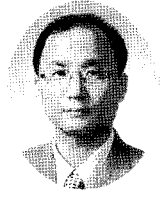


해저터널-설계편



황영철
유신코퍼레이션
상무

1. 개요

해저터널은 육상, 해상 및 항공 교통수단의 한계성을 극복하기 위한 수단으로서, 해저에 터널을 건설하여 자동차 또는 기차가 통행할 수 있도록 한 대륙간, 국가간, 연육간을 연결하는 교통시설이다.

자국 내의 연육간을 연결하는 해저터널은 대부분 터널 연장이 짧고 교통수요와 경제성이 확보되면 해저터널 건설이 현실화되지만, 국가간을 연결하는 해저터널은 초장대 터널일 뿐만 아니라 물류 및 관광 등 경제적으로 필요성이 있다하더라도 양국가 상호간의 역사, 정치, 사회, 문화 등의 차이로 인해 국가간의 공감대가 형성된 후 해저터널공사 착공까지는 상당한 시일이 소요된다.

기 건설되어 운영 중인 해저터널을 포함하여 시공 중 또는 계획 중인 전세계적 주요 해저터널 사례는 그림 1 및 표 1과 같고, 해저터널은 단일 경제권을 구상하고 있는 경제적으로 부국인 유럽과 동아시아에 집중되어 있다.

국내 및 국가간에 해저터널 건설의 필요성이 대두되면서, 향후 해저터널 건설시 설계, 굴착, 차폐, 기계화 시

공, 환기 계측 및 유지리분야에서 기술적으로 고려해야 할 사항들을 4회에 걸쳐 연재하기로 하였다. 본 고에서는 해저터널 건설의 타당성 검토단계에서 고려되어야 할 설계요소에 대하여 기술하고자 한다.

2. 해저터널 계획시 주요 설계요소

해저터널의 노선은 육지나 섬에서 바다 밑을 통과하기 때문에 육지부에 건설되는 산악터널에서 고려하는 설계조건과 상이하고 노선 측면에서 볼 때는 일종의 장대 지하철도의 선형과 같다.

해저터널 계획시 우선 고려사항은 해저수심, 지반조건 및 수리조건 등이 있으며, 이러한 사항을 토대로 시공성, 경제성을 검토하여 노선 선형, 굴착공법, 수직구 형식 등을 결정하게 된다.

해저터널 계획시 주요 설계요소에는 교통형태, 굴착공법, 종단선형, 수직구 형식 등이 있다. 이 설계요소들을 결정할 때에는 산악터널과 달리 터널의 건설위치가 수심

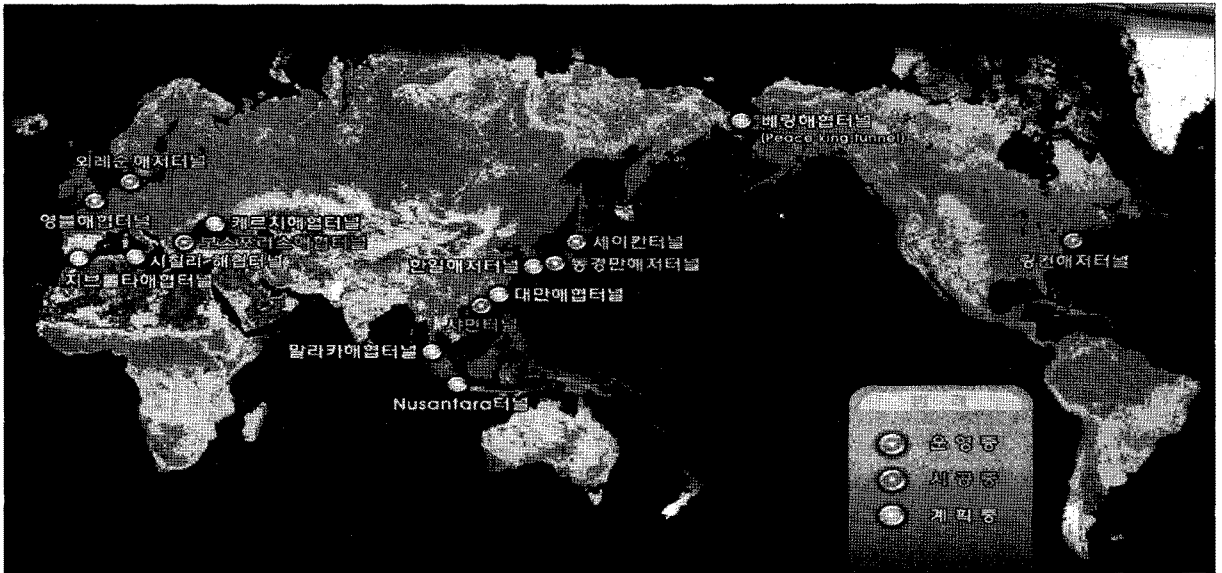


그림 1. 전세계 주요 해저터널 현황도

표 1. 전세계 주요 해저터널 건설사례

구분	터널명	총연장(km)	해저구간 연장(km)	수송방식	비고
유럽	영불 해협터널	50.45	38.0	철도	운영중
	외레순 해저터널	15.4	3.5	도로+철도	운영중 (침대터널)
	시칠리아 해협터널	136.0	150.0	철도	계획중
	지브롤타 해협터널	42.7	27.7	철도	계획중
중국	샤먼 터널	8.7	6.05	도로	시공중
일본	세이칸 터널	53.9	23.3	철도	운영중
미국	베링 해협터널	85.0	83.0	도로+철도 (복층형식)	계획중

이 깊은 해저지반에 위치하게 되므로 안정성과 시공성을 최우선으로 고려하여야 하며, 표 2는 해저터널과 산악터널의 주요 설계요소들을 비교한 것이다.

3. 해저터널 교통형태

해저터널의 교통형태에는 철도 전용, 도로 전용, 철도

+도로 복합 교통형태로 구분할 수 있고, 교통형태에 따라 터널단면이 결정되기 때문에 해저터널 계획시 가장 먼저 결정되어야 할 설계요소이다.

해외 해저터널 사례를 참조할 때 비교적 연장이 짧은 자국내의 해저터널은 도로 전용의 해저터널이 주를 이루고 있으나, 국가간 해저터널은 고속의 승객 이동 및 물류수송의 목적으로 교통형태상 철도터널이 대다수를 차지하며, 단선병렬 형식이 주를 이루고 있다. 이는 장대 해저

표 2. 해저터널과 산악터널의 주요 설계요소 비교

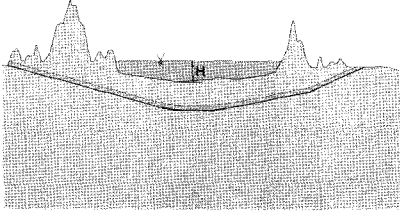
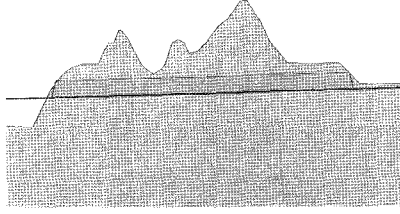
구분	해저터널	산악터널
개념도		
교통형태	도로터널, 철도터널, 복합터널	도로터널, 철도터널
굴착공법	Drill and Blast, Shield TBM	Drill and Blast
종단선형	수심, 암토피	선형 설계기준
수직구 형식	인공섬, 구조물식	수직 터널형식

표 3. 해저터널 교통형태

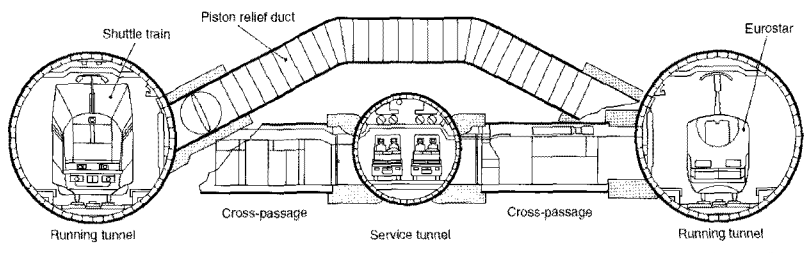
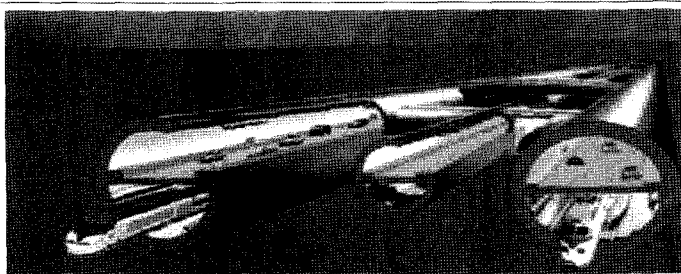
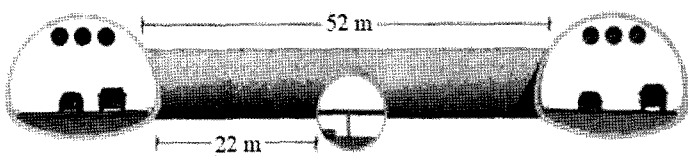
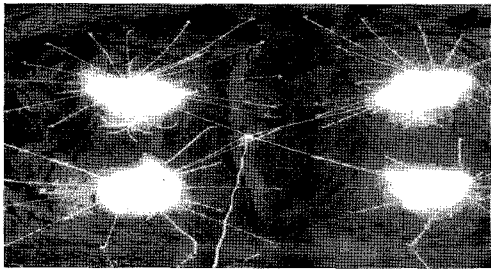
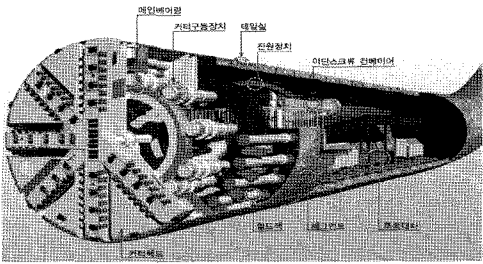
구분	모식도
철도터널	 <ul style="list-style-type: none"> 영불 해협터널, 지브롤타 해협터널(계획중), 시칠리 해협터널(계획중), 세이칸터널(복선), 한일 해저터널(계획중), 한중 해저터널(계획중)
복합터널 (도로+철도)	 <ul style="list-style-type: none"> 배링 해협터널(계획중)
도로터널	 <ul style="list-style-type: none"> 중국 사먼터널, 동경만 해저터널, 보령-태안 해저터널(설계중)

표 4. 굴착공법 비교

구분	Drill and Blast 공법	Shield TBM 공법
모식도		
특징	• 지층변화 대응성 우수	• 연약지반등 굴착중 안정성 확보
경제성	• 공사비 저렴	• TBM 장비 고가
안정성	• 고수압 안정성 확보 불리	• 고수압 안정성 확보 우수
적용사례	• 세이컨터널, 사면터널 등 다수	• 영불해협터널, 동경만해저터널

터널 시공시 안전성 및 경제성을 비롯한 비상시 승객대피와 환기성능 등의 종합검토 결과에 따른 것으로 볼 수 있다.

해저터널의 교통형태중 철도+도로 복합 터널은 현재 러시아와 미국의 알래스카를 연결하는 베링해협터널에서만 계획중에 있으며, 한일해저터널도 당초에는 철도+도로 복합 교통형태의 터널로 계획되었으나 부산발전연구원 이 2009년도 대한토목학회에서 주최한 터널시공기술 향상 대토론회에서 발표한 내용을 참조할 때 철도 전용터널로 교통형태를 변경하여 해저터널을 계획하고 있다.

4. 굴착공법 계획

굴착공법 선정은 공사비와 공사기간을 산정하는데 매우 중요한 설계요소이다. 해저터널 계획단계의 굴착공법 선정시에는 기존의 자료인 해저수심과 해저지질 정보를 활용하게 된다. 해저터널의 연장이 비교적 짧고 터널 주변지반이 암반인 지반조건에서는 Drill and Blast 공법이 주로 선정되지만, 토사지반 등의 연약지반에서는 수압에 대응하고 막장 안정성에 유리한 Shield TBM 공법이 선정된다. 그러나, 해저터널의 연장이 길어지게 되면 터널 주변지반이 암반조건일지라도 Drill and Blast 공법의 경우

약 40km 마다 설치되는 수직구를 통해 굴착작업을 할 수 밖에 없는 해상시공조건을 고려할 때 굴착공기가 상당히 길어지기 때문에 공사기간이 굴착공법을 선정하게 되는 요인이 될 수 있다.

표 4는 현재까지 해저터널에 적용된 굴착공법 적용사례를 나타내며, 국가간을 연결하는 100km 이상의 초장대 해저터널의 경우 Shield TBM 공법이 주로 계획되고 있다.

5. 중단선형 계획

해저터널의 중단선형은 육상터널의 경우 중단선형 설계기준을 따르지만 해저터널의 경우는 수심과 암토피에 의해 결정된다.

해저터널의 토피조건에 대한 국내의 기준은 없으나, Drill and Blast 공법에 대한 해저터널 시공실적이 전세계적으로 가장 많은 노르웨이에서는 최소 암토피 50m 이상을 확보하도록 한 설계기준이 있으며, 지금까지 시공된 해저터널 대부분은 최소 암토피 50m 이상을 확보하고 있다.

Shield TBM 공법의 경우 터널토피는 터널설계기준(2007)에 의하면 굴착외경의 1.5배 이상을 확보하도록 규정되어 있다. 그러나 해저터널의 경우 수심이 깊을 경우 최대수압

표 5. 터널 계획심도

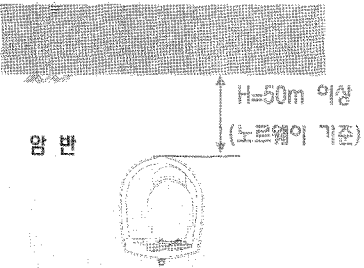
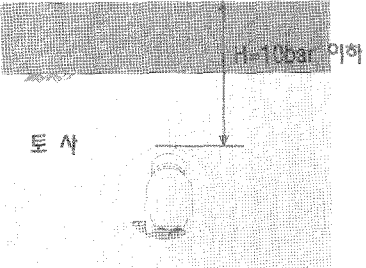
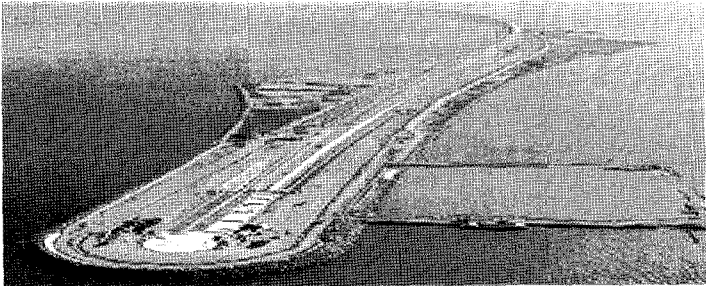
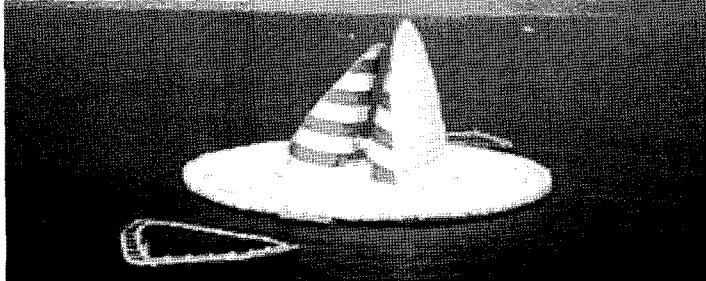
Drill and Blast 공법	Shield TBM 공법
 <p>H=50m 이상 (노르웨이 기준)</p> <p>암 반</p>	 <p>H=10bar 이하</p> <p>토 사</p>
<ul style="list-style-type: none"> • 세이칸 터널 - 최대수심 : 140m, 최소 토피고 : 100m • 한일 해저터널 - 최대수심 : 165m, 최소 토피고 : 100m 	<ul style="list-style-type: none"> • 영불 해협터널 - 최대수심 : 60m, 최소 토피고 : 40m • 동경만 해저터널 - 최대수심 : 60m, 최소 토피고 : 15m

표 6. 수직구 형식

구 분	모 식 도
<p>인공섬 형 식</p>	
<p>구조물 형 식</p>	

이 10bar를 초과할 경우 별도의 장비개선 및 차수보강이 추가적으로 요구되어 공사비가 매우 증가되므로 10bar를 넘지 않도록(최대심도 약 100m) 계획하는 것이 바람직하다.

표 5는 해저터널에 적용되는 Drill and Blast 공법과 Shield TBM 공법의 최소토피조건과 적용사례를 나타낸다.

6. 수직구(인공섬) 계획

수직구는 해저터널의 환기 및 방재를 목적으로 설치하게 되며, 시공중에는 작업구로 활용된다. 수직구 형식은 인공섬 형식과 구조물 형식이 있으며, 수직구 형식 선정에는 수심의 영향이 절대적이다. 대수심의 장대 해저터

표 7. 수직구 간격

해저터널명	수심	수직구 간격	비고
한일 해저터널	165m	20km	산악터널 : 4~5km
한중 해저터널	70m	40km	
사칠라 해협터널	250m	27km	

널을 계획할 경우 공사비 뿐만 아니라 대수심 조건에서의 수직구 시공 가능성까지도 검토가 되어야 한다.

해저터널에 적용된 인공섬 형식은 덴마크와 스웨덴을 연결하는 외레순 해저터널에서 교량과 침매터널 접속부에 설치된 사례가 있고, 우리나라에서는 서울지하철 5호

선 건설당시 공기 단축을 목적으로 임시로 설치한 작업구의 실적이 있다. 구조물 형식은 일본 동경만 해저터널에 설치된 가와사키 인공섬 설치 사례가 있으며, 이 가와사키 인공섬의 수심은 약 28m이다. 표 6은 외레순 해저터널과 일본 동경만 해저터널의 인공섬을 보여 준다.

또한 수직구 계획시에는 수직구 설치간격도 중요한 설계요소가 된다. 표 7은 현재 100km 이상의 장대 해저터널에 계획된 수직구 간격을 나타내며, 수직구 간격은 본선 굴착방법, 공사비, 굴착공기 및 환기성능을 종합 검토하여 합리적으로 결정하여야 한다.