

광안대로 건설공사 설계와 시공

- * 이병동, 조기영, 김경택
- ** 구자현, 박병호
- *** 장병순

1. 머리말

광안대로는 녹산-명지대교-부산제2대교-북항 통과도로-광안대로-수영강변도로-경부고속도로로 연결되는 부산시 내곽순환도로의 핵심기능 중에서도 해운대 신시가지 발생교통량처리와 항만

물동량의 원활한 처리를 위한 항만배후도로로 10개년 확충계획의 일환으로 건설된다.

광안대로의 시점부분은 3,4단계 항만도로 및 황령산 터널과 연결되고 남구 남천동 49호 광장을 출발한 본선은 광안리 해수욕장 앞바다 1.5km 지점을 가로질러 해운대 신시가지 우회도로와 논

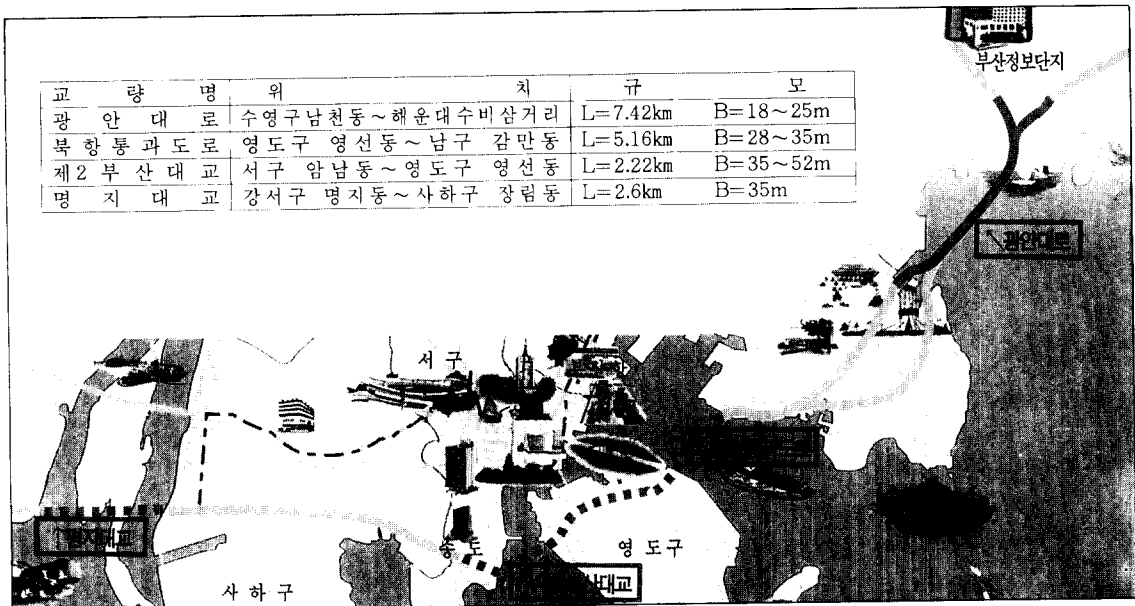
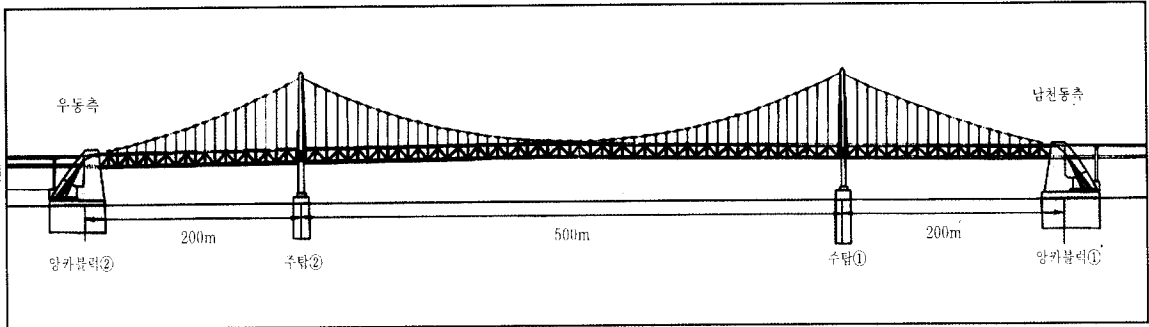


그림 1 부산시 내곽 순환도로 추진현황

- * 부산광역시 건설안전관리본부 광안대로 현수교 담당
- ** 부산광역시 건설안전관리본부 광안대로 현수교 담당 계장, 과장
- *** 정희원·부산대학교 공과대학 토목공학과 교수



- 케이블-1스트랜드(5m/m 강선 312개)37개를 묶은 직경 60cm의 원형강선
- 양카블락-스트랜드 정착과 케이블의 장력을 지탱하는 철근 콘크리트 블럭
- 보강트러스-각형 및 판형의 강재로 조립된 형구로서 와렌스트라스 형식의 차도
- 주탑-보강트러스를 매달고 있는 주케이블을 떠받치는 높이 120m의 강철탑

그림 2 현수교 개요도

스톱으로 접속되고 북쪽으로는 수영강변도로를 통해 경부고속도로와 만나게 된다.

교량형식 선정 배경은 건설현장이 광안리해수욕장, 민락매립지친수공간, 부산세계정보단지, 이기대공원, 황령산유원지 그리고 해운대 해수욕장 등의 명소로 에워싸인 부산 동부권 생활,문화의 중심지이므로 이곳에 건설되는 교량은 이같은 천혜의 관광지의 가치를 드높일수 있는 상징적인 구조물이 되어야 할 뿐 아니라, 특히 광안리해변에서 바라볼 때 수평선을 가리지 않고 장래 지역여건 변동에도 대처 가능한 장대교가 필요하였다.

장대교량 중에서도 직선적인 사장교보다는 황령산의 완만한 능선 및 광안만 해안선과 조화를 이룰수 있는 부드러운 이미지의 현수교를 지역의 입체적 공간구성에 역점을 두어 중앙지간 500M(sag비 1/8)의 현수교를 광안리해변 중앙과 일치시켰다.

현수교 좌, 우측으로는 급속한 지간의 감소에서 오는 시각적 불연속을 피하고 광안리해변의 사빈변형을 예방키 위해 120m지간의 3경간 트러스교가 배치되고 나머지 접속교는 곡선구간의 시공안전성을 고려하여 지간 60m의 강상형교로 건설된다.

금회는 광안대로의 심볼인 현수교의 설계와 시공에 대해 소개하고자 한다.

2. 현수교 주요공정

2.1 기초공법

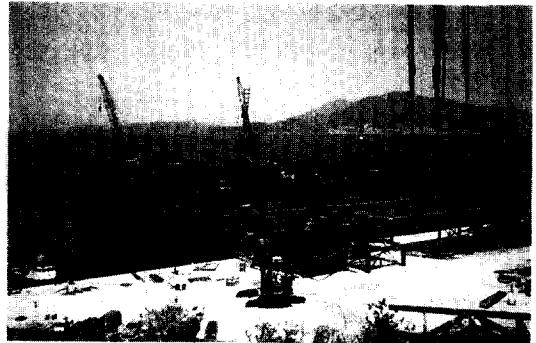


그림 3 케이스 제작광경(거제도)

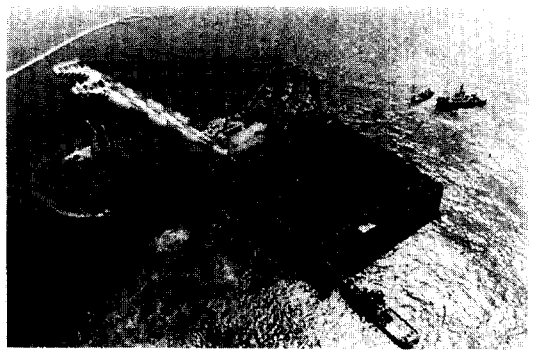


그림 4 케이스 침설광경

양카블록과 주탑의 기초공법은 연속벽을 이용한 Cell식 격벽구조의 강체기초공법이며, 장기공사에 안전할 수 있는 해상축도를 위해 대규모의 스틸케이스를 제작하였다.

당초 조선소 도크장에서 일괄제작하는 방식으로 검토하였으나 대규모 도크장 확보가 불가하여

대선조선과 강남조선에서 1/4단을 4블록으로 제작하며 해상 대조립한 후 거제 고현만으로 예인하여 상부 3/4을 소블록 해상탑재하는 공법을 채택하였으며, 어려운 여건속에서도 자체시방기준을 마련하여 품질관리에 최선을 다함으로써 많은 know-how를 축적하게 되었다.

제작과정에서부터 예인, 침설과정에 발생할지 모르는 갖가지 어려운 점을 반영하여 구조를 보강하였을 뿐 아니라 수차례에 걸친 예인 침설 시물레이션을 통해 안전에 대한 확신을 가진후 한 달에 두 번 있는 소조류의 흐름이 약하고 맑은 날을 택해 예인선 3,600HP 2대, 2,000HP 2대 및 경계선 1대로 선단을 구성하여 74Km의 거리를 2~3KN의 속도로 유지하며 20시간 걸려 현장 예인하였다.

케이슨의 침설은 해상크레인(설악호2,000톤)의 8개의 앙카윈치를 이용하여 정위치를 조정하였으며 케이슨 격벽내부에 물을 주입하기 위해 $\phi=250\text{mm}$ 주수밸브 8개와 양수기 8대를 이용하고, 침설직후 큰오차 발생시 재부양을 위한 배수용펌프도 4기 설치하였다.

침설시각은 부력을 이용해 조기안정을 취할수 있는 만조시점에 맞춰 최종 침설하였다.

측량방법은 인공위성측량(G.P.S)으로 1m오차 내로 접근시키고 육상에서 2대의 광파측량기를 이용하여 침설후의 확인측량을 하였다.

케이슨 침설현장은 외해 파랑의 영향을 직접받지는 곳이며 오후만되면 파랑이 거세지는 특성이있

기 때문에 많은 어려움이 있었지만, 4기모두 50cm전후 오차로 훌륭히 침설하였으며 케이슨 내부의 조기안정을 위해 목포사를 직접 흡입수송할 수 있는 1,500m³급 기범선을 이용하여 기당 12만m³의 물량을 20일내 채워 넣었다.

모래의 침하안정을 위해 물다짐을 한다는 연속벽시공은 완벽한 품질보증이 어렵기 때문에 본구조에서 배제하여 가벽사용으로 설계변경하였으며 시공성을 고려하여 고유동 콘크리트로 타설하였다.

설계조사 보링결과와 큰차이가 없는 앙카블럭 2기에 지중연속벽(T=1.2m)을 시공하고 있으나 앙카블럭①은 경암이 기돌출하여, 경암심도 1.5m이하는 under pinning 공법으로 변경하여 시공 완료하였으며 앙카블럭②는 순조롭게 진행중이다.

반면 주탑기초의 경우는 설계시 소규모 해상보링 바지선에서 실시한 지반조사성과(기당 4공)와 케이슨 축도위에서 실시한 시공보링의 성과(기당 10공)를 비교했을때 시공보링결과 지층변화가 극심하였고 절리가 심해 불교란 시료채취가 불가하였으므로 토질특성치(C, ϕ)를 전문가의 육안판별로 할 수밖에 없었다. 변화된 지층에 대한 구조검토결과 연속벽두께가 2m에 달하게 되어 시공상 어려움이 많아 현장타설말뚝공법으로 변경을 추진중에 있다.

본공사를 위해 사용되지 못한 아쉬운 점은 있지만 동아지질에서 대형해상조사보링용 SEP 바지를 제작하였으므로 금후 주요해상공사에 활용되길 바란다.

연속벽 내부굴착은 HP-IIE과 스트라트를 설치해가며 굴착하고, 하단부에는 저판콘크리트를 타설할 공간을 확보하기 위해 스트라트 대신 락암카로 설계하였다.

기초부의 콘크리트는 해수에 강하고 매스콘크리트의 수화열 저감효과가 뛰어난 고로 슬래그 시멘트사용을 적극 검토하고 있으며, 매스콘크리트의 철저한 품질관리및 타설고의 결정등 세부시공계획 수립을 위해 동아건설기술팀과 한국과학기술원에서 개발한 수화열 관리 프로그램을 활용

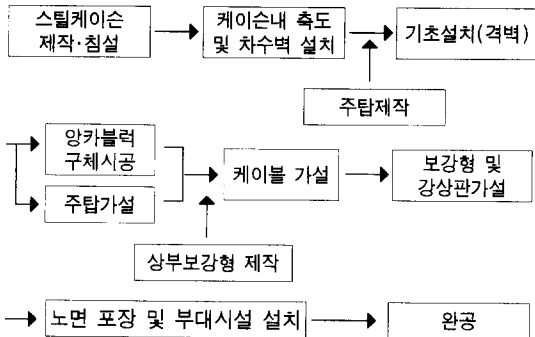


그림 5 현수교의 시공흐름도

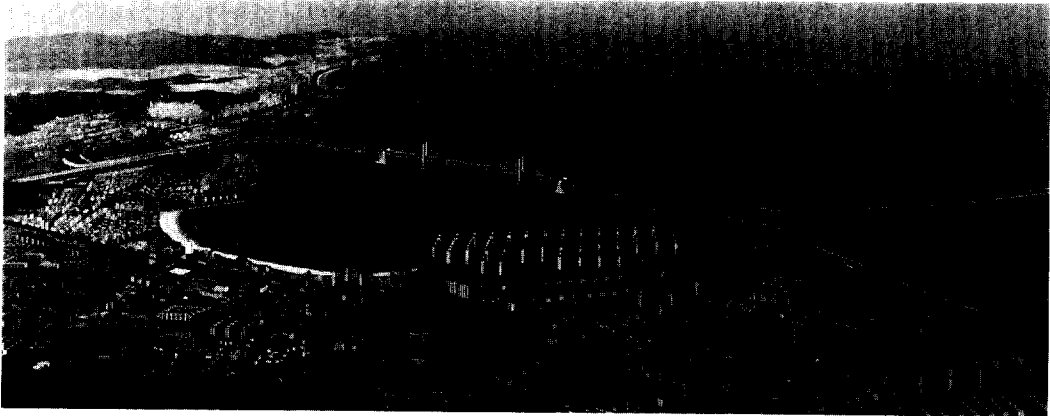


그림 6 광안대로 조감도

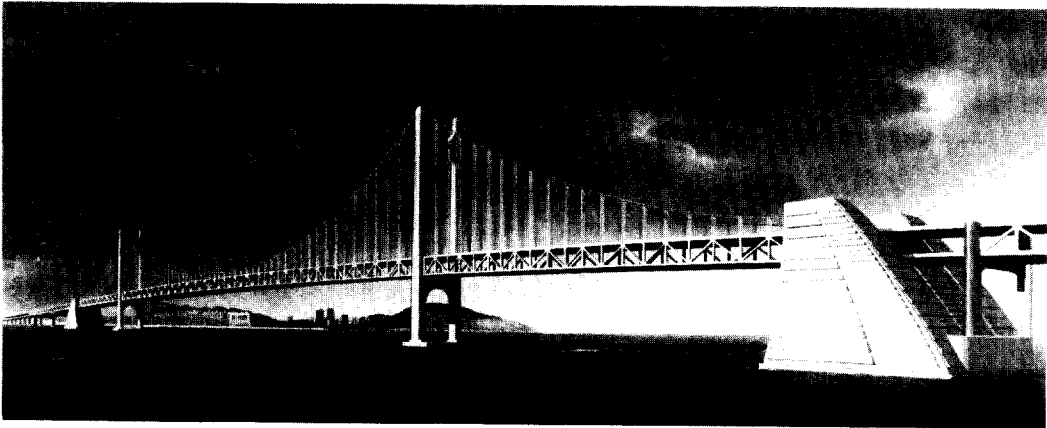


그림 7 현수교 조감도

하여 모형타설시험을 실시할 예정이다.

양카블릭기초는 케이블장력으로 인해 전면이 침하하지 않고 반력이 균형을 이루도록 20개의 셀중에 케이블 반대측 8개에는 무근 콘크리트를 채워넣고 나머지는 빈공간으로 두게된다

2.2 양카블릭 구체

양카블릭의 규모는 18층 건물높이에 달하며 주요 용도는 주케이블의 축력 12,548ton×2Cable에 달하는 힘을 자중으로 지탱하는 역할을 한다.

외관상 미를 고려하며 날개모양으로 좌우대칭이 되도록 하였으며 표면은 해상선박의 전파방해 예방과 많은 사람들에게 친근감을 줄 수있고 심플하면서 전체 교량과 조화를 이룰 수 있는 기하

학적 모형인 빗살무늬로 처리한다

양카블릭 구체시공은 29,500m³의 매스콘크리트 타설시에 발생하는 수화열 관리를 위해 고로 슬래그시멘트를 사용하고 구체 저면부는 50cm씩 4회, 상부는 1m씩 총44회 분할 타설한다

국내시공사례가 없는 대규모인 만큼 매스콘크리트용 특수프로그램을 이용하여 파이프쿨링의 배관설계를 하였으며 타설고를 높여 공기를 단축하기 위해 노력하고 있다.

양카블릭 시공을 위한 장비로는 20ton타워크레인인 각종자재및 장비의 인양과 구체의 거푸집설치를 보조하게 된다. 이때 사용되는 거푸집은 강재와 목재의 합성거푸집이며 구체콘크리트의매끈한 표면처리를 위한 배려이다.

양카블록 구체시공시 케이블의 정착을 위한 스트랜드슈 37개/cable가 함께 설치되는데 지압판을 매개로 스트랜드슈를 콘크리트면에 고정되므로 스트랜드 장력에 의한 지압판의 부상을 방지하기 위해 구체에 prestress를 도입한다.

1차 프리스트레스 도입량은 슈당 440ton이며 릴렉세이션에 의한 손실을 고려하여 3~4개월후에 2차 긴장하고 준공시점에 3차긴장을 한다.

스트랜드슈측은 재긴장할 수 있는 공간을 확보할 수 없기 때문에 양카블록 하단에 내부 공간을 만들어 PC정착부의 제조정과 유지관리를 위해 출입이 가능토록 하였다.

2.3 주탑

주탑은 현수교의 심볼이며 해면위로 120m를 하날로 솟아올라 교량의 중심에 위치하는 가장 주목받는 구조물인 동시에 교량의 개성을 가장 잘 나타낼 수 있는 얼굴에 해당되는 부분이므로 광안리해변과 조화를 이뤄 부드러운 이미지를 줄 수 있도록 원의 형상을 도입하였다.

주탑의 꼭대기에 설치된 탑정새들을 통해 주케

이블에서 전달되는 11,541ton×2Cable의 하중을 떠받치는 중요한 역할을 한다.

주탑은 현수교 완성시 높이보다 제작시에 53mm길게 제작되는데 탑정새들로부터 전달된 엄청난 힘으로 인해 SWS58 조질 고장력강이 줄어들기 때문이다.

2.3.1. 제작

바닥판의 제작두께는 150mm인데 한 장으로는 압연가공할 수 없어 3매의 강판을 용접해서 한 장의 판으로 제작한다.

바닥판 1개의 규모는 8.3m×5.8m×150mm이며 중량은 56.2톤이다.

주탑의 제작은 평균두께가 33mm~50mm의 후판을 사용하여 총35개 소블록으로 제작결합되며 검사항목은 연직도, 휨, 비틀림, 단면의 평행도이며 그중 연직도의 정밀도는 10m 높이에 대해 1mm이내로 대단히 엄격하게 제작된다.

완성된 소블록의 비파괴검사를 위해 용접부위에 초음파 탐상시험과 방사선투과 사진촬영(x-ray)등 행하여 용접결함(블로우홀, 융합불량, 스퀴어입)을 찾아내도록 한다.

소블록 제작후 전체 가조립을 행하여 연결부위의 접착성 여부를 면밀히 검사하며 스플라이스 볼팅부 검사방법은 메탈터치(0.04mm의 게이지가 지나는가 아닌가로 판정)로 행한다.

완성된 1개 주탑의 총중량은 3,066톤, 높이 109.5m, 폭 28m 이다.

주탑속에는 유지보수관리를 위한 엘리베이터가 2대 내장된다.

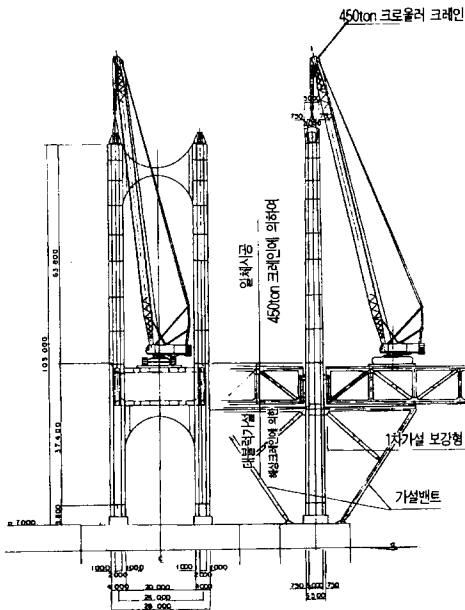


그림 8 주탑 가설공법(당초)

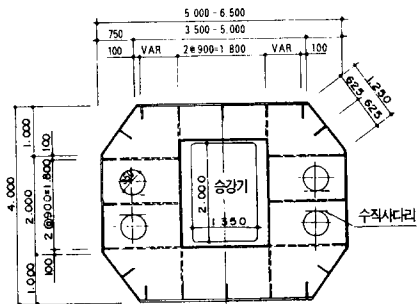


그림 9 주탑단면도

2.3.2. 시 공

주탑정판 타설시 앙카프레임의 부식방지를 위해 도장을 하고 매설도중 변형이 없도록 엄격한 시공관리를 한다

바닥판 설치방법은 무수축 모르타르를 이용한 그라우팅 공법을 채택하였다.

바닥판의 설치는 탐의 연직정밀도(1/5000) 확보 및 하부기초에 반력 전달을 같게 하기 위해 평면정밀도 1/10,000 이상의 엄격한 시공관리가 요구된다.

완벽한 시공을 위해 본시공에 앞서 실물의 바닥판을 사용한 그라우팅 시공 실험을 실시한다.

탐기부 설치는 공장에서 가조립후 검사완료된 탐기부(7.83×5.33×3.65, 중량199.5ton)를 바지선으로 운반하여 해상크레인(2,000ton)으로 일괄 가설한다.

가설시 주의할 점은 130mm의 앙카볼트를 탐기부 3.5m높이에 볼트구멍지름 150mm 사이로 끼워 넣어야 하므로 앙카볼트 상단의 나사부분이 다치지 않도록 보호캡을 씌우고 신중히 매달아 내려야 한다.

탐기부 1개소에 앙카볼트 수량은 30개이며 크기는 7.58m×130mm이다. 재질은 중심부까지 담금질성이 좋은 SNE2-45를 사용한다.

탐기부 설치가 완료되면 앙카볼력에 축력을 도입하는데 1개당 도입축력은 380톤이며 축력도입을 위해 센타홀잭이라는 중앙에 구멍이 있는 특수형 유압잭을 사용하는데 릴렉세이션 등으로 손실되는 초기긴장력을 보충하기 위해서 항시 긴장력을 검사하여 2차긴장을 하고 최종주탑가설 완료후 3차긴장을 하여 교각기초와 주탑을 단단하게 고정시킨다.

주탑의 가설은 설계시 하부대블럭(1,210톤, 37m)를 경사벤트와 함께 2,000톤급 해상크레인으로 가설후 경사벤트위에 925톤/개 중량의 1차 보강형 30m를 좌.우측에 올려놓고 그위에서 450톤 크레인으로 주탑상부 17개 소블럭(평균중량 80톤/개)을 현장용접방식으로 가설코자 하였으나, 삼성중공업이 3,000톤급 해상크레인을 제작

한 것을 계기로 현장용접의 품질확보 애로, 수직 캔틸레버식 현장가설기간의 장기화, 기상악화시 안전성의 문제 등이 대두되어 대블럭공법으로 변경하였다.

대블럭공법의 주탑제작은 하부(31m)와 중단(39m), 상단(31m)으로 구분 제작하고 중단과 상단을 공장조립하여 상부 70m를 일체화한다 .

조립방법은 3,000톤급 해상크레인이 상단을 잡고 있는 가운데 용접하게 되며 크레인 사용기간 단축을 위해 내부에 가블팅용 리브로 충분히 보강한다.

상단블럭에는 탐정새들과 작업벤트등 부속물을 일괄 설치하는 방법으로 가능한 현장작업을 줄일 예정이다.

가설방법은 하부를 2,000톤급 해상크레인으로 가설하고 상부를 3,000톤급 해상크레인으로 올려 놓게 되는데 접합방법은 현장품질확보를 위해 메탈터치를 고려한 볼팅으로 하게 되지만, 보강트러스와 만나는 지점이므로 미관상에도 큰 문제가 없을것으로 생각한다.

주탑 최상단에 위치하는 탐정새들은 케이블에서 받은 힘을 주탑외벽으로 바로 흐르게 한 직접형이며 1개 케이블에서 11,541ton에 달하는 수직력을 받아주어야 하므로 안장부는 주장 SCW 49로 하고 그외의 보강판은 SWS 50YB의 고강도강

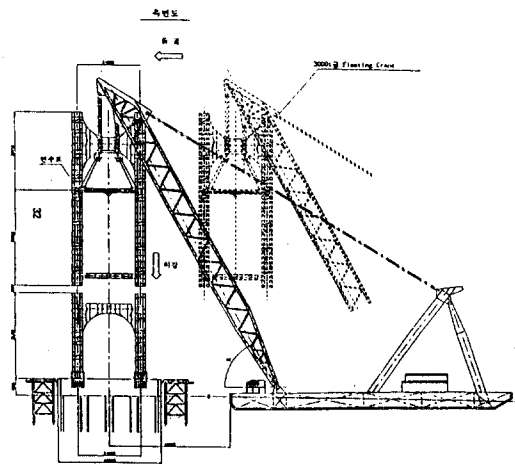


그림 10 주탑 대블럭 공법개요(변경)

을 사용한 용접구조이며 탑정새들 1개의 무게는 46ton이다.

양카블록 구체 상단에 설치되는 스프레이 새들은 무게가 159ton이므로 가설은 2,000ton 해상크레인을 이용한 일괄 가설방법으로 한다.

새들이 경사면에 설치되므로 인양전에 지상가대에서 각도 조절을 정확히 한다음 천천히 들어올려 설치한다.

2.4 주케이블

광안대로는 장대지간의 현수교량이므로 지구 곡률 반경의 영향으로 상부의 길이가 하부보다 11.6mm 긴형상이 되며, 모든 제작및 가설에는 이 점을 고려하였다.

케이블의 가설공법은 에어리얼 스피닝(Aerial Spinning) 공법을 사용한다. 주케이블에는 최대 12,548ton의 장력(중양경간 12,293ton)이 걸리게 된다. 주케이블의 구성은 $\phi 5.0\text{mm}$ 의 아연용융도금된 소선 312가닥이 1개의 단위 스트랜드를 구성하게되며 스트랜드 37개가 모여서 1개의 케이블을 형성하게 된다.

케이블의 단면 직경은 케이블 보호를 위한 랩핑(wrapping)을 완료후 0.6086m가되며(공극율 20%) 이때, 최대장력에 대한 안전율은 2.5배가 넘는다. 현수교 주케이블에 사용된 소선의 총연장은 23,111km에 달하며 부산에서 서울까지 거리의 54배나 된다.

2.4.1 케이블 시공

□ 케이블의 가설

▷ 준비

케이블 시공을 위한 준비단계로 스프레이새들 상단과 주탑새들 상단에 작업벤트를 설치하고 탑정벤트 위에는 20ton 탑정크레인을 올려 놓는다

▷ 파이롯트로프가설

케이블 시공을 위해 처음 가설하는 로프이며 가설방법은 헬기, 해상 크레인 등을 이용하는 방법이 있으나, 광안대교에는 로프에 부이를 달고 예인선으로 끌고가는 방법을 사용한다. 임시 홀

링로프 가설 후 철거한다.

▷ 임시홀링로프가설 ($\phi 18\text{mm}$)

파이롯트로프를 이용하여 $\phi 25\text{mm}$ 강선을 가설하여 풀텐 방식의 임시홀링로프로 사용한다.(공기단축 및 본 홀링로프의 보호)

▷ 세트백로프와 풀다운로프가설 ($\phi 61\text{mm}$)

케이블 가설전에 주탑을 양카블록측으로 미리 40mm 당겨 놓은 상태에서 케이블을 가설하기 위해 사용되며 세트백된 량은 보강형 가설 후 중양경간의 사하중이 측경간보다 크게 되기 때문에 정위치로 돌아간다.

▷ 캐트위크로프가설($\phi 25\text{mm}$ 6선/cable)

임시홀링로프를 사용하여 케이블 가설을 위해 캐트위크를 설치한다. 캐트위크간 양래를 위해 크로스브릿지 7개를 설치한후 갠로우즈 프레임, 트럼웨이로프, 케이블포머등 A/S 작업을 위한 준

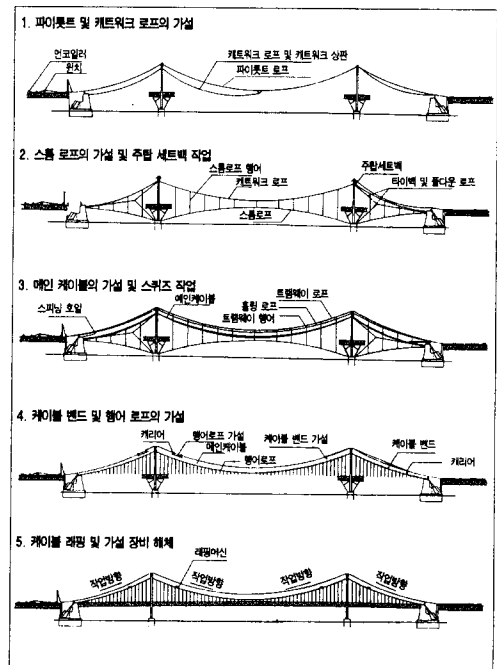


그림 11 케이블 가설공정

비작업을 한다.

▷ 홀링로프가설 (φ25mm)

임시 홀링로프를 철거하고 본 홀링로프를 루프 방식으로 가설하는데 드라이빙 윈치와 수평긴장 장치를 동시에 설치한다.

▷ 스톱로프가설 (φ25mm)

캐트위크로프 바닥판이 완성되면 스톱로프를 가설하는데 캐트위크가 바람에 흔들리는 것을 방지하기 위해 1개 캐트위크에 2선의 스톱로프와 그 중간에 40m 간격으로 스톱행어로프가 함께 설치된다.

2.4.2 A/S 시스템 및 가설

캐트위크와 홀링시스템이 완성되면 본격 케이블 공중가선이 시작되며 A/S 시스템의 작업장으로 현수교 좌, 우측 트러스교를 이용한다. 트러스교 위에서 소선을 긴장시켜 풀어주게되면 1개 홀링로프에 고정된 2개의 스피링휠이 1회 왕복으로 8개 소선을 가설하게 되며, 39 사이클로 1개 스트랜드를 완성하게 된다.

이때 와이어 인출속도는 4M/초이며 인출장력은 70kg/개 정도이다.(세미형공법)1개의 스트랜드가 완성되면 스트랜드 새그의 형상계측을 하게 되는데 이 모든 작업은 온도의 영향이 적은 야간에 하게 된다.

반복적으로 공중가선을 하여 37개의 스트랜드가 완성되면 1개의 주케이블이 완료되게 된다.

주케이블은 완성계 형상장보다 무용력장이 측경간은 42cm, 중앙경간은 101cm 짧게 만들어지며, 완성후에 그 양만큼 늘어나도록 되어 있다.

케이블이 완성되면 단면 형상을 둥글게 만들기 위해 1차로 나무 망치로 두들기고, 2차로 유압잭 6개로 구성된 케이블 콤팩션너를 사용하여 스쿼징을 하게 된다. 이 상태의 케이블 공극율은 20%가 되도록 케이블 직경을 관리한다.

다음 단계로 케이블밴드(40~64ton)를 탐정크레인으로 끌어올려 밴드 캐리어로 정위치에 이동시켜 설치한다.

밴드는 설치되는 위치의 케이블의 각도와 행어로프의 장력이 다르기 때문에 제각기 조금씩 치수가 다르다. 밴드의 기본 형상은 행어로프 2개가 밴드를 감게되면 로프장력에 의해 미끄럼 마찰력을 발생시키도록 안장부에 2개의 골이 파여져 있는 반원형 2개가 짝을 이룬 모양이다.

정확히 측정된 케이블밴드 위치에서 볼트를 끼운후 특수너트를 체결하게 되는데 나사부위는 인산염피막과 에칭프라이머로 방청처리 하게되며

밴드내부의 케이블 공극율은 18%이다. 밴드설치가 완료되면 밴드의 안장부에 행어로프를 걸어주게 되는데 보강형의 자중과 활하중을 케이블에 전달하는 로프인만큼 강도, 내식성, 내피로성이 큰 반면에 크리이프(creep)는 적어야 한다.

이를위해 유연성과 단면 효율이 좋고 내피로성 면에서도 우수한 CFRC형 (Center Fit Rope Core)의 로우프를 사용하며 측경간 제1행어는 φ67mm, 일반부는 φ61mm, 센터스테이는 φ66mm, 엔드스테이는 φ61mm의 로프직경을 가진다.

행어로우프 소켓의 형식은 지압정착식을 적용하였으며, 재료는 탄소 주강품인 SC46을 사용한다. 제작방식은 소켓의 원추형 내부에 행어로프를 끼운후 선단부를 풀어헤쳐 놓고 아연, 동용용 합금(Zn 98%, cu 2%)을 부어넣어 합금원추를 만든다. 이렇게 제작된 소켓은 행어로프 절단하중에 비해 3배이상 견딜 수 있다.

행어로프 상단에 위치한 크램프메탈은 미리 소켓과 함께 공장제작되고 현장에서는 메탈상단의 행어크램프를 접합하게 되는데 이것들은 케이블과 보강형트러스 사이의 교축직각 방향의 상대수평변위에 따른 활동을 방지하는 중요한 기능을 하게 된다.

2.5 보강형 트러스 면재가설

행어로프 설치가 완료되면 케이블 공사는 중지되고 보강형 면재 가설로 작업이 바뀌게 된다.

2.5.1 보강형트러스 공장제작

보강형 트러스는 주탑 좌, 우의 타워링크와 다리끝부의 엔드링크에 지탱된 3경간 2힌지보이다.

보강트러스의 설계는 내풍 안정성이 중요한 과제이므로 풍동시험을 캐나다 서온타리오 대학에서 시험한 결과 초속 81m까지 안전성이 검증된 구조이다.

바람이나 지진에 의한 교축방향의 진동에 대한 저항은 사방향으로 설치되는 센터스테이로프와 엔드스테이로프가 전담하고 교축직각방향에 대한 저항은 주탑의 타워팅에 달린 윈드슈와 앙카블록 보강형 측면에 위치한 윈드슈가 전담한다.

중앙경간의 교축방향 신축량은 $\pm 600\text{m/m}$ 이고 측경간은 타워측이 $\pm 350\text{m/m}$, 앙카블록측이 $\pm 200\text{m/m}$ 로 신축량이 대단히 큰점과 주행성을 고려하여 롤링리프트서트라는 특수형 신축이음장치를 사용한다.

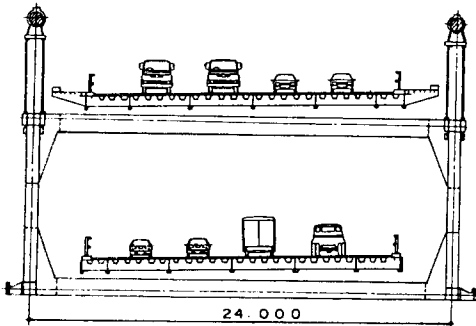


그림 12 보강형 트러스 및 강상판의 단면도

차량이 주행하는 강상판은 보강트러스와 비합성 구조로 되어있으며 태풍시의 보강형의 상하 변위폭 3.73m(상 1.5m, 하 2.24m)에 적용할 수 있도록 30ton의 부반력을 받을수 있는 특수 pot bearing으로 설계되어 있으나 적용여부를 놓고 면밀한 검토중이다.

보강형 제작은 강판을 기계가공하고 용접결합을 없애기 위해 각부재 위치의 용접자세별로 용접시험을 실시하여 최적용접방법을 선정하는데 중요부재의 피로에 대한 문제도 함께 검토하게 된다.

용접부위의 비파괴검사는 자동초음파 탐촉자를 사용해서 횡단면 두께, 용입량, 용입선의 모양, 루트부결합, 일반부결합을 탐상하고 미심쩍은 부분은 방사선 사진촬영(x-ray)을 하여 검사한다.

제작이 완료되면 보강보를 모두 입체가조립하고 전체 정밀도를 확인한다.

2. 5. 2 보강트러스의 가설

가조립된 보강트러스를 해체하여 2판넬 단위로 바지선으로 현장에 운반해온 다음 1차 보강형위에 설치한 운반대차와 트래블러크레인을 이용하여 2판넬씩 면재가설을 하는데 주탑의 좌, 우측으로 밸런스를 유지하면서 캔틸레버방식으

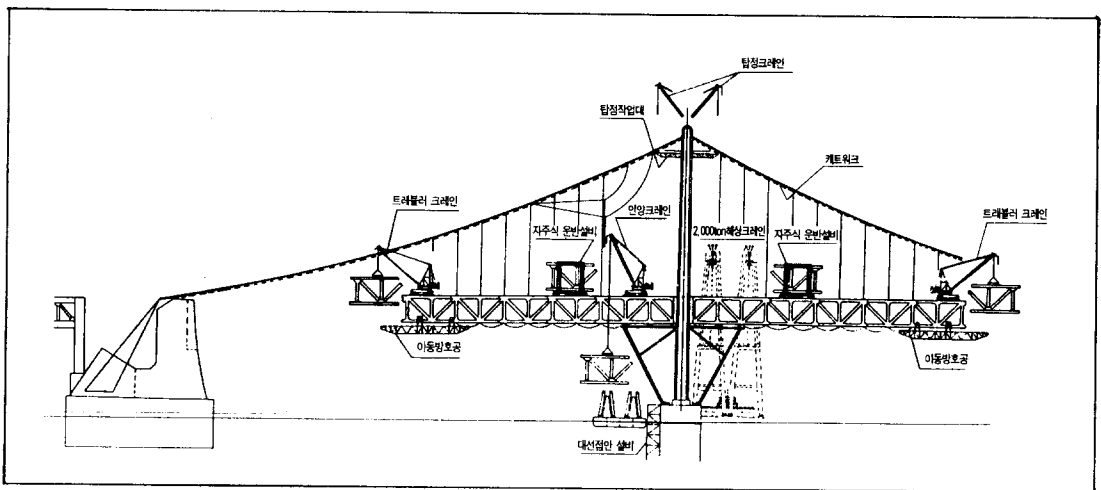


그림 13 보강트러스가설 개념도

로 진행해 간다.

가설공법은 3격점 조정 1격점인입 무힌지축차 강결공법이며 2판넬(약18.5m)을 면재와 단재로 된 18개의 각부재를 트래블리크레인이 들고 있는 동안 고장력볼트로 체결하는 공법이다.

용접은 강상판 연결부위에서만 이뤄진다. 보강형트러스의 가설도중 작업원의 안전을 위해 자동 이동 방호공과 비계를 연결네트로 연결하는 방법을 취해 최대한 안전시공을 한다.

고장력 볼트 체결은 내력점법이며, 공장에서 사전에 마크한 파일릿홀에 드리프트핀을 처넣고 정밀한 구멍맞추기를 한 후 임시조이기 볼트를 조여 스플라이스판과 200kg에 달하는 모재를 밀착시키는데 스플라이스판이 중량물이므로 모재에 전자력 발생기를 이용하여 들어붙게 한 다음 쉽게 구멍을 맞출 수 있도록 한다.

행어로프의 보강형과의 인입은 행어로프소켓 뒷부분에 로드를 접속하고 유압재키로 끌어넣는 정착방식이며 1격점당의 행어장력은 300TON이다. 중앙과 측경간 어느 한쪽이 지나치게 진행되면 주탑, 케이블, 행어, 트러스부재의 응력집중등의 문제가 생기므로 밸런스 유지에 주의하고 가설단계마다 가설계산을 실시하기 위해 시공단계별 구조해석 프로그램을 사용한다.

보강형 가설의 최종 폐합을 위해 보강형 전체를 세트백 시키는데 이 작업을 위해 미리 설치해 둔 1차 보강형 사벤트위의 미끄럼판과 유압잭을 이용하며 기가설된 보강형을 주탑측으로 당겨내고 생기는 여유공간에 마지막 판넬을 최종 폐합시키므로써 완성된 형상의 현수교가 탄생된다.

2.6 부대공사

이어서 부대공사로 주케이블의 영구방청을 위해 케이블 표면에 납성분의 페이스트(Red Lead paste)를 손으로 꼼꼼하게 발라 소선간의 틈을 메우고 나서 아연 용융 도금된 $\phi 4\text{mm}$ 의 연강선으로 케이블 횡방향(원주방향)으로 빈틈없이 감게 되는데 이 작업을 랩핑이라 한다.

랩핑머신의 감기속도는 원주방향으로 약 1.7m/초이며 진행방향으로 밴드가 있으므로 그때마

다 랩핑작업을 중단하고 기계를 옮겨 다시 랩핑한다.

랩핑와이어의 접속은 납땜으로 하고 그라인더로 갈아 정형한다. 랩핑 완료 후 케이블과 행어로프에 방청도장을 하게 되는데 유연성을 가진 후막형 에폭시계(하도)에 폴리우레탄계(상도)도장을 한다.

밴드 옆면틈의 방수를 위해 시일링, 코킹작업을 하여 마감처리한다. 그리고 보강형에는 롤링 리프트셔터식을 강상판에는 핑거식 신축이음장치를 설치한다.

마침내 다리의 개통을 위해 포장을 하는데 강상판위 하층은 구스아스팔트 40mm, 상층을 개질아스팔트 40mm 합계 80mm 두께로 포장한다.

구스아스팔트는 트레디나드 호수(브라질)의 천연 아스팔트와 스트레이트 아스팔트를 주재료로한 혼합물을 220~260℃로 가열하여 전압을 할 필요없이 강상판에 흘려넣어서 포장하는 방법으로 강상판 끝부분도 쉽게 포설된다.

또 수밀성, 기밀성이 뛰어나고 내구성 및 휩성도 좋아 방청효과가 높고 강상판과의 접착성이 좋아 교량의 변형에 잘 적용하므로 강상판의 포장에는 더할나위없이 좋은 포장재료이다.

단 수분이 있는 곳은 접촉불량이 생기므로 포설전 수분이 없도록 관리를 잘 하여야 한다.

포설에는 보온기능이 있는 구스아스팔트 피니셔를 사용하고 혼합물의 운반에는 가열 및 반죽(쿠킹)을 할 수 있는 특수 쿠커차를 이용하는데 1.4~1.5시간 정도 쿠킹하면 220~260℃의 유동성이 풍부한 혼합물을 얻을수 있다.

2.7 유지관리시설

2.7.1 유지보수대차

보강형 및 케이블의 보수도장 불팅부 등 취약부분의 안전점검을 위해 유지보수점검용 대차를 설치한다.

2.7.2 자동계측설비

태풍이나 지진이 발생했을 때의 교통통제와 설 계검증 및 교량의 안전도 진단을 위해 항시 교량

의 거동을 관측해서 정기적인 데이터를 수집, 기록해 둘 필요가 있으므로 지진계, 가속도계, 변위계 등의 센서를 설치하고 관리기록장치에 수집, 보존함과 동시에 관리실에서 CRT표시장치 및 프린터를 설치 관측할 수 있는 자동계측 시스템을 운영한다.

2. 7. 3 조명설비

조명시설은 관광자원 확보와 시민휴식공간으로서의 연출을 하여야 하므로 관계전문가와 그 방안을 연구검토중이며 일본의 레인보우 브릿지와 같이 국경일이나 경축일 또는 계절별로 그색상을 다양하게 변화시켜 부산의 상징조형물로서 그 이미지를 부각시킬 계획이다.

3. 맺 음 말

광안대로는 국내최대의 해상장대교이자 국내 기술로 시공하는 최초의 현수교를 포함하고 있으므로 현수교가 가지는 기술적 상징성에 비취볼 때 큰 의미를 부여할 수 있다.

강철재 평행선 케이블과 보강트러스 형식으로 만들어진 현대식 현수교의 원조는 이스트강위에 건설되어 맨하탄섬과 브룩클린 지구를 이어줌으로써 오늘날 세계제일의 도시인 뉴욕을 탄생시키는 원동력이 된 브룩클린교라 할 수 있다.

이미 1883년 브룩클린교가 완공된 이래 115년의 세월이 흘렀지만 아직 현수교는 미국, 일본, 영국이 독차지하고 있는 선진 강대국의 전유물이다.

왜냐하면 현수교는 토목기술뿐 아니라 조선, 기계, 금속, 건축, 전기, 전자, 화공 그리고 환경, 문화, 예술 등 한나라가 보유한 최첨단 기술의 총체로서 기술적 문제는 물론 엄청난 공사비로

인해 국민적 염원과 국가 경제력이 뒷받침 되어야 만 가능하기 때문이다.

최근들어 후진국중에서도 현수교의 건설이 활발히 이뤄지고 있으며 그 특성을 3가지로 분류할 수 있다.

터어키, 포르투갈, 자이르, 홍콩과 같이 국가적 필요성으로 인해 자체기술 능력없이 건설하는 경우와 덴마크, 중국과 같이 내수의 절대적 필요성과 어느정도의 기술적 능력을 보유하고 국가 전략적 차원에서 접근하는 경우 그리고 북한이 대동강에 가설한 현수교와 같이 대외과시용이 있다.

그렇다면 과연 우리의 현수소는 어디일까?

이미 1973년에 남해대교가 건설되었지만 그것은 어디까지나 우리기술이 전무한 상태에서 일본이 자기나라에 적용하기 이전에 유선형 박스거더를 시험용으로 우리나라에 건설한 것에 불과하다.

현재 시공중인 광안대교와 영종대교의 현수교도 설계 및 핵심기술은 일본에 의존하고 있는 실정이지만 제3,4의 국내현수교는 우리힘으로 건설할 수 있도록 설계 및 시공기술개발과 함께 관련자재의 자체생산에도 최선을 다함으로써 국가경쟁력 제고와 건설기술개발에 따른 우리 기술의 자존심을 지키는 것은 비단 광안대교 참여기술자들만의 몫이 아니라 국내 모든 기술자 나아가서 온국민의 성원이 뒷받침되어야 가능할 것으로 본다.

성공적인 광안대로 건설을 위해 시공사(동아건설), 감리(유신), 부산시에서 한마음 한뜻으로 최선을 다하고 있으며 어떤 어려움이 있더라도 후세에 부끄럽지 않는 걸작품을 만들 것이다. 