

# 싱가포르 DTL2 C913 Project



**위용곤**  
GS건설(주)  
싱가포르 DTL2 C913 현장  
터널담당 과장



**나승훈**  
GS건설(주)  
싱가포르 DTL2 C913 현장  
설계팀장



**김익형**  
GS건설(주)  
싱가포르 DTL2 C913 현장  
부소장



**노재호**  
GS건설(주)  
싱가포르 DTL2 C913 현장  
현장소장

## 1. Project 개요

당 Project는 DTL2로 알려진 싱가포르 도심철도(Downtown Line) 2단계 사업의 한 공구이다. DTL2는 싱가포르 서북부 Bukit Panjang 지역에서 시작해 도심지역인 Rochor Station까지 총 16.6km에 이르는 거리를 지하로 연결하는 도심철도 공사로서, 12개의 정거장을 포함하고 있으

며, 2015년 7월에 개통예정이다. DTL2에는 총 10개 공구가 있고 C913은 북쪽에서 3번째에 위치한 공구이다. 차량기지인 C911과 더불어 GS건설은 DTL2사업에서 2개 공구를 수주/설계/시공하고 있다.

C913은 싱가포르 육상교통청(LTA, Land Transport Authority)이 Design & Build 방식으로 발주하여 Fast Track 방식으로 설계와 시공을 병행하며 진행 중에 있다.

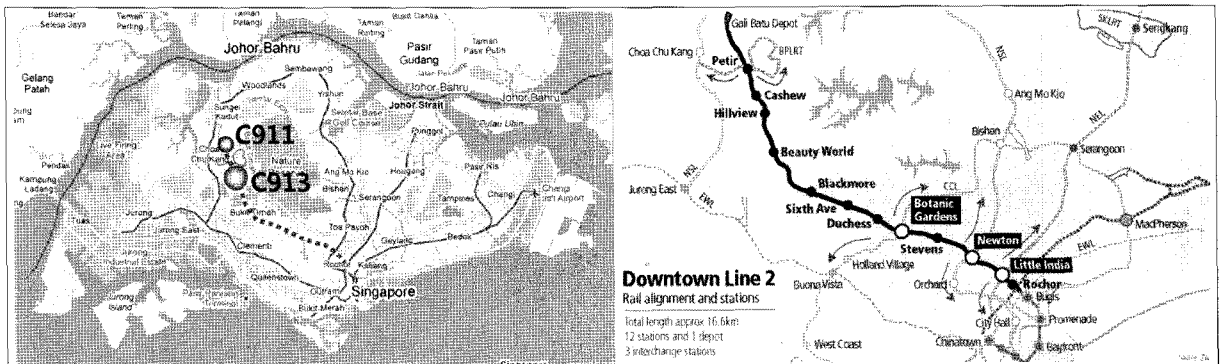


그림 1. C913 위치도 및 DTL2 노선

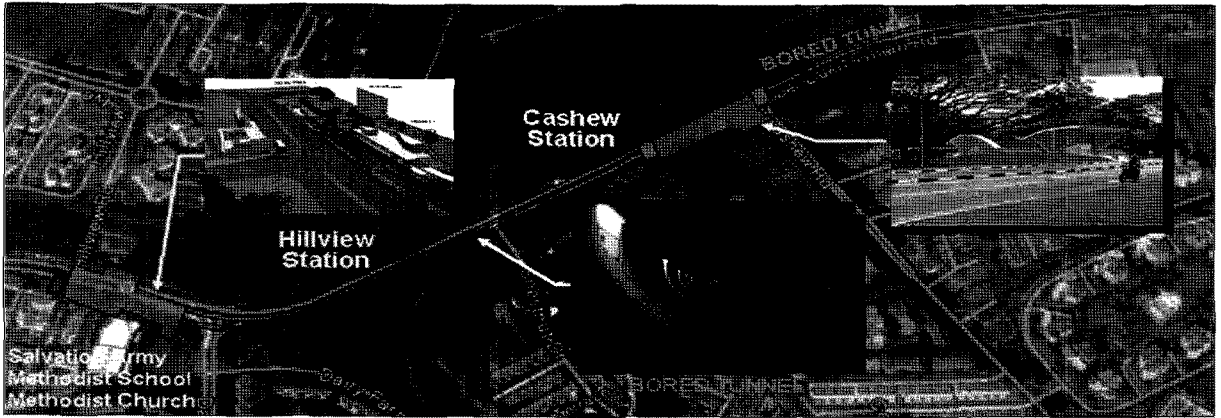


그림 2. C913 Work Scope

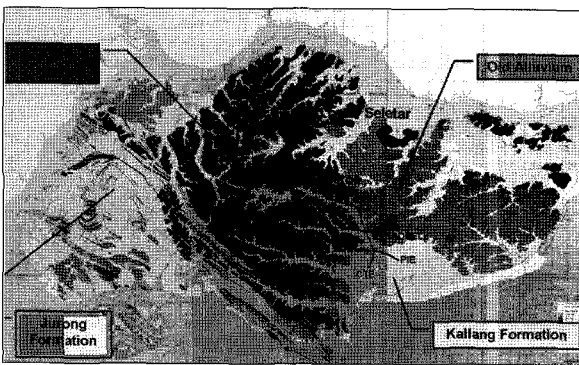


그림 3. 싱가포르 지질도

동부의 고결층적토 지층(Old Alluvium) 그리고 남부 해안지역의 연약지층(Kallang Formation)으로 나눌 수 있다. C913현장은 Bukit Timah Granite 지역에 위치하고 있다. 당 현장의 지질조건은 지표에서 하부로 평균 5m는 연약층인 Kallang Formation이 존재하고 그 밑으로 10~20m 층후로 풍화토가 존재하여 토압이 상당하며, 이는 설계 당시 흙막이 구조물의 크기와 수량을 크게 좌우한 요소가 되었다. 기반암은 암질이 극히 강하여 흙막이 가시설의 근입공정에 큰 영향을 주고 있다. 또한 터널이 굴착되는 심도인 지하 18m에서 25m는 암반선 변화가 많아 TBM 종류선정 및 설계에 주요 고려요소가 되었다.

C913 Work Scope는 Upper Bukit Timah Road를 따라 건설되는 총 1.65km의 연장에 2개의 지하 정거장(Cashew 및 Hillview), 1,23km 연장의 상하행선 단선병렬 터널, 760m 연장의 왕복6차선 고가교 그리고 2.1km 구간의 도로확장 및 정비로 구성되어 있다.

## 2.2 방공호 역사(Civil Defense Shelter)

## 2. 프로젝트의 특징

### 2.1 지질조건

싱가포르의 지질은 크게 서부의 퇴적암 지역(Jurong Formation), 중북부의 화강암 지역(Bukit Timah Granite),

C913의 대표적 특징으로는 2개의 정거장 역사가 방공호(Civil Defense Shelter)로 설계/시공 되어야 한다는 점이다. 싱가포르의 상당수 지하철 역사는 유사시 적국의 폭격으로부터 시민을 보호할 수 있는 기능을 담당하는데, 피폭시 구조물의 구조적 안정성 확보를 위해 바닥슬래브 및 천정슬래브는 물론 벽체까지 정거장 외벽을 구성하는 구조물은 모두 2m 정도의 두께로 시공되어야 한다. 내부 벽체 및 층간슬래브도 조적식 구조물을 허용하지 않고 콘크리트 구조물로 외벽과 일체로 시공되어야 하므로 구조

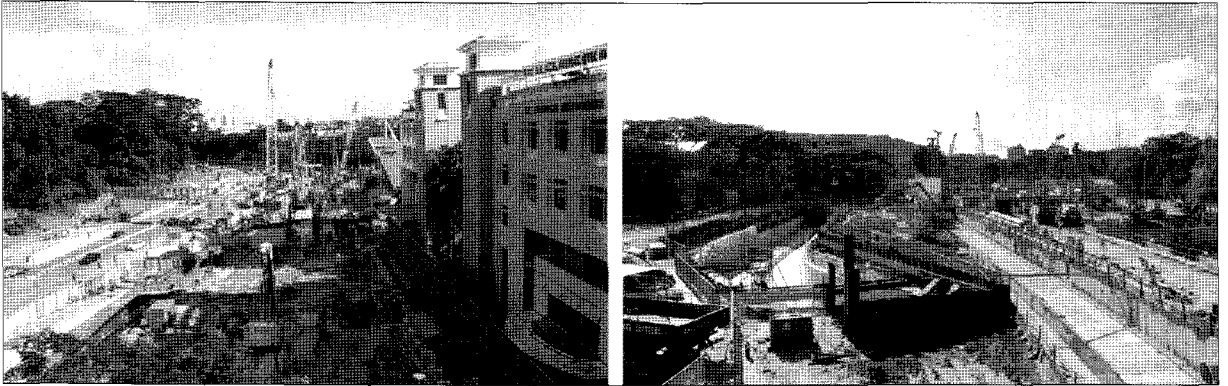


그림 4. 도심지 근접시공

물을 통하는 모든 배관, 통신/신호선 등의 E&M 설계가 토목설계와 동시에 이루어지고, 상세한 규격 및 제원, 위치 등을 관련 기관 및 업체의 상호간 간섭을 고려하여 협의, 수정하는 복잡한 과정을 거쳐야 한다.

### 2.3 공사조건

C913은 도심지 공사이다. 간선도로인 Upper Bukit Timah Road를 따라 시공해야 하므로 상하수도, 가스, 전기, 통신관로 등 지장물이 다수 분포하고 있으며, 노선에 근접하여 학교, 교회, 은행, 주유소, 아파트 등 소음/진동/침하에 민감한 건물들이 존재하고 있다. 공사로 인한 침하영향이 없는 시공은 발주처로부터의 강력한 Requirement이다. 이를 준수하기 위해 설계 당시부터 3단계 기준에 의한 영향검토를 수행해야 했고, 특히 TBM 터널 시공시 암반과 토사 경계부를 굴착할 때 유발될 수 있는 지반침하 그리고 건물밀집 지역에서 약 25m에 이르는 대심도 터파기에 의한 지반변위 및 건물침하 제어는 주요 설계 요소가 되었다. 실제 공사중에는 상시 계측 Monitoring을 통하여 발주처 및 설계사, 감리 등에 Feedback 이 되도록 되어 있으며 이상징후가 발견될 때마다 계측치에 대한 분석 및 대책을 제시하며 공사가 진행되고 있다.

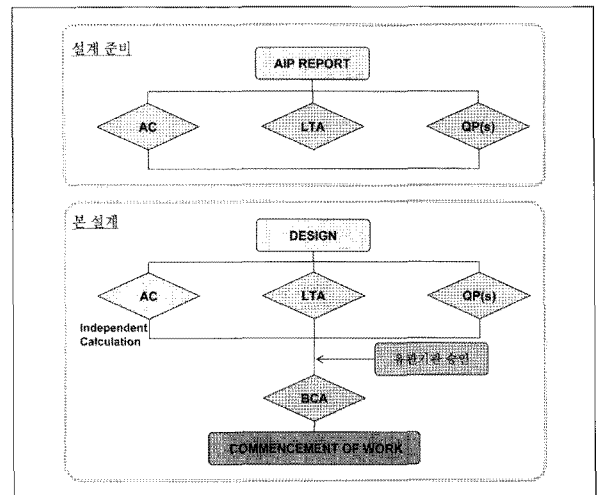


그림 5. 설계승인 과정

### 2.4 설계승인과정 및 공사개시

LTA Project를 위한 설계는 사전에 설계시방서(AIP, Approval In-Principle)를 승인 받는 과정으로부터 시작된다. 제출된 시방서는 각각 발주처인 LTA, 설계감리에 해당하는 AC(Accredit Checker) 그리고 시공감리에 해당하는 QP(S)(Qualified Person for Supervision)에 의해 검토되고 승인된다.

이후 승인된 설계시방서에 의거해 본 구조물 설계가 진행된다. 구조물은 형식, 위치, 하중조건 등에 따라 세부항

목으로 나뉘어 각각 제출 되는데, 역시 LTA, AC, QP(S)의 승인을 득해야 하며, 이때 AC는 독립적으로 구조물의 재계산을 수행하는 Cross Check를 하게 된다. 이후 구조물 별로 연계된 유관기관이 있을 경우 승인을 얻어야 하며, 최종적으로 상급기관인 싱가포르 건설청(BCA, Building and Construction Authority)의 승인을 득한 후 시공에 임할 수 있다.

상기 과정은 Comment와 Reply의 반복으로 진행되고, 본구조물의 설계제출 후 최종승인까지 평균적으로 4개월이 소요된다. BCA의 승인을 득한 이후에도, 공사에 필요한 장비, 자재, 시공도면, 시공계획서(Method Statement) 등의 발주처 및 QP(S) 승인이 이루어져야 실제 시공에 들어갈 수 있으며, 공사 중에도 시공방법의 변경 및 자재의 변경이 있을 경우도 역시 별도 승인단계를 밟아야 한다.

### 3. Bored Tunnel 설계 및 시공

상하행 총연장 2.46km, 내경 5.8m의 단선병렬 터널은 외경 6.63m의 Shield TBM 2기에 의해 굴착될 예정이다. 당 현장은 도심지 근접터널이라는 특성과 터널굴착심도를 기준으로 암반과 토사가 교호하는 이른바 복합지반 및 높은 지하수위를 고려하여 밀폐된 Slurry 순환시스템으로 막장 압력을 조절함으로써 막장의 안정성 확보, 터널 상부 지반침하 제어에 유리한 Slurry type의 밀폐형 Shield Machine을 선택하였다.

#### 3.1 Tunnel Boring Machine 및 Slurry Treatment Plant

TBM 본체는 Cutter head, Front body, Middle body, Rear body의 크게 4개의 부분으로 구성되어 있다. Cutter head는 토사와 암반의 복합지반을 효과적으로 굴착하기 위하여 51개의 17인치 Roller cutter와 144개의 Bite cutter가 장착된 Mixed type cutter가 적용되었고, 지반

조건 및 굴진효율에 따라 Opening ratio를 조절할 수 있도록 Slit control bracket이 장착되어 있다.

Front body에는 Cutter head를 구동시키는 1,250kW의 Cutter drive motor 5개가 장착되어 있고 추후 실제 시공시 Torque가 부족할 경우, 추가로 1개를 더 장착할 수 있도록 되어 있다. 시공중 비트 교환을 위하여 Chamber 안에서 작업이 불가피한 경우에는 막장압력을 Air lock을 이용하여 유지할 수 있도록 Air compressor가 계획되어 있고, 일정 공기압력 속에서 작업자들이 Cutter head에 접근할 수 있도록 Man lock이 Front body와 Middle body공간에 설치된다. Middle body와 Rear body 사이에는 R=300m의 비교적 급곡선 구간의 선형을 원활하게 굴착이 가능하도록 중절부와 구동장치인 Articulation jack이 설치된다. Rear body에는 TBM 굴진시 롤링방지 및 방향제어를 위한 Gripper가 설치되고 세그먼트로부터 TBM의 추력(최대 49,000kN)을 얻기 위해 총 20개의 Shield jack이 설치되었다. 또한 Rear body에는 세그먼트 설치를 위한 Ring drum type의 Erector와 세그먼트 설치 시 진원유지를 위한 Upper side expansion type의 Roundness retainer가 설치되었다.

TBM의 Main body의 뒤에는 총 연장 87m의 Back up trailer truck이 연결되는데, Pump 및 Hydraulic system, Water cooling system, Grout injection system, Electrical system, Control room 등의 후방설비가 설치된다. 지상에는 막장에서 배니관을 통하여 압송되는 굴착토와 Slurry를 처리하는 STP가 설치되며 max.50mm/min의 굴착속도에 맞추어 설계되어 있다.

- Type : Slurry type TBM, Articulate type (R=300m)
- Segment : 5+1 key (RC, t=275mm, w=1,400mm)
- Average advance Rate : 3.5m/day (Rock, Soil, Mixed face)
- TBM Main dimension and equipment  
Outer diameter : 6,630mm

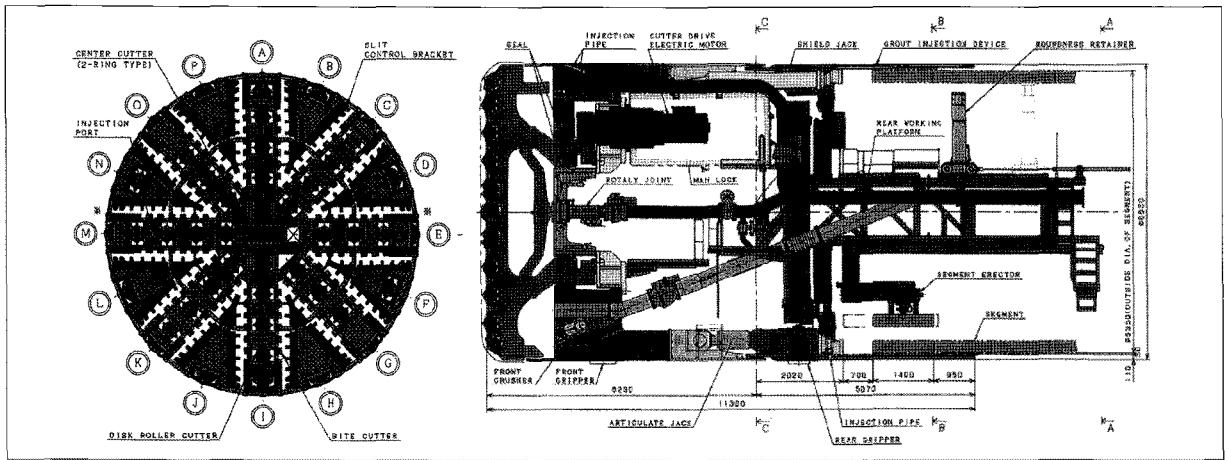


그림 6. 밀폐형 Shield TBM

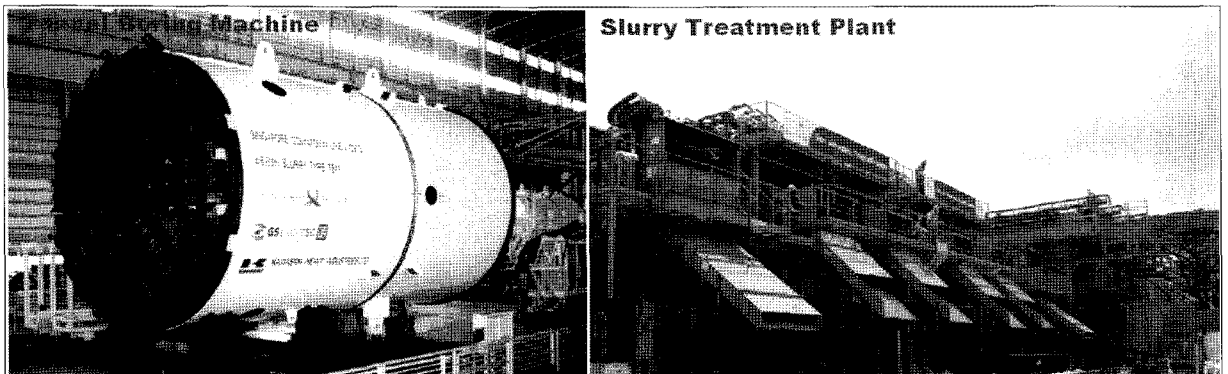


그림 7. Shield TBM 및 이수처리플랜트(STP)

Overall length : 11,300mm

- Shield jack (20nos.), Articulate jack (12nos.)
- Cutter head : Mixed type (Roller cutters & Bite cutters)
- Segment erector : Ring drum type
- Roundness retainer : Upper side expansion type
- Electrical segment hoist

### 3.2 세그먼트 설계 및 생산

터널 라이닝으로 사용되는 Segment는 설계강도 60MPa

의 철근콘크리트로서, 두께 275mm, 폭 1.4m이며 5+1 Key type이다. 세그먼트 Bolt의 Type은 Curve bolt를 사용하였다. 세그먼트의 구조설계는 싱가포르 Civil Design Criteria에서 규정하고 있는 기준을 준용한다. 세그먼트 단면 설계시 지반하중은 지반조건 즉, 암반, 토사와 상관 없이 상부토압이 모두 상재하중으로 작용하는 것으로 가정하고, 하중조합 및 지반조건에 따른 Distortional loading coefficient K를 고려하여 각각의 Case 별로 부재력을 계산하며, 부재력의 계산은 AM Muir Wood와 DJ Curtis가 제안한 연속체 Model 해석방법을 일반적으로 이용한다. 또한, 세그먼트의 경우, TBM 굴진시 추력에 대한 반력을

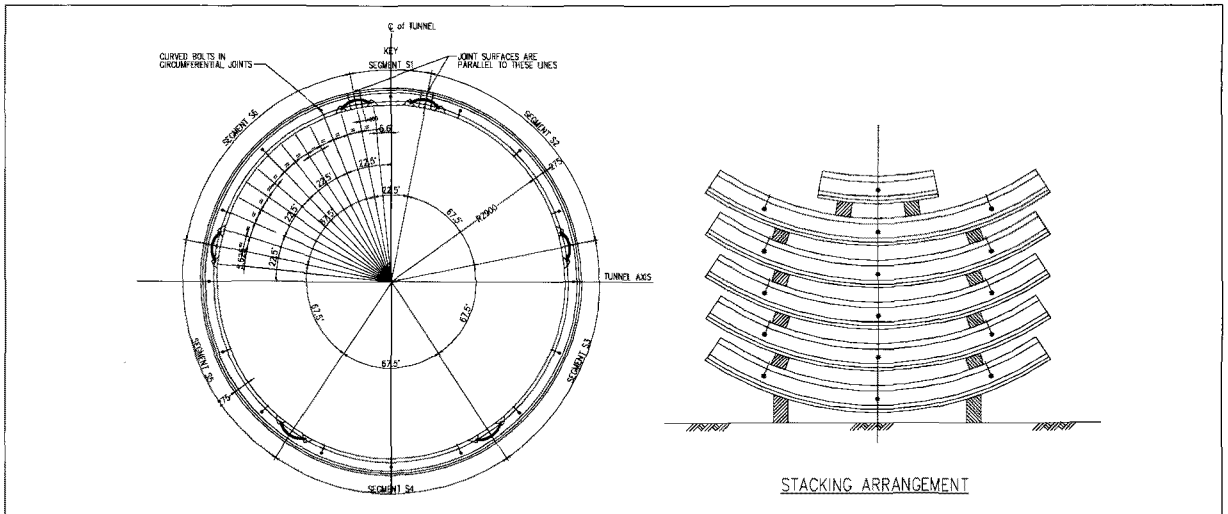


그림 8. 터널 라이닝 세그먼트

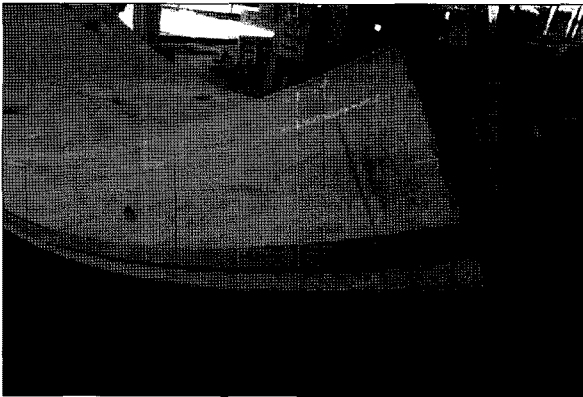


그림 9. Gasket Fitting test



그림 10. 세그먼트 Steel Cage 검수

세그먼트에 연계 되므로 TBM 추진시 발생될 수 있는 종 방향 하중에 대한 설계도 진행이 된다. 당시의 세그먼트는 TBM이 낼 수 있는 최대 추력인 49,000kN을 기준으로 설계되었으며 그 이외에도 야적, 운반, 양중, 조립 등 시 공중 발생가능한 모든 시나리오를 고려하여 면밀하게 검토, 설계되었다.

싱가포르에서 세그먼트의 차수재는 고무 Gasket의 상단에 수팽창성 지수재가 붙어있는 형태가 표준적으로 사용되며 세그먼트 각 연결부 최외곽의 Gasket groove안에

설치된다. 세그먼트는 생산전에 Concrete mix design에 대한 강도, 내구성 등 관련 품질검사 결과를 발주처의 승인을 득해야 하며 Trial assembly를 통하여 생산된 세그먼트 치수에 및 조립시 정밀도에 대한 세밀한 검증을 받는다. 싱가포르의 세그먼트를 원자재와 노동력이 싼 말레이시아에서 수급하고 있으며 품질과 관련된 모든 시험은 싱가포르에서 인정하는 공인인증 시험기관을 통하여 이루어진다.

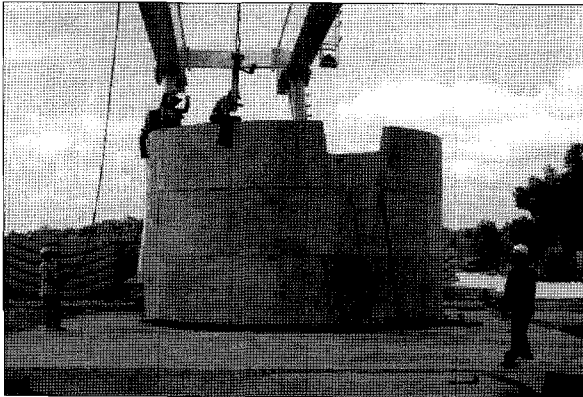


그림 11. Trial Ring Assembly test

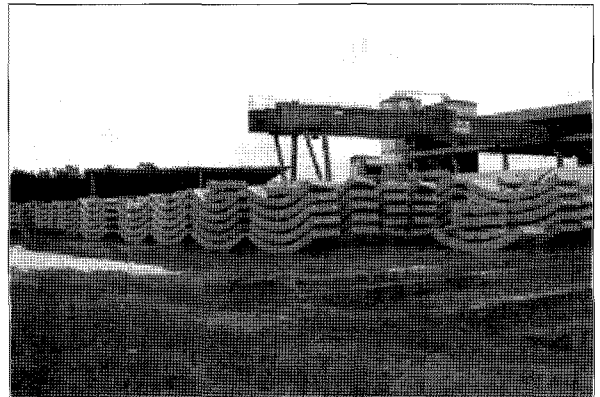


그림 12. 세그먼트 야적장

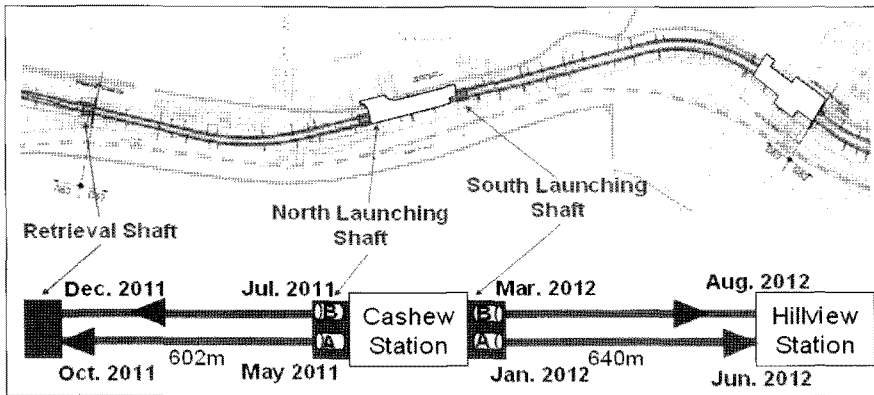


그림 13. TBM굴진계획

### 3.3 터널 굴진 계획

당 현장은 정거장 본 구조물의 굴착 및 구조물 공정과 터널공정이 영향을 받지 않도록 Cashew정거장 북쪽 및 남쪽에 각각 TBM Launching을 위한 수직구가 위치하고 있으며, NLS(North Launching Shaft)에서 인접공구인 C912 방향으로 2대의 TBM을 먼저 굴진시키고 C912 Retrieval shaft에서 회수된 TBM은 정비를 거쳐 Cashew 정거장의 SLS(South Launching Shaft)로 이동하여 Hillview station 방향으로 굴착하는 것으로 계획되어 있다.

### 3.4 수직구(NLS)굴착 및 초기굴진 준비

수직구는 내부가 가로/세로 25m의 정방형, 깊이 20m로 흠막이 공법은 1m 두께의 지중연속벽(Diaphragm wall)과 총 4단의 Strut으로 계획되었으며 Strut의 배치는 TBM Lowering 및 Assembly시 필요한 공간을 고려하여 계획되었다. 초기 굴진시 터널이 관통되는 D-wall panel에는 별도의 Hacking 작업 없이 TBM이 직접 벽을 관통할 수 있도록 철근대신 GFRP로 보강되었으며, 벽 관통 후 발생할 수 있는 급격한 지하수압 및 토압의 증가로 인한 막장 붕락을 막기 위하여 Launching부 그라우팅 보강이 설계/시공되었다. 수직구의 굴착이 완료되면, TBM Cradle 설

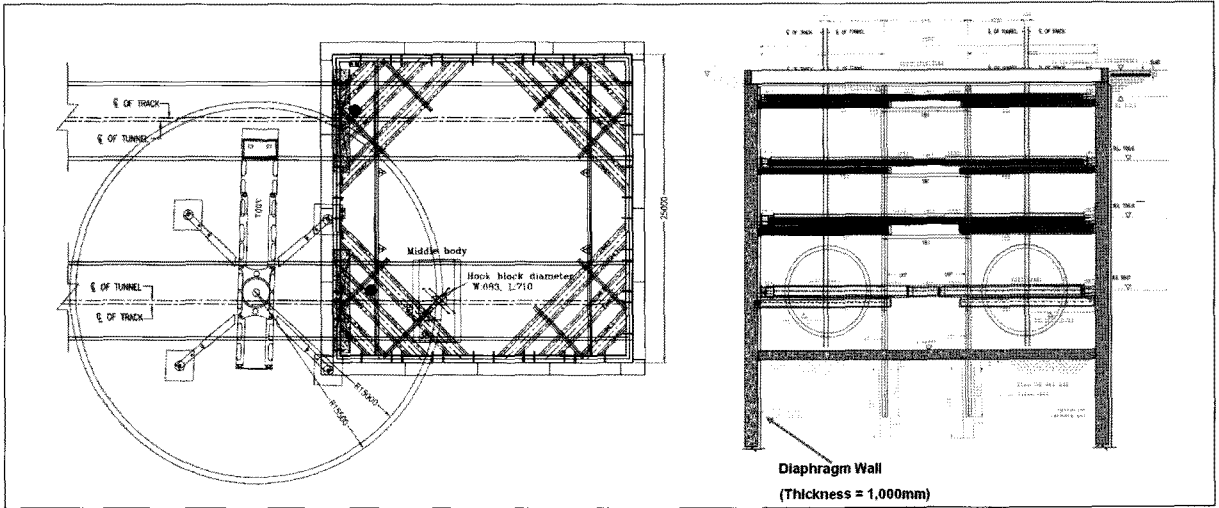


그림 14. 수직구 평면 및 단면도

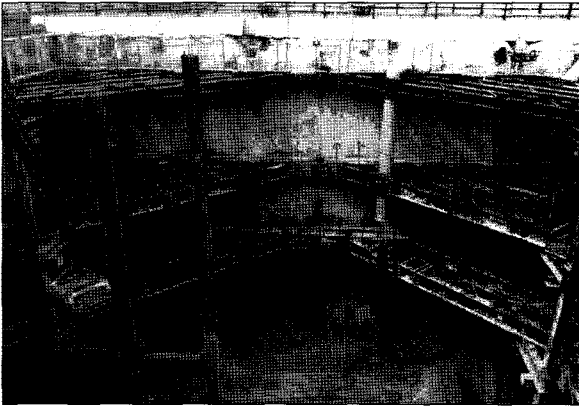


그림 15. 수직구 굴착 전경

치를 위한 Base slab와 반력대 및 Portal이 설치되고 초기굴진이 시작되게 된다.

#### 4. 결론

본 사례에서는 GS건설이 수행하고 있는 싱가포르의 지하철 설계와 시공계획에 대하여 간략하게 소개하였다. 현

재 당 현장은 TBM 발진구 굴착이 진행되고 있으며, 곧 이어 TBM 이송 및 조립과 발진준비를 위한 반력벽, 터널 Portal 등의 시공이 수행될 것이다. 이후 TBM 터널 시공 뿐만 아니라 2개 정거장의 굴착 및 구조물공정 등의 Main 공정이 본격적으로 시작될 것이다.

국내와 지반조건이 다르고, 설계 및 시공 기준이 다르기에 설계, 시공상 많은 기술적 도전과제들이 나타날 것이라고 생각된다. 특히 TBM 터널 노선을 따라 도열해져 있는 수많은 건물과 지장물의 침하 및 변위관리는 주요 시공 Point가 될 것이다. 또한 TBM 터널이 빈번히 Soil/Rock interface를 통과해야 하는 점은 추가적인 부담 요인이 아닐 수 없다. 그리고 현장 전반에 걸쳐 산재해 있는 Boulder는 TBM 운행에 큰 방해요소이나, 매 25m 마다 수행된 시추조사 만으로는 정확한 위치 및 크기를 파악하기는 불가능한 실정이다. 하지만, 이러한 잠재적 위험요소는 이미 설계 및 시공계획을 통해 반영되어 극복 방안이 수립되어 있다. 향후 이에 대한 구체적인 시공사례(Solution 및 Feedback)를 추후, 본지를 통하여 공유할 수 있기를 기대해 본다.