

부산-거제간 연결도로 침매터널 설계 및 시공

Design and construction of the Busan-Geoje Fixed Link Project Immersed Tunnel

양보현¹, 김창환²

Bo hyun Yang¹, Chang hwan Kim²

1. 서 론

부산-거제간 연결도로 건설공사는 경상남도 거제시 장목면(거제도)에서 부산시 강서구 천성동(가덕도)를 연결하는 길이 8.2km의 사장교와 침매터널로 구성된 국가지원 지방도 58호선의 연장으로서, BTO(Build, Transfer & Operate)방식으로 추진하는 민간투자사업이다. 동쪽으로는 최근 개통된 대구-부산간 고속도로와 연결되고, 서쪽으로는 대전-통영간 고속도로와 연결되어 거제도를 기준으로 남해안을 U-Type으로 연결하는 교통로의 중앙에 위치하여 국내 제1의 항만도시 부산과 관광의 메카로 도약하는 거제를 연결하여 향후 교통 혈관으로써의 중추적 역할을 수행하게 될 전망이다. 부산광역시와 경상남도를 주무관청으로, 사업시행자는 GK해상도로(주)이며 시공사는 (주)대우건설 외 6개사이다. 특히 침매터널 방식에 의한 도로건설은 국내에서 최초로 적용되는 공법이며 또한 전세계적으로도 깊은 수심과 외해 조건 등으로 인하여 높은 기술수준을 요하는 고난이도 공사로 세계적인 주목을 받고 있다. 따라서 본 고에서는 간략한 사업 소개와 함께 다소 국내에 생소한 침매터널에 대해서 중점을 두고 기술하였다.

2. 사업 개요

본 사업은 부산항 신항, 진해항과 마산항의 선박 진입 수로인 가덕수도를 횡단함에 따

라 많은 선박통행이 예상되는 주항로 구간(가덕도-중죽도)은 침매터널로 설계하여 예상되는 대규모 통항량에 대한 항로장애 요소를 제거하였으며, 기타 주예비항로(중죽도-저도) 2주탑 사장교 및 부예비항로(저도-거제도) 3주탑 사장교의 주요부분으로 구성된다.

위와 같이 본 사업은 지역적 특성, 환경적 요인, 경제성, 기술적인 문제 등을 종합적으로 검토/반영하여 계획되었고, 구조적 안전성 측면으로 100년 빈도의 파랑조건 및 인접 양산 단층의 심도 15km 지점에서 규모 6.0의 지진발생 조건이 반영되었으며, 시설물 사용년한을 100년으로 설계가 이루어진다. 특히 국내 최초로 LRFD(Load and Resistance Factor Design) 설계법을 적용하였으며, 설계와 시공을 병행하여 사업기간을 단축할 수 있는 Fast Track 방법의 사업추진 방식을 적용하는 한편, 별도 제작현장(통영)에서 침매합체, 사장교 Caisson 및 교량상부구조물 등 주요구조물을 제작한 후 해상운반을 통해 현장에 이동/설치하는 공사 특성을 감안, 공사초기부터 PMIS (Project Management Information System) 기법을 적용하여 타 현장을 포함한 개별 구성원들이 전반적인 공정 및 공종별 특기사항을 공유함으로써 분리된 각 조직 및 구성원들간의 원활한 정보교환과 의사소통을 통해 효율적인 공사운영을 도모하는 등 사업수행 전반에 걸쳐 진보된 방식을 도입하였다.

이 사업의 주요내용 및 사장교와 침매터널의

1 발표자: (주) 대우건설 상무, GK 침매터널 현장소장
2 (주) 대우건설 차장, GK 설계팀장

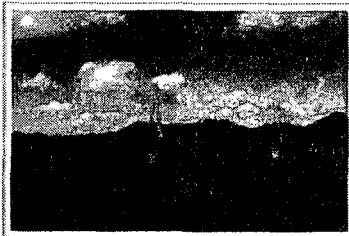
공사개요는 <표 1>에 요약하였다.

표 1. 부산-거제간 연결도로 사업 개요

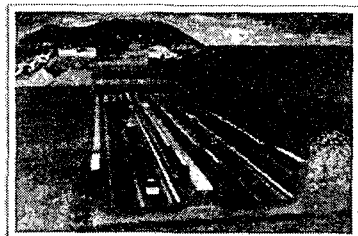
종류	구분	침매터널		사장교	
연장		3.7km		사장교 2개소 4.5km(접속교, 육상터널 포함)	
제원	구형 콘크리트 방식	일반차로	오르막 차로	제원	구분
				2주탑 사장교	3주탑 사장교
	26.46m×9.97m (폭×높이)	28.46m×9.97m (폭×높이)	주탑	다이아몬드형	
			단면형식	II형 강합성	
			교각	케이슨 기초	
연장 및 폭(m)	919 / 24		676 / 22		
형하고(m)	52		36		
사업추진방식	FAST TRACK방식(설계와 시공 병행 기법) / 12단계				
건설기간/운영기간	2004년 12월 착공, 2010년 12월 완공예정(72개월) / 40년				



① 사장교(3주탑)



② 사장교(2주탑)



③ 침매터널

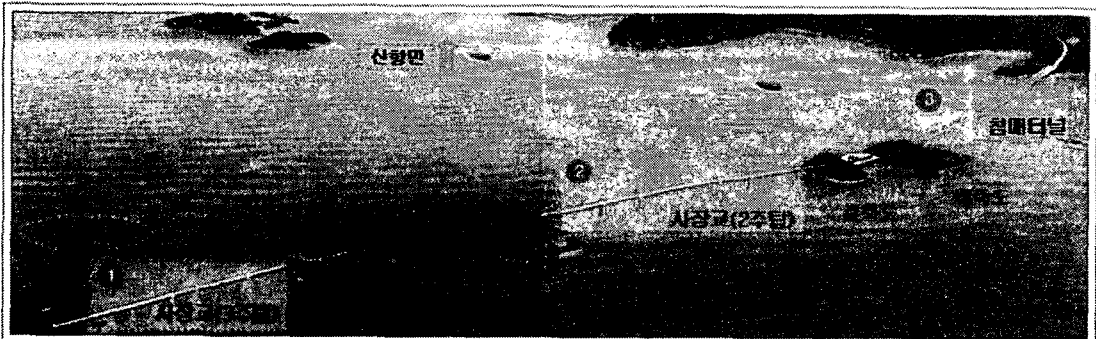


그림 1. 부산-거제간 연결도로 조감도

3. 설계 파랑

기존의 항만구조물은 50년 빈도설계파랑을 조건으로 설계하는데 반해, 본 사업구간은 구조물의 중요도와 안정성 확보를 위하여 재현기간 100년 빈도파랑을 대상으로 설계를 실시하였다. 재현 주기별 남쪽으로부터의 심해파랑은 <표 2>이다. 100년 설계빈도 설계파에 대하여 피복재 및 기타 구조물의 전체 피해율은 2% 이내이며, 침매터널로의 월파 및 해수 유입은 허용하지 않았다. 또한 극한 상황을 대비하여 빈도해석을 통하여 산출된 10,000년 빈도

조위 및 파랑조건을 대상으로 안정성 및 호안 월파 특성 등도 검토하였다.

표 2. 재현 주기별 심해파

파향	심해파 유의파고(m)		
	10년	100년	10,000년
SSE	7.4	9.3	13.1
S	8.0	10.9	16.6
SSW	7.0	10.2	16.6

4. 침매터널(Immersed Tunnel)

침매터널은 가덕도와 중죽도를 연결하는 해저터널로서 육상과 연결하는 양측 갱구부 구조물과 침매함의 연결체인 침매터널로 구성된다. 갱구부 구조물은 시공 특성상 해수면하에서 침매함과 연결되므로 양측 갱구부 시공시 Dry Work 환경을 조성하여 개착식터널(Cut and Cover Tunnel)로 공사하며, 가덕도측은 육상도로부와 직접연결하고 중죽도측은 인접한 중죽도와 대죽도 사이에 인공섬을 축조하여 중죽도를 관통하여 사장교로 연결되는 육상터널부에 연결된다.

본선 터널부의 침매터널 공사는 Dry Dock에서 제작한 함체를 물에 띄운 채 원하는 위치까지 이동하여 미리 Trench형태로 준설되어 기초가 시공된 해저면에 침설시킨 후 수중에서 함체들을 연결하고 Locking fill, Backfill 및 보호석 시공을 통하여 안정화시켜 터널을 완성한다. 이의 공정에 따른 개략적인 공사절차는 다음과 같다.

4.1 침매함 제작

침매함은 크게 조선소/안벽 등에서 강재를 이용하여 제작하는 강각방식과, Dry Dock 등에서 전 함체를 한번에 또는 수회로 분할하여 콘크리트 구조물로 제작을 완료하는 구형 콘크리트 방식이 있는데 본 사업에서는 유럽 등지에서 주로 사용되는 콘크리트 방식으로 침매함을 제작한다. Dry Dock에서 제작되는 함체는 총 18함으로 1회 4개함씩(4EA×4회+2EA) 제작되며, 표준단면 기준 26.5×9.97×180m (47,000Ton/함) 규격으로 각 함체는 22.5m의 8개 세그먼트로 구성된다.

4.2 준설 및 기초공

① 준설- 침매터널의 형상에 따라 해저면의 바닥은 Trench 형태로 준설된다. 1단계로 Hopper 준설선을 이용한 Bulk준설을 기 시행하였으며, 향후 침설 직전 최종 정밀준설을 수행한다.

② 지반개량 - 일반적으로 침매터널 공법은 부력을 이용하여 구조물 자중을 상쇄시켜 하부지반에 전달되는 하중강도를 경감시킴으로써 연약지반에서도 별도 지반개량없이 적용이 가능한 공법이나, 본 사업구간의 경우 하부지반이 초연약 해성점토로 구성됨에 따라 지반개량을 위해 치환, CDM(Cement Deep Mixing) 및 SCP(Sand Compaction Pile) 공법 등이 설계에 반영되었다.

③ 기초공 - 침매터널 기초공법으로는 Sand Flow 공법, Grouting공법, Gravel Bed공법이 있으며, 본 사업에서는 1차 Gravel Bed포설 후 함체와 gravel

bed 상단사이 공간을 Grouting으로 충전하는 공법이 적용되었다. 조류(0.8m/sec) 및 외해조건에 따른 심해파, 최대 50m의 대심도 조건 등 열악한 작업조건을 극복하고 함체지면 전체면적 (180m×26.5m)에 대하여 허용범위(±150mm)내에서 정밀하게 Gravel Bed를 포설하는 조건은 본 침매터널 공사의 주요한 핵심 기술 중의 하나라고 하겠다.

4.3. 예인 및 침설

침매함체는 제작 완료 후 제작장 인근 임시계류장으로 운반되고, 계류장에서 의장을 마친 함체는 침설현장으로 예인된다. 운송거리는 약 34km이며, 이동은 약 6시간이 소요된다.

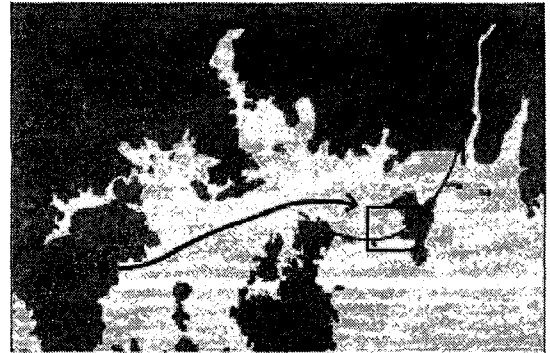


그림 2. 침매함 예인 이동 경로

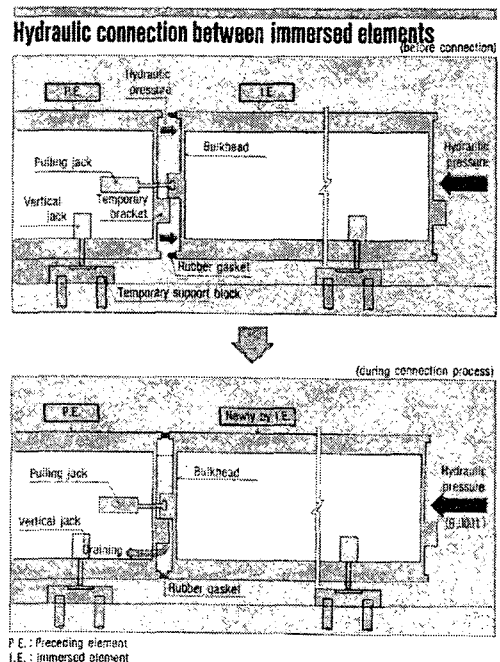


그림 3. 침설 및 접합 원리

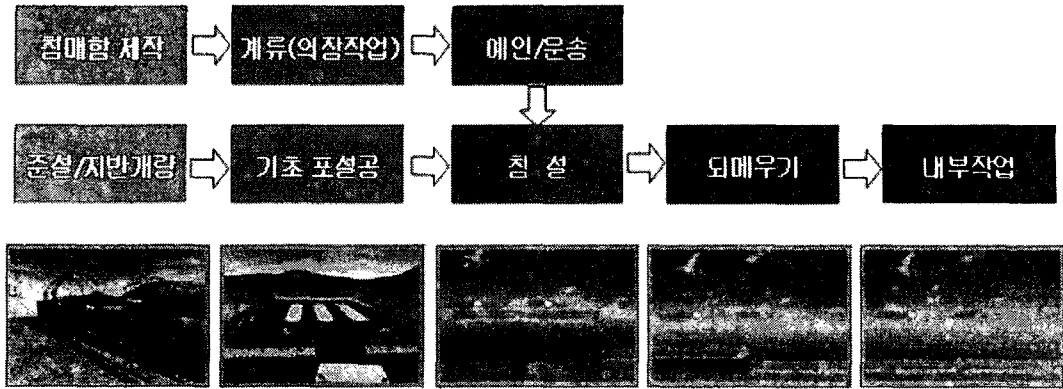


그림 4. 본선 터널부 침매터널 시공 순서도

침설은 합체 내부에 설치된 물탱크에 물을 주입시켜 합체를 가라앉힌다. 합체간 연결은 기 시공된 합체의 콘크리트 단부에 신설 합체의 Gina 조인트를 밀착시킨 후 두 합체 Bulk head(격벽)사이 해수를 배제시켜 반대측 끝단에 작용하는 수압을 이용하여 Gina조인트를 압착시켜 연결하며, 2차적으로 터널내부에서 Omega Joint를 설치한다.

조류와 심해파, 대심도, 초대형 합체규모 등 열악한 해상조건과 작업조건하에서 합체거동을 최소화하여 침설작업을 진행하고, 정밀한 연결 및 위치조정 작업(합체별 상대위치오차 $\pm 25\text{mm}$ 및 절대위치오차 $\pm 50\text{mm}$)은 물론, 침설 후 Wave Load에 의한 합체의 이동/재부상 위험방지를 위하여 신속히 후속공정(Grouting 및 Locking Fill)을 추진해야 하는 등 본 침설과정은 개별 공종들에 대한 충분한 기술능력과 연속되는 각 공정간의 세밀한 관리 및 조정능력이 요구되는 등 고난이도 해상공사의 집적공정이라 하겠다.

4.4 되메우기

선박충돌, 침몰하중 및 선박의 닻에 의한 충격으로부터 합체를 보호하고, 침매합체가 부력으로 인해 부상하지 않도록 합체를 보호하는 공정이다. 각 합체가 설치되는 즉시 합체의 고정을 위한 Locking Fill이 실시되고, 이어서 Backfill 및 피복석이 시공된다.

4.5 내부마감

침설이 완료되어 터널이 형성된 내부에서는 물탱크 철거와 함께 재부상 방지를 위한 Ballast 콘크리트가 타설되며 기타 포장, 기계, 전기 관련 시설물 및 내화구조를 위한 시설이 설치된다.

5. 결 론

본 장에서는 부산-거제간 연결도로 거가대교 공사 관련된 사업환경 및 공사개요에 대한 간략한 설명을 기술하였다. 침매터널은 시공후 지형 및 조류에 영향을 주지않는 친환경공법일 뿐만 아니라 항로장애 문제를 극복할 수 있는 등 여러 가지 장점이 많은 공법이므로 향후 다양한 형태로 국내에 많이 적용될 수 있으리라 기대한다.

또한 본문에서 언급한 바와 같이 이 사업은 공사의 발주에서부터 설계 및 시공에 이르기까지 기존에 국내에서 수행되었던 다른 프로젝트와는 상이한 진보된 계약 방법, 설계 방법 및 시공방법을 택하고 있으므로 본 공사의 성공적 수행에 따른 국내 기간산업의 발주 및 설계, 시공분야에 미치는 파급효과는 상당히 클 것으로 기대된다.

끝으로, 부산-거제간 연결도로 공사에 참여하고 있는 많은 관계자분들께 감사의 말씀을 드리며, 본 사업과 관련한 사항은 인터넷 또는 2005년에 개관하여 운영 중에 있는 거가대교 홍보관을 활용하여 주시기 바랍니다. (홈페이지:<http://www.gkproject.com>)