

# 부산~거제간 연결도로 설계 및 시공

## Design and Construction for Busan~Geoje Fixed Link

구임식\*

Koo, Im Sig

### 1. 서 론

부산-거제간 연결도로는 부산광역시 가덕도와 경상남도 거제시 장목면을 연결하는 국지도 58호선의 연장선상에 위치하는 총연장 8.2km의 해상도로로서, 주요 구조물은 2개소의 사장교를 포함한 교량구간과 침매터널구간으로 구성된다. 교량구간의 총연장은 3.5km로, 예비항로로서의 기능을 수행하기 위한 사장교구간(Lot1:3주탑 사장교, Lot2:2주탑 사장교)과 접속교구간(접속1,2,3,4교)을 포함하고 있다. 국내 최초로 건설되는 침매터널(Lot3)의 총연장은 3.7km로 가설수심 및 연장에 있어서 세계 최대의 침매터널로 계획되었다.

민간투자사업(BTO방식)으로 진행되는 본 사업은 대우건설을 주축으로 7개사가 컨소시엄을 구성하여 2003년 설계에 착수하였으며, 국내 최초로 적용한 Fast Track 방식에 따라 2010년 완공을 목표로 현재 설계와 시공을 진행하고 있다. 또한 사업구간의 열악한 환경조건을 고려하여 최신의 설계법과 많은 신기술·신공법을 도입하였으며, 이를 통해 구조물의 품질 및 시공안전성 확보를 위해 노력하고 있다. 본 고에서는 부산~거제간 연결도로 주요 구조물의 특징과, 새롭게 도입된 설계법 및 신기술·신공법에 대해 간략히 소개하고자 한다.

### 2. 적용 설계기준

본 사업에서는 구조물의 안전성 및 내구성과 경제성 등을 확보하기 위해 국내 최초로 LRFD(하중-저항계수설계법) 설계기준과 최신의 내구성 설계기법을 적용하였다.

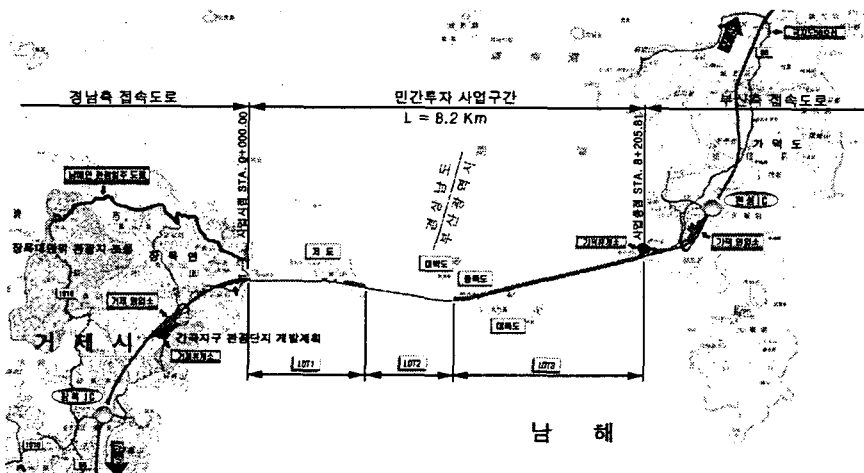


그림 1 부산~거제간 연결도로 위치도

\* (주) 대우건설 GK시공사업단 단장

LRFD 설계기준은 기존의 설계방식과 달리 구조물에 작용하는 하중과 재료강도의 변동을 고려하여 구조물의 안전성을 확보할 수 있도록 신뢰성 이론에 바탕을 둔 가장 경제적이고 합리적인 설계방식으로 최근 선진국에서 널리 적용되고 있다. 또한 해상조건에서 구조물의 100년 내구연한을 확보하기 위해 내구성 설계기법 중에서 가장 선진화된 기법인 Duracrete 기준을 적용하였다. 최근 유럽의 대형 구조물에 적용되고 있는 Duracrete 기준은 콘크리트 구조물이 염해와 탄산화 및 동결융해 등의 열화에 대하여 충분한 안전성을 확보하도록 확률론적 신뢰성 이론에 열화모델 및 각종 실측자료를 적용시켜 개발된 내구성 설계기준이다.

### 3. 2주탑 및 3주탑 사장교

교량으로 계획된 Lot1, Lot2 구간은 예비항로로서의 기능을 확보하기 위해 주경간 2@230m의 3주탑 사장교와 주경간 475m의 2주탑 사장교를 적용하였다. 최적의 교량 설계 및 공법 결정을 위해 구조적 안전성, 시공성, 경제성 및 경관미 등에 대한 가치평가(Value Engineering)를 주변 환경을 고려하여 수행하였으며, 본 교량에 적용된 기술적 특장점은 다음과 같다.

#### 3.1 3주탑 사장교 및 Floating Deck System

국내 최초로 적용되는 3주탑 사장교는 구조적 거동은 복잡하나 부예비항로(202m×36m) 2개소 확보를 위한 기능적 측면과 2주탑 사장교와 연계한 경관미를 고려할 경우 최적의 형식으로 평가되어 경제성이 우수한 FCM의 대안으로 적용되었다. 또한 사장교의 경우 주탑 지점부에 큰 부모멘트가 발생하게 되므로 주탑부에서 수직하중 지지장치를 생략하여 주형에 발생하는 부모멘트를 감소시키고 응력집중을 완화하는 Floating Deck System을 국내 최초로 적용하여 보다 경제적이고 효율적인 구조물이 되도록 하였다.

#### 3.2 바닥판 합성 대블록 가설공법

최대 90m지간의 국내 최장의 소수주형교를 적용한 접속교는 강형과 바닥판을 제작장에서 일체화시킨 후 해상크레인을 이용하여 1경간씩 설치하는 바닥판 합성 대블록 가설공법을 적용하여 품질확보와 더불어 시공성 및 구조적 효율성을 크게 향상시켰다.

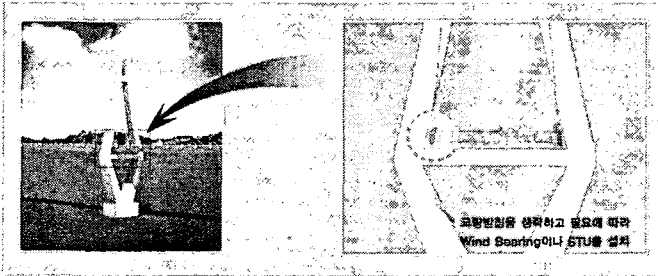


그림 2 Floating Deck System

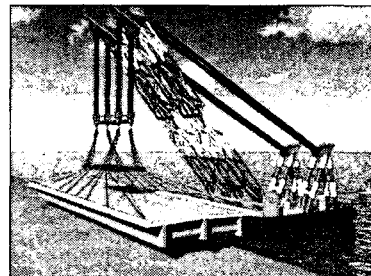


그림 3 대블록 가설공법

#### 3.3 프리캐스트 공법 및 기초 그라우팅

사장교는 외해조건을 고려하여 구조물의 품질확보, 공기단축 및 환경오염 최소화 등을 위해 기초 케이슨, 교각, 바닥판 등 주탑을 제외한 모든 부재를 제작장에서 미리 제작한 후 해상장비를 이용하여 운반 및 거치하는 프리캐스트 공법을 적용하였다. 국내 최초로 도입되는 프리캐스트 케이슨과 교각은 열악한 시공환경하에서의 현장시공을 최소화하고 육상 제작을 통해 구조물의 품질

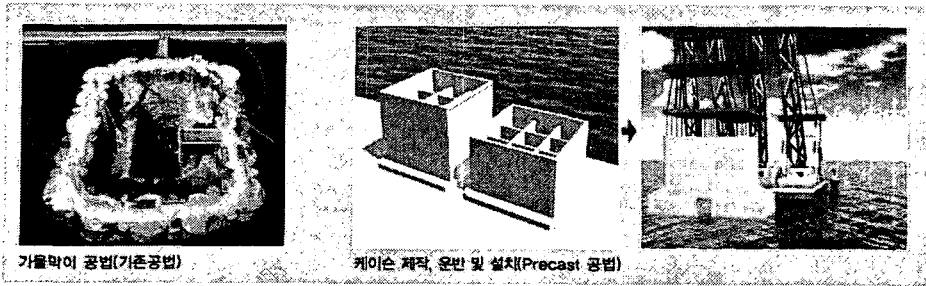


그림 4 프리캐스트 공법을 이용한 케이슨 시공

과 시공성을 확보할 수 있는 최적의 공법이라 할 수 있다. 또한 프리캐스트 케이슨 저면과 원지반 사이에 그라우트를 주입하여 지반과 케이슨을 일체화하는 기초 그라우팅 공법을 적용하여 상부하중을 지반에 고르게 분포시켜 기초의 구조적 안전성을 확보하였다.

#### 4. 세계 최대수심 및 초연약 지반상의 침매터널

주변 항만 이용 선박의 안전한 통항을 위한 주항로 확보를 위해 도입된 침매터널공법은 국내에서는 처음 적용되는 공법으로서 육상 Dry Dock에서 제작한 합체를 설치 지점까지 예인 운반하여, 미리 굴착해 놓은 트렌치에 침설시킨 후에 합체사이의 수압차를 이용하여 접합한 다음 되메우기 및 보호공으로 매설하여 해저터널을 완성하는 공법이다.

본 사업구간의 시공조건은 침매터널로서는 세계적으로 유례가 없는 최대 50m의 깊은 수심, 파도와 파랑의 영향이 큰 외해조건, 최대 35m 두께의 연약한 해성점토지반 등으로 매우 예외적인 조건을 가지고 있다. 따라서 설계시 합체간에 발생할 수 있는 상대적으로 큰 부등침하를 고려해야 하고 시공은 허용오차 범위를 벗어나지 않도록 정밀하게 관리되어야 한다.

본 사업에 적용된 침매터널 계획과 주요 구조물의 구성은 그림 5와 같다.

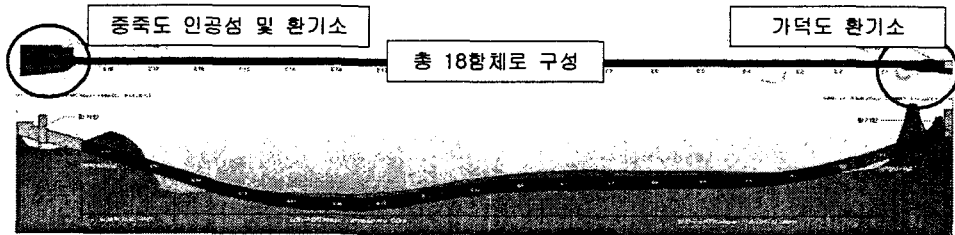


그림 5 침매터널 종단면도

#### 4.1 침매터널의 구조

180m 연장의 단일 합체는 22.5m의 8개 세그먼트로 분할 제작하여 연결되며, 세그먼트간 연결은 철근의 연결 없이 지수재와 전단키로만 구성된 활절구조(세그멘탈시스템)를 적용하였다. 이 구조는 합체간의 하중 전달을 차단하여 합체 길이방향으로 최소 철근량만을 가지고 구조적 안전성이 확보되는 경제적인 구조시스템이다. 침매터널의 조인트는 침매터널 합체 사이를 연결하는 고무가스켓인 GINA

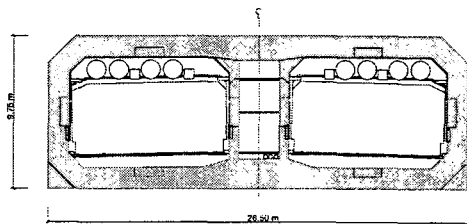


그림 6 침매터널 표준 횡단면

와 Omega로 구성되며, 세그먼트간의 연결은 고무 지수재인 *Injectable Waterstop*으로 되어 있다.

#### 4.2 시공순서 및 중점관리사항

##### (1) 침매함 제작

철근콘크리트 구조의 침매터널은 콘크리트만으로 수밀성 및 내구성을 확보해야하는 구조물로서 제작시 엄격한 품질관리가 요구되며, 관통균열을 제어하기 위해 전단면 일팔타설을 적용한다.

##### (2) 침매함 예인 및 임시 계류

침매함(45,000톤)의 예인은 부력을 이용해 이루어지며, 이를 위해 침매함 양단에 차수벽을 두고 내부에 발라스트 탱크를 설치하여 주·배수를 통해 침매함을 조정한다.

##### (3) 침매터널 트랜치 준설

침매함체 설치를 위한 트랜치를 준설하는 작업으로 의해에서도 상대적으로 정밀하고 신속한 준설이 가능한 *Trailing Suction Hopper Dredger*를 사용할 예정이다.

##### (4) 침매터널 기초조성

침매터널 기초는 1.3m의 자갈층과 0.2m 정도의 Grout 층으로 이루어진다. 자갈층과 Grout 층 모두 침매함체 전면적에 걸쳐서 균등하게 포설 및 충전되는 것이 중요하다.

##### (5) 침매함체 침설 및 연결

함체는 GPS로 정위치를 잡아 조합와이어와 발라스트 탱크를 조정하여 침설하게 되며, 침설된 함체의 접합은 연결부의 해수를 배수시킬 때 발생하는 수압차를 이용하는 수중접합방식을 적용한다.

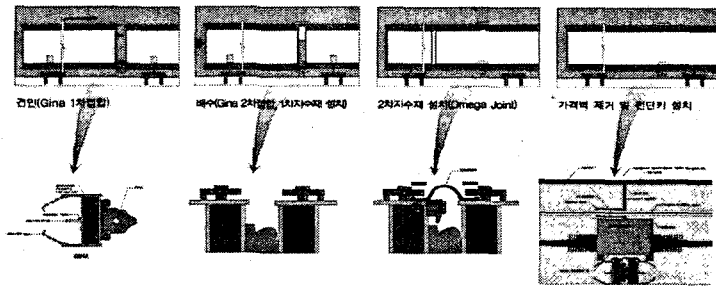


그림 7 침매함 연결 순서

### 5. 결론

부산~거제간 연결도로는 자연환경이 열악한 외해에 건설되는 해상도로로서 설계단계에서부터 시공에 이르기까지 모든 단계에서 구조물의 안전성, 시공성 및 품질확보를 위해 많은 노력을 필요로 하는 국내 최대의 건설공사이다. 또한 신항, 마산항 및 진해항 등 대형 선박의 통항이 빈번한 지역에 건설되어 유사시에도 원활한 선박통항이 가능한 특수 구조물이 요구된다. 본 사업단은 이러한 환경조건과 기능적 요구조건을 극복하기 위해 세계 최대의 침매터널과 2주탑 및 3주탑 사장교를 적용하였으며, 최신의 설계기법과 더불어 *Floating Deck System*, 프리캐스트 케이슨 및 교각, 해상기초그라우팅 등 국내 최초의 다양한 첨단 기술을 도입하여 세계적인 토목 구조물로서 손색이 없는 해상 연결도로를 건설하고 있다. 또한 문화와 자연으로 대표되는 부산과 거제를 연결하는 본 사업의 성공적 완수는 사회, 문화, 경제적 가치 창출과 더불어 국내 건설기술의 새로운 이정표가 될 것이다.