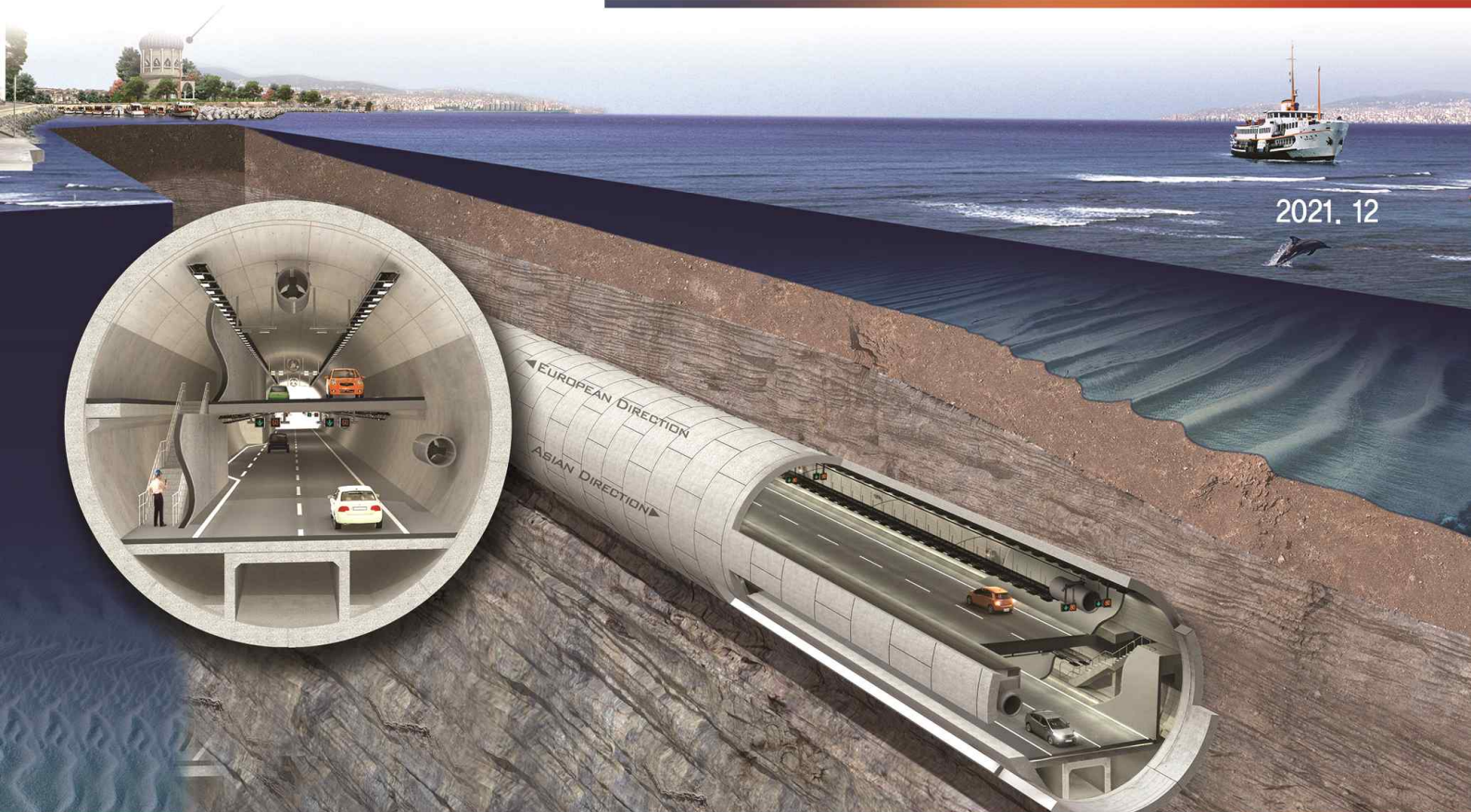




TBM 커터헤드 설계자동화 및 운전·제어 시스템 개발

최적 TBM 장비 발주를 위한 체크리스트 가이드라인



TBM 커터헤드 설계자동화 및 운전·제어 시스템 개발

**최적 TBM 장비 발주를 위한
체크리스트 가이드라인**

2021. 12.

- 목 차 -

1. 쉴드TBM 형식선정 검토	1
1.1 쉴드TBM 장비	2
1.1.1 쉴드TBM 개요	2
1.1.2 쉴드TBM 장비의 종류	3
1.2 쉴드TBM 장비선정 방법	7
1.2.1 터널굴착공법	7
1.2.2 굴착장비 선정방법	8
2. TBM 장비제작 발주 사례조사 및 검토	12
2.1 국내 장비발주 사례	13
2.2 해외 장비발주 사례	16
2.2.1 입찰안내서 설계내용 제공자료 항목 검토	17
2.2.2 입찰안내서 장비사양 제시항목 검토	20
3. 쉴드TBM 장비 발주를 위한 제시 항목	25
3.1 설계내용 제시항목	26
3.2 TBM 세부사항(토압식 쉴드TBM)	27
3.3 공장에서의 검사항목 및 추가 제반사항	36

4. 발주를 위한 장비선정 체크리스트 38

5. 장비의 현장 반입 시 체크 항목 44

발주방식 제안(해외사례를 바탕으로)

공청회 제언

참고문헌

1. 쉴드TBM 형식선정 검토

해외에서는 이미 여러 국가에서 쉴드TBM을 적용한 터널 프로젝트의 발주가 이뤄지고 있으며 국내 기업들도 많이 참여하고 있다. 국내에서도 쉴드TBM을 적용한 전력구/가스관로/상하수도 등에서 터널 발주공사가 활발히 진행 중이며, 최근에는 7~8m급의 지하철/철도에서도 쉴드TBM을 적용한 터널 발주가 이뤄지고 있다.

쉴드TBM 공법에서는 터널 공사비의 많은 부분을 쉴드TBM 장비가 차지하고 있으며, 공법 특성상 장비가 제작되면 굴착 과정에서는 장비의 기능을 추가하거나 개조하기가 어렵다. 그러므로 발주처에서는 장비제작 시 참고할 수 있는 충분한 정보를 입찰안내서에 포함하여 시공 시에 트러블로 인한 공사지연과 공사비 증액에 대한 리스크가 크게 발생하지 않도록 하여야 한다.

해외에서는 이러한 쉴드TBM공법 특성을 고려하여 입찰안내서 작성 시에 노선 개요에 해당하는 일반사항과 사전설계를 통한 과업구간의 지반조건, 주변현황, 제반조건, 쉴드TBM 장비항목 등을 명시하여 입찰자로 하여금 현장에 맞는 쉴드TBM 장비를 선정하고 시공계획을 할 수 있도록 하고 있다.

하지만 국내 대부분의 입찰안내서는 굴착에 대한 일반적인 내용과 정보만을 수록하고 TBM장비에 대한 구체적인 조건을 제시하고 있지 않기 때문에 입찰자가 짧은 시간내에 수행한 설계와 시공계획에 따라 제작하도록 하고 있어 현장에 맞는 장비선정이 이뤄지기가 매우 어렵다.

또한, 시공사가 정해지더라도 장비제작사에게 요청하는 제작사양서에는 지반조사 내용과 설계내용의 일부분만을 제공하여, 장비입찰에 참가하는 장비제작사별로 현장에 맞는 사양으로 입찰하였는지도 판단하기 어려운 상태이며 명확한 사양과 조건으로 공정하게 입찰이 되지 않고 가격에만 의존하여 장비 발주가 되고 있는 실정이다.

재정발주의 경우에도 입찰안내서상에 TBM장비 제작에 대한 가이드를 명확히 제공하지 못하고 있다. 이로 인해 낙찰 받은 건설사가 TBM장비 선정 시에 전문자료와 데이터 없이 입찰에 참여하고 있는 관계로, 장비를 선정한 후에도 장비선정과 관련하여 발주처와 분쟁이 발생하기도 한다.

TBM 장비가 선정된 후에도 장비업체가 설계·제작한 도서와 도면을 확인하거나 검토하기도 어려운 것이 국내 현실이다. 특히, 장비 반입 후, 시공 중에도 부품과 관련 설비에 대한 검증이 없어 굴진 효율이 떨어지거나 굴진 중에 트러블이 발생함으로 인해 실제 현장에서 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

이에 “최적 쉴드TBM 선정 가이드라인”을 제시하여, 장비발주를 위해 제시되어야 할 항목과 체크 항목, 쉴드TBM 장비형식 선정에 있어서의 가이드, 국내 발주에 대한 대략적인 방향 등을 제시하여 쉴드TBM 현장에서 발생하고 있는 트러블이 사전에 최소화되어 쉴드TBM 공법의 활성화에 기여 하고자 하였다.

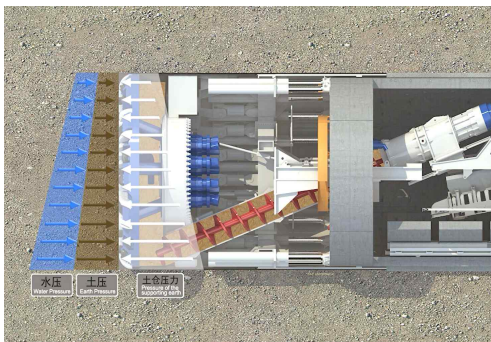
1.1 쉴드TBM 장비

1.1.1 쉴드TBM 개요

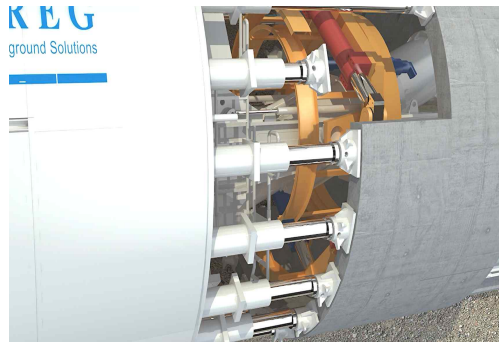
쉴드TBM은 쉴드공법과 전단면 터널 굴착기인 TBM(Tunnel Boring Machine)을 접목하여 커터헤드 후면에 강재의 원통인 쉴드가 장착되어 있으며, 추진은 후방에 설치된 세그먼트를 지지대로 하여 전진하게 된다.

쉴드TBM 공법은 토사나 연약층, 파쇄가 심한 암반과 같이 막장주변 붕락이 우려되거나 무지보 자립시간이 짧아 조기 지보재 타설이 어려운 지반 및 다량의 용수유입이 우려되는 지반에서 막장부 및 주면을 지지하여 지반의 붕괴와 용수유입을 방지하여 안전하게 굴착 및 라이닝 작업을 수행하기 위하여 주로 적용되는 공법으로서 기존의 발파공법을 활용한 재래식 터널공법과는 구분된다. 쉴드TBM은 다음의 공정을 반복하며 굴착을 진행한다(그림 1.1).

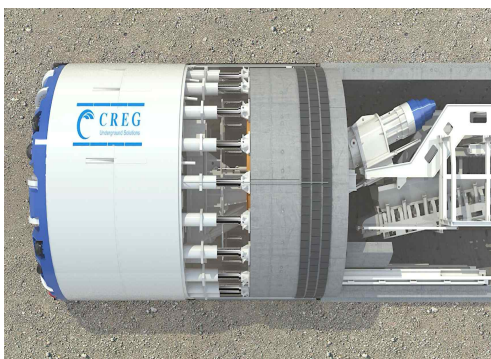
- ① 추진잭과 세그먼트 반력으로 전방으로 추진하며, 세그먼트 1링만큼 굴착
- ② 굴착 종료 후 쉴드 후방부에서 이렉터로 세그먼트를 조립(거치 및 볼트조임)
- ③ 조립완성된 세그먼트에 쉴드잭을 압착한 후 세그먼트 링을 반력으로 추진
- ④ 세그먼트 외경과 굴착 외경 사이의 테일보이드에는 뒤채움을 동시주입하면서 굴착개시



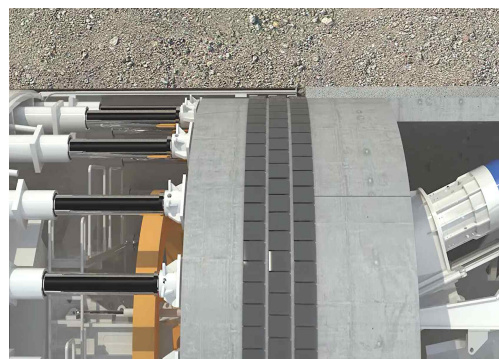
(a) 굴진



(b) 세그먼트 조립



(c) 쉴드잭 압착 및 추진



(d) 뒤채움 주입

그림 1.1 쉴드TBM의 공법개요

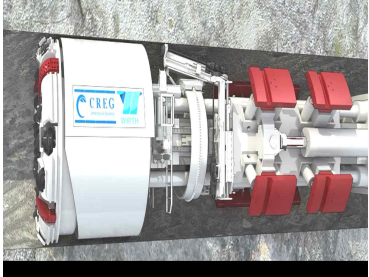

1.1.2 쉴드TBM 장비의 종류

쉴드의 유무는 기계화 시공법의 대표적인 분류항목이다. 현재는 사각형의 쉴드도 제작되고 있으나 통상적으로는 원통형의 쉴드가 주로 사용된다. 쉴드가 없는 경우는 Open TBM, Main-beam TBM으로 구분하고, 쉴드가 있는 경우는 쉴드TBM으로 분류한다. 쉴드가 있는 경우의 대부분은 세그먼트를 조립하므로 반력을 얻는 방법과도 밀접한 연관을 갖고 있다. 또한 쉴드가 있는 경우는 쉴드에 의해 터널 주면지보가 기본적으로 성립되며 각각의 설비에 따라 막장면 지보방법이 달라진다.

터널 주면에 대한 지보방법에 따라 무지보 또는 쉴드에 의한 지보로 구분하며, 굴진면에 대한 지보는 굴진면의 안정방법과 같은 의미이며 쉴드가 있는 경우에는 압축공기식, 토압식, 이수식 등으로 구분되어 진다.

터널 기계화굴착장비를 추진하기 위한 반력을 어떻게 얻어지는가에 대해서도 구분하기도 한다. 로드헤더 등의 부분단면 굴착기는 대부분 자중에 의한 반력을 이용하며, 쉴드가 없는 TBM에서는 일반적으로 그리퍼(gripper)를 터널 굴착벽면을 지지하여 굴진을 위한 반력을 얻는다. 쉴드TBM의 경우는 대부분 세그먼트를 미는 유압잭(hydraulic jack)에 의해서 반력을 얻는다. 반면, 더블쉴드(double-쉴드) TBM에서는 굴착벽면과 세그먼트 모두에서 반력을 얻을 수 있다(표 1.1 참조). 이 분류항목은 장비의 구성, 세그먼트의 유무 등과 밀접한 연관이 있다.

표 1.1 반력방법에 의한 TBM 분류

Open(Gripper) TBM (원지반)	쉴드TBM (세그먼트)	더블쉴드TBM (원지반, 세그먼트)
		

막장면의 안정화 방법으로는 개방형과 밀폐형으로 구분되어지는데 밀폐형 TBM은 커터 헤드부에 격벽이 있어 굴진면과 차단이 되는 형태를 말한다. 쉴드가 없는 TBM은 모두 개방형(open-type)이며, 쉴드가 있는 TBM의 경우에는 개방형과 밀폐형(closed-type) 두가지 형태가 모두 존재한다. 일반적으로 터널 굴진면에 안정을 적극적으로 도모하기 위해 적용되는 압축공기식, 토압식(EPB, Earth Pressure Balanced) 및 이수식(SPB, Slurry Pressure Balanced) 쉴드TBM의 경우는 모두 밀폐형으로 분류된다.

그밖에 전단면 굴착과 부분단면 굴착이냐에 따라 구분되어지기도 한다. 로드헤더(road header), 유압식 해머(hydraulic hammer) 등의 붐타입(boom-type) 굴착장비는 터널 굴

진면을 부분적으로 분할하여 굴착하므로 부분단면 굴착기(partial face excavator)에 속하며, 대부분의 TBM은 전단면 굴착기(full face tunnelling machine)로 분류할 수 있다. 다만 TBM의 경우에도 커터헤드가 없는 경우는 부분단면 굴착기의 분류에 포함시킬 수 있다. 이 분류항목은 TBM 전면의 개폐 여부 및 커터헤드의 유무의 분류항목과 밀접하게 연관된다.

기계화시공의 굴착방법의 분류는 나라마다 차이가 있으며 개발장비별 특징도 각각이어서 정확한 분류를 하기에는 용이하지 않다. 국내에서는 한국터널지하공간학회에서 프랑스터널협회의 기준(안)을 모태로 2001년 터널 기계화시공법의 분류기준(안)을 제시하여 활용하고 있다(그림 1.2 참조).

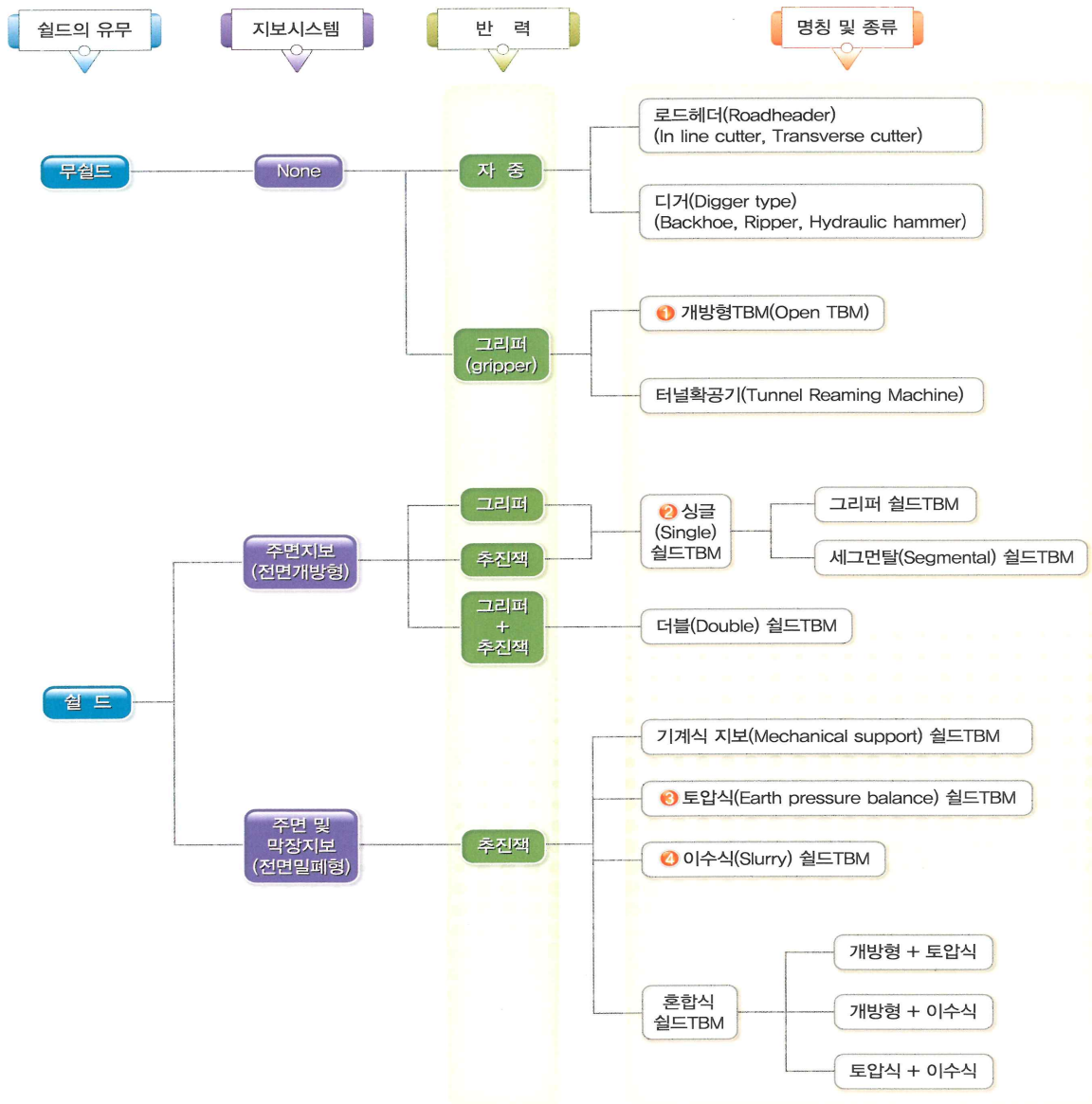


그림 1.2 국내 기계화시공법 분류(안) - 한국터널지하공간학회(2001)

최근에는 도심지의 이수식 쉴드TBM의 발전 형태인 공기압 조절식 쉴드TBM이 대단면에서 적용되어지고 있다. 해외에서도 쉴드기술 발전으로 여러 가지 형태로 발전된 쉴드TBM이 개발되어지고 있으나 대부분이 추진책에 의한 전면밀폐형의 쉴드TBM 형식에서 발전된 형태로 국내 쉴드TBM 분류범주에 속해 있다.

(1) 토압식(EPB) 및 이수식(Slurry)쉴드

현재 쉴드TBM 장비는 막장면 지지방식에 따라 토압식 쉴드와 이수식 쉴드가 대부분을 차지하고 있다. 두 쉴드 장비에 대한 특징을 살펴보면 토압식 쉴드TBM은 주변토압에 대한 밸런스를 유지하는 개념으로, 스크류컨베이어와 압력벌크헤드로 토사가 제거되는 것을 허용하면서 대기압과 평형을 유지하게 된다.

이 때 밸런스는 장비 굴진과 스크류 회전을 통하여 이루어지게 된다. 이수식 쉴드TBM은 폐합된(enclosed) 시스템으로서, 버력과 벤토나이트 혼합물을 빼내고 슬러리 파이프 시스템을 통하여 다시 순환하게 된다. 이때 슬러리와 굴진면에 이막의 형성을 통하여 일정한 압력을 유지하게 된다. 유체로 막장압을 유지하는 이수식이 막장 지반조건에 대한 대응이 좀 더 유리한 것으로 알려져 있다(그림1.3참조).

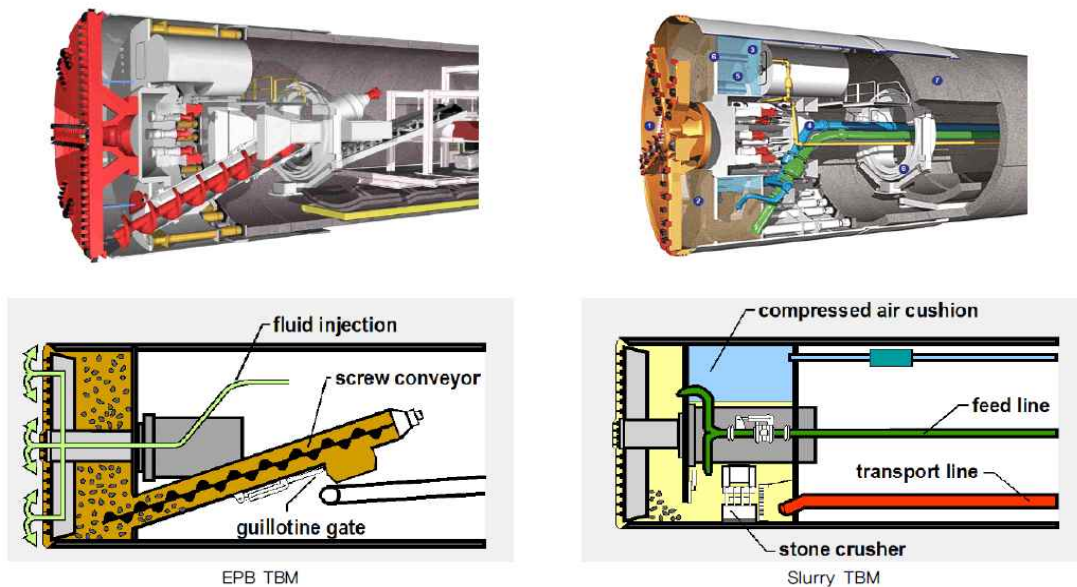


그림 1.3 토압식 쉴드TBM 장비와 이수식 쉴드TBM 장비 개요도

(2) 듀얼모드(Dual Mode) 또는 컨버터블(Convertible) 쉴드TBM

굴진효율을 높이기 위해 터널주면 및 굴진면 모두에 대해서 능동적인 지보시스템을 갖추고 있으며, 전단면을 굴착하는 쉴드TBM으로 막장면 자립이 필요한 경우에는 밀폐형 방식(토압식 쉴드TBM 모드 또는 이수식 쉴드TBM 모드), Gripper TBM과 토압식 쉴드TBM 모드를 적용한 형식으로 지반조건에 따라 모드를 달리하여 굴진효율을 높을 수 있는 장비이다(그림 1.4 참조).

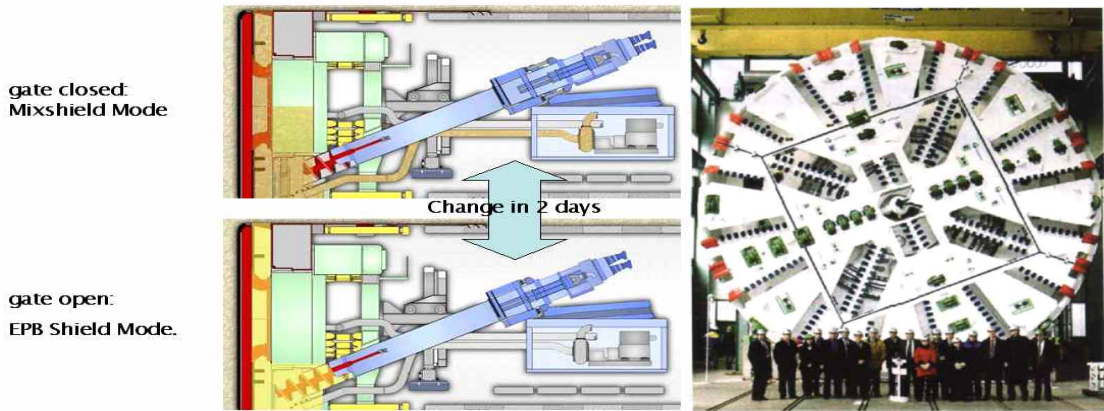


그림 1.4 Convertible Shield TBM 개요(A86 Tunnel, France Paris)

(3) Mix 실드TBM

이수식 실드TBM의 직경이 커지면서 막장압을 좀 더 정밀하고 안전하게 유지하고 제어할 수 있도록 챔버 내의 이수(Slurry)에 의한 가압만으로 막장면을 지지하지 않고, 압축공기의 쿠션 작용(Compressible air cushion)을 이용하여 막장면을 가압시켜 막장면의 안정을 유지하고 자갈 성분의 지층 및 이질층의 복합지반 조건에서 압축공기의 쿠션을 이용한 이수 가압(2중 가압형식)으로 막장압을 자력으로 일정하게 유지할 수 있어 불규칙한 지반손실이 발생할 가능성을 사전에 방지하도록 개발된 장비로 자갈성분이 많고 자립이 불가능한 막장면이나 이질의 혼합 지층상황에서 적용되어진다(그림1.5참조).

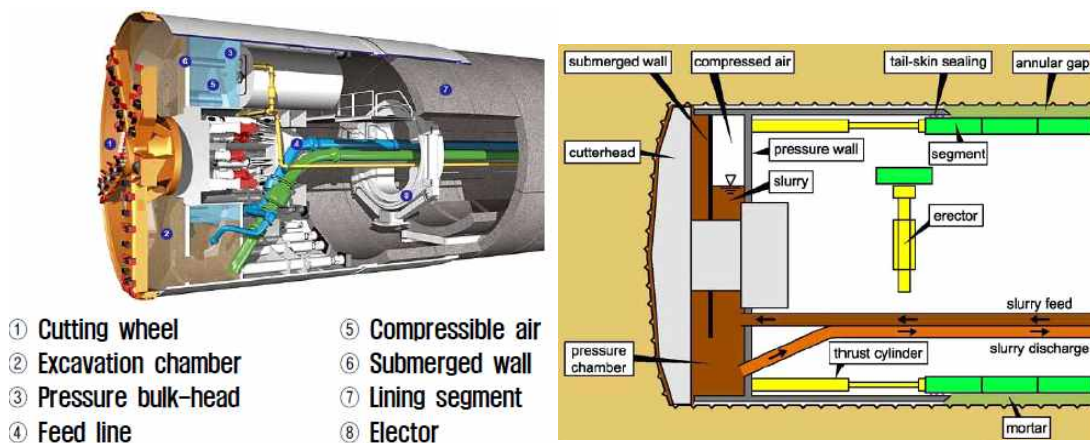


그림 1.5 Mix Shield TBM의 구조 및 굴진면지지 원리

1.2 쉴드TBM 장비선정 방법

1.2.1 터널굴착공법

터널의 굴착공법은 크게 NATM과 기계화시공(쉴드TBM 포함) 공법으로 구분되어진다. 국내에서는 대부분 경제성과 시공성을 고려하여 NATM공법을 적용하고 있고, 도심지를 통과하는 유틸리티 터널(전력구, 통신구 등), 지하철터널, 철도터널을 중심으로 쉴드 TBM적용사례가 늘고 있는 상황이다. 굴착공법의 선정은 주변현황과 사업비, 선형, 종단 계획, 특히 지반조건 등이 주요 인자이나, 절대적으로 구분되어지고 있지는 않다.

최근 설계단계에서 참고하고 있는 터널굴착공법의 선정방법(그림 1.6)에 따르면, 첫 번째 고려사항으로 굴착 심도, 주변현황(지장물 및 구조물), 지층상태 등을 파악하여야 하고, 그 다음 굴착 통과구간의 암질 및 지층의 변화여부, 그 밖의 작업여건 등으로 굴착공법을 선정하고 있다.

도심지를 중심으로 기계화시공(쉴드TBM)공법이 증가하고 있는 이유는 비배수 터널조건으로 주변 지하수 저하 영향이 거의 없고, 굴착중 발파로 인한 주변 민원이 거의 발생하지 않는 이점 때문이다.

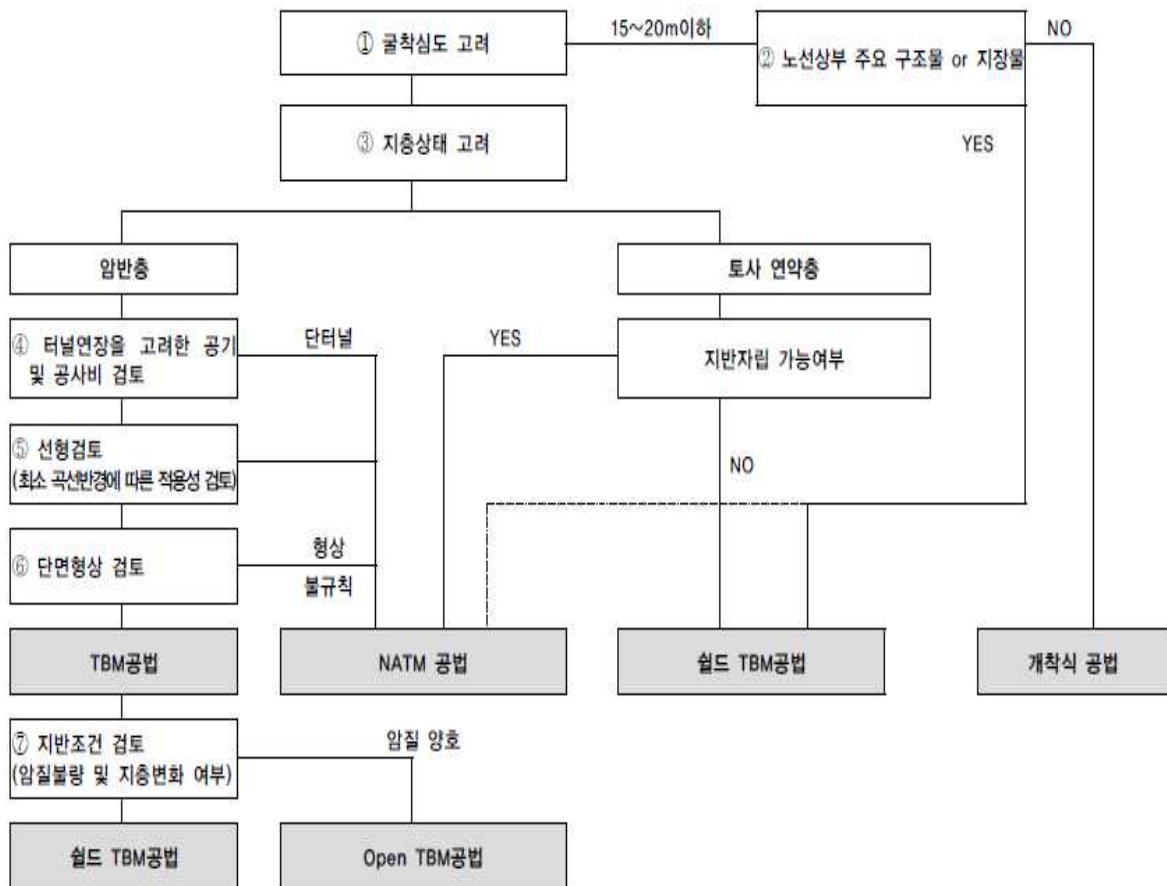


그림 1.6 터널 굴착공법의 일반적인 선정 흐름도

1.2.2 굴착장비 선정방법

기계화시공(셸드TBM) 굴착 방법의 장비는 주로 밀폐형의 셸드TBM 장비가 적용되고 있으며, 대표적으로 크게 토압식과 이수식의 두 가지 방법으로 구분된다. 앞서 소개한 공기압 조절방식의 셸드TBM은 이수식의 종류에 속한다.

일반적으로 토압식 셸드TBM은 지반이 연약한 경우, 점토 또는 실트를 많이 함유한 점착성 토질 그리고 낮은 투수성이 가장 이상적인 조건이며, 이수식 셸드TBM은 양호한 입도의 사질토부터 거친 입도의 자갈까지의 범위를 갖는 비점착성 토질에서 유리한 것으로 알려져 있다. 그러나 장비 제작 기술의 발달로 서로 겹치는 지반조건에서 적용이 가능하게 되었다. 또한, 두 장비의 차이가 여전히 남아있긴 하지만, 공통점은 이러한 셸드TBM 장비가 점점 더 다양한 지반으로 확대 적용되고 있다는 것이다.

설계 시에 장비 선정을 할 경우에 많이 이용되는 자료는 국제터널지하공간학회(ITA)에서 표 1.2 와 같이 제시한 토질성상 및 셸드TBM 장비별 적용성(Working Group; 2000)자료이다.

지반조건별로 토압식 셸드TBM은 비교적 점토성분이 많은 토질조건에서의 적용성이 우수하며, 이수식 셸드TBM은 점토~사질토까지 적용범위가 다소 넓은 것으로 제시되어 있고, 각각의 장비가 지층조건을 굴착할 때 보완해야하는 장치에 대해서도 언급하고 있어 장비 선정 시에 유용하게 참고할 수 있다(표 1.2참조).

표 1.2 토질 성상 및 셸드TBM 장비별 적용성 및 Check List(ITA Working Group;2000)

Soil Condition / Type of Machine		N Value	Earth Pressure Type		Slurry Type	
			Suit ability	Check Point	Suit ability	Check Point
Alluvial Clay (충적점토)	Mold	0	x	-	s	Settlement
	Silt, Clay	0~2	1	-	1	-
	Sandy Silt	0~5	1	-	1	-
	Sandy Clay	5~10	1	-	1	-
Diluvial Clay (홍적점토)	Loam, Clay	10~20	s	Jamming by excavate soil	1	-
	Sandy Loam	15~20	s	"	1	-
	Sandy Clay	25~	s	"	1	-
Solid Clay (견고한 점토)	Muddy Pan	50~	s	"	s	Wear of bit
Sand (모래)	Sand with Silty Clay	10~15	1	-	1	-
	Loose Sand	10~30	s	Content of clayey soil	1	-
	Compact Sand	30~	s	"	1	-
Gravel Cobble Stone (자갈)	Loose Gravel	10~40	s	"	1	-
	Compact Gravel	40~	s	High water pressure	1	-
	Cobble Stone	-	s	Jamming of Screw Conveyor	s	Wear of bit
	Large Gravel	-	s	Wear of bit	s	Crushing device

1:Normally Applicability, s:Applicable with supplementary means, x:Not suitable

이 외에도 TBM 제작사별로 제시하고 있는 지반조건에 따른 장비 선정자료를 참고하거나 투수계수에 따른 장비의 선정이 가능하다. 그림 1.7과 그림 1.8은 토립자 분포에 따른 쉴드TBM 공법의 적용범위를 보여주고 있다. 점착성 지반에서는 토압식 쉴드TBM이 유리한데, 이는 이수식 쉴드TBM 장비에서는 배관이 막히는(plugged) 경향이 발생하기 때문이다. 즉, 사질토와 자갈층과 같은 비점착성 지반에서는 이수식이 유리하나, 점토성 지반에서 이수식은 문제가 있는 것으로 제시되고 있다.

또한, 그림 1.9에 따르면, 일반적으로 불투수성 지반에서는 토압식 쉴드TBM이, 투수성 지반에서는 고수압의 막장압 관리에 유리한 이수식 쉴드TBM이 우수한 것을 알 수 있다. 그 경계기준은 투수계수가 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ m/sec 정도 되는 지반으로 알려져 있다.

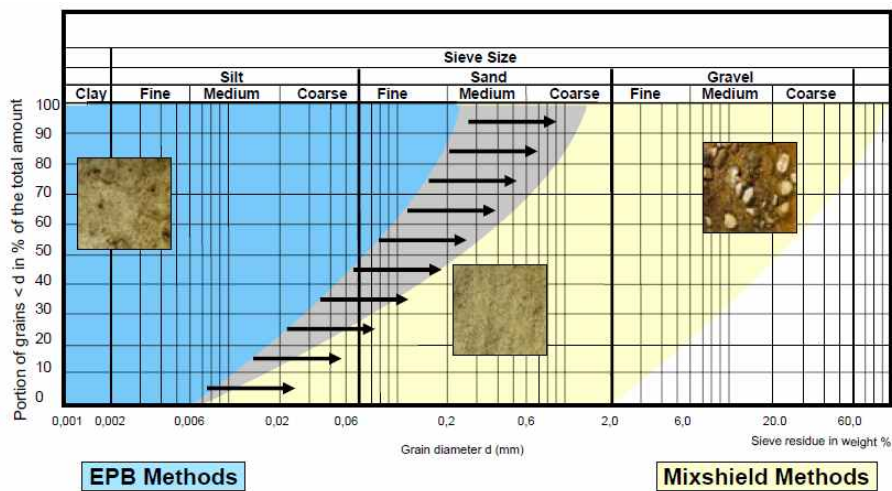


그림 1.7 지반조건에 따른 쉴드TBM 장비선정 그래프(독일 Herrenknecht)

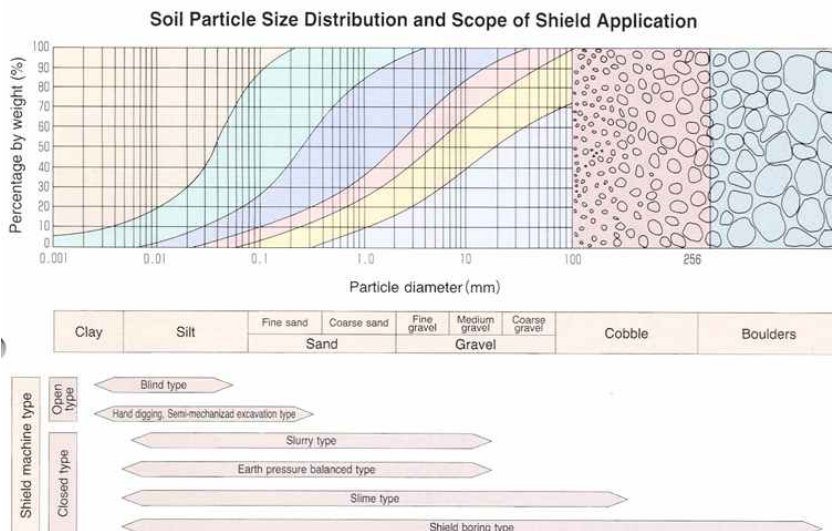


그림 1.8 지반의 입도분포에 따른 쉴드TBM 장비선정 제안 그래프(일본 Hitachi Zosen)

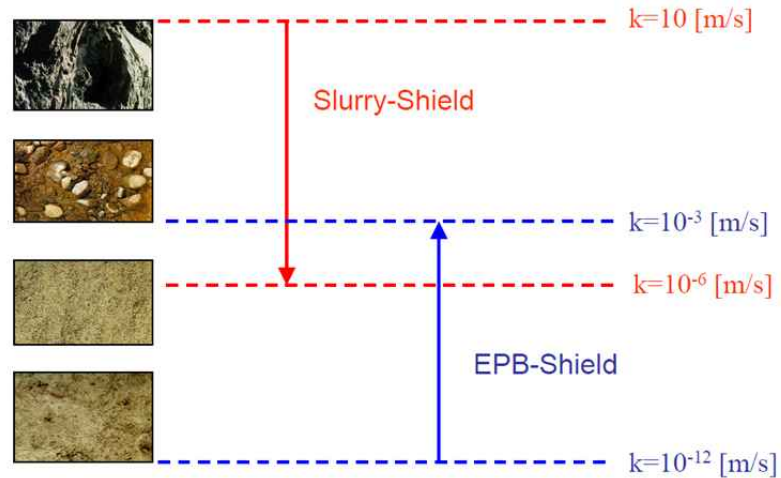


그림 1.9 투수계수에 따른 쉴드TBM 장비의 적용

기존 자료들은 지반과 지층의 조건으로 살펴본 적용성 사례로 실제적으로는 지반조건 외에 시공성과 환경영향성을 고려하여 장비를 선정하여야 하며, 항목별 적용성은 표 1.3~1.5와 같다,

표 1.3 지반 조건에 따른 토압식과 이수식 쉴드TBM 적용성 비교

구 분	토압식(EPB) 쉴드TBM	적용성	이수식(Slurry) 쉴드TBM	적용성
지층상태	• 충적층, 홍적층의 점토, 모래, 사력 토사 지반 적용성 양호	△	• 연약지반 및 경암반을 포함하는 지반에도 적용 가능	○
점착력	• 점착력이 있는 지반 적용성 양호	○	• 점착력이 없어 막장이 안정되지 않는 지반에도 적용가능	○
투수계수	• 투수계수가 10^{-3} cm/sec 이하인 지반에서 적용성 우수	○	• 투수계수가 10^{-3} cm/sec 이상인 지반에서 적용성 우수	○
간극수압	• 간극수압이 4kg/cm^2 이하인 지반에서 적용성 우수	△	• 간극수압에 대한 적용범위가 넓고 대응이 우수함	○
세립자 함유율	• 세립자 함유율이 많은 경우에 유리	○	• 세립자 함유율이 10% 이하인 지반에서 적용성 우수	△
함수량	• 함수량이 30% 이하인 지반에서는 점토, 첨가제 필요	△	• 함수량에 대한 제한이 없음	○
지반강도	• 복합지층에 대한 대응성불리 • Slurry type 쉴드TBM에 비해 디스크 Cutter나 비트 Cutter의 마모도가 높은 것으로 조사	△	• 지반 강도에 대한 대응성이 양호함	○

표 1.4 시공성에 따른 토압식과 이수식 쉴드TBM 적용성 비교

구 분	토압식(EPB) 쉴드TBM	적용성	이수식(Slurry) 쉴드TBM	적용성
막장압 관 리	• 굴착전에 막장면에 작용하는 정확한 압력을 계산해 두어야 하며 토압계에 의한 토압관리, 굴착토량과 배토량에 의한 계측관리가 필요	△	• 중앙 제어판에서 막장압을 자동 조절하므로 막장관리 능력과 압력조정이 우수	○
막장안정 방 법	• 굴착토에 의해 막장의 안정을 유도	△	• 슬러리압을 통해 막장에서의 안정된 굴착을 수행	○
지하수압	• 높은 투수성을 가진 지반에서는 챔버 내에 물이 유입될 수 있어 대수층에 불리	△	• 수압에 대한 제한이 없으며 수압 관리가 용이	○
막장상태 확 인	• Screw Conveyer에서 배출되는 토사를 볼 수 있어 지반상태 확인 가능	○	• 직접 막장의 지반상태를 확인할 수 없어 굴진 관리 시스템에 의해 집중관리	△
버력반출 방 법	• 버력의 운반, 반출 설비 필요	△	• 버력은 유체수송과 이수처리 설비에 의해 연속적 처리	○
커터관리	• Slurry 방식에 비해 다소 많은 커터 및 비트 마모도 관리 필요	△	• 커터와 비트의 마모가 EPB에 비해 상대적으로 적음	○
작업공간 확 보	• Screw공간 확보로 막장 작업공간이 협소	△	• Pipe에 의한 배토 처리로 작업공간 확보에 유리함	○

표 1.5 환경영향 및 공사비에 따른 토압식과 이수식 쉴드TBM 적용성 비교

토압식(EPB) 쉴드TBM	이수가압식(Slurry) 쉴드TBM
<ul style="list-style-type: none"> • 분리된 Plant가 필요하지 않으므로 작업 소요 공간이 작음 • 굴착토를 세척할 필요가 없으며, 무기질 첨가제는 미생물에 의한 분해가 가능하고, 분해속도가 빠름 • 원지반이 오염된 지반인 경우 문제점 발생 가능성이 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 지상에 이수처리 플랜트 설치를 위한 부지 필요 • 정밀한 슬러리 분리 장비 필요 • 동절기 시공시 슬러리 분리 Plant의 작업 능률 저하 • 공사비가 고가이며 전력소비가 많음 • Slurry type의 벤토나이트는 유해한 물질이며 인위적인 추가 처리가 필요함

1장에서는 쉴드TBM의 장비선정 가이드라인의 기본이 되는 쉴드TBM 장비형식, 원리, 특징 및 장비 선정 시의 주요 고려사항들을 정리하였다. 쉴드TBM 장비의 선정은 기본적으로 지반특성에 대한 명확한 데이터와 선형 및 주변 환경에 대한 조건 등이 제시되어야 가능한 것이다.

2. TBM 장비제작 발주 사례조사 및 검토

현재 국내에서는 기존의 기술제안이나 일괄발주(턴키), 재정 발주 시의 제반(기준 및 설계가이드)사항들을 기존의 NATM을 기준으로 하여 일반적인 내용만을 제시하고 있다. 이후의 설계단계에서도 기본적인 지반조사 정보 및 터널단면 정보 등만을 가지고 세그먼트 설계만 이뤄진 상태의 최저가 입찰로 실제 현장에 맞는 장비가 선정되는지를 확인할 수 없는 실정이다.

따라서, 제한적인 정보로 인해, TBM 장비제작사와 입찰자는 장비 제안 시에도 자의적인 판단에 의해 도출된 장비사양, 옵션 및 설비로 입찰하게 된다. 또한 기본적인 사항에 대해서만 최저가로 TBM 장비가 선정되므로 제작이 완료되어 현장에 반입되었을 때, 입찰시 제시된 항목이 명확하지 않아 현장 기술자(발주처)가 장비 반입성능 체크를 제대로 할 수가 없기 때문에 투입된 장비를 사용하면서 각종 트러블이 쉘드TBM현장에서 발생되고 있다고 판단된다.

발주처가 장비제작과 관련된 자료를 제공하고, 장비제작에 포함해야 할 필수 기본사양과 설비, 관련 장치, 시스템 등에 대해서 항목과 제반사항을 제시하여야 현장에 적합한 장비 선정이 가능하다.

이에 국내 설계현황, 기술력 등을 고려하여 발주처가 사전에 제시하여야 할 설계항목과 장비 주요항목에 대한 제반사항을 제공할 수 있다면, 발주처는 사전에 장비에 대한 항목을 체크할 수 있고, 선정 후에도 장비제작사와 충분한 기술협의를 통해 현장에 적합한 장비가 도입될 수 있도록 하는 계기가 될 것이다.

도심지 구간이나 하·해저 구간을 쉘드TBM으로 계획할 경우에는 발주처가 입찰안내서에 터널공법을 명확하게 지정하여, 적합한 TBM 장비가 선정되고 운영될 수 있도록 가이드를 제시하는 것도 필요하다. 또한 시공사는 TBM 전문가 또는 전문기술을 보유한 업체나 장비제작사와 사전에 컨소시엄을 구성하여 참여하는 방식이 현실적이라 판단된다.

2장에서는 쉘드TBM 장비 발주 시에 입찰안내서(ITB, Invitation To Bid)에 제시되어야 할 제작사양서(장비요청서(RFQ, Request for Quotation))의 항목들을 제시함으로써, 향후 발주처와 입찰에 참여하고자 하는 시공사와 장비제작사가 참고할 수 있는 기술자료를 제공하고자 하였다

전력구와 지하철에서 시공사가 발주 시에 제시하고 있는 쉘드TBM 장비 선정 내용과 해외에서 발주처가 입찰시 제시하고 있는 장비입찰 사양서의 내용을 비교·검토하였다.

2.1 국내 장비발주 사례

국내에서는 장비에 대한 요청서를 주로 시공사에서 작성하며 그림 2.1은 현재 국내에서 최근 발주가 이뤄진 장비사양 요청서의 내용이다.

가) 터널 현황 및 조건

No	구분	조건	비고
1	Working Condition (작업조건)	-Tunnel Length : 1,279.8 m × 2 -최소 곡선반경 : R = 2,000 m 보다 작은 반경의 시공 가능한 TBM 선정 -Gradient(경사) : 종단경사 3 % ~ 21 %	-대부분 직선구간
2	장비 형식	-Slurry (Mix) Shield TBM	-직경 Ø7,600 이상 예상
3	Segment	-RC Segment	-Erector Type : Vaccum Type
	Lining	-Segment Outer Diameter : 7,300 mm	-Maximum mass of one piece
		-Segment Inner Diameter : 6,600 mm	: 4.2 ton/piece (MAXIMUM)
		-Segment Width : 1,500 mm -Segment Thickness : 350 mm -Number of division : 7 Piece (균등분할)	
4	지반 조건	-Weathered Rock ~ Soft Rock ~ Hard Rock	-Cutter Head : Semi-Dome Type (일반조건)
		-Overburden : 55m 이상	-고수압 대응
		-Water Pressure	- Tail Seal : 4열
		환강 구간 : 3.4bar(Max. 4.74bar)	+ Emergency Stage
		육상 구간 : Max 6.5bar	- Main Bearing Seal
		(첨부)단위중량, 압축강도, 석영함유량 등 (첨부)JNTNU TEST & KICT TEST (첨부)지반조사 자료	- Man lock

나) 요구 사양(Specification of Mechanical Equipment)

No	구분	조건 및 요구사항	비고
1	COMMERCIAL CONDITION	(1) Currency(통화) (2) Payment Terms(지불조건) , 관세포함여부 (3) Bank Guarantees a. Advance Payment Guarantee(선수금 환급 보증) b. Performance Guarantee(계약이행 보증) c. Warranty Guarantee(하자담보 보증) (4) Warranty(품질보증) : 보증기간 (5) Delivery(인도조건) : (공장-인전항: 장비 업체부담 / 인전항-현장 : 협력업체부담) (6) Buy-back (7) Supervision(감독, 감수, 지도) : 조립, 초기 굴진, 해체	
2	Condition of Division (암비 분할 조건)	-Max. loading capacity to site is 40 ton	
3	Max. Operating Pressure	-6.5bar	
4	Min. horizontal radius	-R = 2,000m 보다 작은 반경의 시공 가능한 TBM 선정	
5	TBM Method	* TBM Type : Slurry (Mix) Shield TBM * Max advance speed : 60mm/min	
6	Cutter Head	-Semi-dome shaped	-환강 하저구간 및 육상부 지반조건 : 연암 ~ 경암, 파쇄대
		-Direction of rotation : 2 directions	
		-Cutter rotation speed : average 3.0 RPM 이상 (Max 6.0 RPM 이상 등)	
		Cutter Torque at 100% : At pproximately 3.0RPM (MAX 6.0 RPM이상)	
7	Disc Cutter	-Cutter Head Power : 1,700 KW or above	-내구성 향상 방안 제안
		-Disc Cutter : 17 " or above (19 " 호환가능 사양)	-19 " Disc Cutter 호환가능 여부
		-Disc Cutter Spacing : 90 mm	
8	Center Cutter	-Center Cutter : Twin ring type	

No	구분	조건 및 요구사항	비고
7	Shield Body	-Stone Crusher : 전방 Crusher	
		-Man Lock : Double man lock	
		-Air Bubble or Air Pressure chamber : Double Chamber Type	
		-Shield Jack elongation speed : Max. 60mm/min or above	
		shield jack operation & Control at excavation mode : 6 pressure groups	
		-Total thrust : 55,000kN or above	
8	Erector & Segment crane	-Segment Backfilling System : Dual grout injection system(4 set) (+ Emergency Lines (4 lines) or Cleaning system)	-동시주입 시스템 -백필그라우팅 라인 막힘시 예비 라인 이용가능한 하도록 2라인 1 Set
9	Probe Drill System	-Inclined Probe drilling - Lines(외측부) : 8 or above -전면부 Probe drilling Lines : 4 or above -Probe drill machine -Grouting system	-전용 전공장치 포함 -파쇄대 전방보강 그라우팅 -커터고체를 위한 전방저수 그라우팅 -전방 보강 유효거리 15m이상 확보
10	Option Items	-Ring Holder : Need (진원유지장치)	
		-Guidance system	
		-Data monitoring & recording system	
		-Articulation system -Compressed Air System -Ventilation system -후방디저 타이어힐 형식	-추가 옵션사양 별도 제시

다) 추가 사항

No	구분	조건 및 요구사항	비고
1	Shield TBM & S.T.S	1) 월드 TBM 메인 장치 및 옵션사양 구분	
		2) 장비분할 중량 및 부피 분할	-동일 수직구 발전 2회 (조립 및 해체 2회)
		3) 장치별 사용전력량 분할	-배너관 350mm 이상
		4) Spare parts(기부 필수사항)	-Supervisor 비용 (조립, 초기굴진, 해체 각 2회 반영) ① 총괄 : 1인 ② 기계 : 1인 ③ 전기 : 1인
		5) Ø7,610mm MIXSHIELD TBM, incl. P2.1 discharge pump	
		6) STS, 3" booster slurry pump	
2	S.T.P	7) Supervisor 비용	
		- 조립 90일 × 2회	
		- 초기굴진 30일 × 2회	
		- 장비해체 30일 × 2회	
		1) STP 장치 및 monitoring system 가격 (설치 장비 및 운영)	
		2) STP 장비분할 중량 및 부피 분할	-견적서 구매설치 조건으로 제시 요청(Lease 경우도 별도 금액 제시 : 별도 문서)
3	필요 전산 파일	3) STP 장치별 사용전력량 분할	
		4) Spare parts	
		5) STP 1,400 m/h	
3	필요 전산 파일	6) STP 장치 Supervisor 비용	
		1) 견적서 및 견적사양 설명서: Excel file	
		2) 장치(옵션 사양 포함)의 매뉴얼 및 시방서 : MS word file(x, Manlock) 사양규정 및 운영내용 등)	
3) 기타 Acad file			
4) 장비 및 후속설비 일반도 1식			
5) 송배너 계통도			
6) 이수처리 계통도			
7) Backfill 계통도			
8) 수전설비 설치 계획도 (If possible)			

(a) 지하철 ○○선 장비요청서

그림 2.1 국내 발주처(시공사) 제공 장비요청서

[TBM 커터헤드 설계자동화 및 운전·제어 시스템 개발]

번호	항목	기본사항	기준/작용/범위	규격	비고
1	TBM 타입	(1) TBM 타입		Slurry Type(이수거입식)	
2	Model				
3	제조사 보증 여부			보증사 발급 가능	
4	Design Pressure		최대 9.0 Bar	9 bar	
5	TBM 주요치수	(1)TBM 외경 (굴착경기후)		3,670mm	장비 제작사/시공사 검토
		(2)TBM 길이	8,000mm	10.6m	장비 제작사/시공사 검토
		(3)세그먼트 외경		3,400mm	
		(4)세그먼트 내경		3,000mm	
		(5)세그먼트 길이		1,200mm	
		(6)세그먼트 두께		200mm	
		(7)...			
6	TBM 본체	(1) TBM 설계타입	커브 및 방향조정	승진형	장비 제작사/시공사 검토
		(2) 전동/공용/부동 직경		3670/3650/3630mm	장비 제작사/시공사 검토
7	커터헤드	(1)커터헤드 형식		압연 굴착형(축)	장비 제작사 검토
		(2)커터헤드 구동		축입 코터 구동	
		(3)가우울		27%	장비 제작사/시공사 검토
		(4)굴착경		3,670 mm	장비 제작사/시공사 검토
		(5)커터교관방식		별내 내 후방교개 방식	
8	커터헤드 지지방식	(1)지지방식		외주 지지 방식	
		(2)...			
9	커터구동	(1)구동방식		축입 코터 구동	
		(2)구동코터		3 unit x 250 kW+ 750 kW	
		(3)커터헤드회전속		0~7.0 rpm	
		(4)커터토크		1,482 ~ 1,922 kN-m	
		(5)...		working pressure 10 bar	
10	커터 톨	(1)커터타입		Center Disk/Face/Twin Disk(Gage/Singel)	Face : 17인치, Gage : 19인치
		(2)...			
11	월드록 (추진력)	(1)월드록 사양		350bar, 13 pcs	
		(2)총 추력		14,294 kN	
		(3)월드록 속도		60 mm/min	
		(4)스스로크		1,900 mm	
		(5)...			
12	올리버 시스템	(1)크라샤		후방 크라샤	옵션
		(2)올리버 승니파이브		150mm	
		(3)올리버 에니파이브		150mm	
		(4)에이팩스 파이브		150mm	
		(5)...			

번호	항목	기본사항	기준/작용/범위	규격	비고
13	일렉터	(1)타입		Manual type	Segment loader (Vacuum type)
		(2)최대시 연동용 무게		2 ton	
		(3)회전속도		0 ~ 1.2 rpm	
		(4)회전각도		±200°	
		(5)...			
14	커브굴진	(1)굴진속도		R=200m	
		(2)굴진력 용량		10644kN @ 350bar	
		(3)...			
15	곡선부 통과능	(1)롤러블러어런스		25mm	30mm
		(2)분할부 굴착각		2.5도	2.5도
		(3)곡선부 굴착량		35mm	35mm
		(4)...			
16	Probe Drill	(1)Coing 및 그라우팅 전용 전방누수대 검사		total 8 ports	
		(2)...			
17	Air Lock System	(1)...		Air chamber	
		(2)...		Man Lock-2persons, 7 bar	
18	기타설비	(1)롤러블		4 steel brush + 1 sealing board	
		(2)긴급 지수일		Emergency Tail sealing system	옵션
		(3)세그먼트 호이스트		Feeder + Loader System	
		(4)...		working pressure 9 bar	Tail Sealing system
19	TBM 운전	(1)TBM 운전기록		Data Collection System	CRCHI system
		(2)...			
20	축향	(1)자동축향시스템		Laser Targt DDI	
		(2)...			
21	기술지원	- 장비조립/조기굴진		기술지원	
		- 장비점검 및 기술지원		기술지원	
		- TBM 현재 이동(Back)			
22					
23					
24	특기사항				

(b) 전력구 ○○~○○ 전력구 현장 장비요청서

공종명	규격	수량	단위	견적		비고
				단가	금액	
◆ GTX-A Line						
장비 List						
1. Open TBM						
TBM Main Body	D=12m	1	대			
Locomotive (Diesel)		1	대			15ton/20ton/30ton
광차		1	대			규격별 견적요청
사이드 덤핑장치		1	대			규격별 견적요청
컨베이어벨트(버퍼저리롤)	6~7km 버퍼저리 예상	1	m			규격별 견적요청
자재운반 대차		1	대			규격별 견적요청
인력운반 대차		1	대			규격별 견적요청
Rail Trailer		1	대			규격별 견적요청
Train Loader		1	대			규격별 견적요청
Mortar Car		1	대			규격별 견적요청
2. Shield TBM(Slurry)						
TBM Main Body	D=8.5m	1	대			
Locomotive (Diesel)	세그먼트 설치, Probe Drill 옵션포함	1	대			15ton/20ton/30ton
자재운반 대차		1	대			규격별 견적요청
Segment 대차		1	대			규격별 견적요청
인력운반 대차		1	대			규격별 견적요청
Rail Trailer		1	대			규격별 견적요청
Train Loader		1	대			규격별 견적요청
Mortar Car		1	대			규격별 견적요청
3. Shield TBM(EPB)						
TBM Main Body	D=8.5m	1	대			
Locomotive (Diesel)	세그먼트 설치, Probe Drill 옵션포함	1	대			15ton/20ton/30ton
광차		1	대			규격별 견적요청
사이드 덤핑장치		1	대			규격별 견적요청
컨베이어벨트(버퍼저리롤)	1.5~2.5km 버퍼저리 예상	1	m			규격별 견적요청
자재운반 대차		1	대			규격별 견적요청
Segment 대차		1	대			규격별 견적요청
인력운반 대차		1	대			규격별 견적요청
Rail Trailer		1	대			규격별 견적요청
Train Loader		1	대			규격별 견적요청
Mortar Car		1	대			규격별 견적요청

(c) 수도권 광역철도 장비요청서

그림 2.1 국내 발주처(시공사) 제공 장비요청서(계속)

그림 2.1에서 제시된 항목들을 살펴보면, 설계조건 제시항목에는 기초적인 굴착조건, 장비형식, 세그먼트 계획, 지층조건 등만을 제시하고 있고, 요청서와 별도로 지반조사보고서나 구간별 암반등급도 도면만을 제공하고 있다.

제작사양 제시 항목은 발주기관마다 상이하나 대부분 상세 조건을 제시하기 보다 장비 설치항목에 대한 일반내용을 제시하고 있어, 장비제작사가 현장의 내용과 장비제작 시에 추가 설비에 대한 내용을 기본사항에 입각해서 제작할 가능성이 높다. 즉, 제출된 장비 사양서에 대한 객관적인 판단과 평가가 어렵고, 소구경의 공동구 터널은 기능상 중~대구경의 교통터널에 비해 장비조달 비용이 적게 소요되기 때문에 기본사항만 만족한 상황에서 최저가격으로 장비가 선정되어지고 있는 것이다. 또한 일부 요청서에서는 설계제시항목과 제작사양요구조건을 제시하는 항목을 구분하지 않고 단순히 내역수준의 항목만을 제시하는 장비 요청사항을 제시하고 있는 것을 알 수 있다.

시공사가 장비를 발주할 경우, 기본 및 실시설계가 이뤄진 상태에서 발주가 되므로 설계제시항목은 세그먼트의 설계를 포함하여, 굴진 중 시공관리 포인트를 사전에 예측하여 해외에서 제시하고 있는 내용처럼 비교적 많은 자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 장비설비에 대한 제시 항목은 기본적인 설비 항목에 대한 내용만 제시하고 있는 것으로 파악되며, 일부 항목에 대해서는 기능요구사항에 대해 제시하고 있지만 구동부, 커터 헤드, 주요 시설 등에 대한 세부항목과 품질내용은 제시하고 있지 않다.

2.2 해외 장비발주 사례

그림 2.2는 최근 태국 대중교통청(Mass Rapid Transit Authority of Thailand)에서 발주한 MRT Orange Line(East Section) Project에서 제시한 장비 요청서이다.

MRT Orange Line (East Section) Project Thailand Cultural Centre - Mia Bae (Hua Mak) Station	Vendor Offer for Supply Contract of Tunnel Boring Machines OR14 MRTA Station - OR17 Rangkhamkong Station and OR19 Hua Mak Station - OR17 Rangkhamkong Station	Contract E2 A E2: Underground Civil Works Thailand Cultural Centre - Hua Mak Station	MRT Orange Line (East Section) Project Thailand Cultural Centre - Mia Bae (Hua Mak) Station	Vendor Offer for Supply Contract of Tunnel Boring Machines OR14 MRTA Station - OR17 Rangkhamkong Station and OR19 Hua Mak Station - OR17 Rangkhamkong Station	Contract E2 A E2: Underground Civil Works Thailand Cultural Centre - Hua Mak Station	MRT Orange Line (East Section) Project Thailand Cultural Centre - Mia Bae (Hua Mak) Station	Vendor Offer for Supply Contract of Tunnel Boring Machines OR14 MRTA Station - OR17 Rangkhamkong Station and OR19 Hua Mak Station - OR17 Rangkhamkong Station	Contract E2 A E2: Underground Civil Works Thailand Cultural Centre - Hua Mak Station
Ref: E2A-E2A17	Ref: 05	Ref Date: 3-Nov-17	Ref: E2A-E2A17	Ref: 05	Ref Date: 3-Nov-17	Ref: E2A-E2A17	Ref: 05	Ref Date: 3-Nov-17
<p>SIXTH SCHEDULE REQUIREMENTS FOR TBM</p> <p>A. Design Requirements</p> <p>1. General Condition</p> <p>(1) Project Name : MRT Orange Line (East Section) Project, Thailand Cultural Centre - Mia Bae (Suanthawong), Contract E1 & E2</p> <p>(2) Site Location : Bangkok, Thailand</p> <p>(3) Tunnel Detail : Section 1 requires construction of twin parallel tunnels starting from OR14 MRTA Station at approximate Chainage 25+129.96 and terminating at OR17 Rangkhamkong Station Chainage 29+842.98. Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) are used for diaphragm wall soil-ey.</p> <p>Section 2 requires construction of twin parallel tunnels starting from OR19 Hua Mak Station at approximate Chainage 32+030.18 and terminating at OR17 Rangkhamkong Station Chainage 29+842.98. Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) are used for diaphragm wall soil-ey.</p> <p>2. Geological Condition (see details in Volume 2: Section 3)</p> <p>(1) Type of Ground : Soft Clay, Medium Clay, Stiff Clay, Sandy Clay, Medium Stiff Clay, Stiff to Hard Clay and Sand</p> <p>(2) Overburden : The maximum overburden is in range of 3-31m.</p> <p>(3) Underground Water Level : Approximately 2.0 m. from ground surface.</p> <p>3. Tunnel Alignment (see details in Volume 2: Section 1, Attachment 1)</p> <p>(1) Tunnel Length : TBM#1 = 4,188 m. (Section 1) TBM#2 = 4,188m. (Section 1) TBM#3 = 1,925m. x 2 drives (Section 2)</p> <p>(2) Horizontal Curve Radius : 180m. (minimum)</p> <p>(3) Vertical Curve Radius : 1,500m. (minimum)</p> <p>(4) Gradient : -2.60 ~ 0.80% (minimum)</p> <p>(5) Quantity of Machines : 3 sets</p> <p>4. Segment Lining (see details in Volume 2: Section 1, Attachment 2)</p> <p>(1) Type : Reinforced Concrete Segment</p> <p>(2) Outer Diameter : 6,300mm.</p>			<p>(3) Inner Diameter : 5,700mm.</p> <p>(4) Thickness : 300 mm.</p> <p>(5) Length : 1,400mm.</p> <p>(6) Number of Segments : 5-1 Key</p> <p>(7) Weight : 19.20 ton</p> <p>Weight of Ring : 3.60 ton (maximum)</p> <p>5. Start Shaft of Assembly TBM (Volume 2: Section 1, Attachment 3)</p> <p>5.1 at OR14 MRTA Station [for TBM#1 and TBM#2]</p> <p>(1) Slope : Flat (no slope)</p> <p>(2) Width : 32.0m.</p> <p>(3) Length of Dropped Pit : 17.0m.</p> <p>(4) Depth of Dropped Pit : 13.0m. from Ground Level</p> <p>5.2 at OR19 Hua Mak Station [for TBM#3]</p> <p>(1) Slope : Flat (no slope)</p> <p>(2) Width : 24.93m.</p> <p>(3) Length of Dropped Pit : 17.0m.</p> <p>(4) Depth of Dropped Pit : 22.6m. from Ground Level</p> <p>6. Supplied Power Source to TBM</p> <p>(1) Voltage : 6.6 kV or 11 kV</p> <p>(2) Frequency : 50 Hz</p> <p>(3) Phase : 3 Phases</p> <p>7. Electric System</p> <p>(1) Available Electricity</p> <p>Rated Voltage used on the Machines will be shown as follows:</p> <p>Power : AC 380V / 3 Phases / 50 Hz</p> <p>Control : AC 100V / Single Phase / 50 Hz</p> <p>Instrumentation : AC 100V / Single Phase / 50 Hz</p> <p>Lighting : AC 220V / Single Phase / 50 Hz.</p> <p>(2) Protection</p> <p>Enclosures : IP55</p> <p>Anti-Explosion : (to be proposed)</p> <p>Cable Type : (to be proposed)</p>			<p>B. Requirements Specification for TBMs</p> <p>1. EPB Articulation Type TBM</p> <p>1.1 Shield Body</p> <p>(1) Cutting Diameter : (to be proposed) mm.</p> <p>(2) Cutter Head Diameter : (to be proposed) mm.</p> <p>(3) Front Shield Diameter : (to be proposed) mm.</p> <p>(4) Tail shield Inside Diameter : 6,360 mm. +5 mm. -0 mm.</p> <p>(5) Simultaneous Grout Injection through tail on shield Body - Number of Ports : 4 nos.</p> <p>(6) Tail Shield Outside Diameter : (to be proposed) mm.</p> <p>(7) Tail Thickness : > 45 mm.</p> <p>(8) Tail Clearance : 30 mm. +5 mm. -0 mm.</p> <p>(9) Overall Length : (to be proposed) mm. (Cutter Head-Tail)</p> <p>(10) Tail Sealing : 3 Rows</p> <p>(11) Maximum Earth Pressure : 4 bar</p> <p>(12) Maximum Pressure of Design Head : 5 bar</p> <p>(13) Maximum Size for Transportation to Site : Height within 3,700 mm. Width within 6,600 mm.</p> <p>(14) Maximum Weight for Transportation to Site : within 80 tons</p> <p>(15) Painting : Colour to be advised</p> <p>(16) TBM Design Code and Standard : Project's Technical Specification (see Volume 2, Section 2, Attachment 1) ISO, IEC, JIS, JEC, JEM Standard Specification for Tunnel (Shield) Japan Society of Civil Engineer Supplier Standard</p> <p>1.2 Man Lock</p> <p>(1) Position of Man Lock : Upper Position (from center) or to be proposed</p> <p>(2) Number of Rooms : 2 rooms (four persons each room)</p> <p>(3) Operating Pressure : 4 bar in design</p> <p>(4) Equipment on the Man Lock : Valve, Filter, Pips, Lighting and others to be proposed</p>		

그림 2.2 Bangkok Metro Orange Line OR 17 장비요청서

MRT Orange Line (Easr Section) Project Thailand Cultural Center - Mta Bst (Bangkok) (Bangkok)	Tender Offer for Supply Contract of Tunneling Machine OR17 MRT Station - OR17 Bangkok Station and OR17 Hua Mark Station - OR17 Bangkok Station	Contract E1 & E2: Underground C&T Works Thailand Cultural Center - Hua Mark Station	CS&T Joint Venture Thailand Cultural Center - Hua Mark Station
Ref: O&E1-2017	RF: 05	EE Date: 8/20/17	Site Schedule Page: 4

1.3 Thrust Jacks

- (1) Number of Twin Jacks : 16 sets
- (2) Stroke : (to be proposed) mm.
- (3) Extending Speed : 60 mm/min, with full Jack
(In case all thrust cylinders are operated at the same time, shield jacks shall be adjusted to dead slow speed (NOMST Mode) about 1-3 mm/min)
- (4) Jack Stroke and Speed : 4 positions (minimum)
Sensor Positions
- (5) Pressure : (to be proposed) MPa
- (6) Total Thrust Force : 48,000 kN (minimum)

1.4 Articulate Jacks (Active Type)

- (1) Total thrust force : Total thrust force shall be more than 80% of shield jack thrust force
- (2) Stroke of Jacks : Available to follow the 180m radius curvature
- (3) Number of Stroke Meters : 4 nos.

1.5 Tail Seal Grease Injection with Control Panel

- (1) Number of Ports : 8 ports (minimum) (4 Nos. x 2 Roll)
- (2) Tail Grease Pump : Air Actuated Type 1 set
- (3) Injection Valve : Electric Valve
- (4) Tank : 200 liter / drum
- (5) Control Method : Automatic / Manual

1.6 Cutter Head and Cutterhead Drive

1.6.1 Cutter head (for concrete diaphragm wall, piles and jet grout zone: design strength of concrete 400 kg/cm²)

- (1) Face Type : (to be proposed)
- (2) Opening Ratio of Cutter Face
- (3) Number of Earth Pressure Gauges : 6 nos. (2Nos. at Top, 2Nos. at Middle and 2Nos. at Bottom)
- (4) Number of Injection Ports at Cutter Head : 5 nos. (minimum) - available to supply additive independently
- (5) Space behind Cutter Head : 850 mm
- (6) Number of Copy Cutters : 2 nos. (with wear detectors) or to be proposed due to these copy cutters will use for cutting concrete pile with reinforcement rebar 28 mm. diameter inside and diameter of piles are 300 mm
- (7) Stroke of Copy Cutter : 0 - 120 mm. (maximum)
- (8) Cutter Bits : Teeth Cutter and Pre-cutting Cutter shall be provided.
Pre-cutting cutter shall be 50 mm advance from pre-cutting cutter. Teeth cutters shall be replaceable to

MRT Orange Line (Easr Section) Project Thailand Cultural Center - Mta Bst (Bangkok) (Bangkok)	Tender Offer for Supply Contract of Tunneling Machine OR17 MRT Station - OR17 Bangkok Station and OR17 Hua Mark Station - OR17 Bangkok Station	Contract E1 & E2: Underground C&T Works Thailand Cultural Center - Hua Mark Station	CS&T Joint Venture Thailand Cultural Center - Hua Mark Station
Ref: O&E1-2017	RF: 05	EE Date: 8/20/17	Site Schedule Page: 4

- (9) Probe Drilling Ports : (to be proposed)
- (10) Number of Path of Cutters : (to be proposed)
- (11) Number of Abrasion Detection Cutters : 2 nos. (minimum)
- (12) Number of Agitating Rods : 4 nos. (minimum)
- (13) Wear Protection : Wear protection plate and/or hard facing shall be applied to the cutter head.

1.6.2 Main Bearing for Cutter Head Drive Unit

- (1) Driving Method : Electric Motor Drive
- (2) Motor Power : 900 kW (minimum)
- (3) Rotation Speed : 0 - 3 rpm
- (4) Working Torque : > 4,000 kN-m (minimum) at 1.5 rpm
- (5) Main Bearing : Required the operation life time > 7,000 hrs. (3-Axis Roller Bearing or to be proposed)

1.7 Muck Disposal System

1.7.1 Screw Conveyor

- (1) Type : Ribbon (Front Part) and Shaft Type
- (2) Casing Inside Diameter : 800 mm. (minimum)
- (3) Break Out Screw Torque : 120 kN-m (minimum)
- (4) Capacity of Muck Discharge : 200 m³/hr (minimum)
- (5) Number of Front Gates (Inlet Gate) : 1 m.
- (6) Number of Rear Gates (Discharge Gate) : 2 locations (double door type)
- (7) Number of Inspection Hatches : 3 nos. (minimum)
- (8) Number of Injection Ports : 3 nos. (minimum)
- (9) Slide of Auger : (to be proposed)

1.7.2 Belt Conveyor

- (1) Width : 800 mm. (minimum)
- (2) Length : (to be proposed) m.
- (3) Capacity : 250 m³/hr (minimum)
- (4) Electric Drive Motor : (to be proposed) kW

1.8 Segment Erection System

1.8.1 Segment Erector

- (1) Type : (to be proposed)
- (2) Speed : 0.4 rpm (@ low speed) / 1.5 rpm (@ high speed)
- (3) Tilting Angle : ± 210 deg.
- (4) Degree of Freedom : 6 nos.
- (5) Vertical Stroke : (to be proposed) mm.

MRT Orange Line (Easr Section) Project Thailand Cultural Center - Mta Bst (Bangkok) (Bangkok)	Tender Offer for Supply Contract of Tunneling Machine OR17 MRT Station - OR17 Bangkok Station and OR17 Hua Mark Station - OR17 Bangkok Station	Contract E1 & E2: Underground C&T Works Thailand Cultural Center - Hua Mark Station	CS&T Joint Venture Thailand Cultural Center - Hua Mark Station
Ref: O&E1-2017	RF: 05	EE Date: 8/20/17	Site Schedule Page: 4

- (6) Slide Stroke (Travel along Tunnel Axis) : (to be proposed) mm.
- (7) Lifting Capacity : (to be proposed) ton

1.8.2 Roughness retainer

- (1) Type : Upper / Lower Expansion Type
- (2) Expansion Force : 400 kN (minimum)
- (3) Slide Stroke : 1,500 mm (minimum)

1.9 Segment Hoist (Double Rail) and Hoist Rails for Segment Handling

- (1) Lifting Capacity : (to be proposed) ton
- (2) Type : Electric Hoist
- (3) Speed : (to be proposed) m/min
- (4) Area of Works : Machine - Backup Hoist shall be two series. (Considering the stock and the erection at the same time, area under hoists shall be stocked 1 ring of segment) (see Volume 2, Section 1, Attachment 4)

1.10 Centralized Greasing System / Oil Lubrication System

- (1) For Main Bearing : Automatic Supply
- (2) For Main Seal : Automatic Supply
- (3) For Cutter drive pin gear : Automatic Supply
- (4) For Articulate Seal : Automatic Supply
- (5) For Bearing and Seal of Screw Conveyor : Automatic Supply
- (6) For Rotary Joint : Automatic Supply

1.11 Main Hydraulic Drive System

- (1) For Shield Jack : (to be proposed)
- (2) For Shield Jack Slow : (to be proposed)
- (3) For Erector : (to be proposed)
- (4) For Screw Conveyor : (to be proposed)
- (5) For Screw Gate and Roundness Retainer : (to be proposed)
- (6) For Copy Cutter : (to be proposed)
- (7) For Articulation Jack : (to be proposed)

1.12 TBM Control System

- (1) Main Control Panel : Operation Cabin (On Backup Car)
- (2) Data Monitor : (to be proposed)

1.13 Fire Detection and Suppression System

- Fire Detection and Suppression System : CO2 Extinguisher shall be provided for all of switchboxes.

그림 2.2 Bangkok Metro Orange Line OR 17 장비요청서(계속)

쉴드TBM의 장비요청서는 크게 장비 제작발주를 위한 ①설계제시 항목과 ②제작사양 제시항목으로 구분하고, 옵션과 추가 설비에 대한 내용을 함께 제시하고 있다.

① 설계제시 항목에는 장비제작사에게 현장의 지반조사 내용(지반조사보고서 및 설계 보고서 제공)과 장비 설계시 고려해야할 종단선형계획, 장비가 운영되는 대략적인 공정, 위치, 운영되는 장비대수, 장비가 투입되는 환경, 규모 등에 대한 내용과 함께, 세그먼트 설계내용, 굴진 중 시공관리 포인트, 현장에서 공급되어지는 전력과 관련되는 내용까지 제시하고 있다. 이를 통해 사전에 장비의 운영과 단면선정, 곡선반경 등 주요정보에 대한 명확한 내용을 반영하여, 쉴드TBM의 제작과 운영에 따른 사전 리스크를 인지하고 장비 제작에 반영될 수 있도록 하고 있다.

② 제작사양 제시항목에는 순수하게 장비 제작과 관련된 기본적인 항목과 더불어, 세부설비, 시스템, 추력, 커터헤드, 후방시설 등과 같이 쉴드TBM 장비가 갖추어야 할 필수 항목, 그밖에 검수와 주변설비, 시스템 등으로 크게 구분되어 제시되어지고 있다(그림2.3 참조).

제작발주를 위한 설계제시항목

A. Design Requirements

1. General Condition

- (1) Project Name : MRT Orange Line (East Section) Project, Thailand Cultural Centre - Min Buri (Suvithavong), Contract E1 & E2
- (2) Site Location : Bangkok, Thailand
- (3) Tunnel Detail : Section 1 requires construction of twin parallel tunnels starting from OR14 MRTA Station at approximate Chainage 29-129.96 and terminating at OR17 Rangkhamhaeng Station Chainage 29-842.98. Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) are used for diaphragm wall soft eye.

Section 2 requires construction of twin parallel tunnels starting from OR19 Hua Mak Station at approximate Chainage 32-030.18 and terminating at OR17 Rangkhamhaeng Station Chainage 29-842.98. Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) are used for diaphragm wall soft eye.

2. Geological Condition (see details in Volume 2: Section 3)

- (1) Type of Ground : Soft Clay, Medium Clay, Stiff Clay, Sandy Clay, Medium Stiff Clay, Stiff to Hard Clay and Sand
- (2) Overburden : The maximum overburden is in range of 3-31m.
- (3) Underground Water Level : Approximate 2.0 m. from ground surface.

3. Tunnel Alignment (see details in Volume 2: Section 1, Attachment 1)

- (1) Tunnel Length : TBM/1 = 4,188 m (Section 1)
(Twin parallel tunnel) : TBM/2 = 4,188m. (Section 1)
: TBM/3 = 1,955m. x 2 drives (Section 2)
- (2) Horizontal Curve Radius : 180m. (minimum)
- (3) Vertical Curve Radius : 1,500m. (minimum)
- (4) Gradient : -2.60/+0.80% (minimum)
- (5) Quantity of Machines : 3 sets

4. Segment Lining (see details in Volume 2: Section 1, Attachment 2)

- (1) Type : Reinforced Concrete Segment
- (2) Outer Diameter : 6,300mm.

제작발주를 위한 장비사양 제시 항목

B. Requirements Specification for TBMs

1. EPB Articulation Type TBM

1.1 Shield Body

- (1) Cutting Diameter : (to be proposed) mm.
- (2) Cutter Head Diameter : (to be proposed) mm.
- (3) Front Shield Diameter : (to be proposed) mm.
- (4) Tail shield Inside Diameter : 6,360 mm. +5 mm. -0 mm.
- (5) Simultaneous Grout Injection through tail on shield Body - Number of Ports : 4 nos.
- (6) Tail Shield Outside Diameter: (to be proposed) mm.
- (7) Tail Thickness : > 45 mm.
- (8) Tail Clearance : 30 mm. +5 mm. -0 mm.
- (9) Overall Length (Cutter Head-Tail) : (to be proposed) mm.
- (10) Tail Sealing : 3 Rows
- (11) Maximum Earth Pressure : 4 bar
- (12) Maximum Pressure of Design Base : 5 bar
- (13) Maximum Size for Transportation to Site : Height within 3,700 mm. Width within 6,600 mm.
- (14) Maximum Weight for Transportation to Site : within 80 tons
- (15) Painting : Colour to be advised
- (16) TBM Design Code and Standard : Project's Technical Specification (see Volume 2, Section 2, Attachment 1)
: ISO, IEC, JIS, JEC, JEM
: Standard Specification for Tunnel (Shield) Japan Society of Civil Engineer
: Supplier Standard

1.2 Man Lock

- (1) Position of Man Lock : Upper Position (from center) or to be proposed
- (2) Number of Rooms : 2 rooms (four persons each room)
- (3) Operating Pressure : 4 bar in design
- (4) Equipment on the Man Lock : Valve, Filter, Pipe, Lighting and others to be proposed

각종 옵션 사항 제시 - 주변 설비 - 시스템 등

그림 2.3 해외 장비요청서에 제시하고 있는 항목 구분(예)

2.2.1 입찰안내서 설계내용 제공자료 항목 검토

사업특성에 맞는 쉴드TBM 장비를 제작하기 위해서는 기본적인 터널설계 내용과 함께, 사업에서 고려하고 있는 굴진 중 시공관리 포인트 등의 현황을 장비제작사가 파악할 수 있도록 하여야 한다. 앞서 언급하였지만 국내에서는 이러한 정보를 제공하고 있지 못한 반면, 해외에서는 명확하게 설계내용과 제작사양으로 구분하고 있다.

설계내용 제공항목으로는 첫 번째로 일반조건으로서 프로젝트명, 위치정보, 터널 시공계획(쉴드TBM 시점, 종점, 수직구, 병설터널 여부 등), 쉴드TBM 통과구간에 대한 지장물 접근현황, 세그먼트의 재질과 제원 등에 대한 정보를 제공하고 있다.

두 번째로 지반조건에 대해서는 발주처가 수행한 지반조사보고서를 별도로 제공하고, 지반조건, 토피고 범위, 지하수위, 지질이상대, 쉴드TBM 굴진 시의 주의구간 등에 대한 정보를 제공하여 커터헤드 설계 및 막장압 관리에 관련된 장비설계 참고사항들을 제시하고 있다.

세 번째로 터널의 선형정보(종단 곡선, 선형곡선, 경사도), 장비대수 등을 제공하여 선형조건을 만족하는 장비제작이 가능하도록 한다.

네 번째로 가장 중요한 세그먼트 설계에 대해서는 세그먼트 재료, 외경, 내경, 두께, 분할계획, 세그먼트 1링당 중량, 세그먼트 1개 중량 등을 제공하여 세그먼트를 충분히 운반하고 조립할 수 있는 성능을 가진 장비제작이 이뤄지도록 하고 있다.

이외에 수직구를 통한 작업구가 이뤄질 경우에는 수직구의 경사, 폭, 길이, 깊이 등에 대한 정보를 제공하여 장비 조립에 대한 공간을 고려할 수 있도록 제공하여야 한다.

셸드TBM이 전기로 운영되는 만큼 현장의 전원공급과 전기설비에 대한 정보를 함께 제공하여, 지역과 국가별로 다른 전압과 주파수에 따라 제어판, 계기판 등의 전기설비에 대한 전력공급에 문제가 없도록하기 위해서이다. 표 2.1은 해외 입찰안내서 있는 장비요청 사항 중에서 설계내용으로 제시하는 항목에 대한 내용을 정리한 것이다.

표 2.1 해외 장비요청서에 제시되는 설계항목 정리표

1. 설계요구사항	내용	예시
1-1 일반조건	공사에 대한 정보 수록	
(1) 프로젝트명	사업명 표기	○~○ 철도터널 공사(제2공구)
(2) 과업구간	공사시점과 종점제지 (지역으로표기)	경기도 김포시 하성면~파주시 연다산동
(3) 터널현황	시점/종점, 터널연장, 터널통과구간의 주요사항(지장물 등)	- 1구간 : 수직구 #1(sta. 25+130) 에서 수직구 #2(sta. 29+840) 구간 병설터널로 이뤄져 있으며, 5m근접하여 말뚝기초가 있고, 일부 연약지반을 통과하고, 강섬유보강 세그먼트를 사용하여야 한다. - 2구간 : 수직구 #2(sta. 29+840)에서 김포정거장(sta. 32+030)구간 병설터널로 이뤄져 있으며 강섬유보강 세그먼트를 사용하여야 한다.
1-2 지반조건 지반조사보고서 별도 제공	(기본설계수준) (통과 심도, 최대 토피고, 최소토피고, 석영함유량, 자갈분포 등등 포함)	
(1) 지반조건	굴착지반에 대한 주요 압중 및 토성정보 제시	연약점토, 중간점토, 모래질점토, 사질토, 흑운모 화강암, 편마암, 최대 암반일축압축강도(Mpa or N값)
(2) 토피고	셸드 상부의 토피고 현황 제시	토피고 3~31m
(3) 지하수위	지하수위 정보 제공	GL-2.0(최대설계수압)

표 2.1 해외 장비요청서에 제시되는 설계항목 정리표(계속)

1. 설계요구사항	내용	예시
1-3 터널선형정보	계획된 종단면 선형내용 제시	종단면 선형도면제공
(1) 터널연장	TBM장비 운영 연장 및 계획	TBM#1 = 4,310m(1구간) TBM#2 = 4,310m(1구간) TBM#3 = 1,955m×2 (2구간)
(2) 터널형식	병설/복층터널, 철도/수로/전력구 터널 제시	철도 단선 병렬 터널
(3) 종단곡선	종단에 대한 최대/최소 구배제공	- 180m(최소)
(4) 선형곡선	평면선형에 대한 최소 반경제공	- 1,500m(최소)
(5) 경사도	경사도 정보제공	- 2.60(최대)
(6) 장비대수	장비 발주 대수	3대
1-4 세그먼트	설계된 세그먼트 구조물 내용제시	도면제공
(1) 세그먼트 종류	세그먼트 재질 제시	Reinforced Concrete Segment
(2) 세그먼트 외경	세그먼트 외경 크기 제시	6,300mm
(3) 세그먼트 내경	세그먼트 내경 크기 제시	5,700mm
(4) 세그먼트 두께	세그먼트 두께	1,400mm
(5) 세그먼트 분할	세그먼트 분할계획 제시	5+1key
(6) 중량	세그먼트 링당 중량과 1ps 중량	링중량(19.20ton) 세그먼트(3.60ton(최대))
1-5 수직구 정보	장비 발진구 및 도달구에 대한 정보 제공	(수직구인 경우)
(1) #1 수직구	#1 수직구에 대한 정보 제시	for TBM#1과 TBM#2
① 바닥 경사	-	직선(평평함)
② 폭	-	32.4m
③ 길이	-	17.0m
④ 깊이	-	13.0m(GL)
(2) #2 수직구	#2 수직구에 대한 정보 제시	for TBM#3
① 바닥 경사	-	직선(평평함)
② 폭	-	24.45m
③ 길이	-	17.0m
④ 깊이	-	22.6m(GL)
1-6 TBM 전원 공급	-	(1) 전압(Voltage) : 6.6kV or 11kV (2) 주파수(Frequency) : 50Hz (3) 위상(Phase) : 3상(3-Phases)
1-7 전기 시스템/방수	-	(1) 장비에 사용되는 정격전압 사양 (2) 전압방식 케이블 타입/방수등

2.2.2 입찰안내서 장비사양 제시항목 검토

장비요구 항목으로는 장비형식을 기본적으로 제시하고 쉴드TBM의 구성요소인 본체, 커터헤드나 전면에서 작업하기 위한 작업자 가압장치인 맨록(Man Lock), 추진책과 종절책, 주입구 제어판넬, 커터헤드와 관련된 사항, 버력처리 시스템, 세그먼트 이렉터 시스템, 호이스트, 그리스를 포함한 주입 시스템, 운전제어시스템, 화재감지시스템 등과 같이 장비 본체에 관련된 항목과 장비본체 운영을 위한 후방설비, 편의시설, 공급시설 등을 제시하고 기타사항으로 장비검수를 비롯한 전반적인 관리시스템에 대해서 요구항목을 제시하고 있다.

장비견적요청서(RFQ, Request for Quotation)상의 장비제작과 관련된 설비 요구사항의 세부 내용 중에는 구체적인 범위를 제시하거나 최소한을 제시하는 경우도 있지만, 장비제작에 전문적인 분야와 내용에 대해서는 장비 제작사가 자체 노하우를 바탕으로 제안하고 향후 협의할 수 있는 문구를 제시하고 있는 것으로 나타났다. 그 내용을 항목별로 정리하면 표 2.2와 같다.

표 2.2 입찰안내서 장비제작 요청 항목 정리

2. TBM 세부 사항	내용	비고
2-1 EPB TBM 타입	쉴드TBM 장비 종류 제시	EPB 장비 타입
2-1-1 쉴드 본체	쉴드 전면부에 대한 설비 제시	
(1) 굴착직경	굴착직경(mm)	입찰자가 제안 (장비제작사에서 판단)
(2) 커터헤드 직경	커터헤드 직경(mm)	입찰자가 제안 (장비제작사에서 판단)
(3) 전통부 직경	전통부 직경(mm)	입찰자가 제안 (장비제작사에서 판단)
(4) 테일부 내경	세그먼트 외경에서 테일부 안쪽 범위 제시(mm)	6,300mm +5mm, -0mm or 입찰자가 제안(오차항목을 제시)
(5) 주입방식(동시주입) (쉴드 본체의 테일을 통한 주입 포트수)	주입포트 수량 제시	4nos(제시 없을시 2nos~4nos 다양)
(6) 테일부 외부 직경	테일부에 대한 외부 직경(mm)	입찰자가 제안(장비제작사에서 판단)
(7) 테일 두께	테일 두께 제시	>45mm or 입찰자가 제안 (오차항목 또는 장비제작사가 특성에 맞게 제시)
(8) 테일 여유	테일 여유 폭 제시	>30mm, +5mm, -0mm or 입찰자가 제안 (오차항목 또는 장비제작사가 특성에 맞게 제시)
(9) 장비길이(커터헤드-테일부)	몸통 전체에 대한 제시	입찰자가 제안(장비제작사에서 판단)
(10) 테일 싹링	싹링(Wire Brush) 열 수	입찰자가 제안(장비제작사에서 판단)
(11) 최대 토압	구간중 발생 가능한 압력 제시	4Bar (과업구간 특성에 따라 제시)
(12) 최대 기본설계 압력	장비의 막장압 관리 최대치	5Bar (과업구간 특성에 따라 제시)
(13) 현장 운송시 최대 크기	현장운반이 가능한 분할 계획 제시	높이 : 3,700mm, 폭 : 6,600mm
(14) 현장 운송시 최대 중량	현장운반이 가능한 분할 계획 제시	80ton 이내
(15) 색상	장비 색상에 대한 제시	입찰자가 제안(색상에 대한 조연 정도)
(16) 장비 제작 설계기준(기준 및 코드)	장비제작시 따라야 할 기준 제시	- Project's Technical Specification - ISO, IEC, JIS, JEC, JEM - Standard Specification for Tunnel Japan Society of Civil Engineer - Supplier Standard(공급업체 표준사항)

표 2.2 입찰안내서 장비제작 요청 항목 정리(계속)

2. TBM 세부 사항	내용	비고
2-1-2 Man Lock	막장압 인력작업을 위한 가압시설 내용 제시	맨록의 위치, 개소, 작동 압력시양, 설비 장비에 대한 부속물 제시
2-1-3 추진잭	추진잭 설비에 대한 사양 제시	(1) 추진잭의 개수 (2) 스트로크(stroke) (3) 작동속도(Extending Speed) (4) 잭 스트로크의 속도 센서 (5) 압력 (6) 총 추력
2-1-4 중절잭	중절잭에 대한 항목제시	(1) 총 추력 (2) 잭 스트로크 (3) 스트로크 측정 개소
2-1-5 테일셀 주입구의 제어판넬	테일셀 주입구를 구성하는 제어판넬 조건 및 사양, 형식을 제시	(1) 포트 수 (2) 테일 그리스 펌프 (3) 분사밸브 (4) 탱크용량 (5) 제어방법
2-1-6 커터헤드와 운전 제어판	커터헤드와 관련된 제반사항 제시	
2-1-6-1 커터헤드	-	(콘크리트 벽체, 제트그라우팅 설계강도 400kg/cm ² 절삭가능)
(1) 면판 타입	-	입찰자가 제안 (장비제작사에서 판단)
(2) 커터헤드 개구율	-	입찰자가 제안 (장비제작사에서 판단)
(3) 토압 계측 개소	-	6개소(상부2개소, 중간 2개소, 하부 2개소)
(4) 커터헤드의 첨가제 주입구	폼주입구(FPB 타입)	최소 5개소 첨가제를 독립적으로 공급
(5) 커터헤드 후방 공간	커터교체를 위한 최소공간 제시	850mm
(6) 카피커터의 수	(단 과업의 특수사항 파일기초 절단 가능 조건 제시)	2개소(마모감지기), 절단기능을 갖는 경우 콘크리트 800mm 철근 28mm 절단가능
(7) 카피커터의 스트로크	-	최대 0~120mm
(8) 비트커터	커팅을 위한 기능 부여여부	티칭(Teeth)커터와 절단 커터 기능을 제공
(9) 프로브 드릴링 포트	사전보강을 위한 프로브 드릴링 포트 제시	입찰자가 제안(장비제작사에서 판단)
(10) 커터 통과횟수	한 개소에 커터가 몇 번을 통과하는지 제시	입찰자가 제안(장비제작사에서 판단)
(11) 마모 감지 커터수	마모감지 커터수 제시	최소 2개이상
(12) 교반날개	교반에 이용되는 구동축 제시	최소 4개이상
(13) 마모방지	마모방지를 위한 사항제시	마모 방지 플레이트와 단단한 임반에 절삭이 가능한 커터
2-1-6-2 커터헤드 구동용 메인 베어링	메인베어링 구동방식/베어링의 용량 작업 능력에 대한 사양제시	(1) 운영방식 (2) 모터 출력 (3) 회전속도 (4) 작용 토크(작업) (5) 메인 베어링
2-1-7 버력 처리 시스템	스크류 컨베이어와 벨트 컨베이어설비 제시	
2-1-7-1 스크류 컨베이어	스크류 컨베이어 형식 장비제작에 필요한 세부 사양에 대한 제시	(1) 타입 : 리본 및 샤프트 타입 (2) 케이싱 내경 : 최소 800mm (3) 스크류 토크 : 최소 120kN-m (4) 버력 배출량 : 최소 200m ³ /hr (5) 전면 게이트 수(입구) : 1개소 (6) 후면, 스크류게이트 수(방전) : 최소 2개 (7) 첨가제 주입장치 수 : 최소3개 (8) 주입구수 : 최소 3개소 (9) 오거 슬라이드 : 입찰자
2-1-7-2 벨트 컨베이어	벨트컨베이어 처리용량과 크기에 대한 사양제시	(1) 높이 : 최소 800mm (2) 길이 : 입찰자 (3) 용량 : 최소 250m ³ /hr (4) 전기 구동 모터 : 입찰자
2-1-8 세그먼트 이렉터 시스템	세그먼트 이렉터와 리테이너 사양	
2-1-8-1 세그먼트 이렉터	이렉터의 능력 용량 작동 범위 등에 대한 사양제시	(1) 방식 : 입찰자 (2) 속도 : 0.4rpm(최소속도)/1.5rpm(최고속도) (3) 회전각도 : +/-210deg. (4) 자유도 : 6자유도 (5) 수직 스트로크 : 입찰자 (6) 슬라이드 스트로크 : 입찰자 (7) 리프팅 용량 : 입찰자
2-1-8-2 인양장치	인양장치 방식과 신장력 등 사양제시	(1) 방식 : 상하 확장타입 (2) 신장력 : 최소 400kN (3) 슬라이드의 스트로크 : 최소 1,500mm

표 2.2 입찰안내서 장비제작 요청 항목 정리(계속)

2. TBM 세부 사항	내용	비고
2-1-6 커터헤드와 운전 제어판	커터헤드와 관련된 제반사항 제시	
2-1-6-1 커터헤드	-	(콘크리트 벽체, 제트그라우팅 설계강도 400kg/cm ² 절삭가능)
(1) 면판 타입	-	입찰자가 제안 (장비제작사에서 판단)
(2) 커터헤드 개구율	-	입찰자가 제안 (장비제작사에서 판단)
(3) 토압 계측 개소	-	6개소(상부2개소, 중간 2개소, 하부 2개소)
(4) 커터헤드의 첨가제 주입구	폼주입구(FPB 타입)	최소 5개소 첨가제를 독립적으로 공급
(5) 커터헤드 후방 공간	커터교체를 위한 최소공간 제시	850mm
(6) 카피커터의 수	(단 과업의 특수사항 파일기초 절단 가능 조건 제시)	2개소(마모감지기), 절단기능을 갖는 경우 콘크리트 800mm 철근 28mm 절단가능
(7) 카피커터의 스트로크	-	최대 0-120mm
(8) 비트커터	커팅을 위한 기능 부여여부	티칭(Teeth)커터와 절단 커터 기능을 제공
(9) 프로브 드릴링 포트	사전보강을 위한 프로브 드릴링 포트 제시	입찰자가 제안(장비제작사에서 판단)
(10) 커터 통과횟수	한 개소에 커터가 몇 번을 통과하는지 제시	입찰자가 제안(장비제작사에서 판단)
(11) 마모 감지 커터수	마모감지 커터수 제시	최소 2개이상
(12) 교반날개	교반에 이용되는 구동축 제시	최소 4개이상
(13) 마모방지	마모방지를 위한 사항제시	마모 방지 플레이트와 단단한 암반에 절삭이 가능한 커터
2-1-6-2 커터헤드 구동용 메인 베어링	메인베어링 구동방식/베어링의 용량 작업 능력에 대한 사항제시	(1) 운영방식 (2) 모터 출력 (3) 회전속도 (4) 작용 토크(작업) (5) 메인 베어링
2-1-7 버력 처리 시스템	스크류 컨베이어와 벨트 컨베이어설비 제시	
2-1-7-1 스크류 컨베이어	스크류 컨베이어 형식 장비제작에 필요한 세부 사항에 대한 제시	(1) 타입 : 리본 및 샤프트 타입 (2) 케이싱 내경 : 최소 800mm (3) 스크류 토크 : 최소 120kN·m (4) 버력 배출량 : 최소 200m ³ /hr (5) 전면 게이트 수(입구) : 1개소 (6) 후면, 스크류게이트 수(방전) : 최소 2개 (7) 첨가제 주입장치 수 : 최소3개 (8) 주입구수 : 최소 3개소 (9) 오거 슬라이드 : 입찰자
2-1-7-2 벨트 컨베이어	벨트컨베이어 처리용량과 크기에 대한 사항제시	(1) 높이 : 최소 800mm (2) 길이 : 입찰자 (3) 용량 : 최소 250m ³ /hr (4) 전기 구동 모터 : 입찰자
2-1-8 세그먼트 이렉터 시스템	세그먼트 이렉터와 리테이너 사양	
2-1-8-1 세그먼트 이렉터	이렉터의 능력 용량 작동 범위 등에 대한 사항제시	(1) 방식 : 입찰자 (2) 속도 : 0.4rpm(최소속도)/1.5rpm(최고속도) (3) 회전각도 : +/-210deg. (4) 자유도 : 6자유도 (5) 수직 스트로크 : 입찰자 (6) 슬라이드 스트로크 : 입찰자 (7) 리프팅 용량 : 입찰자
2-1-8-2 인양장치	인양장치 방식과 신장력 등 사항제시	(1) 방식 : 상하 확장타입 (2) 신장력 : 최소 400kN (3) 슬라이드의 스트로크 : 최소 1,500mm
2-1-9 세그먼트 호이스트(더블레일)과 호이스트 레일	호이스트에 대한 타입 및 규격을 제시	(1) 리프팅 용량 : 입찰자 (2) 타입 : 전기제어방식 (3) 속도 : 입찰자 (4) 작업 : 운양과 인양 동시고려 2개로 구성
2-1-10 그리스 시스템/오일윤활 시스템	시스템이 들어갈 위치 및 자동화에 대한 규정을 제시	(1) 메인베어링 : 자동공급 (2) 메인 씰링 : 자동공급 (3) 커터헤드 구동 기어 : 자동공급 (4) 종철 씰링 : 자동공급 (5) 베어링/스크류 컨베이어 씰링 : 자동공급 (6) 로터리 조인트 : 자동공급
2-1-11 메인 유압 구동시스템	유압시스템의 연결부위 제시	셴트랙/이렉터/스크류 컨베이어/분질책 등(입찰자 제시)
2-1-12 TBM 제어 시스템	-	(1) 메인제어판 (2) 데이터 모니터
2-1-13 화재감지 및 제방	-	필수 고려항목 제시(CO ₂ 소화기)

표 2.2 입찰안내서 장비제작 요청 항목 정리(계속)

2. TBM 장비 요구 사항	내용	비고
2-1-9 세그먼트 호이스트(더블레일)과 호이스트 레일	호이스트에 대한 타입 및 규격을 제시	(1) 리프팅 용량 : 입찰자 (2) 타입 : 전기제어방식 (3) 속도 : 입찰자 (4) 작업 : 운양과 인양 동시고려 2개로 구성
2-1-10 그리스 시스템/오일윤활 시스템	시스템이 들어갈 위치 및 자동화에 대한 규정을 제시	(1) 메인베어링 : 자동공급 (2) 메인 씰링 : 자동공급 (3) 커터헤드 구동 기어 : 자동공급 (4) 중질 씰링 : 자동공급 (5) 베어링/스크류 컨베이어 씰링 : 자동공급 (6) 로터리 조인트 : 자동공급
2-1-11 메인 유압 구동시스템	유압시스템의 연결부위 제시	실드잭/이렉터/스크류 컨베이어/분절잭 등(입찰자 제시)
2-1-12 TBM 제어 시스템	-	(1) 메인제어판 (2) 데이터 모니터
2-1-13 화재감지 및 제방	-	필수 고려항목 제시(CO ₂ 소화기)
2-2 후방대차(차량)	-	(1) 타입(갠트리 타입) (2) 휠 유형(별도지침) (3) 크기(1,900mm x 3,000mm) (4) 백업 차량 수
2-3 자동 가스 감지시스템	감지 종류 및 센서구성, 타입 수량 등 제시	(1) 가스감지, (2) 구성, (3) 타입, (4) 수량
2-4 후방대차 H/V 변압기 (옵션)	전기차 기타 운반차량 제안	(1) 전압, (2) 용량, (3) 건식 변압기 수
2-5 조명시스템	장비에 필요한 조명, 위치에 대한 규격제시	(1) 종류, (2) 전압, (3) 조명 종류 (4) 위치, (5) 정상 조명 및 비상 대수
2.6 CCTV 시스템(Option)	-	(1) 모니터링 위치 (4no.) (2) 설치위치 : 3개소 (3) 카메라 : 컬러 타입
2.7 터널 굴착 가드런스 시스템에 따른 데이터 로거 시스템(옵션)	-	(1) 브랜드 (2) 정확도 : 3 초 (3) 측정 범위 : 200m (4) 데이터 로거 : 포함 (5) 디스플레이설치위치 : 3개소
2-8 뿔채움 그라우팅 시스템(옵션)	뿔채움 그라우팅에 대한 펌프용량 개소 제어시스템에 대한 규격제시	(1) 펌프의 종류 및 개수 (2) 펌프 용량 (3) 탱크 용량 (4) 제어 장치 (5) 디지털 압력 및 유량계
2-9 첨가제 주입시스템(옵션)	첨가제에 대한 종류 및 주입시 펌프용량 개소 제어시스템에 대한 규격제시	(1) 첨가물의 종류 (2) 펌프 종류 및 개수 (3) 펌프 용량 (4) 펌프의 출력 압력 (5) 탱크 용량 (6) 기타 장치 (7) Control Unit
2-10 폼 주입 시스템(옵션)	EPB인 경우 막장안정을 위해 실시되는 폼에 대한 작업용량 및 시스템 제어장치에 대한내용 제시	(1) 에이전트 탱크 수 (2) 용액 펌프의 종류 및 개수 (3) 폼 액체 펌프 용량 (4) 에이전트 탱크 용량 (5) 용액 탱크 용량 (6) 기타(발전기, 밸브, 유량계, 압력 센서 등 제안) (7) 제어 장치
2-11 통신 시스템	운전실과 지상사무실 통신시스템	(1) 전화기 (2) 비상스위치
2-12 기타 사항	-	
2-12.1 공장에서의 검사사항	-	(1) 검사 횟수:공장에서 3회 (2) 검사인원 : 20명
2-12.2 버력 모니터링 시스템(옵션)	-	버력 체적 모니터링 시스템(제작사 제안)
2-12.3 환기시스템	공사중 환기시스템 구축항목 체크	(제작사 제안)

셴드TBM 장비를 제작하는데 필요한 요구사항을 살펴보면 셴드 본체에 대해서 주로 제시하고 있는데, 주요 항목 가운데 전동부와 후동부에 관련된 사항은 장비제작사마다 차이가 있기 때문에 입찰자가 제안하도록 하는 대신, 테일부 내부직경에 대한 오차, 주입방식, 주입구 수량 등을 제시하고 있고, 토압과 수압에 대한 막장압의 최대치를 제시하여 이에 견딜 수 있게 제작하도록 유도하고 있다. 또한, 현장까지의 장비 운반 방식도 제시하여 장비제작 후 현장에 운반하는데 고려해야 할 분할계획을 제시하도록 하고 있다.

또한 막장에서 인력작업이 필요한 경우를 대비하여 가압시설(man Lock)에 대한 설치위치, 작동 압력사양 설비에 따른 부속물 등을 제시하도록 하고 있다.

터널설계 항목으로는 선형특성을 제시하고 있지만 실제 장비의 굴진과 관련된 구동부에 대한 추진잭, 종절잭, 테일실 주입구에 대한 제어시스템 등에 대한 구체적인 사항도 제시하고 있다.

셴드TBM에서 중요한 요소인 커터헤드 및 운영에 대한 항목에 대해서도 커터헤드 후방 공간뿐만 아니라 카피커터, 커터비트, 마모감지 커터 등의 수량까지 제시하고, 마모방지를 위한 커터를 적용하도록 제시하며 커터헤드 구동장치인 메인 베어링의 운영방식, 모터출력, 회전속도, 작용 토크압, 메인베어링 사양들도 제시하거나 제작자가 적절하게 제안할 수 있도록 가이드를 제공하고 있다.

토압식 셴드TBM의 경우, 버력처리시스템으로는 스크루 컨베이어 형식과 장비 제작에 필요한 세부사항을 제시하고 있고, 벨트컨베이어는 처리용량에 대한 최소치를 제시하여 과소하게 제작되지 않도록 하고 있다.

이수식 셴드TBM의 경우에는 송니관과 후방의 이수처리플랜트(slurry treatment plant, STP) 설비와 관련된 배관들에서 이뤄지는 압력의 제어, 발열의 냉각 시스템, 버력 배출, 처리과정 등과 같은 이수처리플랜트 후방시설 운영에 대한 내용이 제시되어 있다.

세그먼트 이렉터, 호이스트 등의 장비 구동을 위해 설치되는 그리스/오일 윤활 시스템, 주유압 구동 시스템, TBM제어 장치 시스템, 심지어는 안정과 관련된 항목인 화재감지 및 화재 제어에 대한 설비에 대해서도 비교적 상세하게 제안하고 있다.

본체 외에 후방대차에 대한 크기, 후방설비 차량수, 형식 등을 제시하고, 자동감지시스템의 감지 종류, 센서 구성 및 타입을 제시하고 있다. 후방대차의 변압기, 조명시스템, 환기시스템, CCTV 시스템, 뒤채움 그라우팅 시스템, 폼(foam) 주입 시스템 등은 옵션으로 구분하여 상세사양을 제시하고 있으나 운영 중 필요한 시스템에 한해 입찰시 고려해야 할 것으로 판단된다. 그 외에도 검수에 대한 제반사항을 장비요청서에 제시함으로써 발주처가 일정을 협의해서 제작과정도 체크할 수 있도록 하고 있다.

이상과 같은 조사분석 결과들을 바탕으로, 국내 기술 수준을 참고하여 국내 입찰안내서의 세부 제시항목들을 “3장 셴드TBM 장비 발주를 위한 설계제시 항목”에 제시하였다.

3. 쉴드TBM 장비 발주를 위한 제시 항목

발주처의 입찰안내서에는 쉴드TBM의 장비제작 사양서에 제시하여야 할 항목 이외에 입찰자가 어떠한 절차와 내용을 제출해야 하는지에 대한 내용을 포함하도록 하였다.

또한, 입찰안내서 중 일반계약사항으로는 제작사양서 제출 시 장비 사양 외 안전시공과 제반사항, 시스템에 대한 요청을 할 수 있도록 명기하였다. 그 내용을 정리하면 아래와 같다.

- ① 계약자(입찰자)는 입찰서에 계획한 기계형식과 사용연식 및 사용이력에 대한 세부사항, 계획한 장비의 제작을 위한 장비제작사와 제작공장을 명기하여 제출하고 우선협상자 선정 후에도 협의가 가능하도록 2개 이상(또는 3개 미만)의 장비제작사를 사전에 제안하여야 한다. 세부사항으로 터널 통과구간의 토질과 암종 특징, 굴착으로 인한 변형 및 침하 제어, 지하수 저하, 예상되는 굴진율 및 기타 고려사항에 대한 설명이 포함되어야 한다.
- ② 계약자(입찰자)는 자신이 선택한 TBM제작사가 계약자의 사업에 필요한 TBM을 설계하고 제작하기 위해 필요한 경험과 기록을 가지고 있음을 입증해야 한다. 또한, 시공사는 제안된 TBM을 안전이나 효율성을 훼손하지 않고 장비를 사용할 수 있으며, 숙련된 인력을 포함하여 공사 중 장비의 부품을 교체할 필요가 있을 경우 신속하게 예비품을 구할 수 있음을 입증해야 한다.
- ③ 계약자(입찰자)는 세부사항에 지상에 설치되는 보조설비로서 압축공기 조절 및 제어, 뒤택음 그라우팅, 막장 첨가제 주입 등 보조 기능을 상세히 기술해야 한다. TBM의 운용과 유지보수에 필요한 모든 주요 및 보조 부품은 TBM장비의 일부로 공사기간 중에 원활하게 제공하고 설치되어야 한다.
- ④ 계약자(입찰자)가 제안한 TBM은 예상되는 지반 및 복합지반조건에서 침하와 용기를 포함한 지반 변형에 의한 터널통과구간의 근접 건물과 기타 구조물, 유틸리티시설에 대한 손상이 없고 제어가 가능하도록 운영되어야 한다.
- ⑤ 제안서에는 계약자(입찰자)가 당 사업과 유사 지반 및 지상조건에서 발생할 가능성이 있는 2건 이상의 유사 사례를 현장의 데이터와 기록으로 상세히 제시하여야 한다.
- ⑥ 계약자(입찰자)는 입찰 단계에서 제출한 것과 동일한 장비를 사용하여 시공하여야 하며 입찰에서 제안된 기계 또는 제작사 이외의 다른 장비를 사용할 수 없다.

⑤번 항목은 시공실적에 대한이며 필요여부는 사업의 성격에 따라 반영하여야 할 항목으로서, 향후 시공 시 대응 방안에 참고할 수 있도록 하며, 시공 중 쉴드TBM 장비 구동(운영)에 관련된 데이터의 빈도와 TBM방향 및 위치, 커터헤더 구동시스템데이터, 추력 시스템 데이터, 버력처리관련(스크류 컨베이어, 벨트컨베이어 등)데이터, 테일 쉴드(주입압력, 체적 등)관련 데이터 등의 제공을 장비입찰 시 포함하여야 한다.

3.1 설계내용 제시항목(General Project Information)

일반사항으로 사업명, 사업지역에서 터널 굴착 중 고려사항, 터널계획에 대한 정보, 지반 정보, 세그먼트 구조물에 대한 정보, 기타 작업구(수직구)계획, TBM장비에 공급 가능한 전원공급형식, 분할운반 시에 고려해야 할 중량조건, 장비의 점검과 보고에 대한 정보 등을 제공하도록 하여야 한다.

(1) 터널정보

사업명과 사업지역을 알 수 있도록 제공하고, 쉴드TBM 굴착구간과 터널 형식, 굴착 중 리스크 파악을 위한 굴착주변의 시공 중 영향을 미칠 수 있는 주요 구조물, 지장물 등의 현황정보, TBM 장비설계에 참고하여야 하는 선형정보(경사도, 종단/선형 곡선 등), 터널 표준단면, 계획 투입대수, 현장 작업장 면적과 입지조건을 사전에 제공하도록 한다.

(2) 지반정보

지반조사보고서 자료를 제공하고 지층구성과 지반특성, 굴진구간의 토피고, 지하수위와 수압조건의 현황을 제시하여 입찰자가 장비운영 및 사전리스크를 파악하고 장비 설계 시에 고려하여 쉴드TBM의 사양과 부가 기능을 제시할 수 있도록 한다.

(3) 세그먼트 구조물

터널 운영 시에 터널내부의 설비계획을 참고할 수 있는 단면설계사항, 세그먼트 종류, 외경, 내경, 두께, 길이, 링분할 계획, 세그먼트 1링당 중량, 세그먼트별(piece별) 중량을 제공하도록 한다.

(4) 기타 필요한 정보

TBM의 운반, 조립, 해체를 위하여 현장 작업환경에 대한 제반조건과 장비 운영 시 현장에서 공급 가능한 전기공급형식, 제작장비의 점검과 보고에 대한 계획, 기타 사업별로 상이하게 요구되는 특수조건을 제공하도록 한다.

그 외에 내용은 우선협상자 선정 후에 장비 제작사와의 협의를 통해 세부적인 장비설계가 될 수 있도록 한다. 기본적으로 터널설계시 고려하고 있는 내용을 제공하고, 입찰자는 장비제작사와 협의를 통해 입찰서류를 함께 제출할 수 있도록 제공되어야 하는 항목이다.

3.2 TBM 세부사항(토압식 쉴드TBM) (Requirement Specification for TBM's(EPB Shield TBM))

국내외 장비제작사가 입찰 시에 제시해야 하는 항목으로서, 발주처에서 제공한 자료를 바탕으로 장비가 현장에 적합하게 계획되었는지를 평가할 수 있는 내용을 제작사양으로 제시하고 복수의 제작사가 제안하는 상세 사양서를 평가하여 현장에 적합한 최적의 장비를 선정할 수 있도록 장비제작에 대한 정보가 제출되어야 하는 항목이다.

항목 중에서는 쉴드TBM의 장비, 설비 특징 등과 관련하여 발주처가 장비제작을 위해 반드시 제공해야하는 항목, 그리고 발주처는 계획만 제시하고 제작사가 입찰 시에 세부내용들을 제시하고 우선협상 후에 협의하여 장비제작에 반영되어야 하는 항목으로 구분하였다(4장 발주를 위한 장비선정 체크 리스트 참조).

쉴드TBM 장비는 각각의 제작사마다 시스템과 제작 방식, 노하우 등에 차이가 있으므로 발주처의 제시 항목 중에서도 향후 협의를 통해 현장에 최적화 장비가 들어올 수 있도록 협의가 필요하다.

(1) 쉴드 TBM 일반 사항

“설계제시항목”의 내용을 참고하여 쉴드TBM 장비의 일반사항을 발주처와 입찰자가 참고하도록 하여야 한다. 기본적인면서도 중요한 항목으로 신규장비여부, 지반조건 요약제시, 굴착직경, 커터헤드 회전속도, 최대굴진속도, 최대추력, 총길이, 총중량, 세그먼트 사양, 최대 설계수압, 총소요 전력량 등을 제시하고 협의하도록 하였다.

- ① 신규장비
- ② 지반조건
- ③ 굴착직경(mm)
- ④ 커터헤드 회전속도 (rpm)
- ⑤ 최대 굴진속도 (mm/min)
- ⑥ 최대 추력 (kN)
- ⑦ 총 길이 (본체, 후방대차)
- ⑧ 총 중량 (본체, 후방대차)
- ⑨ 세그먼트 사양 (외경, 내경, 길이, 분할)
- ⑩ 최대 설계수압 (bar)
- ⑪ 총 소요 전력량 (kW)

(2) 커터헤드

커터헤드는 막장면에 직접적으로 압력을 가하는 부분이며 장비굴진효율과 운영에 직접적인 관련이 있는 부분으로 발주시 장비제작에 누락이 되지 않도록 제시하고, 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 형상
- ② 개구율 (%)
- ③ 커터의 종류 (디스크커터, 비트커터, 스크레이퍼 등)
- ④ 막장 첨가제 주입포트의 수량
 - 폼, 벤토나이트, 폴리머 등
- ⑤ 마모검지, 마모방지
- ⑥ 필요시 카피커터, 오버커터의 설치

(3) 구동부 (메인베어링)

구동부는 쉴드TBM의 자동차 엔진과 같이 전체적인 쉴드TBM의 성능을 좌우하는 장치로서, 충분한 수명과 크기를 확보해야 하며 사용이력이 명확하여야 하고 제작사가 품질을 보증하여야 한다.

- ① 구동부 형식 (전동식 또는 유압식)
- ② 메인베어링의 최소 직경 (전통부 외경의 최소 50%이상, mm)
- ③ 메인베어링의 수명 (10,000시간 이상 또는 신규)

(4) 쉴드TBM 본체

쉴드TBM 본체는 보통 원형의 강철재료로 제작되며, 일부 제시가 가능하면 강재의 재질도 제시하는 경우도 있으나, 장비제작사가 굴착중 주변의 압력에 대해 본체에 변형 발생하지 않도록 자체 검토하고 제작하기 때문에 제시하지 않는 경우가 대부분이다. 쉴드TBM 본체의 제작에 제시하는 항목으로 다음과 같다. 본체의 크기와 길이, 지수를 위한 테일브러쉬의 설치, 곡선시공을 위한 테일클리어런스와 회전형식을 제시하고, 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 전통부
 - 외경
 - 막장붕괴검지장치
- ② 중통부
 - 외경
 - 회전형식 (주동식 또는 수동식)
- ③ 후통(테일)부
 - 외경
 - 테일브러쉬 설치 열의 수량
 - 테일클리어런스
 - 긴급지수용 테일브러쉬
 - 후통(테일)부 외측의 보호장치

(5) 작업원 가압설비

막장면에서 작업자가 커터를 교체하거나 점검을 하는 경우에 필요한 압력실과 자재반입실, 별도의 가압설비와 지상 압기설비를 제시하여야 한다. 최근 대부분의 장비는 기본적으로 후방대차에 가압설비를 장착하고 있으나 소규모이므로, 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 가압실의 수량 (최대 수용인원)
- ② 가압실의 용량과 작용압력 (bar)
- ③ 자재반입실 수량

(6) 스크류컨베이어

스크류컨베이어는 토압식 쉴드TBM의 막장면에서 발생하는 버력을 처리하는 설비로 지층 및 수압조건, 장비의 운영(Closed Mode, Open Mode) 방식과 관련하여 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 형식 (샤프트 또는 리본)
- ② 내경 (mm)
- ③ 최대 배토 가능한 입경크기 (mm)
- ④ 최대 배토 용량 (m³/hr)

(7) 세그먼트 이렉터

세그먼트 이렉터에 대해서는 쉴드TBM장비 내에서 원활하게 조립이 될 수 있도록 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 인양방법 (기계식, 진공식)
- ② 인양능력 (안전율 2.5 적용시, kN)

(8) 세그먼트 피더

세그먼트 피더는 운반된 세그먼트를 이렉터에 공급하고 저장하는 장치로 세그먼트 조립이 효율적으로 이루어지도록 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 보관 가능한 수량 (○피스)

(9) 세그먼트 크레인

세그먼트 운반, 부품의 운반, 보수를 위한 소운반 등 다양한 중량물 운반에 필요한 설비로 용량과 형식에 대한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 형식
- ② 용량 (톤)

(10) 벨트컨베이어

벨트컨베이어는 토압식 쉴드TBM에서 스크류컨베이어를 통해 반출되는 버력을 외부로 운반하는 설비로 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 벨트 폭(mm)
- ② 운반 용량 (m³/hr)
- ③ 중량검출시스템
- ④ 용적스캐너시스템

(11) 추진시스템

추진시스템은 현장현황에 맞도록 각 제작사의 장비특성을 반영하여 제시할 수 있도록 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 최대 추진속도 (mm/min)
- ② 최대 추진력 (kN)
- ③ 추진재 실린더의 길이 (mm)

(12) 중절시스템

중절시스템은 터널의 선형설계 자료를 바탕으로 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 형식 (주동식, 수동식)
- ② 최대 추진력 (kN)
- ③ 추진잭 실린더의 길이 (mm)

(13) 후방대차(차량)

셸드TBM을 운영하기 위한 각 종 설비가 설치된 대차로서 구성과 경제적인 주행방식을 검토하여 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 후방대차의 수량
- ② 주행방식 (레일, 타이어)

(14) 2액형 동시주입 뒤채움 그라우팅시스템

셸드TBM의 굴진과 동시에 세그먼트와 굴착 직경의 차이로 발생하는 테일보이드를 충전하기 위한 시스템으로 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 형식 (TAC, Euro-TAC)
- ② 주입용량 (m^3/hr)
- ③ 저장탱크 용량 (m^3)

(15) 폼 주입시스템

토압식 셸드TBM에서 가장 많이 사용되는 막장첨가제 폼(기포)을 주입하는 시스템으로 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 주입 용량 (Liter/hr)

(16) 벤토나이트주입시스템

토압식 셸드TBM에서 사용되는 막장첨가제 또는 막장안정제를 주입하기 위한 시스템으로 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 주입 용량 (m^3/hr)

(17) 압기시스템

작업원이 막장에 진입하여 커터의 교체 및 점검, 기타 갱내 작업에 필요한 신선한(Oil Free) 압축공기를 제공하는 시스템으로서 지상 압기설비의 용량을 고려하여 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 공급 압기 압력 (bar)
- ② 압기탱크 용량 (m³/hr)

(18) 주동식 막장압 제어시스템 (AFC, Active Face Control System)

토압식 쉘드TBM이 굴진이 완료되고, 세그먼트 조립시 챔버내의 막장압이 저하되어 지반침하를 유발하는 것을 방지하기 위해 막장압 유지를 위한 보조적 장치로서 지상 압기시스템의 용량을 고려하여 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 벤토나이트 탱크의 용량 (m³)

(19) 냉각수 공급 및 냉각시스템

쉘드TBM 장비의 효율적인 운전과 과부하를 방지하기 위한 냉각수 시스템에 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 냉각수 공급 온도 (°C)
- ② 냉각시스템 (내외부 순환식)

(20) 기어오일시스템

쉘드TBM 장비의 효율적인 운전과 과부하를 방지하기 위한 난연성(Fire Resistance) 오일공급 시스템에 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 기어오일 탱크 용량(Liter)

(21) 테일씰 그리스

테일씰은 장비와 세그먼트 구조물 사이 공극을 채워 장비 굴진중 주변 침하와 터널내로의 지하수가 유입되지 않도록 지수하는 중요한 설비이며, 친환경적이고, 난연성(Fire Resistance), 고수압 대응과 긴급지수성능이 발휘될 수 있도록 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① TBM제작사의 용량 및 시스템

(22) 구동부 HBW 그리스

셸드TBM의 구동부를 보호하기 위해 막장부측에 주입되는 중요한 난연성(Fire Resistance) 그리스로서 제작사와 협의할 필요가 있다.

① TBM제작사의 용량 및 시스템

(23) 구동부 GR130 EP2 그리스

셸드TBM의 구동부를 보호하기 위한 내측에 주입되는 중요한 난연성(Fire Resistance) 그리스로서 제작사와 협의할 필요가 있다.

① TBM제작사의 용량 및 시스템

(24) 배수시스템

터널내 발생되는 각 종 오수를 지상으로 배수하는 시스템으로 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

① 오수탱크 용량 (m^3/min)

(25) 압력조절 및 호흡용 압기시스템

압기시스템의 보조적 설비로서 제작사와 협의할 필요가 있다.

① TBM제작사의 용량 및 시스템

(26) 환기시스템

셸드본체 및 후방대차 인근의 환기를 위한 시스템으로 작업조건을 고려하여 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

① 환기 용량 (m^3/hr)

(27) 전기시스템

셸드TBM을 운영하기 위한 각 종 전기의 공급과 관리를 위한 시스템으로 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 1차 고압 (kV)
- ② 1차 저압 (V)
- ③ 조명전등 전압 (V)
- ④ 밸브조절 전압 (V)
- ⑤ 주파수 (Hz)
- ⑥ 케이블 저장함의 용량 (m)
- ⑦ 고압 케이블의 직경 (mm)

(28) 가이던스시스템

셸드TBM 굴진 중 선형관리를 위한 시스템으로 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 브랜드
- ② 측정 간격 (2sec)

(29) 모니터링시스템

셸드TBM 굴진 중 각 종 모니터관리를 위한 시스템으로 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 카메라 수량

(30) 데이터 기록시스템

셸드TBM 굴진 중 발생하는 기계데이터를 기록하는 시스템으로 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 저장형식

(31) 통신시스템

셸드TBM 굴진 중 통신을 위한 시스템으로 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

- ① 전화기 수량, 운전실 및 지상 사무실간 통신시스템

(32) 조명시스템

셸드TBM 굴진 중 본체 및 후방대차의 조명을 위한 시스템으로 필요한 조건을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

① 사양 (W)

(33) 화재진압시스템

굴진 중 본체 및 후방대차의 화재발생에 대비하여 휴대용 소화기의 수량을 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

① 휴대용 소화기 수량

(34) 유해가스 모니터링시스템

굴진 중 유입되는 지중 유해가스에 대비하여 휴대용 센서와 가스의 종류를 제시하고 제작사와 협의할 필요가 있다.

① 휴대용 소화기 수량

(35) 전방 지질탐사 시스템

필요시 막장전방의 파쇄대, 공동 등 지질조건 파악을 위한 조사 시스템으로 제작사와 협의할 필요가 있다.

(36) 전방보강드릴

필요시 막장전방의 보강그라우팅 작업을 위해 제작사와 협의할 필요가 있다.

① 드릴비트의 직경 (mm)

3.3 공장에서의 검사항목 및 추가 제반사항

제작된 쉴드TBM 장비를 현장에 반입하기 전에 제작공장에서 검사 항목별로 검사횟수와 검사인원을 제시하여 향후 장비제작사가 장비 반입 전 사전 제시된 항목들이 제대로 반영되어 제작되는지 확인할 수 있도록 하여야 한다.

쉴드TBM의 제작에 8개월에서 1년이 넘는 경우도 있기 때문에 장비 제작 계획서를 제출 받아서 장비제작기간에 주요 설비의 기능 작동에 대한 테스트 할 수 있도록 입찰안내서에 제시하고, 세부 장치에 대한 검사일정도 추가하도록 한다(단, 장비반입 시에 품질성능 제출서류를 공장 테스트하는 기간에 점검하는 것도 필요).

입찰자의 제작사양서 평가 및 우선협상자 선정 후, 실제 장비제작과 품질, 현장 인도 사항과 관련한 제반사항에 대해서도 입찰안내서에 사업의 규모, 발주처의 상황 등을 고려하여 아래와 같이(예) 제반사항을 추가 할 수 있다.

- ① 실제 장비 제작업체 선정시 자세한 TBM 설계 및 사양은 제작 전에 발주처(또는 전문 기술자)엔지니어에게 제출하여 승인을 받아야 한다. 또한 계약자는 제출서에 장비도면, 사양서, 사용이력, 제작일정표를 포함한다.
- ② 우선협상자(계약자)의 공급자(TBM제작업체)는 제작에 앞서 입찰시 제안된 TBM의 설계 및 레이아웃에 대해 엔지니어에게 보고 한다.
- ③ TBM의 최종 설계 세부사항, 도면 및 사양서는 계약서 수령 후 3개월 이내에 엔지니어(발주처 또는 전문기술자)에게 제출해야 한다.
- ④ 제작에 앞서 각 TBM의 설계 및 제작에 대한 상세 계획 및 프로그램을 제출하고, 주요 구성 요소 및 재료의 조달 및 공급, 제작 및 검사계획을 제시해야 한다.
- ⑤ 위의 일정 관련하여 설계 및 제작의 진행 상황을 기술하고, 중요한 문제 또는 발생 사항을 요약한 월간 보고서를 엔지니어(발주처 또는 전문기술자)에게 제출해야 한다.
- ⑥ 자재 조달 및 제작을 증명하는 월간 보고서에는 공정 사진이 첨부되어야 한다.
- ⑦ 계약자와 TBM 공급자는 엔지니어(발주처 또는 전문기술자)의 대표가 언제든지 TBM 제작공장을 방문할 수 있도록 허용해야 한다.

- ⑧ 현장에 TBM을 납품하기 전에, 계약자는 컬러 인쇄로 된 4개의 하드카피와 TBM 작동 설명서의 소프트카피(DVD) 1개를 엔지니어(발주처 또는 전문기술자)에게 영어(또는 한글)로 제공해야 한다.
- ⑨ 엔지니어(발주처 또는 전문기술자)는 납품 전에 작업장에서 조립된 TBM을 검사할 권리를 보유한다. 세그먼트 조립 절차를 시연하기 위해 샘플 세그먼트를 사용할 수 있어야 한다.
- ⑩ 공장에서 (각각) TBM을 분해하기 전에, TBM 공급자와 주계약자는 완전한 기능 시험과 규격 및 관련 규정의 적합성에 대하여 협의한 확인서를 발행해야 한다.
- ⑪ TBM본체와 모든 관련 백업 장비는 장비의 설비를 입증하는 데 필요한 모든 문서와 함께 현장에 새로 제공한다.

국내의 경우, 설계제시항목으로는 일반적인 사항만을 제시하고 장비에 대한 가이드의 제시는 거의 못하고 있는 실정이다. 이에 해외 입찰 시에 요청하는 장비요청서 항목을 고려하여 국내에서 활용 가능한 가이드를 설정하되, 국내 기술 및 설계환경을 감안하여 항목을 제시하고 세부내용은 장비 제작사가 제시하되 선정 후 협의하여 결정하는 방식으로 하는 것이 바람직하다.

4. 발주를 위한 장비선정 체크리스트

토압식 쉴드TBM 장비발주 입찰안내서에 제시되어야 할 제시 항목에 대하여 설명하였다. 그리고 장비발주의 과정을 정리하면 다음과 같다.

- 1단계 : 사업관련 자료를 바탕으로 투입할 장비의 최소 제작사양을 사전 복수의 제작사에 의뢰
- 2단계 : 제작사는 제공된 자료를 바탕으로 장비 사양서를 발주처에게 제출
- 3단계 : 발주처는 복수의 제작사가 제출한 장비 사양서를 비교검토 후 최적의 공통 조건으로 요구사양을 재작성한 후 제작사와 협의 및 보완
- 4단계 : 복수의 제작사는 공통 조건의 요구사양에 맞춰 보완하고, 입찰자는 경제성을 검토
- 5단계 : 입찰자는 3개 미만의 장비제작사를 사전 선정 후 입찰도서와 함께 발주처에게 제출

여기서는 상기의 과정 중에서 6~8m급의 토압식 쉴드TBM을 대상으로 1단계에 해당하는 장비발주시 제시할 항목에 대한 가이드를 제안하고자 한다. 이를 토대로 장비발주를 위한 장비 선정 체크 리스트를 정리하면 표 4.1과 같이 정리할 수 있다. 발주처 제시항목에 (○)는 발주처가 제시하여야 하는 필수항목이며, (△)는 필요시 또는 제시할 수 있는 경우이거나 향후 제작사와 협의를 필요한 항목이며, (-)는 제시할 필요없이 제작사의 노하우로 장비설계가 가능한 항목이다.

표 4.1 국내 장비 발주 제시 항목 체크 가이드

TBM 장비 체크 항목(안)		발주제시 항목	비고
1 설계제시항목			
1-1	사업명	○○~○○ 건설공사	○
1-2	사업지역	○○시 ○○면 ~ ○○시 ○○면 (○○km)	○ - 발진, 도달
1-3	셸드TBM 터널정보	① 셸드TBM 터널구간 : 수직구#1 (Sta.) ~ 수직구#2 (Sta.) ② 터널용도 (지하철/도로, 단선/병렬 등) ③ 터널구간 주변환경 (Sta○○ 인근 ○○건물에 근접 등) ④ 선형 : 터널길이, 최대 종단구배 ± ○%, 최소 곡선반경 ○m ⑤ 투입장비 대수	○ - 설계보고서 - 선형
1-4	지반정보	① 지반조건 및 강도, 지반의 특성 ② 토포고, 최소 토포고 ③ 지하수위, 최대 수압 (과업구간 특성에 따라 제시)	○ - 지반조사보고서
1-5	세그먼트	① 형식 : 철근보강 콘크리트 세그먼트, 강제 세그먼트, 섬유보강 콘크리트 세그먼트 ② 세그먼트의 외경 : ○ mm ③ 세그먼트의 내경 : ○mm ④ 세그먼트의 길이 : ○ mm ⑤ 세그먼트의 분할 : ○+○ Key ⑥ 세그먼트의 중량 : A타입 ○ 톤/피스, B타입 ○ 톤/피스, K타입 ○ 톤	○ - 세그먼트설계
1-6	기타 정보	① 발진부, 도달부 정보 : 깊이, 내경, 면적 등 ② 전원공급 : ○ kV, ○ Hz ③ 운반시 최대 중량조건 : ○○ 톤 (관련 도로법에 위배되지 않도록 제시) ④ 기타 요구조건 ⑤ 점검, 보고서 계획	△ - 사업에 대한 기타 정보와 조건

※ 발주처 : (○) 반드시 제시하여야 할 필수항목, (△) 필요시 제시 또는 제작사와 협의사항, (-) 제시할 필요가 없는 항목

표 4.1 국내 장비 발주 제시 항목 체크 가이드(계속)

2. TBM 세부 사항(Requirement Specification for TBM' s 토압식 쉴드TBM 제작사양서)			발주처 제시항목
2	토압식 쉴드TBM		○
2.1	쉴드TBM 일반사항	신규장비	○
		지반조건	○
		굴착직경 (mm)	△
		커터헤드 회전속도 (rpm)	△
		최대 굴진속도 (mm/min)	○
		최대 추력 (kN)	△
		총 길이 (본체, 후방대차)	△
		총 중량 (본체, 후방대차)	△
		세그먼트 사양 (외경, 내경, 길이, 분할)	○
		최대 설계수압 (bar)	○
		총 소요 전력량 (kW)	△
		최소 평면곡선반경 (mm)	○
		최소 종단구배 (%)	○
		예상되는 최대 운반중량 (○○톤 이하) (관련 도로법에 위배되지 않도록 제시)	○
2.2	커터헤드	형상	△
		개구율 (%)	△
		커터 종류 (디스크커터, 비트커터, 스크레이퍼 등)	△
		폼, 벤토나이트, 폴리머 등 막장첨가제 주입포트 설치 수량	△
		마모검지 및 마모방지	△
		필요시 카피커터, 오버커터	△
2.3	구동부	구동부 형식 (전동식 또는 유압식)	○
		최소 메인베어링 직경 (전통부 직경의 최소 50%이상, mm)	○
		메인베어링 수명 (10,000시간 이상 또는 신규)	○
2.4	쉴드TBM 본체	회전형식 (주동식 또는 수동식)	○
		전통부 외경 (mm)	△
		- 막장붕괴검지장치	○
		중통부 외경 (mm)	△
		후통부 외경 (mm)	△
		- 테일브러쉬 설치열의 수량	○
		- 후통부 내 테일클리어런스 (mm)	○
		- 긴급지수용 테일브러쉬	○
- 후통부 그라우트 외측보호장치	○		

표 4.1 국내 장비 발주 제시 항목 체크 가이드(계속)

2. TBM 세부 사항(Requirement Specification for TBM' s 토압식 쉴드 TBM 제작사양서)			발주처 제시항목
2.5	가압실, 자재반출입	가압실 수량, 용량, 작동 압력	○
2.6	스크류컨베이어	형식 (샤프트 또는 리본 등)	○
		내경 (mm)	△
		최대 배토 입경크기 (mm)	○
		최대 배토 용량 (m ³ /hr)	△
2.7	세그먼트 이렉터	인양방법 (기계식, 진공식)	○
		인양능력 (안전율 2.5 적용시) (kN)	△
2.8	세그먼트 피더	운반가능한 수량 (○ 피스)	△
2.9	세그먼트 크레인	형식, 용량(톤)	△
2.10	벨트컨베이어	벨트 폭 (mm)	△
		운반 용량 (m ³ /hr)	○
		중량검출시스템	△
		용적스캐너시스템	△
2.11	추진시스템	최대 추진속도 (mm/min)	○
		최대 추진력 (kN)	△
		추진잭 실린더의 길이 (mm)	○
2.12	중절시스템	형식 (주동식, 수동식)	○
		최대 추진력 (kN)	△
		추진잭 실린더의 길이 (mm)	△
2.13	후방대차	후방대차의 수량	△
		주행방식 (레일, 타이어)	○
2.14	2액형 동시주입 뒤채움 그라우팅 시스템	형식 (TAC, Euro-TAC)	○
		주입 용량 (m ³ /hr)	△
		저장탱크 용량 (m ³)	△
2.15	폼주입시스템	주입 용량 (Liter/hr)	△
2.16	벤토나이트 주입시스템	주입 용량 (m ³ /hr)	△
2.17	압기시스템	공급 압기 압력 (bar)	△
		압기 용량 (m ³ /hr)	△
2.18	주동식 막장압 제어시스템	벤토나이트 탱크의 용량 (m ³)	△

표 4.1 국내 장비 발주 제시 항목 체크 가이드(계속)

2. TBM 세부 사항(Requirement Specification for TBM' s 토압식 쉴드TBM 제작사양서)			발주처 제시항목
2.19	냉각수 공급 및 냉각 시스템	냉각수 공급 - 공급수 온도 (28℃)	△
		냉각시스템 (내외부 순환식)	△
2.20	기어오일 시스템	기어오일 탱크 용량 (Liter)	△
2.21	테일셀 그리스	TBM 제작사의 용량 및 시스템 제안	△
2.22	구동부 HBW 그리스	TBM 제작사의 용량 및 시스템 제안	△
2.23	구동부 GR130 EP2 그리스	TBM 제작사의 용량 및 시스템 제안	△
2.24	배수시스템	오수탱크 용량 (m3/min)	△
2.25	압력조절 및 호흡용 압기 시스템	TBM 제작사의 용량 및 시스템 제안	△
2.26	환기시스템	환기용량 (m3/hr)	○
2.27	전기시스템	1차 고압 (kV)	○
		1차 저압 (V)	○
		조명전등 전압 (V)	○
		밸브조절전압 (V)	△
		주파수 (Hz)	△
		케이블 저장함의 용량 (m)	△
		고압케이블의 직경 (mm)	○
2.28	가이던스시스템	브랜드	△
		측정 간격 (2sec)	△
2.29	모니터링시스템	카메라 수량	△
2.30	데이터기록시스템	저장형식	△
2.31	통신시스템	전화기 수량, 상시 및 비상시 운전실과 지상 사무실간 통신시스템에 대한 제시	△
2.32	조명시스템	사양 (W)	△
2.33	화재진압시스템	휴대용 소화기 수량	△
2.34	유해가스모니터링시스템	CO ₂ , CO, O ₂ , CH ₄	○
		휴대용 모니터링 센서	△
2.35	전방 지질탐사 시스템	파쇄대, 동공 등 전방 지질조건의 조사 시스템	△
2.36	전방보강드릴	드릴비트의 직경 (mm)	△
3	공장검수	검수시기 : 공장에서 ○회	○
		검수참가 : ○명/회	○

셴드TBM 장비 발주시, 국내에서 입찰하는 제작사에게 제시하여야 항목으로 일반적인 설계내용과 제작사양으로 제시하고 있지만, 실제 장비제작에 대한 항목이 세그먼트 내용을 제외하면 부족한 것이 현실이다. 그에 반해 해외에서는 통과구간에 대한 굴진시 관리 포인트와 같이 공사와 관련된 세부내용과 세그먼트 구조물에 장비제작과 연관된 항목을 기준을 제시할 있는 추가내용과 정보를 제공하고 있는 것을 알 수 있다.

또한, 국내에서는 장비를 구성하는 중요도에 따른 세부항목을 제외하고 기본사양만을 제시하고 있으며, 일부 항목에 대해서만 기준치를 제시하고 있는 실정이다. 그러나 해외에서는 장비 본체에 대한 TBM 세부 사항으로 본체를 중심으로 가압실, 추진잭, 테일썸, 커터 헤드와 베어링 등에 대해 항목을 비교적 세부적으로 제시하고 있는 것을 알 수 있었다.

해외사례를 참고하여 볼 때, 설계제시항목으로는 국내 설계수준으로도 제공이 가능하기 때문에 장비제작과 연관된 항목을 제시하도록 하였고, 기계전기, 기타분야에 대해서는 현장여건을 제시하되 장비제작사가 향후 협의하여 확정하도록 하였다.

장비제작시 반영 항목으로써 기본적으로 제시 가능한 설비와 내용은 항목과 가이드를 제시하고, 주요항목인 커터와 구동부에 대해서는 가급적 항목을 제시하고 세부 가이드부분은 국내 기술현실을 감안하여 입찰하는 제작사가 제시하고 입찰시 비교 평가가 가능하도록 하였다. 그밖에 후방설비 및 옵션항목과 검수내용을 제시하여 입찰하는 제작사가 제작 사양서를 제출하고 금액을 제출할 때 비교평가 가능하도록 “국내 장비 발주 제시 항목 가이드(안)”을 제시하였다.

향후에는 해외에서 시행하고 셴드TBM 공사의 방식과 같이 기본설계나 실시설계에서 장비 제작에 필요한 설계를 실시하고, 건설회사가 입찰할 때 사전에 장비제작사(2개업체)의 장비 사양서를 제출하도록 하며, 입찰완료 후 장비에 대한 기술미팅을 통해 최종 선정된 장비 제작사의 장비를 현장에 반입될 수 있도록 해야 할 것으로 판단된다.

해외에서 채택하고 있는 방식이 국내 제도상이나 시스템적으로 어려울 경우에는 일반 입찰안내서에 공법을 TBM장비 굴착으로 명기하고, 이에 적정한 공사비로 발주하되 장비선정과정은 발주처의 별도의 자문 위원회(기구)를 통해서 낙찰자가 현장에 적합한 장비 선정이 이뤄졌는지에 대한 검증을 할 수 있도록 하는 안도 현실적인 방안으로 판단된다.

5. 장비의 현장 반입 시 체크 항목(안)

셸드TBM을 발주한 이후, 제작사는 제작일정에 맞춰 제작을 착수하고 공장에서 조립검사를 수행한 후 현장까지 운반하기 위해 해체한다. 운반시에는 입찰시 제시된 조건에 맞춰 분할되어 운반되며, 현장에 반입된 후 재조립을 수행한다. 이러한 과정을 그림 5.1에 정리하였고, 발주처가 체크해야 하는 항목을 표 5.1에 제시하였다.

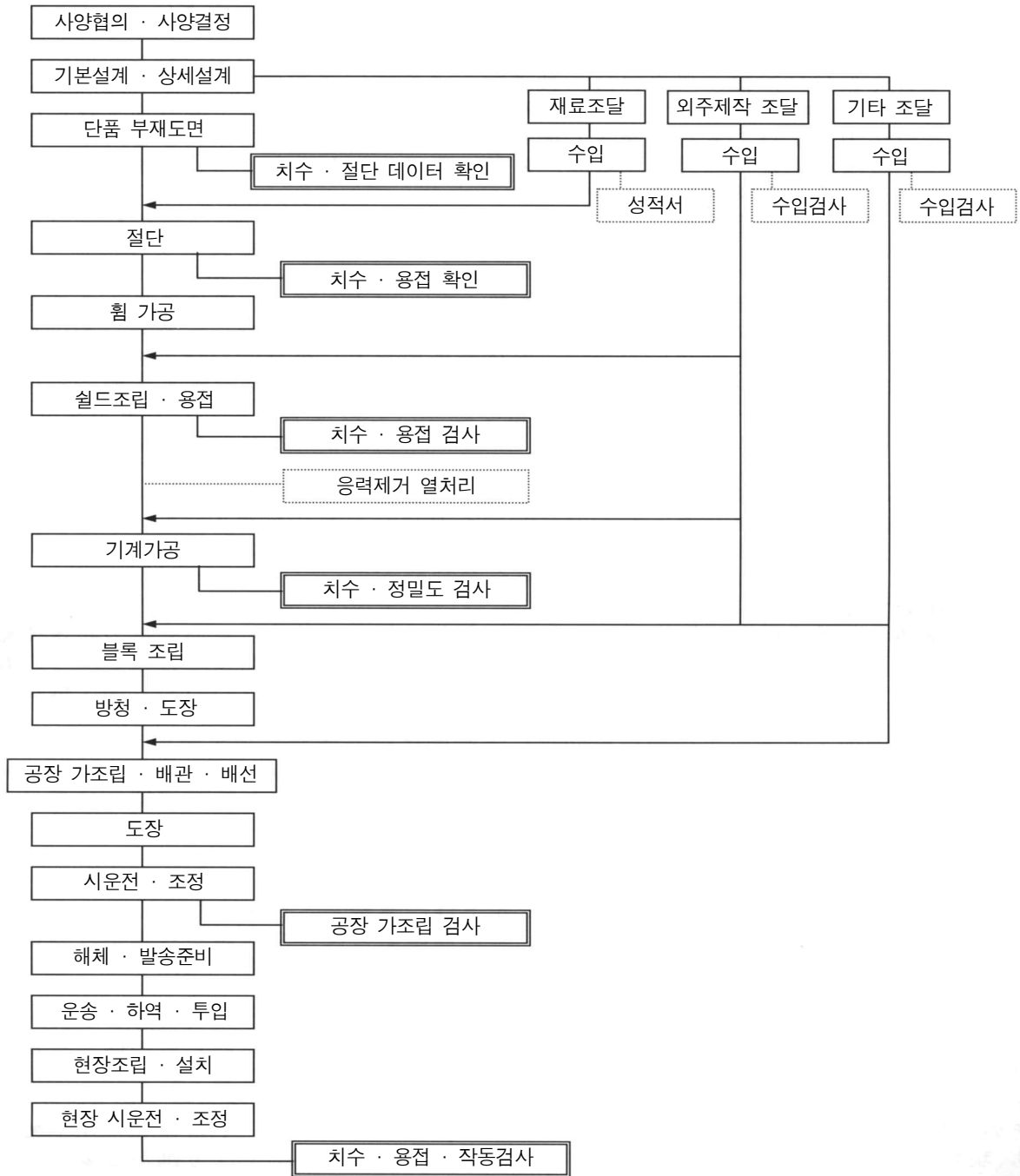


그림 5.1 셸드TBM의 제작공정 및 검사의 흐름

표 5.1 제작부터 현장반입시까지의 체크 항목(안)

과정	체크항목(안)	비고
제작착수	▪ 전체 제작일정, 조립일정, 검사일정	
공장제작 중	▪ 제작 및 조립과정의 보고	2주 단위
공장조립	▪ 조립완료 및 공장검사 일정, 검사 참여자 확인	
공장검사	▪ 제작사 검사기록, 발주처 검사기록 (벨프 테스트, 메인 드라이브 실링 테스트, 토크 테스트, 저항 테스트 등)	필요시 공장 시운전
해체 및 운반	▪ 분할크기, 운반수량, 운반중량, 조립 전용도구의 확인	
현장반입 후	▪ 최종 설계사양서, 도면, 부품리스트, 운전메뉴얼, 보증서 등	

국내 대부분의 쉘드TBM장비 반입시 제출도서에 대한 항목을 명시하고 있지 않아 협의 단계에서 장비제작사에 서비스가 제대로 이뤄지고 있는지 에 대한 판단이 어렵다. 그러므로 해외에서도 장비 인도 시 기본적으로 제출 받는 도서를 제시하고 있다.

현장 반입 후 최종도면, 최종장비 사양서, 운반계획에 따른 운반장비 Packing List, 장비 운전 매뉴얼, 유지관리 매뉴얼, 부품리스트, 장비사 품질보증서, 관련 계산서 및 시험성적서, 입찰안내서(장비사양서) 최종 협의 리스트 준수 항목의 확인을 하도록 한다.

□ 발주방식 제안(해외사례를 바탕으로)

셸드TBM 장비가 일반건설장비와 다른 가장 큰 차이는 주문 제작이라는 것이다. 일반 건설장비와 같이 만들어져 있는 장비를 구입하여 사용하게 된다면, 프로젝트의 조건을 충분히 반영하기 어렵고, 이로 인해 발생하는 리스크를 종합적으로 고려할 때, 경제성에서 불리해 질 수 밖에 없다. 즉 현장 지반조건과 공사조건에 맞춰 적합하게 설계하고 굴진성과 기능을 최대한으로 활용가능하도록 제작하여야 하는 특성을 가지고 있다.

국내의 경우 소구경 셸드TBM 프로젝트는 전문건설업체가 소유하거나 전문건설업체가 직접 구매한 장비를 지입 개념으로 운영하며, 그 외에는 종합건설사가 직접 구매하고 전문건설업체가 운영하기도 한다.

이렇게 소규모 셸드TBM을 도입 시에는 지반의 특성을 고려하지 않고 미국, 일본, 중국 등의 제작사가 보유하고 있던 장비를 구매하여 셸드TBM 발주부분이 생략되므로 장비효율과 기능의 저하, 비효율적 장비 조달로 인한 리스크의 발생으로 당초 계획보다 추가로 비용이 발생하고 공사가 지연되는 경우가 많다.

따라서 셸드TBM의 장비발주는 지반의 강도와 터널공사 조건에 맞게 설계되고 제작되도록 발주처가 필요한 사양을 제시하고 제작자의 설계 및 제작과정을 관리하는 조달(Procurement)로서, 셸드TBM 장비를 조달하는 것은 어떠한 장비를 구매할 것인가에 대한 요구사항을 바탕으로 하여야 한다.

셸드TBM의 발주는 장비를 조달하는 것으로서, 발주처조달방식(OPP)과 시공자조달방식(GPP, SCPP)으로 크게 구분한다.

발주처 조달방식(Owner Procurement Process)은 발주처가 설계와 장비조달을 병행하여 프로젝트에 발생할 수 있는 Risk 최소화를 목표로 한다.

종합건설사 조달방식(Genecon Procurement Process)은 설계와 시공을 함께하는 방식에 효율적인 방식으로서, 종합건설사는 발주처 요구사항을 만족하는 셸드TBM형식, 터널링 방법 등을 결정하고 셸드TBM 장비 조달을 담당한다.

시공자 조달방식 중 전문건설업체 조달방식(Sub-contractor Procurement Process)은 국내 소구경 셸드TBM 프로젝트에 많이 사용된 방식으로서, 전문건설업체가 셸드TBM 장비조달을 담당한다.

소구경 셸드TBM의 경우 직경 5.0m 미만, 무게 100ton 이하로 관리가 비교적 간단하며 기능상 공동구 터널은 교통 터널에 비하여 높은 품질을 필요로 하지 않기 때문에 전문건설사가 구매(GPP, SCPP)하여 지입장비 개념으로 사업을 수행할 수 있었다.

그러나 대구경 교통 셸드TBM의 경우는 공동구 셸드TBM과 달리 차량 또는 철도가 통행함으로써, 큰 직경으로 시공되고 높은 품질과 안전이 요구된다. 또한 대형의 고가 장비이기에 전문회사가 이를 조달하여 굴착공사를 책임지는 일은 쉽지 않다.

국내의 경우, 발주처 조달방식을 지원할 수 있는 각종 시스템과 조직이 없는 상황이지만 장기적인 셸드TBM 공법 활성화 및 대구경 셸드TBM 적용 시의 명확한 시공관리 및

안전관리를 위해서는 발주처 조달방식 도입은 반드시 필요하나 현실적인 어려움도 많이 있다.

따라서, 발주처 조달방식(OPP) 활성화를 위해서는 발주처 조달방식(OPP) 적용이 필요한 프로젝트와 그렇지 않은 프로젝트를 구분하여 적용하는 방안도 필요하며, 현재의 발주체계에서는 시공사가 입찰시 쉘드TBM 전문가나 전문기술을 보유한 복수의 업체를 사전에 선정하고 컨소시엄을 구성하여 참여하는 방식이 높은 품질과 경제성을 확보할 수 있는 현실적인 방법으로 판단된다.

해외에서 채택하고 있는 방식이 국내 제도상이나 시스템적으로 어려울 경우 일반 입찰 안내서에 공법을 TBM장비 굴착으로 명기하고, 이에 적정한 공사비로 발주하되 우선협상자가 선정된 후 장비선정과정은 발주처의 별도 자문 위원회(기구)를 통해서 낙찰자가 현장에 적합한 장비 선정이 이뤄졌는지에 대한 검증을 할 수 있도록 하는 방안도 현실적인 안으로 판단된다.

□ 공청회 제언

자체 자문과 공청회를 통해 본 “TBM 장비발주를 위한 체크리스트(안)”과는 별도로 국내 쉘드TBM 공사의 활성화 및 발전을 위한 내용을 정리하여 수록하여 향후 관련 발주 및 연구기관에서 참고할 수 있도록 하였다.

○ 국내 쉘드TBM 발주/시공의 문제점 및 의견

- 발주처의 국내 NATM위주의 입찰안내서 및 최저가 입찰방식 문제점
 - 입찰안내서에 공법을 명기, 입찰자가 쉘드TBM 공법을 입찰유도
- 설계 과정에서 지반조사가 NATM 위주의 지반조사 실시
 - 입찰안내서에 쉘드TBM 장비 설계에 필요한 지반조사항목과 내용을 제시
- 초기 국내 TBM 도입시 TBM 기술자 부재로 문제점 발생(부정적 영향)
 - 국내 TBM 오퍼레이터의 기술자 양성프로그램 필요
 - 입찰안내서에 오퍼레이터 경력사항의 제시 필요.

○ 최적 TBM 장비발주 체크리스트 가이드라인(안)에 대한 의견

- 장비 선정항목이 비교적 상세하고 세부항목은 발주처 제시, 입찰자 제시, 협의 항목으로 구성되어 향후 발주 특성에 맞도록 조정하여 사용될 것으로 판단.
- 본 장비선정 가이드라인(안)을 참고로 기술발전이 빠른 만큼 Slurry Type, Open TBM, 컨버터블(Convertible) 쉘드TBM 등 다양한 TBM 형식에 대한 추가 연구 진행필요.

- 현재 국내 입찰방식에서 개선한다면 입찰안내서에 굴착방식을 제시, 입찰자 선정후 발주처에서 장비선정 위원회를 구성하여 본 가이드 라인(안)의 체크리스트를 활용하여 검증할 수 있도록 하는 방안
- 장비 검수와 장비 분할 현장 운반과 관련된 세부사항에 대한 가이드(안)의 추가 연구 필요.

□ 참고문헌

1. 김기환 외 5명(2017), “해외 쉴드TBM 입찰안내서 분석을 통한 국내 발주 기준정립에 관한 연구”, 한국터널지하공간학회 학회지 Vol. 19, No. 6, pp. 985~997.
2. 김기환 외 5명(2018), “토사지반과 핵석이 포함된 복합지반에서 쉴드TBM 굴진 시 장비 부하에 관한 연구”, 한국터널지하공간학회 학회지, Vol. 20, No. 6, pp. 1039~1048.
3. 김기환 외 5명(2019), “국내외 TBM 제작 사양 및 전문인력 양성 프로그램 분석”, 한국암반공학회 학회지(터널과 지하공간), Vol. 29, No. 5, pp. 281~291.
4. 김기환 외 4명(2020), “토압식 쉴드TBM 장비설계를 위한 세부항목과 세부요구사양의 구성에 관한 제안”, 한국터널지하공간학회 학회지, Vol. 22, No6 pp. 611~622.
5. 일본 공익사단법인 지반공학회저, 삼성물산(주) 건설부분 김재영 외, 쉴드 TBM 공법
6. MTR Corporation Limited (2011), Contract 1109–Particular Specification, Tunnel Boring Machine(TBM) and Lining.
7. <https://www.tideway.london/>
8. Thames Water Utilities Ltd (2013), Geotechnical Baseline Report, Thames Tideway Tunnel – Main Works – West.
9. Thames Water Utilities Ltd (2013), Employer’s works specification – Tunnelling: Earth pressure balance tunnel boring machines, Thames Tideway Tunnel – Main Works – West.
10. ADA (ArRiyadh Development Authority) (2013), Mined and Machine excavated, Civil and Infrastructure Construction Specifications, Riyadh Metro Project.
11. LTA (Land Transport Authority) (2013), Tunnel Machine, Thomson Line C207, General Specification, Appendix P.
12. Dubai Municipality (2016), Deep Tunnel Storm Water System Main Tunnel, Tunnel and Shaft Specifications, Drainage and Irrigation Department.
13. LTA (Land Transport Authority) (2016), Tunnel Machine, General Specification, Appendix P, Circle Line Stage 6 (CCL6) Mainline.
14. Thailand Cultural Centre – Min Buri (Suwinthawong) (2017), Tender Offer for Supply Contract of Tunnel Boring Machines, MRT Orange Line (East Section) Project.
15. Korea Rail Network Authority (2012), Incheon International Airport 2nd Passenger Terminal Connection Railway of Construction work, Invitation to Bid.
16. Korea Electric Power Corporation (2017), Gunpo~Uiwang Electric Power Corporation of Construction work, Invitation to Bid.
17. Seoul City Urban Railway Development (2009), Seoul Subway Corporation Line 9 of Construction work, Invitation to Bid
18. セグメントの設計[改訂版](2010), 日本土木学会
19. シールド施工管理のポイント(2002), 社団法人 日本トンネル技術協会