

프리캐스트 콘크리트 대형 패널을 이용한 조립식 아파트 공사

Prefabricated Apartments Project Using Precast Concrete
Large Panel System

오 박 의 식 *
Park, Eui Sik

ABSTRACT

This report introduces the large scale prefabricated apartment project in Saudi Arabia designed and built by Hyundai Engineering and construction Co. as turn-key basis from ministry of Public works and housing of Saudi Arabia. This project using precast large panel system is 7,600 dwelling unit, total building area 1.8 mil square meters.

Large panel system is a kind of industrialized building method which classified as monolithic system, total system and structural system.

Hyundai Engineering and Construction Co. develop his own prefabricated large panel system for this project and named "HYUNDAI SYSTEM".

The key point of this system is vertical and horizontal joints between panels. Also stability of whole building structure is especially important for this kind of prefabricated building.

1. 머릿글

정부의 200만호 주택건설 계획과 관련하여 분당, 일산의 신도시건설등 대량의 주택공사를 앞두고 가뜰이나 부족한 기능인력 및 임금상승에 고심하고 있는 건설업체로서는 이의 해결을 위하여 여러가지 공사방법을 모색하고 있는 실정이다. 많은 물량을 단시간 안에 소화하기 위하여는 재래식 공법으로는 불가능하다고 판단되며 그 해결방법의 하나로 우리의 관심을 모으고 있는 것이 바로 공업화 생산방식(Industrialized Method)의 일종인 프리캐스트 패널을 이용한 조립식 공사방법이다.

본고에서는 먼저 공업화 생산방식을 간단히 개괄하고 1978년초 현대건설이 사우디 아라비아에서 수주 시공하였던 대단위 아파트 공사를 소개하고자 한다. 사우디 아라비아의 알 코바 및 잿다지역에 총 7,600세대 연면적 180만 m²의 4~8층 아파트 공사를 3년여의 공기내에 마쳐야 하는 등 물량과 공기면에서 당시의 여건이 지금의 우리의 처지와 비슷하지 않았나 생각된다. 과거의 이러한 경험이 우리의 처해진 현 상황을 해쳐 나아가는데 도움이 되지 않을까 하는 뜻에서 소개하는 바이다.

2. 공업화 생산시스템 소개

건축의 역사를 보면 과거와 같이 건축이 도목수의 능력에 따라 지어지는 수공업적 방식에서부터 차츰 설계자, 자재생산업자, 건설기술자 등의 협업방식으로 바뀌게 되고 자재도 건설현장 근처의 이용가능한 자재를 사용하는 범위에서 벗어나 시장을 거양한 대량생산된 자재를 사용하게 되었다. 또한 수송수단의 발달과 자재시장의 형성에 따라 개인 취향의 충족보다는 집단위주의 기준설정을 하게 되어 모듈이나 기준척도의 제시가 필요하게 되었고 표준화가 진행되어 왔다. 이러한 건축의 대중화는 도시의 인구가 급격히 늘어나고 사회가 발달하여 생활이 개선되어 감에 따라 건설수요의 증가와 함께 과거에는 생각하지도 못

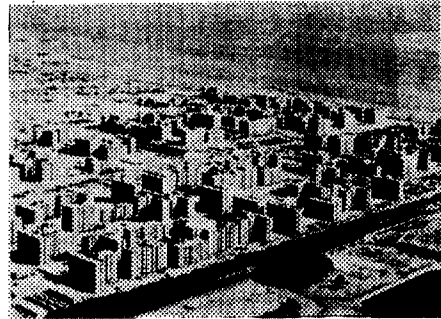


사진 1. 알 코바 현장 전경

하였던 대량 고품질의 건물을 산값에 단기간에 공급하지 않으면 안되었다. 이런 요구를 충족시키기 위하여 건축분야에도 공장 생산방식이 도입되었는데 이는 인건비가 상승하고 기술인력이 부족한 상황에서 필연적인 과정이라 하겠다.

공업화 생산방식은 일찌기 1500년대 레오나르도 다빈치의 이상도시에서 그 개념이 이미 표현되었고 그후 1854년 파리만국박람회에서 선보인 조립식 목조주택이라든가 1951년 런던박람회에 나타난 크리스탈 팰리스의 조립방법 그리고 개척시대의 미국건축에서 목조주택방식이 활발히 사용되었다. 1900년대에 들어와 콘크리트를 이용한 프리캐스트 공장이 독일등지에서 나타나고 공장에서 생산된 프리캐스트 패널을 현장에 운반 조립하는 건축방식이 시작되었다.

실제로 조립식 건축이 발달한 것은 1945년 2차대전 후의 주택난 해소와 노동력 부족의 이유로 해서 유럽에서 본격적으로 활용되었다. 공업화 생산방식 건축시스템을 구분하는 데는 여러가지 방법이 있겠으나 구조적으로 분류하면 다음과 같다.

1) 일체식(Monolithic Unit) 방식

일체식 방식은 이동식주택(mobile house)처럼 하나의 건물을 공장에서 조립출고하여 운반설치하면 바

* 정희원, 현대엔지니어링(주) 전무이사

로 사용가능한 방식이다. 모듈러 시스템, 유니트 하우스, 큐비클 시스템, 스페이스 큐비클 등 여러 명칭으로 생산된다.

2) 토탈 시스템(Total System) 방식

패널 시스템을 말하는 것으로 주로 콘크리트를 사용한 대형 패널방식이 주류를 이루고 있으며 구성재료의 교환성에 중점을 두고 국가표준이나 공통모듈에 맞추어 대량 생산공급하는 시장공급 방식(open system)과 특정건축을 위하여 모듈에 상관없이 생산하는 주문공급 방식(closed system)으로 대별된다. 본고에서 소개하는 프로젝트는 바로 이 시스템을 이용한 것이다.

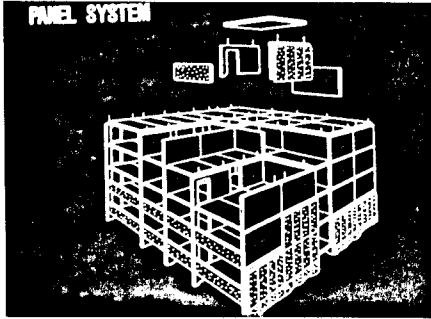


사진 2. 토탈 시스템

3) 가구(Structural System) 방식

가구식은 기둥, 보 기타 구조가구를 공장생산하는 방식이다.

콘크리트를 이용한 공장생산 방식이 가장 발달한 유럽의 현황을 보면 앞에서 언급한 바와 같이 2차대전 후의 급격한 주택소요와 제한된 대지사정으로 인하여 대형 패널을 이용한 중-고층 아파트가 주류를 이루고 있으며 재료는 대부분이 콘크리트이다.

유럽과 소련을 중심으로 한 콘크리트계통 프리캐스트 시스템의 특징은,

- 1) One room size의 대형 패널이 많으며 설비 유니트 시스템이 일반화되어 있고 대형화, 입체화되었다.
- 2) 간벽이 내력벽 역할을 하며 외벽은 비내력벽인 경우가 많다.
- 3) 부재 제조설비는 고도 자동화되어 있다.
- 4) 배터리형(battery type)의 수직형 모듈드가 발달하여 생산성이 높다.
- 5) 양생은 증기, 전기 또는 고온수를 사용한다.
- 6) 외벽 패널은 미판과 단열을 고려하여 샌드위치형으로 한다.
- 7) 외장마감은 타일붙임이나 천연골재 셋어내기 마감이 많다.
- 8) 접합부는 self forming 습식방식이다.
- 9) 대형 패널 방식으로 보통 15~20층까지 짓는다.
- 10) 타워크레인 용량이 커지고 부재운반은 전용 트레일러를 사용한다.

3. 사우디 조립식 아파트 공사 소개

이 공사는 사우디 아라비아의 공공주택에서 일괄 수주방식(turn-key 방식)으로 수주 시공한 일반서민을 위한 공공주택공사로써 총 7,600세대 콘크리트 몰량 약 110만 m³, 철근 5만톤, 패널수 63만장, 그리고 공사비가 11억불이 넘는 대형공사였다.

입찰서에 따르면 입찰자는 구조재료로 콘크리트나 콘크리트부목을 사용할 수 있으며 공사방법도 공업화 생산방식 또는 재래식 방식 중에서 택하도록 되어 있었다. 엄청난 공사몰량과 3년여라는 제한된 공기내에 건설하기 위하여는 재래식 공법으로는 해결이 불가능하다고 판단되어 결국 공업화 생산방식인 콘크리트 대형 패널 시스템으로 결정하였는데 세계적으로 널리 알려진 이 시스템만 하더라도 수십가지가 되었다. 이 수많은 시스템의 차이란 접합부 방법의 차이라고 볼 수 있는데 시스템을 결정하는데에서 가장 고심한 것은 접합부를 습식으로 할것인지 건식(기계식)으로 할것인지의 문제였다.

접합부가 중요한 이유는 대형 패널시스템이란 바닥 벽판등을 공장에서 생산하여 현장에 운반조립하는 방법으로써 마치 종이카드를 집을 쌓아가는 방식과 흡사하여 접합부가 제대로 되어 있지 않으면 조그마한 외력에 의해서도 쉽게 무너지리라는 것은 자명하기 때문이다.

입찰 당시만 하더라도 대형 패널 조립식이란 우리에게 생소한 것으로써 국내에서도 일본 대성 프리캐스트와 합작으로 생산하고 있는 한성 프리캐스트가 5층 규모의 아파트를 시공하고 있는 실정이었다. 외국의 여러 관련문헌과 출장등을 통하여 얻은 지식을 바탕으로 검토해 본 결과 수직 접합부는 대부분의 시스템이 대응소이지만 바닥판과 벽판이 만나는 수평접합부는 덴마크의 L/N사 등에서 쓰고 있는 플랫폼형(Platform type)과 볼란서의 트라코바사 방식인 웨지형(Wedge type)으로 대별할 수 있는데 두방법 모두 장점과 아울러 단점도 있었다. 플랫폼형에서는 드라이 팩이라는 복잡하고 까다로운 공정을 거쳐야 하는 반면 웨지형에서는 이 공정이 없는 대신 큰 스패와 작은 스패의 슬래브가 이웃할 경우 구조적으로 분리해지는 결점이 있었다.

그래서 현대건설에서는 영국인 전문가의 도움을 받아 두 시스템의 단점을 보완한 고유의 Hyundai 시스템을 개발하여 공사를 성공적으로 마칠 수 있었다. 이 고유의 시스템을 체계화하고 실행시키기 위하여 많은 기술자들이 계획, 설계, 시공 등 각 방면에서 협력하고 문제를 해결하였다.

구조해석방법 정립, 생산과 설치의 고려한 경제적 패널크기 결정, 생산운반방식, 조립순서와 이에 따른 개개 패널의 설계, 접합방법, 조립후의 구조체의 안정성, 단열2중 외벽설계, 패널생산 운반 설치에 필요한 버팀철봉 및 지지대의 설계, 형틀설계, 패널의 탈형 운반 설치 과정에서의 충격과 진동에 의한 파손 방지책, 접합부의 구조설계, 설치와 마감공사에 따른 여러 문제점 등등 많은 문제를 하나하나 해결하였다. 이러한 문제들을 과거에 많은 경험을 쌓은 구미의 전문업자들에게는 그들의 노우하우로써 축적이 되어 있어 별 어려움이 없었으나 경험이 전혀 없었던 우리에게 있어서 해외의 대형공사에 실제로 적용키 위하여는 남다른 많은 노력이 필요하였다. 짧은 기간동안에 많은 문제를 해결하고 하나의 시스템으로 정립하여 3년이라는 공사기간을 거치는 동안 시행착오도 많았고 실제 현장경험을 통하여 많이 개선되어 하나의 국제적인 시스템으로 인정받게 되었다고 생각한다. 그후

이 시스템을 사용하여 이라크의 2개현장에서 총 5,500세대 아파트 공사에도 적용, 성공적으로 공사를 수행한 바 있다.

3.1 평면 및 입면계획

이 시스템을 효과적으로 이용하기 위하여는 평면을 계획할 때부터 이 시스템에 알맞은 단순화된 평면이 요구된다. 평면이 방형이 아닌 건물은 방형인 건물에 비하여 패널의 종류가 많아지므로 포장생산비를 증가시키며 캔틸레버 발코니라든가 큰 창문은 구조상의 문제와 더불어 공사비를 증가시키는 원인이 된다.

본 공사에서는 모든 방의 크기가 이미 시방서에 명시되어 있어서 평면계획에 융통성이 적었으며 기술평가회의 과정에서 입면에 변화를 주라는 요구가 있어서 수직 수평의 선 스크린이 추가됨으로써 패널의 종류가 많아지고 접합부가 복잡해져 프리캐브의 효과가 많이 감소되었다. 그러나 공장에서 패널을 생산하므로 높은 질의 제품을 얻을 수 있고 바닥 벽판의 표면을 고르게 제작할 수 있어 프라스터 마감을 하지 않고 바로 페인트 마감을 함으로써 인건비 및 자재비를 절감할 수 있었다.

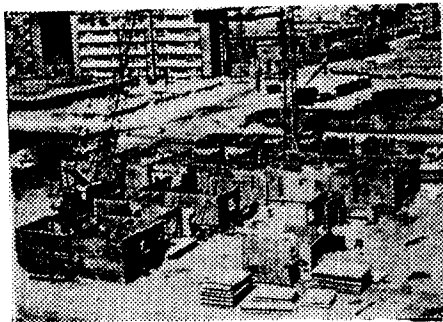


사진 3. 조립과정(1)

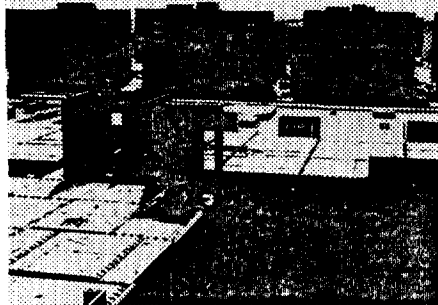


사진 4. 조립과정(2)

3.2 구조계획

내벽은 두께 140mm의 내력벽으로 하고 외벽은 220mm 두께의 non-composite 샌드위치 패널로 하였다. 샌드위치 패널은 내부패널인 120mm 두께의 내력판 부분과 70mm의 비내력판으로 되어 있고 그 사이에 30mm의 단열재를 넣고 두판을 스테인레스 스틸 타이핀으로 연결시켜 온도변화에 신축성있게 움직이도록 하였다.

슬래브판은 스패 5.2m 미만인 경우 두께 150mm, 그 이상의 스패에서는 180mm의 solid 슬래브로 하고 모



사진 5. 조립완료

두 일방향 단순지지 슬래브로 계산하였다. 판의 크기는 방이 큰 경우 운반취급을 고려하여 이등분하고 방 중앙에서 접합부가 생기도록 하였다.

구조설계 기준은 영국규준 CP110, The structural use of Concrete 및 CP3을 사용하였고 콘크리트 강도는 Cude 값으로 $f_{cu}=24.1\text{N/mm}^2(240\text{kg/cm}^2)$, 철근은 기초와 벽판용은 $f_y=276\text{N/mm}^2(40,000\text{psi})$, 슬래브용은 $f_y=411.6\text{N/mm}^2(60,000\text{psi})$ 를 사용하였는데 두종류의 철근을 혼용해 보니 공사시 혼란이 생기고 경제적으로도 별 이득이 없으므로 앞으로는 고강도 철근으로 통일하여 사용하는 것이 좋겠다.

횡중으로는 바람과 지진을 모두 고려하였는데 사우디 지방의 공식적인 기록을 입수하지 못하여 미국의 Dames & Moore사의 자료에 따라 바람은 최대 순간풍속 40m/sec와 지진은 0.03g를 적용하였고 횡력은 각 벽의 강성에 비례하여 개개의 벽이 분담하도록 하였다.

3.2.1 접합부

접합부의 중요성은 앞에서 언급하였지만 본 설계에서 가장 고심하고 주의를 기울인 부분이다. 수직 접합부는 횡중에 의하여 생기는 수직 전단력에 견디도록 패널의 양 옆구리면을 castellate시키고 투트철근을 뽑아 놓았다가 현장에서 패널 조립시 접합부사이의 공간을 현장콘크리트로 충전하였다. 이때 콘크리트 충진을 쉽게 하기 위하여 유동화제(superplasticizer)를 사용하였다.

3.2.2 안정성(Stability)

조립식건물에서 이 안정문제는 접합부 설계와 관련하여 가장 중요한 요소로써 가스폭발과 같은 돌발적인 하중으로 인하여 생길 수 있는 연속붕괴를 방지할 수 있도록 설계하지 않으면 안된다.

1968년 5월 런던 교외에 있는 Ronan point 아파트에서 일어난 가스폭발 사고로 인하여 아파트가 붕괴된 사고 이후 조립식 건물의 안정성이 문제가 되고 그 이후 각국은 다투어 연속붕괴에 대한 대책이 마련되었고 영국에서도 1972년 CP110규준에 안정항목이 강화되어 오늘날까지 사용되어 오고 있다.

건물의 연속붕괴를 막고 안정을 유지하기 위하여는,

- 1) 수직타이를 모든 기둥과 벽체에, 기초에서부터 지붕 레벨까지 연속으로 설치한다.
- 2) 수평타이는 3가지 종류가 있는데 첫째, Peripheral tie로 건물의외곽에 설치하는 타이, 둘째, Internal tie로써 Peripheral tie이외에 직교하는 두 방향의 Internal tie가 필요하다. 이 tie는 중간이 불연속이

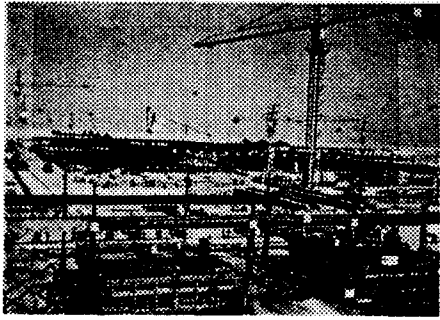


사진 6. 패널생산공장

되어서는 안되고 타이끝은 기둥이나 벽체에 정착되어야 한다. 셋째, 기둥 및 벽체타이로 모든 외부 기둥이나 외부벽판은 각층 및 지붕층 바닥과 수평으로 앵커되거나 타이되어야 한다.

이상과 같은 수직 및 수평타이를 설치하여 안정을 유지하도록 되어 있다.