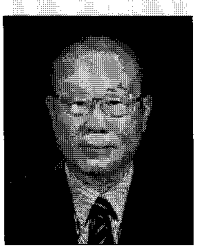
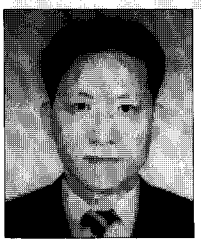
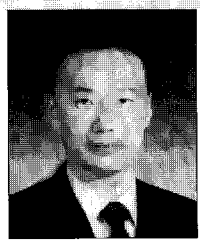
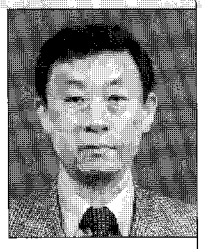
광안대교 현수교의 설계와 시공

The Design and Construction of Kwang-An Suspension Bridge

이 석 주* 이 명 재** 신 상 훈*** 권 동 렬****

*한국기술개발(주) 이순신대교 감리단장
**(주)유신코퍼레이션 구조본부 전무이사
***(주)유신코퍼레이션 구조본부 이사
****(주)유신코퍼레이션 부산-거제연결도로감리단

1. 사업개요

광안대교는 부산광역시의 교통난 해소를 위한 도시 광역순환도로망 건설사업인 항만배후도로 확충 10개년 계획의 일환으로 급증하는 항만물동량의 원활한 처리와 수영로 및 부산과 동부 경남지역간 교통난 해소 및 해운대 신시가지에서 발생할 교통량을 처리함과 동시에 도시 균형발전에 기여할 목적으로 수영구 남천동 49호 광장에서 해운대구 컨벤션센터 BEXCO 부근까지 바다 위를 가로지르는 광안대교를 건설하게 되었다.

광안대교는 설계단계에서부터 부산의 LANDMARK로서 계획되었으며, 지역특성 및 주변경관과의 조화를 충분히 감안하여 교량형식을 선정하였다. 특히 광안리해수욕장 앞을 가로지르는 중앙부를 장대교량인 현수교로 계획하고 주변부를 접속교량으로 설치하여 해상장대교량으로서 그 면모를 과시하고자 하였다.

2. 광안대교 현수교의 설계

광안대교의 중앙에 위치한 현수교구간은 중앙경간 500m, 측경간 각각 200m로 이루어진 3경간 2힌지 현수교로서 보강형은 트러스형식으로 높이 9.85m, 폭 25m로 계획되었다(그림 1). 보강트러스는 상층 및 하층 모두 4차로 편도 자동차 전용도로로 구성된 복층구조로 되어있다. 케이블의 가설공법은 A/S(Air Spinning)공법을 채택하였으며, 케이블 새그비(Sag Ratio)는 1/8을 채용하였다. 주탑은 교량의 조형적 경관성을 중시하여 곡선의 수평재(Cross Beam)를 가진 라

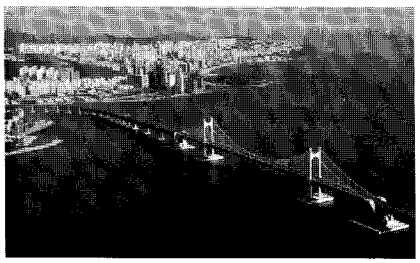
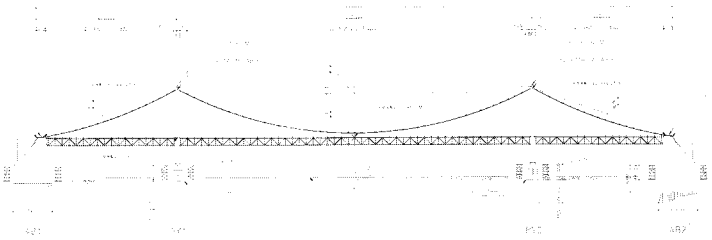



그림 1 광안대교 설치전경 및 경간구성

멘형식을 선정하였으며, 주탑기둥의 간격은 24m, 주탑의 높이는 105m이다. 주케이블은 직경 φ5.0mm의 와이어를 사용하여 한 케이블당 37스트랜드로 구성되어 있으며, 그 직경은 60.7cm로 2면 케이블구조이다. 주케이블과 보강트러스를 연결하는 행어는 한격점마다 2본의 CFRC케이블을 케이블밴드를 둘러감싸 늘어뜨려 총 4지점으로 보강트러스와 연결되는 행어시스템이다. 현수교의 시종점부에 위치한 앵커블럭은 중력식구조로서 약 22,414ton의 케이블축력을 지지할 수 있도록 설계되었다.

2.1 주탑의 설계

현수교의 주탑은 교량의 고유성을 나타낼 뿐 아니라 현수교 전체의 조형적 완성도를 좌우하는 가장 중요한 요소이다. 따라서 광안대교의 주탑은 경관성을 중시하여 주탑의 외관을 곡선형 수평재를 갖는 라멘식으로 설계하였으며, 그 높이는 105m이다. 또한 탑주의 단면도 경관 및 내풍성을 감안하여 팔각형으로 계획하였다(그림 2).

2.2 주케이블 및 행어시스템 설계

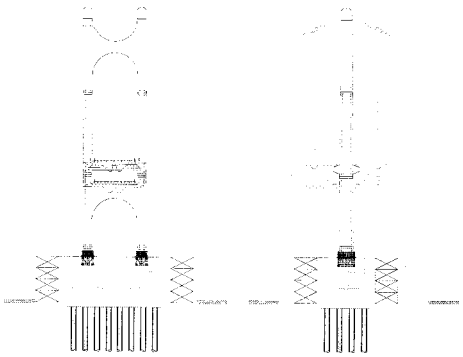
광안대교의 주케이블은 에어스피닝(Air Spinnig)공법으로 가설되었다. 주케이블은 최대 12,548ton의 장력이 발생되며, 직경 φ5.0mm의 소선 312가닥이 1개의 스트랜드를 구성하며, 37개의 스트랜드가 모여서 1개의 주케이블을 형성하게 된다. 37개의 스트랜드 가설후 컴팩션과 래핑을 실시하여 직경 60.7cm(공극율 20%)의 원형케이블을 완성하게 된다.

광안대교의 행어시스템은 안장타입의 케이블밴드와 로프로 구성되어 있으며, 측경간 제1행어는 φ67mm이며, 기타구간은 φ61mm의 직경으로 모두 6×WS(41)+7×S(19)의 CFRC 로프로서 국내생산품으로 계획되었으며, 시공과정에서 많은 시험을 거쳐 품질의 안정성을 확인하였다(그림 3).

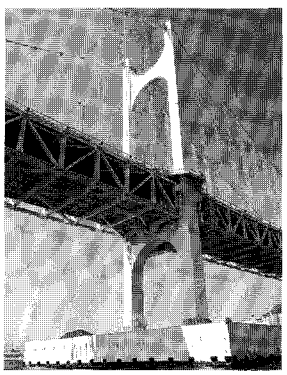
2.3. 보강트러스 및 강상판의 설계

현수교의 보강형은 주로 트러스 형식과 유선형강상형이 주로 사용되고 있다. 광안대교는 8차선의 자동차 전용도로임을 감안하여 상하 분리형 복층트러스구조로 계획되었다(그림 4). 보강트러스는 차량하중을 직접적으로 받고있는 강상판과는 비합성구조로 설계되었으며, 강상판은 보강트러스의 횡프레임위에 설치된 포트슈에 놓여져 있다. 이는 당시 합성구조에 비해 구조해석이 간단하며, 강상판의 교체 등이 용이하여 일본에서 주로 계획되는 방식을 채용하였다. 보강트러스는 수직재를 갖는 와렌트러스(Warren Truss)형식을 채택하였으며, 상현재의 격점부에는 행어연결부를 두었으며, 하현재 옆에는 유지보수차의 이동을 위한 레일브라켓을 설치하였다. 보강트러스는 중앙경간, 측경간 각각 양단, 상 · 하에 레일식 모듈라 신축이음을 설치

(a)PY1 설치사진

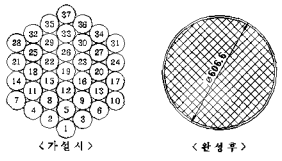


(b) 주탑계획도

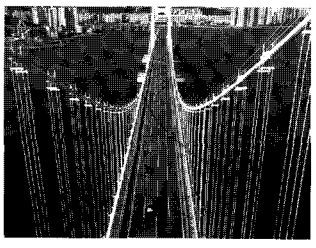


(c) PY2 설치사진

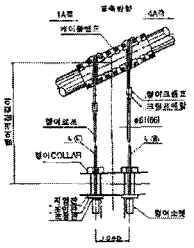
그림 2 주탑계획도 및 설치완료 전경



(a)스트랜드 구성



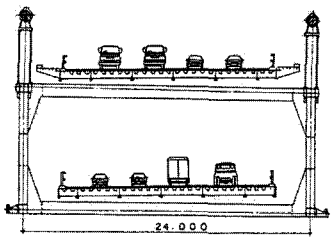
(b)주케이블 완성사진



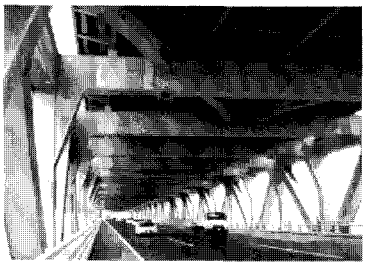
(c)행어시스템 구성

(d)행어시스템 설치사진

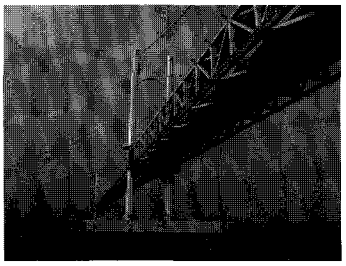
그림 3 주케이블 및 행어시스템



(a) 보강트러스 단면도



(b)보강트러스 내부전경



(c)보강트러스 외부전경

그림 4 광안대교 보강트러스

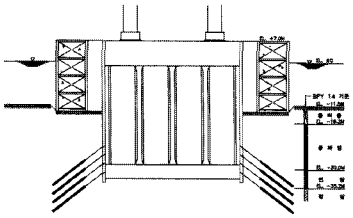
하였으며, 강상판은 중앙경간에 6개소 , 측경간에 1개소의 펑거조인트를 두었다.

3. 광안대교 현수교의 시공

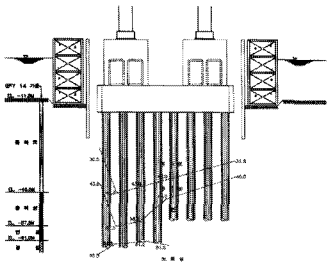
광안대교는 설계 및 시공경험이 부족한 상태에서 계획되어 시공 시 잦은 설계변경과 현장개선설계를 통해 공법을 보완하고 개선함으로서 완공할 수 있었고, 이를 통해 국내장대교량 시장의 밑거름이 되는 역할을 톡톡히 한 교량이다.

3.1. 기초의 시공

주탑기초는 상부로부터 연직하중 26,600ton을 받는 구조물로 원설계에서는 지중연속벽을 이용한 전면강체 기초로 계획하였으나 인공섬 축도 후 정밀 보링조사를 실시한 결과 기반암의 분포가 급변하고 기초의 지지층인 연암이 당초 계획보다 최대 27m 아래에 분포하는 것으로 확인되었기에 말뚝기초로 변경하였다. 기초의 형상은 기초의 자중을 줄이고 지진시 관성력이나 폭풍시 파압에 대한 안정성을 높이기 위하여 종모양(Bell Type)으로 계획하였고, 말뚝의 직경은 2,500mm의 대구경 현장타설말뚝을 30본으로 배치하였다(그림 5).



(a) 변경전



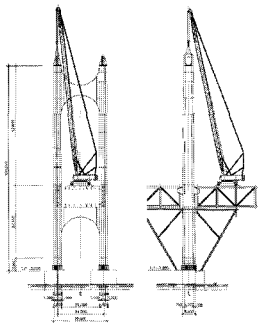
(b) 변경후

그림 5 주탑 기초공법 변경

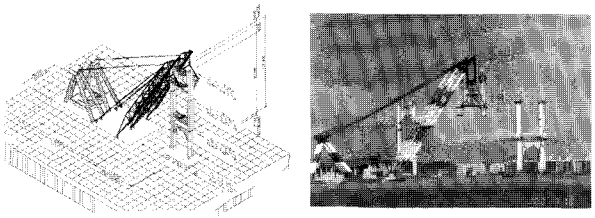
3.2. 주탑의 가설

설계당시의 주탑가설공법은 가설에 필요한 높이 120m정도를 확보가능한 장비가 없었기 때문에 하단블록(41.2m)만 2,000ton F/C로 가설한 뒤 미리 설치한 1차보강형에 450ton의 대형 크롤라 크레인을 탑재하여 상부의 17개 단블럭을 현장에서 인양가설하고 이음부를 용접하는 공법을 채택하였다. 1995년 3000ton급의 해상크레인인 삼성호 제작을 계기로 3단 대블럭 가설 공법으로 변경하여 단블럭의 이음방식을 현장용접이 아닌 공장용접함으로써 품질을 향상할 수 있었을 뿐 아니라 가설공기의 단축과 태풍에 대한 작업안전성을 확보할 수 있었다(그림 6).

특히 1/5,000의 가설정밀도를 감안하여 완벽한 제작을 위해 현수교에 대해 많은 경험을 가진 일본의 제작사와 기술제휴를 하였으며 탄성처짐을 고려하여 제작시에 53mm를 길게 하였다.



(a) 당초계획(대블럭+소블럭)



(b) 변경공법(3단대블럭가설)

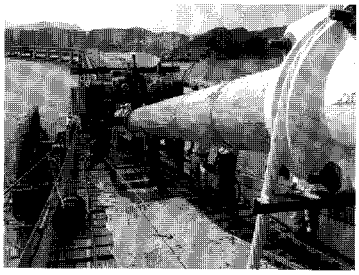
그림 6 주탑가설공법변경

3.3. 주케이블 가설

광안대교의 주케이블은 New A/S공법으로 계획되었으며, 한가닥씩 새그조정하는 Free Hanging공법(Old A/S)에 비해 시공속도 및 바람에 대한 영향을 적게 받는 공법이다. New A/S공법은 Tension Control공법이라고도 하며 저장력공법은 Free Hanging 장력의 20%정도로 가설하므로, 캣워크의 설비가 커지고 스트랜드의 Spread량도 커지는 단점이 있다. 광안대교에 적용된 공법은 비교적 높은장력인 Free Hanging의 80%를 도입하는 Semi-Free Hanging공법으로 캣워크의 처짐오차를 제한하여 와이어의 산재편차를 최소화할 수 있었다. 주케이블의 가선은 1개의 홀링로프에 고정된 2개의 스피닝휠이 1회 왕복으로 8개 소선을 가설하게 되며, 39 Cycle로 1개의 스트랜드를 완성하게 된다. 이때 와이어 인출속도는 4m/sec이며, 인출장력은 70kg/EA정도이다. 1개의 스트랜드가 완성되면 온도의 영향이 적은 야간에 새그의 형상계측을 하게 되고, 반복적으로 공중가선을 하여 37개의 스트랜드를 완성한 후 스퀴징 및 래핑작업을 통해 케이블을 완성하였다(그림 7).

(a) 에어스피닝

(b) 스퀴징



(c) 래핑작업

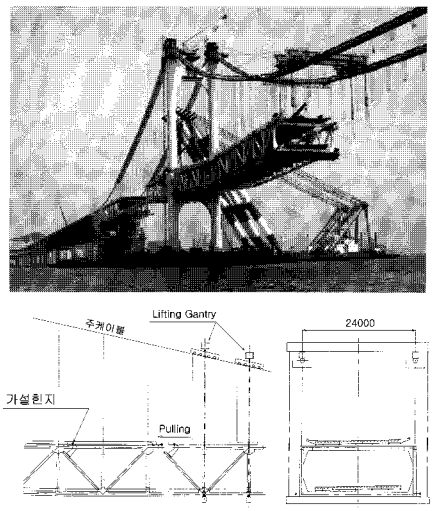
그림 7 주케이블 가설

3.4. 보강형 가설

광안대로 현수교의 트러스 가설공법은 당초 면재가설공법으로 선정되었으며, 이 공법은 주탑에 인접한 대블럭을 F/C를 이용하여 가설한 후 가설된 보강트러스상에 트래블러 크레인을 설치하고, 이를 이용하여 지간중앙방향으로 면재단위로 가설하는 공법으로서 비합성 강상판 구조를 가진 보강트러스에서 널리 사용되는 공법이다. 그러나 면재가설공법은 트러스를 제작하여 지조립한 후 다시 해체하여 현장으로 운송한 후 대부분의 조립이 현장에서 이루어지므로 현장볼트체결 및 현장용접으로 인한 품질저하가 우려된다. 특히 가설순서에 따른 공정이 복잡하고 순차적 작업에 의존하여 공정단축이 불가한 단점을 가지고 있었다(그림 8).

따라서 해수면 사용에 제한이 없는 현장여건을 반영하여 보강형 가설기간을 단축할 수 있고, 품질관리가 용이한 블록가설공법이 현장적용성이 좋은 것으로 평가되었다.

(a) 당초: 면재가설



(b) 변경: 소블럭가설

그림 8 보강트러스 가설공법

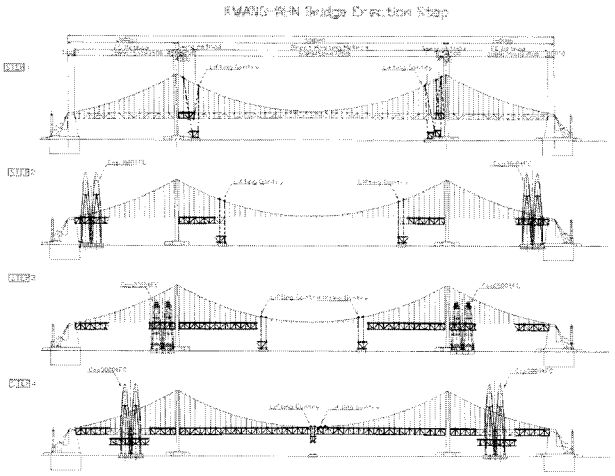


그림 9 보강트러스 가설순서 및 장비적용현황

트러스 부재의 연결은 가설시 가설 선단에서의 현수재 조정 및 행어장력관리가 불필요한 전힌지 가설공법이 제시되었으나, 단시간내에 가설이 완료되지 않았을 경우 힌지 구조가 내풍에 취약한 점이 문제로 지적되었다.

최종적으로 내풍안정성에 유리하고 다격점의 행어인입 조정이 필요하지 않으며, 시공성면에서도 충분히 안전한 가설힌지가 있는 축차강결공법을 적용하였다. 가설순서는 주탑에서 중앙부로 향하도록 하였으며, 가설장비로는 중앙구간은 원치구동방식의 Lifting Gantry를 사용하여 2행어간격(19m)의 450ton을 인양하여 가설하였으며, 측경간은 2,000ton과 3,000ton F/C를 사용하여 3개의 대블럭으로 일시 가설하였다(그림 9).

3.4. 전산해석에 기반을 둔 가설엔지니링

광안대교는 각 단계별로 가설엔지니어링을 실시하였고,

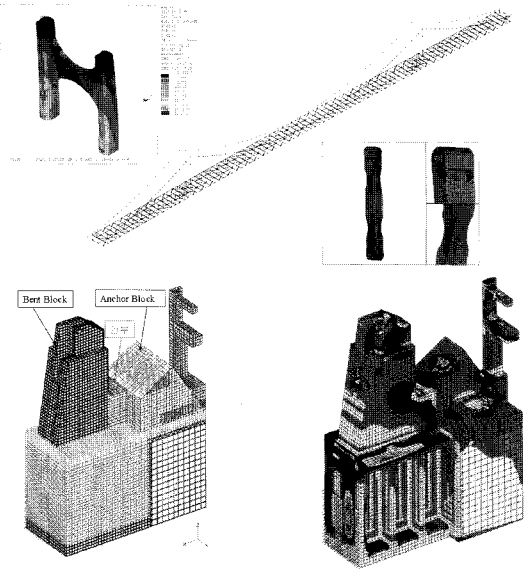


그림 10 전산구조해석 사례

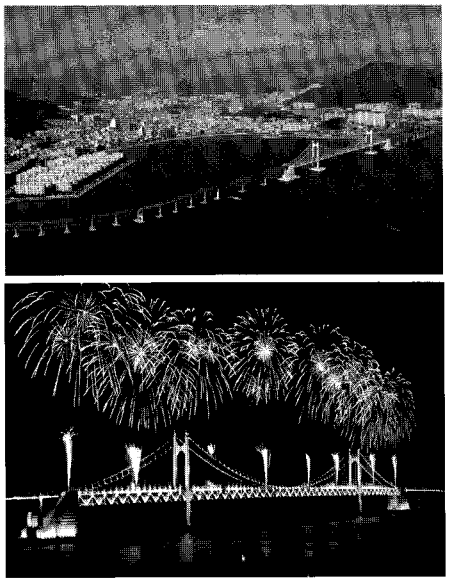


그림 11 광안대교의 LANDMARK 효과 및 유지관리 현황

이는 다양한 전산구조해석을 통해 검증하고 계획되었다. 특히 현수교의 가설단계별 구조해석과 앵커리지의 3차원 FEM해석에 따른 철근배치 및 수화열해석 등 기존의 관용적인 해석범주를 뛰어넘는 정밀한 구조해석기법으로 품질향상 및 정밀시공을 이끌 수 있었다(그림 10).

4. 맺음말

광안대교의 건설은 현수교 설계 및 시공능력의 배양을 물론 강교량의 제작능력향상에도 많은 기여를 하였다. 현재 광안대교는 교통량해소라는 교량 고유의 기능을 뛰어넘어 축제의장과 문화의 공간으로 활용하고 있다. 또한 지속적인 점검과 관리를 통해 현수교의 유지관리분야에서도 기틀을 만들고 있다. 광안대교의 시공에 다함께 합심한 기술진들의 노력이 오늘날 1,000m이상의 현수교가 국내기술진에 의해 계획 및 시공이 이루어지는 바탕이 되지 않았나 생각되며, 보다 그 기술을 발전시켜 나가는데 매진해야 할 것이다.

[담당 : **백종균**, 편집위원]