



중동 최장 지하차도(Sheikh Zayed Tunnel) 건설 공사(상부구조:2경간 연속 프리텐션 PSC 거더교 형식)

Construction of the Longest Cut & Cover Tunnel in the Middle East(Superstructure;Two Span Continuous Pretension PSC Girder Bridge Type)

박해균 Hae-Geun Park 삼성물산(주) UAE Salam Street 현장 설계팀장	임영선 Young-Sun Lim 삼성물산(주) UAE Salam Street 현장 공무팀장	김용희 Yong-Hee Kim 삼성물산(주) UAE DTS T-01 현장 소장	이형진 Hyung-Jin Lee 삼성물산(주) UAE Salam Street 현장 소장
-----------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------

1. 머리말

아라비안 반도 동부에 위치한 7개의 에미레이트(토후국)로 구성된 아랍에미레이트 연합(United Arab Emirates, UAE), 두바이(Dubai)를 모르는 회원은 거의 없겠지만 두바이가 UAE의 한 토후국이고, 아부다비(Abu Dhabi)가 UAE의 수도란 사실을 아는 회원들은 그리 많지 않을 것 같다. 두바이에서 약 1시간 20분 거리에 있는 아부다비는 세계 5위 산유국인 UAE의 수도이자, 원유 보유량의 94%를 차지하고 있는 정치, 경제, 사회의 중심지이다.

아부다비는 1971년에 독립되었으며, 원유 수출에 힘입어 짧은 기간에 많은 부를 축적한 나라로 80년대 초에서 90년대 초까지 약 10여 년의 기간 동안 대대적인 도시 개발이 이루어졌다. 현재의 아부다비 시내 도로망 및 기존 Utility 네트워크, 고층빌딩 대부분이 이 시기에 건설되었으며, 이후 도시 발전 및 사용자 수요에 따른 점진적인 인프라 개선 공사가 진행되다가 2000년도 후반 급격한 원유 상승에 힘입은 여유자금 확보로 대대적인 2차 도심개발이 한창 진행 중에 있다. 현재는 'Plan Abu Dhabi 2030'이라는 마스터플랜 하에 도시의 재정비 및 업그레이드 작업을 추진하고 있으며, 본 지하차도 공사도 이 계획의 일환으로 발주되었다.

본 Sheikh Zayed 터널 프로젝트(계약명: Al Salam Street 터널 프로젝트)는 발주처인 아부다비 시청(ADM)을 포함, 주요 관공서와 수많은 기업들이 밀집해 있는 아부다비 중심 도로 중의 하나인 Al Salam Street를 전면 차단, 총 연장 3.6km의 8차선 지하차도(개착터널) 건설 및 상부도로를 복원하는 아부다비 최초의 대형 지하토목 프로젝트이다. 총 공사비 미화 886백만 달러(한화 약 1조 원)의 mega 프로젝트로 토목공사 이외에 MEP 및 Utility 공사가 포함된 대규모 복합공사이다(사진 1).



사진 1. 아부다비 Sheikh Zayed 터널 프로젝트(계약시, Al Salam Tunnel)

2. 공사개요

2.1 프로젝트 개요

본 프로젝트의 규모와 특징에 대해 이해하기 쉽게 비교 설명하자면, 현재 콘크리트학회가 위치해 있는 강남 테헤란로의 교통난을 해소하기 위하여 기존 도로를 전면 차단한 후, 개착터널(cut & cover tunnel) 방식을 이용하여 왕복 8차선, 연장 3.6km(대략 강남역에서 삼성역까지 거리)의 지하차도를 건설하고, 그 위에 다시 기존 도로를 복원하는 공사로 표현할 수 있을 것이다.

고층 빌딩과 교통이 밀집된 도심 지역을 15m 이상 지반을 굴착하여 매스콘크리트를 타설하고, 수 십대의 크레인을 동시에 동원하여 거더를 운반/가설하고, 전기, 수도, 전력선 등 각종 유틸리티 공사와 수시로 바뀌는 De-tour 등 도심지 공사에 예상되는 각종 민원을 고려한다면

표 1. Sheikh Zayed 터널 프로젝트 개요

항목	내용
공사명	Upgrading Al Salam Street & Abu Dhabi City Ring Road Contractor No.1(AI Salam Street Tunnel)
발주처	Abu Dhabi Municipality(아부다비 시청)
발주처 컨설턴트	Louis Berger Group, Inc
설계/공사감리	Parsons International Limited
시공사 JV	SAMSUNG C&T(55%), Saif Bin Darwish(45%)
공사금액	US\$886,139,000(한화 약 1조원, 공사기간 평균 환율)
공사기간	2008. 5 ~ 2012. 12(56개월)
공사개요	터널 총연장 : L = 3.6km(터널 왕복 8차선, 상부도로 주요시설 : 터널 L = 2.4km, Depressed road L = 1.2km Utility 이설-상수/하수관, 우수관, 전력선, 통신 등 M&E-환기/소방시설, TCS/SCADA 설비 등 24개의 유틸리티룸(사무실 용도의 건축 구조물)

*인접공구에서 시공할 터널(오픈구간)을 포함할 경우, 터널 총 연장은 약 4.6km



그림 1. Sheikh Zayed 터널 현장 위치도(아부다비, UAE)

관련 공사를 경험하지 않은 일반인이라 할지라도 공사 여건이 어떤지를 쉽게 머릿속에 떠올릴 수 있을 것이다. 프로젝트 개요와 위치를 <표 1, 그림 1>에 나타내었다.

2.2 지반 조건

UAE의 지질은 상대적으로 최근의 지질연대에 일어난 수많은 해수면 변화와 관련된 퇴적현상과 깊게 관련되어 있다. 전 지역이 평탄한 지형을 보이고 있으며, 지표면은 풍적성의 Dune sand나 증발 잔류암으로 이루어진 특성을 가지고 있다. 오랜 기간 해수면의 변화는 아라비아 판에 많은 석회암 층을 형성 시켰으며, 본 터널의 경우 설계 지질 프로파일 상으로 사암과 석회사 석회암층을 통과하는 것으로 조사되었다.

2.3 터널 단면 및 Layout

터널 단면은 <그림 2, 사진 2>에서 보는 바와 같이 구간에 따라 4가지 단면으로 나눌 수 있으며, 터널 진/출입 구간인 Section 1은 상부구조가 없는 오픈 형태로, 메인 터널구간에서는 상부에 거더 교량 형식으로 상부도로를 구성하는 Section 2~4 형태로 시공되었다.

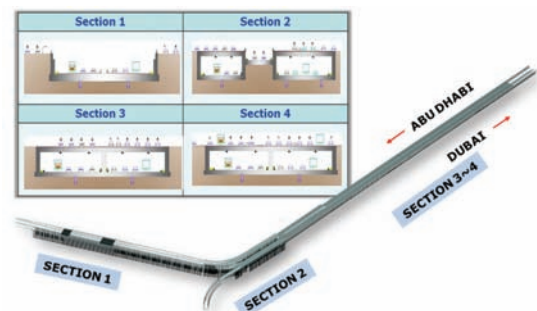


그림 2. Sheikh Zayed 터널 단면 및 Layout



사진 2. Sheikh Zayed 터널 대표 단면(상부:2경간 연속교)

표 2. 현장 콘크리트 배합표(K415)

W/C (%)	Slump (mm)	S/a (%)	OPC (kg)	GGBS (kg)	MS (kg)	Water (kg)	Agg. (kg)	Sand (kg)	Admix. (liter)
0.33	175	44.5	132	286	22	145	1,030	825	6~9

2.4 콘크리트

본 공사에 사용된 총 콘크리트 물량은 약 85만 m³로 도심지 공사 여건을 고려하여 현장 인근에 별도의 배치 플랜트를 운영하였다. 콘크리트 재료 요건 중 제한사항으로 경화콘크리트의 내구성 조건을 충족시키기 위하여 GGBS(고로슬래그) 또는 PFA(플라이 애시)를 혼용하여야 한다는 점이였다. 당 현장에서는 상기 GGBS 외에 마이크로실리카(실리카 폼)를 5~6% 첨가하여 사용하였다. <표 2>는 현장에 사용된 실 배합표를 나타내었다. 한편, 공사 특별시방서에는 ① 대기온도 30℃ 초과 시 콘크리트 타설을 위한 추가 대안 제시, ② 대기온도 35℃ 초과 시 콘크리트 타설 불가로 콘크리트 타설시 온도를 규정하고 있다. 그러나 아부다비의 하절기(6월~9월) 낮 시간대 평균온도는 거의 40~50℃ 정도로 감리단과의 협의를 통해 콘크리트 타설 규정을 변경하였으며, 최종 승인된 온도 규정은 ① 대기온도 35℃ 미만: 28℃까지 허용, ② 대기온도 35℃ 초과: 26℃까지 허용하는 것으로 하였으며, 변경된 온도규정을 맞추기 위하여 하절기에는 Ice plant를 추가로 활용하였다.

3. 터널 구조물 시공

본 공사는 발주처로부터 제공된 계약도면을 근거로 시공사가 시공만 하는 공사로 계약되었다. 하지만 제공된 계약도면이 국내 기본설계 정도의 도면으로 상세 시공을



사진 3. Sheikh Zayed 터널 시공

위해서는 현장 자체적으로 계약도면을 상세화 해야 했고, 가시설과 대안 공법을 위한 추가적인 설계와 검토는 모두 시공사의 역할이었다.

3.1 터널 하부공사

우선 인구 밀집 도심지역에서의 시공시 높은 강성과 빠른 시공속도, 기존 건물과의 근접시공과 양호한 차수성, 그리고 저진동과 저소음의 특징을 가지는 다이아프램 월을 터널 양쪽으로 전 노선(총 7,300m)에 걸쳐 시공을 하였다. 지하수에 의한 양압력(부력) 저항을 위해 콘크리트계 인장 보드파일(bored pile)이 사용되었으며, 파일 길이는 5.0~6.5 m, 직경은 샤프트(Shaft)는 800 mm, 선단은 1,200 mm였다<사진 3>.

터널 베이스 슬래브는 평균 2.6m 두께와 46m 폭(왕복 8차선)으로 30m 신축이음을 가지고 시공 되었으며, 베이스 슬래브 1회 최대 타설 물량은 5,200 m³이었다. 매스콘크리트 영향을 분석하기 위하여 3개의 베이스 슬래브에 대한 온도 모니터링을 실시하였으며, 그 결과 최고 온도는 60℃ 내외, 내외부 온도차는 15℃ 내외로 확인되었다. 터널 벽체는 평균 두께 1.5m로 30m 신축이음에 10m마다 시공이음이 설치되었으며, 벽체 평균 높이가 8m인 관계로 2회 분할 타설을 실시하였다. 동일한 두께의 중앙벽체를 설치하여 상, 하행 구분하였다<사진 4>.

3.2 터널 상부공사(프리텐션 거더 제작/가설)

본 프로젝트 특징 중의 하나로 상부공이 일반 개착터널에서 사용되는 현장타설 콘크리트 슬래브가 아닌 2경간 연속 PSC 교량 형식(거더+루프 슬래브)으로 설



사진 4. 터널 베이스 슬래브 콘크리트 타설



사진 5. AASHTO 프리텐션(Pretension) 거더 제작 과정(총 2,211본)

계되었다는 점이다. 오픈 구간을 제외한 터널 상부에는 미국 AASHTO Modified Pretension 거더(Type1-3, Lmax=32 m)가 사용 되었으며, Box beam은 램프 구간에, Hollow core beam은 24개의 유틸리티룸에 사용되었다. 프리텐션 거더에는 0.5인치 PS 강연선(항복강도 1,860 MPa)이 직선+곡선의 혼용 배치 형태로 사용 되었으며, 소규모 물량인 포스트텐션 거더에는 0.6인치 PS 강연선이 사용되었다. 디본딩(De-bonding) 작업을 위해 도면상에 지정된 강선(약4~6개소) 끝단부에 약 1.2~2.7m 정도의 본드 브레이커를 설치하여 디텐션시 인장응력 발생을 의도적으로 조절하였다. 본 프로젝트에 사용된 거더 총수는 2,211본이며, 사용된 거더별 제원과 단면, 제작과정을 <사진 5>에 나타내었다.

철근망 케이지 및 몰드 셋팅이 완료되면 Mono jack을 사용하여 강선을 긴장(설계 인장력, 138 kN/강선) 하였다. 긴장작업은 2단계로 진행되었는데 1단계는 강선 정렬과 신장량 측정의 기준점 확보를 위하여 설계 인장력의 최대 25%까지 긴장하였으며, 이어 설계 인장력까지 2단계 긴장을 실시하였다. 강선 긴장 후, 펌프카를 이용하여 콘크리트를 타설하였으며, 디텐션 시기 결정을 위한 강도 측정용 몰드를 별도 제작, 관리하였다. 계획된 제작 사이클 확보(1본/1일/몰드)를 위하여 급속증기양생(최대온도 60℃, 최대온도 지속시간 7시간)을 실시하였다. 타설 후 16시간 내에 설계 강도의 90% 이상 확보된 것을 확인한 후 몰드를 개방하였고, Holding down device를 절단하여 해체한 후, 유압잭을 이용한 Multi-strand detension 방법을 이용하여 긴장된 강선을 릴리스 하였다.

루프 슬래브 콘크리트는 전폭 동시 타설로 인한 부모

멘트 부의 균열과 기후/환경 조건에 의한 수축 및 표면관리의 어려움이 예상되어 부모멘트 부를 먼저 타설하는 분할 타설을 실시하였다. 타설 후 40mm 두께로 2회 포설하는 아스팔트 포장공사를 실시하였고, 이후 실 트럭을 이용한 load test를 수행하여 교량 구조물로서의 구조적 안전성을 최종적으로 검증하였다<사진 6>.

4. 터널 내화공사(suspended ceiling system)

NATM 터널 라이닝 콘크리트와는 달리 대부분의 개착터널은 터널 상부 구조물이 직접 하중을 분담하는 구조체 개념으로 설계되며 특히, 본 터널은 개통 후 트럭 등 중차량이 통행하게 되어 있고, 화재 발생 시 거더의 손상은 심각하게는 상부도로의 붕괴와 같은 대형 참사를 가져올 수 있는 상황이다. 따라서 오픈 구간을 제외한 2.4 km 터널 구간에 대해 네덜란드 RWS(최고온도 1,350℃, 2시간 내화) 규정을 만족하는 내화보드가 거더 하부에 설치된 프레임에 의해 지지되는 터널 내화공사가 실시되었다<그림 3>.



사진 6. 터널 상부 거더 가설 및 루프 슬래브 시공

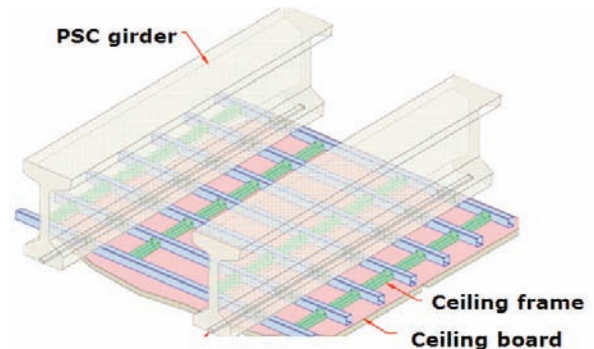


그림 3. Suspended Ceiling System

5. 맺음말

총 공사비 약 1조원 규모로 아부다비가 개발된 이래 가장 큰 지하 메가 프로젝트인 Sheikh Zayed 터널(개착터널로 상부는 프리텐션 거더를 이용한 2경간 연속교량 형식) 공사는 고층빌딩 숲에 인접한 도심지 공사로 작업 공간 부족, 수도/전기/상수 등 복잡한 유틸리티와의 전쟁, 150회에 달하는 De-tour, 많은 설계변경 등 어려운 현장 여건과 여름 최고 50℃를 상회하는 고온과 3개월간의 Summer break, 그리고 라마단 등 생산성이 떨어지는 중동지역의 열악하고, 특수한 사회적, 환경적 여



사진 7. Sheikh Zayed 터널 상부도로 오픈(2011.9)

건 속에서도 한 건의 기술사고 없이 무사히 터널을 오픈하게 되었다(사진 7, 8). 지면 제약으로 많은 부분을 보여 줄 수 없는 아쉬움도 있으나 중동을 대표하는 상징적인 프로젝트에 참여할 수 있었다는 점에서 학회 회원의 한 사람으로서 자부심을 느끼며, 지금도 해외 오지현장에서 근무 중인 많은 건설 관계자 분들의 건강과 가정의 평안을 기원한다. 끝으로 한마디 한다면 “중동 상인이라 말이 결코 그냥 나온 말은 아닌 것 같다!”

담당 편집위원 : 차수원(울산대학교) chasw@ulsan.ac.kr



사진 8. Sheikh Zayed 터널 내부도로 오픈(2012.12)



박해균 박사는 일본 교토(Kyoto) 대학교 토목공학과에서 FRP를 이용한 콘크리트교량 성능향상/구조보강에 관한 연구로 박사학위를 취득하였고, 2000년 삼성물산(주)에 입사하여 기술개발과 현장 및 입찰설계 지원을 수행하였다. 주요 관심분야는 고성능 콘크리트를 활용한 교량, 터널 등 토목구조물의 성능향상이며, 고성능 콘크리트, 내화위원회 및 학회 대의원으로 활동하였다.

hgpark68@samsung.com



임영선 팀장은 연세대학교 토목공학과를 1990년에 졸업하고, 1993년 삼성물산(주)에 입사하여 싱가포르 MRT, 싱가포르 Deep 터널 등 약 20년간 국내 및 해외현장에서 쉴드터널 및 지하토목 전문가로 근무를 하였으며, 현재 Salam Street 현장 공무/계약팀장으로 근무하고 있다.

epbshield@samsung.com



김용희 소장은 1983년 삼성물산(주)에 입사하여 싱가포르 C 703 지하철, 인도 뉴델리 지하철 등 약 30년간 국내 및 해외현장에서 지하철 및 지하철도 전문가로 근무를 하였으며, 당 현장 공사팀장 역임 후, 현재 아부다비 DTS T-01(쉴드터널) 현장 소장으로 근무하고 있다.

cyhkim@samsung.com



이형진 상무는 1982년 삼성물산(주)에 입사하여 대만 지하철, 태국 야나와 하수처리공사, 싱가포르 C 423 지하철도, 이집트 다미에타 항만확장공사 현장소장, 두바이 팜제벨알리교량 현장소장, Salam Street 현장소장을 역임하는 등 해외현장에서만 30년간 근무를 한 해외건설 전문가로 2008년 자랑스러운 삼성인상을 수상한 바 있다.

hyungjin.lee@samsung.com