

고층 P.C 아파트의 접합부 설계

Design Considerations of Connections in High-Rise P.C. Apartments

정 하 선* 김 두 영**

JEONG, HA-SUN KIM, DOO-YOUNG

ABSTRACT

Construction of high-rise precast concrete apartments is an attractive alternative solution for severe shortage of residential facilities, especially in metropolitan areas in Korea. New building regulations enforced since 1988 requires all buildings higher than 6 storeys to be designed for earthquake. However, we hardly have any experience on seismic design of precast concrete buildings.

This paper deals with methodology of seismic design and design considerations of connections for the large panel structures.

Also addressed in this paper are studies needed to develop proper seismic design procedures of precast concrete buildings.

1. 서 언

1988년의 경제기획원 통계에 의하면 우리나라의 주택보급율은 68%에 불과하며 대도시 지역에서의 주택사정은 이보다 더 열악한 실정에 있다. 또한 대도시의 택지난은 날로 심화되어 가고 있으며 인근의 농경지, 산림등이 침식당하는 지경에 이르고 있다.

이러한 문제들을 해결하기 위하여 정부에서는 200만호 주택건설계획, 건물 용적율의 상향조정 등 주택보급율의 향상, 택지이용의 고도화 등을 위한 일련의 조치들을 취하고 있다. 이와 같은 주택의 대량건설, 택지이용의 효율화를 위한 유력한 대안으로 고층 P.C 아파트의 건설을 생각할 수 있다.

그러나 1988년 8월 부터 시행되고 있는 건축법규[1]에 의하면 6층 이상의 모든 건물은 내진설계틀 의무적으로 수행하도록 규정되어 있으며 최근의 몇 경우를 제외하고는 5층 높이의 P.C 아파트 건설경형이 고작인 우리에게 P.C 건물의 고층화에 따른 내진설계 기술의 개발 및 기준의 제정이 중요한 관심사항으로 대두되고 있다.

본고는 국내에서 건설되는 P.C 아파트에 전형으로 사용되고 있는 내력벽 형식의 일종인 대형 판넬시스템(large panel system)을 중심으로 P.C 아파트의 내진설계시 고려해야할 사항, P.C 아파트의 내진설계의 핵심이 되는 접합부의 설계방법, 그리고 우리나라에 적합한 P.C 건물 설계지침 제정을 위하여 향후 연구 되어야할 사항 등을 검토하는데 그 목적이 있다.

* 대한주택공사 주택연구소 책임연구원, 공박

** 대한주택공사 주택연구소 연구원

2. P.C 건물의 내진설계시 고려하여야 할 사항

P.C 건물의 내진설계시 고려하여야 할 사항은 다음의 5가지로 요약할 수 있으며[2] 이는 바로 우리나라에 적합한 P.C 건물의 내진설계 지침을 작성하기 위하여 연구가 집중 되어야 할 분야이기도 하다.

가) 지진하중의 산정

현재 미국이나 일본에서 일반적으로 사용되고 있는 P.C 건물의 지진하중 산정방법 [3,4] 은, P.C건물이 일체식구조(monolithic structure)를 갖는 것을 전제로 하여, 현장타설 콘크리트건물의 지진하중 산정방법과 동일하다.

그러나 대형판넬 P.C 시스템에서는 같은 규모의 현장타설 콘크리트 건물에 비하여 낮은 진동주기를 갖으며, 아울러 에너지 소산 메카니즘(energy dissipation mechanism)도 다르므로 P.C 건물의 지진하중 산정방법의 검토가 필요하다. 검토의 핵심은 건물의 기본주기 산정방법 및 반응 수정계수(R계수)의 결정방법등이 될 것이다.

나) P.C 판넬의 적정크기

경제적인 P.C 건물의 설계는 가능하면 단위판넬의 크기를 크게하여 접합부의 수를 최소화 하는데 있다. 그러나 실제로는 P.C판넬의 크기 이러한 경제적인 측면보다는 P.C판넬의 운송 및 설치장비의 능력에 좌우 되는 것이 일반적이다. 이와 아울러 고려 하여야 할 사항은, 부재를 가 능 하면 대칭으로 배치하여 P.C 판넬에 비틀림 응력이 최소가 되도록 하는 것이다.

다) 접합부의 위치 및 상세설계

P.C 건물의 내진설계는 바로 접합부 설계라고 하여도 지나친 말은 아닐 것이다. P.C 건물에서의 접합부 설계의 핵심은, 가능하면 접합부의 수를 최소화 시키고, 아울러 접합부에서 요구되는 강성(stiffness), 강도(strength) 및 연성(ductility)을 어떻게 하면 가장 간편한 방법으로 만족시키는 가에 있다. 이에 대한 상세한 논의는 다음 3절에서 언급한다.

라) 수평부재의 다이아프램 거동(diaphragm action)

P.C 건물의 구조해석을 수행할 때 보통은 바닥이 무한 강성을 갖고 다이아프램 역할을 한다고 가정한다. 그러나 실제로는, 바닥의 강성은 바닥의 형태, 수직 및 수평 접합부의 시공방법에 따라서 크게 영향을 받으며, 바닥의 강성 정도에 따라 바닥과 연결되어 있는 수직부재의 소요 강도도 달라지게 된다. 따라서 P.C 부재로 구성되는 바닥이 수평 다이아프램 역할을 할 때 무한 강성을 갖는다고 가정하기 위해서는 그에 상응하는 접합부 설계가 이루어져야 한다. 이러한 문제 때문에 일본에서는 수직부재는 P.C 판넬로 구성하고 바닥은 현장타설하는 시공방법이 사용되기도 한다.

마) 건물 전체의 안전성

P.C 건물의 경제성은 같은 크기의 판넬과 같은 종류의 접합부 시공이 반복적으로 사용될 때 증가한다. 그러나 만약 반복되어 사용되는 접합부 설계에 오류가 있었다면 이러한 오류도 건물 전체에 걸쳐 반복되므로 건물의 안전성이 크게 위협을 받게 된다. 따라서 접합부의 신뢰성 확인을 위한 실험적 연구가 필요하며, 시공 시의 오차, 콘크리트의 수축, 그리고 건물 사용기간중 일어날 수 있는 처짐 등의 불확실성을 고려한 접합부의 허용오차의 한계 설정이 필요하다.

3. 접합부의 설계

가) 접합부 설계 개념의 분류

P.C 건물은 접합부 설계방법에 따라 일체식 구조(monolithic structure)와 접합식 구조(jointed structure)로 대별된다.

일체식 구조는 지진 하중을 고려하여야 하는 지역에 건설되는 P.C 건물에 흔히 쓰이는 방법으로, 현장타설 콘크리트 건물과 지진하중에 대한 건물의 거동이 유사함을 전제로 하기 때문에 하중이 반복(cycling), 반전(reversal) 되는 지진 하중하에서도 접합부의 강성(stiffness), 강도(strength), 그리고 연성(ductility) 등이 크게 저하되지 않도록 설계 되어야 하므로, 일반적으로 시공이 복잡하고 비용이 많이 든다.

접합식 구조는 접합부의 강성, 연성등이 극한 하중하에서 현저하게 저하된다는 가정하에 설계

되기 때문에 일체식 구조에 비하여 접합부의 보강이 간편하게 처리되며, 많은 경우 건식공법으로 시공되어 현장작업이 감소되고 시공 속도가 빠르며 비용이 적게드는 이점이 있다.

또한 일체식 P.C 건물은 강진이 발생하여 철근이 항복하거나 콘크리트에 심한 균열이 발생하기 전까지는 탄성거동을 하는 반면, 접합식 건물에서는 일체식 건물이 탄성적으로 거동하는 정도의 강도를 갖는 지진이 발생할 경우라도 접합부가 비탄성적으로 거동할 가능성이 있으며, 이러한 접합부의 비탄성 거동으로 인한 에너지 소산 능력(energy dissipation capacity)을 고려하여 전체적으로 경제적인 설계가 이루어 지도록 하는 방법이다. 그러나 일체식 구조는 과거의 경험이나 어느 정도의 실험연구를 통하여 그 거동이 상당부분 알려져 있으며, 아울러 미국이나 일본 등에서는 일체식 구조의 접합부 설계방법이 규준이나 지침으로 규정되어 있는 반면, 접합식 구조는 D.P. Clough [5] 과 같은 일부 학자들에 의해 그 설계방법이 제안되어 있으나, 예상되는 이점에도 불구하고 접합부의 신뢰성을 입증할 수 있는 실험자료나 경험의 부족으로 아직 어느 나라에서도 지진지역에서의 접합식 구조 설계 방법이 규정되어 있지 않은 실정이다.

여기서는 일체식으로 잘 설계된 P.C 건물이 과거 상당한 규모의 지진에 안전하였다는 점과 [2], 그 설계방법이 비교적 보편화 되어있다는 점을 고려하여 일체식 구조에서의 접합부 설계방법에 대해서만 논하기로 한다.

나) 접합부의 종류

대형판넬 시스템 P.C 건물에서 나타나는 접합부의 종류는 크게 수평접합부, 수직접합부 및 타이(tie)의 등 3가지로 나눌 수가 있다.

수평접합부는 벽판넬과 바닥판넬이 만나는 부위와 바닥판넬과 바닥판넬이 만나는 부위에 형성되며, 수직접합부는 벽판넬과 벽판넬이 만나는 부위에 형성된다. 타이는 바닥판넬과 바닥판넬, 벽판넬과 벽판넬의 접합부를 가로질러 설치 되는 것으로 예상치 못한 우발적 하중으로 인한 건물의 붕괴를 방지할 목적과 부재간의 수평하중의 분배를 원활히 할 목적으로 설치된다.

다) 수평접합부의 설계

1) 바닥판넬간의 수평접합부

바닥 판넬간의 수평 접합부는 바닥판의 힘에 따른 압축력 또는 인장력, 불균형 하중으로 인하여 발생하는 전단력, 그리고 수평하중으로 인하여 발생하는 접합부 길이 방향으로의 전단력에 저항 할 수 있도록 설계되어야 한다. 바닥판 간의 수평 접합부 설계에서 핵심적인 사항은 그림 1에서 보는 바와같이 전단키(Shear Key)를 설치하는 것이며, 바닥판의 보강 철근은 기계적인 스플라이스(mechanical splice) 또는 용접에 의하여 연결한다.

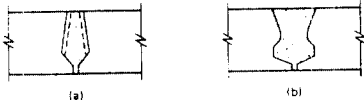


그림 1. 바닥판 결합부의 전단키

2) 벽판넬과 바닥판넬간의 수평접합부

벽판넬과 바닥판넬이 만나는 부위에 형성되는 수평접합부는 P.C 구조물의 결합부설계 중 가장 복잡한 부위이다. 이 부분의 결합부는 그림 2에서 보는 바와같이 여러 종류의 하중을 원활히 전달시키도록 설계되어야 한다. [6]

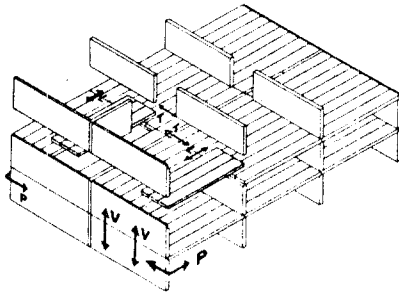
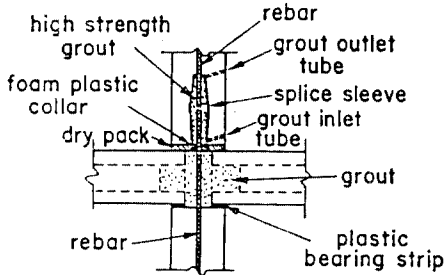
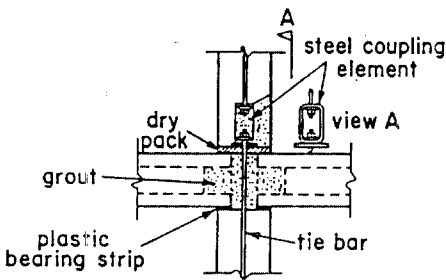


그림 2. 벽-바닥판넬간의 수평접합부의 작용하중



(a) Grouted splice sleeve



(b) Bolted coupling

그림 3. 벽-바닥판넬 결합부 상세

그러나 이들 하중이 복합적으로 작용할 경우의 결합부의 거동에 대해 연구된 결과가 희소하여, 이에 대한 설계방법이 아직 정립 되어 있지 않은상태이다.

PCI의 지침서[7]에서는 그림 3과같은 결합부 상세를 제안하고 있다.

나) 수직접합부의 설계

벽판넬간의 수직 결합부는 연직하중과 수평하중에 의해 발생하는 전단력의 전달을 원활히 할 수 있도록 설계되어야 하며, 따라서 바닥판넬의 수평 결합부에서와 마찬가지로 전단키의 설치가 필수적이다.

수직 결합부의 전단키를 설치 할 경우, 전단키내에 그림 4에서 보는 바와같이 사인장 파괴(diagonal tension failure)와 미끄러짐 파괴(sliding failure)와 발생할 가능성이 있으며, 따라서 이를 방지하기 위하여 그림 5에서 보는 바와 같이 수직 결합부를 수직철근과 루프 철근(loop bar)으로 보강하는 방법이 많이 쓰이고 있다.

다) 타이(tie)

앞에서도 언급한 바와 같이 우발적인 하중에 의한 P.C 건물의 파괴를 방지하고 수평, 수직하중과 판넬의 부피변화로 인한 변위에 의해 발생되는 응력의 원활한 하중 분배를 위하여 바닥판넬및 벽판넬이 그림 6에서 보는 바와같이 4방향으로 연결될 수 있도록 보강되어야 한다. [6]

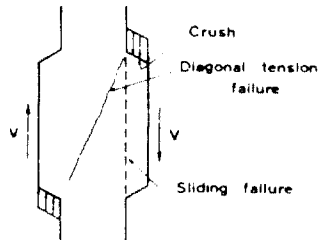


그림 4. 수직결합부의 전단키내의 파괴형상

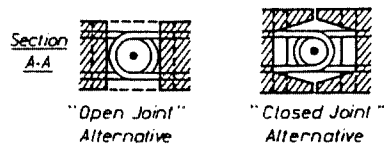
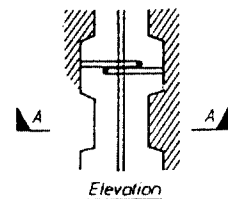


그림 5. 벽판넬간 수직결합부의 보강상세

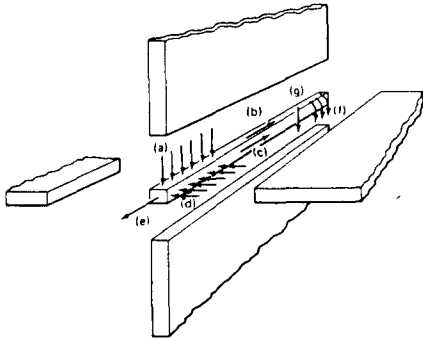


그림 6. 타이 설치되어야 하는 방향

접합부 시공의 용이성은 타이의 설치방법, 즉 각 판넬의 보강철근을 상호 긴결시키는 방법에 따라 좌우되며, 그림 3과 5에서 보는 바와같이 기계적 슬리브(mechanical sleeve)를 사용하거나 용접을 하는방법이 흔히 쓰이나, 수직접합부와 외벽과 바닥판넬 접합부는 루프(loop)를 만들어 상호 긴결하는 방법이 많이 쓰이고 있다.

4. P.C 건물의 내진설계기준제정을 위하여 연구되어야 할 사항

우리나라에 적합한 P.C 건물의 내진설계 기준의 제정을 다음 세가지 분야의 연구가 우선적으로 수행되어야 할 것이다.

가) P.C 구조물의 지진하중 산정기준 검토

P.C 건물이 일체식 구조로 건설되었다 하여도 현실적으로 P.C 건물의 접합부를 현장타설 콘크리트 건물에서와 같이 일체식 거동을 보장할 수 있게 설계한다는 것은 매우 어려우며, 아울러 접합부의 강성이나 연성은 주변 P.C 판넬보다 취약한게 일반적이다.

나) P.C 구조물 설계개념의 확립

P.C 건물을 지진 지역에 건설할 경우, 일반적으로 일체식 구조를 전제로 하여 접합부 설계가 이루어지고 있다. 그러나 우리 나라와 같이 접합식 구조 개념의 도입이 타당성이 있을 것으로 판단된다. 따라서 이러한 설계 개념의 확립을 위하여 이론연구와 병행하여 설계 방법의 타당성과 새로운 개념에 의한 접합부 설계 방법의 신뢰성을 검증하기 위한 실험적연구가 뒤따라야 할 것이다.

이러한 이유로 P.C 건물의 기본진동주기나 에너지 소산 메카니즘은 현장타설 콘크리트의 그것과 다를 것이라고 예측할 수 있으며, 따라서 P.C 건물의 진동주기 산정방법 개발과 현장타설 콘크리트 건물과의 상대적 반응수정계수 결정을 위한 실험적 연구가 수행되어야 할 것이다.

다) 접합부 상세 설계 절차의 개발

3절 다) 에서 이미 언급한 바와 같이, P.C 구조물의 접합부 보강 상세 설계절차는 많은 부분을 설계자의 경험에 의존하고 있으며 상세한 절차가 규정되어 있지 않은 부분이 많다. 특히, 벽판넬과 바닥판넬간의 수평 접합부는 접합부에 작용하는 하중의 종류가 매우 많아 접합부가 불안정하게 설계될 가능성이 높다. 따라서 벽판넬-바닥판넬간의 수평접합부에 가해지는 여러가지 하중의 상호연관 효과를 실험을 통하여 분석함으로써 실용적인 설계방법을 개발할 필요가 있다.

참고문헌

1. 건설부, 건축물의 구조기준등에 관한 규칙 1988. 1
2. Hawkins, N.M., "Research Considerations for Precast Concrete Construction," Proceedings of Seminar on Precast Concrete Construction in Seismic Zones, Tokyo, 1986, Japan Concrete Institute, PP.295-309
3. International Conference of Building Officials, Uniform Building Code, 1988 edition, Whittier, California.
4. Suenaga, Y., "Design Guideline for Precast Concrete Structures in Japan," Proceedings of Seminar on Precast Concrete Construction in Seismic Zones, Tokyo, 1986, Japan Concrete Institute, PP. 1-20
5. Clough, D.P., "A Seismic Design Methodology for Medium-Rise Precast Concrete Buildings," Proceedings on Precast Concrete Construction in Seismic Zones, Tokyo, 1986, Japan Concrete Construction in Seismic Zones, Tokyo, 1986, Japan Concrete Institute, PP. 101-126
6. MacLeod, I.A., "Large Panel Structures," Handbook of Concrete Engineering, ed. by Fintel, M., Van Nostrand Reinhold Co., N.Y., N.Y., PP. 514-535
7. PCI Manual for Structural Design of Architectural Precast Concrete, Prestressed Concrete Institute, Chicago, IU., 1977