

고하-죽교간 교량가설공사(고하대교)의 계획과 설계

Planning and Design of KOHA Grand Bridge

(주) 다산컨설턴트 부사장 박광현

1. 사업개요
2. 교량기본계획
3. 사장교 설계
4. 사장교 시공계획
5. 결론



1. 사업개요

1.1 사업내용 및 위치도

사업명	·목포시 관내 국도대체우회도로 (고하-죽교) 건설공사(턴키-1)
발주기관	·건설교통부 ·익산지방국도관리청
사업개요	·총연장 : 4.13km(4차로) ·교량연장 : 3.03km ·접속도로연장 : 1.1km ·공사비 : 2740억원
사업목적	·목포 신외항과 서해안고속도로 및 무안 국제공항 등 물류시설 간의 접근성 향상과 ·주변지역간 교통수요에 효율적으로 대처하기 위함
시공	·공사기간: 2004. 12 ~ 2009. 12(5년) ·시공사 : LG건설, 현대건설외 3개사 컨소시엄



1.2 교량가설 지역현황

본 교량 가설지역은 유달산 전면에 위치하고 목포 내항진입 해상에 가설되는 상황으로 목포시의 해상관문으로서의 경관적·상징적 중요도가 매우 높은 교량이다. 도로노선은 목포시 유달산 앞에 위치하는 고하도(목포 신외항)와 목포시 죽교동(목포시 북항)을 연결하는 것으로 화원 진도 방향의 국도 1호선 연장노선에 해당한다. 또한 대불공단의 해상 진입로에 위치하여 선박 55,000DWT의 국내 최대의 건축한계를 고려한 항로폭과 형하고 설정이 요구되었다.



1.3 공사개요

☒주요공사구분

구분	1구간 (토공 및 접속교)	2구간 (주교량 사장교)	3구간 (접속교 및 토공)
노선 특징	·상가 및 가옥 밀집지역 ·매립지 연약구간 형성	·주경간 사장교 해상 공사구간 ·선박어선의 주항로 구역 통과	·수상 공사구간 ·신외항 공사 연결구간
개 요 도			

☒교량설계개요

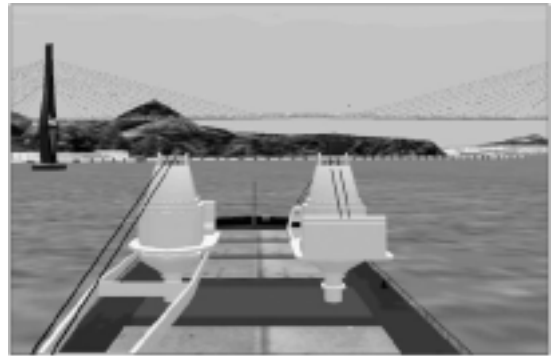
구분	주교량	접속교
개 요 도		
교량형식	강상판형 3경간 연속사장교	6경간 P.S. 콘트리트 상자형교
경간구성	$L=200+500+200=900m$	$L=[6@60 \times 3] \times 양측=2,160m$
가설공법	Derrick Crane을 이용한 캔틸레버가설	Precast Segment 가설(Above Type)

2. 교량기본계획

2.1 주교량(사장교) 경간장 설정 및 선박항해 Simulation

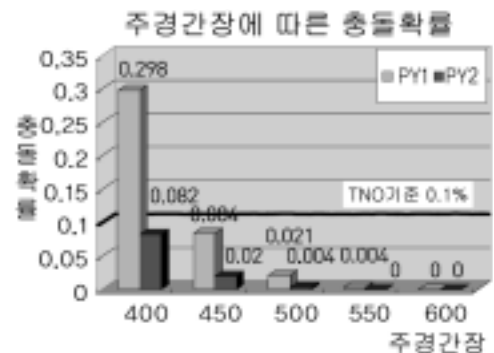
☑Simulation 수행

교량가설지역의 기존항로폭은 400m이고, 입·출항 선박의 대각도 변침(90°이상)이 요구되는 위치이며, 기존항로에 사각으로 교량이 가설되어진다. 이러한 상황에서 “주교량의 경간장은 400m이상으로 하되 선박항해 Sim.을 통해 55,000DWT급의 선박이 안전하게 입·출항을 할 수 있도록 하여야한다.”는 조건이 있었다. 선박운항 Sim.은 3차원 Full Mission Bridge Simulator System을 이용하여 교량건설시 입출항 대상선박의 운항 안전성에 대하여 검토하였으며 Fast Time Sim.(기계적 장치에 의해 운항)과 Real Time Sim.(항해사에 의해 실시간 운항)을 수행하였다. 선박운항에 영향을 미치는 주요독립변수인 입항 및 출항시, 대상선박, 바람, 조류, 파랑, 타선박의 운항상황, 교각의 폭 과 위치, 시정(Visibility), 경간장(450, 500, 550m)등을 모두 조합하여 평가를 수행하였다.



☑Simulation 결과

선박운항 Sim. 결과는 출항보다 입항의 경우가 궤적이 더 넓게 분포되어 입항시 난이도가 더 높게 나타났으며, 출항시에는 교량통과에는 별문제가 없으나 조타 사용시점을 놓칠 경우 장좌도에 선박이 근접하는 문제가 발생하는 것으로 나타났다. 또한 경간장은 450m 이상이 되면 TNO 권장기준인 0.1%보다 적게 나타나며 경간장 500m부터 확률변화가 크게 둔화되는 것으로 나타나 경간장 500m가 최적인 것으로 판단되었다.



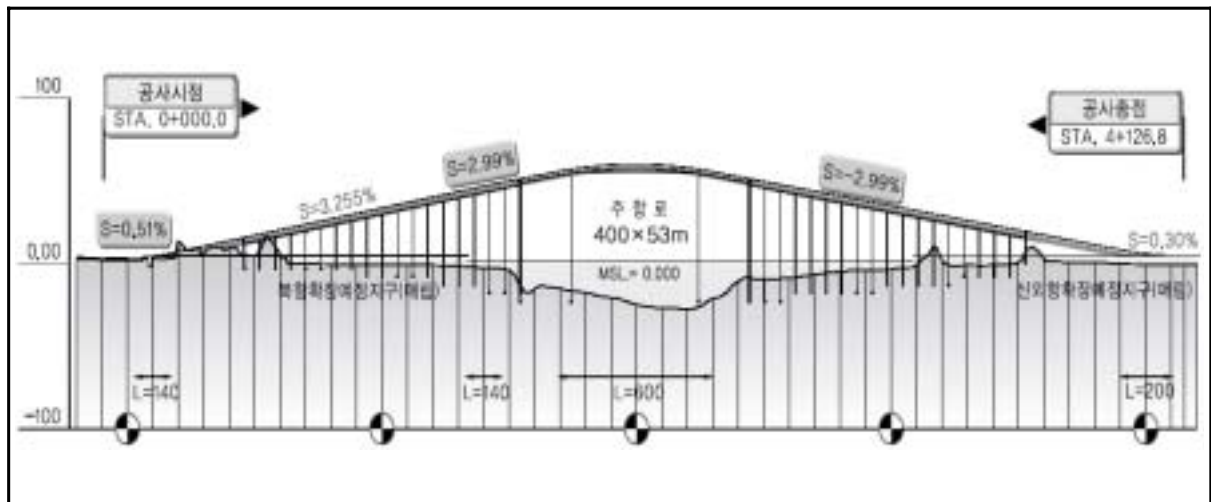
2.2 선형계획

☑평면선형



평면선형계획은 선박운항의 안전성과 선형의 연속성, 차량의 안전, 주행성등을 고려하여 직선과 곡선구간을 적정하게 적용 계획하였다. 즉, 선박운항의 안전성을 고려하여 주교량(사장교)의 직선화를 L=900m 이상 계획하였고 선형의 연속성, 주행성을 고려하여 교량구간의 평면곡선을 R=1300m(기준 R=280m) 이상 계획하였으며 주변여건과의 환경친화적인 설계를 위해 고하도 용머리의 자연경관을 보존토록 계획하였다.

☑종단선형

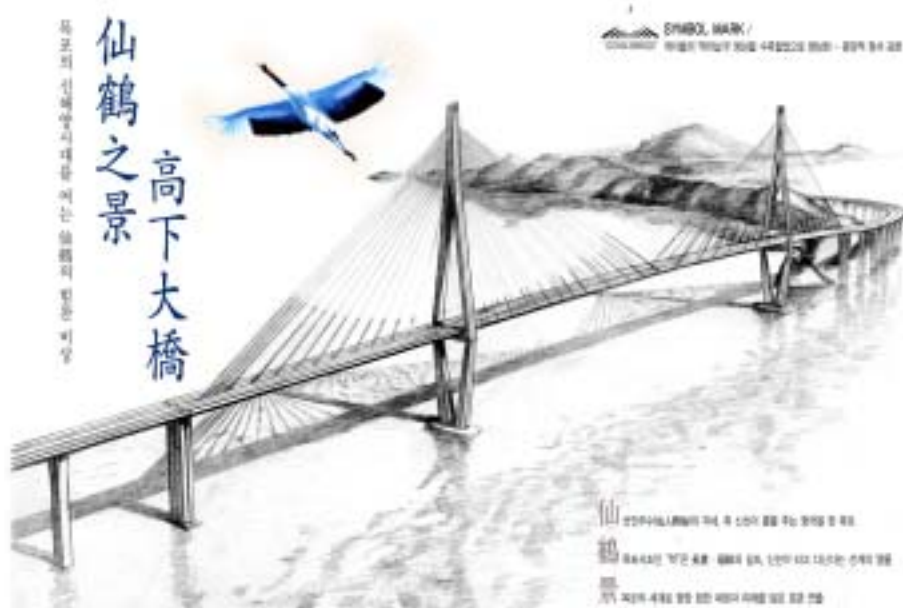


종단선형계획은 설계속도 80km/h의 주간선도로로서의 기능성 및 해상구간 사장교와 접속교의 시공성을 고려한 계획을 수행하였으며 주교량의 구조설계 및 경관성을 고려 사장교 중심을 기준으로 이상적인 종단경사 3%이하(S=2.99%)가 되도록 대칭으로 계획하였고 차량주행의 일관성 분석을 통해 종단선형에 의한 주행속도차가 10km/h 이하가 되도록 계획하였다.

2.3 경관설계

☑ 경관 Concept

교량 경관성은 목포의 시조(市鳥)인 선학(仙鶴)의 비상하는 모습에 착안하고 교량 구조물로 형상화하였다. 교량 구조물의 기본형상은 두 마리의 선학이 고하도의 용머리 위에서 노니는 형태로, 주탑은 선학이 비상할 때 두발을 모아 나는 모습의 역Y형 구조형태를 모사했고, Cable 배치는 선학의 목부분 및 날개부분의 검정과 흰색 부분이 구분된 모습을 형상화하여 Fan Type 배치의 두 가지 피복색을 갖는 Cable 구조로 계획하였다.



☑ 경관적 3-Way Cable 계획(3면 Cable)

Cable의 평면 배치는 측경간에서 Single Plane, 주경간에서 Double Plane 배치방식으로 계획하여 국내 유일의 적용형태, 고하대교만이 갖고 있는 경관적 특수형태를 창조하였고 3-Way Cable 배치방식이라 지칭하였다. 이것은 순수한 경관적 의도였으며 주교량에서의 교량폭원 증대, 측경간에서의 시공성 및 구조적 난이도를 고려하여 문제가 없도록 하였다.



<시공사례 미국-보스턴 Charles River Br.>

<3-Way Cable 배치 평면도>

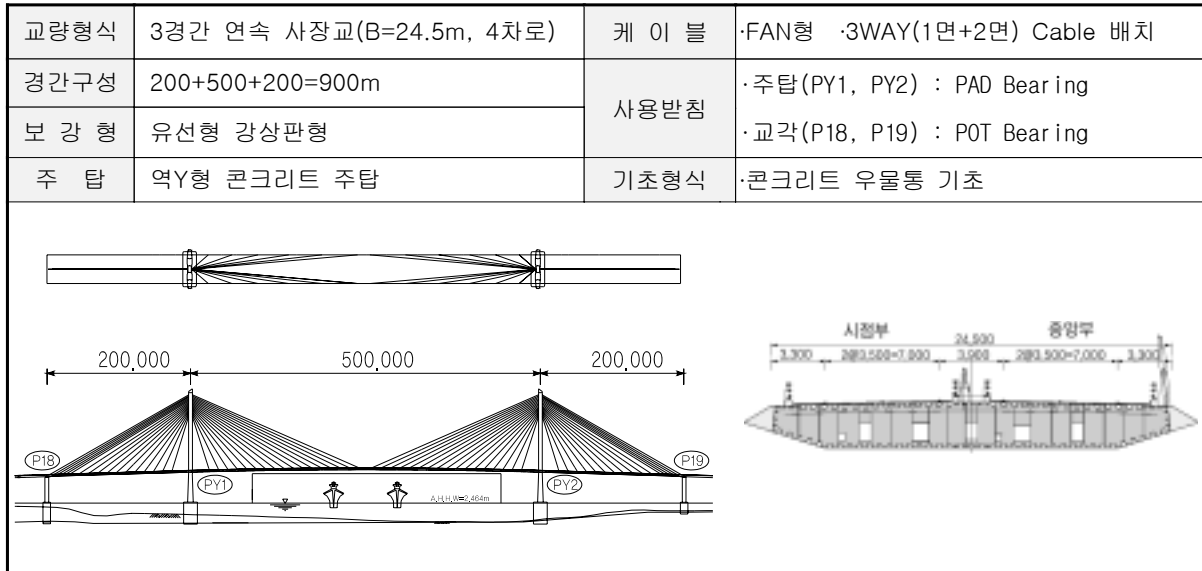


<탑정부의 Cable 배치형태>

3. 사장교 설계

3.1 사장교 설계 제원

본 교량은 서해대교(경간장 470m) 이후 국내 최장의 4차로 사장교가 되며, 선박 항로상에 위치하고 50m이상의 가설 높이와 20m 이상의 깊은 수심 지역으로 다소 불리한 가설조건에 있으며 장대교량에 대한 국내 경험이 많지 않다는 것 등을 감안하여 구조 거동이 비교적 명확하고, 시공이 단순한 구조로 계획하였다.



3.2 설계흐름 및 설계 주요내용

설계기준결정	<ul style="list-style-type: none"> ·대상교량의 중요성을 감안하여 국내외 시방조건을 면밀히 비교검토 ·본교량의 안전성, 기능성 및 내구성 등을 고려하여 적합한 설계 기준 작성 ·설계 전반에 대하여 설계의 통일성 확보 및 합리적인 설계 기준 결정
설계하중결정	<ul style="list-style-type: none"> ·본교량의 거동특성 및 현지여건을 고려한 설계하중 적용 ·완성계 해석 및 가설단계 해석을 위한 주요 설계하중 결정
구조안정성을 위한 전체계 해석	<ul style="list-style-type: none"> ·초기치 해석 ⇨ 고정하중에 대한 초기장력 결정 ·가설단계 해석 ⇨ 시공단계별 안전성 검토 ·완성계 해석 ⇨ 보강형, Cable, 주탑설계 ·지진 해석 ⇨ 다중모드스펙트럼, 시간이력해석 수행
상부구조 상세설계	<ul style="list-style-type: none"> ·격자해석 및 Pelikan - Esslinger 해석법을 통한 강상판 해석 ·보강형 응력 및 안정성 검토 ·Cable 피로응력 검토 ·보강형 Cable 정착부 FEM 해석 ·Cable 교체 및 파단 검토 ·Cable 장력검토 및 적용 Cable 분수 검토
하부구조 상세설계	<ul style="list-style-type: none"> ·주탑 좌굴해석 및 설계 ·주탑 가로보 상세 검토 ·주탑 Cable 정착부 FEM 해석 ·우물통 및 주탑 안정성 및 수화열 검토

3.3 설계기준 및 설계하중

구조물 설계시 안전성, 기능성 및 내구성등을 고려하여 합리적인 설계기준을 작성하였으며, 교량 최대지간장이 200m 이상임을 고려하여 입찰안내서 설계지침, 도로교 설계기준(2003년 1월)등의 국내설계기준과 외국시방기준을 비교 검토하여 적용하였다.

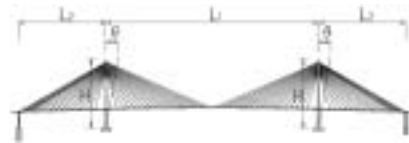
주요설계기준과 설계하중 및 사용재료는 다음과 같다.

☑적용설계기준

주요국내 설계기준	·『고하-죽교간 가설공사』 대안입찰 안내서 ·콘크리트 구조설계기준 (건설교통부/1999) ·강도로교 상세부 설계지침 (건설교통부/1997) ·강구조 편람 (한국강구조학회/1995)	·도로교 설계기준 (건설교통부/2003) ·도로설계요령 (한국도로공사/2001) ·구조물 기초 설계기준 (건설교통부/1997) ·항만 및 어항설계기준 (해양수산부/1999)
주요국외 설계기준	·AASHTO (미국/1996) ·일본도로교 시방서 (일본도로협회/1996) ·PTI Recommendations (미국/1993) ·DIN(독일)	·ACI Cade (미국/318-99) ·본주사국 연락교 공단규격 (일본/HSBS) ·BS 5400 Part2 (영국) ·Ship Collision with Bridges/AASHTO
보강형피로 설계기준	·도로교설계기준 (건설교통부/2003) ·JSSC (피로설계지침)	·AASHTO(LRFD)
케이블해석 및 피로기준	·PTI ·DIN	·Walther 제안식 ·본주사국 연락교 공단규격

☑완성계 해석을 위한 설계하중

하중종류	적 용 내 용	적용기준
고정하중 (D)	·1차 고정하중 : 주요 구조부재의 자중 ·2차 고정하중 : 포장, 방호책 및 공공 첨가물 등의 비구조 부재	도로교 설계기준
활하중 및 충격하중 (L+I)	·DB-24, DL-24 및 전차 하중재하 ·충격하중을 위한 지간장은 영향선 해석을 통하여 적용(보강형 및 주탑⇒모멘트 영향선, Cable⇒축력 영향선) ·개개 부재의 충격계수를 경간별로 그룹화하여 안전측 설계	도로교 설계기준
풍 하 중 (W)	·설계기본풍속 = 45m/sec ·구조물에 작용하는 풍하중 수평방향으로 긴 구조물 : $P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_d^2 \cdot v_1 \cdot C_D \cdot A$ 수직방향으로 긴 구조물 : $P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_d^2 \cdot v_2 \cdot C_D \cdot A$ ·항력계수 (C_d) 보강형 : 1.3 ·Cable : 0.8 ·주탑 : 1.6 ·주탑설계풍속 = 77m/sec ·상향풍하중 = $g \times A_3 \times C_1$	본주사국 연락교 공단규격 BS 5400
온도하중 (T)	·기준온도 : 20°C ·강교의 온도변화 범위 : -10°C ~ +50°C	도로교 설계기준
지점변위 (SD)	·주탑기초의 침하량=1.0cm 이하 적용 ·주탑 기면에서의 회전각 $\theta = 1.8 \times L_1 / H (10^4 \text{ rad})$	도로교 설계기준 본주사국 연락교 공단규격
지진하중 (EQ)	·가속도 계수(A) = 1.4×0.11 = 0.154 (내진1등급, 지역계수 I 적용) ·지반계수(S) = 1.0 (지반종류 I) ·지진해석 : 복합모드 스펙트럼 해석 및 시간이력 해석	도로교 설계기준



하중종류	적 용 내 용	적용기준
지진시동수압 (EQW)	$b/h \leq 2.0$ $P = 3/4 \times Kh \times Wo \times Ao \times h \times b / a \times \{1 - b / (4 \times h)\}$	일본도로교시방서
	$2.0 < b/h \leq 4.0$ $P = 3/4 \times Kh \times Wo \times Ao \times h \times b / a \times \{0.7 - b / (10 \times h)\}$	
	$4.0 < b/h$ $P = 9/40 \times Kh \times Wo \times Ao \times h \times b / a$	
	h :수심 a :작용방향의 구체폭 b :작용직각방향의 구체폭	
가설오차 (FE)	·주탑 탑정부에서의 횡방향 변위 $\delta = h_v / 2000(m)$: 콘크리트 주탑 (변위형상 : 포물선)	본주사국 연락교 공단규격
파압하중 (WP)	·Sainfloutr(벽면에 파봉이 있을때) $P_1 = (P_2 + W_0 \cdot h) \cdot \left(\frac{H_0 + \delta_0}{h + H_0 + \delta_0} \right)$ $P_2 = \frac{W_0 \cdot H_0}{\cosh \frac{2\pi h}{L}}$, $\delta_0 = \frac{\pi \cdot H_0^2}{L} \cdot \coth \frac{2\pi h}{L}$	항만 및 어항 설계기준
건조수축(SH)	·CEB-FIP 90 적용	도로교설계기준
선박충돌(CO)	·AASHTO/선박충돌하중 기준	AASHTO

☑가설단계 해석을 위한 설계하중

작업하중	·각종 작업하중: 1.0 tonf/m	가설 하중
풍하중 (WE)	·가설기간에 따른 재현빈도를 고려한 기본 풍속 적용 ·재현주기 R=4.4(보강형의 가설기간 2년고려) $V = V_{10} \frac{0.61 - 0.1 \ln(\ln \frac{R}{R-1})}{1.07} = 0.7 V_{10}$	일본도로교 내풍설계편람기준
지진하중 (EQ)	·설계지반운동수준: 평균재현주기 100년 지진지반운동 ·구역계수(Z):0.11 / 위험도 계수(I):0.57 ·가속도 계수(A):0.11×0.57=0.0627 ·탄성지진응답계수:C _s =1.2AS/T ^{2/3} ≤2.5A	도로교설계기준

☑사용재료 및 강도

·콘크리트(kgf/cm²)

·철근(kgf/cm²)

설계기준강도	적용	종류	항복응력	허용응력	적 용
·fck=450	접속교 PSC BOX	SD40	fy=4,000	fsa=1,900	주교량 및 접속교
·fck=400	주교량 주탑				
·fck=350	접속교 교각, 우물통				
·fck=300	접속교 교대	SD30	fy=3,000	fsa=1,500	수로 BOX
·fck=180	속채움 콘크리트				

·케이블 및 PS 강재

종류	규격	항복강도(kgf/cm ²)	인장강도(kgf/cm ²)	적용
Stay Cable	·PSC/∅15.2mm×7연선	16,000	19,000	케이블
P.S.C 강연선	·SWPC7B/∅15.2mm×22연선			External-Tendon
	·SWPC7B/∅15.2mm×12연선			internal-Tendon
	·SWPC7B/∅15.2mm×5연선			횡방향 텐던
	·SWPC7B/∅12.7mm×17, 19연선			가로보,탑정부
PS 강봉	·∅56	8,260	10,200	주탑정착구 강연성

·강재(단위kgf/cm²)

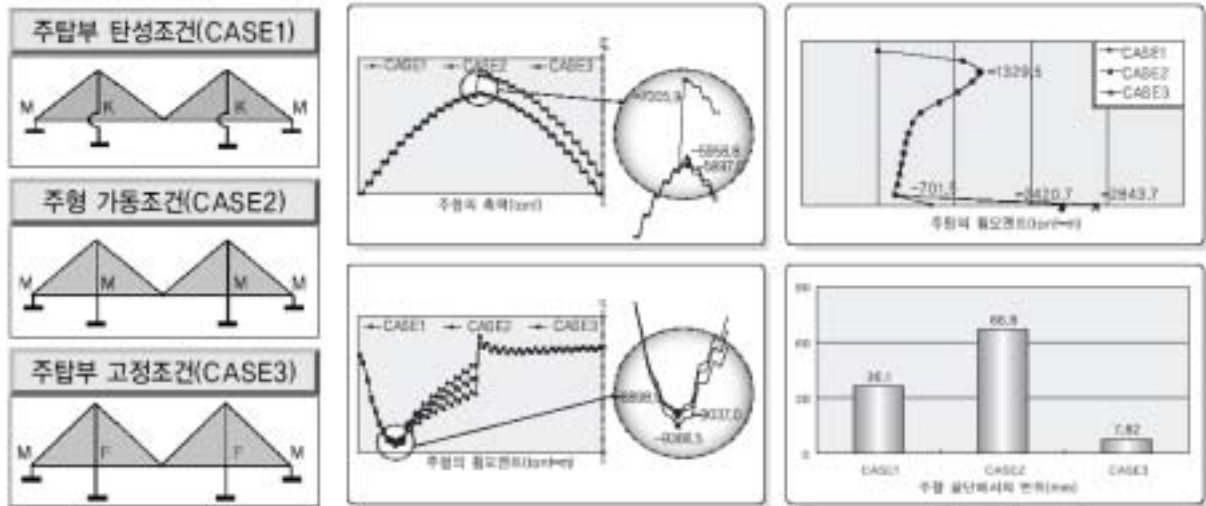
종류	강종	허용응력	적용
주부재	SM520	fsa=2,100	보강형 케이블 정착구 플레이트 보강형 주부재, 종방향 보강재, 주부재 연결판 지정부 보강재, 케이블부 다이아 그램, Sole Plate
부부재	SM490	fsa=1,900	U-Rib,중간 다이아프램, 수직 및 수평 보강재

3.4 사장교의 최적 경계조건 검토

☒최적경계조건검토

본 설계에서는 사장교에 적용가능한 일반적인 경계조건에 대해 몇가지의 Case별로 보강형과 주탑 사이의 종방향 강성에 따라 고정하중, 풍하중, 활하중 및 지진하중 등을 재하하여 교량의 거동에 미치는 영향에 대해서 분석하고 적합한 구조계의 지지조건을 검토하여 최적의 경계 조건을 결정하였다.

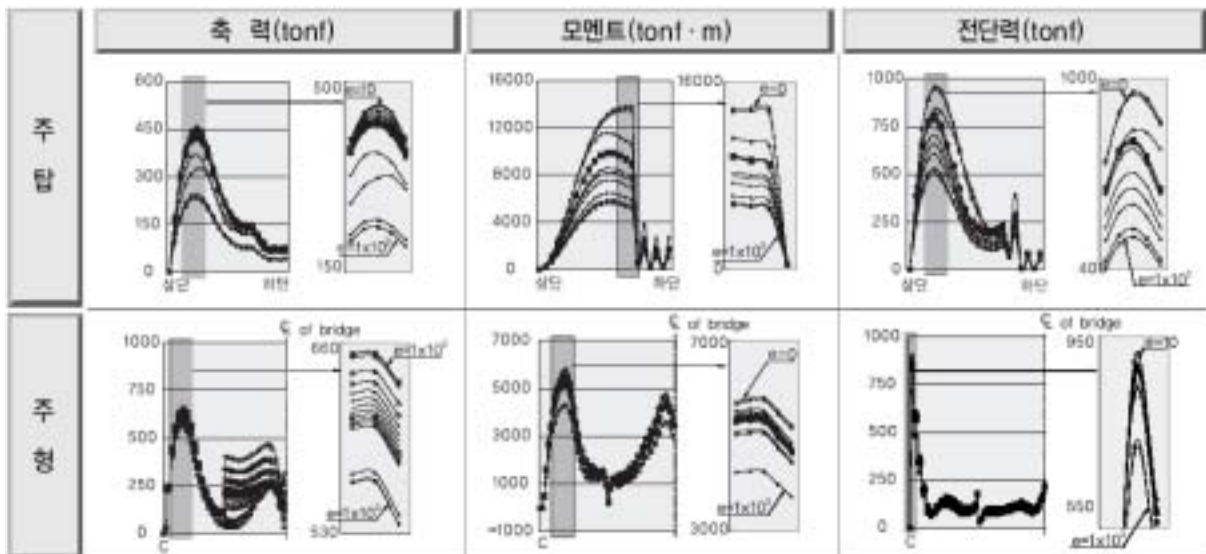
아래와 같은 경계조건에 따른 거동특성을 근거로 고하대교는 주탑부의 bearing이 탄성조건일 경우가 최적의 경제적인 구조계를 형성할 수 있는 경계조건임을 확인하였다.



☒최적 종방향탄성계수 검토

사장교의 해석결과는 탄성받침의 전단탄성계수 크기에 따라 상당한 영향을 받는다는 것에 착안하여, 주탑 경계부 전단 탄성계수의 변화에 따른 활하중, 풍하중 지진하중 별로 수치해석을 수행하고, Cable장력과 주탑 및 주형의 단면력을 비교하여 최적의 전단탄성계수를 도출하였다.

구조계의 경계조건에 따른 주형 및 주탑에 대한 단면력 검토결과 활하중의 영향이 지배적이며 종방향탄성계수의 값이 1000~2000(tonf/m/bearing)에서 가장 좋은 경제적인 구조계가 형성됨을 알 수 있었다. 따라서 본교량에서는 1540(tonf/m/bearing)을 선정하였다.

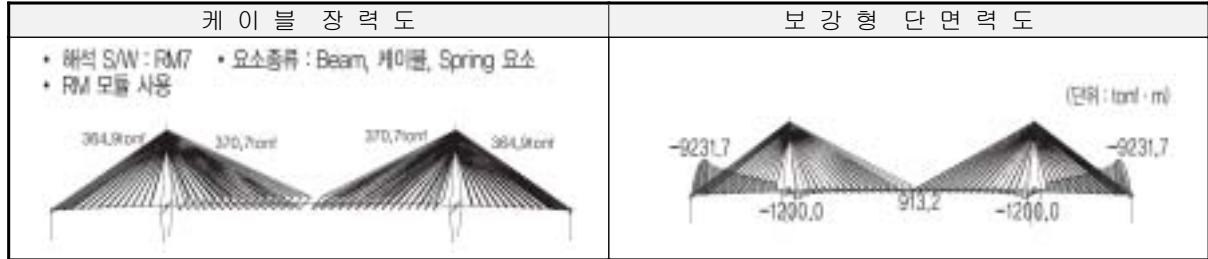


3.5 초기치 해석

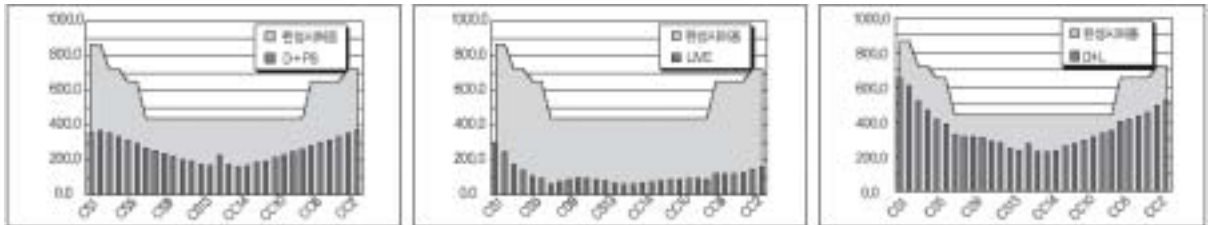
초기장력도입시 주탑의 모멘트를 구속하여 변위와 휨모멘트를 최소화하고 보강형 휨모멘트의 최소화, 균등화를 유도하며 Cable장력의 규칙적인 분포유도등을 감안 고정하중이 초기 P.S와 평형을 이루도록 각 Cable에 RM7 프로그램의 KASP 모듈을 사용하여 해석을 수행한 후 변위 또는 단면력 제약조건을 도입하여 설계초기장력을 자동산정하였다.

초기치 해석결과 고정하중과 평형을 이루는 초기 Cable장력의 특성은 도표와 같으며, 보강형의 처짐 및 단면력을 최소화 할 수 있는 효율적인 단면가정을 하였다.

·초기치 해석결과 단면력



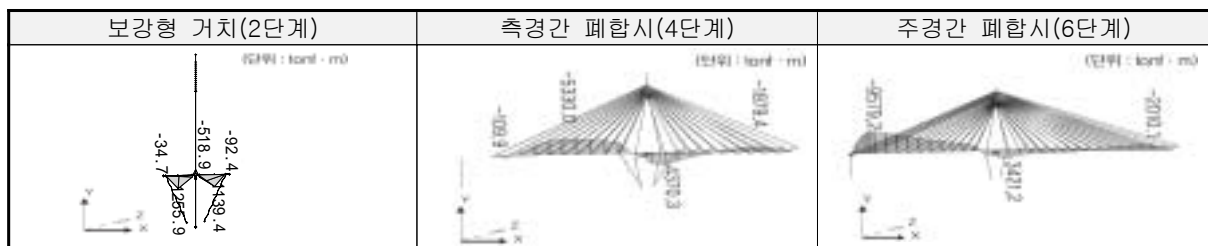
·Cable 장력 초기치 결과분석



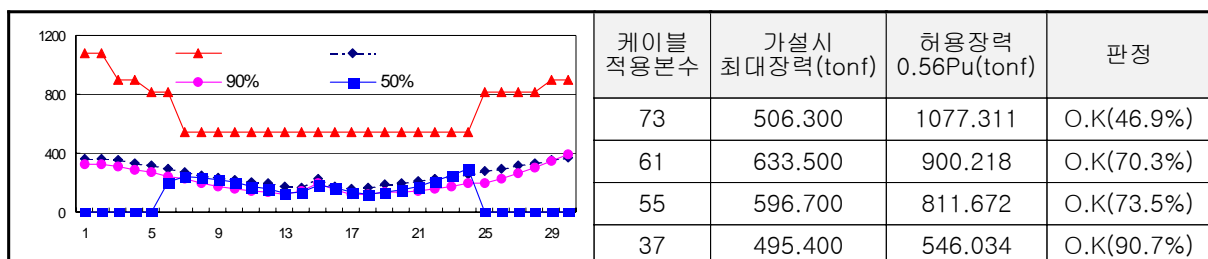
3.6 가설단계 검토

완성된 구조물을 가설단계의 역순으로 부재들을 제거해 나가는 방식의 역해석을 수행하여 분석결과 보강형은 68.9%의 최대응력비(발생응력 1810/허용응력 2625 kgf/cm²)가 나타났으며, 주경간 및 측경간 Cable의 시공단계별(약 40단계) 장력변동검토결과 허용장력(0.56Pu) 대비 최대 90.7%의 응력비를 가지는 것으로 분석되어 가설단계별 안정성에 문제가 없는 것으로 판단되었다.

·주요 가설단계별 부재력



·가설단계에 따른 Cable 장력 검토



3.7 보강형설계

☒보강형 구조

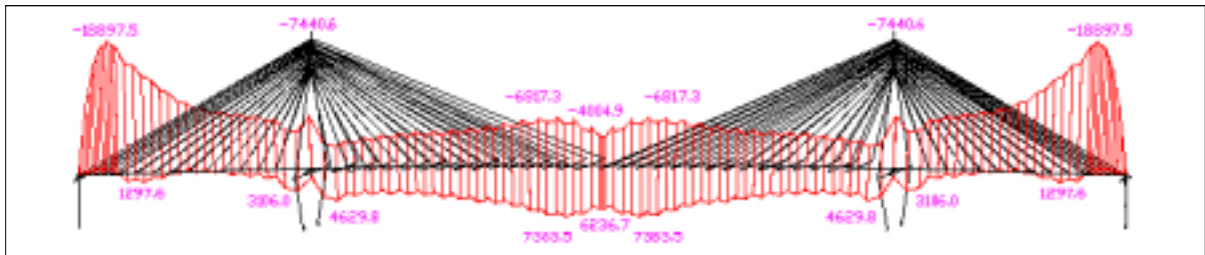
보강형은 비틀림강성과 내풍안정성이 우수하고 형고가 낮아 경관적 조화가 양호하며 작업공종이 단순한 유선형 강상판형구조를 적용하였다. 전체 폭원은 24.5m, 높이 2.5m이며 15m의 강상판형 1Block 중량을 200tonf 기준으로 설계하여 150tonf 용량의 Derrick Crane 2대로 가설이 가능하도록 하였다. 보강형의 격벽구조는 형고가 낮아 브레이싱 형식이나 라멘형식이 상대적인 강재량 절감 효과가 적은 것으로 판단되었고, 보강형간의 횡분배에 효율적이며 구조적으로 안정한 총복판 형식을 채택하였다. 사장교와 접속교 연결부의 보강형 단면은 접속교 단면형상과 일치되도록 높이와 형상을 변화시킴으로써 구조연결을 매끄럽게 하였다.

구분	총복판형식	라멘형식	브레이싱형식
단면도			
특징	<ul style="list-style-type: none"> · 자체 강성이 크므로 편심하중에 의한 부가응력(횡-비틀림 응력)에 저항성이 큼 · 강재사용 상대적 비효율적 	<ul style="list-style-type: none"> · 개구부가 커서 편심하중에 의한 부가응력(횡-비틀림 응력)에 저항성이 작음 · Box 내부시설의 규모에 대응성 양호 	<ul style="list-style-type: none"> · Box 내부공간 확보로 점검 용이 · 강재 효율이 비교적 높음

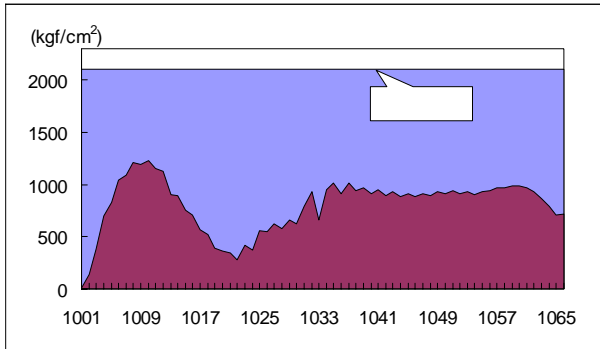
☒보강형의 해석(완성단계해석)

보강형은 작용하중에 따른 충격계수, 유효폭, 유효좌굴길이를 고려하여 완성계해석 결과로부터 하중조합된 최종 단면력에 대한 응력 및 안정검토를 수행하였다. 특히 영향선 해석에 의한 충격계수와 동적해석에 의한 충격계수를 상호비교하였으며, 영향선 해석에 의한 거리(L)를 산정하고 DL하중을 재하하여 플랜지의 유효폭을 산정하였다.

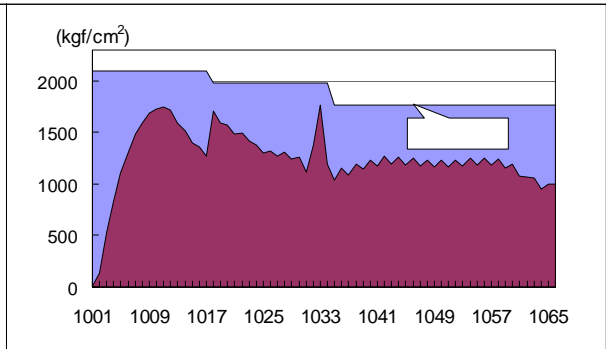
·보강형해석결과 단면력(모멘트)



·상부 플랜지 휨응력



·하부 플랜지 휨응력

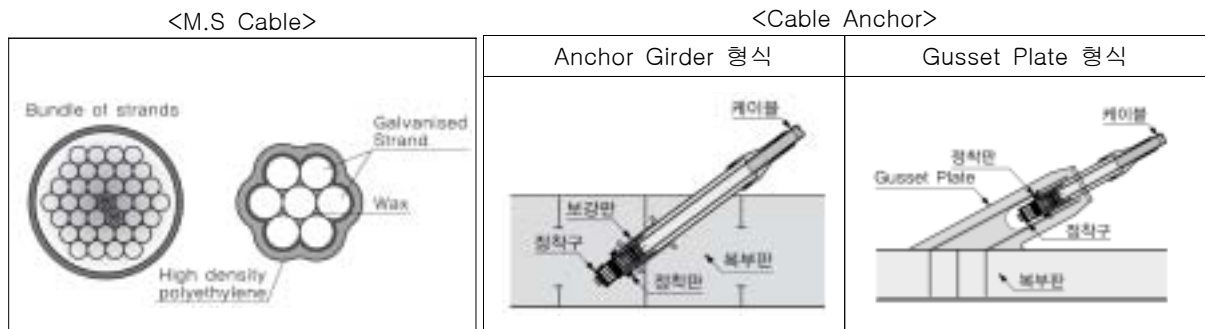


3.8 Cable 설계

☑ Cable System

Cable System은 4중방식 시스템의 Multi Parallel Strand를 적용하였으며 보강형위치의 Cable 간격은 15m, 탑정부 위치에서의 Cable 간격은 2m로 계획하였고 최대 사용규격은 73φ15.2, 사장재 최대길이는 258.1m이다. 풍우진동 감소를 위하여 마찰뎀퍼와 Hellical Fillet HDPE의 사용을 고려하였다.

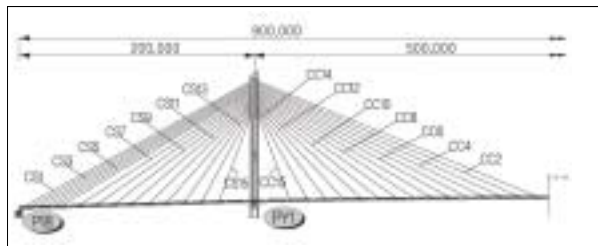
Cable 사장교의 정착부 구조는 Cable의 배치와 Strand수, 주형 및 바닥틀의 형상, Cable단부의 구조, 장력의 크기, 장력도입방법, 주탑의 정착구조와의 관계 등을 고려하여 형식 선정하였다. 측경간은 Pipe Anchor는 보강구조가 간단하나 제작 난이도가 높고 1면지지지 안전성 저하되므로 보강형 내부 Anchor Girder 형식을 적용하였으며, 중앙경간은 외측 제작성, 시공성, 안정성 및 해상 경관을 고려하여 보강형 Web 연속형태인 Gusset Plate 형식을 적용하였다.



☑ Cable 해석

Cable은 하중에 대한 정적응력검토, 피로응력 검토, 내풍안전검토, Cable 교체시검토, Cable 파단시검토 및 Cable의 국부휨과 국부 진동에 대한 영향을 검토하였다. 완성계 상태에서 10%, 파단시 14%의 응력 여유치 확보로 Cable의 적절한 구조적 안전성을 확보하였다.

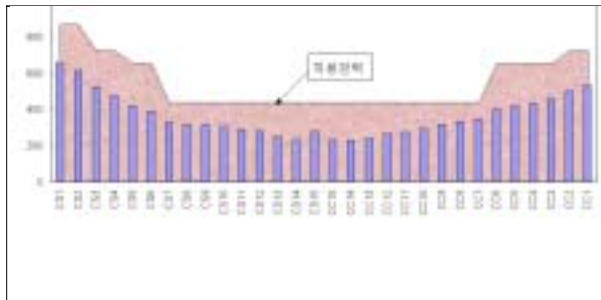
·Cable 종방향 배치도



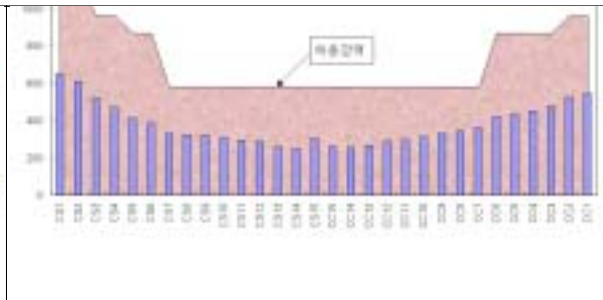
·Cable 단면구성도

73가닥용 케이블	61가닥용 케이블	55가닥용 케이블	37가닥용 케이블
2EA	4EA	6EA	18EA
6.5m 간격	6.5m, 15.0m	6.5m, 15.0m	15.0m

·완공시 Cable 장력



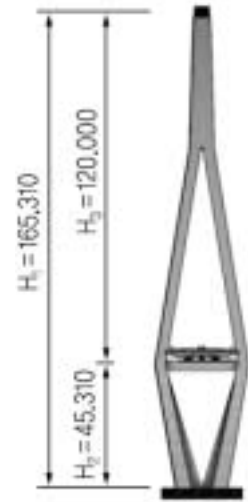
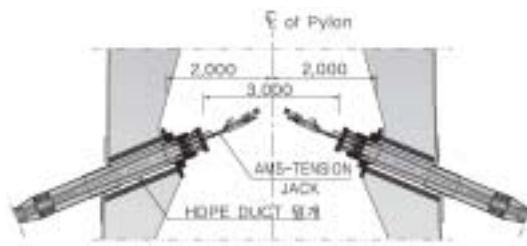
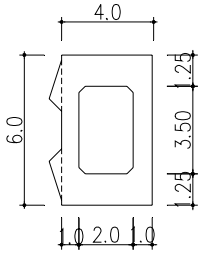
·파단시 Cable 장력



3.9 주탑설계

주탑구조

주탑은 총높이 165m이고 상부높이는 120m로 주경간비 0.24L로 계획하였고, 역 Y형 형상의 중공 콘크리트 구조로 보강형 위치에서 횡방향 가로보를 설치한 것 외에 전체적으로 단순한 직선 부재 형상을 갖도록 하였다. 표준단면크기는 4.0m×6.0m이고 내공단면은 2.0m×3.5m이다. 콘크리트는 400kgf/cm²을 사용하였다. 주탑 내부에는 승강식 E/V가 고려 되었으며 강선 긴장작업을 위한 적정 공간 확보, P.C 강봉과 스트랜드를 이용한 정착부 보강등이 중점검토 되었다.



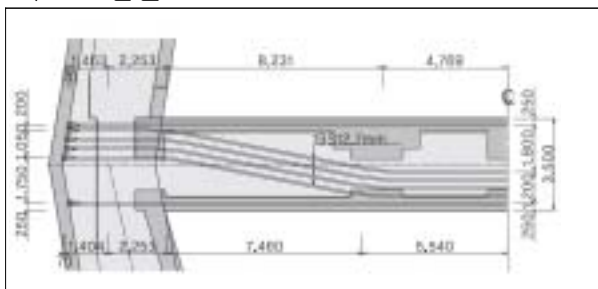
주탑해석

주탑설계는 P-△해석을 통하여 모멘트확대계수를 산정하고 시공단계 및 완성계에서 발생하는 모든 하중에 대한 안정성 확보여부를 검토한 결과 교축방향으로는 최대 24523.6 tonf·m로 모멘트를 6.4~14.1% 확대하였으며 교축직각방향으로는 최대 9762.5 tonf·m로 8.5~17.9%로 확대하여 안정해석을 수행하였다. 또한 보강형을 지지하는 주탑 가로보의 축인장 및 휨에 대하여 허용응력 이내로 안정성 검토 및 전단 검토를 수행하였다.

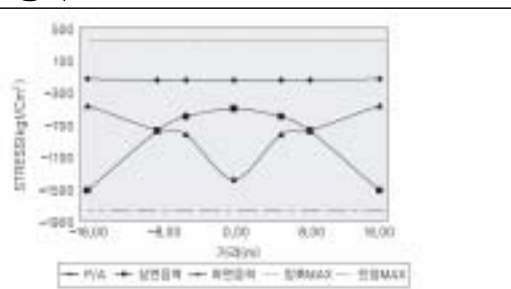
주탑해석결과의 변위형상과 단면력도

변위형상		단면력	
교축방향	교축직각방향	교축방향	교축직각방향

가로보 단면도



가로보 응력도



☑ 탐정부 설계

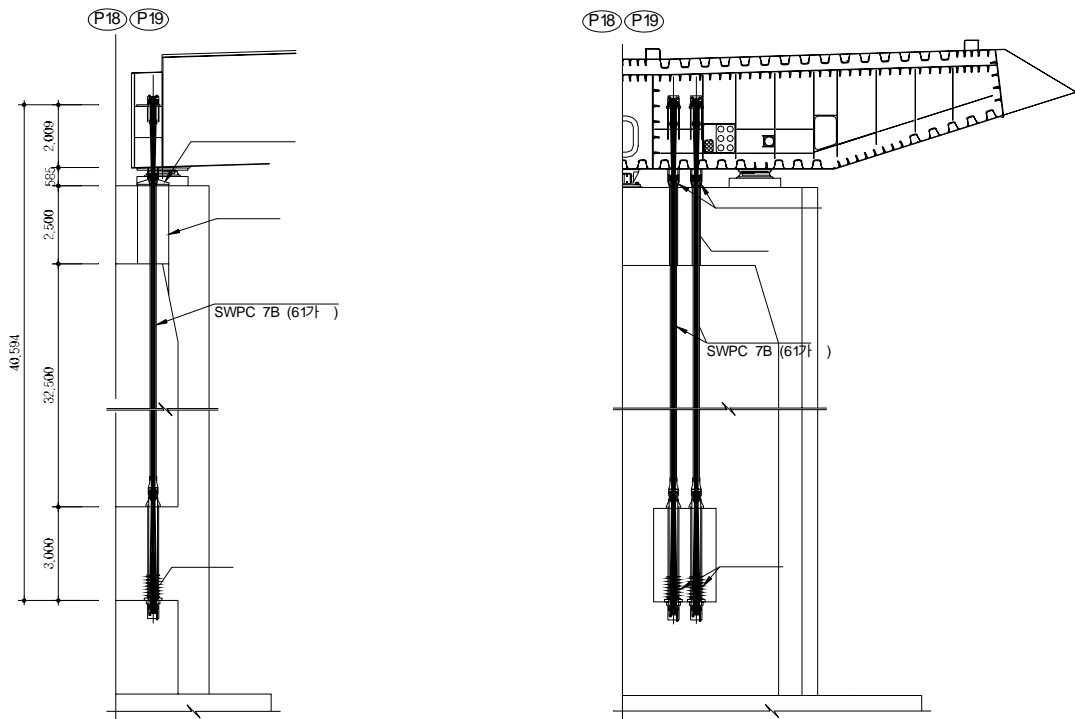
콘크리트 주탑의 탐정부는 사장재정착부가 집중배치됨에 따라 케이블장력에 의한 응력집중이 발생하는등 매우 복잡한 응력상태를 보이며, 이에 대한 해석과 보강방법 또한 면밀히 검토되어야 한다. 따라서, 해석적으로는 보강재(P.T 강봉 3×φ56, 곡선배치의 P.C Strand 2×19φ12.7)를 고려한 3차원 유한요소해석과 STRUT-TIE Method를 이용하여 안전성을 검토하였으며 해석결과는 교축방향 최대인장력 374.5tonf(허용 480.1)과 교축직각방향 341.5tonf(허용 431)으로 안전성을 확인하였고 인장력 발생부위에 소요철근량(80.6cm²)을 배근하여 구조적 안정성을 확보하였다.

· 탐정부PS 와 강봉배치 및 해석

배치도	Plane Strain 모델		Strut-Tie 모델
	교축방향응력	교축직각방향응력	

3.10 부반력 제어설계

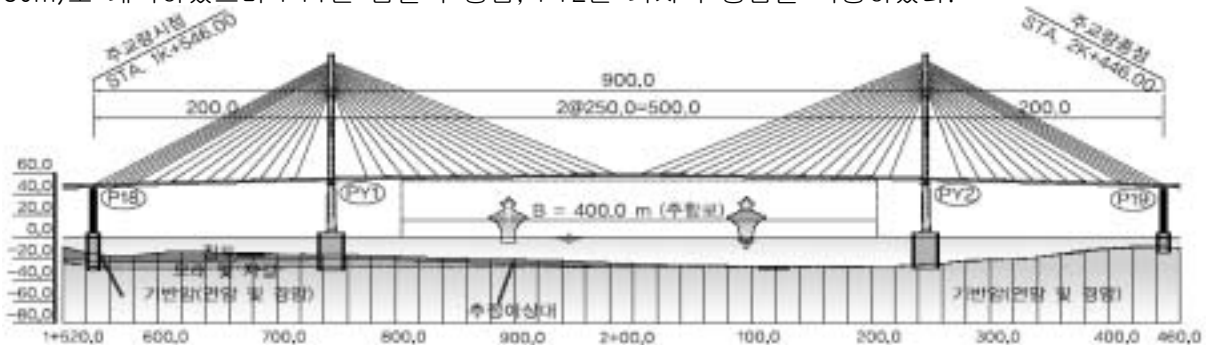
본 교량은 주경간/축경간비 2.47:1로 계획되었고 사하중 재하상태의 End Pier 발생 지점반력은 (-)370.9톤/bearing이나 주경간 활하중재하시의 지점부반력은 약 (-)470.1톤/bearing이 발생한다. 이때 주경간의 활하중에 의한 처짐은 약 1.2m가 발생하였다. 이러한 부반력 발생억제를 위하여 보강형단부에 290톤의 Counter Weight와 End Pier에 약1000톤/bearing의 부반력을 억제할 수 있는 Tie-Down Cable(4×61φ15.2)을 설치하였다.



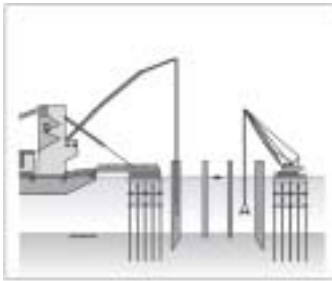
3.11 주탑기초설계

☒ 기초형식 및 공법

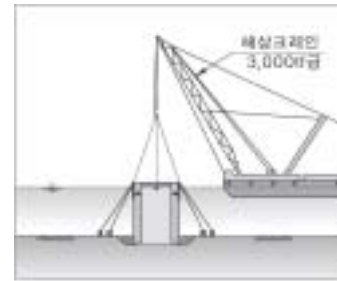
주탑기초의 가설조건은 수심 17.0m(PY1)/27.0m(PY2), 최대유속 약 0.6m/sec이며 하상조건은 11.5m 두께의 토사층(PY1)/기반암층 노출(PY2)의 상태이다. 이에 따라 강재케이슨기초(22m×30m)로 계획하였으며 PY1은 침설식 공법, PY2는 거치식 공법을 적용하였다.



·침설식(PY1)



·거치식(PY2)



3.12 주요 상세설계

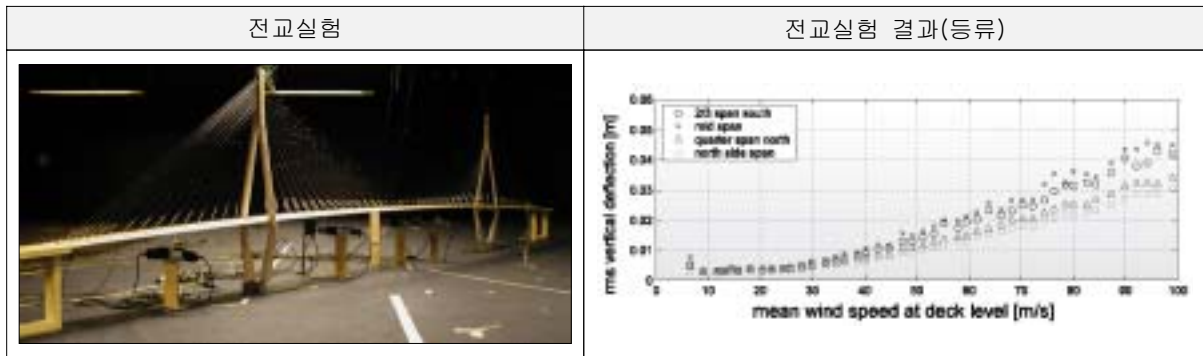
<p>풍동실험 및 CFD 해석</p>	<p>해양 콘크리트 구조물의 내구성 설계 및 방식대책</p>	<p>사장교 최적경계 조건설정</p>
<p>55,000 DWT급 선박의 비선형 동적 시뮬레이션</p>	<p>충격계수 산정 및 Comfort Analysis</p>	<p>교량상판과 교면포장의 상호작용 해석</p>
<p>보강형의 뒤틀림에 대한 안정성 검토</p>	<p>P.S.M 교량의 균열연구</p>	<p>지반-구조물 상호작용을 고려한 내진 안정성 해석</p>

3.13 풍동실험

☑ 내풍안정성 및 풍동실험

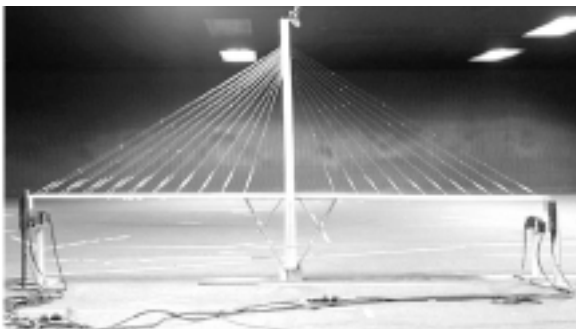
바람에 의한 발생진동현상예측에서 비틀림 및 연직발생진동, 와류진동등에 대하여 풍동실험 필요성이 검토되었고 덴마크의 DMI연구소에서 풍동실험을 시행하였다. 풍동실험은 주형단면의 내풍안정성, 가설단계의 독립 주탑에 대한 내풍 안정성, 3차원 전교 모형실험에 의한 완성 교량의 내풍안정성, 가설시 교량에 대한 단계별(50%,90%) 내풍 안전성을 평가하였다.

와류진동실험에서 아주 작은 폭의 와류진동이 발생하였으나, 실제적인 난류의 고감쇠 조건에서는 발생 하지 않았으므로 와류진동에 대하여 문제가 없을 것으로 판단되었고 주형의 플러터 발생풍속은 130m/s 이상으로 공기역학적으로 매우 안정한 것으로 평가되었다.

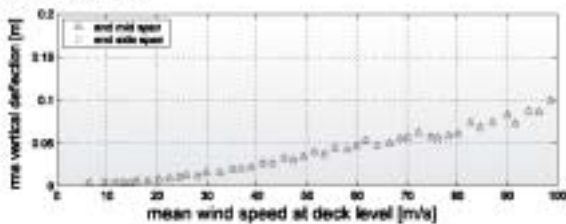


☑ 공사중 내풍안정성

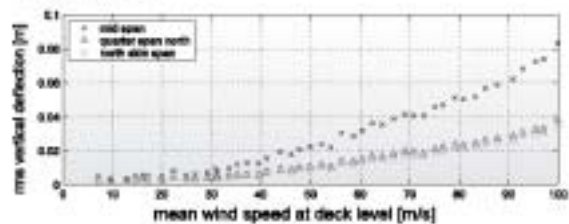
가설시 풍하중은 가설기간에 따른 재현 빈도를 고려한 기본풍속을 적용하여야 하나 내풍안정성을 고려하여 축경간 폐합시(50%) 가벤트가 설치되어 있을때와 주경간 폐합시(90%) 가벤트 미설치시에 대하여 실험한 결과 설계풍속을 훨씬 초과하는 100m/s의 풍속까지 플러터나 갤로핑과 같은 공기역학적 불안정현상이 미발생하였으며 고하대교는 비틀림강성이 크고 유선형의 Box형 주형단면을 채택하고 있어 내풍안정성이 매우 뛰어난 것으로 판단되었다.



• 50% 시공시



• 90% 시공시



4. 사장교 시공계획

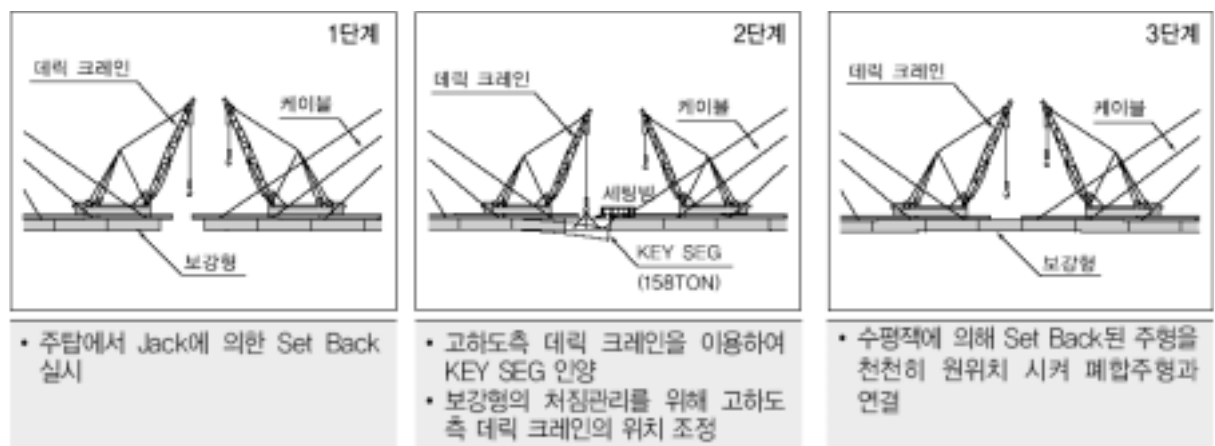
☑가설개요

사장교 가설은 해상 고소작업의 공정을 최소화 하고 가설시 선박의 통제, 해양오염 및 어업권 피해를 최소화 할 수 있는 공법을 선정하였다. 보강형가설은 장비가 경량이고 Deck상에서 신속한 가설작업이 용이한 쉐일레버식 가설공법을 선정하였으며 보강형은 15m 길이의 190톤 중량을 1Block으로하여 2대의 150톤 데릭크레인으로 가설할 수 있도록 하였다. 주두부 보강형(우물통내서 벤트설치)과 측경간보강형의 폐합은 해상크레인으로 거치토록 계획하였으며, 주경간 폐합은 Set Back공법으로 계획하였다.



☑주경간 폐합시공계획

주경간 폐합은 최종의 중앙부 보강형(12.5m)을 잔여공간에 인입시키는 과정으로 Set Back 공법을 선정하였으며 주탑에 설치된 수평적으로 50~100mm Set Back 시킨후 폐합보강형에 원위치시켜 연결하는 공법으로 현장상황에 적응성이 양호하고 주탑받침의 Presetting장치로 활용가능하다.



5. 결론

본 내용은 고하대교의 계획과 설계에 대한 기본설계 주요사항을 요약하였으며 현재 2004년 말 공사착공을 목표로 실시설계를 진행중에 있으며 2009년에 완공될 예정이다. 고하대교의 건설은 다도해의 경관을 이어주는 목포의 새로운 Landmark 기능과 관광 효과로서의 가치가 제고될 것이며, 국토 서남 다도해권의 해양중심도시로 부상하는 관문의 역할이 수행될 것이다.

최근 국내의 설계, 시공기술의 발달로 인해 사장교 등의 특수교량 건설추세에 동반하여 본 고하대교의 설계 및 시공분야가 국내 토목기술 발전에 작은 보탬이 되길 바라며, 본 설계에 많은 관심과 열정을 보여주신 익산지방국토관리청 및 LG 건설관계자들께 감사드립니다.