장(L) = 2,719 m
- 수용설비 : 345 kV 송전 4회선(D), 통신 1조
- 주요공사 : 쉴드TBM : 2,556 m, NATM : 3 m (변경 5 m), 개착식 전력구 : 160 m
- 수직구 2개소
 - 발진부 : 심도 66 m, 내경 9.0 m
 - 도달부 : 심도 48 m, 내경 9.0 m

본 터널공사는 총 연장 2,719 m 중 이수식 쉴드TBM 터널연장은 2,556 m이다. 발진부의 수직구는심도 66 m, 내경 9.0 m에서 장비를 조립하고, 발진부 전방에 3 m의 NATM을 계획하였으나, 장비조립과 시공성을 고려하여 5 m로 변경하였다. 이수식 쉴드TBM은 종단구배 +0.34%로 상향굴진하며 석남천 하부를 통과한 후 곡선반경 R = 150 m구간의 선형관리를 하면서 도달부 인근에서는 R = 300 m 및 R = 200 m 구간이다(Fig. 3).



Fig. 1. Plane condition of slurry shield TBM tunnel

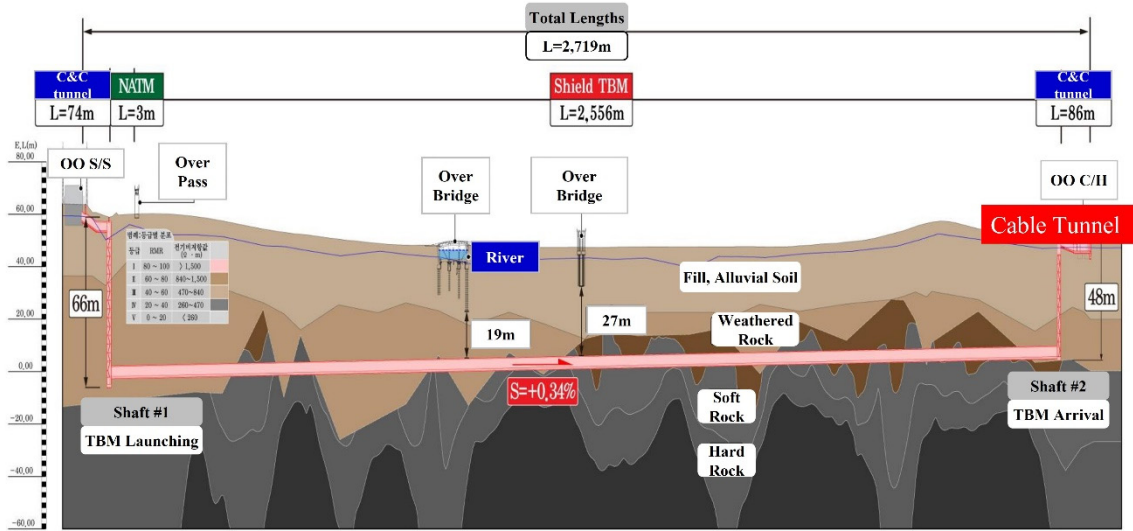


Fig. 2. Longitudinal geology summary of slurry shield TBM tunnel

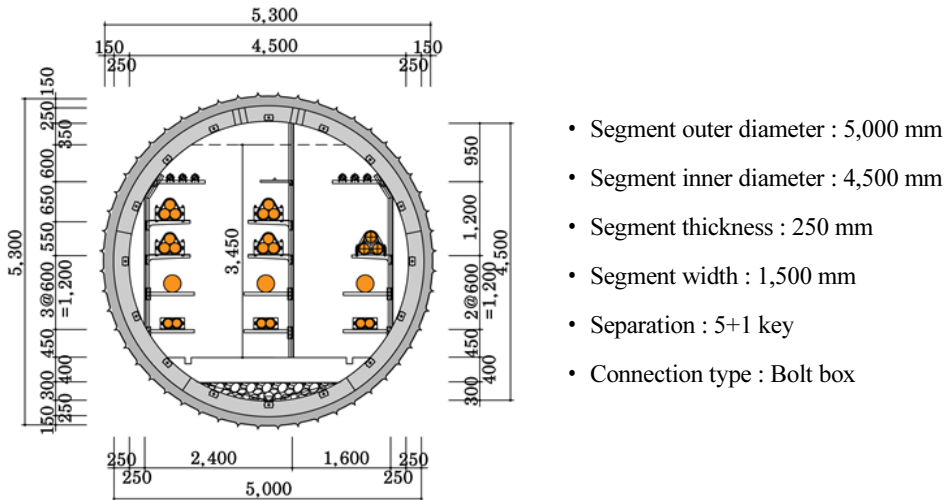


Fig. 3. Tunnel section plan

3. 최적 실드TBM 장비선정을 위한 과정 및 선정기준

상술한 과업의 터널구간 내 지반조건, 선형조건, 세그먼트 설계조건을 바탕으로 발주자는 최적 실드TBM 장비를 선정하기 위해 다음과 같은 과정을 수행하고 선정기준을 제조사에 제시하고 평가하였다.

- 1) 참여의향조사(Letter of Intent, LOI)
 - 발주자는 국내 납품실적을 보유한 4개 제조사를 사전 지정, 참여의향을 조사
 - 발주자는 사내 및 사외의 전문가를 대상으로 장비선정위원을 구성
- 2) 제안서 요청(Request for Proposal, RFP)
 - 참여의향이 있는 제조사를 대상으로 관련 자료를 제공하고 장비 제조사는 제안서를 작성
 - 발주자 제공사항
 - 설계도면
 - 설계보고서
 - 지반조사보고서
 - 장비선정위원회 제시 기준(공사시방서에 우선)
 - 공사시방서
 - 평가 기준, 최소 사양 등
- 3) 제조사의 기술 제안서(평가 전일) 제출 및 평가
 - 발주자는 제조사가 제출한 기술제안서의 공정성을 확보하기 위해 평가 전일에 마감하여 취합한 후, 평가 당일 장비선정위원회에 배포
 - 쉘드TBM 도면(전체 개요도, 본체상세, 커터헤드)
 - 쉘드TBM 장비 : 기술사양서, 제작기간, 제작 계획(신규/중고/개조 등)
 - ※ 중고/개조의 경우, 사용이력, 부품이력 등 상세 이력 제시
 - 본 과업용 이수식 쉘드TBM 제작 예정 공장위치 및 공장소개
 - ※ 선정 후 실제 제작될 제조사 공장
 - 이수처리플랜트 및 중계펌프 사양서
 - ※ 신규/중고 여부 포함 제시
 - 이수 펌프 수량 및 설치 위치가 포함된 이수순환 계산서
 - 직경 5 m 이상의(공기압 조절형) 이수식 쉘드TBM 납품실적
 - ※ 중고의 경우, 사용된 현장의 상세조건과 이력, 부품교체 이력 등 상세
 - ※ 토압식에서 이수식으로 개조하는 경우, 동등 성능의 장비 납품실적 제시
 - 각 제조사별 제안서 발표, 질의응답 등 인터뷰
 - 장비선정위원의 평가 및 2개 제조사에 대해 (평가당일) 적부판정
- 4) 발주처는 터널공사를 수행하는 건설업체에 적합판정된 제조사를 통보
- 5) 터널공사를 수행하는 건설업체는 적합판정된 제조사를 대상으로 가격입찰후 최종 선정

4. 최적 쉴드TBM 장비선정을 위한 평가기준 및 체크리스트

과업구간에 적합한 최적의 쉴드TBM 장비를 선정하기 위해 발주자가 제공한 설계도서 외 기술평가 기준은 장비본체, Backup 시스템, 옵션사항에 대해 최소한 고려하여야 할 사양과 형식, 수량을 제시하였고, 각 제조사가 제시한 내용을 바탕으로 비교하고 체크리스트로 활용하였다. 기술평가 기준으로 제시한 사항은 다음과 같다(Table 1, Table 2).

과업구간의 선형정보, 세그먼트정보, 수압조건, 암반강도를 기본적으로 제시하고, 장비설계시 고려해야 할 항목 중 일부 항목에 대해 요구사항은 제조사가 임의로 변경할 수 없도록 하였고, 형식과 수량을 제시하여 제조사별 설계결과가 상이하야 평가결과에 논란이 있을 수 있는 항목에 대해서는 명확하게 기준을 제시하였다. 또한 일부 항목에 대해서는 제조사가 대안을 제시할 수 있으나, 평가에는 반영하지 않았다.

Table 1. Basic condition

Div.	Basic project condition	Remarks
Tunnel lengths	L = 2,556 m, Single tube	
Minimum curve radius	Min R = 150 m	
Segment design	OD 5.0 m, ID 4.5 m, W 1.5 m, 5+1 key	
Maximum slope	+0.34%	
Water pressure	5.5 bar (design max 6.0 bar)	
TBM launching shaft	Shaft depths H = 66 m, ID = 9.0 m	
Maximum rock strengths	Max UCS 176.8 MPa	

Table 2. Minimum technical requirement for slurry shield TBM

Div.	Items	Requirement	Remarks
Shield TBM	Model	New slurry shield TBM	
Front body	Chamber type	Air bubble type (double chamber with compressed air)	Non-changeable
	Cutterhead shape	Semi dome for mixed rock condition	
	Disc cutter	17~18 inch, exchangeable	
	1st crusher	Stone (jaw) crusher	Non-changeable
	2nd crusher	Option	
	Man lock	2 chambers with oxygen decompression system	
	Material lock	1 chamber (or material hole)	
	Probe drilling port	360 degree, over 14 ports for inclined	
	Main bearing diameter	Over 40~50% of outer diameter of front body	
	Main bearing life time	Over 10,000 hr or brand new	
	Main drive seal	Proposal by supplier	
Main drive rotation speed	Max 8.0 rpm	Non-changeable	

Table 2. Minimum technical requirement for slurry shield TBM (continued)

Div.	Items	Requirement	Remarks
Middle body	Thrust force	Over 28,000 kN	Non-changeable
	Thrust speed	60 mm/min	Non-changeable
	Thrust cylinder stroke	Up to TBM supplier	
Erector	Lifting type	Mechanical	
	Transportation	Up to TBM supplier	
Tail body	Backfill grout	TAC type, Bi-component synchronous grouting system	Non-changeable
	Tail brush	Over 3 rows with emergency sealing and grouting excluder	
Others	Slurry circuit	(Zero leakage system) Slurry tank for collection disposed slurry wear-resistant protection, ultrasonic thickness gauge	Non-changeable
	Articulation	Active type	
	Earth collapse detector	Necessary	
	Automatic cutter wear detector	Up to TBM supplier	
	Probe drilling system	Necessary	
	Chiller in tunnel	Up to TBM supplier	
	Emergency generator	Up to TBM supplier	
	Ring holder	Up to TBM supplier	
	Ground prediction	Will be discussed with TEPS	
	Slurry treatment plant	Over 600 m ³ /hr	Non-changeable
	Booster pump for slurry circuit	Over 600 m ³ /hr for discharge capacity	Non-changeable
	Technical service	Up to TBM supplier for TBM assembly, advance and dismantling	

5. 결론

본 기술보고에서는 최근 전력구 터널공사에서 시도한 이수식 쉴드TBM의 발주사례를 통해 국내에서도 쉴드 TBM의 발주와 평가방식이 증가하고 있는 국내 여건에 맞춰 발전하고 있는 것을 확인하였다.

1. 최적 쉴드TBM 발주를 위해서는 기본 제공자료와 상세 요구사항을 분리할 필요가 있다. 기본 제공자료로는 설계도서, 지반조사보고서, 공사시방서를 제시하고, 상세 요구사항으로는 과업구간의 특성을 고려한 아이템 과 제작조건을 명확하게 제시할 필요가 있다.
2. 발주기관 내부 및 외부 전문가로 구성된 평가위원회를 활용하여 공정하고 전문적인 평가를 통해 최적의 장비 사양과 제조사를 사전 검토하므로 품질과 경제성을 확보할 것으로 판단된다.
3. 최적의 장비설계를 위해 요구되는 사항은 제조사별 설계결과가 상이하여 평가결과에 문제를 야기시키지 않기

위해 명확하게 제시할 필요가 있다.

4. 평가를 통해 적합판정을 받은 쉴드TBM 장비는 공장검사시 실제 제작사양과 함께 비교하여 검증할 필요가 있다.

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 정리하였다.

References

1. Kim, K.H., Kim, H., Kim, S.C., Kang, S.O., Mun, C.H. (2020), “The suggestion of tunneling information and detail requirements for EPB shield machine design”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 22, No. 6, pp. 611-622.
2. 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.