

삼천포대교(콘크리트 강합성 사장교)의 설계 및 시공

- The Design and Construction of Samcheon-Po Grand Bridge -



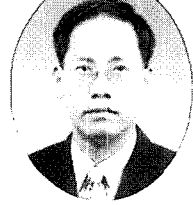
김주화*
Kim, Ju Wha



최원태**
Choi, Won Tae



윤병기***
Yoon, Byung Ki



백종균****
Paik, Jong Gyun

1. 서 론

본 공사는 국도 3호선(남해 ~ 초산) 중 미개통 구간인 남해군 창선면 대벽리와 사천시 대방동을 연결하는 총연장 3.4 km의 연육교로서 한려해상국립공원의 관광개발 촉진 및 지역개발을 도모하기 위해 1989년 착공하여 2003년에 준공되었다. 대림산업(주)에서 시공한 구간은 교량 2개소(삼천포대교, 초양대교), 2개 접속교(삼천포 접속교, 초양 접속교), 2개 I.C./Ramp(A교, B교)로 구성되어 있으며, 그 중 삼천포대교는 국내에서 서해대교에 이어 2번째로 건설된 콘크리트 강합성 사장교로서 설계 및 시공, 유지관리까지 순수 100% 국내기술로 이루어진 최초의 특수교량이라 할 수 있다. (그림 1) 참조

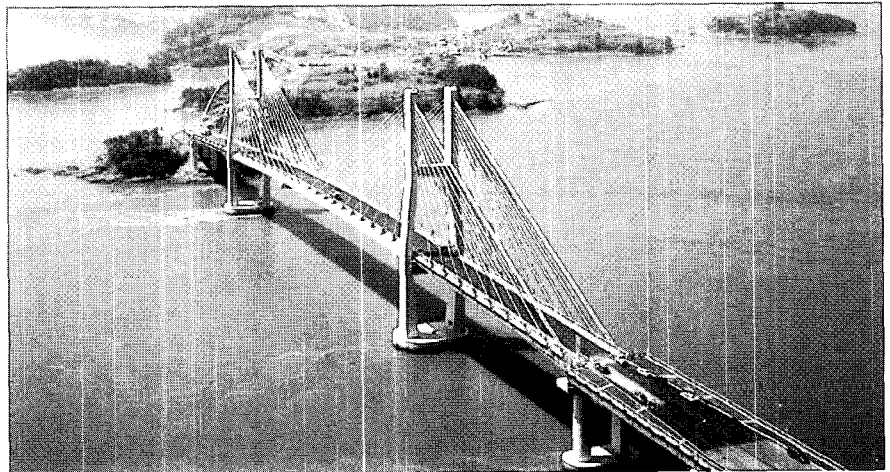


그림 1. 완공된 삼천포 대교

2. 공사개요 및 품질, 안전관리

삼천포대교는 총 연장 436 m(중양경간 230 m, 측경간 103 m)이며 주탑은 H형상의 철근 콘크리트 구조로 높이는 90 m이다. 교량상판은 강재 주형 위에 프리캐

스트 콘크리트 슬래브를 설치하여 만든 강합성구조이다.

2.1 품질, 안전관리

유속이 빠른(3 m/sec) 지형적 특성과 대부분 작업이 30 m 이상의 고소작업이므로 안전관리 관련 시설물 설치와 가설공법 결정 시 주안점을 두어 공사기간동안 한 건의 안전사고도 없이 공사를 완료하였다.

서해대교 건설 시 축적된 노하우를 활용, 시공단계 해석부터 geometry control 작업까지 품질확보에 최대한 노력을 하였으며 염해방지를 위한 콘크리트 피복확보, 방청철근, 콘크리트 내염도장 등을 실시하

였고, 각종 계측기 및 CCTV설치, 가변차로운영 시스템을 도입하여 교량유지관리에도 만전을 기하였다.

표 1. 공사개요

· 목적 : 남해군과 사천시 연결, 도서지역 개발 및 한려해상국립공원의 관광자원 활성화
· 노선명 : 국도 3호선(남해 ~ 초산)
· 위치 : 경남 남해군 창선면 ~ 사천시 대방동
· 총연장 : 3.4 km(대림산업 공사구간 : 1.3 km)
· 주요구조물 : 교량 7개소(영개교, 단항대교, 늑도교, 초양접속교, 초양대교, 삼천포대교, 삼천포접속교)
· 총공사비 : 1,820억원(시설비 1,644억, 용지비 176억), (대림산업 : 969억, 한진중공업 : 675억)

* 대림산업 토목사업본부 본부장
** 정희원, 대림산업 토목사업본부 전무
*** 대림산업 토목사업본부 부장
**** 정희원, 대림산업 토목사업본부 차장

3. 삼천포대교 일반사항

3.1 삼천포대교의 제원

사장교는 외관상으로 또한 구조적으로 가장 차별화 되는 것이 케이블의 배치형상이다. 삼천포대교의 케이블은 주탑의 한 점에서 연결하여 마치 부채살 모양을 이루는 방사형(fan)과 케이블을 서로 평행하게 배치하는 하프형(harp)의 중간인 혼합형(semi-fan)의 배치를 택하였다. 또한 케이블의 횡방향 배치는 크게 2면 배치와 1면 배치로 나누어지는데 삼천포대교는 2면 배치로써 주형의 비틀림 거동에 대해 양면에 배치된 케이블이 저항을 하므로 비틀림 강성이 작은 단면형태가 가능하게 하였다.((그림 2) 참조)

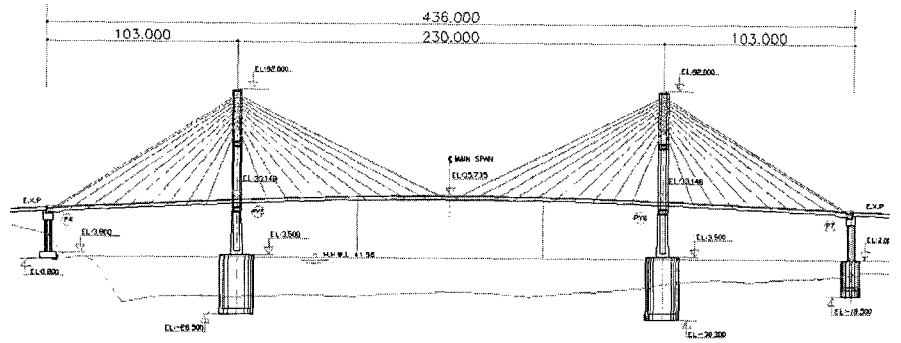


그림 2 삼천포대교의 제원

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

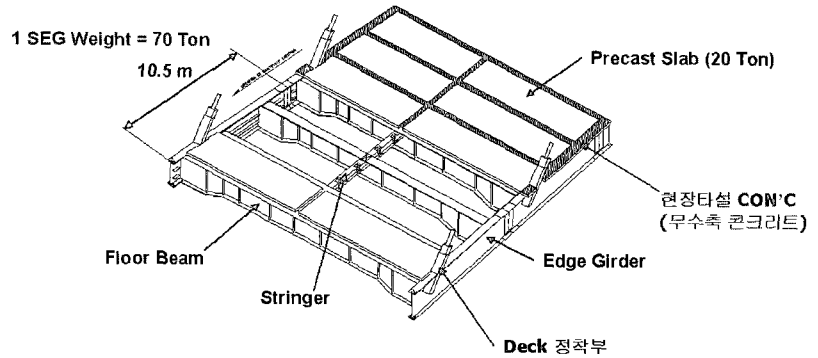


그림 3 보강형

3.2 보강형

강재 주형과 프리캐스트 콘크리트 바닥의 합성형으로 강형 사장교에 비해 강성이 크고, 콘크리트 사장교에 비해 자중에 대한 부담이 적다. 본 공사에서 보강형은 프리캐스트 슬래브를 미리 제작하여 크리프와 건조수축 등에 대한 장기 변형을 최소화시킬 수 있었으며 시공 또한 간편화 하였다.((그림 3) 참조)

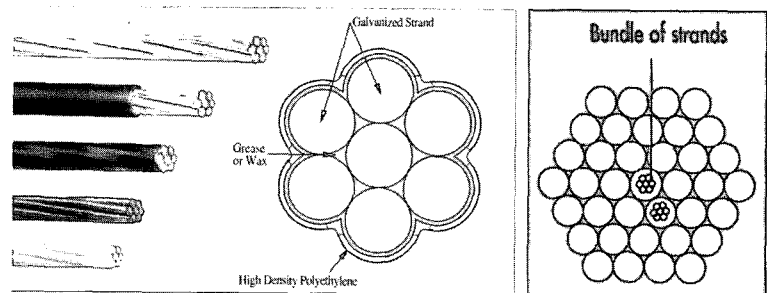


그림 4 사장재

3.3 사장재

케이블은 사장교에 있어서 매우 중요한 부재이며 부식이나 정착구의 피로에 대하여 많은 주의를 기울여야 한다. 삼천포대교 공사에서는 Parallel Strand Stay Cable을 사용하였다.((그림 4) 참조)

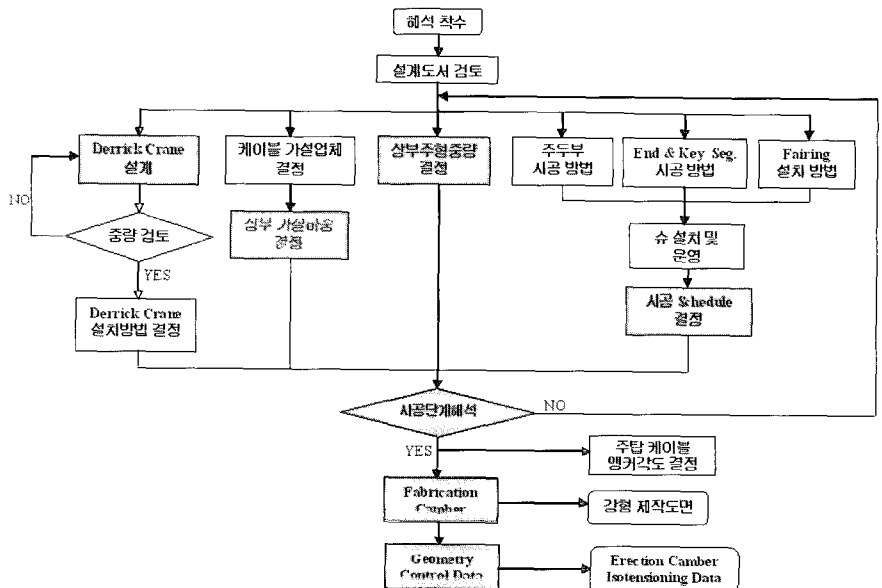


그림 5. 시공단계 해석 흐름도

4. 시공과정

4.1 주탑 시공

4.1.1 주탑 기둥

페데스탈(pedestal) 부를 제외한 전구간의 기둥부는 Peri Auto Climbing System에 의하여 계획된 콘크리트 타설

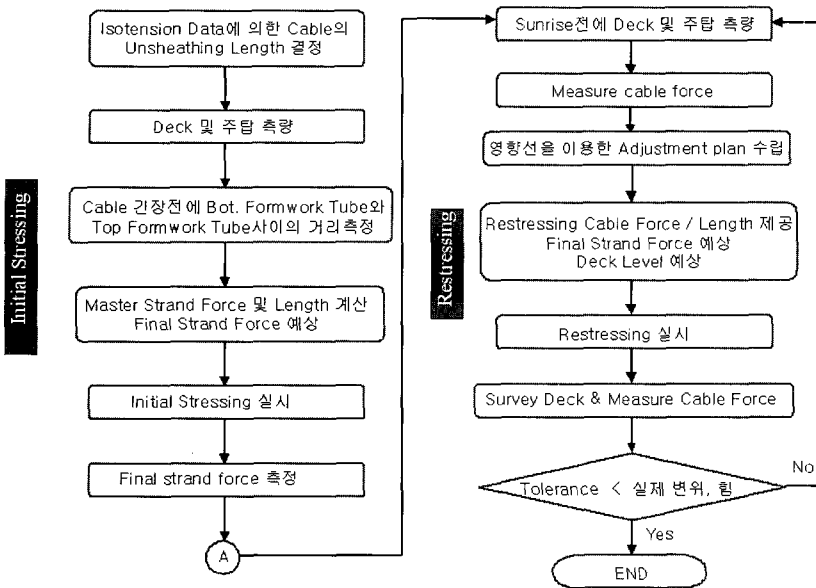


그림 6. Geometry Control 흐름도

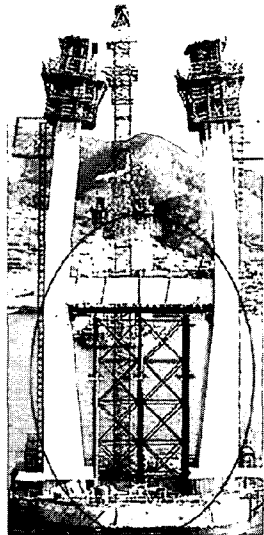


그림 7. strut-1 하부 사진

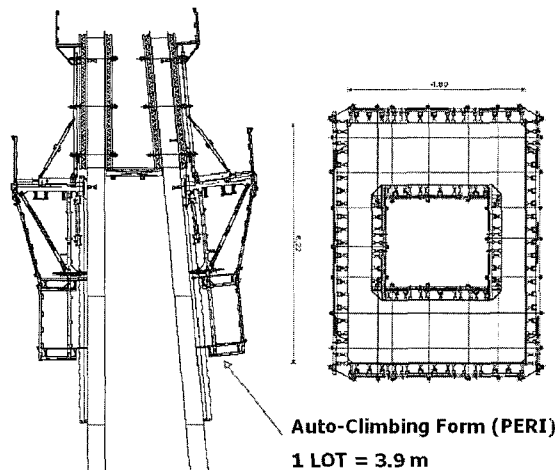


그림 8. strut-1 하부 도면

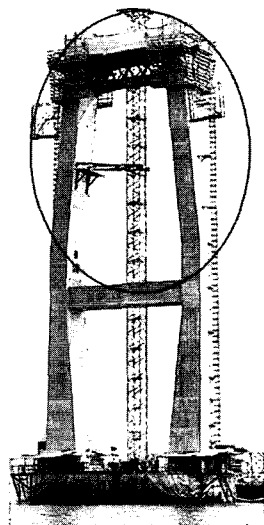


그림 9. strut-1 상부 사진

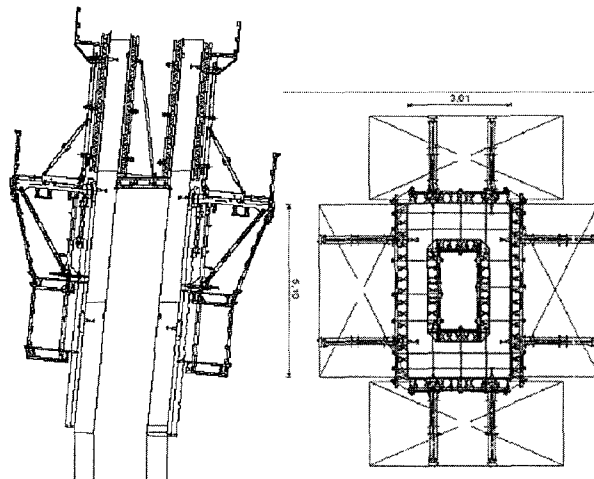


그림 10. strut-1 상부 도면

리프트로 연속하여 철근, 거푸집, 콘크리트 치기를 반복하여 시공하였다. 고교각 시공 시, 일반 거푸집 공법으로 시공할 경우 비계, 동바리 및 거푸집 설치 등에 많은 어려움이 따른다. 특히 고교각에 일반 거푸집 공법을 적용할 경우 안전관리, 기술관리 및 공정관리 등 여러 가지 문제점이 예상되므로 수직상승 거푸집(climbing form) 공법을 선택하였다. <그림 7>과 <그림 8>은 Strut-1 하부까지 시공사진과 도면을 나타내고 있다.

<그림 9, 10>에서 Strut-1 상부(EL. 28.8m)의 주탑 기둥 단면은 Strut-2 (EL. 61.0m)까지 5.34°의 경사를 이루고 외부치수 5m × 2.8m, 내부치수 3m × 1.6m, 각 세그먼트별 높이는 4m이며, 1회 콘크리트 몰량은 37m³로서 일반 호퍼(용량 1.5m³)를 사용하는 경우에 7~8시간이 소요되며, 거푸집 상부 타설 작업 시에 고소작업에 따른 안전문제 및 다음 세그먼트 연결용 주철근(Φ29)의 높이가 2.5m로서 콘크리트 투입높이 문제로 인한 재료분리 등 콘크리트 품질을 저하시킬 요인이 있었다. 이상의 작업여건을 고려하여 타설 작업시간의 단축, 안전한 작업, 재료분리 방지 등의 콘크리트 품질 확보를 위한 콘크리트 투입용 특수 호퍼를 제작, 운반용 호퍼와 조합하여 시공함으로써 상기의 문제점들을 해결할 수 있었다.

Strut-2 상단부는 <그림 11>과 <그림 12>와 같이 직선부로 되었으며, 주탑의 케이블 정착부에는 <그림 13>과 같이 사장 케이블의 인장력을 지지하도록 중형으로 200개 소의 강봉으로 보강하였다.

4.1.2 주탑 가로보

주탑의 가로보(Strut-1)는 우물통 기초로부터 현장 내에서 전용 가능하였던 수직 강재 동바리를 세우고, 펌프카로 3회 나누어 콘크리트 타설 후 나중에 프리스트레스트 단을 인장하였다. 주요 공사 몰량은 주탑 1기당 철근 29.605톤, 콘크리트 189.330m³, 거푸집 264.072m²가 사용되었다. (<그림 15> 참조)

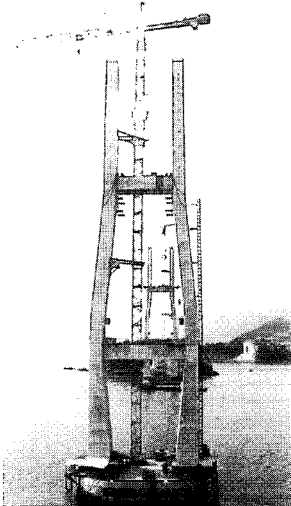


그림 11. strut-2 상부 사진

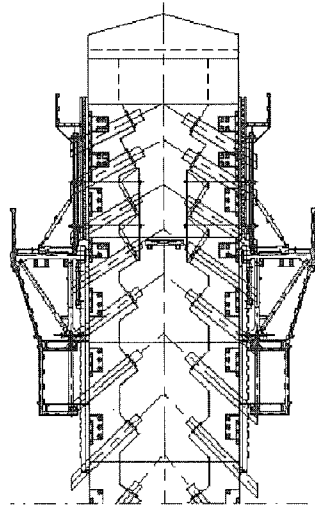
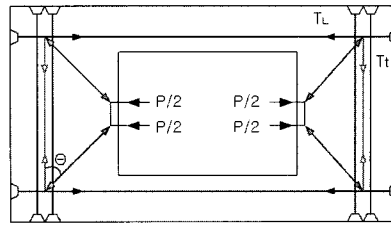


그림 12. strut-2 상부 단면



$$P = F \times \cos\alpha$$

그림 13. 주탑의 강봉 보강 단면

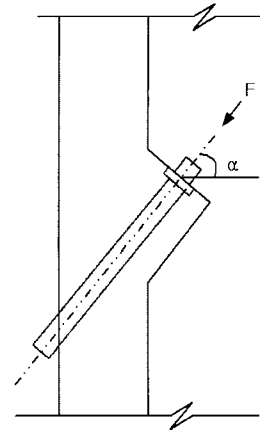


그림 14. 주탑 정착부 단면

주탑의 가로보 중 두 번째인 Strut-2는 가설동바리인 가설트러스를 제작·설치하여 시공하였다. 그 위에 철근, 거푸집을 조립한 후, 3회에 나누어 콘크리트를 타설하고 나중에 프리스트레스 텐던을 인장하

였다. 주요 공사 물량은 주탑 1기당 철근 24 톤, 콘크리트 162.51 m³, 거푸집 192 m²가 사용되었다.(<그림 16> 참조)

4.2 단계별 시공

4.2.1 프리캐스트 슬래브 제작

프리캐스트 슬래브의 제작장과 야적장은 <그림 17>과 같이 시공되었다.

(1) 제작장 및 야적장 구성

- 제작장 : 1,600 m²
- 야적장 : 2,800 m²
- 철근 가공장 : 1,000 m²
- 가설도로 : 1,600 m²

(2) 프리캐스트 슬래브 제작인원

- 작업반장 1명
- 철근공 5명
- 콘크리트공 4명

- 보일러공(양생관리) 2명
 - 목공(거푸집 설치해체) 2명
 - 측량 및 검측 1명
 - 이동식 리프트 운전원 1명
 - 계 16명
- (3) 프리캐스트 슬래브 제작공정

① 바닥 거푸집 수평 레벨 측량 : 프리캐스트 슬래브 철근을 조립하기 전에 바닥 거푸집의 수평정도 및 레벨을 측량하여 검사하였다.

② 바닥 거푸집 청소 및 박리제 바르기 : 바닥 거푸집의 표면에 묻어 있는 녹 및 이물질들을 깨끗하게 청소한 후 박리제를 발랐다.

③ 측면 거푸집 청소 후 경화지연제 도포 및 조립 : 측면 거푸집을 조립하기 전에 청소하고, 거푸집의 상하부 노출면에 붓으로 경화지연제를 고르게 발랐다. 경화지연

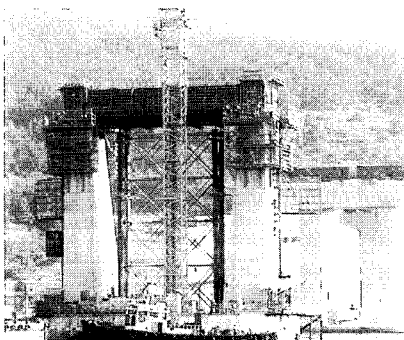


그림 15. Strut-1 가설

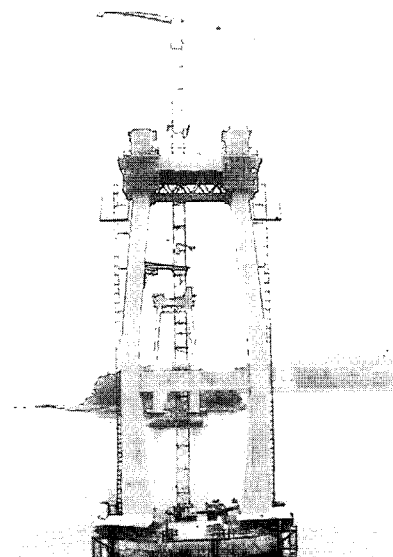


그림 16. Strut-2 가설

표 1. 상부구조 시공 사이클

Description	Date																						Remark	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
SIDE	1. Steel Seg. Install & Bolting	█																						11 Days/Cycle
	2. Cable Install & Stressing		█																					
	3. P.C Slab Install			█																				
	4. Working Platform Moving				█																			
	5. Rebar Install					█																		
SPAIN	6. Joint Conc. Pouring					█																		
	7. Curing						█																	
	8. Restressing							█																
	9. Derrick Crane Moving									█														
	10. Survey A																							
MAIN	1. Steel Seg. Install & Bolting			█																				
	2. Cable Install & Stressing				█																			
	3. P.C Slab Install					█																		
	4. Working Platform Moving						█																	
	5. Rebar Install							█																
SPAIN	6. Joint Conc. Pouring							█																
	7. Curing								█															
	8. Restressing									█														
	9. Derrick Crane Moving										█													
	10. Survey A																							

제 도포 시 콘크리트 흘러내림 방지용 합판의 표면에도 동시에 도포한 후 건조시켰다.

④ Recess box 및 정착구 설치 : 강성 정착구가 있는 프리캐스트 슬래브 제작 시 recess box 및 정착구를 조립하고 쉬스판을 연결하여 거푸집의 정착구 위치에 단단히 고정하였다.

⑤ 철근 가공, 조립 : 프리캐스트 슬래브 종류별로 철근을 조립하고 방호벽 및 보차도 경계블럭 철근 및 그 외 노출철근은 콘크리트 양생 후 방청 처리하였다. (〈그림 18, 19〉 참조)

⑥ 검측 : 철근조립이 완료된 상태에서 실시하며, 콘크리트 타설 당일의 기상조건, 슬래브 번호, 타입, 거푸집의 조립상태, 철근의 조립상태, 매입물의 종류, 위치 등을 검사하였다.

⑦ 콘크리트 타설 : 콘크리트 타설 시간은 1~2시간/3EA 정도 소요되었으나, 동·하절기 및 현장여건을 감안하여 적절하게 조절하였다. 콘크리트의 타설 순서는 모서리에서 중앙부로 타설하였다.

⑧ 양생천막 설치 및 양생관리 : 콘크리트 타설 후 초기 경화를 시작할 때부터 2~4시간 경과 후 증기를 가하기 시작하였다. 양생온도는 40°~50° 사이를 4시간 이상 유지하도록 하였으며 동·하절기 및 현장여건을 고려하여 조정하였다. 양생막 내외부 온도차이가 10° 이내 일때 양생막을 해제하였다.

⑨ 거푸집 탈형 : 거푸집 해체 시 기준강도는 21 MPa 이상으로 하였다.

⑩ 운반 및 야적 : 프리캐스트 슬래브 운반 시 고정점은 프리캐스트 슬래브에 기 설치된 4개소의 lug point에 spread beam을 연결하여 수직으로 인양한 후 이동식 리프트로 운반하였다. 제작장에서 야적장으로 이동시의 기준강도는 21 MPa 이상이 되도록 하였으며, 사장교 주형에 가설시 기준강도는 40 MPa 이상이 되도록 하였다. 제작된 슬래브는 콘크리트 타설 후 60일간 양생을 하여 가설 후의 크리프 및 건조수축의 영향이 최소화하도록 하였다.

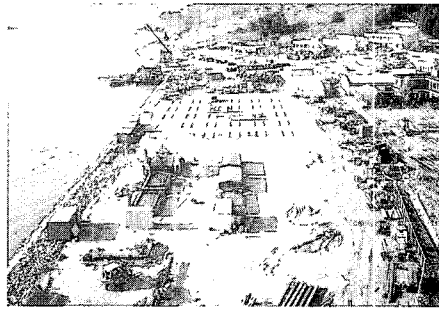


그림 17. P.C. 슬래브 작업장

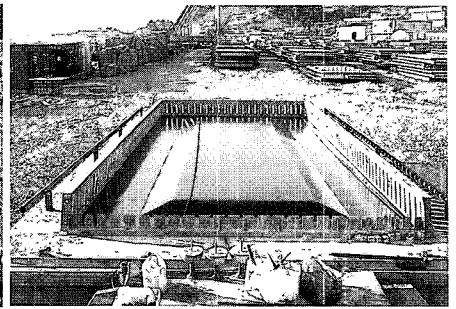


그림 18. 프리캐스트 슬래브 제작 I

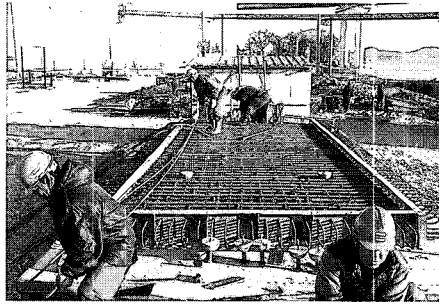


그림 19. 프리캐스트 슬래브 제작 II

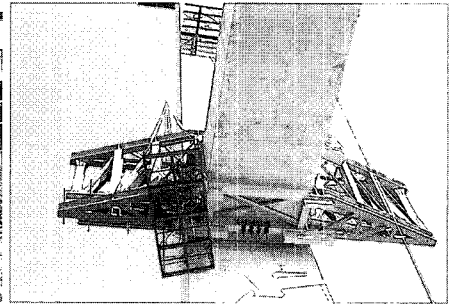


그림 20. 주두부 브라켓 설치

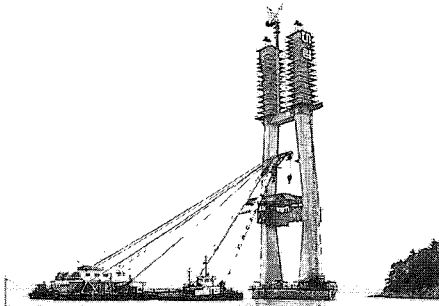


그림 21. 주두부 가설모습 I

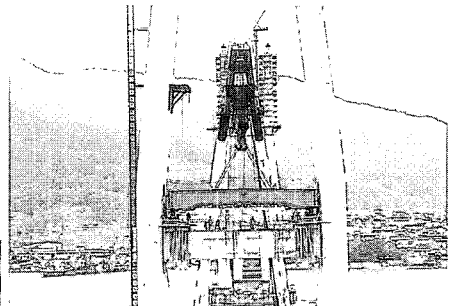


그림 22. 주두부 가설모습 II

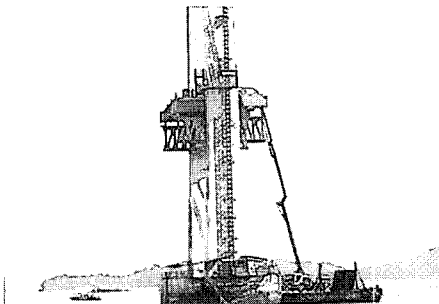


그림 23. 주두부 가설모습 III

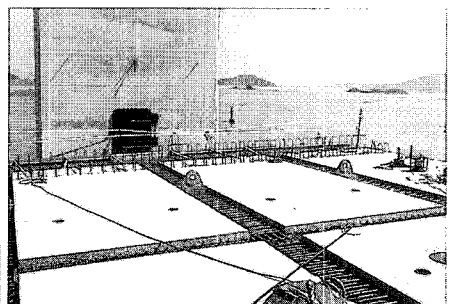


그림 24. 주두부 가설모습 IV

4.3.2 주두부 브라켓 설치

주두부 브라켓은 지상에서 사전 제작, 조립하여 300 톤 해상 크레인으로 주탑 Strut-1에 설치하였다. (〈그림 20〉 참조)

4.3.3 주두부 가설

주두부의 가설은 상부구조의 시발점으로 지상에서 주두부 강형을 조립하고, 해상 부양 크레인(700 톤을 이용하여 거치하였다. 설치 위치의 주탑 내측 부분에는

나무로 된 패드를 설치하여 주두부 강형 가설 시 충돌에 대비하였으며, 임시 브라켓 상단에 일시적인 잭 서포터로 주두부 강형을 지지하도록 하여 정확한 높이 (elevation)에 안치시키도록 하였다. (〈그림 21〉~〈그림 24〉 참조)

4.3.4 강형 가설

강형은 지상에서 조립하여 바지로 설치 위치까지 운반, 상부구조에 가설된 데릭

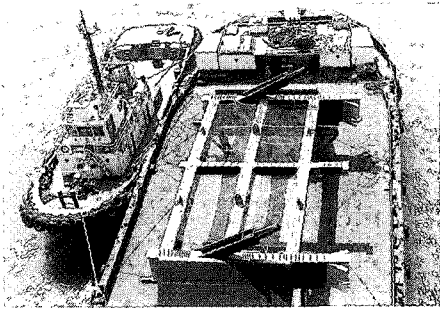


그림 25. 강형 가설 I

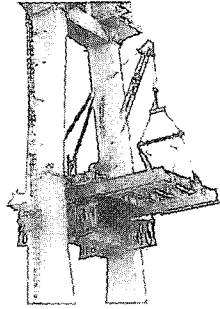


그림 26. 강형 가설 II

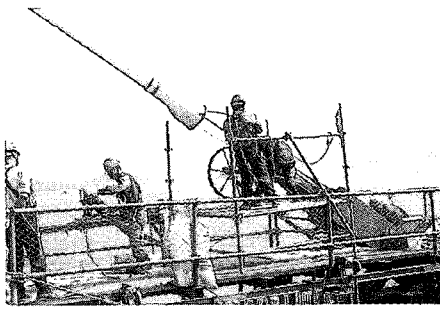


그림 27. 케이블 설치 및 인장 I

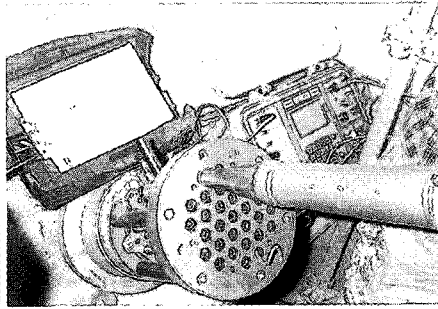


그림 28. 케이블 설치 및 인장 II

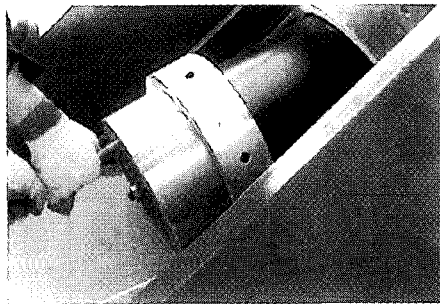


그림 29. 정착구 설치 I

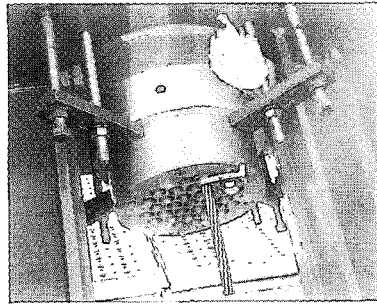


그림 30. 정착구 설치 II

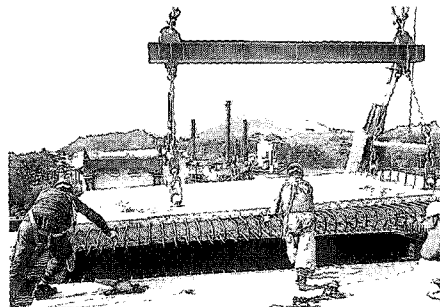


그림 31. 프리캐스트 슬래브 거치

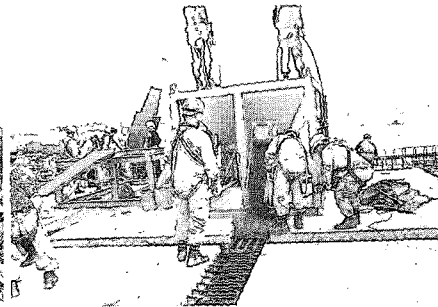


그림 32. 조인트 콘크리트 타설

크레인으로 인상하여 가설하였다.((그림 25, 26) 참조)

4.3.5 케이블 설치 및 인장

삼천포대교에서 사용된 케이블의 강선 수는 22 EA에서 55 EA까지 다양하게 사용되었으며, Isotension 공법으로 시공되

었다.((그림 27 ~ 30) 참조)

4.3.6 프리캐스트 슬래브 거치 및 조인트 콘크리트 타설

(1) 해상부 운반

집안시설에 이동식 리프트를 사용하여 운반, 야적된 프리캐스트 슬래브를 육상

크레인(50 톤)을 이용하여 바지(barge)에 선적하였다. 바지의 프리캐스트 슬래브는 강형 반입수량이 2조임을 감안하여 장씩 선적하였다. 프리캐스트 슬래브의 양 및 거치는 교량 상판에 설치된 데릭 크레인으로 하였다.((그림 31) 참조)

(2) 조인트 콘크리트 타설

현장 조인트 타설용 무수축 콘크리트는 2시간 이내에 연속 타설되도록 배합설계되어 있으므로 모든 현장 타설 계획이 이에 준하여 수립되었다. 무수축 콘크리트 현장 타설은 특수 제작된 호퍼로 데릭 크레인을 사용하여 콘크리트를 인양, 타설하였으나 장시간 소요되어 계획을 변경,타워크레인으로 무수축 콘크리트를 인양, 타설하였다.((그림 32) 참조)

5. 맺음말

대림산업(주)에서 시공한 삼천포대교는 구조적으로 비슷한 서해대교를 2000년도에 완공함으로써 쌓은 기술력을 바탕으로 우수한 품질관리와 무사고로 공사를 마무리 할 수 있었다. 삼천포대교의 건설은 특수교량의 시공에 있어서 대림산업(주)이 우리나라 최고의 기술력을 가지고 있다는 자부심을 갖게 해주었으며, 특히 본 공사는 구조해석, 설계 및 시공, 유지관리까지 순수 100% 국내기술로 이루어진 최초의 특수교량으로서 세계에 특수교량의 기술력을 인정받게 되는 기념비적인 공사라 할 수 있다. 앞으로 대림산업(주)은 이러한 기술력을 바탕으로 우리나라 건설을 이끌어 갈 수 있는 선두주자로 더욱 매진해 나갈 것이다. □