

# 스트럿-타이 모델을 이용한 개구부를 갖는 전단벽의 전단 설계

## Shear Design of Reinforced Concrete Shear Walls with Openings using Strut-and-Tie Models

홍 성 곁\*                      장 상 기\*\*  
Hong, Sung Gul              Jang, Sang Ki

---

### ABSTRACT

This study proposes the design method of the shear walls with openings using strut-and-tie models. Strut-and-tie models are constructed for opening near the middle of the wall and for opening near a wall boundary. These enables an admissible load path for the horizontal earthquake force. These models consider the size and position of opening effectively. Each model is suitable for the seismic response corresponding with lateral forces in a given direction to be considered. The proposed models are good agreements with nonlinear finite element analysis(DIANA) results.

---

#### 1. 서론

철근 콘크리트 전단벽은 전체구조물에서 횡하중을 지지하는 요소로 사용되고 있다. 일부 전단벽의 경우 구조물의 기능상 개구부의 설치가 요구된다. 개구부의 크기가 상대적으로 크거나 비탄성 거동이 예상되는 임계영역에 개구부가 위치하는 경우에 개구부가 벽체에 미치는 영향에 대해 연구가 필요하다. 특히 전단이 지배적인 세장비가 작은 전단벽의 경우 개구부는 전단벽의 전반적인 거동 및 항복 이후 비탄성 거동에 대한 영향이 클 것으로 판단된다. 현재 기준에서는 개구부를 갖는 벽체에 대한 적절한 설계지침을 제시하지 못하고 있고, 이에 대한 연구 또한 적은 실정이다.

개구부가 있는 부분은 대표적인 응력교란구역으로 스트럿-타이 모델로서 배근 설계를 제시하고 있다. 그러나 스트럿-타이 모델은 하한계 이론으로 사용자가 어느 정도의 응력분포를 임의로 설정하므로 체계적인 배근 방향의 제시를 주저하고 있다. 이 연구는 이러한 전단벽의 전단력 전달 체계를 정형화하여 휨강도와 전단강도의 합리적인 배분 방법을 제시하고자 한다. 이러한 연구는 추후 개구부가 있는 전단벽 하부의 소성힌지의 변형 능력의 산정모형의 기반을 제시한다.

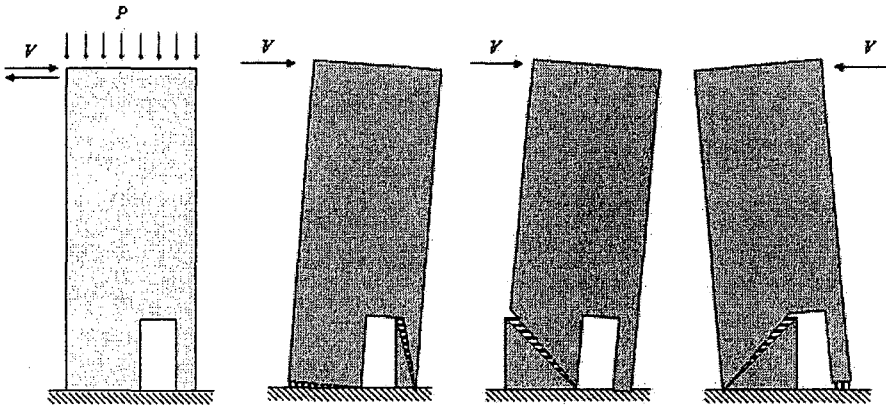
---

\* 정회원, 서울대학교 건축학과 부교수  
\*\* 정회원, 서울대학교 건축학과 박사과정

## 2. 파괴 메커니즘과 전단력 전달체계

전형적인 예로서 전단벽의 개구부는 대체로 건축적인 공간 요구조건에 따라 결정된다. 전단벽 하부에 위치한 개구부는 1층에 위치한다고 하자(그림 1 (a)). 개구부의 위치에 따라 비대칭과 대칭형으로 분류한다. 비대칭의 경우 상대적으로 폭이 큰 벽체 부분이 전단력에 저항하고 작은 폭의 전단벽은 압축 또는 인장에 저항하는 축부재로 간주할 수 있다. 폭이 넓은 전단벽에서 대각선 방향의 균열과 모멘트에 대하여 인장철근과 폭이 작은 전단벽에 압축력이 작용한다.

전형적인 예로서 비대칭으로 배치된 개구부가 있는 전단벽에 횡하중이 좌우로 작용한다고 하면 예상되는 파괴 메커니즘은 그림 1과 같다. 첫 번째로 그림 1(b)와 같이 휨 모멘트에 의해 발생하는 압축력에 의한 기둥의 압축 파괴가 있다. 압축부 기둥부의 단면이 작아서 압축력을 충분히 전달할 수 없거나 벽의 세장비가 커서 휨 모멘트 상대적으로 클 때 발생한다. 다음은 전단을 전달하는 폭이 큰 벽체의 스트럿 파괴이다. 이는 그림 1(c)와 그림 1(d)의 경우로 나누어 생각해야 한다. 그림 1(d)는 전단 전달 벽체가 압축측에 있는 경우의 파괴이고, 그림 1(c)는 인장측에 있는 경우이다. 일반적으로 스트럿이 인장측에 있는 경우에는 압축 강도가 떨어지게 된다. 따라서 양방향 지진하중을 고려하면 개구부에 의한 비대칭 벽체의 경우 압축측 기둥 파괴와 인장측 스트럿 파괴가 중요한 파괴 메커니즘이다.



(a) 개구부를 갖는 전단벽 (b) 압축측 기둥파괴 (c) 인장측 스트럿파괴 (d) 압축측 스트럿파괴

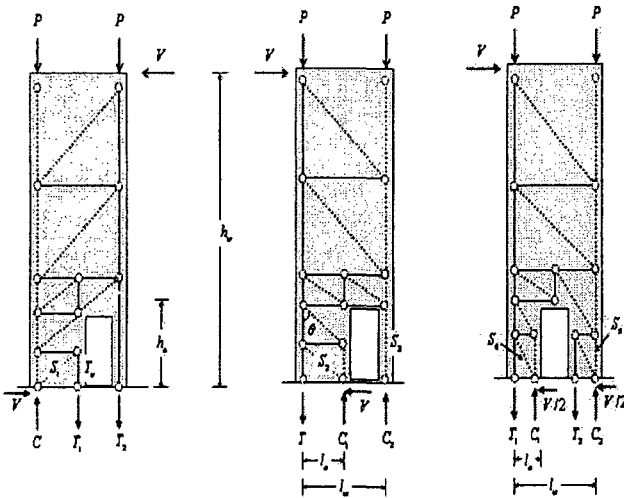
그림 1 개구부를 갖는 벽체의 붕괴 메커니즘

## 3. 전단요소의 전단 설계

개구부가 하부 주변에 배치되는 비대칭 벽체모델과 개구부가 하부 중앙부에 있는 대칭 벽체 모델로 구분하여 스트럿-타이 모델을 구성하였다. 개구부의 크기, 위치와 양방향 지진하중을 고려할 수 있는 모델을 제시하였다. 그림 2와 같이 각 힘의 크기는 개구부의 형상비와 관계된 스트럿의 각도  $\theta$ 에 의해 스트럿-타이 모델이 결정된다. 스트럿-타이 각 요소의 힘의 크기는 힘의 평형 조건을 이용하여 결정하였다. 표 1에 각 요소에 작용하는 힘의 크기를 정리하였다.

개구부이외의 벽체 상부에서는 수평 타이에 작용하는 힘에 대해 분포하여 배근하고, 개구부 주위 수평 철근은 전단력  $V$ 에 대하여 타이가 존재하는 위치에 집중하여 배치하고, 수직철근은  $T_v$ 에 대하여 설계하면 된다. 식 (7), (8), (16), (17)은 전단 스트럿과 압축 스트럿의 최대 강도를 제한하는 식이

다. 비대칭 개구부 벽체의 경우 전단 스트럿과 압축 스트럿의 강도는 그림 2(b) 모델에 의해 결정되고, 개구부 주위 수직 철근의 경우는 그림 2(a) 모델에 의해 결정된다. 그림 2에서 보듯이 비대칭 개구부의 스트럿  $S_3$ 의 단면이 작아서 휨 강도 확보에 불리한 면이 있다. 그림 3은 다이아나(DIANA 8.1)를 이용하여 재료 비선형 극한 해석결과이다. 가정된 스트럿-타이 모델이 극한 상태를 잘 나타냄을 확인할 수 있다.



(a) 비대칭 벽체모델 (부방향 하중)  
 (b) 비대칭 벽체모델 (정방향 하중) (c) 대칭 벽체모델  
 그림 2 개구부 위치와 가력 방향에 따른 스트럿-타이 설계 모델

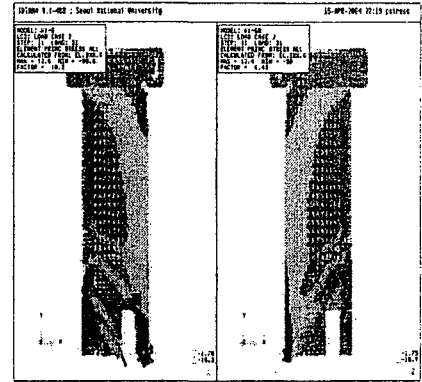


그림 3 스트럿-타이를 이용한 배근이후 주응력 분포

표 1 스트럿-타이 요소 결정

개구부 부재	비대칭 개구부 벽체	대칭 개구부 벽체
스트럿 각도	$\tan \theta = 2l_0 / h_0$ (1)	$\tan \theta = 2l_0 / h_0$ (9)
반력	$C_1 = V \cot \theta + V \cot \theta = 2V \cot \theta$ (2)	$C_1 = V \cot \theta / 2 + V \cot \theta / 2 = V \cot \theta$ (10)
	$C_2 = (l_w P + h_w V - l_0 C_1) / l_w$ (3)	$T_2 = V \cot \theta / 2$ (11)
	$T = 2V \cot \theta + (l_w P + h_w V - l_0 C_1) / l_w - 2P$ (4)	$C_2 = (l_w P + h_w V + T_2(l_w - l_0) - l_0 C_1) / l_w$ (12)
		$T_1 = C_1 + C_2 - T_2 - 2P$ (13)
수평 타이	$T_h = V$ (5)	$T_h = V$ (14)
수직 타이	$T_v = 2V \cot \theta$ (6)	$T_v = V \cot \theta / 2$ (15)
스트럿 강도	$S_2 = V / \sin \theta \leq 0.5h_0 t_w \times 0.85 \beta_s f'_c$ (7)	$S_4 = V / 2 \sin \theta \leq 0.5h_0 t_w \times 0.85 \beta_s f'_c$ (16)
	$S_3 = C_2 \leq A_{g-c} \times 0.85 \beta_s f'_c$ (8)	$S_3 = T_2 \leq A_{g-c} \times 0.85 \beta_s f'_c$ (17)

#### 4. 결론

스트럿-타이 모델을 이용하여 개구부를 갖는 비대칭, 대칭벽체에 대한 설계법을 제안하였다. 개구부 비대칭 벽체의 하부를 전단 전달 영역과 축력 전달 부분으로 분리하여 설계하는 개념을 제시하였고 개구부 대칭 벽체와의 거동 특성을 비교하였다. 스트럿 타이로 전단 설계된 벽체의 유한 요소 해석을 통해 제시한 설계법의 유효성을 검증하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 개구부의 위치와 크기에 따른 벽체의 전단 설계법을 제시하였다.
- 2) 비대칭 개구부 벽체의 경우 축력 전달 영역의 압축파괴와 인장축 전단 전달 영역의 사인장파괴가 주요 설계 대상이다.
- 3) 비대칭 개구부의 벽체는 축력 전달 영역의 단면이 대칭 개구부 벽체보다 작기 때문에 축력에 의한 압축 파괴의 위험이 크다.
- 4) 비탄성 비선형 유한 요소 해석을 통하여 제안한 전단 설계법으로 배근한 결과 예상한 스트럿과 타이 가 형성되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 설계법이 유효하다고 판단할 수 있다.

전단 설계에 있어서 스트럿의 강도를 중요한 설계 요소로 사용하였다. 스트럿의 강도는 주변부의 철근과 콘크리트의 변형률에 의해 결정된다. 따라서 변형과 강도에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지원, 지진공학센터(KEERC)의 연구비 지원에 의하여 이루어 졌음을 밝히며 지원에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

1. Taylor, C. P., Cote, P. A., and Wallace, W., "Design of Slender Reinforced Concrete Walls with Openings," ACI structural Journal, V. 95, NO. 4, 1998, pp. 420-433.
2. Paulay, T., Priestley, M. J. N., and Syngé, A. J., "Ductility in Earthquake Resisting Squat Shearwalls," ACI structural Journal, V. 79, NO. 4, 1982, pp. 257-269.
3. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-02/318R-02), American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, pp. 369-384.
4. Park, R., and Paulay, T., Reinforced Concrete Structures, John Wiley and Sons, 1972, pp. 634.
5. Paulay, T., and Priestley, M. J. N., Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building, John Wiley and Sons, 1972, pp. 486-488.
6. Englekirk, R. E., Seismic Design of Reinforced and Precast Concrete Buildings, John Wiley and Sons, 2003, pp. 788-794.