

초근접 실드 TBM 시공사례 (일본 Chofu역 4분기 터널)



고 성 일

(주) 단우기술단 상무이사
(sungyil@empas.com)



추 석 연

(주) 단우기술단 대표이사
(danwchoo@hanmail.net)

1. 머리말

실드 TBM 터널은 기존의 Drill and Blast 터널링 공법과는 다르게 주변 구조물과의 초근접 조건, 연약지반 조건에서도 터널링이 가능한 공법으로 활용되고 있다. 특히 유럽을 포함한 해외 선진국에서는 Drill and Blast의 시공환경(분진, 가스, 발파공해 등)을 개선하고자 실드 TBM의 적용성이 보편화 되어 있는 경향도 있다.

본 고의 실드 TBM현장은 필자가 2009년 여름에 방문했던 현장으로서 상·하 및 좌·우의 4개 철도선형이 한곳에서 출발하여 분기되는 매우 특이한 선형조건을 가진 실드 TBM 적용 사례이다.

일본 동경의 Keio Line은 Shinjuku를 기점으로 하여 Hachioji, Dakao 등과 연결되는 동경시 서부지구의 철도 대동맥의 하나로서 많은 지하철이 운행되고

있는 구간이다.

본 현장은 지상으로 운행하는 열차의 소음 및 진동과 철도건널목을 통해 횡단하는 차량 및 보행자 통행 불편을 해소하기 위해 노후한 Chofu 역부근 열차선로를 지하화하는 공사로 2003년에 착수하여 2013년 완공예정인 현장으로서, 매우 특이한 선형조건을 가지고 있는 실드 TBM 터널이다.

2. 선형 조건 및 지층상태

4개의 철도 선형은 Chofu 역에서 Sagamihara Line 및 Keio Line이 V형으로 분기되는 구간으로 379m x 2의 Keio Line과 424m x 2의 Sagamihara 라인의 총 1,606km로 구성되어 있다.

최소 곡선반경은 160m, 최대 종단구배는 3.5%이



그림 1. 터널 선형 및 위치별 터널근접도 현황

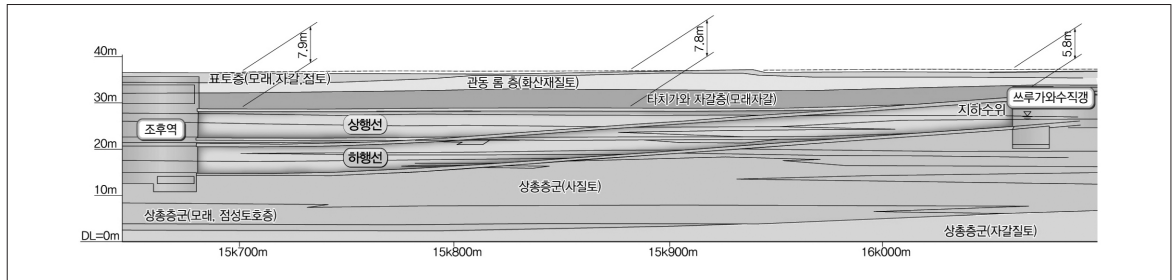


그림 2. Keio Line 선형 및 지층조건

며, 시공중인 터널의 약 4.3m 상부(0.64D)에는 지하철이 운행중에 있다. 상·하행 터널간 이격거리는 424mm로 초근접 상태이며, 부가적으로 최대 자갈직경이 300mm에 달해 TBM굴착이 매우 어려운 여건을 복합적으로 가지고 있는 현상이다.

3. 쉴드 TBM 터널 주요 제원 및 시공계획

3.1 쉴드 TBM 장비

통상적으로 세립분을 많이 함유한 지반일수록 토압식 쉴드 TBM의 적용성이 우수한 것으로 알려져 있으나, 본 현장의 경우 사질토 및 자갈층이 혼재된 지층조건임에도 이토압식 장비형식을 적용하여 시공중에 있었다. 자갈층 출현을 고려하여 이토압식 장비의 Screw Conveyor는 직경 850mm로 제작하여 최대

300mm의 전석층 처리가 가능토록 계획하였다.

최소 곡선 반경 R=160m의 급곡선 터널 시공을 위해 좌우 1.6°, 상하 0.5°로 중절되는 X중절 장치를 적용하였으며, 운행중인 철도하부의 최소 4.3m(0.64D) 위치에서 굴착하기 때문에 상부변위를 최소화하기 위하여 Skin Plate에 총 10개소의 뒷채움 주입관을 설치함으로써 Tail Void에 뒷채움 재료가 조기에 충분히 주입되도록 제작되었다. 아울러 지반변위를 조기에 발견할 수 있도록 붕괴검지장치 3기를 장착하였다.

3.2 장비 운용 현황

1,606km의 쉴드 TBM터널은 1대의 쉴드 TBM 장비로 굴착하도록 계획되어 있다. 맨 처음 쉴드 TBM 굴진은 Tsurukawa 수직갱에서 출발하여 Keio Line의 상행선을 굴착하고, Chofu역에서 방향을 전환한 장비는 Sagami-hara Line의 상행선을 굴착하여

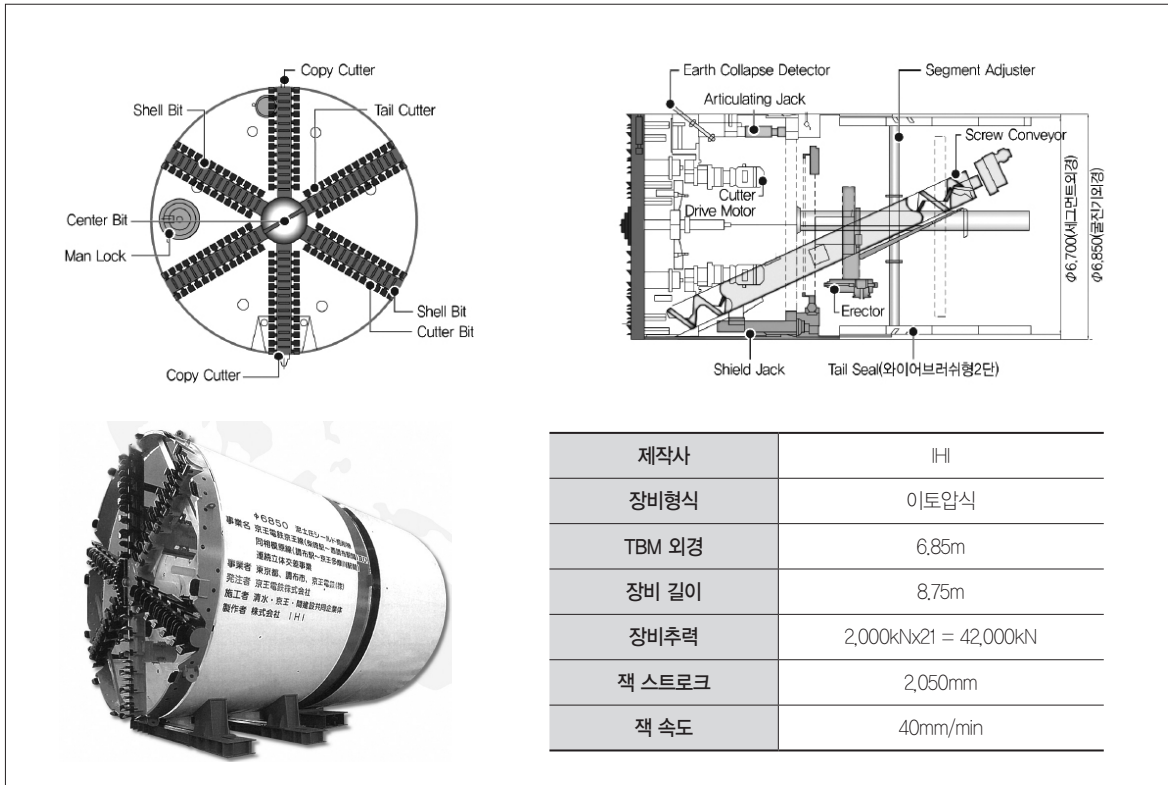


그림 3. 장비 주요 제원

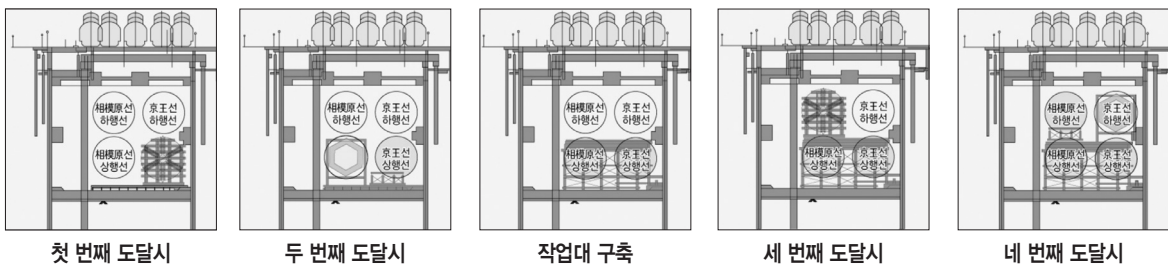


그림 4. V형 선형이 계획된 Chofu역에서의 장비 운용 개요

Shinagawa 수직갱에 도달하도록 계획되어 있다. 이후 Shinagawa 수직갱에서 방향을 전환한 장비는 Sagami-hara line의 하행선을 굴착하여 Chofu 역에 도달한 후에 장비 방향 전환 및 최종적인 Keio Line의 하행선을 굴착하여 최초 발진위치에 도달하도록 계획하였다.

3.3 세그먼트

세그먼트는 외부 하중 조건에 따라 RC 세그먼트와 합성 세그먼트(Composite Segment)를 같이 사용하고 있으며, 세그먼트 두께는 300mm이며 내경 6,100mm, 외경 6,700mm이다. 분할 수는 5+1(Key

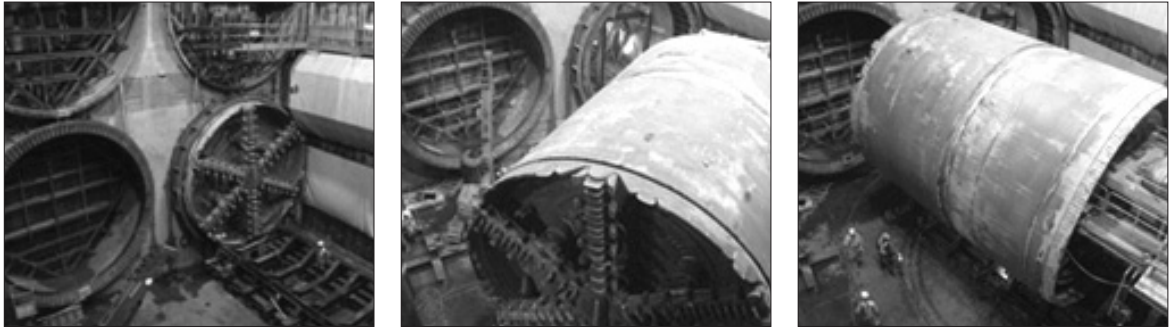
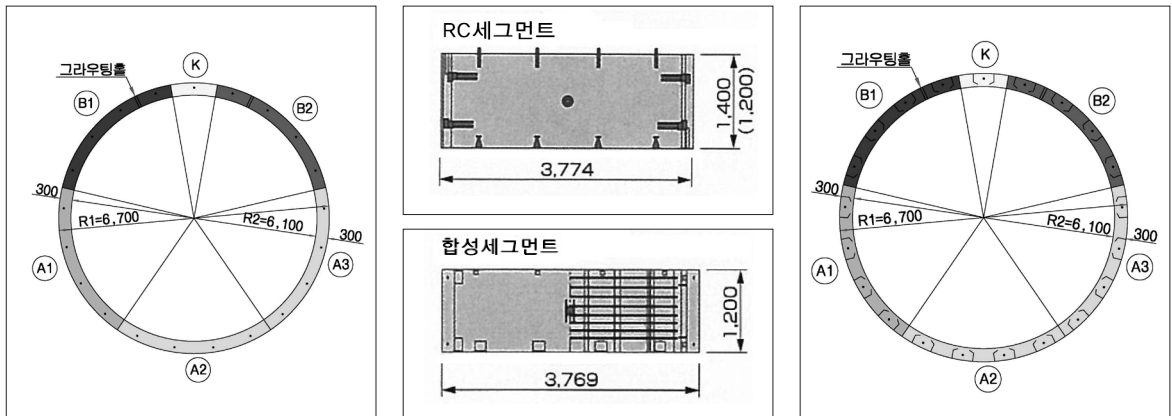


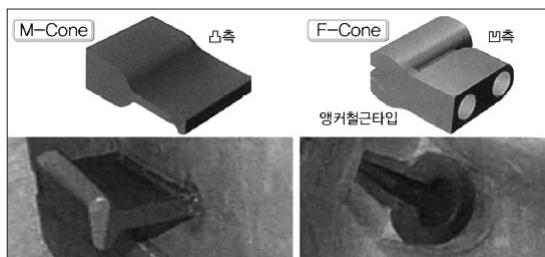
그림 5. Keio Line 상행선 굴착 후 Sagami Line 상행선 굴착을 위한 장비 U-Turn 전경



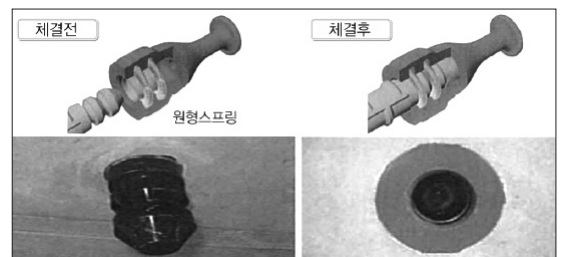
RC 세그먼트

합성 세그먼트

그림 6. RC 및 합성 세그먼트



세그먼트간 이음



링간 이음

그림 7. 세그먼트 이음부

Segment)이며 세그먼트 외주부 지수재는 수평창 지수재를 사용하였다.

세그먼트 폭은 선형조건에 따라 차등적용하였으며, 일반구간의 경우 1,400mm, 급곡선 구간(R=160mm)



그림 8. Tsurukawa 수직갱 Entrance

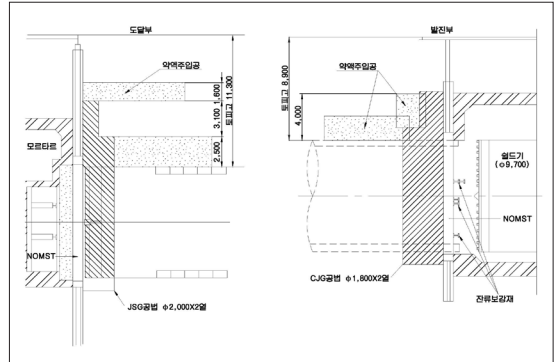


그림 9. NOMST에 의한 진입부 및 도달부 예

은 1,200mm를 적용하였다.

이음 형식으로는 세그먼트간에는 암수 구분에 의하여 체결되는 Cone-Connector를 사용하였으며, 링간 이음부에는 고강성의 Ta-Spring 체결방식을 적용하였다.

3.4 NOMST를 이용한 Entrance 시공

Chofu역에서는 상·하 및 좌·우 4개소의 Entrance, Tsurukawa 및 Shinagawa 수직갱에서는 상·하행 선 좌·우 2개의 Entrance가 계획되어 있기 때문에 근접한 기시공된 쉴드 TBM의 간섭을 최소화 한 상태에서 새로운 터널이 굴착되어야 한다.

이를 위하여 적용된 Entrance 가설방식이 NOMST공법이다. NOMST는 Novel Material Shield-Cuttable Tunnel Wall System의 머리글을 딴 것으로 쉴드 TBM의 면판 손상없이 바로 굴착이 가능한 벽체형식이기 때문에 기존에 굴착된 터널의 간섭이 최소화된 상태에서 신설터널의 굴착이 가능한 공법으로서 FRP 소재로 되어있다.

3.5 맷음말

본 현장은 일본 내에서도 지하철 운용효율 측면에서 효과적인 계획으로 알려져 있으며, 최초로 계획된

상·하, 좌·우 선형의 시공사례이다. 본 초근접 쉴드 TBM 시공사례가 우리에게 주는 시사점이라 한다면,

- ① 철도 또는 지하철의 운용중 이용자 편의성을 극대화 하기 위해서 일반적인 상식을 벗어난 다각적인 선형계획 및 터널 계획을 수립할 수 있다는 점과
- ② 장비형식별 굴착 가능 지반상태를 선정한다는 것 자체가 큰 의미가 없다고 할 수 있을 정도로 최근의 장비제작기술은 눈부시게 발전하고 있다. 지반조건 외에도 시공조건, 장비 제작여건 등을 고려하여 더욱 폭넓은 장비형식 적용성을 검토해야 한다는 점이다.

쉴드 TBM 터널은 좋은 설계 성과품과 함께 높은 시공기술력을 요구한다. 높은 굴진율을 확보하기 위한 노력도 중요하고, 본 고에서 제시한 바와 같은 근접시공시의 주변구조물 영향 최소화를 위한 기술역시 필요하다.

최근 해외 TBM발주가 많이 되고 있는 현 시점에서 국내에서도 많은 TBM공사가 발주되어 국내 TBM기술력이 다각적으로 발전되기를 기대하며 글을 마친다.