



제6절 | 특수교량

6.1. PCT 거더교량

PCT거더교량은 소정의 압축력이 도입된 콘크리트 하현재, 강관 또는 압연형강으로 만들어진 복부재, 그리고 강-콘크리트 합성부재로 형성되는 상현재로 구성되는 프리스트레스트 복합트러스 거더로서 순수 국내기술로 개발된 신개념의 hybrid구조체이다.

1. PCT거더의 배경 및 제원

인천대교 연결도로 제1공구의 운서2교는 인천국제공항과 경제자유구역인 송도국제도시를 연결하는 PCT(Prestressed Composite Truss)거더교량이다. PCT거더는 소정의 압축력이 도입된 콘크리트 하현재, 강관 또는 압연형강으로 만들어진 복부재, 그리고 강-콘크리트 합성부재로 형성되는 상현재로 구성되는 프리스트레스트 복합트러스 거더로서 순수 국내기술로 개발된 신개념의 hybrid구조체이다. 특히, 운서2교의 하부로는 현재 개발중인 영종하늘도시를 잇는 기존 도로망이 관통하므로 주변 경관에 걸맞게 미관이 수려하고 개방감이 있는 PCT거더교를 적용하였다.

> PCT거더교 제원

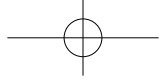
교량명	위치	교량형식	연장(m)	폭원(m)	비 고
운서2교	1+129.50 ~ 1+174.58	PCT 거더교	45	35.770	

> 타 공법과의 비교

구분	PCT 거더교	강합성박스거더교	PSC 박스거더교
전경 및 단면도			
장 점	<ul style="list-style-type: none">- 거더높이가 낮아 하부 통과 높이 확보 용이- 개방형 구조로 미관 수려- 곡선반경이 작은 단경간교- 급속시공이 가능- 유지관리 용이	<ul style="list-style-type: none">- 자중이 가벼워 중형 크레인 이용한 시공가능- 급속시공이 가능- 현장연결이 용이(고장력 볼트)- 시공실적이 풍부	<ul style="list-style-type: none">- 일체시공으로 내구성, 사용성이 뛰어남- 유지관리비 저렴- 재료비 저렴- 시공실적이 풍부- 운송상 제약없음
단 점	<ul style="list-style-type: none">- 인양시 대형크레인 필요(최대250ton 급)- 강재연결에 현장용접- 바닥판 시공을 위한 별도의 동바리 필요	<ul style="list-style-type: none">- 공사비 고가- 유지관리비 고가- 재도장시 하부 차량 통행에 지장초래- 박스내부 재도장곤란- 운송상 제약(높이)- 거더높이가 높다	<ul style="list-style-type: none">- 대규모의 동바리 요구- 공사기간이 길어짐- 현장시공으로 콘크리트 품질관리가 곤란- 자중이 무거워 기초 공사비 증가- 밀폐구조로 중압감 유발
상부 순공사비	1,200,000원/m2	1,450,000원/m2	1,350,000원/m2

※ 초기공사비는 동일설계조건에서 기존형식에 비해 10~20% 저렴하고, 총 중량은 강합성거더에 비해서는 약 17% 무겁지만, PSC 박스거더에 비해서는 약30% 가벼운 것을 알 수 있다.

※ 설계조건 : 경간장70m, 도로교, 1등급교(DB-24,DL-24)



2. PCT거더의 공법특징

① 구성요소의 분리제작

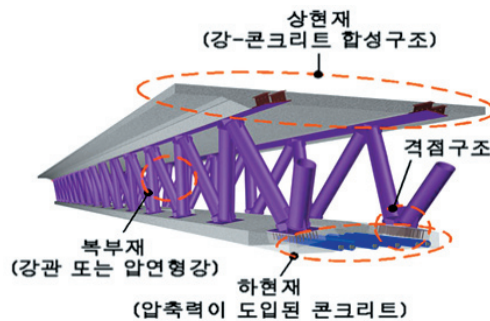
상현재, 복부재, 하현재의 분리제작으로 곡선제작문제를 극복할 수 있어 평면 또는 종단상으로 임의 형상을 갖는 부재 제작이 가능하므로 곡선구조물에 적용할 수 있다. 또한 분리제작을 통한 공장화 및 표준화를 통해 고품질의 거더를 공장에서 생산하게 되므로 제작 단가 및 건설공기를 획기적으로 줄일 수 있다.

② 트러스 구조의 채용

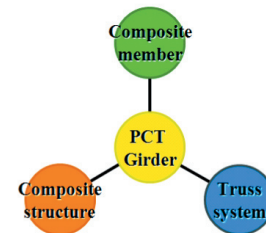
교량설계에 있어 가장 큰 문제 중 하나인 경간증가에 따른 자중증가 문제가 해결되므로 장경간의 교량건설이 가능하다. 또한 하현재에 콘크리트 압축강도수준에 해당하는 프리스트레스를 도입할 수 있어 큰 비용 없이도 극한하중상태의 안전성을 확보할 수 있으며, 부재 요소간의 상호 구속작용으로 인한 응력손실 및 인장응력발생을 크게 완화시킬 수 있어 사용 중 균열발생문제를 없앨 수 있다.

③ 상현재에 합성구조 채용

트러스 복부재의 경사각을 황금비율에 가까운 60도로 제작할 수 있어 미관을 크게 향상시킬 수 있고 별도의 PS강재 배치 없이도 중간지점부에서의 거더를 구조적으로 연속하는 것이 가능하다(강합성 박스거더와 동일한 설계개념 적용). 급속시공이 가능하고, 가설시의 거더 자중을 크게 경감시켜 가설장비 비용을 크게 절감시킬 수 있으며, 현장여건에 따라 다양한 가설공법(크레인, ILM, MSS, FCM)을 적용할 수 있다.



> PCT거더의 구성



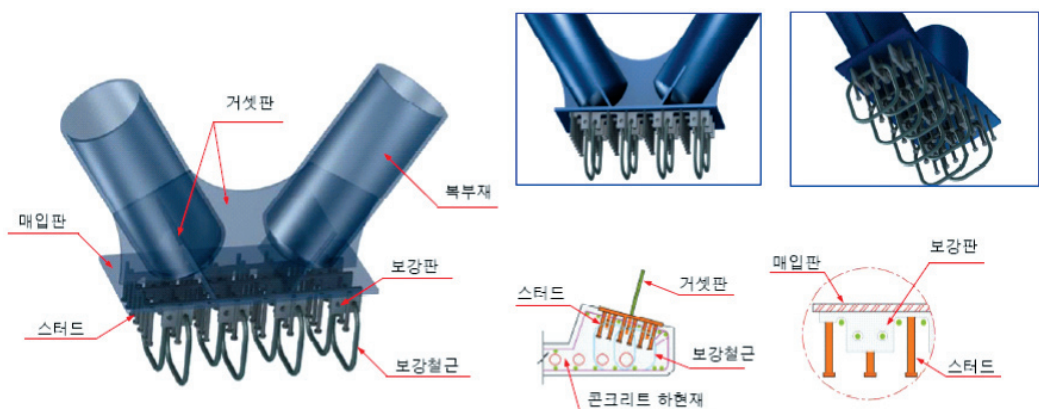
Key words

> 핵심 구성요소

④ 격점부 연결구조

사용하중 및 극한하중상태에서의 수평력 및 인발력을 스테드가 저항하도록 설계하고 스테드 사이에 보강판을 설치한 후, 보강판에 설치된 구멍을 통해 인발저항용 철근을 배치함으로써 보다 안전한 연결구조로 설계되었다.

※ 검증된 설계기준식(ACI-355) 적용



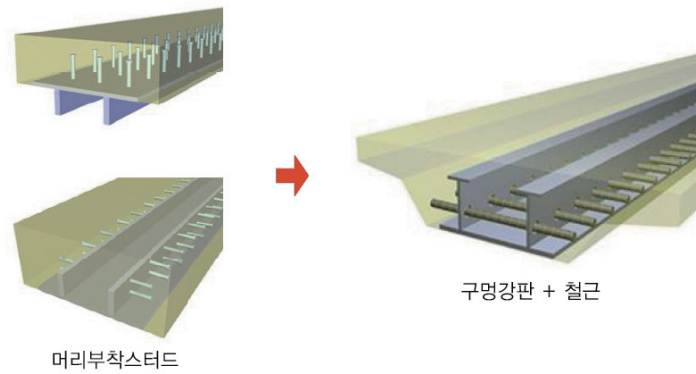
> 격점부 세부현황



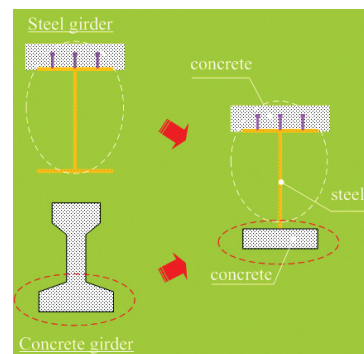
⑤ 상현재 합성구조

격점영역의 사용하중에 대한 구조거동과 피로특성을 크게 개선시키는 것을 목적으로 기존의 머리부착스터드 대신에 Prefobond rib(구멍강판) 구조를 전단연결구조로 채용하였고 상현 강재의 일부를 콘크리트 속으로 매입하는 부분 매입형 구조를 채용하였다. 이와 더불어 바닥판 하부 주철근을 강재복부에 관통시켜 배치하여 전단저항력을 개선(Dowel action)하였다.

> 상현재 합성 세부

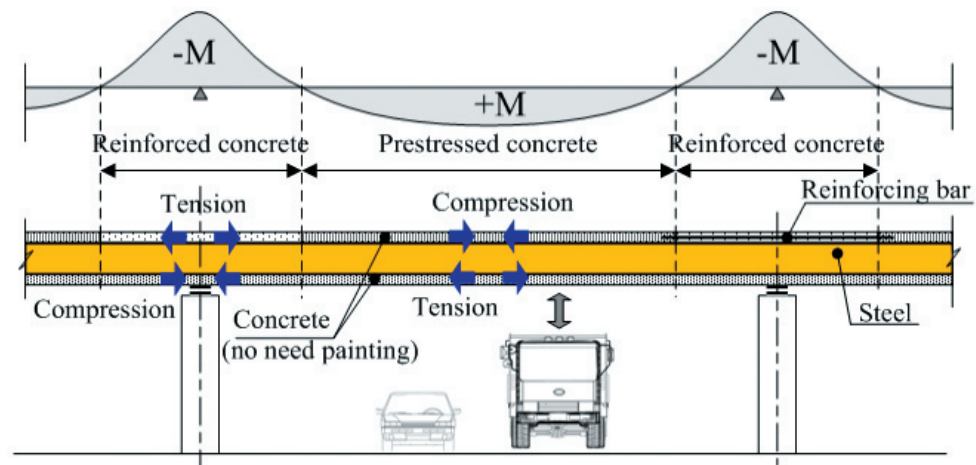


⑥ 구조개요도



- 강교
장점: 경량, 고강도
단점: 고비용, 유지보수의 어려움
- 콘크리트교
장점: 가격이 저렴하고, 유지보수 쉬움
단점: 무게가 무겁고, 외형이 단순

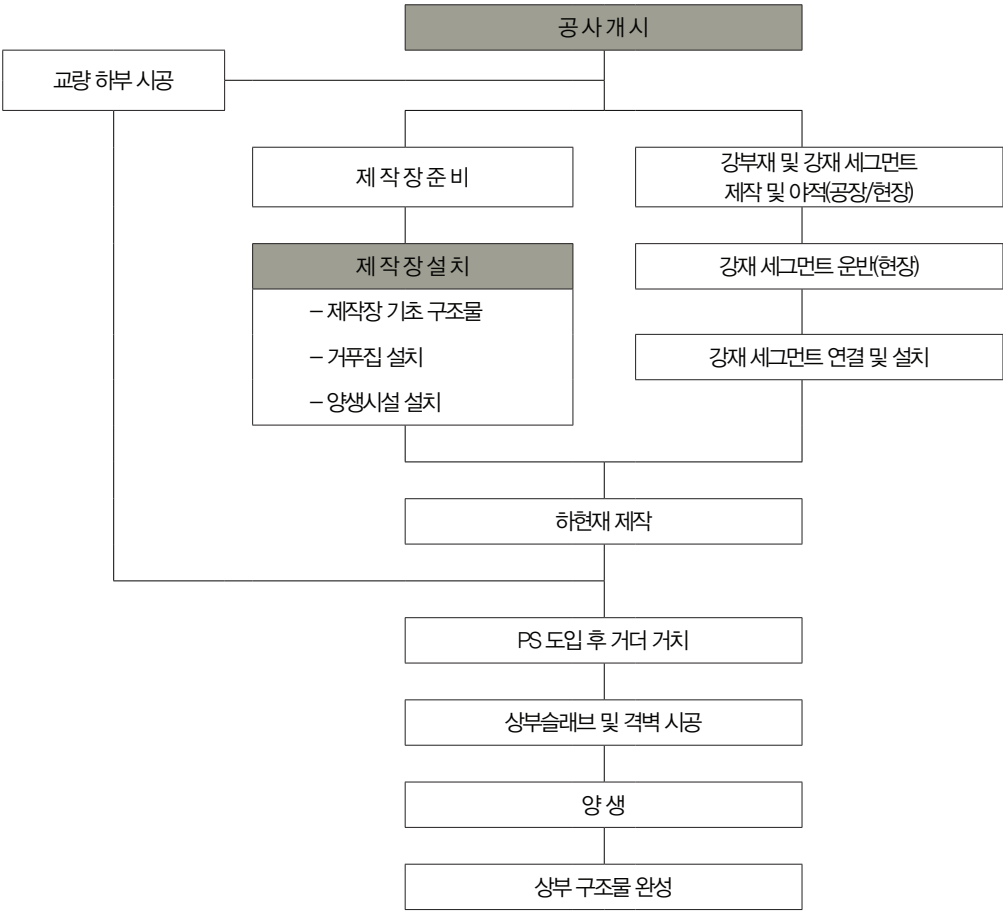
> 부재별 특성 및 구성의 개념



> 모멘트도

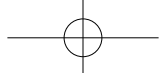


3. PCT거더의 시공방법
> PCT제작 및 시공절차



> PCT거더 제작 공정표

공 종	2008년												비 고
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
제작장 설치													
강재 반입													
트러스 공장 제작													
PCT 거더 제작													
PCT 거더 거치													
상부 슬라브													
격벽 및 가로보													
부대공													



① 공종별 시공

가. 제작장 시공

본선2교 교량현장과 인접부지(L=100m)에 거더 7개를 동시에 제작할수 있는 부지에 현장 다짐을 실시하여 거더 중량을 감안한 지지력을 확보하고, 기초 콘크리트를 타설 한다. 양생이 끝난 후, 측면 거푸집을 해체 한 후, 멍에재와 장선재를 이용하여 기초 거푸집을 설치한다.



1. 기초콘크리트 타설



2. 멍에재 및 장선재 설치



3. 하부거푸집 설치

> 제작장 시공

나. 강부재 공장 제작

본선2교는 강부재 제작 1급 인증공장인 삼부토건 철강사업소 공장에서 제작하였으며, 입고된 원자재를 절단 계획에 따라 자동화기계로 현도 및 자동 절단을 하고 상현재 주판의 단면 변화부는 서브머지드 자동용접을 하게 되며 비파괴 검사 RT(방사선 투과 시험) 단계를 거친다.



1. 파이프 절단 및 기공



2. 상부플랜지 자동용접



3. 비파괴검사(UT)



4. 거더 조립 및 용접

> 강부재 공장 제작

다. 강재 세그먼트 조립 및 연결

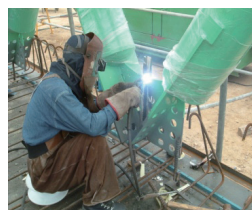
공장에서의 Segment 제작이 완료되면, 현장으로 운반하여 반입하게 되는데, 이때 안전성 확보를 위해 25ton 트레일러를 이용하였으며, 거더의 안전한 운반을 위해 Segment별로 체인블록을 이용하여 단단히 결속한 후, 현장으로 운반하였다.



1. 세그먼트 조립



2. 횡브레싱 설치



3. 하부연결판 용접



4. 비파괴검사(UT)

> 세그먼트 조립 및 연결

라. 하현재 제작 및 콘크리트 타설 · 양생

복부재의 설치가 완료되면, 철근을 배근 하게 되는데, 이때 겹이음 길이와 철근의 피복두께, 상하부 철근의 유효고를 확인하여 정확히 배근 한다. 복부재의 설치가 끝난 후 상면철근 배근과 동시에 쉬스관 및 정착장치를 설치하게 되는데 쉬스관과 정착장치는 도면에 명시된 정확한 위치에 선형과 각도를 고려해서 설치되어야 한다.



> 하현재 제작 및 콘크리트 타설



1. 하현재 철근 조립



2. 정착구 설치



3. 콘크리트 타설



4. 거푸집 해체

마. 거더인장 및 그라우팅

거푸집 해체 완료 후, 강선 삽입기를 이용하여, 강연선을 삽입 하고 고정정착구 부위는 헤드 및 웨지를 균등하게 정착 시킨 후, 인장계획에 따라 특수 제작된 인장재를 이용하여 계산된 신장률의 5%내의 오차 관리를 통해 인장을 실시한다.

> 거더인장 및 그라우팅



1. 강선 삽입



2. 정착구 및 웨지 고정



3. 인장작업



4. 그라우팅작업

바. 거더거치

거더의 거치는 거더 운반을 위한 트레일러가 작업할 수 있도록, 가도 정비를 해야 하며, 상차 크레인과 거치 크레인의 아웃트리거 자리는 지내력 시험을 통해 안전하게 작업이 이루어 질 수 있도록 만반의 준비를 해야 한다.

> 거더거치



1. 거더 상차



2. 거더 운반



3. 거더 인장



4. 거더 거치

사. 상부슬래브 시공

상부 슬래브 작업은 크게 세 개의 공정으로 이루어진다. 먼저, 거더의 멍에제 및 거푸집 설치 작업이다. 멍에제의 설치와 슬래브의 콘크리트 타설 작업 시 주어진 하중에 충분히 견딜 수 있게 견고하게 설치되어야 하며, 동바리의 설치가 끝나면, 거푸집의 설치와 거더의 외측부위에 캔틸레버 프레임 설치 작업을 동시에 진행하게 된다. 거푸집의 설치와 교량의 종 · 횡구배를 고려하여 설치하여야 하며, 거푸집의 설치가 끝나면 철근배근 작업을 하게 된다. 철근 배근은 철근의 피복두께와 겹이음길이 등을 확인하여, 도면에 표기된 형상과 치수에 잘 맞게 배근을 한다. 철근의 조립이 끝나면, 끝으로 최종 검측을 받고 상부 슬래브 콘크리트 타설을 한다.

> 상부슬래브 시공



1. 거푸집 설치



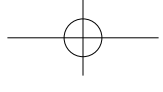
2. 철근조립



3. 콘크리트 타설



4. 습윤양생





6.2 중로아치교

Hybrid 개념을 도입하여 구조효율의 극대화 및 경제성을 도모하기 위하여 경간장의 중앙부는 강재, 측경간부는 콘크리트를 적용한 복합구조로서 중앙부의 고정하중을 감소시켜 아치효과에 의해 발생하는 기초 수평력을 최소화했다.

1. 중로아치교의 배경 및 제원

교량형식 선정의 착안사항을 설명하면 첫 번째 본 교량은 광로 14호(폭 50m)와 인천 지하철 1호선 송도연장선이 통과하는 교량이므로 장경간화가 요구되었다. 두 번째로는 교량 가설위치가 국제적 업무단지 내의 입체조망권지역에 위치하여 돌출형 교량이 요구되며, 조망지점별 교량형상의 다채로운 변화가 요구되었다. 따라서 시가지에서는 하로 아치교, 공원에서는 중로로 변화하는 교량을 계획하였다. 세 번째로 본 교량은 광로2-14호, 공원, 지하철역 부근의 위치하여 많은 유동인구 발생하므로 하부공간의 적극적 개발 필요하였으며 교량 하부공간의 공원화로 만남의 광장을 조성할 수 있도록 계획하였다.

> 거리에 따른 아치형식

항목	원 거리	근 거리
전경		
거리	800 ~ 900m	400 ~ 500m
시야각	5 ~ 7°	54°
조망폭	80 ~ 90m	420m
형식	단경간아치교로 표현	중로아치교로 표현

> 중로아치교 제원

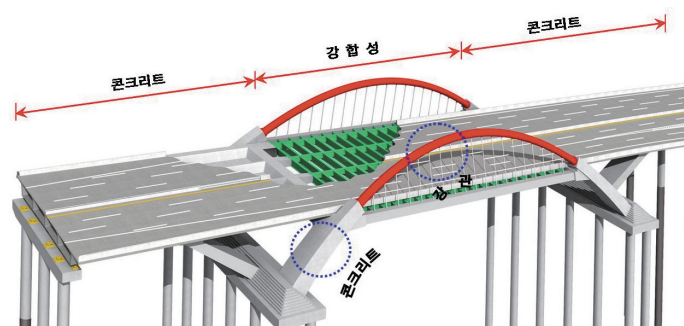
교량명	위치	연장(m)	지간구성	폭원(m)	비고
광로 2-14호 통과교(BR2)	1+250~1+463	213	46.5+120+46.5	영종/서울방향 각 18.9m	

2. 중로아치교의 공법 특징

① 하이브리드 시스템

아치 기초부의 수평력을 저감시키기 위해 1차적으로 도입된 설계개념은 하이브리드 시스템이다. 다음의 그림은 본 교량에 도입된 하이브리드 시스템을 종합적으로 나타낸 것으로서 교량의 중앙경간은 강합성교, 측경간은 PSC 박스거더교로 설계되었다. 아치리브 또한 중앙경간은 강관 아치리브를 적용하였고 측경간은 중공형식의 콘크리트박스로 아치리브를 설계하였다.

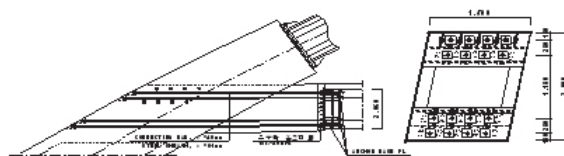
> 하이브리드 시스템



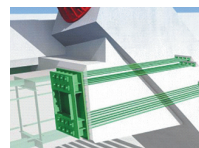


하이브리드 방법, 전후면판 매입식 방법, 후면판 매입식 방법 등으로 구분되며 본 교량에서는 가설방법의 제약 교량에서 설계 고려사항은 접합부의 설계이다. 강-콘크리트 복합구조의 대표적인 접합방법은 전면판조건으로 인해 전면지압판과 강봉을 사용한 접합방법을 도입하였다.

> 접합부 상세



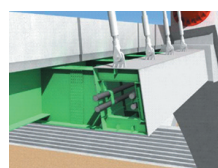
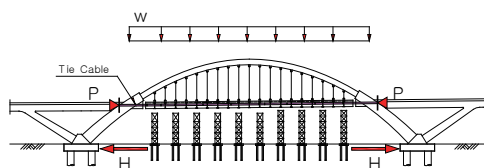
1. 접합부 단면



2. 접합부 조감도

② 타이케이블

Edge거더의 교축방향으로 배치된 다이 케이블을 가설 중 순차적으로 긴장하여 기추에 발생하는 수평력을 제어한다.



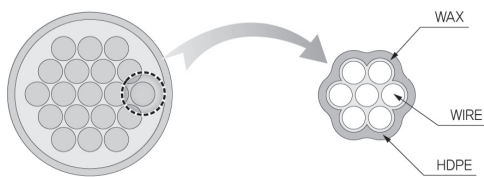
> 타이케이블 개요도

> 타이케이블 장력도입에 따른 수평력

시공단계	Tie 1차	아치행어 긴장후	Tie 2차	2차 고정하중
수평력	-12671.0	8332.6	1867.6	3203.2

- Tie 케이블 미긴장시 2차 고정하중후 수평력 : 24324.6kN
- Tie 케이블 1차 긴장 : 17333.3kN(4ea 긴장)
- Tie 케이블 2차 긴장 : 8968.5kN(2ea 긴장)
(0.6"strand-43가닥, 6ea사용, 2ea예비용)
- 확대기초 수평반력(kN)

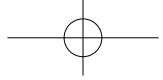
③ 행어 케이블



- Strand Cables(7-Wires, $\phi 15.2\text{mm}$),
- 인장강도 : $f_s = 1770.0\text{ MPa}$
- 부식방지와 풍하중에 의한 케이블의 흔들림방지를 위해 Wax로 충전
하고 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 튜브로 피복
- 사용 케이블은 19가닥의 Strand로 구성 ($A_s = 2850\text{ mm}^2$)

> 행어케이블 제원 및 장력

구분	시공시	사용시	케이블 교체시	케이블 파단시
최대설계장력 (kN)	1838.1	1242.1	1478.2	1756.1
허용장력 (kN)	2080.9	1664.7	2080.9	2214.1



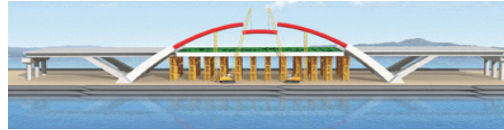
3. 중로아치교의 시공방법

> 중로아치교 시공절차

STEP 1: 아치기초 및 측경간 시공



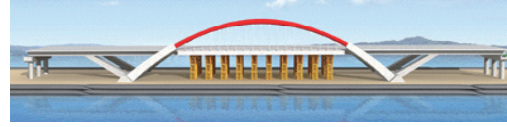
STEP 2: 중앙경간 보강형 및 아치튜브 가설



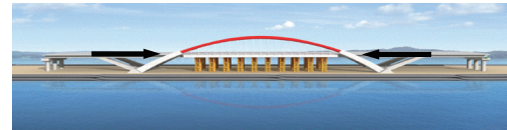
STEP 3: 슬래브 타설 및 양생 및 1차 Tie 케이블 긴장



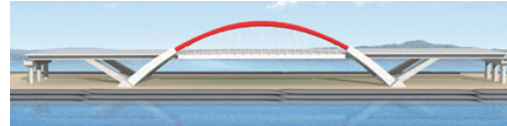
STEP 4: 행어케이블 가설 및 긴장



STEP 5: 2차 Tie 케이블 긴장 및 가설벤트 해체



STEP 6: 아치 보강형 연속화 포장, 방호벽 및 중분대 설치



> 중로아치교 공정표

구 분	2007년 6월	2008년 9월	2009년 1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
기초 및 교각시공												
아치튜브 제작 및 설치												
중앙거더 설치 및 슬래브시공												
행어케이블 설치												
부대공												

① 공종별 시공

가. 하부공 시공

> 현장타설 말뚝 및 기초 시공 전경



1. RCD천공



2. 철근망근입



3. 콘크리트 타설



4. 현장타설말뚝완료



1. 확대기초 철근조립



2. 확대기초 타설



3. 증기양생



4. 기초 완성



> 사교각 및 아치리브 시공 전경



1. 사교각 벤트 설치 및 철근조립



2. 사교각 EPS블록 설치

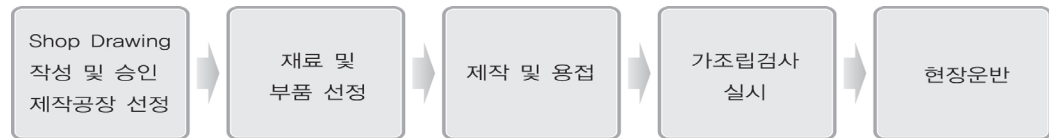


3. 사교각 타설



4. 사교각 완성

나. 아치튜브 제작



> 아치튜브 제작공장 점검



1. 아치튜브제단



2. 고주파벤딩작업



3. 벤딩후 MT작업



4. 강판두께측정

다. 아치튜브 운반

운반수단에 따라 동원장비를 결정하고 공정계획에 따라 안전하게 운반하도록 계획하였다.

운반중 변형이나 손상되지 않도록 조치하였다. 운송중 부재에 무게중심을 표시하여 운반하였다.

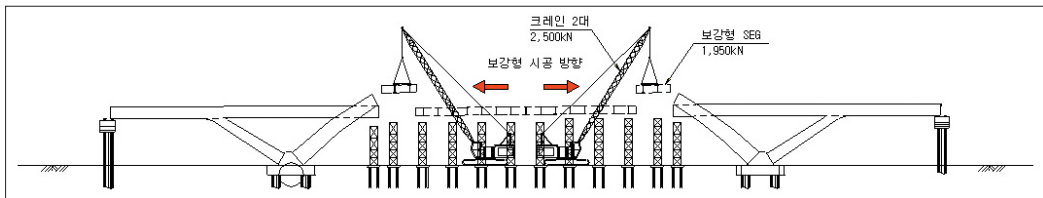
· 공장 제작후 강도로고 상세설계지침에 의거 3개 Segment를 용접하여 운반		
기준	계획	
· 규모 : 36×32×125 · 중량 : 40ton 이하	· 규모 : 30×31×125 · 중량 : 33.5ton	

라. 중앙경간 강교 설치 및 아치튜브 설치

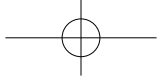
가설하기전 현장에 부재를 야적할 경우 부재가 지면에 접하여 부식되지 않도록 조치한다.

야적작업중 전도하거나 낙하, 부재간 접촉으로 부재가 손상되지 않도록 작업하였다.

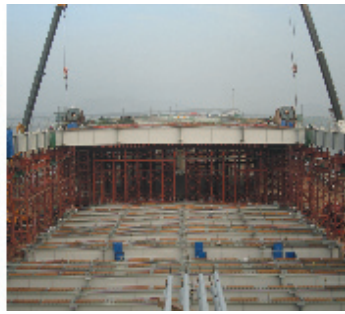
> 중앙경간 강교 설치 전경



1. 중앙경간 강교 설치 계획도



2. 엣지거더 설치 전경

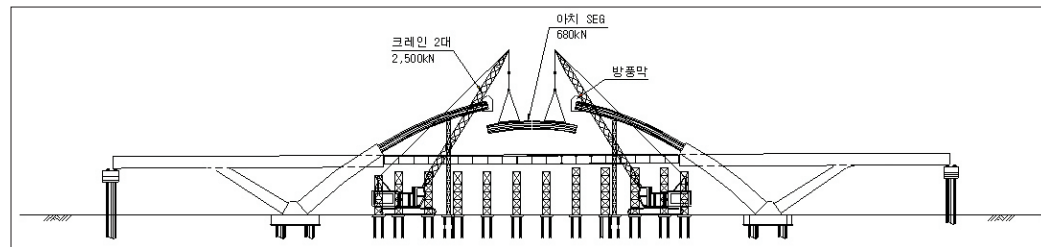


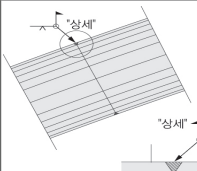

3. 가로보 설치 전경



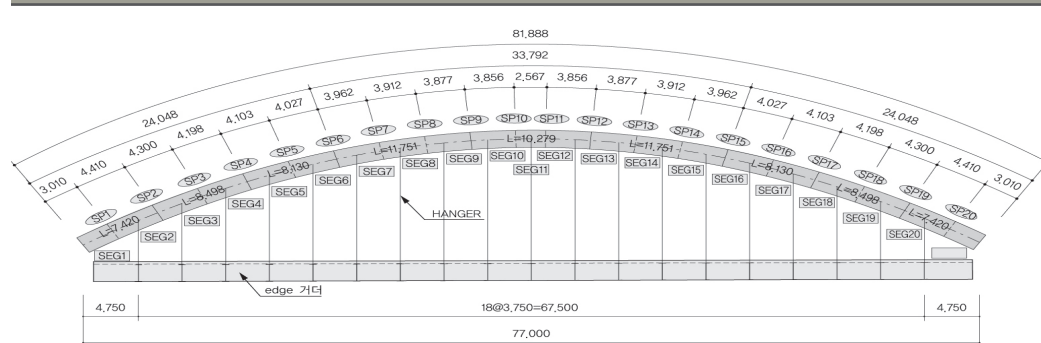
4. 가로보 설치 완료 전경

1. 중앙경간 강교 설치 계획도



중 점 관 리 사 항		· 용접시에는 자격증 소지자에 한하여 기량 시험 후 투입 · 비파괴 검사는 시방서 규정에 준함		· 부재중량 67.6ton ↓ · 150ton 크레인 사용 인양 능력 77.8ton
	용접이음		충분한 용량의 양중장비 사용	

가설 Segment 구분도



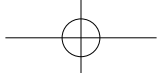
> 아치리브 설치



1. 아치리브 1SEG 설치



2. 아치리브 2SEG 설치



3. 아치리브 CROWN 설치



4. 아치리브 설치 완료

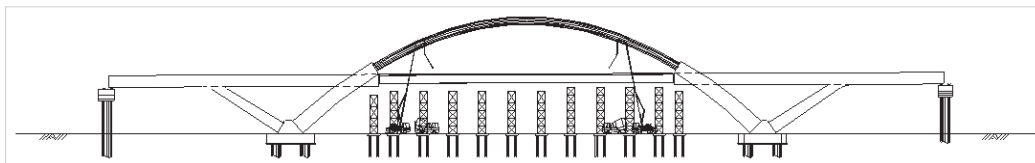
마. 상부슬래브 시공

특정 구간에 콘크리트 집중하중이 생기지 않도록 타설 순서를 준수하였다.

B/P장 레미콘 출하시간 관리로 콜드 조인트 및 침하균열을 방지 하였다.

스크린쿨러 설치로 습윤양생 실시하였다.(최소일 5일이상)

> 상부슬래브 콘크리트 타설



1. 슬래브 타설 전경



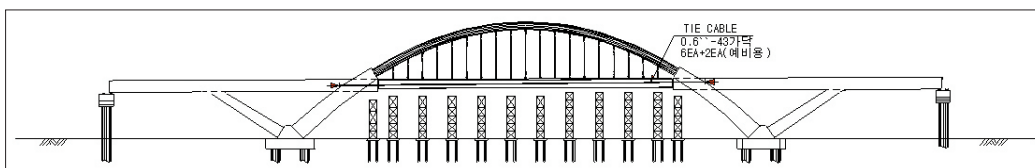
2. 슬래브 타설 완료 전경

바. 타이케이블 1차 긴장→행어케이블 가설 및 긴장→타이케이블 2차긴장

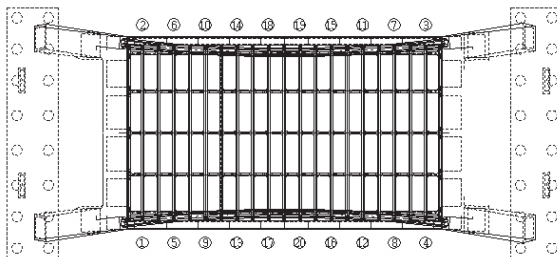
타이케이블 1차 긴장 후 아치 행어케이블 가설후 긴장순서에 따른 긴장을 준비한다.

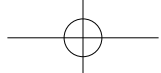
케이블 가설시에는 보강형 및 아치리브의 캠버를 고려하여 길이를 조정한 케이블 시공이 필요하다.

> 타이케이블 설치 계획도



> 행어케이블 긴장 순서





> 행어케이블 긴장 전경



1. 행어케이블 제작길이 실측



2. 행어케이블 설치



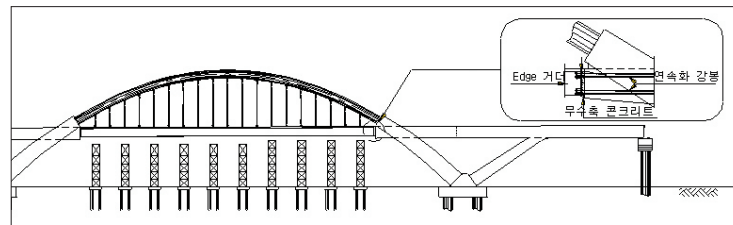
3. 보강형 정착부



4. 행어케이블 인장

사. 아치보강형 연속화 및 벤트 제거

> 벤트제거 계획도 및 전경



아. 케이블 시공시 유의 사항

케이블 인장과 긴장시 유의 사항

고정단측 Fork-terminal 정착구에 인상장치를 체결하고 인상장비에 의해 인상한다. 단, 인상장비는 정착구 인상 시 작업원이 탑승할 수 있는 케이지가 구비되어야 한다. 케이블 인상 전 HDPE DUCT는 이동용 Trolley를 고여 이동한다. 케이블 인상장비에 의하여 아치리브측에 고정정착구가 설치된다.

조정단측에 사전에 조립한 견인장치를 사용하여 상판측 FORK에 최대한 가까이 위치하도록 견인한다. 견인이 완료되면 긴장장비를 조합하여 목표하는 긴장력과 동일하도록 긴장한다.

장력 및 형상조절시 유의사항

최종 긴장작업에 앞서 모든 케이블을 대상으로 장력을 측정하고 상판의 Elevation을 측정한다. 측정된 자료들은 설계값과 비교분석하여 목표되는 형상과 장력에 부합되지 않을 경우 Re-stressing 또는 De-stressing 양을 결정하여 재긴장한다. 긴장작업은 케이블 가설시와 동일한 장비를 사용하여 긴장한다.

긴장이 완료되면 상기한 과정을 반복적으로 수행하여 최적의 형상과 장력에 부합되도록 조정한다.