

횡방향 전단 보강 간격에 따른 넓은 보의 전단성능

Shear Capacity of Concrete Wide Beams with Varying Transverse Shear Reinforcement Spacing



김민숙*
Kim, Min Sook

1. 서론

건축물에서 층고를 낮출 수 있는 효과적인 방법 중 하나는 넓은 보를 사용하는 것이다. 보의 폭이 높이의 2배 이상인 경우 넓은 보로 규정하고 있으며, <Fig. 1>과 같이 층고절감이 가능하며 제한된



<Fig. 1> Wide beam

층고에서 공간 활용성이 높다는 장점으로 아파트의 필로티 및 주차장에 주로 적용되고 있다.

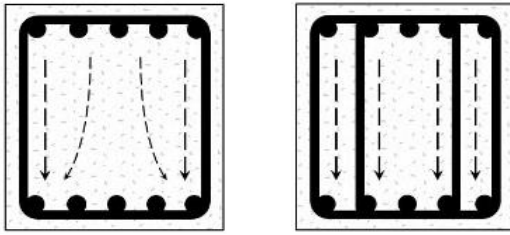
넓은 보의 보의 폭에 비하여 상대적으로 보의 깊이가 작기 때문에 전단 면적이 감소하며 이로 인해 전단내력이 저하될 수 있는 문제가 있다. 그러나 현행 설계기준에서는 넓은 보의 전단설계에 대한 부분을 특별히 규정하고 있지 않기 때문에 일반 보와 마찬가지로 보의 주근에 철근 스티럽을 감는 방법으로 전단보강을 하고 있다.

이러한 방법으로 전단보강을 할 경우, 보의 횡방향 전단보강 간격이 매우 넓어지게 되는데 Anderson and Ramirez(1989)의 연구에 의해 횡방향의 전단보강 간격이 넓을 경우 <Fig. 2>와 같이 보 단면에 전단압축응력(Diagonal compression stresses)이 집중되어 전단 내력이 저하될 수 있음이 규명되었다.

본 기사에서는 횡방향 전단 보강 간격에 따른 콘크리트 넓은 보의 전단성능에 대하여 간략하게 논

* 경희대학교 건축공학과
Department of Architectural Engineering, Kyung Hee University

하였다.



〈Fig. 2〉 Stress distribution of beams

2. 넓은 보의 설계

국내 콘크리트 설계기준(2012)와 ACI Building Code (ACI 318-15)에서는 식 (1)과 같이 콘크리트 전단강도와 전단보강재의 전단강도를 합하여 보의 전단강도를 산정하도록 하고 있다. 콘크리트의 전단강도는 식 (2)를, 전단보강재의 전단강도는 식 (3)을 사용하여 산정한다.

$$V_n = V_c + V_{sL} \quad (1)$$

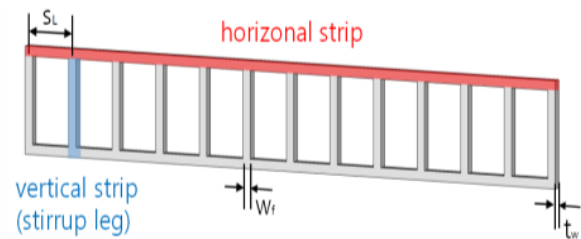
$$V_c = (0.16\sqrt{f'_c} + \frac{17\rho_w d}{a})b_w d \quad (2)$$

$$V_{sL} = \frac{A_v f_{yt} d}{s_L} \quad (3)$$

여기서, V_n 은 공칭전단강도, V_c 는 콘크리트에 의한 공칭전단강도, V_{sL} 은 종방향으로 보강된 전단철근에 의한 공칭전단강도이다. f'_c 는 콘크리트 압축강도, ρ_w 는 휨철근비, a 는 등가응력블록의 깊이, b_w 는 보의 폭, d 는 보의 유효깊이이다. A_v 는 전단철근의 단면적, f_{yt} 는 전단철근의 설계기준 항복강도, s_L 은 종방향철근에 평행한 방향으로 배치된 전단철근의 간격을 말한다. 종방향으로 배치되는 전단보강재의 간격인 s_L 은 철근 콘크리트 부재일 경우 $d/2$ 이하 또는 600mm 이하로 제한하고 있다. 식 (3)에서 알 수 있듯이 종방향 전단보강재의 간격만이 전단강도 산정에 요구되며, 횡방향 전단보강에 관한 가이드라인은 제시되지 않고 있다.

3. 횡방향 전단보강 간격에 따른 전단 성능 평가

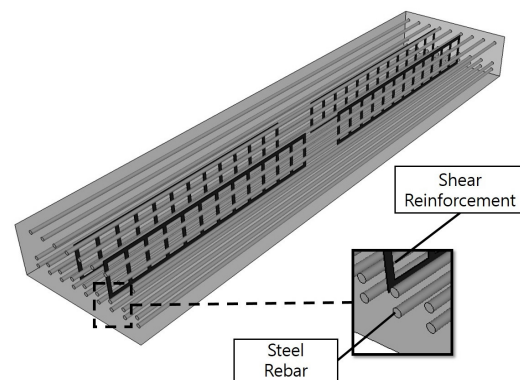
콘크리트 넓은 보에서 횡방향 전단보강 간격이 전단성능에 미치는 영향을 평가하기 위하여 전단실험을 수행하였다. 콘크리트 넓은 보의 횡방향 및 종방향 전단보강은 〈Fig. 3〉에 나타난 철근 스테럽이 아닌 Jo et al.(2015)의 연구에서 사용한 유공형 강판 전단보강재를 사용하였다.



〈Fig. 3〉 Shape of shear reinforcement

3.1 실험 변수 및 실험 계획

횡방향 전단보강 간격을 변수로 한 시험체 4개를 제작하여 전단실험을 수행하고자 하였다. 넓은 보 시험체는 폭 800mm, 높이 300mm, 3100mm의 길이로 제작하였다. 강판 전단보강재를 설치한 시험체는 〈Fig. 4〉에 나타내었다.



〈Fig. 4〉 Schematic view of a wide beam reinforced with steel plates

횡방향 전단보강 간격이 전단성능에 미치는 영향을 평가하기 위하여 모든 시험체의 휨철근비, 전단

보강량, 종방향 전단보강 간격은 동일하게 설계하였다. 실험변수는 <Table 1>에 정리하였다. 횡방향 전단보강 간격은 넓은 보의 유효깊이를 기준으로 0.7d, d, 1.5d, 2d로 설정하였으며 횡방향 전단보강재의 개수 영향을 배제하고 순수한 보강 간격만의 영향을 보기 위하여 동일한 개수의 전단보강재를 배치하였다. 시험체 제작에 압축강도 35MPa의 콘크리트를 사용하였으며, 항복강도 400MPa의 지름 22mm의 철근을 사용하여 휨 보강하였다. 휨 파괴 이전에 전단파괴가 발생하도록 설계하였다. 전단보강재로 사용된 유공형 강판은 항복강도 403MPa의 구조용 강재로 제작하였다.

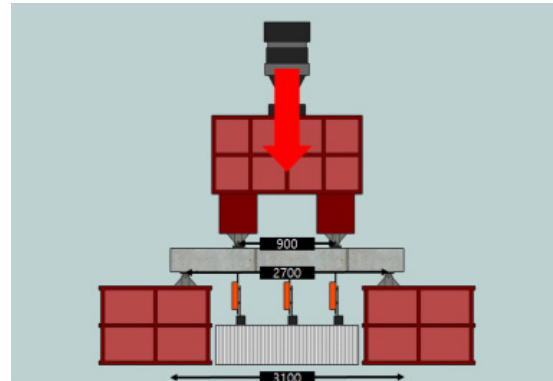
<Table 1> Details of specimens

Specimen	Arrangement	S_w (mm)	S_L (mm)	d (mm)
W-0.7d		155	120	225
W-d		230		
W-1.5d		340		
W-2d		450		

모든 시험체는 단순 지지하였으며, 500kN의 유압식 UTM(Universal Testing Machine)을 사용하였다. 평균 2mm/min의 속도로 변위 제어하여 하중을 2점 재하 하였다. 하중에 따른 시험체의 변위를 측정하기 위해 시험체 하부에 3개의 변위계(Liniar variables differential transformer)를 설치하였으며, 전단보강재의 변형률 측정을 위해 수직 및 수평 스트립에 변형률 게이지를 부착하였다. 시험체 설치는 <Fig. 5>에 그림으로 나타내었다.

3.2 실험결과

시험체의 설계 단계에서 휨 파괴 이전에 전단파



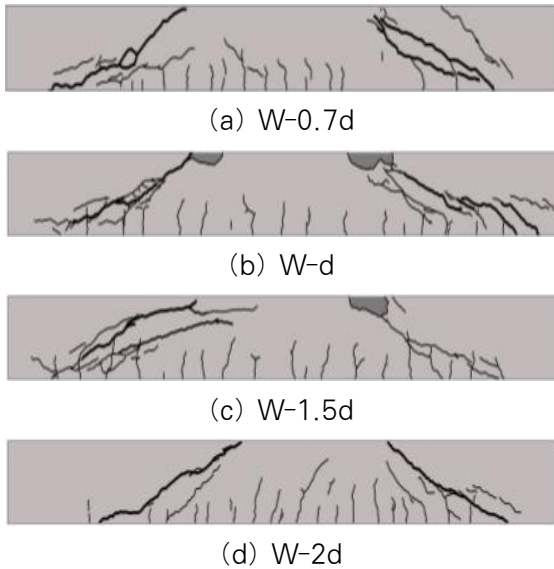
<Fig. 5> Test setup of specimen

괴가 발생하도록 하였으며, 유도한대로 모든 시험체에서 전단파괴가 발생하였다. 하중 가력 초기에 시험체의 중앙부 하단에서 휨 응력에 의한 휨 균열이 발생하였다. 하중이 증가함에 따라 시험체 중앙부에 휨 균열이 개수가 증가하였으며 일부 휨 균열은 압축측까지 진전하였다. 또한, 지점과 가력점을 연결하는 전단균열이 발생하기 시작하였으며 전단 균열은 하중이 증가하면서 점차 균열폭이 증가하였다. 균열폭 증가와 함께 최대하중 도달 이후 하중이 급격히 감소하면서 파괴에 도달하였다. <Fig. 6>에 시험체의 균열 양상 및 파괴를 나타내었다. 횡방향 전단보강재 간격을 유효깊이와 동일한 간격으로 한 W-d 시험체의 경우 고른 휨 및 전단균열이 나타나 비교적 고른 응력 분포가 이루어진 것으로 판단된다.

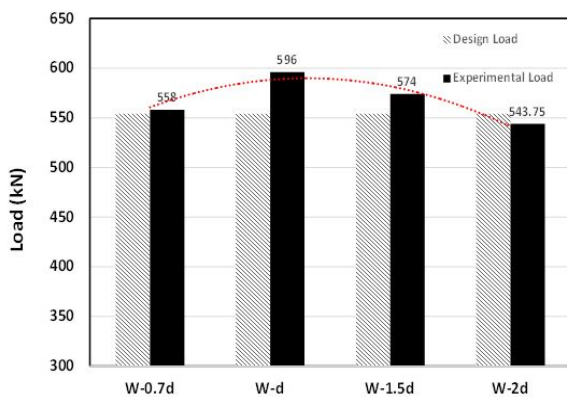
<Fig. 7>에 각 시험체의 최대하중을 나타내었다. 유효깊이와 동일한 횡방향 전단보강 간격을 가진 W-d 시험체를 기준으로 좁거나 넓게 횡방향 전단보강재를 배치한 경우 하중이 다소 감소하는 것으로 나타났으나, 횡방향 보강 간격은 최대하중 증가에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 가장 큰 최대하중을 나타낸 W-d 시험체는 596 kN으로, 이와 비교하였을 때 가장 작은 최대하중을 나타낸 W-2d 시험체의 최대하중은 약 9% 감소한 544 kN으로 나타났다.

<Fig. 8>에 모든 시험체의 하중-변위를 나타내었다. 횡방향 전단보강 간격이 좁은 W-0.7d 시험체와 W-d 시험체의 경우 최대하중 도달 이후에도 급

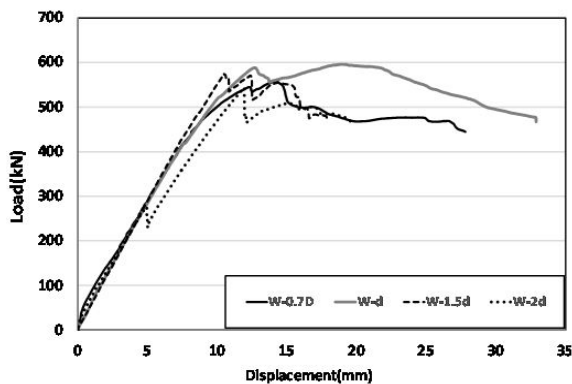
격한 하중 저하 없이 변위가 증가하는 연성 거동을 보이는 것으로 나타났으나 횡방향 전단보강 간격이 넓은 시험체 W-1.5D와 W-2d의 경우 이보다 취성적인 거동을 나타내었다.



〈Fig. 6〉 Crack and failure pattern



〈Fig. 7〉 Maximum load



〈Fig. 8〉 Load-Displacement curve

4. 결론

본 기사에서는 유공형 강판으로 전단보강된 콘크리트 넓은 보에서 횡방향 전단보강 간격이 전단성능에 미치는 영향에 대하여 논하였다. 본 기사에서 기술한 넓은 보의 전단성능 평가를 통한 결과, 동일한 전단보강량을 갖더라도, 횡방향의 전단보강 간격이 넓어짐에 따라 최대하중이 다소 감소하고 보다 취성적 거동을 보이는 것으로 나타났다. 즉, 일반 보에서 철근 스티럽을 가장 바깥쪽의 주철근에 감아 전단보강하는 방법을 넓은 보에 적용할 경우 횡방향 전단보강 간격이 넓어지게 되고 구조성능 저하로 이어질 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 넓은 보의 전단설계에 있어, 종방향 전단보강재 뿐만 아니라 횡방향 전단보강재의 최소간격 및 최대간격에 따른 영향 또한 고려해야 할 것으로 판단된다.

References

1. ACI Committee 318-15, Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary (ACI 318-15), American Concrete Institute, Farmington Hills, 2015, pp.503.
2. Anderson, N. S., and Ramirez, J. A., "Detailing of Stirrup Reinforcement," ACI Structural Journal, Vol. 86, No. 5, 1989, pp. 507~515.
3. Jo, E., Choi, J. W., Kim, M. S., Kim, H., and Lee, Y. H., "Evaluation of Shear Strength for Wide Beam using GFRP Plate Shear Reinforcement," Journal of Computational Structural Engineering Institute of Korea, Vol. 28, No. 3, 2015, pp. 267~274.