

온 가족이 함께 보는 21세기 과학 교양지

과학동아

www.dongaScience.com
2004 07

2004년 7월 1일 발행, 통권 223호, 19권
7호, 1986년 1월 1일 창간, 등록 1983년
11월 23일 라-2823, 발행처: 서울시 중
로구 세종로 139 동아사이언스 (110-
715) 2002년 12월 6일 국유월도 특별급
승인 제 156호

보너스북

서울공대 공동기획
Be Scientists!
아름게 진로·진학 가이드

| 특집 | 미래 생활 바꾸는
10대 웰빙 테크놀로지

| 기획 | 급격한 기후변화
한일 해저터널 가능한가
인터넷, 인맥 형성의 마술사
1억원 우주관광시대 열린다

ISSN 1226-3401



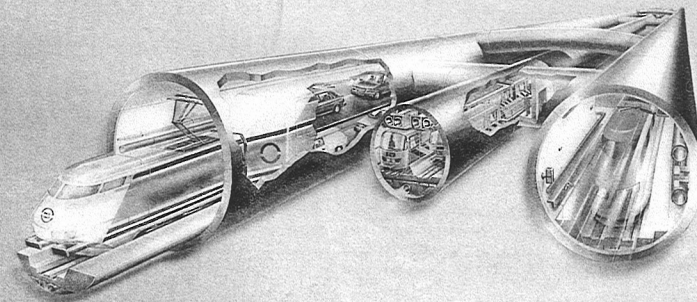
9 771226 340001

값 8,000원

대한해협

한·일 해저터널 실현 가능한가

| 글 | 이원경 2차 · uneasy75@donga.com |
| 사진 | GAMMA | 일러스트 | 박원정 · coco203@ycos.co.kr |



터널구상

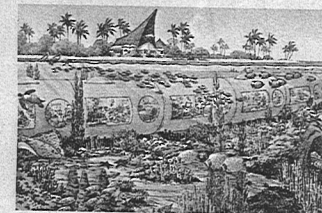
Submarine
Tunnel

● ● 한국과 일본의 바닷길은 열릴까. 1994년 영국과 프랑스 사이를 가로막고 있는 도버 해협 밑바닥을 관통하는 채널터널이 개통되면서 영국이 유럽 대륙에 연결돼 글자 그대로 '유로 공동체'가 실현됐다. 그렇다면 한국과 일본 사이를 가로막고 있는 동해 밑바닥을 관통하는 해저터널이 개통돼 한국과 중국, 일본을 잇는 '아시아 공동체'가 실현될 수 있을까.

구상 기간만 70년

한일터널, 일본식으로 나카(日韓)터널로 불리는 한일 해저터널에 대한 구상은 1939년 일본에서 먼저 시작됐다. 심지어 일본이 대륙에 진출하기 위해서는 한일터널이 교통의 요충을 해야만 했기 때문이다. 하지만 제2차 세계대전이 심화되면서 일본은 더이상 한일터널에 대한 논의를 진행할 수 없었다.

40여년 후 일본에서는 다시 한번 한일터널에 대한 논의가 수면위로 떠올랐다. 이번에도 일본에서 유럽 대륙에 이르는 긴 구간을 연결하는 노선의 일부로 한일터널이 제시됐다. 이후 1980년대 일본에서는 해당 지역의 육상 시추, 해협의 음파 탐사 등 실질적인 조사가 이뤄지면서 한일터널 연구가 큰 활기를 띠었다.



반면 한국은 일본에 비해 소극적인 자세였다. 1983년 한일터널연구회가 설립된 후 3차례에 걸쳐 일본과 한일터널에 대한 기술교류회를 가졌지만 주로 일본 측의 조사 결과를 교류하는 수준이었다. 따라서 현재까지 한일터널에 대한 실질적인 검토 결과와 구체적인 제안들은 일본 측의 구상이다.

그렇다면 일본 측의 구상에 대해 국내 터널 전문가들이 예상한 한일터널은 어떤 모습일까.

| 궁금증 1 |

어떤 경로를 지나게 될 것인가?

현재 한일터널의 노선으로 3개 안이 집중적으로 검토되고 있다. 터널의 깊이에 따라 해저 아래 약 1천m,

3백m, 그리고 50m 깊이를 통과한다. 공통적으로 한국의 거제도과 일본의 쓰시마섬, 이키섬을 지난다. 해협으로 보면 한국에서 일본까지 대한해협, 쓰시마해협, 이키해협 아래를 거친다.

여기서 노선을 결정하는 가장 중요한 요소는 해당 지역의 지질 상태다. 그렇다면 한일터널이 지나게 될 대한해협, 쓰시마해협, 이키해협의 해저 지질 환경은 어떨까.

우선 세 해협의 수심은 별 문제가 없다. 수심이 깊을수록 수압이 높아지기 때문에 수심이 얕을수록 터널 굴착에 유리하다. 이키해협은 전역이 수심 70m 이하고, 쓰시마 해협도 가장 깊은 수심이 1백35m로 전해

역이 대륙붕에 속한다. 대한해협의 제일 깊은 곳은 수심이 2백30m 가량 돼 다소 깊지만 현재의 기술로는 터널 굴착에 별 무리가 없다.

세 해협의 해저 지반도 양호한 조건이다. 한국지질자원연구원 신학순 박사(지반안전연구부장)는 "일반적인 터널 사공 기준에서 볼 때 세 해협의 지반조건이 시공에 적합하다"고 밝혔다.

쓰시마해협 주변 지반은 주로 퇴적암과 화성암으로 이뤄져 있는데 강도가 단단하고 균열이 발달하지 않아 터널 굴착에 유리한 조건이다. 이키해협 주변 역시 지표부의 약 90%가 화산이 폭발해 생성된 현무암과 용암으로 덮여있어 지반이 비교적 단단한 편이다.

일본 일한터널연구회에서 구상한 터널 개념도

거제도와 쓰시마를 왕복한다는 뜻만이 흥미롭다.

1층은 지반보강용자가 다니는 환로로, 2층은 차량이 이동할 수 있는 고속도로로 건설해 터널을 복층화한다는 계획도 있다.

인공섬을 건설하면 터널 굴착을 시작할 수 있는 자점이 생겨 공사기간을 단축할 수 있다.

Submarine Tunnel

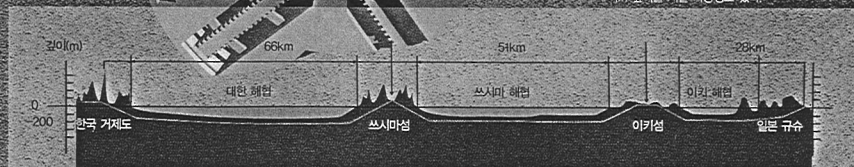


한일터널은 도쿄에서 런던에 이르는 25km의 국제84(레이)망의 일부로 계획되기도 했다.

타이완·핀란드운행을 하게 되면 한국과 일본 간 왕복운행을 위해 터널을 2개 놓아야 한다.

터널 굴착 기계

발견된 선은 해저터널의 예상 노선을 보여준다. 가장 깊은 곳은 대한해협의 해저 하 2백m 깊이를 지난 가능성도 있다.



문제는 대한해협이다. 대한해협의 경우 40km 기량의 구간에서 두께 4백m 정도의 지층이 아직 암석화가 되지 않아 이키해협과 쓰시마해협의 지질에 비해 강도가 약하다. 하지만 신 박사는 기술상 보강이 가능하기 때문에 터널 굴착에는 별 문제가 없을 것으로 예상했다. 따라서 그는 현재 검토 중인 3개 노선 모두 한일 터널의 노선이 될 수 있다고 밝혔다. 다만 추후 최종 노선을 결정하기 위해서 단층대와 깊은 수심, 빠른 조류, 계절 대풍 등 세 해협의 지리적 환경에 대한 정밀 지질조사가 필요하다고 덧붙였다.

1 궁금증 2 |

어떤 터널을 만들 것인가?

해저터널은 터널 공법에 따라 크게 3종류가 있다. 수중터널은 선박의 항해에 지장을 주지 않을 정도의 일정한 깊이의 바다 속에 터널을 파우고 이를 해저 바닥에 케이בל로 고정시켜 만든다.

침매터널은 터널 노선에 해당하는 자점의 해저 지표에 일정 깊이를 파 홈을 만들고 터널 구조체를 이 홈에 가압압착시킨다. 지난해 착공한 거제-부산 간 도로 중 3.7km가 침매터널로 건설될 예정이다.

마지막으로 굴착 기계를 사용해 해저 지표 아래 일정 깊이에 토사를 파내면서 뚫는 해저터널이 있다. 영국과 프랑스 사이의 도버 해협을 잇는 채널터널이 대표적이다.

터널 종류를 결정하는데 해저 지질 환경은 중요한 요소다. 예를 들어 채널터널은 수중터널이나 침매터널 대

신 해저 바닥 밑에 터널을 뚫는 방식을 선택했는데, 이는 백악층(White Chalk)이라는 특수한 해저 지질이 형성돼 있었기 때문에 가능했다.

백악층은 도버 해저 지표에서 평균 45m 아래 지점에 형성돼 터널을 뚫기에 적당한 깊이였다. 또 암반이 단단하지 않아 터널 굴착 속도를 높일 수 있어 공사 기간을 단축할 수 있었다. 특히 백악층이 불투수층을 형성해 해저터널 건설에서 가장 골칫거리인 방수 문제를 자연적으로 해결할 수 있었다. 한마디로 채널터널은 지층의 적절한 위치에 백악층이 놓여 있는 '행운'이 있었기 때문에 완공될 수 있었던 것이다. 한일터널 역시 해저 지질 상태는 채널터널과 비교해 별 다른 문제가 없다.

하지만 지질 환경 외에도 고려할 요인들이 있다. 한국건설기술연구원 홍성완 박사(한국터널공학회 회장)

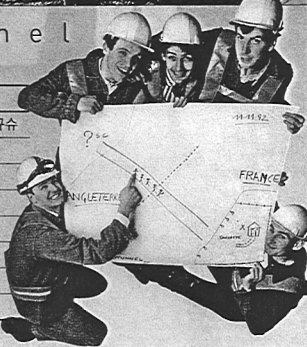
영국의 포크스톤과 프랑스 칼레를 잇는 채널터널 내부 모습.



Submarine Tunnel

채널터널, 세이칸터널, 한일터널의 비교

구분	채널터널	세이칸터널	한일터널
터널구간	영국 포크스톤-프랑스 칼레	홋카이도-혼슈	한국 거제도-일본 규슈
개통일	1994년 5월	1988년 3월	미정
총연장	50.45km	53.85km	2백km 내외
해저구간	38km	23.3km	1백28~1백45km
터널깊이	25~45m	약 1백m	50~1천m
교통수단	철도	철도	철도 유력
공사기간	7년	21년	20년 이상
공사비용	18조원	8조원	80조원 이상



는 "대한해협에는 선박이 많이 다니다고, 전쟁과 같은 만일의 사태에는 잠수함의 이동 경로를 확보해야 하기 때문에 안전성 측면에서 수중터널과 침매터널보다는 해저 지표 아래 터널을 뚫는 것이 현실적이다"고 설명했다. 특히 수중터널이나 침매터널은 선박이 침몰할 경우 터널과 충돌 위험이 있고, 해일이나 지진 등 해저 지질 환경 변화에도 큰 영향을 받기 때문에 해저 지표 아래 지층에 터널을 뚫는 것이 안전하다. 따라서 한일터널은 채널터널과 같은 종류의 터널로 지어질 가능성이 높다.

1 궁금증 3 |

어떤 교통수단을 사용할 것인가?

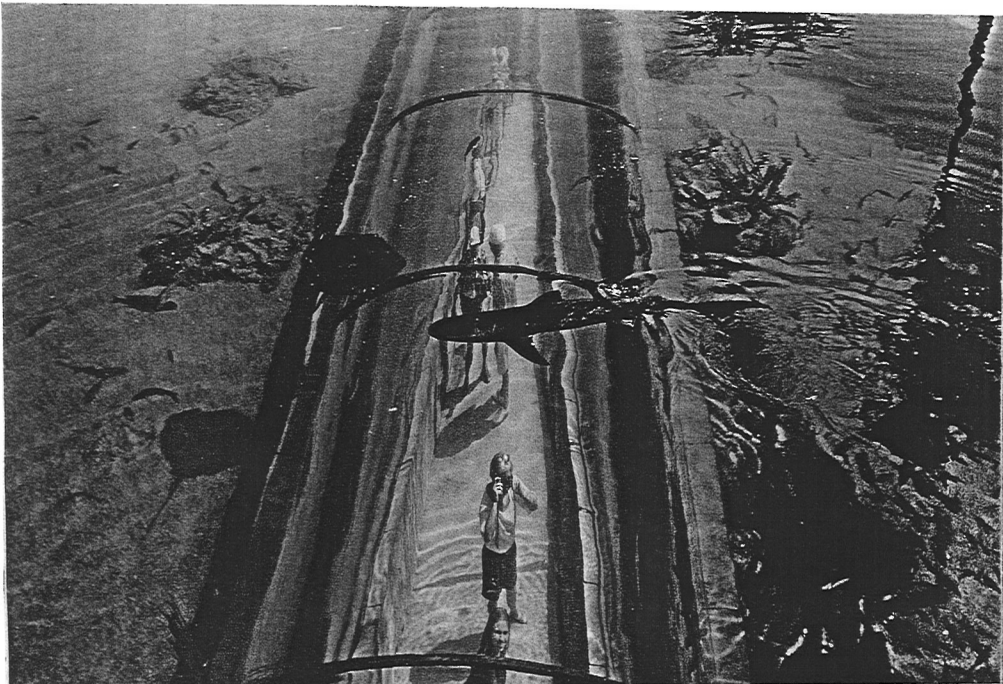
한일터널의 교통수단으로는 고속도로, 고속철도 그리고 자기부상열차가 중점적으로 검토되고 있다. 특히 터널을 튜브형으로 하고 그 안을 0.1~0.2 대개압 정도의 자기압으로 해 자기부상열차로 마하 4~5(시속 4천7백70~5천9백60km)의 초고속으로 주행하는 구상도 있다.

현재 한국의 부산에서 일본의 후쿠오카까지 해리선으로 16시간, 고속 수중터널로 2시간 55분이 걸린다. 만약 한일터널이 완성되면 자동차로 3시간 30분, 최고시속 3백50km의 고속철도로 1시간 20분, 최고시속 7백km의 자기부상열차로는 40분이 걸리게 된다. 이 중 자기부상열차가 교통수단으로 채택되면 부산에서 후쿠오카까지 1시간밖에 걸리지 않기 때문에 비행기와도 충분히 경쟁이 가능하다.

“기술적으로는 한국과 일본의 바닷길을 여는데 아무런 문제가 없다. 해저생태계에 미치는 영향도 미미하다. 남아 있는 문제는 자원조달, 경제성, 양국의 국민적 합의 등이다.”

채널터널 공사에 참여했던 터널 내부. 물이 자국의 국기를 흔들며 터널의 개통을 기뻐하고 있다.





일본에서는 자기부상열차를 한일터널의 유력한 교통수단으로 생각하고 있다. 이미 1970년부터 국가에서 예산을 투입해 시속 5백km 내외의 고속으로 달릴 수 있는 자기부상열차의 시험운행에 성공했다.

하지만 한국 측 입장은 조금 다르다. 열차를 주요 교통수단으로 이용한다는 데는 동의하지만, 자기부상 열차는 부적합할 것으로 생각한다. 홍 박사는 "일본에서 개발한 자기부상열차가 초전도발생장치를 사용해야 하기 때문에 막대한 전력이 소모돼 이에 따른 비용이 너무 많이 든다"며 현실성이 떨어진다고 설명했다.

도로 역시 여러가지 문제를 유발할 소지가 있다. 고속도로를 건설할 경우 차량의 이동이 전제가 되는데, 아직까지는 무공해 청정 자동차가 상용화되지 않았기 때문에 차량의 배기가스로 인해 터널의 환기 문제가 발생할 수 있다. 또 차량이 몰릴 경우에는 교통체증이 생길 수 있다.

따라서 한국은 자기부상열차나 차량보다는 고속철도가 더 적합할 것이라는 입장이다. 이미 한국과 일본

에 고속철도가 있고 중국도 조만간 건설할 것으로 예상되기 때문이다.

인공섬 건설로 환기, 피난 문제 해결

한일터널이 실현된다면 세계 최장의 해저터널이 된다. 공사 규모면에서도 세계에서 유례 없는 대규모 프로젝트가 될 것이다. 홍 박사와 신 박사 모두 터널 완공에 필요한 기술적인 부분에는 전혀 문제가 없다고 단언했다. 일본은 이미 현재 세계 최장의 해저터널인 세이칸터널을 개통했고, 한국 역시 한강 하저터널 공사(지하철 5호선 여의도-마포 구간) 등을 통해 해저터널 완공에 필요한 기술력을 갖췄기 때문이다.

다만 한일터널이 수백km에 이르는 해저터널이기 때문에 사공시 고려해야 할 몇가지 요소가 있다. 우선 방수 기술이다. 채널터널의 경우에는 물을 흡수하면 팽창하고 물이 없으면 수축하는 특수 고무를 방수 소재로 사용했는데, 한일터널은 그 길이가 채널터널의 약 4배나 되기 때문에 더욱 견고한 방수 기술이 필요하다. 또 정전 등 비상시 전력 공급을 위한 전력공급시스

수중터널이나 채널터널을 콘크리트 대신 유라늄으로 건설한다면 삼해의 아름다움을 만끽할 수 있을 것이다.



01

템, 터널 내 공기 정제를 방지하고 열차 등에서 발생하는 열기를 냉각시킬 환기시스템, 화재 시 승객이 대피할 대기 장소와 배연시스템 등이 필요하다.

홍 박사는 이런 문제를 해결하기 위해 터널구간의 약 20km마다 인공섬을 배치하는 것이 좋다고 설명했다. 인공섬을 건설하게 되면 굴착을 할 수 있는 지점이 여러 곳으로 늘어나기 때문에 자연적으로 공사 기간이 줄어든 뿐만 아니라 환기구나 긴급 피난구 등의 목적으로도 활용될 수 있어 일석이조다.

한일터널 건설에 기술적인 문제가 전혀 없다면 해저 생태계 파괴의 문제는 어떨까. 신 박사는 한일터널은 해저 바닥을 파헤치는 방식이 아니라 해저 지하에서 굴착하는 방식을 사용할 가능성이 가장 높기 때문에 해저 생태계에 미치는 영향은 극히 미미하다고 밝혔다.

또 굴착기계를 사용하지 않고 발파 방식으로 터널을 뚫는다고 해도 해저 지면 아래 상당히 깊은 지점에서 발파가 이뤄지게 되므로 문제가 없다고 한다.

육상에서 터널을 발파할 경우에는 인접 지역 목장이나 양식장의 위치가 고정돼 있어 가축, 어류의 이동이 자유롭지 못해 발파 진동으로 인한 피해가 있을 수 있다. 하지만 해저에서는 어류 등 해저 생물의 이동이 자유롭기 때문에 설사 발파에 의한 진동이 있더라도 이를 피할 수 있기 때문이다. 채널터널 공사 당시에도 생태계 피해 사례는 없었다고 한다.

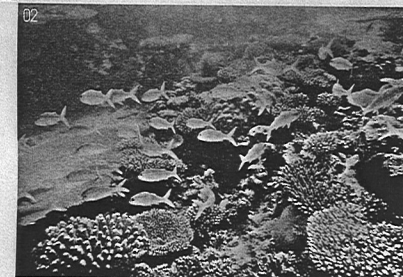
북한 개방 여부가 터널 성공의 관건

다시 처음의 질문으로 돌아와보자. 한국과 일본의 바닷길은 열릴까. 기술적으로는 한국과 일본의 바닷길을 여는데 아무런 문제가 없다는데 의견이 일치한다. 해

Submarine Tunnel

01 1996년 12월 채널터널 내부에서 차량화재 사고가 발생해 해저터널의 화재가 심각한 문제로 떠올랐다. 02 해저 지면 아래 깊이 터널을 굴착하게 되면 해저생태계 파괴의 우려가 없다고 한다.

02



저 생태계 파괴 문제도 없다. 남아 있는 문제는 한일터널 완공에 필요한 기술적 문제가 아니라 재원조달, 경제성, 양국의 국민적 합의 등의 문제다.

한일터널기술연구회 성백전 회장은 "채널터널이 당시 18조원에 이르는 공사비를 투자했지만 1994년 개통 이후 당초 예상과 달리 엄청난 적자가 쌓이면서 한때 심각한 경영난을 겪었던 사례를 생각하면 한일터널은 공사비가 80조원 이상이 될 것으로 예상되기 때문에 개통 이후 경제성 문제를 생각하지 않을 수 없다"고 밝혔다.

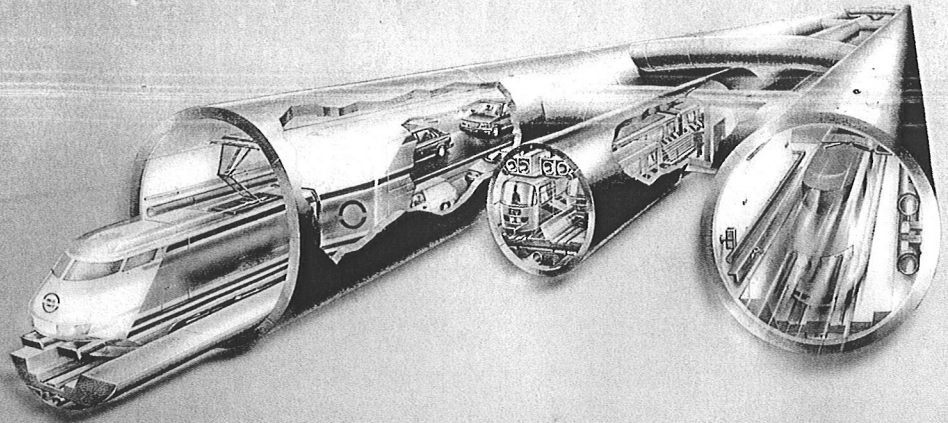
특히 지난해 8월 부산에서 열린 제7회 동북아시아 포지엄에서 일본의 한 연구원은 북한의 개방 여부가 한일터널의 성공에 가장 핵심이 될 것이라고 발표했다. 2010년에 건설을 시작해 2020년에 터널이 개통된다고 가정했을 때 터널 개통 후 북한이 대륙을 연결하는 육로를 개방하지 않는다면 2040년 이후 터널 이용 승객 수와 화물량이 증가하지 않아 경제성을 담보할 수 없을 것이라는 연구결과가 나왔기 때문이다. 6*

대한해협

한·일 해저터널 실현 가능한가

| 글 | 이현경 기자 · uneasy75@donga.com |

| 사진 | GAMMA | 일러스트 | 박현정 · coco203@lycos.co.kr |



터널 구상

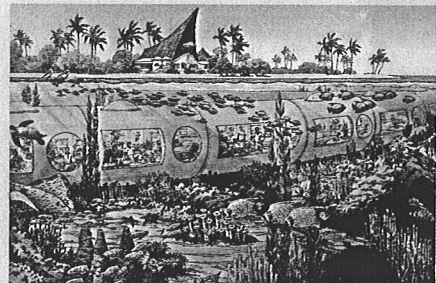
Submarine Tunnel

●●● 한국과 일본의 바닷길은 열릴까. 1994년 영국과 프랑스 사이를 가로막고 있는 도버 해협 밑바닥을 관통하는 채널터널이 개통되면서 영국이 유럽 대륙에 연결돼 글자 그대로 '유로 공동체'가 실현됐다. 그렇다면 한국과 일본 사이를 가로막고 있는 동해 밑바닥을 관통하는 해저터널이 개통돼 한국과 중국, 일본을 잇는 '아시아 공동체'가 실현될 수 있을까.

구상 기간만 70년

한일터널, 일본식으로 나칸(日韓)터널로 불리는 한일 해저터널에 대한 구상은 1939년 일본에서 먼저 시작됐다. 섬나라 일본이 대륙에 진출하기 위해서는 한일터널이 교통보 역할을 해야만 했기 때문이다. 하지만 제2차 세계대전이 심화되면서 일본은 더이상 한일터널에 대한 논의를 진행할 수 없었다.

40여년 후 일본에서는 다시 한번 한일터널에 대한 논의가 수면위로 떠올랐다. 이번에도 일본에서 유럽 대륙에 이르는 긴 구간을 연결하는 노선의 일부로 한일터널이 제시됐다. 이후 1980년대 일본에서는 해당 지역의 육상 시추, 해협의 음파 탐사 등 실질적인 조사가 이뤄지면서 한일터널 연구가 큰 활기를 띠었다.



반면 한국은 일본에 비해 소극적인 자세였다. 1983년 한일터널연구회가 설립된 후 3차례에 걸쳐 일본과 한일터널에 대한 기술교류회를 가졌지만 주로 일본 측의 조사 결과를 교류하는 수준이었다. 따라서 현재까지 한일터널에 대한 실질적인 검토 결과와 구체적인 제안들은 일본 측의 구상이다.

그렇다면 일본 측의 구상에 대해 국내 터널 전문가들이 예상한 한일터널은 어떤 모습일까.

Ⅰ 궁금증 1 Ⅰ

어떤 경로를 지나게 될 것인가?

현재 한일터널의 노선으로 3개 안이 집중적으로 검토되고 있다. 터널의 깊이에 따라 해저 아래 약 1천m,

3백m, 그리고 50m 깊이를 통과한다. 공통적으로 한국의 거제도과 일본의 쓰시마섬, 이키섬을 지난다. 해협으로 보면 한국에서 일본까지 대한해협, 쓰시마해협, 이키해협 아래를 거친다.

여기서 노선을 결정하는 가장 중요한 요소는 해당 지역의 지질 상태다. 그렇다면 한일터널이 지나게 될 대한해협, 쓰시마해협, 이키해협의 해저 지질 환경은 어떨까.

우선 세 해협의 수심은 별 문제가 없다. 수심이 깊을수록 수압이 높아지기 때문에 수심이 얕을수록 터널 굴착에 유리하다. 이키해협은 전역이 수심 70m 이하고, 쓰시마 해협도 가장 깊은 수심이 1백35m로 전해

역이 대륙붕에 속한다. 대한해협의 제일 깊은 곳은 수심이 2백30m 가량 돼 다소 깊지만 현재의 기술로는 터널 굴착에 별 무리가 없다.

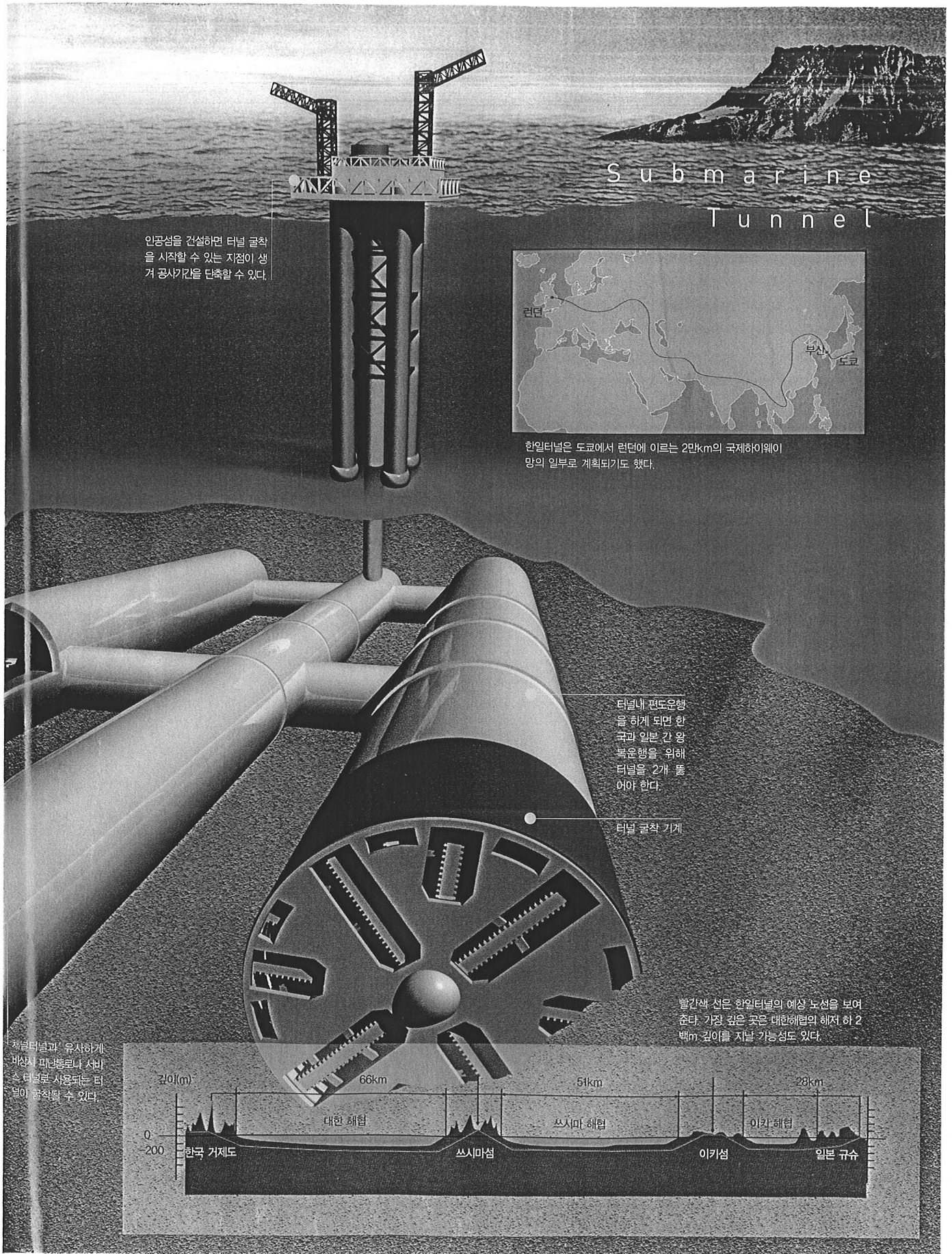
세 해협의 해저 지반도 양호한 조건이다. 한국지질자원연구원 신희순 박사(지반안전연구부장)는 "일반적인 터널 시공 기준에서 볼 때 세 해협의 지반조건이 시공에 적합하다"고 밝혔다.

쓰시마해협 주변 지반은 주로 퇴적암과 화성암으로 이뤄져 있는데 강도가 단단하고 균열이 발달하지 않아 터널 굴착에 유리한 조건이다. 이키해협 주변 역시 지표부의 약 90%가 화산이 폭발해 생성된 현무암과 용암으로 덮여있어 지반이 비교적 단단한 편이다.

일본 일한터널연구회에서 구상한 터널 개념도

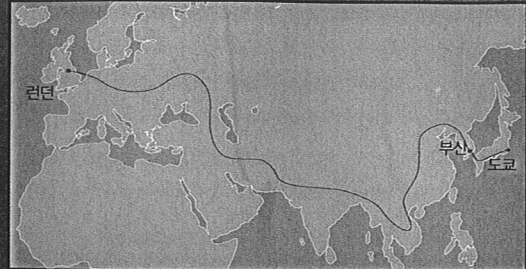


1층은 자기부상열차가 다니는 철도로, 2층은 차량이 이동할 수 있는 고속도로로 건설해 터널을 복층화한다는 계획도 있다.



Submarine Tunnel

인공섬을 건설하면 터널 굴착을 시작할 수 있는 자점이 생겨 공사기간을 단축할 수 있다.



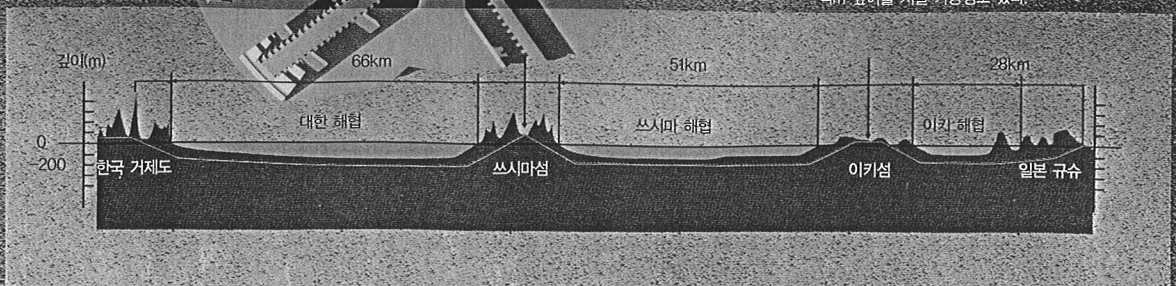
한일터널은 도쿄에서 런던에 이르는 2만km의 국제하이웨이 망의 일부로 계획되기도 했다.

터널내 편도운행을 하게 되면 한국과 일본 간 왕복운행을 위해 터널을 2개 놓아야 한다.

터널 굴착 기계

빨간색 선은 한일터널의 예상 노선을 보여 준다. 가장 깊은 곳은 대만해협의 해저 하 2백m 깊이를 지날 가능성도 있다.

재벌터널과 유사하게 비상사태나 불행으로 터널로 사용되는 터널이 굴착될 수 있다.



문제는 대한해협이다. 대한해협의 경우 40km 가량의 구간에서 두께 4백m 정도의 지층이 아직 암석화가 되지 않아 이키해협과 쓰시마해협의 지질에 비해 강도가 약하다. 하지만 신 박사는 기술상 보강이 가능하기 때문에 터널 굴착에는 별 문제가 없을 것으로 예상했다. 따라서 그는 현재 검토 중인 3개 노선 모두 한일 터널의 노선이 될 수 있다고 밝혔다. 다만 추후 최종 노선을 결정하기 위해서 단층대와 깊은 수심, 빠른 조류, 계절 태풍 등 세 해협의 지리적 환경에 대한 정밀 지질조사가 필요하다고 덧붙였다.

1 궁금증 2

어떤 터널을 만들 것인가?

해저터널은 터널 공법에 따라 크게 3종류가 있다. 수중터널은 선박의 항해에 지장을 주지 않을 정도의 일정한 깊이의 바다 속에 터널을 띄우고 이를 해저 바닥에 케이블로 고정시켜 만든다.

침매터널은 터널 노선에 해당하는 지점의 해저 지표에 일정 깊이를 파 흙을 만들고 터널 구조체를 이 흙에 가라앉혀 만든다. 지난해 착공한 거제-부산 간 도로 중 3.7km가 침매터널로 건설될 예정이다.

마지막으로 굴착 기계를 사용해 해저 지표 아래 일정 깊이에 토사를 파내면서 뚫는 해저터널이 있다. 영국과 프랑스 사이의 도버 해협을 잇는 채널터널이 대표적 예다.

터널 종류를 결정하는데 해저 지질 환경은 중요한 요소다. 예를 들어 채널터널은 수중터널이나 침매터널 대

신 해저 바닥 밑에 터널을 뚫는 방식을 선택했는데, 이는 백악층(White Chalk)이라는 특수한 해저 지질이 형성돼 있었기 때문에 가능했다.

백악층은 도버 해저 지표에서 평균 45m 아래 지점에 형성돼 터널을 뚫기에 적당한 깊이였다. 또 암반이 단단하지 않아 터널 굴착 속도를 높일 수 있어 공사 기간을 단축할 수 있었다. 특히 백악층이 불투수층을 형성해 해저터널 건설에서 가장 골칫거리인 방수 문제를 자연적으로 해결할 수 있었다. 한마디로 채널터널은 지층의 적절한 위치에 백악층이 놓여 있는 '행운'이 있었기 때문에 완공될 수 있었던 것이다. 한일터널 역시 해저 지질 상태는 채널터널과 비교해 별 다른 문제가 없다.

하지만 지질 환경 외에도 고려할 요인들이 있다. 한국건설기술연구원 홍성원 박사(한국터널공학회 회장)

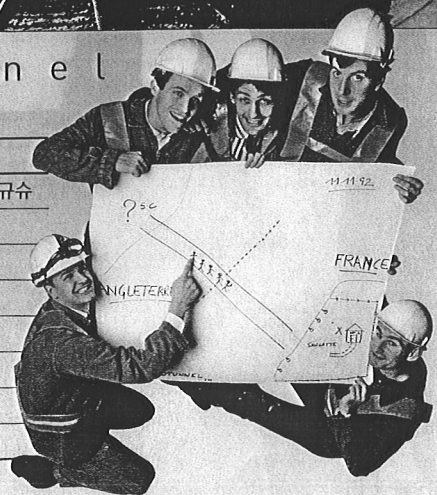
영국의 포크스톤과 프랑스 칼레를 잇는 채널터널 내부 모습.

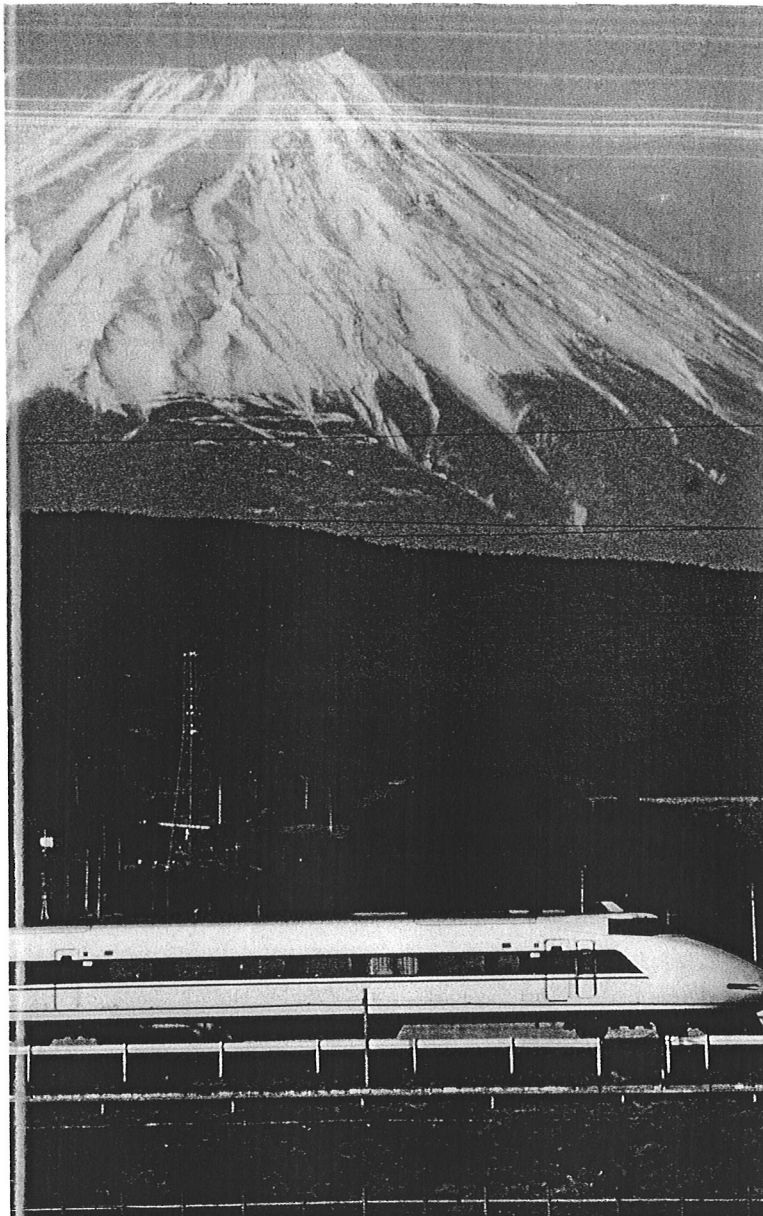


Submarine Tunnel

채널터널, 세이칸터널, 한일터널의 비교

구분	채널터널	세이칸터널	한일터널
터널구간	영국 포크스톤-프랑스 칼레	홋카이도-혼슈	한국 거제도-일본 규슈
개통일	1994년 5월	1988년 3월	미정
총연장	50.45km	53.85km	2백km 내외
해저구간	38km	23.3km	1백28-1백45km
터널깊이	25-45m	약 1백m	50-1천m
교통수단	철도	철도	철도 유력
공사기간	7년	21년	20년 이상
공사비용	18조원	8조원	80조원 이상





는 “대한해협에는 선박이 많이 다니고, 전쟁과 같은 만일의 사태에는 잠수함의 이동 경로를 확보해야 하기 때문에 안전성 측면에서 수중터널과 침매터널보다는 해저 지표 아래 터널을 뚫는 것이 현실적이다”고 설명했다. 특히 수중터널이나 침매터널은 선박이 침몰할 경우 터널과 충돌 위험이 있고, 해일이나 지진 등 해저 지질 환경 변화에도 큰 영향을 받기 때문에 해저 지표 아래 지층에 터널을 뚫는 것이 안전하다. 따라서 한일터널은 채널터널과 같은 종류의 터널로 지어질 가능성이 높다.

| 궁금증 3 |

어떤 교통수단을 사용할 것인가?

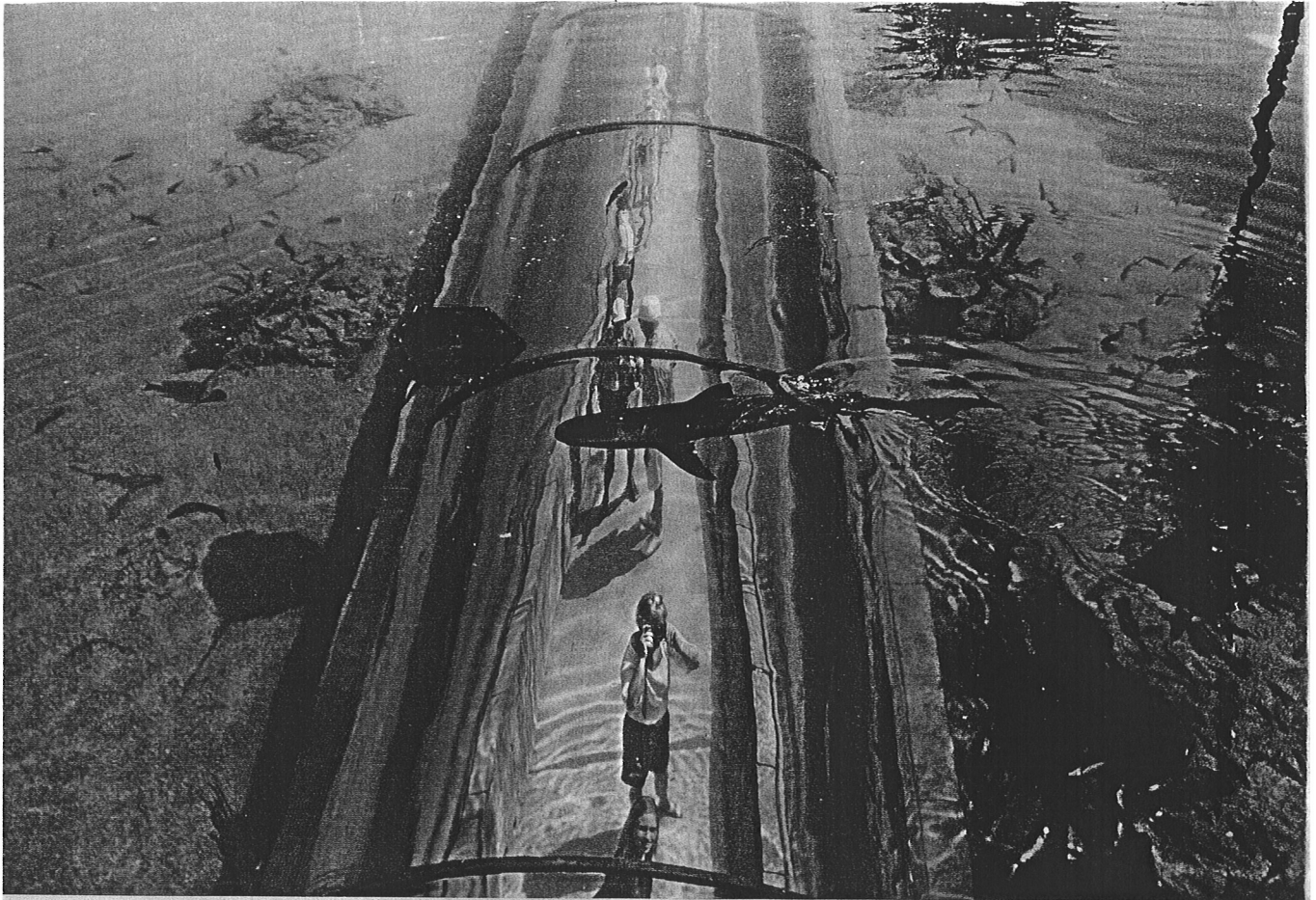
한일터널의 교통수단으로는 고속도로, 고속철도 그리고 자기부상열차가 중점적으로 검토되고 있다. 특히 터널을 튜브형으로 하고 그 안을 0.1~0.2 대기압 정도의 저기압으로 해 자기부상열차로 마하 4~5(시속 4천7백70~5천9백60km)의 초고속으로 주행하는 구상도 있다.

현재 한국의 부산에서 일본의 후쿠오카까지 뱃길로 16시간, 고속 수중익선으로 2시간 55분이 걸린다. 만약 한일터널이 완성되면 자동차로 3시간 30분, 최고시속 3백50km의 고속철도로 1시간 20분, 최고시속 7백km의 자기부상열차로는 40분이 걸리게 된다. 이 중 자기부상열차가 교통수단으로 채택되면 부산에서 후쿠오카까지 1시간밖에 걸리지 않기 때문에 비행기와도 충분히 경쟁이 가능하다.

“기술적으로는 한국과 일본의 바닷길을 여는데 아무런 문제가 없다. 해저생태계에 미치는 영향도 미미하다. 남아 있는 문제는 자원조달, 경제성, 양국의 국민적 합의 등이다.”

채널터널 공사에 참여했던 터널 인부들이 자국의 국기를 흔들며 터널의 개통을 기뻐하고 있다.





일본에서는 자기부상열차를 한일터널의 유력한 교통수단으로 생각하고 있다. 이미 1970년부터 국가에서 예산을 투입해 시속 5백km 내외의 고속으로 달릴 수 있는 자기부상열차의 시험운행에 성공했다.

하지만 한국 측 입장은 조금 다르다. 열차를 주요 교통수단으로 이용한다는 데는 동의하지만, 자기부상열차는 부적합할 것으로 생각한다. 홍 박사는 "일본에서 개발된 자기부상열차가 초전도발생장치를 사용해야 하기 때문에 막대한 전력이 소모돼 이에 따른 비용이 너무 많이 든다"며 현실성이 떨어진다고 설명했다.

도로 역시 여러가지 문제를 유발할 소지가 있다. 고속도로를 건설할 경우 차량의 이동이 전제가 되는데, 아직까지는 무공해 청정 자동차가 상용화되지 않았기 때문에 차량의 배기가스로 인해 터널의 환기 문제가 발생할 수 있다. 또 차량이 몰릴 경우에는 교통체증이 생길 수 있다.

따라서 한국은 자기부상열차나 차량보다는 고속철도가 더 적합할 것이라는 입장이다. 이미 한국과 일본

에 고속철도가 있고 중국도 조만간 건설할 것으로 예상되기 때문이다.

인공섬 건설로 환기, 피난 문제 해결

한일터널이 실현된다면 세계 최장의 해저터널이 된다. 공사 규모면에서도 세계에서 유래 없는 대규모 프로젝트가 될 것이다. 홍 박사와 신 박사 모두 터널 완공에 필요한 기술적인 부분에는 전혀 문제가 없다고 단언했다. 일본은 이미 현재 세계 최장의 해저터널인 세이칸터널을 개통했고, 한국 역시 한강 하저터널 공사(지하철 5호선 여의도-마포 구간) 등을 통해 해저터널 완공에 필요한 기술력을 갖췄기 때문이다.

다만 한일터널이 수백km에 이르는 해저터널이기 때문에 시공시 고려해야 할 몇가지 요소가 있다. 우선 방수 기술이다. 채널터널의 경우에는 물을 흡수하면 팽창하고 물이 없으면 수축하는 특수 고무를 방수 소재로 사용했는데, 한일터널은 그 길이가 채널터널의 약 4배나 되기 때문에 더욱 견고한 방수 기술이 필요하다.

또 정전 등 비상시 전력 공급을 위한 전력공급시스

수중터널이나 침매터널을 콘크리트 대신 유리벽으로 건설한다면 삼해의 아름다움을 만끽할 수 있을 것이다.



01

템, 터널 내 공기 정체를 방지하고 열차 등에서 발생하는 열기를 냉각시킬 환기시스템, 화재 시 승객이 대피할 대기 장소와 배연시스템 등이 필요하다.

홍 박사는 이런 문제를 해결하기 위해 터널구간의 약 20km마다 인공섬을 배치하는 것이 좋다고 설명했다. 인공섬을 건설하게 되면 굴착을 할 수 있는 지점이 여러 곳으로 늘어나기 때문에 자연적으로 공사 기간이 줄어든 뿐만 아니라 환기구나 긴급 피난구 등의 목적으로도 활용될 수 있어 일석이조다.

한일터널 건설에 기술적인 문제가 전혀 없다면 해저 생태계 파괴의 문제는 어떻게. 신 박사는 한일터널은 해저 바닥을 파헤치는 방식이 아니라 해저 지하에서 굴착하는 방식을 사용할 가능성이 가장 높기 때문에 해저 생태계에 미치는 영향은 극히 미미하다고 밝혔다.

또 굴착기계를 사용하지 않고 발파 방식으로 터널을 뚫는다고 해도 해저 지면 아래 상당히 깊은 지점에서 발파가 이뤄지게 되므로 문제가 없다고 한다.

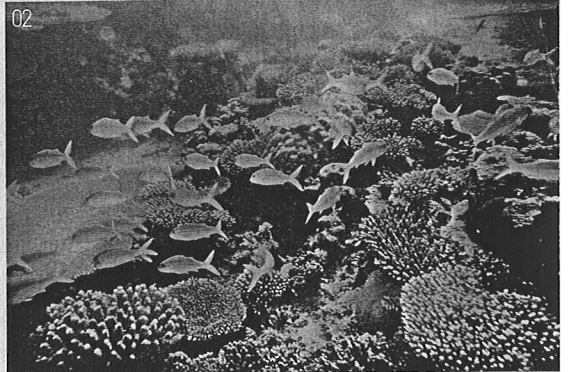
육상에서 터널을 발파할 경우에는 인접 지역 목장이나 양식장의 위치가 고정돼 있어 가축, 어류의 이동이 자유롭지 못해 발파 진동으로 인한 피해가 있을 수 있다. 하지만 해저에서는 어류 등 해저 생물의 이동이 자유롭기 때문에 설사 발파에 의한 진동이 있더라도 이를 피할 수 있기 때문이다. 채널터널 공사 당시에도 생태계 피해 사례는 없었다고 한다.

북한 개방 여부가 터널 성공의 관건

다시 처음의 질문으로 돌아와보자. 한국과 일본의 바닷길은 열릴까. 기술적으로는 한국과 일본의 바닷길을 여는데 아무런 문제가 없다는데 의견이 일치한다. 해

Submarine Tunnel

01 1996년 12월 채널터널 내부에서 차량화재 사고가 발생해 해저터널의 화재가 심각한 문제로 떠올랐다. 02 해저 지면 아래 깊이 터널을 굴착하게 되면 해저생태계 파괴의 우려가 없다고 한다.



02

저 생태계 파괴 문제도 없다. 남아 있는 문제는 한일터널 완공에 필요한 기술적 문제가 아니라 재원조달, 경제성, 양국의 국민적 합의 등의 문제다.

한일터널기술연구회 성백전 회장은 “채널터널이 당시 18조원에 이르는 공사비를 투자했지만 1994년 개통 이후 당초 예상과 달리 엄청난 적자가 쌓이면서 한때 심각한 경영난을 겪었던 사례를 생각하면 한일터널은 공사비가 80조원 이상이 들 것으로 예상되기 때문에 개통 이후 경제성 문제를 생각하지 않을 수 없다”고 밝혔다.

특히 지난해 8월 부산에서 열린 제7회 동북아시아 포지엄에서 일본의 한 연구원은 북한의 개방 여부가 한일터널의 성공에 가장 핵심이 될 것이라고 발표했다. 2010년에 건설을 시작해 2020년에 터널이 개통된다고 가정했을 때 터널 개통 후 북한이 대륙을 연결하는 육로를 개방하지 않는다면 2040년 이후 터널 이용 승객 수와 화물량이 증가하지 않아 경제성을 담보할 수 없을 것이라는 연구결과가 나왔기 때문이다. 6

2004年7月1日 科学東亜（韓国）

大韓海峡トンネル構想

日韓海底トンネルは実現可能か

●●●韓国と日本の海の道は開かれるか

1994年、英国とフランスの間を隔てるドーバー海峡の海底を貫通するユーロトンネルが開通し、英国がヨーロッパ大陸と結ばれ、文字通り『欧州共同体』が実現した。それならば、韓国の日本の間を隔てる日本海（東海）の海底を貫通する海底トンネルが開通し、韓国と中国そして日本を結ぶ『アジア共同体』が実現されるのだろうか。

構想期間だけでも70年

韓日トンネル、日本式では（ニッカン）日韓トンネルと呼ばれる日韓トンネルの構想は、1939年に日本側で始まった。島国日本が大陸に進出するためには、日韓トンネルが足がかりの役割をせざるを得ないからだ。しかしながら、第二次世界大戦が激しくなり、日本はこれ以上、日韓トンネルの論議を進められなかった。

40年あまり後、日本で再度、日韓トンネルの論議が水面上に浮かび上がった。やはり日本からヨーロッパ大陸に至る長い区間を結ぶ路線の一部として日韓トンネルが提案された。以後1980年台に、日本では該当地域の陸上ボーリング、海峡の音波探査など、実質的な調査が繰り返され、日韓トンネルの研究が大いに活気を呼んだ。

一方、韓国は日本に比べ消極的な姿勢だった。1983年、日韓トンネル研究会が設立後、3回にわたり日本と日韓トンネルについての技術交流会を行ってきたが、主に日本側の調査結果を交流する程度であった。従ってこれまでの日韓トンネルに関する実質的な検討結果と具体的な提案は日本側の構想だ。

それでは、日本側の構想に対し、国内のトンネル専門家が予想する日韓トンネルはどんなものだろうか。

【気になること、その1】どんな経路を通るのか？

現在、日韓トンネルの路線として3つの案が重点的に検討されている。トンネルの深さにより海底下約1000m、300m、そして50mの深さを通して。共に韓国の巨済島と日本の対馬、壱岐島を通っている。海峡では、韓国から日本まで対馬海峡西水道（大韓海峡）、対馬海峡東水道（対馬海峡）、壱岐水道の下を通る。

ここで路線を決定する最も重要な要素は、該当地域の地質条件である。それ

では日韓トンネルが通過する対馬海峡西水道（大韓海峡）、対馬海峡東水道（対馬海峡）、壱岐水道の海底地質環境はどうか？

まず、3海峡の水深は特に問題がない。水深が深くなるにつれて水圧が高くなるので、水深が浅いほどトンネル掘削が有利になる。壱岐水道の水深は全域が水深70m以下で、対馬海峡東水道（対馬海峡）も最大水深が135mで全海域が大陸棚に属する。対馬海峡西水道（大韓海峡）の最も深いところは水深230mほどで少々深いが、現在の技術ではトンネル掘削に特に問題はない。

3海峡の海底の地盤も良好である。韓国地質資源研究院のシンフェスン博士（地盤安全研究部長）は、「一般的なトンネル施工基準からみて、3海峡の地盤条件は施工に適している」と語った。

対馬海峡東水道（対馬海峡）周辺の地盤は、主に堆積岩と火成岩からできているが、強度が高く亀裂が発達せずトンネル掘削には有利な条件である。壱岐水道周辺は、やはり地表部の約90%が火山の爆発で生成された玄武岩と溶岩で覆われており、地盤が比較的しっかりしているほうである。

問題は対馬海峡西水道（大韓海峡）である。対馬海峡西水道（大韓海峡）の場合、40Kmほどの区間で厚さ400mほどの地層がまだ岩石化しておらず、壱岐水道と対馬東水道（対馬海峡）の地質に比べ強度がない。しかしシン博士は技術上補強が可能であるため、トンネル掘削は特に問題がないものと推測している。したがって氏は現在検討中の3路線全てが日韓トンネルの路線になり得ると語った。ただし、今後、最終路線を決定するためには断層帯と大水深、速い潮流、台風など、3海峡の地理的環境に対する精密な地質調査が必要と語った。

【気になること、その2】どんなトンネルをつくるのか？

海底トンネルはトンネル工法により大きく3種類がある。水中トンネルは船舶の航海に支障を与えない程度の一定深度の海中にトンネルを浮かせ、それを海底にケーブルで固定して造る。

沈埋トンネルはトンネルの路線に該当する地点の海底面に一定の深さの溝を掘り、トンネル構造体をその溝に沈めて造る。昨年着工した巨済～釜山間道路中、3.7Kmが沈埋トンネルで建設される予定だ。

最後に掘削機械を使用して海底面下一定の深さに土砂を掘りながら造る海底トンネルがある。英国とフランス間のドーバー海峡を結ぶユーロトンネルが代表的な例である。

トンネルの種類の決定には海底地質環境が重要な要素である。例えばユーロトンネルは、水中トンネルや沈埋トンネルの代わりに海底下にトンネルを掘る方式を採用したが、これはチョーク層という特殊な海底地質が形成されていたため可能であった。

チョーク層はドーバー海峡の地表から平均45m下の地点に形成され、トン

ネルを掘るのに適した深さであった。また岩盤が固くなく、トンネル掘削速度を速めることができ、工事期間を短縮できた。特にチョーク層が不透水層を形成し、海底トンネル建設において最も頭を悩ます防水問題を自然に解決できた。ユーロトンネルは、地中の適切な位置にチョーク層が横たわっている“幸運”があつてこそ完工できたのである。日韓トンネルも、やはり海底地質の状態はユーロトンネルと比較して特に問題はない。

しかしながら地質環境以外にも考慮する要因がある。韓国建設技術研究院のホンソンワン博士（韓国トンネル工学会会長）は、“対馬海峡西水道（大韓海峡）には船舶が数多く往来し、戦争のように万一の事態には潜水艦の移動経路を確保しなければならないため、安全性の面から水中トンネルと沈埋トンネルよりは海底面より下にトンネルを掘るのが現実的である”と説明した。特に水中トンネルや沈埋トンネルは、船舶が沈没したときにトンネルとぶつかる危険があり、津波や地震など海底地質環境の変化に大きく影響されるため、地表下の地中にトンネルを掘るのが安全である。従って日韓トンネルはユーロトンネルと同じ種類のトンネルに収まる可能性が高い。

ユーロトンネル、青函トンネル、日韓トンネルの比較

区 分	ユーロトンネル	青函トンネル	日韓トンネル
トンネル区間	英国フォークストン～フランス・カル	北海道～本州	韓国・巨済島～日本・九州
開 通 日	1994年5月	1988年3月	未 定
総 延 長	50.45 km	53.85 km	200 km内外
海底区間	38 km	23.3 km	128～145 km
トンネルの深さ	25～45 m	約100 m	50～1000 m
交通手段	鉄 道	鉄 道	鉄道が有力
工事期間	7 年	21 年	20 年以上
工事費用	18兆ウォン	8兆ウォン	80兆ウォン以上

技術的には韓国と日本の海の道を開くことに何ら問題はない。海底の生態系を破壊するという問題もない。残った問題は財源の調達、経済性、両国の国民的合意などだ。

【気になること、その3】どんな交通手段を使用するのか？

日韓トンネルの交通手段として、高速道路、高速鉄道そして磁気浮上列車が重点的に検討されている。特にトンネルをチューブ形状にして、その中を0.1～0.2気圧程度の低い気圧にし、磁気浮上列車でマッハ4～5（時速4770～5960 km）の超高速で走行させる構想もある。

現在、韓国の釜山から日本の福岡までフェリーで16時間、高速水中翼船で2時間55分かかる。もし日韓トンネルが完成すれば自動車で3時間30分、最高時速350kmの高速鉄道で1時間20分、最高時速700kmの磁気浮上列車で40分かかることになる。このうち磁気浮上列車が交通手段として採択されれば、釜山から福岡まで1時間しかかからないため、飛行機とも十分に競争可能である。

日本では磁気浮上列車が日韓トンネルの有力な交通手段として考えられている。すでに1970年から国家が予算を投入し、時速500km内外の高速で走る磁気浮上列車の試験運行に成功した。

しかしながら韓国側の立場は若干異なる。列車を主な交通手段として利用することは同意するが、磁気浮上列車は不適當だと考えている。ホン博士は「日本で開発された磁気浮上列車は、超伝導発生装置を使用しなければならないため、莫大な電力を消耗し、これにかかる費用があまりにも大きい」とし、現実性が低いと説明した。

道路もやはりいろいろと問題をまねく素地がある。高速道路を建設する場合、車輛の移動が前提となるが、まだ無公害クリーン自動車が実用化されていないため、車輛の排気ガスによるトンネルの換気問題が発生する。また車輛が集中した場合には交通渋滞が発生する。

したがって韓国は磁気浮上列車や車輛より高速鉄道がふさわしいという立場である。すでに韓国と日本に高速鉄道があり、中国もまもなく建設されることが予想されるからである。

人工島の建設で換気と非難の問題を解決

日韓トンネルが実現すれば世界最長の海底トンネルになる。工事規模の面でも世界でも類をみない大規模プロジェクトになる。ホン博士とシン博士は両者とも、トンネル完成に必要な技術的部分はほとんど問題が無いと断言している。日本はすでに現在、世界最長の海底トンネルである青函トンネルを開通させ、韓国もやはり漢江河底トンネル工事（地下鉄5号線ヨイド～マポ区間）などを通じて海底トンネル完工に必要な技術力を持っているからだ。

ただ、日韓トンネルは数百 Km におよぶ海底トンネルなので、施工時に考慮しなければならない要素がある。まず、防水技術である。ユーロトンネルの場合には水を吸うと膨張し、水がないと収縮する特殊ゴムを防水素材として使用したが、日韓トンネルは、その長さがユーロトンネルの約4倍にもなるため、より強固な防水技術が必要である。

また停電などの非常時電力供給のための電力供給システム、トンネル内の空気の停滞を防ぎ、列車などから発生する熱気を冷却する換気システム、火災時に乗客が避難するための待機場所と排煙システムなどが必要である。

ホン博士は、このような問題を解決するため、トンネル区間の約20kmご

とに人工島を配置するのが良いと説明した。人工島を建設すれば掘削する地点が数箇所が増えるため、自ずから工事期間が短縮される。のみならず換気口や避難口などの目的で活用できるので一石二鳥である。

日韓トンネルの建設に技術的な問題が全くないとすれば、海底生態系の破壊問題はどうか。シン博士は、日韓トンネルは海底を掘り起こす方式ではなく、海底下を掘削する方式を使用する可能性が最も高いため、海底の生態系に与える役割はほんのわずかであると語った。

また、掘削機を使用せず爆破方式でトンネルを掘る場合も、海底下相当な深さの地点で爆破されることになり、問題はないとのことである。

陸上でトンネルを爆破する場合には、隣接地域の牧場や養殖場の位置が固定されており、家畜、魚類の移動が自由ではなく、爆破振動による被害はありうる。しかし海底では魚類など海底生物の移動が自由なため、たとえ爆破による振動があったとしても、それを避けることができるからである。海底トンネルの工事そのもので生態系を破壊した事例はなかったとのことである。

北朝鮮の開放いかがトンネル成功の要

また、最初の質問に戻ろう。韓国と日本を海の道を開くか。技術的には韓国と日本の海の道を開くことに何ら問題はない、ということで意見が一致した。海底の生態系を破壊するという問題もない。残った問題は日韓トンネルの完工に必要な技術的問題ではなく、経済性、両国の国民的合意などの問題だ。

韓日トンネル技術研究会のソンベクチョン（成百詮）会長は“ユーロトンネルが当時のお金で18兆ウォンに達する工事費を投資したが、1994年の開通以後、当初の予想とは異なり莫大な赤字が積もり、一頃は深刻な経営難に陥った事例を考慮すると、日韓トンネルは工事費が80兆ウォン以上かかると予想されているので、開通後の経済性の問題を考えざるを得ない”と語った。

特に、昨年8月に釜山で開かれた第7回東北アジアシンポジウムで、日本のある研究員は、北朝鮮の開放いかが日韓トンネル成功の核心になると語った。2010年に建設を始め、2020年にトンネルが開通すると仮定した場合、トンネル開通後に北朝鮮が大陸を結ぶ陸路を開放しないと、2040年以降、トンネルを利用する乗客数と貨物の量が増加せず、経済性を保てないとする研究結果が出ているからである。