

## 일본의 아파트 건설공사 및 공법

安 容 善

大韓住宅公社 生産技術研究所住宅研究院

### 1. 시작하는 글

2차대전 이후에 셋터미에서 시작한 일본은 전후 최대의 국가사업으로 주택건설사업에 전념으로 노력한 결과 1968년 이후로는 주택보급률이 100%를 넘게 되었으며, 제3차 주택건설5개년계획 시작 년도인 1976년도부터는 양적인 확대로부터 질을 추구하는 주택건설로 전환하기 시작하였다. 1964년 이전에는 거의가 RC라멘조의 구조형식이 아파트구조의 주종을 이루었으나, 동경올림픽 이후 탄탄한 선진국 대열에 들어선 일본은 급격한 건설노동인건비 상승과 숙련기능공의 부족이라는 건설환경에 부딪치게 되어 노동력을 절감하면서도 고품질의 아파트건설이라는 문제의 해결에 노력을 쏟기 시작하였다.

우리나라의 경우는 지진이 빈번한 일본의 건설조건이나 사회환경과는 다르기 때문에 현재 일본에서 많이 쓰이는 아파트 건설공법들을 그대로 받아들이기에는 다소 무리가 따르지만, 일본에서 현재 많이 쓰고 있는 공사형태와 공법을 참고하여 우리의 것을 개발한다는 관점에서 본다면 일본의 건설공사환경 및 공법 등을 파악하는 것은 중요한 과제라고 말할 수 있다. 현재 국내의 건설환경을 살펴보면 분당, 일산, 평촌, 산본지구 등 대규모 단지가 동시에 개발, 건설됨으로 인하여 심각한 기능공의 부족, 짧은 공기로 인한 부실공사, 자재난 등의 문제가 예상되고 있다.

이 글은 최근 일본 도시 및 주택정비공단 산하의 아파트공사현장 방문을 통하여 수집된 자료를 근거로 이루어졌다. 15층부터 30층 정도까지의 일본의 공동주택건설현장 실태, 공종별, 부위별 특징을 서술하고 있고, 마지막으로 일본에서 많이 쓰이고 있는 2가지 신공법을 소개함으로써 현재 우리 나라에서 주로 쓰고 있는 RC벽식구조를 비판적으로 검토하여, 보다 개선된 방법을 찾는 데 도움이 되길 바라며 서술하였다.

### 2. 현장의 일반환경

일본에서 둘러본 공동주택건설현장의 대부분은 우리가 주로 채택하고 있는 순수 RC벽식구조보다는 철근철골콘크리트구조(SRC구조), RC라멘구조, RC라멘벽식혼합구조, 부분PC구조 등 다양하게 이루어지고 있었으며, 지방의 작은 전원도시를 제외하고 대도시 부근은 14층 이상으로 고층화되는 경향을 보이고 있다.

고층화에 따라 거의 모든 현장이 윈치나 타워크레인을 쓰거나 화물검용리프트로 자재를 운반하고 있다. 건물의 모양도 초고층(15~30층)의 경우 타원형이 많고, 중고층(10~15층)의 경우 일자형건물이 주종을 이루고 있다.

외부의 가설재로서는 조립식 또는 쌍줄비계에 철제디딤계단을 설치하고, 외부에는 수직으로 보호망을 설치하여 기능공이 효율적이면서 안전하게 작업할 수 있도록 조치하고 있다. 시공중인 건물과 건물 사이나 건물 주변의 도로는 반

포장이 되어 있거나, 철판을 깔아서 중장비가 현장부지내를 이동하는 데 불편이 없게 만들어져 있다. 25층 이상의 초고층건물은 외벽, 발코니, 복도 등을 PC로 하는 무비계공법을 택하고 있다.

### 3. 구조체공사

필요 부위에서 철근을 직접 조립하는 RC벽식 구조물에서 사용하는 형틀은 강제거푸집 위에 코팅합판 및 매립형 긴결재를 사용하는 타입이 많이 쓰이고 있으며, 현장에서 직접 기둥과 보의 철근을 미리 조립하여 설치하는 공법에서는 기둥은 철제조립식거푸집, 보에는 장선, 써포트가 하나의 세트가 되어 있는 강제프레임에 치장합판이 붙어 있는 조립식거푸집을 쓰고 있다.

콘크리트타설은 주로 펌프카를 이용하고 있으며, 초고층의 경우 타워를 이용하고 있다.

각 부위별 콘크리트의 시공상태는, 부분적으로 자갈과 시멘트의 재료분리가 눈에 띄고 있으나, 커다란 변형이 나타나서 재시공을 하거나 형태가 왜곡된 부분은 찾아볼 수 없다.

바닥슬라브나 천장과 수직으로 연결되는 세대 간벽은 아주 매끈하게 배부름 없이 시공되어 있고, 특히 콘크리트구조체 코너의 직각상태가 아주 양호하게 보였다. 천장은 주택공사아파트와 같이 이중천정을 하지 않고 초배지 없이 바로 벽지로 마감하기 때문에 콘크리트 자체의 편평도나 마감상태를 중요하게 여기고 있다. 또한 일부 현장에서 천장슬라브를 현장에서 직접 제작한 반PC판을 쓰기 때문에 천장마감의 편평도가 상당히 좋고 품질관리도 쉬운 것 같다.

바닥슬라브는 일본도 한국과 마찬가지로 콘크리트를 타설하면서 나무밀대로 밀어서 편평도를 유지하므로 다른 부위에 비해 상대적으로 거칠어 보이나 오목볼록의 정도가 심하지는 않다. 나중에 거실이나 방바닥을 마감하면서는 기능공의 손에 의해 모르타르로 미장하여 수평을 잡는 것이 아니라 시멘트와 화화제를 혼합한 셀프레벨링(self-levelling)이라는 제품을 사용하기도 하여 사람의 손을 빌지 않고 거울처럼 매끈한

수평마감면을 확보하고 있다.

발코니나 복도는 PC판이나 철재기성제품을 많이 사용하므로 수평이나 수직성을 확보하는 것이 용이하고 쉬워 보였다. 발코니나 복도난간 부위의 콘크리트는 항상 보양을 철저히 하고 마감 때 벽돌등을 사용하지 않아서 파손되거나 이그러진 부위 없이 양호한 상태를 보이고 있었다. 콘크리트 각 부위의 각진 부분과 물끊기형틀 등에는 나무각재 또는 각목을 사용하여 수직성이 좋고 매끄럽다. 특히 발코니의 경우 우리나라처럼 전체 방수를 하지 않고 바깥쪽으로 구배를 많이 주고, 발코니 끝단에 홈을 파서 물길을 만들어 선홈통으로 물을 흐르게 하고, 이 부위 주변에만 도막방수로 처리하는 간단한 시공방식을 택하고 있다.

계단이나 복도의 마감부위는 인조석갈기 등 인력이 많이 드는 공법을 사용하지 않고, 주로 콘크리트 제물마감이나 타일마감 등 단순한 공법을 채택하고 있으며, 콘크리트계단 자체도 형태의 휨이나 뒤틀림이 크게 눈에 띄지 않는다.

화장실에 UBR(Unit Bath Room)을 설치함으로써, 방수턱이 없어서 거푸집 탈형후 세대내부의 콘크리트구조체도 단순하고, 내부마감도 목재를 사용하는 건식공법이 주종을 이루므로, 물이나 시멘트를 사용하는 공사등이 없어서 구조체의 외형모습은 깨끗하고 단순한 모습을 보여주고 있다.

품질관리면에서는 구조체의 외형시공오차보다는 오히려 철근의 배근간격이나 피복두께 등의 치수확보를 위하여 배근이나 형틀조립의 시공오차에 신경을 많이 쓰고 있다. 피복두께를 정확하게 확보하기 위해서 철근을 받치는 철물스페이서도 용접함으로써 철근위치의 변경 방지가 피복두께의 확보에 노력하고 있다.

### 4. 마감공사

지진의 영향이나 오랜 생활관습으로 인하여 거의 모든 아파트의 세대내부에는 목재와 석고 보드를 사용한 건식공법의 내부간막이를 사용하고 방에는 다다미 구조를 택하고, 외벽에는 25mm

압축스티로폼에 12mm 석고보도가 부착된 것을 쓰고 있으므로 국내현장에 비해서는 상당히 시공이 간편하고 단순하다.

목욕탕이나 화장실 등은 UBR의 채택으로 타일이나 방수공사가 없으므로 조잡시공의 가능성을 처음부터 배제하고, 배수를 원활히 하기 위한 청소구나 플렉서블파이프(flexible pipe) 등의 채택으로 시공오차를 흡수할 수 있는 융통성 있는 시공방법으로 시공하고 있다. 거실바닥은 플로팅(flooring)나무재료를 사용하고, 벽체는 석고보드나 콘크리트 위에 직접 벽지를 바르고, 천장도 이중천정을 사용하지 않음에도 불구하고 구석진 코너부분의 수직, 수평상태가 양호하다. 석고보드의 시공상태도 바닥이나 천정부분이 들뜨지 않고 완벽하게 맞추어져 있고, 설비배관이나 전기배관시설을 위한 오프닝(openning)이나 커팅(cutting)부분도 자로 재어서 도려내므로 아주 매끄럽고 선명한 것을 볼 수 있다.

부위의 싱크대나 벽에 붙어있는 찬장 등도 벽의 배부름으로 인한 처짐이나 들뜬 것이 거의 없고, 타일 등도 균일한 간격으로 부착되어 있다. 재료분리대가 천장과 타일선에 수직으로 가지런히 잘 맞추어져 시공되었기에 정교한 마감상태를 보여주고 있다. 외부의 타일 마감등도 타일종류의 다양한 생산으로 인하여, 코너타일, 마무리를 위한 반쪽타일 등으로 마감하므로 마무리가 온장으로 끝나지 않더라도 깔끔한 양질시공의 인상을 주고 있다. 외벽타일의 경우 마스크(mask)공법이라 하여 외벽거푸집에 타일을 고정시킨 후 콘크리트를 타설함으로써 골조공사를 하면서 외부타일마감공사를 동시에 끝내는, 정밀시공이 요구되는 공법을 택하기도 한다.

## 5. HB-RC공법(Hybrid Reinforced Concrete System)

### (1) 개발배경

HB-RC공법은 7층에서 15층 정도의 중고층 건물에 있어서, 내진성능을 확보해 나가면서 시공의 합리화의 높은 정밀도를 이루기 위해 개발된 방법이다.

최근에는 고강도콘크리트의 개발과 커다란 직경의 철근을 이용한 초고층RC건물의 건설도 가능해지고 있다. HB-RC공법은 7층에서 15층 정도의 SRC구조에 대응하기 위해서 개발에 착수한 것으로, 고강도콘크리트의 활용 등으로 초고층 RC구조의 적용도 가능하다는 것을 보여주고 있다. RC공법의 이점을 충분히 활용하면서, 보다 효율적으로 건물의 품질을 향상시키는 수단이 없을까 하는 문제의식을 갖고 이 구조의 연구는 출발하였다. 시공 및 설계는 대일본토목주식회사(大日本土木株式會社)에서 맡았으며 일본의 도시 및 주택정비공단과 공동으로 연구 개발하였다.

개발할 때의 내진성을 확인하기 위한 구조실험을 도시 및 주택정비공단의 시험장에서 실제로 2층 시험건물을 지어 실험한 결과, 인성이 뛰어나고 현장시공의 합리화와 건물의 품질관리 면에서 우수한 것으로 평가되었다.

이와 같은 HB-RC공법은 오랜 역사를 갖고, 내진성이 높으며, 디자인의 융통성이 우수한 RC공법의 잇점에 시공효율의 향상과 합리적 공법의 채용에 의해 건물의 고품질화라는 개념을 첨가시킨 공법이라고 말할 수 있다.

### (2) 특징

1) 표준화된 공정으로 철근조립의 높은 정밀도 유지

기둥, 보의 부재를 지상에서 조립함으로써 조립의 정밀도를 확보하기 쉽다.

2) 공정의 합리화로 높은 작업성 확보

기둥에 철골을 이용한 공법으로 통상의 RC구조에 비해 주철근 및 늑근의 수량이 적게 되고, 보에도 굵은 직경의 철근을 사용하는 주근의 수를 감소시킬 수 있어 철근결속작업의 효율을 극대화시킬 수 있다.

3) 보의 접속방식은 시공조건에 따라 2가지 방식을 채용

보의 접속방식은 부지조건에 따라 기둥과 보를 일체화하여 보의 중앙에서 접속하는 방식과, 기둥과 보를 분리하여 보의 양끝에서 접속하는 방식의 2가지를 융통성있게 사용하는 것이 가능하다.

4) 전용공구로 접속작업의 균질화를 이룩

접속작업에는 전용공구에 의해 기계적 접속을 채택하고 있어 가스압점에 비해 작업변이 및 오차가 거의 없다. 최근에는 그라우트주입 접속방법이 개발되어 공기 단축에도 이바지하고 있다.

5) 철근조립 직후에 본체를 세우므로 기둥의 수직정밀도 확보 용이

기둥 하나를 세운 후에, 기둥의 수직정밀도를 확인한 후, 임시볼트를 사용하지 않고 바로 본체를 볼트로 채움으로써 높은 수직정밀도를 확보한다.

6) 특수조정철근의 사용으로 조립시 미세한 조정이 가능

기둥철근에 특수조정철근을 이용하여 늑근의 결속 후에도 주근의 회전에 의한 치수의 변동을 조정 가능하게 하여 높은 시공정밀도를 확보할 수 있다.

7) 2층분의 조립을 1-cycle로 하는 공정관리 보의 접속이 간단하므로, 골조 2개층을 한번에 조립하여 세우고 콘크리트는 1개층씩 타설, 시공할 수 있다.

8) 대규모의 가설체가 불필요

기둥과 보를 크레인을 이용하여 세우기 때문에 SRC구조에 비해 대규모의 가설체의 설치가 필요치 않다.

9) 콘크리트의 충전성이 우수

일반적으로 SRC구조에서는 기둥과 보의 접합부에서 철근이 고밀도로 결속되어 있으므로 타설시에 콘크리트의 충전성이 좋지 않지만, 이 공법은 기둥과 보의 접합이 보통 배근구조와 마찬가지로이므로 콘크리트의 충전성이 매우 좋다.

### (3) 시공순서

1) 기둥과 보 부재의 배근과 조립을 지상에서 완료한다.

2) 소정의 위치에 미리 조립된 기둥을 세운다.

3) 기둥과 보의 접합부분을 순차적으로 접속한다.

4) 접속처리 후 2개층의 조립골조를 한 번에 세우고 1개층씩 콘크리트를 타설한다.

### (4) 효과

기둥과 보의 철근을 지상에서 미리 조립하여

기둥에 끼우므로 기존의 SRC공법에 비하여 구채공사비가 약 88% 정도만으로 똑같은 구조성능 및 효과를 얻을 수 있다. 현재 15층이하의 일본 도시 및 주택정비공단의 아파트 건설에 적용하여 저렴한 주택을 짓는데 공헌하고 있다.

## 6. RC적층공법(積層工法)

### (1) 공법의 개요

그동안 가장 많이 쓰여진 RC공법의 장점을 살려가면서 건설공사의 필연적 약점인 노동집약적이며 기능공의 워크맨십(workmanship)에 크게 좌우되는 요소를 줄여 나가면서 고품질의 건축생산을 만들자는 목적 아래서 개발하였다. 이 공법은 일반 RC구조와 같은 구조이지만, 시공에 있어서 기둥의 배근, 기둥형틀, 보와 슬라브의 일부 등을 건축물과 별도로 지상작업장이나 공장에서 미리 제작하여 크레인 등을 이용하여 순차적으로 조립하면서, 각 부재를 용접한 후 현장타설콘크리트등으로 일체화시켜나가면서 진행되는 시공법으로서 재래식 RC공법에 PC구조기업을 결합 시킨 발전된 RC구조공법이다.

### (2) 특 징

1) 건설현장의 공업화공법 도입으로 생산성 향상

2) 구조체공사의 1사이클을 6일로 끝내기 때문에 공기단축을 이룩

3) 높은 장소에서 이루어지는 작업이 줄어들어 위험요소 감소

4) 작업의 전문화 가능

5) 콘크리트의 부분 PC화에 따라 고품질의 구조물 건조

7) 현장인원 절감

### (3) 시공순서

1) 먼저 기둥철근을 조립하여 세운다.

지상에서 미리 조립한 철근을 크레인으로 설치하여 조립하므로 높은 정밀도를 확보한다.

2) 짧은 지름의 기둥철근을 이음용접한다.

기둥철근의 이음에는 신뢰성이 높은 밀착하여 감싸는 용접을 한다.

3) 기둥형틀을 고정하고 기둥콘크리트를 타설

한다.

강재의 기둥 전용형틀을 사용해서 고강도콘크리트를 보 아래까지 밀실하게 충전되도록 타설한다.

#### 4) PC보 세우기

현장부지 내에서 제작한 PC보를 소정의 위치에 정확히 고정한다.

#### 5) 바닥옴니어판 붙이기

공장에서 제작한 55mm의 옴니어판을 고정한다.

#### 6) 발코니 PC판 붙이기

공장제작의 정밀도가 높은 발코니 PC판을 상하의 철근으로 정확하게 고정, 정착시킨다.

#### 7) 보, 바닥의 상단근의 배근 및 이음

상단근을 옴니어판과 보의 스테럽부위에 정확히 고정하고 양쪽 주근의 조인트를 밀착하여 감싸는 용접을 한다.

#### 8) 바닥슬라브의 콘크리트 타설

바닥슬라브의 콘크리트를 호퍼로 타설한다.

## 7. 끝내는 글

일본의 시공환경 및 공법을 우리의 것과 비교하여 한마디로 단정지를 수는 없지만, 비슷하면서도 다르고, 다른 것 같으면서도 비슷한 것이 적절한 표현인 듯 싶다. 일본현장의 과학적이고 합리적인 정밀시공 및 공법은 한두가지 요소에 의해서 정의될 수 있는 것은 아니지만, 간접적으로는 건설환경의 요인과 직접적으로는 건설기술에 상당한 부분을 의존하고 있다.

약 2000세대 규모의 단지를 건설하는 오오사카 근교의 어느 현장은 공사기간이 10년으로 계획되어 있어 그중에 건축공사만 6년동안에 걸쳐 수행하게 되어 있다. 충분한 기간 동안에 건설공사를 진행하므로 줄속 행정 및 부설공사로 인한 여러 분야의 하자 및 문제점을 공사 전 또는 공사진행 중에 처리하고 있다. 현장 직원들은 오전 8시 30분에 출근하여 오후 5시 30분경에 퇴근하며, 노무자들은 이보다 조금 빨리 출근하고 조금 늦게 퇴근하는 여유를 보여주고 있다. 물론 현장도 본사와 마찬가지로 일요일은 당연

히 쉬고 토요일도 격주로 공사를 쉬고 있는 환경에서 아파트를 짓고 있다. 일본의 현장을 방문한 사람들의 첫 인상은 누구나 그들의 안전관리에 관한 인식이나, 빈틈없이 안전하게 설치되어 있는 가설재와 시공중인 건물을 보호망으로 완전히 둘러싸므로써 추락사고는 물론 소음, 분진 등까지도 방지하는 완벽한 건설환경에 적지 않게 놀란다.

정밀시공이라는 면에서 보면 위에서 열거한 환경적인 시설보다는 공법이나 재료의 선택 등 기술적인 면에 더 기인하는 것 같다.

구조체의 안전성 및 외적인 모양에 직접적으로 영향을 미치는 형틀을 조립하는 공법이나 재료 자체도 시공오차의 발생을 근본적으로 억제하는 데 도움을 주게끔 설계되거나 만들어져 있다. 초고층의 경우 기둥의 형틀에 투명한 프라스틱판을 사용하므로 콘크리트의 충전상태를 관리하는 방법으로 철저하게 품질관리를 하고 있다. 항상 기존의 공법으로 시방기준이나 품질기준을 맞출 수 없을 때에는 시공업자 스스로가 공법을 개발하여 일본건축센터로부터 새로운 공법인정을 요청하여 승인을 획득하여 적용하는 노력을 하고 있다. 항상 기존공법의 문제점을 개선하고 보완하려는 노력을 쉬지 않고, 그래도 개선의 여지가 보이지 않으면 혁신적으로 공법 및 재료를 바꾸는 시도를 하고 있다. 재래식 화장실을 UBR로 바꾼 예가 이러한 노력의 결실이라고 말할 수 있다. 새로운 공법, 시공방법, 재료의 선택을 과감하게 채택하고 시험 해보는 것과, 우리 현장과는 달리 여러 현장이 각기 다른 공법으로 개성있게 공사를 진행하는 데에서 발전의 가능성을 엿 볼 수 있다.

앞서 소개한 2가지 새로운 공법은, 현재 우리나라의 아파트 건설환경에 그대로 도입하기에는 다음과 같은 몇가지 기술적인 문제점이 따른다. 우선, 국내에서는 익숙하지 않고 생산되지 않는 값비싼 중장비의 도입으로 인해서 경제성이 떨어질 것이 우려되고, 모든 부재가 현장에서 잘라 맞추는 방법이 아니라 공장생산품과 같이 조립이라는 생산방식을 택하므로 고도의 품질관리

및 높은 시공정밀도가 요구되고, 이에 따라 숙련기능공의 확보 및 부가적인 경비지출 등도 검토해 보아야 하며, 이런 발전된 공법들의 성공적인 건설의 전제조건인 자재, 재료 및 부분요소 건설기술 등이 이를 공법을 뒷받침할 것인가 등의 요소들이 먼저 분석되어야 한다.

물론, 국내의 건설환경이 일본보다는 열악한 처지에 있고, 기술적 요인이 아닌 것에 의해 시공의 질이 크게 영향을 받을지라도, 작은 문제점과 주변의 환경에서부터 개선책과 해결책을 인내를 갖고 추구해 나갈 때는, 우리도 조만간 일본에 뒤지지 않는 양질의 건축생산물과 시공환경을 만들 수 있는 잠재력은 충분하다.