

MIDAS SQUARE 공학 기술강연

대공간 구조물 Erection Engineering & 시공 중 모니터링

조덕원 | (주)C·S 구조엔지니어링

CONTENTS

Chapter 1.

설계단계

Erection을 고려한 대공간 구조계획

설계 시 초기 Erection 계획 제안

Chapter 2.

시공단계

시공 방법 결정

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

가설 구조물 안전성 검토

시공 단계별 구조물 안전성 검토

가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

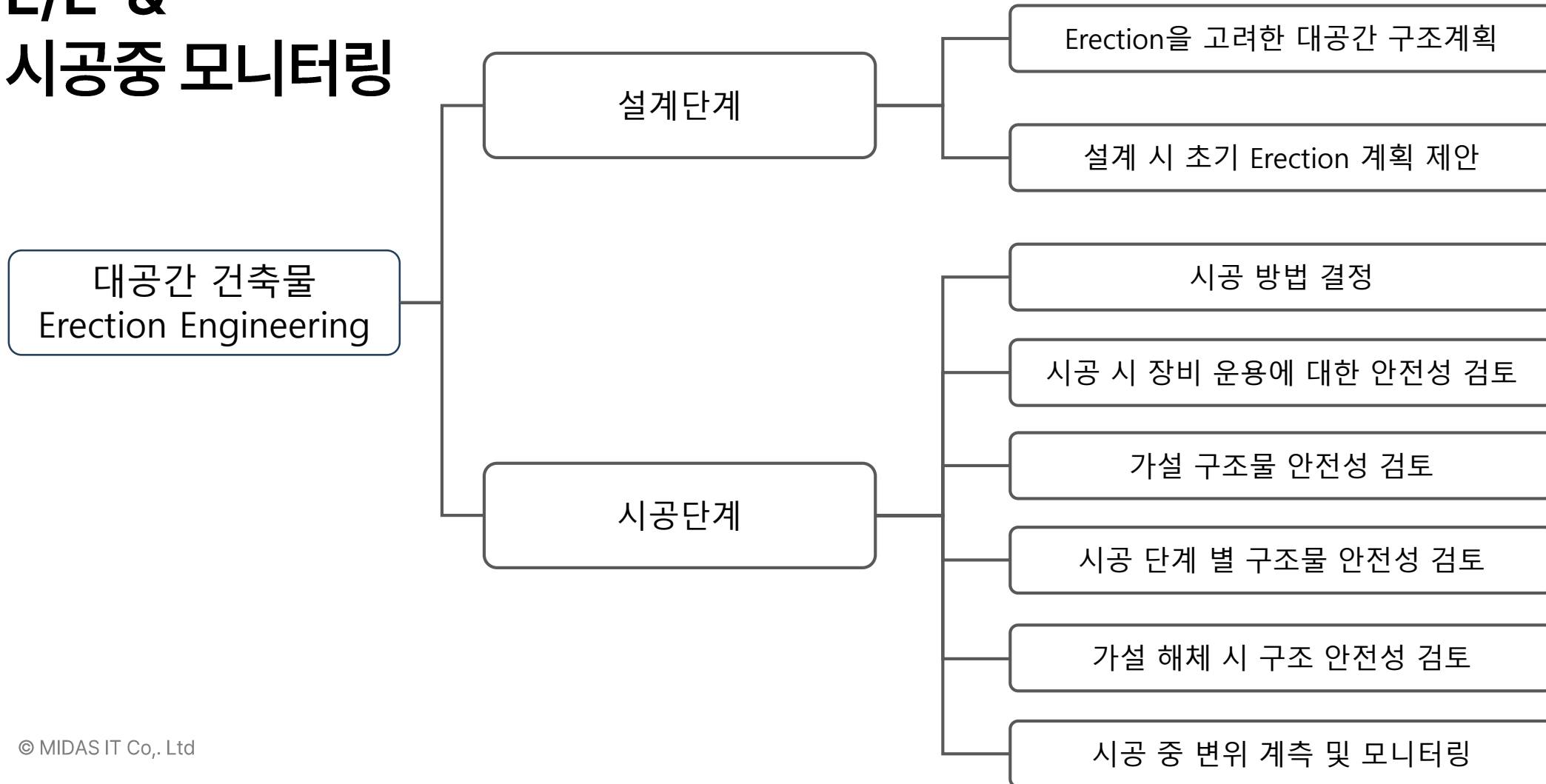
Chapter 3.

시공사례

필리핀 아레나

대공간 구조물 E/E & 시공중 모니터링

INTRODUCTION



설 계 단 계

Erection을 고려한 대공간 구조계획

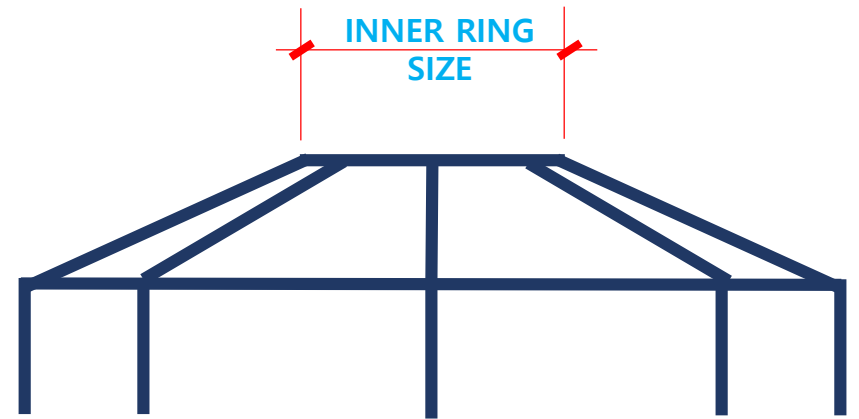
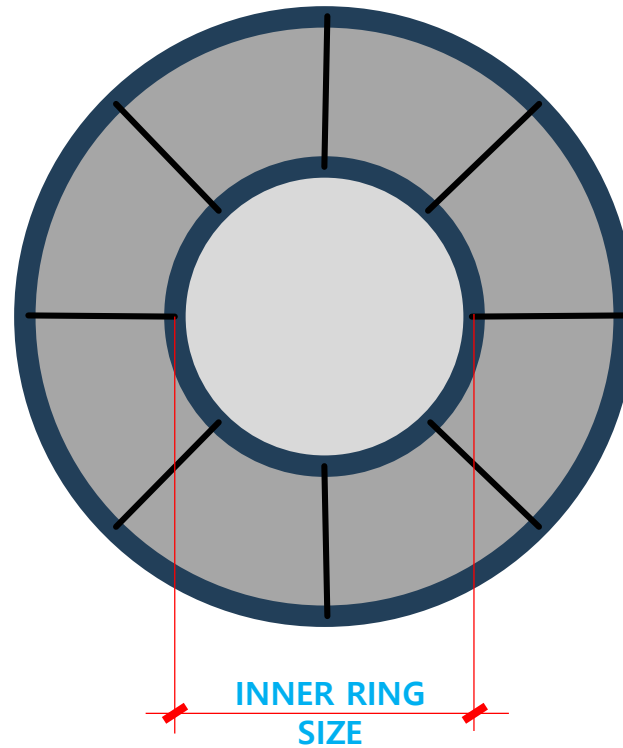
설계단계

Erection을 고려한 대공간 구조계획

설계단계

Erection을 고려한 대공간 구조계획

설계 시 초기 Erection 계획 제안



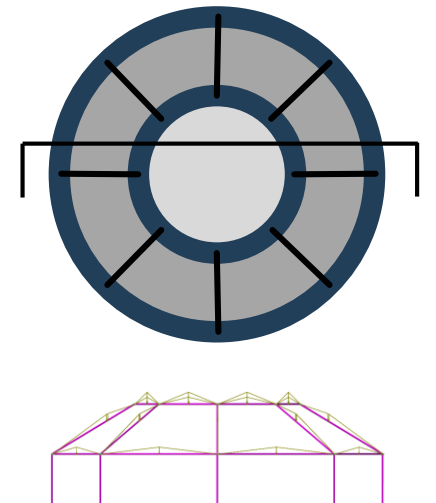
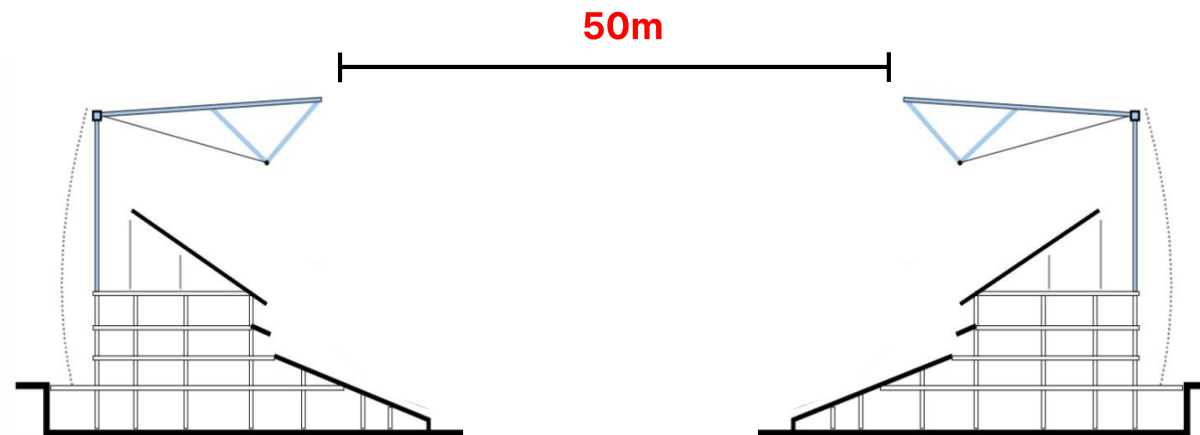
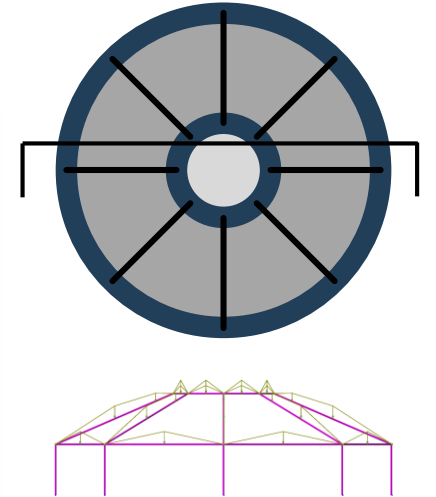
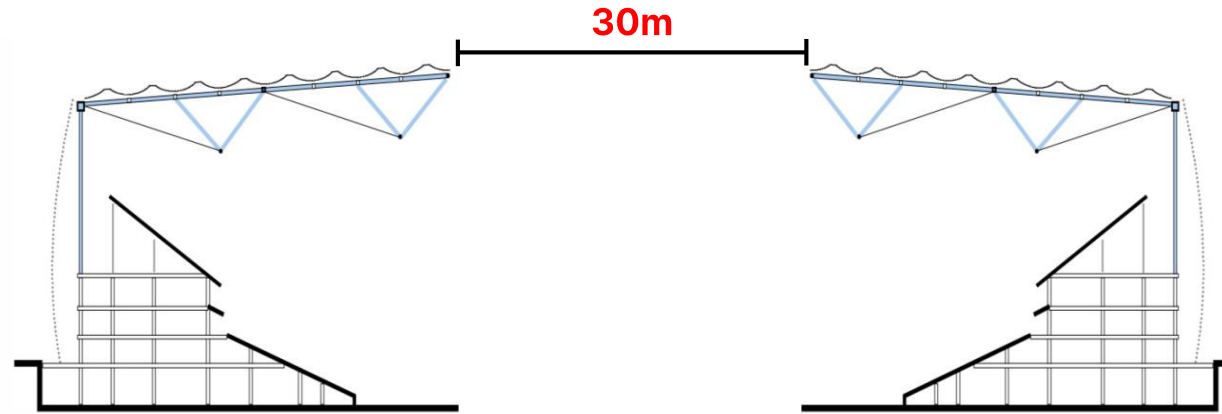
설계단계

설계단계

Erection을 고려한 대공간 구조계획

설계 시 초기 Erection 계획 제안

Erection을 고려한 대공간 구조계획



설계단계

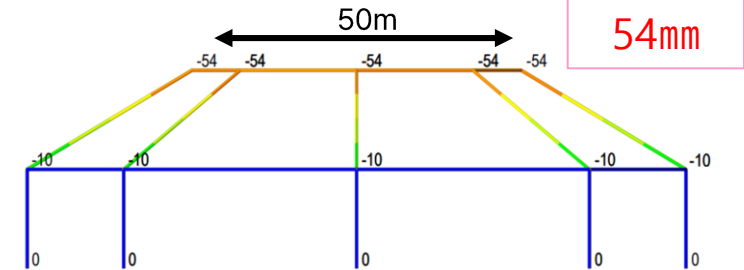
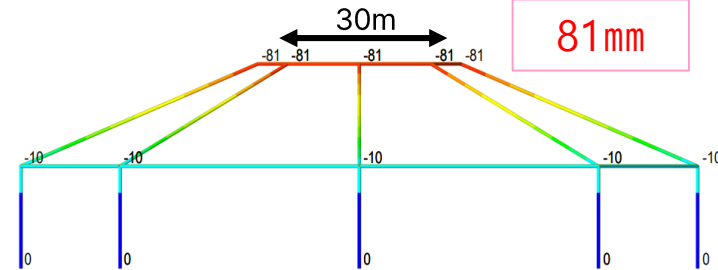
설계단계

Erection을 고려한 대공간 구조계획

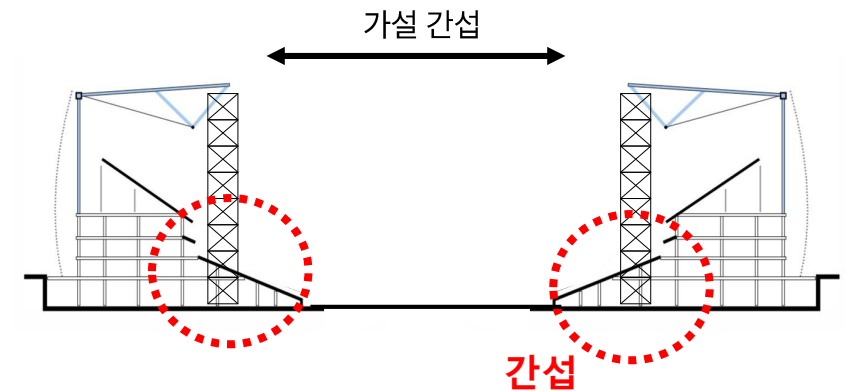
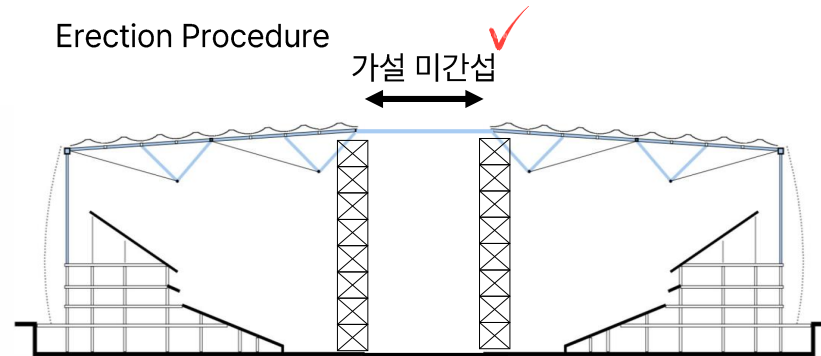
설계 시 초기 Erection 계획 제안

Erection을 고려한 대공간 구조계획

Deformation Analysis (mm)



Erection Procedure



설계단계

설계단계

Erection을 고려한 대공간 구조계획

설계 시 초기 Erection 계획 제안

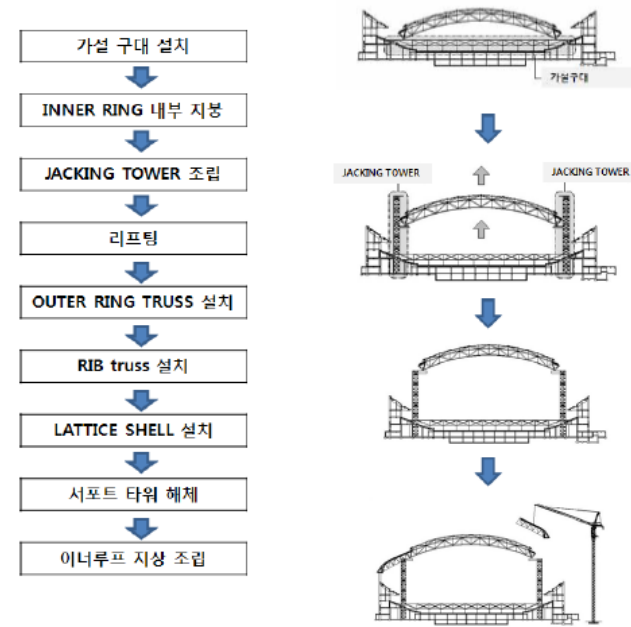
설계 시 초기 Erection 계획 제안 – 고척 스카이드롬

CSSE 서남권 야구장 건립공사



13.2.1 제안1 (Lift-Up + Block 공법)

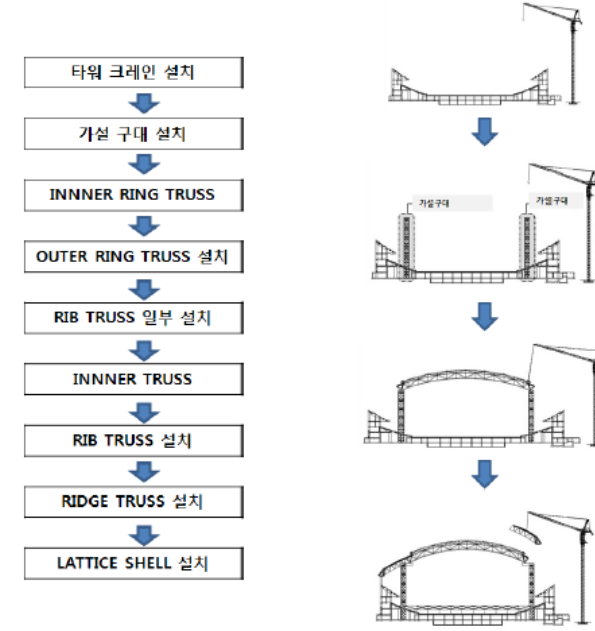
첫 번째 제안방법은 복합방법(Lift-Up + Block 공법)으로 Inner Ring 하부에 가설구대를 설치하여 지상에서 Inner Ring 내부지붕을 먼저 설치한 후 유압적으로 들어올려(Lift-Up) 위치를 고정한 후 나머지 부분을 순서대로 설치(Block)하는 방법으로 국내에서는 광명 경륜경기장 지붕시공 시 적용되었던 시공법이다. 고소작업을 최소화하기 위하여 지상에서 내부설치 시 마감, 설비 장비까지 조립 완성한 후 리프트업 하는 것을 바람직하며, 특히 막구조 부분은 지상에서 Valley Cable의 최종장력을 70%까지 긴장 후 전체지붕 조립 후 나머지 30%를 긴장하는 방법을 추천한다. 내부링 지붕부재가 세팅된 이후 Outer Ring Truss → Rib Truss → Lattice Shell 순서로 설치하는 것을 추천하며, 지붕설치에 대한 상세한 사항은 제안2의 Block 공법과 동일하다.



<그림 13.2.1> Lift-Up + Block 공법 시공 순서

13.2.2 제안2 (Block 공법)

두 번째 제안방법은 Block 공법으로 Inner Ring 하부에 가설구대를 설치하고 크레인으로 지상에서 조립된 단위 시스템을 양중하여 순서대로 설치(Block)하는 방법으로 국내외를 막론하고 상당히 통용되고 있는 방법이다. 이 공법을 적용할 경우 시공사에서는 시공 전 타워크레인의 설치위치를 미리 구상해 줌으로서 설치 소요시간의 손실을 최소화해야 할 것이며, 양중 무게 또한 미리 계산해 두었다가 크레인 용량선정에도 실수가 없도록 하여야 할 것이다. 또한 단위 시스템의 양중 케이블의 설치 위치를 잘못 선정하면 자중에 의해 일부부재가 국부좌굴 등을 발생시킬 수 있으므로 이 또한 주의를 기울여야 한다. 설치순서는 Inner Ring Truss, Outer Ring Truss → Inner Truss / Ridge Truss Ring, Rib Truss → Lattice Shell을 추천하며, Erection Engineering Design시 양중크레인 / 가설구대 간격(개수) 등을 고려하여 단위 시스템의 규모를 결정해야 할 것이다.



<그림 13.2.2> Block공법 시공 순서

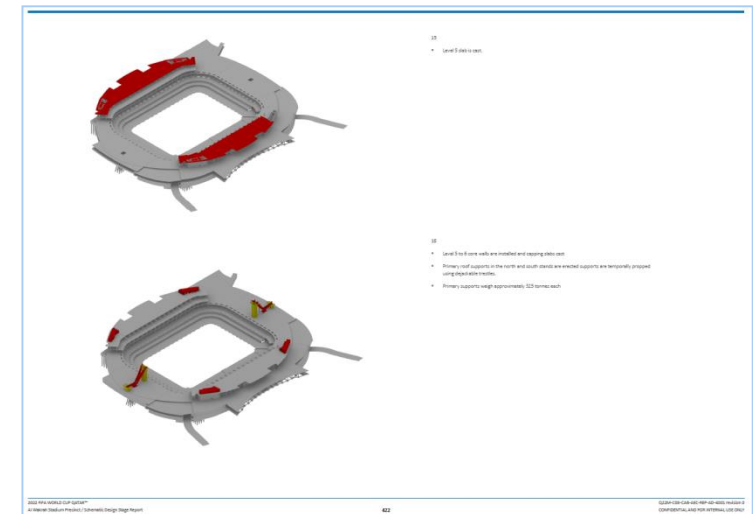
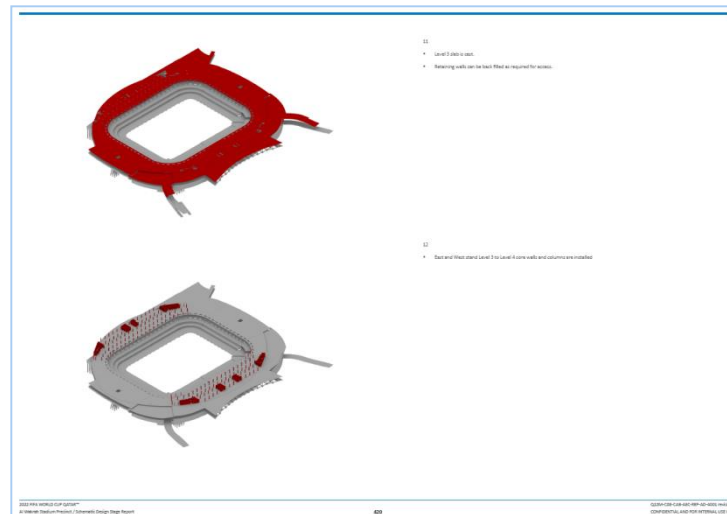
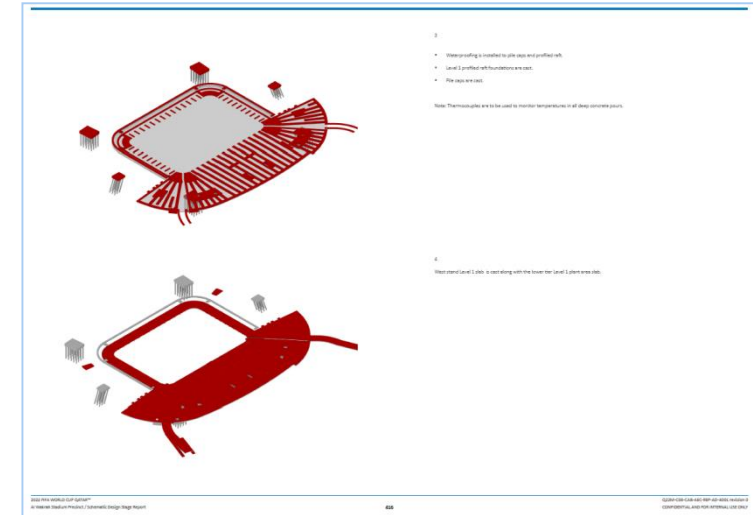
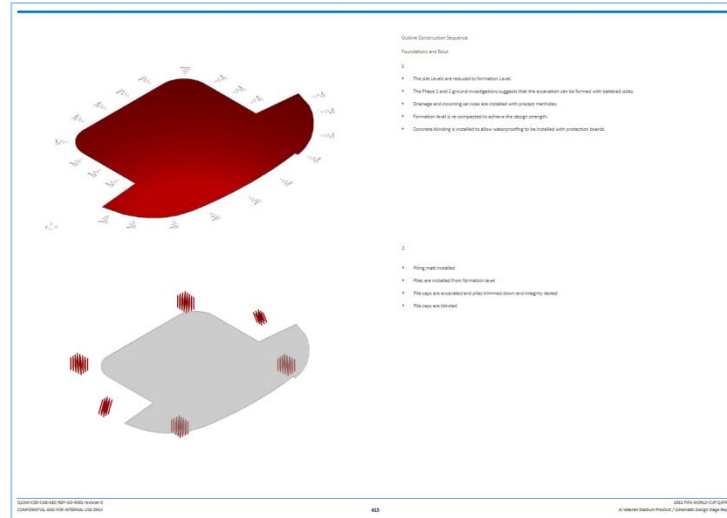
설계단계

설계단계

Erection을 고려한 대공간 구조계획

설계 시 초기 Erection 계획 제안

설계 시 초기 Erection 계획 제안 – 알와크라스타디움



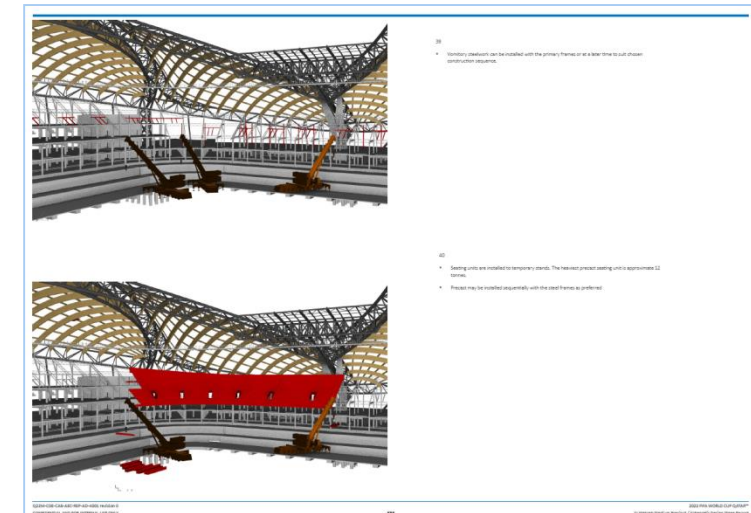
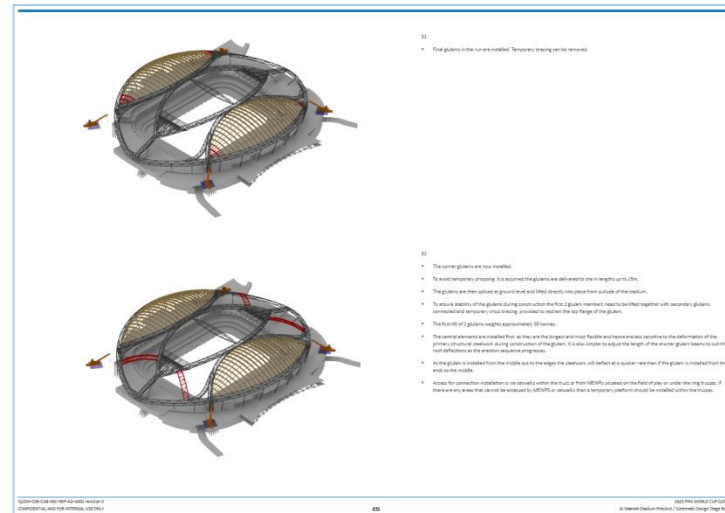
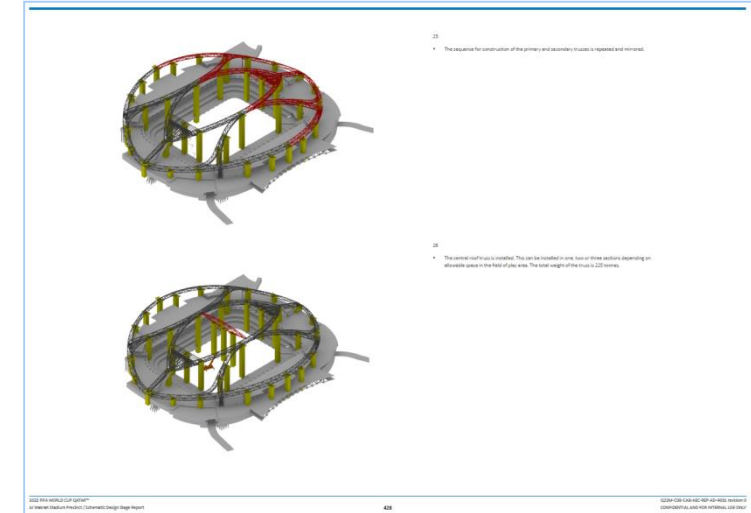
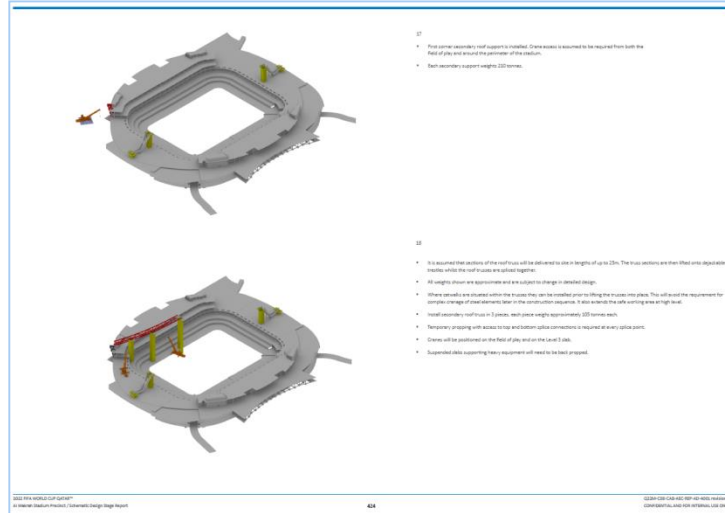
설계단계

설계단계

Erection을 고려한 대공간 구조계획

설계 시 초기 Erection 계획 제안

설계 시 초기 Erection 계획 제안 – 알와크라 스타디움



시 공 단 계

시공 공법 결정

시공단계

시공단계

시공 공법 결정

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

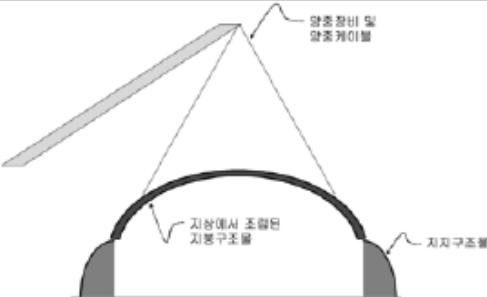
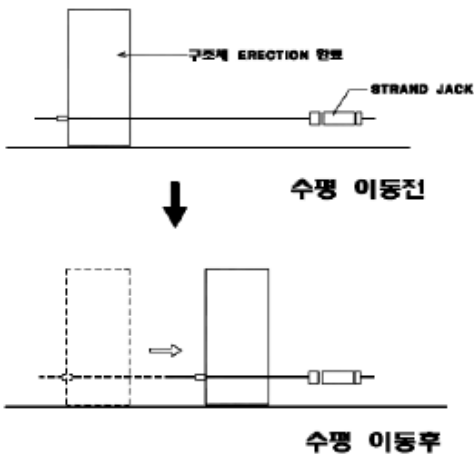
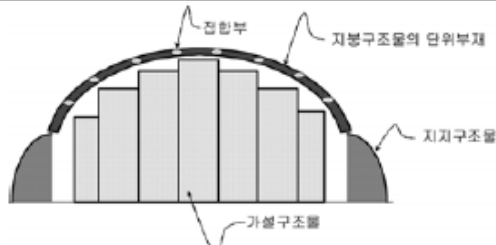
가설 구조물 안전성 검토

시공 단계 별 구조물 안전성 검토

가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

시공 공법 결정

공법 유형	Erection도	특 성
Block 공법		<ul style="list-style-type: none"> - Space Frame 에 적용시 유리 - 설치소요시간의 손실 최소화 - 크레인 용량 산정 주의 - 양중 케이블 설치위치 선정
Sliding 공법		<ul style="list-style-type: none"> - 시공성 및 품질향상에 유리 - 굴조/마감등의 반복작업 효과에 의한 공기 단축 - 가설재 및 장비투입의 감소로 원가절감 유리 - 고소 작업량의 감소로 안전성확보에 유리
Element 공법		<ul style="list-style-type: none"> - 자재수송의 용이 - 특별한 기술과 장비가 불필요 - 고가 높아지면 가설 지지재 비용증가

시공단계

시공단계

시공 공법 결정

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

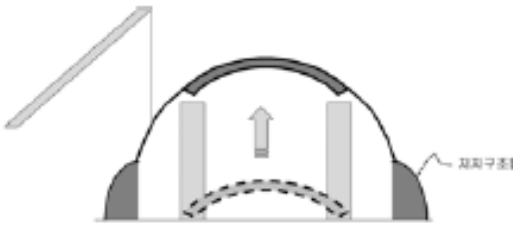
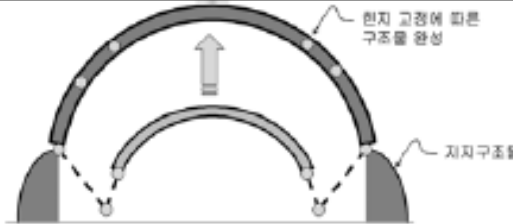
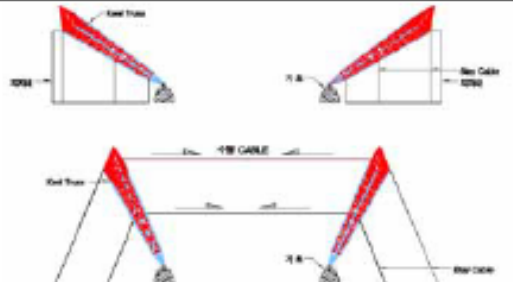
가설 구조물 안전성 검토

시공 단계 별 구조물 안전성 검토

가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

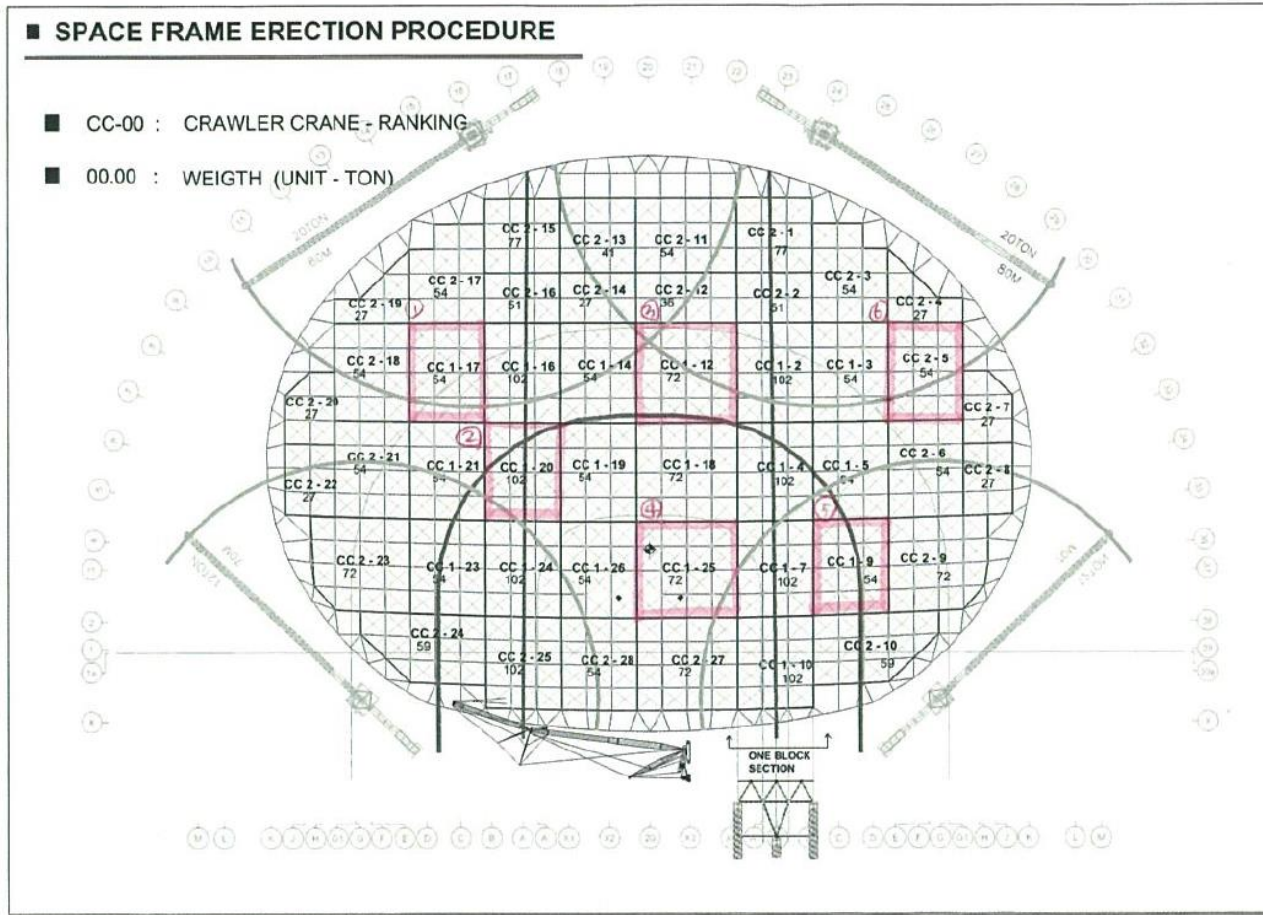
시공 공법 결정

공법 유형	Erection도	특 성
Lift - up 공법		<ul style="list-style-type: none"> - 가설자재 및 중장비 사용의 절감 - 고소 작업량의 감소로 안전성확보에 유리 - 지상에서 작업하므로 작업능률 및 시공성을 향상 - 공사 중 공법변경이 불리
Push - up 공법		<ul style="list-style-type: none"> - 구조물이 높을 경우 가설기둥에 다량의 자재필요 - 기둥의 각 연결부위 처리 곤란
Rotation - up 공법		<ul style="list-style-type: none"> - 가설자재 및 중장비 사용의 절감 - 고소 작업량의 감소로 안전성확보에 유리 - 지상에서 작업하므로 작업능률 및 시공성을 향상 - Winch 용량 및 수평 Cable 산정 주의

※1. 자료출처 : Keel Truss 대공간구조물 설치공법 개발 실험연구, 대공간 연구단

시공단계

시공 공법 결정 - 블록공법



시공단계

시공 공법 결정 - ELEMENT 공법



시공단계

시공 공법 결정 - Sliding 공법



시 공 단 계

Erection을 고려한 대공간 구조계획

시공단계

시공단계

시공 공법 결정

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

가설 구조물 안전성 검토

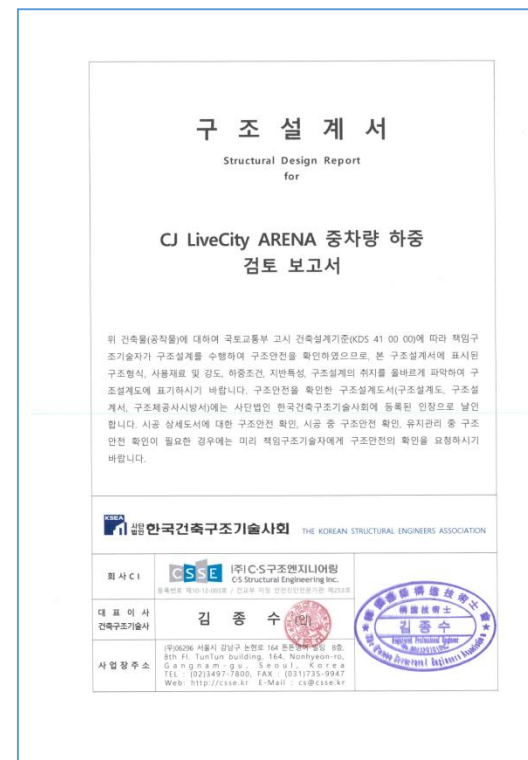
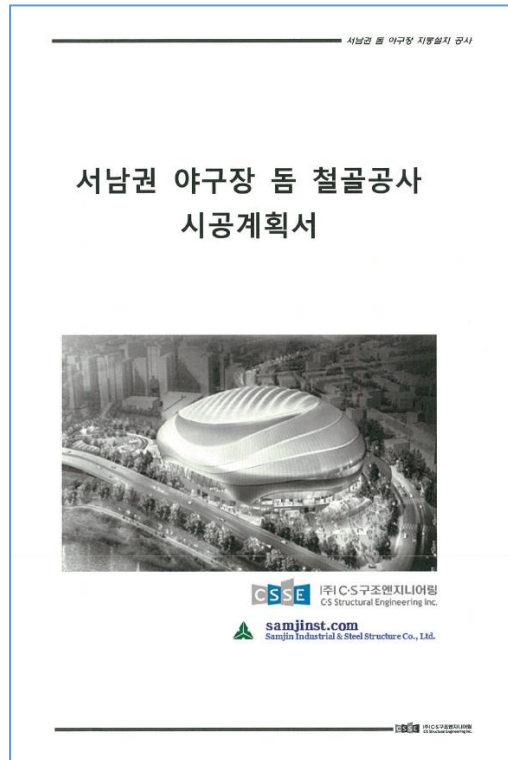
시공 단계 별 구조물 안전성 검토

가설 해체 시 구조안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

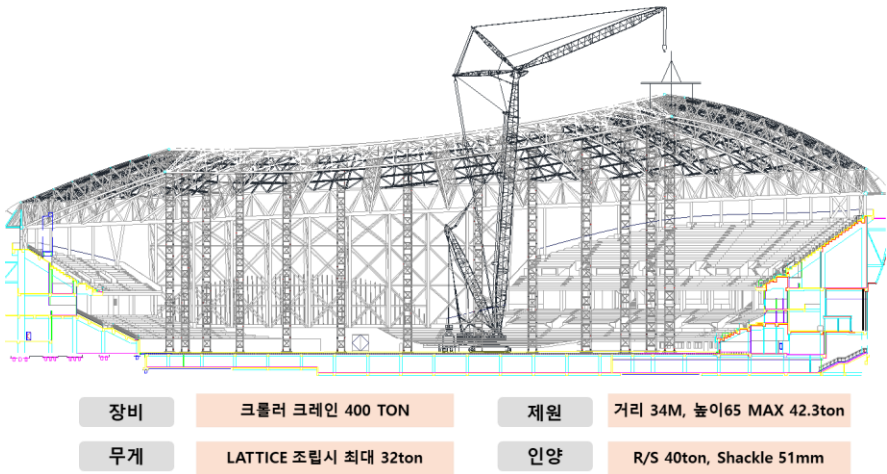
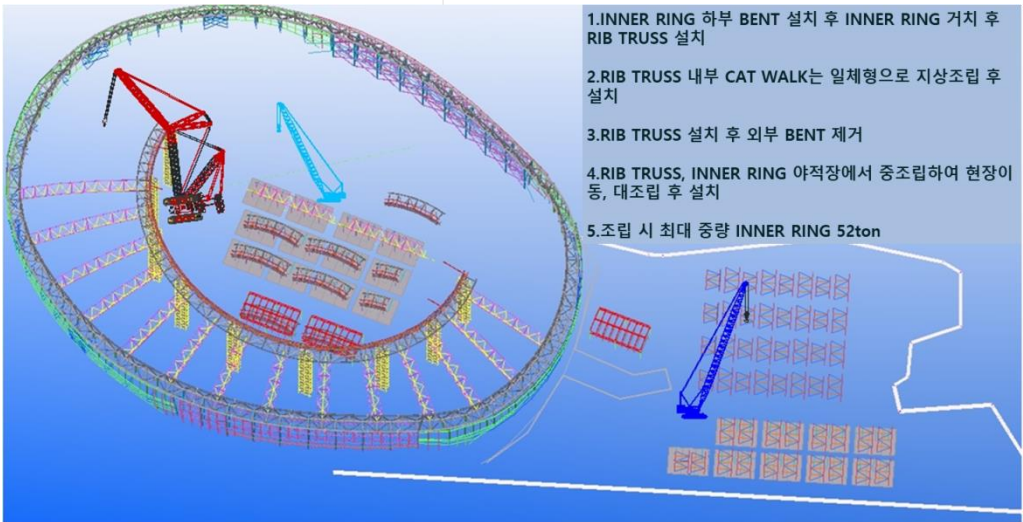
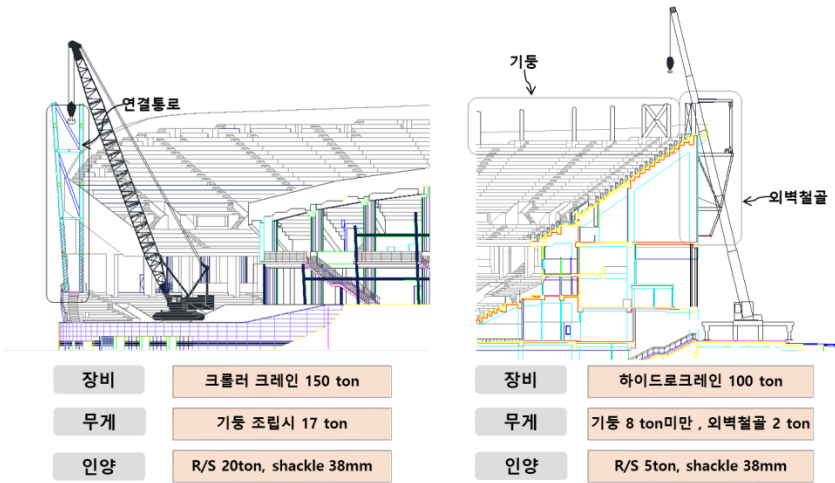
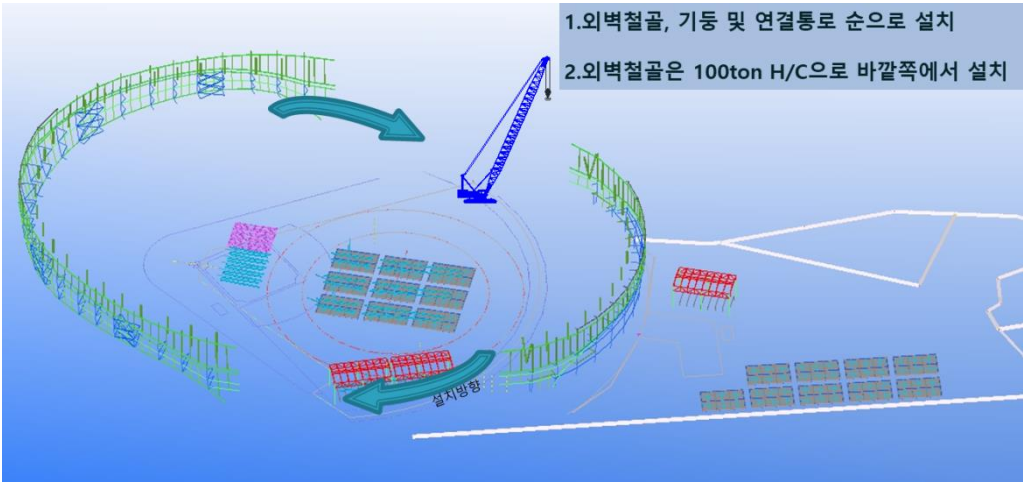
시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

- 대공간 구조물의 경우 철골 운반/조립 등을 위하여 대규모의 장비가 투입되는 경우가 많음
- 대규모 장비의 이동 및 작업에 대한 작업여건을 확보하기 위하여 구조물의 안전성 등을 검토하는 것이 필요함



시공단계

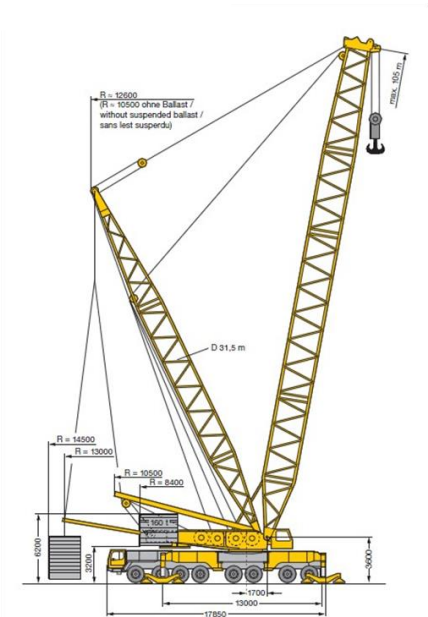
시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토 - 장비 종류



시공단계

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토 - 장비 종류

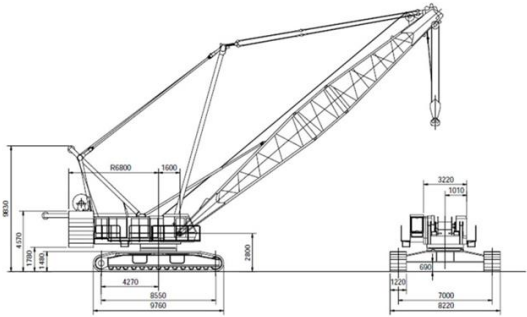
고척스카이돔 현장적용 주요장비



< 650 ton Hydro Crane >

구분	내용
모델명	LGD1800
크레인 자중	456.05 ton
Superlift	250 ton
최대 양중무게	650 ton

- 650/100 ton Hydro Crane
- 300/150 ton Crawler Crane
- Cargo Crane
- High place operation car



< 300 ton Crawler Crane >

구분	내용
모델명	KOBELCO 7300
크레인 자중	284.7 ton
최대 양중무게	300 ton

- (3) 카고 크레인(Cargo Crane)
경량 및 소규모 골조 양중 작업 시 활용되는 장비이다.



<그림 2.1.6> 카고 크레인

- (4) 고소작업차
고소작업차는 사람 및 경량의 장비를 고소부분으로 이동시켜주는 수단으로 조립, 가설, 검측 등의 작업 시 매우 중요하게 활용되는 장비이다.

SKY750제원표



탑재장비	19.5톤 급속
전장	12,000mm
전 폭	2,400mm
전 고	3,930mm
총중량	31,370kg
대우전고	3,940mm
높이	3,940mm
작업범위	75m
하중	2톤 또는 300kg
전체제동	360도 회전제동
연속방식	1~5단 동시제동, 6~8단 동시제동, 보조제동
제동	고장력 수직공전

<그림 2.1.7> 고소작업차

시공단계

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토 – 지지지반 / 구조물 안전성 검토

■ 650 ton 하이드로 크레인

시공단계

시공 공법 결정

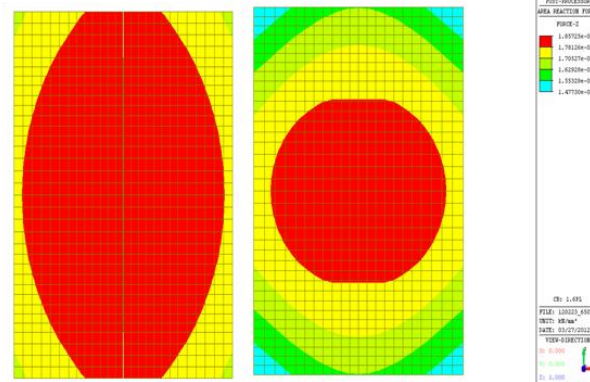
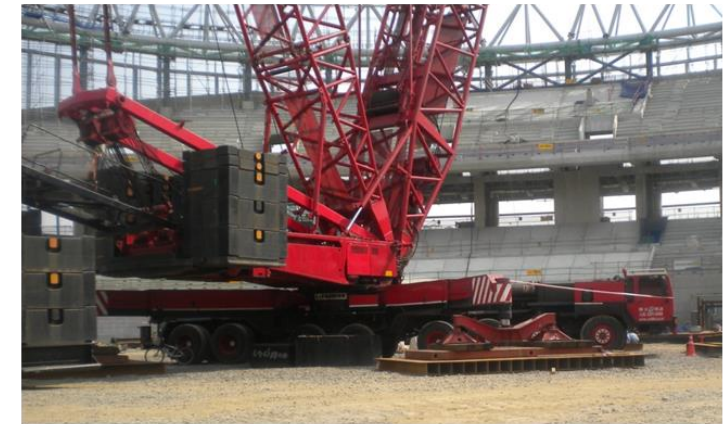
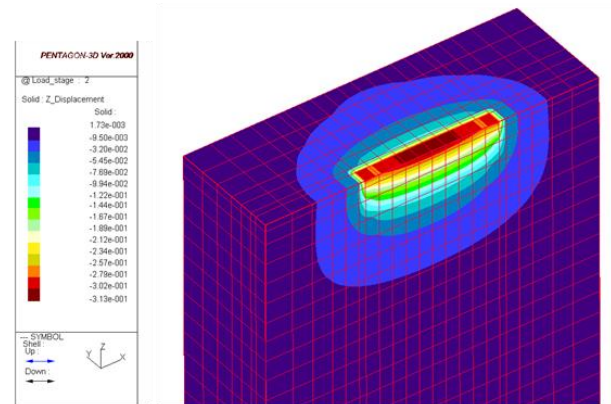
시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

가설 구조물 안전성 검토

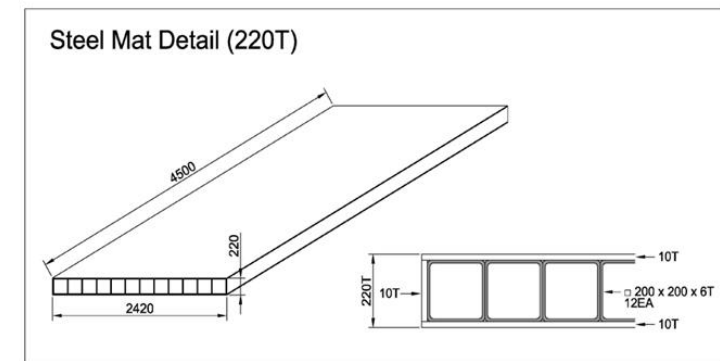
시공 단계 별 구조물 안전성 검토

가설 해체 시 구조안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링



3D simulation



Reinforcing Detail

시공단계

시공단계

시공 공법 결정

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

가설 구조물 안전성 검토

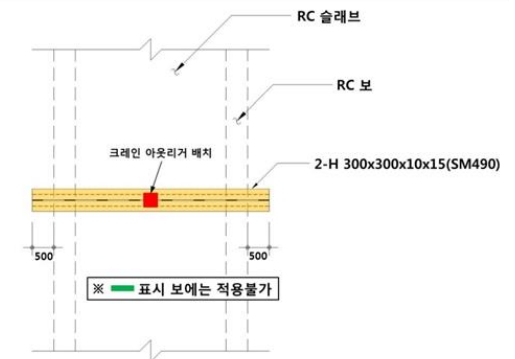
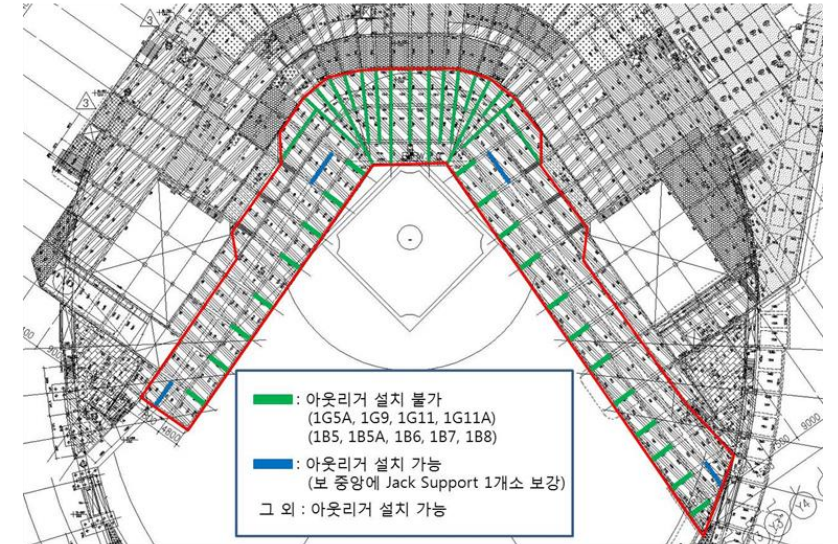
시공 단계 별 구조물 안전성 검토

해체 시 구조안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토 – 지지지반 / 구조물 안전성 검토

■ 100 ton 하이드로 크레인



시공단계

시공단계

시공 공법 결정

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

가설 구조물 안전성 검토

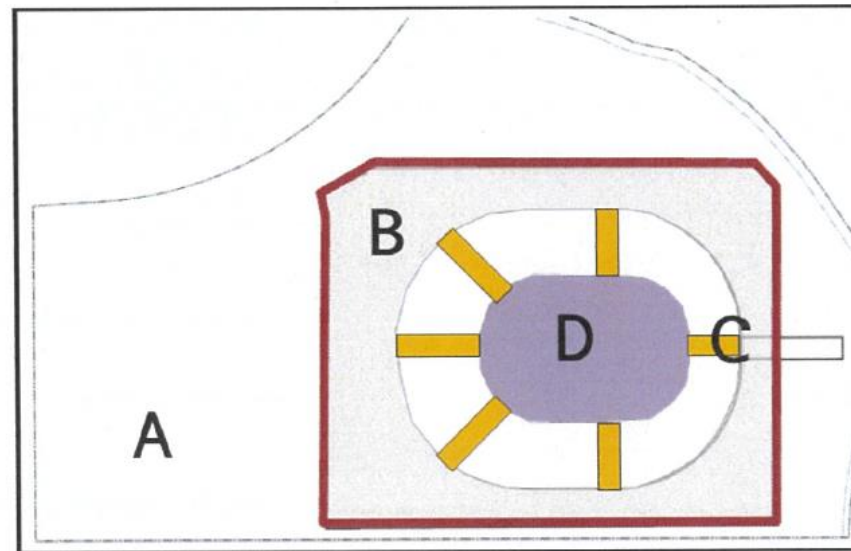
시공 단계 별 구조물 안전성 검토

가설 해체 시 구조안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토 – 지지지반 / 구조물 안전성 검토

CJ 아레나 라이브시티 장비진입 계획도



< 차량진입 계획 >

A : H/C 25~100ton

B : H/C 250~400ton

C  : H/C 25~100ton

D : H/C 300,400ton + C/C 320ton

<그림 2.1.1> 차량진입 계획도

시공단계

시공단계

시공 공법 결정

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

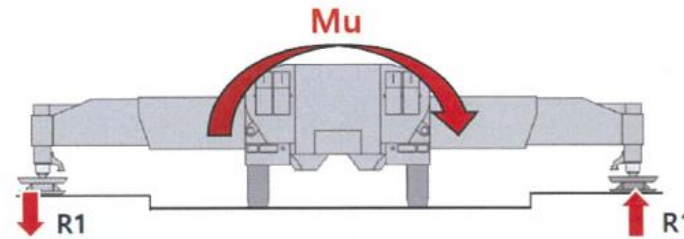
가설 구조물 안전성 검토

시공 단계 별 구조물 안전성 검토

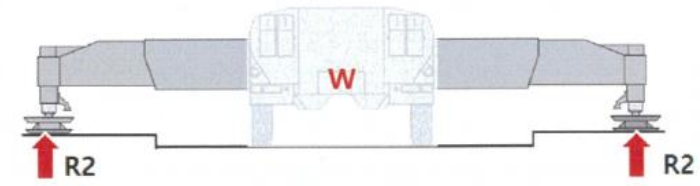
가설 해체 시 구조안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

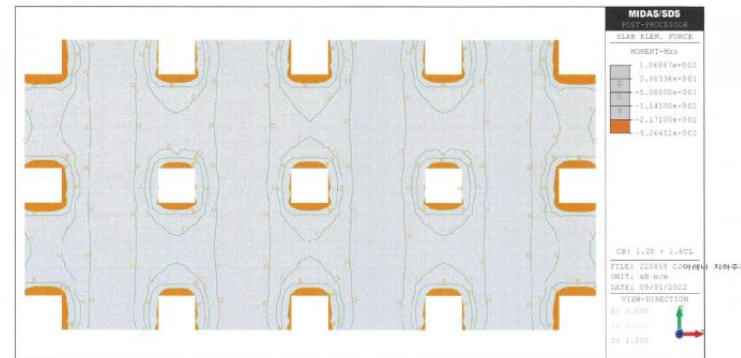
시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토 – 지지지반 / 구조물 안전성 검토



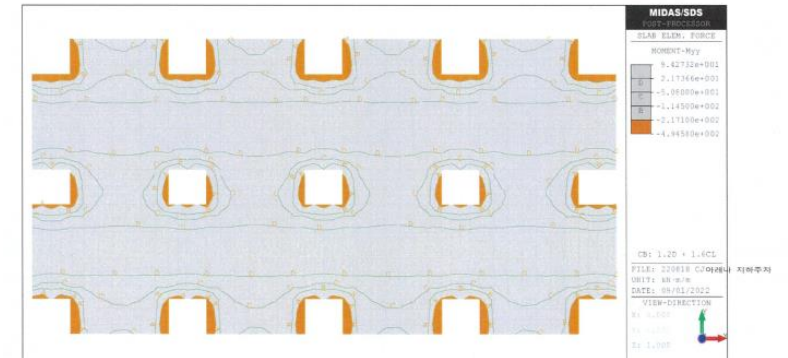
(a) 양중 모멘트에 의해 발생하는 반력



(b) 자중에 의해 발생하는 반력



휨 모멘트 검토 (X-DIR.)



휨 모멘트 검토 (Y-DIR.)

시공단계

시공단계

시공 공법 결정

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

가설 구조물 안전성 검토

시공 단계 별 구조물 안전성 검토

가설 해체 시 구조안전성 검토

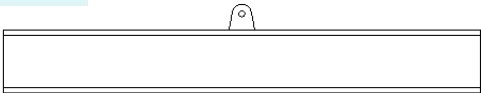
시공 중 변위 계측 및 모니터링

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토 – 양중 시 안전성 검토

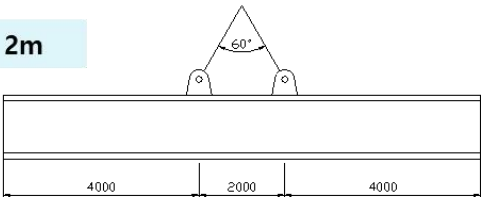
설치용 LIFTING TOOL - 설치, 인양용 장비

BALANCE BEAM 상세도

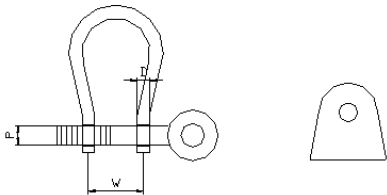
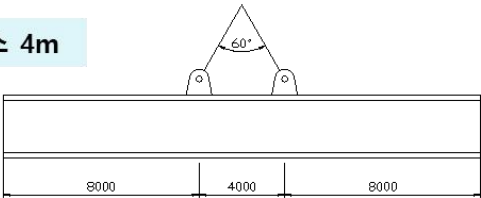
3m 미만 1개소 중앙



4~10m 2개소 2m



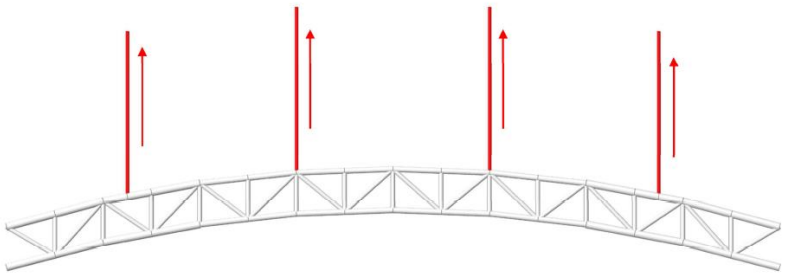
10~20m 2개소 4m



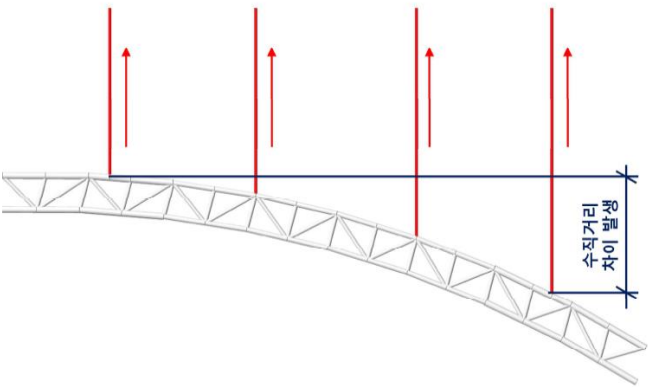
LUG PLATE	LUG SIZE			가능 중량 (ton 미만)
	HOLE	WIRE	SHACKLE	
PL 10X100X100	30	16	22	3
PL 20X100X100	40	22	32	10
PL 36X100X100	50	26	38	20
PL 40X140X140	60	34	44	30
PL 40X180X180	70	40	51	35
PL 40X250X250	80	50	63	45
PL 50X300X300	90	60	76	65

시공단계

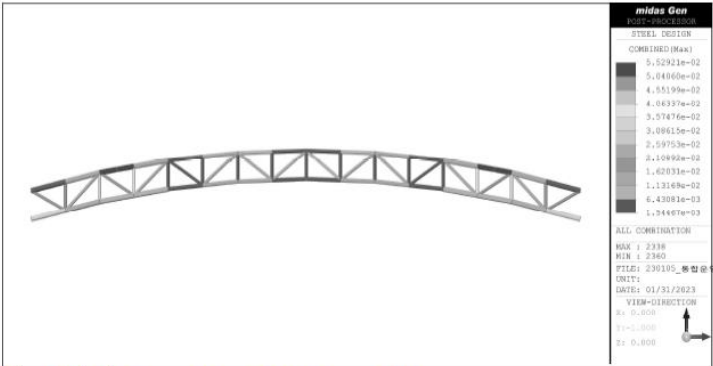
시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토 - 양중 시 안전성 검토



(a) 대칭 양중 해석 모델링



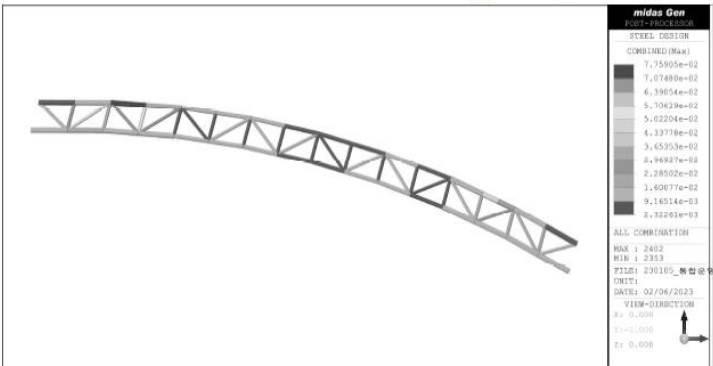
(b) 비대칭 양중 해석 모델링



최대 응력비율 = 6% < 100% ... O.K

CH K	MEMB COM	SECT SHR	SEL	Section	
				Material	Fy
OK	2387	510		T1_P 355.6x9, P 355.6x9	
				SNT275	275000
OK	2376	530		B1_P 355.6x9, P 355.6x9	
				SNT275	275000
OK	2407	555		T2_P 457.2x16, P 457.2x16	
				SNT275	275000
OK	2373	565		B2_P 457.2x16, P 457.2x16	
				SNT275	275000
OK	2381	580		V_P 267.4x9, P 267.4x9	
				SNT275	275000
OK	2394	600		D_P 267.4x9, P 267.4x9	
				SNT275	275000

(a) 대칭양중 시



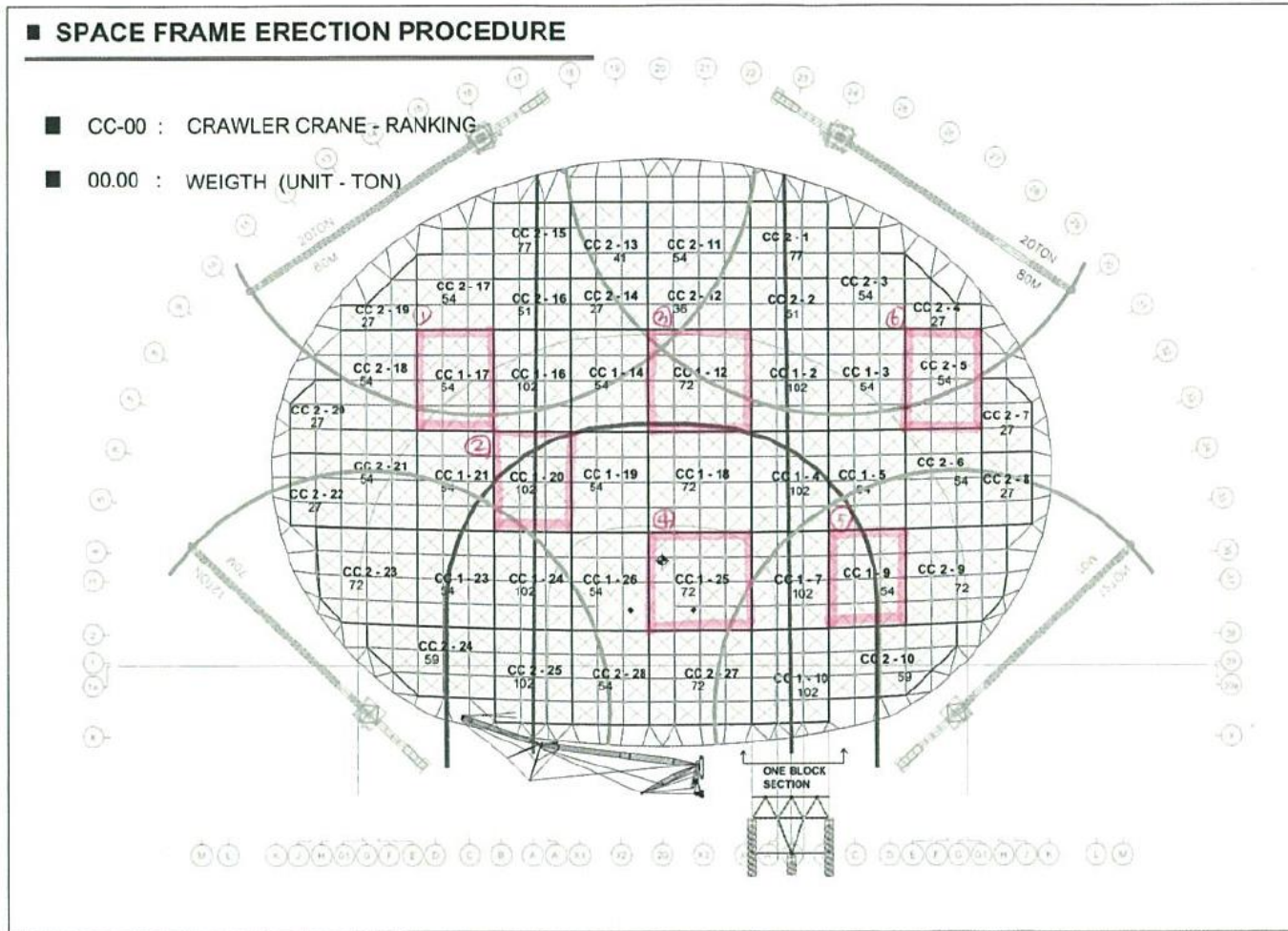
최대 응력비율 = 8% < 100% ... O.K

CH K	MEMB COM	SECT SHR	SEL	Section	
				Material	Fy
OK	2387	510		T1_P 355.6x9, P 355.6x9	
				SNT275	275000
OK	2344	530		B1_P 355.6x9, P 355.6x9	
				SNT275	275000
OK	2402	555		T2_P 457.2x16, P 457.2x16	
				SNT275	275000
OK	2346	565		B2_P 457.2x16, P 457.2x16	
				SNT275	275000
OK	2349	580		V_P 267.4x9, P 267.4x9	
				SNT275	275000
OK	2362	600		D_P 267.4x9, P 267.4x9	
				SNT275	275000

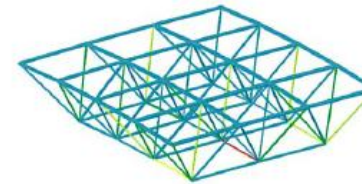
(b) 비대칭양중 시

시공단계

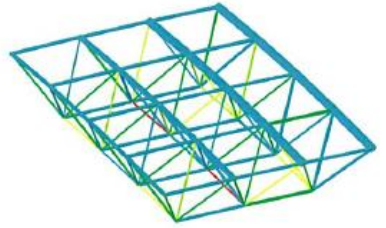
시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토 - 양중 시 안전성 검토



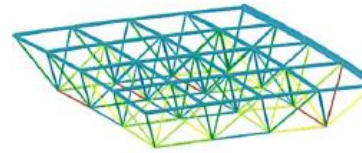
i) CC1-17



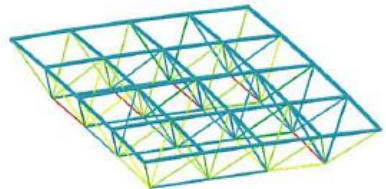
ii) CC1-20



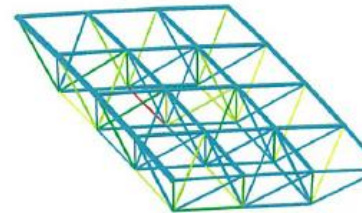
iii) CC1-12



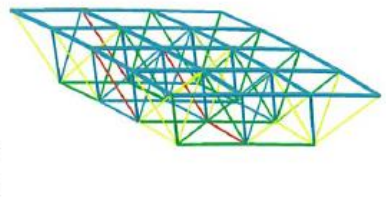
iv) CC1-25



v) CC1-9



vi) CC2-5



시 공 단 계

가설 구조물 안전성 검토

시공단계

시공단계

시공 공법 결정

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

가설 구조물 안전성 검토

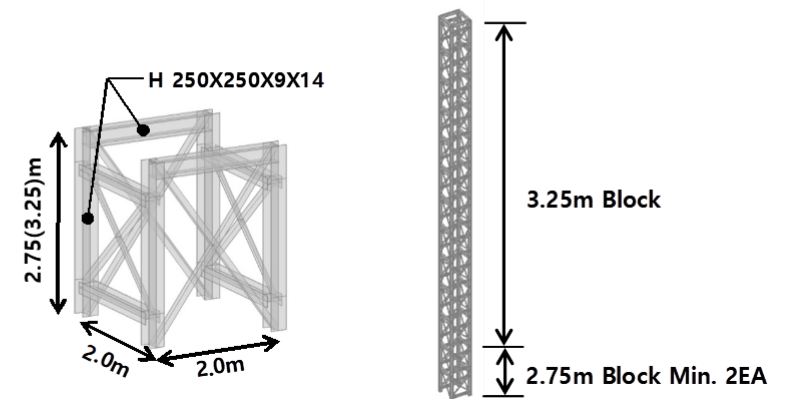
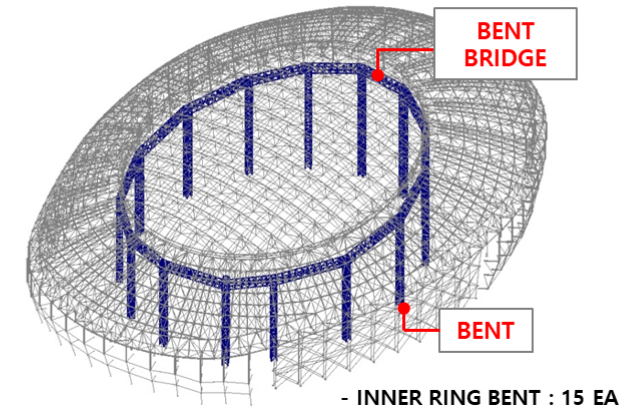
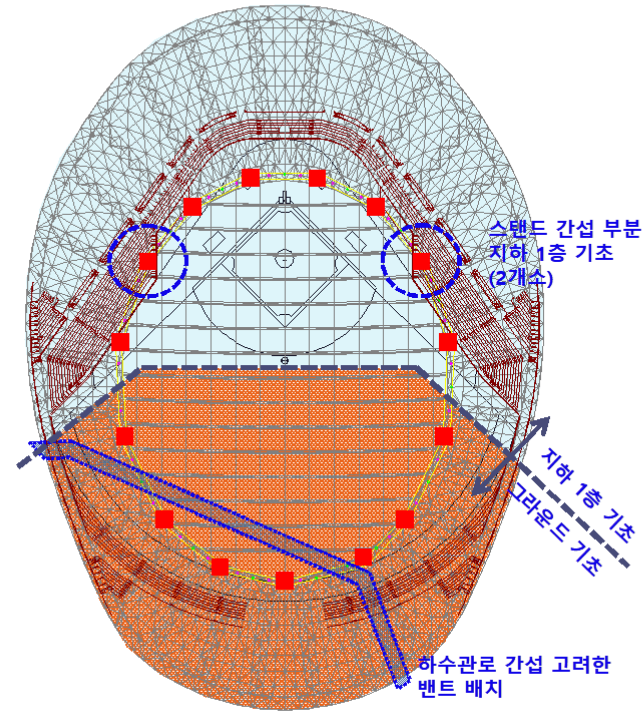
시공 단계 별 구조물 안전성 검토

가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

가설 구조물 안전성 검토

■ 내부 가설 BENT



시공단계

시공단계

시공 공법 결정

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

가설 구조물 안전성 검토

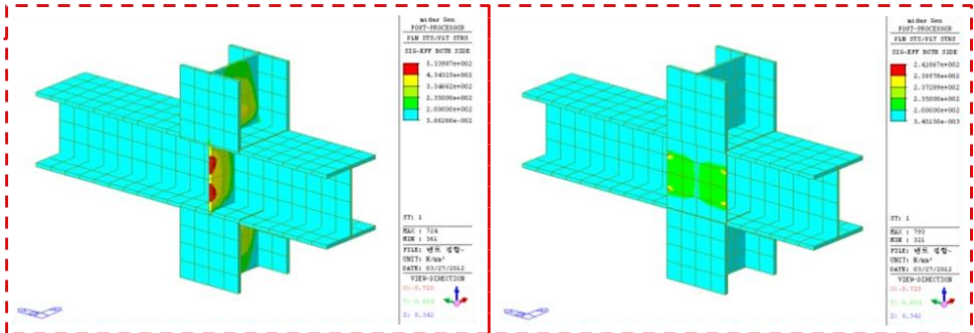
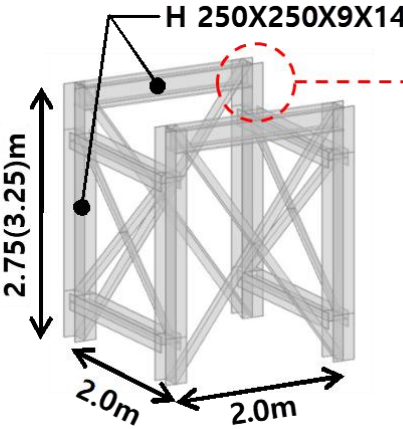
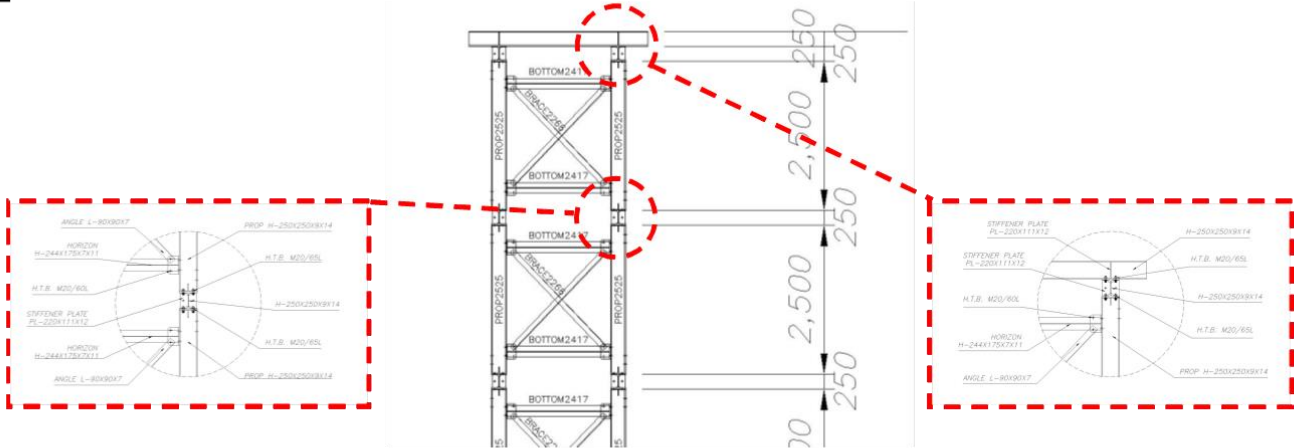
시공 단계 별 구조물 안전성 검토

가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

가설 구조물 안전성 검토

내부 가설 BENT



시공단계

시공단계

시공 공법 결정

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

가설 구조물 안전성 검토

시공 단계 별 구조물 안전성 검토

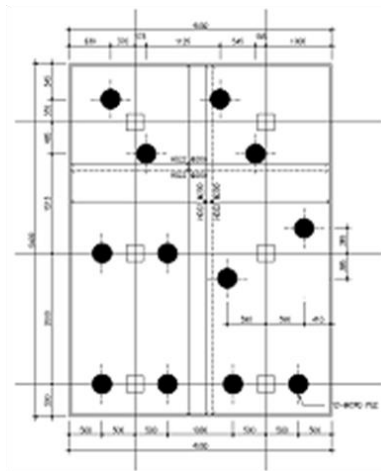
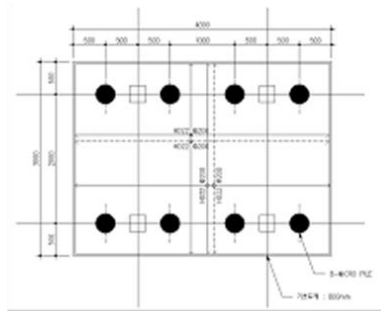
가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

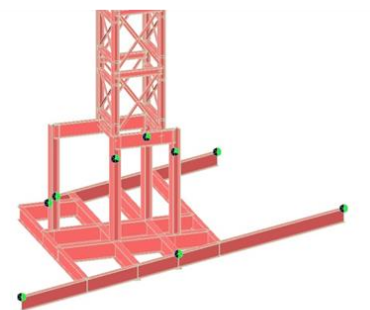
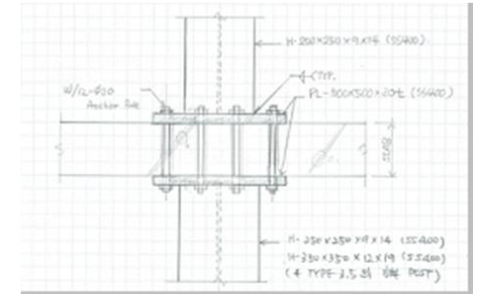
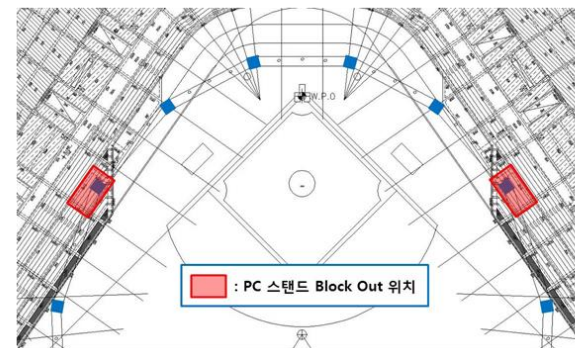
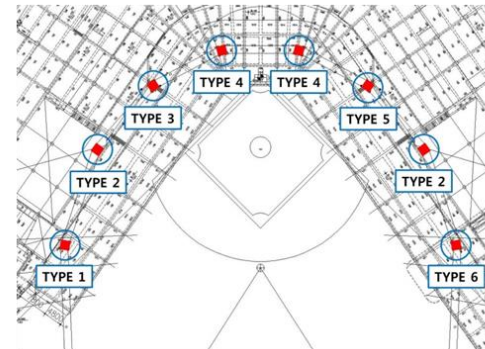
가설 구조물 안전성 검토

■ 내부 가설 BENT 지지구조

■ 그라운드 기초

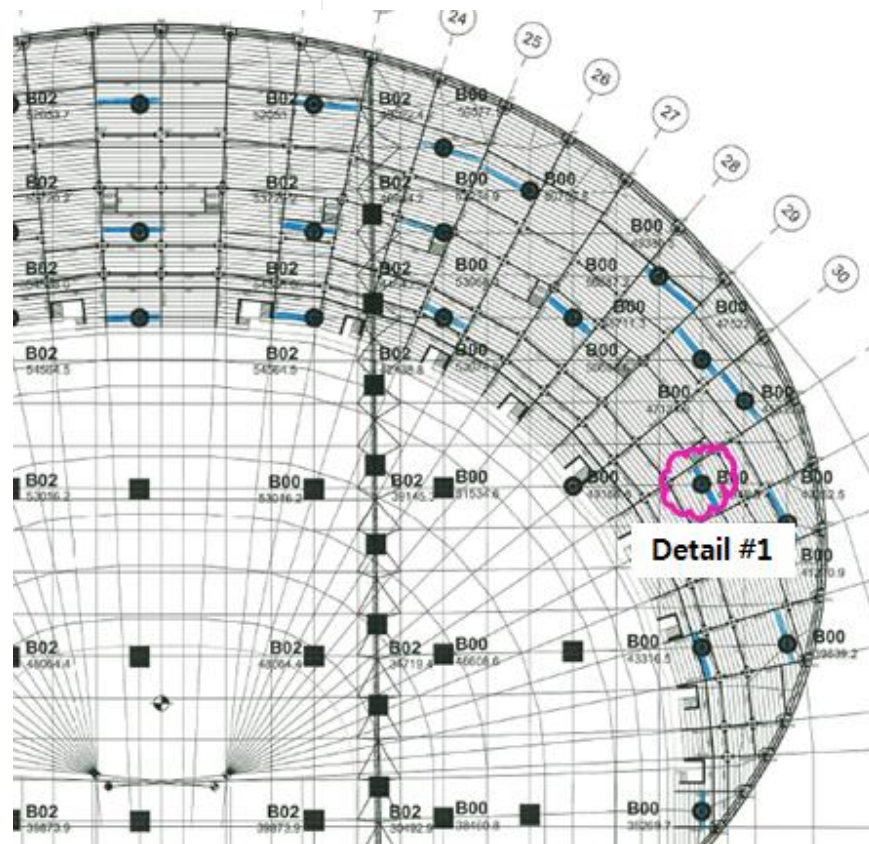


■ 기시공부 설치 기초



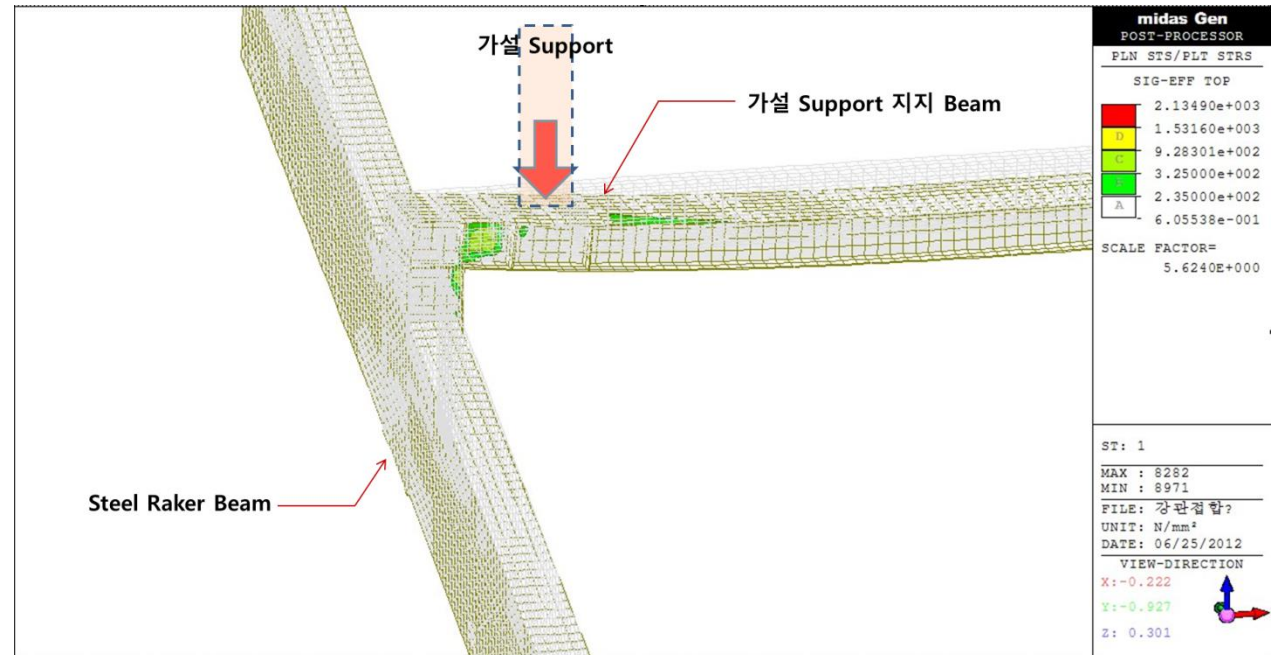
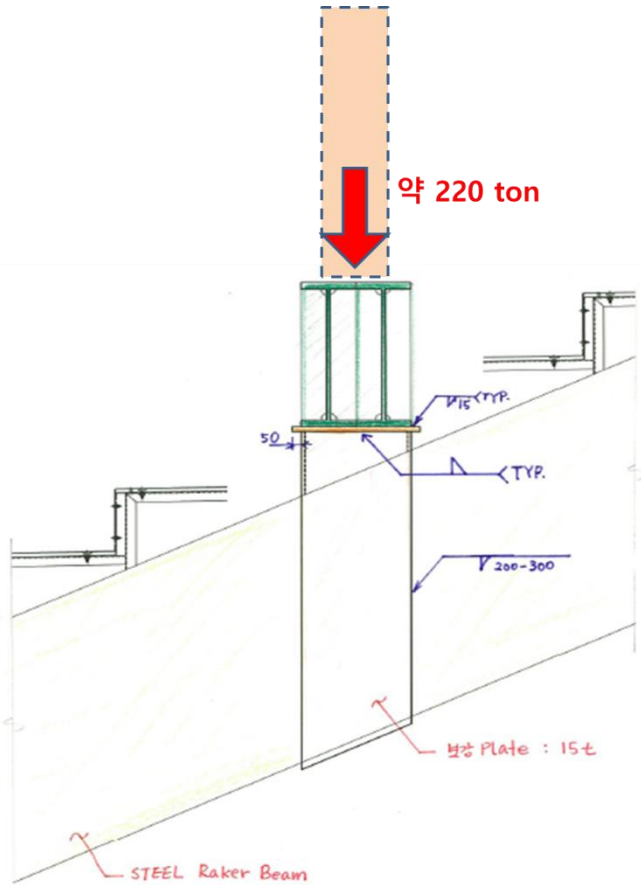
시공단계

가설 구조물 안전성 검토



시공단계

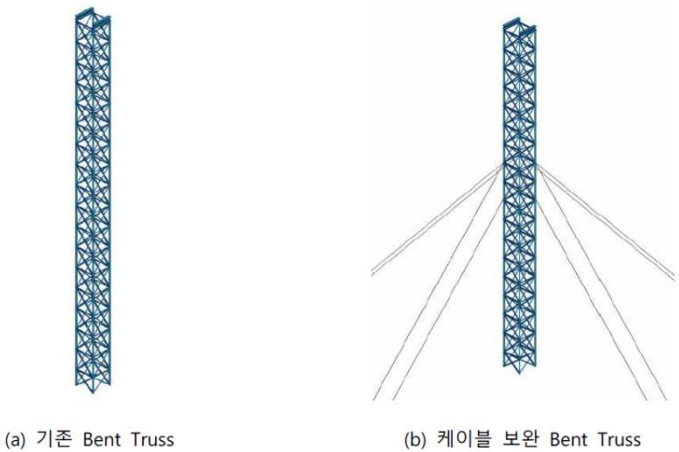
가설 구조물 안전성 검토



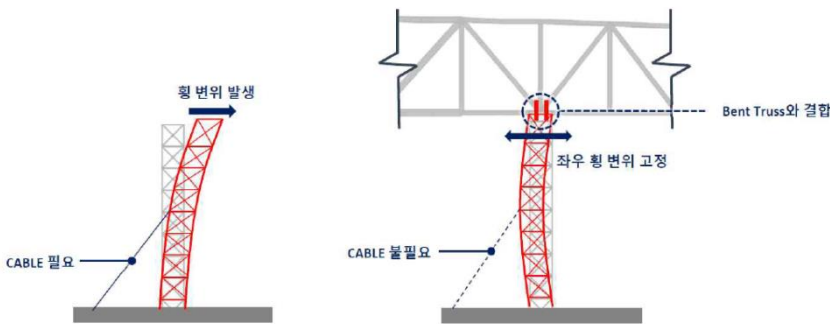
시공단계

가설 구조물 안전성 검토

(2) 풍하중에 대한 횡변위 비교



<그림 3.1.2.1> Bent Truss 해석 모델링

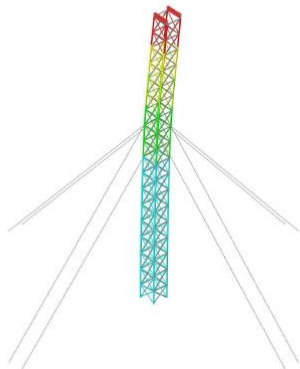
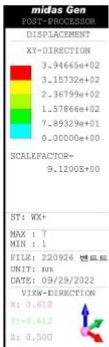


<그림 3.1.2.2> 설치조건에 따른 Cable 유무



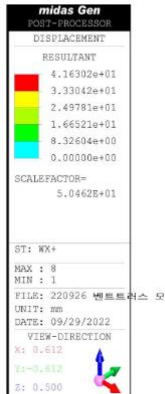
$$\Delta h_x = 395\text{mm}(H/90) > \Delta h_n = 142\text{mm} (H/250) \dots \text{N.G}$$

(a) 기존 Bent Truss



$$\Delta h_x = 42\text{mm}(H/845) < \Delta h_n = 143\text{mm} (H/250) \dots \text{O.K}$$

(b) 케이블 보완 Bent Truss



<그림 3.1.3.2> 최대 변위 비교

시 공 단 계

시공단계별 구조물 안전성 검토

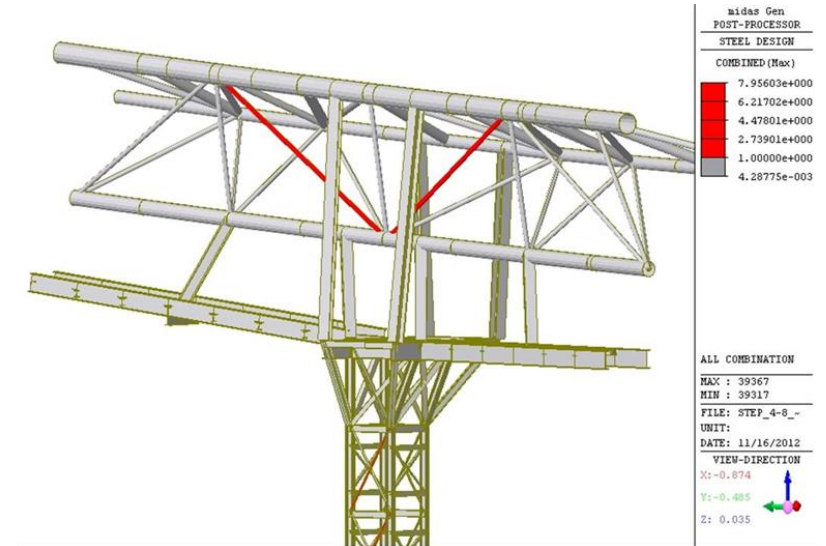
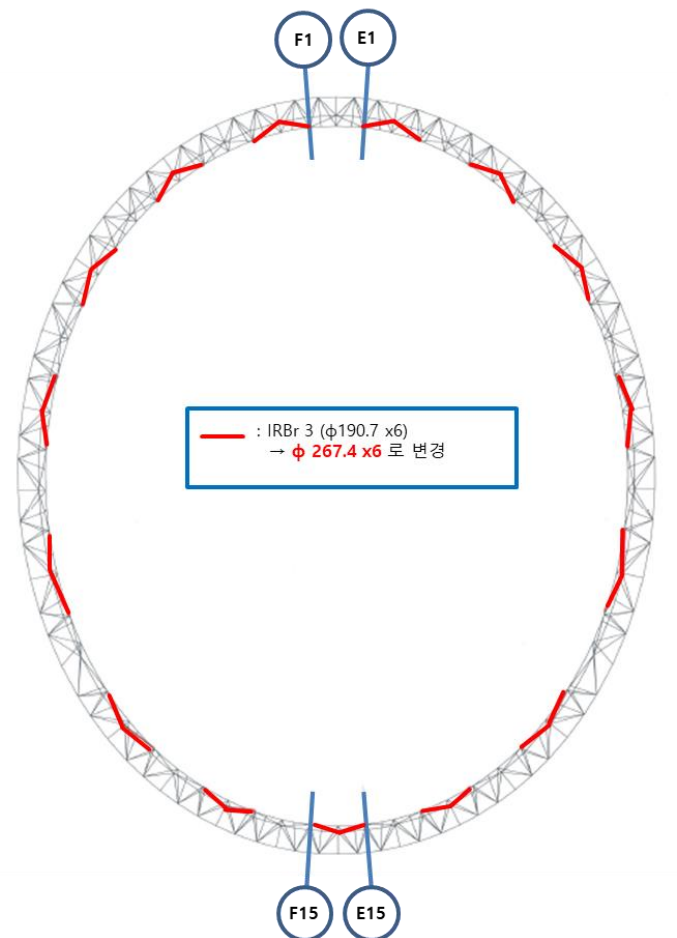
시공단계

시공 단계별 구조물 안전성 검토

시공단계

- 시공 공법 결정
- 시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토
- 가설 구조물 안전성 검토
- 시공 단계 별 구조물 안전성 검토**
- 가설 해체 시 구조 안전성 검토
- 시공 중 변위 계측 및 모니터링

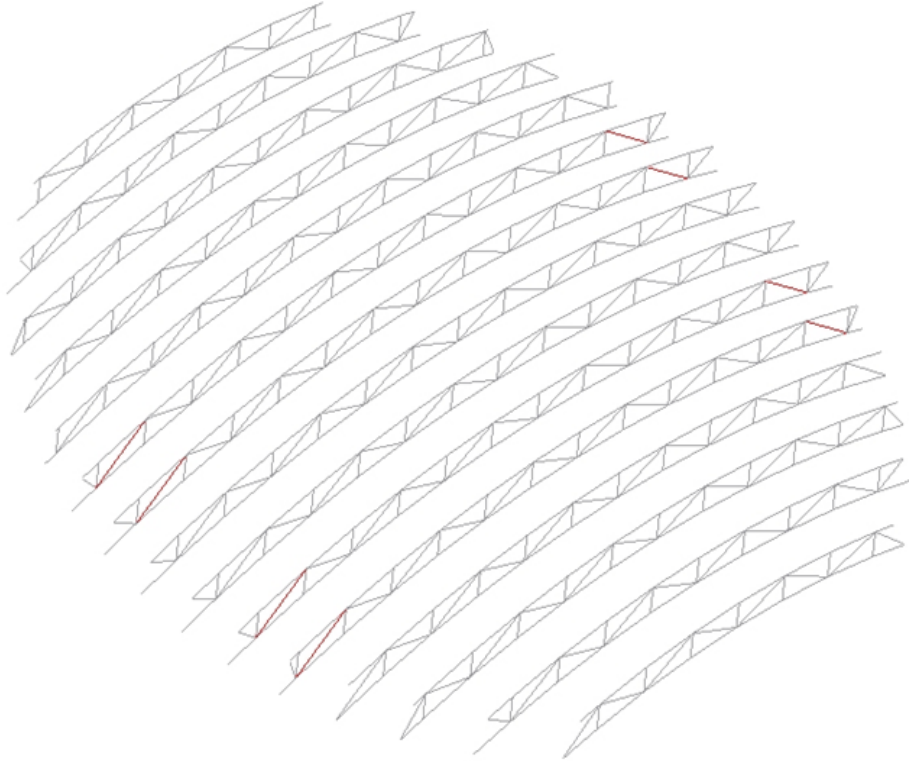
■ 시공시 원구물 보강안 검토



DL	Self Weigt ×1.1 (가설재 고려)
LL	1.2kN/ m ²
WL	건물 풍하중의 85% 수준
EL	건물 지진하중의 90% 수준
TL	+30°C / -30°C

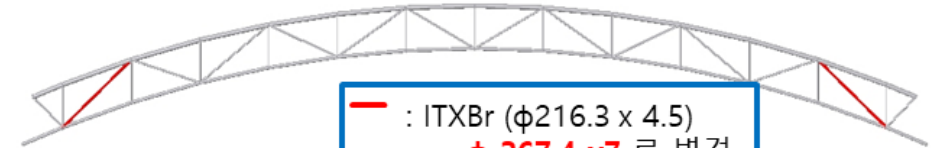
시공단계

시공 단계별 구조물 안전성 검토

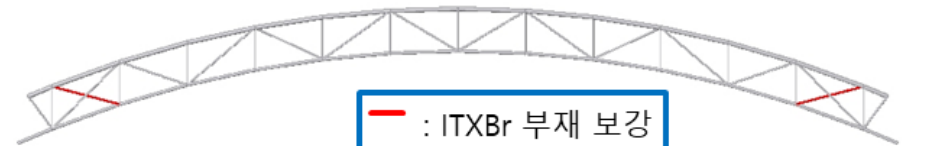


midas Gen	
POST-PROCESSOR	
STEEL DESIGN	
COMBINED (Max)	
	6.92632e+000
	5.44474e+000
	3.96316e+000
	2.48158e+000
	1.00000e+000
	2.46379e-002

ALL COMBINATION	
MAX :	8353
MIN :	7680
FILE:	STEP_4-8_~
UNIT:	
DATE:	11/16/2012
VIEW-DIRECTION	
X:	-0.456
Y:	-0.524
Z:	0.719



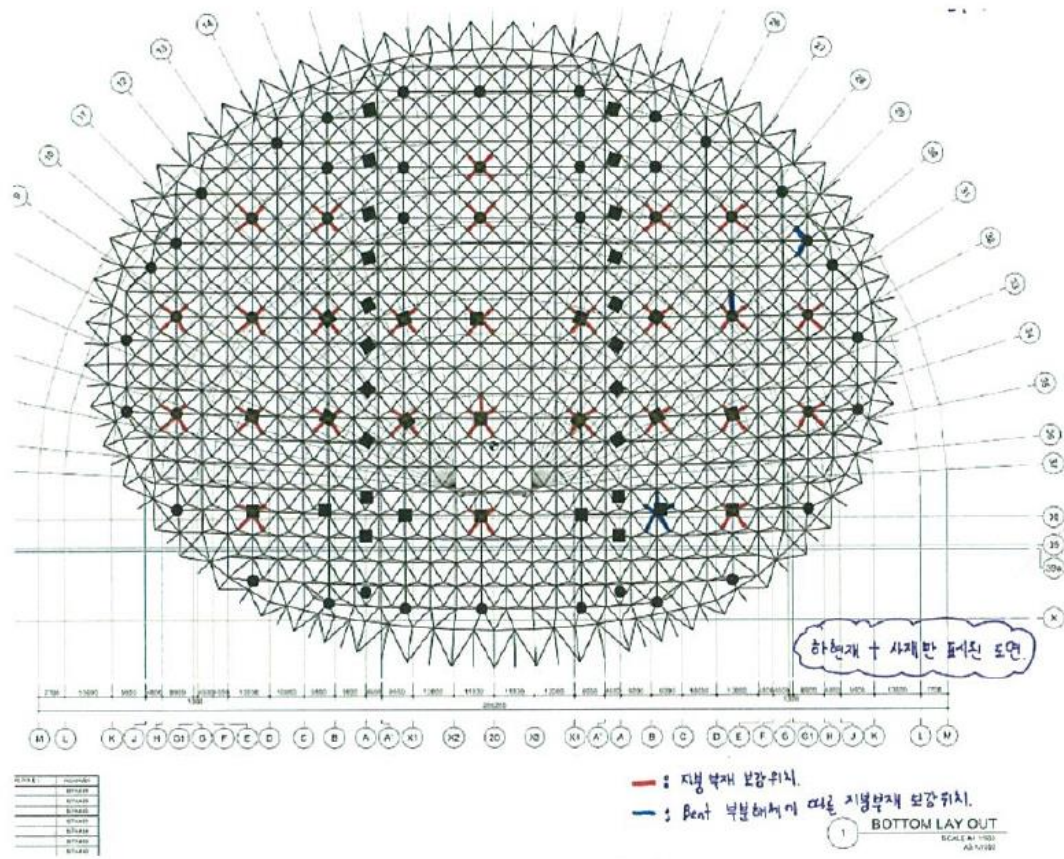
— : ITXBr ($\phi 216.3 \times 4.5$)
→ $\phi 267.4 \times 7$ 로 변경



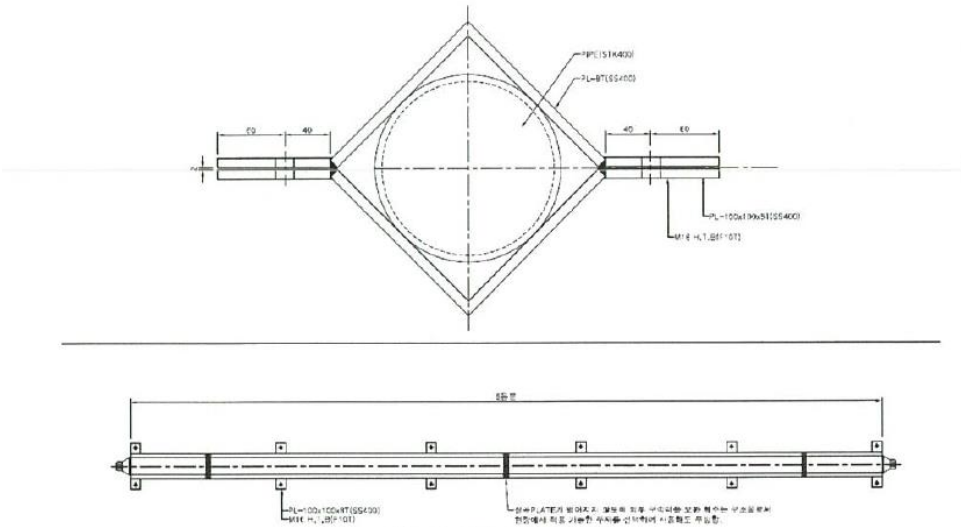
— : ITXBr 부재 보강

시공단계

시공 단계별 구조물 안전성 검토

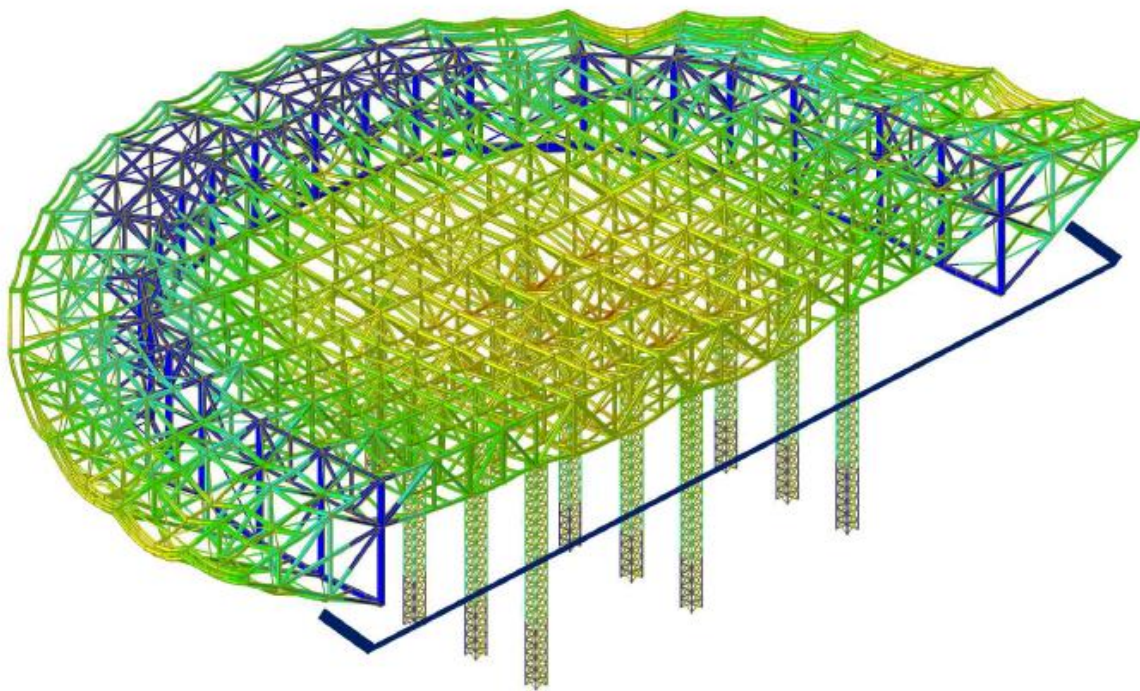


<원구조물 보강위치>



시공단계

시공 단계별 구조물 안전성 검토



시공단계

시공단계

시공 공법 결정

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

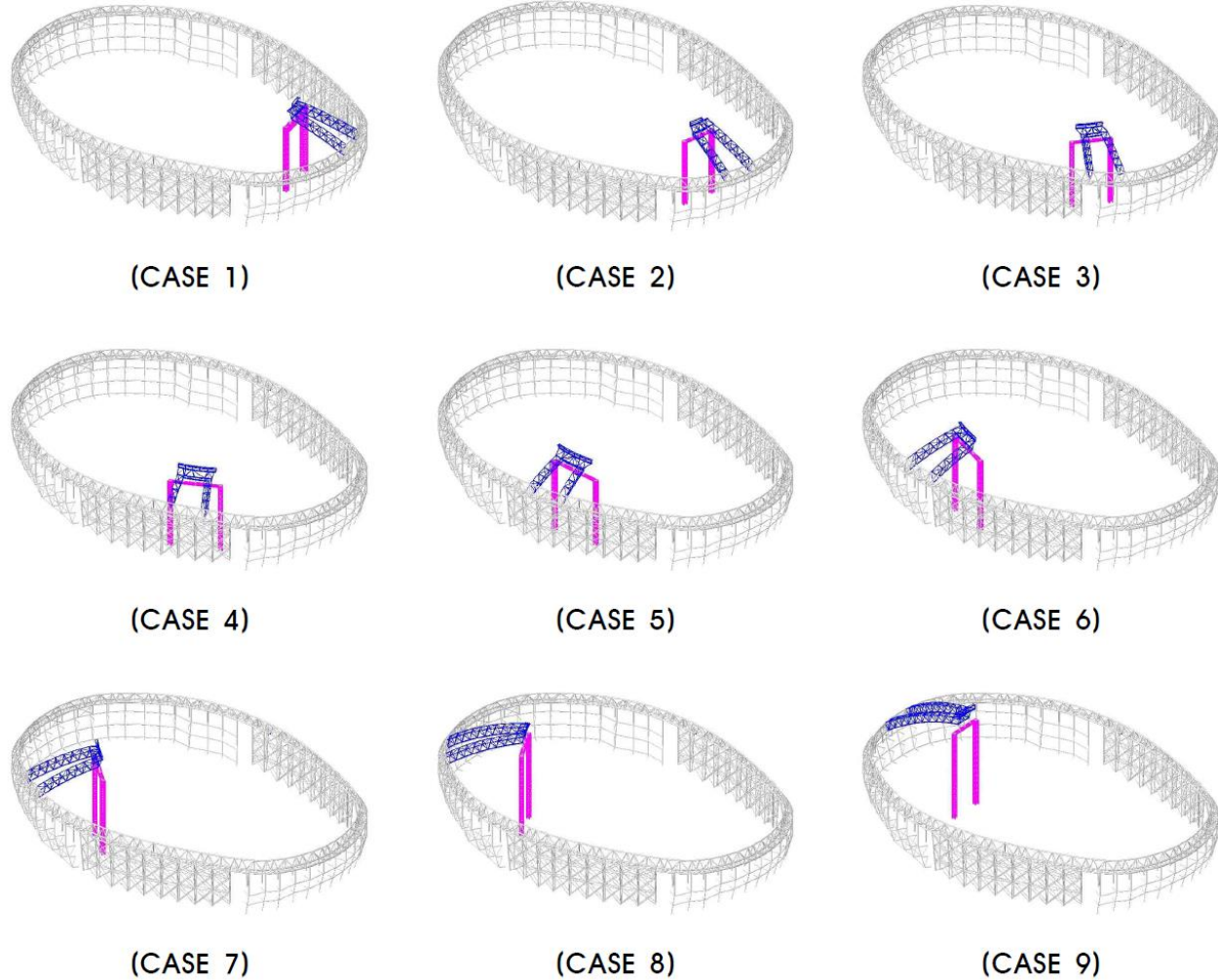
가설 구조물 안전성 검토

시공 단계 별 구조물 안전성 검토

가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

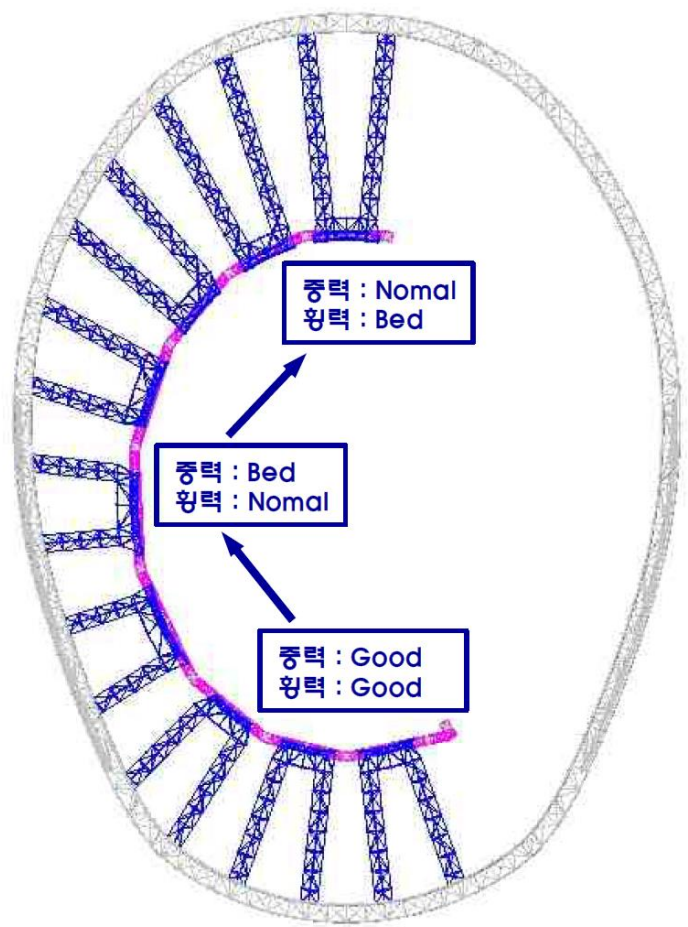
시공 단계별 구조물 안전성 검토



<그림 3.1.3.1> Inner Ring 설치 시작 위치

시공단계

시공 단계별 구조물 안전성 검토



<표 3.1.3.1> 가설 Bent 설치 시작 위치에 따른 변위

(단위:mm)

구분	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5	CASE 6	CASE 7	CASE 8	CASE 9
DL (XY-Dir.)	5	10	22	42	45	33	25	19	15
DL (Z-Dir.)	12	26	39	55	60	52	43	38	34
WL (X-Dir.)	94	45	88	81	66	74	115	180	138
WL (Y-Dir.)	53	30	54	46	47	72	90	81	66

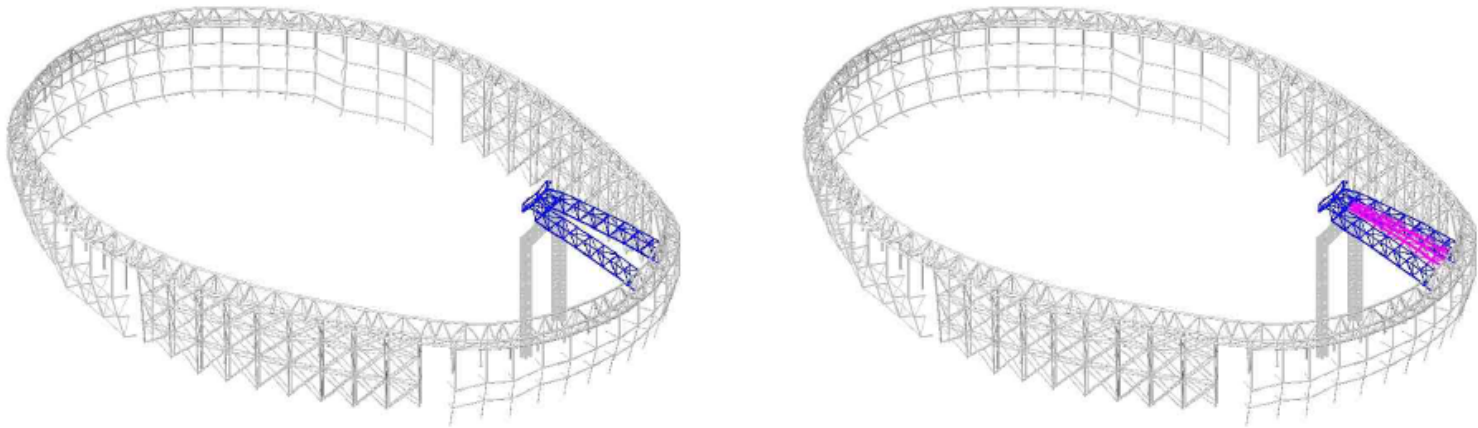
<그림 3.1.3.2> Inner Ring / Rib Truss 최초설치에 따른 강성

시공단계

시공단계

- 시공 공법 결정
- 시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토
- 가설 구조물 안전성 검토
- 시공 단계 별 구조물 안전성 검토**
- 가설 해체 시 구조 안전성 검토
- 시공 중 변위 계측 및 모니터링

시공 단계별 구조물 안전성 검토



<그림 3.1.5.2> Inner Ring 및 Rib Truss 설치 시작 시 Lattice Shell 설치 여부

<표 3.1.4.2> Inner Ring 및 Rib Truss 설치 시작시 Lattice Shell 설치 여부에 따른 변위

(단위:mm)

구분	Lattice Shell 미설치	Lattice Shell 설치
DL (X-Dir.)	5	7
DL (Y-Dir.)	12	14
WL (X-Dir.)	94	69
WL (Y-Dir.)	53	45

시 공 단 계

가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공단계

가설 해체 시 구조 안전성 검토

가설 해체 계획

시공단계

시공 공법 결정

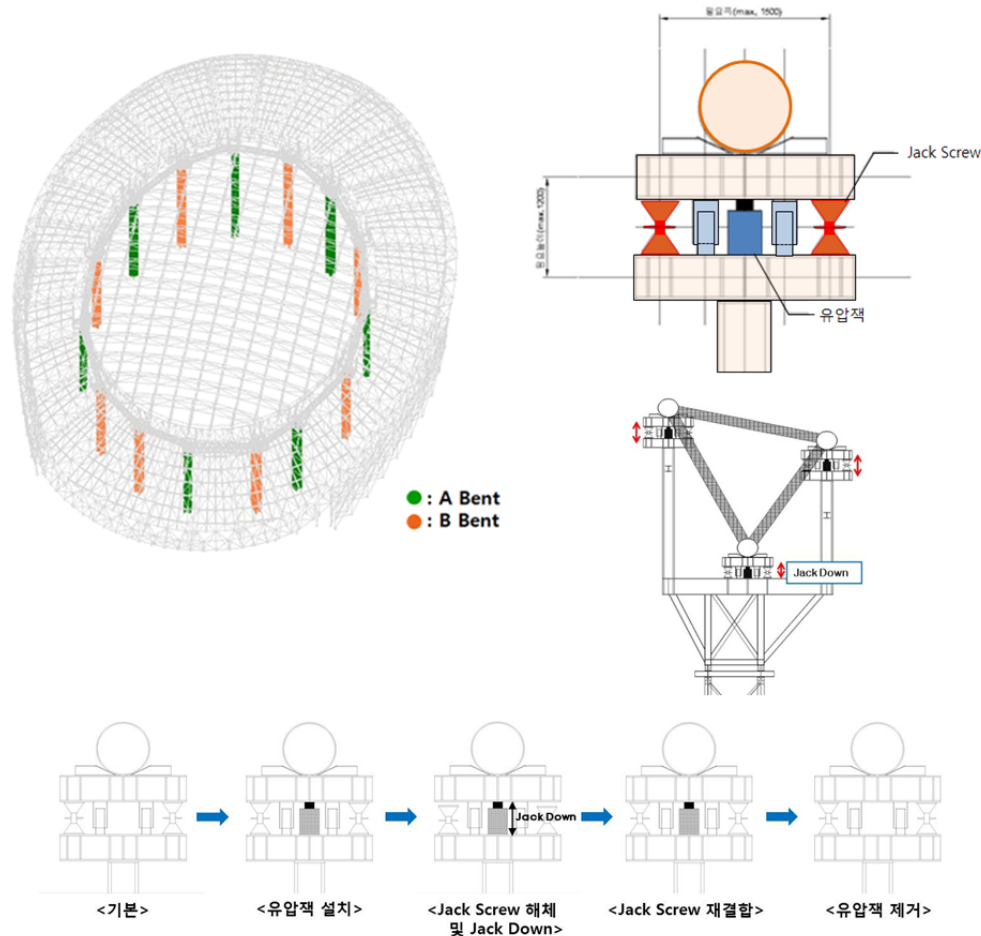
시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

가설 구조물 안전성 검토

시공 단계 별 구조물 안전성 검토

가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링



STEP 1. 브릿지 상부 Saddle(Jack Screw) 제거

STEP 2. A Bent 상부 Saddle 유압잭 이용하여 10mm Jack Down

STEP 3. B Bent 상부 Saddle 유압잭 이용하여 10mm Jack Down

STEP 4. A Bent 10mm Jack Down(누적: 20mm)

STEP 5. B Bent 10mm Jack Down(누적: 20mm)

STEP 6. A Bent 20mm Jack Down(누적: 40mm)

STEP 7. B Bent 20mm Jack Down(누적: 40mm)

STEP 8. A Bent 상부 Saddle 유압잭 끝까지 Jack Down
(누적: 60mm 이상 예상)

STEP 9. B Bent 상부 Saddle 유압잭 끝까지 Jack Down
(누적: 60mm 이상 예상)

STEP 10. Bent 해체

시 공 단 계

시공 중 변위 계측 및 모니터링

시공단계

시공단계

시공 공법 결정

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

가설 구조물 안전성 검토

시공 단계 별 구조물 안전성 검토

가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

시공 중 변위 계측 및 모니터링



Purposes of Monitoring

1. 공사기간의 외력에 대한 판단
2. 가설상태 구조물의 안전성 평가
3. 가설밴트 해체 시 안전성 평가
4. 지붕구조물 시공 시 정밀성 확보

시공단계

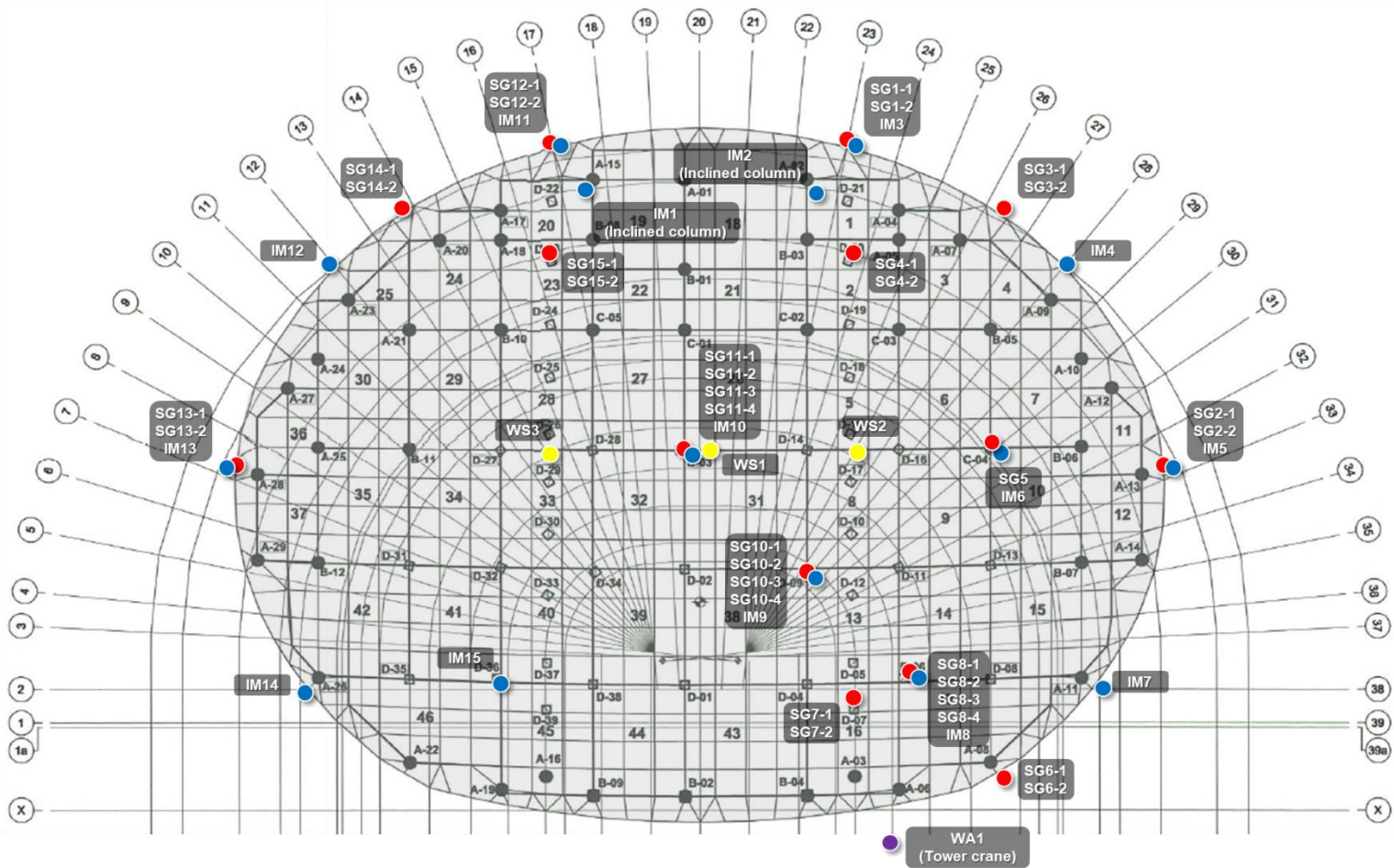
시공 중 변위 계측 및 모니터링

Sensor Plan

시공단계

- 시공 공법 결정
- 시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토
- 가설 구조물 안전성 검토
- 시공 단계 별 구조물 안전성 검토
- 가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링



시공단계

시공 중 변위 계측 및 모니터링

시공단계

시공 공법 결정

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

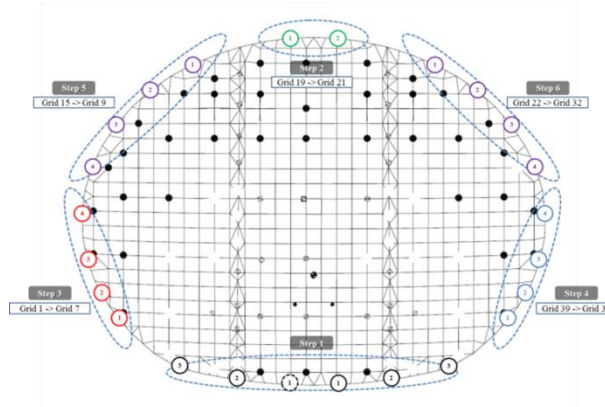
가설 구조물 안전성 검토

시공 단계 별 구조물 안전성 검토

가설 해체 시 구조 안전성 검토

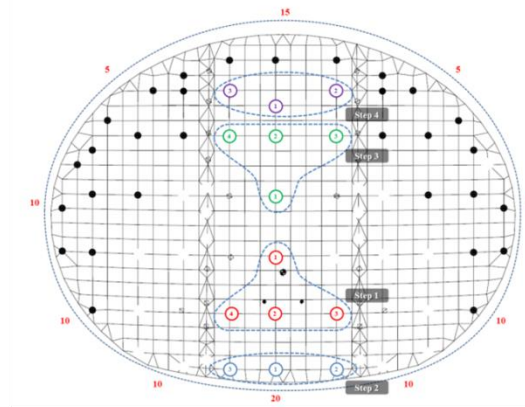
시공 중 변위 계측 및 모니터링

Final removal stage



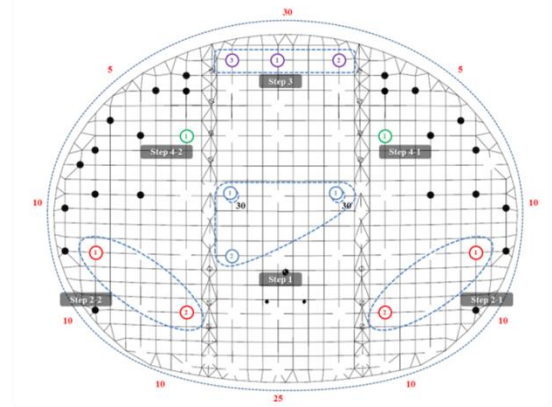
[Stage 1]

Removal of Temporary Frame of LRB



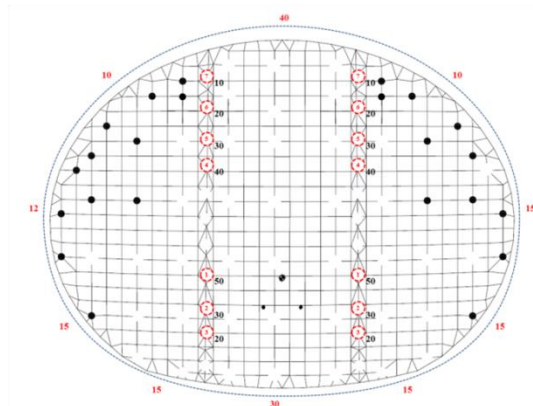
[Stage 2]

Removal of Temporary Supports in the middle



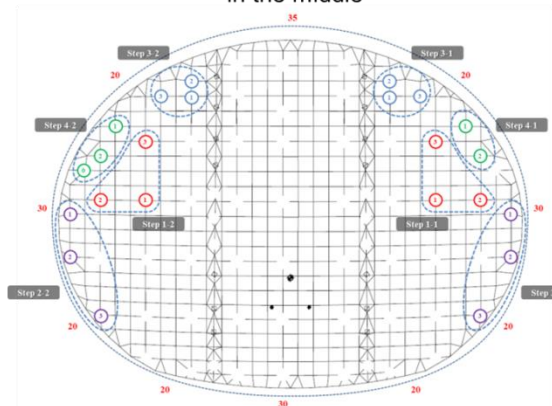
[Stage 3]

Removal of Temporary Supports around Tension Truss



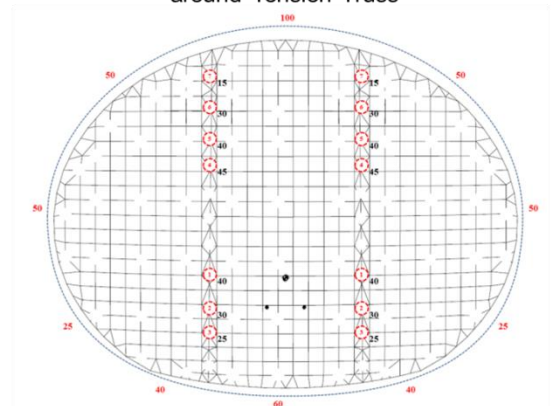
[Stage 4]

Jack-down of Temporary Supports under Tension Truss



[Stage 5]

Removal of Temporary Supports both sides



[Stage 6]

Final Removal of Temporary Supports under Tension Truss

시공단계

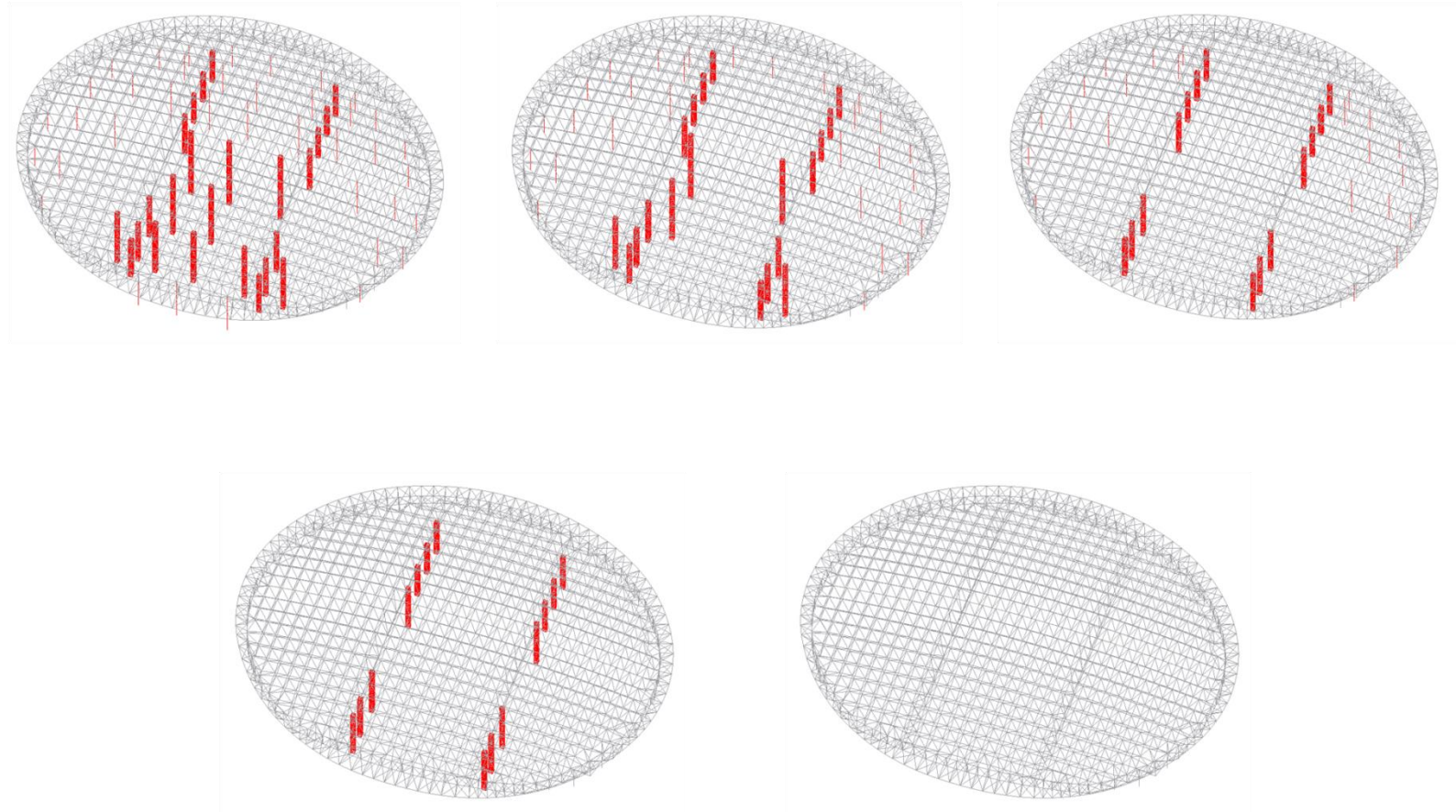
시공 중 변위 계측 및 모니터링

Construction Stage Analysis

시공단계

- 시공 공법 결정
- 시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토
- 가설 구조물 안전성 검토
- 시공 단계 별 구조물 안전성 검토
- 가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링



시공단계

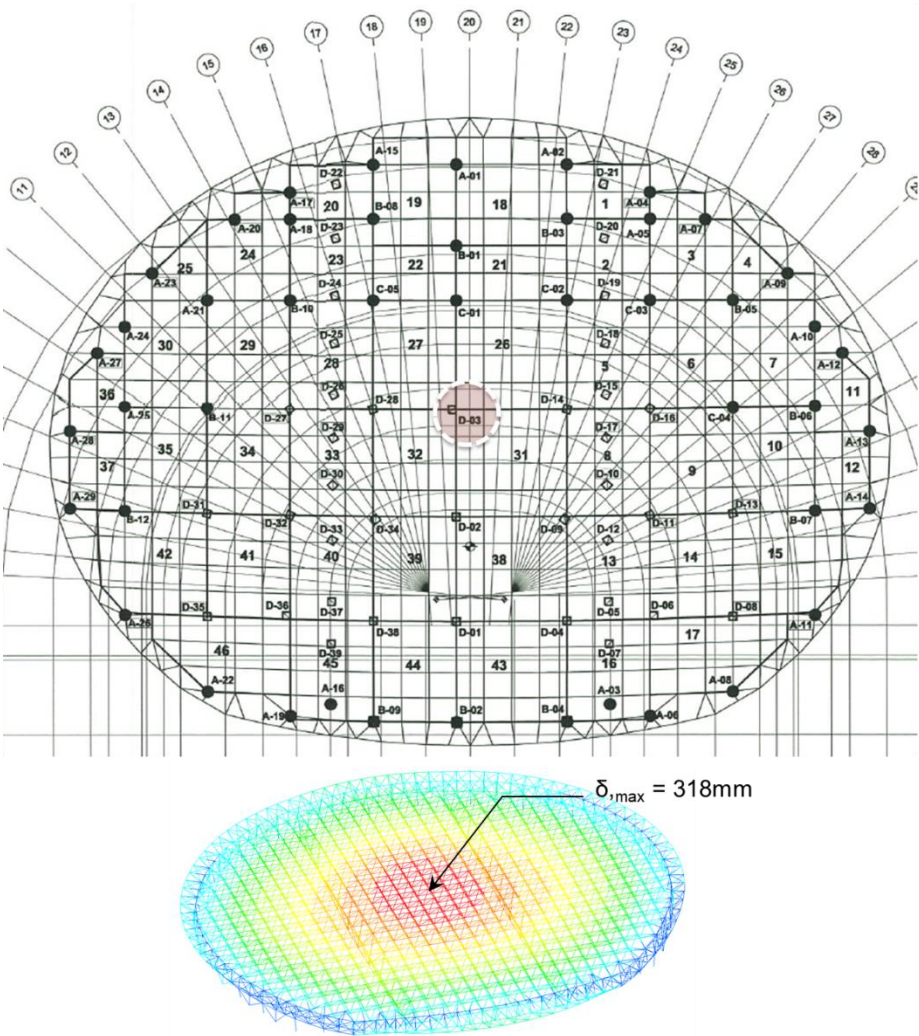
시공 중 변위 계측 및 모니터링

시공단계

- 시공 공법 결정
- 시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토
- 가설 구조물 안전성 검토
- 시공 단계 별 구조물 안전성 검토
- 가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

Analytical Displacement after Final Removal



Support No.	Analytical disp.(mm)	Support No.	Analytical disp.(mm)	Support No.	Analytical disp.(mm)
A-01	-85	B-07	-87	D-15	-265
A-02	-70	B-08	-188	D-16	-248
A-04	-67	B-09	-33	D-17	-269
A-05	-136	B-10	-191	D-18	-245
A-07	-57	B-11	-189	D-19	-209
A-09	-40	B-12	-87	D-20	-154
A-10	-55	C-01	-270	D-21	-78
A-13	-28	C-02	-241	D-22	-78
A-14	-19	C-03	-191	D-23	-154
A-15	-70	C-04	-189	D-24	-209
A-17	-67	C-05	-241	D-25	-245
A-18	-136	D-01	-185	D-26	-265
A-20	-57	D-02	-287	D-27	-248
A-21	-122	D-03	-318	D-28	-290
A-23	-40	D-04	-174	D-29	-269
A-24	-55	D-05	-174	D-30	-257
A-25	-97	D-06	-149	D-31	-176
A-28	-28	D-07	-128	D-32	-232
A-29	-19	D-08	-115	D-33	-231
B-01	-211	D-09	-265	D-34	-265
B-02	-37	D-10	-257	D-35	-115
B-03	-188	D-11	-232	D-36	-149
B-04	-33	D-12	-231	D-37	-174
B-05	-122	D-13	-176	D-38	-174
B-06	-97	D-14	-290	D-39	-128

시공단계

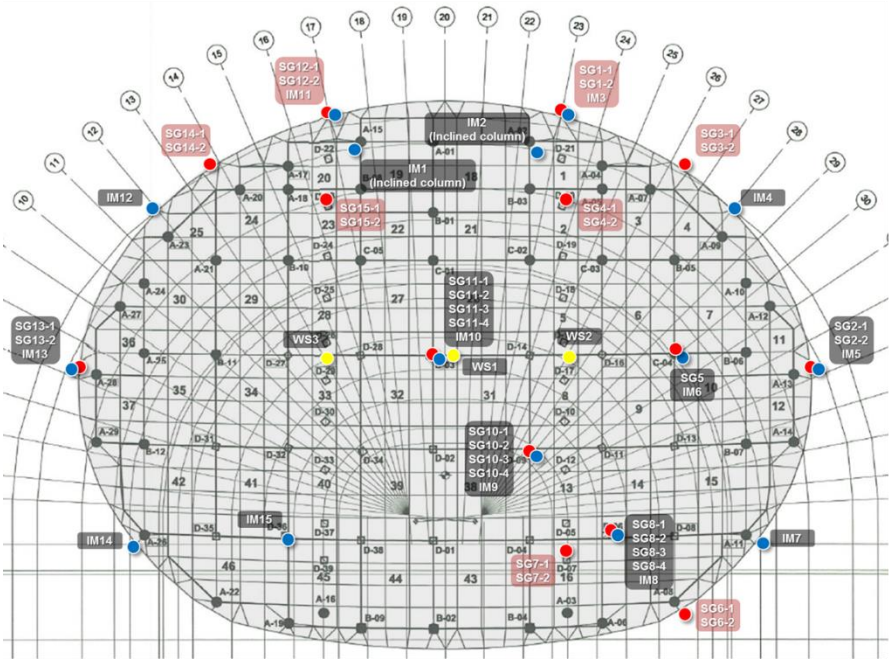
시공 중 변위 계측 및 모니터링

시공단계

- 시공 공법 결정
- 시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토
- 가설 구조물 안전성 검토
- 시공 단계 별 구조물 안전성 검토
- 가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

Expected Variation of Principal Structural Member



Location	Sensor No.	Displacement (mm)		Variation (mm)		Variation (°)
		Before Removal	After Removal	Global	Local	
Grid 23 Pin Col.	IM3-x	1	8	7	-5	-0.046
	IM3-y	4	48	44	-44	-0.437
Grid 17 Pin Col.	IM11-x	-1	-8	-7	5	0.046
	IM11-y	4	48	44	44	0.437

Location	Sensor No.	Member Force (Mpa)		Variation (Mpa)	Variation (uSt)
		Before Removal	After Removal		
Grid 23 Pin Col.	SG1-1	-9	-73	-64	-305
	SG1-2	-9	-73	-64	-305
Grid 26 T/R	SG3-1	5	61	56	267
	SG3-2	5	61	56	267
T/T B at UB	SG4-1	1	102	101	481
	SG4-2	1	102	101	481
Grid E T/R	SG6-1	10	57	47	224
	SG6-2	10	57	47	224
T/T B at SVC	SG7-1	6	78	72	343
	SG7-2	6	78	72	343
Grid 17 Pin col.	SG12-1	-10	-73	-63	-300
	SG12-2	-10	-73	-63	-300
Grid 14 T/R	SG14-1	5	53	48	229
	SG14-2	5	53	48	229
T/T A at UB	SG15-1	1	102	101	481
	SG15-2	1	102	101	481

시공단계

시공 중 변위 계측 및 모니터링

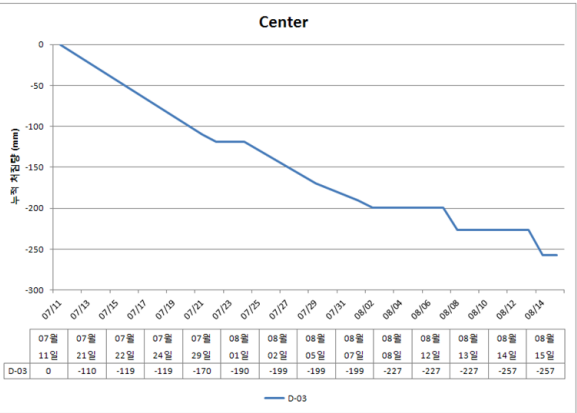
Roof Displacement

시공단계

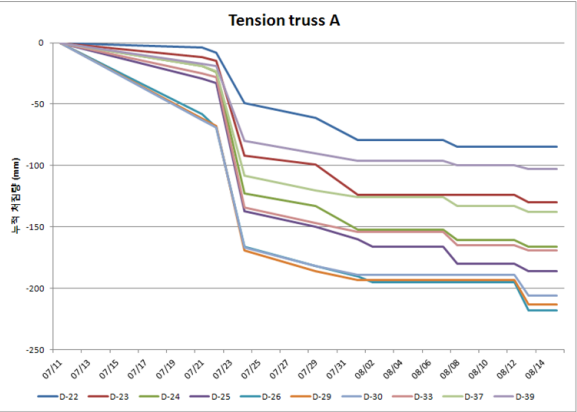
- 시공 공법 결정
- 시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토
- 가설 구조물 안전성 검토
- 시공 단계 별 구조물 안전성 검토
- 가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

- Center of roof



- Tension truss A



Temporary Support No.	Actual Displacement (1)	Modified Analytical Displacement (2)	Variation (3) = (1) - (2)	Temporary Support No.	Actual Displacement (1)	Modified Analytical Displacement (2)	Variation (3) = (1) - (2)
A-01	-87	-72	-15	D-01	-177	-157	-20
A-02	-76	-60	-17	D-02	-212	-244	32
A-04	-81	-57	-24	D-03	-257	-270	13
A-05	-108	-116	8	D-04	-140	-148	8
A-07	-55	-48	-7	D-05	-138	-148	10
A-09	-32	-34	2	D-06	-101	-127	26
A-10	-48	-47	-1	D-07	-103	-109	6
A-13	-47	-24	-23	D-08	-80	-98	18
A-14	-12	-16	4	D-09	-182	-225	43
A-15	-71	-60	-12	D-10	-222	-218	-4
A-17	-67	-57	-10	D-11	-191	-197	6
A-18	-87	-116	29	D-12	-177	-196	19
A-20	-49	-48	-1	D-13	-171	-150	-21
A-21	-91	-104	13	D-14	-237	-247	10
A-23	-38	-34	-4	D-15	-246	-225	-21
A-24	-47	-47	0	D-16	-219	-211	-8
A-25	-65	-82	17	D-17	-237	-229	-8
A-28	-22	-24	2	D-18	-221	-208	-13
A-29	-15	-16	1	D-19	-199	-178	-21
B-01	-208	-179	-29	D-20	-159	-131	-28
B-02	-10	-31	21	D-21	-102	-66	-36
B-03	-159	-160	1	D-22	-85	-66	-19
B-04	-32	-28	-4	D-23	-130	-131	1
B-05	-115	-104	-11	D-24	-166	-178	12
B-06	-83	-82	-1	D-25	-186	-208	22
B-07	-96	-74	-22	D-26	-218	-225	7
B-08	-137	-160	23	D-27	-192	-211	19
B-09	-38	-28	-10	D-28	-209	-247	38
B-10	-133	-162	29	D-29	-213	-229	16
B-11	-144	-161	17	D-30	-206	-218	12
B-12	-75	-74	-1	D-31	-143	-150	7
C-01	-263	-230	-34	D-32	-180	-197	17
C-02	-233	-205	-28	D-33	-169	-196	27
C-03	-187	-162	-25	D-34	-202	-225	23
C-04	-174	-161	-13	D-35	-71	-98	27
C-05	-199	-205	6	D-36	-97	-127	30
				D-37	-138	-148	10
				D-38	-148	-148	0
				D-39	-103	-109	6

시공단계

시공단계

시공 공법 결정

시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토

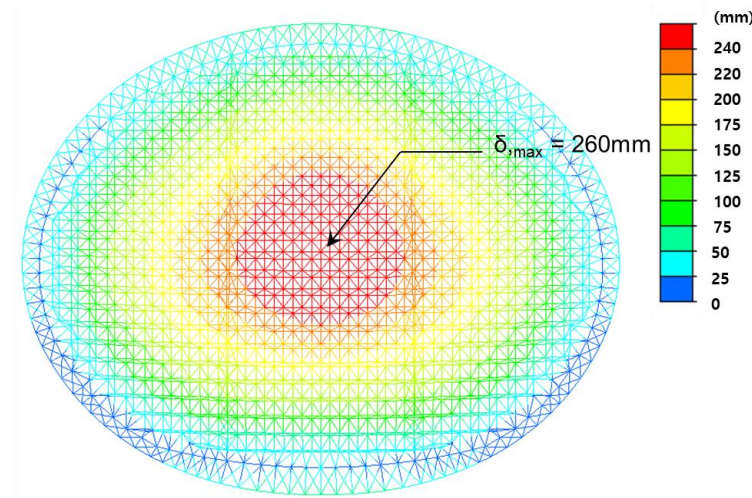
가설 구조물 안전성 검토

시공 단계 별 구조물 안전성 검토

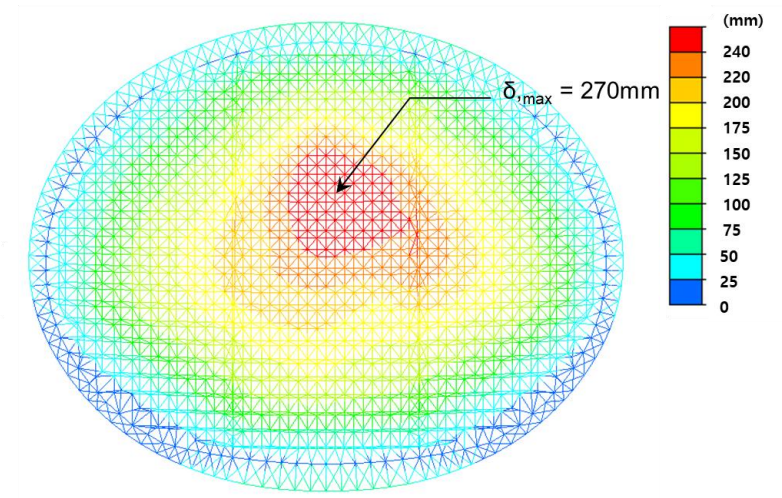
가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

시공 중 변위 계측 및 모니터링



<Analytical displacement>



<Actual displacement>

시공단계

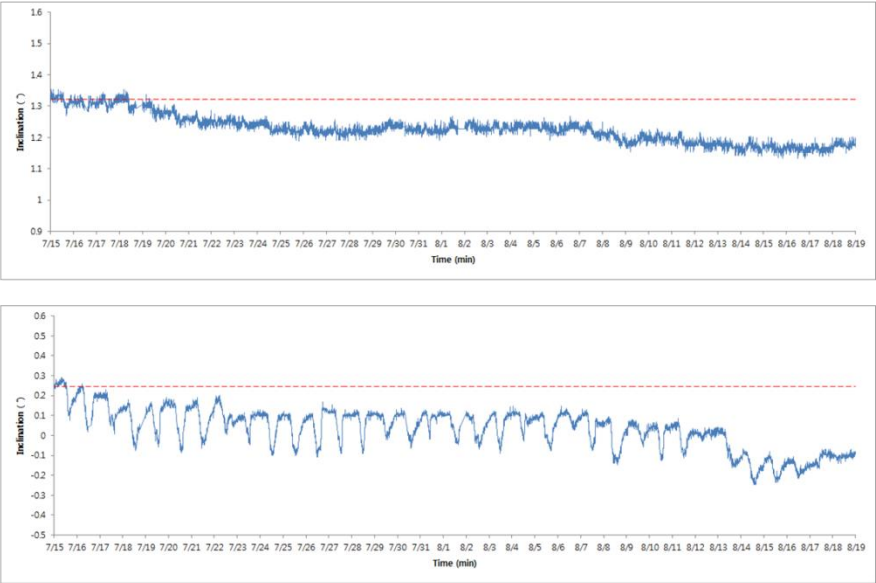
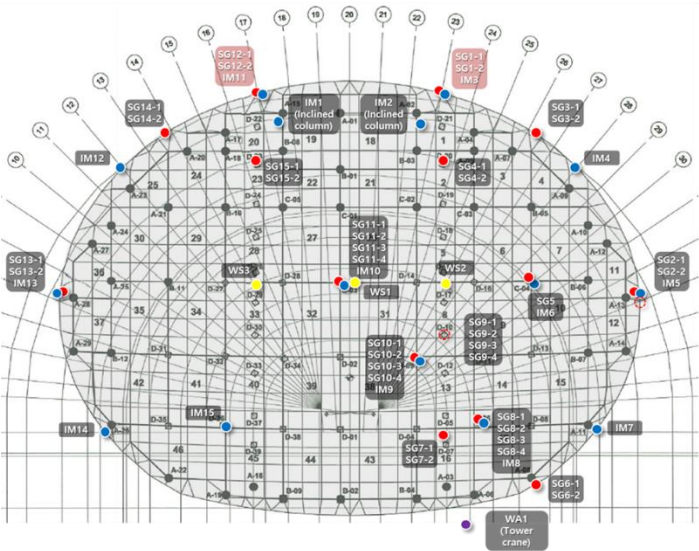
시공 중 변위 계측 및 모니터링

Variations of Sensor(IM) for Principal Structures

시공단계

- 시공 공법 결정
- 시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토
- 가설 구조물 안전성 검토
- 시공 단계 별 구조물 안전성 검토
- 가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링



Location	Sensor No.	Sensor Variation (°)		Column Displacement (mm)		Variation (mm)
		Measurement	Analysis	Measurement	Analysis	
Grid 23 Pin Col.	IM3-x	-0.146	-0.039	-14.8	-4	
	IM3-y	-0.350	-0.371	-35.5	-37.7	
Final Displacement				38.5	37.9	-0.6
Grid 17 Pin Col.	IM11-x	0.118	0.039	12.0	4.0	
	IM11-y	0.312	0.371	31.6	37.7	
Final Displacement				33.8	37.9	4.1

시공단계

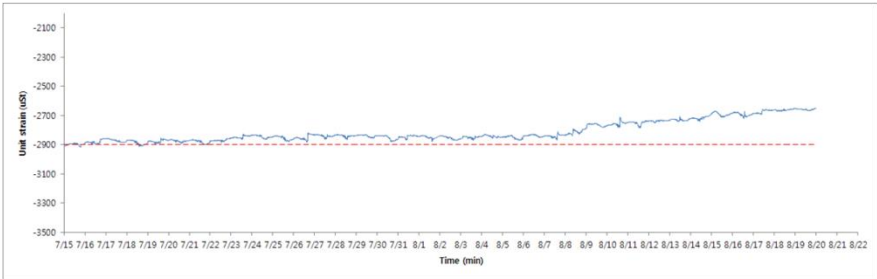
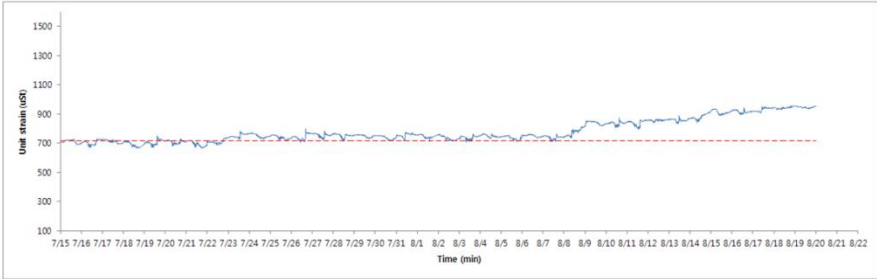
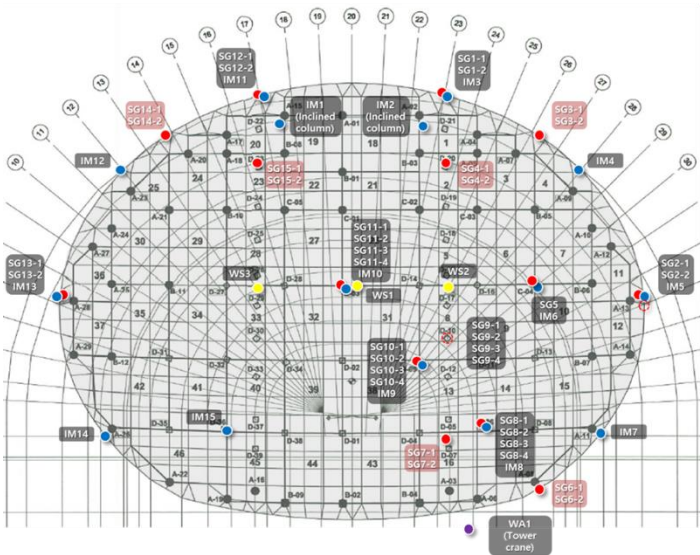
시공 중 변위 계측 및 모니터링

시공단계

- 시공 공법 결정
- 시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토
- 가설 구조물 안전성 검토
- 시공 단계 별 구조물 안전성 검토
- 가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링

Variations of Sensor(SG) for Principal Structures



Location	Sensor No.	Sensor Variation (uSt)			Axial Force Variation (tonf)	Average (tonf)	Member Force (tonf)	Percentage (%)	Remark
		Measureme nt	Analysis	Variation					
Grid 26 T/R	SG3-1	211	227	-16	-23	72	1936	4%	
	SG3-2	343	227	116	167				
T/T B at UB	SG4-1	-	409	-	-	42	1677	3%	
	SG4-2	443	409	34	42				
Grid E T/R	SG6-1	242	190	85	64	41	1677	2%	
	SG6-2	205	190	15	18				
T/T B at SVC	SG7-1	228	292	-64	-79	-74	1677	-4%	
	SG7-2	236	292	-56	-69				
Grid 14 T/R	SG14-1	236	195	41	51	19	1677	1%	
	SG14-2	184	195	-11	-13				
T/T A at UB	SG15-1	413	409	4	5	-45	1677	-3%	
	SG15-2	333	409	-76	-94				

* T/T : Tension Truss, T/R : Tension Ring, UB : Upper Bowl, SVC : Service Core

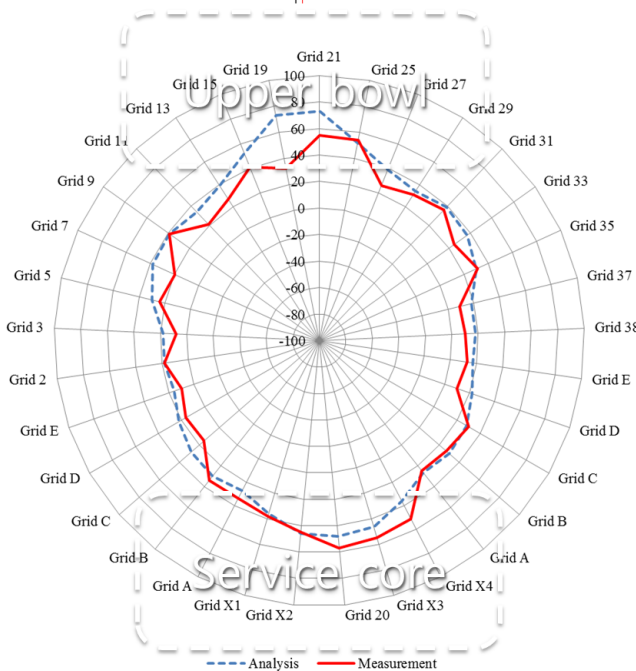
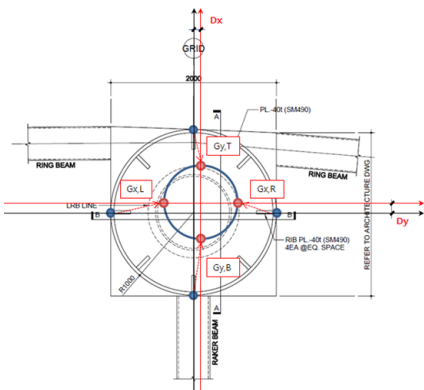
시공단계

시공 중 변위 계측 및 모니터링

시공단계

- 시공 공법 결정
- 시공 시 장비 운용에 대한 안전성 검토
- 가설 구조물 안전성 검토
- 시공 단계 별 구조물 안전성 검토
- 가설 해체 시 구조 안전성 검토

시공 중 변위 계측 및 모니터링



No.	Location	Grid	Analytical (mm)	Actual (mm)	Variation (mm)	Remark
1	Upper bowl	Grid 2	18	18	0	
2		Grid 3	18	8	10	
3		Grid 5	30	24	6	
4		Grid 7	38	20	18	
5		Grid 9	39	39	0	
6		Grid 11	34	21	13	
7		Grid 13	39	27	12	
8		Grid 15	52	41	11	
9		Grid 19	73	32	41	
10		Grid 21	73	55	18	
11		Grid 25	52	54	-2	
12		Grid 27	39	26	13	
13		Grid 29	34	31	3	
14		Grid 31	39	36	3	
15		Grid 33	37	25	12	
16		Grid 35	30	31	-1	
17		Grid 37	18	9	9	
18		Grid 38	18	10	8	
19	Service core	Grid E	16	10	6	
20		Grid D	22	16	6	
21		Grid C	28	15	13	
22		Grid B	30	34	-4	
23		Grid A	27	34	-7	
24		Grid X1	36	38	-2	
25		Grid X2	46	45	1	
26		Grid 20	48	57	-9	
27		Grid X3	46	55	-9	
28		Grid X4	36	51	-14	
29		Grid A	27	25	2	
30		Grid B	30	27	3	
31		Grid C	28	30	-2	
32		Grid D	22	10	12	
33		Grid E	17	13	4	

시 공 단 계

필리핀 아레나

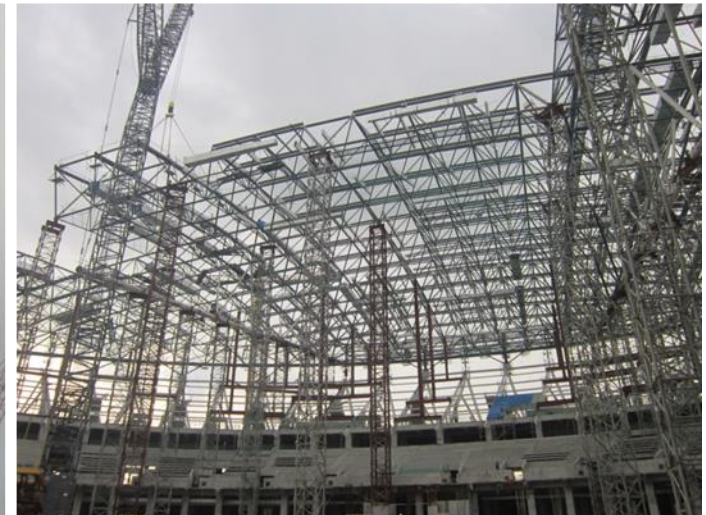
■ 2013. 01.



■ 2013. 03.



■ 2013. 05.



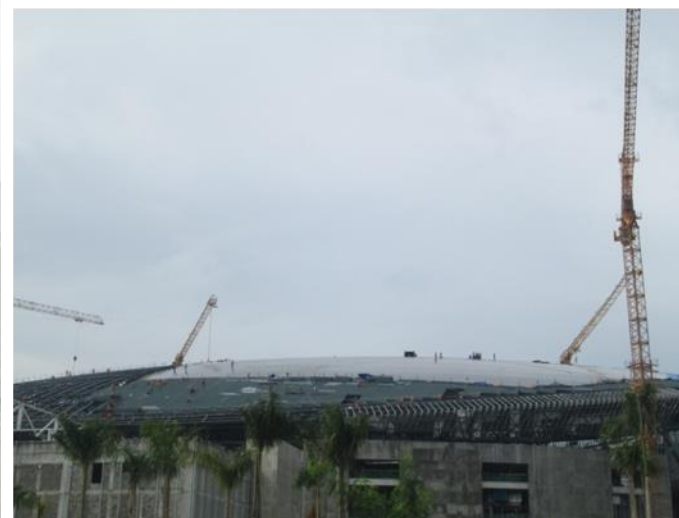
■ 2013. 07.



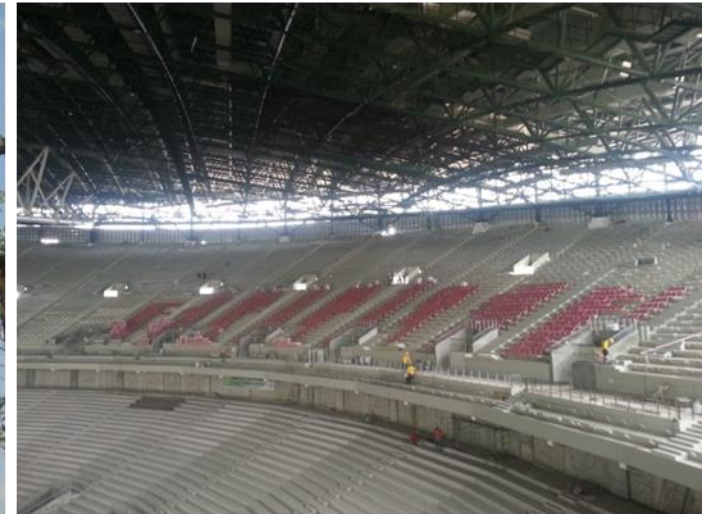
■ 2013. 09.



■ 2013. 11.



■ 2014. 01.



■ 2014. 03.



Thank you

김 종 수 (Kim. Jong-Soo)

조 덕 원 (Cho. Duck-Won)

E-mail : dwcho@csse.kr