

철근콘크리트 고층아파트의 시공 Construction Technology of High-Rise Reinforced Concrete Apartment



조 동 식*

1. 머리말

1차 세계대전 당시만 하더라도 건축물에 사용한 콘크리트는 140 kg/cm^2 정도였으나 그 후 시멘트 경량골재 진동기 및 신기술개발로 보다 낮은 자중을 가진 건축물에 보다 높은 강도를 가질 수 있게 되었다. 선진 외국에서는 20여년간 급속히 발전하여 1950년에는 350 kg/cm^2 , 1960년에는 420 kg/cm^2 , 1970년 초에 630 kg/cm^2 , 1980년대에 들어와서 770 kg/cm^2 의 콘크리트를 사용한 건축물이 완성되었다.

미국에서는 중량 콘크리트는 420 kg/cm^2 경량 콘크리트 250 kg/cm^2 이상을 고강도 콘크리트로 정의하고 있으나 국내에서는 건설부 시행령에 따라 중량 콘크리트 270 kg/cm^2 , 경량 콘크리트 240 kg/cm^2 이상을 고강도 콘크리트로 정의하고 있다.

도시 건축의 초고층화, 기대한 해양구조물, 장기간 교량 그리고 특수건축물(원자력 발전소, 철도침목)등 고강도 콘크리트를 요구하는 건축물들이 늘어나고 있는 추세이다. 많은 부분의 고층 건축물에 철골을 사용하고 있었으나 재료의 발전으로 초고층에 R.C조도 가능하게 되었다. 특히 상업용 건축물은 물론이고 APT의 초고층화

에 관심을 끌게 되었다. 고층건물에 대해서는 지금까지를 개발시대라고 한다면 이제부터는 보급 혹은 완성의 시대라고 할 수 있을 것이다.

경제적으로는 건축의 연면적은 용적률로 억제하기 때문에 고층이나 저층이라도 총면적은 같다. 그러나 고층의 경우 저층의 경우보다 가격이 높은 부분이 많으며 고층으로 할수록 그 차이는 벌어진다. 그럼에도 불구하고 모든 건물이 고층으로 가는 추세이다. 분당신도시 시범단지에서 30층 APT를 시공함에 있어서 실제로 경험한 사항들을 중심으로 각 공종별 주안점을 기술하되, 초고층 아파트에서의 시공계획은 가설공사와 양중계획이 무엇보다 중요하다고 사료되어 이에 대해 중점 기술하고, 본공사 공정에서는 저층, 중층, 고층 APT 시공시와의 차이점만 간단히 기술하고자 한다.

2. 공정 계획

초고층 건물의 출현은 저층의 틀내에서 육성된 건축업계에 높이 100m가 넘는 고층건물의 건설은 기술적으로 새로운 문제를 가져온다. 높이가 높아짐에 따라 작업능률이 저하되는 것은 지금까지 공사에 있어서도 우리들이 경험해 왔다. 초고층일수록 이와같은 영향은 더욱

* 현대산업개발(주) 현대분당신도시 시범APT단지 공사과장

켜질 것이다. 예를들면

- 1) 준비 때문에 작업으로 부터 떨어져 있는 시간
- 2) 자재의 운반 시간이 길어 대기하는 시간
- 3) 도구를 잊어서 가져오는데 소요되는 시간
- 4) 기후의 영향(바람, 추위, 일기의 급변동)에 의한 작업 불가능 시간이 많다.
- 5) 초고층에 대한 불안감, 심리적 영향에 의한 동작완화 등이다.

따라서 초고층의 공정계획에 있어서는 무엇인가 대책안이 있어야 한다.

초고층에 적합한 방법이란 안전 작업이 되며 고층화에 대한 능률 저하가 적고 공사정도가 일정하게 보존되는 것이어야 한다. 그러자면 현장작업을 가급적 적게하고 단순작업을 상층에서 되풀이함으로써 얻어지는 숙련으로 작업능률을 향상시키고 불필요한 공정을 삭제 확실한 작업을 시행함으로써 작업시간 단축, 작업원 감소 요인을 발생케 해야 한다.

초고층 건물은 재래 건물의 2배, 3배 높이가 된다고 해서 공사 기간도 2배, 3배 되는 것은 아니다. 따라서 초고층의 공정 계획에 있어서는 무엇인가 새로운 연구가 필요하다.

저층, 중층의 공사는 우선 구체공사를 완료하고 마무리 공사를 착수하는 것이 일반적인 방법이나, 초고층에서는 이것외에 구체 공사와 병행하여 마감공사를 시행하는 방법도 있다. 이것에 대해 기술해 본다.

첫째, 각 부분공사 병행 시공방법

이 방식은 선행 작업이 하층에서 상층으로 진행될 때, 후속하는 다음작업을 시작하는 것이 가능한 상태로 된 시점에서 가급적 신속히 하층에서 선행작업을 하도록 새로운 후속작업을 시작하고 이어서 상층에 시공을 진행하는 방식이다. 이 방법의 문제점은

- ㉠ 상부하부에서 모든 공사가 동시에 실시되어 작업의 위험도가 증대
- ㉡ 양중설비가 증대
- ㉢ 중간층에 지수층을 마련하지 않으면 빗물, 작업용수로 인해 작업 방해 및 마무리 공사의 오염을 초래
- ㉣ 공정조정이 잘되지 않으면 대기 시간이 생긴다.

㉤ 현장내 작업 동선에 혼란이 생기기 쉽다.

이와같은 조건을 고려해서 선행작업이 어느정도 진행되었을 때 후속 작업을 투입시킬 것인지 투입시기를 정확히 판단 작업에서 최소한의 대기 시간을 얻을 수 있도록 하는 것이 가장 중요하다.

둘째, 각 부분공사 층별 시공 방법

구체공사 중에는 구체공정에 따라 각 부분 공사를 병행 실시하다가 마감공사를 하층부, 중간부, 상층부 등으로 몇단계로 나누어 동시에 시공하는 방법이다. (예 : 분당 신도시 시범단지의 경우 30층 APT로서 1개동을 3개동으로 간주 구분 마감 하였다.)

㉠ 동일작업이 여러개소에서 실시되기 때문에 작업이 복잡하다. 관리를 잘못하면 공정의 혼란이 온다.

㉡ 가설 및 양중설비, 시공 기계등이 많이 필요하다.

㉢ 많은 동력량이 필요하다.

㉣ 동일 작업자수 및 기술 관리자가 많이 필요하다.

3. 운반 양중 계획

평면적인 대형화에서 입체적인 대형화로 형성되면서 작업자수나 자재의 양은 증가하며 그에 따라 양중시간이 증대해서 작업능률에 지대한 영향을 주며, 그 공사의 성패를 좌우한다. 양중작업은 되도록 주도 면밀한 계획이 필요할 뿐 아니라, 관리가 완전히 이루어지는 것이 필수 요건이다. 양중계획이 정해지지 않으면 시공계획 전체가 결정되지 않기 때문에 무엇보다도 중요하다.

* 양중계획은 양중해야 할 자재수량, 작업원의 수, 설개도, 전체 공정을 살펴본 후 이들의 투입시기 및 최대 양중량을 감안하여 양중기의 종류, 설치대수와 위치 등을 설정한다.

1) 양중 계획 순서

시공 공정에 따라 필요한 자재와 작업원을 적재 적소에 배치할 수 있는 시스템과 설비를 요구하는 것으로 아래 사항을 고려한다.

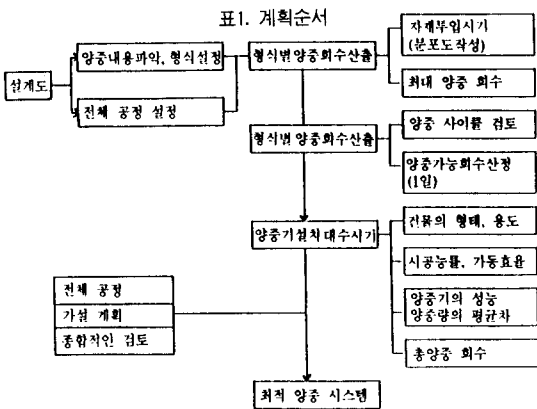
㉠ 양중내용 파악과 형식 설정

㉡ 최대 양중 회수의 산출

㉢ 양중기의 사이클 타임 선정

④ 양중기의 설치 대수 검토

* 계획 순서를 도표화해 보면 다음과 같다.



양중 사이클=양중높이/양중기 속도
 총양중 회수=건물 층수×기준층의 양중회수=1/2×1일최대양중회수
 (양중전일수 + 최대양중 회수 지속 시간)

2) 양중 장비

건물의 초고층화를 저·중층에 사용하던 재래의 장비의 사용가능 여부를 판단하여 결정해야 한다.

양중에 사용되는 장비들은

- ④ 타워 크레인
- ⑤ 지브 크레인
- ⑥ 리프트(안전사고 예방 차원에서 사용하지 않은 편이 좋다)

건물의 높이	승강 높이	기종
70m 이하	25 m/min	중고층용 중형 리프트
70-150m	60-70 m/min	초고층용 중형 리프트(보통형)
150m 이상	100-110 m/min	초고층용 중형 리프트(고속용)

④ HOIST CAR : 현 실정에는 가장 적절한 자재, 인원 운반용이다.

3) 양중 내용의 분류 및 형식(표2)

표2. 양중내용의 분류 및 형식

구분	치수	대형재 양중		중형재 양중	소형재 양중
		길이	폭	중량	중량
양중재	길이	4.0m 초과	1.8m 초과	4.0-21.8m	1.8m 이하
	폭	2.0t 초과	2.0t 이하	1.8m이하	1.8m 이하
양중기	중량	2.0t 초과	2.0t 이하	2.05t 이하	2.0t 이하
	고	철근, 조립시형틀(외부용벽), 와이어매쉬, 설비기기		각재, 파이프로포트, 합판	시멘트, 모래, 벽돌, 석면, 천정재, 내장마무리재
비고	양중기	크레인식 양중기		화물용 양중기 LIFT	인.화물용양중기 HOIST
	고	구체적 공사		구체, 마감공사	마감공사

4) 양중 작업의 관리와 운영

양중 규모가 크면 자재의 양중을 날개로 실시할 경우 혼란이 생기므로 집중관리방식을 채택하여 통제를 한다. 양중관리를 전문으로 하는 담당자를 두어 건축의 각 분야, 전기, 설비, 상호 관계를 종합적으로 파악하여 공사에 지장이 없도록 관리해야 한다. 1주일 단위로 양중 계획서를 작성 관리자에게 제출하고 매일매일 다음날의 양중에정표를 자재별 층수열, 사용시간을 정확히 기재 효율적인 운영이 되게한다.

또한 야적장의 협소로 현장에 반입되는 자재의 반입 계획 역시 철저히 조정해야 한다.

4. 가설 계획

초고층 공사는 공법상의 특징에서 고층작업의 안전성 확보 및 작업원 각종 자재의 적절한 양중 운반 대책이 요구되므로 이에 입각해서 그 가설계획은 재래의 건축에 대한 가설계획과는 자연히 달라진다.

가설상 유의할점을 열거하면

- ④ 작업장 주변에 가설 자재의 비산, 비래, 낙화방지를 위한 대책이 필요
- ⑤ 고층부의 외부비계는 고층화에 수반하여 조립작업의 안전성 확보상 문제점이 많으므로 설치하는 것은 좋지 않다. 따라서 비계없이 작업을 하도록 고려해야 한다.
- ⑥ 자재의 적시운반, 양중과 가설 장비의 적절한 배치가 원활한 공정을 확보하는데 골자가 되므로 배치 계획과 동선계획을 검토하고 종합적인 계획을 세울 필요가 있다.
- ⑦ 공정상 작업동선, 작업위치의 변동이 요구되므로 가설 건물은 이동성이 좋거나 조립해체가 쉬운 형

식으로 할 필요가 있다.

- ㉔ 만일의 경우 대피 및 유도의 알람등을 위한 설비와 작업지시 연락이 효과적으로 될 수 있도록 해야 한다.
- ㉕ 모든 양중 설비는 본건물 공사에 최대한 장애가 안 되도록 하며, 빠른 시일안에 해체할 수 있도록 하며, 본 공사용 Elevator 공정을 서둘러서 가설용으로 사용해야 한다.
- ㉖ 가설 동력 및 가설 급배수 설비도 본 공사용 설비를 조기에 사용할 수 있도록 한다.

5. 안전 관리

중·저층용 건축 공사의 경우와 기본적으로는 틀리는 것이 없고 초고층용 건축의 출현은 시공용장비, 양중용 기계등 재래의 중, 저층 높이의 규모에 대한 것에 비하여 성능, 능력이 커지므로 설치와 운전의 안전도를 한층 높여야 한다.

따라서 안전관리의 고찰 방법을 단순히 재래의 고찰 방법의 레벨에 그쳐서는 안된다. 높이가 높는데 따라서 오는 안전상의 결점이나 상하 작업이 맞지 않는데 따라서 오는 위험도의 큰 영향을 고려해야 한다.

시공자에게는 단순히 할당된 설계를 그대로 구현화하면 된다는 안이성은 허용되지 않는다. 정연한 작업동선, 작업순서의 결정, 안전한 작업의 독립성 확립등은 공사 착수전 이미 설계단계에서 연상해야 하며, 이것을 충분히 이해하고 소화시켜서 큰 효과를 발휘하는 공법을 확립해가는 것이 안전에 연결되는 중요한 기술적 과제이다.

안전관리의 중요 요점은

- ㉑ 무리가 없는 공정 계획과 관리 - PERT, CPM 활용
- ㉒ 상하 작업의 조정, 연락의 철저한 관리 - LIFT, ELV SHAFT, PD등의 작업지시
- ㉓ 작업지시 단계에서의 안전사항 지시의 철저한 관리-작업지시서 활용
- ㉔ 안전사항 관리 체계의 확립 - 장비점검 책임 분담, 안전시설(난간, 보양망, 낙화방지네트 등), 정비책

입체제

- ㉕ 작업원의 안전의식을 한층 강화 - 안전조례, 안전대회, Full Box Meeting
- ㉖ 초고층에서 오는 작업원 심리의 변화를 고려한 안전시설 설치 및 관리철저

6. 시공상 저층과 차이가 있는 공종

1) 지정 및 기초 공사

건물의 대형화, 고층화로 저층보다는 설계 지내력의 상승이 요구된다.

분당신도시 시범단지의 경우 Fe=50T/M2 15층 APT의 경우 Fe=45-50T/M2 30층 APT의 경우 Fe=100T/M2 전후 따라서 Pile 박기가 불가피하다.

표3. Pile 종류별 항타의 비교(구경 500의 경우)

종 류	1일 소화량 本	소 요 장 비	비 고
P.C PILE	15 · 20	항타기	두부파손 중과우려
강관 PILE	10 · 15	항타기	
제자리 말뚝	5 · 8	T-4, 콤팩레샤, 크레인, 발전기	

재하시험결과 강관 Pile과 제자리 말뚝이 이상적이거나 제자리말뚝은 많은 장비가 소요되고 1일작업량은 저조하여 불가피한 경우를 제외하고는 강관 Pile의 선택이 당연하다.

2) 형틀 공사

슬라브내의 작업은 고층과 동일하나 건물 외부로 면한 옹벽부위, 측벽은 기준층에서 형틀을 조립 양중기로 조립해체할 수 있도록 고안 외부비계없이 자체내에 작업이 가능하게 해야한다.

3) 콘크리트 공사

초고층의 건물의 가장 큰 단점은 상부층과 하부층의 옹벽 및 기둥의 단면적의 차이점이다. 이를 극복하기 위해서는 고강도의 콘크리트가 요구된다.

30층의 경우 기초부터 -6층까지 Fe=300 kg/cm², 7층부터 -14층까지 Fe=255 kg/cm² 15cm층 - ROOF까지 Fe=210 kg/cm² 로 설계되었다. 건물이 더욱 고층화 대형화될 수록 보다 높은 콘크리트는 필수적이다.

또한 다른 문제점은 단면적을 상부와 하부를 거의 동일하게 하기 위해서 하부층의 기둥, 웅벽의 철근 간격은 좁아질 것은 분명하다. 이와같은 상황은 시공 능력을 저하시키고 노무량을 증가시킨다. 예를들면

- ㉔ 철근이 집결되어 있거나 진동이 곤란한 부분
- ㉕ 바닥, 지붕 슬라브, 칸막이 벽 부위
- ㉖ 높은 부분까지 고압에 의해 콘크리트를 펌프압송하는 경우
- ㉗ 균일하고 수밀한 끝마감 콘크리트를 사용할 경우 이러한 문제를 해결하기 위해서 고성능 유동화제를 사용한다.

다음으로 콘크리트 타설에 관해 알아보자.

사용하는 장비별 성능은 다음과 같다.

- Tower Crane-15층까지는 가능, 16층 이상 부분은 양중시간 지연으로 능률저하 및 콘크리트 타설지연으로 사용불가
- 콘크리트 Pump Car-저층 부위만 가능
- Stationary Pump-초고층 부위까지 가능

따라서 콘크리트 타설계획은 15층까지는 Tower Crane을 사용해서 16층 이상부터는 별도로 Stationary Pump가 소요된다. 기설치된 Tower Crane은 형틀공사 및 철근 보양에선 사용 가능해진다.

91년 4월이후 건설 물량의 증대로 고강도 콘크리트 (레미콘)의 공급이 아주 어려워졌다.

Bulk Cement의 부족으로 모든 Remicon에 공장에서 콘크리트 단위 M3로 Cement가 많이 소요되는 고강도 Remicon의 생산을 기피해옴으로써 오는 현상이다. 이에 대한 상황을 고려하여 상황을 그 현장용 Batch Plant 설립도 고려해야 한다.

4) 기타 마감공사

기타 마감공사는 고층 건물과 동일하나 거둬내기 하지만 자재 양중계획을 철저히 고려해서 필히 한 개동을 3 구분정도(1-10층, 11-20층, 21-30층)로 구분하여 각각 별개동으로 간주하고 공정 및 준공 계획을 세워서 시공해야만 최대한의 효과를 얻을 수 있다고 본다.