

# 케이블과 비대칭 구조를 이용한 사장교 주두부 시공 방법

## The Erection Method of Starter Segment for Cable Stayed Bridge using Asymmetric System and Cable

조서경\*      윤태섭\*\*      정승욱\*\*\*      이재찬\*\*\*      어준\*\*\*\*  
Cho, Seo Kyung   Yoon, Tae Seob   Jeong, Seung Wook   Lee, Jea Chan   Eo, Jun

### ABSTRACT

In this paper the erection method of the Seohae Bridge starter is presented. The erection method of starter for cable stayed bridge was changed from conventional bracket supported erection to heavy lifting supported directly by stays. There was the need to reduce the erection time drastically. The cost saving was obtained as a bonus.

### 1. 서론

사장교는 가설을 위해 본구조의 보강 없이 가설 시 구조체인 케이블을 그대로 이용할 수 있어 캔틸레버 공법을 사용하기에 가장 유리한 교량 형식이라고 할 수 있다. 멀티 케이블 사장교의 출현으로 케이블 간격은 더욱 좁아지고 보강형 거더는 더욱 날렵해짐으로서 최근 20년간 건설된 사장교에 있어서 상부구조의 시공 방법은 사장교 주경간의 시공에 있어 특수한 경우를 제외하고 대부분 캔틸레버 공법으로 시공되고 있는 추세이다.

사장교의 캔틸레버 공법은 주두부를 먼저 가설하고 그 위에 가설용 인양 크레인이나 Form Traveller(콘크리트 사장교의 경우)를 설치한 후 가설용 장비를 이용하여 교량 양방향으로 한 블록씩 상부 거더를 가설해 나가는 방법으로서, 가설용 장비를 설치하기 위한 주두부의 시공이 가장 먼저 선행되어야 한다. 이러한 주두부의 시공은 인양능력이 작은 장비를 이용하여 단재로 가설할 경우 많은 공기를 필요로 하고 대형장비 즉 대형해상 인양크레인을 이용한다고 하더라도 일반적으로 우선 하나의 장비를 설치할 수 있는 공간을 확보하고 설치된 장비를 이용하여 추가의 공간을 시공한 다음 나머지 장비를 설치하여 주탑의 양쪽으로 캔틸레버시공을 할 수 있는 여건을 갖추게 된다. 그 과정에

\* 정회원, 대림산업(주) 기술연구소 전략과제팀장 차장

\*\* 대림산업(주) 거금대교 현장소장

\*\*\* 대림산업(주) 청량리-덕소전철공사현장 차장

\*\*\*\* 대림산업(주) 기술연구소 연구원

두 대의 장비에 대한 각종 사용 전 검사를 수행하여 안전성과 작업성을 확인하여야하고 추가의 세그먼트를 가설하여 공간을 확보하는 과정 또한 상당한 시간이 필요하고, 현장에서 최초 시행되는 공정으로 시행착오로 인한 공기지연의 가능성이 적지 않음이 사실이다. 대형장비의 사용은 사용기간에 대한 비용이 높게 발생하기 때문에 한번의 인양으로 설치가 완료되는 공정에 주로 사용된다. 사장교의 주두부에서는 다단계공정으로 인한 비용의 부담과 주탑으로 인한 대형장비와의 간섭 때문에 대형장비의 사용이 어렵다. 본 논문에서는 서해대교의 사장교 시공에서 공기 단축을 위해 새롭게 도입된 주두부의 시공법을 소개하고자한다.

## 2. 사장교 주두부 가설

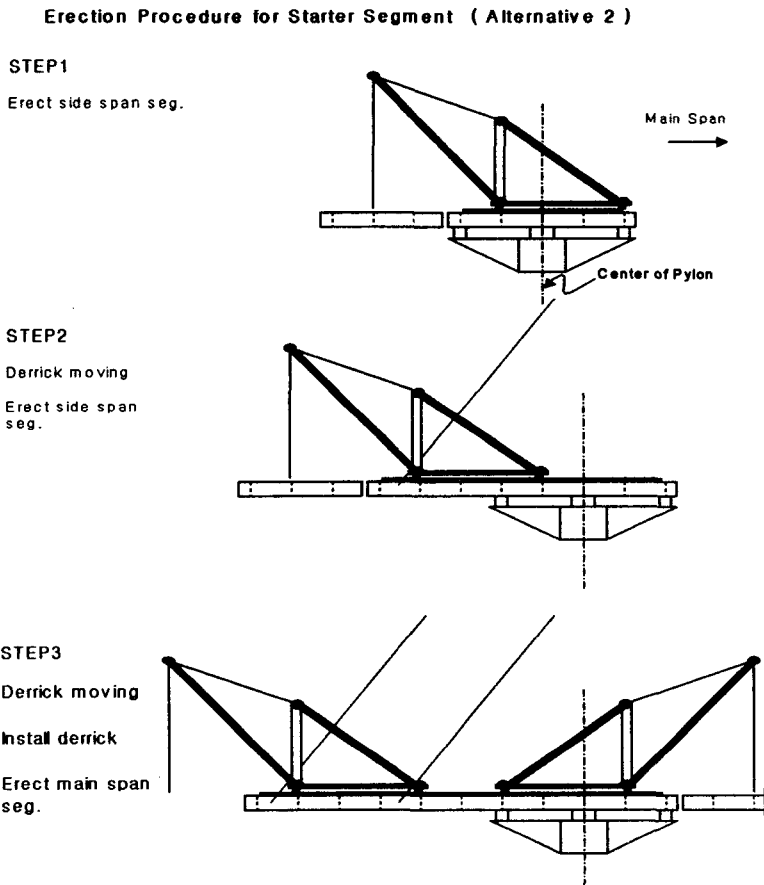


그림 1 삼천포대교 주두부 시공계획

켄틸레버 시공을 위해선 인양 크레인이나 Form Traveller를 설치하여 켄틸레버 단부를 순차적으로 시공해 나간다. 켄틸레버 시공을 위해서 가설장비를 설치할 최초의 공간을 확보하는 것이 주두부의 시공이다. 일반적으로 인양크레인 한대를 설치할 수 있는 공간의 주두부를 시공하고 설치된

인양크레인을 이용하여 가설을 통하여 가설을 시작한다. 추가의 가설로 나머지 인양크레인을 설치할 수 있는 충분한 여유 공간이 확보되면 두 대의 인양크레인이 설치되어 본격적인 캔틸레버시공이 시작된다. 그림 2에서는 삼천포대교 시공 시 사용된 브라켓과 주두부를 설치한 이후의 정상적인 캔틸레버 시공까지의 시공공정을 보여주고 있다.

주두부의 시공은 인양크레인이 설치되기 이전의 일이므로 별도의 장비를 필요로 한다. 해상크레인, 유압윈치, 타워크레인 등 인양 장비와 가설방법에 따라 다양한 시도가 가능하다. 종래에 캔틸레버 공법을 위한 주두부의 시공 방법은 단재 가설 공법, 블록 가설 공법, Incremental Launching 공법, 가지보공법 등이 사용되었다<sup>[1]</sup>.

가설용 장비를 주두부에 설치하기 위해서는 주두부 위의 충분한 공간 확보가 필요하며, 특히 주문 제작되어 처음 사용되는 가설 장비는 여러 가지 현장 Test를 통하여 안전성 및 기능성을 검증한 이후에 사용되어야 하기 때문에 많은 시간을 필요로 한다. 주두부를 설치하고 장비 하나를 설치하고 이 장비를 이용하여 나머지 장비를 설치하기 위한 추가의 공간을 확보한다. 이러한 일련의 과정을 살펴보면 두 대의 크레인을 설치할 충분한 공간을 확보하여 정상적인 캔틸레버 시공을 하기 까지는 많은 시간이 걸리는 것을 알 수 있다.

### 3. 공법의 개요

본 공법은 합성형 사장교 건설에서 캔틸레버 공법을 수행하기 위한 주두부의 가설 시 공사 기간을 최대한 단축하고 비용을 최소화하며 고공 작업에 따른 현장에서의 위험 요소를 최대한 제거하기 위하여 개발된 주두부 가설 공법이다. 본 신기술은 합성형 사장교의 주두부 가설 공법에 있어서 두 대의 가설용 인양 크레인을 올려놓을 수 있는 넓은 크기의 주두부를 비대칭으로 제작하고 이를 해상 크레인을 이용하여 주탑에 가설하는 방법으로써, 지지하는 구조물로 임시 Bracket을 사용하지 않고 Stay Cable(Temporary Cable 또는 Permanent Cable)을 사용함으로써 가 시설물의 제작 및 해체에 따른 번거로움을 피하고 공정을 단순화 시키며 공기를 대폭 단축시킨 주두부 가설을 위한 신공법이다.

### 4. 신기술의 내용

#### 4.1. 주두부의 비대칭 제작

해상 Crane으로 들어올릴 수 있는 장소에서 주두부를 제작하며 주두부의 크기는 두 대의 가설용 인양 크레인을 올려놓을 수 있는 정도로 충분한 크기 이어야 한다. 이때 중요한 사항은 주두

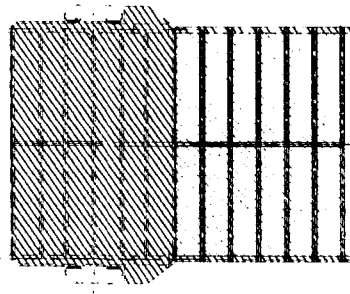


그림 2 비대칭 주두부 제작 예

부가 주탑을 기준으로 비대칭으로 제작된다는 점이다. 본 신기술 공법에서 비대칭으로 주두부가 제작되어야만 하는 이유는 주탑과 대형 해상크레인의 간섭을 피하기 위함이며 그림 3은 실제 본 신기술이 적용된 서해대교 비대칭 주두부 제작의 한 예를 보여주고 있다. 또한, 주두부에는 수평방향의 이동을 막을 수 있는 걸림턱이 설치된다. 이 걸림턱은 주두부의 고정에 케이블을 사용함으로써 발생하는 주두부의 수평력을 제어해 주기위해서 필요하다.

#### 4.2. 주두부 가설 공정

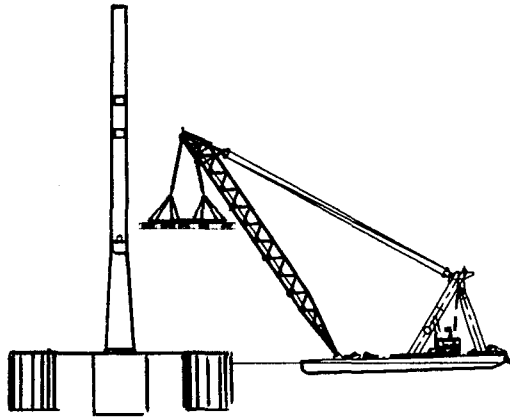


그림 3 주두부의 인양

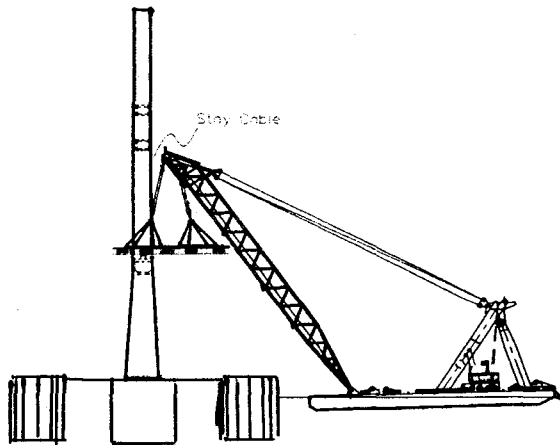


그림 4 케이블을 이용한 주두부 고정

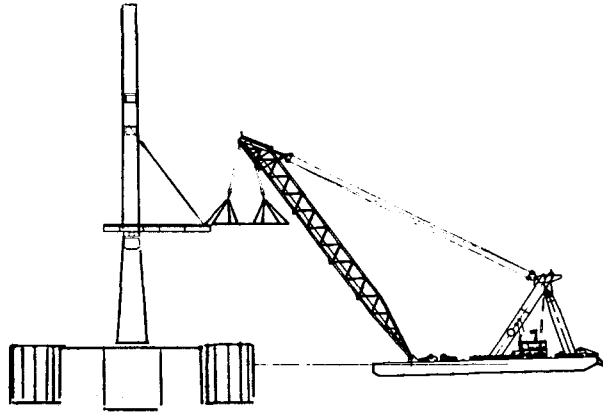


그림 5 주두부 설치완료

본 공법을 적용하여 주두부를 인상하고 주탑에 거치 시키는 공정 순서는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 제작이 완료된 주두부에 Lifting Beam, 가설 Cable용 Anchor, 충격 방지용 Wood Pad를 설치하며, Stay Cable은 주탑마다 미리 설치한다.
- 해상 Crane을 현장 조립장으로 이동시켜 Mooring 작업, 위치 조정 및 Rigging 작업을 수행한다.
- 인양 작업 전 해상 Crane의 중심선은 교축과 일치하도록 조정한다.
- Rigging 작업 완료 후 하중의 30%를 인양하고 Lug 및 Wire의 체결 상태를 점검한다.
- 안전 점검이 끝나면 단계적으로(30%→50%→70%→100%)를 인양하면서 구조물과 Lug, Wire의 체결 상태를 재확인하고 지면에서 1.5m 높이까지 Lifting 한 후 하부 Flange의 도장막 손상 부분에 Touch up Painting을 실시한다.
- 주탑을 소정의 높이까지 인양한 후 해상 Crane의 중심선과 Level을 확인하고 주탑 앞까지 1차 전진한다.(그림 3.)
- 주탑 사이에 주두부를 삽입시켜 2차 전진을 저속으로 진행한다.
- 진입이 끝난 후 주탑쪽에 미리 설치된 Stay Cable을 강형에 부착된 Anchorage에 고정시킨다.(그림 4.)
- 케이블의 고정이 끝난 후 중심선 및 Level의 측량을 계속하면서 주두부를 하강시키고 Shoe에 안착시킨다.
- Stay Cable을 인장하면서 주두부의 Level을 조정한다.
- 인장 작업이 끝나면 해상 Crane의 Sling Wire를 해제하고 해상 Crane을 철수시킨다.(그림 6 참조)

그림 4, 그림 5에서와 같이 주탑으로 인해 통상적인 주두부의 형태로는 해상크레인을 이용하여 설치할 수가 없다. 두 대의 가설용 인양 크레인을 위에 올려놓을 수 있는 크기의 주두부를 제작하여

주탑에 거치 시킬 때, 대칭으로 주두부를 제작하였을 경우 해상 Crane과 주탑의 가로보 또는 주탑의 좌우 기둥과의 간섭 또는 충돌이 생긴다. 따라서 이러한 간섭이나 충돌을 피하기 위하여 비대칭으로 주두부를 제작하여 주두부의 무게 중심을 주탑 중심에서 멀리 이격시킨다. 그림 4.에서와 같이 해상 Crane의 Boom과 주탑과는 약 3~4m의 간격을 두고 위치하게 되며 주두부는 비대칭 구조로 주탑에 거치 되는 것이다. 이러한 비대칭 구조를 통하여 주탑과 크레인의 간섭을 피하여 가설용 인양 크레인 2대를 동시에 설치할 수 있는 큰 주두부를 주탑부에 한번에 거치 시킬 수 있다.

#### 4.3. 케이블을 이용한 주두부의 지지

본 공법의 핵심은 앞서 설명한 바와 같이 주두부의 비대칭 구조와 더불어 임시 Bracket을 설치하지 않고 Stay Cable을 이용하여 주두부를 지지하는 것이다. 이때 Stay Cable은 현장 여건에 따라 Temporary Cable을 사용할 수도 있고 Permanent Cable을 사용할 수도 있다. Temporary Cable을 사용할 경우 신속히 케이블을 주두부에 정착할 수도 있고 정착 후 인장력을 케이블에 주는 방법이 편리하다는 장점이 있는 반면에 Temporary Cable을 위한 별도의 정착구를 만들어야 하는 번거로움이 있다. 그러나 조수 간만의 차이가 심하고 기상 상태도 나빠 장시간 작업하기에 어려운 현장 상황에서는 신속히 케이블을 정착해야 하기 때문에 Temporary Cable이 효과적이라고 할 수 있다. Permanent Cable은 장시간 해상 Crane이 주두부를 거치시키기에 무리가 없고 기상 상황 등의 현장 여건이 나쁘지 않을 경우 사용하면 편리하다.

### 5. 부대장치 및 검토사항

#### 5.1. 조수위의 영향

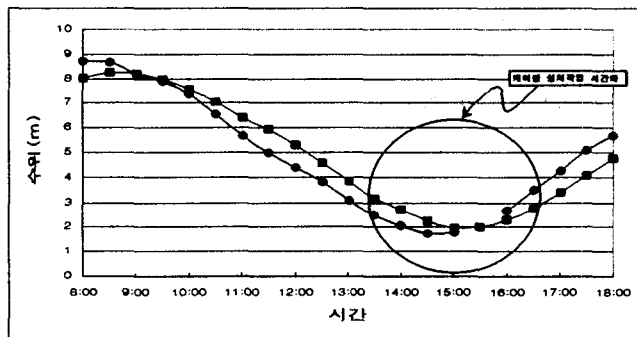


그림 6 수위 측정도

사장교가 조수 간만의 차이가 심한 위치에 건설될 경우 조수위의 영향에 대한 대책을 세워야 한다. 주두부의 인상 및 거치 시 필요한 시간과 그때의 조수위가 최대일 때와 최소일 때의 차이를 상세히 고려하여 해상 Crane이 그 차이를 감당할 용량이 되는지, 용량이 될 경우 조수위의 차이를 해상 Crane의 Wire등을 이용하여 시공이 어려움이 없게 할 수 있는지를 검토하여야 한다. 만약 이러한 검

토가 상세히 이루어지지 않았을 경우 실제 시공 시 큰 사고나 설치에 실패하는 경우가 발생할 염려가 있다. 따라서 조수위의 영향 검토는 대형 해상 Crane을 이용한 공사에서 중요한 사항이라고 할 수 있다. 그림 6에서는 실제 서해대교 주두부의 시공 시 측정되어 고려된 조수위의 차이를 나타낸 것이다. 서해대교의 경우 조수 차이에 의한 크레인의 움직임을 최소화하기 위하여 수위 측정도의 저점부를 이용하여 케이블 설치 작업을 수행하였다.

## 5.2. 인양 장치(Lifting Lug & Wire)



그림 7 해상 크레인의 인양용 Wire

서해대교의 주두부를 해상 크레인으로 인양하기 위하여 주두부에 총 16 곳의 인양용 Lug를 설치하여 해상 크레인의 Wire를 연결하였다. 이때 각각의 Wire에는 거의 동일한 장력이 걸리도록 Equilizing System을 이용하여 장력이 분산되게 작업이 이루어졌으며, 이러한 힘에 의한 Rug의 안전성 검토도 이루어졌다. 그림 7.은 실제 서해대교에서 해상 크레인의 Wire를 설치하여 주두부를 인양하는 모습을 보여주고 있다.

## 5.3. 주두부의 변형 검토

인양되는 주두부에는 설계 시 고려하지 않은 변형이 발생되며 이러한 변형에 의하여 콘크리트 슬래브, 거더와 Floor Beam에는 부재력이 작용한다. 이때 이러한 시공 시 외력에 의하여 발생하는 거더와 Floor Beam의 변형 때문에 콘크리트 슬래브에 국부적인 균열이 발생할 수 있으므로, 이러한 추가적인 시공 시 외력에 대한 구조 검토를 수행하여 Rug를 설치할 Lifting Points를 결정하여야 한다. 그림 8.은 실제 서해대교 주두부 반단면의 인양에 따른 변형도를 나타내고 있다.

## 5.4. 임시 케이블용 앵커부 보강 및 앵커볼록

본 공법이 적용된 서해대교의 경우 주두부의 지지를 위하여 임시 케이블을 사용하였다. 이러한 임시 케이블을 사용하기 위해서는 주형과 주탑부에 임시 케이블을 고정시키기 위한 앵커를 사전에 설치하여야 한다. 주탑부에 설치되는 임시 케이블용 앵커는 미리 철근을 배근하여 앵커를 묻어 두면 되었지만 주형부에 설치되는 임시 케이블용 앵커는 별도의 보강 장치를 마련한 후에 설치해야만 했다. 왜냐 하면 서해대교의 주형은 상부 플랜지가 한쪽이 없는 형태로 구성되어 있으며 이러한 주형은 곧장 임시 케이블용 앵커를 설치하기 위한 공간과 강성을 가지고 있지 못하기 때문이다. 이러한 임시 캐

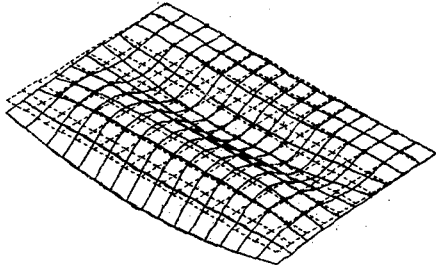


그림 8 주두부 인양시 변형도

이블용 앵커를 위한 보강 장치를 그림 9에서 보여 주고 있다. 임시 케이블을 위한 앵커의 고정을 위해 사용된 PT Bars는 그 길이가 너무 짧기 때문에 긴장 시 프리스트레싱 손실이 너무 크므로 Shim Plate를 삽입하여 그 길이를 증가시켰다. 그림 10은 임시 케이블의 신속한 길이 조절을 위해 고안된 앵커블록이다.



그림 9 주형에서의 임시 케이블 앵커부 보강

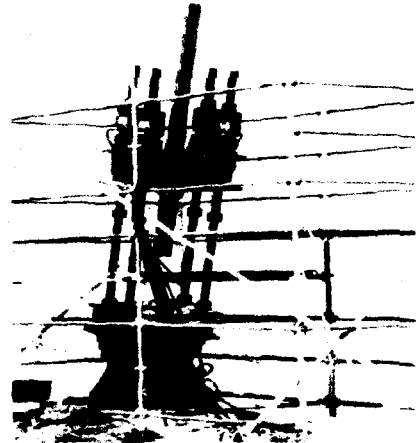


그림 10 임시 Anchorage

#### 참고문헌

- 1) "신기술지정신청서 : 케이블과 비대칭 구조를 이용한 사장교 주두부 시공 방법", 대림산업(주), 2001.05.
- 2) "Cable-Stayed and Suspension Bridges", International Conference A.I.P.C.-F.I.P, France, 1994.
- 3) "Cable-Supported Bridges - Challenging Technical Limits", IABSE Conference, Seoul, 2001.
- 4) "The TATARA Bridge : Design and construction technology for the World's Longest Cable-Stayed Bridge", Honshu-Shikoku Bridge Authority, 1999.
- 5) Journal of the International Association for Bridge and Structural Engineering, 1994 ~ 2001.