

# I형 단면 RC보의 휨-전단파괴 거동에 관한 연구

## Flexural-Shear Failure Behavior in I-Shape RC Beams

문종수\*      염환석\*\*      김우\*\*\*  
Moon, Jong Soo      Yum, Hwan Seok      Kim, Woo

### ABSTRACT

This paper describes an experimental investigation into the cause of flexural-shear failure in RC beams. The experimental variables are bottom flange width and tension bar location. Then these test results were compared and analyzed to deduce the major cause of critical-shear cracking. As a result, it was found that the propagation of the critical shear crack depended exclusively on the intensity of horizontal cracking.

### 1. 서론

복부보강이 없는 철근콘크리트 보에서 휨-전단파괴는 전단경사균열(inclined shear crack)과 수평균열(horizontal crack)이 형성되면서 발생한다<sup>1)</sup>. 이와 같은 전단경사균열과 수평균열의 발생원인과 진전과정, 즉, 전단파괴에 대한 근본적인 메카니즘을 밝힐 수 있다면 전단에 대한 보다 합리적인 설계와 해석이 가능할 것이다.

전단파괴 메카니즘에 관한 연구 중 참고문헌<sup>2)~4)</sup>에 의하면 부착유발전단응력(bond-induced shear stress)에 의해 전단경사균열과 수평균열이 발생하고 진전한다고 하였으며 전단파괴의 주균열(primary crack)은 전단경사균열이 아닌 수평균열이라 하였다. 즉, Fig. 1에서와 같이 수평균열 발생 전의 전단경사균열은 압축역의 압축응력에 의해 안정되나 수평균열이 발생하면서 전단경사균열의 COD(crack opening displacement)가 커지고 압축역 균열끝(crack-tip)에서 사인장응력이 증가하게 된다. 이 결과 전단경사균열은 압축역을 관통하게 되고 보는 파괴된다고 하였다.

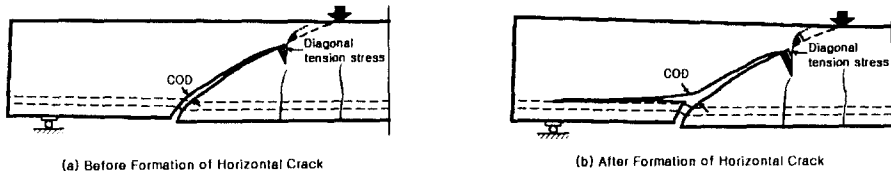


Fig. 1 Effect of Horizontal Crack<sup>2)</sup>

- \* 정희원, 전남대학교 토목공학과 석사과정
- \*\* 정희원, 광주대학교 건축공학과 부교수
- \*\*\* 정희원, 전남대학교 토목공학과 교수

이와 같이 전단파괴의 주균열인 수평균열의 발생과 진전을 억제하는 방법 중 하나로서 수평균열이 발생하는 보의 하부(I형 단면인 경우에는 하부 플랜지)를 증대시키는 방법을 들 수 있다. 보의 하부를 증대시킨다면 Fig. 2에서의 수평전단응력이 감소될 것이고, 이는 보의 전단강도를 증가시킬 것으로 예측된다. 또한, 이런 수평전단응력은 주로 철근과 콘크리트 사이의 부착응력에 기인한 것으로 수평균열의 발생은 콘크리트의 피복두께와 철근간격에 관계가 있다고 사료된다.

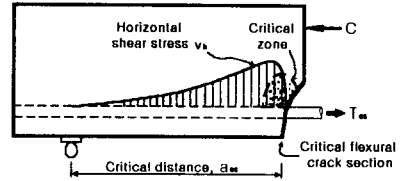


Fig. 2 Distribution of Horizontal shear stress at Beam end part<sup>2)</sup>

그러므로 본 연구에서는 상기의 가정을 확인하고자 실험을 통하여 시험체 단면의 하부 플랜지 크기 변화와 인장철근 배근위치에 따른 휨-전단파괴 거동을 조사분석하였고, 이를 근거로 하여 휨-전단파괴 메카니즘을 보다 명확히 하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 시험체

본 실험에서는 복부보강이 없는 철근콘크리트보를 대상으로 전단파괴를 유도하기 위하여 유효높이에 대한 전단지간비( $a/d$ )를 3으로 하였다. I형 단면의 하부 플랜지 폭의 변화는 15, 20, 25, 30cm로 하였고, A series에서 인장철근 배근위치는 측면 피복을 5cm로 일정하게 하였으므로 철근간격이 5cm씩 넓어졌고, B series에서 인장철근 배근위치는 보 폭의 중앙부에 철근간격을 5cm로 일정하게 하여 총 8개의 시험체를 제작하였다(Fig. 3 참조). 시험체에 상부플랜지를 두고 압축철근을 배근한 이유는 압축측 압괴로 인한 보의 급작스런 파괴를 방지하고 휨-전단파괴 거동을 자세히 관찰하기 위함이다.

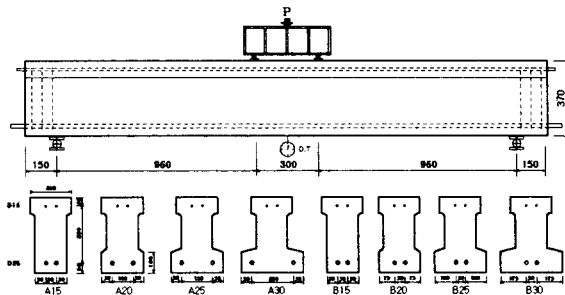


Fig. 3 Geometry of A,B series

### 2.2. 사용재료

콘크리트의 굵은골재 최대치수는 25mm, 슬럼프는 19.5cm, 압축강도  $f_{ck}$  는  $300\text{kgf/cm}^2$  이었다. 주 인장철근은 D25를 압축철근은 D16, 보단부 보강스터립은 D6을 사용하였으며, 항복강도  $f_y$  는 각각  $4300\text{kgf/cm}^2$ ,  $3700\text{kgf/cm}^2$ ,  $3100\text{kgf/cm}^2$  이었다.

## 3. 실험결과 및 고찰

균열형상을 Fig. 4에 나타내었고 실험결과를 Table 1에 정리하였다. 하중과 변위와의 관계, 하중과 하부 플랜지 폭과의 관계를 각각 Fig. 5, 6에 나타내었다. 그림과 표에 나타난 실험결과를 고찰하면

다음과 같다.

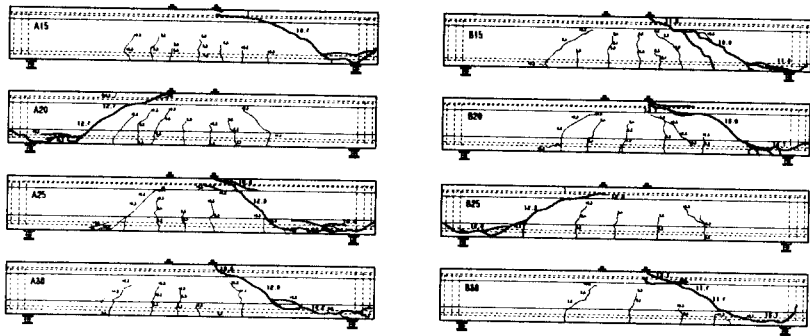
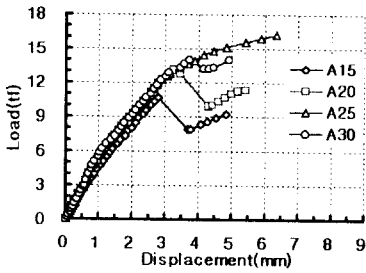


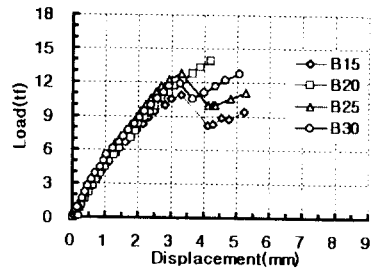
Fig. 4 Crack Configurations

Table. 1 Test Result

	A15	A20	A25	A30	B15	B20	B25	B30
Cracking Load(tf)	10.7	13.1	13.0	12.9	10.0	13.9	12.5	11.5
Ultimate Load(tf)	10.7	13.1	16.5	14.2	11.0	14.1	12.8	13.1
$a_{cs}$ (cm)	26	37	52	51	26	30	42	45
$a_{cs}/d$	0.81	1.15	1.63	1.59	0.81	0.94	1.31	1.40

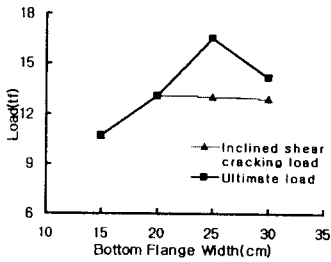


(a) A series

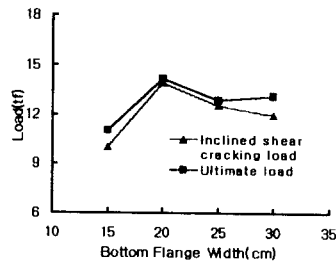


(b) B series

Fig. 5 Load-Displacement Curves



(a) A series



(b) B series

Fig. 6 Load-Bottom Flange Width Relation

### 3.1. A series

하부 플랜지 폭이 15cm에서 20cm이상으로 증가하면 전단경사균열하중은 약 21% 증가하였고 파괴하중은 21~54% 증가하였다. 이는 하부 플랜지 폭의 증가가 임계영역에서의 수평전단응력을 감소시키고 이로 인해서 보의 전단강도가 증가하기 때문이라고 판단되었다. 또한 A25 시험체에서 파괴하중과 잉여하중(reserve load,  $P_u - P_{cr}$ )과 임계거리  $a_{cs}$ 가 가장 크게 나타났다. 이는 수평전단응력( $v = T_{cs} / ba_{cs}$ )에서 하부플랜지폭  $b$ 와 임계거리  $a_{cs}$ 가 충분히 큼으로 수평전단응력이 작아지고, 이로 인하여 수평균열이 상대적으로 안정되어 쉽게 진전하지 못하기 때문이라고 사료되었다(Fig. 2 참조).

### 3.2. B series

하부 플랜지 폭이 15cm에서 20cm이상으로 증가하면 전단균열하중은 15~39%, 파괴하중은 16~28% 증가하였다. 그러나 A series에 비해 파괴하중과 임계거리  $a_{cs}$ 의 증가폭이 작았다. 또한 B20에서 파괴하중은 가장 크게 나타났으나 B25, B30에서는 B20에 비해 오히려 다소 감소하였으며, 모든 시험체에서 잉여하중은 거의 존재하지 않았다. 이는 주인장철근을 중앙에 가까이 배치함으로써 철근사이의 수평균열 발생을 보다 용이하게 하기 때문이라고 사료되었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 복부보강이 없고 보의 유효높이에 대한 전단지간비( $a/d$ )가 3인 철근콘크리트보를 대상으로 보 단면의 하부 플랜지 크기 변화와 인장철근 배근위치에 따른 휨-전단파괴 거동을 조사분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 하부 플랜지 폭을 증가시키면 파괴강도와 지점에서 임계영역까지의 거리가 증가하였다. 이는 플랜지 폭의 증가가 전단경사균열의 발생위치에 영향을 주고, 동시에 임계거리가 증가하여 임계영역의 수평전단응력을 감소시키기 때문에 파괴강도가 증가한다고 사료된다.

2) 그러나 하부 플랜지 폭이 증가해도 파괴강도는 증가하지않는 경우가 있고, 특히, 철근간격이 좁을 때에는 이 경향이 더욱 심하였다. 이는 수평균열은 부착에 의한 쪼갬균열이라고 판단되며, 피복두께가 얇거나 철근간격이 좁을 때에는 그 부분으로 수평균열 발생을 보다 용이하게 하기 때문이라고 사료된다.

3) 상기와 같이 하부 플랜지 폭의 크기와 인장철근 배근위치에 따라 파괴거동이 크게 변화였다. 이는 수평균열이 파괴거동에 크게 영향을 주고있음을 의미하며, 따라서 복부보강이 없는 철근콘크리트보에서 전단파괴를 일으키는 주된 균열(primary crack)은 전단경사균열이 아니고 수평균열이다.

## 참 고 문 헌

- 1) Bresler, B., and MacGregor, J. G., "Review of Concrete Beams Failing in Shear", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.93, No.ST1, Feb. 1967, pp.343-372
- 2) Kim, W., "Shear-Critical Cracks in Reinforced Concrete Beams Without Web Reinforced : Their Initiation and Propagation", Ph. D. Thesis Dept. of Structural Engineering, Cornell University, Ithaca, N.Y., Aug. 1986.
- 3) Kim, W. and White R. N., "Initiation of Shear Cracking in Reinforced Concrete Beams with no Web Reinforcement", ACI Structural Journal, Vol. 88 No. 3, pp. 301-308, May-June 1991.
- 4) 김 우, "철근콘크리트 보의 휨전단균열 발생 메카니즘에 대한 연구", 콘크리트 학회지 제10권 3호 1998. 6.