

UAE 하수터널공사의 이토압식 쉴드TBM을 이용한 월굴진 726m 시공사례



김재영

삼성물산 건설부문
토목ENG센터
TBM팀 차장

(jaeyoung.k@samsung.com)



장석부

삼성물산 건설부문
토목ENG센터
지하토목팀 부장



이승복

삼성물산 건설부문
토목ENG센터
지하토목팀 부장



이원욱

삼성물산 건설부문
UAE DTS T-01현장
주임



윤영진

삼성물산 건설부문
UAE DTS T-01현장
차장



오재석

삼성물산 건설부문
싱가포르 MCE483현장
소장

1. 머리말

UAE내 아부다비에서는 하수처리 시스템 개선 프로그램인 STEP(Strategic Tunnel Enhancement Programme)에 따라 총연장 약 75km의 하수터

널 및 Pumping Station 공사를 총 3개 Package, 6개 Contract로 분리하여 ADSSC (Abu Dhabi Sewerage Services Company, ADWEA 자회사)가 2009년에 발주하였다. 발주처의 기본설계는 CH2M Hill에서 수행하였다. 그림 1에 DTS프로젝트의 구간

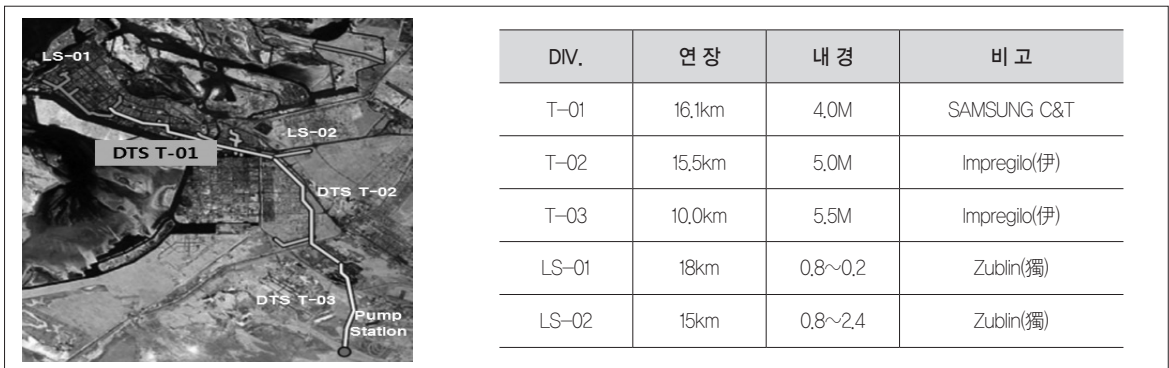


그림 1. STEP(Strategic Tunnel Enhancement Programme) 개요 및 수행업체

별 개요를 나타내었다.

당사가 수행 중인 DTS T-01프로젝트는 아부다비 내 총 연장 41.6km의 하수터널(Main Tunnel)공사 3개 구간 중 Karama St.에서 Airport Road / Al Ain 고속도로 IC 지역으로 연결하는 16.1km 하수터널 및 부속시설 공사로서 TBM터널연장 16.1km (Inner Dia : 4.0m, TBM 3대 투입), Audit Tunnel 4개소, Work Shaft(WS) 4개소, Access Shaft(AS) 3개소 등으로 구성되어 있다. 여기서는 TBM터널공사 중 월간 최대 굴진율 726m를 기록한 구간의 시공내용에 대해 소개하고자 한다.

2. 하수터널(DTS) T-01 현장개요

당사가 수행 중인 DTS T-01현장은 TBM터널연장 16.1km (Inner Dia : 4.0m, TBM 3대 투입) 외 접속 NATM터널, Access Shaft, Vortex Chamber & Drop shaft로 구성되어 있으며, 노선개요를 그림 2에 나타내었다.

터널노선은 그림 2와 같이 주로 기존 도로를 따라 계획되었으며, TBM터널은 약 25m~38m의 심도에 위치하고 있다. 또한 WS#3~WS#4구간은 바다와 연결되는 폭 520m, 수심 8m의 하저를 통과한다. 전반

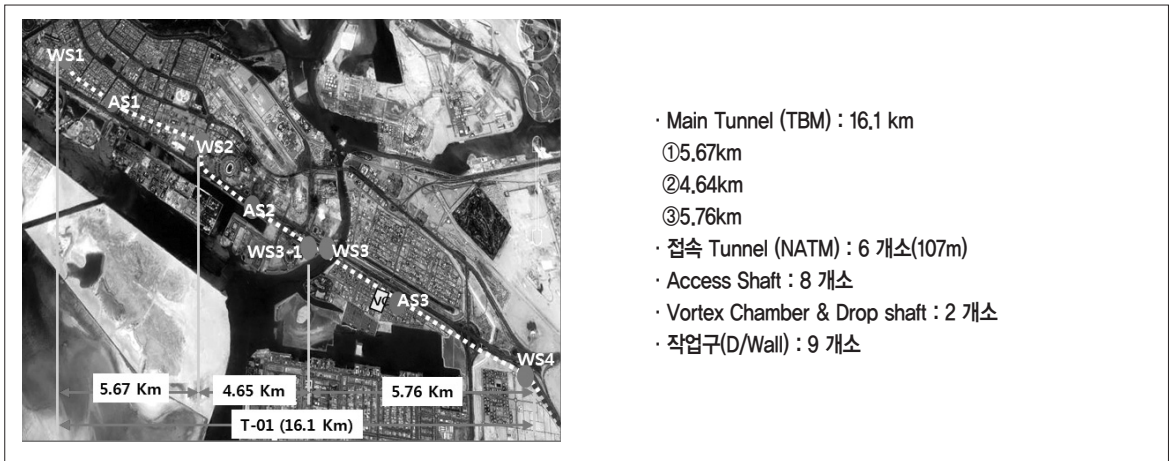


그림 2. DTS T-01구간의 개요

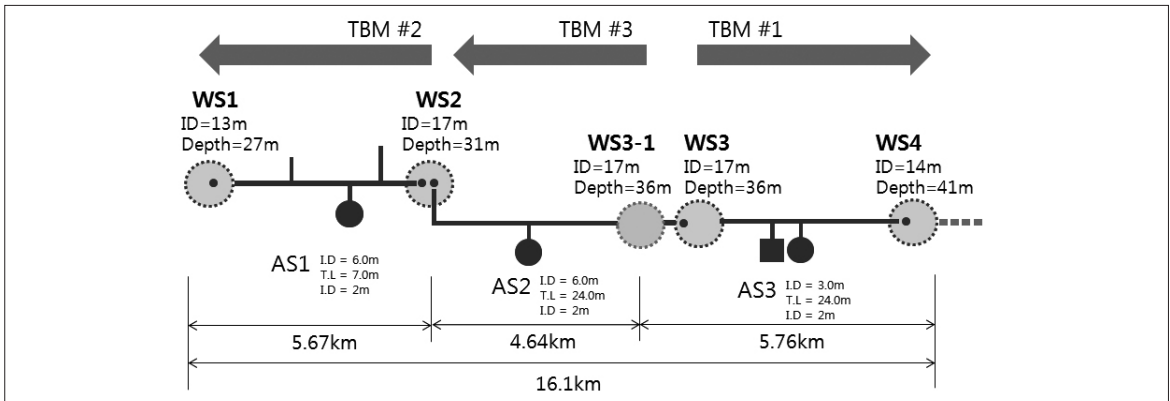


그림 3. TBM터널의 공사계획

적으로 TBM터널구간의 지반강도는 약하거나 보통 정도 세립질 퇴적암층 (Claystone, Gypsum의 혼재구간)을 주로 통과한다. 그림 2에 나타난 현장개요에 대해 3대의 실드TBM을 이용한 터널공사의 개요를 그림 3에 나타내었다.

3. TBM터널구간의 지반조건 및 단면 개요

3.1 지반조건

DTS T-01공구의 지반조건의 개요를 그림 4에 나타내었다. 표 1에는 발주처에서 제공한 지반조사에 따른 지반강도와 투수계수를 나타내었다. 전반적인 지층분포는 사질토 등의 퇴적층을 시작으로 사암, 이암, 실트암, 석고암 등 퇴적암층 분포하고 있는 것으로 나타났다.

본 공구는 지표 10~15m까지는 퇴적토층이, 그 하부에는 퇴적암층이 분포하는 것으로 나타났다. 터널구간의 지반강도는 약하거나 보통 정도의 세립질 퇴적암층(claystone, gypsum의 혼재구간)으로 TBM의 굴진은 양호할 것으로 판단되었으며, 준 불투수층으로 지하수 영향은 미비할 것으로 예상되었다. 암구간에는 최대 일축압축강도 25MPa의 약한 강도의 암반이 분포하고 있는 것으로 나타났다.

지하수위는 지표로부터 (-)2~4m로 나타났다. WS#3와 인접하여 폭 약 520m, 수심 약 8m의 인근 바다와 연결되는 하천(Creek)이 존재하고 있으며, TBM터널은 하저로부터의 토피고 약 17m하부를 통과하기 때문에 굴진시 주의가 요구되었다.

3.2 TBM터널의 단면설계

TBM터널의 세그먼트는 토압과 수압을 고려하여

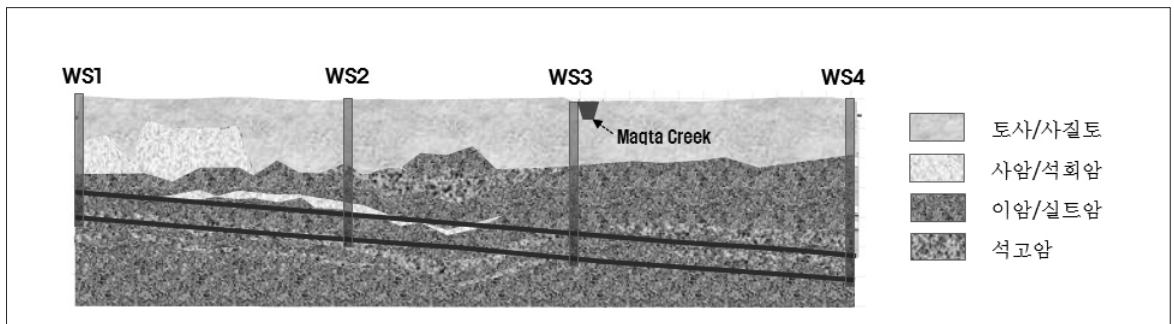


그림 4. TBM터널구간의 지층분포

표 1. 주요 설계지반정수

Stratum	일축압축강도 (MPa)	투수계수 (m/s)	Category	일축압축강도 (MPa)	Category	투수계수 (m/s)
Max.	23.4	9.65E-06	Very weak	0.1 ~ 25	Pervious	>1.0E-04
Min.	0.1	1.94E-08	weak	25 ~ 50	Semi pervious	1.0E-08~1.0E-04
Avg.	4.8	3.58E-07	Medium	50 ~ 100		
Standard Dev.	5.7	6.73E-07	Strong	100 ~ 200	Impervious	<1.0E-08
			Very strong	100 ~ 200		

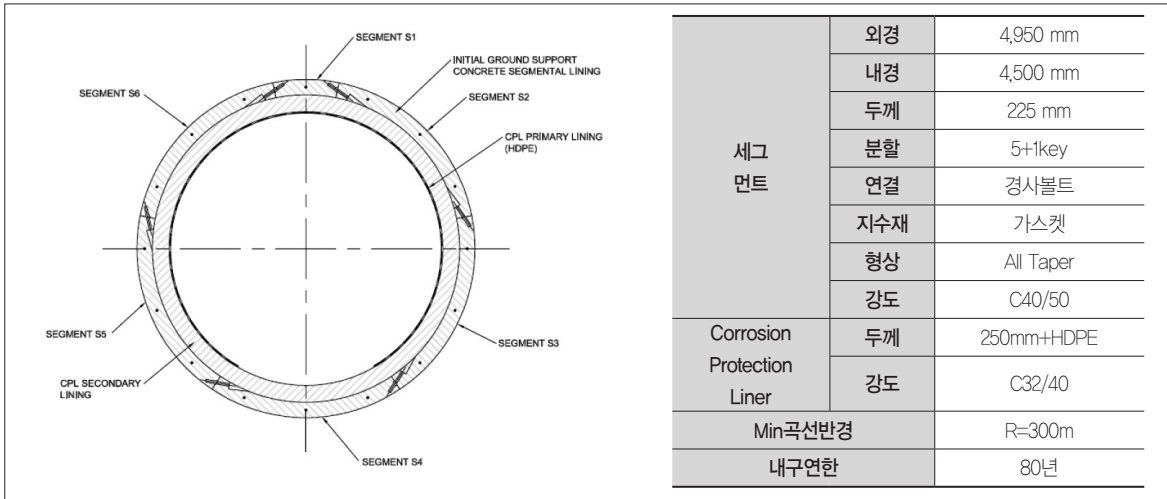


그림 5. TBM터널의 단면설계 개요

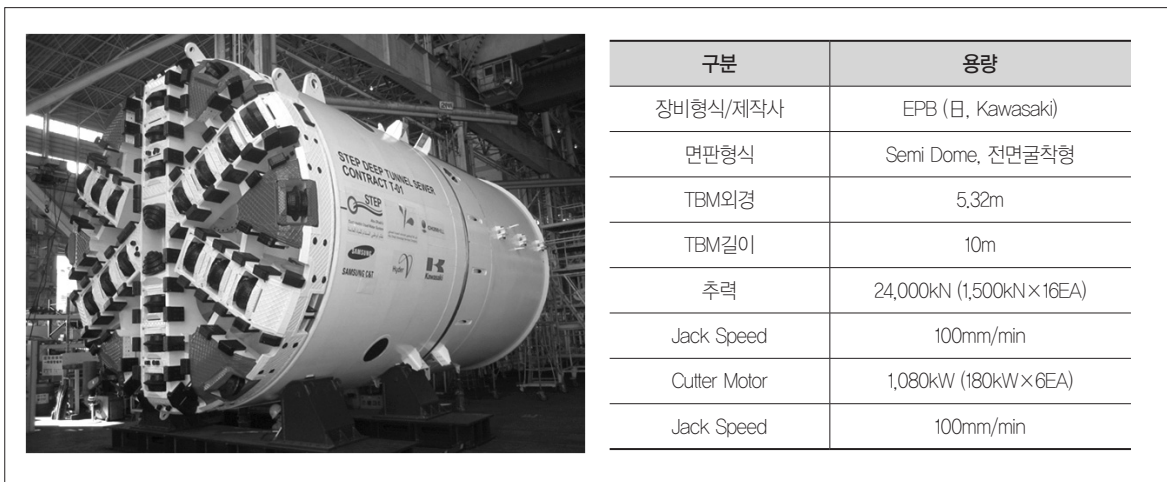


그림 6. DTS T-01현장 EPB 쉴드TBM의 주요 제원

두께는 225mm로 설정하였으며, 2차 라이닝은 세그먼트와 상호 거동하는 것으로 해석하도록 발주처에서 요구하여 두께 250mm의 무근콘크리트로 설계하였다. 그림 5에 TBM터널의 단면개요에 대해 나타내었다.

3.3 쉴드TBM의 형식선정

본 현장에서 사용하는 쉴드TBM의 형식으로는 도

심지 통과, Creek(하저)통과 및 상술한 지반조건을 고려하여 3개 구간 모두 EPB Type으로 선정하였다. 장비형식과 사양의 주요 검토사항은 다음과 같으며, 그림 6에 TBM장비의 전경과 주요 제원을 나타내었다.

- 하저 통과구간은 수심이 약 7m, 토피고 약 15m 중 암반층 두께가 13m정도로 파악되므로 주변 지반과 지반특성이 크게 다르지 않기 때문에 수압에 대응 가능하지만, 막장압 등 집중 굴진관리 및 용수에 대한 대비 필요.

- 연암용 Cutter Head의 필요성
- 장거리 TBM굴진에 따른 내구성 및 수압을 고려한 TBM장비설계

4. TBM터널공사 중 최대 월굴진구간의 시공내용

TBM터널은 2012년 3월에 1호기의 굴진을 시작으로 2013년 9월에 1~3호기 모두 터널굴착을 종료하는 계획으로서 현재 굴진중에 있다.

TBM터널구간 중 2호기를 사용하는 1구간(WS#2 →

WS#1)의 경우, 2012년 10월 6일~11월 4일(30일)간의 굴진량은 726m로서 기록적인 성과를 나타내었다.

2호기의 30일간 굴진Data를 그림 7~9에 나타내었다. 그림 7을 보면 1일 6~23 Ring/day를 굴진하였고, 그림 8에 나타난 주야간 2 Shift 운영상황으로 자세히 보면 1 Shift당 5~12Ring/shift를 조립, 굴진하였다. 2012년 10월 6일~11월 4일(30일)간에는 유지관리 점검도 효율적으로 시행하여 작업손실을 최소화하면서 굴진/조립한 Ring은 총 484Ring으로 세그먼트 폭 1.5m로 환산하면 726m(=484×1.5m)로 나타났다.

그림 9에는 상술한 기간 중에 굴착, 세그먼트 조립시간을 나타내었으며, 표 2에 현장에서 계획한

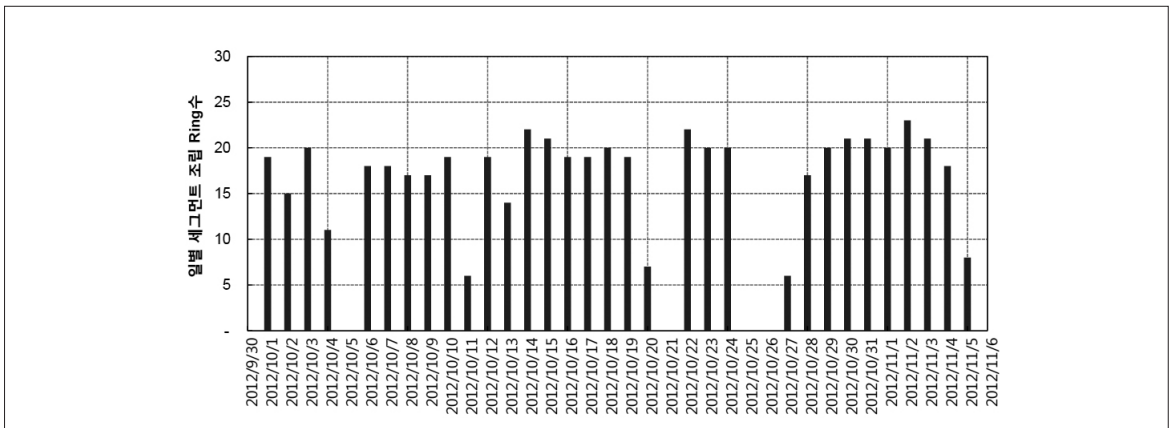


그림 7. 일별 굴진량 (세그먼트 조립Ring) 분석

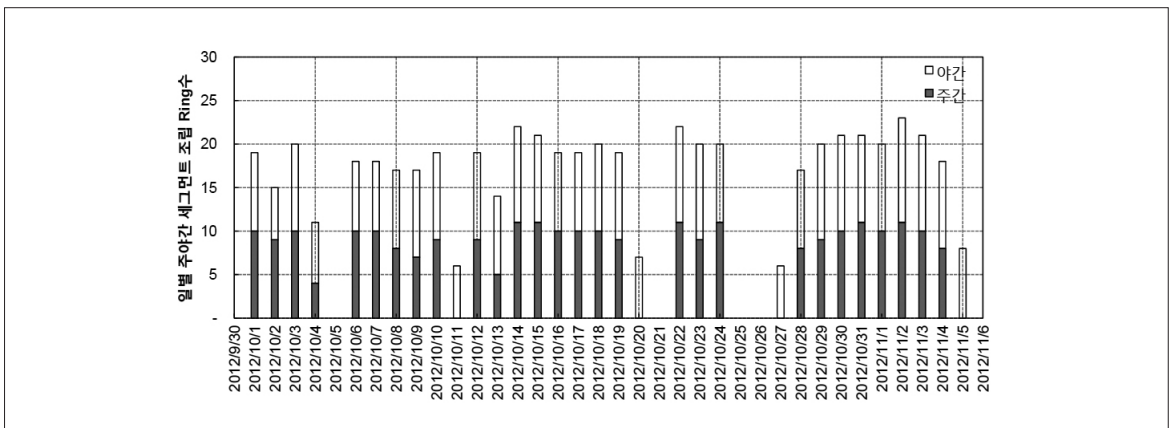


그림 8. 일별 주/야간 작업조의 세그먼트 조립Ring 분석

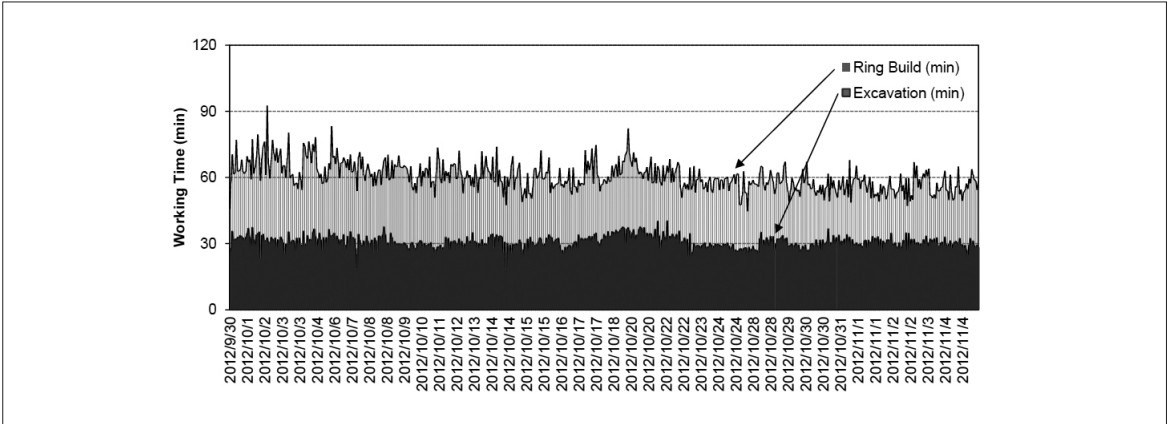


그림 9. 1Ring에 대한 TBM굴착 및 세그먼트 조립시간 분석

표 2. 당초 (1Ring에 대한) 굴진을 계획 대비 공사결과

구분	단위	당초 계획	12년 10월 6일~11월 4일	
			30일간 평균	최소~최대
굴착시간	min	30	31	17~40
세그먼트 조립	min	30	30	20~60
먹카교대, Loss Time	min	16	-	-
1 Ring 계	min	76	61	45~83
평균 1day 계획굴진을	Ring조립	Ring/day	11	14~23
	굴진량	m/day	16.5	21~34.5

폭 1.5m의 세그먼트 1Ring을 조립하기 위한 Cycle Time계획대비 공사내용에 대해 비교하였다. 현장데이터를 분석해 보면, TBM굴착시간은 17~40분으로 평균 31분이 소요되었고, 세그먼트의 조립은 20~60분으로 평균 30분이 소요되었다. 당초에는 1.5m의 세그먼트 1Ring을 조립하는데 60분, 먹카교대와 Loss Time을 포함하여 1 Ring당 76분, 1일 작업을 고려하여 계획한 1일 16.5m/day (11링)으로 계획하였다. 그러나 장대터널내 버력운반 등 발생예상되는 Loss time을 최소화하기 위한 현장 대책으로써 더블 트랙(캘리포니아 스위치)의 최적 간격을 검토하여 2개소에 설치하였고, 작업원들을 꾸준히 교육시켜 숙련도 향상에 노력하였다. 그 결과, 계획 월 굴진량 대비

1.3~2배를 상회하는 시공결과를 얻었으며, 1일 최대 34.5m/day(23Ring), 월 최대 굴진율 726m라는 기록적인 결과가 가능하였다. 참고로 사진 1에 현장의 작업상황별 전경을 나타내었다.

5. 맺음말

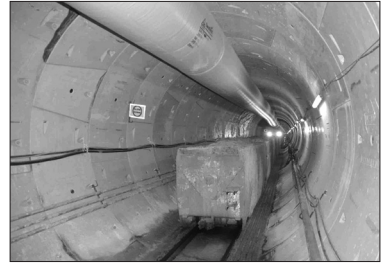
당사가 UAE 아부다비내에서 수행 중인 DTS T-01 프로젝트는 총 연장 16.1km 하수터널 및 부속시설 공사로 3대의 EPB TBM을 이용하여 공사중에 있다. 본 기사는 TBM터널공사 중 12년 10월 6일~11월 4일(30일간) 월 최대 굴진량 726m를 기록한 구간의 시공내



(1) 굴진관리 및 모니터링



(2) 세그먼트의 조립



(3) 갱내 세그먼트 및 버력운반



(4) 갱내 캘리포니아 스위치 설치



(5) 수직구 버력인양



(6) 지상작업장

사진 1. TBM공사 현장전경

용에 대해 소개하였다. 이와 같은 결과는 국내의 TBM 굴진율 기록으로 볼 때, 국내 건설업체로는 최대 굴진 기록으로 사료되며, 그 이유는 현장의 적극적인 개선 노력과 작업원의 교육 등 종합적인 공사수행능력의 향상에 따른 결실로 판단된다.

끝으로 최근 동남아, 중동 등 해외 Project에서 TBM터널 공사가 하수터널, 지하철, 전력구 등 다양한 용도로 발주가 되고 있으므로 향후 본 자료가 참고가 되기를 기대한다.

참 고 문 헌

1. Geotechnical Interpretative Report (2009), Design and construction for strategic tunnel enhancement programme deep tunnel sewer contract T-01, Abu Dhabi Sewerage Services Company.