

# 싱가포르 동부지역 OA층에서 EPB TBM을 이용한 시공사례



조 경 호  
삼성물산(주) 건설부문  
기반기술(TBM) 주임  
(kyoungcho.jo@samsung.com)



김 재 영  
삼성물산(주) 건설부문  
기반기술(TBM), 공학박사/차장  
(jaeyoung.k@samsung.com)



심 영 홍  
삼성물산(주) 건설부문  
C923현장 부장  
(syh2011@samsung.com)



박 호 윤  
삼성물산(주) 건설부문  
C923현장 부장/소장  
(hypark@samsung.com)

## 1. 머리말

싱가포르 Down Town Line Phase 3는 싱가포르 중심가 China Town에서 동부 Expo를 연계하는 지하철 노선으로 그림 1과 같이 구성되었으며, 정거장 및 일부 확폭구간 이외에는 TBM을 이용한 Bored Tunnel로 굴착하여 공사로 인한 인접지역 피해를 최소화하도록 싱가포르 LTA(Land Transport Authority)에서 계획하여 2012년에 발주되었다.

당사가 수행 중인 DTL Ph.3 C923공구는 북동부 Changi 지역의 Upper Changi East 도로를 따라 Expo 정거장을 잇는 공사로서, 총 연장은 892.1m, Station (205.5m), Cut & Cover Tunnel (175.1m), TBM Tunnel(511.5m) 구간으로 구성되었다.

여기서는 지난 2013년 10월에 굴진 시작하여 2014

년 11월에 완료된 TBM 터널공사 중 월(30일) 최대 굴진량 310.8m를 기록한 구간의 시공내용에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 싱가포르 DTL Ph.3 C923공구의 개요

### 2.1 C923공구의 개요

C923공구는 도심지하철 DTL Ph.1을 연결하여 북동부 Changi 지역까지 운행하는 총연장 21km 노선 중 그림 2에 나타난 Upper Changi Road East에 위치하는 폭 28~40m, 깊이 24m의 정거장 1개소, Cut & Cover Cross over 1개소, 터널내경 5.8m, 상선(488m), 하선(535m)의 Bored tunnel, Cross

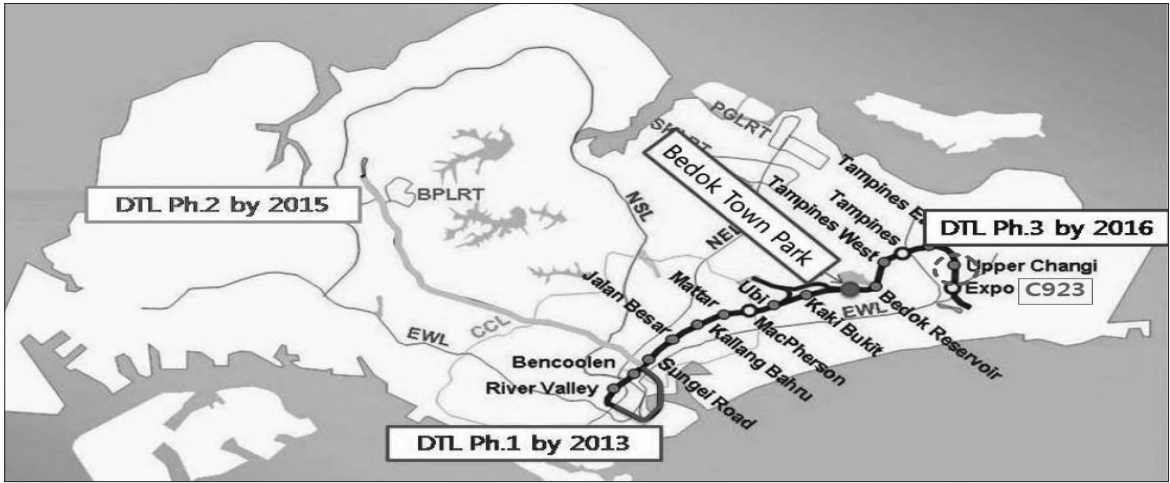
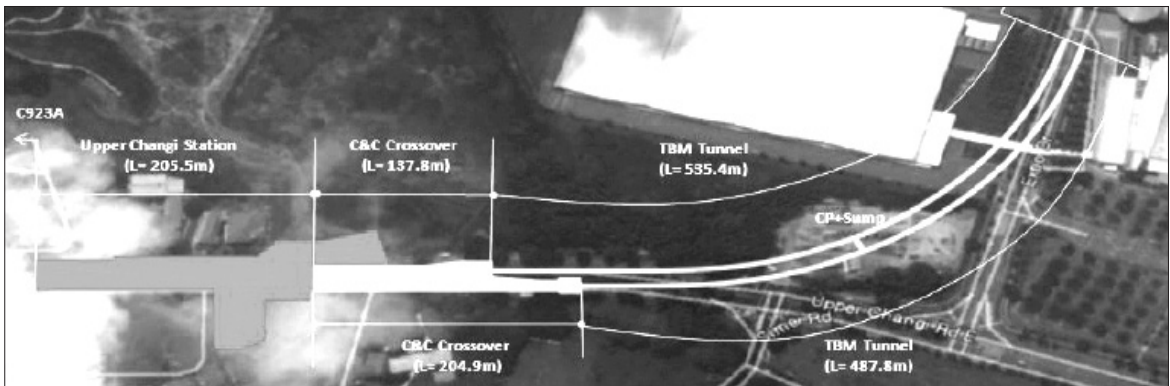


그림 1. 싱가포르 DTL Ph.3 노선도 및 C923공구 위치도



구 분	Station	Cut & Cover Crossover	Bored Tunnel
구간	Upper Changi Station	정거장~발진구	발진구~C922
연장 (m)	205.5	137.8 / 205	535.4 / 487.8
폭/직경 (m)	20.5~29.5	20.5	ID 5.8
심도 (m)	26.6	26.6	26.6~33.5
가시설 종류	D/Wall, Secant Bored Pile	D/Wall	-

그림 2. C923공구 노선 및 구조물 개요

Passage with sump 1개소, SUTD (Singapore University of Technology & Design) link way 1개 소로서 그림 2에 나타내었다. 아울러 총 공사기간은 64개월로 계획되었으며, 현재 TBM 터널 공사가 완료 된 이후, 후속 정거장 공사가 진행 중에 있다.

## 2.2 TBM 터널구간의 지반특성

TBM구간의 지반특성은 부분적으로 암석화되어 단 단하게 과압밀된 (과압밀비 4~5) 퇴적층으로서, 토피 고는 터널 상단으로부터 약 15~20m이다. 1대의 EPB

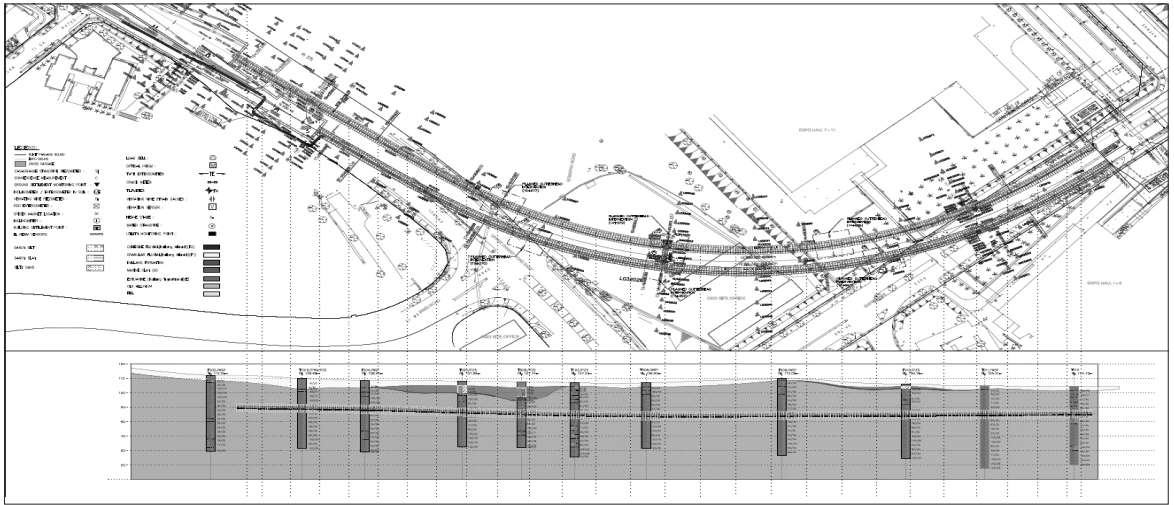


그림 3. TBM터널 구간의 지층종단도

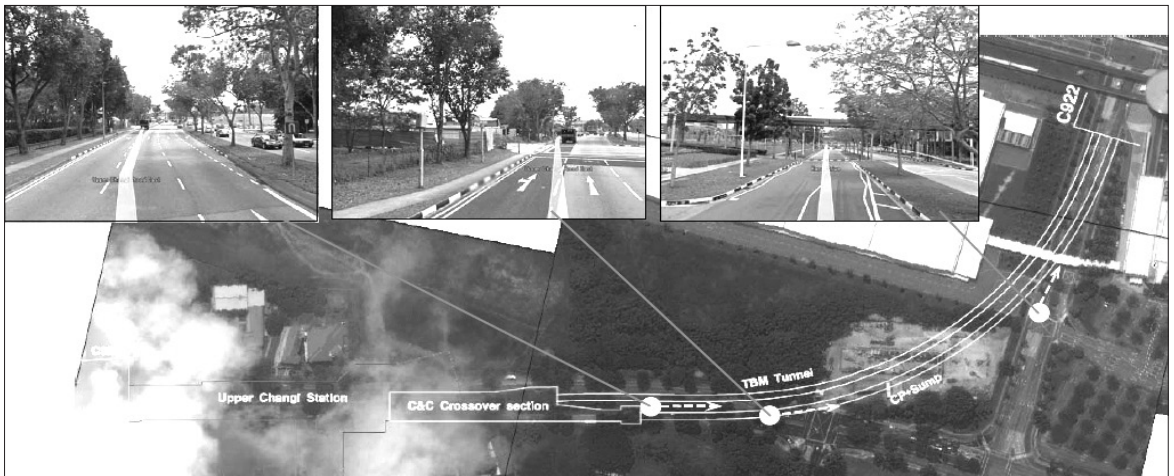


그림 4. 노선내 주요 지상부 현황

TBM을 사용하여 Bukit Panjang bound에서 발진하여 487.8m를 굴착하며, Expo bound는 535.4m를 굴착한다.

지층분포는 대체적으로 Fill층, Kallang층, OA(Old Alluvium)층으로 구성되었으며, TBM이 통과하는 지층은 N=40~100의 OA층으로 투수계수는  $K=1 \times 10^{-7}$  m/s 조사되었다. 지하수위는 지표면 아래 0~5m에 분포하는 것으로 나타났다. 주요 지층별 특징을 정리하면 다음과 같다.

- (1) Fill층 : 나무, 유기물, 암편, 블럭, 자갈 등이 산재해 있는 점성토 또는 사질토층으로 두께가 얇으며 최대 6m까지 분포하며, N값은 10이하.
- (2) Kallang층 : 미압밀~정규압밀 상태로 최대 42m 두께로 존재. 해성점토(MC), 하구점토(E), 총적모래층(F1), 총적점토(F2)로 구성.
- (3) OA층 : 부분적으로 암석화되어 단단하게 과압밀된 (과압밀비 4~5) 퇴적층. N값은 깊이에 따라 증가하며, 모래질이 우세한 Sandy OA와

점성토가 우세한 Clayey OA로 구성.

### 2.3 노선내 지상 여건

본 현장의 터널 노선은 그림 4에 나타냈듯이 기존 도로를 따라 터널 선형이 위치하고 있으며, 주요 간섭되는 지상 지장물은 없고, 인접한 C922공구 사무실 부지의 하부를 통과한다. 따라서 TBM 통과구간은 비교적 양호한 단일지층을 통과하므로 주변 지반의 침하영향은 적을 것으로 판단되었다.

실제 시공에 있어서도 2013년 8월~2014년 11월까지(16개월간) 약 100개소 이상의 계측관리 수행 결과, 현장관리기준 지표침하 ±10mm 내에 있었으며, 기타 특이사항은 관측되지 않았다.

## 3. TBM터널의 주요 설계사항

### 3.1 쉴드TBM의 형식선정

본 현장에서 사용한 쉴드TBM의 형식은 지반조건과 도로변에 위치한 현장 여건을 고려할 때, EPB 쉴드 TBM이 적합한 것으로 검토되어 적용되었으며, 그림 5에 TBM 장비의 전경과 주요 제원을 나타내었다.

### 3.2 터널 단면설계

TBM터널의 단면 개요를 그림 6에 나타내었다. TBM터널은 내경 5.8m, 세그먼트 두께 275mm로 외경은 6.35m이다. 세그먼트는 6분할(5+1key)로 강

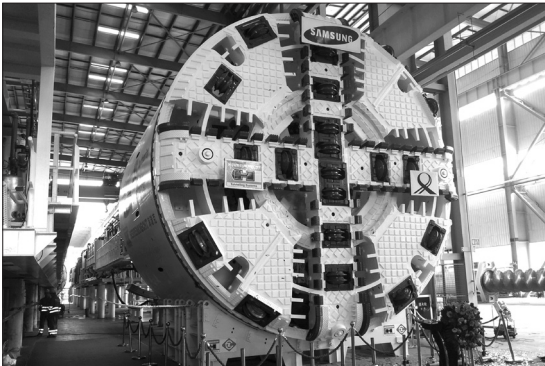


그림 5. C923현장 EPB Shield TBM 주요 제원

구분	용량
장비형식/제작사	EPB (獨, Herrenknecht)
면판형식	Semi Dome, 전면굴착형
TBM외경 / 길이	6.63m / 8,965m
추력	50,668kN
개구율	39.5%
Cutter Torque	4,474kN · m
Cutter Motor	1,200kW

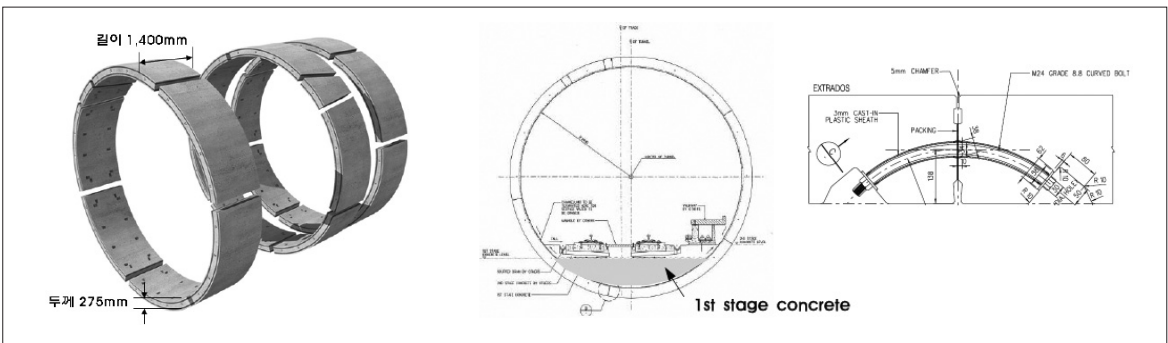
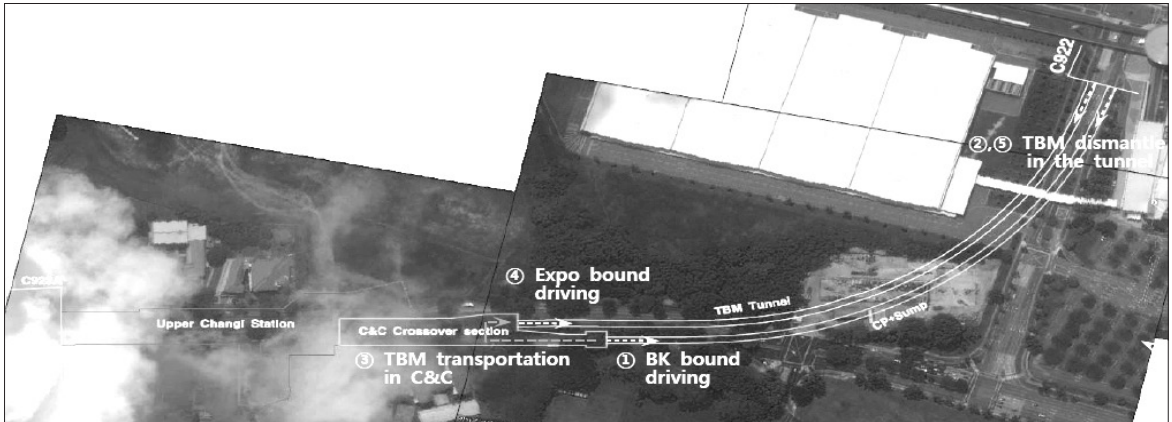
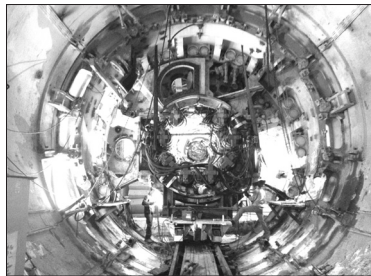


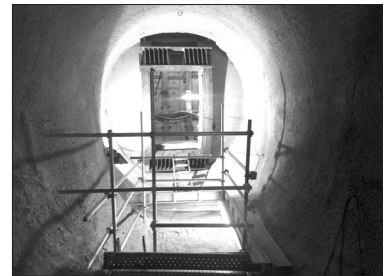
그림 6. TBM터널 단면 및 세그먼트 설계



TBM 초기굴진 발진



TBM 터널 내 해체



Cross passage with Sump 시공

그림 7. TBM터널 공사계획 개요

도 G60, 1링 길이는 1.4m이다. 세그먼트의 연결은 곡볼트 체결방식을 채택하였고, 지수재는 EPDM + Hydraulic gasket 복합형을 외측 1열로 적용하였다. 아울러 터널 관통 후에는 G30의 1st stage concrete를 타설하였다.

- (3) Expo bound 발진부로 TBM 이동
- (4) Expo bound 굴진 종료 후, Skin plate를 남기고 터널 내 해체 후 재조립하여 TBM 반출
- (5) Sump 포함한 Cross Passage 및 1st stage concrete 시공

## 4. TBM터널 공사구간의 시공계획

### 4.1 TBM터널 공사계획

그림 7에 TBM 터널구간의 공사계획을 나타내었다.

- (1) Upper Changi Station에서 Bukit Panjang bound 굴진 종료 후, Skin plate를 남기고 터널 내에서 해체 후 발진부로 이동
- (2) Bukit Panjang bound 발진부에서 TBM 재조립

### 4.2 C923 TBM 터널공사 중 최대 월 굴진 구간 간의 시공내용

본 현장의 TBM 터널공사는 2013년 10월 Bukit-panjang Bound 굴진을 시작으로, 2014년 11월 굴진 종료하였다. 그 중 Expo Bound의 2014년10월 24일~11월22일(30일)간 굴진량을 분석한 결과, 총 310.8m로 월 최대굴진율을 나타내었다.

해당 기간의 굴진데이터를 그림 8~10에 나타내었다. 그림 8을 보면 1일 평균 7.4 Ring/day를 굴진

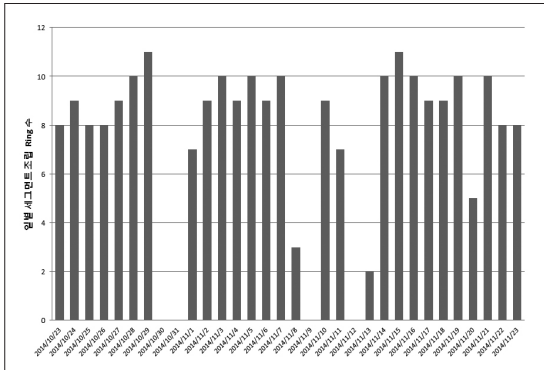


그림 8. 일별 굴진량 (세그먼트 조립Ring) 분석

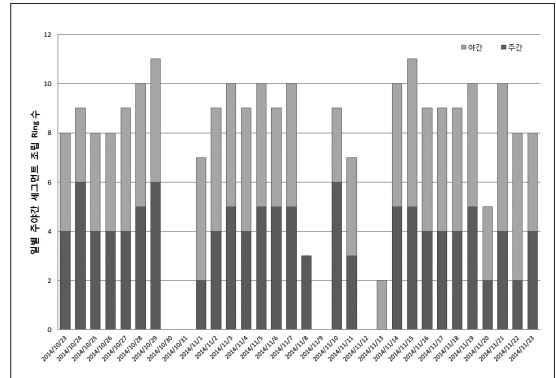


그림 9. 일별 주/야간 작업조의 세그먼트 조립Ring 분석

하였고, 그림 9의 주야간 2Shift 운영상황으로 보면, 1Shift당 2~6Ring을 굴진, 조립하였다. 특히, 상기 기간에는 유지관리 점검 및 커터교체도 시행하여 총 222Ring을 조립하였고, 세그먼트 폭 1.4m로 환산하면 310.8m (=222×1.4m)의 30일 최대 굴진장을 나타내었다. 그림 10에는 상술한 기간 중에 굴진, 세그먼트 조립시간을 나타내었으며, 표 1에 폭 1.4m의 세그먼트 1Ring을 조립하기 위한 Cycle Time을 계획대비로 비교하였다. 현장데이터를 분석해 보면, TBM 굴진 시간은 약 60~96분으로 평균 72분이 소요되었고, 세그먼트의 조립은 37~71분으로 평균 47분이 소요되었다. 당초에는 1Ring/1.4m당 굴진과 조립에 120분, 먹카교대와 Loss Time을 포함하여 1Ring당 170분, 1일

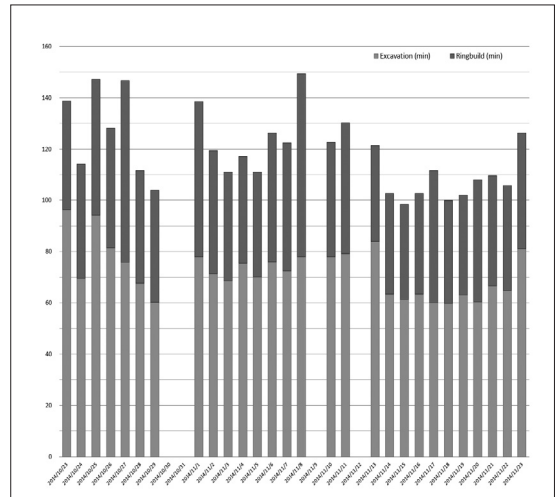


그림 10. 1Ring에 대한 실드TBM 굴진 및 세그먼트 조립시간 분석

표 1. 당초 (1Ring에 대한) 굴진을 계획 대비 공사결과

구분	단위	당초 계획	14년10월24일~11월22일	
			30일간 평균	최소~최대
굴진시간	min	70	72.1	59.9~96.4
세그먼트 조립	min	50	46.7	37.3~71.3
먹카교대, Loss Time	min	50	43.4	16~124
1 Ring 계	min	170	162.2	113.2~291.7
평균 1day 계획 굴진율	Ring조립	Ring/day	4.1	7.4
	굴진량	m/day	5.74	10.36

작업 Loss time을 고려하여 1일 5.74m/day (4.1링)으로 계획하였다. 그러나 Loss time을 최소화하기 위한 현장 대책으로서 더블트랙(캘리포니아 스위치)의 최적 간격을 검토하여 1개소에 설치하였고, 작업원들을 꾸준히 교육시켜 숙련도 향상에 노력하였다. 그 결과, 월계획굴진량 대비 월실적굴진량은 약 1.8배를 상회하였으며, 최대 15.4m/day(11Ring), 월 최대 310.8m라는 굴진 결과가 가능하였다.

## 5. 맺음말

당사가 싱가포르에서 수행 중인 DTL Ph.3 C923 프로젝트는 총 연장 892.1m의 지하철 공사로 1대의 EPB TBM을 이용하여 OA지층에서 터널공사를 완료하였다. 여기서는 TBM 터널공사 중 30일간 최대 굴진

량 310.8m를 기록한 구간의 시공사이클타임에 대해 소개하였다. 이와 같은 결과는 현장의 적극적인 개선 노력과 작업원에 대한 교육 등 공사수행능력의 종합적인 향상에 따른 결실로 판단된다.

## 참고 문헌

1. Land Transport Authority(2010), Contract 923 Upper Changi Station and Tunnels Geotechnical Interpretative Baseline Report, 4-35.
2. 김재영, 황재익, 이승복, 김응태, 키타하라 요이치(2011), 싱가포르 Down Town Line Phase 3 C923공구의 설계사례, 제12차 터널 기계화 시공기술 국제 심포지엄 논문집, 한국터널지공 간학회, p.181-186

