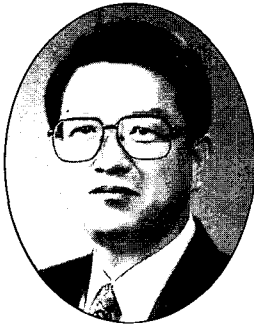


Lifting의 가장 중요한 점은 순차적으로 인양되는 단계에서 cross beam의 기울음으로 인한 편심작용으로 유압 system 및 주탑 leg에 동일한 반력이 전달되지 않는다는 것이다. 그러므로 유압 jack 작동시 양쪽 leg에서 동시에 이루어져야 하고 주기적인 측량확인, 상하좌우 상호간의 신호체계가 확립되어야 한다.

사장교 주탑 Cross Beam Heavy Lifting 공법

-서해대교 시공사례-



김 상 수
대림산업(주)
기술연구본부 본부장,
전무이사

1. 개요

서해대교 사장교 주탑의 cross beam 시공은 고소에서 작업이 이루어져야 하며, 매우 높은 정밀도를 요구하는 작업으로서 절대공기에 많은 영향을 미치는 사장교 주탑의 핵심적 부분으로 계획된 공기를 절감하고 품질 및 안전의 확보를 위해, 현장 타설 시공이 어려운 cross beam 1,2(CB-1, CB-2)는 반단면을 precast로 제작하여 heavy lifting 한 후 주탑부와의 연결 및 상부 slab를 현장 타설하는 공법이다.

2. heavy lifting 시공

2.1 공법의 설명

당초 cross beam의 시공계획은 주탑에 bracket을 설치하

여 1차적으로 반단면을 시공한 후 2차적으로 상부 반단면을 시공기로 계획되었으나, bracket에 작용하는 하중(truss girder 및 콘크리트의 자중)이 과대(최대 1470 ton)하여 주탑 leg에 많은 영향을 미치며 cross beam 자체의 camber 관리와 고소작업에 따른 안전관리 확보 및 절대공기를 단축

(CB1 기준, 당초:170일, 변경:149일, 공기단축 21일)할 수 있도록 검토하였고 CB1은 지상에서, CB2는 CB1 완료 후 slab위에서 precast로 반단면을 제작한 후 heavy lifting 공법을 이용하여 소정의 위치까지 인상시킨 후 접합부와 나머지 반단면을 현장타설 콘크리트로 완료하였다.

2.2 현장타설과 precast 공법의 비교

구 분	현장타설(당초)	Precast(변경)
작업 순서	1) Leg 시공과 병행하여 지상에서 truss girder 와 1st half 거푸집 및 철근 조립 2) truss girder heavy lifting 3) truss girder 지지용 bracket 설치 4) 1st half con'c 타설 5) truss girder 해체 6) 기 타설된 1st half con'c 강성을 이용하여 2nd half con'c 타설	1) Leg 시공과 병행하여 지상에서 1st half precast 제작 2) precast된 1st half cross beam heavy lifting 3) leg와 cross beam 사이의 joint con'c타설 4) 기 타설된 1st half con'c 강성을 이용하여 2nd half con'c 타설
장단점	1) 장경간(CB1:35m, CB2:30m) truss girder 위에서 con'c를 타설하므로 인해 camber 관리가 곤란함. 2) bracket에 1st half con'c 자중 및 truss girder 자중이 작용하여(최대 1470ton) bracket의 자중이 과다해져 주탑 leg에 설치가 곤란함(허용변위 초과) 3) 연직 시공 joint가 2개소 발생함 4) 고소작업에 따라 안전관리가 어려움	1) 육상에서 동바리를 사용하여 con'c를 타설하므로 camber의 관리가 용이함. 2) heavy lifting jack에 의해 지지되므로 bracket 불필요 3) 시공 joint가 다소 발생함. 4) precast 시공에 따른 정밀시공이 요구됨 5) 육상시공에 따라 안전관리가 용이
소요공기	총 170일(주탑시공과 병행공기 44일 포함)	총 149일(주탑시공과 병행공기 44일 포함)

3. 실시 세부사항

3.1 precast 제작

Cross beam 종방향의 camber에 맞춰 screw jack, h-beam, 강형거푸집을 사용한 바닥 slab와 dock form을 이용한 벽체부를 육상에서 조립(CB2는 CB1 완료 후

상부 slab에서 제작)하여 cross beam의 반단면을 precast로 제작하고 heavy lifting을 위한 설비까지는 조립하는 단계로 작업순서는 다음과 같다.

- (1) 바닥 slab의 screw jack 및 H-beam 설치
- (2) 외벽 DOKA form 조립
- (3) 철근 조립
- (4) Sheath관 설치
- (5) 바닥 slab con'c 타설
- (6) 벽체 철근 및 sheath관 조립
- (7) 내벽 DOKA form 조립
- (8) 2차 벽체 con'c 타설
- (9) Prestress 도입(temporary strand tendon)
- (10) lifting 설비 설치

3.2 거푸집 및 철근 조립

바닥 슬래브 거푸집의 조립은 슬래브에 대한 철근 콘크리트의 자중 및 영구하중 재하시 처짐이 보정될 수 있도록 cross beam 종방향 camber에 맞춰(중앙부의 camber량 : CB1-7cm, CB2-5cm) screw jack으로 높이를 조정한 후, 횡방향으로 H-beam(H-300X300)을 설치하고 그 위에 강재 거푸집과 coating 합판(t=18mm)으로 조립한다. 벽체 거푸집은 선형의 조정과 설치, 해체가 용이하며 콘크리트 측압에도 변형이 되지 않는 DOKA form을 사용하여 외벽을 먼저 조립하여 바닥 슬래브 콘크리트를 타설한 후 내벽 거푸집을 조립하며 타설시 변형을 방지하기 위해 form tie로 내/외부를 체결한다. 수직이음부의 거푸집(단부)은 주탑부와의 joint 시공을 위해 노출된 수평철근 사이에 설치되는 거푸집으로서 시공성이 고려될 수 있

도록 제작되어야 하고, 타설시 변형되지 않도록 견고하게 지지한다.

철근가공시는 사용철근이 고강도 철근(SD40)임을 감안하여 기계적 가공시 유의하며, 철근의 절단은 기계 절단을 원칙으로 한다. 철근 조립시에는 겹이음 위치가 물이음이 되지 않도록 겹이음 위치를 배치하고, 주철근은 나사이음 처리하여 겹이음으로 인한 콘크리트 타설시 재료분리를 최소화할 수 있도록 철근 순간격을 확보한다.

precast 제작시, 주탑부와 연결되는 end부의 노출철근은 최소 20cm로 엇이음 되도록 나사이음철근으로 조립하고, 주탑 slip form 작업시, 미리 시공한 coupler와 나사체결하여 joint부의 철근 조립이 되도록 한다(콘크리트 시방서 및 ACI에서는 기계적이음의 인장강도가 철근 항복강도의 125%인 경우에는 물이음을 피하지 않아도 된다고 규정). 철근의 검측시에는 겹이음등 일반적인 조립은 설계도 및 시방서에 준하며 나사이음 체결부는 나사 가공부의 부풀림 직경 이상이 관입되도록 나사부분에 길이를 표시하여 coupler 및 nut 체결 상태를 확인한다.

Sheath 관 설치 및 긴장시 cross beam의 prestress 도입을 위한 strand tendon과 threadbar tendon(only CB1)의 sheath관을 철근조립중에 설치하며 lifting 후 기 시공된 주탑 leg와 연결하여 현장타설부의 joint 구간이 시공되도록 한다. heavy lifting 시 cross beam에 발생할 수 있는 콘크리트 인장균열을 방지하기 위하여 cross beam 바닥 슬래브에 temporary strand tendon을 설치하고 lifting전에 긴장 및 grouting을 완료한다. (CB1 : 19X0.6 inch 5열, CB2 ; 19X0.6 inch 3열)

3.3 heavy lifting

precast로 제작된 cross beam의 반단면을 CB1 및 CB2의 정위치까지 인상하는 공법으로 주탑 leg에 설치된 heavy lifting device와 유압 jack에 의해 인상하

고 lifting 전에 검토된 precast 중량의 15%을 cross beam 내부에 물로 채워 load test를 실시하며 다시 물을 제거한 후 lifting system 및 주탑 leg의 변위상태를 확인한 후 인상한다. heavy lifting system의 구성은 다음 표와 같다.

NO	item	수 량		단 위	적 요
		CB1	CB2		
1	ANCHOR PLATE	2×2	-	SET	CONSOL 거치용
2	"	"	-	"	STRUT BEAM 거치용
3	"	4×2	-	"	SHORE BEAM 거치용
4	SHORE BEAM	"	-	본	MAIN BEAM SUPPORT용
5	BRACKET	-	4×2	조	MAIN BEAM 거치용
6	STRUT BEAM	1×2	-	조	SHORE BEAM 지지용
7	MAIN BEAM	4×2	4×2	본	SAND HOLDER 설치용
8	CONSOL	"	2×2	조	MAIN BEAM 반력지지용
9	DYWIDAG BAR	-	8×2	본	CONSOL 거치용(φ36)
10	SAND HOLDER	4×2	2×2	조	HYDRAULIC BEAM LEVEL 조정용
11	HYDRAULIC BEAM	1×2	1×2	본	유압 JACK 설치용
12	유압 JACK	8×2	8×2	조	LIFTING JACK
13	SPREADER BEAM	1×2	1×2	조	LIFTING STRAND 하부 지지용
14	WEDGE DEVICE	48×2×3	48×2×3	조	STRAND 고정용
15	LIFTING STRAND	48×2	48×2	본	φ=15.7, L=70M/본
16	WORKING PLATFORM	1×2	1×2	조	유압 JACK 조작등 LIFTING시 작업대

또한 이때 이용되는 lifting 장비의 제원은 다음과 같다.

ITEM	규격	단위	수량	비 고
유압 Jack	70ton	조	16	Model MLH 700/300
Strand 용 Winder		조	1	
Hydraulic Aggregate		조	8	
고압 오일 호스	3/4"	M	200	
오일 공기 냉각기		대	2	
Wedge Device		조	288	
Lifting Strand	φ15.7	본	96	70M/본

Lifting 중량과 인양장비의 용량 검토는 cross beam에 따라 다음과 같이 설정 되었다.

아래 표에서 비교되었듯이 Precast 자체 중량에 당초 계획한 15% 중량 만큼의 물

을 추가로 채워서 Load Test를 할 경우 최대 중량이 1080 ton으로서 유압 jack의 최대 인양력 1120 Ton으로 충분히 Lifting 할 수 있음을 알 수 있다.

구 분	단 위	Pre-Cast		인양용 유압 Jack의 용량
		Load Test 전	Load Test 후	
CB1	Ton	940	1080(15%up)	60PCS×70ton jack=1120ton
CB2	Ton	710	791	

또한 Lifting 높이는 다음과 같다.

구 분	Cross Beam 1			Cross Beam 2		
	제작 EL	최종거치 EL	인양 높이	제작 EL	최종거치 EL	인양높이
PY1	(+)6.350	(+)56.433	50.083	(+)64.655	(+)116.393	51.738
PY2	(+)6.300	(+)58.803	52.503	(+)66.850	(+)118.823	51.973

Cross Beam에 따른 Lifting device의 시공순서는 다음과 같다.

(1) Cross Beam -1

- ① Shore Beam 설치
- ② Strut beam 설치
- ③ Consol 설치
- ④ Main beam 설치
- ⑤ working platform 설치
- ⑥ Sand Holder 설치 : Mail Beam의 수평상태 확인 후 1차 Level 조정
- ⑦ Hydraulic Beam 설치 : 최종 수평 Level 조정
- ⑧ 유압 Jack 설치 및 유압 system 조립
- ⑨ Spreader beam 설치
- ⑩ Lifting strand 및 sedge device 조립
- ⑪ 유압 system 최종 점검 및 가운전

(2) Cross Beam -2

- ① Bracket 및 Main Beam 설치 : Neoprene Pad와 얇은 철판으로 Level 및 유격 조정
- ② Main Beam Opening 바닥 Grouting
- ③ Consol 거치용 DYWIDAG BAR 삽입
- ④ Consol 설치
- ⑤ DYWIDAG BAR 긴 장 및 Grouting : 긴장력 65 ton/본 도입
- ⑥ Working Platform 설치
- ⑦ Sand Holder 설치
- ⑧ Hydraulic Beam 설치
- ⑨ 유압 Jack 설치 및 유압 system 조립
- ⑩ Spreader Beam 설치
- ⑪ Lifting Strand 및 Wedge Device 조립
- ⑫ 유압 System 최종점검 및 가운전

lifting의 가장 중요한 점은 순차적으로 인양되는 단계에서 cross beam의 기울음으로 인한 편심작용으로 유압 system 및 주탑 leg에 동일한 반력이 전달되지 않는다는 것이다. 그러므로 유압 jack 작동시 양쪽 leg에서 동시에 이루어져야 하고 주기적인 측량확인, 상하좌우 상호간의 신호체계가 확립되어야 한다. 이러한 체계에 바탕을 두고 유압 jack의 반복작용으로 lifting을 시행하며 일정 단계마다 측량결과로 기울음을 조정해 가면서 소정의 높이까지 인양하도록 해야 한다. 측량 및 측정시 기준점 선정은 level 기준점에 대해서는 시준각을 고려하여 안산측과 당진측에 좌우로 2개소 설치하며 주탑 변위 기준점은 주탑에 부착된 target의 눈금을 읽을 수 있도록 cell 상부에 설치한다.

Target은 인상시 level을 확인하기 위한 광파기용 target으로 Precast 좌, 우, 양쪽하부에 4개소 설치하며 인상시 주탑의 변위를 측정하기 위해 눈금판으로 제작한 target을 상, 하행선 Leg 좌, 우측에 4개소 설치한다.

측정항목은 다음과 같다.

- Cross Beam의 Level(4개소)
- 주탑의 변위(4개소)
- 강선의 신장량
- 측정 시간별 대기온도, 풍속등

기상 악화등 인양 중지시 조치로는 검토된 한계이상의 강풍 및 돌풍, 강우로 인한 인양작업의 중단과 야간 인양 불가로 인해 주간 종료후 인양된 상태의 Precast의 거동을 방지하기 위해 Precast의 네 모퉁이에 Wire rope를 lifting전에 매달아 기초부 Cell 상단에 고정하여 횡적 거동이 없도록 하고 인양 재개시에는 고정부를 해체한다.

4. 인양 완료후 조치사항

인양이 완료되면 유압 system 및 lifting strand에 보호 조치를 하고 precast의 횡적 움직임을 방지하기 위하여 joint 시공을 위해 주탑 leg에 매설된 나사 이음 철근에 X형 wire bracing을 한다.

또한 인양 작업시 발생된 주탑 leg의 변위를 보정하기 위하여 precast와 주탑 leg 사이에 한쪽은 screw jack(100ton)을 부착한 H-Beam(H-300×300)으로 고정시키고, 다른 한쪽은 유압 jack을 이용하여 단계별로 압력을 가하면서 변위상태를 측정하고 보정이 완료되면 H-beam Device로 고정한다(설치위치:Precast 하부에서 1.5m 높이에 좌, 우 2개소씩). Lifting이 완료된 후 Device를 해체할 수 있는 높이의 주탑과의 joint 시공이 완료되면 설치의 역순으로 안전하게 Device를 해체한다.

