인천대교와 신기술들

New Technical Method in Incheon Bridge

글 / 尹 萬 根
(Yoon, Man Keun)
토목시공기술사,
삼성물산(주) 건설부문 인천대교현장 전무.

This is briefly to introduce about design and construction method newly adopted in Incheon Bridge construction site. The Incheon Bridge Project are divided into 3 parts, that is Cable Stayed Bridge, Viaduct Bridge and Approach Bridge. In this paper, we will describe overview and construction sequence of each kind part.

1. 공사개요

인천대교 건설공사는 영종도 인천국제공항과 송도국제도시를 연결하는 총 연장 12.343km의 국내 최장 해상교량으로서 사장교 1.480km, 접속교 1.778km, 고가교 8.4km로 구성된 11.685km의 해상교량과 요금소 0.685km로 구성된다. 사장교는 주탑 높이가 약 238.5m, 주탑간의 거리인 주경간이 800m로 국내 최대이자 세계 5번째 규모로 영국에서 10대 건설 프로젝트에 선정된 세계에서도 우수성을 인정받은 교량이다.

접속교는 사장교와 고가교를 연결하는 교량으로 사장교의 서측구간(5.95km)과 동측구간(2.45km)에 위치하고 있으며, 주경간 145m로서 프리캐스트 세그멘탈 교량으로서는 국내 최장지간이며 FCM(Free Cantilever Method) 공법이 적용되었다.

고가교는 중앙경간 50m의 5경간 연속교로서, 국내 최초 말뚝 벤트를 적용한 교량 하부구조로서 종방향 및 횡방향 프리텐션 방식을 적용한 PSC 박스거더교이다.

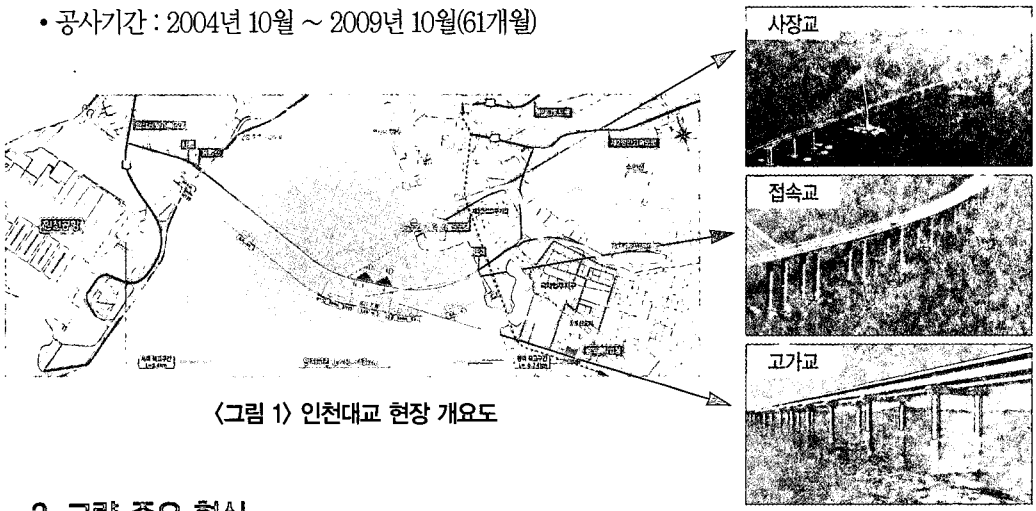
공사개요를 간략히 정리하면 다음과 같다.

- 교량명: 인천대교 • 위치: 인천국제공항(영종도) ~ 송도국제도시
- 사업비: 1조 2천 9백 18억 원
- 규모: 요금소(0.685km) + 서측고가(5.95 km) + 서측접속(0.889km) + 사장교(1.480km) + 동측접속(0.889km) + 동측고가(2.45km) = 총 12.343km
- 사업시행자 : KODA개발(주) [영국 AMEC + 인천시]
- 사업방식: 민간투자공사 [BOT : 30년간 운영]

• 시공사: 삼성 JV [삼성, 대림, 대우, GS, 한진, 한화, 금호]

• 설계사: 서영, Chodai(이상 설계사), Halcrow, Ove Arup, 다산컨설턴트(이상 Checker)

• 공사기간 : 2004년 10월 ~ 2009년 10월(61개월)



〈그림 1〉 인천대교 현장 개요도

2. 교량 주요 형식

2.1 사장교

2.1.1 개요

인천대교 민간투자사업의 주교량인 사장교는 다양한 형식 비교 후, 중간교각을 포함한 5경간 연속 사장교 형식을 채택하여 활하중에 의한 과대한 변형이나 부반력을 억제할 수 있으며, 가설 중 내풍안정성을 높일 수 있다. 사장교의 주요 사항을 간략히 정리하면 다음과 같다.

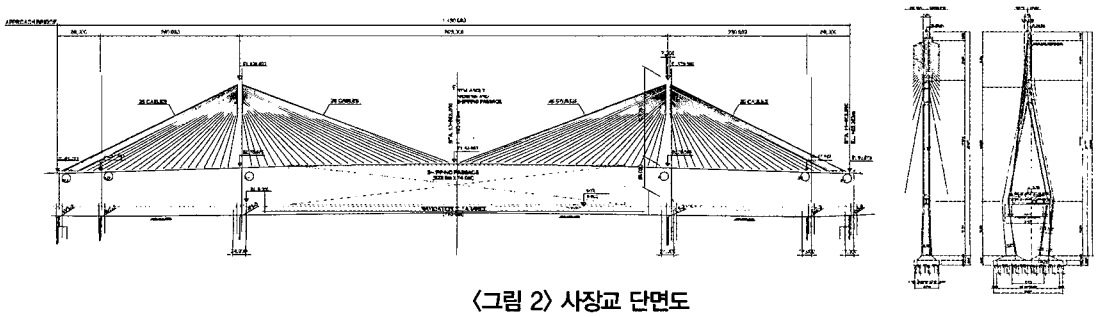
• 지간분할 : 80+260+800+260+80 = 1,480m(5경간 연속 사장교)

• 기초 : 현장타설말뚝 직경 3.0m(24본/기초) • 보 강 형 : 유선형 강바닥판 박스거더 형식

• 주탑 : 역Y형 콘크리트 주탑(높이 239m)

• 케이블 : Semi Fan Type의 NPWS Cable (총 208 EA)

• 주거더 폭원 : 왕복 6차로의 33.4m ◦ 종단구배 : 3.0% • 설계속도 : 100km/h

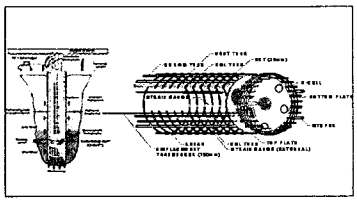


〈그림 2〉 사장교 단면도

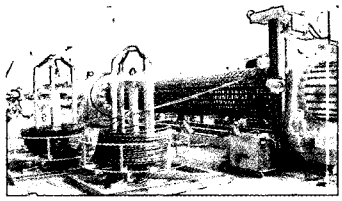
2.1.2 주탑 기초

현재 국내에 시공된 주요 장대교량의 기초형식으로는 가물막이 공법이나 뉴메틱 케이슨을 이용한 직접 기초로서, 품질, 공사비 및 공기면에서 불리하다. 하지만, 인천대교 현장에서는 양방향 재하시험(Osterberg Cell)을 적용함으로서 대구경 대용량의 재하시험이 가능하게 되었으며, 이를 통해 세계 최대인 약 29,000톤까지 시험을 수행함으로서 국내 최대 직경인 3.0m의 현장타설 RCD Pile 24본(주탑 1기당)의 다주식 기초형식을 적용함으로서 향후 장대교량 주탑 기초의 새로운 패러다임을 창조하였다. 철근 Jig와 인력조립에 의한 지금까지의 철근망 제작방식을 국내 최초로 자동화 철근망을 개발, 적용하여 최대 철근 직경 51mm, 길이 12m의 철근망을 약 4,000여 개 제작함으로써 기존 방식에 비해 품질확보 및 작업 효율성을 극대화하였다.

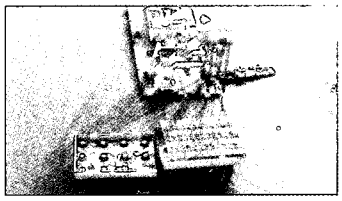
또한, 해상에서 기초 콘크리트를 타설하기 위한 거푸집으로 PC House 12.5m 35m 5.3m 크기의 1,500톤 급 콘크리트 함 2기를 육상제작장에서 분할 제작한 후 3,000톤급 해상 F/C로 운반, 설치함으로써 해상 콘크리트 타설을 위한 거푸집 제작 및 해체의 어려움을 개선하였다.



〈그림 3〉 Osterberg Cell 시험



〈그림 4〉 철근망 자동화 제작



〈그림 5〉 PC House 설치

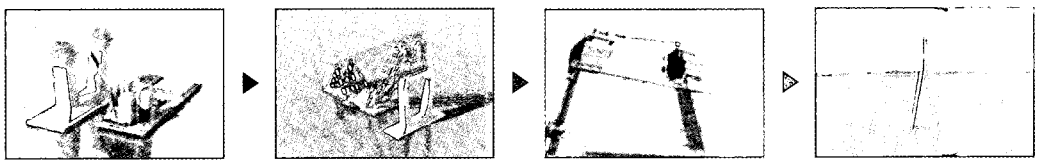
2.1.3 주탑

1) 일반사항

주탑은 교량 전체의 비틀림 강성을 향상시키기 위해 역Y형 콘크리트 주탑을 적용하였다. 역Y형 주탑은 H형이나 단일기둥형식에 비해 거더의 비틀림 진동수가 커서 플러터 발생 풍속을 높일 수 있다. 주탑 형상은 마름모이며, 항로 높이가 74m로 높으며 중앙 경간이 길어서 콘크리트 주탑 높이가 약 239m에 달한다.

2) 주탑 시공순서

① Lower Part시공 ② 주탑가로보 가설 ③ Middle Part 시공 ④ Upper Part 시공



3) 주요 적용기술

주탑은 Lower Part, Middle Part, Upper Part, Cross Beam 총 4개의 요소로 구성되며, 설계

기준강도는 45MPa, 높이는 238.5m이다. 주요 적용기술은 다음과 같다.

① 선형관리관련

- 200m 이상급 콘크리트 주탑의 선형관리기술 - 시공단계별 Creep, Shrinkage 해석 기술

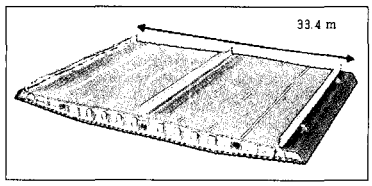
⇒ 회사 자체 개발 프로그램인 PC-CAP을 사용하여 자체적으로 해석 수행

② 시공관련

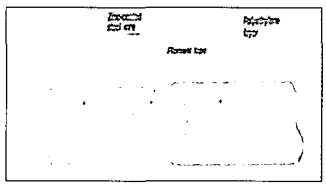
- 변단면 경사 주탑 ACS Form 시공기술 - 주탑 수평재 Precast화 및 일괄 가설 기술
- 주탑 강각 정착구의 Unit화 및 Metal Touch 적용에 의한 시공성 향상

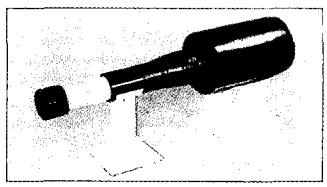
2.1.4 보강형 및 케이블

보강형 형상은 내풍성, 비틀림 저항성, 시공성 등이 우수한 6각형 박스형 단면이며, 케이블은 단면이 작아 풍하중에 유리하고, 시공성이 뛰어난 극한강도 1,770MPa의 NPWS(New Parallel Wire Strand)를 채택하였다.



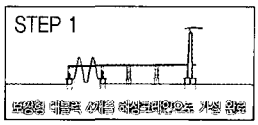
〈그림 6〉 보강형 단면도

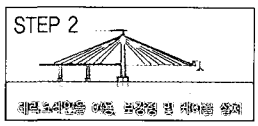


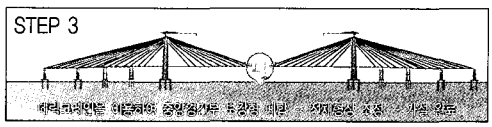


〈그림 4〉 철근망 자동화 제작

■ 보강형 및 케이블 가설순서





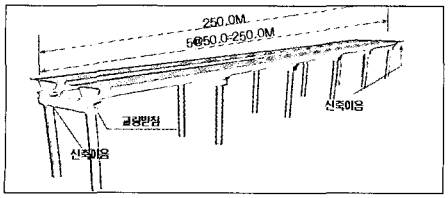


2.2 고가교

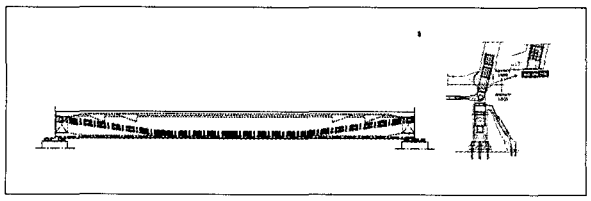
2.2.1 일반사항

• 폭원 : 15.7m (편도 3차로) • 경간 : 50m (5경간 연속교) • 거더 콘크리트 강도 : 45MPa

• 하부구조 : Pilecap 구조(직경 1.8m*8개 군말뚝+기초), Pilebent 구조(직경 3.0/2.4m)

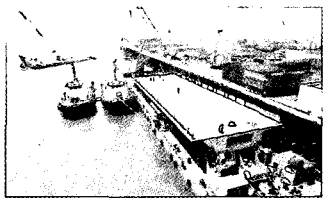


〈그림 8〉 고가교 경간 및 Pilebent 하부구조

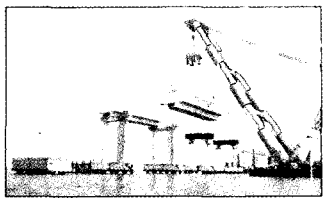


〈그림 9〉 종방향 텐던 배치도 및 Hold-down device 상세

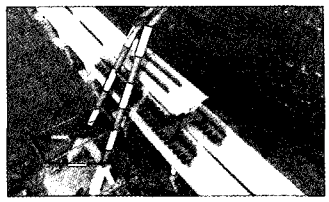
2.2.2 고가교 상부 가설 순서(Full Span Launching Method)



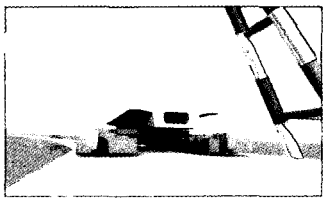
단계 1. 상부거더 제작 및 운반



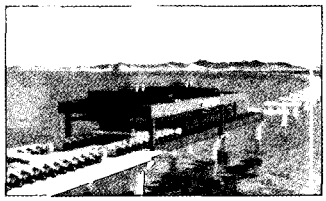
단계 2. 상부거더 상치(F/C)



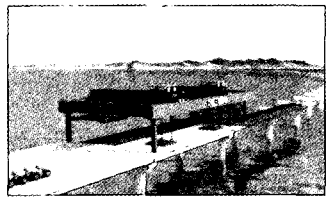
단계 3. 상부거더 상치(F/C, Trailer)



단계 4. 상부거더 이동



단계 5. 상부거더 Lifting

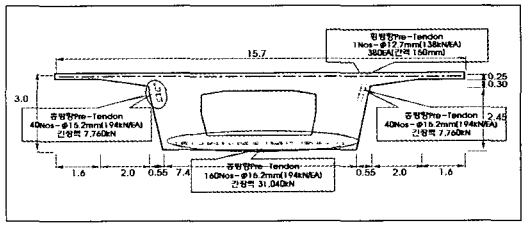


단계 6. 상부거더 거치(L/G)

2.2.3 인천대교 고가교 상부거더의 설계상 특징

1) 횡방향 프리텐션방식 텐던 도입

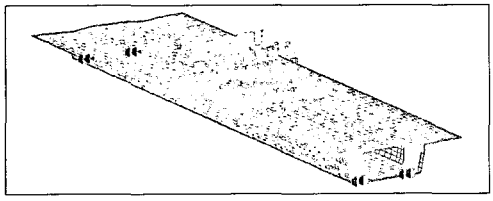
횡방향 프리텐션방식 텐던을 도입함으로써 그라우팅 등 추가 작업을 줄이도록 설계하였으며, 프리텐션방식의 경우, 텐던과 콘크리트와의 부착에 의해서 긴장력이 도입되기 때문에 부착 효과를 위한 일정한 전달길이와 정착 길이가 필요하므로 AASHTO LRFD에 따른 deck overhang 설계에 따라 별도의 추가 철근을 캔틸레버 양단에 배근하였다



〈그림 10〉 종방향 및 횡방향 텐던 배치(격벽부)

2) 횡방향 설계

횡방향 해석으로 현재 국내에서 주로 사용되고 있는 윤하중 분포폭을 사용한 2차원 골조해석 대신 그림과 같은 3차원 판해석을 통한 결과를 반영하였다. 상부슬래브와 복부에서는 2차원 골조해석과 3차원 판해석의 결과가 큰 차이를 보이지 않지만, 하부슬래브에서는 〈표 1〉과 같이 최대 3배 정도의 단



〈그림 11〉 박스거더 3차원 판해석 모델 및 활하중 재하도

〈표 1〉 하부슬래브 단면력 비교

구 분	Mu(MN.m)	ΨMn(MN.m)	철근 배근
2D 골조해석	0.045	0.075	D16@150
3D 판해석	0.015	0.049	D13@150

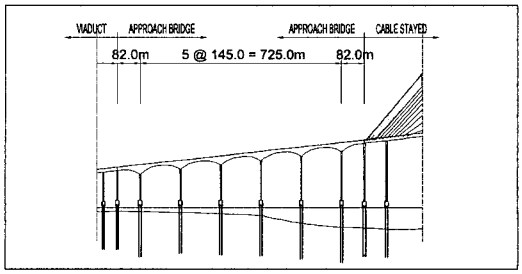
면력의 차이가 발생하였다. 인천대교의 경우, 단면력에 의한 철근량이 최소 철근량 기준(AASHTO LRFD 5.14.1. 3.2b)보다 작아서 최소 철근량인 단면적의 0.5%에 해당하는 철근을 배근하였다.

2.3 접속교

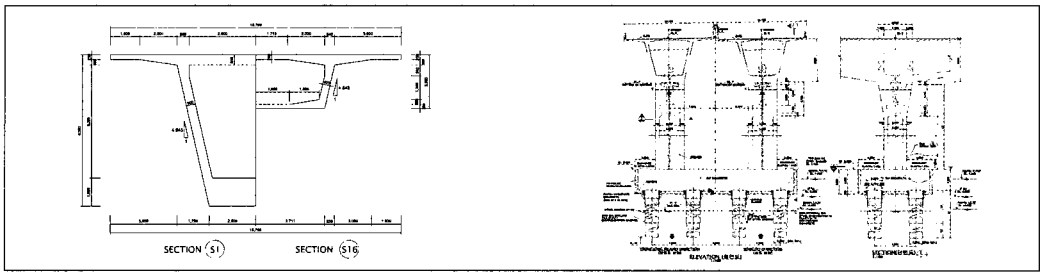
2.3.1 개 요

인천대교 접속교는 사장교와 고가교를 연결하는 교량으로 주경간 145m로서 국내 최장지간의 프리캐스트 FCM 해상교량이다. FCM 공법은 가설 장비를 사용하여 교각을 기준으로 양쪽 방향으로 동시에 세그멘트를 시공하며, 해상에서 인양하는 장비의 용량에 변단면 세그멘트를 3m~4m로 분할하여 제작, 가설하게 된다. 국내 FCM 교량의 경우 Form Traveler를 사용하여 세그멘트를 현장타설로 제작하는 방법이 주로 사용되었으나, 인천대교 접속교의 경우 제작장에서 미리 세그멘트를 제작하여 바지선으로 해상으로 운반하고 데릭크레인으로 인양하여 가설하는 프리캐스트 FCM 방법이 적용되었다. 접속교의 주요 제원은 다음과 같다.

- 총연장 : 동측 및 서측 접속교 = 1,778m
- 경간 구성 : 82 + 5@145 + 82 = 889m (동측/서측)
- 상부 : 프리캐스트 박스거더 (H = 3.0m~8.5m)
- 교각 : 중공 사각 기둥 (5 m *4 m *0.7 m)
- 기초 : (27.2m *13.4m*5m)
- 말뚝 : 현장타설말뚝 (8ea-ϕ2.4)



〈그림 12〉 접속교의 경간 구성



〈그림 13〉 접속교의 대표 세그먼트 및 상, 하부 구성

2.3.2 접속교 상, 하부 설계

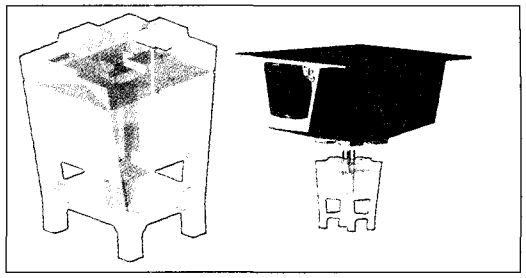
인천대교 접속교의 상, 하부 설계에 대해 주요항목별로 살펴보면 다음과 같다.

1) 프리캐스트 공법의 채택

2) 대블럭 : 주두부 대블럭은 교각 위에 거치되는 상부거더로서 소블럭 시공의 기초가 되는 부재이다. 주두부 대블럭은 공기단축 및 해상작업의 최소화를 위해 길이 20m, 중량 1,400ton의 대형 블

럭으로 계획되었으며, 제작장에서 제작되어 3000ton 해상크레인으로 운반하여 가설된다.

3) 매치캐스트 블록 : 주두부 대블럭을 20m로 계획함에 따라 빠른 시공이 가능하게 되었으나, 중량이 커서 미세조정이 힘들고 대블럭 가설 시 오차가 발생하는 경우, 키세그 폐합 시 오차가 커지는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위하여 교각과 주두부 대블럭 사이에 매치캐스트 블록을 계획하였으며, 상대적으로 가벼운 (총중량 65톤) 매치캐스트 블록을 교각 위에 정확하게 가설함으로써 요구되는 교량의 선형을 정밀하게 확보할 수 있게 된다.



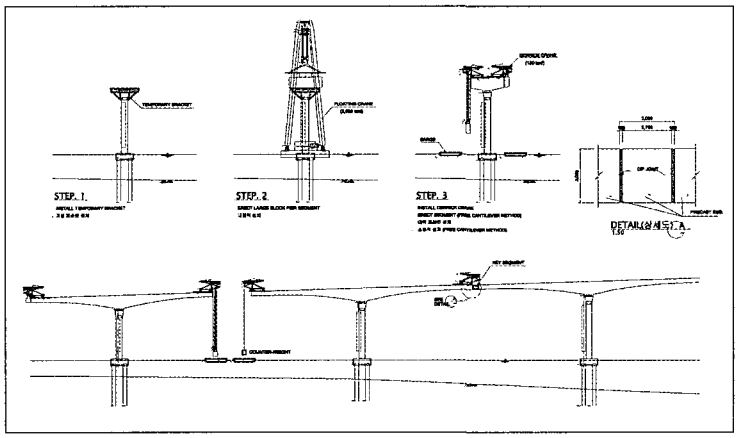
〈그림 14〉 매치캐스트 블록을 이용한 주두부 대블럭의 가설

4) 소블럭 : 145m 경간은 대블럭(20m)과 34개의 소블럭(14ea-3m, 20ea-4m) 및 키세그멘트(3m)로 구성된다. 소블럭은 세그멘트의 중량에 따라 3m 또는 4m로 분할하였으며, 이전 세그멘트의 접합면을 거푸집의 면으로 사용하여 다음 세그멘트를 제작하는 숏라인 공법으로 제작된다.

5) 단부 세그멘트 : 단부 경간 82m 중 캔틸레버로 가설되는 71m를 제외한 11m 구간이 브라켓으로 지지되는 현장타설방법으로 시공된다.

2.3.3 제작 및 가설

다음으로, 제작 및 가설에 대한 주요 순서를 살펴보면 다음 그림과 같다.



〈그림 15〉 인천대교 접속교의 시공 순서도

3. 결론

이상에서와 같이 당 현장에서는 다양한 공법 시도 및 신기술을 개발하여 국내 토목기술 발전에 기여하고자 하며, 초대형 교량공사건설을 우리의 독자적인 기술력을 바탕으로 성공리에 수행함으로써 이를 통한 국내 건설 기술력의 확보와 자신감을 고취하고자 한다.

(원고 접수일 2006년 10월 17일)