

6.4 V형주탑 강사장교

1. 개요

사장교(Cable-stayed Bridge)는 보강형(Stiffende girder)을 주탑(Pylon)에 연결된 사장 케이블(Stay-cable)로 지지하는 형식의 교량을 말한다. 사장교는 사장 케이블의 인장강도와 주탑 및 보강형의 휨, 압축강도를 효과적으로 결합시켜 구조적 효율을 높일수 있으며 케이블의 강성과 장력을 조절함으로써 보강형에 발생하는 휨모멘트를 현저하게 감소시킬수 있어 경제적인 설계가 가능하다. 이와 같은 사장교의 구조적인 효율성 이외에도 외관이 수려하고 주행시 비교적 개방감이 있으며 보강형의 구성형식, 주탑의 형상, 케이블 배치 등 설계 자유도가 많아 주변환경에 따른 변형이 용이하다.

○ 사장교의 특징

사장교가 단기간에 근대교량으로 일정한 위치를 확보한데에는 종래의 교량형식에서 발견되지 않는 다음과 같은 우수한 구조특성을 구비하고 있기 때문이다.

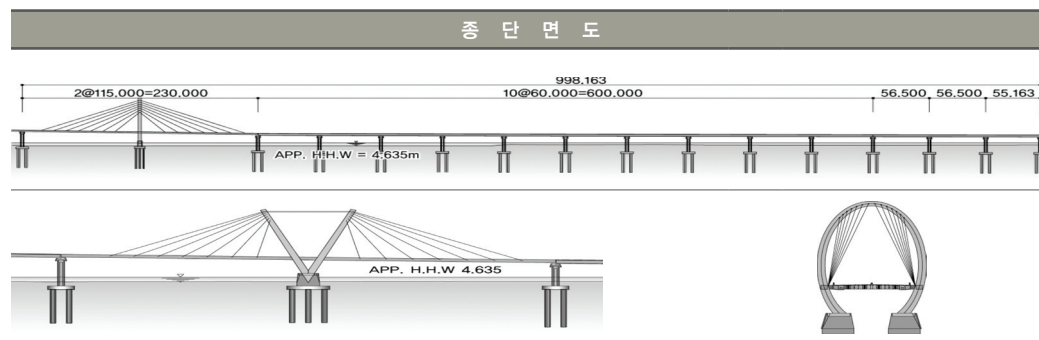
- 케이블의 배치, 탑형상등에 의해 형태가 다양하고 설계의 자유도가 높다
- 지간장의 적용범위가 넓고, 지간분할의 제약이 비교적 작다.
- 케이블을 이용한 캔틸레버 가설이 가능, 합리적 가설이 행해진다.
- 케이블 프리스트레스에 의해 탑, 주형의 응력조정이 가능, 경제적 설계가 가능하다.
- 케이블, 탑, 주형의 구성으로 경관이 기능적이고 근대적 감각과 부합한다.

2. V형 1주탑 강사장교

1) 설계

① 상부형식 선정

송도지구에 조성되는 반원의 호수공원에 주경간교를 계획하여 호수공원과의 조화성 및 상징성을 부각시킬수 있는 사장교를 선정하여 중점적으로 검토하였다.



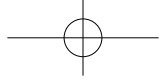
- 일반적인 거더형식의 교량으로 연결도로로서 기능성 강조
- 타원의 V형 주탑이 호수내에서 주변경관과 조화되며 조형성 창출타원의
- 케이블 배치에 의한 관문적 이미지 부여

➡V형 주탑으로 경관성 강조

> 교량형식 선정

② 경사 케이블 배치 검토

타원형의 주탑형상으로 케이블 배치간격에 따라 조형성의 변화가 발생되므로 구조적 안정성을 고려한 주탑부 케이블 배치의 적정성 확인하여 주탑부의 응력 및 변위가 작게 발생하는 횡방향 등간격으로 케이블을 배치하였다.



> 수평 타이케이블 배치 검토

CASE 1 : 횡방향 등간격 배치	CASE 2 : 종방향 등간격 배치	해 석 결 과
		<ul style="list-style-type: none">· 케이블 배치에 따른 장력의 변화는 큰 차이를 보이지 않음· 주탑의 수평변위는 주탑하단부는 작게 발생되나 상단은 케이블의 집중으로 횡방향 등간격 배치가 다소 크게 발생

③ 수평 타이케이블 배치 검토

주탑형상이 V형으로 경사케이블 장력에 의한 변위가 크게 발생되므로 주탑 상단의 연결방법을 검토하여 적절한 방법을 선정하였다.

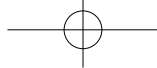
> 수평 타이케이블 배치 검토

구분	CASE 1 : 케이블배치(4EA)	CASE 2 : 케이블배치(전체)	CASE 3 : 스트럿배치
모 델 링			
해석결과	<ul style="list-style-type: none">· 케이블 장력은 스트럿 설치시 내측 케이블의 장력이 증가하며 외측케이블의 장력은 감소됨· 지점부의 보강형모멘트는 스트럿 설치시가 가장 작게 발생되나 주탑부 응력이 크게 발생		

④ 케이블 및 정착구 방식

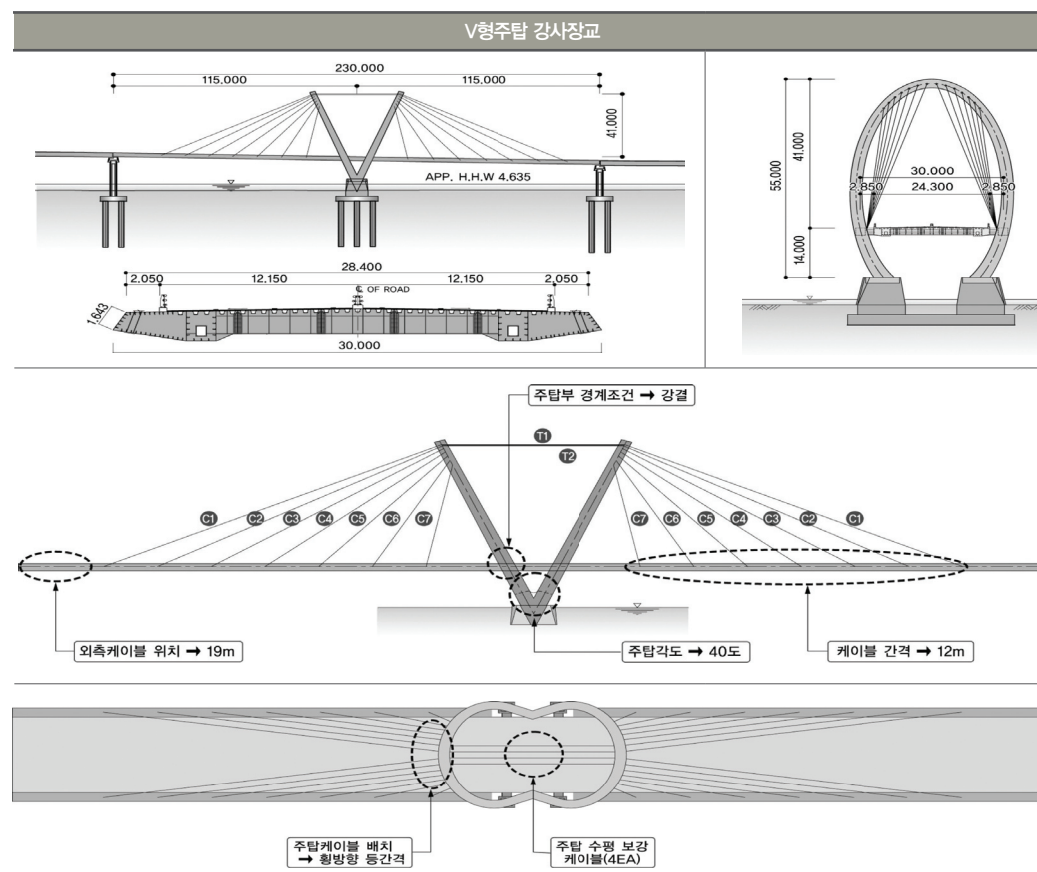
> 케이블 및 정착구 형식 선정

Prefabricated Wire Strand	Bearing Type



2) 시공

V형 1주탑 강사장교는 그림 3.1과 같이 현장타설말뚝 기초, 주탑형상은 타원형으로 주탑의 탑기부가 교각과 일체화된다. 그리고 보강형부와 주탑부는 강(Steel) 재질, 케이블은 주탑을 연결하는 수평케이블과 상판을 지지하는 경사케이블로 구성된다. 각 구조의 특성에 대하여 기술하고자 한다.



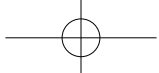
> V형주탑 강사장교

① 기초공

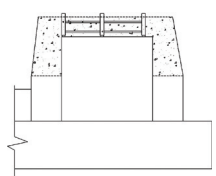

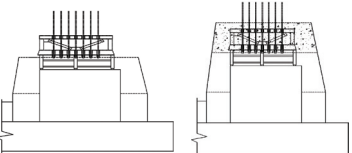

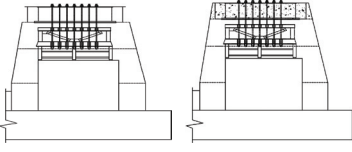
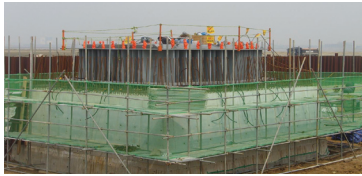


주탑 기초로 상부구조물의 하중과 구조물의 안전성, 경제성, 시공성, 공기, 기초지반 여건을 고려하여 폭 12.5m, 길이 21m, 높이 3m의 직접기초 형식을 택하였으며 기초 지반까지 굴착하여 지지기반을 확보하였다. 또한, 콘크리트 수화열 억제를 위해 콘크리트 구체내에 Cooling 용 Pipe를 배열하여 Pipe Cooling System을 운영하였다.

② 교각공

주탑과 직접적으로 연결되는 교각은 기초위에 10.94m 높이로 설치되고 그 중 5.3m는 중공단면으로 이루어진다. 중공단면는 폐쇄 후 그 위에 앵커프레임과 탑기부를 매입해 콘크리트 타설로 일체화 시킨다.



> 주탑 공사 순서도

Step	내 용	개 요 도	사 진
1	Con'c 2단 타설		
2	앵커프레임 설치 및 Con'c 3단 타설		
3	탑기부설치 및 Leveling Con'c 및 Final Con'c 타설		
4	강봉인장 및 그라우팅		

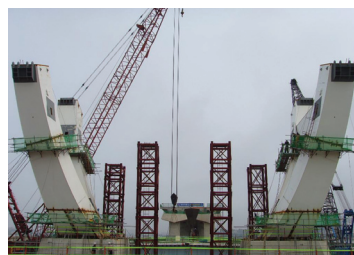
③ 강상판의 시공

○ 현장조립 및 가설벤트 거치

- Step1. 분할되어 반입되어진 강상판을 아래 사진(1)과 같이 스크류잭위에서 가조립을 실시하고 현장용접 및 볼트체결을 실시하여 일체화 한다.
- Step2. 충분히 다져진 지반위에 가설벤트 기초 Con'c를 타설하고 위치 및 Level에 유의하여 가설벤트를 설치한다.
- Step3. 크레인에 의하여 강상판을 가설벤트위에 임시 거치한 후 종방향 접합부의 현장용접 및 볼트이음을 실시한다.



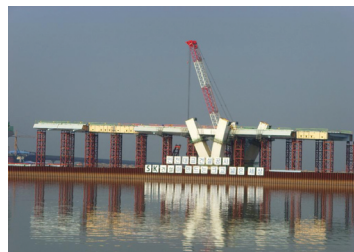
(a) 강상판 지조립



(b)벤트 설치



(c) 강상판 거치



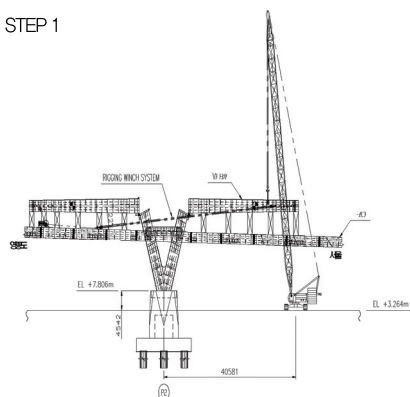
(d) 강상판 설치 전경

> 강상판 설치 순서

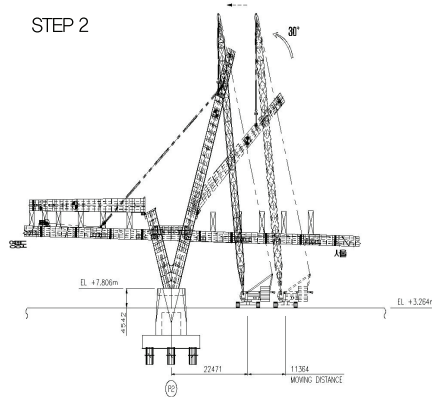


④ 주탑 Roll-Up

STEP 1



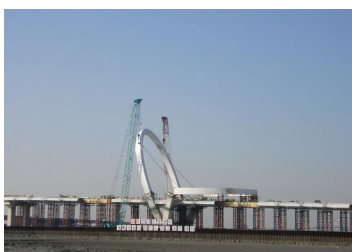
STEP 2



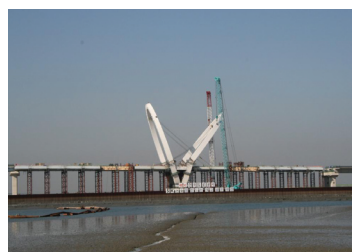
(a) 강상판과 벤트 위 주탑조립



(b) 주탑조립 완료(전경)



(c) 주탑1 크레인과 윈치를 이용한 Roll-Up



(d) 주탑2 Roll-Up

⑤ 케이블 시공

1) 케이블 단면상세

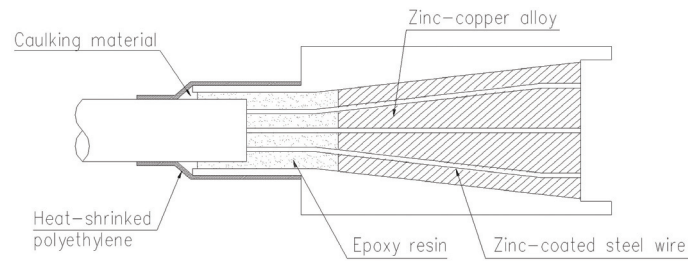
본 공사에 사용되는 NPWS 케이블 규격은 경사케이블(7×61 , 7×85 , 7×91), 수평케이블(7×199)으로 적용된다.

> 케이블 단면 상세도

구분	$\phi 7 \times 61$	$\phi 7 \times 85$	$\phi 7 \times 91$	$\phi 7 \times 199$
단면				
단위하중	18.4 kgf/m (피복후 19.4 kgf/m)	25.6 kgf/m (피복후 26.7 kgf/m)	27.4 kgf/m (피복후 28.6 kgf/m)	60.0 kgf/m (피복후 62.3 kgf/m)
단면적	2,348 mm ²	3,271 mm ²	3,502 mm ²	7,658 mm ²
파단하중	423 tonf	589 tonf	630 tonf	1379 tonf
탄성계수	19.6 kN/mm ² (20,000 kgf/mm ²)	19.6 kN/mm ² (20,000 kgf/mm ²)	19.6 kN/mm ² (20,000 kgf/mm ²)	19.6 kN/mm ² (20,000 kgf/mm ²)



2) 정착구 구성



> 정착구 상세

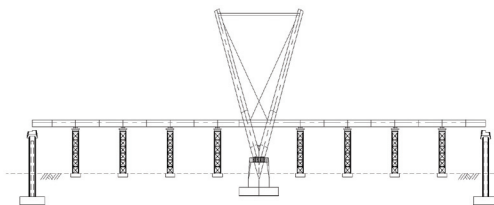
3) 세부 공정 계획

가) 시공 개요도

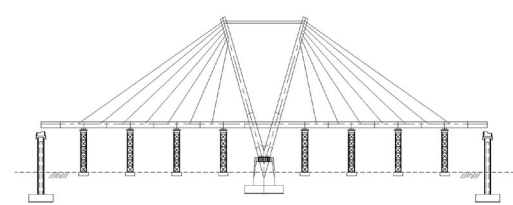
원 설계의 경우, 케이블 설치와 동시에 장력도입이 이루어짐으로써 작업이 복잡하고, 가설벤트 지지 상태에서 장력을 도입하게 됨으로써 최종 단계에서 추가적인 장력 조정이 필요할 것으로 판단되었다.

따라서, 전체 케이블 거치 후, 가설벤트를 해체시킨 상태에서 경사케이블을 일괄적으로 인장하는 것이 시공상 가장 효율적이며, 장력 도입이 정확할 것으로 판단되므로, 본 가설방법으로 개선하여 적용하였다.

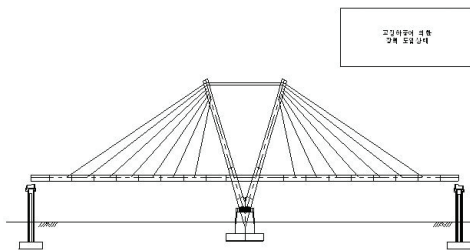
1단계 : 수평케이블 설치 (설치장력 20 tonf)



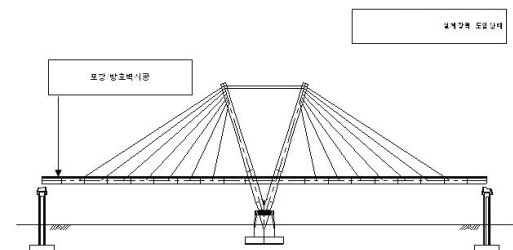
2단계 : 경사케이블 설치 (설치장력 20 tonf)



3단계 : 가설벤트 해체

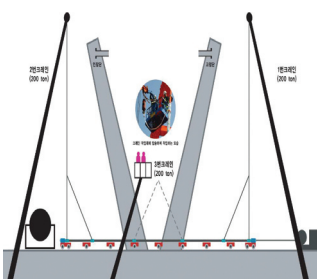


4단계 : 추가장력 도입 후 포장 시공

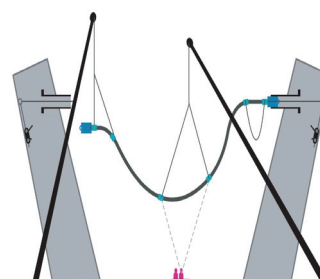


나) 수평 케이블 세부 시공방법

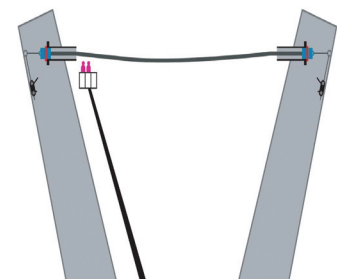
1 단계 : 케이블 인상 준비

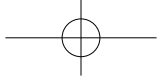


2 단계 : 케이블 인상후 고정단 소켓 인입 후 NUT 체결



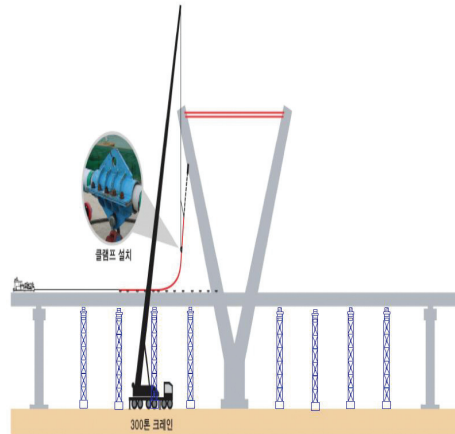
3 단계 : 인장단 소켓 인입 후 NUT 체결



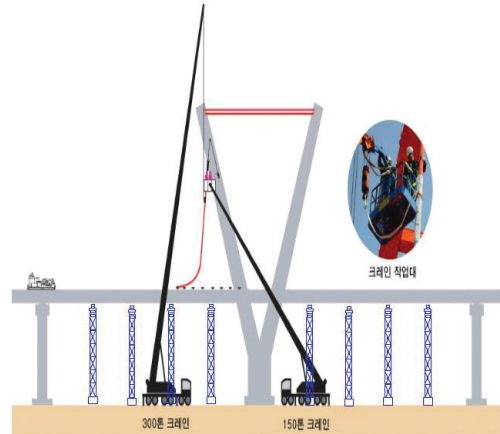


다) 경사 케이블 세부 시공 방법

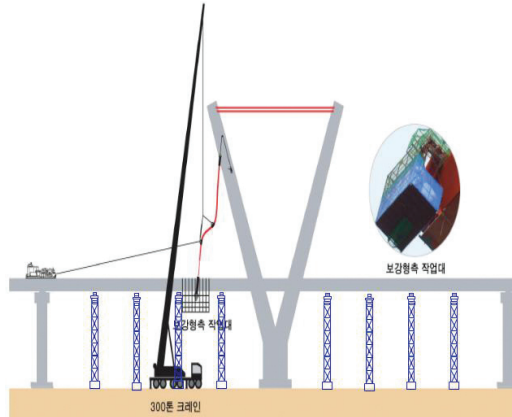
1 단계 : 주탑측 케이블 인양



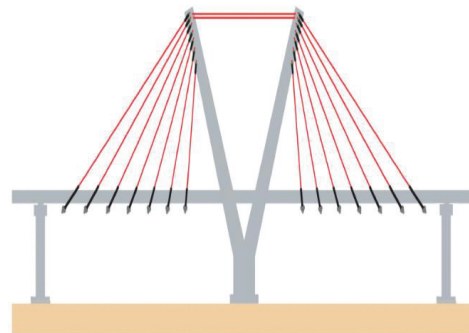
2 단계 : 주탑측 정착부로 케이블 인입



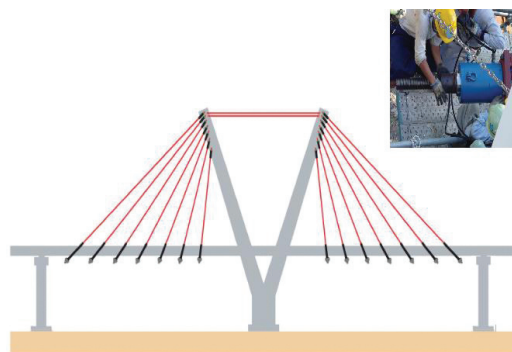
3 단계 : 보강형측 케이블 1차 인입



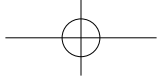
4 단계 : 경사케이블 설치 완료후 가설 벤트 해체



5 단계 : 추가장력 도입 후 케이블 가설 완료



가설벤트가 있는 상태에서 무응력장으로 케이블을 설치장력(20톤)만으로 전체 가설하고, 가설벤트 제거 후, 4대의 작업대와 인장 JACK을 사용하여 일괄로 장력을 도입함으로써 시공성과 설계 장력의 정밀도를 높였다.



6.5. 엑스트라도조교

부모멘트 구간에서 P.S 강재로 인해 단면에 도입되는 축력과 모멘트를 증가시키기 위해서 P.S 강재의 편심량을 인위적으로 증가시킨 형태로 일반적으로 단면내에 위치하던 P.S강재를 낮은 주탑의 정부에 External tendon형태로 부재의 유효높이 이상으로 배치한 형태의 교량이다.

1. 교량현황

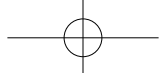
교량명	위치	연장(m)	지간구성	폭원(m)	비고
아암교(아암로 통과구간)	STA.1+143 - 0+425	282	7+140+71=282m	16.2m	

2. 공법선택배경

FCM을 이용한 기존의 PSC교는 고정하중과 변동하중에 의해 발생하는 지점부 부모멘트가 지나치게 커지며, 지점부 하부 플랜지의 압축응력에 대한 보강이 필요하고, 단면내 PS강재로 안정성을 확보하기에는 배치나 정착에 한계가 있음.

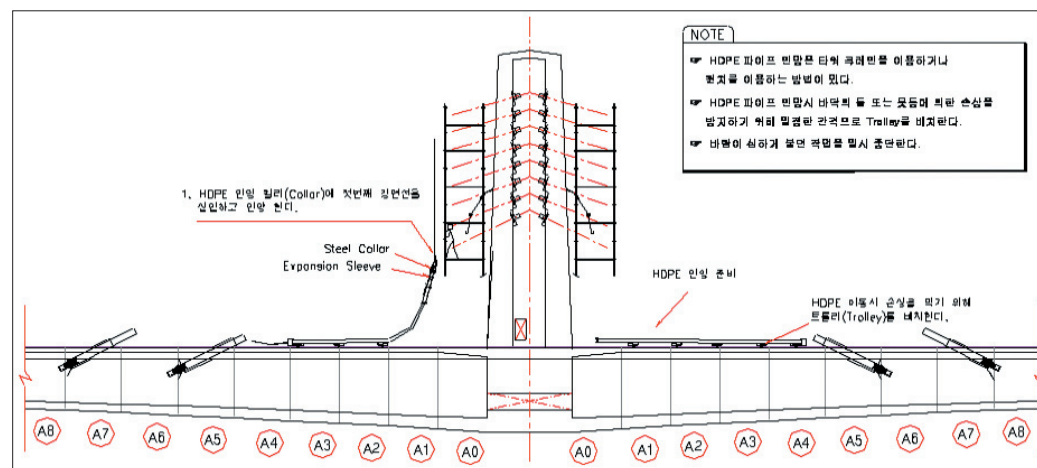
Extradosed교는 이러한 구조적 한계의 극복 대안으로 등장하였으며, 외견상 사장교의 형태를 보이지만 구조적으로는 거더교의 특성을 갖는 교량으로 미적으로나 구조적으로 완성도가 높은 신개념의 교량이다.

구 분	P.S.C 거더교	Extradosed교	사 장 교
개 요 도			
하중분담	상판 : 100%	상판 : 60~70% 사재 : 30~40%	사재 : 100%
형 고	지점부 : 5.0m 중양부 : 3.0m (단, L=100m로 가정시)	지점부 : 3.0m 중양부 : 2.0m (단, L=100m로 가정시)	2.0~2.5m (경간과 무관)
주탑고(H)	-	L/8~L/12	L/3~L/5
경간장(L)	50~150m	100~200m	200~500
특 징	<ul style="list-style-type: none">· 경제성 및 미관을 증진시킬 수 있는 중소지간의 경우에 적합한 형식· 경간장 증대시 형고 및 하중이 현저히 증가되어 하부공의 하중 부담이 증대됨	<ul style="list-style-type: none">· 낮은 주탑으로 사재 의존도 및 연직성분이 작아 사재의 수 및 길이를 저감시킬 수 있음· 기초공 규모가 사장교에 비해 작아서 경제적임	<ul style="list-style-type: none">· 높은 주탑으로 상징성 우수· 처짐 과다 발생으로 주행성 및 승차감을 저하· 재간장이 가능한 사장교 전용의 경사부재시스템을 사용, 높은 주탑으로 인한 기초공 규모 증대 등으로 인하여 공사비 증대

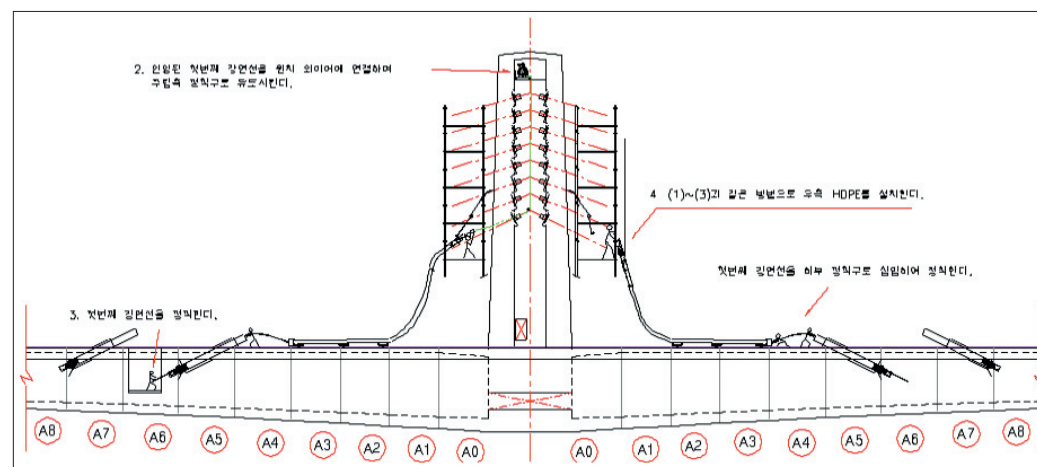


3. 시공흐름도

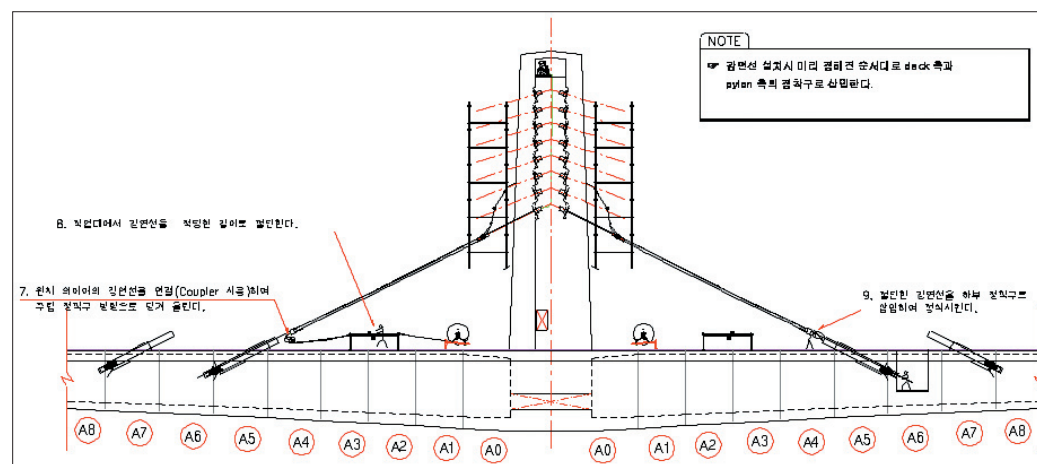
○ Step 1: 좌측 HDPE 파이프 인양



○ Step 2: 우측 HDPE 파이프 인양

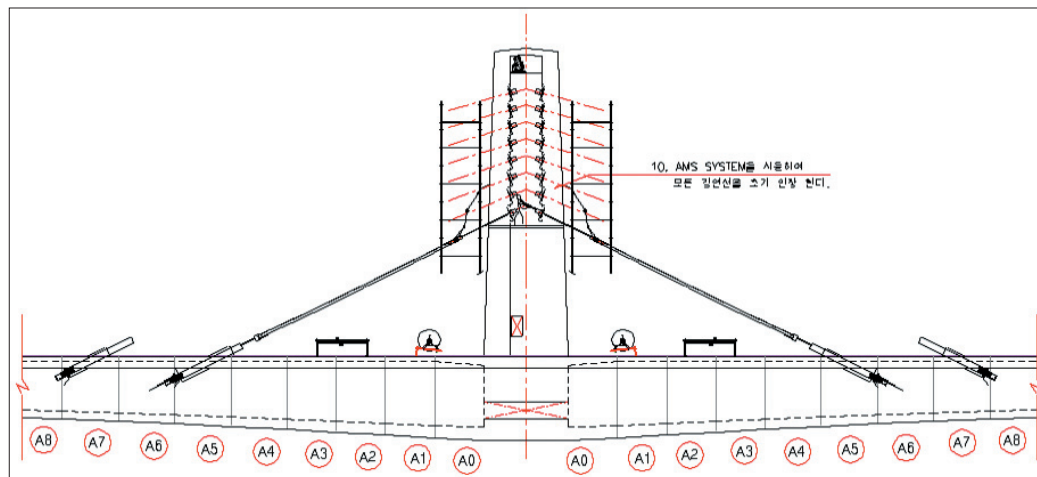


○ Step 3: 첫번째 강연선 인장

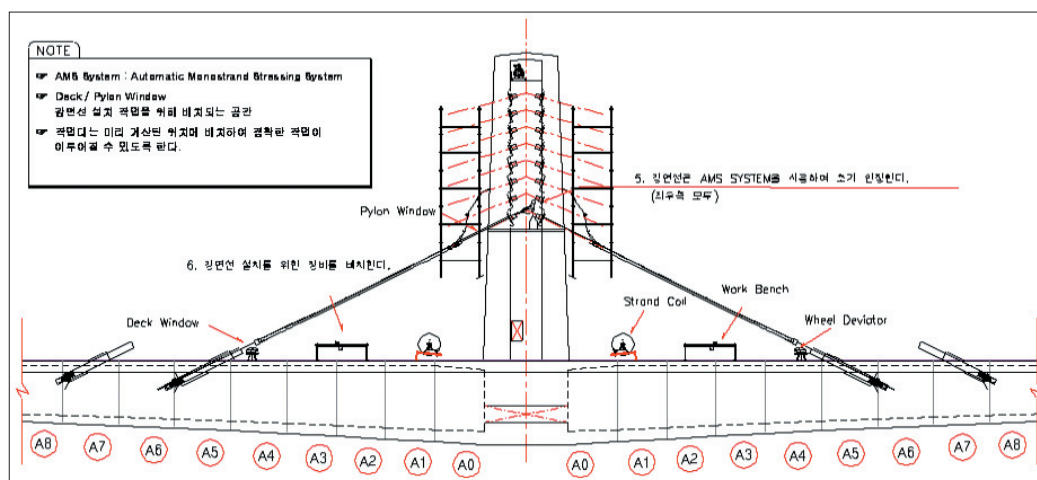




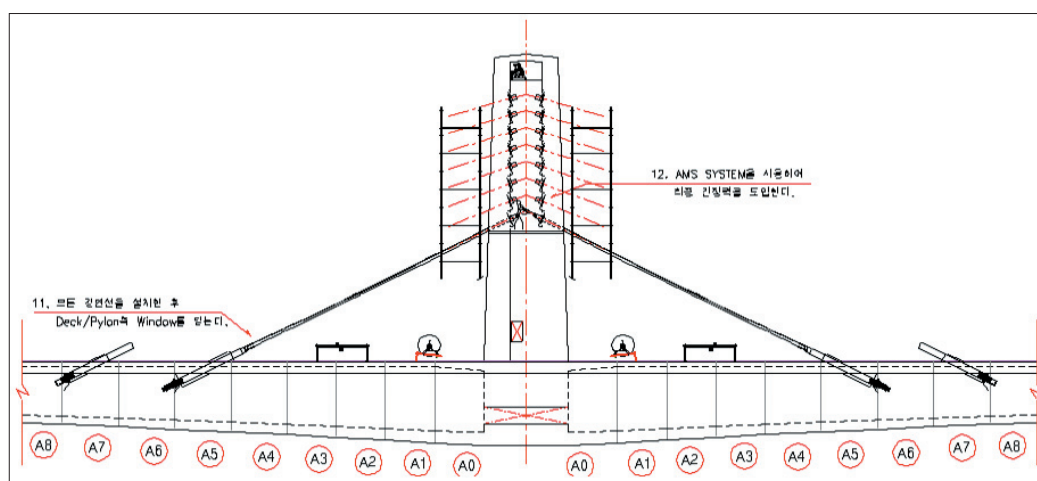
○ Step 4: 강연선 설치 계속

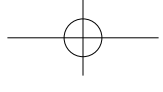


○ Step 5: 강연선 인장 계속

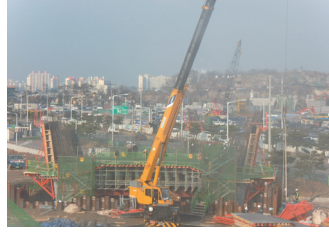


○ Step 6: 강연선 최종 긴장력 도입





4. 시공과정



① 가시설 설치

당 현장은 형고가 낮고 지장물이 없어 Bracket Type보다 가설벤트 설치가 유리하다. 가시설 설치 완료 후 안전 시설, 토류판설치, 동바리설치, 각재설치 거푸집 설치 순으로 진행하였다.



② 콘크리트타설

주탑에 주두부를 타설하여 F/T가 시공될수 있도록 하였다.



③ F/T 이동 및 설치

주두부까지 시공이 완료되면 슬라브를 시공하기 위하여 F/T를 설치한다. 5공구의 FCM은 도로를 지나가는 부분을 시공하는 것이라 교통제한 및 전환을 해야하는 실정으로 안전에 대한 것이 중요한 포인트이다.



④ Con'c 타설

SEG의 Con'c 타설방법은 펌프카로 타설한다. 이 때, 펌프카가 도로 1 개차선을 차단하여야 하기 때문에 신호수 배치가 필수이다. 그리고 타설시 중요한점은 상향(P5)방향 먼저 타설하고 2SEG 타설시 Camber 추이를 고려하여 타설치를 결정해야 한다.

Con'c 타설은 벽체 → 하부 → 벽체 → 상부순서로 타설을 하고 상부는 구배가 낮은 부분부터 시작하여 상향부에서 마감을 해야 한다.

⑤ 사재케이블 설치 진행

세그를 진행하면서 사재케이블을 설치하면서 계속 같은 방식으로 설치를 하게 된다. 세그를 진행하면서 중요한 점은 캠버관리이다. 세그가 길어지면서 처짐이 발생하므로 종단에 신경 써야 한다. 세그가 진행한후 KEY-SEG를 진행하는데 이것은 양방향으로 진행해온 세그를 접합시키는 것이다. 캠버관리가 안되면 세그 접합이 어려울 수 있기 때문에 설계 데이터에 맞추어 캠버관리를 진행하여야 한다.

