

긴 플랜지 폭을 갖는 T자형 철근콘크리트 벽체

T-Shaped RC Wall with Wide Flange

김 성 원* 박 홍 군**
Kim, Sung Won Park, Hong Gun

ABSTRACT

A numerical study is performed to investigate behavioral characteristics of T-shaped RC wall that is frequently used for the wall-slab structure system. This study provides design methods to address shear lag and to prevent early failure due to cracking and crushing.

1. 서론

국내에서 흔히 사용되는 장방향 평면의 벽식아파트에서는 일반적으로 단방향의 벽량에 비해 장방향의 벽량이 적다(그림 1). 따라서 장방향 횡하중에 대한 구조체의 안정성을 위하여 주요한 횡력지지 구조 부재인 T형 벽체의 충분한 강도 및 연성도가 확보되어야 한다. 그러나 현재의 내진설계기준과 철근콘크리트 계산기준에는 T형 벽체의 거동특성을 반영한 강도 및 연성도 확보를 위한 구체적인 설계 방안이 마련되어 있지 않다.

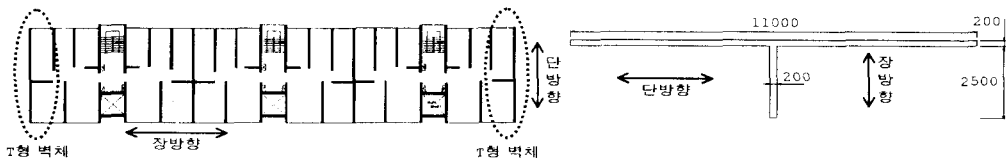


그림 1 장방향 벽식아파트의 평면과 T형 벽체

2. T형 벽체의 거동특성

T형 벽체의 설계는 일반적인 휨-압축력의 설계방식을 따르고 있다. 그러나 그림 2에 나타난 바와 같이 긴 플랜지를 갖는 T형 벽체의 거동특성은 예상 거동특성과는 차이를 보일 수 있다. 긴 플랜지로 인한 전단지연(Shear lag)현상으로 강도와 강성이 저하되며 그림 2의 (a)와 같이 플랜지가 인장을 받는 경우(이하 FIT)에는 플랜지의 균열모멘트가 극한모멘트보다 오히려 클 수 있으며 웨브의 국부좌굴 및 조기압축파괴로 인하여 연성거동을 기대하기 어렵다. 또한 (b)와 같이 플랜지가 압축을 받는 경우(이하 FIC)에는 웨브의 조기균열로 조기강성이 크게 저하되는 현상이 발생할 수 있다.

* 정희원, 서울대학교 건축학과 석사과정

** 정희원, 서울대학교 건축학과 교수

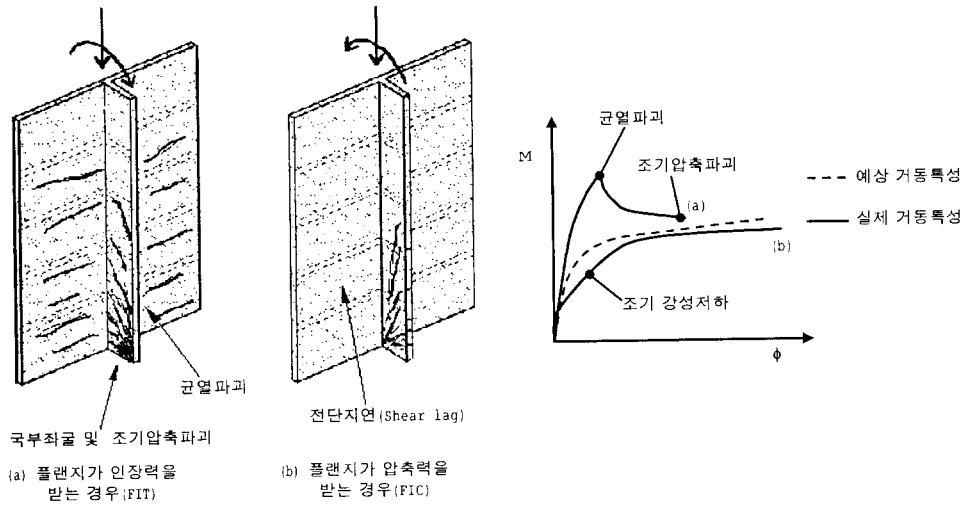


그림 2 T형 벽체의 거동

3. 해석 연구

해석 연구를 위하여 이전의 연구⁽¹⁾에서 개발된 해석 프로그램을 사용한다. 해석 연구의 대상인 T형 벽체의 크기 및 특성이 그림 1과 표 1에 나타나 있다. 그림 3에서는 강도설계에 따른 벽체의 상호관계 곡선이 나타나 있고 그림 4에서는 강도설계에 따른 거동이 횡력모멘트-변위 곡선으로 나타나 있다.

표 1 대상 벽체의 강도설계

압축력	$0.0611A_g \cdot f_c' = 3,960\text{kN}$	층고	2.7m
장방향 모멘트하중	$9,000\text{kN}\cdot\text{m}$	벽체 높이	40.5m (15층)
단방향 모멘트하중	$47,000\text{kN}\cdot\text{m}$	최상층 변위 요구량	52.32cm
웹 단부의 철근비*	5.3% (보강길이=85cm)	FIT의 곡률 요구량	0.000055327
플랜지 단부의 철근비*	1.8% (보강길이=65cm)	FIC의 곡률 요구량	0.000045205

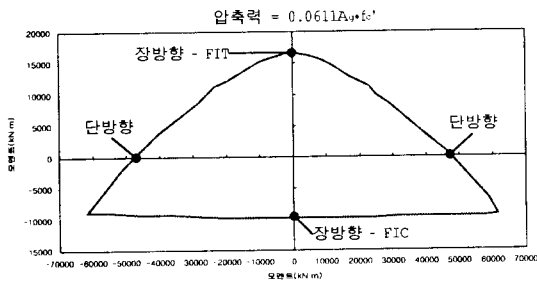


그림 3 강도설계에 따른 상호관계 곡선

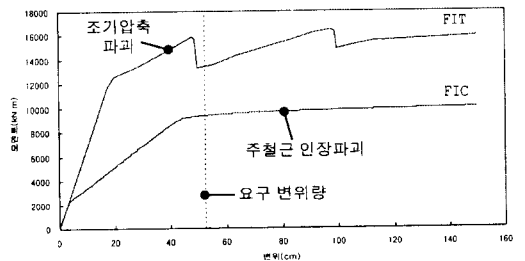


그림 4 강도설계에 따른 거동

* 웹과 플랜지 나머지 부분의 철근비는 0.25%

3.1 전단지연

일반적인 구조해석방법과 설계방법에서는 부재의 휨변형 시 평면 가정을 사용하므로 T형 벽체의 플랜지와 같이 전단지연이 일어나는 현상을 고려할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 전단지연 현상을 고려할 수 있는 3차원 해석결과와 고려할 수 없는 2차원 해석결과를 비교하여 전단지연이 부재의 강도에 미치는 영향을 연구한다.

그림 5 및 그림 6은 압축력의 크기와 벽체 높이의 변화에 따른 전단지연 효과가 강도에 미치는 영향을 나타내고 있다. FIC의 경우에는 벽체의 높이가 플랜지 폭의 2배 이상 될 경우 압축력의 크기에 상관없이 2차원 강도가 3차원 강도보다 10% 정도 크다. 그리고 FIT의 경우는 FIC의 경우보다는 불규칙적으로 분포되어 있지만 벽체의 높이가 플랜지 폭의 2배 이상 될 경우에는 대체적으로 FIC의 경우보다 비 값이 1에 가깝다. 즉, 두 경우 모두 벽체의 높이가 플랜지 폭의 2배 이상이면 전단지연에 의한 강도의 차이가 10%미만임을 알 수 있다. 따라서 벽체의 높이가 플랜지 폭의 2배 이상일 경우에는 플랜지 폭의 전체를 유효폭으로 보아도 무방하다. 하지만 벽체의 높이가 플랜지 폭의 2배가 안될 경우에는 전단지연에 의한 강도저하를 15~25%정도 반영하여야 한다.

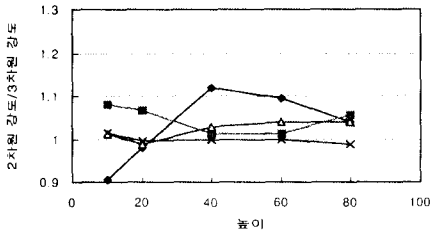


그림 5 FIT 경우 2차원과 3차원의 강도비

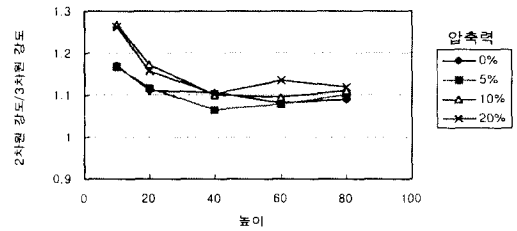


그림 6 FIC 경우 2차원과 3차원의 강도비

다른 연구에서도 본 연구결과와 비슷한 결과를 나타내고 있다. ACI에서는 벽체의 높이가 플랜지 폭의 2배가 넘는 경우, Paulay와 Priestley⁽³⁾의 논문에서는 높이가 플랜지 폭보다 클 경우, 그리고 He와 Priestley⁽⁴⁾의 실험에 따른 보고서에서는 높이가 플랜지 폭의 2/3배가 넘으면 플랜지 전체가 유효한 것으로 보고 있다.

3.2 균열에 의한 파괴

압축력이 작은 저층아파트의 경우, FIT에서 인장을 받아 균열이 발생하게 되는 플랜지는 폭이 매우 크므로 큰 휨 강성과 균열강도를 갖는다. 지진하중 재하시 큰 강성에 의해 벽체에 과도한 휨력이 재하될 수 있으나 설계극한강도가 균열강도보다 작아서 부재의 연성도를 확보할 수 없으므로 조기파괴에 이를 수 있다. 그림 7은 플랜지에 최소 수직철근을 배근하였을 경우 벽체의 거동을 나타낸 것으로 인장균열에 의한 취성파괴가 발생하며 연성도는 확보되지 않는다.

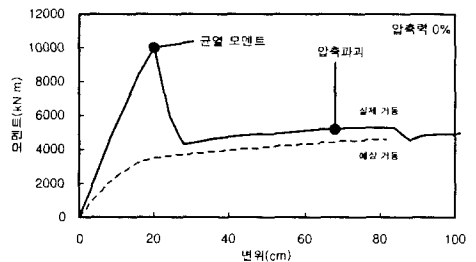


그림 7 최소 수직철근 배근시 거동

일반적인 휨부재의 설계방식을 따르면 극한강도가 균열강도보다 크도록 최소 수직철근비를 규정하고 있다. 이와 같이 T형 벽체의 설계시에도 벽체의 조기균열파괴를 방지하기 위해서는 극한강도가 균열강도를 초과하도록 플랜지의 최소 수직철근비를 유지하여야 한다.

3.3 웨브의 조기압축파괴

FIT의 경우 웨브에 과도한 압축력이 발생하면 웨브의 단부는 조기압축파괴 또는 좌굴이 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해서 웨브의 횡보강이 필요하다. 최근 Wallace⁽²⁾ 등의 연구에 따라 변위제어설계법이 개발되어 구조체의 연성도 요구량을 벽체설계에 반영할 수 있다. 이 방법에 따라 보강된 웨브의 단면이 그림 10에 나타나 있으며 횡보강 전과 후의 벽체의 거동이 그림 8에 비교되어 있다.

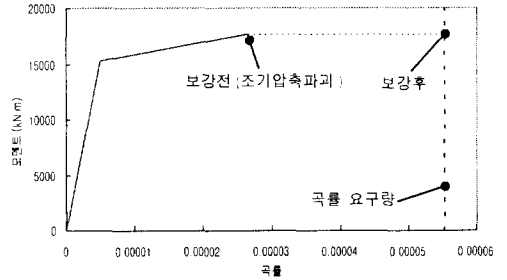


그림 8 웨브 단부의 횡보강 전과 후의 거동 비교

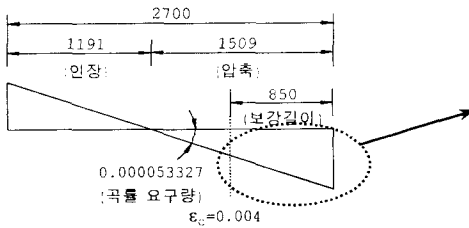


그림 9 웨브의 변형도 분포

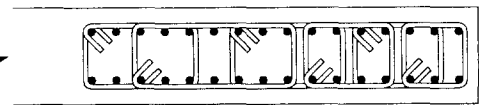


그림 10 웨브 단부의 횡보강

4. 결론

- (1) 벽체의 높이가 플랜지 폭의 2배 이상이 될 때에는 전단지연의 영향이 강도에 10%미만의 차이를 나타낸다. 즉, 플랜지 폭 전체를 유효폭으로 보아도 무방하다. 그러나 벽체 높이가 플랜지 폭의 2배 이하일 때는 15~25%의 강도저하를 반영해야 한다.
- (2) 압축력이 작고 플랜지가 인장을 받을 경우 플랜지에 균열에 의하여 취성파괴가 발생할 수 있다. 이러한 현상을 방지하기 위해 플랜지의 최소 수직철근비를 증가시켜야 한다.
- (3) T형 벽체의 웨브는 구조체의 연성도 요구량을 반영하여 변위제어설계법에 의해서 횡보강 길이 및 양을 산출하여 연성도를 확보하여야 한다.

5. 참고문헌

- (1) Park, H.(1995), "Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Planar Members Using Rotating Orthotropic Axes Model", 한국전산구조공학회, 8권 4호, pp 117~127
- (2) Wallace, J. W. and Moehle, J. P. (1992), "Seismic Design of RC Structural Walls Part I : New Code Format", Journal of Structural Engineering, ASCE, 121(1), pp 75~87
- (3) Paulay, T. and Priestley, M. J. N. (1991), "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings", John Wiley and Sons, New York
- (4) He, L. and Priestley, M. J. N. (1992), "Seismic Behavior of Flanged Masonry Walls", Structural Systems Research Project, Report No. SSRP-92/09, Department of Applied Mechanics and Engineering Sciences, University of California, San Diego, California