



# 서해대교 건설공사 현황

권 영 주 한국도로공사 서해대교 건설사업소 설계과장

## 1. 서론

인천과 목포를 연결하는 서해안고속도로는 총 353Km로 1990년 착수(인천~안산)하여 2002년에 전구간을 완공시킬 계획으로 건설중에 있다. 이중 아산만을 통과하는 서해대교는 총 연장 7310m의 왕복 6차로인 초장대교량으로서 국내·외 토목계를 비롯한 각계의 비상한 관심 속에 대 역사를 추진하고 있다.

990m의 강합성 사장교와 6320m의 콘크리트 상자형교(PSM 및 FCM)로 구성된 본 교량은 그 규모와 형식에 있어 국내 최대이자 신공법이며, 해상에 건설되는 현장여건에 따라 설계, 시공상 고도의 전문기술과 Know-how가 요구되고 있는 실정이다.

지난 '93. 11 착공하여, 오는 2000년말 준공 예정으로서 6. 15현재 59%가 진척된 가운데 많은 신기술 신공법을 도입하고 있으며, 그간의 시행과정상 크고 작은 시행착오를 거치면서, 많은 기술습득과 자료를 축적하고 있으므로, 완공과 더불어 우리나라의 토목기술 수준을 제고하는데 크게 이바지할 것으로 기대되고 있다. 본 고에서는 서해대교의 건설현황에 대한 주요사항

을 간략하게 기술코자 한다.

## 2. 사업개요

### 가. 추진경위

기본설계시 안중-당진 구간에 대하여 아산만을 교량으로 횡단하도록 노선이 선정되었으며, 현상공모를 통하여 형식이 결정되었다. 형식결정시 주안점으로는 고속도로로서의 기능제고력, 21세기 서해안 시대의 상징성, 아산항 관문기능, 주변경관과의 조화, 경제성, 시공성 및 국내 최장대교로서의 상징성 등이었다. 주요추진 일정은 <표 1>과 같다.

### 나. 공사개요

- 총사업비 : 5300억원(사업비 조정중)
- 공사기간 : '93. 11 ~ 2000. 12  
(2000일간)
- 시 행 자 : 한국도로공사
- 책임감리원 : 대우엔지니어링(외국 : 덴마크 COWI社)
- 시 공 회 사 : 대림산업(주), LG건설(주)

표 1. 공사일정

| 일 자                         | 내 용                     | 비 고   |
|-----------------------------|-------------------------|---|
| '89. 12. 18 ~<br>'90. 9. 20 | - 서해안고속도로 안산 - 목포간 기본설계 | - 한국도로공사  |
| '91. 3 ~<br>'91. 8. 23      | - 서해대교 기본설계(안)<br>현상 공모 | - 13개 작품 응모<br>- 삼우기술단(안) 채택                          |
| '91. 10. 18 ~<br>'93. 5. 15 | - 실시설계                  | - 삼우기술단(프, EEG사)<br>- West은타리오대학에서 풍동 실험              |
| '93. 11. 8 ~                | - 공사착수                  | - 대림산업(주)<br>- LG건설                                   |
| '95. 12. 4 ~<br>'97. 1. 27  | - 행담도 I/C 실시설계          | - 유신ENG   |
| '96. 7. 26 ~<br>'97. 11. 30 | - 사장교 보완설계              | - 벽산ENG(미, DRC사)<br>- 미, 존스 홉킨스 대학에서 풍동실험             |
| '96. 12. 18 ~               | - 공사기간 조정               | - 당초 : '93. 11 ~ '98. 12<br>- 변경 : '93. 11 ~ 2000. 12 |

표 2. 공정현황('98. 6. 15 현재)

(실시 : 59%)

| 공 종   | 단 위    | 전체수량 | 기 시 공                  | 잔 량      | 비 고    |
|-------|--------|------|------------------------|----------|--------|
| 사장교   | 기 초    | M    | PY <sub>1</sub> : 28.3 | 28.3     | -      |
|       |        |      | PY <sub>2</sub> : 33.9 | 33.9     | -      |
|       | 주 탑    | M    | PY <sub>1</sub> : 180  | 58       | 122    |
|       |        |      | PY <sub>2</sub> : 182  | 48       | 134    |
| 상부가설  | M      |      | PY <sub>1</sub> : 495  | -        | 495    |
|       |        |      | PY <sub>2</sub> : 495  | -        | 495    |
| F.C.M | 기 초    | 기    | 3                      | 2        | 1      |
|       | 교 각    | 기/M  | 3/132                  | -/36     | 3/96   |
|       | 상부가설   | M    | 500                    | -        | 500    |
| P.S.M | 기초말뚝   | 개    | 1,933                  | 1,926    | 7      |
|       | 기 초    | 기    | 102                    | 101      | 1      |
|       | 교 각    | 기/M  | 102/2,599              | 91/2,280 | 11/319 |
|       | COPING | 기    | 102                    | 83       | 19     |
|       | Seg 제작 | 개    | 4,074                  | 2,438    | 1,636  |
|       | 상부가설   | 경간   | 97                     | 42       | 55     |

라. 현장조건

- 조수간만차 : 9.3m - 최대수심 : 22m
- 최대풍속 : 25.7m/sec(순간최대풍 32m/sec)
- 연평균기온 : 11.3° (최고 35.8°, 최저 - 21.4°)

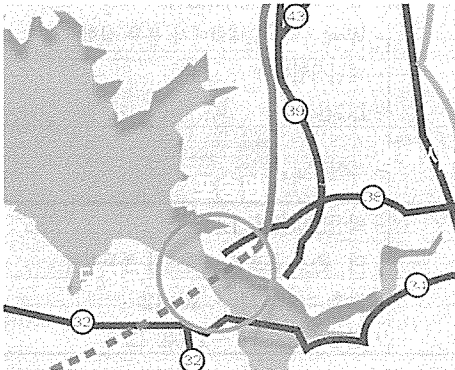


그림 1. 서해대교 위치

3. 설계일반

가. 설계기준

- 계획교통량
  - 2001년 : 41,529대/일
  - 2011년 : 78,572대/일
- \* 2008년에 6차선 교통용량에 도달
- 설계속도 : 120km/hr
- 차 선 폭 : 3.6m(갓길 3.0m)
- 최소곡선반경 : 710m(적용 : 1200m)
- 최대종단구배 : 3%(적용 : 2.098%)

표 3. 교량형식 구성

|            |     |           |     |            |
|------------|-----|-----------|-----|------------|
| PSM        | 사장교 | PSM       | FCM | PSM        |
| 39@60=2340 | 990 | 13@60=840 | 500 | 44@60=2640 |
| 7.310m     |     |           |     |            |

- 설계하중 : DB24, DL24
- 항로조건
  - 주항로(사장교구간) : 5만톤급 선박운항 (통과높이 62m)
  - 예비항로(FCM구간) : 2만톤급 선박운항 (통과높이 45m)
- 내진설계 : 1등급(가속도 계수 0.14g)
- 기본풍속 :  $V_{10} = 35\text{m/sec}$

나. 주요특성

- 강풍을 대비한 풍동실험 실시
- 염해 방지대책 시행
  - 내항산업 시멘트 사용 : 해상부 기초 EL 10m 까지
  - 내염도장 : 해상부 기초(EL 5~10m) 및 PSM Segment 외부면
  - 방청철근 사용 : 현장타설말뚝 철근
- 매스 콘크리트 수화열 제어(Pipe Cooling)
- 내진설계 도입 및 교좌부분 내진장치 설치 예정
- 유지관리용 점검시설 설치
  - 주탑 엘리베이터 및 사다리
  - 이동식 상판점검차
- 시공 및 유지관리를 위한 첨단계측기 설치

다. 교량형식 구성

교량형식은 경간장 확보 조건에 따라 아산항의 주항로부에는 사장교를 예비항로부에는 장경간 연속교(FCM)를 나머지 구간에 대하여는 PC BOX 연속교(PSM)를 적용토록 했다.

라. 형식별 설계개요

표 4. 형식별 설계개요

| 구 분     | 시 장 교   | 콘크리트 상자형교                                 |   |
|---------|---|---|---|
|         |   | FCM구간                                     | PSM구간   |
| 연장(m)   | 990   | 500                                       | 5820  |
| 위치      | 주항로부  | 예비항로부                                     | 기타구간  |
| 경간구성(m) | 60+200+470+200+60   | 85+2@+165+85                              | 97@60   |
| 형하공간(m) | 400×62(주항로부)  | 134×45(예비항로부)                             | 60×VAR  |
| 상부구조    | 강합성교<br>- 플레이트거더 : 외측 1형 강형, 중앙부 종방향 스프링거 및 4.1m 간격 가로보로 구성<br>- 슬라브 : PC Panel | PC 콘크리트 BOX                               | PC 콘크리트 BOX   |
| 상부가설방법  | Derrick Crane에 의한 센터레버식 가설  | Form Traveller에 의한 현장 타설 콘크리트를 센터레버식으로 구성 | Launching Girder를 이용한 Precast Segment를 조립식으로 가설               |
| 교 각     | 콘크리트 문형식  | 콘크리트 문형식                                  | 콘크리트 문형 교각 (PC, RC)   |
| 하부기초    | - 직접기초 (28m×66m)<br>- 지지층 : 풍화암층  | - 현장타설말뚝 (φ 2500m/m)<br>- 지지층 : 연암층       | 확대기초 및 현장타설말뚝 (φ 1500m/m)<br>- 지지층<br>해상부 : 연암층<br>육상부 : 풍화암층 |
| 비 고     | - 경간장 : 세계 9위<br>- 강합성 경간장 : 세계 2위  | 국내최대 경간장                                  | 국내최대 경간장  |



그림 2. 교량형식 구성

#### 4. 형식별 시공법

##### 가. 사장교

###### ○ 가물막이

사장교가 설치되는 지점의 조류속이 2.15m/sec, 수심이 22m, 주탑기초 작업공간 69m × 124m가 소요되는 조건으로 가물막이 규격은 초대형 규모와 큰 강성을 필요로 한다.

따라서, 당초 설계시 계획하였던 이중격벽식 Sheet Pile공법으로는 구조적으로 불안정한 것으로 검토되어 Cell식 가물막이 공법으로 변경하였다.

공법개요는 육상에서 원형 Cell(Sheet Pile로 구성)을 조립하여 해상으로 운반하여 설치(Sheet Pile 향타)하고, Cell 내부에 모래를 채워 안정성을 확보한 후, 내부의 물을 배수, Dry한 상태를 유지토록 하는 방법이다.

###### ○ 주탑기초

가로 28m × 세로 66m × 높이 33.9m의 초대형 직접기초로서, 가물막이 내부는 Earth Anchor 토류벽 공법에 의한 가시설을 설치하여 EL-33m(굴착깊이 24m)까지 굴착하고, Base

Con'c(4.3m)를 타설한 후, 우물통 형식의 기초를 Lot별로 구분하여(H = 2m 정도) 내향산염 콘크리트를 타설한다.

타설시에는 Mass 구조이므로 Pipe Cooling을 시행하고 있다.

주탑기초 1기에 소요되는 콘크리트량이 9만 m<sup>3</sup> 정도로서 1Lot 타설량이 3.500m<sup>3</sup> 정도가 되므로, B/P 3기, Pump Car 3대, C.P.S 3대가 필수적이며, 1Lot Con'c 타설 완료시간은 20~24시간이 소요된다.

###### ○ 주 탑

주탑시공용 거푸집 형식은 일반적으로 Slip Form 형식과 Climbing Form 형식으로 대별할 수 있는데 본 교량에서는 주탑 바닥에서 CB2까지는 Slip Form으로 적용하고, 케이블 정착구간인 CB2 이상은 검토중에 있다.

가설장비로는 기당 Tower Crane(30m에서 8ton 능력) 2대를 설치하여, Cross Beam 3개와 주탑 182m 높이를 시공할 예정이다.

###### ○ 상부가설

본 교량은 앞절에서 기술한 바와 같이 12.3m 길이의 방향 Segment를 Stay Cable공과 병행

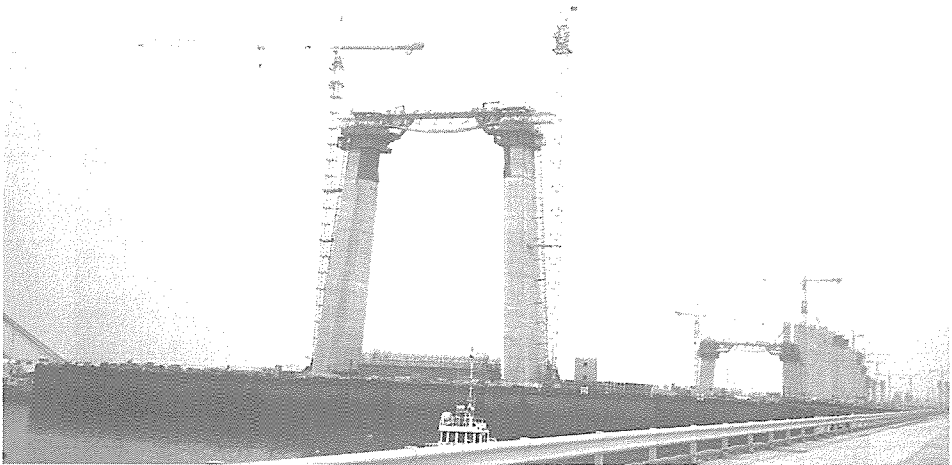


사진 1. 주탑 시공 광경

하여 Cantilever식으로 가설한 후, P.C Panel을 조립, 현장타설 콘크리트 말뚝으로 이용하여 DECK를 완성하는 방법이다.

이때, 강형 Segment당 중량은 120ton 정도이며, 제작장에서 제작하여 Barge선으로 해상 운반한 후 Derrick Crane을 이용, 인양 조립하고 Stay Cable로 긴장한다. 사용할 Derrick Crane의 최대 인양 능력은 200ton 이상이어야 한다.

상부가설 순서는 다음과 같다.

- ① 주탑시공용 Tower Crane으로 CB-1상에 주두부 Bracket 설치
- ② 지점부 Segment L<sub>1</sub> 및 L<sub>1</sub>, LL<sub>1</sub> 설치
- ③ L<sub>0</sub>~L<sub>1</sub> 상에 Derric Crane 설치
- ④ Seg L<sub>2</sub> 인양 및 연결
- ⑤ 케이블 CL1의 1차 긴장
- ⑥ 상판 PC Panel 인양 및 연결부 현장타설 양생
- ⑦ 케이블 CL1의 2차 긴장
- ⑧ Derrick Crane 이동
- ⑨ ④~⑧ 반복(좌, 우측 동일)

### 나. F.C.M 시공

#### ○ 하부공

직경 2500mm/m 대구경 RCD공법으로서, 토사층에서의 Con'c 타설 등 시공성 확보를 위해 희생강관을 풍화암 3.5m까지 관입하고 지지층까지 내부를 굴착한 후 철근 Cage를 건입하고, 수중 Con'c를 타설하여 말뚝을 완성한다.

사용 축철근은 직경 51mm로 방청처리를 하고 이음은 Bar Grip에 의한 기계적 이음을 하고 있다.

Footing 시공은 수중에서 거푸집 역할을 하는 P.C Box(P.C House)를 육상 제작 거치한

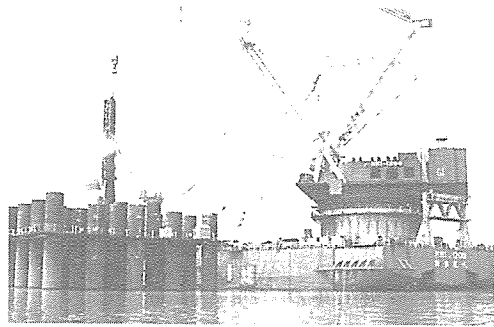


사진 2. FCM-RCD 희생강관 항타

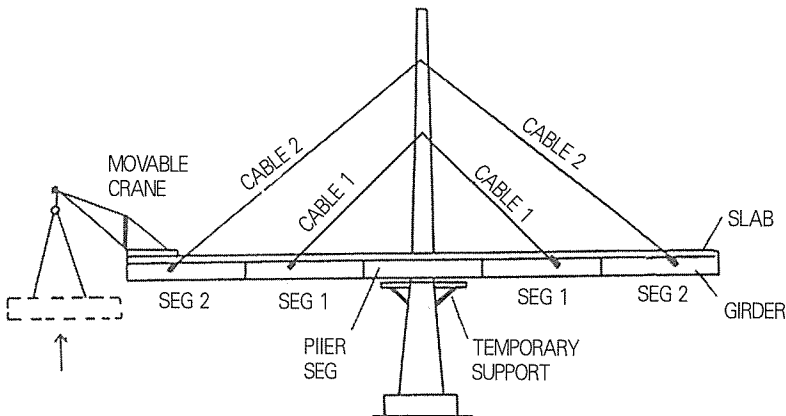


그림 3. 사장교 상부 시공 개요도

후 철근 및 콘크리트공을 시공하여, Column은 해상부 작업조건에 맞는 Climbing Form 형식을 사용할 계획이다.

○ 상부공

Column이 완공된 상태에서 상단에 Bracket을 설치하고 주두부 18m(H=9m)를 타설한 후 form Traveller를 주두부 상에 설치한다. 그후 form Traveller를 이용하여 좌우대칭으로 20번까지 세그먼트까지 타설하고 내부 강연선 인장 후 Key Segment를 타설한다.

\* 사용 콘크리트 강도 :  $\sigma_{ck} = 400\text{kg/cm}^2$

다. P.S.M 시공

○ 하부공

PSM기초 총 102기중 시점부, 종점부 및 행담도에 위치한 39기는 육상부로서, 직접기초가 10기 말뚝기초가 28기이다. 말뚝기초는 Benoto 공법으로 시공하였으며, 지지층은 풍화암(8.05m) 또는 연암(2.17m)까지를 건입하였다.

해상부 중 비교적 수심이 얇은 구간에 위치한 43기는 육상토 및 준설토를 이용하여 축도를 조성한 후 육상 조건으로 시공했다.

축도의 높이는 최고만조위 EL 4.65m(High water Level)보다 높은 5.5m까지 60.3m의 폭원으로 축조하였다. 말뚝시공은 희생강관(12m/m)을 풍화암 50cm까지 압입한 후 RCD 공법으로 시공했다. 나머지 20기에 대하여는 완전한 해상부 공사로서 Barge선을 이용하여 작업대를 설치하고, 강관 압입, 내부굴착, 철근 Cage 건입 및 콘크리트 타설 등의 작업을 할 수 있도록 했다.

○ Segment 제작

총 Segment 소요량은 4074개로서 공구별 1개소씩 Seg제작 공장을 설치했다. 제작장은 개소당 2만평 규모에 Typical 및 Special Segment용 6조, Pier용 1조, Expansion용 1조의 Mould를 갖추었고, 철근가공공장, 양생시설, Gantry Crane 1조, 이동식 Tower Crane

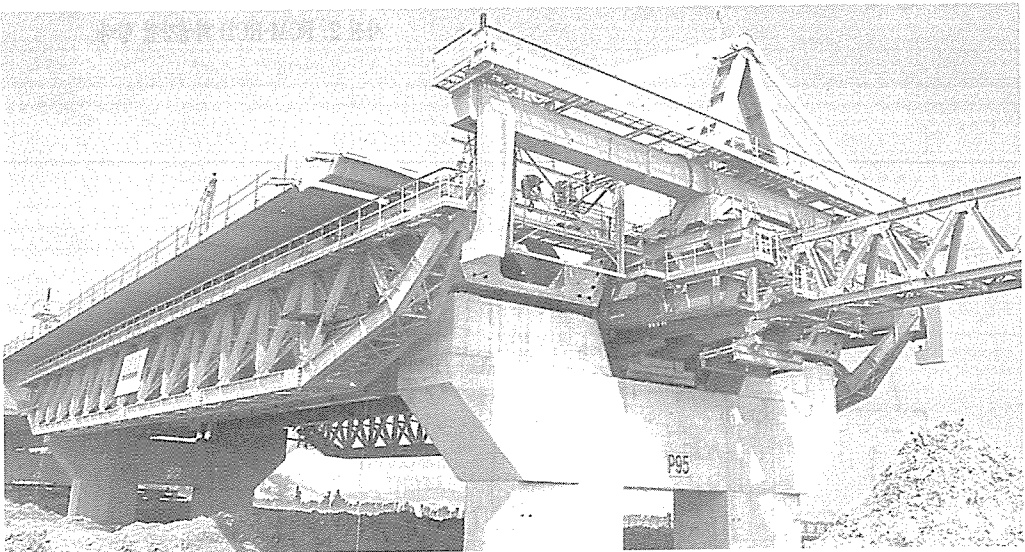


사진 3. PSM 상부 가설 광경

3기 등을 설치했다. Segment용 콘크리트는 450kg/cm<sup>2</sup>의 고강도로 제작하고 있다.

○ 상부 가설

Segment 가설은 한쪽 교대에서 시작하여 다른쪽 교대로 진행하는 Span by Span 공법이다. 세그먼트는 Pier Bracket에 의해 지지되는 Assembly Truss(Launching Girder)위에 거치, 이동 및 배열하여 Longitudinal Prestressing 작업을 완료한 후 1경간씩 건설해 나간다.

L/T의 설치방식에 따라 Above Type과 Below Type이 있는데, 본현장에서는 시공 속도가 다소 빠르고 시공중 구조적 시스템이 연속교 형태로 안정된 Below Type으로 가설하고 있다.

### 5. 품질 및 시공개선 사항

국내 최대 규모이자 신공법들이 많은 Project인 만큼, 각종 시험이나 시공에 있어 타현장에 비하여 여러가지로 특기할 만한 사항들이 많다. 대표적인 것을 소개하면 다음과 같다.

- 현장타설말뚝 정·동재하시험 (Statnamic Test)시행
- 현장타설말뚝 동재하시험 시행
- 현장타설말뚝 정재하시험 시행(Pile 최대 하중의 2배인 1,460ton 재하)
- 현장타설말뚝에 대한 건전도 확인시험 (Sonic Test)시행
- Mass Concrete 수화열 계측 및 Pipe Cooling 시행
- 해상부 기초 기반에 대한 탄성파 탐사 실시
- 기초지반 및 현장타설말뚝 공내 수평재하시험 실시
- 사장교 기초 지반 Televiwer 탐사 및 Geotomography 실시

- 방청철근 내부식성 시험 실시
- 내황산염 시멘트 시험
- 철근 나사이음 시공(RCD 철근망 및 사장교 주탑)
- Slip Form 시공을 위한 Mock-up Test 시행
- 사장교 주탑기초 가시설 계측기 설치(경사계, 수위계, 하중계)
- 취약 작업 위치 CCTV 설치 운영

### 6. 맺음말

장경간 합성형 사장교, FCM 및 PSM교는 국내시공실적과 경험이 아직 일천한 것이 사실이다. 따라서, 본 Project의 완벽한 수행을 위하여 도로공사, 감리단 및 시공사가 공히 우수 인력과 충분한 인원을 투입하고 있으며, 전문가로 구성된 전담 기술자문단을 구성 운영하고 있다.

또한, 주요 공종에는 외국기술자 및 감리원을 상주시켜 우리기술진과 공동으로 기술검토와 문제점 해결에 온갖 노력을 다하고 있다.

본 교량이 성공적으로 건설되고 나면 국내 교량 건설 기술의 축적으로 연도교, 연육교, 하천교 등 장대교량에서는 사장교가 도심지 통과지역 등에서는 P.C Box 연속교의 수요가 획기적으로 증가될 것으로 예상된다.

따라서, 현장에서의 시공기술 축적 뿐만 아니라, 산·학·연이 연대가 되어 설계 및 시공기술과 자재, 장비의 국산화 개발에 더 많은 연구와 투자가 이루어질 것으로 기대한다.

서해대교 건설을 계기로 국내 토목기술 수준이 가일층 발전하고 건설부문의 국가 경쟁력이 제고되는 원동력이 되길 바라며, 본 고가 서해대교와 특수교량에 관심있는 분들께 참고되었으면 한다.