

전단벽의 내진보강을 위한 방법에 관한 연구

Retrofitting Device to Increase Seismic Resistant Capacity of Shear Walls

홍 성 곁* 이 지 형**
 Hong, Sung Gul Lee, Ji Hyung

ABSTRACT

The elastic buckling load or strength of a concentrically loaded slender metal column may be increased many times by reinforcing it with an assemblage of pretensioned stays and rigidity connected crossarm members. The complete system is herein referred to as a "stayed column". The purpose of the pretensioned stays and crossarm members is to introduce, at several points along the length of the column, restraint against translation and rotation and thereby decrease the effective unsupported buckling length of the column. This paper verifies that pretensioned cable of stayed column is effective for cyclic load and increases strength of shear wall against earthquake by reinforcing side of wall. Design process of stayed column which satisfies demanded capacity and ductility of wall is presented by analyzing result of experiment.

1. 서론

노후화된 공동주택에 대한 재건축과 리모델링 사업은 정부의 건설시장의 촉진과 주택가격의 안정의 양면성의 적절한 균형도구로 대두되고 있다. 지속가능한 리모델링 건설 산업에 적합한 시공방법은 철저한 사전 조사를 통한 정확한 정보와 정보체계를 근거로 부재 및 시스템의 품질 향상을 위해 공장에서 제작하여 현장에서는 최소한 조립으로 전체 시스템의 완공이 가능한 공법개발이 필요하다. 본 연구는 건식공법의 개발을 통해 공동주택의 리모델링 사업의 경제성과 시공성을 극대화 하고, 내진성능향상 효과를 얻는데 있다.

철골기둥에 비슷한 크기의 부재를 가로로 강접한 뒤 이를 프리텐션을 받은 케이블로 연결한 것을 stayed column이라고 부른다. Stayed column은 유효좌굴길이가 감소한 것과 같은 효과를 가지게 되므로 좌굴하중을 크게 증가시킬 수 있다. 본 연구는 이러한 stayed column이 일반적인 철골기둥이 좌굴 후에 급격히 파괴되는 것과는 달리 연성도를 가지고 있는 것에 착안, 건물의 내진성능향상에 기여할 수 있을 것으로 예상하고 실험을 통해 에너지 소산 능력을 확인하고자 한다. 이는 벽체에 stayed column 보강했을 때 강도와 강성의 증가를 가져올 수 있다는 근거가 된다. 더불어 건물에 요구되는 내진성능을 만족시킬 수 있는 stayed column 보강 설계방법을 제시한다.

2. stayed column의 구성

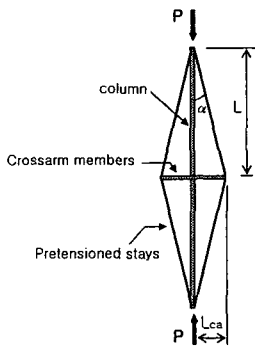


그림 1 stayed column

집중하중이 작용하고 양단부가 핀접합인 철골기둥의 경우, 탄성범위내의 좌굴 하중은 pretensioned stay와 강접된 crossarm member에 의해 강화되면 매우 큰 비율로 증가할 될 수 있다. 이 때 pretensioned stay와 crossarm member는 기둥의 변형이나 회전을 막는 역할을 하므로 유효좌굴길이를 감소시킨다.

single-crossarm stayed column의 경우, 기둥이 대칭으로 변형(단곡률)되면, 좌굴하중은 crossarm member의 길이 뿐만 아니라 stay의 지름의 크기에 민감하게 영향을 받는다. 반면 비대칭으로 변형(복곡률)되면, 이때의 좌굴하중은 위의 변수들의 변화에 조금의 영향 밖에 받지 않는다. 이론적인 좌굴해석에서는 양단부가 핀접합인 single-crossarm stayed column이 stayed column의 전체 자중값에 대한 좌굴하중의 비가 최대가 됨을 알 수 있다. 이 때 결과값은 crossarm member가 기둥에 강접되어 있을 경우에 큰 하중값을 얻을 수 있다. (식(1)참고)

$$P_{\sigma} = \frac{\pi^2 E_c I_c}{(0.669l)^2} = 8.18 P_c : \text{양단부가 핀접합일때 이론적인 최대 좌굴하중 값 (1)}$$

*정회원, 서울대학교 건축학과 부교수

**정회원, 서울대학교 건축학과 석사

3. stayed column의 설계변수 및 거동

stay의 지름

$$F_r = 4\Delta_m \left(\frac{A_s E_s}{L_s} \right) \cos^2 \theta \quad (2)$$

그림2를 보면 stay의 지름이 일정크기 보다 작을 경우에는 Mode I의 좌굴이 일어난다. stay의 크기가 줄어들수록 좌굴하중은 급격한 감소를 보인다. stay의 지름이 일정크기 보다 큰 경우에는 Mode II의 좌굴이 일어나며 좌굴하중은 stay 크기의 증가에 크게 변화를 받지 않는다. 점선은 실제 stay column의 경우를 표시한 것이다.

stay의 탄성계수에 의한 좌굴하중의 영향은 stay지름이 미치는 변화와 거의 같다.

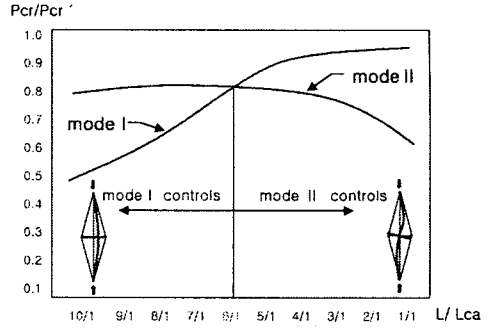


그림 2 stay지름과 좌굴형태의 관계

crossarm의 길이

$$\frac{F_r}{\Delta_m} \propto \frac{L_{ca}^2}{(L_c^2 + L_{ca}^2)^{3/2}} \quad (3)$$

식(3)에서 crossarm이 짧을 때에는 수직반력도 작음을 알 수 있다. 이 수직반력은 crossarm에게는 상대적으로 큰 값의 수직변형으로 나타난다. 그러므로 stayed column은 Mode I의 경우로 파괴된다. 반면 crossarm의 길이가 증가하면 수직반력도 함께 증가하므로 stayed column은 수직방향으로는 더욱 강성이 증가된다. crossarm의 길이가 길어질수록 crossarm이 더욱 쉽게 굽어진다는 것을 의미한다. 따라서 기둥의 중심부는 회전하고 이는 Mode II의 파괴를 가져온다.

초기 stay pretension값

좌굴하중에 견디는 능력의 증가는 stay와 crossarm의 강성과 초기 pretension값에 연관된 수치의 관계로 정의된다. 초기 pretension값의 크기는 기둥의 좌굴에 모든 stay가 영향을 주는지 아니면 두 개의 stay만 영향을 주는가에 따라 결정되는데, 따라서 pretensioned stay로 인해 발생하는 능력의 증가값은 초기 pretension의 함수로 표현된다.

$$P_I = P_a + (T_{fl} + T_{fr}) \cos \alpha \quad (4)$$

두 가지 경우가 고려되어야 한다. 초기 pretension값이 적정 pretension값 보다 작다면, T_{fl} 와 T_{fr} 는 상대적으로 작으므로 이 값들은 P_I 에 큰 영향을 주지 못한다. 따라서 이 경우 변위의 변화는 거의 초기 pretension값에 관계없이 거의 동일하다. 그러나 좌굴하중은 pretension값이 증가함에 따라 증가한다.

다른 한 가지 경우는 초기 pretension값이 적정 pretension값 보다 큰 경우이다. 이때는 T_{fl} 와 T_{fr} 가 상대적으로 크기 때문에 초기 pretension이 P_I 에 미치는 영향이 크다. 따라서 변위의 변화는 증가하고 좌굴하중은 초기 pretension이 증가함에 따라 감소한다. 초기 프리텐션 값이 최소한의 유효 프리텐션 값 보다는 크고 적정 프리텐션 값 보다는 작을 때, 좌굴하중은 선형으로 증가한다. 초기 프리텐션 값이 적정 프리텐션 값 보다 큰 경우는 좌굴하중이 선형으로 감소하다가 최대 유효 프리텐션 값이 될 때 사라진다.

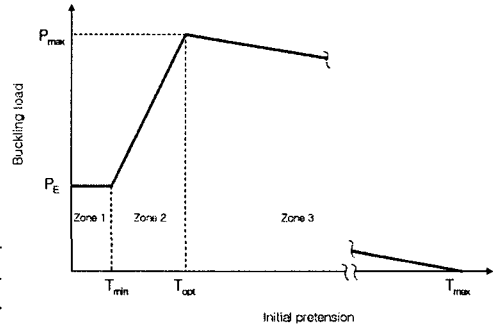


그림 3 초기변형과 좌굴하중의 관계

초기변형의 크기 및 종류

실제 기둥의 경우, 수직하중이 재하되는 즉시 수직 변형이 발생한다. 중심부에서 발생하는 이 초기 수직변형의 형태와 크기에 따라서, 단위하중에 따라 결정되는 변위의 비율은 달라진다. 일반적으로 초기 수직변형이 클수록 변위의 비율도 커진다. 또한 모든 stay에 걸리는 인장력은 그 크기가 감소함에 따라 재하되는 하중의 증가량과 선형으로 비례한다. 만약 초기 수직변형이 있다면 stay에 걸리는 인장력의 변화는 재하하중과 비례하지는 않는다

4. 벽체보강에 따른 내진성능향상효과

벽체의 양 옆에 철골기둥을 세워 벽체가 받는 모멘트를 분산시켜 받도록 한다. 이를 위해서 기존 벽체의 내진성능과 요구되는 내진성능을 비교하여 나머지 값을 철골기둥이 받도록 설계해준다. 일반적인 철골기둥의 경우 가장 문제가 되는 점이 좌굴인데 본 연구에서는 철골기둥에 적당한 장치를 고안하여 좌굴하중을 증가시킬 수 있는 기둥(stayed column)을 설계한다. 철골기둥 가운데 crossarm과 pretension cable로 이를 고정시켜 기둥의 유효좌굴길이를 줄이는 것이다. 좌굴하중의 증가는 벽체내진성능의 향상에 직결되는 요소이다. 반복하중 시 벽체의 한쪽은 인장, 다른 한쪽은 압축을 받는 형태를 띠게 되며 여기에 stayed column을 보강해주면 벽체의 moment capacity의 향상을 가져올 수 있다. (그림4 참고)

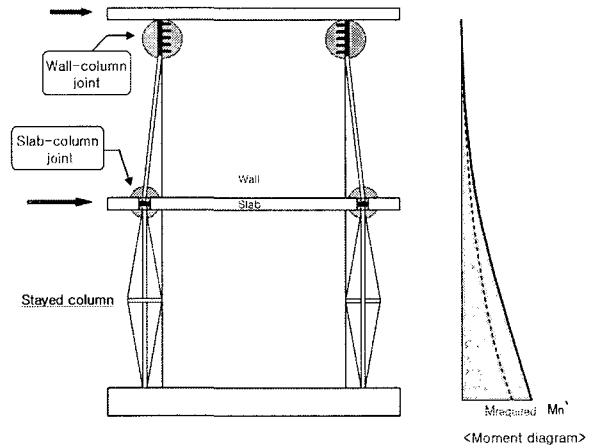


그림 4 벽체보강모델 및 개념

5. stayed column의 설계 및 예시

1) 기존 구조물의 성능평가

벽체에 반복하중을 가하여 파괴강도와 에너지 소산능력을 알아본다. 휨파괴가 먼저 일어난다면 강도를 높임으로써 내진보강을 하고, 전단파괴가 먼저 일어난다면 인성을 보강해준다. 대부분의 벽체는 전단에 강하므로 휨파괴가 일어나는 것으로 가정하고 강도보강에 주안점을 두었다. 여기서 보강시 요구되는 내진성능에 따라 기둥의 좌굴강도 및 인장강도를 정한다.

2) 실험변수 연구

철골기둥의 경우 인장강도가 좌굴강도에 비해 훨씬 크므로 좌굴강도에 따라 기둥의 크기가 결정된다. 좌굴강도에서 가운데 기둥의 크기를 결정하면 stay의 크기와 crossarm의 길이관계를 예상해보고 적당한 크기를 결정하도록 한다. (그림 5)

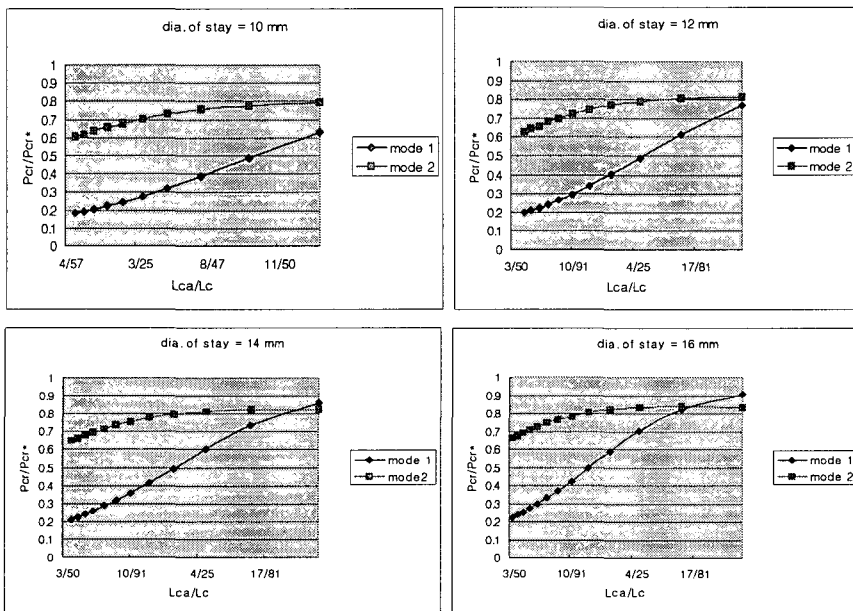


그림 5 stay지름에 따른 좌굴하중과 crossarm길이 관계

3) pretension값 및 가력방법 연구

pretension값은 기존 연구논문에 따라 결정하였는데 가장 효율적인 pretension값은 좌굴하중의 약 5%정도의 크기로 예상된다. 실제 제작에 있어서 가장 중요한 것이 stay 가력과 측정하는 방법의 고안인데 실험에서는 그림 6과 같이 crossarm을 나사로 돌려내 stay에 pretension을 주었다. pretension의 크기는 crossarm의 늘어난 길이와 철골기둥의 strain값을 통해 간접적으로 계측하였다. (표 1)

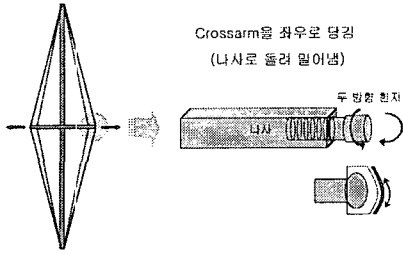


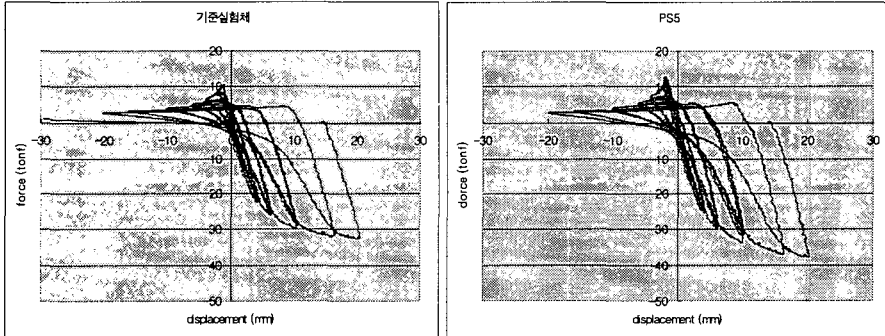
그림 6 pretension 가력장치 고안

표 1 pretension 크기 및 계측 예상치

	crossarm길이 (mm)	T _{opt} (kN)	늘려줄 길이 (mm)	strain 1	strain 2
PG5	120	12.5	8.58	0.000258	0.0000333
PG6	100	12.5	13.36	0.000259	0.0000277
PS5	120	9.5	6.71	0.000196	0.0000251
PS5	100	9.5	11.26	0.000197	0.0000210

6. stayed column의 에너지 소산능력

일반적인 철골기둥이 좌굴 후 급격히 파괴되는 것과는 달리 stayed column은 좌굴이 기둥자체의 파괴보다는 crossarm의 파괴를 유도하고 stay에 pretension이 기둥을 계속 잡아주므로 좌굴 후 연성도가 기대된다. 또한 stay가 횡력에 유리하게 작용하는 점을 감안하면 좌굴하중의 증대 이외에도 에너지 소산능력의 증대가 있을 것으로 예상된다. 이는 건물의 내진보강에 크게 기여할 것으로 보인다.



7. 결론

pretensioned stayed column의 성질과 내진보강에 기여하는 바는 다음과 같다.

- 1) crossarm과 pretensioned stay가 기둥의 유효좌굴길이를 줄여주는 효과를 가져오고 이는 좌굴하중의 증가로 나타난다.
- 2) 일반적인 철골기둥이 좌굴 후에 급격히 파괴되는 것과는 달리 stayed column은 연성도를 가지는 것으로 보이며 따라서 반복하중에 더욱 유리하다.
- 3) stayed column은 건물에 강도증진형 내진보강을 할 수 있으며, 이를 위해서는 벽체와 기둥의 일체형 거동이 가장 중요할 것으로 예상되며 이는 건식공법으로서 시공성 또한 매우 뛰어날 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. Raymond J. Smith, "Buckling of a single-crossarm stayed column", Journal of the structural division, ASCE, vol. 103, pp. 837-851, 1975
2. Hisham H. Hafez, "Pretensioning of single-crossarm stayed columns", Journal of the structural division, ASCE, vol. 105, pp. 359-375, 1979
3. Kevin c. Wong, "Stayed column with initial imperfection", Journal of the structural division, ASCE, vol. 108, pp. 1623-1640, 1982
4. Erling A. Smith, "Behavior of columns with pretensioned stays", ASCE, 1985