

설계변수에 따른 철근콘크리트 보의 전단강도 변화에 대한 실험연구

Experimental Study on Variation of Shear Strength of Reinforced Concrete Beams According to Design Parameters

오동현* 최경규** 박홍근***

Oh, Dong Hyun Choi, Kyung Kyu Park, Hong Gun

ABSTRACT

Experimental study is performed to investigate the variation of shear strength of reinforced concrete beams according to design parameters. The major parameters are loading condition, shear span-to-depth ratio, ratio of tensile longitudinal reinforcement, prestress and boundary rigidity. 14 reinforced concrete beams without web reinforcement are tested under monotonic downward loading. The shear strength of the tested specimens were compared with the prediction by design code and Choi's method.

1. 서론

철근콘크리트 보의 전단거동을 규명하기 위해서 많은 연구자들에 의하여 광범위한 실험연구가 수행되었다. 기존 실험연구결과에 따르면, 단순지지된 콘크리트 보의 전단강도는 콘크리트의 압축강도, 주인장철근비, 전단경간비, 크기효과 등의 주요변수에 의한 영향을 받으며 이러한 전단강도는 전단경간비 2.5를 기준으로 얇은 보와 깊은 보를 구분하여 전단파괴메커니즘이 연구되었다.

최경규와 박홍근은 철근콘크리트 보의 전단파괴는 콘크리트 압축대의 파괴와 밀접하게 관계된다는 점에 주목하였으며, 콘크리트의 재료파괴기준을 사용하여 콘크리트 보의 압축대의 인장 및 압축 파괴메커니즘을 규명하고 전단경간비에 따른 압축대 파괴메커니즘의 변화를 고려하여 세장한 보와 깊은 보에 일관되게 적용할 수 있는 통합전단강도모형을 제시하였다.

본 연구는 전단보강되지 않은 철근콘크리트 보에 대하여 하중조건, 단부지지조건, 주인장철근비, 전단경간비, 프리스트레스의 영향을 주요변수로 하여 제안된 통합전단강도모형의 유효성을 검토하고 개선방향을 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 시험체 계획

본 연구는 전단보강되지 않은 철근콘크리트 보의 전단거동을 파악하기 위한 연구로서 휨 파괴보다 전단파괴가 선행하도록 시험체를 계획하였다. 15×25cm의 동일한 단면치수에 대해 주요변수를 하중조건, 단부지지조건, 주인장철근비, 전단경간비, 프리스트레스의 영향으로 하여 총14개의 전단무보강 철근콘크리트 보 시험체가 제작되었다.

*정회원, 서울대학교 건축학과 석사과정

**정회원, University of Michigan 박사 후 연구원

***정회원, 서울대학교 건축학과 부교수

2.1.1. 기준 시험체(S1) 및 주인장철근비 시험체(R1)

기준 시험체는 경간 2250mm의 전단무보강 철근콘크리트 단순보로서 단면의 크기는 15×25cm로 하였고 콘크리트 압축강도는 27MPa를 사용하였다. 부재의 휨 성능을 향상시켜 전단파괴를 유도하기 위해 주인장철근은 항복강도 400MPa의 D22 이형철근을 주철근비 2%(2-D22)로 하여 1단 배근하였다. 정착을 확보하기 위해 양단부에 강판(15×10×1cm)을 설치하여 주인장철근에 용접하였고 지점에서의 파괴를 방지하기 위하여 보의 양 단부에 15cm의 여장을 두고 충분한 스티럽(4-D10)으로 보강하였다.

주인장철근비 시험체(R1)는 주인장철근비가 전단강도에 미치는 영향을 평가하기 위한 시험체로서 기준시험체와 동일한 단면 및 경간에서 주철근비를 3%(3-D22)로 하였다.

2.1.2. 프리스트레스 시험체(PS-series)

PS시리즈는 프리스트레스의 영향을 평가하기 위한 시험체로서 3개의 철근콘크리트 보가 제작되었다. PS1과 PS2는 S1과 동일한 단면의 시험체에 꺾인 직선형 텐던을 설치하였고 초기긴장력 영향을 평가하기 위하여 각각 0.8 f_{py} 와 0.6 f_{py} 의 긴장력이 도입하였다. PS3는 단면의 중앙부에 PS1과 동일한 초기긴장력을 도입한 직선형 텐던과 S1과 동일한 철근비의 주인장철근을 배근하여 프리스트레스에 의한 압축력의 영향을 평가하였다. 프리스트레스 텐던은 항복강도 1600MPa의 7연선 12.7mm(SWPC 7B)를 사용하였다.

2.1.3. 분포하중 시험체(L-series)

L시리즈는 분포하중의 영향을 평가하기 위한 시험체로서 S1과 동일한 단면과 철근비에서 보 상부에 4개의 하중판을 설치하고 3개의 가력보를 이용하여 4점 가력을 하였다. 또한 경간에 따른 영향을 분석하기 위하여 L2의 경간을 3000mm로 제작하였다.

2.1.4. 경계조건 시험체(BC-series)

BC-series는 단부지지조건에 따른 전단강도의 영향을 평가하기 위한 시험체로서 BC1은 S1과 동일한 단면과 배근형태에 양단에 기둥부를 설치하고 강봉과 볼트로 프레임에 연결하여 양단고정조건을 형성하였다. 또한 양단고정조건에서의 경간의 변화에 따른 전단강도의 영향을 파악하기 위하여 BC2와 BC3의 경간을 각각 3000mm와 1500mm로 제작하였으며 철근비의 영향을 파악하기 위하여 BC4는 BC1과 동일한 단면에 철근비를 3%로 증가시켰다.

2.1.5. 깊은보 시험체(D-series)

D-series는 전단경간비(a/d)가 2.5이하인 깊은보에 대하여 전단경간비의 변화가 전단강도에 미치는 영향을 평가하기 위한 시험체로서 S1과 동일한 단면과 철근비에 대해 전단경간비를 각각 1.25, 2.5, 2.0로 설정하였다.

2.2 가력 및 측정방법

시험체의 가력은 50ton 용량의 UTM을 이용하여 시험체 상부 중앙점을 기준으로 좌우 250mm의 위치에 5kN/min의 재하속도로 2점 가력하였고 L-series는 그림 1과 같이 4점 가력하였으며 균열 발생 이후부터는 변위제어 하였다. 시험체 가력면 상부에 가력판(150×150×30)을 매입하여 가력시 가력판의 위치변화를 방지하였으며, 지점과 지점판 사이에 두께 1cm의 고무판을 설치하여 재하시의 편심을 최소화하였다.

가력보는 스티프너로 보강된 H형강(H-150×150×7×10, SS400)을 제작하여 사용하였으며 L-series의 가력은 그림 2와 같이 롤러로 지지되는 세 개의 가력보를 조합하여 가력하였다.

BC-series는 시험체 양단의 기둥부를 각각 4개의 강봉(SS400)을 사용하여 프레임에 볼트 접합으로 고정시켰으며 그 외의 시험체는 단순지지 조건으로 설치하였다.

시험체의 하부 중앙점에 LVDT를 설치하여 중앙부의 처짐을 측정하였으며 각각의 주인장철근에 동일한 간격으로 3개의 스트레인이게이지를 부착하여 철근의 변형율을 측정하였다.

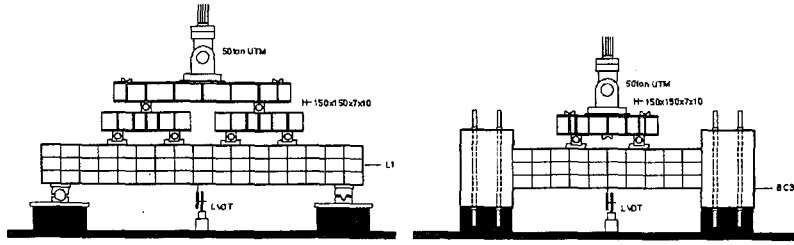


그림 1 시험체 가력상황

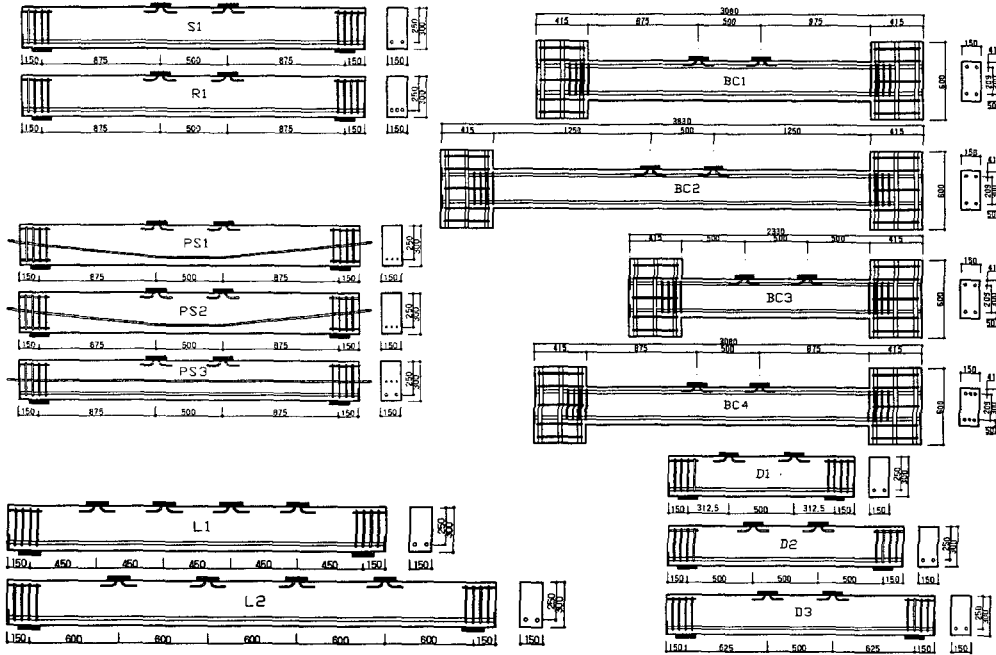


그림 2 시험체 형상 및 치수

3. 통합전단강도 모델

제안된 통합전단강도 모델에서 보의 전단강도는 콘크리트의 전단기여도와 전단철근의 전단기여도의 합으로 정의된다.

$$V_n = V_c + V_s \quad (1)$$

$$V_c = V_a + V_{ac} = \lambda_s \sqrt{f_t [f_t + \bar{\sigma}_{ac}]} b (c_e - c_c) + \sqrt{f_c} [f_c - \bar{\sigma}_{ac}] b c_c \quad (2)$$

$$V_s = \rho_v f_y b (d - 2c_d) \quad (3)$$

$\bar{\sigma}$ = 위험단면의 위치 $x_1 (=x_0 + h - c_e)$ 에서의 평균압축응력, $\bar{\sigma}_{ac}$ 와 $\bar{\sigma}_{ct}$ = 압축지배 전단파괴면과 인장지배 전단파괴면에 재하되는 평균압축응력, c_c = 압축지배 전단파괴면의 춤, x_0 = 위험단면과 관계되는 인장균열의 발생위치, λ_s = 크기효과계수, $j d_{x1}$ = 위험단면의 위치 x_1 에서의 모멘트 팔길이, c_e = 위험단면 x_1 에서의 압축대의 길이, $a_{x1} \varepsilon_o$ = 콘크리트 보의 전단파괴 순간에 해당하는 위험단면에서의 콘크리트 최대압축변형을. 각 변수는 다음과 같이 정의된다.

$$\bar{\sigma}_{ac} = \frac{c_e (d - c_e / 3)}{c_v j d} \frac{a}{x_0 + h - c_e} \bar{\sigma} \leq 0.85 f_c \quad (4a)$$

$$\sigma_d = 0 \quad (4b)$$

$$\frac{\sigma}{\sigma} = \frac{[f_r h^2 / (6x_o) + 0.05 \sqrt{f_c} d] (x_o + h - c_e)}{c_e \cdot j d_{x1}} \quad (4c)$$

$$c_c = [1 - 0.43 a/d] c_e \geq 0 \quad (5)$$

$$x_0 = 0.22 (a - 0.5d) \geq 0.12d \text{ for } a/d \leq 2.3 \quad (6a)$$

$$x_0 = 0.6a - d \text{ for } 2.3 < a/d \leq 5 \quad (6b)$$

$$x_0 = a - 3d \text{ for } a/d > 5 \quad (6c)$$

$$\lambda_s = 1.2 - 0.2 (a/d) d \geq 0.65 \quad (7)$$

$$j d_{x1} = (d - c_e / 3) \quad (8)$$

$$c_e = \frac{-\varepsilon_s E_s d (\rho_{vh} + \rho) + \sqrt{[\varepsilon_s E_s d (\rho_{vh} + \rho)]^2 + 2(1 - 1/3 a_{x1}) f_c \varepsilon_s E_s d^2 (\rho_{vh} + 2\rho)}}{(1 - 1/3 a_{x1}) f_c} \quad (9)$$

$$a_{x1} \varepsilon_o = \frac{2[f_r h^2 / (6x_o) + 0.05 \sqrt{f_c} d] (x_o + h - c_e)}{E_c c_e \cdot j d_{x1}} \quad (10)$$

h = 보의 깊이, d = 보의 유효깊이, b = 보의 폭, $\varepsilon_o (=0.002)$ = 콘크리트 압축강도에 해당하는 압축 변형율, $f_t [= 0.292 \sqrt{f_c} \text{ (MPa)}]$ = 콘크리트의 인장강도, $f_r [= 0.625 \sqrt{f_c} \text{ (MPa)}]$ = 콘크리트의 파괴계수, ρ = 주인장철근비, ρ_v = 수직보강근비, ρ_{vh} = 수평보강근비, E_c = 콘크리트의 탄성계수, E_s = 철근의 탄성계수.

3. 향후 계획

각 시험체의 파괴양상, 균열형태, 철근의 변형율, 처짐량과 하중의 측정을 통해 파괴메커니즘 및 전단 강도를 파악하여 제안된 통합전단강도모델을 통해 예측된 강도와 비교분석이 이루어질 예정이다. 제안된 모델은 전단무보강 및 전단보강된 얇은 보 및 깊은 보에 대해 일관되게 적용할 수 있는 통합전단 설계방법으로 주인장철근비 및 전단경간비에 따른 전단파괴메커니즘은 검증하고 있지만 다양한 하중 조건, 단부지지조건, 프리스트레스의 영향에 대한 검증은 이루어지지 않았다. 본 연구를 통해 제안된 모델의 검증 및 개선방향에 대한 연구가 이루어질 것이다.

4. 결론

14개의 전단무보강 철근콘크리트 보에 대한 전단강도 실험을 통해 최경규와 박홍근이 제안한 통합전단강도모델의 검증이 이루어졌다. 제안된 모델은 얇은 보와 깊은 보에 대하여 일관되게 적용할 수 있는 통합전단설계방법이라는 것이 검증되었으며 하중조건, 단부지지조건, 프리스트레스의 영향에 대한 검증과 개선이 요구된다.

참고문헌

1. 최경규, 박홍근, "Deformation-dependent Shear Strength Model for Slender Beam without Web Reinforcement", Journal of Korea Concrete Institute Vol.13, No.1, pp.123~456, 2001
2. Choi, Park, White, "Unified shear strength model for reinforced concrete beams-Part I: Development", 2003
3. Choi, Park, White, "Unified shear strength model for reinforced concrete beams-Part II: Verification and simplified method", 2003