

기존 철근콘크리트 벽체의 연성확보를 위한 내진보강 방안

Seismic Retrofit of Existing RC Walls for Ductility Enhancement

김 장 훈* 좌 동 훈**
Kim, Jang Hoon Jwa, Dong Hoon

ABSTRACT

A Seismic retrofit idea based on a first principle is proposed for existing RC walls under various level of axial loading. In application of the proposed retrofit method, designers can choose the size and shape of boundary elements of wall sections for a required level of ductility. For this axial load ratio, steel ratio, and strength of concrete and steel are considered as design parameters. In order to show the usage of the idea, several design charts are presented with an application example.

1. 서론

우리나라의 경제 발전과 함께 늘어나는 주택 수요를 충족시키기 위하여 철근콘크리트 벽식구조 아파트먼트의 건립은, "왜 반드시 벽식구조이어야 하는가?" 라는 질문은 현재로서는 덮어두고, 공동주택 건설에 있어서 하나의 경향이 되었으며 그 수는 날로 증가하고 있다. 또한 지진피해에 대하여 고조되고 있는 사회적 관심과 우려는 '벽체는 횡력에 대하여 강하다' 라는 막연한 기대하에, 물론 내진설계기준에 따라서, 설계되고 지어진 벽식구조 벽체의 내진성능에 대한 재고를 요구하고 있다. 특히 벽식구조 아파트먼트가 주거형태의 주류를 형성하고 있는 우리나라 현재의 상황에서는 기존 벽체의 내진성능 향상을 위한 보강방안이 절실히 필요하다고 하겠다. 요구되는 보강방안은 결과의 예측이 가능하고, 또한 시공 가능한 것이어야 하겠다.

기존의 철근콘크리트 벽식구조 아파트먼트 벽체는 대개 150~200mm 두께에 최소철근을 사용하여 D10 철근을 200~300mm 중심간 간격으로 벽체단면내 양면으로 배근하여 수평 및 수직철근비가 각각 0.18%~0.25% 정도인 것으로 보고되었다.⁽¹⁾ 벽체단면의 양쪽 단부 보강을 위하여는, ACI 318-99⁽²⁾가 나오기 이전이므로, 특별한 규정없이 대개 4-D13, 6-D16 또는 6-D19 정도의 수직철근을 양단부에 추가하고 있는 것으로 보고되었다.⁽¹⁾ 단부보강 수평철근은 대개 대한주택공사⁽³⁾의 배근상세를 따라서 U형철근을 사용하여 단부를 막거나 띠철근의 형태로 일상적인 수평철근의 간격으로 배근하는 실정이다.

* 정희원, 아주대학교 환경도시공학부 조교수
** 정희원, 아주대학교 건축학과 석사과정

그러나 이러한 단부보강 상세는 이론적 근거없이 제안되어 사용되어 온 바이며, 콘크리트 벽체 내진성능 척도의 하나라고 할 수 있는 단부구속효과는 거의 무시할 정도라고 할 수 있다.⁽⁴⁾ 하지만 단부구속효과의 증진을 위하여서는 기둥의 내진상세에 준하는 정도의 간격으로 막힘 띠철근의 배근이 요구되므로 이를 건설사들이 수용할런지는 의문이다.

그러므로 본 논문에서는 벽체 단부의 구속을 통한 연성확보 보다는 벽체 압축단부 단면증가를 통한 연성확보 방안을 제안한다. 이 보강방법의 특징은 시공시 slab을 관통하는 철근을 추가할 필요가 없으므로 기존에 제안된 다른 내진보강 방법들보다 시공이 간편한 점이다. 또한 메카니즘에 의한 이론적 접근으로 단면증가의 양 및 형상을 구조적, 건축적 소요대로 조정할 수 있다는 점이다. 또한 벽체의 축력비, 철근비 및 콘크리트 강도, 철근 강도등의 영향을 포함할 수 있으며, 궁극적으로는 벽체의 거동을 힘-변위 관계에서 예측할 수 있는 가능성에 의미를 부여하고자 한다.

2. 벽체단부 보강 메카니즘

중력방향 하중 및 지진에 의한 횡하중이 작용하는 콘크리트 벽체의 면내 힘에 대한 거동을 철근콘크리트 캔틸레버 기둥과 같이 간주할 수 있다는 것은 이미 알려진 바이다.⁽⁵⁾ 따라서 극한상태에서 면내 힘에 대한 벽체 단면의 해석모델은 그림 1과 같이 구할 수 있다. 이 때 벽체의 수직철근은 벽체 단면의 길이를 따라 등분포하게 배근되었고, 중립축을 중심으로 압축 또는 인장으로 항복하였으며 단면의 축방향 변형율은 단면의 길이를 따라 선형으로 분포되었다고 가정하였다.⁽⁶⁾ 그 결과 힘의 평형 조건을 이용하여 벽체 단면 전체길이에 대한 중립축 깊이의 비 c/L 을 다음과 같이 구하여진다.

$$\frac{c}{L} = \frac{P/f'_c A_g + \rho_t f_y / f'_c}{\alpha\beta + 2 \rho_t f_y / f'_c} \quad (1)$$

여기서 f'_c 및 f_y 는 각각 콘크리트의 압축강도 및 철근의 항복강도이고 A_g 는 벽체 전체단면적, ρ_t 는 벽체단면적에 대한 전체 수직철근 단면적의 비이다. 또한 α , β 는 압축축 콘크리트 사각형 응력블럭 계수로서 콘크리트 강도 및 압축축 최대 변형율의 함수이다. 벽체의 연성확보에 대하여 그림 1에서 암시하는 바는 벽체 단면의 곡률이 $\phi = \epsilon_{cu}/c$ 이므로 중립축 깊이 c 를 줄일 수 있는 방안이 강구되어야 하는 것이다. 식(1)로부터 c 를 줄이는 방안을 생각하면 축력비를 줄이거나 벽체 전체의 철근량을 늘이는 것을 생각해 볼 수 있지만 이는 이미 건설되어 사용중인 벽체에 대하여 실행가능하지 않다. 또한 벽체단부의 수직철근이나 보강물의 추가를 생각해 볼 수 있지만, 그림 1에서 암시하는 바와 같이 압축축 보강물과 인장축 보강물은 힘의 평형상 서로 상쇄되어 중립축 깊이 c 를 줄이는데 기여하지 못하고 다만 모멘트강도를 증진시킬 수 있을 뿐이며, 기존 벽체단부에 인장보강물을 추가하는 것 역시 쉽지 않은 노릇이다. 그러므로 메카니즘상으로 효과를 기대할 수 있으면서 동시에 시공가능한 보강방법은 압축단부의 보강이라고 할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 압축단부의 보강방안 및 이에 대한 추가적인 해석모델은 그림 2와 같다. 즉 그림 2의 해석모델은 그림 1의 해석모델에 겹쳐서 (overlapping) 생각하여야 한다. 그러므로 벽체를 그림 2와 같이 보강한 후 벽체단면 전체길이에 대한 중립축 깊이의 비 c_r/L 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{c_r}{L} = \frac{P/f'_c A_g + \rho_t f_y / f'_c}{\alpha\beta(1+mk) + 2 \rho_t f_y / f'_c} \quad (2)$$

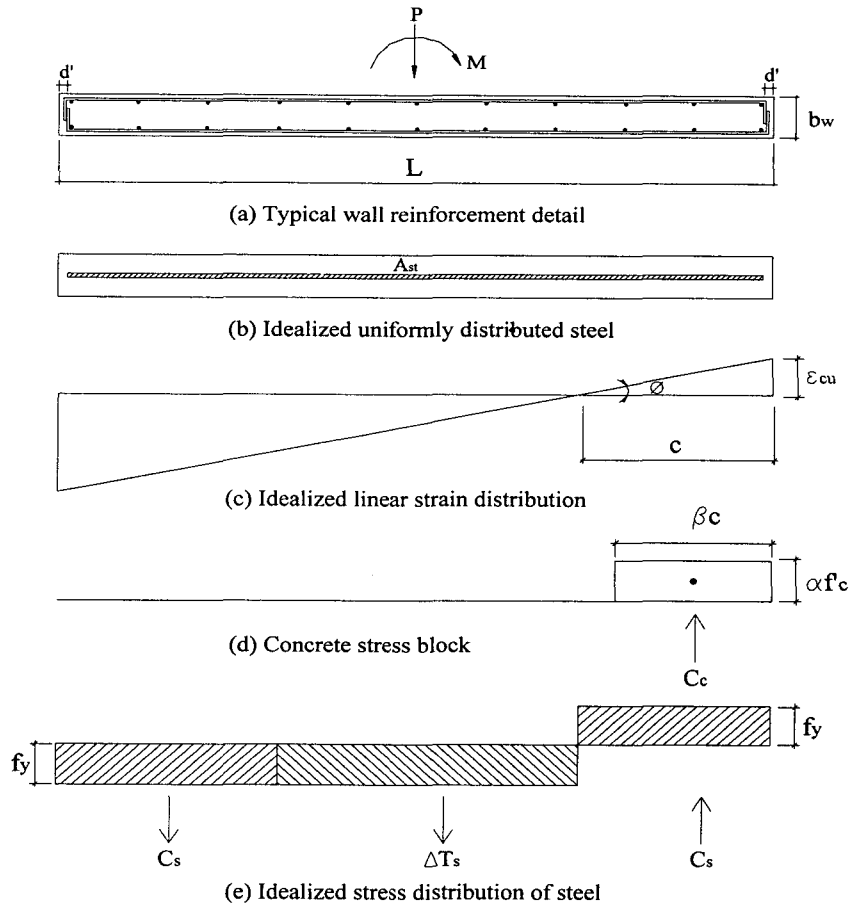


그림 1 극한상태 면내 휨에 대한 벽체 단면 해석모델⁽⁶⁾

여기서

c_r 은 보강된 벽체의 중립축 깊이이고, m 및 k 는 그림 2에서 보이듯이 각각 사각형 응력블럭의 깊이에 대한 보강부 길이의 비 및 벽체 두께에 대한 보강부 두께의 비를 의미한다. 효율적인 보강을 위하여는 보강부가 항상 압축부내에 있어야 하며 이는 $m \leq 1.0$ 일 것을 요한다. 그러므로 설계자는 원하는 중립축 깊이(즉 연성비)를 선정하고, 이에 따른 적절한 m 및 k 의 값을 정하면 된다. 식 (2)에 의한 압축단부 보강설계를 위하여 몇가지 설계변수(재료 및 단면치수)에 대한 c_r/L 과 mk 의 관계를 그래프로 나타내면 그림 3과 같다. 이를 위하여 α 및 β 는 ACI에서 제안하는 값을 사용하였다. 그림 3으로부터 mk 값이 결정된 후 보강부의 형상을 위하여 m 및 k 의 값을 정함에 있어서 설계자는 건축적 측면을 고려할 수 있다. 즉 그림 4는 mk 가 정하여진 후 m 및 k 각각의 가능한 값을 보여주고 있다. 본 논문에서 제안된 방법은 ACI 318-99⁽²⁾에서 제시한 중립축 깊이내 c/L 이나 벽체단부의 경계부재(Boundary Elements)를 구하는 방법에 비하여 월등히 많은 설계변수를 고려하면서도 사용하기 쉬운 방법이라고 할 수 있다.

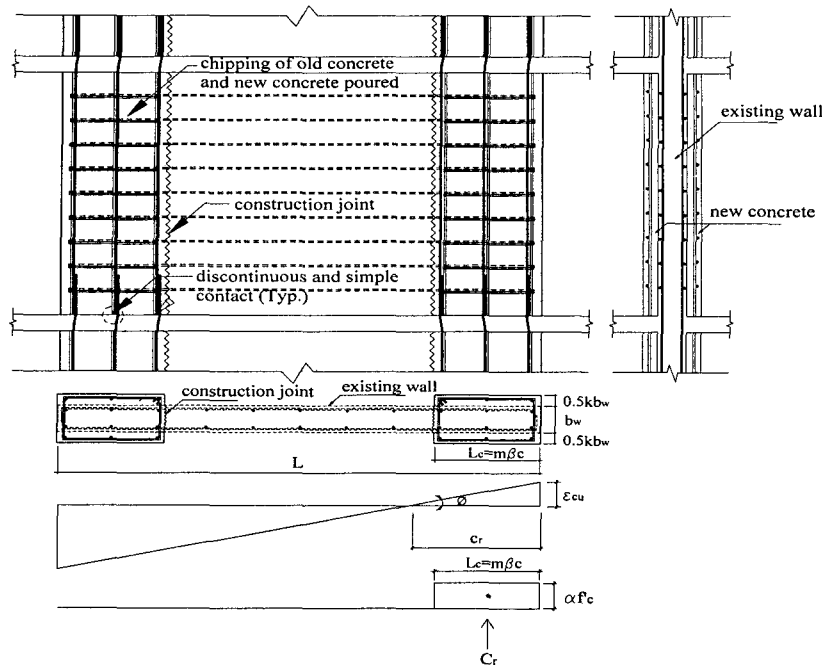


그림 2 보강된 벽체의 해석모델 추가부분

3. 적용예제

지금까지 제시한 보강방안을 보다 쉽게 이해하기 위하여 벽체의 길이 $L=6000\text{mm}$, 두께 $b_w=200\text{mm}$ 인 벽체를 예로 들어 보강범위를 고려해 보기로 한다. 이 벽체에 사용된 철근의 항복강도 $f_y=400\text{MPa}$, 콘크리트의 압축강도는 $f'_c=20\text{MPa}$ 라고 하자. 그러면 $f_y/f'_c=20$ 이 되고, 축력비 $P/f'_c A_g=0.2$, 철근비를 $\rho_t=0.003(0.3\%)$ 일 때, 벽체단부를 $mk=0.75$ 만큼 보강했을 경우 그림 3으로부터 c_r/L 은 0.19정도가 됨을 알 수 있다. 동일한 벽체에서 보강을 안 했을 경우($mk=0$)의 $c/L=0.31$ 보다 c_r/L 의 범위가 약 39% 정도로 줄어들었다. 만약에 벽체단부를 $0.5\beta c_r$ 만큼 보강한다면 $m=0.5$ 가 되고 그림 4로부터 k 값은 1.5가 된다. 그러므로 이 예제에서 벽체단부의 보강범위는 $L_c=480\text{mm}$ 가 되고, 벽체 두께 $0.5k b_w=150\text{mm}$ 가 됨을 알 수 있다. 물론 적절한 m 및 k 의 값은 설계자가 선정할 수 있다. 즉, c_r/L 과 m 및 k 의 값의 선정은 건축적 측면을 고려하여 해야 할 것이다.

4. 결론 및 추후연구

본 논문에서는 아파트 벽식구조에서 압축단부 보강에 의하여 압축영역(c/L)을 줄임으로써 변형능

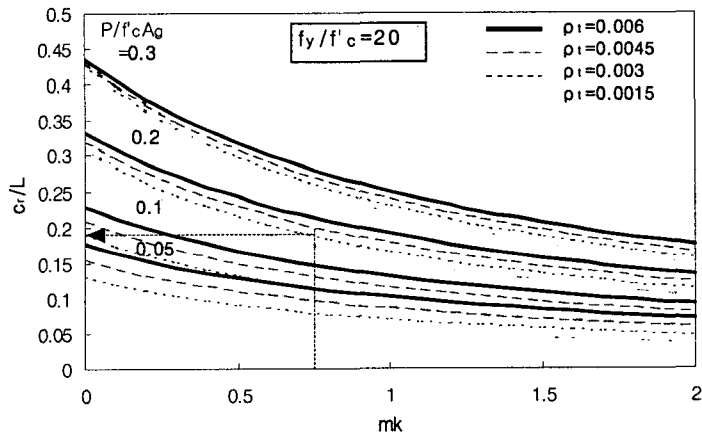
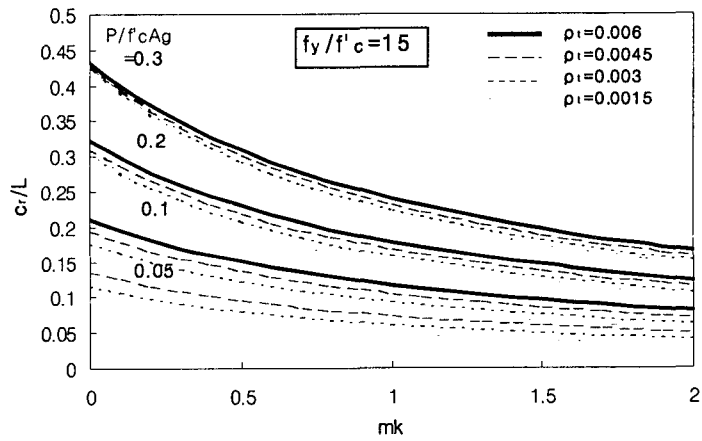
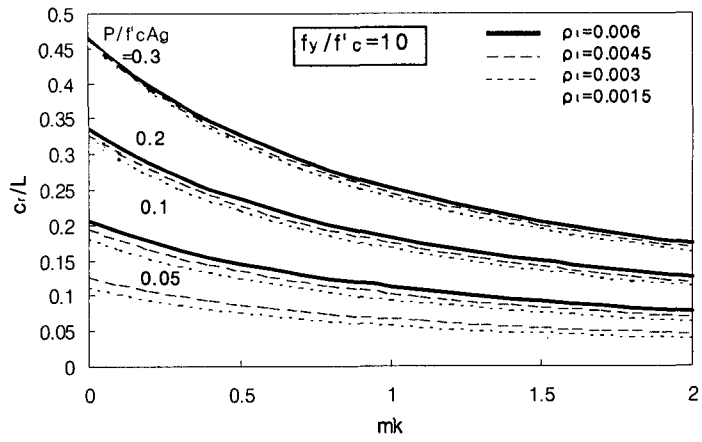


그림 3 압축 단부 보강된 벽체의 압축영역비

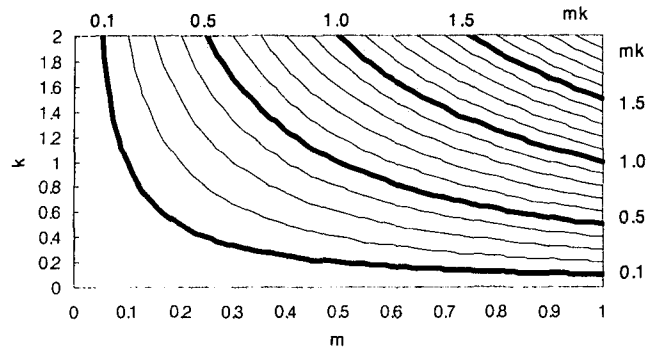


그림 4 압축 단부 보강부의 형상결정 계수

력의 향상을 가져올 수 있는 방안과 보강된 크기 및 형상에 따른 c_r/L 범위를 결정할 수 있는 설계도 표(Design Aid)에 관하여 생각해 보았다. c_r/L 은 보강된 크기, 즉 mk 값이 증가할수록 줄어드는 양상을 보였다. 이러한 결과는 벽체의 단면에서 압축축을 보강함으로써 연성의 확보를 가능하게 할 수 있다는 것을 보여 주는 것이며, 특히 앞에서 제시한 보강 Detail에서는 보강 구조체가 압축에만 힘을 발휘하도록 설계되어지므로 보강공사시 보강부분의 콘크리트만 떼어내고 새로운 콘크리트만 채워 넣으면 된다는 장점을 갖고 있으며, 보강 철근은 압축만을 부담하기 때문에 슬래브를 관통하여 이어지는 작업은 고려하지 않아도 된다는 또 하나의 장점도 갖고 있다. 본 연구에서는 강도에 대한 영향만을 고려하였는데 변형에 대한 고려도 포함하여야 하며, 궁극적으로는 휨-전단 상호작용의 영향도 포함하여야 한다. 또한 콘크리트외에 다른 재료를 사용한 보강방법도 연구되어야 하겠다.

감사의 글

본 논문은 1999년 한국과학재단의 특정기초연구비 지원에 의하여 연구되었음을 밝히며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김지현, *철근콘크리트 전단벽의 휨에 의한 압축영역 결정에 대한 연구*, 아주대학교 대학원 건축학과, 석사학위논문, 2000년 12월.
2. ACI 318-99, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, American Concrete Institute.
3. 대한주택공사, “철근콘크리트 구조 배근 표준화 및 설계편람”, 대한주택공사 주택연구소, 1992년.
4. 김장훈, 안상훈, “철근콘크리트 벽체 압축단부의 구속효과”, 콘크리트학회논문집, 2001년 11월.
5. Park, R. and Paulay, T., *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley & Sons, 1975.
6. 김장훈, 김지현, 박홍근, 홍성걸, “철근콘크리트 벽체의 극한상태 면내 휨에 대한 고려”, 콘크리트학회논문집, 제12권 1호, 2001년 5월, pp.515-520.