

싱가포르 도심지하철 2단계 921공구 프로젝트(DTL2 C921)



방준호
쌍용건설
DTL2 C921
설계차장/공학박사



송충한
쌍용건설
DTL2 C921
설계팀장



김우상
쌍용건설
DTL2 C921
공사팀장



김남현
쌍용건설
DTL2 C921
현장소장



조 현
쌍용건설
토목사업본부
상무/공학박사

1. 프로젝트 개요

싱가포르 도심지하철 2단계(DTL2)는 그림 1과 같이 2015년 개통을 목표로 싱가포르 서북부의 부킷판장(Bukit Panjang) 지역과 중앙 남부도심지역의 로처 정거장(Rochor Station)까지 총 연장 16.6km를 연결하는 도심 지하철 공사로, 1개의 차량기지와 12개의 정거장 및 각 정거장간을 연결하는 TBM 터널(Bored Tunnel)과 개착식 터널(Cut & Cover Tunnel)로 구성되어 있다.

921공구는 DTL2 10개 공구 중 마지막 구간으로써 약 1.1km의 단선병렬 지하철 현장이며 설계와 시공을 동시에 진행하는 실시설계/시공병행(Fast Track) 방식의 공사이다. 당 현장은 그림 2와 같이 로처 정거장 및 리틀인디아 정거장(Little India Station), 2개의 신설 정거장과, 두 정거장을 60m의 NATM 터널(Mined Tunnel) 및 340m의 개착식 터널(Cut & Cover Tunnel)로 연결하고, 로처 정거장에서 DTL1 903공구의 부기스 정거장(Bugis Station)

까지 293m의 구간을 TBM 터널(Bored Tunnel)로 연결하는 전형적인 도심지 공사이며, 기존의 부킷티마 수로(Bukit Timah Canal)를 영구이설하기 위한 박스형 수로구조물을 새로이 시공하고, 신설되는 로처 정거장 상부에 장래 계획 중인 6차선의 지하고속도로(Future Underground Infrastructure) 중 약 160m를 정거장과 병행 시공해야 하는 복잡한 공사구간이다. 발주처는 싱가포르의 육상교통망을 통합연계 하고 육상교통 정책을 총괄기획하고 있는 싱가포르 육상교통청(LTA, Land Transport Authority)이며, 최종 설계 및 공사 승인기관은 싱가포르 건설청(BCA, Building & Construction Authority)이다.

싱가포르 LTA에서 발주되는 지하철 공사는 주로 도심에서 시공되기 때문에 본 구조물을 시공하기 위해서는 매설되어 있는 전력선, 상하수도관, 통신선, 가스관 등의 공공시설을 관리하는 기관과의 협의와 승인이 필요하며, 원활한 시공을 위해 인근 주민과 건물주를 대상으로 주기적으로 공사진행 상황과 향후 공사계획에 대해 통보하여

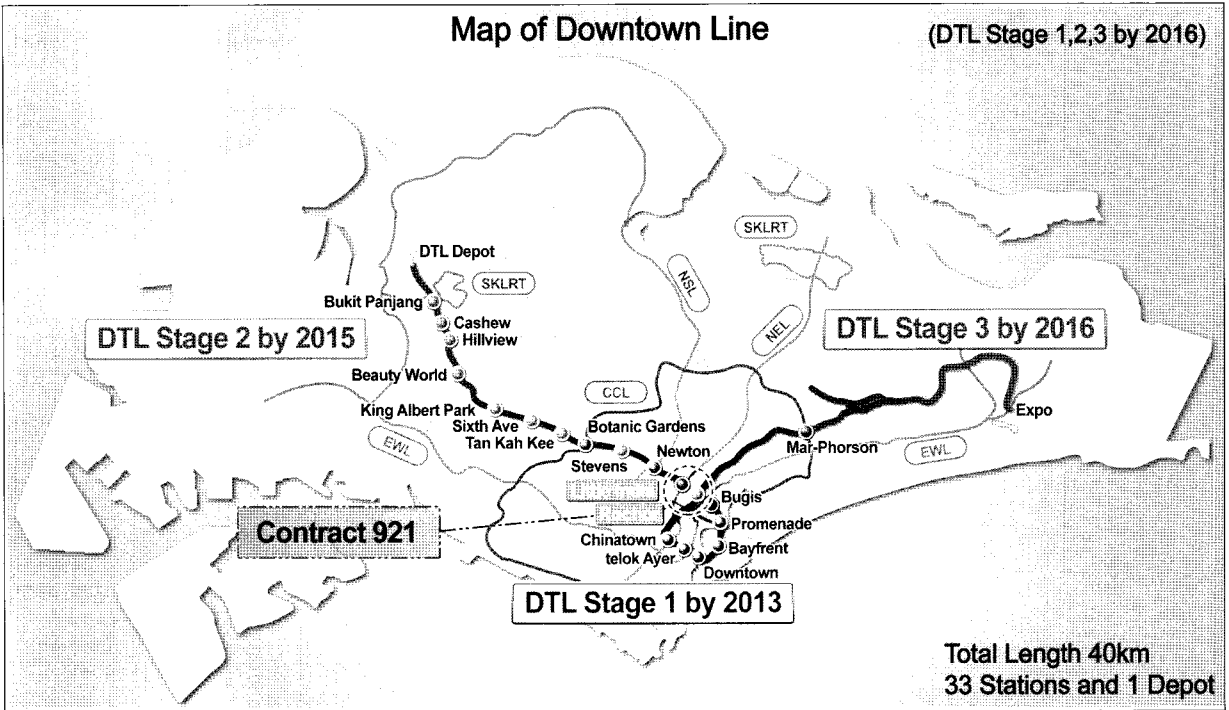


그림 1. DTL 노선 계획 및 921공구 위치

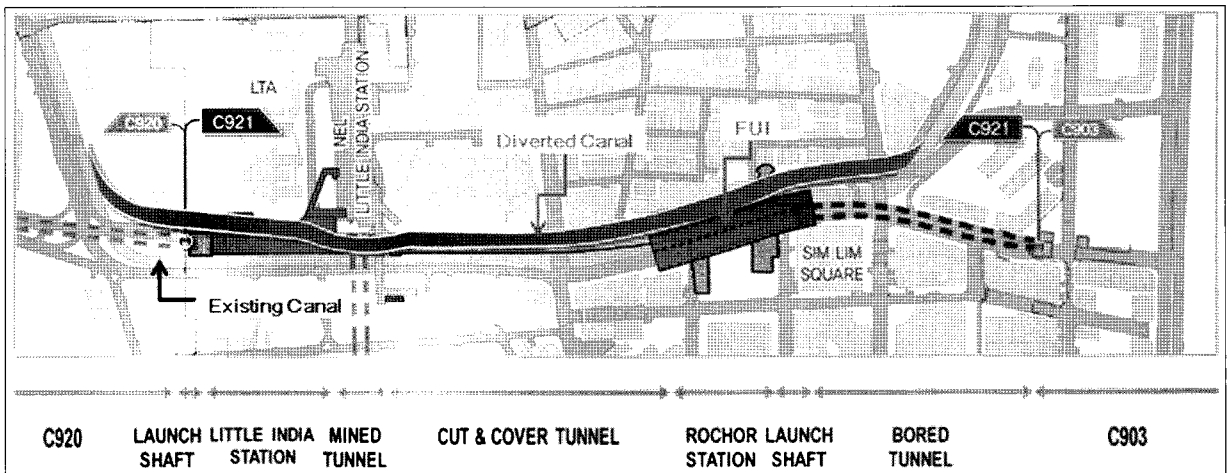


그림 2. 921공구 노선 현황

사전에 민원을 예방해야 하는 등 본 공사 이외의 부수적인 절차가 많다. 특히 본 구조물의 설계와 시공에 대한 승인을 얻기 위해 많은 절차를 거쳐야 하는데, 설계사(QPD,

Qualified Person for Design)는 시공사와의 협의를 통해 결정된 구조물 설계안을 설계감리(AC, Accredited Checker)에 제출하여 승인을 얻고 다시 최종 승인기관인 BCA에

제출하여 승인을 얻는 과정을 따르게 된다. AC 및 BCA의 승인 과정은 원칙적으로 각각 최소 1개월 이상이 소요되므로 공사에 지장을 주지 않기 위해서는 정밀한 설계와 시공일정 관리가 필수적이다. 본 구조물의 시공은 BCA의 최종 승인도면으로 작성된 QPD의 시공도면(Construction Drawing)과 협력업체의 시공계획서(Method Statement)를 시공감리(QPS, Qualified Person for Supervision)와 LTA에 제출하여 승인을 받은 후 비로소 진행할 수 있다.

2. 지질조건

싱가포르의 지질은 크게 5가지의 대표지층이 분포하고 있는 것으로 보고되고 있다. 싱가포르 섬의 중앙 북부지역에서는 부킷티마 화강암(Bukit Timah Granite)으로 대표되는 화성암이 주로 분포하고 있고, 사암(sandstone),

실트암(siltstone), 석회암(limestone) 등의 퇴적암과 풍화잔류토로 이루어진 주롱포메이션(Jurong Formation)은 서부와 남서부 지역에서, 고결화된 층적층인 올드앨루비움(Old Alluvium)은 동부지역에서 나타나고 있다. 또한, 암편(Rock Fragment)과 전석(Boulder)이 포함되어 있는 단단한 점토층인 포트캐닝볼더베드(Fort Canning Boulder Bed)는 중앙 상업지역(Central Business District)을 중심으로 분포하며, 중앙 남부와 동부 지역에서는 층적 모래층(Fluvial Sand), 층적 점토층(Fluvial Clay), 해상 점토층(Marine Clay)으로 구성되어 있는 칼랑포메이션(Kallang Formation)이 주로 분포하고 있다.

당 현장은 싱가포르의 5가지 대표 지층 중 4가지 지층의 경계에 위치하고 있어 다양한 지질이 혼재되어 분포하는 특징을 가지고 있는데, NATM 터널 구간과 실드 TBM 터널 구간의 지질 조건은 그림 3에서 보는 바와 같이 발주처에서 제공한 기본 지반조사보고서(GIBR, Geotechnical

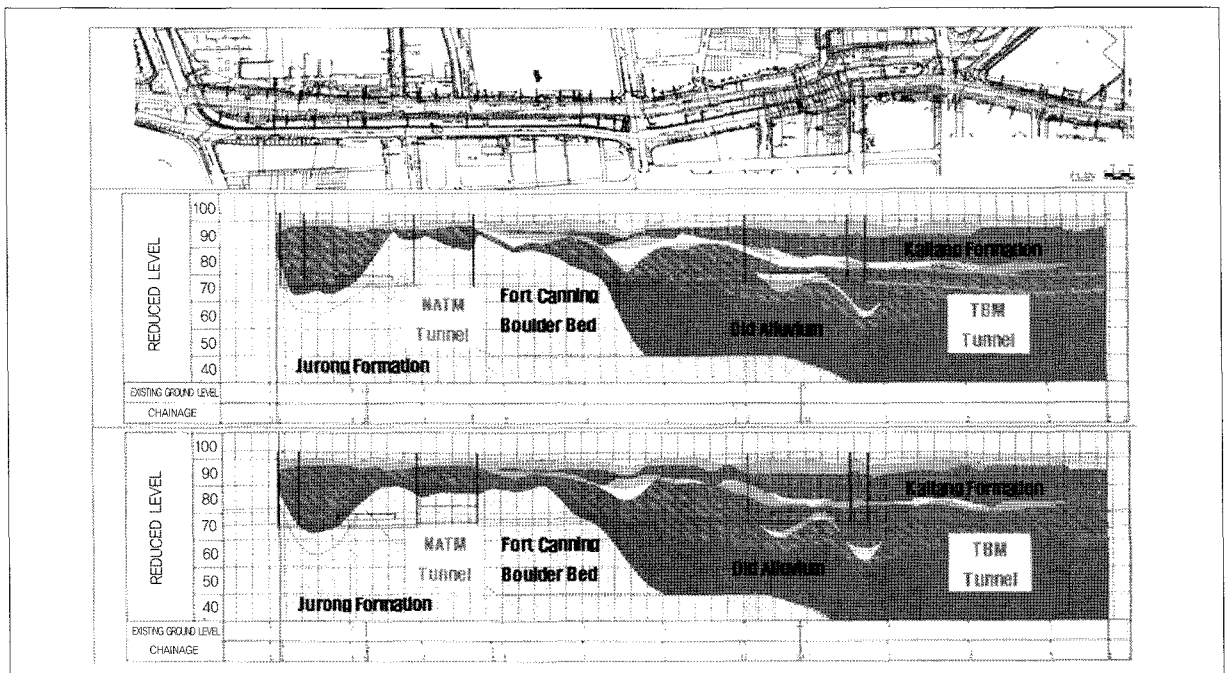


그림 3. 921공구 지질분포

Interpretative Baseline Report)와 추가로 시행된 지반조사 (C921 Additional SI Report)를 통해 파악되었다.

NATM 터널 구간은 지표면 아래로 매립층과 층적 모래 층 및 층적 점토층이 연속해서 분포하는 칼랑포메이션층 이 나타나고 그 하부에 터널이 통과하게 되는 포트 캐닝 불더베드층이 두껍게 분포하며, 이 구간에서의 지하수위는 지표면 아래 약 1.5~4.0m에 위치하고 있는 것으로 조사되었다.

TBM 터널 구간은 지표면 아래로 매립층, 해성점토층의 칼랑포메이션층이 나타나고 그 하부에 올드앨루비움 층이 두껍게 분포하는 것으로 파악되었다. TBM 터널은 주로 올드앨루비움층을 통과하도록 계획되었고 로처 정거장의 발진수직구(Launching Shaft) 전방 약 40m 구간에서는 층적모래층과 해성점토층을 통과하게 되며 이 구간에서

의 지하수위는 지표면 아래 약 1.0m에 위치하고 있다.

3. 실드 TBM 터널 설계

3.1 과업구간 현황

로처 정거장과 DTL1 903공구의 부기스 정거장을 연결 하게 되는 TBM 터널은 그림 4와 같이 서북부 부킷판장 방향의 5차선 도로 아래 약 25~27m 깊이에서 시공되는 직경 6m, 연장 293m의 단선병렬터널로 5차선 도로 아래에는 통신선, 전력선, 가스관, 상하수도관 등 공공시설 (Public Service Line)이 다수 매설되어 있다. 또한 도로 양쪽으로는 주거시설과 상업시설이 밀집해 있고 유동인

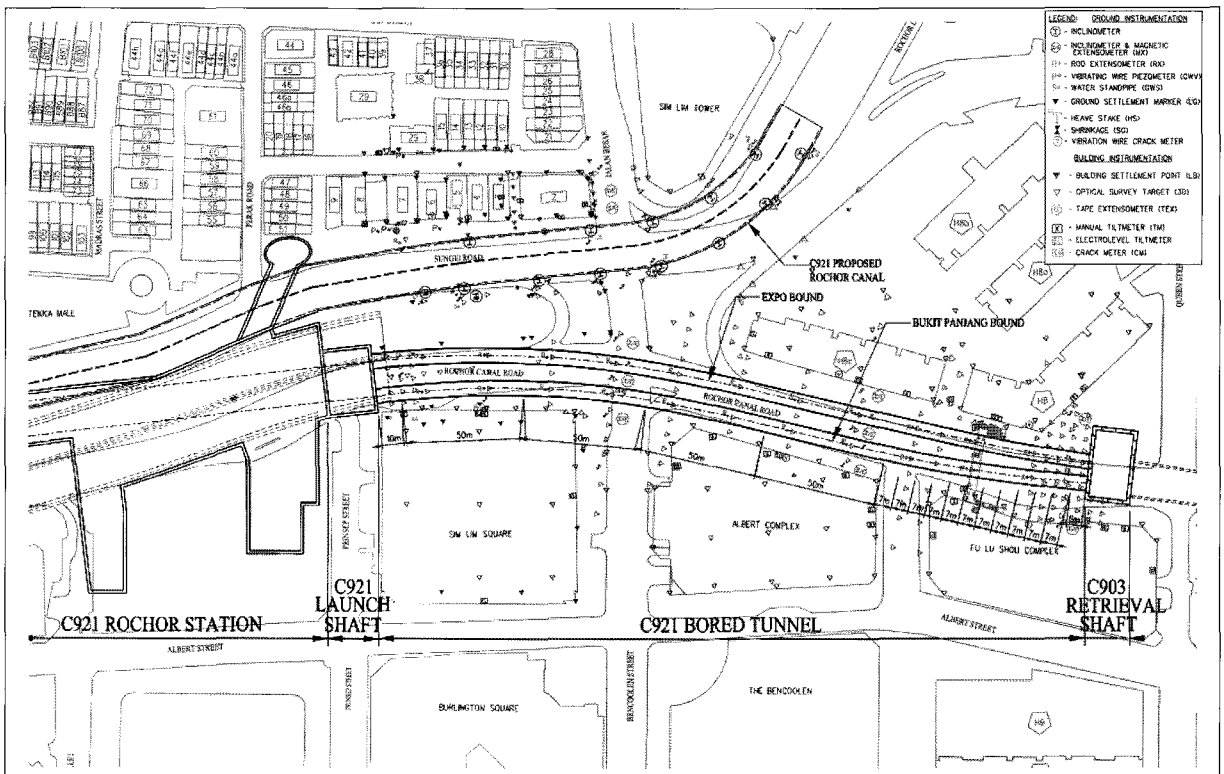


그림 4. TBM 터널 구간 및 계획

구와 교통량이 많은 지역으로 TBM 굴진 시 주변 지반의 침하와 구조물 손상방지를 위해 정밀한 시공관리가 요구되는 구간이다.

당 현장에서는 과업구간의 지반조건과 주변여건을 고려하여 터널 굴진에 따른 주변 지반의 침하거동(Settlement Analysis)과 주변구조물에 대한 손상도 평가(Damage Assessment)를 실시하였고 이를 토대로 시공 계획과 계측계획(Instrumentation Plan)을 수립하여 BCA와 LTA로부터 승인을 받았다. TBM 터널구간의 계측은 굴진 중 터널 내부에서 50m 간격(903공구 회수수직구 근처 약 80m 구간에서 7m 간격)으로 3차원 프리즘(Optical Prism)을 통해 내공변위(Convergence)를 계측하고, 지상 및 지중에서는 지표침하계(Settlement Point), 지중변위계(Rod Extensometer), 간극수압계(Piezometer), 구조물 경사계(Tilt Meter, EL Beam), 진동/소음측정기(Vibration/

Noise Meter)을 통해 지표침하, 간극수압, 지중변위, 구조물기울기, 진동/소음 등을 측정하도록 계획하였다(그림 4).

3.2 TBM 장비의 선정

당 현장에서는 이수가압식(Slurry Type)과 토압식(Earth Pressure Balance Type) 실드 TBM 장비를 대상으로 싱가포르에서의 실드 TBM 시공사례와 과업구간의 지반조건, 수리수문 조건, 작업장 부지조건, 소음 및 진동영향 등 5가지 중요사항을 고려하여 실드 TBM 장비를 선정하였다.

지반 및 수리수문 조건에서는 충격충인 올드앨루미늄층에서의 굴착 시공성 및 지표면 부근에서 형성되는 지하수위로 인한 고수압 대응성에서 토압식이 우수한 것으로 분석되었고, 작업부지 및 소음진동 조건에서는 그림 5와

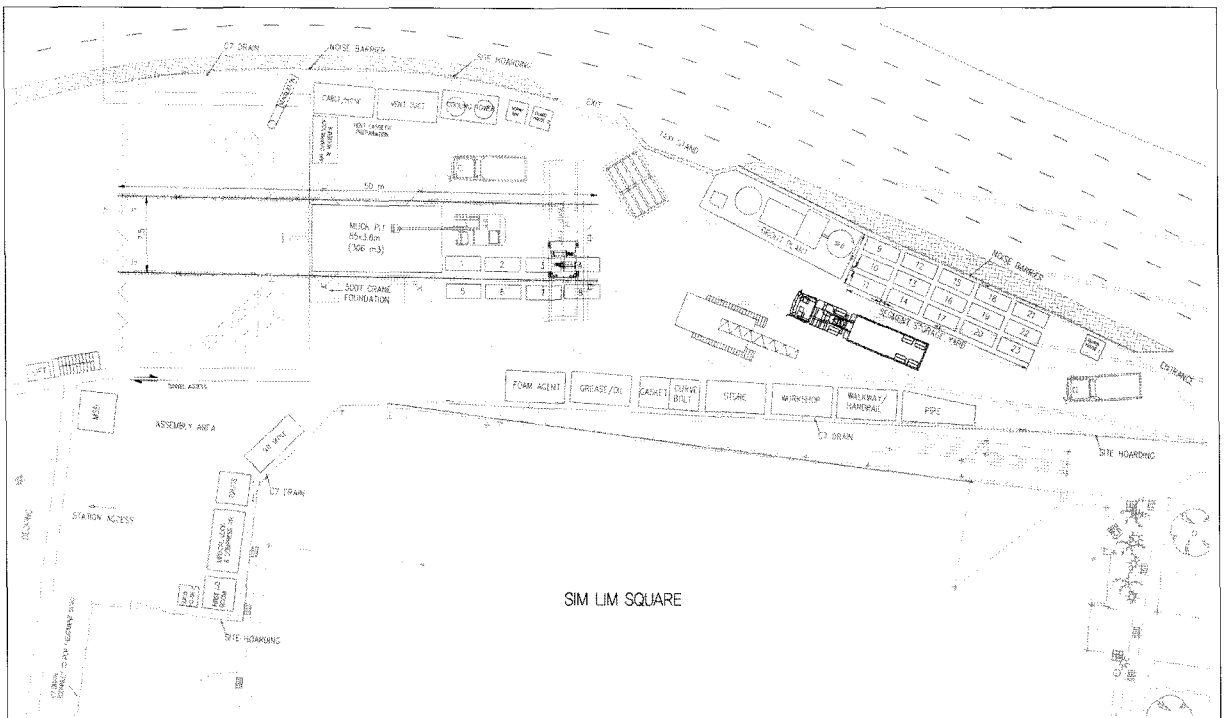


그림 5. TBM 터널 작업설비 배치계획

같이 발진수직구(Launching Shaft) 주변의 일부 부지만을 작업장으로 활용할 수 밖에 없고 작업장 주변으로 대규모 상업시설이 있어 최소한의 작업부지만으로 공사가 가능하고 인근 지장물에 영향을 최소화시킬 수 있으며 작업장에서의 굴착토 처리에 따른 소음 및 진동을 발생시키지 않는 토압식이 이수가압식보다 우수하다고 판단되어 최적 굴착장비로 토압식 실드 TBM을 선정하였다.

3.3 TBM 장비 상세

토압식 실드 TBM 본체는 그림 6과 같이 Cutting Wheel, Front Section, Middle Section과 Rear Section의 4부분으로 구성되어 있다.

Cutting Wheel은 그림 7과 같이 직경 6.63m로 올드앨 루비움의 충적층 지반을 효과적으로 굴착하기 위하여 7개의 Double Gauge Disc(17인치)와 72개의 Scraper가 장

착되었고, 직경 50mm인 8개의 Foam Injection Port 및 8개의 Bucket Lip, 2개의 Wear Detection System이 설치되어 있으며, 개구율(Opening Rate)은 30%로 설계되었다. Front Section에는 Cutting Wheel을 구동시키는 945Kw의 Cutting Wheel Drive와 막장압력을 제어하기 위해 굴착토를 임시저장하는 Cutter Chamber, 굴착토를 외부로 반출하기 위한 Screw Conveyor 및 Belt Conveyor가 장착되었다.

Front Section과 Middle Section 공간에는 일정 공기압력하에서 작업자들이 Cutting Wheel에 접근할 수 있도록 Man Lock이 설치되었다. Middle Section과 Rear Section 사이에는 급곡선 구간의 원활한 굴착이 가능하도록 14개의 Articulation Cylinder와 4개의 Displacement Cylinder가 장착되었다. Rear Section에는 Lining Segment로부터 TBM 추력(최대 42,570kN)을 얻기 위해 총 32개의 Thrust Jack이 설치되며, 세그먼트 설치를 위한 Rotary

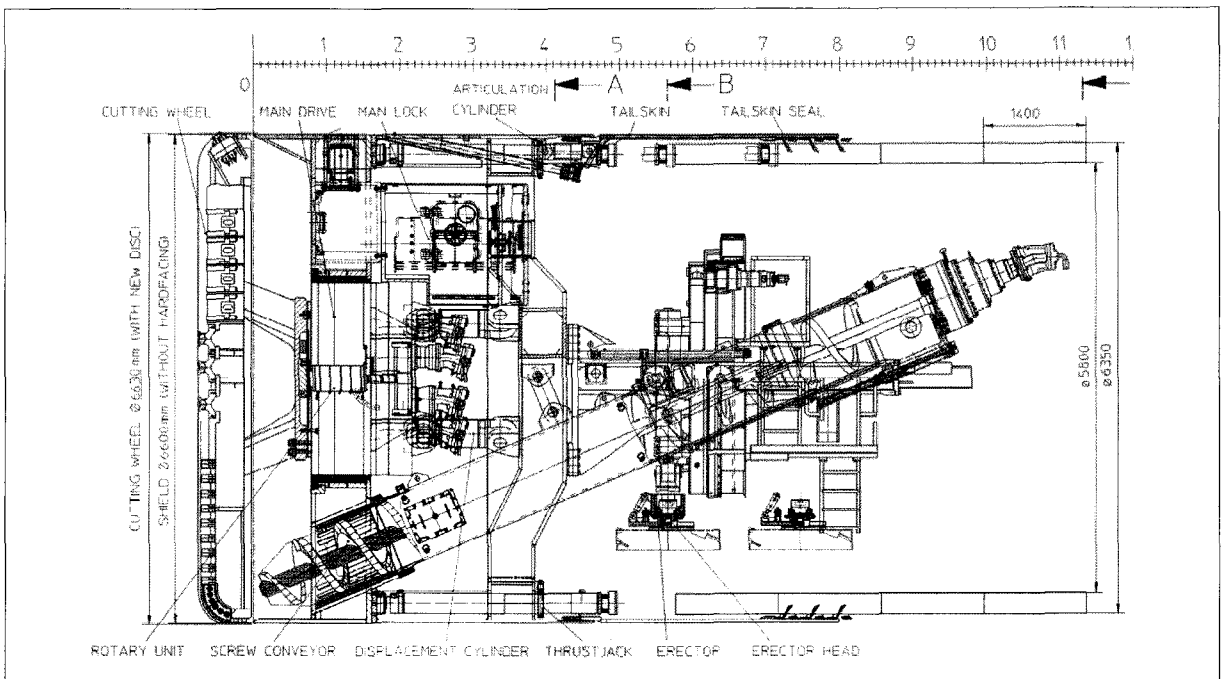


그림 6. 토압식 TBM 본체

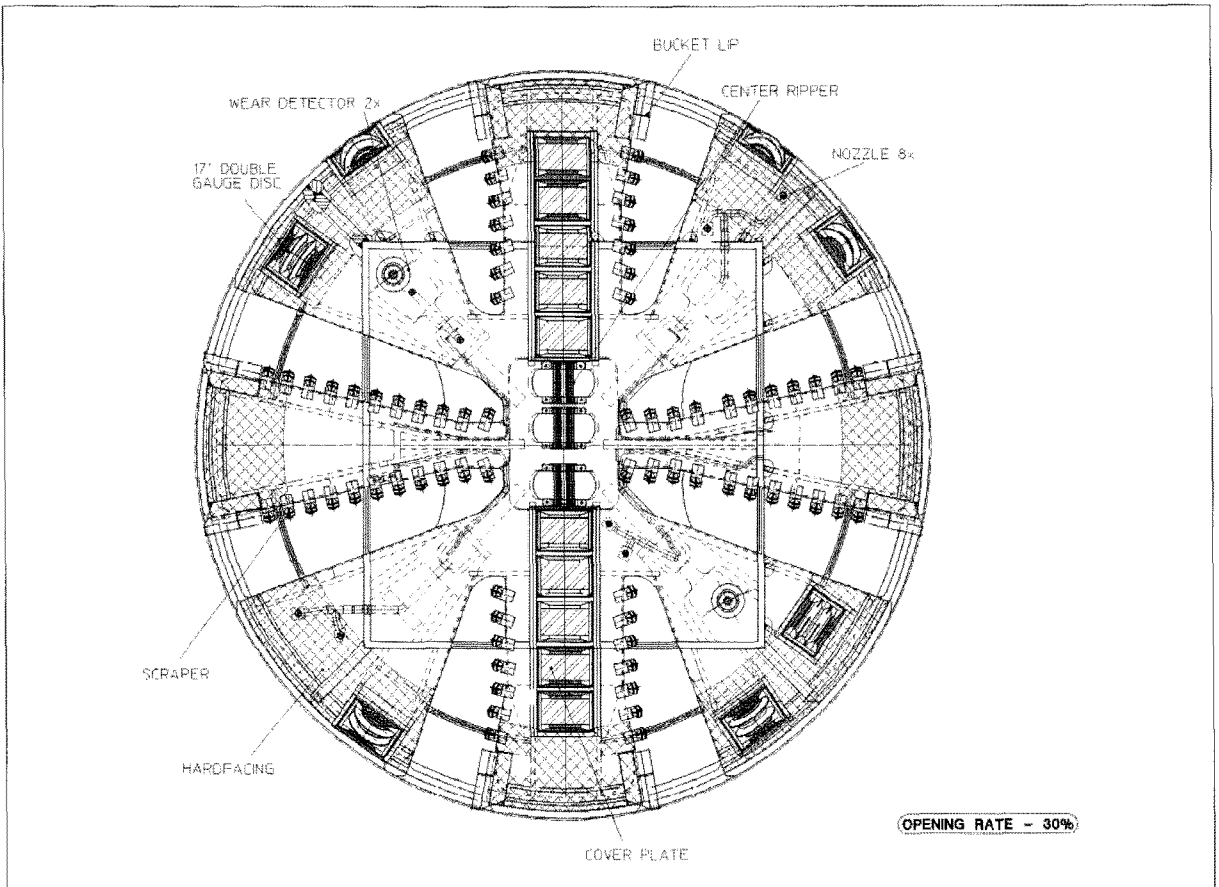


그림 7. 토압식 TBM Cutting Wheel

Ring 형식의 Erector가 장착되었다.

Rear Section의 Tail Skin은 외경 6.58m, 두께 40mm 로 4개의 Grout Injection Line이 장착된 Wire Brush 형식의 Grout Sealing System과 직경이 25mm인 8개의 Tail Skin Grease Line이 설치되며, Tail Skin과 Lining Segment 간의 지수능력을 확보하기 위해 3열의 Tail Skin Seal로 이루어진 Water Stop System이 장착되었다.

TBM 본체 뒤에는 Back-Up Trail Truck이 연결되며, Pump 및 Hydraulic System, Grout Injection System, Electrical System, Ventilation System 등의 후방설비가 설치된다.

3.4 TBM 터널 라이닝 세그먼트(Lining Segment)의 설계

세그먼트의 설계는 싱가포르 LTA CDC(Civil Design Criteria)에서 규정하고 있는 기준을 준용하게 되며, TBM 터널 구간에서 불량한 지반조건이나 시공조건이 발생하는 단면에 대한 해석을 통해 결정된다.

세그먼트 설계 시 적용되는 하중으로는 지반하중, 수압, 상재하중, 세그먼트 자중, 선로 및 내부시설하중 등의 기본하중과 TBM 추력(TBM Operating Thrust), 세그먼트의 운반 및 취급하중, 뒤채움 압력(Grouting Pressure),

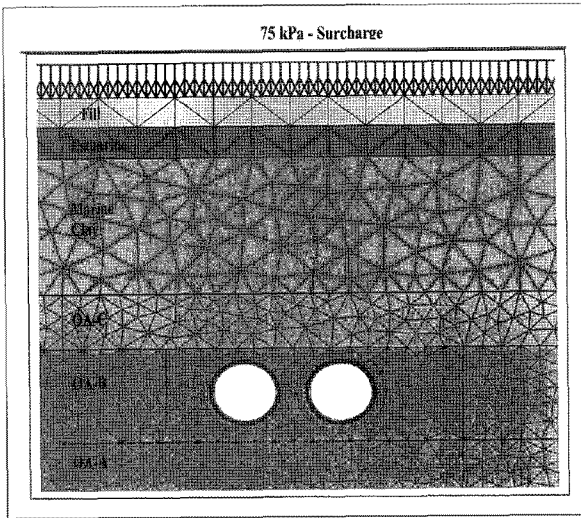


그림 8. TBM 터널 수차해석

뒤틀림하중(Distortional Load), 부력 등의 별도 검토하중을 고려하며, LTA CDC에서 규정하고 있는 하중조합조건에 반영하여 부재력을 계산하게 되는데, 부재력 계산은 A.M. Muir Wood와 D.J. Curtis가 제안한 유한요소해석을 이용하게 된다.

당 현장의 세그먼트는 그림 9에서 보는 바와 같이 두께 275mm, 폭 1.38~1.42m로써 1개의 키 세그먼트(Key Segment)와 5개의 일반 세그먼트로 이루어져 있으며 설치 후 내경은 약 5.8m가 된다. 종방향과 횡방향 세그먼트간의 체결은 곡선볼트(Curved Bolt)가 적용되는데, 기존 경사볼트(Inclined Bolt)에 비해 구조적 안정성이 높고 TBM 추력(Thrust)에 대한 대응성이 우수하며 변형에 대한 허용여유가 큰 장점을 가지고 있다.

세그먼트에 적용되는 방수시스템은 그림 9와 같이 EDPM 개스킷과 수팽창성 개스킷(Hydrophilic Gasket)의 이중구조로 되어 있으며, 세그먼트 단면의 최외곽 개스킷 그루브(Gasket Groove) 안에 설치된다.

세그먼트는 LTA M & W(Material & Workmanship Specification)에 규정하고 있는 품질기준을 만족해야 하는데, 대량 생산 전에 콘크리트 배합설계를 통해 20개의

세그먼트당 1개의 빈도로 5회에 걸친 성능시험과 내구성 시험(Rapid Chloride Test) 등을 수행하고 그 시험결과를 LTA에 제출하여 승인을 받아야 하며, 세그먼트 조립 시험(Trial Assembly)을 통하여 생산된 세그먼트의 치수 및 조립 시 정밀도에 대한 세밀한 검증을 거쳐야 한다.

세그먼트 방수구조에 대한 성능시험(Gasket Fitting Test)은 설계수압의 2배에 해당하는 지하수위 조건과 개스킷 그루브에서 10mm 횡방향 오프셋(Lateral Offset)이 발생하는 조건을 고려하여 세그먼트 조립 시 발생 가능한 3가지 연결조건(Straight/Cross/T-Joint)에 대해 실시한다.

3.5 TBM 터널 굴진계획

당 현장에서는 로치 정거장 시공을 위한 지하 굴착 공정 및 정거장 구조물 공정과 TBM 터널 공정이 서로 간섭되지 않도록 로치 정거장 남쪽에 TBM 발진을 위한 수직구(Launching Shaft)를 계획하였다. TBM 터널의 굴진은 그림 10과 같이 먼저 로치 정거장의 발진수직구에서 바다 슬래브(Base Slab)와 TBM 발진받침대/추진반력대 및 갱구부(Portal)를 시공하고, 인접공구인 903공구 방향(Expo Bound)으로 굴진하여 903공구의 회수수직구(Retrieval Shaft)에 TBM 장비가 도달하면 해체하게 된다. 그리고 다시 로치 정거장의 발진수직구에서 장비를 조립하여 903공구 방향(Bukit Panjang Bound)로 다시 굴진하는 것으로 계획하였다.

3.6 TBM 발진수직구 설계

TBM 발진수직구는 가로 20.7m, 세로 28.3m의 사각형 구조의 지하연속벽체로 약 51.5~54.5m 깊이까지 시공되는데, 3면은 두께 1.2m, 나머지 1면은 두께 1.0m로 계획하였다. 지하연속벽체 내부는 굴착 중 지보부재로 총 7단의 스트러트(Strut) 및 2단의 철근콘크리트 웨일러(RC

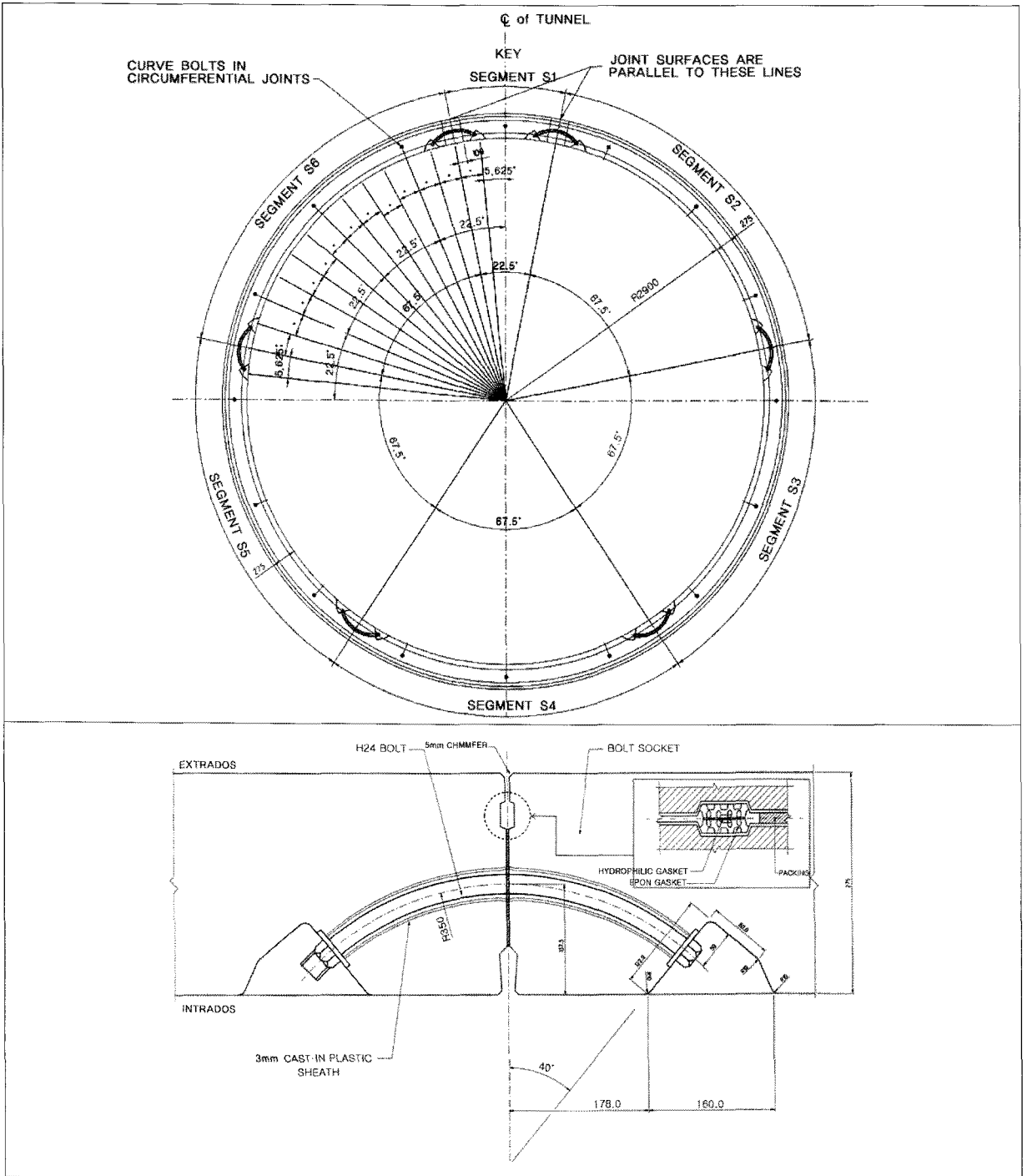


그림 9. 라이닝 세그먼트, 곡선볼트 및 방수시스템

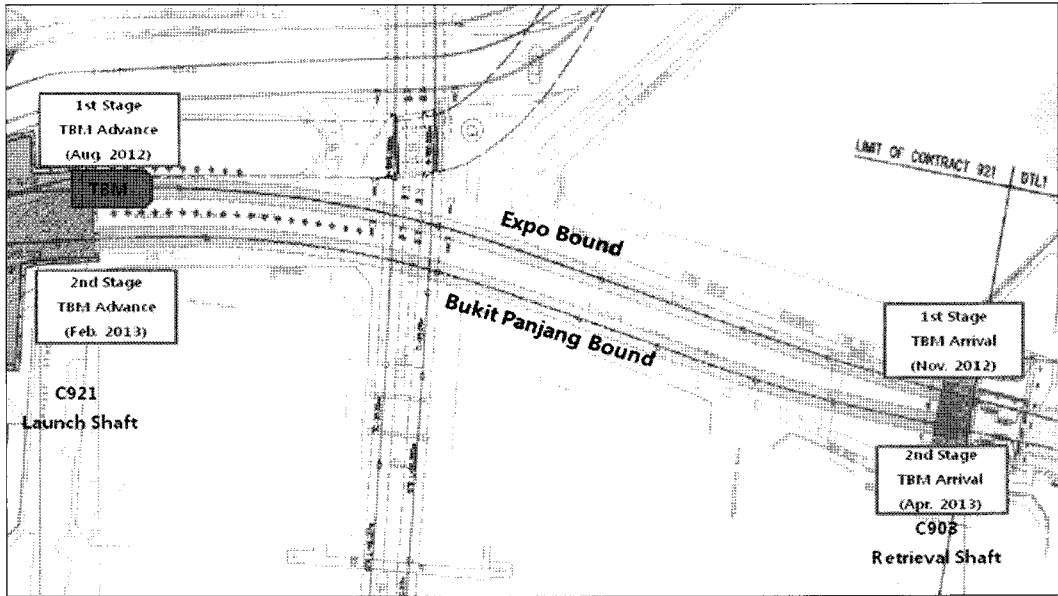


그림 10. TBM 굴진계획

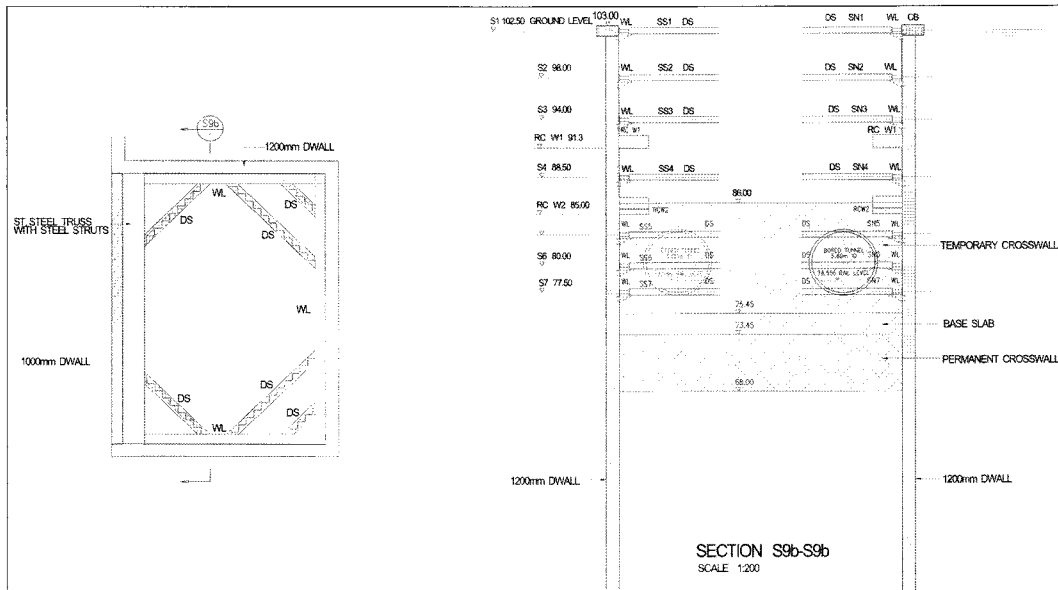


그림 11. TBM 발진수직구

Water)가 설치되며, 스트리트 및 철근콘크리트 웨일러의 배치는 TBM 부품의 인양 및 조립 시 간섭방지를 위해 충

분한 공간이 확보되도록 하였다(그림 11).

초기 굴진 시 TBM 장비가 관통하는 일부 지하연속벽

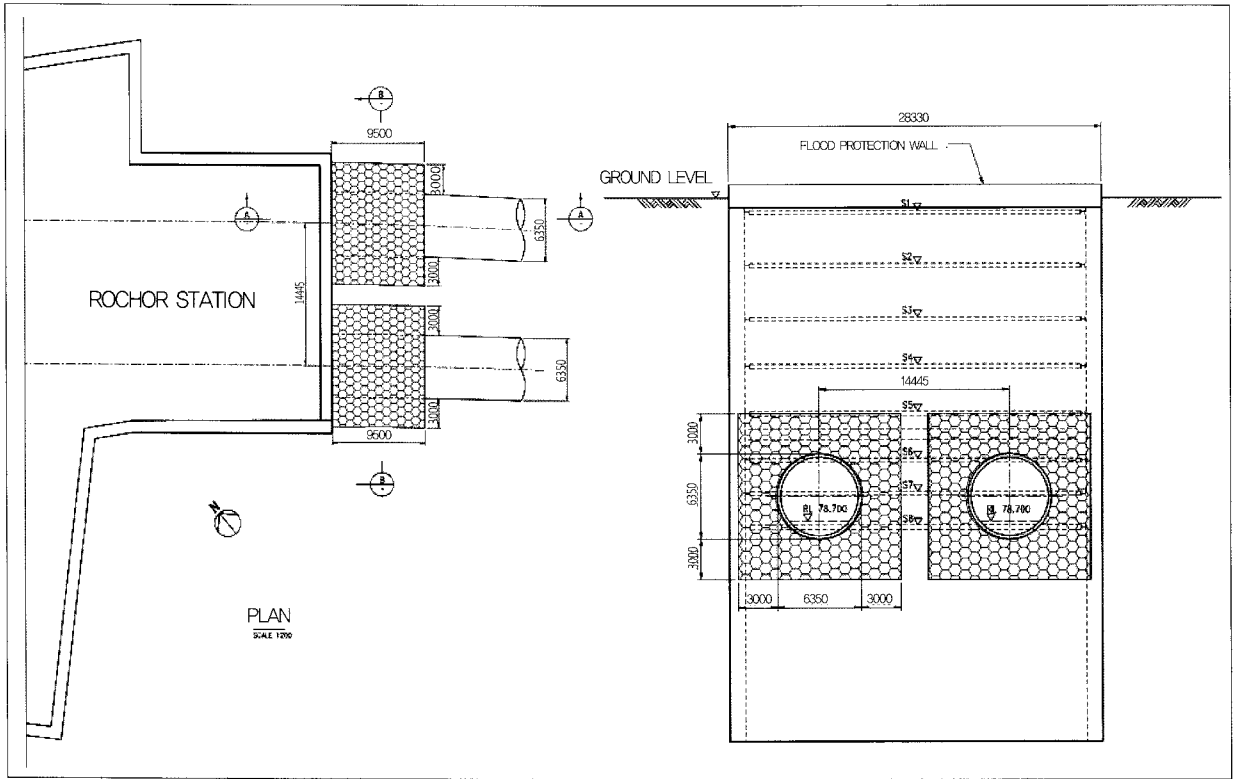


그림 12. TBM 발진수직구 전방 지반개량 계획

체의 Soft Eye 부분은 별도의 철거작업(Hacking) 없이 TBM 장비만으로 관통할 수 있도록 철근 대신에 유리강화 섬유(Glass Fiber Reinforced Polymer) 보강재를 배치하여 시공한다. 또한 초기 굴진 시 발생할 수 있는 발진수직구 내부로의 지하수 유입과 토압의 증가로 인한 막장 붕괴를 방지하기 위하여 발진수직구 전방에 개량 후의 일축압축강도가 800kPa, 투수계수가 1×10^{-7} m/sec인 길이 9.5m, 폭 26.8m, 높이 12.4m인 지반개량체(Grout Block)가 시공되며(그림 12), 903공구의 회수수직구 전방에도 동일한 목적으로 개량 후의 일축압축강도와 투수계수가 각각 400kPa, 1×10^{-7} m/sec인 길이 9.5m, 폭 22.0m, 높이 8.8m인 지반개량체를 형성한다.

4. NATM 터널 설계

4.1 과업구간 현황

NATM 터널 구간은 그림 13과 같이 신설되는 리틀인디아 정거장과 개착식 터널을 연결하는 직경 6m, 연장 60m의 단선병렬터널로, 터널 좌측으로 기존 MRT 동북선의 리틀인디아 정거장이 있고 우측으로 폭 16~18m의 부킷티마 운하(Bukit Timah Canal)가 터널과 나란하게 위치하고 있으며, 운하 상부는 신규 리틀인디아 정거장 시공을 위한 부지확보를 위해 사전에 시행된 교통신설(Traffic Diversion)용 복공(Decking)이 시공되어있다. 또한 10여년 전 완공된 MRT 동북선 지하철 터널이 NATM 터널 위

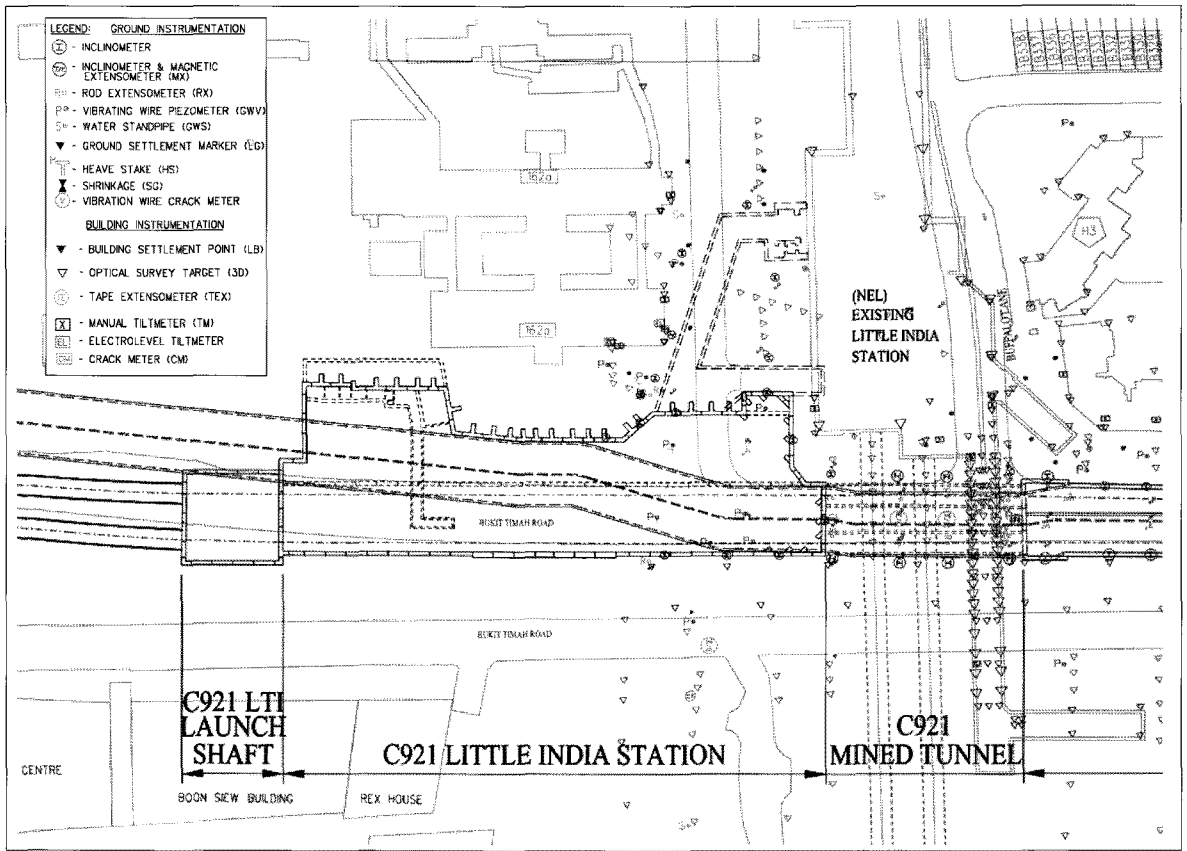


그림 13. NATM 터널구간 및 계측계획

3.5m 정도로 근접하여 교차되고 이 MRT 동북선과 나란하게 보행자용 지하보도가 NATM 터널 위 5.0m에 위치해 있어 LTA CPRP(Code of Practice for Railway Protection) 기준을 만족하도록 정밀한 변위관리가 필요한 구간이다. 따라서 이를 위해 파이프루프(Pipe Roof), 휘폴링(Forepoling) 및 페이스볼트(Face Bolt) 등과 같은 다양한 터널보강공법이 적용되었다(그림 14, 16).

또한 왕복 4차선 간선도로가 NATM 터널과 교차하여 지나고 있고 그 주변으로 주거시설과 상업시설이 있으며 상하수관, 전력선, 통신선, 가스관 등 다수의 공공시설이 지표면 아래에 매설되어 있는 상태이다.

과업구간의 지반조건과 주변여건을 고려하여 터널 굴진에 따른 주변 지반의 침하해석 및 주변 구조물의 손상도 평가를 수행하였고, 이를 토대로 시공계획과 시공 중 모니터링을 위한 계측계획을 수립하여 BCA와 LTA에 승인을 요청한 상태이다. NATM 터널구간의 계측은 크게 지중경사계(Inclinometer), 지중변위계, 간극수압계, 3차원 프리즘으로 구성된 계측과 MRT 동북선 및 NATM 터널의 교차구간, 보행자용 지하보도, 주변 지반과 구조물에 대한 기울기 및 침하계측, MRT 동북선 터널 내에서 선로의 기울기 자동계측시스템(Automatic Tunnel Monitoring System)으로 구분하여 계획하였다(그림 13).

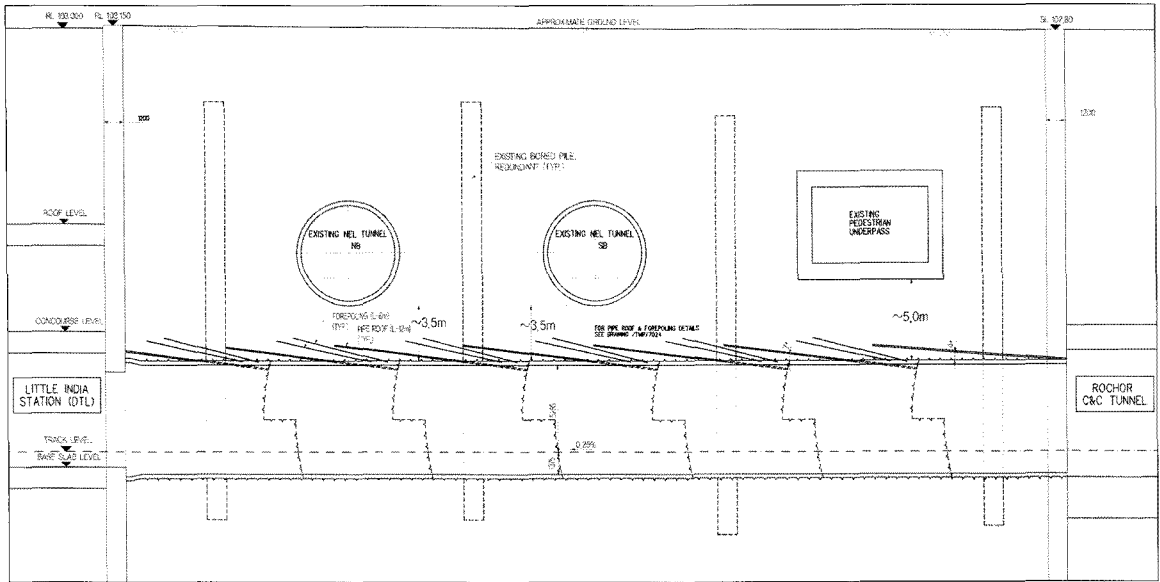


그림 14. NATM 터널구간 종단면

4.2 NATM 터널 라이닝(Temporary & Permanent Lining)의 설계

당 현장 NATM 터널의 라이닝은 슛크리트 라이닝을 1차 라이닝(Temporary Lining)으로, 현장타설 콘크리트 라이닝을 2차 라이닝(Permanent Lining)으로 계획하였다. 라이닝 설계는 TBM 터널의 세그먼트 라이닝 설계와 동일한 조건을 고려하며 설계하중은 지반하중, 수압, 상재하중 등의 기본하중과 뒤뜰림하중, 부력 등의 별도검토 하중이며, LTA CDC에서 규정하고 있는 하중조합조건에 반영하여 J. Erdmann과 H. Duddeck이 제안한 해석모델, 프레임/빔 모델(Structural Frame & Embedded Beam Model)과 수치해석을 이용하여 부재력을 결정한다(그림 15).

1차 라이닝은 그림 16과 같이 1m 간격의 강지보(Lattice Girder), 2층의 와이어매쉬(Wire Mesh), 30MPa 강도의 슛크리트로 구성된 두께 250mm의 슛크리트 라이닝(Shotcrete Lining)으로 계획되었다. 터널 굴착 시 적용되는 보강공법으로는 터널 천단부에 길이 12m의

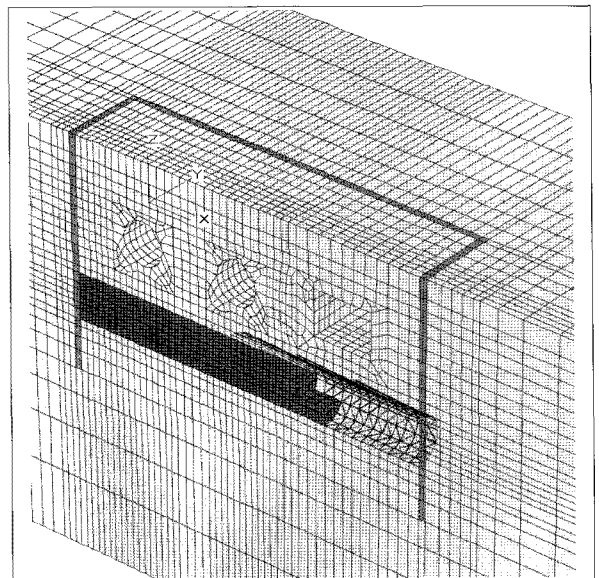


그림 15. NATM 터널 수치해석

파이프루프(Pipe Roof)와 길이 6m의 휘폴링(Forepoling)을 8m 간격으로 설치하며, 터널 하반 굴착 시 상반 막

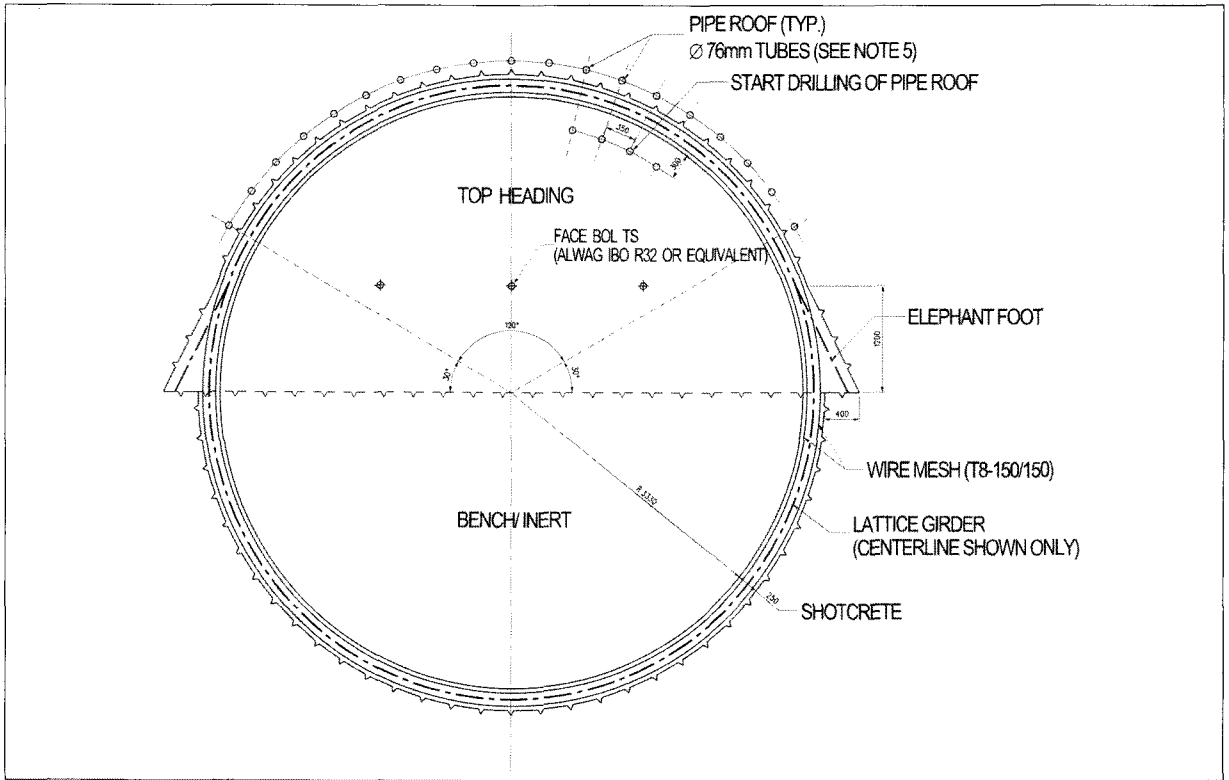


그림 16. 1차 쇼크리트 라이닝

장면의 안정화와 우각부 침하 방지를 위해 길이 15m의 페이스볼트(Face Bolt)와 0.4×1.2m의 각부보강(Elephant Foot) 공법을 적용하였다.

2차 라이닝은 그림 17과 같이 40MPa 강도의 콘크리트, 방수 멤브레인(Waterproofing Membrane)과 수팽창 스트립(Hydro-Swelling Strip)의 이중 방수시스템이 적용된 두께 350mm의 현장타설 콘크리트 라이닝(Cast In-Situ Concrete Lining)으로 계획하였다.

NATM 터널 라이닝의 방수시스템은 1차 라이닝과 2차 라이닝 사이에 설치하는 방수 멤브레인과, 리틀인디아 정거장과 개착식 터널 벽체와의 연결부위에 설치하는 수팽창성 스트립(Hydrophilic Strip) 및 주입튜브시스템(Reinjectable Grouting Tube)으로 구성되어

있다(그림 18).

NATM 터널의 쇼크리트 라이닝 및 콘크리트 라이닝 역시 LTA M & W 시방서에서 규정하고 있는 품질기준을 만족해야 한다. 쇼크리트의 배합설계는 본 시공 3개월 전에 동일한 장비와 배합재료를 사용하여 시험시공(Site Trial)을 통해 성능을 검증하고, 콘크리트의 배합설계는 콘크리트 샘플에 대한 7일 및 28일 강도시험을 각각 2회씩 시행하며 시험결과는 LTA에 제출되어 승인을 받게 된다. 방수 멤브레인에 대한 성능은 물성시험, 강도시험, 신장시험, 내구성시험 등을 통해 검증되며, 멤브레인간의 접합부에 대한 성능시험은 압축공기와 진공장비를 이용한 봉합시험(Seam Test)을 이용한다.

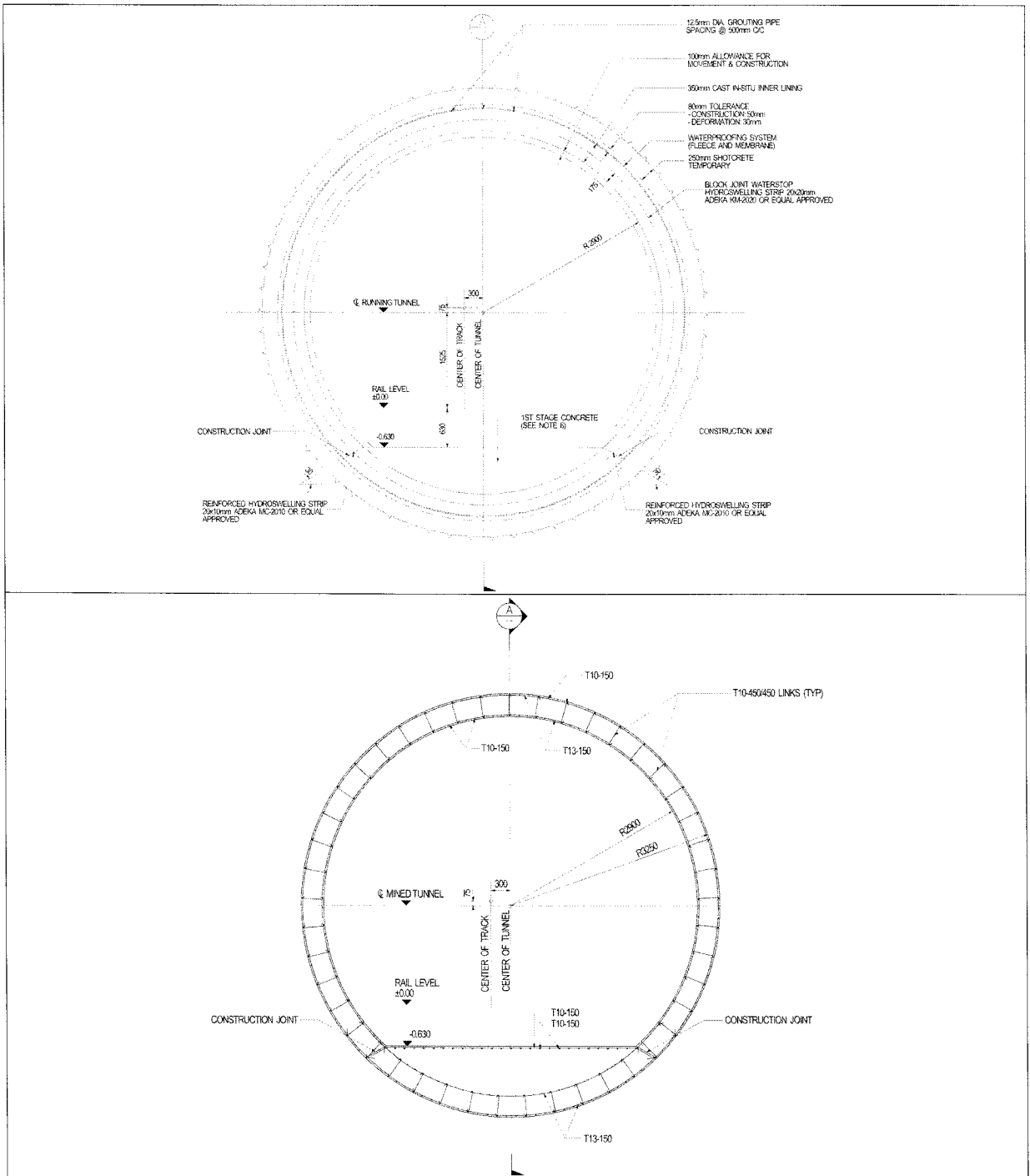


그림 17. 2차 현장타설 콘크리트 라이닝

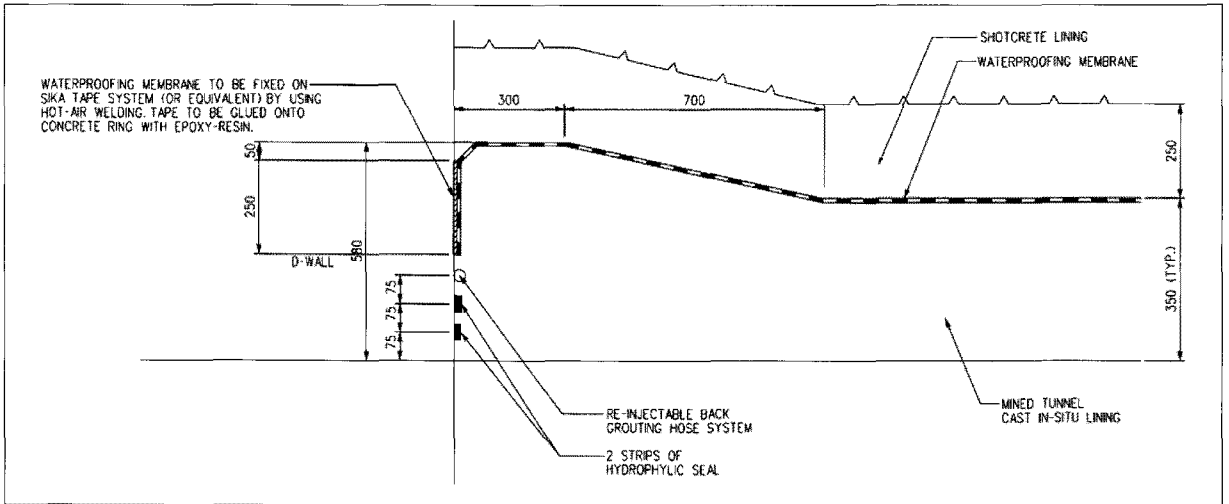


그림 18. 정거장 지하벽체와의 연결부 방수시스템

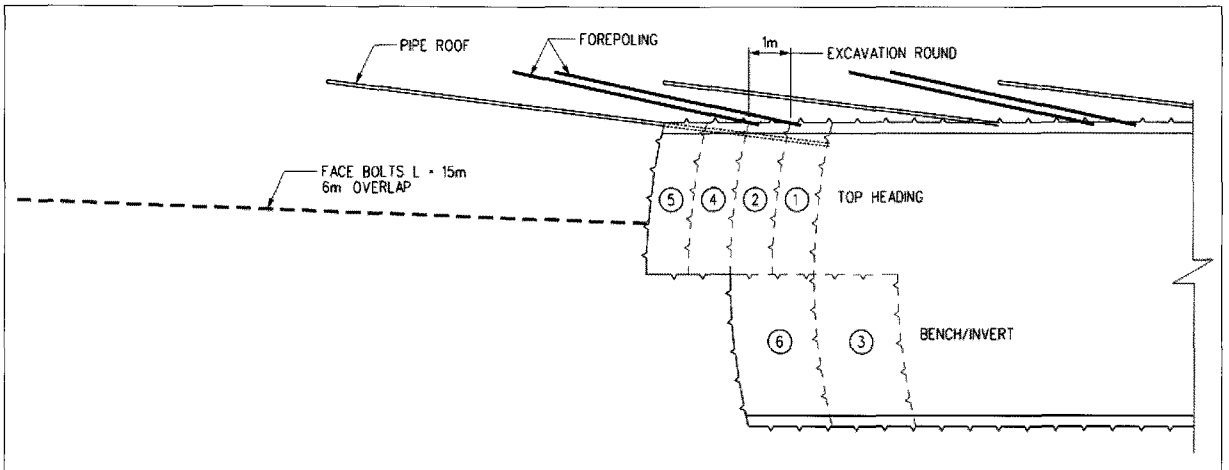


그림 19. NATM 터널 굴착순서

4.3 NATM 터널 굴진계획

NATM 터널 구간에서의 굴착은 그림 19와 같이 기계식 굴착공법(Mechanical Excavation)을 통한 상하반 분할 굴착방식으로 계획되었다. 터널 상반에서는 1m씩 2회 굴착 후 막장 슛크리트와 보강공을 시행하고 250mm 두께의 상반 슛크리트 라이닝을 타설하고, 터널 하반에서는

2m 1회 굴착 후 막장 슛크리트와 하반 슛크리트 라이닝을 타설하게 된다.

NATM 터널의 굴진은 터널과 인접해 있는 개착식 터널에서 최종굴착면까지 지하굴착 후 바닥슬래브를 시공한 후 리틀인디아 정거장 방향으로 먼저 하행선(Expo Bound)을 굴진하고 다시 하행선 굴진과 동일한 방향으로 상행선(Bukit Panjang Bound)을 굴진하도록 계획

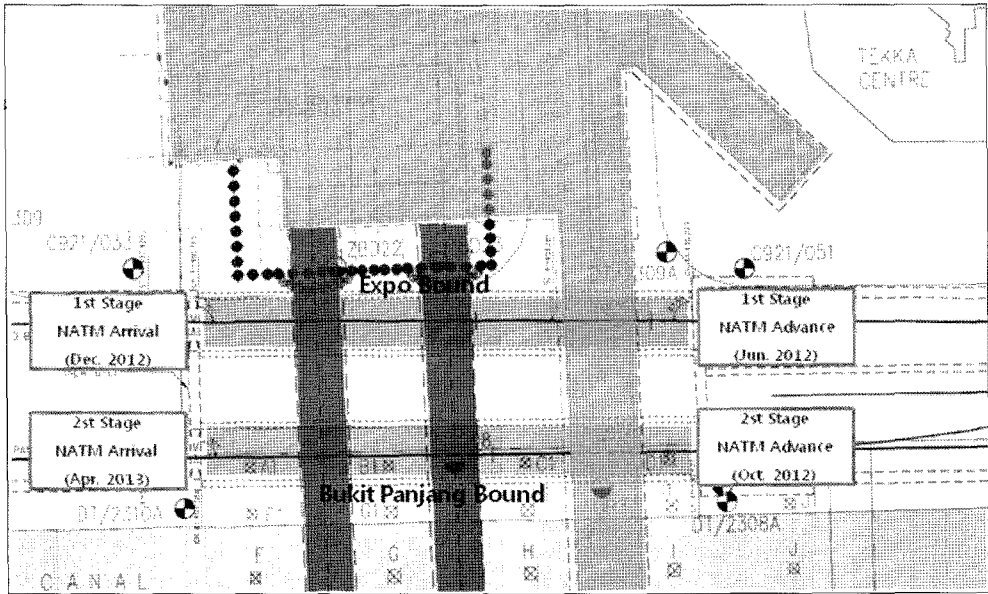


그림 20. NATM 터널 굴진 계획

되었다(그림 20).

5. 결론

본 고에서는 당사가 수행하고 있는 921공구의 프로젝트 개요, TBM 터널과 NATM 터널구간에서의 지질특성, 설계 진행상황 및 검토사항 등 기술적인 부분에 대해 소개하였다.

921공구는 2009년 2월 입찰을 완료하여 2009년 6월 싱가포르 유사 이래 최대 공사규모의 지하철 공사의 시공 적격자로 선정되었다. 현재까지의 공사진행 현황으로는 약 26개월 동안 실시설계 도시의 납품, 도로 및 지장물 이설, 부지정지 등을 완료하였고, 정거장과 개착식 터널 부지에서 굴착 및 스트러트 등 가설지보재 시공, 말뚝기초 시공과 영구수로(Permanent Canal) 시공이 진행 되고 있다.

당 현장의 NATM 터널과 TBM 터널 공정은 각각 2012년 6월과 8월부터 계획되어 있어 현재는 두 공정을 위한 사전준비작업을 진행하고 있다. NATM 터널 설계는 BCA 승인을 받은 상태이고 관련 각종 시공 계획서를 준비하고 있으며, TBM 터널 설계는 향후 공사일정에 맞추어 TBM Boring Operation 설계, TBM 발진받침대/반력대 설계 등이 진행될 예정이다.

NATM 터널과 TBM 터널의 완공까지 주요 통과지층에서의 굴진관리, 굴진 중 주변 지반과 구조물의 변위 및 손상관리, 터널 발진갱구에서의 초기 굴진관리, 상/하행선 터널간의 근접굴진 관리 등과 같이 설계 및 시공 측면에서의 다양한 검토사항이 대두될 것이며 이를 해결하는 과정 또한 중요한 과제로 남을 것으로 판단된다.

향후 이러한 설계 및 시공 중 기술적인 검토사항과 Trouble Shooting 사례를 본지를 통하여 공유하기를 기대한다.