J of Korean Tunn Undergr Sp Assoc 17(4)415-428(2015)
http://dx.doi.org/10.9711/KTAJ.2015.17.4.415
eISSN: 2287-4747
pISSN: 2233-8292

개정 TBM 터널 표준시방서 해설 연구

사공명[1]* · 정치광[2] · 문준배[3] · 김재영[4] · 윤도식[5] · 유명한[6]

[1]정회원, 한국철도기술연구원, 책임연구원
[2]정회원, 이원이엔지 부사장
[3]정회원, (주)동아지질 부장
[4]비회원, 삼성물산 건설부문 토목 eng 센터 TBM 팀
[5]정회원, 강릉건설, 기획부 부장
[6]비회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 석사과정, 한국철도기술연구원 학생연구원

A manual for the revised TBM tunnel specification

Myung Sagong[1]*, Chi Kwang Jung[2], Joon Bai Moon[3], Jeayoung Kim[4], Do Sik Yun[5], Myeong Han Yu[6]

[1]Ph.D. Principal Researcher, Korea Railroad Research Institute
[2]Vice-President, Eone Engineering
[3]General Manager, Dong-Ah Geological Engineering Company
[4]Doc. of Engineering, Deputy General Manager, TBM Part, Samsung C&T
[5]General Manager, Kangnung Construction Co. Ltd.
[6]Graduate student, Korea University, Korea Railroad Research Institute

ABSTRACT: With increase of the extension of long tunnels and urban tunnelling, demands on the new tunnelling technologies are raised. Currently, drilling and blasting tunnel construction method is mostly used, however, because of sever blast vibration for some occasions, complaints from local residents and rock damages are inevitable. Accordingly, TBM tunnelling is more efficient and effective for such conditions. Nevertheless, tunnel construction costs of TBM cannot compete that of the drill and blasting method in Korea. To overcome such limitations, various TBM equipments and construction technologies are required. In addition, continuous revision of the design standard and specification are required. In this study, a detailed explanation regarding the revised version of TBM section in the tunnel standard specification at 2015 is shown.

Keywords: Tunnel Boring Machine (TBM), Specification, NATM, Design standard

초 록: 국내의 장대터널 및 도심지내 터널시공과 시공계획이 증가함에 따라 터널굴착기술의 개발이 요구되고 있다. 국내의 터널 굴착 방법으로 drilling & blasitng method가 주로 쓰이고 있는 실정이나 이 공법은 극심한 발파진동으로 현장주민의 민원과 인근 암반구조물에 피해를 입히는 단점이있다. 따라서 문제발생예측 지역에는 무발파 굴착공법인 TBM터널링을 사용하는 것이 효율적이다. 하지만 TBM 터널링은 drilling & blasitng method와 비교하였을 때 비경제적이므로 현장에서 꺼리는 실정이다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 다양한 TBM 장비 및 시공기술이 요구된다. 또한 관련된 기술의 기준이 될 수 있는 시방서 및 설계기준의 지속적인 개정도 필요한 상황이다. 본 연구에서는 2015년 고시된 터널표준시방서내 TBM에 대한 개정 내용 및 관련 해설에 대한 내용을 다루고 있다.

주요어: TBM, 시방서, NATM, 설계기준

1. 서 론

전 세계적으로 터널 시공으로 크게 발파 및 기계굴착 후 지보재 및 현장타설콘크리트 라이닝을 설치하는 재래식 터널공법(conventional tunnelling)과 굴착장비인 TBM (Tunnel Boring Machine)를 이용한 공법이 있다. 그간 국내에서는 주로 천공과 발파중심의 (Drilling & Blasting) 재래식 터널 공법을 자주 사용해 왔으나 최근 장대터널 및 도심지내 터널시공사례 증가 등으로 TBM 시공빈도가 증가하고 있는 추세이다.

***Corresponding author:** Myung Sagong
E-mail: rockcore@krri.re.kr

Received May 7, 2015; **Revised** June 6, 2015;
Accepted June 22, 2015

Copyright ⓒ2015, Korean Tunnelling and Underground Space Association
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativescommons.org/license/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이뿐만 아니라 전반적인 터널 기술의 발전으로 인하여 공사환경의 변화등의 내용을 터널표준시방서에 반영하기 위하여 2009년에 개정된 터널표준시방서 개정 작업이 진행되었다.

본 논문에서는 2015년에 개정 고시된 터널표준시방서 내용 중 TBM장의 개정 내용에 대한 배경 및 해설을 제시하고 있다.

2. 터널표준시방서 TBM 개정 방향

국외 TBM 시방서의 경우 설계 및 시공의 내용이 다소 혼재된 형태로 정리되어 있으며(JSCE (2007), FHWA (2004)) 국내에서 활용되고 있는 시공에 초점을 맞춘 시방서 형태는 없는 형편이다. 따라서 각국의 시방서의 내용을 시방서와 설계기준으로 분리하여 적용하여야 한다. 금번 터널표준시방서 중 TBM의 주 개정 방향은 시공에 있어 가장 중요한 TBM장비와 추진에 대한 내용이며 전체적인 방향은 다음과 같다. TBM 장비의 기능별 내용의 보완(기본구조, 굴착기구, 추진기구, 후방대차), 장비 타입별 요구사항 추가, 안전 및 정밀시공을 위한 추진시 요구사항 등이 추가되었다. 터널표준시방서(MLTM, 2009)에서 TBM 장은 18개의 절로 구성되어 있는데 금번에 개정된 내용은 10개의 절로 축소·조정되었다. TBM 시공이 터널굴착에 있어 중요한 기술로서 상대적으로 기술할 내용이 많으나 타 장과의 구성에 있어서의 연속성을 위하여 가급적 TBM과 관련된 핵심적인 내용만 기술하고자 하였다. 따라서 TBM 장 내에 있는 내용 중 타 장의 내용과 중복되는 내용은 삭제 및 기능이 유사한 장으로 이동함에 따라 TBM과 관련된 내용만 TBM 장에 수록하게 되었다. 대표적으로 기존의 11.4절에 위치하였던 세그먼트가 6장 터널 라이닝 편으로 이동하였으며, 11.2 조사 및 11.3 터널 측량의 경우 터널표준시방서 3장 조사 및 측량의 내용과 중복되는 내용은 삭제 그리고 일부의 내용은 11장 TBM내 추진 이관정리 되었다. 또한 추진 및 세그먼트 설치는 두 내용이 통합 기술되었으며 방수는 7장 세그먼트 방수로 이동, 터널지보재는 5장 터널지보재의 내용과 중복되는 내용의 삭제, 시공관리의 내용은 여러 장에 걸쳐 중복되는 요소가 존재하므로 선별적인 이동 및 중복기술로 인하여 삭제하였다. 이러한 과정을 거쳐서 최종적으로 도출된 TBM장의 절의 구성은 다음과 같다.

Table 1. The content of revised TBM tunnel specification

Tunnel standard specification (2009)	Tunnel standard specification (2015)
1. planning for construction	1. planning for construction
2. survey	2. working section
3. tunnel surveying	3. TBM eqipment
4. segment	4. oscillation and reching
5. working section	5. propel and installed lining
6. TBM equipment	6. conveyance in tunnel
7. oscillation and reaching	7. back filler injection
8. propel	8. sharped slope and sharped curve
9. conveyance in tunnel	9. soil stabilization and protective structures
10. install of segment lining	10. TBM construction equipment
11. back filler injection	
12. waterproof	
13. internal concrete lining	
14. tunnel girder	
15. sharped curve	
16. soil stabilization and protective structures	
17. TBM construction equipment	
18. construction management	

터널표준시방서 TBM장의 구성은 시공순서를 고려하여 기술하였으며 앞서 언급한바와 같이 중복되는 내용의 최소화 및 주요내용의 보강을 통하여 기술된 내용의 보강이 이루어 졌다. TBM 시공에 있어 핵심적인 요소인 TBM 장비와 추진 및 라이닝 설치 관련된 내용이 주로 증가 하였다.

따라서, 터널 표준시방서 TBM 장에서 여러 개정내용이 있으나 특히 본 개정에서 많은 개정이 이루어진 TBM 장비와 추진에 대한 세부 해설내용을 다루고자 한다.

3. TBM 장비 개정내용 해설

터널표준시방서(MLTM, 2009)에서 TBM 장비는 타 절과 동일하게 1. 일반사항, 2. 재료, 3. 시공이며 1. 일반사항을 제외한 나머지 재료 및 시공과 관련된

내용은 기술되어 있지 않다. TBM 시공에 있어서 장비의 중요성은 더없이 중요한 요소이므로 다음과 같은 형태로 보강기술 하였다. 당초 1. 일반사항에 1.1 제작, 1.2 조립, 1.3 운반의 항을 1.1 TBM 장비의 적합성, 1.2 TBM 내공단면과 굴착직경, 1.3 제작, 1.4 장비조립, 1.5 운반, 1.6 유지관리로 확대하였다.

또한 시공관련해서는 장비의 제작단계부터 고려하여 3.1 TBM 기본 구조, 3.2 굴착기구, 3.3 추진기구, 3.4 후방대차, 3.5 쉴드TBM, 3.6 개방형TBM으로 구성하였다.

3.1 일반사항

3.1.1 일반사항

1.1.1 TBM 장비는 굴진면의 안정성을 확보하여 안전하고 경제적인 시공이 가능하여야 한다.

1.1.2 TBM 장비의 검토 시에는 장비구조 및 재료특성과 더불어 지반조건, 주변여건, 터널크기, 연장 및 선형 등과의 적합성과 시공성이 검토되어야 한다.

1.1.3 TBM 장비는 신제품을 원칙으로 한다. 다만, 성능이 검증될 경우에는 재활용 장비 및 부품을 사용할 수 있다.

TBM 장비는 다양한 지반을 굴착할 수 있으므로 강도와 강성을 가지고 내구성, 시공성, 안정성이 확보되어야 하며 굴진에 따른 주변지반의 침하를 최소화하고 커터페색, 장비 끼임등의 문제가 발생하지 않도록 적절한 TBM 장비형식 및 커터헤드 면판을 선정하여야 한다.

TBM 장비의 검토시 지반조건별로 검토해야할 항목은 다음과 같다. 사질 및 모래자갈층은 커터헤드의 측면형상, 슬릿폭 및 길이, 배니관경, 반출할 수 있는 최대 자갈크기를 고려한 배토기구, 첨가재 주입구의 위치, 구경 등을 고려하여야 하며, 점성토층의 경우는 슬릿폭과 개구율을 고려하여야 한다. 시공심도와 관련해서는 쉴드 각 부분의 강도 및 내압성이 충분하여야 하며, 터널선형과 관련해서는 여굴량이 최소화 될 수 있도록 하여야 한다. 특히 급곡선 시공시 확대굴착량, 후미공극, 보조공법등을 사전에 검토하여야 한다. 시공연장과 관련해서는 장거리시공의 경우는, 커터비트, 메인베어링 수명, 커터 베어링 실, 테일 실 등의 각 부분별 내구성에 관하여 검토 해야만 한다. 이는 커터의 규격과 예상마모량에 따른 교환횟수와 커터교환(Cutter Intervention)위치선정과 필요에 따라 그라우팅 또는 Air Lock의 설치 등을 검토하여야 한다.

TBM 장비의 재활용은 크게 재활용(Refurbishment)과 재제작(Remanufacturing)으로 구분할 수 있으며 메인 베어링의 교체 없이 커터헤드 교체와 주요부품의 재활용의 경우 재활용(Refurbishment)으로 정의할 수 있다. TBM 장비는 지층조건 및 시공여건을 반영한 주문제작 방식으로 장비 자체의 내구수명은 일반적으로 메인베어링의 수명을 기준을 판단(예, >10,000hrs)하므로 터널 단면변화 및 지층조건에 따른 추진력, 회전력 등이 뒷받침되면 커터헤드의 변경후 재활용을 검토할 수 있다.

3.1.2 TBM 내공단면과 굴착직경

1.2.1 TBM터널 내공단면은 터널의 사용목적에 부합하는 요구단면을 포함하여야 한다.

1.2.2 TBM터널의 굴착직경 산정 시에는 내공단면, 라이닝두께, 터널선형 및 시공 여유량을 고려하여야 한다.

1.2.3 동일한 시설한계를 갖는 TBM터널에서는 TBM 장비운용의 효율성을 감안하여 굴착단면의 단일화를 검토하여야 한다.

TBM터널의 내공단면은 원형을 표준으로 하고 도로 및 철도 터널의 경우 소요시설한계 등을 고려해야 하며 도로 및 철도 터널 모두 종별이나 등급에 따른 별도의 시설한계가 정해져 있으므로 이를 충분히 고려해야한다. 수로 터널에 적용할 경우에는 터널 내면의 조도 계수나 종단방향의 시공 정밀도 등을 고려해야하며 이 밖에 원형 이외에도 터널 사용목적에 따른

단면형상을 선택할 수 있고 이 경우 TBM장비, 라이닝 강도, 형상 및 시공상의 문제점에 대해 충분히 검토하여야 한다.

TBM 굴착직경은 시공 중에 굴착경을 변경할 수 없어 굴착경 결정 시 공간단면에 지보공두께, 복공두께, 변형 여유량 및 시공 여유량 등을 고려하여야 한다. 쉴드의 외경은 세그먼트 링의 외경, 테일 클리어런스 및 테일 스킨플레이트 두께를 고려하여 결정하여야만 하고 굴착 시 커터의 과다마모에 의한 장비끼임 현상으로 굴진이 불가능 할 수 있으므로 굴착경이 쉴드 본체외경보다 커야 한다. 시공 여유량은 굴착단면의 크기나 평면선형, 종단구배, 설계여유, 보수여유 및 사행 여유량 등을 고려하여야 한다. 소요 내공단면의 크기별 TBM 구경을 정형화할 수 있는 경우 TBM 단면표준화를 검토하여 장비와 부품등을 재활용 할 수 있도록 해야한다.

3.1.3 제작

1.3.1 TBM 구성요소 각각의 부재중량 및 전체중량을 명확히 표시하여야 한다.

1.3.2 TBM 제작단계에서는 시공시 발생 가능한 문제를 예측하여 이에 대한 위험요인 관리 및 예방 대책을 강구하여야 한다.

1.3.3 장비 제작에 앞서 제작사양서, 주요설계도 및 제작공정표를 작성하여야 한다.

1.3.4 예정공기 내 공사를 완료할 수 있도록 공정표에 적합하게 장비 제작사를 선정하여야 한다.

1.3.5 장비 제작시 사용재료, 치수 등의 제원에 유의하여 현장의 설계조건을 만족시키는 강도 및 성능을 확보해야 한다.

TBM 장비는 중량이 무겁고 대형이므로 운송계획, 장비조립 및 해체시 인양장비의 계획 등을 수립하기 위해 부재의 중량이 명확이 표기되어야 한다. 또한 연약지반에서 굴진하는 경우 장비의 중량 및 중심위치가 방향제어 등의 운전능력에 영향을 미치기 때문에 주의해야 한다.

Gauge Cutter, Air Lock System, 챔버, 천공장비설치 등으로 시공시 발생 가능한 문제를 예측하고 장비 끼임등의 문제 등에도 대처를 한다. 테일 스킨플레이트 두께는 위해한 변형이 발생하지 않는 범위내에서 가능한 얇게 해야 하며 테일씰은 토사를 동반한 지하수의 역류방지를 위해 설치를 계획해야 한다.

제작사양서에는 쉴드의 사용재료, 구조, 치수, 성능 등에 관하여 필요한 사항을 기재해야 하며 주요설계도서에는 장비본체의 강도계산서, 부속기구의 주요치수 등을 표현해야하고 제작공정표에는 제작에서 현지조립까지 상세하게 파악할 수 있도록 기재되야 한다.

TBM장비의 제작기간은 일정기간이 필요하므로 굴진 예정작업 공정에 맞춰 제작자의 선정 및 제작기간을 가져야 하고 쉴드장비 제작자는 강도와 성능의 확보에 유의해야 한다.

3.1.4 장비조립

1.4.1 공장 가조립과 검사에 합격하면 청소와 도장을 실시한다. 분할형 TBM 장비의 경우 현장조립에 필요한 공구, 결합부호 등을 고려해야 한다.

1.4.2 현장 조립시 설계하중을 지지할 수 있는 가설대에서 정확히 조립하고, 가체결 또는 가부착 후에 치수검사를 거친 후 용접 또는 볼트체결을 실시하여야 한다.

1.4.3 지반조건, 공사여건을 감안하여 현장 투입전 TBM 명세서 등을 제출하여야 한다.

공장 가조립 후 외관, 치수, 작동상태를 확인하고 잘못된 부분을 수정해야하며 정해진 순서에 따라 공장 가조립을 실시하고 검사와 청소가 마무리 된 후 정해진 도장을 실시해야한다.

현장 조립의 경우 장비사양 및 성능확보가 요구되고 TBM 장비의 설계하중을 충분히 지지할 수 있는 가설받침대에서 정확히 조립되어야 하며 가조립 후 도면에 따른 용접과 볼트체결을 수행해야 한다. 공장조립 및 현장조립 시 재료, 기기, 용접, 외관, 주요치수

검사와 무재하 작동시험을 해야한다.

현장조립은 발진 수직구 규격 및 작업장부지의 여유 등을 고려해 장비투입에서 조립까지의 절차와 제출된 장비, 설비에 대한 TBM 명세서를 시공자가 충분한 사전검토를 수행하여야 한다.

3.1.5 운반

1.5.1 현장까지 TBM 장비를 운반하여야 하며, 원활한 운송이 되도록 장비분할과 운반로를 선정하여야 한다. 또한 운반 도중에 지상 및 지하구조물에 손상이 발생하지 않도록 현황을 파악하고 대책을 수립하여야 한다.

1.5.2 제작사로부터 현장에 공급될 때까지 외부의 충격 등에 손상되지 않도록 TBM이 보호된 상태로 공급하여야 한다.

TBM장비 운송은 도로교통법 등의 관련 법규와 원활한 수송이 되도록 분할계획을 확정 후 제작되어야 하고 도로 여건등을 고려해 장비의 손상이 없도록 제작장에서 발진작업구까지 충분한 사전조사를 통해 예상 운반로의 선정이 이루어져야 한다.

3.1.6 유지관리

1.6.1 TBM성능을 충분히 발휘시키기 위하여 정기적 및 일상적인 점검과 정비를 통해 고장과 사고를 사전에 방지하여야 한다.

일상 및 정기점검 항목은 TBM장비 형식의 특징과 현장상황에 맞춰 설정해야 하며 일상점검 항목으로는 각 부분 볼트와 너트의 느슨해짐, 이상음, 발열상태, 작동유, 윤활유 등이 있고 정기점검항목으로는 오일탱크의 점검, 전동기기의 점검 및 보수, 제어반 및 배선 점검 등이 있다.

3.2 시공

3.2.1 TBM 기본구조

3.1.1 TBM은 굴착기와 후방대차로 구성되며, 굴착기는 지반 또는 세그먼트에서 추진력을 확보하고, 후방대차는 유압, 전기, 제어장치 등을 포함한다.

3.1.2 지반조건 및 시공여건에 적합하게 TBM의 기능이 충분히 발휘될 수 있도록 각 부분을 구성하여야 한다.

TBM 후방대차에 탑재된 장비로는 굴착기를 움직이기 위한 원동력인 유압과 전기 및 제어장치로 구성된다.

쉴드 TBM의 경우 외부에서 작용하는 하중에 대하여 내부를 보호하는 강관부분과 전면의 굴착을 행하며 테일부에서 복공을 추진할 수 있는 기능을 가지는 장치이다. 가동에 필요한 동력과 제어설비는 장비의 구조를 고려해 일부 또는 전부를 후방대차에 설치한다. 압력식과 이수식의 밀폐형 쉴드는 전통과 후통을 격벽으로 막고 중통내에는 커터비트 등의 기계장치를 격납하는 공간으로 이용하며 후통 내에서는 seal을 후단으로 배치해 지수기능을 유지시킨다. 개방형 TBM(Open TBM)은 암반을 압쇄하는 데 필요한 힘을 발휘해야하고 굴착반력을 지반에서 확보할 수 있어야 하며 굴착버력을 굴진면에서 연속적으로 후방에 배출할 수 있는 기능을 갖춰야 한다.

3.2.2 굴착기구

3.2.1 굴착기구는 커터, 커터헤드 및 구동장치로 구성되며, 외부하중과 지반조건에 대하여 안정적으로 가동하는 구조여야 한다.

3.2.2 커터헤드 형식, 지지방식 및 구동성능을 결정 시 TBM의 종류, 지반조건, 선형조건, 시공조건 등을 고려하여야 한다.

3.2.3 커터와 비트의 결정시에는 지반조건에 적합한 커터와 비트의 종류, 형상, 재질 및 커터헤드에서의 배치 고려하여야 한다.

3.2.4 커터와 비트의 마모율, 교환주기, 방법 및 수량 산정 시에는 굴착 지반의 압축강도, 인장강도, 경도, 석영함유율 등을 고려하여야 한다.

굴착기구의 선정 시 TBM 형식, 커터헤드의 형식,

커터헤드의 지지방식, 커터장비의 능력 등 외부하중과 지반조건을 검토해야 한다. 커터헤드는 지반조건, 시공연장, 시공조건등을 고려해야하며, 커터헤드의 굴착방식은 회전 절삭방식이 일반적으로 사용되고 요동식, 편심 다축식 등 원형이외의 형상에도 대응할 수 있다. 커터헤드는 쉴드 TBM의 굴착능력을 좌우하고 막장의 안전성 등에 큰 영향을 미치므로 현장여건, 지반구성 및 지하수의 조건 등을 고려해야 하며 커터헤드는 토사용과 암반용이 있다. 토사용 커터헤드의 형상은 Spoke형, 평판형 및 Frame형이 있으며(Fig. 1 참고) 암반용 커터헤드는 지반조건이 강할수록 큰 추력을 가하고 절삭효과를 높일 수 있는 Dome형식과 지반조건이 불리한 경우 굴진면의 자립을 위한 심발형 또는 평판형의 적용을 검토할 수 있다(Fig. 2 참고).

커터헤드의 지지방식은 TBM 외경, 원지반 조건 등에 적합하도록 선정하여 버력반출 기구와의 조합 등에 대하여 고려해야 하며 중앙 회전축 지지방식, 중간 지지방식, 주변 지지방식, 중앙 지지방식, 편심 다축지지방식 등이 있다. 커터 구동부는 베어링(Bearing), 구동 모터, 구동기어, 베어링 실(seal)로 구성되며 커터의 구동부는 시공조건 및 기계형식에 맞춰 베어링 및 구동기어를 선정해야하고 커터 베어링 실(seal)은 토사, 지하수 등의 유입에 대하여 커터

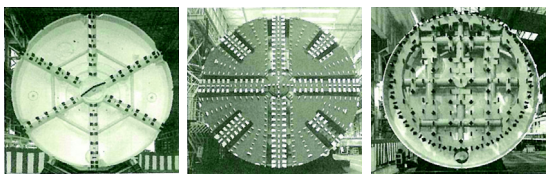


Fig. 1. Cutterhead design for sand

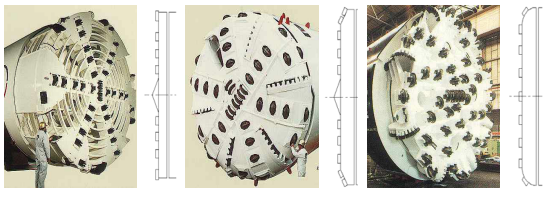


Fig. 2. Cutterhead design for rock

Fig. 3. Cutter bit design for sand

베어링을 보호 할 수 있어야 한다.

TBM에 사용되는 굴착도구는 토사를 굴착하기 위한 커터비트(Cutter bit 또는 Drag pick)와 암반굴착용 디스크커터(Disk cutter 또는 Roller cutter)로 구분할 수 있으며, 지반조건에 적합하도록 종류, 형상, 재질 및 커터헤드에서의 배치를 결정해야한다. 커터비트의 종류는 지반조건에 따라 구함각과 토피각 등을 주의해야하며, Fig. 3과 같이 스크레퍼비트(Scraper bit 또는 teetn bit)는 고결점성토지반, 커터비트(Cutter bit 또는 Shell bit)는 자갈이나 풍화대지반, 선행비트(Lead cutter)는 발진, 도달부의 견고한 지반의 선행굴착 및 티스비트의 보호하는 역할을 수행한다. 또한, 커터비트는 여러 가지 마모요인이 있으므로 내구성에 관한 검토를 하여 사전에 교환이 필요한 지점을 결정하고 확실한 시공이 이뤄지도록 해야 한다.

3.2.3 추진기구

3.3.1 TBM의 전체 추진력 산정 시 장비형식에 따른 제반 저항에 충분히 대처할 수 있도록 적정 안전율을 고려하여야 한다.

3.3.2 개방형 TBM (Open TBM)의 추진 시에는 그리퍼를 사용하며, 굴진속도 시공여건 및 터널지보재의 시공능률을 고려하여 작동속도 및 스트로크를 결정하여야 한다.

3.3.3 쉴드 TBM의 추진은 추진잭을 사용하며, 굴진속도 및 시공여건을 고려하여 잭의 작동속도 및 스트로크를 결정하여야 한다.

3.3.4 그리퍼 및 추진잭의 선정과 배치는 TBM의 조향성, 터널벽면의 지반조건 및 세그먼트 라이닝의 특성 등이 고려하여야 한다.

TBM장비의 총 추진력은 아래의 식과 같이 총 추진 저항력을 산정하여 적정 안전율을 고려하여 산정해야 하며 곡선 시공시 추진 잭의 편심도 고려해야 한다.

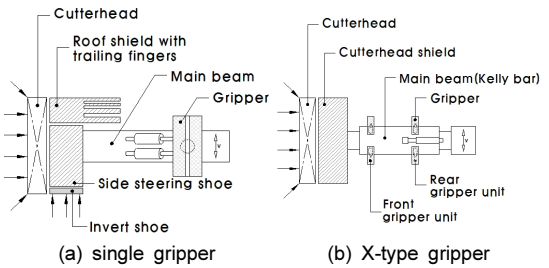
$$\sum F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6$$

F_1 : TBM 외주면과 원지반의 주면마찰력
F_2 : Hood부 선단관입력(커터작용력)
F_3 : 굴진면 전면저항(챔버내 압력)
F_4 : 곡선시공 사행에 의한 추진저항
F_5 : 세그먼트와 장비외판(Skin Plate)의 마찰력
F_6 : 후방설비의 저항(부속장비의 인장력)

개방형 TBM(Open TBM)의 그리퍼 또는 베어링 패드를 사용하여 터널 굴착벽면 지지에 의해 굴진반력을 얻어 추진이 이루어 지며 그리퍼의 형식은 아래의 Fig. 4와 같이 싱글그리퍼와 더블 그리퍼로 구분된다.

추진 잭의 작동속도는 굴진속도 등을 고려해야 하고 무 재하시 장비에 장착된 잭을 동시에 가동할 경우 40~60 mm/min정도이나 TBM형식과 지층조건 등을 고려하여 적합하게 결정해야 한다.

그리퍼와 추진잭의 선정과 배치는 가급적 간단하고 경량으로 내구성이 크고 보수, 교환이 가능해야 하며 추진 잭의 쉴드 외판 내측에 근접하여 배치하고 그리퍼는 TBM 자중을 지지하며 추진력을 얻을 수 있도록 배치해야한다. 추진 잭 한 본의 추력과 본수는 쉴드의 외경, 총 추진력 등을 고려해 선정하고 추진 잭의 피스톤 선단에 추력을 균등하게 분포시키기 위해 스플리터를 설치해야 한다.



(a) single gripper (b) X-type gripper

Fig. 4. Form of gripper

3.2.4 후방대차

3.4.1 TBM을 구성하는 각 유압 기기가 확실하게 작동할 수 있도록 유압회로를 구성하여야 하며, 사용조건을 고려하여 유압기기를 선정하야야 한다.

3.4.2 전기기기의 선정 및 설치 시에는 필요에 따라 방수, 방습, 방진, 진동 및 방폭에 주의하여야 한다.

3.4.3 굴착, 추진, 배토 등 상호 관련된 기구들이 균형 있게 작동하도록 제어시스템을 설계하여야 하며. 비상시에도 안전하게 작동 가능하여야 한다.

후방대차는 TBM 굴진을 위한 각종 작업기구 운반의 기능을 할 수 있는 것이어야 하며 TBM의 외경 형식 등에 의해 TBM장비 내에 설치할 수 없는 설비 등이 대차에 탑재되어 쉴드본체와 연결 된다. 후방대차의 주행방식과 이동방식 및 대차구성은 급곡선부 시공, 전도, 탈선의 방지 등 공사특성을 고려해야 하며, TBM용 유압기기는 내구성, 효율, 소음 등을 고려해야 한다. 유압기기는 점검이 용이한 것으로 오 조작이 발생할 경우에도 안전이 보장되어야 하며 유압 작동유는 유압기기의 성능유지에 큰 영향을 미치므로 양질의 것을 사용해야 한다.

전기 기기류는 방수성이 우수하고 절연도가 높은 기기를 선정하고 가연성 가스가 존재하는 경우 위험영역에 따른 방폭 성능을 가진 구조를 고려해야한다.

TBM의 제어는 비상시에도 안전하게 대처 할 수 있어야 하고 굴진면 안정을 유지하기 위해 실시간 굴진관리 시스템의 설치도 고려할 필요가 있다.

3.2.5 쉴드 TBM

3.5.1 지반조건과 터널직경 등을 고려하여 쉴드 TBM의 구조형식을 선정하고 쉴드 TBM은

내구성과 수밀성을 확보하여야 한다.

3.5.2 굴진면의 안정을 위하여 토압 및 수압에 저항하는 이수압력 또는 챔버내 굴착토의 압력 및 배토량을 관리 하여야 한다.

3.5.3 토압식 쉴드TBM 시공시 첨가제 주입장치를 통하여 굴착토를 소성 유동화시키기 위하여 필요한 양의 첨가제를 적절한 위치에서 주입할 수 있어야 한다.

3.5.4 지반조건을 고려하고, 이수가 원활히 흐를 수 있도록 이수식 쉴드TBM의 송·배니 설비를 결정하여야 한다.

3.5.5 세그먼트 조립설비는 이렉터, 조임기구 및 진원유지장치 등으로 구분할 수 있으며, 세그먼트의 재질, 형상, 치수, 중량 등을 고려하여 선정하여야 한다.

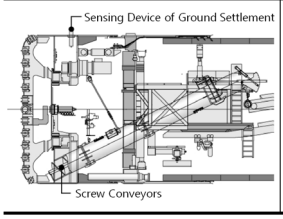
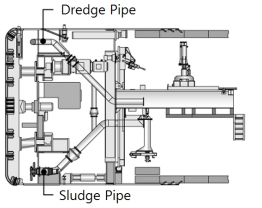
굴진대상 지층을 상세하게 검토한 후 TBM 장비형식을 선정해야 하며 넓은 적용범위를 갖는 밀폐형 토압식 및 이수식 쉴드TBM의 경우 적용 가능한 지반상태를 고려해 구조형식을 선정해야 한다. 토압식 쉴드TBM은 굴착된 토사가 챔버 내에서 지지매체로 작용하기 위해 점토성분이 많은 지반조건에서 적용성이 우수하고 이수식 쉴드TBM은 점토~사질토까지 적용범위가 다소 넓으며, 이수에 의한 굴진면 이막형성이 용이한 모래 및 실트질 지반에서 적용성이 우수하다.

토압식 쉴드 TBM 굴진면 안정을 위해 굴착토사의 소성유동성을 증대시켜 챔버내를 충만시키고 배토기구에 의한 굴진속도에 따른 배토량 관리를 조절할 수 있어야 한다. 사질토와 모래질 자갈층의 경우 첨가제를 주입하여 굴착면의 안정을 확보하며 이수식 쉴드 TBM은 이수가 굴진면에 불투수성의 이수막을 형성하여 적정한 이수압력을 유지하여 굴진면 안정을 확보한다.

토압식 쉴드 TBM의 경우 첨가제 주입장치는 첨가제 주입펌프, 첨가제 주입구등으로 구성되며 커터헤드의 토크치, 주입제의 지반내 침투등에 따라 주입압과 주입량을 결정 할 수 있다.

이수식 쉴드의 송·배니 설비는 커터챔버의 송·배니 및 이수의 흐름을 원활하게 할 수 있도록 송·배니

Table 2. Sealed Shield TBM

EPB Type Shield TBM	Slurry Type Shield TBM
	

(a) Upper and bottom expanded

(b) Upper expanded

(c) Construction foreground

Fig. 5. Circle Retainer and Construction Foreground

관의 설치위치 및 방향을 결정해야하고 배관 관경은 자갈처리장치의 설치 및 점성토 지반의 커터챔버 폐색 등을 방지하기 위해 배니관경을 크게 하는 것도 고려할 수 있다.

이렉터(Erector)는 쉴드 TBM의 형식과 규모, 세그먼트의 분할과 형상, 굴착토 처리방법 등을 고려하여 세그먼트의 조립이 정확하고 능률적이며 세그먼트의 종류, 형상, 중량 등을 고려하여 선정되어야 한다. 전원유지 장치는 조립 설치된 세그먼트 링의 형상을 유지하여 주는 장치로 Fig. 5와 같이 상하확장식과 상부확장식이 있으며, 진원유지장치의 적용 및 형식의 선정 시 설치공간의 여유와 작업성을 고려하여야 한다.

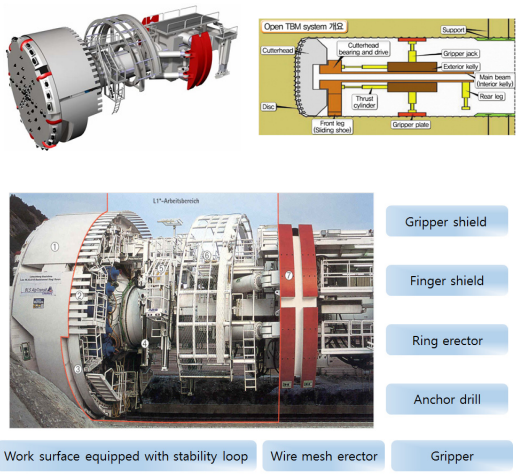


Fig. 6. Equipment components of open TBM (https://www.herrenknecht.com/en/home.html)

3.2.6 개방형TBM (Open TBM)

3.6.1 개방형 TBM (Open TBM)은 굴진 후 지보재를 즉시 혹은 적기에 시공할 수 있는 시스템과 부대장비를 갖추어야 한다.

3.6.2 굴착공정에 방해되지 않도록 챔버 내 버켓과 연속컨베이어를 선정하여야 하며, 큰 암편이나 세립분에 의한 폐색 등을 사전에 고려하여야 한다.

3.6.3 연약지반 및 지층 경계부 등에서의 개방형 TBM (Open TBM) 시공시 굴진면 전방 예측을 위하여 전방탐사 대책공법을 계획하여야 한다.

개방형 TBM은 굴진 반력을 그리퍼의 암반벽면 지지에 의해 얻는 방식으로 정의 되나 최근에는 쉴드를 부분적으로 가지는 그리퍼 TBM이 개발되고 있다 (Fig. 6 참고). 개방형 TBM은 커터헤드 후방에 설치된 지보재 시공장치에 의해 지보를 수행하여야 하며 안정성이 낮은 암반에서는 강지보, 록볼트 등을 설치하고 즉시 숏크리트 타설이 가능하도록 타설장비의 설치를 고려하여야 한다.

개방형 TBM 공법의 경우 굴진 시작 후 공법의 변경이 어려우므로 시공에 앞서 충분한 시공계획의 검토가 필요하며 고속시공에 따른 공사기간의 단축이 가능하도록 버켓용량 및 버력처리 시스템인 벨트 컨베이어의 용량 및 처리 속도를 결정하여야 한다. 또한 굴진면의 버력은 챔버내 버켓으로 수집되어 벨트컨베이어로 운반되어 처리되며 이 경우 큰 암편과 세립분에 의한 폐색을 고려하여야 한다.

정밀한 지반 조사를 실시하여 개방형 TBM의 장비 선정 및 시공에 적절하도록 하여야하며, 지반조건에 의해 시공속도에 큰 영향을 미치는 팽창성 지반, 파쇄대, 다량의 용수가 예상되는 지반 등을 파악하여야하며 TBM의 굴착효율을 좌우하는 암석의 종류, 압축강도, 암반의 균열상태를 조사하여야 한다. TBM장비의 굴착효율(즉 커터소모량)에 영향을 미치는 석영 입자의 크기나 함유율 등을 사전에 확인하여야 하며 특수지반 및 지층경계부에서의 TBM굴진시 선진보링과 같은 전방탐사를 실시하여 대책공법을 계획하여야 한다.

4. 추진 및 라이닝설치 개정내용 해설

터널표준시방서(2009)에서 추진과 세그먼트라이닝 설치가 별도로 기술되어 있었는데 금번 개정에서는 추진과 라이닝 설치를 통합하여 기술하였으며 추진시 발생하는 여러 문제에 대한 사전 준비가 가능하

도록 내용을 보완하였다.

추진 및 라이닝설치는 타 절과 동일하게 1. 일반사항, 2. 재료, 3. 시공이며 1. 일반사항에 1.1 TBM 추진 일반사항이 추가되었으며 3. 시공관련해서는 3.1 토압식 쉴드TBM의 추진, 3.2 이수식 쉴드 TBM의 추진, 3.3 점거 및 커터교환 순으로 기술되었다.

4.1 일반사항

4.1.1 TBM 추진 일반사항

1.1.1 운전원은 제조사에서 제공하는 매뉴얼을 숙지하여 TBM 장비의 기능을 이해하고 제어할 수 있어야 한다.

1.1.2 운전원은 굴진시 각종 계기자료와 지반정보로부터 상하 또는 좌우 편차가 허용치 이내가 되도록 관리하여야 한다.

1.1.3 TBM장비는 굴진면과 주변지반의 안정을 도모하면서 설계노선을 따라 정확하게 추진될 수 있도록 운전하여야 한다.

1.1.4 TBM 장비의 추력은 지반조건, 장비형식, 여굴의 발생여부, 사행정도, 터널선형 등에 의해 영향을 받으므로 추력의 크기와 장비의 방향을 조절할 수 있는 잭을 적정하게 사용하여 추진시켜야 한다.

1.1.5 세그먼트가 손상되지 않도록 1본당 잭 추력을 적정하게 적용하여야 한다. 또한 곡선부, 사행수정을 위해서 일부 잭만을 사용하는 경우에도 사용하는 잭을 적정하게 선정하여 세그먼트 손상을 방지하여야 한다. 필요시에는 세그먼트 손상을 방지하기 위하여 강섬유 보강 등의 검토할 수 있다.

1.1.6 TBM을 추진시킬 때는 피칭, 요잉 및 롤링의 발생을 억제하도록 해야하며 이를 위해서는 적절한 빈도로 추진관리 측량을 수행하여야 한다.

1.1.7 TBM의 추진과 관련하여 검토하여야 할 사항들은 다음과 같다.

(1) 인근의 가옥, 주요 구조물 등에 대한 필요시 보강대책 및 계측계획

(2) 지반조건에 적합한 굴진면 관리압력, 주입재의 주입량과 압력

(3) 굴진면 붕괴 및 이상누수에 대한 비상대책

1.1.8 추진시에는 링별 굴진기록부를 작성하여 굴착상태, 첨가제의 주입압과 주입량, 기계의 이상 유무 등을 점검해야하며, 각종 수치들을 바탕으로 지반상태의 변화를 분석하고 이를 시공에 반영하여야 한다.

1.1.9 TBM 굴진 시는 배토되는 버력량과 입도분포를 조사하여 굴진면의 지반상태, 커터의 교체시기 및 과굴착 여부를 파악하고 조정하여야 한다.

추진시에는 소요 추력 및 선형을 고려하여 적절한 패턴을 선정할 필요가 있다. 잭을 적정하게 사용하는 것은 계획한 선형을 정확하게 굴진하기 위해서 가장 중요한 사항이다. 곡선, 구배, 사행수정 등의 위치에서는 편측의 잭만으로 추친하는 경우도 있다. 이러한 점을 고려하여 여유를 가지고 잭 1본당의 추력, 본수 및 배치를 결정하여야 한다.

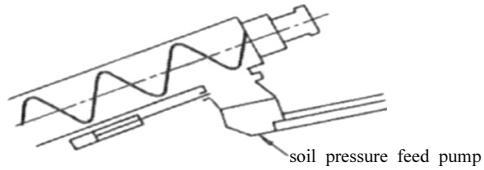
추진을 위한 추력은 지반조건(토질상태, 토압 및 수압), TBM의 형식, 여굴량, 사행수정의 유무, 터널의 곡선반경과 구배 등에 의해 다르기 때문에 세그먼트에 미치는 영향도 고려하여 항상 적정한 크기의 추력이 되도록 주의하여야 한다.

추진시에는 세그먼트의 강도를 고려하여 추력을 분담하여 세그먼트의 손상을 방지할 필요가 있다. 중절장치가 있는 TBM에서는 중절잭을 적절하게 사용하여 TBM의 잭을 균등하게 사용할 수 있다.

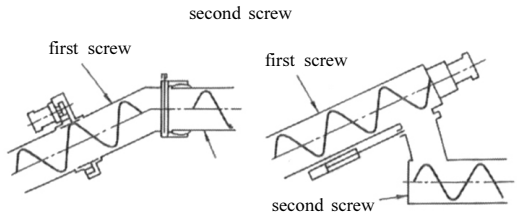
추진시에는 TBM을 계획선형으로 정확히 굴진시키고, 피칭, 요잉 및 롤링의 발생을 억제할 필요가 있다. 곡선부 및 구배변화부의 통과 또는 사행수정 등의 경우는 부분적인 잭을 사용하여 TBM의 중심선과 세그먼트면이 가능한 직교하도록 테이퍼 세그먼트

등을 사용하여 추진한다. TBM의 피칭, 요잉, 롤링은 지반의 저항, 잭의 조작, TBM의 기계적 특성, 토질의 변화, 세그먼트의 강성, 측량오차 등 복합적인 요인에 따른 경우가 많다. 굴진관리측량 등으로 얻은 데이터를 기본값으로서 조기에 TBM의 자세를 수정하여야 한다.

연약지반과 같이 TBM의 중심 위치에 따라 TBM이 하향이 되는 경우는 하부의 잭을 많이 사용하여 상향의 모멘트를 작용시키면서 굴진하는 것이 일반적이다.



(a) Pressure Feed Pump



(b) Second Stage Screw Conveyor

Fig. 7. Example of Ridger (EPB Type Shield TBM)

4.2 시공

4.2.1 토압식 쉴드TBM의 추진

3.1.1 쉴드TBM의 추진에 따른 원만한 배토가 이루어질 수 있도록 토압과 굴착량을 측정하여 굴착속도를 조정하여야 하며, 커터헤더의 회전속도와 추력의 크기 등 파악하여 굴진면 안정관리를 실시하여야 한다.

3.1.2 굴진면의 안정성을 확보하고, 버력의 유동성과 지수성을 확보하기 위해 적합한 첨가제를 선정, 주입하여야 한다.

3.1.3 배토기구와 관련 설비는 굴착토량과 배토되는 토사의 상태를 고려하여 공정에 적합하도록 계획하고 관리하여야 한다.

3.1.4 토압식 쉴드TBM의 추진과 관련하여 굴진기록부의 작성항목을 검토하여야 한다.

막장의 안정을 판단하기 위해서는 토압, 배토량, TBM의 기계데이터(잭추력, 커터토오크 등)의 계측에 의한 시공 중 막장상태를 간접적으로 확인 가능하도록 하여야 한다. 또한 첨가재 주입장치는 커터헤드의 토오크변화, 주입재의 지반침투성, 배토되는 굴착토사의 상태, 챔버내 이토압 등에 따라 주입압과 주입량의 설정을 제어하여야 한다.

토압식 TBM의 1차적인 배토기구인 스크류컨베이어는 막장의 토압/수압, 챔버내의 이토압과 균형을 이루면서 TBM의 굴진량에 맞춰 회전수를 제어하고 배토량을 제어한다. 특히 자갈지반의 굴착에서는 배토능력과 함께 형식, 자갈의 크기를 검토할 필요가 있다. 또한 투수성이 높은 토질조건에서는 지수성 등 압력유지능력에 대해서도 검토할 필요가 있다. 2차적인 배토기구로는 스크류컨베이어에 Fig. 7과 같은 설비를 조합하는 방식이 일반적으로 적용되고 있다. 그 외에 슬러리펌프방식, 로터리피더 방식 등을 조합하는 경우도 있다.

토압식 TBM의 추진에 대한 굴진기록은 굴진과 세그먼트의 조립시간, 토압, 배토량, TBM의 기계데이터(잭 추력, 커터 토오크 등), 첨가재 및 뒤채움재의 주입량과 주입압, 선형정보 등 굴진기록을 작성하여 보관하며, 굴진상태에 대해 확인 가능하도록 하여야 한다.

4.2.2 이수식 쉴드TBM의 추진

3.2.1 이수관리시스템은 이수에 의한 굴진면의 유지, 굴착버력의 이송, 분리 및 처리, 재순환을 포함하며, 지반조건과 시공성을 고려하여 자동화 체계로 운용되어야 한다.

3.2.2 굴진면의 안정을 유지하기 위한 이수의 농도와 밀도, 비중, 점성, 이수압 등은 토압과 지하

수 압력을 고려하여 관리값을 설정하여야 한다.

3.2.3 이수와 버력은 이수분리장치를 통하여 완전히 분리될 수 있도록 하여야 하며 터널단면의 크기, 터널연장, 1회 추진 시의 버력량, 사이클 타임 등을 검토하여 이수분리장치 등의 용량을 결정하여야 한다.

3.2.4 배토기구와 설비에는 굴착토사의 상태를 고려하여 폐색이 발생되지 않도록 필요시 파쇄장치 등을 설치하여야 한다.

3.2.5 이수식 쉴드TBM의 추진시 이수의 품질관리, 이수 플랜트 설비 등을 검토하여야 한다.

3.2.6 이수 가압식 방식의 경우 버력 반출시 폐기물관리법에 의한 유해물질 검사 후 반출하여야 한다.

이수식 TBM의 막장안정은 일반적으로 챔버내에 이수를 충진하고 이수의 압력으로 막장에 이막 또는 침투막을 형성하여 확보한다. 이수식TBM의 막장안정을 위해 이수압, 이수품질, 굴착토량 관리를 하여야 한다. 막장의 이수압은 계측이수압과 설정이수압의 차이를 바탕으로 제어하고 TBM의 부하 계측, 굴착토량과 이수의 증감 등의 계측을 통해 막장상태를 간접적으로 확인 가능하여야 한다. 송배니관은 챔버내의 흐름과 막장을 교란시키지 않도록 하여야 하며 토사의 배토를 원활하게 할 수 있는 위치로 하여야 한다. 일반적으로 교반장치로 아지테이터를 장착하고 굴착토사를 포함하는 이수를 원활하게 배니 할 수 있는 위치에 설치하여야 한다. 배니설비의 능력을 고려하여 자갈처리장치를 설치하여야 하며 배니 흡입구 및 후방설비에 위치하고 자갈의 크기, 양 등을 고려하여 선정하여야 한다.

4.2.3 점검 및 커터교환

3.3.1 TBM 장비의 특성에 적합하도록 수시점검, 일일점검, 주간점검, 월간점검 등으로 구분한 계획을 수립하고 정기적으로 점검하여야 한다.

3.3.2 TBM 장비의 굴진효율이 떨어지기 전에 커터 또는 비트를 교환하여야 한다. 또한 커터가 편마모 되었거나 파손된 경우 커터의 베어링, 실링, 커터 하우징기능의 정상여부도 점검하여야 한다.

3.3.3 안전성이 확보되는 조건에서 커터의 점검 및 교환 작업을 실시하여야 한다.

커터는 연동거리, 토질조건 등을 고려하여 마모에 대한 내구성, 수명 및 교환방법을 검토하여 교환하여야 한다. 커터의 마모는 굴착공법, 토질, 연동거리 등을 고려하여 예측하여야하며 커터의 교환은 커터헤드의 전면에서 직접 교환하는 방법 이외 기계식 교환방법이 실용화 되고 있다.

4.2.4 세그먼트라이닝 설치

3.4.1 세그먼트는 조립 전에 이물질을 완전히 제거한 후 조립순서에 따라 신속, 정확하게 조립하여야 한다.

3.4.2 세그먼트의 본체 및 실링부 시공 시 손상되지 않도록 주의하여야 하며, 필요시 진원유지장치 등의 보조기구를 사용하여야 한다.

3.4.3 세그먼트라이닝의 시공

(1) 세그먼트를 조립할 때 쉴드TBM의 잭을 동시에 제거하면 토압 또는 굴진면의 이수압에 의해 쉴드TBM이 후진할 수 있으므로 세그먼트 조립 순으로 수 본씩 단계별로 제거하면서 조립하여야 한다.

(2) 세그먼트 링의 종방향 이음은 교차형 배열로 조립하여야 한다. 이 경우 세그먼트 이음부의 방수재는 손상되지 않고 잘 밀착되도록 조립하여야 한다.

(3) 세그먼트 설치 시 이렉터를 이용하여 주위 세그먼트가 손상되지 않도록 조립하고, 필요시 진원유지장치 등을 이용하여 진원을 유지하도록 하여야 한다.

(4) 세그먼트 이음볼트는 세그먼트에 손상을 주지 않는 정해진 힘으로 체결하여야 한다. 세그

먼트가 변형에 의해 느슨해지는 경우는 재체결한다.

(5) 조립 중 세그먼트 균열 및 파손발생에 대비하여 보강 방법이 포함된 관리대책을 수립하여야 한다.

3.4.4 테이퍼 세그먼트라이닝의 시공

(1) 곡선부의 원활한 시공을 위하여 곡선계획에 맞는 테이퍼(taper) 세그먼트를 제작하여 사용하여야 한다.

(2) 직선구간 및 곡선구간의 사행을 고려하여 적절한 비율로 테이퍼 세그먼트를 제작 보관하여야 한다.

(3) 테이퍼의 방향이 동일한 세그먼트의 사용량이 많아지면 라이닝이 변형될 수도 있으므로 사행과 곡선반경을 고려하여 테이퍼 세그먼트의 사용량을 최소화하도록 시공하여야 한다.

3.4.5 진원의 유지

(1) 세그먼트를 진원으로 조립하는 것은 터널단면의 확보, 시공속도, 지수효과의 향상 및 지반침하의 감소 등에 중요하므로 세그먼트를 조립한 후 뒤채움주입재가 충분히 경화될 때까지 진원장치를 유지하여야 한다.

세그먼트의 조립은 테일부에서 이뤄지고 교차형 배열로 하여야 한다. 세그먼트의 조립순서는 아래 Fig. 8과 같고 하부의 A세그먼트로부터 순차적으로 좌우 양측으로 교대로 조립한 뒤 B, K순서로 세그먼트를 조립한다. 세그먼트 조인트 사이에 이물질이 끼지 않도록 TBM 테일 내를 충분히 청소할 필요가 있다. K세그먼트는 B세그먼트 사이에 삽입하기 때문에 손상이 일어나지 않게 주의하여 압입하여야 한다.

곡선시공이나 사행수정을 하는 경우 테이퍼링 1링의 세그먼트 폭이 일정하지 않은 테이퍼 세그먼트를 사용하며 곡선구간 테이퍼량은 시공 시 발생할 수 있는 오차를 고려하여 10～20% 할증을 고려하여야 할 필요가 있다. 세그먼트의 손상을 줄이기 위해 적절한 테이퍼량을 사용하여야 하며 테이퍼 세그먼트와

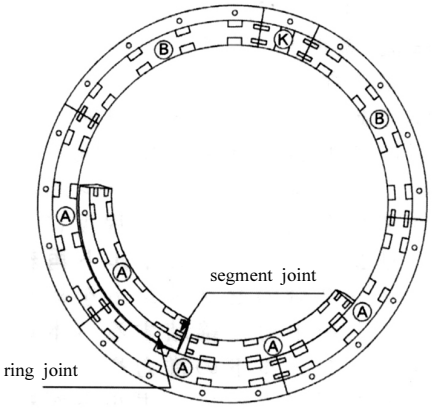


Fig. 8. Assembly Procedure of Segment

보통 세그먼트의 조합을 충분히 검토하여야 한다.

5. 결 론

본 논문에서는 터널표준시방서 중 TBM에 대한 개정내용의 해설을 정리하고 있다. TBM의 여러 내용 중 금번 개정에서는 TBM 장비 및 추진 및 라이닝 설치에서 다수의 내용이 개정되었으므로 해당하는 두 세부 절에 대한 해설 내용을 본 논문에서 정리하였다.

TBM 장비는 TBM 터널 시공에 있어 중요한 요소중의 하나이므로 장비활용시의 경제성과 더불어 제작단계에서부터 시공을 고려하여 현장에서의 위험도 저감 및 유지관리 내용의 추가로 장비의 상태가 현장에서 활용 가능한 수준이 유지될 수 있도록 하였다. 또한 추진부분에 있어서도 추진시 계측되는 다양한 장비 및 주변환경 데이터를 분석하여 시공에 반영될 수 있도록 하여 보다 안전하고 경제적인 TBM 시공이 될 수 있도록 보완하였다.

이와 같이 표준시방서 및 설계기준은 공사 및 설계에 있어 근간이 되는 지침이 되며 안전성 및 경제성과도 큰 관련이 있다. 지속적인 기술개발의 내용이 설계기준과 시방서에 포함될 수 있도록 향후에도 꾸준한 제·개정 작업이 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술 혁신사업의 “TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술 개발(10기술혁신 E09)” 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. FHWA (2004), Road tunnel design guidelines.
2. JSCE (2007), Standard specifications for tunneling-2006 : Shield tunnels.
3. MLTM (2009), Tunnel standard specification.
4. MOLIT (2015), Tunnel standard specification.