

복부보강이 된 철근콘크리트보에서의 전단파괴에 대한 연구

A Study on Shear Failure in RC Beams with Web Reinforcement

박철우^{*} 김준성^{**} 김우^{***}
Park, Cheol Woo Kim, Jun Sung Kim, Woo

ABSTRACT

The present paper describe the result obtained from 11 beam specimens to explore the influence of stirrups on shear failure process. Each beam specimen was reinforced with one or two stirrup. Then the experimental results were analysed and compared with the results obtained from truss model analysis.

1. 서론

철근콘크리트보의 전단파괴에 대한 연구는 아직까지 명확하게 규명하지 못하고 있는 연구 중에 하나인데, 이는 전단파괴가 휨파괴에 비해 변수들이 복잡하고 매우 취성적이기 때문이다. 근간에, 트러스 모델과 스트럿-타이(strut-tie)모델과 압축용력장이론(MCFT)이 보의 전단에 관해서 개발되고 있는 접근법들이다.

철근콘크리트보의 전단강도를 예측하는 일반적인 식들은 콘크리트와 전단철근이 부담하는 전단력을 각각 나누어 제시하고 있다¹. 전단철근이 부담하는 전단력은 전단철근이 항복한다는 가정을 가지고 제시되었으나, 실제의 전단파괴기구는 이와는 상이하게 나타나고 있다.

본 논문은 전단철근의 보강에 따른 파괴기구를 알아보고자 보강위치를 달리하여 파괴하중을 비교하였고, 전단파괴를 일으킬 때 위험전단균열(critical shear crack)의 발생위치와 진전상태를 관찰하였다. 본 실험에 의해 나타난 현상들을 철근콘크리트보의 전단설계시 필요한 자료로 활용하고자 한다.

* 정회원, 전남대학교 토목공학과 석사과정
** 정회원, 전남대학교 토목공학과 박사과정
*** 정회원, 전남대학교 토목공학과 교수

2. 시험체

2.1 제원과 재료

본 연구에서는 전단스팬비 $a/d = 3$ 으로 일정하게 하여 Fig. 1과 같은 시험체를 제작하였다. 주인장 철근과 주압축철근은 D25와 D13을 사용하였고, 수직전단철근은 D10철근을 페쇄스터럽으로 제작하여 배근하였으며, 콘크리트의 압축강도 $f_{28} = 300 \text{ kg/cm}^2$ 이다.

2.2 주요변수

수직전단철근의 배근위치가 본 연구의 주요변수로 사용되어, 전단구간을 $d/2 = 132\text{mm}$ 간격으로 여섯등분하여 수직전단철근을 Fig. 1의 ①, ②, ③, ④, ⑤의 위치에 각각 배근하였다. 시험체는 국부보강으로 전단철근을 한 개로 배근한 경우와 두 개로 배근한 경우와 $d/2$ 간격으로 전부보강한 경우와 수직전단철근의 부착을 제거하여 전부보강한 경우로 나누어 총 11개 시험체로 실험하였다.

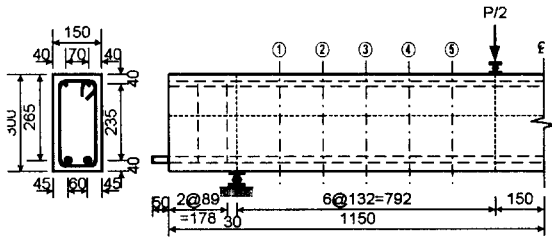


Fig. 1 Specimen details (unit:mm)

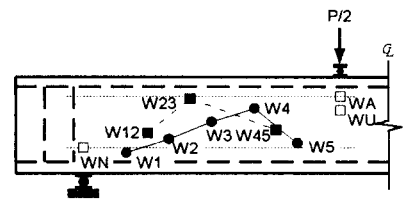


Fig. 2 Compare to Ultimate Loads of Specimens

3. 결과 및 고찰

본 연구의 실험과 해석결과는 Table 1에 나타냈으며, 각 시험체의 보강위치에 따른 파괴강도는 Fig. 2에 균열형상과 파괴형태는 Fig. 3에 각각 나타냈다. 시험체의 단면제원과 콘크리트 강도와 전단 철근의 사용량은 동일한 반면, 국부적인 보강위치를 달리하였는데, 파괴형태나 파괴하중이 보강위치에 따라 다르게 나타났다.

Table 1 Summary of test results

specimen	P_{cr} (tf)	P_u (tf)	compare to WN (%)	SIM model	FAN model	MCFT	failure mode
WN	12.0	12.4	100	7.0	12.0	6.6	HS
W1	11.0	11.2	90	12.0	12.0	11.9	HS
W2	12.2	14.5	117	12.0	12.0	11.9	HS
W3	7.8	18.6	150	12.0	15.2	23.8	HS
W4	11.5	21.8	176	12.0	12.0	11.9	HS
W5	10.6	13.5	109	12.0	12.0	11.9	HS
W12	9.0	15.9	128	12.0	12.0	11.9	HS
W23	11.0	24.1	194	12.0	15.2	35.8	HS
W45	10.5	16.7	135	12.0	12.0	11.9	HS
WA	9.7	24.7	199	12.0	15.2	35.8	DT
WU	12.8	21.4	173	-	-	-	HS

Note : Wn - n is the position of web reinforcement, N is normal, A is all, and U is Unbonded
 HS - horizontal shearing failure, DT - digonal tension failure

복부보강이 되어 있지 않은 시험체(WN시험체)의 경우에 전단파괴가 취성으로 발생하기 때문에 전단파괴를 지배하는 균열을 관찰하는 것은 매우 어려웠다. 본 연구에서는 ①번 위치에 보강한 시험체(W1시험체)를 제외한 다른 시험체들은 연성파괴를 보여 전단균열의 진전을 관찰할 수 있었다. 관찰된 경사전단균열은 복부에서 발생되어 재하점과 지지점의 양방향으로 각각 진전하였으며, 지지점으로 진전하는 균열은 주인장철근의 상면을 따라 수평균열로 발전하여, 전단파괴의 주도적인 역할을 하였다.

국부적인 보강으로 인해 시험체들은 크게 두가지의 경향을 보였는데, 첫째, 경사전단균열이 전단철근을 관통한 경우는 전단철근이 사인장력에 저항하였으며, 충분한 연성을 확보하였다. 이와같은 파괴 형태를 보인 시험체는 ③번과 ④번 위치에 각각 한 개씩 보강한 시험체(W3과 W4시험체)와 ②번과 ③번 위치에 보강한 시험체(W23시험체)였다. 둘째, 관통하지 않은 경우는 위에서 살펴본 시험체에 비하여 작은 연성과 파괴강도를 나타냈다. 즉, 국부적인 복부보강으로 인해 내부응력이 바뀌어서 나타나는 현상으로, 이는 기존의 철근콘크리트보에서의 전단강도를 평가하는 방법과 같이 콘크리트와 전단철근의 전단강도를 나누어 평가하기에는 어려운 것으로 나타났다.

전단철근의 부착을 제거한 시험체(WU시험체)는 WA시험체와 비교해 볼 때, 균열의 형상을 보면, 위험전단균열의 외측으로 새로운 경사전단균열이 발생하지 않았고, 부착이 없었으므로 수평균열의 진전이 비교적 쉬웠으며, 파괴하중도 13%정도 적게 보였다.

수직전단철근의 보강은 항복한다는 전제로 배근하며, 파괴하중을 예측하는 여러가지 방법들도 전단보강근의 항복을 전제로 한다. 그러나, 본 연구에서는 대부분 전단보강근이 항복하지 않은 것으로 나타나고 있으며, ①번과 ②번과 ⑤번에 각각 보강한 시험체는 전혀 항복하지 않은 것으로 관찰되었다.

철근콘크리트보의 전단력을 평가하기 위해 트러스모델이 개발되었으며, 최근에는 이를 변형한 여러가지 모델들이 제시되고 있다. 본 연구에서는 l_1 과 l_2 을 변화시킨 단순트러스모델과 이를 변형시킨 팬모델을 사용하였고, 수정압축장이론(MCFT)으로 해석을 수행하여 본 실험에서의 결과와 비교하였다. 팬모델은 전단철근의 보강위치를 제외하고는 콘크리트인장타이로 가정하였다(Fig. 4)^{2,3}.

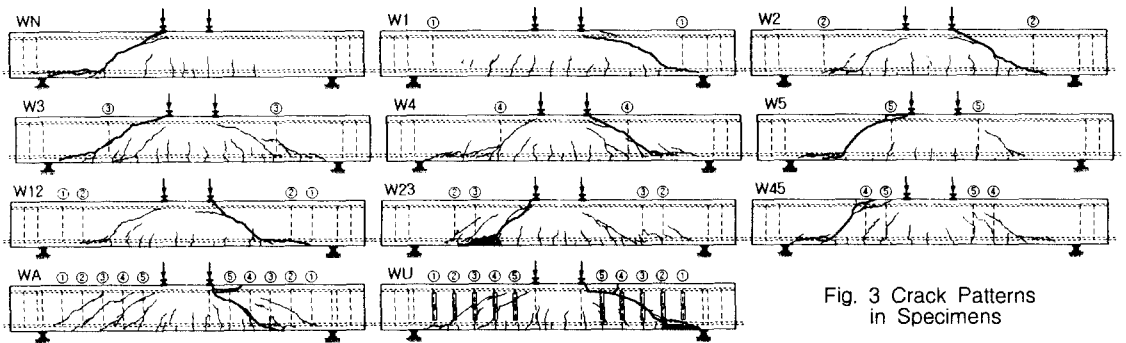


Fig. 3 Crack Patterns in Specimens

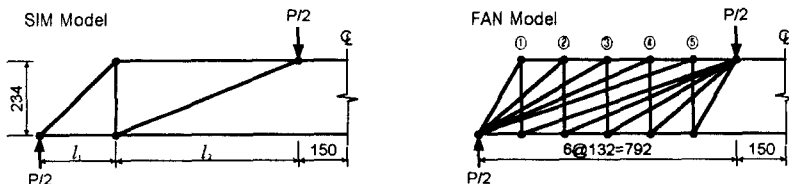


Fig. 4 Simple Truss Model and Fan Truss Model

해석결과, 단순트러스모델은 보강위치에 상관없이 동일한 파괴강도가 평가되었다. 팬모델은 압축스트럿의 경사각도에 따라 파괴강도가 다르게 나타났으며, 본 실험과 가장 잘 일치하는 모델을 사용하였으나, Table 1에 나타난 바와 같이 ③번 위치에 보강한 시험체가 가장 크게 나타났고, 그외의 시험체는 ③번 위치의 인장타이가 파괴하는 강도를 나타냈다. 수정압축장이론을 적용하여 해석을 수행한 결과, 복부보강이 없을 때는 과소평가된 반면, 복부보강이 있는 시험체의 경우 과대하게 평가 되었다.

본 실험결과와 여러 트러스모델을 비교해보면, 트러스모델은 전단파괴기구를 명확히 설명해주지 못하고, 전단보강근이 항복한다는 가정 등으로 인하여 적절한 파괴강도를 예측하기에는 한계가 있다. 수정압축장이론의 경우 전단보강이 없는 보와 국부적인 전단보강근의 보강이 있는 보에서는 적용하는데는 어려움이 있다.

4. 결 론

철근콘크리트보에서의 전단파괴는 많은 연구에도 불구하고 명확히 규명되지 않고 있으며, 이를 바탕으로 개발되는 해석방법들도 구조물의 파괴를 설명하기에는 적절하지 못한 것 같다. 본 연구는 철근콘크리트보에서의 전단파괴기구를 설명하고자 국부적인 복부보강을 하여 실험을 하였으며, 일반적으로 사용되는 해석방법들과 비교하여 철근콘크리트보에서의 전단파괴에 대한 몇가지 결론을 얻었다.

(1) 철근콘크리트보에서 전단력의 평가는 전단철근과 콘크리트가 부담하는 전단력으로 구분할 수 없다. 본 연구에서는 국부적인 복부보강으로 시험체의 내부응력의 변화와 함께 전체적인 파괴거동도 변한 것을 볼 수 있었다. 이는 철근콘크리트보에서 전단철근과 콘크리트가 부담하는 전단력으로 구분하는 전단파괴의 평가방법들이 수정되어야 할 필요성이 있다고 보여진다.

(2) 트러스유사론은 전단철근이 항복한다고 가정하였는데, 트러스모델과 팬모델들에 의한 해석들과 본 연구를 비교해보면 전단철근이 항복한다는 기본 가정이 시험체에 적용하기에는 어려움이 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 위험전단균열이 발생한 곳에 보강을 한 시험체를 제외하고는 전단철근이 항복하기 이전에 수평균열에 의한 전단파괴를 뚜렷이 보였다.

(3) 철근콘크리트보에서는 위험전단균열이 발생하여 수평균열로 진전하였을 때, 전단파괴가 일어났다. 전단응력의 집중으로 복부전단균열이 발생하고, 재하점과 지지점의 양방향으로 각각 진전하여 시험체를 두 개로 나누면서 파괴되었다. 지지점으로 진전하는 균열은 주인장철근의 상부를 따라서 수평균열로 바뀌면서 파괴에 주도적인 역할을 하였다.

(4) 현재 개발되고 있는 전단력을 평가하는 해석방법들은 (3)의 수평전단균열이 전체적인 전단파괴를 지배하므로, 이에 대한 평가가 수반되어야 할 필요가 있다. 현재 전단에 대한 평가는 수직전단과 경사압축력대의 응력과 변형률에 대한 평가로 국한하고 있으나, 본 연구의 결과 수평전단균열이 발생하는 주인장철근의 응력과 변형률을 고려할 필요가 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. ASCE Committee 318, *Building Code Requirement for Reinforced Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95)*, American Concrete Institute, Detroit, 1995, 369pp.
2. Collins, M.P., and Mitchell, D., *Prestressed Concrete Structures*, Prentice-Hall International, Inc., New Jersey, 1991, pp.309-379.
3. MacGregor, J.G., *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*, Prentice-Hall International, Inc., New Jersey, 3E., 1997, pp.180-231.