

초고층 건축물 시공을 위한 ACS (Automatic Climbing System) Form 시공기술

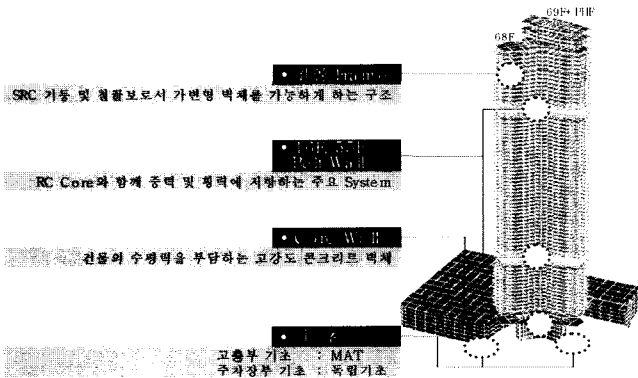
1. 머리말



권 상 문*

최근 수년동안에 국내에는 많은 초고층 주상 복합빌딩이 건립되고 있으며 이에 따라서 많은 건설기술인들은 초고층 건물의 구조형태와 시공법에 대하여 많은 관심을 갖게 되었다. 초고층의 구조 형태는 여러 가지 형태가 있을 수 있으나 최근에 가장 많이 쓰여지는 형태로는 건물 Core가 철근 콘크리트 구조로 되어 있는 구조형태가 꼽히고

있다. 이는 콘크리트라는 재료가 철골재보다도 강성이 크기 때문에 바람 및 지진과 같은 횡력에 대한 건물의 내력이 요구되는 초고층구조물에 경제적으로 Stiffness를 증강시키기 위하여 건물의 중심(Core)을 콘크리트 구조로 설계하고 있는 주된 이유이다. 또한 최근 고강도 콘크리트 배합기술의 발전 또한 묵과할 수 없을 것이며, 공사 속도를 철골조와 유사하거나 오히려 더 빠르게 할 수 있는 시공기술이 있었기 때문이라는 것이다.



<타워벨리스 3차 현장 구조 개념도>

일반적으로 철골조 건물에 비해 철근 콘크리트 구조는 많은 가설재가 필요하며 현장관리가 어렵고, 공사 속도도 많이 뒤떨어지는 단점이 있었으나 이를 극복하기 위하여 V.H공법(수직 수평 분리타설공법) 개념을 적용하여 Slab 나 보 등과 같은 수평부분은 용벽이나 기둥과 같은 수직부분보다 뒤쳐져 공사를 진행시키게 하고 먼저 수직 부분을

선 시공되게 함으로서 수직 부분에 System화된 거푸집의 적용을 가능하게 하였다. 그리고 양중장비와 같은 기계적인 힘을 활용하여 거푸집설치 및 해체를 가능하게 함으로서 재래식 거푸집으로 하는 것보다는 노무절감과 거푸집의 반복 사용횟수를 증대시킴에 따라 가설재 절감 효과가 있어 현장관리도 용이해졌으며 무엇보다도 큰 효과로는 공사 속도를 증가 시킬 수 있게 되었던 것이다.

따라서 초고층건물 중 RC조 Core용벽에 이러한 시공 기술을 접목한 것이 소위 말하는 "Core 선행공법"이라고 하는데 이는 골조공사 중 가장 선행하여 Core 용벽을 수행한다는 데서 나오는 말이나 가장 큰 의미는 선행되는 Core 공정을 집중 관리함으로써 전체 공기를 합리적으로 단축하고자 하는 일종의 공정관리기법을 이르는 말이기도 하다. 즉 선행공정의 층당 소요일수가 며칠이나가 후속공정의 Speed에 영향을 주기 때문에 선행공정의 층당 소요일수가

구 분	1 차	2 차	3 차	
시 공 사	삼성물산	삼성중공업	삼성중공업 + 삼성물산	
설 계 사	삼우, SIA	삼우	SOM/ 삼우	
공사기간(개월)	39 (99.7 ~02.9)	38 (99.9 ~02.11)	33 (01.4 ~03.12)	
건물최고 높이(m)	235	186	263	
대지면적(평)	10,193	6,263	5,442	
건축면적(평)	4,990	2,456	2,001	
연 면 적	지하(평)	44,803	32,110	24,362
	지상(평)	93,741	57,627	43,258
	계(평)	138,544	89,734	67,620
층 수	지하(층)	5	6	6
	지상(층)	59/66/59/42	55/55	69
등수	4 개	2 개	1 개	
세 대 수	APT	1,297	809	480
	OFFICETEL	202	148	130
기준층 바닥면적(㎡)	1,706	2,103	2,190	
CORE 바닥면적(㎡)	303	400	524	
CORE 벽길이(m)	161	169	232	

* 삼성중공업(주) 고문

구 분		Slip Form	ACS Form
System 개요		Hydraulic jack과 rod를 이용하여 1.2m 거푸집을 연속하여 수직 상승시키면서 계속해서 타설 하는 공법	Hydraulic Unit와 rail을 이용하여 층별로 타설 하는 공법
투입장비	양중장비	타워크레인 1대 별도 추가 투입 필요	철골과 겸용사정 가능
	타설장비	소형 Distributor 및 Hopper필요	CPB 필요
배합설계시 고려사항		4~6 시간 내에 초결이 발현	16 시간 내에 80Kg/cm ² 발현
품질관리	시공성	콘크리트가 깔려 올라가는 현상 발생	Cold Joint가 발생할 수 있음
	수직도	Jack 공의 숙련도에 의해 좌우된다.	층별로 관리해야 하며 비교적 양호하다
	Level 관리	순간적으로 측정해야 하므로 오류 발생가능	재 검토가 가능하다
공정관리	전체공정	공사 속도가 빠르다(1 Day Cycle가능)	상대적으로 느리다 (2.5 Day Cycle가능)
	동절기	작업효율이 떨어진다	보양이 용이하며 작업효율이 높다
	하절기	우기의 영향이 적어 작업효율이 높다	우기의 영향을 많이 받는다
안전관리		비교적 안전하나 작업공간이 협소하여 소형 사고율이 높다.	추락 및 낙하에 대한 주의가 필요하다
원가관리		ACS Form 대비 10%정도 원가 상승	전기, 설비 공정에 미치는 원가 부담이 적다

그만큼 중요하다는 의미로 생각하면 될 것이다.

최근 서울 도곡동에 위치한 타워팰리스 현장에서 이러한 Core 선행공법을 적용하여 성공리에 공사를 추진하고 있어 지금부터 이 현장의 사례를 중심으로 좀더 자세히 살펴보기로 하겠다.

2. 타워팰리스 현장 공사개요

현재 삼성물산 및 삼성 중공업 건설부문에서 공동으로 수행중인 본 프로젝트는 총 3차에 걸쳐서 공사를 수행하고 있는데 총 7동 모두가 40층 이상의 초고층 건물이며 그중 가장 높은 건물은 69층으로서 국내에서 가장 높은 건축물이기도 하다.

건물 7동 모두에 Core 선행공법을 적용하였으나 여기에 적용된 거푸집 공법은 Slip Form공법과 ACS (Automatic Climbing System) Form 공법이 있으며 아래의 표와 같은

장단점을 가지고 있고 본문에서는 ACS Form공법에 대하여 중점적으로 소개하도록 하겠다.

3. ACS Form의 도입배경

ACS Form은 일반옹벽부분에 적용되는 대형 거푸집 형태로서 한층씩 타설 하는 일종의 Jumping Form System으로 Gang Form이라고도 하나 단지 양중장비로 양중, 설치되는 것이 아니고 거푸집에 부착되어 있는 유압 Jack에 의하여 자동적으로 한 층씩 상승되는 것이 특징이다. 따라서 ACS Form을 사용할 경우에는 타워크레인과 같은 양중 장비의 지원양이 적어지기 때문에 타워크레인은 타 공정 즉 철골이나 외벽, 마감재 등을 양중하는데 좀더 투입될 수 있는 여유가 생기게 되고 따라서 타 공정들의 Speed가 상승되게 되는 효과를 얻을 수 있다. 또한 일반적인 Gang Form은 양중 작업 시 상당히 불안정한 상황이 많이 벌어



<타워패리스 1차현장 공사전경 -양쪽면에는 ACS Form, 가운데 2동은 Slip Form을 적용하였음>



<타워패리스 3차현장 ACS Form 작업전경>

지나 ACS Form을 사용했을 때는 안전하게 작업을 수행할 수 있게 된다. 그리고 일반 Gang Form은 1회 양중 가능한 거푸집 면적이 한계가 있으나 ACS Form의 경우 1개의 유압 펌프가 한번에 양중 가능한 것이 15개의 Bracket이므로 약 7개의 Gang Form을 동시에 양중하는 효과를 갖을 수 있어 공기 단축이 가능하게 된다.

바로 이러한 점이 층당 3일 속도로 공사를 진행하는 것을 목표로 하는 타워팰리스 현장이 ACS Form을 채택한 직접적인 이유이다.

4. ACS form의 개요

ACS Form은 Maker에 따라 상이할 수는 있으나 거푸집 부분, 작업발판, 그리고 이러한 것을 모두 지탱하여 주고 유압 Jack이 부착되어 자동으로 양중 할 수 있게 하는 브라켓 등으로 나누어 진다.

거푸집 부분을 더 세분화하면 거푸집의 재질은 많은 전용횃수를 확보할 수 있는 21mm 코팅합판을 쓰고, 장선은 목재 제품을 사용하는 Form System이 많이 이용되고 있다. 그

리고 띠장과 Form Tie는 철제품이며 특히 Form Tie는 재사용이 가능하도록 콘크리트와 접합부분에는 PVC Pipe를 끼워 사용한다. 거푸집 설치나 탈형 시나 양중 시에 거푸집 존치상태는 작업발판 지지대에 Hanging되는 Type과 Traveling Unit에 부착되어 지지되는 두 가지 Type이 있으며 이것은 이용자의 편의에 의하여 선정되어지나 일반적으로 유압 Jack의 용량에 의하여 결정되어 진다.

작업발판은 주로 토류판을 이용하는데 이는 미끄럼을 방지하는데 철판재보다 유리하기 때문이다. 또한 브라켓부분은 유압 Jack과 Climbing Profile이 있어 자동으로 상승하는 장치가 부착되어 있다.

ACS Form을 적용하기 위하여서는 일부 자재들이 수입품이므로 충분한 투입기간을 고려하여 기술 검토가 충실히 이루어져야 하나 가급적이면 본 건물 설계가 진행되는 단계에서 경험있는 시공자가 참여하여 검토한다면 Core를 최대한 시공성이 좋게 유도할 수 있어 시공자나 사업주가 갈망하는 전체공기단축이 가능하게 될 수 있다.



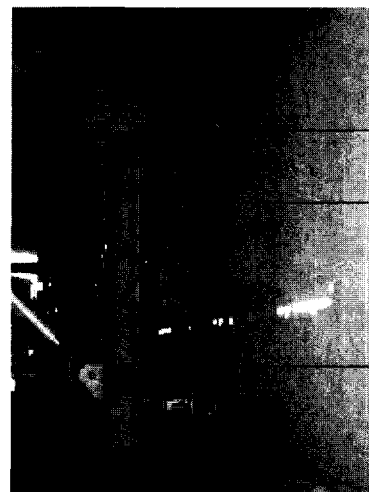
<Bracket>



<거푸집 Hanging Type>



<유압펌프>

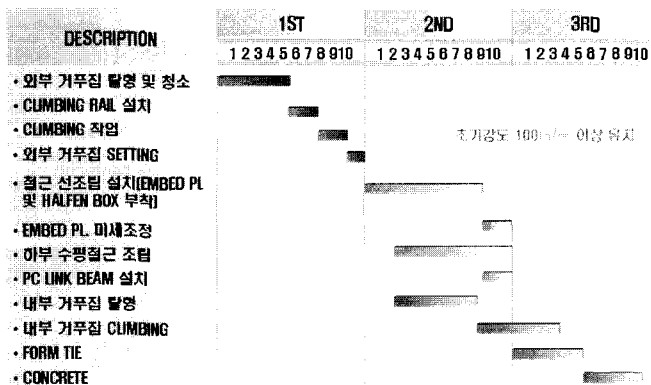


<Climbing Unit>

5. 3일 Cycle을 위한 요소기술

5.1 평면의 검토

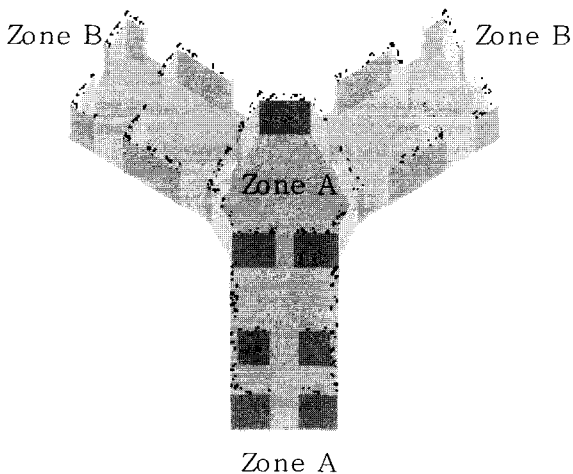
앞에서 설명한 바와 같이 타워펠리스 현장은 매 공정이 3일 Cycle로 공사를 진척시키는 것을 목표로 하였고 이를 달성하기 위하여 공사가 착공되기 이전에 시공준비팀을 투입하여 설계에 참여시켜 가급적 Core의 단순화를 유도하였다. 즉 Core 내외부의 벽체 일부는 콘크리트 벽체에서 건식 벽체로의 변환이 필요하고 벽체 두께의 변화도 최소화하였다.



<3-Day Cycle Sequence>

5.2 Zoning

Zoning은 3일 Cycle 달성을 위하여 가장 필요한 작업 중에 하나이다. 정해져 있는 물량을 적기에 끝내는 방법 중에는 인력을 증가시키는 방법이나 작업시간을 늘려(야간작업등) 끝내는 방법 등이 있을 수 있으나 가장 합리적인 방법은 바로 최적의 작업량을 감안하여 평면상에 Zoning을 하는 것이다. 만약에 Core 전체를 한번에 콘크리트를 타설한다면 타설 중에는 형틀공사 및 철근 작업을 수행할 수

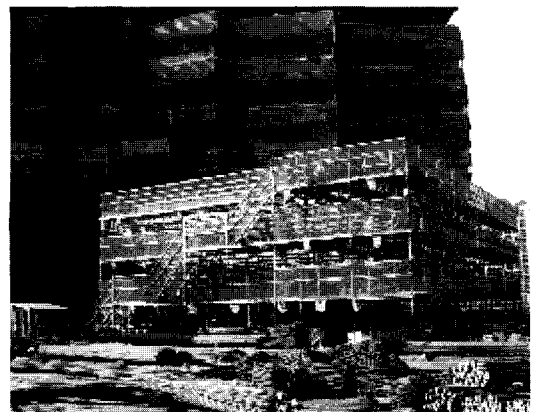


<타워펠리스 3차 현장 Core Zoning 도면 - 2개의 Zone으로 구분>

없으며 작업자들은 Core 이외의 지역으로 가서 일하거나 쉬게 될 것이다. 반면에 만약에 2개 또는 3개의 Zone으로 나누어 형틀공사, 철근공사 및 콘크리트 작업자가 서로 간섭을 받지 않고 일을 할 수 있도록 공간을 배분하고 각 공종을 순환시킨다면 3개 공종의 인력이 쉬거나 다른 곳에 이동없이 매일같이 Core에서 계속해서 일을 할 수 있게 되므로 일정한 소수인원으로 한 층을 3일마다 올라갈 수 있게 된다.

5.3 철근 선조립 공법

ACS Form을 적용하면 재래식 거푸집보다는 형틀 목공수가 줄어들 뿐만 아니라 작업도 쉬워져서 더 이상 Critical해지지 않으나 반면에 철근 작업이 자칫 잘못하면 Critical해질 수 있다. 따라서 이러한 현상을 막기 위하여 적용하는 것이 철근 선조립공법이다. 이는 지상에서 먼저 조립하고 여기에 각종 Embed Plate 등을 부착하여 크레인 등으로 양중하여 설치하는 방법을 말하며 이 공법을 적용하면 기능공의 작업 능률이 향상되고 각종 부착물에 대한 양중량도 줄어드는 효과도 얻을 수 있으며 각종 부착물에 대한 별도의 시간이 줄어들게 되어 작업 시간이 줄어들게 된다.



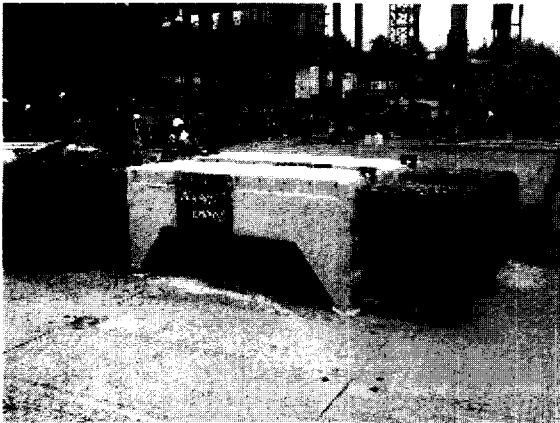
<철근 선조립장 전경>



<철근 선조립장 바닥>

5.4 P.C Link beam

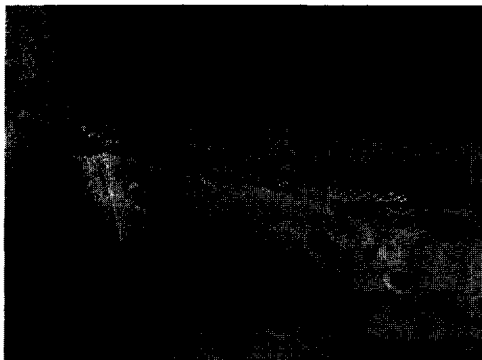
옹벽 중 출입구와 같은 개구부 상부에는 Link Beam이 있게 되는데 구조상 응력이 집중되는 곳이기 때문에 철관이 매입되는 SRC 구조인 경우가 많으며 아울러 설비 전기용 관통 Sleeve가 많이 매입되어 질 때가 많다. 그러므로 이렇게 많은 작업량으로 인해 간혹 시간이 많이 소요되어 많은 인력이 투입되거나 목표 공기인 3일 Cycle을 지킬 수 없는 요인이 될 수 있기 때문에 이 Link Beam을 공장PC화하여 현장에서는 단지 이를 양쪽 옹벽철근 위에 설치하고 콘크리트를 타설하여 PC Beam과 옹벽을 일체화한다.



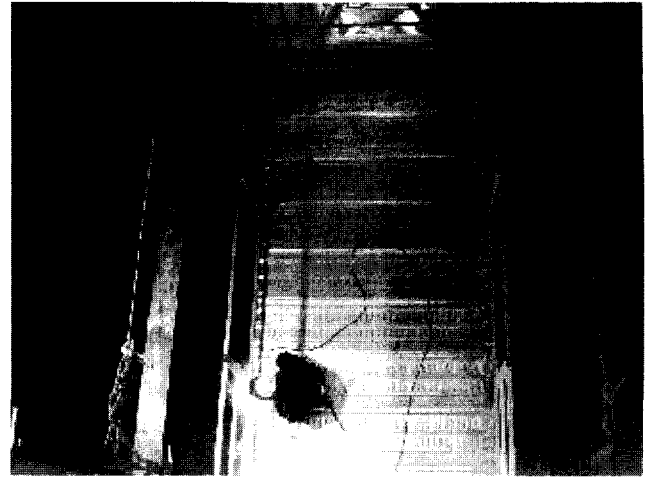
<PC Link beam>

5.5 고강도 콘크리트 초기 강도 확보

ACS Form의 자체 하중 및 작업하중은 모두 콘크리트에 매입되는 Anchor 철물에 의해 지지되는데 3일 Cycle로 빠르게 공사가 진행되다 보면 콘크리트 강도가 요구강도보다 적게 나올 수 있으며 이때는 대형 사고로 이어질 수 있게 된다. 따라서 콘크리트의 배합설계 단계에서 타설 후 16시간 강도가 최소 80~100kg/cm²이 나오도록 배려해야 한다.



<Dowel box cover를 제거한 상태의 철근>



<Core 내부 철골 및 Deck Plate 설치>

5.6 Core 내부 Slab

초고층의 Core 내부 Slab는 중력하중 뿐만 아니라 횡력을 받는 Core 옹벽을 보강하는 역할을 하기 때문에 Slab 두께도 두껍고 복배근으로 설계가 되어진다. 또한 Core 내부옹벽을 건식화 하다보면 보가 필요하게 되는데 이 경우 철근 콘크리트 보 보다는 철골보로 설계하는 것이 3일 Cycle 공정관리 측면과 안전 관리 측면에서 유리하다. Slab 거푸집은 Deck Plate등이 용이하나 일반 합판 거푸집을 사용할 경우에는 코팅합판과 System Support를 사용하여 가급적 전용성을 증가시켜 주고 가설재 양을 축소시켜 주는 것이 좋다.

6. ACS Form 공사를 위한 부속기술

이상과 같은 요소기술 외에도 다음과 같은 부분에 대하여도 사전 검토되어야 한다.

6.1 Dowel Box 및 Embed Plate

V.H 공법을 적용하다 보면 수평부재인 Slab나 철골 보와의 이음 Detail을 고려해야 하는데 Slab의 경우에는



<Embed plate에 Shear tab을 부착>

Dowel Box를 적용하고 철골보의 경우에는 Embed Plate를 이용하여 접합이 가능하게 한다. Dowel Box의 경우에는 철재로 이루어진 것이 좋고 이는 국산화되어 있으며 내부에 사용되는 철근은 Mild Bar를 이용하도록 하고 일반적으로 13mm이하 철근에만 적용가능하고 또 배근 간격이 150mm이상이어야 한다. 만약 16mm이상의 철근인 경우에는 Form Saver나 Coupler를 사용하도록 한다.

6.2 CPB (Concrete Placing Boom)

콘크리트 타설 장비로서 초고압 펌프와의 사이에 배관이 연결되어 있는 장비이며, CPB위치는 수직배관 직상부에 위치하는 것이 좋으며 따라서 수직배관이 마감공사에 영향을 미치지 않는 곳으로 선정하는 것이 좋다. 또한 간혹 CPB와 Tower Crane의 Boom과 상호 간섭을 일으킬 수 있으므로 이점을 사전에 점검해야 한다.

CPB는 고가이며 국내에 많지 않은 장비이므로 일반 배관에 의해 타설할 수도 있으며 이 경우에는 작업자들의 수가 증대되고 콘크리트 잔재들에 의해 거푸집이 손상될 가능성이 많아지는 단점이 있다.

CPB의 Climbing은 일반적으로 Self Climbing이 가능한 장비도 있으나 ACS Form을 사용했을 경우에는 ACS Bracket을 이용하는 방법도 있다.

6.3 Tower Crane Climbing

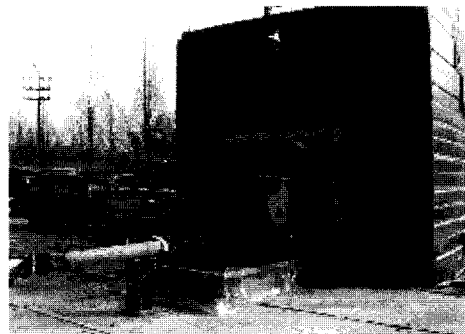
Tower Crane의 배치는 시공계획 작업 중 가장 중요한 부분 중 하나라고 할 수 있다. 앞서 언급된 대로 최근 유행하는 System인 Core가 RC조인 경우에는 외주부 기둥 철골 부재가 횡력에 약하게 설계되어 있어 외주부에 배치하였을 경우에는 작업하중 때문에 철골 부재를 많이 보강해야 하며 이에 따라 작업시간이 많이 소요되고 보강비도 상당히 부담이 되기 때문에 Core 내부에 설치하는 경우가 많다. 따라서 Core 내부에 설치할 경우에는 가급적 엘리베이터 Shaft등은 피하는 것이 좋고 마감공사에 영향이 적은 곳에 배치하는 것이 좋다. 타워팰리스 1차 현장의 경우에는 계단실 및 Core외부에 Bracket 형식으로 부착하여 설치한 바 있으며, 타워팰리스 3차 현장은 공용복도 부분에 배치하였다.

6.4 Lift Car

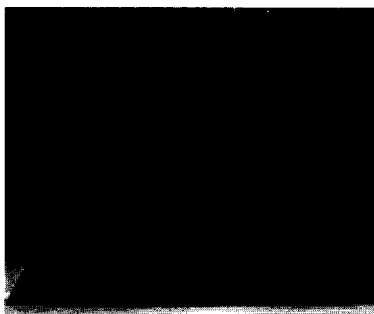
Core 공사에 투입되는 작업자의 원활한 동선 확보를 위하여 고려될 수 있는 것은 가설 비계다리나 ACS Form에 Hanging되는 Type의 계단 Cage등이 고려될 수 있으나 효과 면에서도 우월하고 손쉽게 적용할 수 있는 System이 바로 저속 Lift Car를 설치하는 것으로 판단된다. 그것은 ACS Form 설치 단계에서부터 투입되어 지므로 많은 비계다리용 가설재 투입을 방지하며 이러한 가설시설에 의해 주변 골조공사에 미치는 방해요소를 제거하는 셈이기 때문



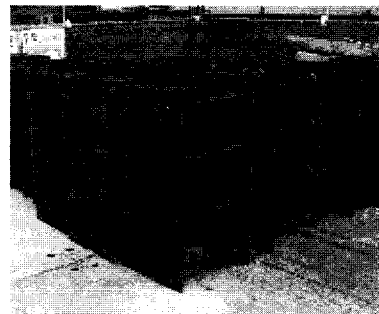
<CPB 전경>



<초고압펌프-방음막설치>



<타워크레인 collar기초용 Frame>

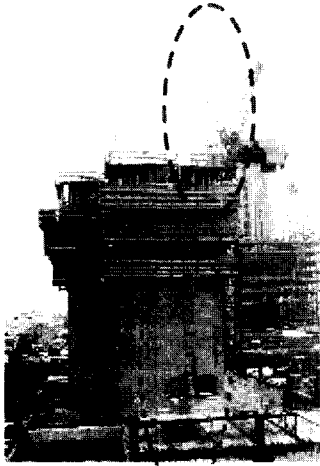


<타워크레인 collar용 관통 Sleeve>

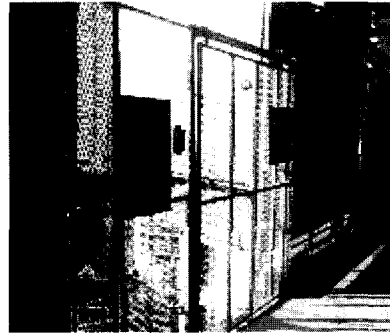
이다. 저속 Lift Car의 단점은 운행층 구간 모두 Slab가 Open되어 잔여공사가 남는 것이며 너무 많은 층이 운행층으로 될 때에는 마감공사까지 영향을 미칠 수 있기 때문에 2대의 Lift Car를 이용하여 교대로 Jumping시키는 방법을 사용하여야 한다. 그러나 가장 경제적이며 주변에 영향이 적은 System은 Hanging Type의 계단 Cage나 Hanging Type의 Lift Car라고 생각되며 이 부분에 대하여 많은 연구가 필요할 것으로 본다.

6.5 기타 안전가설시설

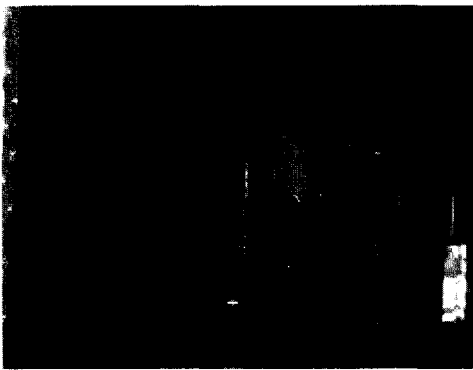
그 밖에도 많은 가설 시설물 등이 필요한데, 예를 들면 Core 내부에 철골 설치용 Overhead Crane, 화재 등 비상사태 발생시 소화 시설물 및 피난시설 등과 콘크리트 보양을 위한 방풍시설, 각 작업발판간의 수직이동을 위한 사다리 설치, 위생시설, 용벽과 작업발판 사이로 떨어 질 수 있는 잔재물의 낙하방지장치, 자재투입을 위한 개구부 설치 등의 가설시설물을 사전 시공도 작성 시 고려하고 준비를 하도록 해야 한다.



<lift Car 설치전경>



<Lift Car Cage Landing Door>



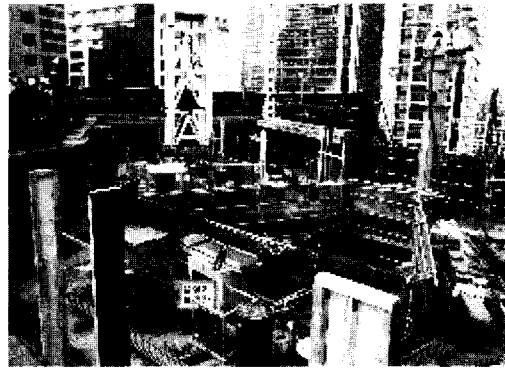
<Overhead Crane 설치>



<ACS 작업발판내 소화기 배치>



<수직 이동용 사다리>



<자재 투입 개구부>

7. 효과

7.1 공기 단축

ACS Form을 쓰는 가장 주요 목적이 역시 공기 단축 측면이다. Core 공사의 속도가 빠르게 될 수 있을 뿐만 아니라 거푸집 양중에 소요되었던 타워크레인이 다른 후속공사에 투입되어져서 후속공사의 공사 속도도 증진될 수 있기 때문이다.

7.2 안전 확보

일반적인 System Form을 사용할 경우와 같이 ACS Form을 사용하면 약 30%정도 작업 효율이 증대되어 작업자의 수를 줄일 수가 있으며 안전관리 등에도 유리하다.

7.3 품질 확보

수직도 관리가 좋으며 거푸집이 견고하여 배부름 현상 등이 거의 없고 Zone별로 분리타설 하므로 Cold Joint가 생기지 않아 콘크리트 표면이 미려하다. 따라서 콘크리트 벽체 마감도 3mm 수지미장으로 마감이 가능해 진다.

8. 맺음말

ACS Form은 앞서 설명되었듯이 단순히 거푸집 공사만으로 국한되는 것이 아니고 철근공사, 콘크리트 공사, 철골공사 및 각종 양중 장비 등과 연계되어 있으므로 이의 상관관계를 종합적으로 검토해야 성공적으로 공사를 수행할 수 있다.

또한 이러한 공법을 선정할 경우에는 전체 공사 기간의 검토, 경제성, 지상층의 작업공간 및 작업동선 등을 필히 감안하여야 하므로 유사한 시공 경험이 많고 초고층에 대한 제반 시공 기술을 보유하고 있는 기술자가 종합적인 사전 시공계획의 수립과정을 통하여 선정해야 할 것으로 생각하며 이러한 측면에서 본 내용이 여러 건설 기술인에게 도움이 되었으면 한다.

