

호남~제주 해저터널, 실현 가능한 안으로 부상

김용만 | 포스코건설 부장 ym_kim@poscoenc.com

추석연 | 단우기술단 대표이사 danwchoo@hanmail.net

물과 제주를 터널로 연결하면...

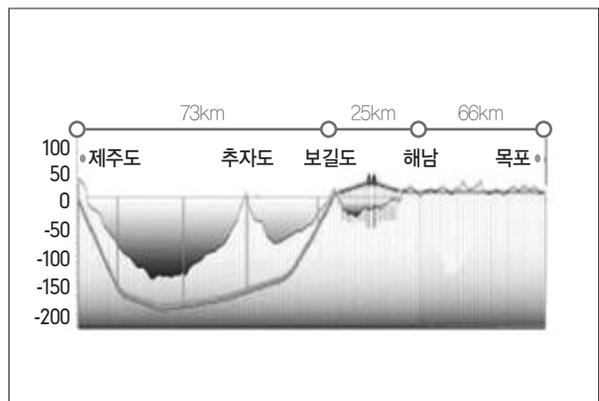
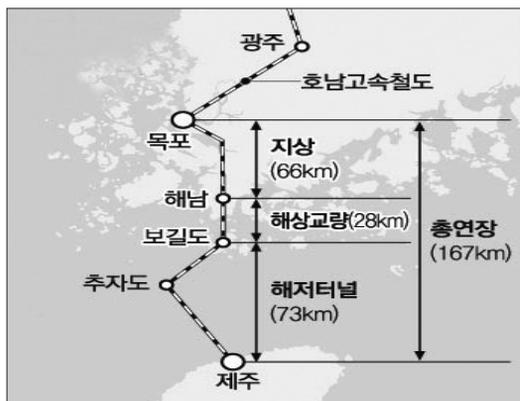
예부터 돌, 바람, 여자가 많아 삼다도라 불리는 제주도는 국내의 대표적인 여행지로서, 계속적으로 국내 및 외국인 관광객 수가 급증하는 상황이다. 제주도를 가기 위해서는 뱃길을 이용하는 방법도 있으

나, 많은 시간이 소요되기 때문에 대표적인 교통수단은 자연스럽게 항공편이 된다. 그러나 지난 1월, 32년 만에 내린 제주도 폭설로 인한 제주공항의 마비는 항공 수단에 절대적으로 의존하는 제주 교통편의 단점을 보여준 사례로 보도되

어, 대체 교통편의 필요성이 증대하고 있다. 만약 호남~제주 해저터널 사업이 계획대로 이루어지면 서울에서 제주까지 2시간 30분이면 도착이 가능하다.

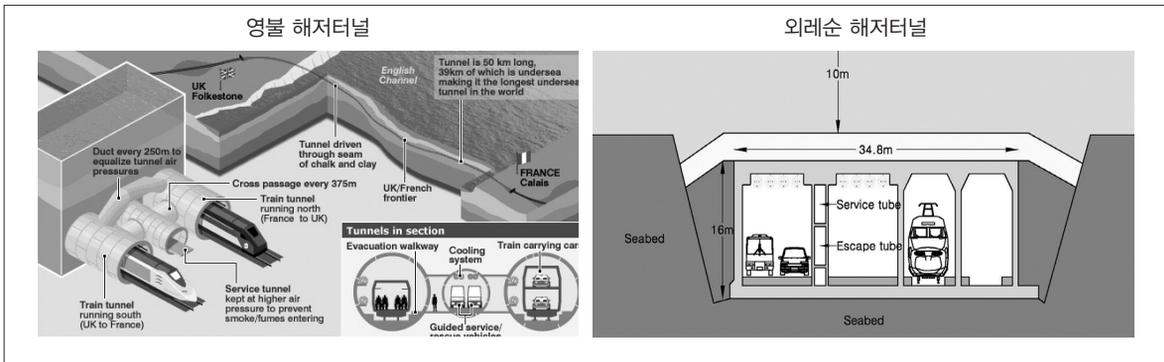
호남~제주 해저터널은 현재 운행 중인 호남선 KTX 종착역인 목

호남~제주 고속철도 노선도(좌) 및 구간별 거리와 심도(우)



세계의 주요 해저터널

| 터널명 | 용도 | 국가 | 연도/연장 | 터널 형식 | 터널 공법 |
|----------|-------|---------|--------------|-------|--------|
| 영불 해저터널 | 철도 | 영국~프랑스 | 1994년/50.5km | 단선 병렬 | 실드 TBM |
| 외레순 해저터널 | 철도/도로 | 덴마크~스웨덴 | 1999년/4.05km | 단선 병렬 | 침매터널 |
| 세이칸 터널 | 철도 | 일본 | 1988년/53.8km | 단선 병렬 | 재래식 발파 |
| 동경만 터널 | 도로 | 일본 | 1997년/9.6km | 단선 병렬 | 실드 TBM |
| 보스포러스 터널 | 철도 | 터키 | 2013년/5.4km | 복층 터널 | 실드 TBM |



포에서 출발하여 해남~보길도~추자도~제주도까지 연장 약 100km의 해저터널을 건설하는 초대형 프로젝트이다. 만일 해남~보길도를 교량으로 건설한다고 해도 해저터널 구간의 연장이 73km에 달하는 초장대 터널로서 해저터널 건설의 실현을 위한 기술적 현안 및 가능성에 대하여 살펴본다.

하·해저 터널의 역사와 주요 공법

하·해저 터널의 역사는 기원전 2000년 무렵까지 거슬러 올라간다. 기록으로만 남아 있지만 가장 오래된 교통 터널이 유프라테스강 아래에 하저터널로 건설된 터널 폭

4.6m, 높이 3.74m, 길이 900m의 바빌론 터널(지금의 바그다드 남쪽으로 약 88km 지점에 위치)이라는 점은 매우 흥미로운 것이다.

하·해저 터널을 건설하는 주요 터널 시공 방법은 크게 재래식 발파 공법과 TBM(Tunnel Boring Machine)으로 대별될 수 있다. 두 공법 중, 장대 하·해저 터널에 적용되는 주된 공법은 터널 시공 안정성이 높은 실드 TBM 공법이 많이 적용되고 있다.

호남~제주 해저터널의

주요 기술적 난제들

호남~제주 해저터널이 건설된다

면 현재 운영되는 국내의 해저터널 중에 제일 긴 터널이 되는 만큼 결코 쉬운 일은 아니다. 주요 기술적 난제로서 ① 최적의 굴착 공법은 무엇인가, ② 해저터널의 고수압을 극복할 수 있는가, ③ 연약한 지질 조건은 존재하고 있지 않은가, ④ 초장대 터널의 방재 안정성을 확보할 수 있는가, ⑤ 해상에서의 인공섬 축조는 가능한가 등이 될 것으로 보인다.

최적의 굴착 공법은 무엇인가

앞서 언급하였듯이 해저터널을 건설하는 데 있어서 검토될 주요 터널 시공 공법으로는 재래식 발파 공

법과 실드 TBM 공법으로 대별될 수 있다. 침매터널의 경우 대한해협의 지형 굴곡이 많고 수심이 깊어 적용이 어려운 것으로 검토하고 있다. 따라서 국내에서 하저 통과 구간, 도심지 천층터널 조건 등의 지하철, 철도에 많이 적용되어 온 실드 TBM 터널이 최적의 굴착 공법이 된다. 그러나 실드 TBM 터널의 경우에도 신뢰도 높은 지반 정보의 특성 파악, 단층대의 위치·규모 조건, 수압 조건 등을 충분히 고려한 장비 제작 및 운용이 뒷받침되어야 안정적 공법으로써 적용될 수 있다.

해저터널의 고수압, 극복할 수 있는가

호남~제주 노선 구간 중, 최대 수심은 120~130m 수준으로서 터널 심도에서 작용하는 최대 수압은 약 17bar 정도로 예상된다. 이러한

고수압을 극복하기 위해서는 터널 굴착을 위한 실드 TBM의 장비 및 실드터널 세그먼트가 고수압에 대응되는 성능을 확보할 수 있도록 제작되어야 한다. 고수압 조건에서의 실드 TBM 사례로서 스웨덴 Hallandsas 터널의 경우 13.8bar, 미국 Lake Mead Intake Tunnel No.3의 경우 17.0bar의 시공이 된 사례를 본다면, 극복 가능한 기술력이 확보된 상태이나, 시공 중 수방(水防)에 안전 대책을 강구하는 것도 주요한 사항이 된다.

연약한 지질 조건은 존재하고 있는가

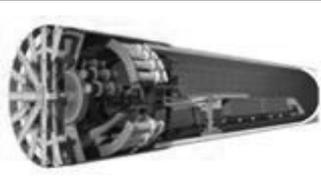
제주도는 90%가 현무암으로 구성되어 있으며, 터널이 굴착되는 심도에서는 지표와 달리 현무암 특성이 매우 견고하고 투수성도 낮다. 현무암 하부에는 미고결 퇴적

층(Unconsolidated Sediment Formation, USF)이 존재하고 있는 것이 보고된 바 있다(제주도 지하층서(오진용 등, 2000년 9월)). 호남~제주 선형 조건상 미고결 퇴적층을 피하는 노선을 선정하는 것은 어려운 것으로 판단하고 있으며, 미고결 퇴적층에 대한 공학적 특징이 알려진 바는 없지만 최악의 조건으로 토사가 분포하고 있다고 가정한다고 해도, 일본의 동경만 터널, 국내 부전~마산 철도 터널 건설사업 같이 매우 연약한 하저 점토 지반에서 실드 TBM을 시공한 사례 등으로 안정성 확보 여부는 검증되었다고 할 수 있다.

열차 운행 중 방재 안전성은 확보되는가

호남~제주 해저터널이 도로 터널로 계획된다면 자동차 주행 중의

해저터널 주요 공법 비교

| 구분 | 실드 TBM | 재래식 발파 | 침매터널 |
|--------|---|---|--|
| 개념도 |  |  |  |
| 경제성 | <ul style="list-style-type: none"> 초기 비용 과다 터널 연장이 길어질수록 유지 | <ul style="list-style-type: none"> 굴착 비용 저렴 지반 보강 공사비 편차 큼 | <ul style="list-style-type: none"> 공사비 가장 고가 추가적 합체 제작장 필요 |
| 시공 위험성 | 가장 적음 | 위험 요인 큼 | 위험 요인 중간 |
| 적용성 | ○ | △ | × |

매연, 자동차 화재시 화재 차량의 연기로 환기 및 제연 문제는 심각해진다. 호남~제주 터널은 사고 빈도가 낮은 철도 터널로 계획되고 있다. 환기 성능 면에서는 환기 구간 거리가 과다(최대 25~30km 정도 예상)하여도 환기 성능 확보에는 문제가 없다. 다만 화재시 대응 방안 수립, 열차 주행에 따른 열차 선두에서의 공기압 저감¹⁾ 등의 현안 문제를 해결해야 한다.

화재시 대응 방안으로는 복선 터널이 아닌 방재 터널(서비스 터널)을 겸비한 단선 병렬 터널로 계획하여 화재시 방재 터널로 대피하는 시스템을 적용할 경우 방재 위험도는 상당 부분 저감되며, 환기구 내 적정 제연 설비, 비상 상황을 대비한 열차 시스템 구축 등 다각적인

방재 시스템 구축으로 열차 이용자의 안정성이 확보될 수 있다. 아울러 공기압 저감을 위하여 일정 간격의 공기압 저감 덕트 설치 등이 검토되고 있으며, 이러한 방식은 대표적 해저터널인 영불 해저터널에서 적용되고 있는 방식이다.

인공섬 축조는 가능한가

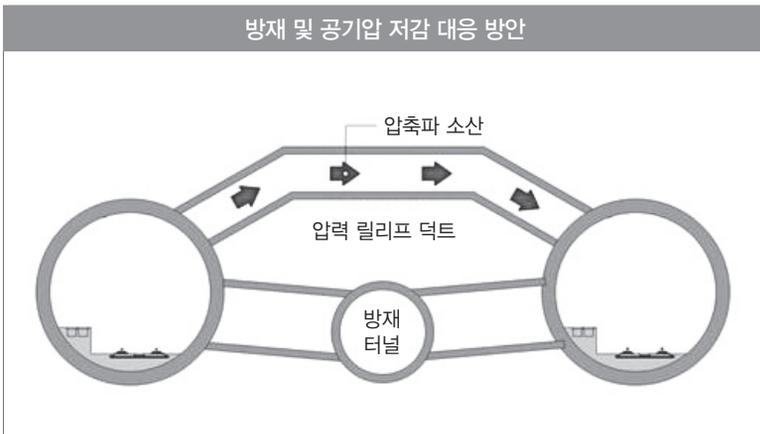
보길도~추자도~제주도까지의 거리는 약 73km 정도이다. 추자도에는 공사 중 실드 TBM 장비 투입, 운용 중 환기소로 계획하기 위한 수직구 설치가 필요한 상황이며, 추자도와 제주도 사이에도 수직구가 추가적으로 설치된다면 건설공사는 더 용이해질 것이며, 열차 운용 측면에서도 장점이 많다.

해상 수직구는 인공섬을 축조하

여 시공하는 사례가 다수 있으나, 터널 시공을 위한 수직구 시공 사례가 약 30m 정도이기 때문에 추자도와 제주도 사이의 깊은 수심 조건에서 인공섬 축조가 어려운 상황이다. 이에 대한 대안으로 추자도와 제주도 중간쯤에 위치하는 화도(또는 관탈도)를 이용하여 수직구를 설치하는 것이 검토될 수 있다.

“쉬운 일은 아니나 기술적으로 실현 가능한 계획이다”

앞서 언급하였듯이 호남~제주 해저터널 건설은 결코 쉬운 일이 아니다. 본 해저터널이 건설된다면 세계 최장대 해저터널이 되기 때문에 그만큼 기술적으로도 어려운 일이며, 청정 해역을 통과하는 환경적 문제, 건설사업비 조달의 적정성 평가 등이 기술적 문제 외에도 사회적 이슈로 떠오를 것이다. 그러나 천혜의 관광 자원인 제주도의 명성을 유지하기 위한 장기적인 대체 교통 대책으로 국가 철도망 구축 계획에 세심한 신경을 쓸 필요가 있으며, 기술적으로도 실현 가능한 계획으로 부상하고 있다. CERIK



1) 밀폐된 터널 내를 열차가 고속으로 주행할 경우 열차 선두에 공기 압력이 계속적으로 증가하며, 이로 인하여 터널 내 승객이 이명(耳鳴)현상으로 인한 불쾌감을 느끼게 됨.