

KIGEM

동북아 무역센터 신축공사 Project of Northeast Asia Trade Tower



이준하 대우건설 건축사업본부 상무

1. 서론

송도국제도시는 인천 동북아 허브화의 시발점이자 세계적인 공항, 항만과 함께 트라이포트를 만드는 한 꼭지점으로서 다양한 건설 프로젝트가 활발히 진행되고 있다. 송도의 랜드마크 역할을 하게 될 동북아 무역센터 타워는 연면적 7만2천평, 높이 305미터에 이르러 2010년 완공시 국내 최고층 높이를 자랑하게 되며 국제비즈니스와 함께 최고의 주거 문화시설이 포함되어 있다.

한국적 곡선을 살린 입면 디자인은 4각형에서 3각형으로 변하는 형태로 파사드의 다양한 변화를 볼 수 있도록 설계되었고 이로 인해 매층 변화되는 평면은 면과 모서리가 지지해야 하는 풍하중 저감효과 까지 기대할 수 있다. 아웃리거 및 벨트트러스, 메가칼럼 등 당 현장에 적용된 다양한 공법 중 초고층 시공법을 중심으로 소개하고자 한다.

1) 사업 개요

- 시 행 사 : NSIC (New Songdo International City)
- 시 공 사 : (주)대우건설 + (주)포스코 건설 JV
- 설 계 사 : KPF + (주)희림건축 + (주)범건축
- 구 조 사 : OVE ARUP + 동양구조안전기술
- CM : PB KOREA (Parsons Brinckerhoff)
- 감 리 단 : PB KOREA + Heerim
- Consultant : Curtain Wall - ALT
Cost Consultant - DLSK
LED Consultant - Tillotson

2) 시설 개요

- Lobby (1F)
- Office (2F~33F)
- Mechanical Room (13F~14F, 34F~35F, 67F~68F)
- Extended stay hotel (37F~64F)
- Observation deck (65F)
- Hotel club (34F~36F)



3) 공사 개요

- 사 업 명 : 동북아무역센터신축공사
- 공사기간 : 2006.08.01~2010.02.28 (43개월)

- 대지위치 : 인천시 연수구 송도동 6-1, A2-block
- 부지면적 : 16,541평
- 용 적 륜 : 257.43%
- 연 면 적 : 72,254평
- 건물규모 : 지하 3층~지상 68층(지상 305m국내 최고높이)
- 외부마감 : AL Curtain wall + Metal panel
- 건축구조 : SRC (RC CORE)

4) 공정진행사진



2006.10

2007.05

2007.10

2008.04

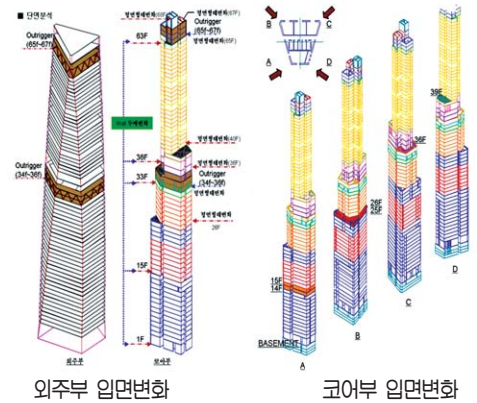
2008.11

2009.01

2009. 04 동북아무역센터 현장 전경

2. 시공관리

1) 설계분석



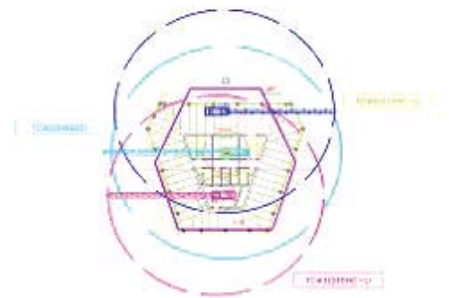
2) 시공분석

(1) 양중계획

① 선정 Flow

- 주요 양중(자재, 인력) 작업 / 양중량 파악
- 1회 양중시간 산정
- 소요대수 산정
- 설치위치 및 입면 & 평면 검토
- 사양검토 및 시장조사
- 사양결정
- 설치높이, 인상 및 고정방법, 기초 검토
- 해체계획수립
- 운영계획수립

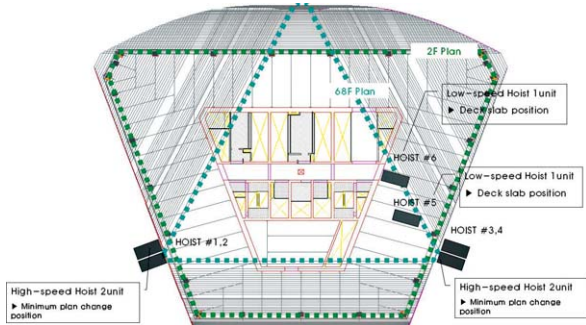
② 타워크레인 선정



장비NO.	구분	장비사양	양중능력	작업반경	담당업무
TC#1	LUFFING JIB CRANE	LIEBHERR 315HC-L	24TON	40M	철골
TC#2	LUFFING JIB CRANE	FAVCO M440D	32TON	46M	골조 / 커튼월
TC#3	LUFFING JIB CRANE	LIEBHERR 315HC-L	24TON	40M	철골
TC#4	LUFFING JIB CRANE	LIEBHERR 315HC-L	24TON	40M	철골

* T/C 위치변경 : 저층부 #1호기 → 고층부 #4호기

③ Hoist 선정



- 층당 23~27개의 SRC 기둥 거푸집의 신속한 상부 이동을 위해 RCS-P 발판상부의 적재하중 500kg/unit을 고려하여 기둥탈형과 동시에 상부층 거푸집의 이동이 가능하도록 고려하였다.

② 코어벽체 철근선조립

- 철근조립의 정밀도가 요구되고 코어내부의 협소한 공간으로 철근의 지상층 선조립 후 인양설치를 적용하였으며 접합디테일이 복잡한 링크빔은 현장조립하였다.
- 층당 38PCS의 분절계획으로 1일 90~120TON의 코어벽체의 철근선조립이 이루어졌다.

(2) 철근 콘크리트 공사

① 거푸집 및 공정계획

- 초고층 골조시공의 공정관리 및 시공품질, 안전을 고려하여 코어를 선행하여 시공하는 방법을 채택하였으며 입면 및 용벽의 변화를 흡수할 수 있도록 코어부의 ACS와 외주부의 RCS-P를 평면을 따라 수정하였다. 따라서 코어 형태 변화에 대비한 거푸집 계획을 공정계획에 포함하여 저층부는 4~5일 사이클, 고층부는 3~4일 사이클로 시공하였다.



코어 벽체 철근 선조립 전경

DIVISION	WORK	5DAY CYCLE									
		D+1		D+2		D+3		D+4		D+5	
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
CORE	LINE MARKING	→	→								
	INSTALLING WALL RE-BAR	→	→								
	ELEC.MECH. (Inspection)			→	→						
	Stair Gang form Lifting & Setting	→	→								
	ELEV. ACS FORM Lifting & Setting	→	→								
	Outer ACS FORM Lifting & Setting	→	→								
	Embed Plate (Installing)	→	→								
	Wall & Slab Form Setting	→	→								
	INSTALLING SLAB RE-BAR							→	→		
	ELEC.MECH. (Inspection)							→	→		
SLAB	LINE MARKING	→	→								
	RCS-P LIFTING & SETTING	→	→								
	INSTALLING COLUMN RE-BAR	→	→								
	ELE / MECH SLEEVE INSERTING	→	→								
	SETTING COLUMN FORM	→	→								
	CONC POURING	→	→								

Lower floor(Over 40F) : 5day cycle Upper floor(Under 41F) : 4day cycle

③ 콘크리트 타설 및 배합설계

· 코어선행 부위 : 고압펌프 + CPB
· 외주부 부위 : 고압펌프 + 수평배관
· 배관 : 3개라인 설치(코어1, 코어에비1, 외주부1)
- 층별, 부재별 다양한 Grade의 콘크리트 배합을 인접부재별 시공방법에 따라 아래와 같이 변경시공하였다. column과 인접슬래브의 동일 타설을 위하여 기둥테두리 600mm, 경계부위에는 lath 막음으로 시공하였다.

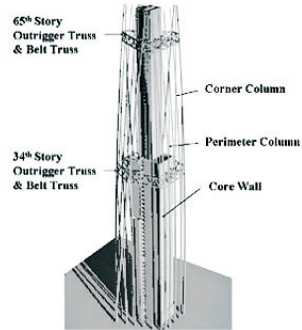
- 동일한 입면이 없는 당현장은 층의 변화에 따라 폭조절 및 해체/설치가 용이한 시스템이 필요로 하게 되었고 실물모형을 통하여 변화가능한 52개의 UNIT의 설치각도를 도면화 할 수 있었다.



	MEMBERS	당초(MPA)	변경(MPA)
TOWER	CORE WALL	50	50
	COLUMNS	50	50
	LINK BEAMS	50	50
	CORE SLAB	27	50
	DECK(S)(OUTCORE)	27	27
	SUBSTRUCTURESLABS	35	35
	BASE SLABS	35	35
	FOUNDATIONS	40	40
	PERMANENT WALLS	30	30
	2M DIAMETER PILES	50	50
BASEMENT	SLABS, BEAMS, COLUMNS	35	36
	BASE SLABS	35	35
	FOUNDATIONS	40	40

(3) 철골공사

① 철골공사 개요



- 입면 및 평면의 다양한 변화를 흡수하여 공기를 단축하기 위한 미국식공법을 적용하여 절당 2개층을 기준으로 시공 하였다. Transfer Girder와 Mega Column이 연결되는 코너구간의 공정지연 및 용접의 집중현상을 방지하기 위해서 Typical

Column을 선행하여 설치하는 N공법을 병행 하였다. 아울러 철골공사 수행을 위해 사전에 수립된 Tower Crane 2대를 운용하여 2개 구간으로 Zoning하여 공사를 진행하였다.

구분	철골특성		
공사규모	지하3F + 지상68F (옥상 헬리포트)		
공사기간	2007.06.01~2009.06.30		
철골구조	기둥(SRC+RC조) + 외주부(S조) + 코아부(RC조) MEGA COLUMN : 경사기둥 (입면, 단면변화) TRANSFER GIRDER 행거타입 복층구조 OUTRIGGER + BELT TRUSS (34~36F, 65~67F) ADJUSTABLE JOINT (36F, 67F) 철골빔 + 코아월 연결방식 : EMBEDDED PLATE		
철골물량	구분	수량(PCS)	물량(TON)
	COLUMN	1,072	5,503
	GIR/BEAM	10,206	4,283
	OUTRIGGER	155	946
	BELT TRUSS	150	688
	CANOPY	-	50
	기타	-	1371
계	11,583	12,841	

② 적용강재

- 구조설계단계에서 Mega Column의 두께가 100T를 초과하여 초기설계기준인 SM490TMC를 SM570TMC로 변경하여 강재의 두께를 80T이하로 적용하고 용접시공성, 부재중량 감소 등 시공품질을 개선하였다.

Item	Member Type	Material
바닥골조	압연강재	SM490B
천이보	Built-up	SM490TMC
내부기둥	Built-up	SM490TMC
Mega기둥	Built-up	SM570TMC
아웃리거	Built-up	SM490TMC
벨트트러스	Built-up	SM490TMC
강관&각관	원형, 각형	SM400, SM490

③ 공정계획

- 타워크레인 인양작업 및 골조작업과의 공정Cycle을 연계하여 타워크레인 사용가능일을 기준으로 1개절 설치 계획(12일/절)을 수립하여 시공에 적용하였다.

DISCRPTION	1 TIER CYCLE TIME												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
공종						결구양조					결구양조		
타워													
골조			설치가능일			설치가능일			설치가능일			설치가능일	
용접													
자중부	부재수	247	25	25	25	25		25		25	25	25	
1개절	단면수	2	18	18	18	18		18		18	18	18	
고중부	부재수	384	43	43	43	43		43		43	43	43	
1개절	단면수	2	22	22	22	22		22		22	22	22	
공정 CYCLE	1개절	설치	2시용량	12시용량	120기 사용가능	3시용량	120기 사용가능	3시용량	120기 사용가능	3시용량	12시용량	120기 사용가능	3시용량
		용접	18	18		25		25		25		18	
		검정	6시용량	6시용량	6시용량	3시용량		3시용량		3시용량		6시용량	6시용량
	2개절	설치	20	20	21	25		25		25	20		20
		용접			13시용량	6시용량		3시용량		3시용량		3시용량	
		검정			4	7		4		4		3	
	3개절	설치											
		용접											
		검정											
	4개절	설치											
		용접											
		검정											

공정계획

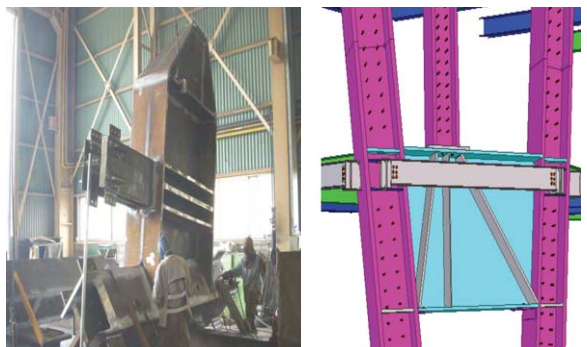
④ Column Shortening 관리

- 초기 해석치를 기준으로 1차 Preset을 저층부 공장제작 시 사전에 반영하여 시공하였으며 현장에 설치된 센서 (Strain gauge)의 측정치를 재해석하여 보정된 2차 Preset Data를 시공에 재 반영 하였다.

⑤ Weld Test(WPS&PQR)

- Outrigger & Belt Truss 의 용접은 AWS D 1.1을 근거로 제출된 용접절차서(WPS)의 적정여부를 검토하여 각 부분별 Sample을 제작후 PQ TEST를 실시하여 용접의 적합 여부를 심사하였다.

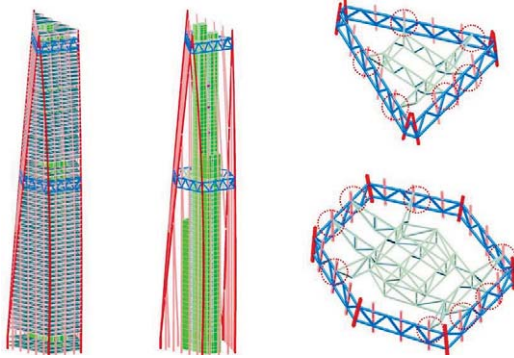
⑥ Transfer Girder



⑦ Outrigger & Belt Truss

- 횡하중을 부담하는 Core에 Outrigger & Belt Truss를

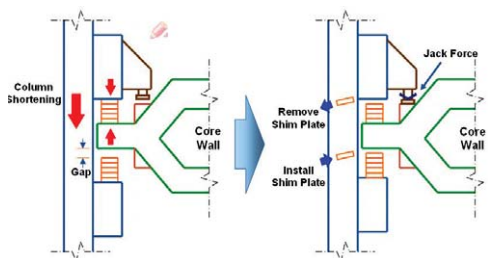
설치하여 외곽기둥과 연결시킴으로서 횡강성을 증가시킨 시스템으로 Core의 응력을 외곽기둥에 전달시켜 Core의 변형 억제 및 상부층 중량과 횡력에 대한 내력을 분산 시키며 횡변위 제어에 매우 효과적이다.



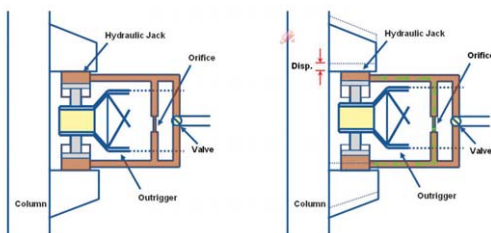
36, 67층에 Outrigger & Belt Truss 설치

(4) Damper System

- Outrigger & Belt Truss의 Adjustment Joint의 시공은 시공 중에 발생하는 기둥 축소현상으로 인한 과도한 응력의 발생을 방지하고 횡력에 효과적으로 대응하기 위한 구조시스템이다. 원설계인 Shim Plate 방식은 이론적인 Gap유지가 현실적으로 불가능하며 지속적인 관리가 요구되는 시공법이다. 이러한 시공상의 어려움을 해결하기 위하여 대우건설이 자체 개발하여 적용한 신공법인 Damper System은 시공 중에도 부등축소를 제어할 수 있는 기능을 가짐으로써 시공 중에 발생하는 횡력에 대하여 별도의 Shim Plate 보정 없이 공사를 간편하게 수행할 수 있다.



Adjustment Joint 원설계안 : Shim Plate Method

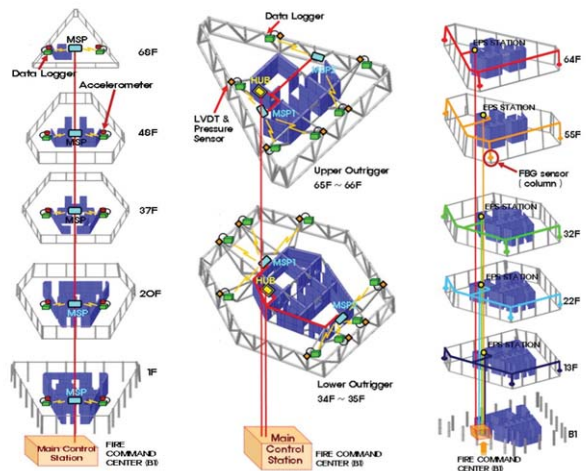


Adjustment Joint 개선안 : Damper System

(5) Health Monitoring System

① 시스템 목적

- 건물의 진동 가속도 및 변위, 국부적 변형률등을 주기적인 계측을 통해 건물의 구조적 특성 이력을 지속적으로 관리함으로써 초고층 건물이나 교량, 대공간 구조물 등의 특수 구조물의 안전성에 대한 이상 여부를 사전에 감지하고 대처할 수 있다.



Core wall 가속도계 센서 구성도

아웃리거 LVDT & 압력계 센서 구성도

Outrigger 변형률센서 구성도

② 적용시스템 구성

- Mega기둥과 아웃리거의 변형률 계측시스템
- 풍향-풍속계 및 가속도 계측시스템
- 아웃리거와 기둥접합부의 변위계측시스템

(6) Curtain Wall

- 골조공사의 후속공정인 동시에 연계되는 마감공정을 고려하여 적층공법을 만족하는 Unit System을 적용하였으며, 다양한 입면 및 단면의 변화를 수용할 수 있도록 사전에 3D 모델링을 통한 도면분석을 통하여 시공성을 검토, 실시설계에 반영하였다.

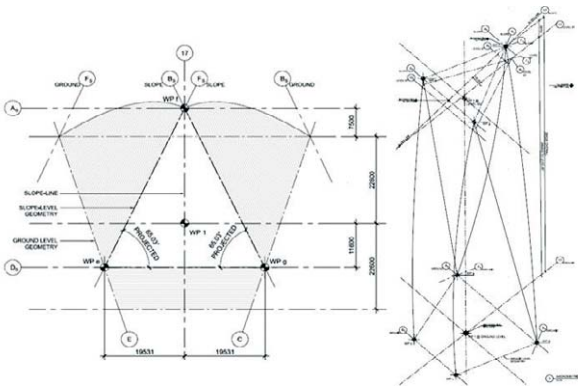
① Unit System(Glazing) 구성

Unit 구분	Unit 규격
typical	W:1500 X H:4300 (4700,5700)
non-typical	코너연결부 비정형 Unit
corner	순수 AL, Panel Zone

구분	Design (외면+공기층+내면)
로이복층/28T (Typical & Non-typical)	로이8T 반강화+12A+투명8T 반강화
	로이8T 반강화+12A+투명8T 강화
	로이8T 강화+12A+투명8T 강화

② 3D 입체 설계시스템

- 다양한 입면변화에 대응하기 위하여 설계초기부터 건물의 특성을 고려한 3D 입체설계로 외곽 기준치수 및 실시설계를 진행한다. 특히, 코너부위는 2중각 가공이 필요한 고난이도의 작업이 요구됨에 따라 Visual Mock-Up 및 Performance Mock-Up을 통하여 가공 및 조립 노하우를 사전에 파악하였다. 뿐만 아니라 연계 공종인 철골 및 건축 3D 입체 기준선을 함께 공유하여 건축 외관 기준선이 설계 기준선이 되도록 통합설계방식을 적용하여 시공하였다.



3D 모델링을 통한 입면&평면 분석

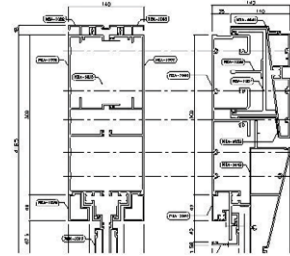


③ Open Joint에 의한 층간 배수

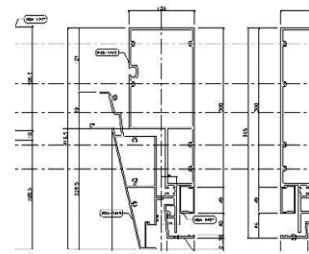
- Head & Sill 과 Mullion은 실리콘 가스켓에 의해 알루미늄 부재 안에 등압공간을 형성하고 침투한 우수는 Stack Joint에서 외부로 배수되도록 설계하였다. 특히,

건물 특성상 Unit 시스템에 의한 층간배수를 적용하여 신속한 배수가 이루어지도록 하였다.

④ 부재의 단일화



개선전 설계단면



개선후 설계단면

- 원설계상에 2개 부재의 결합 볼트 결합 방식으로 설계되어 있던 수직 및 수평부재를 한 개의 부재로 설계 함으로써 시공성 및 구조적 편익을 도모하고 미관상 불필요한 연결부를 제거함으로 누수 요인을 사전에 차단하였다.

⑤ Glazing Type(Low-Emissivity Glass)

- 일반유리 내부에 적외선 반사율이 높은 특수금속막을 coating시킨 유리로 건축물의 단열성능을 높이는 유리인 로이복층유리를 적용하였다. 특수 금속막은 가시광선을 투과시켜 실내의 채광성을 높여주고, 적외선은 반사하므로 실내의 열의 이동을 극소화시켜 실내의 온도변화를 적게 만들어주는 에너지 절약형 유리로 시공되었다.

⑥ 품질관리

TEST 항목	검사내용
Visual Mock-up	외관검사(색상, Glazing)
Performance Mock-up	설치전 시험소 성능검사
Flood Test(담수시험)	Unit 수밀상태 공장검사
Butterfly&Snap Time Test	Glazing 실란트 성능검사
Fastener 인발시험	1차 매입물 인발성능
Gutter Test	Gutter 수밀상태 점검
Field Test(기밀, 수밀)	설치후 성능검사

· 이준하 e-mail : joonhalee@dwconst.co.kr