

제2강 도쿄 외곽순환 지하도로 프로젝트

The Tokyo Outer Ring Road Tunnel Project



김영근
(주)건화 R&D센터 부사장
공학박사 / 기술사

도쿄 외곽순환 지하도로 프로젝트(Tokyo Outer Ring Road Tunnel Project)는 도쿄 도심에서 약 15km 떨어진 외곽 지역을 고리 형태로 연결하는 총 연장 85km의 '도쿄외곽자동차도(C3)' 구축 사업 중 핵심 지하화 구간이다.

본 프로젝트의 주요 구간은 간에쓰 고속도로(오이즈미 JCT) ~ 도메이 고속도로(도메이 JCT)를 잇는 약 16.2km 길이로, 편도 3차로 터널 2개(왕복 6차선)와 분기점(JCT) 3개소, 나들목(IC) 3개소, 환기소 5개소의 주요 시설로 구성되어 있다.

본 프로젝트에 적용된 핵심 기술로는 초대형 쉴드 TBM 공법으로 일본 최대 직경인 약 16m 크기의 초대형 쉴드 TBM 여러 대를 투입하여 북쪽과 남쪽 양방향에서 굴착을 진행하였다. 또한 비개착 지중 접합공법을 적용하여 도심지 건물의 무너짐을 방지하기 위해 본선 터널과 진출입 램프 터널의 접합부를 지상에서 파내려가지 않고 땅속에서 직접 연결하는 특수 구조를 적용했다.

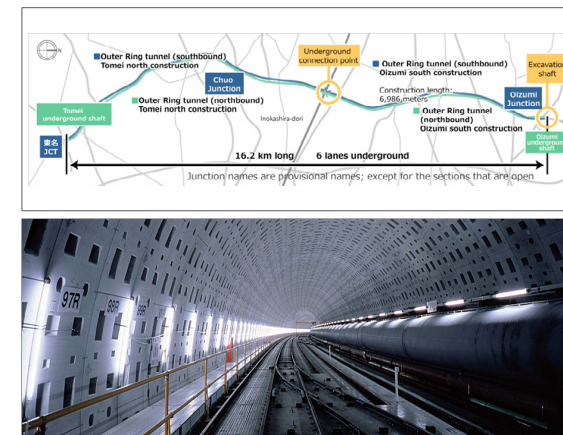
본 프로젝트는 도쿄 도심으로 진입하는 통과 교통량을 외곽으로 분산하여 수도권 고속도로망의 고질적인 만성 정체를 완화하고, 인구 밀집 지역의 지상 토지 수용 부담을 없애고 소음, 진동, 대기 오염을 예방하여 지상 환경을 보호하고자 하였다. 또한 도메이, 주오, 간에쓰 등 주요 방사형 고속도로를 고리로 묶어 수도권 전체의 유통 효율을 높이고 재해시 우회 경로를 확보하여 물류 및 방재 네트워크를 강화하고자 하였다.

당초 2020년 도쿄 올림픽에 맞춰 개통하는 것을 목표로 했으나 기술적 난이도와 주민 반발로 연기되었으며, 2020년 10월, 도쿄도 조후시 주택이 지하를 통과하던 쉴드 TBM 공사 직후 지상 도로가 함몰되고 지하 공동이 발견되는 사고가 발생하여 장기간 공사가 중단된 바 있다. 정밀 시추조사 및 안전 대책 마련을 위해 '터널 시공 재검토 위원회'를 구성·운영했으며, 이후 엄격한 지반 관리 기준 하에 순차적으로 굴진을 재개했으며, 2026년 6월 기준으로도 램프 쉴드 터널 및 지중확공 공사가 진행 중에 있다.

1. 프로젝트 개요

도쿄 외곽순환 지하도로 프로젝트(Tokyo Outer Ring Road Tunnel Project)는 도쿄 도심에서 약 15km 떨어진 외곽 지역을 고리 형태로 연결하는 총 연장 85km의 '도쿄 외곽자동차도(C3)' 구축 사업 중 핵심 지하화 구간이다. 주택이 밀집한 도쿄 서부 시가지의 환경 영향을 최소화하기 위해 토지 소유권이 미치지 않는 지하 40m 이하의 대심도(Deep Underground) 공간에 건설 중인 일본 최대 규모의 지하 고속도로 프로젝트이다. 본 프로젝트는 Tokyo Gaikan Expressway 중 미개통 구간이었던 '간에쓰 고속도로 ~ 도메이 고속도로' 구간(약 16.2km)의 연결 사업으로 현대 도심지 터널 공학의 한계를 시험하는 일본 토목 역사상 가장 혁신적인 대심도 메가 프로젝트이다.

도쿄 도심의 만성적인 교통 정체와 물류 병목 현상을 해소하기 위해 기획된 이 사업은, 지상부의 고밀도 주거지 매입 한계와 환경 민원을 원천적으로 극복하고자 지표면에서 40m 이상 깊이의 지하인 '대심도(Deep Underground Space)'를 굴착하였다. 편도 3차로 규격의 본선 터널을 동시에 구축하기 위해 세계 최대 수준인 외경 16m 급 대단면 쉴드 TBM 공법이 도입되었다. 도심지 지상부에 하중 및 진동 영향성을 주지 않으면서 지하 교통 축을 완성해 나가는 본 프로젝트는 메가시티가 직면한 공간 부족 문제를 해결할 미래 인프라의 상징적인 프로젝트라 할 수 있다.



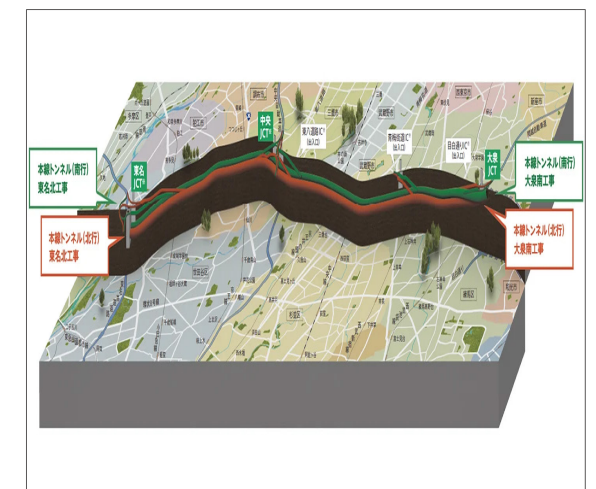
[그림 1] 도쿄 외곽순환 지하도로(Outer Ring Road) 프로젝트

2. 프로젝트의 주요 특성

도쿄 외곽순환 지하도로는 단순한 노선 연장이 아닌, 입체적 도시 계획과 대단면 터널링 기술이 결합된 결정체이다.

■ 대심도 지하의 입체적 활용

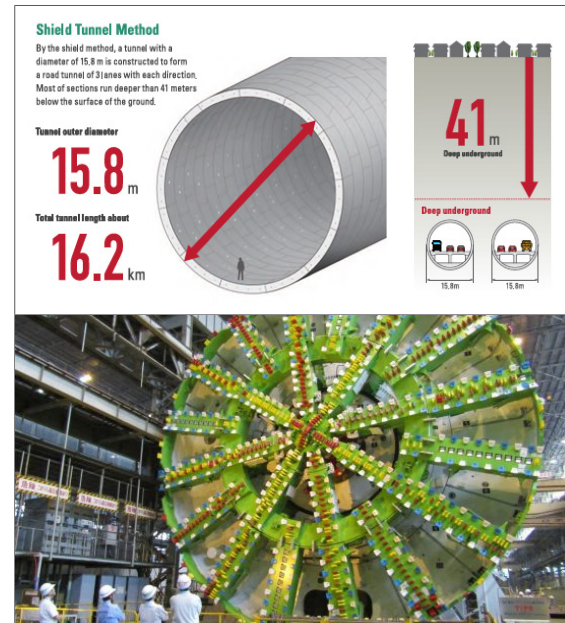
통상적인 지하철이나 공동구보다 훨씬 깊은 지하 40~50m 공간을 대상으로 하였다. 이는 일본의 '대심도 지하의 공공이용에 관한 특별조치법(대심도법)'에 의거하여, 지상 토지 소유주의 통상적인 권리가 미치지 않는 깊이를 활용한 것이다. 이를 통해 토지 보상 리스크와 행정적 절차를 획기적으로 줄이고, 곡선 반경을 최적화하여 선형 확보의 자유도를 극대화한 입체적 도시 계획의 결과이다.



[그림 2] 대심도 지하의 입체적 활용

■ 초대형 대단면 TBM 터널

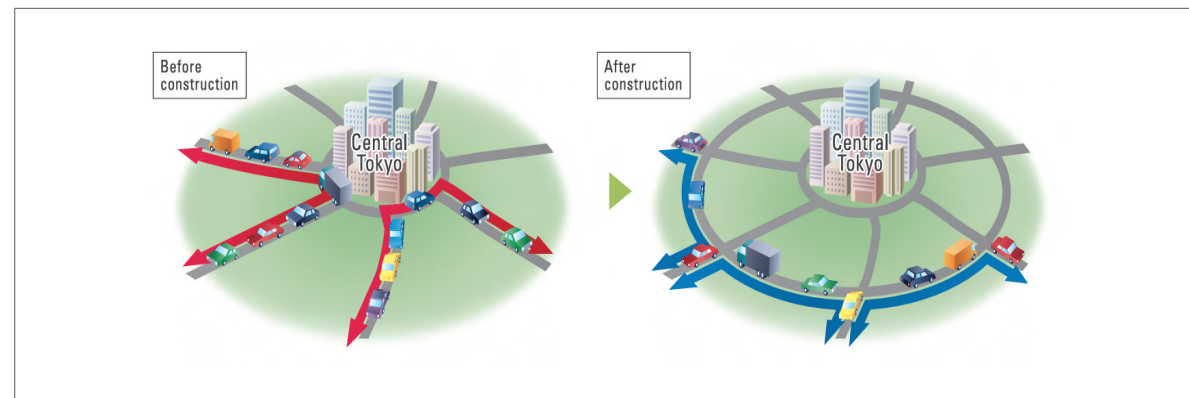
편도 3차로 고속도로와 비상 갓길, 환기 설비 공간을 하나의 단면에 수용하기 위해 외경 15.8~16.1m에 달하는 초대형 쉴드 TBM이 총 8대 동원되었다. 아파트 5층 높이에 달하는 거대 커터헤드가 도쿄 하부의 복잡한 토사 지반을 정밀하게 관통하는 압도적인 엔지니어링 스케일을 보여주는 메가(Mega) TBM이다.



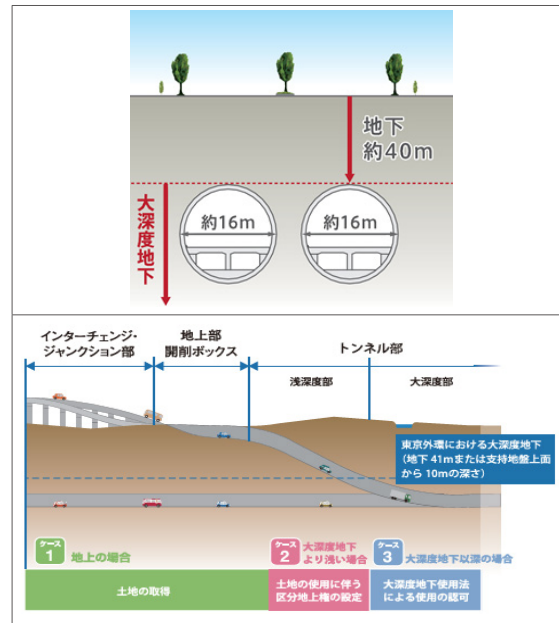
[그림 3] 초대형 대단면 TBM 터널

■ 병렬 쌍굴 터널의 최적화

남행 노선과 북행 노선이 약 16km 구간을 일정한 이격거리를 두고 나란히 달리는 병렬 구조이다. 초대형 단면 터널 두 기가 인접하여 동시에 전진하는 만큼, 선형 터널의 굴착이 후행 지반 및 터널 거동에 미치는 '상호 지반 간섭 효과'를 최소화하기 위해 고도의 3차원 수치해석과 실시간 굴착 제어 기술이 적용되었다. 또한 지상부에서 지하터널부로의 접속과 확폭 그리고 분기 구간에서는 가장 고난도의 굴착 및 보강기술이 적용되었다.



[그림 5] 광역 교통망 최적화



[그림 4] 병렬 쌍굴 터널의 최적화

■ 광역 교통망 최적화

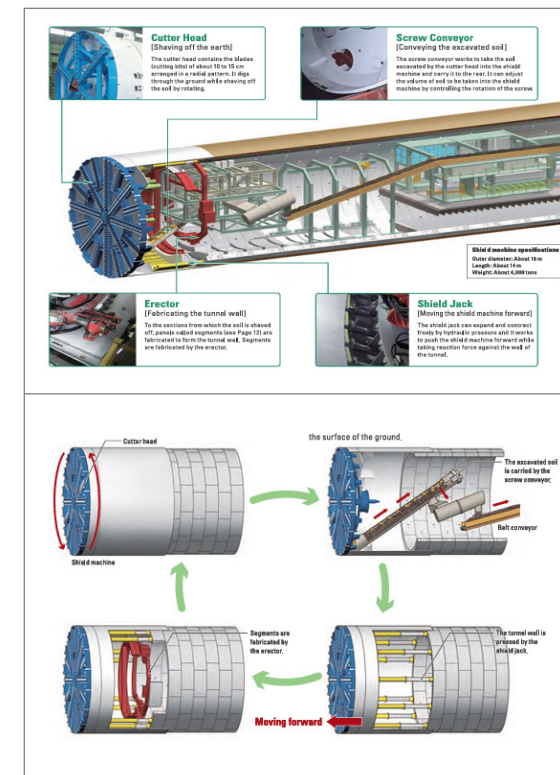
도쿄 중심부를 관통하던 방사형 고속도로망들을 외곽에서 링(Ring) 형태로 묶어주는 핵심 고리이다. 도심을 통과하던 단순 통과 교통량을 외곽으로 우회시킴으로써, 신주쿠, 시부야 등 도심 내 상습 정체 구간의 통행 속도를 획기적으로 끌어올리고 동서축 물류 효율성을 극대화하는 광역 네트워크 시스템의 핵심 자산으로 도심지 지하공간을 활용하는 도심지 지하도로의 상징적인 프로젝트이다.

3. 지하공사 핵심 기술

도쿄의 미고결 연약지반과 높은 지하수압을 극복하고 초대형 TBM을 안정적으로 전진시키기 위해 동원된 핵심 기술들이다.

■ Slurry 실드 TBM 기술

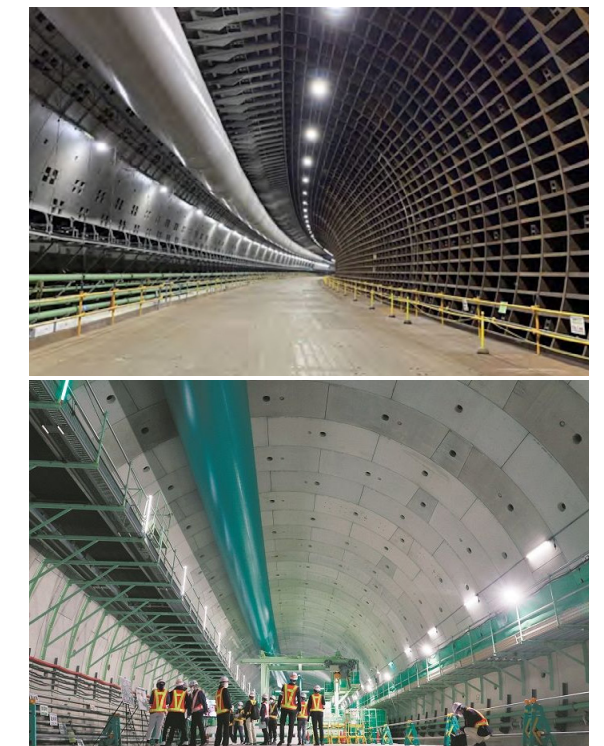
도쿄 지하의 높은 지하수압과 모래·자갈 위주의 대수층 지반을 안정적으로 지지하기 위해 고도의 이수가압 제어 시스템이 적용되었다. 챔버 전면의 막장 압력을 실시간 지하수압 및 토압에 맞추어 0.01bar 단위로 정밀 제어하여, 지반 변형과 막장 붕괴를 원천 차단하고 안정적인 굴착 효율을 유지하였다.



[그림 6] Slurry 실드TBM 기술

■ 고성능 복합 세그먼트 라이닝

높은 수압을 영구적으로 견딜 수 있도록 고강도 콘크리트 내부에 강재 프레임을 합성한 융복합 세그먼트 라이닝이 도입되었다. 특히 세그먼트 간 연결부의 내진 성능과 수밀성을 극대화하기 위해 특수 고무 개스킷과 볼트리스(Boltless) 조인트 기술이 총동원되어 구조적 신뢰성을 높였다.



[그림 7] 고성능 복합 세그먼트 라이닝

■ 콘크리트 슬래브 시공기술

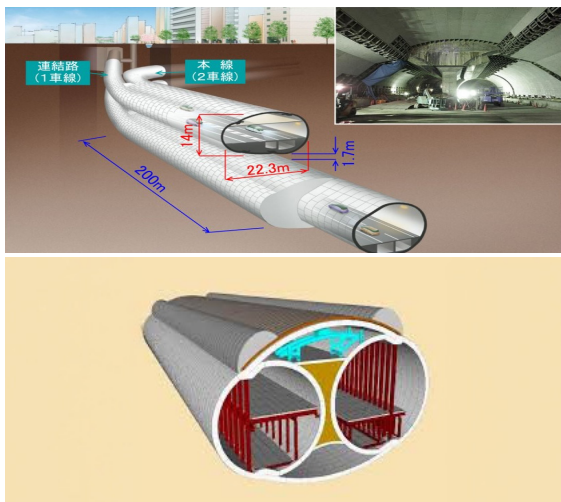
터널 하부에 거대한 내부 콘크리트 슬래브 구조물을 정밀하게 시공해야 한다. 대심도 장대 터널의 특성상 내부 환기와 시공 자재 운반 경로가 극도로 제한되므로, TBM 굴착과 동시에 내부 슬래브를 연속적으로 타설·조립해 나가는 '동시 시공(Simultaneous Construction) 프로세스'가 핵심 도전 과제였다. 이를 위해 프리캐스트(PC) 구조물의 모듈화 및 급결성 고강도 콘크리트 타설 공법을 고도화하여, 터널 내부 본체 구조물의 거동 변형을 최소화하고 급속 시공을 달성했다.



[그림 8] 콘크리트 슬래브 시공기술

■ 지중 확폭 기술

본선 터널과 IC 및 JCT의 유입·진출입로가 만나는 구간에서는 필연적으로 단면이 확대되어야 한다. 초대형 실드 TBM으로 본선 터널을 먼저 굴착한 후, 지상 도로 교통과 주거지에 상부 하중 영향을 전혀 주지 않는 상태에서, 지하 40m 아래 특수 그라우팅으로 지반을 선제적으로 보강했다. 이후 본선 세그먼트를 내부에서 해체하며 단면을 횡방향으로 안전하게 확폭해 나가는 초대형 지중 확폭 공법을 성공적으로 적용하여, 지하 분기부 시공에서 요구되는 고난도 기술 수준을 잘 보여주는 사례라 할 수 있다.

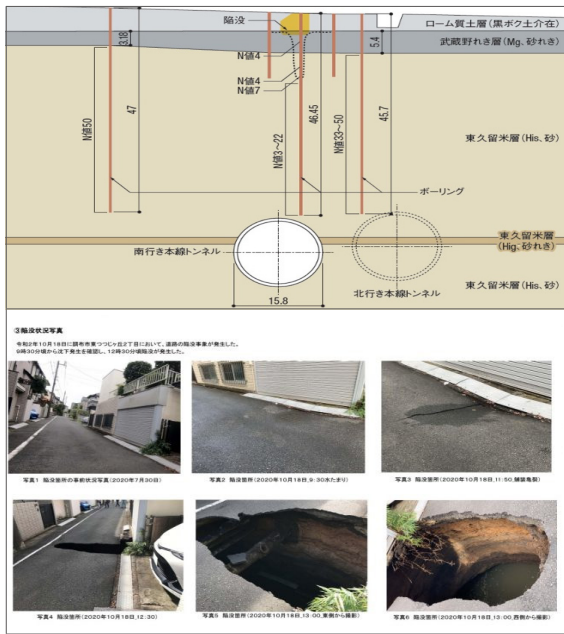


[그림 9] 지중 확폭 기술

4. 주요 이슈사항

■ 도심지 주택가 지반 함몰 사고

2020년 10월, 도쿄의 한 주택가 마당과 도로가 갑자기 함몰되고 지하에서 거대한 공동이 발견되는 사고가 발생했다. 대단면 TBM이 자갈층과 점성토가 반복되는 특수 연약지반을 통과할 때, 토사 배출량 제어 및 막장 압력 관리에 불균형이 발생하여 토사가 TBM 내부로 과도하게 유입된 것이 원인이었다. 이 사고는 대심도 공사라 하더라도 지반 조건과 시공관리가 적절하지 않으면 지상부에 영향을 줄 수 있음을 보여준 사례이다.



[그림 10] 도심지 주택가 지반 함몰 사고

■ 공사 전면중단과 공기 연장

도심지 지반 함몰 사고 직후 프로젝트 전 구간의 TBM 굴진 작업이 전면 중단되었다. 단순한 기술적 보완을 넘어 주민들의 불안감을 해소하고, 민관 합동 조사위원회를 통한 정밀 원인 규명 및 재발 방지 대책을 수립하는 데만 많은 세월이 소요되면서 대형 인프라 사업에서 시공 리스크가 공사기간과 사업비, 주민 수용성에 미치는 영향이 매우 크다는 점을 보여주었다. 일부 구간의 주민 협상 난항과 환경

문제로 전체 터널 공사의 완공 목표(2031년 3월) 역시 사실상 달성이 어려워진 상황이다.



[그림 11] 공사 전면중단과 공기 연장

■ 주민 불안과 대민 신뢰의 위기

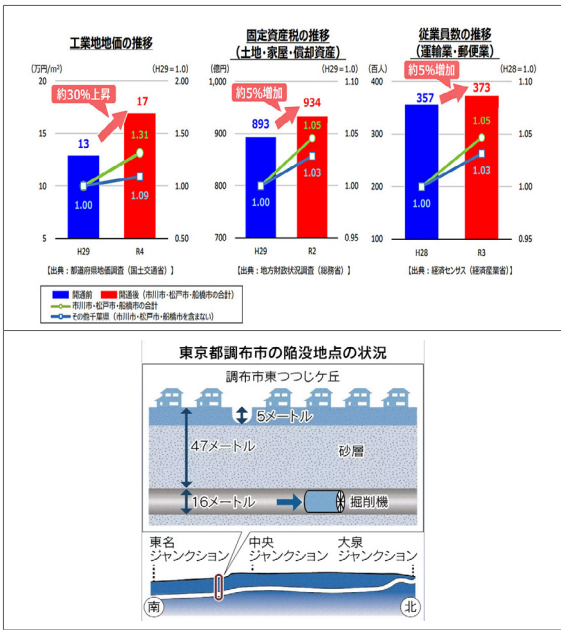
“내 집 밑 40m 아래 대심도에서는 아무런 영향이 없을 것”이라던 정부와 학계의 장담(대심도법의 근간)에 의문이 제기되면서 주민들의 불안감이 극도에 달했다. 미세 진동, 소음 및 건물 벽체 균열에 대한 민원이 폭증했고, 대형 국책 사업에 대한 사회적 합의를 다시 이끌어내고 대민 신뢰를 회복하는 데 엄청난 행정적·정치적 노력이 소요되었다.



[그림 12] 주민 불안과 대민 신뢰의 위기

■ 재정적 리스크와 공사비 급증

지반 함몰 사고 이후 지반을 안정화하기 위한 고압 분사 그라우팅 등 대규모 지반 보강 공사 비용, 불안을 느끼는 주민들의 이주 대책 비용 및 건물 수리 보상비가 발생했다. 여기에 수년간 8대의 거대 TBM 현장을 유지 관리해야 하는 간접비와 물가 상승분(Escalation)이 눈덩이처럼 불어나며 당초 1조 2,820억 엔이었던 계획은 2조 7,625억 엔에 이르렀다. 향후 협의에 따라 추가적인 재정 부담(국민 부담 및 NEXCO 각사의 부담)이 발생할 위험이 있어 사업비 관리 체계에 거대한 과제를 남겼다.



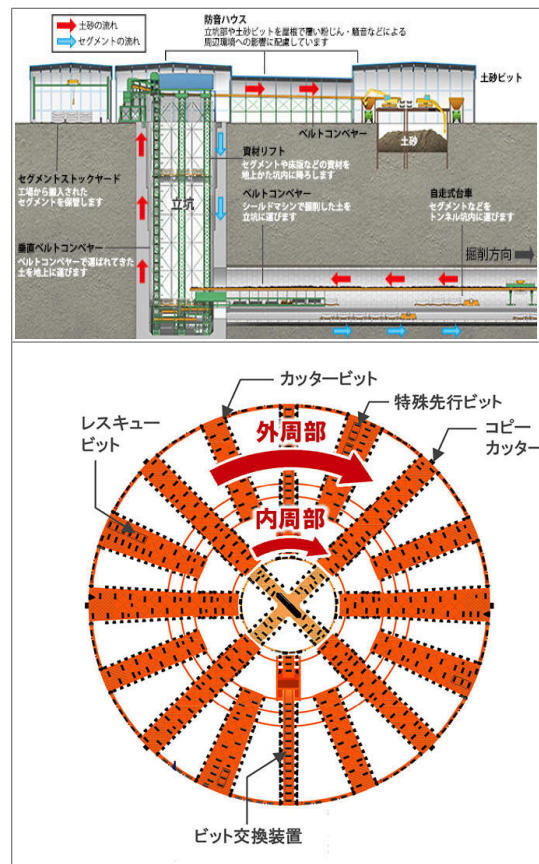
[그림 13] 재정적 리스크와 공사비 폭증

5. 교훈(Lesson Learned)

도쿄 외곽순환 지하도로의 시련은 전 세계 대심도 TBM 엔지니어링의 패러다임을 혁신하는 귀중한 교훈이자 마일스톤이 되었다.

■ 철저한 토사 배출량 관리 체계

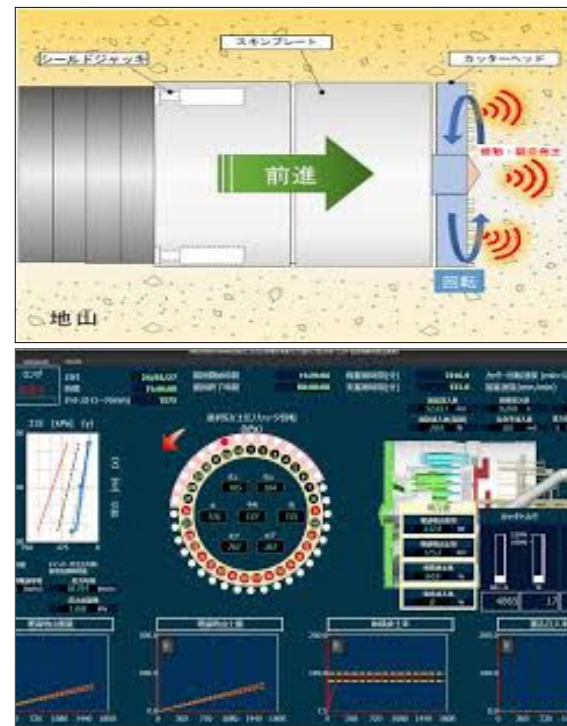
대단면 TBM 굴착 시 이론적인 굴착 부피(배출량 계산치)와 토사 배출 펌프 및 벨트를 통해 실제로 배출되는 토사의 중량·부피를 실시간으로 계측하여 대조하는 ‘토사 밸런스 모니터링 시스템(Muck Volume Management)’의 기준이 더욱 강화되었다. 미세한 과굴착(Over-excavation) 조짐만 보여도 즉시 TBM을 멈추고 막장 압력을 재조정하는 엄격한 프로세스가 확립되었다.



[그림 14] 철저한 토사 배출량 관리 체계

■ 3차원 지질 리스크 관리

도심지 대심도는 수직 시추조사만으로는 수미터 간격의 지질 변화를 100% 예측하기 어렵다. 본 프로젝트 이후, 기존 시추 데이터에 TBM의 실시간 굴착 매개변수(토크, 추진력, 막장압)를 역해석 데이터로 결합하여 터널 전방의 3차원 지질 위험도를 상시 업데이트하는 기법이 고도화 되었다.



[그림 15] 3차원 지질 리스크 관리

■ 사회적 수용성과 정보의 투명성

2022년에 “재발방지책이 구체적으로 제시되지 않았다”며 일부 구간(약 9km)의 공사 금지를 명하는 가처분을 결정했다. 지하 공사라 할지라도 지상 주민과의 소통이 차단되면 사업 자체가 장기 좌초될 수 있음을 보여주었다. 공사 진행 현황, TBM 위치, 실시간 지반 변위 계측 데이터를 웹사이트 등을 통해 지역 주민에게 투명하게 공개하고 설명회를 개최하는 ‘소통 엔지니어링(Communication Engineering)’의 매뉴얼이 정립되었다.



[그림 16] 사회적 수용성과 정보의 투명성

■ 선제적 보상 및 재발방지 가이드라인

민원 제기 시 기술적 인과관계가 명확히 입증되기 전이라도 주민의 안전과 재산을 보호하기 위해 선제적으로 이주를 지원하고 보상하는 프로세스가 정립되었다. 이는 향후 대규모 지하공간 개발 사업 시 리스크 매니저들이 반드시 확보해야 할 비상체제(Contingency)의 성격을 구체화하는 계기가 되었다. 국토교통성 등은 「실드 터널 공사의 안전·안심한 시공에 관한 가이드라인」을 정리해, 타구간의 공사 재개에 있어서 재발 방지책의 철저를 도모하고 있다.

6. 핵심 정리

도쿄 외곽순환 지하도로 프로젝트는 현대 도심지 대심도 터널 공학이 직면한 한계적 제약 요인들을 정면으로 돌파하는 과정에서, 전 세계 메가시티 지하공간 개발의 ‘기술적 패러다임’을 바꾸어 놓았다. 전문 기술자적 관점에서 우리가 설계 및 시공 실무에 반드시 반영해야 할 실질적인 엔지니어링 결과는 다음과 같다.

① 대단면 실드 TBM 메커니즘의 한계 돌파

직경 16m급 초대형 Shield TBM의 운용은 기존 중소구경 터널링과는 차원이 다른 역학적 메커니즘 제어를 요구했다.

● **막장압 제어의 극한 정밀화** : 대단면 TBM은 커팅 페이스 상하부의 수압 및 토압 차이(위치 수두 차이)가 매우 크게 발생한다. 본 프로젝트는 챔버 내부의 Slurry 비중과 압력을 상하부 역학적 불균형에 맞추어 0.01bar 단위로 선형 제어하는 복합 압력 제어 기술을 완성하여, ‘초대형 TBM의 막장 안정성 설계 표준’을 정립했다.

● **세그먼트 라이닝의 구조적 진화** : 거대한 이완 토압과 대심도 고수압에 영구적으로 저항하기 위해, 고강도 강재 프레임과 콘크리트를 일체화한 복합 구조 세그먼트가 표준화되었다. 특히, 지진 시 터널의 Flexibility를 확보하기 위한 볼트리스(Boltless) 지능형 조인트와 특수 복합 개스킷 설계는 대심도 장대 터널의 내진·방수 설계 지침의 초석이 되었다.

② 도심지 대심도 리스크 관리의 재정립

2020년 주택가에서 발생한 지반 함몰 사고는 “대심도(지하 40m 이하)는 지상에 아무런 영향을 주지 않는다”는 기존 토목학계의 생각을 깨뜨린 사례이다.

● **실시간 토사 밸런스 시스템(Muck Volume Balance Analysis)** : 미고결 자갈층이나 호층 지반에서 TBM 전진 시, 커터헤드가 토사를 과도하게 긁어오는 ‘과굴착(Over-excavation)’을 원천 차단하는 계측 기법이 고도화되었다. 배출되는 토사의 중량, 부피, 슬러리 밀도 변화를 AI 알고리즘으로 실시간 연산하여 이론적 굴착량과의 오차율을 1% 이내로 제어하는 ‘실시간 통합 메커니즘 모니터링’이 의무화되었다.



[그림 17] 선제적 보상 및 재발방지 가이드라인

● **전방 지반 예측 센싱(Look-Ahead Sensing)** : 수직 시추조사선의 사각지대를 해소하기 위해, TBM 커터헤드 자체에 전기 비저항 탐지 장치와 지하수 추적 센서를 탑재했다. 막장 전방 20m 앞의 막장 지질 변화 및 지장물을 3차원으로 시각화하는 기술이 실무 시공 표준으로 정립되었다.

③ 대심도 스마트 O&M 및 방재 인프라 구축

본 프로젝트는 연장이 16km에 달하는 대심도 쌍굴 터널로서, 화재 및 침수 등 재난 발생 시 승객의 안전을 확보하기 위한 방재 공학의 결정체이다.

☞ 입체적 대피 시스템 설계 : 남행·북행 터널 사이에 일정 간격으로 연결 통로(Cross Passage)를 배치하는 것은 물론, 대심도 특성을 고려하여 지상으로 직접 연결되는 수직 환기구 및 탈출 샤프트(Evacuation Shaft) 설계 기법을 정밀화했다.

● **통합 O&M 플랫폼** : 완공 후 터널 내부의 제트팬 환기 제어, 미세먼지 저감 장치, 누수 자동 감지 센서를 하나의 가상 공간에 매핑하는 디지털 트윈(Digital Twin) 시스템을 선제적으로 적극 도입했다. 이를 통해 터널 생애주기 전반(LCC)의 유지관리 효율성을 극대화하는 기틀을 마련했다.

④ Social Engineering의 중요성 확립

아무리 뛰어난 공법과 완벽한 구조 계산이 뒷받침되더라도, 지역 사회의 동의와 신뢰가 없다면 메가 프로젝트는 단 한 걸음도 나아갈 수 없다는 상생의 교훈을 남겼다.

● **정보의 투명한 시각화** : 대심도법의 신뢰 회복을 위해 TBM의 실시간 위치, 일일 굴착량, 지반 침하 계측 데이터를 대중에게 실시간으로 웹상에 공개하는 시스템을 정립했다.

● **선제적 리스크 보상 매뉴얼** : 시공 중 발생할 수 있는 미세진동 및 소음에 대한 민원 처리 절차를 체계화하고, 기술적 인과관계 규명 전이라도 주민의 불안을 해소할 수 있는 선제적 구제 프로세스를 마련함으로써 공공 인프라 사업의 ‘사회적 수용성’ 확보 기준을 세웠다.

제2강을 마치면서 - 대심도 지하도로 기술의 도전과 교훈

도쿄 외곽순환 지하도로 프로젝트는 우리 토목 엔지니어들에게 대심도 터널링의 미래를 가리키는 4가지 이정표를 남겼다.

● **Technological Frontier (기술적 한계 돌파)** : 16m급 초대형 Shield TBM의 기계적 성능 한계를 확인하고, 초연약 지반에서의 막장 제어 기술력을 한 단계 업그레이드한 기술적 성과이다.

● **Deep Space Blueprint (대심도 공간의 청사진)** : 국토가 좁고 고밀도로 개발된 메가시티에서 대심도 지하 공간을 어떻게 입체적인 교통축으로 활용할 수 있는지 공간적 패러다임을 정립했다.

● **Operational Vigilance (시공 관리의 경각심)** : “지하 대심도 설계에 안전지대란 없다”는 사실을 증명하며, 사소한 토사 제어 실패가 메가 프로젝트 전체를 멈출 수 있다는 철저한 데이터 기반 시공관리를 강조하고 있다.

● **Social Resilience (사회적 회복 탄력성)** : 인프라 엔지니어링의 완성은 단순히 구조물을 안전하게 짓는 것을 넘어, 지역 사회의 안녕과 주민과의 신뢰 관계를 유지할 때 비로소 달성된다는 본질적 가치를 확정했다.

도쿄 외곽순환 지하도로 프로젝트는 토목 기술자들에게 “지하 대심도 개발에 결코 공학적 자만은 용납되지 않는다”는 뼈아픈 교훈을 심어준 ‘상징적인 프로젝트’이다. 동시에, 한 번의 거대한 시련을 정면으로 돌파하며 도출해 낸 정밀한 실패 데이터와 시공 제어 솔루션들은 미래의 대심도 프로젝트들을 안전하게 지탱해 줄 가장 견고한 기초가 되었다.

본 프로젝트는 결코 “도심지 지반 함몰 사고로 공사가 지연된 실패작”으로 남겨져서는 안 된다. 전문 기술자들에게는 초대형 TBM이 도심지 대심도에서 부딪힐 수 있는 모든 리스크의 실체를 생생하게 보여준 ‘가장 가치 있는 교훈’이라 할 수 있다. 우리는 본 프로젝트가 남긴 이 소중한 교훈을 철저히 분석하고 내재화하여, 현재 우리가 마주하고 있는 국내 도심지 대심도 지하고속도로 사업에서 허용 가능한 변위를 엄격하게 관리하는 정밀 엔지니어링 체계를 구축해야 할 것이다. 그것이 바로 기술적 정교함 위에 사회적 책임이라는 마인드를 불어넣어, 토목공학을 ‘안전의 대명사’로 끌어올리는 미래 세대 엔지니어들의 숙명이자 사명이라 할 수 있다.

4개의 Key Word

도쿄 외곽순환 지하도로 프로젝트는 대도시가 직면한 교통 문제를 해결하기 위한 거대한 도전이다. 주거 밀집 지역을 피하기 위해 도로를 지하로 내리고, 대심도 공간을 활용하

며, 초대구경 쉴드터널 기술을 적용했다는 점에서 매우 흥미로운 사례이다. 4개 Key Word로 다시 보는 도쿄 외곽순환 지하도로는 다음과 같다.

■ Key Word 1. 도시 교통의 재구성

도쿄 외곽순환 지하도로는 단순한 도로터널이 아니다. 도쿄 도심으로 집중되는 교통을 외곽에서 분산시키고, 방사형 도로망을 순환형 네트워크로 연결하는 도시 교통 재구성 사업이다. 대도시의 교통 문제는 도로 하나를 더 놓는 방식만으로 해결되지 않는다. 전체 네트워크의 흐름을 바꾸는 전략이 필요하다.

■ Key Word 2. 대심도 지하공간의 활용

본 프로젝트는 지상 공간이 부족한 대도시에서 대심도 지하공간을 어떻게 활용할 수 있는지를 보여준다. 지하 40m 이상 깊이에 대형 도로터널을 설치함으로써 지상부 영향을 줄이고자 했다. 그러나 대심도는 만능 해법이 아니다. 깊어질수록 수압, 토압, 시공관리, 방재, 유지관리의 난이도도 함께 증가한다.

■ Key Word 3. 대구경 쉴드 TBM 터널의 기술력

약 16m급 대구경 쉴드 TBM을 활용한 본선 터널 시공은 이 프로젝트의 핵심 기술이다. 대구경 쉴드터널은 도심지 장거리 터널에 효과적인 공법이지만, 막장 안정, 배토량 관리, 지반손실 제어, 세그먼트 시공, 지중확박 등 고난도 기술을 요구한다. ‘큰 장비’보다 중요한 것은 ‘정밀한 관리’이다.

■ Key Word 4. 신뢰 기반의 지하개발

도쿄 외곽순환 지하도로가 주는 가장 큰 교훈은 지하개발에는 기술뿐 아니라 신뢰가 필요하다는 점이다. 도심지 지반함몰 사고는 대심도 지하공사라도 지상 생활과 분리될 수 없다는 사실을 보여주었다. 앞으로의 도시 지하도로 사업은 설계·시공·계측·주민소통이 하나의 시스템으로 움직여야 한다.