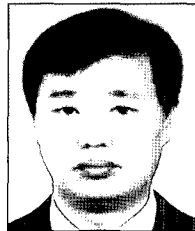
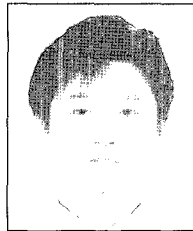


# 영광대교(가칭)의 계획 및 설계

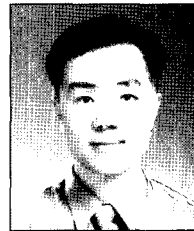
## Planning and Design of Yeong-Gwang Grand Bridge



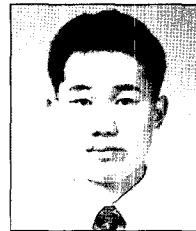
정원기\*



현창호\*\*



조준석\*\*\*



강덕만\*\*\*\*

\* (주)삼보기술단 구조부 전무  
 \*\* (주)삼보기술단 구조부 부장  
 \*\*\* (주)삼보기술단 구조부 차장  
 \*\*\*\* (주)삼보기술단 구조부 대리

### 1. 개요

영광대교는 국도77호선(부산~인천)중 도로 미개설구간인 전라남도 무안군 해제면과 영광군 염산면을 연속교로 연결하는 도로건설사업의 총연장 10.37km중 1.83km를 차지하는 장대교량이다.

영광대교의 주교량은 주 경간장 250m의 3경간 연속 강사장교로 설계되었으며, 접속교량은 경간장 60m의 PSC 상자형교로 설계되었다.

여기서는 2005년 건설교통부 산하 익산지방 국토관리청에서 발주된 영광~해제 도로건설공사 기본설계 중 영광대교의 계획과 설계에 관한 내용 등을 소개하고자 한다.

표 1 사업개요

과업명	영광 ~ 해제 도로건설공사
사업목적	- 서해·남해·동해안선을 연결하는 전국U자형 국가기간도로망을 구축 - 교통편의 제공과 관광산업의 활성화로 낙후지역 개발을 촉진 - 지역주민의 생활환경 개선 및 소득증대에 기여
도로구분	지방지역 보조간선도로(국도Ⅲ)
설계속도	60km/hr
연장	10.37km
폭원	12.5m (양방향 2차로)



그림 1 위치도

### 2. 주요 설계조건 및 착안사항

본 교량계획 시 대상선박으로는 인근 운항선박 중 최대인 101톤급 여객선과 함평군에서 계획 중인 해양 마리나 시설을 이용하게 될 요트 등을 선정하였으며, 이를 위해 형하고는 30m를, 소요항로폭은 충돌방지공 등을 고려하여

250m를 적용하였다.

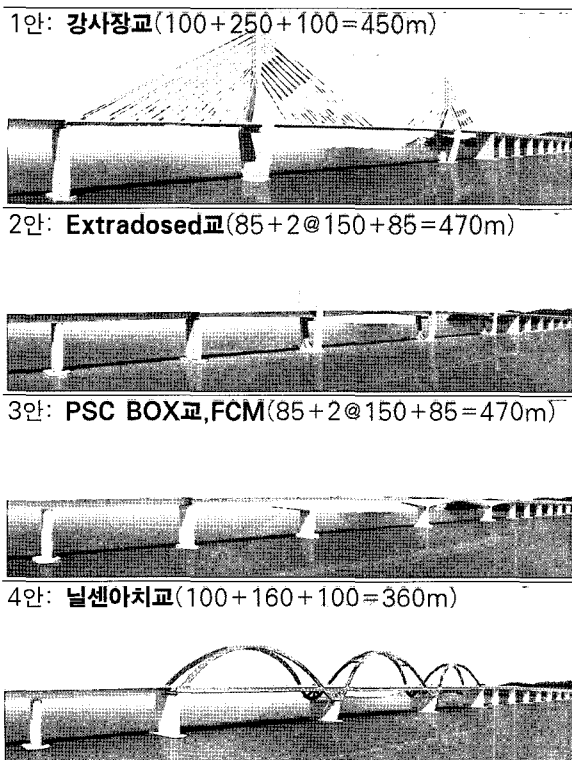
본 교량은 함평만의 입구에 위치하고 있어 최대수심은 26.2m이고 최대유속은 최대 2.4kn(123.4cm/s)로 비교적 빠른 편이다. 지질상태는 기반암층이 경암과 연암층으로 양호하나 기반암까지의 심도가 얇은 편이다.

풍하중은 목포 기상관측소의 풍측 기록치를 살펴보면 년 평균 풍속 4.0m/sec, 최대풍속은 29.1m/sec이며, 월별 순간 최대풍속은 37.8m/sec 정도이며, 설계기준풍속(Vd)은 40.4m/sec로 설계를 수행하였다. 지진하중은 지진Ⅱ구역에 해당하고 일반국도상의 내진1등급 교량임을 감안하여 0.098g의 가속도를 적용하여 설계하였다.

### 3. 교량계획

본 교량의 과업(영광~해제)노선은 서남해안 일주도로로서 단순한 연계도로의 순수기능 외에 관광도로의 성격을 갖고 있으므로 교량 설치지역의 해돋이·해넘이 관광, 함평 세계 나비곤충 엑스포, 함평만 해양 마리나시설 등과 더불어 관광상품화를 유도하고, 교량 박물관 및 기업도시 등의 지역적 특수성과, 함평만에서 서해로 뻗어가는 관문의 상징성을 잘 나타낼 수 있는 사장교 형식(1안)을 채택하였다.

표 2 영광대교 형식비교



### 4. 설계개요

본 과업은 함평만의 입구에 위치하며 도리포항과 향화도항을 연결하도록 계획이 수립되었고 선박항로구간의 주교량과 양측의 접속교량으로 구성되어 있다.

주교량은 주경간장 250m의 3경간 사장교이며, 강상판형식의 보강형과 역Y형 모양의 콘크리트 주탑으로 계획하였다. 형하고는 선박의 마스트 높이에 선박의 트림, 파고, 교량의 처짐, 심리적 영향을 고려하여 함평군에서 계획 중인 마리나 시설을 이용하는 요트를 대상선박으로 보고 함평군과 협의하여 H=30m로 하였다. 항로폭은 대상선박의 제원, 항로의 통행상황 및 연장거리, 기상, 해상 등을 검토하여 항로 폭원과 충돌방지공 설치 폭원을 포함한 250m로 계획하였다.

접속교량은 총 1,380m의 60m 경간 연속 PSC 콘크리트 상자형 거더교로서 시중점부에 각각 제작장을 설치하여 연속압출공법(ILM)으로 시공하도록 계획하였다. 하부구조는 상부구조형식과 해상교량임을 감안하여 벽체형 중공식 교각을 적용하였으며, 기초는 수심이 깊고 지지층 심도가 깊지 않은 현장여건을 감안하여 강제우물통이 적절하다고 판단하였다.

연육교 건설을 위해서는 물양장 및 작업장이 필수적이므로 주요자재의 현장반입 및 강제우물통기초 등의 조립·가설 규모(접속교 우물통 6기 동시제작), 접안수심 확보여부 등을 감안하여 교량 중점부에 위치한 향화도항 선

표 3 교량설계 제원

구분	주요내용
교량형식	3경간 연속 강사장교
교량등급	1등급(DB-24,DL-24), 내진1등급
연장구성	L = 100 + 250 + 100 = 450.0M
교 폭	B = 13.5M (왕복2차로)
평면선형	직선
종단선형	S = +2.3% ~ -2.3%
보강형	강바닥판 상자형 거더
주탑	역Y형 철근 콘크리트
케이블	FAN형, 2면 배치 케이블
기초형식	강제 우물통

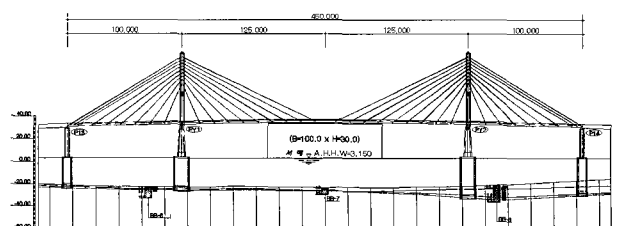


그림 2 사장교 현황

착장 인근지역을 채택 선정하였다.

## 5. 교량 세부계획

### 5.1 사용재료

영광대교(사장교)는 가설지역이 해풍, 해수, 황산염 등 유해물질에 노출되는 상태에 있으므로 내구성 확보 및 피로에 대한 대책 등 부재의 효율적 사용을 위하여 다음과 같이 사용재료를 선정하였다.

표 4 부위별 주요 사용재료

구 분		사 용 재 료
주 탑		fck=40MPa (SD40)
강재	보강형 주부재	SM 520
	강재 우물통	SM 400
사장 케이블		0.6"(15.7mm)
Tie Down		0.6"(15.7mm)

### 5.2 보강형

보강형의 단면형식은 케이블 배치 형식과 주탑의 형식, 가설공법, 교량의 내풍 안전성 등을 고려하여 결정되어야 한다.

콘크리트 보강형은 경제성이 유리하나 자중에 의한 케이블 수가 증가하고, 주탑규모가 확대되며, 시공성 불량 등 저해요인이 많다. 또한, 보강형 자체만의 경제성은 비교 1안의 강합성 보강형이 유리하나 기초단면이 커지고 시공단계가 복잡하며 유지관리 및 시공성이 불리하다. 따

표 5 보강형 단면 비교안

구 분	단 면 형 상
적용안 (강상판)	
비교1안 (강합성)	
비교2안 (콘크리트)	

라서 보강형 자체의 경제성은 다소 불리하나 기초규모의 최소화가 가능하고 시공중 선박운항 저해요소를 최소화할 수 있으며, 상장형으로 비틀림 및 휨강성이 크므로 내풍 안정성에 유리하고 횡좌굴 저항성이 큰 강상판 보강형을 적용하였다.

보강형 가설은 가설여건을 고려하여 1Segment당 12.5m의 단위별로 Barge 운송 후 Derrick Crane을 이용하여 가설하는 것으로 계획하였다.

보강형 사폭은 13.5m로 구성하여 방호벽과 Cable간 간격을 최소화하도록 계획하여 폭원을 경제적으로 최적화하였으며, 충격 완화형 강재 난간을 설치하여 충돌에 의한 케이블 및 정착구 피해를 예방하였다.

보강형의 측면은 내풍 성능향상을 위하여 V형으로 계획하고, 정착부는 내구성 및 미관이 우수한 원통형 정착구로 계획하였다.

### 5.3 케이블

본 교량에서 횡방향 케이블 배치형식은 내풍 안정성 및 보강형 가설공법에 따른 시공중 안전성, 접속교량과의 차선일치로 주행 안전성이 우수한 측면 2면 배치형식을 선정하였다.

케이블의 측면 배치형식에 대한 검토결과, 방사형식은 배치형상 중에서 구조적으로 가장 유리하나 케이블 수가 많아지면 주탑정착부가 복잡해지고 주탑정상에 큰 단면력이 발생하여 주탑의 규모가 커져 주탑의 공사비가 증대된다. 또한, 하프형식은 주탑에서의 케이블 정착작업이 용이

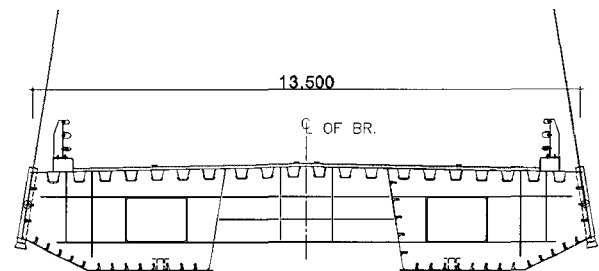


그림 3 측면 2면 배치

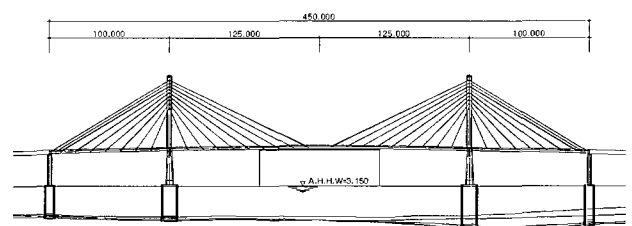


그림 4 Semi Fan

하나 방사형에 비해 주탑 높이가 높아지는 단점이 있다. 따라서 방사형식과 하프형식의 절충형으로 각각의 장점을 얻을 수 있으며, 최근에 많이 적용되는 세미 팬(Semi Fan)형식을 선정하였다.

케이블 간격은 중앙경간 12.5m, 측경간 12.5m, 주탑부는 15m 간격으로 배치하고 부반력 제어를 위하여 단부 교각에 Tie-down 시스템을 적용하였다.

### 5.4 주탑 및 기초

주탑의 총 높이는 93m로 내풍 안정성, 비틀림 및 교축 직각방향의 하중에 대해 유리하고 경관성 및 가설지역의 상징성을 부각할 수 있어서 미관이 우수하며, 주탑하부에서 주탑 Leg를 오므려 기초규모가 작아져 항로공간 확보에 유리한 역 Y형을 적용하였다.

주탑기초의 현황은 수심이 25.8m(PY1)~25.0m (PY2)이며, 최대 유속은 약 2.4kn(123.4cm/s)으로 분석되었고, 지지 가능한 지반의 출현 심도는 3.295m(PY1)~10.691m (PY2)로 파악되었다. 따라서 수심의 영향을 받지 않고 지지층(경암) 심도가 얇은 경우에 유리한 강재 우물통 기초로 계획하였다.

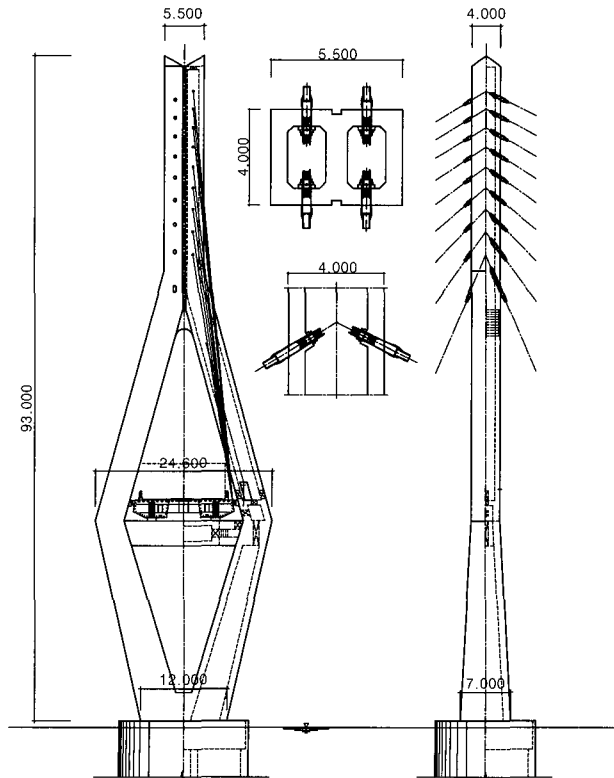


그림 5 주탑형상 및 단면

## 6. 구조 해석

### 6.1 해석 개요

구조해석은 변위법에 의한 미소변형이론을 적용하여 Cable의 장력과 Sag에 의한 기하학적 비선형 거동은 등가탄성계수를 적용하고, 구조계 모델링은 활하중 및 풍하중에 의한 편심효과와 합리적인 하중분포상태를 적용키 위해 3차원 입체모델을 채택하였다.

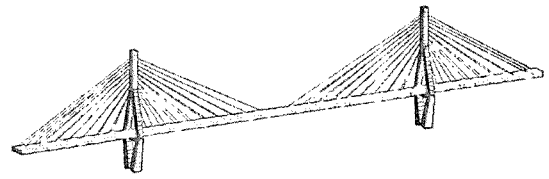


그림 6 해석 모델링

### 6.2 초기장력

초기장력 산정시 여러가지 방법이 있으나 본 해석에서는 보강형 및 주탑에 발생하는 최대 모멘트와 변위를 함께 제어하기 위해 해석프로그램에서 지원하는 최적화기법을 이용하여 계산하였다. 먼저 완성계 상태의 사장교를 모델링 후 보강형의 고정하중을 재하하고 초기장력을 구하고자 하는 케이블 요소에 각각 단위하중의 프리텐션 하중을 도입하였다. 구속조건으로 주탑 및 보강형의 변위와 모멘트의 최대·최소값의 범위를 지정하였고 이후 합리적인 해석결과가 나올 때까지 구속조건을 수정하면서 위 과정을 반복수행하여 아래의 해석결과를 구하였다.

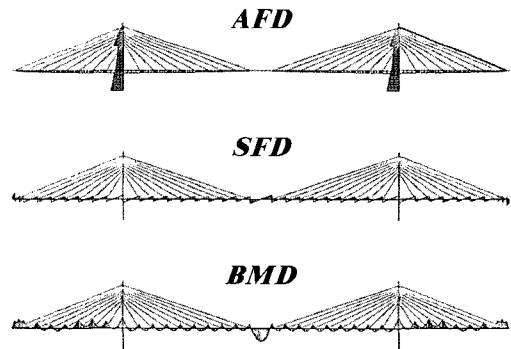


그림 7 초기장력 해석결과

### 6.3 보강형

사장교의 보강형은 케이블에 의해 지지되는 연속교와

유사한 거동을 하므로 적절한 프리스트레스를 도입하여 보강형의 종방향 강성을 최소화하여 경제적 설계를 유도하였다.

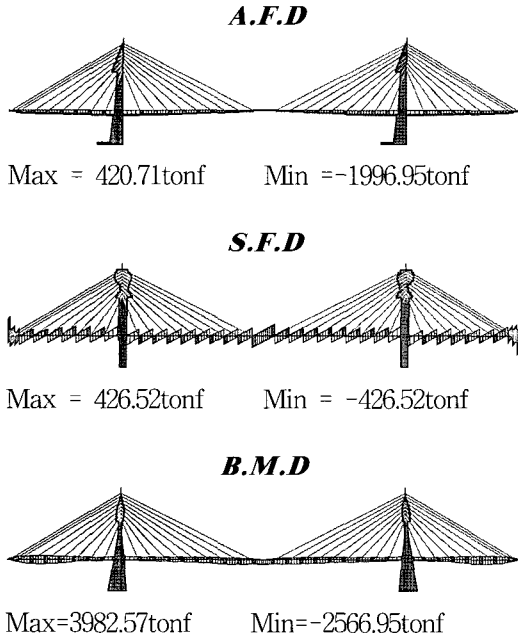
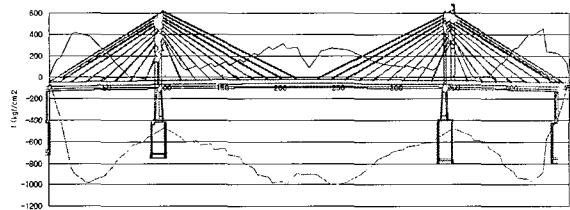


그림 8 보강형 단면도

보강형의 응력검토는 축력과 휨모멘트를 받는 부재로 검토하며 보강형의 유효좌굴장을 구하여 케이블 장력의 분력에 의해 보강형에 발생하는 축력에 대한 좌굴안전성을 검토하였다. 보강형의 설계는 전체계 해석 및 강상관 해석결과를 사용하며 교축·교축직각방향 축력 및 휨모멘트의 최대·최소값에 수반되는 단면력으로 설계하였다.

상면응력  $f_t = 456.9\text{kgf/cm}^2$      $f_a = 2,100\text{kgf/cm}^2$



하면응력  $f_b = 1650.7\text{kgf/cm}^2$      $f_a = 2,100\text{kgf/cm}^2$

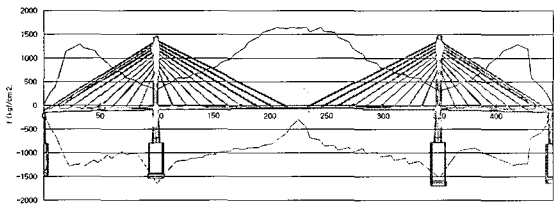


그림 9 보강형 응력도

### 6.4 주탑 및 기초

사장교 주탑은 케이블 장력에 의해 큰 압축력이 도입되므로 좌굴안전에 대해 검토하고, 가설시에는 독립주탑의 상태에 있으므로 가설시 각 단계별로 발생하는 고정하중 및 프리스트레스, 크리프 및 건조수축, 풍하중에 대한 안정검토를 수행하였다.

주탑 단면의 설계 단면력은 P- $\Delta$  해석을 통해 확대된 모멘트를 산정하고 주탑 단면은 축력과 2축 휨모멘트를 받는 부재로 Biaxial 상태의 P-M 상관도를 이용하여 안정성을 검토하였다.

주탑 가로보 및 케이블 정착구는 프리스트레스를 도입하여 안정성을 확보하였다.

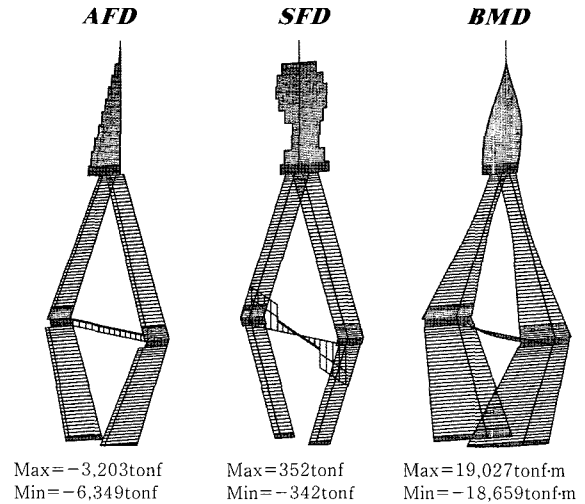


그림 10 주탑 단면도

### 6.5 케이블

케이블의 허용응력은 강도에 의한 허용응력과 피로에 의한 허용응력을 비교하여 가장 불리한 값을 사용하여야 하며, 본 설계에서는 일본 본주-사국 연락교 공단, Walter의 제안식 및 PTI 규정을 비교 검토하고 허용응력을 산정하였다.

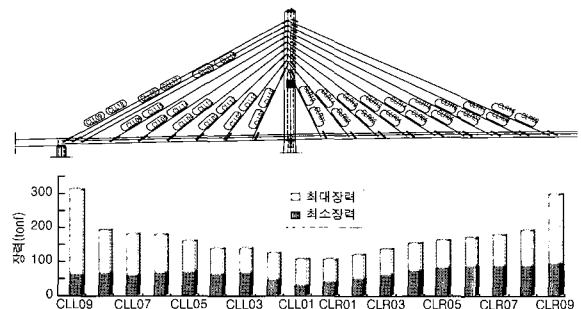


그림 11 Cable 장력도

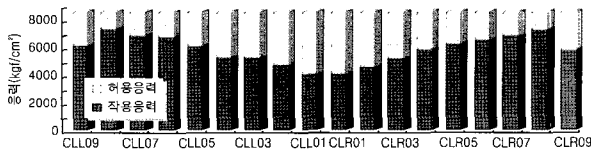


그림 12 Cable 응력도

보강형측 정착부는 보강형의 주형작용과 케이블 장력에 의한 합성압축응력으로 정착부 및 정착부 웨브의 부재를 설계하였고, 주탑부 정착부는 하중이 집중되고 부재형상이 복잡하므로 유한요소해석법에 의한 국부해석을 실시하여 부재를 설계하였다.

### 6.6 내진 설계

본 교량은 지진에 의한 관성력을 전 하부구조물이 분담하여 저항하도록 계획하여 주교량(사장교)은 고무탄성받침과 Wind Shoe를 적용하고, 접속교량(PSC Box교)은 기초분리장치+POT받침을 적용하였다.

표 6 내진해석 결과

모드 번호	고유 주기 (T)	고유 진동수 (Hz)	질량기여도(%)			비고
			X	Y	Z	
1차 모드	2.188	0.457004	47.981	0.000	0.000	교축방향 지배모드
7차 모드	0.833	1.200888	0.000	37.829	0.000	교각방향 지배모드
9차 모드	0.610	1.639327	0.000	0.002	7.876	연직방향 지배모드

1차 모드 7차 모드 9차 모드



그림 13 주교량 모드형상

### 7. 내풍 설계

주교량인 사장교의 보강형 단면은 형고에 비해 폭원이 큰 세장단면이므로 단면결정시 필히 내풍 안정성에 대한 검토를 수행하여야 하나, 기본설계시 많은 시간과 비용을 들여 풍동실험을 수행하는데는 어려움이 있다. 따라서 경험식으로부터 풍동실험의 수행여부를 검토한 결과, 중앙경간 250m를 설계풍속=40.368m/s로 가정하였을 경우, 와

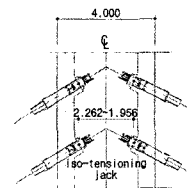
류진동 및 비틀림 발산진동이 발생할 가능성이 있는 것으로 분석되었으며, 실시설계시 풍동실험을 수행하여 내풍 안정성의 예측 및 대책이 필요하다.

## 8. 가설공법

### 8.1 주교량(사장교) 가설

주교량은 과업구간의 주운수로를 횡단하는 교량으로 주탑 시공은 대블럭 공법으로, 보강형 시공은 항로 내에 벤트를 세우지 않고 Derrick Crane을 이용한 쉐일레버 공법을 적용하여 시공성 및 시공중 항로를 확보할 수 있도록 계획하였다.

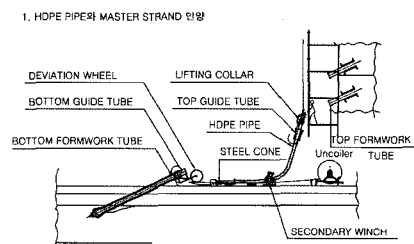
#### 1) 케이블 긴장 작업



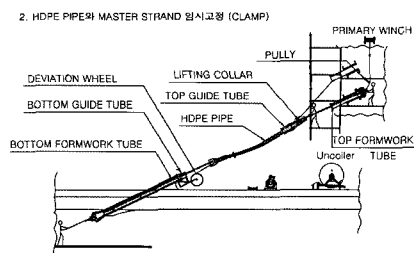
주탑측에서 2인이 동시에 Iso Tensioning Jack 작업이 가능하므로 케이블 긴장시 공기단축 및 시공성 향상을 위하여 케이블 긴장은 주탑측에서 시행하는 것으로 계획하였다.

#### 2) 케이블 가설작업

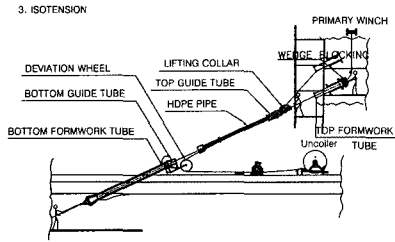
##### 1단계 : HDPE PIPE와 MASTER STRAND 인양



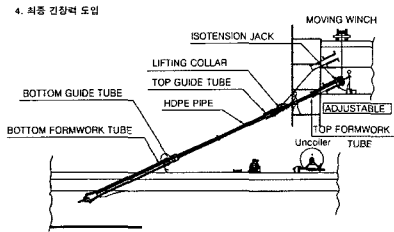
##### 2단계 : HDPE PIPE와 MASTER STRAND 임시고정(CLAMP)



3단계 : ISOTENSION



4단계 : 최종 긴장력 도입

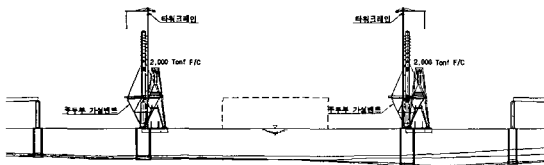


3) 보강형 Segment 분할 계획

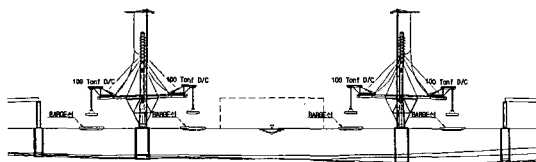
보강형 Seg 분할은 축경간, 중앙경간 모두 12.5m로 계획 현장이음부를 최소화하여 품질 확보 및 공기를 단축하도록 계획하였다.

4) 상부 시공계획

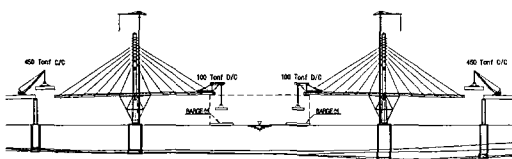
1단계 : 접속교, 주교량 하부시공 및 주두부 SEG가설



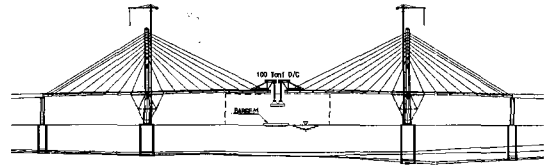
2단계 : 중앙경간 및 캔틸레버식 가설



3단계 : 축경간 폐합 및 중앙경간 가설



4단계 : 중앙경간 폐합



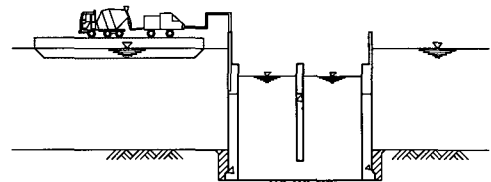
8.2 접속교량(PSC Box교) 가설

PSC Box교의 시공법은 여러 가지가 있으나, 해상구간에서 가도, 가교, 가벤트, 동바리 및 가축도 없이 시공이 가능하면서 세그먼트 제작공정을 사이클화하여 교량을 신속하게 가설이 가능한 연속압출공법(ILM)을 이용하였다.

8.3 우물통 기초 가설

우물통 가설은 Floating Crane을 이용하여 대블럭 가설 공법을 적용하였다. PY1은 기반암의 심도가 3.295m로 지지층 심도가 얇은 구간이므로 거치식 공법을 적용하였고, PY2는 기반암의 심도가 10.691m로 상대적으로 지지층 심도가 깊어서 침설식 공법을 채택하였으나 수심이 깊어 Guide frame을 이용하였다.

PY1 (거치식 공법)



PY2 (침설식 공법)

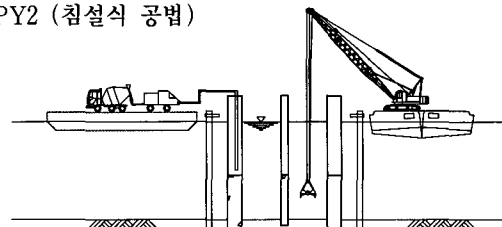


그림 14 기초 가설공법

9. 물양장 및 작업장

작업장 소요면적 검토결과에 따라 물양장, 호안, 경사식

표 7 물양장 계획

위 치	영광군 향화도 선착장 인근
면 적	9,170m <sup>2</sup>
대상선박	- 기중기선 : 1,800Ton - 바 지 선 : 2,000Ton
구조제원	- 선 착 장 : 10m - 물 양 장 : 106m - 호 안 : 54m
매립토량	호안 준설토(31,277m <sup>3</sup> )
향후대책	목포지방해양수산청 이관 예정

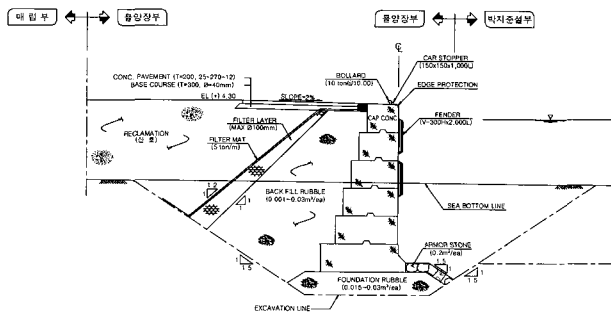


그림 15 콘크리트 블록식

선착장에 대한 규모를 산정하고, 대상선박의 접안수심을 확보할 수 있도록 단면을 계획하였다.

물양장 단면의 구조형식은 콘크리트 블록식, 셀 블록식,

케이슨식 등 중력식 단면 3가지 안에 대하여 시공성, 경제성, 내구성 등을 비교·분석한 결과 시공경험이 풍부하고 내구성이 우수하며, 기존 향화도항과 형식이 동일한 콘크리트 블록식을 채택하였다.

## 10. 맺음말

본 내용은 3경간 강사장교인 영광대교의 계획 및 설계에 대한 주요사항을 요약한 것이며 현재 2007년 말을 목표로 실시설계(설계사:삼보기술단) 중이다. 설계에서는 기본설계시 미흡했던 부분을 보다 심도있게 검토하여 보완해야 할 것이다.

앞으로 영광대교가 완공됨으로써 서해·남해·동해안선을 연결하는 전국U자형 국가기간도로망의 중요노선인 국도77호선(부산~인천)이 보다 빨리 완공되길 기대하며, 이로 인해 교통편의 제공과 관광산업의 활성화로 낙후지역 개발을 촉진 하고, 지역주민의 생활환경 개선 및 소득증대에 기여하길 바란다. 끝으로 본 설계에 많은 관심과 애정을 보여주신 익산지방 국토관리청 관계자들께 감사드립니다. [N]