

# 거금도 연도교 가설공사 전면책임감리용역 '걸어서 건너는 시원한 바닷길'

## 1. 머리말

거금도 연도교 가설공사는 전라남도 고흥군 도양읍 소록도에서 금산면 거금도까지 연결하는 국도 27호선으로, 다도해 해상국립공원으로 지정될 만큼 아름다운 섬을 갖고 있다.

또한 소록도는 한센인의 아픈 상처를 지니고 있으며 섬 전체가 병원지구로 지정되고 강제수용 되어 외부인에게 개방되지 않은 지역으로 역사적인 유적과 많은 이국적인 풍광을 지니고 있어 연간 100만 명이 다녀가는 체험학습의 장소로 활용되고 있으며 거금도는 이름 그대로 매우 아름답다 하여 금산(錦山)이라 칭한 섬으로 국내에서 10번째로 큰 섬이다.

거금도 연도교는 소록도와 거금도를 연결하는 연장 2,028m의 장대교량으로 경간장 480m인 주경간교는 세계최초 5경간 연속 번들형 사장교이며, 또한 이중합성 와렌 트러스 교량으로 하부에는 자전거와 보도, 2층에는 차도로 구성되어 걸어서 걷는 국내 최초의 자전거, 자동차 복층 교량이다.

본 거금대교는 세계 최초의 5경간 연속 중일면식 번들형 사장교 형태로 3600톤 대형 해상크레인과, 4800톤 잭업바지선을 이용한 대별력 조립방식으로 시공이 되어 가설공사 시 토목공사의 웅장함을 새삼 느낄 수 있는 좋은 기회가 되었으며, 이 글이 건설관계자 여러분에게도 간접적으로나마 경험할 수 있는 기회가 되었으면 하는 바람이다.



천영덕  
(주)수성엔지니어링 전무



## 2. 사업개요

■ 거금도 연도교 가설공사는 국도 27호선 연장구간으로 전남 고흥군 금산면 대흥리와 도양읍 소록리를 잇는 총 연장 6.7km의 2차로 도로 건설공사로서, 그 중 거금도와 소록도를 연결하는 해상교량은 주경간교 1.116km와 접속교 912m로 총연장 2,028km이다.

국토해양부가 도시간의 교통소통 원활 및 도시주민의 생활환경 향상대책의 일환으로 추진하는 사업이며, 2002년 12월부터 현대건설(주)외 2개사가 시공사로 참여해 2011년 12월까지 2,718억원의 사업비를 투입하여 완공할 예정이다.



• 사업명	거금도 연도교 가설공사(2단계)
• 사업개요	
- 총연장	6.669km(왕복2차로)
- 교량구간	2.028km(사장교 1.116km, 접속교 0.912km)
- 토공구간	4.641km
- 공사비	2,718억 원
• 공사기간	2002. 12 ~ 2011. 12
• 발주자	국토해양부 익산지방국토관리청
• 설계사	현대ENG(주), (주)정석ENG, (주)DM ENG
• 감리사	(주)수성엔지니어링
• 시공사	현대건설(주) 외 2개사

■ 해상교량 상부에는 자동차 전용도로, 하부에는 보행 및 자전거 전용도로로 설계된 국내 유일의 보차도 겸용 복층교량인 거금대교가 완공되면, 바다를 걸어서 건너는 가장 아름다운 하이킹 및 마라톤 코스로도 주목받게 될 것으로 전망된다.

■ 거금대교는 거금도와 소록도를 연결하는 해상교량으로 인접 현수교와는 차별되는 독창적인 중앙 1면 Bundle Type 2중합성 와렌트러스(Warren Truss) 사장교(Cable-Stayed Br.)이다.

■ 경관측면 : 동일단면의 트러스로 투과성 및 시각적 연속성 부여.

거금대교 조감도 및 시공도



- 기능측면 : 비상시 5000DWT 화물선 통행을 고려한 주경간 480m 경간장 구성.
- 구조측면 : 풍동실험을 통한 내풍안전성 검증, 해상 장비를 활용한 대블럭 가설로 현장이음 최소화 및 품질향상 도모.
- 환경, 시공측면 : 시공 효율성, 경제성, 환경성 등을 고려하여 대수심부에 적합한 현장타설 말뚝+Bell Type 강재 우물통 적용, 접속고 구간 지층변화에 대한 적응성이 우수하고 시스템 관리로 시공성이 용이하고 환경훼손 없는 현장타설말뚝+Pile Cap 적용.

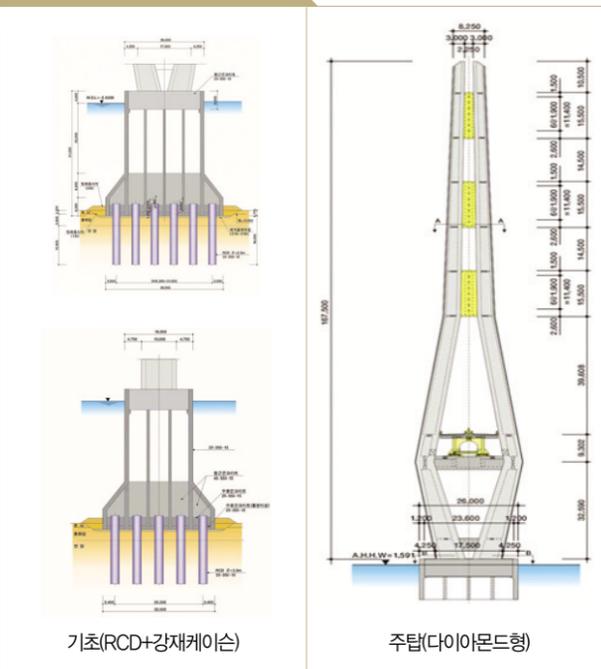
현장타설말뚝 계획 및 시공



3. 주탑 및 기초 계획과 시공

- 주탑은 세장비가 큰 구조물로서 연직력 뿐만 아니라 바람, 지진에 의한 횡방향 하중(Lateral Load)에 대한 충분한 안정성 확보와 해상 작업시 시공성 확보를 위해 기계화 시공이 가능한 단면 계획이 필요하였다. 또한, 지역을 대표하는 조형물로서 기도하는 손을 형상화하여 미래의 희망을 상징하는 다이아몬드형 주탑 형식을 적용하였다.
- 주탑 기초형식은 Bell Type 강재케이스 현장타설 말뚝기초 형식을 채택하여 무발파로 수중인력 작업 및 환경 영향을 최소화하였으며, 잭업바지(JACK UP BARGE) 및 지그재킷(JIG JACKET) 등 해상장비를 이용하여 기초 시공시 정밀도를 유지하도록 하였다.
- 주탑 시공은 ACS(AUTO CLIMBING FORM SYSTEM)을 적용하여 구간별로 시공 시 구조검토 등을 수행하여 시공에 반영하여 보다 안전한 시공이 되도록 하였으며, 거푸집 설치·해체, 철근조립, 콘크리트 타설 등의 작업은 타워크레인을 이용하여 작업이 진행되었다.

주탑 및 기초 계획 단면도



- 주탑 시공은 1회 시공 높이를 구조 검토를 거쳐 4m로 하여 이루어졌으며, 주탑의 모양이 절곡 부분이 있어 구간별로 거

푸집을 해체하고 재설치하는 과정을 반복하였다. 주탑의 높이는 167.5m로 아파트 60층 높이에 이른다. 주탑 시공이 완료되면 케이블을 주탑에 정착하기 위한 ANCHORAGE BOX(정착박스)를 설치하는데 이는 인양장비(HEAVY LIFTING)를 이용하여 인양 후 브라켓을 설치하여 임시 고정 후 정착박스를 설치하고 주탑과 일체로 하기 위해 무수축 콘크리트를 타설하는 과정을 반복하여 시공되었다.

- 주탑 시공 시 거푸집 구조 검토, 주탑 임시스트럿 검토, 정착박스 인양 장비 검토, 정착박스 임시 거치용 가시설 검토, 주탑 이동용 발판 검토, 정착박스외부 발판 검토 등의 업무에 중점을 두고 안전시공이 되도록 하였다.
- ◆ 주탑 기초의 시공 순서는 아래와 같다.

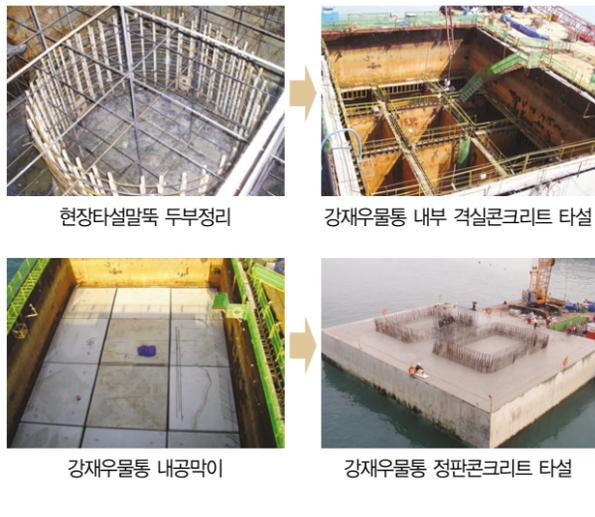
기초 시공현황



기초 시공현황



기초 시공현황



현장타설말뚝 두부정리

강재우물통 내부 격실콘크리트 타설

강재우물통 내공막이

강재우물통 정판콘크리트 타설

주탑 시공현황



ACS 폼을 이용한 주탑 시공

타워크레인을 이용한 주탑 시공자재 인양

ACS 폼 자동 상승 위한 유압 잭

마지막 로트 완료 후

주탑과 교각의 교차

HEAVY LIFTING 상세

주탑 시공이 마무리 된 전경

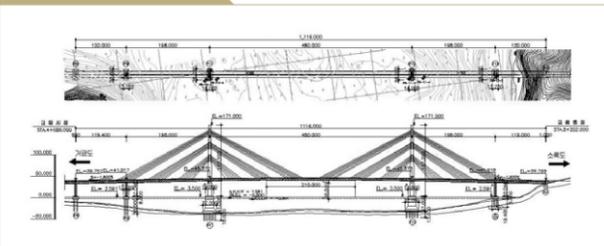
HEAVY LIFTING을 이용한 정착박스 인양

4. 경간구성 및 상부구조 계획과 시공

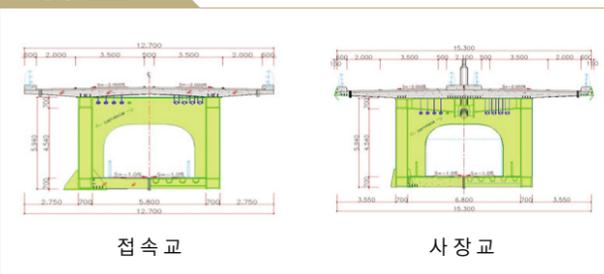
■ 거금대교는 선박의 안전한항 경간장 설정을 위한 Fast Time Simulation을 통해 주경간부는 최소 근접거리 100m를 유지하기 위해 480m의 경간장과 38.5m의 형하고를 확보하여 향후 운항 예정인 항행선박의 안전성과 쾌적성을 확보하였다.

• 적용선박	5,000DWT급 화물선
• 시설한계	350m×38.5m (항로폭×형하공간)
• 경간구성	- 사 장 교 : 이중합성 와렌트러스 (120m+198m+480m+198m+120m) - 접 속 교 : 이중합성 와렌트러스 (72m+7@120m)
• 설계속도	80km/h(도로구분 : 국도 27호선)
• 횡단구성	왕복2차로 (사장교 : 15.3m / 접속교 : 12.7m)

해상교량 종평면도



보강형 단면도



접속교

사장교

보강형 시공 단면



접속교 보강형 시공단면

사장교 보강형 시공단면

■ 사장교 구간의 보강형은 내풍성능 향상 및 비틀림 강성 확보로 구조적 안정성이 뛰어난 이중합성 와렌트러스교 형식을 적용했으며 외류진동 제진 대책으로 Fairing(윈드노즈)을 설치하였고, 접속교는 이중합성 와렌트러스교 형식으로 상부 바닥판을 Pre-Cast로 제작하여 해상크레인을 이용·설치하였다.



■ 현장타설 말뚝기초 시공 후 Bell Type 강재 우물통을 침설하여 콘크리트로 일체화시공한 주탑기초 위에 ACS(Auto Climbing Form System)을 이용하여 주탑을 시공한다. 주탑 시공 후 정착박스를 주탑에 설치하고 해상크레인과 Jack-up Barge를 이용하여 주두부, 측경간, 주경간을 단계별로 안정성 검토 후 선형관리 계획에 의해 보강형 가설 후 케이블 설치 공정을 반복하여 시공하게 되는데, 이 때 보강형의 종단 캠버를 확보하기 위하여 케이블 장력으로 조정한다. KEY SEG 설치가 완료되면 최종 장력 조정으로 종단 선형을 완성하게 된다.

◆ 보강형의 시공순서는 아래와 같다.

상부 보강형 시공



보강형 제작 및 상부바닥판 타설

보강형 선적 및 운반

상부 보강형 시공



잭업바지+해상크레인 (3600톤)주두부 설치

잭업바지+해상크레인 (3600톤) 주두부 연결설치

해상크레인 3600톤의 위용

MAIN 및 SIDE SPAN 가설

보강형 KEY SEG 폐합 시공

보강형 폐합 후 전경

5. 케이블 형식 및 배치 계획과 시공

■ 중앙 1면식 Bundle형 케이블 사장교 즉, 케이블이 적어 시공 중 변위가 크게 되어 가설환경 변화에 대한 적응성이 중요하여 PSW(Parallel Strand Wire)형식을 적용하였다. 거금대교의 경우, 케이블 횡단배치는 중앙경간, 측경간 모두 1면배치로 하였다.

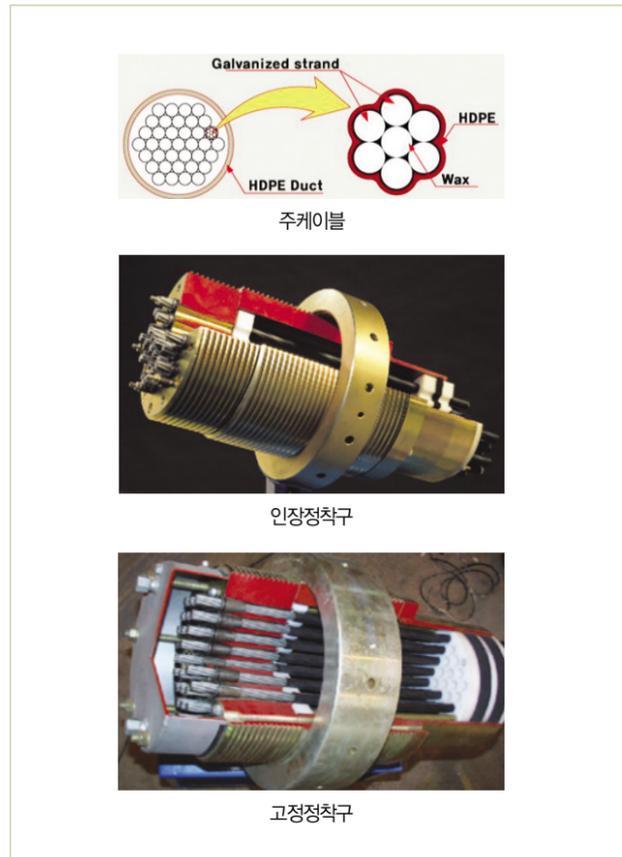
■ 또한, 케이블의 방식 대책은 아연도 강연선+와क्स+PE피복+HDPE DUCT로 보호하는 4중 방식으로 되어 있으며, 풍우 진동에 대한 대책으로 HELICEL FILLET(나선형돌기부분)을 외부 덕트에 설치하였다.

■ 케이블 시공은 MS 방식으로 설치되었으며, 각각의 케이블을 개별적으로 인장하여 유지관리시 교체가 쉽도록 하는 공법이다. 정착구는 보강형과 정착박스에 설치되며, 설치 시 시공의 정밀도가 우선적으로 확보되어야 하고 케이블 절단은 설계된 길이보다 여유있게 절단하여 시공오차를 반영하도록 하였다. 강연선은 55가닥, 61가닥, 75가닥의 형태로 설치되며 주탑에서 멀

어지는 중앙 경간측에 75개의 가닥이 번들로 설치된다. HDPE DUCT는 일정한 온도와 바람의 영향이 적도록 시설된 공간에서 제작되어야 하므로 제작시설을 확보하였으며, 정착 박스에 설치 시 안전을 확보할 수 있도록 외부에 안전발판을 설치하고 케이블 설치 공사가 진행되도록 하였다.

■ 사장교의 케이블은 활하중 및 풍우진동, 외류진동 등으로 진동이 발생되므로 이에 대한 대책으로 댐퍼(Damper)와 디바이어(Deviator)를 설치하여 진동을 감소시킬 수 있도록 하였으며, 내부 댐퍼를 설치토록 하였다. 댐퍼에는 IHD(INTERNAL HYDRAULIC DAMPER)와 IRD(INTERNAL RADIAL DAMPER)를 적용하였으며 IRD는 케이블의 길이가 250M 이상의 경우에 감쇠 효과가 큰 것으로 알려져 있다.

■ IHD는 원형 모양으로 사재 에너지를 흡수하는 점성 마찰에 의해 작동되고 가이드튜브 안에 설치되며 댐퍼에 실리콘을 주입하여 실리콘의 점성을 이용하는 형태이다. IRD는 피스톤의 작동으로 역할을 담당하는 형태이다.



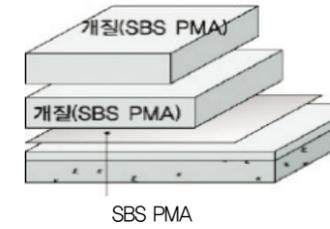
위에 보여지는 것은 케이블의 4중 방식과 정착구의 형태이다.

◆ 상부케이블의 시공순서는 아래와 같다.



## 6. 각종 부대시설

### ① 교면포장



- 소성변형 저항성이 높고 저온 균열 저항성이 우수하고 영구 변형량이 적은 SBS PMA(개질아스팔트) 적용.
- 특히 장기간 교량의 진동, 처짐 특성에서 휨 추종성과 우수한 접착력으로 내유동성과 내구성이 좋은 공법임.

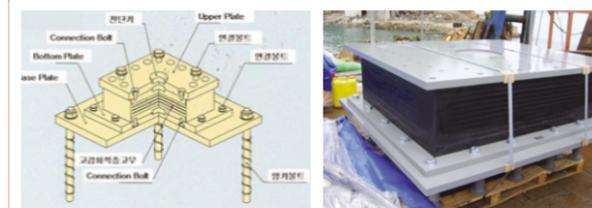
### ② 신축이음장치



Rail Type

- 주경간교 및 접속교의 신축량이 크므로 신축, 회전 비틀림 변형에 적응성이 강한 RAIL TYPE을 적용.
- 소음의 발생이 문제임.

### ③ 교량받침



고감쇠고무받침(HDRB)

HDRB 실물사진

- 댐핑 효과로 수평지진력 감소.
- 수평력 분담 효과 및 지진 후 복원력 양호.
- 경간장이 길고 상부 고정하중이 큰 주경간교와 접속교에 대해서는 댐핑효과, 주기 이전으로 지진응답치 저감 효과가 큼.

### ④ 제습설비



정착박스 습도제어

- 제습 설비에 의해 대기부식의 환경인자 중 습도를 제어하여 계속적인 부식방지 효과 유지.
- 강재 구조물 내의 상대습도를 임계습도 이하로 유지 (40%RH 이하)

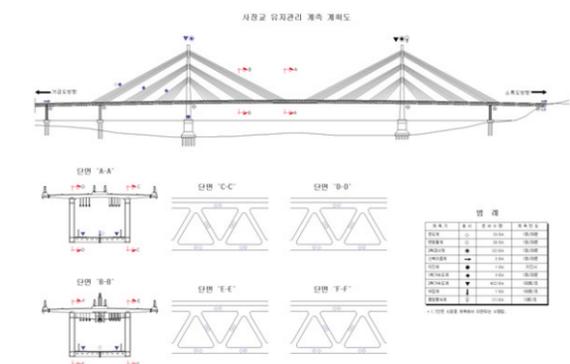
### ⑤ 주탑 내부점검시설



교량 유지관리시설

- 주탑 내부 점검을 위한 점검자의 이동을 위한 내부승강기 시설을 설치.
- 승강기 고장시 사다리를 이용할 수 있도록 사다리 설치.

### ⑥ 계측기 설치



사장교의 유지관리를 위한 설치

- 1축가속도계 : 구조계 완성 후 케이블 장력변화 측정.
- 2축가속도계 : 비틀림/수직/횡 진동모드 측정.
- 2축경사계 : 외력에 의한 교각의 변위 측정.
- 풍향풍속계 : 풍향/풍속 측정.
- 지진계 : 지진하중 측정.
- 온도계 : 하중 및 온도변화에 의한 영향 비교.
- 신축이음계 : 신축이음 변화량 측정.
- 처짐계 : 경간중앙부의 처짐 측정.

### ⑦ 주탑 외부 점검시설



주탑 외부점검을 위한 곤돌라 설치

- 주탑 외부 구조물 점검.
- 주탑 외부 시설물인 항공장애 등 점검.
- 사장교 케이블 점검.

### ⑧ 자전거도로 난간 설치



- 보행자 보호 및 자전거 주행자의 안전을 위한 난간 적용.
- 수려한 경관 조명을 위한 개구부 확보.

## 7. 맺음 말

- 세계 최초의 중앙일면식 변돌형 와렌트러스 사장교이며 국내 최초의 자전거·보행자도로와 자동차도로 복층 교량인 거금도

연도교 가설공사 책임감리용역을 수행한 것은 감리단장으로서 크나큰 행운과 영광이었습니다.

- 거센 병마와 맞서 싸우는 의지의 소록도 사람들과 자연을 다스리며 자연과 함께하는 거금도 사람들 모두가 자랑스러운 대한의 국민임을 다시 한 번 뇌리에 새기며 웅장한 거금대교의 건설을 위해 우리 모두는 열심히 땀을 흘리고 있습니다.

- 걸어서 건너는 바닷길, 국내 유일의 보차도 겸용 복층 연도교의 고효율·다기능, 진동과 처짐이 적은 이중합성의 해상 장대교로 하이킹 코스, 체험관광의 명소, 아침햇살처럼 영롱한 다리를 우리가 만들고 있다는 자부심을 갖고 싶습니다.

- 거금도 연도교 가설공사 책임감리용역을 수행하면서 힘들고 위험한 공종들이 많이 있으므로 이에 대한 사전 검토를 반드시 실시토록 하여 시공 시 발생 될 수 있는 안전사고 요소를 미연에 제거하도록 하였고, 특히 대블럭을 대형 해상크레인과 책임바지를 이용하여 보강형을 가설하는 공정은 우리 현장에서 아주 중요하면서도 위험 요소가 산재하고 있으므로 선적, 운반, 인양, 거치, 용접 연결 등 각 공정에 대한 안정성을 검토토록 하였습니다. 그 결과 안전하고 정밀한 시공이 이루어져 작업에 참여한 감리인으로서 자랑스럽게 생각하고 있습니다.

- 우리의 기술력으로 웅장하고 거대한 교량들이 여러 곳에 설치되고 있는 가운데 거금도 연도교가 또한 한 자리를 차지할 것으로 기대하면서 본 공사에 참여하신 모든 분들께 진심으로 감사드립니다.