내진특수상세를 적용한 RC 이중골조 건물의 설계

Design of RC dual system building using special seismic detail

이한선* 고동우** 선성민***
Lee, Han Seon Ko, Dong Woo Sun, Sung Min

ABSTRACT

The definition of the Dual system is that the total seismic force resistance is to be provided by the combination of the moment frame and the shear walls or braced frames in proportion to their stiffness and the moment frame shall be capable of resisting at least 25% of the design force in Korean Building Code 2005 (KBC 2005). But, the definition of moment frame is ambiguous whether the moment frame include the imaginary columns in the shear wall (Case Ⅰ) or include only the columns outside the shear wall (Case Ⅱ). 60-story RC building was designed as dual system for Case Ⅰ and Case Ⅱ, and the required strength and reinforcement are compared. Moment and axial capacity of the shear wall of Case Ⅱ decreased about 5% due to the absence of the column in the shear wall. The requirement of upper and bottom reinforcement of slab in Case Ⅱ increased 13% and 40%, respectively, when compared to those of Case Ⅰ. The required longitudinal reinforcement in columns for Case Ⅱ is about 1.5 times larger than that of Case Ⅰ.

1. 서론

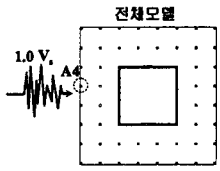
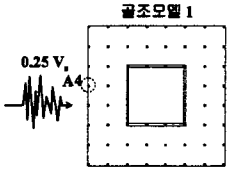
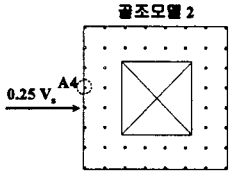
고층 RC건물에서 주로 사용되는 횡력저항시스템으로 전단벽과 골조로 이루어진 건물골조 시스템과 이중골조 시스템이 주로 사용되고 있다. KBC 2005에 따르면 건물골조 시스템의 경우 전단벽이 모든 지진력을 저항하고, 기타 골조부분은 중력하중만 부담하면서 지진하중으로 인해 초래되는 변형에 대한 적합조건을 만족시키면 된지만, 이중골조시스템의 경우 전단벽 뿐만 아니라 골조부분도 설계 지진력의 25%를 저항하도록 설계해야 한다. 그런데, 설계지진력의 25%를 적용받는 골조가 전단벽을 제거한 골조를 의미하는지, 전단벽에 골조를 구성하기 위한 가상의 기둥을 포함하는 골조인지 명확히 정의되어 있지 않다. 본 논문에서는 지진력의 25%를 저항하는 두 가지 경우에 대해 설계하였을 때 그 차이점을 분석하고, 이를 통해 이중골조시스템을 적용한 건물의 내진설계법을 명확히 제시하고자 한다.

2. 예제건물의 개요 해석모델

기존 초고층 RC 건물에 대한 조사를 바탕으로 전단벽, 연결보, 플랫플레이트 슬래브, 기둥으로 구성되어 있는 그림 1과 같은 예제건물을 선택하였다. 예제건물은 한층의 층고가 3.6m인 60층 건물로서 높이는 216m이며, 전단벽의

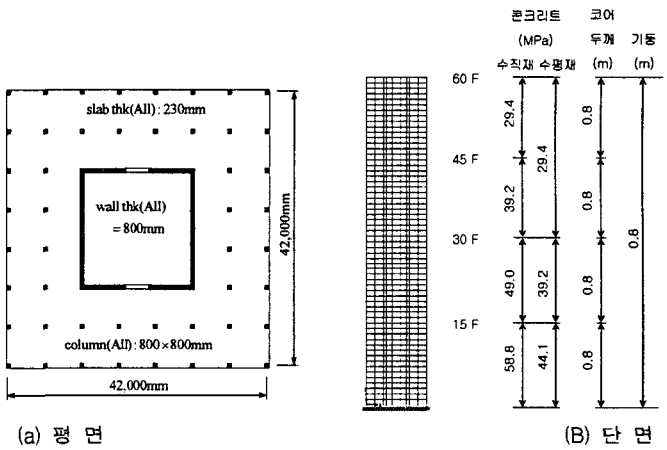
* 정회원, 고려대학교 건축공학과 교수, 정회원
** 정회원, 고려대학교 공학기술연구소 연구조교수, 정회원
*** 정회원, 고려대학교 건축공학과 석사과정, 정회원

표 1 해석모델 비교

전단벽	경우 1	경우 2
- 경우 1과 경우 2의 전단벽에 대한 설계부재력과 설계는 동일	전단벽 내부기둥을 포함한 골조모델에 0.25V를 가하여 해석과 설계를 수행 이때 해석방법은 동적해석을 수행	전단벽의 파괴후에도 중력하중에 대한 저항능력은 남아 있는 것으로 보고 전단벽 이외의 부분에 대해 0.25V를 가하여 정적해석을 수행
		

두께는 0.8~0.5m, 플랫플레이트의 두께는 0.23m이다. 해석 및 설계에서 적용한 전단벽 및 기둥의 콘크리트 강도는 59~29MPa이며 플랫플레이트의 강도는 49~29MPa를 적용하여 수직부재와 수평부재의 강도의 비가 1.4배 이하가 되도록 하였다.

건축구조설계기준(KBC 2005)[1]에는 특수내진상세에 대한 규정이 없기 때문에 미국설계기준(IBC 2003)[2]에서 제시되어 있는 구조시스템으로서 전단벽을 특수 전단벽으로, 플랫플레이트를 중간모멘트 골조로 분류하고 설계를 진행하였다. 하중 및 설계과정에 대한 구체적인 사항은 참고문헌[3]에 자세히 나와 있다.



(a) 평 면 (B) 단 면

그림 1 대상건물 평면 및 단면

KBC 2005는 이중골조 시스템에 대해 "전체 지진력은 각 골조의 횡강성비에 비례하여 분배하되, 모멘트골조가 최소한 설계지진력의 25%를 부담하여야 한다."라고 제시하고 있다. 이는 강한 지진에 의해 전단벽이 파괴되더라도 골조만으로도 지진력에 어느 정도 저항할 수 있는 능력을 확보하기 위해 취해진 조치로 받아들여 지고 있다. 이때 전단벽의 파괴를 어떻게 정의하느냐에 따라 모멘트 저항골조를 구성하는 방법이 달라질 수 있다. 경우 1은 통상 실무에서 수행하고 있는 모멘트 골조의 해석방법으로, 전단벽 내부에 기둥을 포함한 골조에 대해 동적해석을 수행하는 방법이고, 경우 2는 전단벽이 파괴된 후에도 중력하중에 대한 저항능력은 남아 있는 것으로 보고, 전단벽 이외 부분에 대해서만 정적해석을 수행하는 방법이다. 이상과 같은 경우에 대한 모델과 해석방법을 표 1에서 정리하였다.

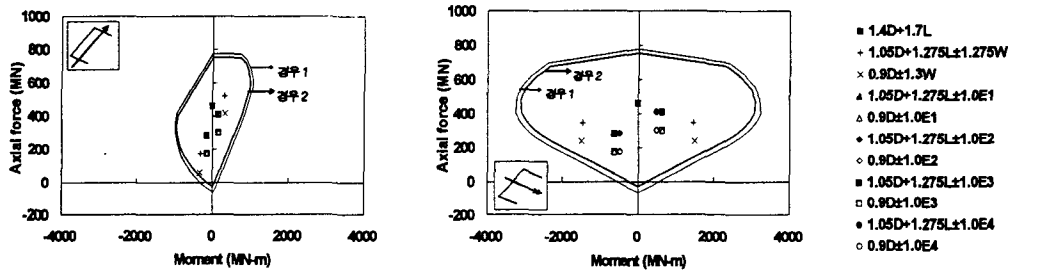
3. 부재력 비교

콘크리트설계기준[4]에 따라 경우 1과 경우 2에 대해서 설계전단력의 25%에 저항하도록 설계를 수행할 경우 전단벽과 골조(기둥과 슬래브)의 부재력과 설계결과를 그림2 ~ 그림4 에서 비교하였다. 두 경우에 대한 전단벽의 축력-모멘트 상관관계와 설계된 단면에 대한 축력-모멘트 상관관계를 그림 2에서 비교하였는데, 전단벽 내부 기둥의 유무에 상관없이 요구하는 축력-모멘트 관계를 만족하였다(그림 2). 전단벽의 경우 경우 1은 전단벽 내부에 기둥이 삽입되어 경우 2보다 훨씬 복잡하고, 이와 같은 배근 방법이 벽체의 거동에 실질적으로 어떤 영향을 줄 지는 알려진 바가 없다. 그러나, 경우 2와 같이 설계할 경우 전단벽 내부 기둥을 없앴기 때문에 벽체의 모멘트성능은 약 5% 감

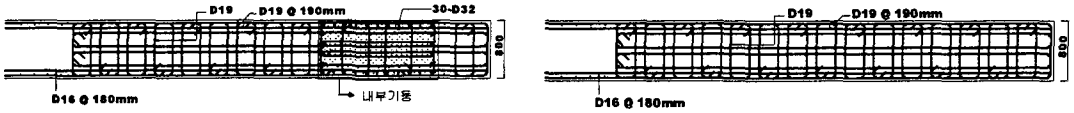
소하였지만, 요구강도는 만족하였다. 또한 벽체 경계요소의 설계가 단순한 것을 볼 수 있다.

이중골조의 설계에서 고려되는 5가지 경우, (1) 전체모델이 100%의 동적지진하중을 받을 경우, (2) 골조모델 1이 25%의 동적지진하중을 받을 경우, (3) 골조모델 1이 25%의 정적지진하중을 받을 경우, (4) 골조모델 2가 25%의 정적지진하중을 받는 경우, 그리고, (5) 전체모델이 100%의 풍하중을 받는 경우에 대한 플랫플레이트 슬래브의 요구휨강도의 수직분포를 그림 3에서 비교하였다. 경우 2에 대해 정적해석을 수행하면, 382kN-m로 경우 1의 동적해석에 의한 설계모멘트, 117kN-m, 보다 116%증가하였다. 경우 1로 슬래브를 설계할 경우 주열대에서 상부와 하부의 요구철근량은 각각 3,460 mm^2과 2,214 mm^2였는데, 경우 2로 설계하면 각각 3,924 mm^2와 3,140 mm^2로 요구철근량은 13%와 40% 증가하였다.

그림 4는 해석방법에 따른 모서리기둥의 축력과 모멘트 상관관계를 비교하고 있다. 기둥의 축력은 경우 2가 경우 1보다 10% 증가하여 크게 증가하지 않았으나, 모멘트는 418kN-m에서 961kN-m로 2.3배 증가하였다. 축력의 경우 하중분담면적에 따라 각 기둥에 분배하였기 때문에 해석방법이 다르더라도 큰 변화가 없었으나, 경우 2에서 모멘트가 증가한 이유는 전단벽 내부의 기둥을 무시하여, 밑면전단력에 저항하는 기둥 수가 감소하였기 때문이다. 기둥은 기둥크기는 800×800mm로 동일하지만, 경우 2의 주근은 24-D35로 경우 1의 주근 24-D29보다 50%증가하였다. 이상으로부터 경우 1보다 경우 2가 바람직한 것으로 보인다. 단, 경우 2로 이중골조의 골조부분을 설계할 경우 전단벽에서는 철근량이 감소하지만, 골조에서 철근량이 증가함을 알 수 있다.

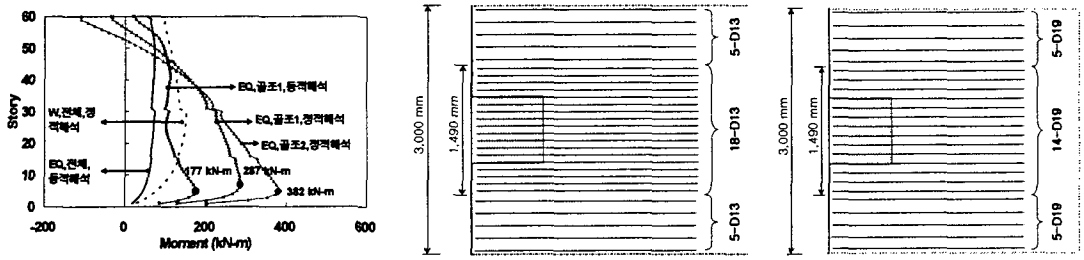


(a) 약축에 대한 축력-모멘트 상관관계 (b) 강축에 대한 축력-모멘트 상관관계



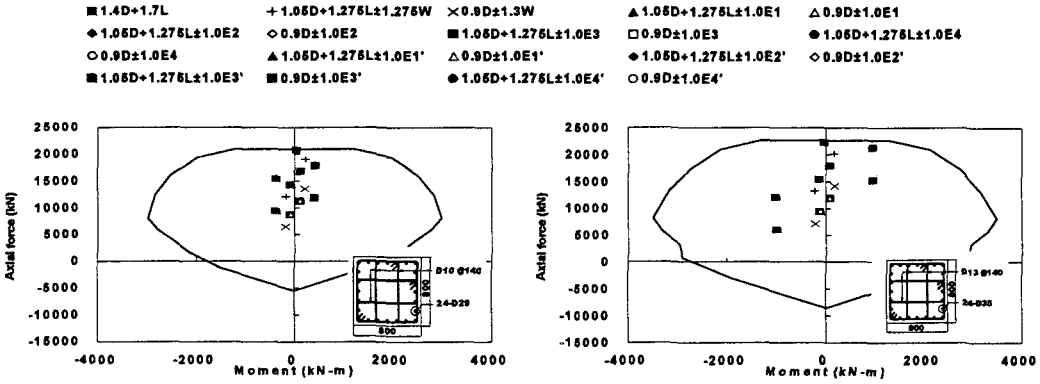
(c) 경우 1 (d) 경우 2

그림 2 전단벽의 해석과 설계결과



(a) 슬래브 모멘트의 수직분포 (b) 경우 1 (c) 경우 2

그림 3 외부슬래브의 해석과 설계결과



(a) 경우 1 (동적해석) (b) 경우 2 (정적해석)

그림 4 기둥의 축력-모멘트 상관관계

4. 결론

KBC 2005에 따르면 이중골조란 "전체 지진력은 각 골조의 횡강성비에 비례하여 분배하되, 모멘트골조가 최소한 설계지진력의 25%를 부담하여야 한다."라고 제시하고 있다. 그런데, 설계지진력의 25%를 적용받는 골조가 전단벽을 제거한 골조를 의미하는지, 전단벽에 골조를 구성하기 위한 가상의 기둥을 포함하는 골조인지 명확히 정의되어 있지 않다. 따라서, 본 논문에서는 60층 고층건물을 이중골조 시스템으로 설계함에 있어 골조를 설계하는 두가지 경우, 즉 전단벽 내부에 골조를 구성하기 위한 기둥을 포함하는 경우(경우 1)와 전단벽 이외의 부분만 골조로 간주하는 경우(경우 2),에 대해 설계지진력의 25%에 해당하는 지진력에 저항하도록 설계하였을 때 그 차이점을 분석한 결과 다음과 같이 결론을 내릴 수 있다. 경우 2의 경우, 경우 1과 비교할 때 전단벽 내부기둥이 없기 때문에 축력과 모멘트 성능은 5%정도 감소하였지만, 전단벽에 최소전단철근을 배근하는 것만으로도 기둥의 요구 축력-모멘트 관계를 만족하였다. 또한, 경우 2에서 슬래브 주열대 상부와 하부의 요구철근량은 각각 경우 1과 비교할 때 13%와 40%증가하고, 모서리 기둥의 주근은 50%증가하였다. 실질적으로 우리나라에서 경우 1과 경우 2중 어느 방법을 주로 사용하는지 분명치 않지만, 경우 1보다 경우 2가 바람직한 것으로 보인다. 단, 경우 2로 이중골조의 골조부분을 설계할 경우 전단벽에서는 철근량이 감소하지만, 골조에서 철근량이 증가함을 알 수 있다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C04-01)에 의한 것임.

참고문헌

1. 대한건축학회, "건축구조설계기준 (Korean Building Code)," 대한건축학회, 2005.
2. International Code Council, "International Building Code 2003," International Code Council, 2003.
3. 이한선, "특수전단벽과 중간모멘트 골조로 이루어진 초고층 RC 이중골조 시스템의 내진설계," 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 전문위원회발표집, 2005.
4. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조설계기준," 한국콘크리트학회, 2003.