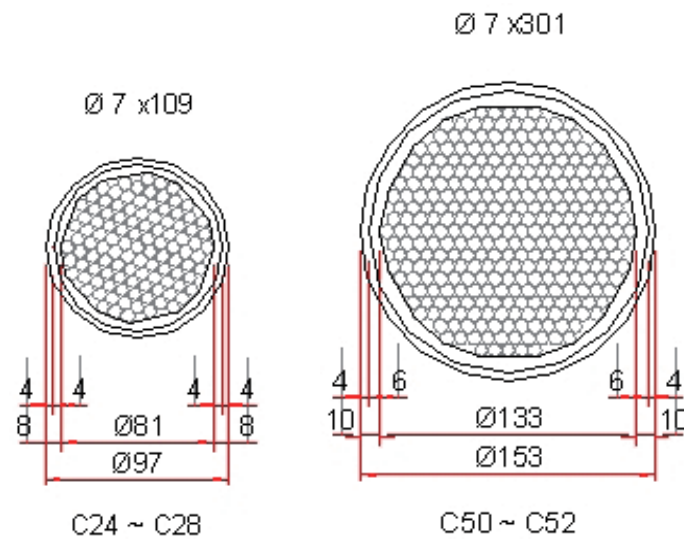




#### 4.3. 케이블 제원

- 케이블 형식 : PE 피복 PWS (NPWS)
- 소 선 :  $\phi 7\text{mm}$  아연도금 강선 109 ~ 301EA
- 케이블 외경 :  $\phi 97\text{mm} \sim \phi 153\text{mm}$
- 케이블 길이 : 111.7m ~ 420.5m
- 케이블 중량 : 4.23ton ~ 41.29ton
- 최대 케이블 세그먼트 : 4.2m (L/100)
- 물 성 치 : 강도  $f_s=1,770\text{ MPa}$ , 탄성계수  $E=1.95E \pm 5\text{MPa}$
- 케이블 갯수 :  $2 \times (26+26+26+26) = 208\text{ EA}$



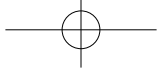
> 사장교 케이블 단면(최소, 최대 직경 케이블)

> 케이블별 제원

| Cable No | 소선 Type       | 직경 (mm) | 길이 (m) | 중량 (Ton) | 도입장력 (kN) |
|----------|---------------|---------|--------|----------|-----------|
| C01      | $\phi 7^*283$ | 149     | 374.8  | 35       | 5,006     |
| C02      | $\phi 7^*283$ | 149     | 368.7  | 34       | 5,147     |
| C03      | $\phi 7^*283$ | 149     | 362.5  | 33       | 5,230     |
| C04      | $\phi 7^*283$ | 149     | 356.4  | 33       | 5,154     |
| C05      | $\phi 7^*283$ | 149     | 350.3  | 32       | 5,098     |
| C06      | $\phi 7^*283$ | 149     | 344.3  | 32       | 4,937     |
| C07      | $\phi 7^*283$ | 149     | 338.2  | 31       | 4,699     |
| C08      | $\phi 7^*265$ | 147     | 326.7  | 28       | 4,119     |
| C09      | $\phi 7^*253$ | 142     | 315.3  | 26       | 3,571     |
| C10      | $\phi 7^*223$ | 136     | 302.8  | 22       | 3,058     |
| C11      | $\phi 7^*223$ | 136     | 290.6  | 21       | 2,894     |
| C12      | $\phi 7^*223$ | 136     | 276.7  | 20       | 3,123     |
| C13      | $\phi 7^*211$ | 133     | 262.9  | 18       | 3,324     |
| C14      | $\phi 7^*199$ | 124     | 249.3  | 16       | 3,411     |
| C15      | $\phi 7^*199$ | 124     | 236.0  | 15       | 3,427     |



| Cable No | 소선 Type | 직경 (mm) | 길이 (m) | 중량 (Ton) | 도입장력 (kN) |
|----------|---------|---------|--------|----------|-----------|
| C16      | Φ7*187  | 121     | 222.8  | 14       | 3,475     |
| C17      | Φ7*163  | 124     | 210.0  | 11       | 3,105     |
| C18      | Φ7*163  | 124     | 197.5  | 11       | 2,762     |
| C19      | Φ7*163  | 124     | 185.5  | 10       | 2,647     |
| C20      | Φ7*151  | 110     | 173.8  | 9        | 2,484     |
| C21      | Φ7*139  | 108     | 162.6  | 8        | 2,309     |
| C22      | Φ7*139  | 108     | 152.1  | 7        | 2,368     |
| C23      | Φ7*127  | 107     | 142.1  | 6        | 2,319     |
| C24      | Φ7*109  | 97      | 132.9  | 5        | 2,042     |
| C25      | Φ7*109  | 97      | 124.9  | 5        | 2,093     |
| C26      | Φ7*109  | 97      | 113.4  | 4        | 2,192     |
| C27      | Φ7*109  | 97      | 112.1  | 4        | 2,220     |
| C28      | Φ7*109  | 97      | 122.8  | 5        | 1,998     |
| C29      | Φ7*127  | 107     | 130.1  | 6        | 1,971     |
| C30      | Φ7*127  | 107     | 138.7  | 6        | 1,904     |
| C31      | Φ7*139  | 108     | 148.0  | 7        | 2,147     |
| C32      | Φ7*139  | 108     | 158.1  | 7        | 2,042     |
| C33      | Φ7*139  | 108     | 168.8  | 8        | 2,271     |
| C34      | Φ7*151  | 110     | 180.1  | 9        | 2,321     |
| C35      | Φ7*151  | 110     | 191.8  | 10       | 2,643     |
| C36      | Φ7*163  | 115     | 204.1  | 11       | 2,524     |
| C37      | Φ7*163  | 115     | 216.7  | 12       | 2,904     |
| C38      | Φ7*187  | 121     | 229.8  | 14       | 2,974     |
| C39      | Φ7*187  | 121     | 242.9  | 15       | 3,196     |
| C40      | Φ7*199  | 124     | 256.3  | 17       | 3,329     |
| C41      | Φ7*211  | 133     | 269.9  | 19       | 3,504     |
| C42      | Φ7*223  | 136     | 283.7  | 21       | 3,678     |
| C43      | Φ7*223  | 136     | 297.6  | 22       | 3,843     |
| C44      | Φ7*241  | 139     | 311.9  | 25       | 3,969     |
| C45      | Φ7*241  | 139     | 326.0  | 26       | 4,156     |
| C46      | Φ7*265  | 147     | 340.3  | 29       | 4,398     |
| C47      | Φ7*265  | 147     | 354.6  | 31       | 4,642     |
| C48      | Φ7*295  | 151     | 369.2  | 35       | 4,833     |
| C49      | Φ7*295  | 151     | 383.7  | 37       | 4,822     |
| C50      | Φ7*301  | 153     | 398.2  | 39       | 4,890     |
| C51      | Φ7*301  | 153     | 409.3  | 40       | 4,826     |
| C52      | Φ7*301  | 153     | 420.4  | 41       | 4,759     |


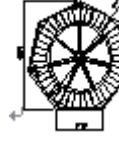




#### 4.4. 케이블 일반

##### 4.4.1 케이블 운반용 설비

제작 공장에서 완성된 케이블 출하시부터 가설을 위한 전개시까지 사용될 케이블 릴은 총 4가지 Type이며, 각각의 제원 및 형상은 아래와 같다.

##### > 케이블 릴의 Type별 구분

| 구 분     | #0                                                                                | #1                                                                                  | #2                                                                                  | #3                                                                                  |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 중량(Ton) | 4.8                                                                               | 3.8                                                                                 | 2.3                                                                                 | 2.3                                                                                 |
| 형상      |  |  |  |  |
| 적용Cable | 52~47                                                                             | 46~44<br>37~36<br>17~16<br>9~7                                                      | 43~38<br>35~18<br>15~10                                                             | Tie-Down                                                                            |



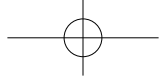
##### > 육상야적된 케이블

##### 4.4.2 케이블 가설용 설비

###### ① 교상운반을 위한 트레일러

교상에서 케이블 운반을 위하여 50Ton 급 트랙터를 선정하였으며, 케이블 릴의 형상이 원형과 칠각형 두가지 형태이며, 그 폭도 변화하므로 안전한 운행을 위하여 Low Bed Type의 트레일러를 결정하였다.

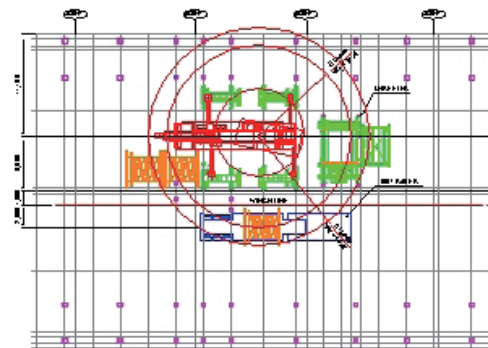
주행시에는 저속주행에 유념하고 동시에 타 작업장비와의 간섭에 주의할 수 있도록 충분히 주의하였다.



> 50Ton Low Bed 트레일러 반입 및 케이블운반

## ② 케이블 전개를 위한 언릴러

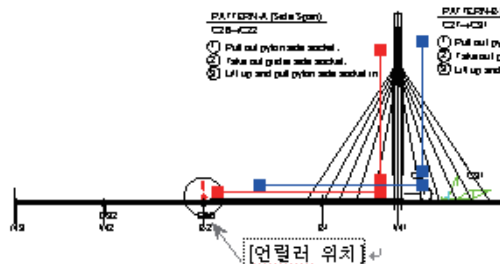
트레일러로 운반된 케이블은 160Ton유압크레인을 이용하여 언릴러에 Setting 한다.



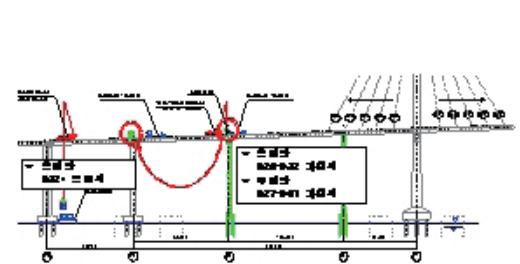
> 언릴러에 Setting된 케이블 릴

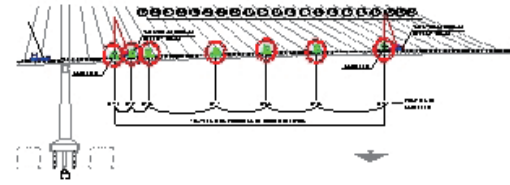
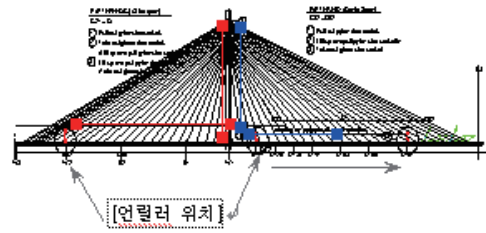
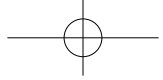
언릴러의 설치 위치는 기본적으로 주탑측 소켓이 주탑에 정착되었을 때 거더측 소켓이 케이블 릴에서 완전히 풀려 나오는 것이 바람직하다.

이러한 점을 감안하여 초기 케이블은 측경간(B2지점)에 언릴러를 설치하여 주경간 및 측경간 케이블을 가설하였으며, 중/후기 케이블은 측경간 및 주경간에 언릴러를 설치하여 각각의 케이블을 가설하였다. 특히 주경간의 경우, 소블력의 순차적인 가설에 따라 언릴러 위치를 변화시키며 가설하였다.



> 초기 케이블용 언릴러 위치





#### > 중/후기 케이블용 언릴러 위치

#### ③ 원치

케이블 전개를 위한 원치는 5Ton 복동식 원치를 사용하였으며, 와이어 로프의 길이는 여유분을 감안하여 약 2000m를 감아 사용하였다.

### 4.4.3 케이블 긴장용 설비

#### ① 각종 Jack 및 Pump



#### > 장력도입용 Main Jack 및 제원

| Item          | Main Jack | Main Jack |
|---------------|-----------|-----------|
| Performance   | 800Ton    | 800Ton    |
| Stroke        | 250mm     | 350mm     |
| Mini Height   | 630mm     | 730mm     |
| Max. Pressure | 50.5MPa   | 50.5MPa   |
| Weight        | 1330kg    | 1330kg    |

3차 인입용 800Ton Main Jack은 긴장에 소요되는 시간의 경감을 위하여 250mm 스트로크 2대는 측경간, 350mm 스트로크 2대는 주경간에 배치하였으며, 최대 50.5 MPa를 가압할 수 있었으며, 당현장에서 도입장력의 정확한 측정을 위하여 사전에 공인기관에서 장력에 대한 검증을 실시하였다.

2차 인입용 100Ton Jack은 Wire Clamp Jack으로 원치인입이 불가한 케이블을 대상으로 Main Jack에 텐션로드가 도달할 때까지 임시로 케이블을 긴장하는 Jack이다. 즉, 케이블의 자중에 의한 처짐을 퍼줄 수 있는 정도의 장력을 도입하여



장비이다.  
30m 길이의 56mm 두께의 와이어 로프를 수회 재사용 가능하도록 특수 설계된 장비이며, 당현장의 경우 2차 인입기간 이 단축될 수 있도록 실린더의 팽창/수축이 빠른 Type의 잭을 도입하였다.  
Main Jack 구동을 위한 전용 Pump 설비는 다음과 같이 도입되었다.  
Main Pump는 1개의 본체에 2대의 Pump 를 내장하고 있어 좌/우측 2본의 케이블을 동시 긴장할 수 있도록 설계되었다.



> 장력도입용 Main Pump 및 제원

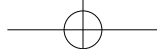
| Item             | Main Pump |
|------------------|-----------|
| Frequency        | 50Hz      |
| Rotational Speed | 1450rpm   |
| Pressure_High    | 700kg     |
| Pressure_Low     | 140kg     |
| Weight           | 600kg     |
| Voltage          | 200V      |

② 베어링 플레이트



> 베어링 플레이트





베어링 플레이트는 가이드 파이프 내경과 케이블 소켓 크기와의 상관관계를 고려하여 총 12가지 Type으로 구분하여 제작하였다.

램체어와 연계되어 작업될 수 있도록 좌우 2분할 되어 주물 제작/납품되었다.

### ③ 심플레이트

당 현장에 적용된 전면지압형 심플레이트는 케이블에 도입된 장력을 보정하기 위하여 사용되며 당초 KS D 3515 용접구조용 압연강재 중 SM490YA로 설계되었으나, 재료의 수급상황을 고려하여 25mm 두께 심플레이트는 열간압연강재인 POSTEN 60을 두께 25mm 미만 심플레이트는 자동차구조용 열간압연강재인 POSCO ATOS 60을 사용함으로써 빠른 시간에 제작하는 것이 가능하였다.

심플레이트는 장력도입 과정 중 최종 삽입량이 결정되므로, 이를 사전에 예측하기는 어렵다. 따라서 사전에 Loss를 감안한 예측관리가 필요하게 되는데, 당 현장에서는 규격 및 강종의 다양성때문에 설계 심량의 100%를 할증하여 총 설계수량의 200% 심플레이트를 확보하여 시공하였다.

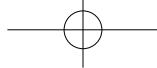
또한, 시공중 및 공용중에 교량에 발생하는 진동에 의한 심플레이트 정렬상태의 흐트러짐 및 탈락을 방지하기 위하여 Z-Type의 형상을 가진 심플레이트를 도입하였다.



> 일반 Type 심플레이트

### ④ 아답터 플레이트 및 슬라이딩 플레이트

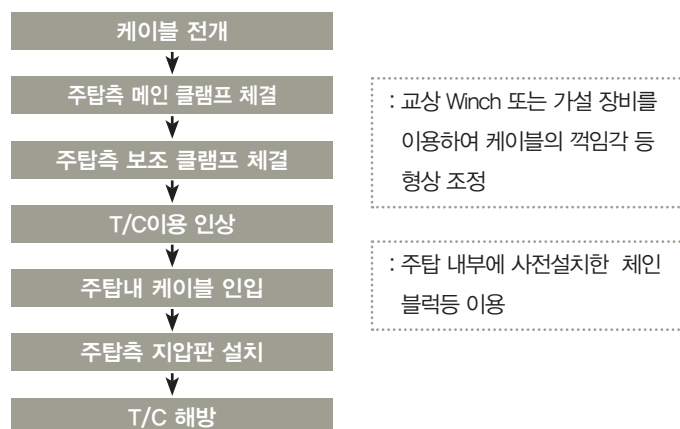
그 밖에도 램체어와 케이블 소켓의 중심축선 정렬을 위한 아답터 플레이트와 램체어에 부착되어 베어링 플레이트 시공을 용이하게 하여주는 슬라이딩 플레이트 등 각종 용도의 플레이트가 설계, 제작/ 사용되었다.



## 4.5 케이블 가설

### 4.5.1 주탑측 케이블 소켓팅

주탑측 케이블 정착은 다음과 같은 절차로 시공된다.



#### > 주탑측 케이블 소켓팅 순서도

주탑측 케이블 가설용 기자재 및 그 용도를 정리하면 다음과 같다.

#### > 주탑측 케이블 가설용 기자재

| 기재 종류                | 용도                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 외면비계                 | Cable Clamp등을 해체하는 작업발판으로 사용하며, 향후에 가이드 파이프 및 버퍼 및 댐퍼 및 케이블 커버등의 설치에도 이용된다.                                                                                                                         |
| Cable Clamp          | Main Cable Clamp와 Cable Assistant Clamp가 있으며, 그 중 Main Cable Clamp가 Cable 인양중량을 모두 부담한다.<br>Cable Assistant Clamp는 케이블 소켓의삽입각도 조정을 위해 사용하는 것 외에 Main Cable Clamp에서 케이블의 Slip이 발생했을 때의 안전설비 역할을 겸한다. |
| Cable Hang Equipment | 주탑측 케이블 정착후부터 보강형측 케이블 정착까지 사이에 케이블 중량을 부담하는 설비.                                                                                                                                                    |
| Cable Socket Adapter | 케이블 소켓을가이드 파이프에 삽입할 때, 주탑 내측에서 체인블록으로 인입시 가이드 한다. 체인 블록과 케이블소켓을 연결하기 위해 이용한다.                                                                                                                       |

주탑측 케이블 가설시 T/Crane에 모든 작업 하중이 부담되어 진다. 특히, 주탑측 소켓팅이 완료되기 이전에 주탑 외면 비계 또는 주탑 내부의 체인블럭 등에 케이블 자중을 포함한 하중이 전이되어서는 안된다.

T/Crane 운전자의 경우 고도로 숙련된 조정기능이 필요하며, 마찬가지로 외면비계 상에서 이루어지는 신호수와의 호흡도 중요하다. 당현장에서는 T/Crane 운전원 및 신호수를 구역별로 전담하여 운영하였다.

주탑내 체인블럭은 소켓의 가이드 파이프 통과 중 이동을 원활하게 하는 역할을 수행하게 된다.

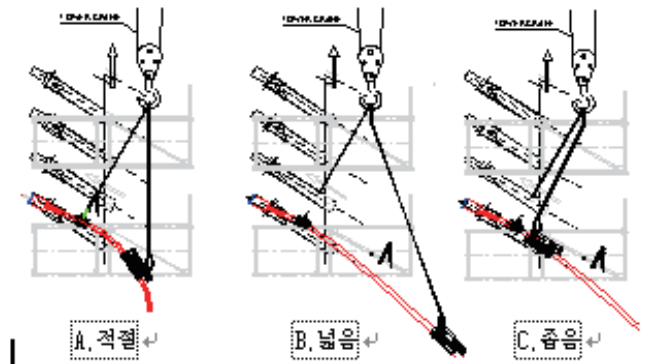


#### > 주탑측 케이블 가설 작업





주탑측 케이블에 Main 및 Assistant 클램프 설치시 가이드 파이프 정착위치를 고려하여 설치위치를 적절하게 결정하여야 한다. 만일 클램프가 거리가 짧은 경우 소켓이 정착위치에 도달하기 이전에 가이드 파이프와 간섭되어 인입이 불가능하게 되며, 반대로 긴 경우에는 클램프의 위치가 비계외측에 존재하게 되어 해체가 불가능한 상황에 직면하게 된다.



> 클램프 위치에 따른 작업상황 비교

#### 4.5.2 거더측 케이블 소켓팅

거더측 케이블 정착은 다음과 같이 구분할 수 있다.

> 거더측 케이블 가설작업 순서

| 단 계      | 주요 도구    | 개 념                                          |
|----------|----------|----------------------------------------------|
| 1차       | 원치       | 거더측 소켓 부근까지 이동                               |
| 2차_Winch | 원치       | 원치 또는 잭을 이용하여 텐션로드를<br>800Ton 잭 Head Nut에 정착 |
| 2차_Jack  | 100Ton 잭 |                                              |
| 3차_Jack  | 800Ton 잭 | 설계 및 조정 긴장력 도입                               |

주탑에 가까운 케이블의 거더측 인입력은 비교적 작으며, 주탑에서 멀어질 수록 점차 커진다. 또한, 각 케이블 인입 작업 최초에는 낮은 장력에서 긴 거리를 당길 필요가 있을 수 있으나, 정착점까지의 거리가 짧아질수록 장력이 점차 크게 증가한다. 이러한 케이블의 특성을 고려하여 인입작업을 분류하여 각 상황에 맞게 최적인 계획을 수립/시행하였다.

1차 인입 작업(First Pull-in on the Deck)은 원치를 사용하여 거더측 가이드 파이프 근처로 케이블을 인입하는 작업이다. 주탑측에 가까운 케이블에 대해서는 인입 거리가 짧고 장력도 작으므로 이 작업은 생략 가능하다.

2차 인입 작업(Second Pull-in(by Winch))은 가이드 파이프 근처까지 인출된 거더측 케이블 소켓에 텐션로드를 부착한 후 텐션로드 끝단이 3차 인입설비인 Center Hole Jack에 장착시키는 일련의 과정을 말한다.

특히 그중 장력의 크기가 20톤 이하인 케이블에 대해서는 시공속도 등을 감안하여 원치를 이용할 수 있도록 계획하였으며, 20톤 이상의 장력이 필요한 케이블에 대해서는 작업능력이 100톤인 Wire Clamp Jack을 사용하도록 계획하였다.

이중 텐션로드의 길이가 길면 원치 또는 잭에 부하되는 하중의 크기를 떨어뜨릴 수 있지만, 이럴 경우 텐션로드가 너무 길어 작업성이 현저히 저하되게 된다. 따라서 당 현장에서는 텐션로드의 길이를 기본 4m에 2m를 연장할 수 있는 구조형식을 채용하였다.

3차 인입 작업(Third Pull-in)은 텐션로드가 800톤 Main 잭의 Head Nut에 설치된 상태에서 최종 위치에 도달하도록 장력을 도입하는 작업이다.

3차 인입시, 특히 설계 장력 도입은 온도변화에 의한 영향치 및 작업 하중의 변화등을 고려한 사전 해석 결과를 바탕으로 시행되어야 하기 때문에 야간에 시행하였다.



> 거더측 케이블 가설 작업

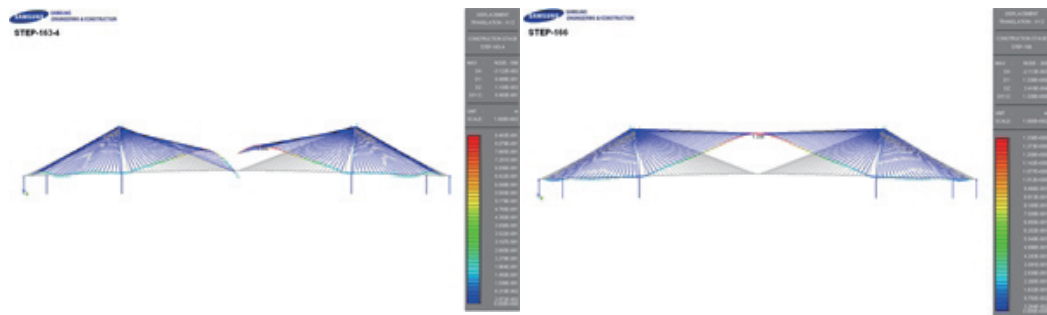
#### 4.5.3 케이블 형상 관리

##### 1) 해체계산(Backward Analysis)

현수교와 사장교의 캔틸레버 가설에서는 가설하중이 집중되는 선단부 케이블에 장력이 집중하며, 또한 보강형의 변형량도 매우 크다고 알려져 있다. 이처럼 사장교 가설계획은 이와 같은 역학적인 거동들의 실질적인 반영이 중요하다. 그리고 그 역학적인 거동을 파악하는 방법으로써 해체계산(Backward Analysis)을 수행하고 있다.

당 현장에서 본체 구조의 단면력이 허용치를 초과하지 않는다는 확인과, 가설을 위한 가설비 설계조건을 파악하기 위하여 해체 해석을 공사 시행 초기에 실시하였으며, 이러한 관계로 인해 가설비 등의 중량이 아직 확정되어 있지 않은 것이 많았다. 따라서, 미확정 가설비 중량은 개략계산 중량을 사용하게 되었으며, 해석 오차의 최소화를 위하여 실 시공 단계에서, 실질적인 중량으로 재 해석을 실시하였다.

가설단계별 거더 및 케이블의 주요한 변화 지점을 예측하여 본 결과 169Step으로 세분화 할 수 있었으며, 각 Step별 예측치와 실 거동치를 분석함으로써 사장교 가설중 형상관리를 시행하였다.



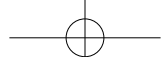
> 시공단계별 처짐값 해석

##### 2) 형상관리(Camber Control)

한개의 보강형 소블럭과 케이블 1단의 가설을 종료하고, 케이블의 장력 및 보강형의 형상측정을 실시 한 후, 장력조정을 통해 케이블 및 보강형의 최적화를 시행하였다.

장력조정의 방법으로는

- ① 1개의 소블럭 및 4개의 케이블 가설
- ② 형상관리 시점의 교상 적재물 현황 조사
- ③ 케이블 장력 측정 ( Main Jack)
- ④ 보강형 형상 측량
- ⑤ 케이블 장력 측정 (케이블 진동법)



- ⑥ 형상 최적화 계산
- ⑦ 장력 조정량 결정
- ⑧ 케이블 장력 조정 / 측량
- ⑨ 보강형 형상 측량

의 순으로 시행하였으며, 1회에 조정이 되지 않을 경우 2~3회 반복적으로 시행하였다.

#### 4.6 시공개선사례

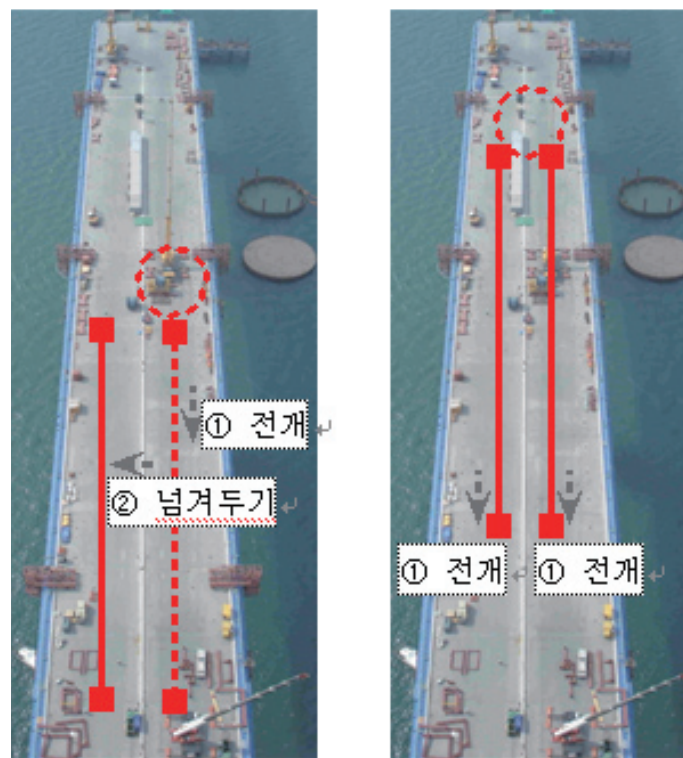
##### 4.6.1 언릴러 위치 변경을 통한 공정 축소

언릴러의 당초 위치는 북측이었으므로, 모든 케이블의 전개는 북측으로만 가능하였다. 이 경우 남측 가설을 위해서는 장비 이동을 통해 케이블을 남측으로 넘겨 주는 작업이 필요하게 되었다.

교상에서 H/Crane의 이동은 최소 2~3시간이 소요되므로 이러한 시간소모를 최소화 하고자 언릴러의 위치를 측경간 단부 회차로 구간으로 이동하였다.

그 결과 중앙부에서 남/북측으로 케이블 전개가 가능하게 되었으며, 시공속도 개선이 가능하였다.

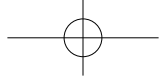
##### 4.6.2 백호투입 및 가이드 롤러 설치를 통한 케이블 레스트 설비 삭제



> 언릴러 위치 변경 전후 비교

케이블의 꺾임각으로 인한 케이블 파손에 대비하여 각종 케이블 레스트 설비가 계획/제작되었다. 하지만 면밀한 현장 여건 분석 결과 그림과 같이 백호 및 거더측 소켓 인입구에 가이드 롤러를 설치 함으로 인해 케이블 레스트 설비의 용도가 상의 구현이 가능할 수 있었다.

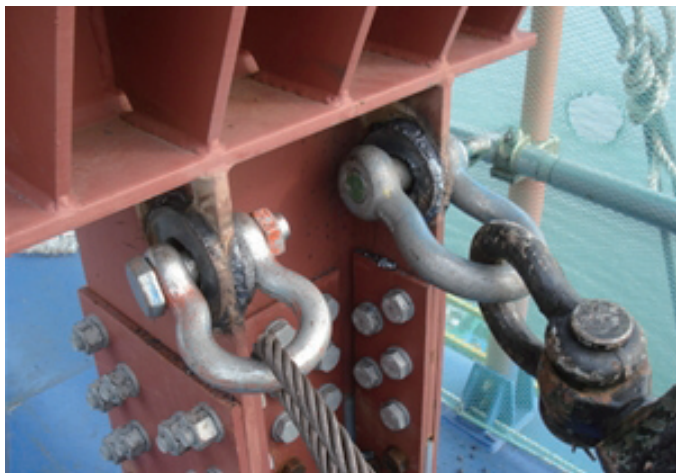
그 결과 케이블 레스트 설비 설치 및 해체에 소요되는 시간을 단축할 수 있었으며, 향후 유사공사 수행시에도 원가절감의 요인이 될 수 있을 것으로 판단된다.



> 백호투입 및 가이드 롤러 설치

#### 4.6.3 기존 시설물 활용을 통한 시공속도 개선

케이블 인입용 원치 와이어 설치를 위한 슈브 설치용 구조물이 별도로 계획되어 있으나, 그러한 작업을 생략하고 주변 시설물을 이용하여 원치 와이어링을 실시하였다.



> 원치 와이어링

#### 4.6.4 가이드 파이프 형식 변경

주탑 소켓 진입부인 가이드 파이프는 케이블 시공중에는 케이블 진입 통로로 사용되지만, 케이블 시공이 완료된 이후는 진동제어용 댐퍼 또는 버퍼가 사용되는 부위이다.

하지만, 가이드 파이프가 주탑 외면에 돌출되어 있을 경우, 주탑 구축용 ACS Form System 구조 변경이 필요, 가이드 파이프 보양을 위한 케이블 계양설비등이 필요 그리고, 외면비계 설치 해체의 난이도가 증가하게 되는 등 비효율적인면이 있어 이를 사전에 분할하여 외부 돌출부는 후시공하는 방향으로 변경하였다. 그 결과, 주탑 구축용 ACS Form System 구조 변경이 불필요 하게 되었으며, 가이드 파이프 보양을 위한 케이블 계양설비등의 삭제, 외면비계 설치 해체의 난이도 감소등이 가능하게 되었다.