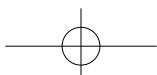
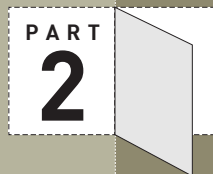
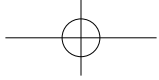


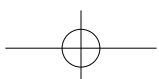
Marine Section

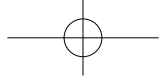




해상구간

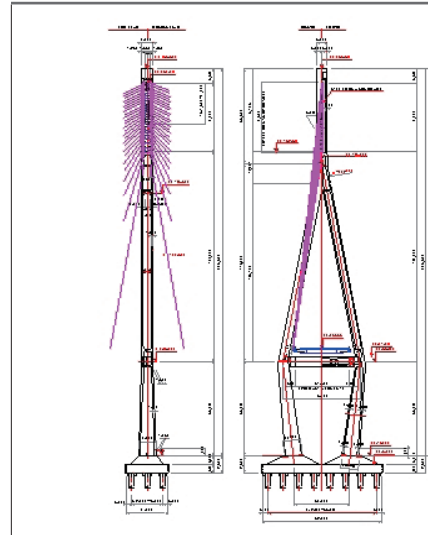
제 2장 사장교 Cable-Stayed Bridge





제1절 | 주탑

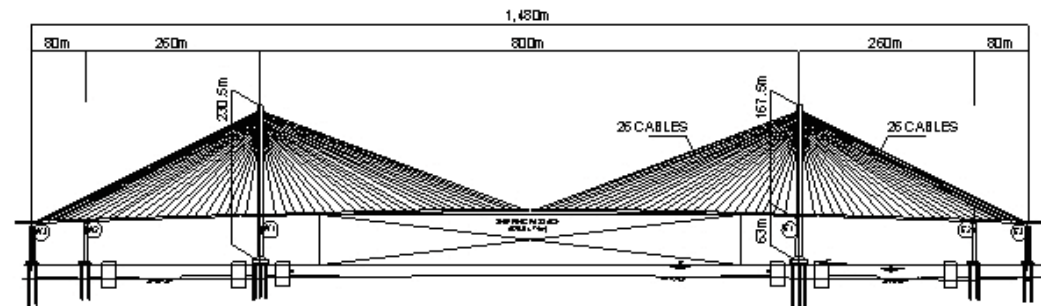
1.1 주탑 개요



- 주 탑
: 역Y형 콘크리트 주탑
(H=225.5m; Pedestal ~ 탑정부)
- 하부기초
: 현장타설말뚝(RCD) + 파일캡 기초
- 변화단면 구성
: 단면변화 (12m*12m ~ 7m*6m)
: 벽체두께 변화 (1.25m ~ 0.75m)
- 중공주탑
: 교각 내부 유지보수용 이동시설 설치
(남측: 엘리베이터, 북측: 계단)
- Cross Beam 육상제작·해상 가설
: PC 강연선 긴장 (888가닥)
- Upper Part 케이블 정착용 지지물 설치
: 트레슬 3EA, 강각 24 EA

1.2. 공사구간

인천대교 사장교 하부 구조물 사장교 주탑 시공의 적용범위는 W1터이며, 그림 1.2를 참고한다.

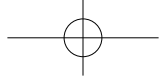


> 인천대교 사장교

1.3. 시공수량

> 주탑 1기 기준

구 분		개 소	비 고
Pylon	Lower Part	15 LOTS	1 LOT ~ 15 LOT (4m * 13LOTS + 3m * 2LOTS)
	Cross Beam	1 EA	육상 P.C. 제작 (6m*6m*31.6m)
	Middle Part	24 LOTS	16 LOT ~ 39 LOT (4m* 23LOTS + 4.5m * 1LOT)
	Upper Part	18 LOTS	40 LOT ~ 57 LOT (4m* 17LOTS + 3m * 1LOT)



1.4. 시공물량

>주탑 1기 기준

구 분		철 근(ton)	콘크리트(㎡)	거푸집(㎡)	강 선(ton)
Pile Cap (Pedestal)		1,925	11,385	—	—
Pylon	Lower Part	1,260	3,637	6,168	—
	Cross Beam	126	564	1,248	48
	Middle Part	694	3,578	7,820	—
	Upper Part	376	1,839	3,052	—
TOTAL		4,381	21,003	18,288	48

1.5. 적용공법

인천대교 주탑은 ACS(Auto Climbing System) Form을 이용하였으며 이는 Hydraulic Unit와 양중용 Profile을 이용하여 별도의 양중장비 없이 자체적으로 1개층씩 형틀을 상승시키면서 콘크리트를 타설하는 공법이다.

> ACS Form



1.6. 세부공정

1) PC House bracket 용접

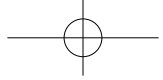
PC House Bracket은 육상에서 제작된 PC House를 기 시공된 현장타설 말뚝에 거치하기 위해 현장용접으로 설치한다. 작업순서는 G.P.S.를 이용하여 설치 elevation을 결정한 뒤 용접부 녹제거 및 가 거치 후 받침대를 용접한다.



1. 작업 전경



2. bracket 설치



3. 부상방지 강봉 설치그림



4. PC House bracket 작업완료

2) PC House 설치

PC House 가설은 3000톤급 해상크레인을 이용하여 가설하였다. 인양무게를 고려하여 W1, E1은 2분할 제작되었으며, 보조 및 단부교각은 일체로 제작하였다.



> PC House 가설전경



> 용이한 PC HOUSE 설치를 위해 삼각형의 가이드캡 이용

3) 철근배근

① Pile Cap 철근배근

Pile Cap 바닥철근은 현장타설말뚝의 철근을 관통하며 배근 전 로프를 이용하여 작업성 여부를 확인하였다. 바닥 철근받침 침은 피복확보를 위해 H형강(200×200×8×12)을 각 지점별로 elevation측량을 실시하여 각 레벨에 맞춰 절단하여 설치하였다.



> 바닥철근 조립완료 전경



> 바닥 철근받침 배치



상부철근 시공은 당초 받침철근(Chair Bar)을 이용하기로 하였으나 설치소요시간이 길고 작업공간 협소 및 철근전도에 따른 작업반 위험성이 내재되어 L형강을 이용하여 철근 받침을 설치하였다. 상부철근 역시 바닥철근과 같은 방법으로 L형강(60×60×5)을 이용하여 철근간격을 확보하여 시공하였다.



> 상부 철근받침 설치



> 상부철근 배근

② Pedestal 철근배근

Pedestal은 피라밋 형태의 구조물이며 형상을 구현하기 위하여 L형강으로 철근받침을 설치하였다.



> Pedestal 철근받침 설치



> Pedestal 철근 배근

4) Pile Cap 콘크리트 타설

사장교 주탑 및 단부 Pile Cap 콘크리트 타설물량은 표 1.2.1. 와 같다.

> 사장교 Pile Cap 콘크리트 물량

위 치		수 량	비 고
주탑	Pile Cap	7,949m³	H=4.8m
	Pedestal	3,368m³ x 2개소	H=5.0m
	소 계	14,685m³	W1 기준
보조교각 Pile Cap		2,132m³	W2
단부교각 Pile Cap		2,132m³	W3

사장교 주탑의 Pile Cap의 높이가 4.8m이므로 콘크리트표준시방서에 규정하는 매스콘크리트 구조물에 해당하고, 특히 단위시멘트량이 432kgf/m³인 고강도 콘크리트 (fck = 35MPa)로 타설되므로 아무 조치없이 시공할 경우 수화열에 의한 온도균열이 발생할 가능성이 있다. 이에 수화열을 저감한 콘크리트 시공이 중요한 사항이다. 수화열해석을 통해 다음과 같은 시공방법을 결정하였다.



> 사장교 Pile Cap 타설방법

위 치	타 설 방 법
주탑 Pile Cap	분할타설(2.5m+2.3m) + 담수양생
주탑 Pedestal	파이프쿨링 + 담수양생
보조교각 Pile Cap	담수양생
단부교각 Pile Cap	담수양생

사장교 주탑의 Pile Cap의 높이가 4.8m이므로 콘크리트표준시방서에 규정하는 매스콘크리트 구조물에 해당하고, 특히 단위시멘트량이 432kgf/m³인 고강도 콘크리트 (fck = 35MPa)로 타설되므로 아무 조치없이 시공할 경우 수화열에 의한 온도균열이 발생할 가능성이 있다. 이에 수화열을 저감한 콘크리트 시공이 중요한 사항이다.

수화열해석을 통해 다음과 같은 시공방법을 결정하였다.

❶ 주탑 Pile Cap 콘크리트

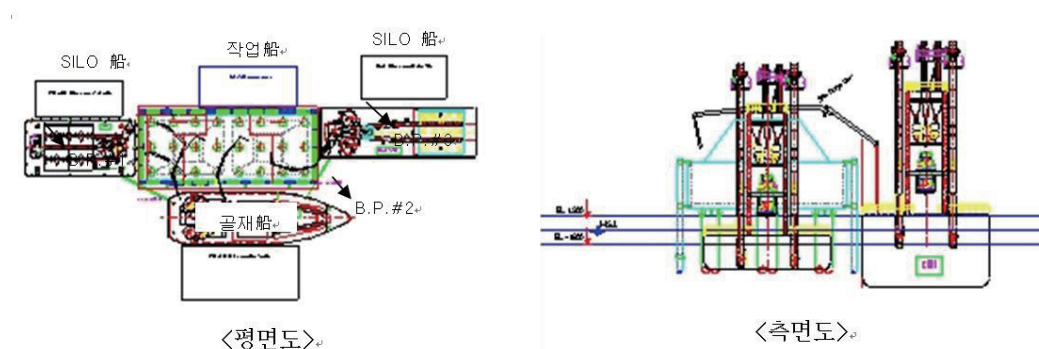
수화열 해석결과를 반영하여 Pile Cap 콘크리트 타설은 다음과 같이 2차에 걸쳐 분할타설 하기로 하였으며, 각 단위 공 중에 소요되는 일자는 표 2.3.과 같다.

> 주탑 Pile Cap 타설물량 및 소요일자

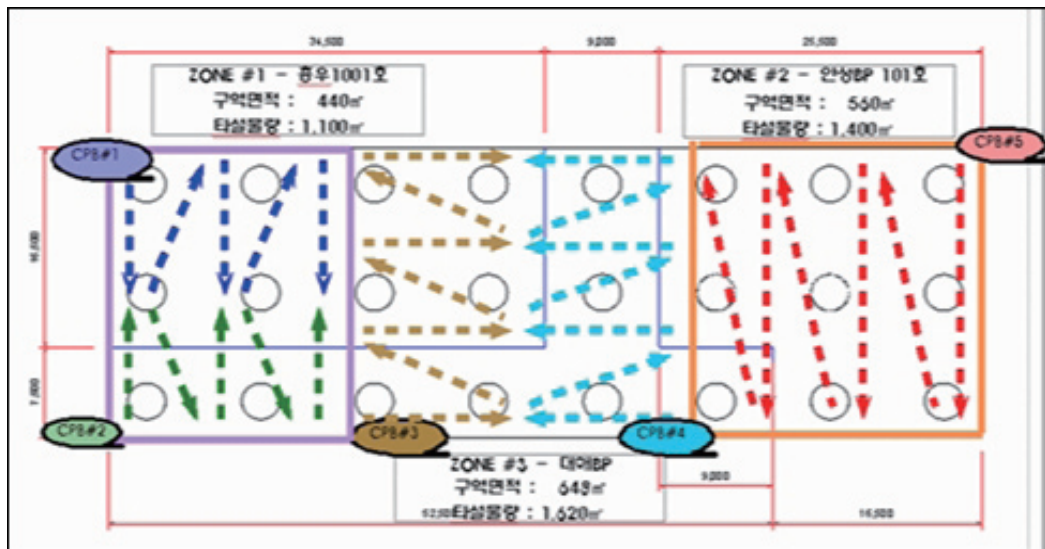
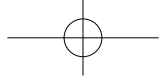
구분	타설고	소요일자			
		타설	치핑	양생	청소
1차	2.5m	2일	1일	5일	1일
2차	2.3m	2일	1일	7일	1일



대물량 콘크리트를 타설하기 위해 해상 Batch Plant 3대를 사용하였으며, 그림 1.2.13과 같이 접안하였다. 가용한 Concrete Placing Boom(CPB)은 총 5대 이다. 원활한 작업을 위해 CPB 별로 5개의 작업구역으로 분할하였다.



> 작업선 및 B.P.배치도



> B.P.별 타설구역도

구역당 작업반장 1명, 작업원 8명으로 1개팀을 구성하였으며, 총 5팀을 구성하고 예비로 2팀을 추가 편성하여 3시간마다 휴식시간을 보장하였다. 타설전 타설 방법 교육 및 작업구역을 숙지시킴으로써 작업 효율을 극대화 시켰다. 콘크리트 낙하고를 최소화 하기 위해 직경 200mm 플라스틱 주름관 및 이동식 호퍼를 총 50개소에 설치하여 타설시 낙하고가 1m 이하가 되도록 하였다. 콘크리트 타설시 현장에서 해상 Batch Plant 3대를 동원하였으며 작업 전 자재를 만충 함으로써 추가 자재공급 없이 타설이 가능토록 하였다.

> B.P.별 타설가능물량

선 명	적재 골재량	적재 시멘트	타설량 가능량	펌프 용량
B.P. #1	1,508m³	605톤	1,400m³	70m³/h
B.P. #2	1,185m³	475톤	1,100m³	65m³/h
B.P. #3	1,831m³	734톤	700m³	80m³/h
계	4,524m³	1,814톤	4,200m³	

② Pedestal 콘크리트 타설

Pedestal 콘크리트 타설을 위해 강재 거푸집을 제작하였다. 강재 거푸집 설치를 위해 Pile Cap 2차 타설시 ㄷ형강을 매입하였으며, 여기에 weldable 커플러를 용접하여 폼 타이를 고정하였다.



> Pedestal 거푸집 고정용 폼 타이



> Pedestal 폼조립

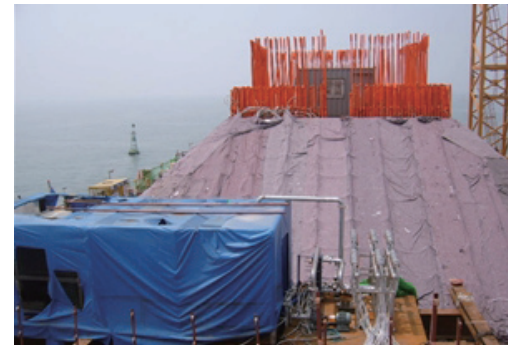


수화열을 저감을 위해 Pedestal 내부는 Pipe Cooling 하였으며, Pipe Cooling 배관은 상하 좌우 800mm간격으로 6단 배열하였다. 설비 완료 후에는 온도계기의 작동과 파이프의 파손 등의 체크를 위한 통수시험 및 시운전을 해 타설에 지장이 없도록 준비하였다.

> 그림 1.2.18. Pipe Cooling 배관 그림



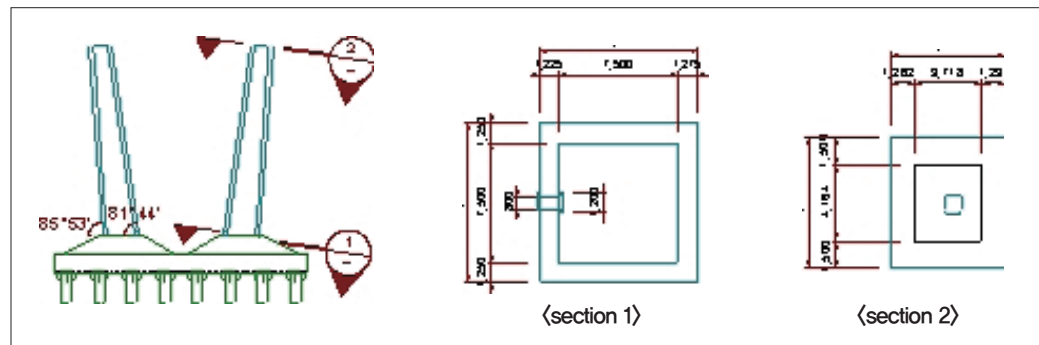
> 그림 1.2.19. Pedestal 보온양생



페데스탈 거푸집 표면에는 발포스티롤 50mm + 양생포를 덮어서 보온양생이 되도록 하였다. 7일간 유입온도 15℃, 0.6m/sec의 속도로 냉각수를 순환시켰으며, 입·출수 온도차가 3℃ 이내로 되었을 때 냉각수 순환을 정지했다.

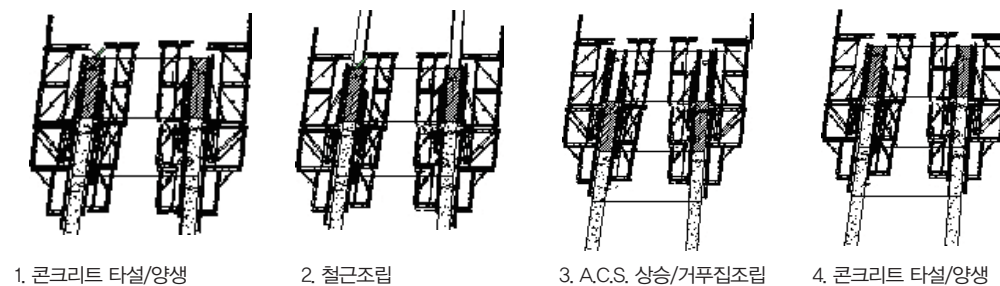
5) Lower Part 주탑 시공

주탑 Lower Part의 내측각은 81°, 외측각은 85°로 각기 다른 기울기를 가지고 있으며, 변화되는 단면을 시공을 해야하는 어려움이 있었다.



> 사장교 주탑 Lower Part 단면도

주탑 시공은 아래와 같은 순서로 진행되었으며 철근 조립 및 거푸집 조립 후에 각각 측량을 실시하여 목표 위치와 비교하였다.



1. 콘크리트 타설/양생

2. 철근조립


3. A.C.S. 상승/거푸집조립

4. 콘크리트 타설/양생

> 주탑 시공



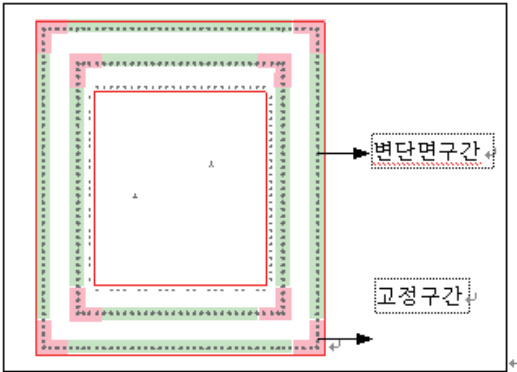
ACS 3개 LOT에 거쳐 형성이되므로 최초 주탑 1LOT부터 3LOT 까지는 수동으로 T/C을 이용하여 인양하였으며 ACS가 자동상승 가능한 4LOT부터 self-climbing을 하였다.
ACS는 각 층별로 작업을 할당하여 철근팀은 +2발판, 거푸집팀은 +1,0발판, 면보수팀은 -1,-2발판에서 작업했다.

	발판층	작업반
	+2	철근반
	+1	거푸집반
	0	거푸집반
	-1	면보수반
	-2	면보수반

> ACS 층별 작업반 위치도

❶ 철근 조립

주탑의 주철근은 $\phi 51\text{mm}$, 길이 4m 철근을 사용하였으며, 1가닥씩 세워서 조립하는 데에는 한계가 있으므로 철근조립용 Jig를 제작하여 시공하였다.
철근조립시 사진과 같이 양중용 Jig를 사용하였으며 Barge선에서 철근 Jig 에 철근 가닥 수 만큼의 홀을 만들어 바지선에서 선조립하여 양중을 하였다. 철근 Jig는 H형강(300X300)을 사용하여 양중과 동시에 철근 가대 역할을 할 수 있도록 하였다.



> 철근 jig 배치도



> 고정구간 철근 Jig



> 변단면구간 철근 Jig



고정구간 철근의 Jig는 반복하여 재사용하고, 변단면구간의 철근 Jig는 절단하여 그 치수를 줄여가며 사용하였다. Jig 간의 연결은 볼트를 사용하였다. 철근 조립시 주탑의 기울기로 인해 철근 조립 후 자중 방향으로 처지는 문제가 발생하였다. 이에 이전 Lot 콘크리트 타설시 바닥에 앵커를 매입하고 턴버클이 부착된 와이와와 철근 Jig를 이용하여 선형을 mm 단위로 제어하였다.



> 철근조립 작업



> 철근선형 개선 방법

❶ 거푸집 조립

거푸집은 사전에 육상에서 제작하였다. 제작된 거푸집에는 일련번호를 부착하여 야적하고 필요한 거푸집을 Barge에 선적하여 현장으로 운반하여 타워크레인을 이용하여 조립하였다.

매 Lot 모서리부는 면목(삼각 30X30mm)을 사용하여 모따기를 실시하였고, Lot별 콘크리트 상단에는 면목(20X20mm)를 사용하여 조인트 처리를 하였다. 또한 블리딩수 유출을 방지하기 위하여 거푸집 하단면에 스펀지를 이용하여 1차로 밀착 시키고 2차로 실리콘 처리를 하였다.

주탑 Lower Part는 변단면이므로 매 Lot 별로 구조물 크기에 맞도록 거푸집의 사이즈를 변경하여야 하였다. 거푸집 중앙부에 변화구간을 설정하고 그 구간에만 변화치수 거푸집을 교체해가며 작업하였다. 조립된 거푸집간에는 타이로드를 이용하여 지지하였다. 타이로드는 2가지 종류가 사용되었으며 다음과 같다.

Outer Form 간	Weldable Coupler Type (매립형)
Inner~Outer Form간	Normal Type (관통형)

외부 거푸집 간에는 철근에 Weldable Coupler를 용접한 뒤 강봉을 체결하였다.



> Weldable Coupler Type(매입형)



> Normal Type(관통형)

내부 거푸집과 외부 거푸집은 $\phi 16\text{mm}$ 강봉을 이용하여 조립하였으며, 거푸집 탈형시 강봉의 재활용을 위해 $\phi 21\text{mm}$ PVC pipe를 삽입하였다. 초기 거푸집 조립시 콘크리트 타설 후 몰탈이 PVC pipe 내부로 유입되어 거푸집타이 해체가



어려운 시기도 있었는데 스펀지를 사용하여 몰탈유입을 막음으로써 거푸집타이 해체가 용이하도록 개선하였다. 콘크리트 양생이 완료되면 거푸집에 붙어있는 오염물 제거 후 박리제를 도포하고 재 사용하였으며, 손상된 합판은 즉시 교체하였다.

④ 콘크리트 타설

1 ~ 5LOT 까지는 호퍼형 Bucket을 이용하였으며, 내부 ACS가 완성되는 6LOT 이후부터는 압송펌프를 이용하였다.

1. 호퍼타설

해상 Batch Plant(210m³/HR) 1대를 항주파의 영향이 보다 적은 측경간 측에 배치하여 타설하였고, Vibrator는 각 면마다 2대씩 배치하였다. 3m³ Bucket 2대를 사용하였으며 타설에 걸리는 1Cycle Time은 10분으로써 시간당 18m³를 타설하였다.

2. 압송배관 타설

압송배관 타설을 위해 다음과 같은 조건을 검토하였다.

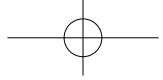
① 콘크리트 배합설계

고층부 압송을 위해 유동성(시공성) 개선이 필요하였다. 특히 콘크리트의 결합재량이 500kg/m³로 보통강도 콘크리트에 비해서는 높기 때문에 상대적으로 콘크리트의 점성이 증가하여 Pumping 시 유압 및 콘크리트 압력을 증가시키게 되므로 Pumping 성능을 개선하기 위해서는 콘크리트의 유동성을 상향 조정할 필요가 있었다. 고강도 콘크리트의 경우 수평 또는 하향으로 콘크리트를 타설 하는 경우에는 유동성 기준을 슬럼프로 하여도 시공에 무리가 없지만 상향으로 타설 하는 경우에는 가능한 한 유동성 기준을 증가시키는 것이 유리하다.

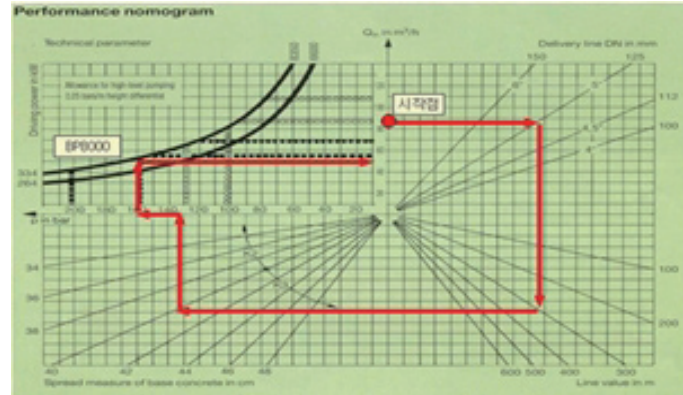
② 압력산출을 위해 실제 배관될 위치 및 종류에 대해 산출하고 이를 통해 실제 소요압력을 도출하였다.

> 압송 펌프 압력산출표

구 분		단 위	수량	압력
최초발생압력		20Bar/기동시	—	20
P I P E	수직PIPE(3m/개)	1Bar/4m	75	57
	수평PIPE(3m/개)	1Bar/20m	6	1
	90°곡관	1Bar/1ea	3	3
	45°곡관	1Bar/2ea	4	2
	기타곡관	1Bar/4ea	4	1
PIPE COUPLING		1Bar/10ea	92	10
마찰계수		20%	—	19
C.P.B.		15Bar	—	—
END HOSE		2Bar	1	2
계				115
안전계수		10%	—	12
압력계				127
실제계수		30%		38
소요압력			165(Bar)	

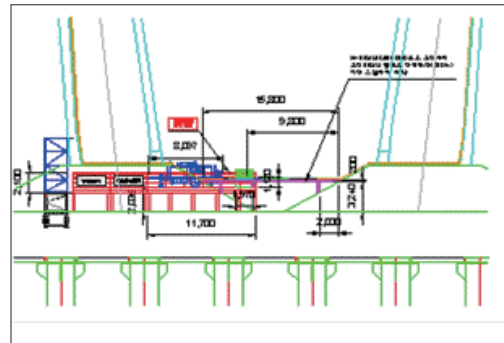


③ Nomogram을 이용하여 타설능력에 따른 고압펌프 기종을 선정하였다.



> 고압펌프 기종선정표

④ 펌프배치계획



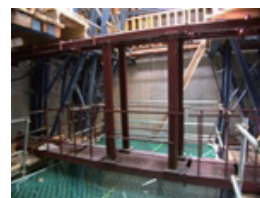
> 고압펌프 배치

⑤ 타설부 배관 고정방법

타설시 수반되는 하중과 진동이 크기 때문에 별도의 설비를 설치하지 않으면 안전상 문제가 있었다. 이에 주탑 내부에 설치할 수 있는 지지대를 설치하고 그 위에 콘크리트 압송파이프를 연결하였다.

지지대 구성은 양단에 정착부가 구비되고, 사장교 주탑 내부에서 중앙부쪽으로 꺾여 배관되는 콘크리트 압송파이프를 지지, 고정시키는 하부받침대, 주탑 내부의 중앙쪽에서 다시 꺾여 콘크리트 타설구간까지 배관되는 콘크리트 압송파이프를 지지하는 상부받침대, 하부받침대와 상부받침대를 연결하여 일체화시키는 연결부재로 구성되어 있다. 이는 '콘크리트 압송파이프 지지대 및 이를 이용한 사장교 주탑 시공방법'으로 특허 등록되어 있다. (특허번호: 10-2007-0027669)

> 압송 설비



지지대 설치전경



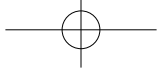
벽체지지대



상부압송관



압송관 고정설비



⑥ 콘크리트 타설 후 잔재처리 방법

콘크리트 타설 잔재처리는 타설구에 스폰지 볼을 넣고 고압으로 불어 배출하였다.



> 콘크리트 잔재 회수설비

⑦ 고압배관 유지점검 방법

주기적으로 두께 측정장치를 이용하여 배관 두께를 측정 하고 유지보수 하였다.



> 배관두께 측정

인원은 호퍼타설에 비해 압송펌프 운전원 3인이 추가되었다. 압송펌프 운전원은 장비 Operating 뿐만 아니라 콘크리트의 반죽질기를 수시로 확인하여 배관 막힘현상을 예방하였다.

타설고가 4.0m로 콘크리트 낙하시 재료분리를 막기위해 매Lot 각 단면별로 타설관의 위치를 정해 스트럽 철근의 간격을 조정하여 타설관(φ250mm)을 삽입해 낙하고를 1.0m 이내로 유지시켰으며 호스상부에는 갈때기 모양의 철물을 제작하여 호스에 삽입해 콘크리트가 넘치거나 흐르지 않도록 하여 타설 하였다.