

철근콘크리트 벽체 압축단부의 구속효과

Confinement Effectiveness on Compressive Zone of RC Walls

김장훈*

Kim, Jang Hoon

안상훈**

Ahn, Sang Hoon

ABSTRACT

A great level of strength and deformability on compressive zone of RC wall is essentially required when subjected to high axial and in-plane lateral loading due to earthquakes. One of the best ways to handle this situation is to provide the confinement effectiveness to the compressive zone by reinforcing steel. For this a series of design charts were constructed to evaluate the confinement effectiveness for a given steel configuration in accordance with a well-known model and part of them are presented in this paper. Using the chart, designers can choose a desirable steel arrangement in flexural compressive zone of RC walls for a prescribed confinement factor.

1. 서론

우리나라의 철근콘크리트 벽식 아파트먼트의 벽체는 높은 형상비와 축력비로 인하여 지진과 같은 횡하중이 작용하면 벽체의 저층부에는 커다란 휨응력이 발생하게 된다. 또한 구조적 특성상 벽체의 높이나 길이에 비하여 그 두께가 상대적으로 얇기 때문에 벽체의 압축단부에는 축력과 휨으로 인하여 높은 압축응력이 발생하게 되고, 이로 말미암아 단부 콘크리트가 압괴될 수도 있으며 결과적으로 벽체 거동에 있어서 중요한 연성을 제한할 경우도 발생할 수도 있다. 콘크리트의 압괴를 막고 벽체의 연성 확보를 위하여 철골부재를 벽체의 양단부에 접합하는 방법이 제안되어 그 타당성이 실험적으로 입증된 사례도 보고 되었지만⁽¹⁾, 간과할 수 없는 면도 있다. 즉, 실험에 사용된 벽체의 형상비가 실제 벽체에 비하여 상대적으로 작으며, 철골부재의 층간 접합 상세가 벽식 아파트먼트 구조에 적합하게 충분히 검토되지 않은 것이 그것이다. 그러나 이는 벽식구조 아파트먼트에 사용되는 벽체의 구조적 특성을 파악하기 위하여 충분히 큰 모델에 대한 실험결과가 없는 현실을 감안할 때에 쉽게 해결될 수 없는 과제라고 생각된다.

그러므로, 본 논문에서는 벽체의 연성확보를 위하여 수평·수직철근에 의한 압축단부 콘크리트의 구속효과를 고려하고자 한다. 특히 횡구속효과에 영향을 미치는 설계변수들(재료의 강도 및 벽체 단면의 치수, 횡구속 부위의 치수, 수평·수직철근의 직경 및 배근간격 등)에 따른 구속효과를 그래프로 정리하여 벽체단부 설계시 고려하도록 하고자 한다. 본 논문에서는 설계변수의 모든 가능한 범위를 고려하지 못하였기 때문에 완성된 단계로 가는 중간과정이라고 할 수 있다.

* 정회원, 아주대학교 환경도시공학부 조교수

** 아주대학교 건축학과 석사과정

2. 벽체 단부의 횡구속효과

2.1. 이론적 배경

중력방향 하중이 작용하는 철근콘크리트 벽체에 바람이나 지진에 의한 횡하중이 작용하게 될 경우 벽체는 캔틸레버 기둥과 같이 거동하는 것으로 간주할 수 있음은 알려진 바이다.⁽²⁾ 높은 축하중이 작용하는 철근콘크리트 기둥에 횡하중에 의한 휨이 함께 작용하면 기둥 위험단면의 압축응력과 변형율은 횡구속철근에 의하여 일축압축시 콘크리트에 비하여 상당히 크게 진전될 수 있으며 이는 그림 1과 같다.⁽³⁾ 이 때 구속되지 않은 일축 압축 콘크리트 강도에 대한 횡구속된 콘크리트 강도의 비를 횡구속계수(confinement factor)라 하고 다음과 같이 나타내기로 한다.

$$K = f'_{cc} / f'_{co} \quad (1)$$

여기서 K 는 횡구속계수, f'_{cc} 는 횡구속된 콘크리트의 압축강도, f'_{co} 는 구속되지 않은 콘크리트의 일축압축강도이다. 횡구속된 콘크리트의 변형율 ϵ_{cc} 또한 K 의 함수로 나타낼 수 있다.⁽³⁾

철근콘크리트 단면에서 최대압축 변형율은 단면의 연성계수(Ductility Factor)의 계산에 이용되며, K 값이 주어지면 f'_{cc} 및 ϵ_{cc} 를 구할 수 있으므로 벽체 단부의 횡구속 상세설계를 수행할 수 있게 된다. 본 논문에서 횡구속계수 K 는 Mander 모델⁽³⁾에 의하여 구하게 되는데, 이 모델은 널리 알려져 사용되므로 여기에 다시 반복해서 소개하지 않는다.

2.2. 벽체단부의 횡구속

Mander 모델은 철근콘크리트 기둥을 염두에 두고 고안된 것이므로 벽체에 적용하기 위하여 약간의 수정을 가하였다. 즉, 유효 구속부(Effectively confined core)를 산정할 때에 중립축을 향한 면의 콘크리트는 떨어져 나가지 않고 남아서 하중전달을 할 수 있는 것으로 간주하였다. Mander 모델 중 사각기둥에 대한 구속효과 및 이를 벽체단부에 적용하였을 경우의 구속효과가 그림 2에서 보여진다. 그림에서 보이듯이 벽체단부의 구속모델이 Mander의 사각형 모델과 다른점은 사각기둥의 구속부(confined core)가 중립축에 의하여 압축부 및 인장부로 나뉘는 것에 비하여 벽체 단부의 구속부는 중립축으로부터 압축축에 치우쳐 있으므로 모든 부분이 압축응력에 놓이게 된다는 것이다. 그러므로 벽체 압축연단으로부터 중립축까지의 거리, 즉 중립축 깊이의 예측이 중요하며 이의 산정은 다른 논문에서 다루고 있다.⁽⁴⁾⁽⁵⁾

2.3. 벽체 단부 횡구속효과의 의미

벽체단부 보강상세를 통한 횡구속효과는 두가지 측면에서 벽체의 면내거동에 유리한 영향을 미친다. 첫째는 구속부 콘크리트 강도를 증진시킴으로 중립축 깊이를 감소시키고, 이로 말미암아 벽체 위험단면의 변형능력, 즉 연성도를 향상시킨다. 이는 벽체 단면의 축방향 변형율 분포도의 $\phi = \epsilon_{cu}/c$

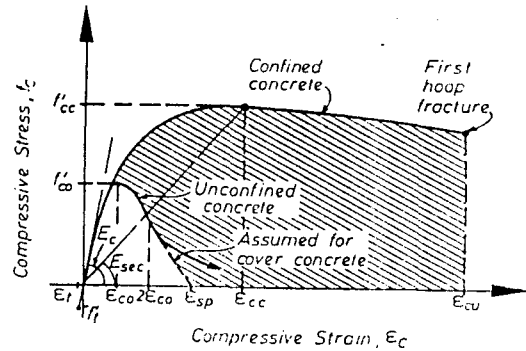
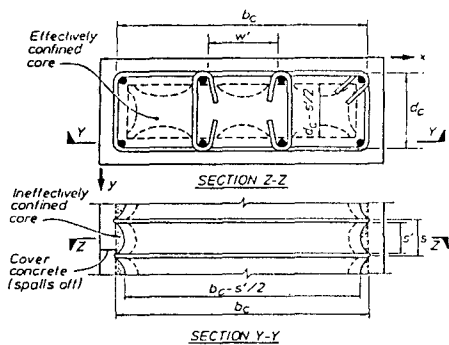
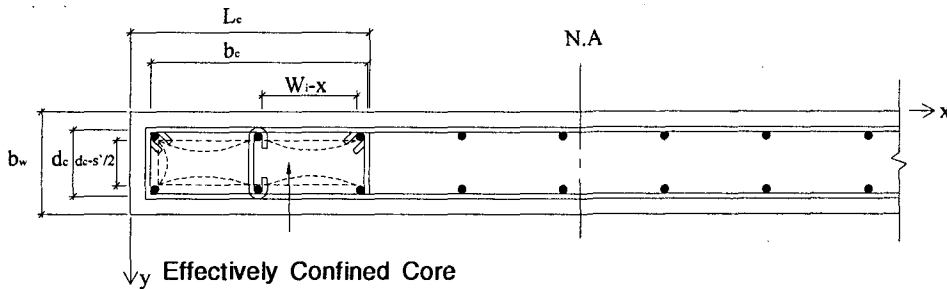


그림 1 콘크리트 응력-변형율 곡선⁽³⁾

의 관계로부터 유추할 수 있다. 여기서 ϕ 는 벽체 위협단면 곡률이고, ϵ_{cu} 는 벽체 단면 압축연단의 변형률 그리고 c 는 중립축 깊이이다. 둘째는 구속부 콘크리트의 변형률 ϵ_{cu} 를 증가시킴으로 곡률 ϕ 의 증가를 가져오고, 결과적으로 연성도의 향상을 가져올 수 있다. 하지만, 단부구속을 통하여 얻은 이러한 유리한 측면들이 어느정도로 벽체전체의 거동에 영향을 줄지는 쉽게 단정지을 수 없다. 예를 들어, 장방형 벽체의 길이가 긴 경우, 단부구속 길이가 300 mm 라고 하면, 이는 벽체 길이의 1/30 ~ 1/20 정도에 해당하며, 이 정도 범위에 속하는 콘크리트의 강도가 횡구속에 의하여 1.5배 상승하였다더라도 과연 중립축 깊이를 어느 정도까지 줄일 수 있으며, 유효한 압축 연단 변형율이 어느 정도까지 유지될 수 있는지 의문이다. 이를 위한 연구가 요구된다.



(a) Mander Model



(b) 벽체 단부의 횡구속

그림 2 철근에 의한 단변의 횡구속

3. 단부보강 설계도표

횡구속 계수 K 를 결정하기 위하여 고려하여야 하는 설계변수에는 콘크리트 및 철근의 강도, 벽체 단면 및 횡구속 부위의 치수, 수평·수직철근의 직경 및 배근 간격 등이 있다. 이 변수들과 횡구속계수 K 의 관계를 정리하면 K 를 수평 보강철근의 간격 s , 수직 보강철근의 간격 w_{i-x} 에 대하여 나타낼 수 있으며 그림 3 및 4와 같다. 그림에서 ρ_{cc} 는 구속부 콘크리트 면적에 대한 수직 보강철근

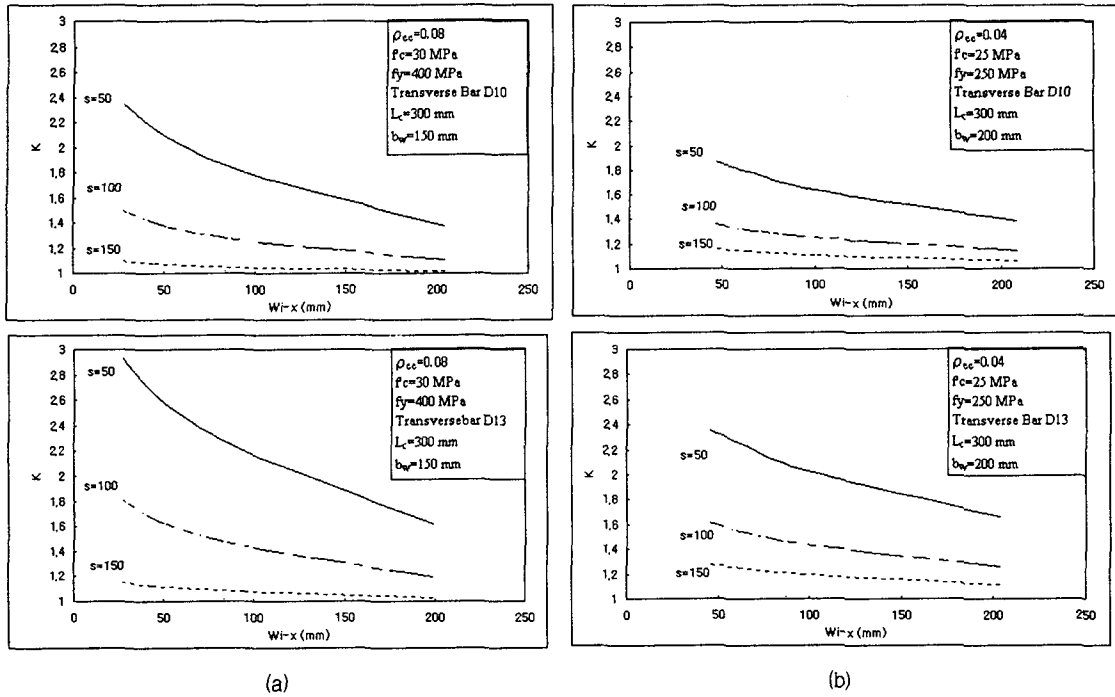


그림 3 수직철근 간격에 따른 횡구속 계수의 변화를 나타내는 설계도표

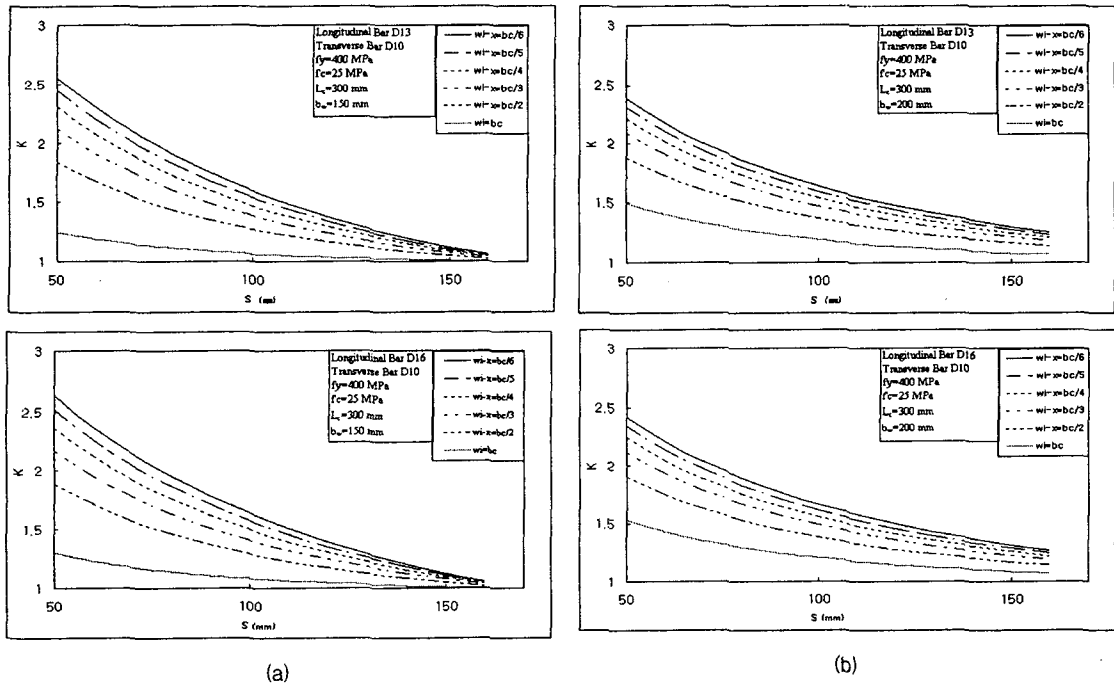


그림 4 수평철근의 간격에 따른 횡구속 계수의 변화를 나타내는 설계도표

단면적의 비이며, b_c 및 d_c 는 그림 2(a)의 Mander 모델에서 보여진 바와 같다.

설계도표에서 수평철근, 수직철근의 지름이 증가할수록, 횡구속 계수 K 가 증가하는 경향을 볼 수 있다. 그 중에서 수평철근 지름의 영향이 수직철근 지름의 증가에 대한 영향보다 훨씬 큼을 알 수 있다. 특히, 수평철근의 간격(s)이 증가할수록 횡구속 계수 K 의 값이 감소하는 경향을 볼 수 있는데, 대체로 $s=150$ mm 이하에서는 구속효과가 매우 적어짐을 알 수 있다. 또, 철근의 강도가 증가할수록, 콘크리트의 강도가 감소할수록 횡구속 계수 K 가 증가함을 유추할 수 있다.

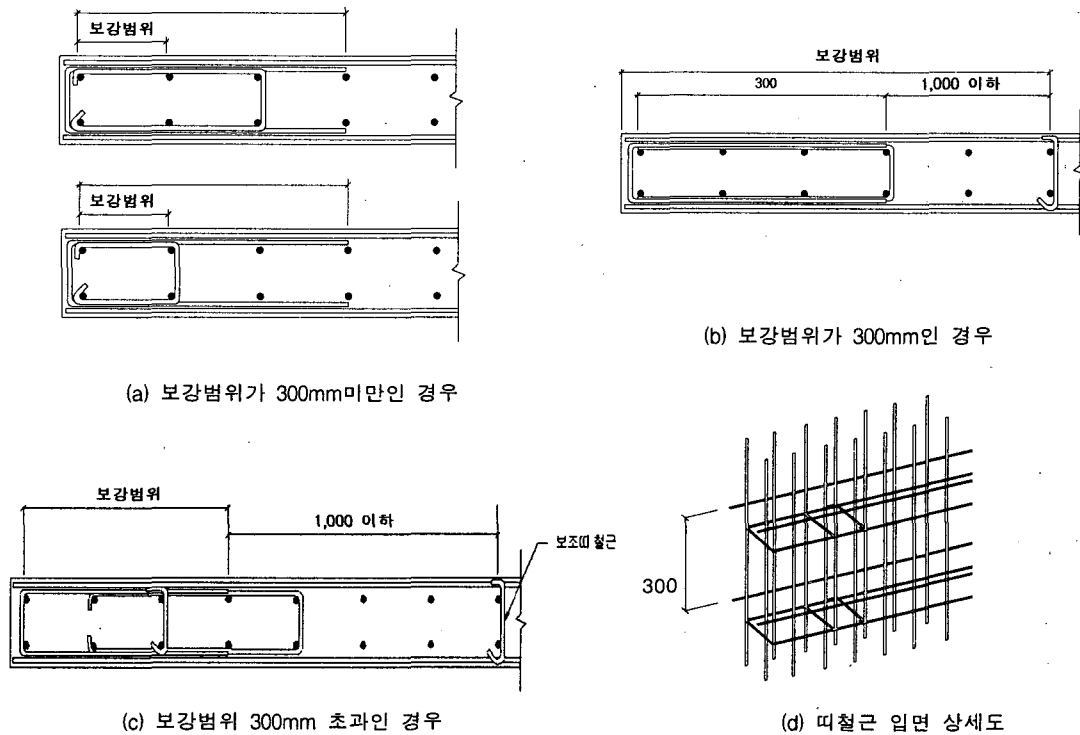


그림 5 기존의 아파트먼트 전단벽의 보강상세⁽⁸⁾

4. 기존 벽체 단부 보강 상세의 평가.

기존 아파트먼트 전단벽의 보강방침은 300 mm 를 기준으로 나눌 수 있다. 무엇보다도 그림 5와 같이 수평철근의 간격이 300 mm 를 상용화하고 있는데, 이는 앞의 설계도표에서 제시된 바에 의하면, 구속효과를 거의 볼 수 없음을 알 수 있다. 그림 3, 4에 적용하면, $s=160$ mm 이상인 면에서는 횡구속 계수 K 는 거의 1과 같은 수이므로, 현재의 구속효과는 거의 의미가 없다고 볼 수 있다. 또한, 그림 5 (a)의 구속단부 디테일에서 보듯이, 그림 2의 Mander Model과 비교했을 때, 수평철근이 갈고리에 의하여 정착되지 않아 구속효과가 사실상 기대하기 힘들다. 또한, 제시된 설계도표에서 우리나라 아파트

먼트의 횡구속 계수 K 를 최대 약 1.1까지 평가할 수 있다고 보더라도, 이는 벽체단부의 구속영역만을 고려하여 구한 것이므로 실제 벽체부의 경우보다 더 낮은 효과를 본다고 볼 수 있다.

해외규준의 경우를 살펴보면, ACI 318-99에서는 일반적으로 지진하중을 고려한 기둥의 설계에 있어서 수평철근의 간격을 특수 골조 상세의 경우에는 길이방향 철근의 6배 이하, 일반골조 상세의 경우에는 수직철근 지름의 8배 이하가 되도록 규정되어 있으며⁽⁶⁾, 뉴질랜드의 NZS 3101에서는 수직철근 지름의 6배 이하로 제한하고 있다.⁽⁷⁾ 즉, 횡방향 구속계수가 대체적으로 $1 < K < 2$ 정도로 되도록 규정하고 있다고 볼 수 있다.

5. 결론

벽체 단부 구속효과를 산정하기 위하여 Mander Model을 이용하여 작성한 설계도표는 설계시에 단순히 수평·수직철근의 간격으로부터 횡구속 계수 K 를 구하여 벽체단부 설계에 적용할 수 있도록 하였다. 이 설계도표에서 우리나라 아파트먼트의 현재 사용되는 배근상태로부터 횡구속 계수를 고려했을 때, 구속효과가 거의 없었음을 알 수 있었다. 이는 수평철근 간격이 300 mm 이상으로서 매우 큰 사실과 또한 후크(hook)의 디테일에서 45도나 90도 절곡을 하지 않은 이유에서 기인한다. 또한 벽체 단부의 횡구속 효과를 높일 수 있는 상세를 건설현장에 적용성 여부는 현재상황으로 보아서 미지수이다.

감사의 글

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

참고문헌

1. Cho, Soon-Ho, "Structural Steel as Boundary Elements in Ductile Concrete Walls", KCI Concrete Journal, Vol.12 NO.2 July 2000, pp73-84.
2. Park, R. and Paulay, T., *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley & Sons, 1975.
3. Mander, J.B., Priestley, M.J.N. and Park, R., "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", Journal of Structural Engineering", Vol. 114, No 8, August, 1988.
4. 김장훈, 김지현, 박홍근, 홍성길, "철근콘크리트 벽체의 극한상태 면내 휨에 대한 고려", 콘크리트 학술 발표회 논문집, 제12권 1호, 2001년 5월, pp.515-520.
5. 김장훈, 좌동훈, "기존 철근콘크리트 벽체의 연성확보를 위한 내진보강 방안", 콘크리트 학회 논문집, 2001년 11월.
6. ACI 318-99, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, American Concrete Institute.
7. NZS 3101, *Concrete Structures Standard*, New Zealand Standard.
8. 대한주택공사, *철근콘크리트 구조 배근 표준화 및 설계편람*, 대한주택공사 연구소, 1992.