

I-TOWER 시공 사례

이승구 / 현대산업개발(주) 부사장





이 승 구
현대산업개발(주)
부사장

목 차

- 1. 머리말
- 2. 건축개요
 - 2.1 건축계획개요
 - 2.2 건축설계개요
- 3. 구조설계
 - 3.1 구조형식
 - 3.2 횡력 저항구조
 - 3.3 STUB-GIRDER SYSTEM
 - 3.4 P.C 베어링 플레이트
- 4. 적용공법 및 시공사례
 - 4.1 토공사
 - 4.2 기초공사
 - 4.3 철골공사
- 5. 맺음말

- 4) 구조 : 철골 철근콘크리트조
- 5) 건폐율 : 42.57% (법정 60%)
- 6) 용적율 : 995.19% (법정 1,000%)
- 7) 건축면적 : 5,600.5㎡ (1,694.1평)
- 8) 지상층 면적 : 130,933.9㎡ (39,607.5평)
- 9) 지하층 면적 : 81,318.1㎡ (24,598.7평)
- 10) 연면적 : 212,252.1㎡ (64,206.2평)
- 11) 조경면적 : 1,988.2㎡ (법정 1,973.5㎡ - 대지면적의 15%이상)
- 12) 공개공지면적 : 2,640.3㎡(대지면적의 20.26%)
- 13) 주차대수 : 설치 - 1,330대(옥내 1,318대/옥외12대)
 - 법정 - (최저한도 1,287.8대/최고한도1,333.5대)
- 14) 승강기대수 : 31대
 - 승객용 - 저층용(180m/min) 8대(28인승)
 - 중층용(300m/min) 8대(28인승)
 - 고층용(360m/min) 7대(28인승)
 - 주차장SHUTTLE용 - 승객용(120m/min) 4대(24인승)
 - 비상용 - 3ton(105m/min) 1대(화물겸용)
 - 승객용(180m/min) 1대(24인승)
 - 화물용 - 1.6ton(105m/min) 1대
- 15) 에스컬레이터 대수 : 10대
 - 1,000 TYPE : 8대
 - 800 TYPE : 2대
- 16) 외부마감 : THK 24mm 복층유리/AL. SHEET + 화강석 버너구이

1. 머리말

정보통신의 급속한 발달과 시장의 Global화 에 따른 기업활동의 세계화, 정보화에 대응하여 미래에 닥칠 급변하는 기술혁신과, 용도변화에 능동적으로 대처하고 분산되어 있는 여러 회사를 한 곳 으로 집중 통합하여 업무능률 향상 및 각 사간의 시너지 효과를 극대화시킬 목적으로 I-TOWER건립이 추진되었다.

현대 I-TOWER는 최첨단 Intelligent Building으로 공사가 완료되어 입주 및 운영중에 있으며 초고층 건축물의 시공과정에서 적용하였던 시공계획 및 기술에 관하여 간략하게 소개하고자 한다.

2. 건축개요

2.1 일반사항

- 1) 사업명 : 현대산업개발(주) I-TOWER 건설공사
- 2) 사업주체 : 현대산업개발(주)
- 3) 대지위치 : 서울시 강남구 역삼동 737번지
- 4) 공사기간 : 1995. 5. 13 ~ 2001. 7. 31

2.2 건축개요

- 1) 지역, 지구
 - 일반상업지역, 지구단위계획구역, 일부중심지미관지구, 일부역사문화미관지구
- 2) 대지면적 : 13,156.7㎡(3,979.9평)
- 3) 규모 : 지상45층, 지하8층

3. 구조설계

3.1 구조형식

- 1) 수직하중에 대한 구조형식
 - [1] SLAB 형식
 - (1) MAIN STRUCTURE : DECK SLAB SYSTEM
 - (2) SUB STRUCTURE : 2-WAY & FLAT SLAB SYSTEM
 - [2] BEAM & GIRDER
 - (1) MAIN STRUCTURE : STEEL GIRDER(Stub Girder)
 - (2) SUB STRUCTURE : 철근콘크리트 라멘조
 - [3] 기둥
 - (1) MAIN STRUCTURE : STEEL COLUMN(3WEB., BOXCOL., H-COL)
 - (2) SUB STRUCTURE : 철근콘크리트 기둥
 - [4] 기초 및 주각
 - (1) 기초 : 지내력 300 t/㎡의 독립기초

- (2) 주각 : 고층부의 기둥 한 개당 약 6,900ton의 축력을 지지하기 위하여 고강도($f_c=800\text{kg/cm}^2$) P.C BEARING PLATE를 STEEL BASE PLATE 하부에 설치

2) 수평하중에 대한 구조형식

[1] GOVERNING LOAD CONDITION

WIND LOAD

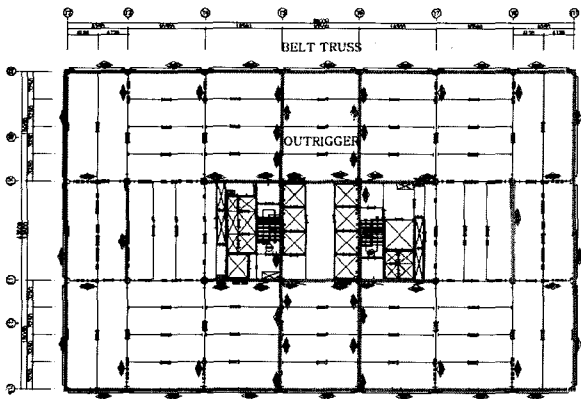
- 풍하중에 대한 수평변위 제한 : $H/500$

[2] OUTRIGGER & BELT TRUSS SYSTEM

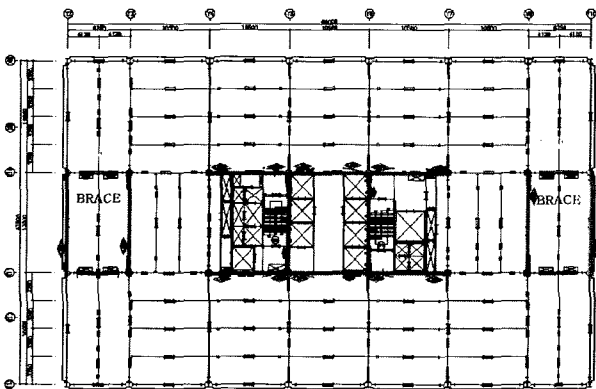
- 수평 변위의 효과적 제어를 위하여 각가 10~19F와 39~40F 사이에 두 개의 OUTRIGGER TRUSS와 BELT TRUSS를 설치하였음

[3] KNEE BRACE & CHEVRON BRACE SYSTEM

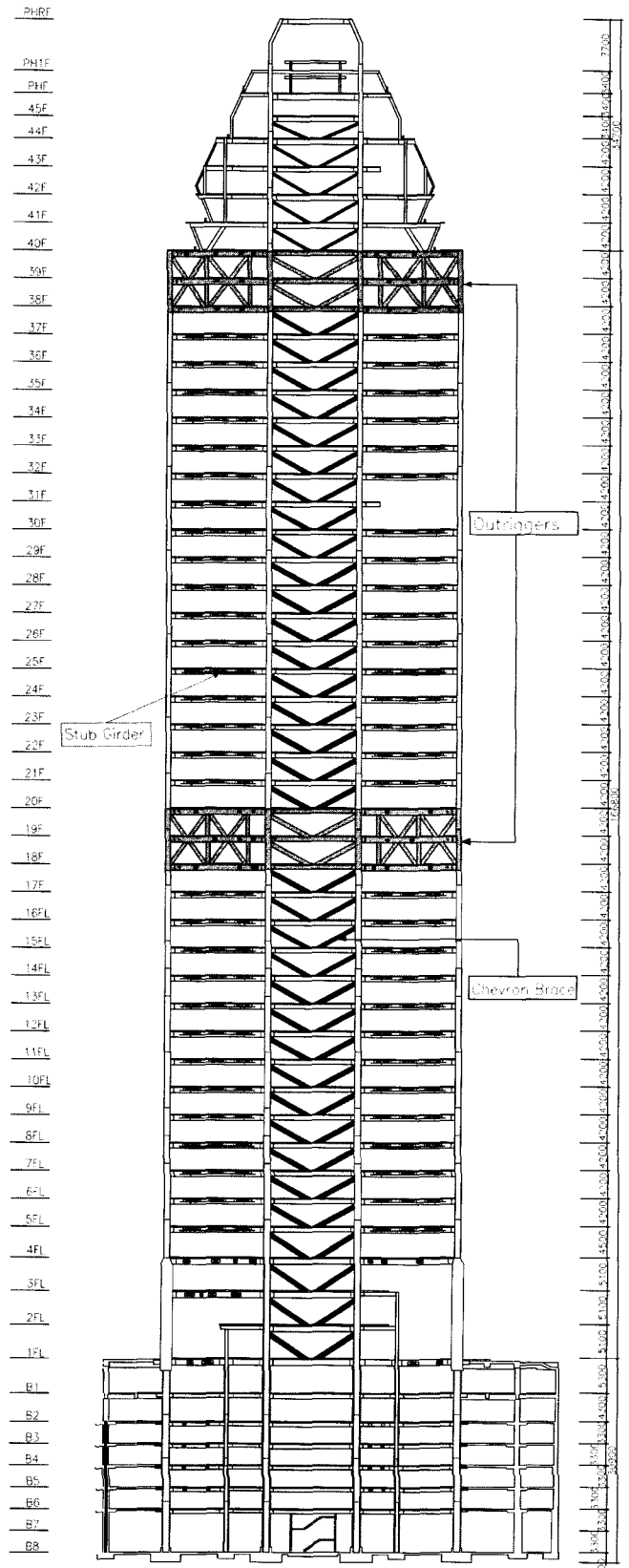
- (1) X, Y방향의 각층에 건축계획 및 설비시설이 허용하는 범위 내에서 수평변위의 제어를 위해 BRACE를 설치하였음
- (2) X방향(장변방향) : KNEE BRACE
- (3) Y방향(단변방향) : CHEVRON BRACE



Outrigger층 횡력저항구조



기준층 횡력저항구조 평면



I-Tower 수평저항구조

3.2 횡력 저항 구조

수평 변위를 H/500으로 제어하기 위해서 OUTRIGGER와 BELT TRUSS시스템과 CAP-TRUSS를 18~19F, 39~40F 두었다.

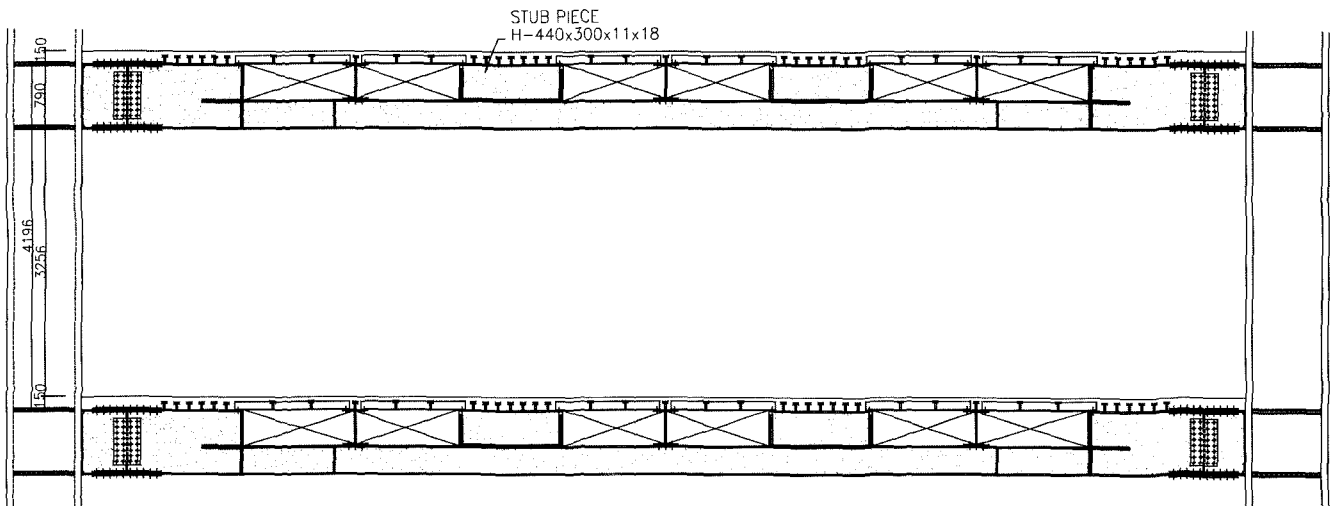
또한 X, Y방향 모두 KNEE BRACE 및 CHEVRON-BRACE를 두어 코어와 모멘트 연성골조가 횡력을 나누어 부담하는 2중 골조 방식을 적용하였다.

3.3 STUB-GIRDER SYSTEM

초고층 건물은 설비의 중요성이 커지고 효율적인 관리가 요구된다. 특히 코어의 평면 결정, 그에 따른 건물의 계획 및 구조방식이 영향을 받을 수 있다. 따라서 본 건물은 설비의 변경에 관계없이 구조 시스템을 일정하게 유지하기 위해 기준층인 5~38F, 15m 스펠 구간에 스티브 거더(Stub Girder)시스템을 채택하였다. STUB GIRDER 시스템이란 1970년대 미국의 조셉 콜라코(Joseph Colaco)에 의해 제안되었고, 합성보에서 자연적인 설비 개구부(Opening)를 유도하고 강재량을 절약하는 시스템이다. 이 시스템은 수직하중 저항 전달 시스템으로 고안되기는 하였지만, 고층 건물에 사용하기 위해서는 횡하중(Lateral Force)에 저항할 수 있어야 한다. 그러므로 기둥과의 접합부는 전단접합(Shear Connection) 대신에 모멘트 접합(Moment Connection)이 될 필요성이 있다.

설계에 적용하기에는 여러 가지 제한들이 뒤따르게 마련이다. 특히 기초의 형식(파일기초, 직접기초), 주각에 발생하는 반력의 성질(축력, 모멘트, 전단력)등에 따라 주각의 설계 결과에 많은 차이를 가져올 수 있다. 본 기술은 초고층, 장스팬 건물에서 자주 접하는 높은축력이 발생하는 주각부에 적용 가능하도록 개발하였다.

- 1) 기둥을 통해 기초로 전달되는 높은 압축력은 기초 콘크리트의 자압 파괴를 유발하게 되며, 이러한 높은 지압응력에 저항하기 위해서는 베이스 플레이트의 면적을 증가시키거나 허용지압응력이 높은 재료를 기초에 사용하여야 한다. 종래의 대부분은 베이스 플레이트의 면적을 증가시키는 방법을 택하여 설계하거나 철골보를 격자형으로 기초에 매입하는 방법(Grillage Foundation)을 사용하고 있다. 본 신기술은 허용지압응력이 높은 재료를 기초에 사용하는 방법을 택하여 베이스 플레이트의 면적과 두께를 최소화시키는 것이다. 허용지압응력을 증가시키기 위해서는 기초부에 높은 강도의 콘크리트를 사용하여야 한다. 그러나 기초부 전체의 강도를 조절하기보다는 지압응력의 영향을 받는 부위만을 필요한 강도의 프리캐스트 콘크리트를 사용하여 베어링 플레이트의 역할을 하도록 한다면, 경제적이고 합리적인 설계와 시공이 가능하다. 또한 공장에서 미리 생산, 운반 후 시



Sub-Girder Section

3.4 P.C 베어링 플레이트(P.C BEARING PLATE)

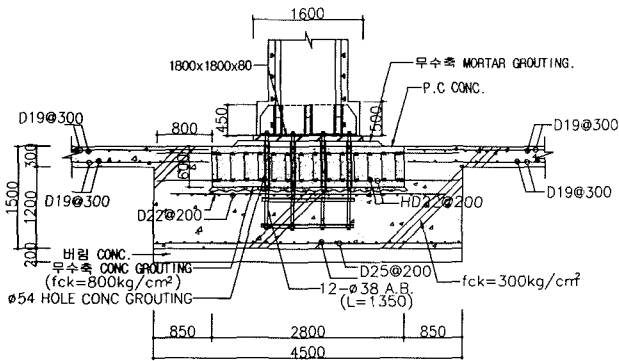
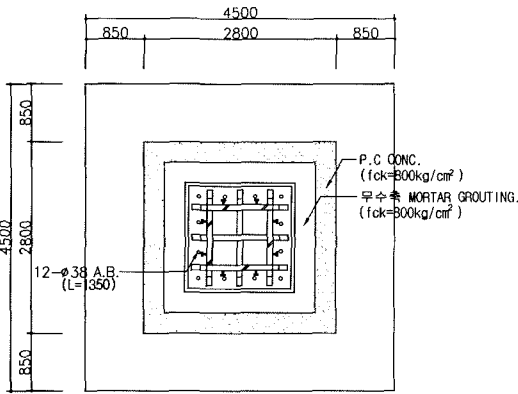
기둥에 전달되는 높은 압축력을 기초에 안전하게 전달할 수 있는 주각의 형태 및 방법은 여러 가지가 있을 수 있다. 그리고 모든 주각의 형태는 특정 상황의 설계조건에 따라 장점 및 단점을 지닐수 있으며, 실제

공한다면 품질관리, 시공정밀도 향상 등의 장점이 있다. 또한 제품의 규격화, 모듈화 및 시스템화된다면 복잡한 공정도 상당부분 단순화시킬 수 있음.

- 2) 고강도 P.C 베어링 플레이트를 이용한 기초구조는 아래에서와 같이 기초의 일부분으로 설계되며, 현장타

설 부분인 현장타설 기초부와 P.C 베어링 플레이트의 일체성을 확보하기 위해 수직 및 수평으로 연결되어야 한다. 인장응력이 없는 압축응력만이 작용 시에는 앵커볼트의 체결만으로도 기초와의 일체성 확보에 문제가 없다. 그러나 온도에 의한 수축, 팽창 및 크리프 등의 영향을 고려하여 기초의 수평철근과 연결시켜 주도록 하였음.

- 3) 수직 연결은 충분한 정착길이를 확보한 앵커볼트의 체결을 위해 P.C 베어링 플레이트 하부와 앵커볼트 주위에 모르타르 그라우트를 충전하여 일체성을 확보하고, 수평연결은 베이스 플레이트에서 부터의 응력 분포 범위 내에서 연결부위가 포함되지 않도록 P.C 베어링 플레이트의 크기를 결정하고 수평 철근을 연결함으로써 일체성 확보가 가능하도록 하였음.



고강도 PC 베어링 플레이트를 이용한 기초구조

분포하는 것으로 조사되었으나, 대부분 기반암 층에 존재하므로 설계 지하수위는 GL-7.0m에 형성되었다.

2) 인접건물 및 지장물에 대한 보강 대책

본 부지 북쪽 테헤란로(58m 도로)에는 지하철 2호선이 지나가고 서쪽 12m 도로 건너편에는 문성빌딩(지하 4층, 지상6층) 및 신봉빌딩(지하4층, 지상15층)등이 위치하여 GROUND ANCHOR 설치가 불가능하였다. 따라서 굴착지반의 강도 특성 및 불연속면을 고려하여 적절한 법면구배를 유지하며 절취한 후 낙석의 위험을 방지하기 위하여 SHOTCRETE로 법면을 보호 하도록 하였다. 또한 부지 동쪽 논현로(30m 도로)와 12m 도로 건너편에는 주차장 및 은혜빌딩(지하 1층,지하6층)이 있으나 그 영향이 적으므로 GROUND ANCHOR로 지지하는 공법을 선택하였다.

3) 굴착공법

대지면적이 5,600m²(3,979평)으로 현장 주변에 지장물 및 인접건물이 밀집하여 TOP DOWN METHOD 와 DIAPHRAGM WALL 등 SLURRY 공법 적용 등을 검토하였으나, 지하 8층, 지상 45층의 HIGH RISE部가 주공정인 것을 감안하고, 공사비 절감 및 공기를 절감시킬 수 있는 ISLAND 공법을 적용, HIGH RISE部를 1차 굴착한 후 HIGH RISE部의 지하8층~지상1층 구조물을 완료한 후 HIGH RISE部 지하 구조물에 STRUT를 설치하여 2차, 3차, 4차 굴토를 시행하였다. 이때 지하 지장물이 없는 논현로측은 EARTH ANCHOR를 적용하였다.

4) 차수별 공사기간

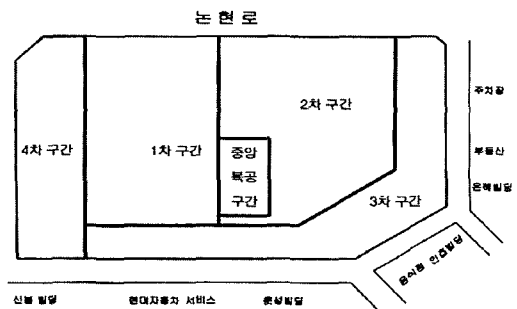
구분	수량	공사기간	비고
1차 굴토	355,750m ³	'95. 5. 1 ~ '96. 2. 29	
High Rise 지하구조물 설치		'96. 3. 10 ~ '97. 6. 10	지하8층 기초 ~ 지상1층 Slab까지 공사기간
2차 굴토	114,195m ³	'96. 3. 1 ~ '96. 10. 25	
3차 굴토	30,100m ³	'97. 5. 5 ~ '97. 10. 30	
4차 굴토	33,035m ³	'97. 9. 15 ~ '98. 3. 30	
공기 단축		'96. 3. 10 ~ '97. 12. 30	21개월

4. 주요 공종별 시공기술

4.1 토공사

1) 지반여건

I-TOWER에 분포되어 있는 지층은 지표면으로부터 매립층, 풍화 잔류토층, 풍화암층, 연암층, 보통암층 순으로 구성되어 있으며, 지하수위 GL-4.2m ~ GL-13.9m정도에



5) 공사구간 발파공법

구 간	1,2 구간	3,4 구간
구 분	정밀 제어 발파 공법(Cautious Blasting)	무전동 유압 절개 공법
적 용 방 법	소규모 진동제어 발파	유압 Jack 방법(H.R.S)
굴 착 장 비	유압 Crawler Dnll + 굴착기 + Breaker	유압 Crawler Dnll + H. R. S + Breaker
천 공 경	φ45mm	φ105mm
천 공 장	3.0m이내	1.0m
사 용 료 약	Nonel G1/MS + 애벌선 폭약(25mm)	-

4.2 기초공사

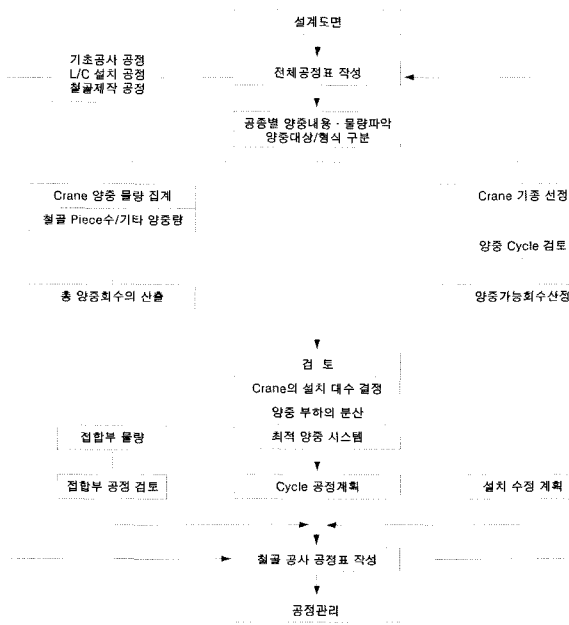
1) P.C 베어링 플레이트 규격

- [1] 크기 : 3,000×3,000×600
- [2] 중량 : 13ton/ea(총 32ea)
- [3] 설계기준 강도 : $f_c=800\text{kg}/\text{cm}^2$

2) P.C 베어링 플레이트제작

4.3 공정관리

1)공정계획 검토 FLOW



2) 절 구분

[1] 절구분

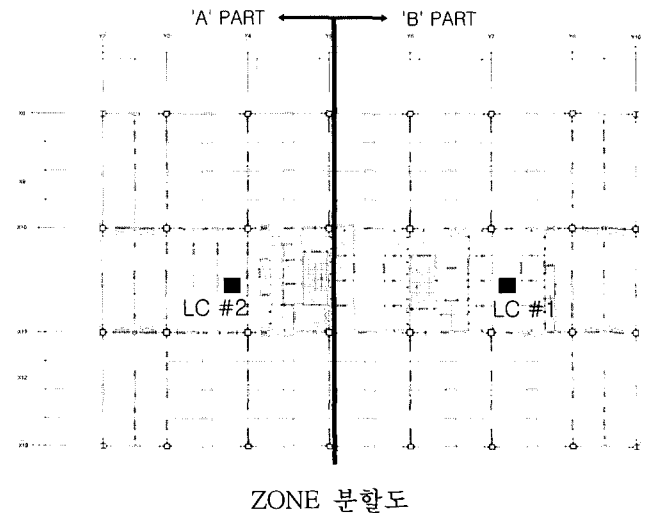
- (1) 단위절은 L/C 양중 CAPACITY와 COLUMN 중량을 대비하여 기준층 3개층 또는 2개층을 1개절로 구분하였다.
- (2) 단위절 최장길이의 COLUMN은 3개층/2개절 12,600mm로 하여 운송 규정에 의한 제한길이 13,000mm 이내로 가능하게 하였고, 단위절 최대 중량은 4절의 3-WEB COLUMN으로 1 PIECE당 32TON으로 하였다.

- (3) 각 절의 이음위치는 설치 및 용접작업의 편의성과 MOMENT가 ZERO로 구조적인 문제가 전혀 없는 점을 고려, 단위절 최상층 GIRDER의 FLANGE 상부 LEVEL +1,150mm로 계획하였다.

[2] CYCLE 공정

- (1) 1회당 양중시간(TIME CYCLE)
 - ① 양중+조립 : WIRING 5분 + 이동 5분+ 조립 15분 +원위치 5분=30분/회
 - ② 양중 : WIRING 5분 + 이동 5분 + WIRING해체 5분 + 원위치 5분 = 20분/회
- (2) 1인당 양중회수
 - ① 양중+조립 : 8시간/일 × 60분 ÷ 30분 /회 = 17회/일
 - ② 양중 : 8.5시간 /일×60분÷20분/회=25.5회/일
- (3)부재별 매달기(1회당)
 - ① LIFT'G LUG에 2점 체결, 1회 3PCS 양중 : GIRDER, 大 BEAM
 - ② LIFT'G LUG에 1점 체결, 1회 5PCS 양중 : 小 BEAM, POST
 - ③ LIFT'G LUG에 1점 체결, 1회 2PCS 양중 : BRACE
- (4) ZONE 분할시공
 - ① LUFF'G CRANE #1,#2호기 작업구간 구분
 - ② 시공물량 및 많은 인원의 효율적인 운영
 - ③ PLUMB'G 작업의 용이
 - ④ ZONE 구획도

	'B' Part(1호기)	'A' Part(1호기)
1	철골 하역	철골 설치
2	철골 설치	Spann'g & Plumb'g
3	Spann'g & Plumb'g	Column Weld'g
4	Column Weld'g	Bolt Impact'g, Brace Weld'g
5	Bolt Impact'g, Brace Weld'g, 철골 하역	철골 설치



(5) CYCLE 공정표

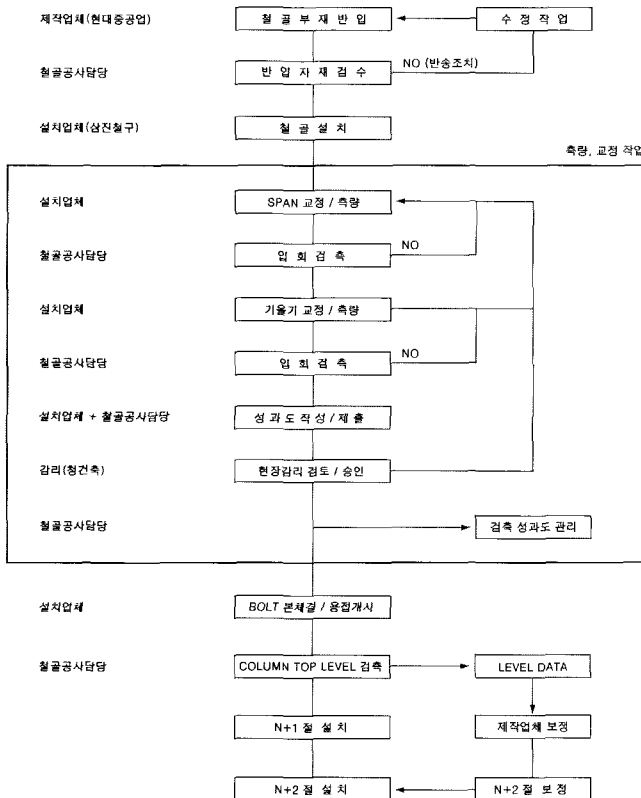
경과 일수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
주요 공정	'A' PART	COL. GIR 설치				SPANN'G & PLUMB'G		BEAM, BRACE, POST, STAIR 및 기타부재												
	'B' PART	COL. GIR 설치				SPANN'G & PLUMB'G		BEAM, BRACE, POST, STAIR 및 기타부재												
볼트공 (9人)	볼트삽입 및 예비조임					본조임 (IMPACT'G)														
용접공 (6人)							'A' COL		'B' COL		'A' BRACE		'B' BRACE							

CYCLE CHART(1개절 집합 소요 일정 : 20日)

- ※ 집합시공 능력 ① 볼트 체결 : 200EA/인, 일
 ② 현장 CO2 용접 : 10 KG/인, 일

3) 검측관리

[1] 검측 FLOW



[2] 자재반입 검사

철골 부재 반입시 설치 전, 각 부재의 규격 및 GUSSET PL.등 부착 위치검사는 물론, 도장상태, 개선상태 등을 육안 검측하였으며 불합격된 자재가 발생되었을 경우는 그 정도에 따라 현장에서 수정 가능한 경우와 불가능한 경우로 나누어 수정불가의 경우 제작공장으로 반출되어 수정되고, 재검사 후 설치하였다.

[3] 철골 설치 검사

설치된 철골은 절별로 용접 및 BOLT 체결 전, SPANN'G & PLUMB'GL 검사를 실시하였고 작성된 성과표를 근거로 현장 감리의 확인 및 승인을 득하고 용접 및 BOLT'G를 시작하였다

(1) SPANN'G

- ① 각 절의 COLUMN과 GIRDER 설치가 완료되면 BOLT 가조임 상태에서 각 COLUMN간 수평 치수를 실측하여 정도를 벗어나는 경우는 조정 작업(SPANN'G)을 실시하였다.
- ② COLUMN 간 SPAN의 오차는 부재 설치를 위한 CLEARANCE(5mm)와 각 부재의 제작시 오차, 그리고 BOLT와 BOLT HOLE 간격 차이로 발생하게 되는데, SPANN'G의 단계 에서 이러한 차이를 허용오차 이내로 들어오도록 조정하여 주었다.

(2) PLUMB'G

- ① 철골 설치는 각 절별로 "A", "B" PART로 구획되었으며, 각 PART 별로 COLUMN간의 SPANN'G이 완료되면 PLUMB'G를 실시하였다.
- ② PLUMB'G시에는 설치된 철골부재의 흔들림이 없어야 하므로 LUFF'G CRANE의 작업은 물론 HOIST 운행도 중단되는 점검시간을 이용하였다.
- ③ PLUMB'G 시 먼저 외각 코너 4개의 기둥을 다림추와 트랜시트로 수직측량을 하여 턴버클과 와이어를 이용하여 수정을 하였다. 각 코너의 수정이 끝나면 코너 기둥 CENTER 점을 MARKING하여 외곽부 COLUMN CENTER에 피아노 선을 설치하였다.
- ④ 코너 COLUMN의 피아노선을 기준으로 하여 외곽 중간 COLUMN CENTER를 같은 방법으로 측정과 동시에 턴버클과 와이어를 이용하여 허용오차 이내로 수정하였다.

(3) COLUMN TOP LEVEL

- ① 1개절의 PLUMB'G이 완료되고 COLUMN 용접이 끝나면 각 절주 전체 COLUMN의 TOP LEVEL을 측정하여 ±3mm 허용오차를 벗어나는 경우 그 위치를 N+2절의 COLUMN 길이를 통해 그 차이를 보정하였다. COLUMN LEVEL 오차의 원인은 재하하중에 의한 기둥의 탄성수축 외에 현장 용접 시 철골기둥의 변형 수축, 그리고 제작오차 등으로 볼 수 있다.
- ② COLUMN TOP LEVEL 보정은 COLUMN TOP LEVEL -1,150mm에 GIRDER BRACKET가 설치되기 때문에 SLAB CON'C의 일정한 두께 및 FLOOR LEVEL 확보를 위함이다.
- ③ 실측 DATA를 토대로 보정값을 정하고 이를 제

작공장에 통보하면 공장에서는 제작시 이 보정 값을 반영하게 되는데, N절 설치 시 N+1절은 이미 제작 중 또는 제작 완료된 상태이므로 보정값 조정은 N+2절을 통해서 하게 된다.

5. 맺음말

I-TOWER는 테헤란로 중심부에 우뚝 솟아 단일 빌딩으로는 최대의 규모를 갖추고 있는 LAND MARK

적인 첨단 INTELLIGENT BUILDING으로, 도심지 공사 과정에서 발생하는 수많은 난관과, 공사 외적인 경제 여건 등을 극복하고 6여년에 이르는 시간을 들여 준공하게 되었다.

이는 국내 건설 산업의 지속적인 발달 및 신공법 신기술의 개발, 건축 시공 자재의 향상등에 힘입은 덕택이라고 본다.

아울러 I-TOWER 건설에 참여하여 주시고 안팎으로 성원하여 주신 모든 분들께 다시 한번 감사드립니다.

