

한반도~일본, 고속철로 만나질

방연근 | 한국철도기술연구원 수석연구원

요즈음 원고나 엔고냐에 따라 한국관광객이 일본에 몰리거나 일본 관광객이 한국에 몰리거나 하는 한일 양국 관광객의 변화가 확연하게 달라지는 생생한 모습을 보면서, 과거가깝고도 먼 나라 이웃 일본에서, 지갑 사정에 따라 수시로 오가는 인접한 국가 일본으로 바뀐 것을 실감하게 된다.

필자가 한국철도기술연구원에서 일하고 있어 그러하기도 하겠지만 다음과 같은 궁금증이 생긴다. 만약 한국 일본 모두 항공기보다 상대적으로 경제적이며 친환경 녹색교통수단인 고속철도가 잘 운행되고 있는 만큼, 고속철도로 양국을 오갈 수 있으면 어떤 변화가 일어날까? 그것도 만나질에 웬만한 인접한 대도시는 갈 수 있다고 하면 지금과 무엇이 달라질까?

잘은 모르겠지만 이웃 국가에 대해 더 많은 것을 이해할 수 있어, 오해로 인한 불필요한 에너지 소모는 줄어들 것으로 보인다. 상대에게 상처준 것이 있으면 또 상대에게 감사한 것이 있으면 솔직히 많은 사람들이 이를 인정하는 분위기가 주류를 이루게 될지도 모른다. 그리고 국제회의장에서 영어로 소통하기도 하겠지만, 서로 상대국의 언어로 소통할 수 있는 사람들이 증가할 것으로 상상도 해본다.

고속철도가 빨라지면 빨라질수록 항공기에 대해 그리고 다른 교통수단에 대해 비교우위를 갖는 여행지역이 확대된다. 그래서 고속철도를 운행하는 국가들은 고속철도의 속도 향상에 많은 관심을 갖고 최고속도를 높이기 위해 연구개발

에 투자하고 있다.

2004년 처음 최고속도 300km/h 고속차량을 경부고속철도 노선에서 운행한 우리나라에서도 계속 속도향상을 위한 투자를 해오고 있는데, 2010년에는 350km/h 고속철도를 개발하여 영업운행을 하고 있으며, 2012년에는 430km/h 고속차량이 개발되어 시험운전이 시작되었다. 2014년에는 충북 오송에서 전남 광주에 이르는 호남고속철도 노선이 완성될 예정이다. 430km/h 속도의 고속철도가 운행되면 전국 주요 도시를 1시간 30분대에 오갈 수 있게 될 것으로 기대한다. 현재 한국철도기술연구원은 한 걸음 더 나아가 500km/h급 고속철도에 대한 연구를 하고 있다.

고속철도 운행국가마다 속도향상에 '전력'

한국의 고속철도 영업거리는 현재 고속본선 346.4km, 고속연결선 20.3km를 포함하여 368.5km이며, 수송실적은 고속철도 개통이래 계속 증가하는 추세를 보이고 있는데 2007년 연간 3,732만명, 1일 10만 223명에서 2011년에는 연간 5,031만명 1일 13만 7,833명을 수송하여 2007년 대비 34.8% 증가하였고, 수입은 2007년 1조 150억원에서 2011년 1조 3,853억원으로 2007년 대비 36.5% 증가하였다.

세계에서 제일 먼저 1964년에 고속철도를 개통하여 49년째 이를 운행하고 있는 일본은 2009년 총 고속철도 영업거

[그림 1] 430km/h 고속철도 시제차량 외부 및 내부 모습



자료 : 한국철도기술연구원 보도자료 (2012. 5. 16)

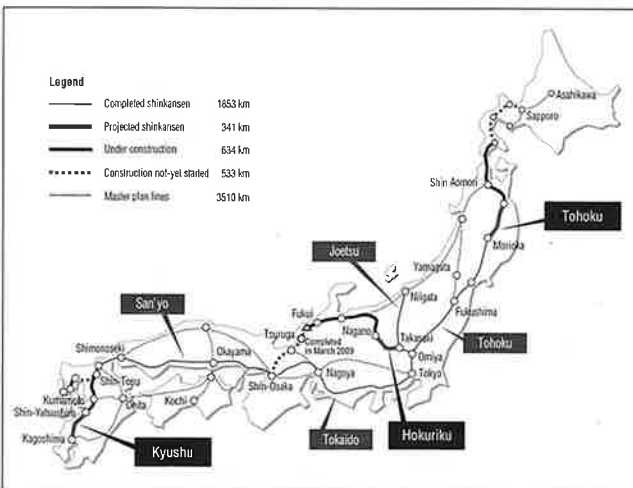
[표1] 한국의 고속철도 개발 연혁

	주요 내용	의 미	기 간
1	KTX 도입	프랑스에서 도입 및 국내운행	2004.4
2	한국형고속열차 HSR-350X개발	동력집중식 고속철도 기술개발	1996~2007
3	KTX-산천 상용화	한국형 고속열차 상용화	2010.3
4	차세대고속철도 HEMU-430X개발	동력분산식 고속열차 기술개발	2007~2012

자료 : 한국철도기술연구원 보도자료 (2012. 5. 16)

리가 2,387.1km이며, 6개 노선을 갖고 있다. 도카이도(東海道) 신칸센 515.4km, 산요(山陽) 신칸센 553.7km, 도호쿠(東北) 신칸센 593.1km, 조에츠(上越) 신칸센 269.5km, 호쿠리쿠(北陸) 신칸센 117.4km, 큐슈(九州) 신칸센 256.8km이다. 일본은 호카이도(北海道) 신칸센 211km(2012년 착공-2035

[그림 2] 일본의 고속철도 계획



자료 : Japan Railway & Transport Review No.57. Mar. 2011

년 완공 계획)를 비롯하여 3,510km의 고속철도를 구축한다는 청사진을 갖고 있다.

2009년도 고속철도 수송실적은 연간 3억 2,213만명 1일 이용객이 88만 2,542명이다. 아직까지 일본의 고속철도는 시속 260km에서 300km 사이를 운행하고 있으나 향후에 개통되는 고속철도는 시속 320km로 계획되어 있다.

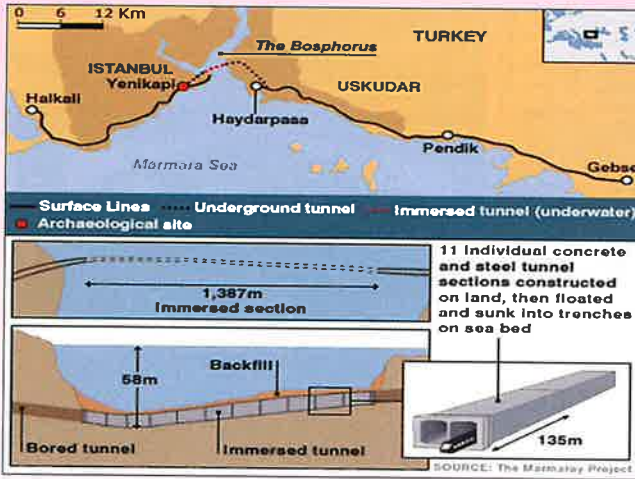
그러나 무엇보다도 야심적인 일본의 고속철도계획은 도쿄와 오사카 438km 구간을 초전도 자기부상 방식의 열차로 최고속도 505km/h로 67분에 운행한다는 추오(中央)신칸센 건설계획이다. 2011년에 JR 도카이가 이 사업을 시작하였는데 2027년까지 도쿄~나고야 구간, 2045년까지 도쿄~오사카 전구간을 완성할 예정이다. 일본은 현재 야마나시(山梨)에 18.4km의 초전도 자기부상열차 시험선을 갖고 있는데, 금년 2013년 말까지 총 42.8km의 시험선을 구축할 예정이다.

[그림 3] 추오(中央) 신칸센 건설계획



자료 : 일본 국토교통성

[그림 4] 터키 말마라이 해저터널



자료 : //news.bbc.co.uk/2/hi/europe/4949862.stm & wikipedia

[그림 5] 덴마크 독일 페말른(Fehmarn) 해저터널



자료 : wikipedia & DE WIT, J.C.W.M. etc.

그러나 이러한 한일 양국의 고속철도 발전에도 불구하고 한국과 일본을 잇는 고속철도가 건설되지 않고서는 항공이 외의 다른 수단으로 반나절에 양국을 오가는 것은 불가능한 일이다. 고속철도로 양국을 연결하는 것은 여러 가지 의미를 지닌다. 일기 날씨에 관계없이 바다로 분리되어 있던 일본을 언제든지 갔다 올 수 있어 반도라는 제약을 넘어 일본과의 국제왕래가 증가하게 될 것이고, 일본이 이웃나라로 더 다가 오게 될 것이다. 섬나라인 일본도 대륙에 연결되어 일기 날씨의 제약 없이 한국, 북한, 중국 등과의 국제교류를 확대할 수 있게 될 것이다.

많은 국가들이 상대국과 해저터널로 연결하는 시도를 완

료하였거나 진행 중에 있다. 1994년에 개통된 영국과 프랑스 간의 유로터널, 국가 간은 아니지만 2004년에 시작되어 2013년 완공 예정인 터키 내 아시아와 유럽을 연결하는 말마라이 해저 터널(Marmaray tunnel), 2011년에 승인된 독일과 덴마크 간 해저터널(2014년에 착공 2020년 완공 예정)을 꼽을 수 있다. 중국과 대만, 영국과 아일랜드, 말레이시아와 싱가포르, 시베리아와 알래스카 간에도 해저터널이 계획되고 있다.

한일 고속철 연결 위해 해저터널 건설 필수

이러한 계획들이 실행되어 터널운영이 지속되느냐 여부는 경제성이라고 할 수 있다. 영국과 프랑스를 잇는 유로터널의 경우에도 터널운영사가 부채를 감당하지 못해 채무동결 부채감감 등 파산직전까지 갔다가 14년이 지난 2008년에야 처음 흑자를 내 2009년에 배당을 실시한 사례가 있다. 그러나 빚을 갚으려면 아직도 많은 세월이 필요한 실정이다. 처음에는 영국 내 고속철도 건설이 이루어져 영국 내 주요 도시들과 유럽대륙을 연결하는 것을 예상하였으나 영국의 고속철도건설 계획이 늦어지면서 유로터널의 개통 효과를 보는 이용자가 런던을 중심으로 한정되어 어려움을 겪게 되었다. 현재까지 이용자가 3억명을 넘어 개통이래 평균적으로 1일 5만명이 이용하였다.

한국과 일본의 경우는 이미 고속철도운영이 활성화되고 있어 양국 간 해저터널만 건설되면 운영상 어려움은 없을 것이다. 다만 유로터널보다 길이가 길어 경제적인 해저터널 건설과 유지보수를 가능하게 하는 기술의 선택에 초점을 두어야 할 것으로 판단된다. 유로터널의 경우 총 연장 50.54km 중 해저구간이 37.5km이나, 한일해저터널(한국의 거제도 또는 부산과 일본의 규슈 시가현 가라쓰(唐津)시를 연결하는 총 연장 220km 정도)는 해저구간이 130km가 넘고, 깊이도 더 깊다(유로터널 50m, 한일해저터널 최대수심 170m).

터널기술의 발전은 곧 터널구축비용의 절감으로 이어진다. 100년전에 시간당 5m를 천공하던 기술이 지금은 시간당 450m를 천공하고 있다.

터널기술이 당면하고 있는 과제는 터널직경의 확대, 더 깊은 곳에서의 작업, 더 긴 터널의 구축 등이라고 할 수 있다. 이러한 과제를 해결하기 위해 터널 구축의 기계화, 컴퓨터화, 자동화가 이루어지고 있는데, 암반 터널기술의 대표적인 D&B(Drill-and-Blast), TBM(Tunnel Boring Machine)이 이러한 기술들을 수용하고 있다. TBM의 경우 절삭기(cutter)의 직경이 과거 1956년 280mm이었던 것이 1990년대에 들어서는 500mm로 커지고, 절삭기의 파워도 절삭기당 55kN에서 320kN으로 강화되고, 절삭기헤드의 회전속도도 1970년대에는 32RPM이었던 것이 1980년대에는 50RPM으로 빨라졌다. 그결과 TBM을 이용한 터널 건설이 많아지고 있다. 또한 암반거동에 대한 이해가 깊어지면서 터널 지지에 대한 설계도 발전하고 있다.

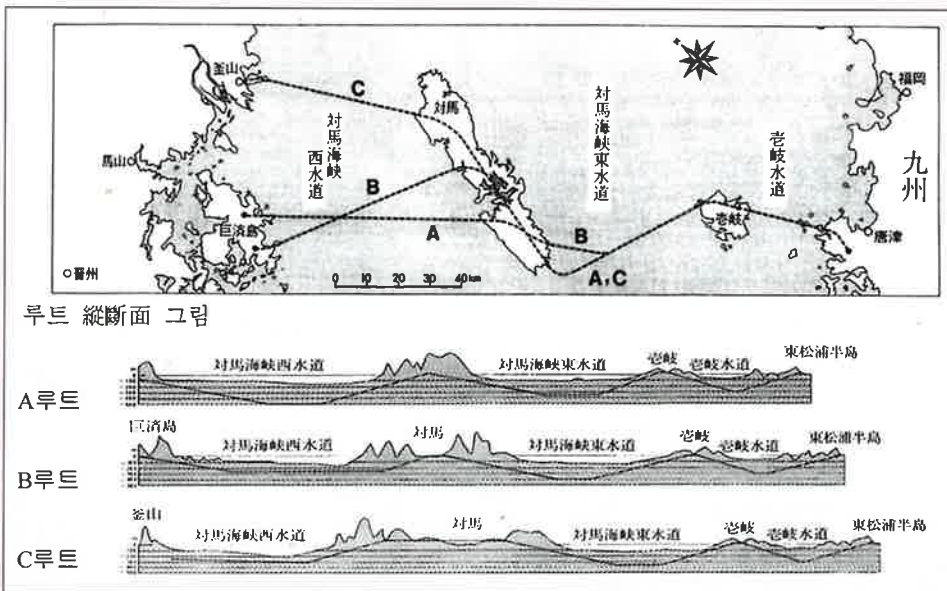
지금은 터널건설 중간에 필요에 따라 설비를 자동적으로 수정하는 자가학습설비(Self learning equipment), 비용을 절감하는 대형 직경의 터널, 지반조건에 따라 자동적으로 라인닝을 수정하는 능형 라인닝 시스템이 최고의 기술이라고 할 수 있다. 하지만 2020년에는 암반을 절삭하는 기술의 혁명 예를 들면 레이저 절삭, 지질 조건에 대한 완벽한 지식(지반을 투시하는 기술), 다목적 터널 천공 기계(Universal

tunnel boring machine)가 등장할 것으로 보인다. 2030년에 가면 환경에 전혀 피해를 주지 않는 기술(작업 쓰레기의 완벽한 재사용, zero 공기오염 및 수질오염), 지하 설비 거동에 대한 완벽한 지식, 지하나 지상 시설의 건설비용 유사, 터널을 건설하는 동안 터널 안에 작업자가 들어가지 않는 완전 자동원격 터널구축시스템 등이 작동될 것이다(ZHAO Jian, Tunnelling in Rocks—Present Technology and Future Challenges, 2007).

또한 해저터널의 경우 해저지하를 뚫어 터널을 건설하는 것보다 침매터널(immersed tunnel)을 이용한 기반시설 구축이 비용측면 등에서 선호된다고 할 수 있다. 터키 말라라이 터널의 경우는 침매터널 기술을 이용하여 인프라가 건설되고 있다. 우리의 경우도 이미 거가대교에서 이 기술을 적용한 경험을 갖고 있다. 그리고 수심이 깊은 곳에서는 노르웨이 등에서 연구되고 있는 해중터널(floating tunneling) 기술을 적용하는 것도 연구대상이라고 할 수 있다. 한일 해저터널의 해심이 깊은 구간에 검토할 필요가 있을 것이다.

한반도와 일본을 고속철도로 만나결에 연결하기 위해서는 한일해저터널 운영기관이 감내할 수 있는 범위 내에서 경제적

[그림 7] 한일해저터널의 노선



자료 : 한일국제심포지엄, 한일해저터널과 부산의 선택, 2007. 5. 14

으로 운영될 수 있도록 터널건설 및 유지보수비용을 대폭 절감할 수 있는 터널기술개발과 기술의 조합에 관심을 집중하는 것도 지금 단계에서 필요한 일이라고 판단된다. 그리고 고속철도의 속도가 더욱 빨라질수록 한일해저터널의 경제성은 높아질 수 있으므로 500km/h 속도대역을 주파하는 고속철도 개발에 힘을 모을 필요가 있다. moreover 한일 양국간에 과학기술자들이 힘을 모아 해저터널의 건설시기를 앞당길 수 있는 기술조합을 개발하는 패저를 이루었으면 한다. ㉔

韓半島～日本、高速鉄道で半日に

パン・ヨングン 韓国鉄道技術研究院 主席研究員

近頃のウォン高や円高で韓国の観光客が日本に殺到し、逆に日本の観光客が韓国に殺到するなど、韓日両国の観光客が明らかに変わりつつあるその生々しい様子を見るにつけ、これまでの近くて遠い隣国日本から、ふところ具合でいつでも行き来できる隣国日本に変わったことを実感する。

筆者が韓国鉄道技術研究院で仕事をしているからかも知れないが、次のことが気がかりになる。仮に韓国と日本両国で航空機よりも相対的に経済的かつ環境にやさしいグリーン交通手段である高速鉄道が盛んに運行され、高速鉄道で両国を行き来すればどんな変化が起きるのだろうか？ 半日そこそこで隣の大都市に行けるとすれば今に比べどれほど変わるのだろうか？

良くわからないが、隣の国について多く理解するにつれて、誤解による不要なエネルギー消費は減るだろう。相手方を傷つけ、また相手に感謝することがあれば、率直に多くの人々がこれを認める雰囲気は主流となるかもしれない。そして国際会議場では英語で通じるにしても、お互い相手国の言語で通じる人々が増えるものと想像できる。

高速鉄道が速くなるにつれて航空機や他の交通手段に比べて優位に立つ旅行地域が拡大する。それゆえ高速鉄道を運行する国々は高速鉄道の速度向上に多くの関心を注ぎ、最高速度を上げるための研究開発に投資している。

2004年の初めから最高速度 300km/h の高速車両を京釜高速鉄道路線で運行している我が国でも速度向上のための投資を継続している。2012年には 430km/h の高速車両が開発され、試験運転が始まった。2014年には忠清北道のオスンから全羅南道の光州に至るホナム高速鉄道の路線が完成する予定だ。430km/h の速度の高速鉄道が運行すれば、全国の主要都市を1時間 30分台で往来できると期待される。現在、韓国鉄道技術研究院はさらに一歩進んで 500km/h 級の高速鉄道を研究している。

高速鉄道を運行する国の速度向上「戦略」

韓国の高速鉄道の営業距離は現在、高速本線が 346.4km、高速連結線 20.3km を含め 368.5km である。その輸送実績は高速鉄道開通以来、増加趨勢にあり、2007年に年間 3732 万名、1日あたりに 10万 223 名を輸送し、2011年には年間 5031 万名、1日あたり 13万 7833 名を輸送し、2007年比で 34.8%増加、収入は 2007年の 1兆 150 億ウォンから 2011年の 1兆 3853 億ウォンと 2007年に比べて 36.5%増加した。

世界で初めて 1964年に高速鉄道を開通させ 49年目になる日本は、2009年の高速鉄道営業総距離が 2387.1km で 6路線を有している。東海道新幹線 515.4km、山陽新幹線 553.7km、東北新幹線 593.1km、上越新幹線 269.5km、北陸新幹線 117.4km、九州新幹線 256.8km である。日本は北海道新幹線 211km(2012年着工-2035年完工との計画)をはじめ、3510km の高速鉄道をつくる青写真をもっている。

	主な内容	意味	時間
1	KTX 導入	フランスから導入および国内運行	2004. 4
2	韓国型高速列車 HSR-350X 開発	動力集中方式高速鉄道の技術開発	1996~2007
3	KTX-山川 常用化	韓国型高速列車の常用化	2010. 3
4	次世代高速鉄道 HEMU-430X 開発	動力分散式高速列車の技術開発	2007~2012

資料：韓国鉄道技術研究院 報道資料(2012. 5. 16)

2009 年度の高速鉄道の輸送実績は年間 3 億 2213 万名で、1 日あたりの旅客が 88 万 2542 名である。これまで日本の高速鉄道は時速 260km から 300km の間で運行しているが、今後開通する高速鉄道は時速 320km で計画されている。

しかし何よりも野心的な日本の高速鉄道計画は東京と名古屋、大阪 438km 区間を超伝導磁気浮上方式の列車により最高速度 505km/h、67 分で運行する中央新幹線建設計画だ。2011 年には JR 東海がこの事業に着手し、2027 年までに東京～名古屋区間、2045 年までに東京～大阪全区間を完成する予定だ。日本は現在、山梨に 18.4km の超伝導磁気浮上式列車の試験線を備えており、今年 2013 年末までに総 42.8km の試験線を作る予定である。

しかしこのような韓日両国の高速鉄道の発展にも拘わらず、韓国と日本を結ぶ高速鉄道が建設されない限り航空以外の他の手段により半日で両国を行き来することは不可能だ。高速鉄道で両国を結ぶことにはいろいろな意味がある。天気天候に関係なく海で隔てられていた日本といつでも行き来でき、半島という制約を超えて日本との国際往来が増え、日本が隣の国としてより近づくのである。島国だった日本も大陸に繋がり、天気天候の制約なしに韓国、北朝鮮、中国などと国際交流を拡大できるのだ。

多くの国々で相手国と海底トンネルで結ぶ試みが終了あるいは進行中だ。1994 年に開通した英国とフランス間のユーロトンネル、国家間ではないが 2004 年に始まり 2013 年に完工予定のトルコ内のアジアとヨーロッパを結ぶマルマラ海底トンネル、2011 年に承認されたドイツとデンマーク間の海底トンネル（2014 年に着工 2020 年に完工予定）があげられる。中国と台湾、英国とアイルランド、マレーシアとシンガポール、シベリアとアラスカ間にも海底トンネルが計画されている。

韓日高速鉄道連結のために海底トンネルの建設が必須

これらの計画が実行に移されてトンネルの運営が続くか否かは経済性だということができる。英国とフランスを結ぶユーロトンネルの場合にもトンネルの運営会社が負債を支払うことができず、財務凍結、負債軽減など破産直前になったが、14 年過ぎた 2008 年には初めて黒字を出し、2009 年に配当を出したという事例がある。しかし借金を返すにはまだ長い月日を要するのが実情だ。元々、英国内の高速鉄道ができあがり、英国内の主要都市とヨーロッパ大陸を結ぶ予定だったが、英国の高速鉄道建設計画が遅れ、ユーロトンネルの開通効果を受ける利用者がロンドン周辺に限定されて困難をきたすことになった。現在までに利用者が 3 億名を越え、開通以来平均して 1 日 5 万名が利用した。

韓国と日本の場合はずでに高速鉄道の運行が活性化しており、両国間の海底トンネルさえ建設

すれば運営上困難はないのである。ただユーロトンネルより距離があるため、経済的な海底トンネル建設と保守と維持を可能にする技術の選択に焦点を置かねばならないとみられる。ユーロトンネルの場合、総延長 50.54km、海底区間が 37.5km であり、韓日海底トンネル（韓国の巨済島あるいは釜山と日本の九州佐賀県唐津市を結ぶ総延長 220km）は海底区間が 130km を越え、深さもより深い（ユーロトンネル 50m、韓日海底トンネルは最大水深 170m）。

トンネル技術の発展は必ずトンネル構造費用の節減につながる。100 年前に時間あたり 5m を穿っていた技術が今では毎時 450m を掘削している。

トンネル技術が直面する課題はトンネル直径の拡大、深いところでの作業、さらに長大トンネルの構築などが挙げられる。これらの課題を解決するためにトンネル構築の機械化、コンピューター化、自動化がなされているが、岩盤トンネル技術の代表的な D&B(Drill-and-Blast),TBM(Tunnel Boring Machine)がこれらの技術を包含している。TBM の場合、切削器(Cutter)の直径がこれまで 1956 年で 280mm だったものが 1990 年代にはいつてからは 500mm と大きくなり、切削する岩も切削器あたり 55kN から 320kN に強化し、切削器ヘッドの回転速度も 1970 年台には 32RPM だったものが 1980 年代には 50RPM と速くなった。その結果、TBM を使用するトンネル建設が増えた。また岩盤の挙動についての理解が深まるにつれてトンネル保持に関する設計も発展している。

現在はトンネル建設の際、必要に応じ設備を自動的に推定する自己学習装置(Self learning equipment)、費用を節減する大直径のトンネル、地盤条件により自動的にライニングを推定する知能型システムが最高の技術といえる。しかしながら 2020 年には岩盤を切削する技術の革命とも言えるレーザー掘削、地質条件についての完璧な知識（地盤を透視する技術）、多目的トンネル掘削機械(Universal tunnel boring machine)が登場するとみられる。2030 年になれば環境に全く被害を与えない技術（作業ゴミの完璧な再使用、空気汚染ゼロおよび水質汚染ゼロ）、地下設備の挙動に関する完璧な知識、地下や地上施設の建設費用、トンネルを建設するときにトンネル内に作業者が立ち入らない完全自動遠隔トンネル掘削システムなどが作動するだろう（ZHAO Jian,Tunnelling in Rocks-Present Technology and Future Challenges,2007）。

また海底トンネルの場合、海底の地下を掘ってトンネルを建設するよりも沈埋トンネル(immersed tunnel)を使用する基盤施設の構築が費用面などで有利とも言える。我々の場合もすでに巨済大橋でこの技術を用いた経験がある。そして水深が深いところではノルウェーなどで研究されている水中トンネル(floating tunneling)技術の適用も研究対象といえる。韓日海底トンネルの核心である深い区間に検討する必要があるからだ。

韓半島と日本を高速鉄道により半日で結ぶためには韓日海底トンネルの運営機関が耐えうる範囲内で経済的に運用できるようトンネル建設および維持保守費用を大幅に節減できるトンネル技術開発と技術の組み合わせに関心を集中することも現段階では必要と判断される。そして高速鉄道の速度が早くなるにつれて韓日海底トンネルの経済性は高まるので、500km/h の速度帯域を走破する高速鉄道の開発に力を注ぐ必要がある。韓日両国間に科学技術者の力を合わせ、海底トンネルの建設時期を早める技術の組み合わせを開発する快挙を成し遂げたいものである。