

한중·한일 해저터널 발파굴착의 난제해결과 CM·VM 적용에 대한 고찰

신창용¹⁾, 안명석^{2)*}, 박호경³⁾

Consideration for Solution of a Difficult Problem and Application of CM·VM in Blasting Excavation for Korea-China and Korea-Japan Sea Bottom Tunnel

Chang-Yong Shin, Myung-Seog Ahn and Ho-Kyung Park

Abstract A plan of construction of subsea tunnels connecting Korea-Japan and Korea-China have been discussing over the past several ten years. This paper were wrote about the present capacity of our engineer, the cooperation plan of politics and economy. Especially we examined and studied resolution method and technical problem in the construction of Sub-sea tunnel. In terms of excavation technology, Blasting and water resistance technology should be cared considering the status of rock such as fault in the deep sea. After of a construction work, it should be carefully designed and constructed for the fire and leakage management in Tunnel, It should be applied to High Construction Management Professional and Value Management(CVS) etc.

Key words Deep sea, Construction management professional, Value management

초 록 한일해저터널 구상에 이어 한중해저터널에 관한 토론이 공개적으로 시작되었다. 이에 우리 기술진의 현재의 역량과 정치적·경제적 협조방안을 열거하였으며 특히 해저터널 건설시의 기술적 문제점과 해결과제를 조사·연구하였고 이에 따른 방안을 제시하였다. 굴착기술 측면에서는 깊은해저에서의 단층대 등 암반상태를 감안한 발파·방수처리기술 등을 고려 해야겠다. 완공 후 터널내 화재와 누수관리 등에 더욱 유의하여 설계·시공하고 고급 건설사업관리제도(CMP)와 가치공학 및 창조경영공학(CVS)등을 적용해야 할 것으로 생각된다.

핵심어 깊은해저, 건설사업관리, 가치경영

1. 서 론

운송수단별로 해저터널을 분류하면 도로전용터널(이스턴하버터널), 철도전용터널(유로터널, 세이칸터널), 도로·철도 병용터널(외레순 터널)의 3가지로 분류할 수 있다. 하지만 이를 자세히 들여다보면 해저거리 10km 미만에서는 도로터널 및 도로·철도 병용터

널로 구성되어 있고, 유로터널과 세이칸터널처럼 초장대 터널의 경우에는 철도전용터널로 구성되어 있다. 국내외의 해저터널 현황을 정리하면 표 1과 같다. (김가현, 안명석, 2009)

동북아 경제권의 위상을 살펴보면 한중일 경제권의 통합과 국가간 자유무역협정 체결 등으로 역대 국가의 경제력이 확대되면서 한국·중국·일본을 중심으로 한 동북아시아 지역은 유럽 및 북미와 함께 세계3대 경제권의 하나로 부상하고 있으며, 2050년에는 전 세계 GDP중 30.4%를 차지할 것으로 예상되고 있으므로 3국간의 물류비 절감을 위해 한중 및 한일간의 해저터널 건설이 더욱 구체화 되어가고 있으므로 이를 대비하기 위한 해저터널 건설을 위한 발파굴착의 난

¹⁾ 동서대학교 토목공학과 석사과정

²⁾ 동서대학교 에너지생명/건축토목공학부 겸임교수

³⁾ 한국기술사회 대구·경북지회장

* 교신저자 : amspeoff@chol.com

접수일 : 2010년 5월 26일

심사 완료일 : 2010년 6월 17일

게재 승인일 : 2010년 6월 21일

표 1. 국내외 해저터널의 개요

터널명	국가	총길이 (km)	해저통과 길이(km)	공사기간	공사비	굴착방식	수송방식
세이칸 터널	일본	53	23	1964~88	\$70억	NATM	철도전용
동경만 터널(아쿠아라인)	일본	15	9.5	1985~97	15조원	셸드 TBM	도로전용
외레순 터널	덴·스	16	4.05	1995~2000	\$150억	침매공법	철도/도로
유로터널	영·프	50	38	1987~94	30억DKK	셸드 TBM	철도전용
이스턴하버 터널	홍콩	2.2	1.9	1986~89	HKD22억	침매공법	철도/도로
웨스턴하버 터널	홍콩	2	1.36	1993~97	HKD57억	침매공법	도로전용
보스포러스 터널	터키	15	5.4	건설중	\$10억	침매공법	도로전용
부산~거제간 연결도로	한국	8.2	3.6	건설중	2조원	침매공법	도로전용



그림 1. 동북아 고속철도망 연결 기본구상도

제 해결을 위해 고찰하였다.

2. 한중일 해저터널의 특성

2.1 전략적 의의

동북아 3국이 실질적으로 각각의 섬으로 존재하는 형국이므로 인적, 물적 교류에 있어서의 단절성(항만과 공항시설을 통한 제한적인 이동)이 있다. 한·일 해저터널은 동북아 3국의 지리적 단절성을 극복하고 근접성을 확보하며, 한·일 간은 물론 북·일 관계에 있어서도 획기적 개선을 이룰 수 있으며 중국, 러시아 나아가서는 유럽대륙과의 교통망과 물류체계의 획기적인 변화를 일으키는 요인이 될 수 있다.

그러나 북한의 불확실성 및 한·중간 주요 인구 밀집

지역의 직결을 위해 한·중 해저터널을 건설하여 한국에서 직접 중국으로 연결하는 방안에 대한 논의가 이루어지고 있다. 장기적으로 한중 해저터널이 연결되고, 한일해저터널 구간이 연결되면 동북아 지역은 고속철도망으로 연결이 가능해진다. 그러나 한일 해저터널은 향후 100년 이상을 내다보고 국익이 되는지를 신중히 판단하여야 하며(안명석, 2007)일본경제에 한국경계가 종속 될 수 있는 중요한 계기를 제공 할 수도 있으므로 우리나라의 입장에서는 수용여부를 매우 신중히 고려하고 대안 수립 및 준비 후에 진행하여야 한다.

2.2 지형 및 지질 특성

노선을 결정하는 가장 중요한 요소는 해당 지역의

지형 및 지질 특성이다. 수심이 깊으면 수압이 높아지기 때문에 수심이 얕을수록 터널 굴착에는 더욱 유리하다. 한·중 해저터널이 지나가게 될 황해의 해저지질의 최대수심은 76~80m 수준이며, 한·일 해저터널의 최대수심은 150~220m이다.

3. 한일 해저터널의 발파굴착의 난제와 해결방안

3.1 기술적 문제와 해결과제

한·일 해저터널 건설이 현실화되면 전세계적으로 유사 이래 최대의 토목공사가 되는 것이며, 해저에서 40분~2시간 30분정도 주행하게 되므로 이에 따른 해결해야 할 과제들도 많다. 여기에는 토목공학, 기계, 전기, 전자, 통신, 안전 등 공학분야 뿐만 아니라 외교, 국방, 의학 분야까지 연구해야 할 과제들이 많다. 여러 분야의 과제를 모두 제시하기는 어렵고, 토목(발파굴착)공학분야와 안전분야에 대한 내용을 나열하면 아래의 표 2와 같다(김가현, 안명석, 2009).

상기에서와 같이 지반 문제 중 대한해협의 미고결층 분포에 대한 안전성을 위해 민관학의 터널안전기술관련 공동연구회를 구성하여 정밀 지질구조 조사 및 검토 등이 심도 있게 장기적으로 치밀하게 연구·토론 되어야 할 것이다. 특히 지진대의 단층, 퇴적층의 지반 개량을 위해 실트공법 검토, 발파·암반공학 전문가들에 의한 한국형 NATM 공법 개발로 절리누수대책, 용수처리 등의 난공사 대책방안, 필요시 일부

구간 침매터널공법 검토 등이 필요할 것이다. 또한 터널내 화재시 대처기술개발 예를 든다면 대구지하철 사례를 참고하여 경고, 대피, 방화벽, 제연시설 보완과 상하행 연결 터널 및 사갱설치 등에 대한 연구, 보완대책 등을 마련하여야겠다.

3.2 정책적 문제의 해결방안

2003년 12월 아세안의 수뇌가 동경에 함께 모여 특별회의를 개최하였으며, 「동아시아공동체 구축」을 통과한 도쿄선언을 채택하였다. 중심테마의 하나는 아시아·하이웨이(동아시아고속도로)계획이었으며, 하나의 공동체를 쌓기에는 도로가 필요 불가결하다고 하였다. 이러한 동북아의 공동체 형성을 원활하게 이루려면 먼저 일본의 제국주의 침략정책이 포기 되어야 하며 융화정책을 적극적으로 선택해야 한다.(예를 들면 동해를 일본해로 표기, 독도주권 찬탈정책, 야사구니 신사문제, 위안부 문제 등) 그리고 한일해저 터널의 혜택은 일본이 더 유리 할 것으로 예상되므로 당사자인 한국과 일본의 공사비 분담은 특단의 정치적 판단이 있어야 된다. 예를 든다면 총공사비의 70~80%을 일본에서 분담하고, 20~30%를 한국에서 분담하는 등의 결단이 필요하다(한국의 경우 북한 경제 활성화 및 통일 비용을 상당수 한국이 분담하고 있는 또다른 분담 비용이 있음).

4. 한중 해저터널의 발파굴착의 난제와 해결방안

표 2. 토목공학분야와 안전분야에서 해결해야 할 과제들

분야	세부분야	해결해야 할 과제
토목공학	방수	·대심도, 높은 수압하에서 절리를 뚫고 나오는 누수 방수
	굴착토사 처리	·약 73,000,000m ³ (고속철도+일반철도+서비스터널)의 굴착토 처리(터널내에서의 운반)
	인공섬 축조	·수심 150~220m 깊이의 인공섬 축조
	공사중 환기	·연장 20~30Km 긴연장의 환기처리
	공사중 용수처리	·연장 20~30Km 밖으로 100~200m 높이로 용수처리
	지반문제	·壹岐水道の 해저에는 많은 용수 예방 ·대마도 부근이 제일 문제점이 적음 ·東水道에는 단층존재, 중요한 요소가 됨 ·대한해협(西水道)에 퇴적층(미고결층 분포)
안전공학	철도주행	·터널내 휴게시설 설치 ·1시간 이상 계속 단조로운 주행시 운전자 주의력 저하
	터널내 화재	·터널내 화재 발생시 대처기술(차량 및 사람대피, 유로터널의 경우 화재 발생후 이용객 감소)
	터널내 누수	·터널내 다량누수 발생시 대처기술(감지기술포함)

4.1 기술적 문제와 해결과제

한·중 해저터널은 한·일 해저터널에 비해 최대수심 72m로써 수심이 비교적 얇고 지질 상황도 부분적으로 나은 편이다. 공항과 철도연계 등 물류체계를 고려한 경제성을 높이기 위해서는 1안 채택이 좋을 것이다. 그렇지만 토목공학 및 안전분야에 대한 문제점을 필히 해결해야 되는 중요과제가 있다. 대체로 앞에서 열거한 한·일 해저터널에서의 기술적 과제와 해결과제가 비슷하지만 초장대 해저터널을 건설하기 위해서는 표 3과 같이 최소 4개 내지 6개의 인공섬 건설이 필요하다.(경기개발연구원, 2009)

4.2 정책적 문제의 해결방안

중국의 인접국가에 대한 존중정신과 우호정신의 회복이 필수적이며, 공사비 부담에서는 일본과 달리 전액 부담을 중국측에서 고려하고 있다고 한다. 그 근거로는 한중 해저터널의 완공후 한중 생산유발액을 계산했을 때 한국 116조 245억원, 중국 150조 7,111억원, 일본 8조 5,982억원 정도로써 중국이 유리하므로 총 투자비 117조 8천억원에 달하는 한중해저터널의

공사비(경기개발연구원, 2009)는 생산유발 혜택이 큰 중국이 전액 부담해야할 것으로 생각된다.

5. 해저 발파굴착의 난제해결을 위한 CM과 VM의 적용 고찰

우리나라의 굴착기술은 국토해양부에서 2007.1부터 적용하고 있는 “도로공사 노천발파 설계·시공지침”이 제정되는 등 각종 굴착공법 선택 및 설계 기술과 시공기술이 세계적 수준이다. 그러므로 충분한 시공경력과 설계 및 감리제도의 활용, 특히 건설사업관리(CM)제도를 적극 활용한 표 4의 CM for Fee 방식이나 CM at Risk 방식의 고급 건설(발파)사업관리 제도(한국기술사회, 2003)를 더욱 실용화하고 Function Analysis Worksheet·Job Plan에 의한 Technical FAST Diagram 기법 등(이달성, 2009)에 의한 가치 및 창조 경영공학(VM, CVS)을 더욱 활용하고 활성화할 때 보다 안전하고 경제적인 공사가 가능할 것이므로 시험, 조사 단계에서부터 시공, 계획 및 사후관리에까지 건설(발파)CM과 VM을 적극 적용하고 활용할 때 한·중·일 해저터널 굴착공사에서의 발파기술의 역할은

표 3. 한중 해저터널 노선대안

구 분	1안	2안	3안	4안
경 로	인천~웨이하이	화성~웨이하이	평택·당진~웨이치	용진~웨이하이
총길이	341km	373km	386km	221km
최대수심	72m	72m	72m	72m
육상통과거리	9km	42.46km	37.92km	13.8km
해상통과거리	332km	330.54km	348.08km	207.2km
환기구 인공섬 개소	5개	5개	5개	4개
정거장 인공섬 개소	1개	1개	1개	

표 4. CM for Fee와 CM at Risk의 비교표

구 분	CM for Fee				
	발주자	설계자	CMr	실제시공자	
CM at Risk	발주자	-	대리	대리	계약
	설계자	대리	-	협조	협조
	CMr	대리↔계약	협조	-	협조
	실제 시공자	무관	무관	계약	-

<용어설명>

- CM(Construction Management) : 건설공사에 관한 기획·타당성조사·분석·설계·조달·계약·시공관리·감리·평가·사후관리 등에 관한 관리업무의 전부 또는 일부를 수행하는 것(한국기술사회, 2003)
- Technical FAST Diagram(기술적기능 계통도) : 분류된 기능들을 기능 상호간의 논리적 연관성에 의해 도식적으로 정리한 것(한국기술사회, 2009)

더욱 돋보일 것으로 생각된다.

6. 결론

- 1) 우리나라는 침매공법의 해저터널 굴착방식으로는 세계에서 가장 긴 도로전용 부산-거제간 연결 도로공사가 거가대교에서 건설 중이며, 연장 230km, 약153조원의 공사비가 예상되는 한·일 해저터널과 341km, 약120조원의 공사비가 예상되는 한·중 해저터널이 구상되고 있다. 한·중·일 해저 터널공사는 우리나라 암질에 가장 적합하고 시공경험이 많은 NATM공법이 채택 되어야하며, 철도전용 터널 혹은 도로·철도 병용터널로 건설되어야 할 것으로 판단된다. 이때 발파굴착이 핵심기술사항이므로 난제 해결을 위해 지형 및 지질 특성을 고려한 최첨단 발파기술과 76~220m의 수심에서의 수중발파굴착, 방수처리기술 및 안전에 관한 관리적 준비가 지금부터 차분히 연구·발전되어야 할 것이다.
- 2) 깊은심도의 해저터널공사는 여러 분야의 연관된 기술의 이해와 응용·협력이 필수적 사항이므로 관련된 지질·지반·암반 및 발파공학적 검토와 연구, 품질·환경·방재관리 등 계획 및 설계단계에서부

터, 시공, 시공 후 유지관리까지 연계되는 CM for Fee 방식의 건설사업관리제도(CMP)와 Function Analysis Worksheet, Job plan에 의한 Technical FAST Diagram기법 등에 의한 가치 및 창조경영 공학 제도(VM, CVS)의 활용에 대해서도 더욱 적극적인 활용과 실용적인 연구와 적용을 위해 차분한 준비가 필요한 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 김가현, 안명석, 2009, 한중일 해저터널 건설공사에 대한 소고, 추계학술발표회 논문집 (사)대한화학약발파공학회, 서울, pp. 135-136.
2. 안명석, 2007, 부산의 변형과 안전복지 방향 - 한·일해저터널과 위성방재통신망 구축을 위주로 - 안전복지혁신포럼 주제발표 (1), 부산광역시청, 부산, pp. 27.
3. 경기개발연구원 2009, 동북아 경제협력의 연결로 한중해저터널 국제세미나, 인천, pp. 23, 45.
4. 이달성, 2009, CVS를 위한 가치창조 경영, Module-II Semina, SAVE International Approved pp.73~75
5. 한국기술사회, 2009, 가치관리(VE)전문가 교육과정 (CVS Module-I Course), 서울, pp. 86, 158.
6. 한국기술사회, 2003, CMP Journal 2003.2 제3권, 제1호(통권4호)서울, pp. 6.
7. 한국기술사회 종합교육원, 2003, 건설사업관리 발주안내서, 서울, pp. 8-11.



신 창 용

동서대학교 토목공학과 석사과정

Tel : 010-9381-6032

E-mail : explosits@nate.com



안 명 석

동서대학교 에너지생명공학부 겸임 교수

Tel : 051)243-2593

E-mail : amspeoff@chol.com



박 호 경

한국기술사회 대구경북지회장

Tel : 053)650-9840

E-mail : hokung-p@hanmail.net