

철근 콘크리트 전단벽의 변형성능 평가

Displacement Evaluation on the Reinforced Concrete Shear Wall

김정식* 최윤철** 서수연*** 이리형****
Jeong-Sik Kim Yun-Cheul Choi Soo-Yeon Seo Li-Hyung Lee

ABSTRACT

Recently, a concern to verify the displacement capacity of shear wall has been arisen to produce suitable data for the performance based design. In this paper, a process is presented to evaluate the displacement capacity of shear wall. The displacement of shear wall is expressed as the superposition of shear and flexural deformation. Variable crack angle truss model with a modification and existing analysis program(XTRACT) are used in calculating shear and flexural displacement, respectively. The accuracy of proposed method is evaluated by the comparison calculation results with previous test results. From the comparison, it was shown that the displacement capacity of shear wall could be well predicted by using the process.

1. 서론

현재 국내 주거형태로서 큰 비중을 차지하고 있는 아파트는 대부분 벽식구조이며, 아파트내 구조벽체는 최소 수직철근과 수평철근이 배근된 상태에서 외부하중을 지지할 수 있도록 설계된 전단벽이라 할 수 있다. 부재의 변형성능에 대한 정확한 평가는 현재 새로운 설계법으로 제시되고 있는 성능설계법의 체계화를 위해서 반드시 필요한 부분으로서 이에 관한 지속적인 연구가 요망되고 있는 상황이다. 특히 전단벽의 경우에는 현재까지 그 거동특성 및 강도 등에 대한 연구가 다수 진행되었으나 변형능력 규명에 관한 연구는 아직 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 수평하중을 받는 철근 콘크리트 전단벽의 변형성능을 평가할 수 있는 방법을 구축하고자 한다. 전단벽에 횡력이 작용할 경우, 그 변형의 형태는 전단변형과 휨변형의 조합된 형태로 나타나게 된다. 본 연구에서는 전단벽의 변형을 전단변형과 휨변형으로 구분하고 전단변형의 경우에는 변환각 트러스 모델로 표현하고, 휨변형의 경우에는 단면의 휨이론으로 나타내고자 한다. 특히, 전단스팬비에 따라 달리 나타나는 전단벽의 거동특성을 고

* 정회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 한양대학교 건축공학과 박사과정

*** 정회원, 충주대학교 건축공학과 교수

**** 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수

려하여 전단변형을 산정할 수 있는 방법을 구축하고 제안된 방법의 효용성을 평가하기 위하여 기존연구자들에 의한 실험결과와 계산된 결과를 비교하고자 한다.

2. 트러스 모델 개념을 이용한 전단변형의 산정

2.1 Truss action과 Arch action

전단스팬비가 1~2범위에 해당하는 전단벽은 전단변형과 휨변형이 동시에 발생하게 된다. 따라서 전단벽의 전체변형은 독립된 전단변형과 휨변형의 중첩된 형태로 표현될 수 있다. 이중 전단변형의 경우에는 변환각 트러스 모델의 개념을 이용하여 산정할 수 있다. Paulay 등¹⁾에 의하여 제시된 변환각 트러스 모델의 전단거동기구는 Truss action과 Arch action으로서 다음과 같다.

전단력의 대부분은 스테럽에 의해서 한 지점으로부터 나머지 지점으로 전달된다. 스테럽은 경사 콘크리트 스테럽과 함께 트러스를 구성하는데 그림 1은 이러한 트러스를 보여준다. 이중 그림 2처럼 경사 스테럽의 경우 균일한 단면으로 치환이 가능하며 전체 전단력 V_s 중 한 개의 요소력 S 에 의해서 발생하는 변형은 그림 3으로부터 구할 수가 있다.

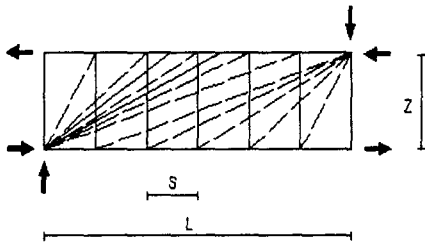


그림 1 트러스의 구성

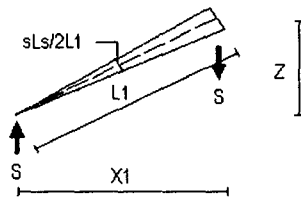


그림 2 경사 스테럽

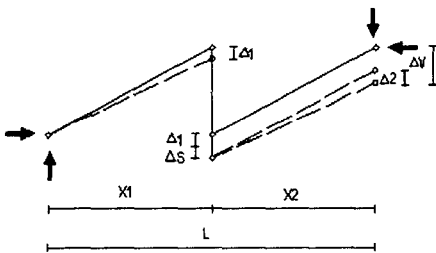


그림 3 트러스의 변형

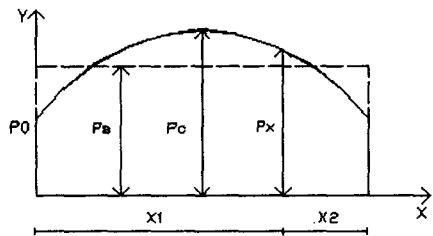


그림 4 전단보강근의 힘분배

$$\Delta 1 = \frac{2Sl_1^4}{sbE_c l_s^3} \quad \Delta S = \frac{Sl_s}{sbE_c n \rho_w} \quad \Delta 2 = \frac{2Sl_2^4}{sbE_c l_s^3} \quad (1)$$

$$\Delta V = \frac{2Sl_s}{sbE_c} \left[\left(1 + \frac{x_1^2}{l_s^2}\right)^2 + \left(1 + \frac{x_2^2}{l_s^2}\right)^2 + \frac{1}{2n\rho_w} \right] \quad (2)$$

여기서, S : 스테럽의 힘, s : 전단보강근의 간격, $l_s = Z$: 모멘트 팔길이, ρ_w : 웨브 보강근의 철근비

스테럽의 힘이 스패에 따라서 변할 때 변형적합 조건에 의하여 모든 Linkage들의 수직변위는 같아야 하므로 그림 4에서 보여지듯이 포물선의 힘으로 가정한다. 적합 조건을 만족시키기 위해서 임의의 2개의 Linkage를 선택하고 각각의 수직 전단변위를 구한 다음 그 값들을 비교하면 식(3)을 얻을 수 있다.

$$P_0 = \frac{3P_s}{1 + 2\frac{P_c}{P_0}} \quad \theta_v = \frac{\Delta V}{l} = \frac{6\eta P \left[1 + (1 + \nu^2)^2 + \frac{1}{2n\rho_w} \right]}{vblE_c \left(1 + 2\frac{P_c}{P_0} \right)} \quad (3)$$

여기서, P_0 , P_c , P_s : 단위길이당 스테럽이 지지하는 힘의 최소값, 최대값, 평균값
 ν : l/s , η : 스테럽에 의해 지지되는 전단력/전체하중

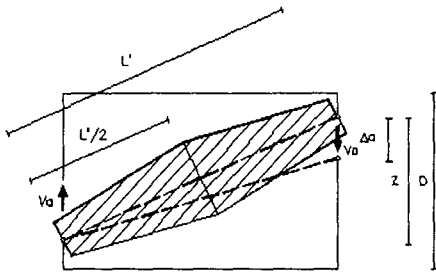


그림 5 Arch action

$$\Delta a = \frac{4(l^2 + Z^2)^2 V_u}{Z^2 bl(3D - 2Z)E_c} \quad (4)$$

$$\theta_u = \frac{\Delta a}{l} = \frac{4(1 + \nu_1^2)^2 V_u}{b \left(\frac{l}{Z} \right)^2 (3D - 2Z) E_c} \quad (5)$$

여기서, $V_u = P - V_s$

트러스 매커니즘에 의해서 전달되지 않는 전단력은 Single Diagonal Strut에 의해서 전달되는데 이를 Arch action이라 한다.(그림 5)

2.2 이상화된 Linkage

2.1의 이론은 변환각의 각도가 $20^\circ \sim 40^\circ$ 범주에 해당되는 경우 적합한 방법이지만²⁾, 변환각의 각도가 40° 를 초과하는 짧은 전단벽의 경우에는 단순히 몇 개의 Linkage에 의해 전단거동이 지배되지 않고 복부에 있는 많은 철근들이 전단에 기여하게 되므로 상기의 이론식은 적용상 한계가 있다. Hwang과 Lee^{3,4,5)}는 짧은 전단벽의 전단강도 예측에 관한 논문에서 이상화된 Tie의 형성에 대한 방법을 제시하

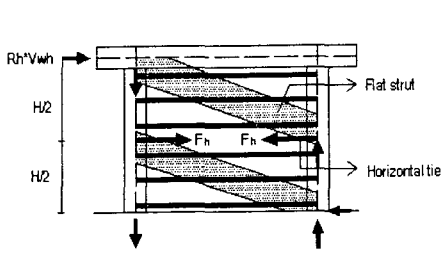


그림 6 Horizontal tie

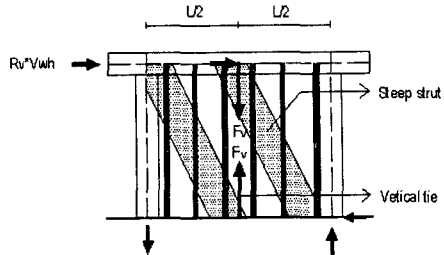


그림 7 Vertical tie

였는데, Horizontal tie는 수평보강근들로 구성되고 Vertical tie는 수직 보강근들로 구성되며 이때 벽체 중앙의 1/2구간이내 보강근들은 100%, 그 외 보강근들은 50%가 Tie로서 기여하는 것으로 보고하고 있다. 본 연구에서도 이러한 메커니즘을 이용하여 짧은 전단벽의 변형성능을 평가하였다. 그림 6과 7은 Tie의 메커니즘과 형성 방법을 나타낸 것이다.

3. 휨변형의 산정

벽체의 휨거동은 단면상의 휨성능에 근거하게 되며, 이러한 거동은 단순한 휨이론으로서 산정할 수 있다. Paulay¹⁾는 이러한 휨거동을 연결보(Coupling beam)에 대해서 단순휨에 의한 회전과 주근의 신장에 의한 휨회전으로서 설명하고 이를 근거로 한 변형을 산정하였으나, 많은 휨철근이 배근된 벽체의 경우에는 단면해석을 함으로써 휨변형을 쉽게 산정할 수 있다. 본 연구에서는, 벽체의 휨변형은 기존의 휨해석프로그램인 X-TRACT⁶⁾를 이용하여 단면해석을 실시하고 그 결과 나타난 모멘트-곡률관계로부터 전단벽의 휨변형을 산정하였다.

4. 트러스 모델의 타당성 검토

트러스 모델에 의한 해석 결과는 총 4개의 철근 콘크리트 전단벽의 실험 결과와 비교되었다. 실험자료는 Lefas와 Kotsovos⁷⁾가 수행한 실험을 사용하였으며 전단스팬비에 따라 Type I 과 Type II로 분류하였다. 실험체별 각각의 제원은 표 1과 같다. 변형능력의 예측 방법은 전단벽을 변환각 트러스 모델로 표현하여 내부 Linkage에 의해 예측하였다. 전단스팬비가 1인 Type I 실험체는 내부에 생기는 Linkage의 경사 스테럿 각도가 40°를 초과하는 짧은 전단벽으로서 이 경우에는 벽체내의 수평철근의 기여도가 높아지기 때문에 그림 6 및 7과 같이 이상화된 Linkage로서 모델링하였다.

그림 8~11은 대상 실험체들에 대한 해석결과를 나타낸다. 전체적으로 벽체의 전단스팬비에 상관없이 모든 실험체의 하중-변위곡선이 실험결과와 잘 일치되고 있음을 알 수 있다. 특히, 짧은 전단벽의 경우에도 실험결과가 해석결과와 유사한 것으로 나타나, 짧은 전단벽의 경우 전체 수평철근의 높은 기여도를 고려한 본 연구에서 적용한 방법이 적절함을 알 수 있다. 각 실험체들에 대하여 본 연구에서의 방법을 적용한 결과 전단벽의 전단변형에 대하여 수직철근이 미치는 영향은 미소한 것으로 나타났으며, 휨변위에서는 수평철근의 기여정도가 매우 작은 것으로 나타났다. 이는 짧은 전단벽의 경우에는 전단이 지배적이 되고 이 경우에는 수평철근의 기여도가 높으며, 전단스팬비가 큰 경우에는 휨거동이

전체거동을 지배하게 됨을 의미한다.

표 1 Lefas 실험체 제원

	실험체명	Width (mm)	Height (mm)	Thickness (mm)	수평철근비	수직철근비	콘크리트 압축강도(MPa)	전단스팬비
Type I	SW11	750	750	70	0.011	0.024	44.46	1
	SW17	750	750	70	0.003	0.024	41.06	
Type II	SW21	650	1300	65	0.008	0.025	36.38	2
	SW26	650	1300	65	0.004	0.025	25.59	

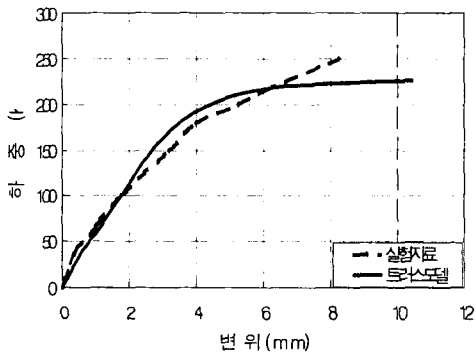


그림 8 SW 11 변위 비교

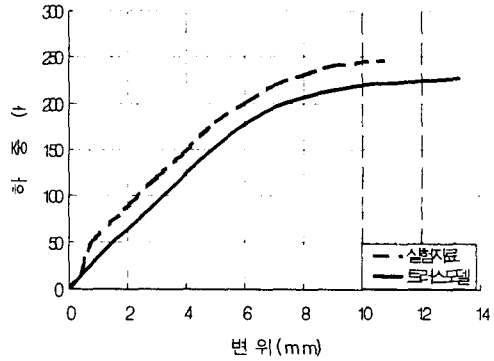


그림9 SW 17 변위 비교

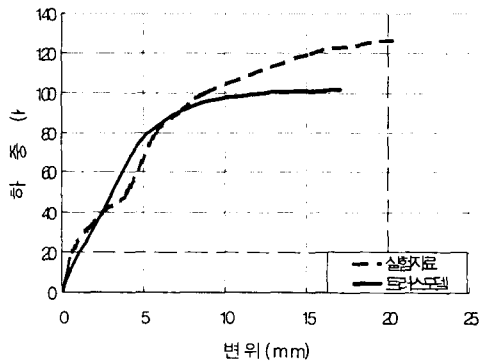


그림10 SW 21 변위 비교

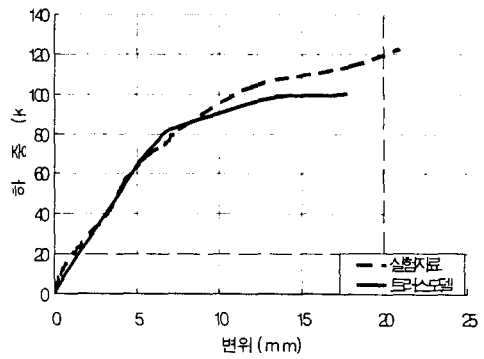


그림11 SW 26 변위 비교

4. 결론

철근 콘크리트 전단벽의 변형성능을 평가하고자 트러스모델 해석방법을 사용한 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 전단벽의 전단변형에 대하여 수직철근이 미치는 영향은 미소한 것으로 나타났으며, 휨변위에서는 수평철근의 기여정도가 매우 작은 것으로 나타났다.

- 2) 트러스 모델로 이상화하여 전단벽의 전단변형을 계산하고 단면의 휨성능에 기초하여 휨변형을 산정하는 방법으로서 전단벽의 변형성능을 적절하게 예측할 수 있는 것으로 나타났다.
- 3) 특히, 짧은 전단벽에서, 모든 수평철근의 전단변형에 대한 기여도가 높아지게 되는데, 이러한 현상을 고려하여 이상화된 Linkage를 이용할 경우, 그 변형성능이 효과적으로 예측될 수 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한양대학교 초대형구조시스템연구센터의 지원으로 이루어진 연구로 이에 감사를 드리며 또한 연구에 많은 조언을 해주신 아주대학교 김장훈 교수님께도 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. Thomas Paulay, "Coupling beams of reinforced concrete shear walls," Journal of the structural division, Proceedings of ASCE, March 1971, pp. 843~862.
2. 김장훈, "철근콘크리트 부재의 균열 후 강성이론," 콘크리트 학회지, 11권, 5호, pp.79~88.
3. Shyh-Jiann Hwang and Hung-jen Lee, "Analytical model for predicting shear strength of interior reinforced concrete beam-column joints for seismic resistance, ACI Structural Journal, V.97, No.1, January-February 2000, pp. 35~44.
4. Shyh-Jiann Hwang and Hung-jen Lee, "Analytical model for predicting shear strengths of Exterior reinforced concrete beam-column joints for seismic resistance, ACI Structural Journal, V.96, No.5, September-October 1999, pp. 846~857.
5. Shyh-Jiann Hwang, Wen-Hung Fang, Hung-Jen Lee and Hsin-Wan Yu, "Analytical model for predicting shear strength of squat wall," Journal of Structural Engineering, Jan. 2001, pp.43~50.
6. C. Chadwel, "UCFYBER : Cross Section Analysis Software for Structural Engineers," University of California, Berkeley, 1999.
7. Ioannis D. Lefas, Michael D. Kotsovos, and Nicholas N. Ambraseys, "Behavior of Reinforced Concrete Structural Walls: Strength, Deformation, Characteristics, and Failure Mechanism" ACI Structural Journal, Vol.87, No.3, January-February 1990, pp. 23~31.