

철근콘크리트 깊은 보에서 수평 전단철근의 전단저항에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Shear Resistance of Horizontal Shear Reinforcement in R.C. Deep Beams

양 근 혁* 이 영 호** 은 희 창*** 정 현 수****
Yang, Keun Hyeok Lee, Young Ho Eun, Hee Chang Chung, Heon Soo

ABSTRACT

The objective of this experimental study was to understand the effect of horizontal shear bar on the shear behavior of R.C. deep beams. Therefore, in the test program, the horizontal shear bar ratio(ρ_{sh}) and shear span-to-overall depth ratio(a/h) are considered as two main variables.

Test results indicate that for deep beams with a/h equal to 1.0, horizontal shear bar is less efficient in restricting the diagonal crack width development and enhancing the ultimate shear strength. So, it can be concluded that shear resistance of horizontal shear bar is related to a/h rather than clear span-to-effective depth ratio(l_n/d) recommended in ACI code.

1. 서론

일반적으로 깊은 보의 전단경간비(a/h)가 2.5 이하로서 경간에 비해 단면 치수가 큰 부재들이다. 깊은 보의 주 경사균열이 발생 한 이후에도 가력점과 지지점을 연결하는 콘크리트 스트럿에 의해 상당한 내력을 유지한다. 이때 콘크리트 스트럿에서 응력전달은 단면 치수가 작을 경우 경사균열 면에서 잔유인장 응력에 의해, 단면 치수가 클 경우 전단마찰에 의해 결정된다.

현행 ACI 기준²⁾은 깊은 보의 전단철근 설계시 전단마찰 이론을 적용하여 순경간 깊이비(l_n/d)가 5 이하에서 수직 전단철근보다 수평 전단철근이 전단저항에 효율적임을 제시하고 있다. 하지만 Tan 등³⁾의 실험연구에서 수평 전단철근의 전단저항은 l_n/d 보다는 a/h 에 의해 결정됨을 제시하고 있다. 그리고 수직 전단철근은 a/h 가 클 때 직접인장 작용으로, 수평 전단철근은 a/h 가 작을 때 전단마찰 작용으로 전단저항을 할 것이다.

따라서 a/h 가 작게 있는 깊은 보에서 수평 전단철근의 거동을 파악하는 것은 중요하다. 본 연구의 목적은 수평 전단철근 양에 따른 철근 콘크리트 깊은 보의 전단거동 및 a/h 에 따른 수평 전단철근의 전단저항에 대한 효율성을 파악하여 전단설계에 대한 기초자료 제시에 있다.

-
- * 정회원, 중앙대학교 건축학과 박사수료
 - ** 정회원, 동원대학 건축과 전임강사
 - *** 정회원, 제주대학교 건축공학과 조교수
 - **** 정회원, 중앙대학교 건축학과 교수

2. 실험계획 및 방법

2.1 시험체 계획

본 연구는 보통강도 철근콘크리트 깊은 보에서 a/h 의 변화에 따른 수평 전단철근의 거동을 파악하기 위한 연구로서 주요 실험변수는 전단경간비(a/h), 수평 전단철근 비(ρ_{sh}) 등이다. 콘크리트 강도는 320kgf/cm^2 이며, a/h 는 0.5, 0.7, 1.0으로 변화시켰다. 최소 수평 전단철근 비 ($(\rho_{sh})_{\min} = 0.0025$)와 최대 간격 ($s_h \leq d/3$)에 대한 ACI 기준을 고려하여 ρ_{sh} 는 0.0, 0.006, 0.012로 하였다.

단면의 크기는 가력장치의 용량(300tonf)과 실제 깊은 보의 비선형 거동을 고려하여 $16 \times 60\text{cm}$ 로 하였다. 주철근은 1단 배근을 원칙으로 하였으며 주철근의 항복 이전에 전단파괴를 유도하기 위해 항복 강도가 $8,200\text{kgf/cm}^2$ 인 고강도 철근을 사용하였다. 주철근 비는 약 1.0%(3-HD 19)이다. 주철근의 정착을 확보하기 위해 시험체 길이 방향의 양 단부에 강판($16 \times 10 \times 1\text{cm}$)을 용접하고 부착파괴를 방지하기 위해 주철근 외측까지의 피복두께를 3.5cm 이상 유지하였다. 압축 주철근은 2-D10(SD40)을 배근하였다. 수평 전단철근은 D10을 계획된 수평 전단철근 비에 따라 0.0~14.8cm를 보 축을 따라 균등히 배근하였으며, 수평 전단철근만의 영향을 파악하기 위해 수직 전단철근은 배근하지 않았다. 시험체의 전체 길이는 240cm이며 순 경간을 210cm로 고정시키고 가력점을 변화시키면서 a/h 를 변화시켰다. 이 상에서 설명한 본 연구의 시험체 계획과 변수 상세를 표 1에, 시험체 단면 형상 및 배근 형태를 그림 1에 각각 나타내었다.

2.2 가력 및 측정방법

시험체 가력은 300tonf 용량의 만능시험기(UTM-Servo system)를 사용하여 3tonf/min의 일정한 속도로 가력하였다. 시험체의 지압파괴를 방지하기 위해 가력판과 지점판의 폭은 10cm를 유지하고, 판과 판의 마찰을 최소화하였다. 주철근의 휨 항복을 파악하기 위해 순 휨구간에 변형률 게이지를 부착하였다. 그리고 하중 증가에 따른 수평 전단철근의 거동을 살펴보기 위해 가력점과 지지점을 연결하는 잠재적인 균열면과 전단철근이 만나는 위치에 변형률 게이지를 부착하였다. 처짐은 가력점 및 시험체 중앙의 저면에 설치된 LVDT를 통해 측정하였다.

표 1 시험체 개요 및 결과

Specimen	a/h	shear bar		Shear force(tonf)	
		$s_h(\text{cm})$	ρ_{sh}	V_{cr}	V_u
5N	0.5	-	0.0	27.7	51.7
5S		14.8	0.006	25.0	53.2
5T		7.4	0.012	27.6	71.0
7S	0.7	14.8	0.006	22.0	50.7
10N	1.0	-	0.0	17.7	38.3
10S		14.8	0.006	18.2	30.7
10T		7.4	0.012	19.0	37.3

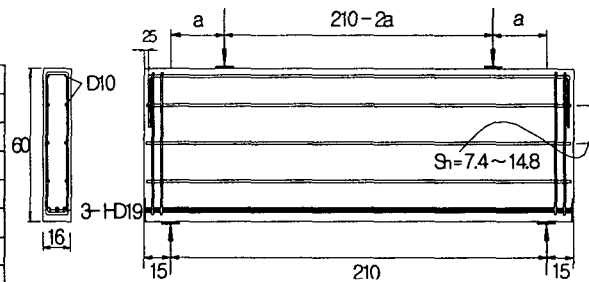


그림 1 시험체 단면 형상 및 배근 형태(단위 : cm)

3. 실험결과 및 분석

3.1 하중-변위 및 균열 관계

그림 2에 ρ_{sh} 에 따른 각 시험체의 하중-변위 관계를 각각 나타내었다. 모든 시험체는 하중이 지지점으로 바로 전달되는 스트럿-타이 작용을 보이며 하중점과 지지점을 연결하는 잠재적인 균열면을 따

라 경사균열이 발생하였다. 시험체 강성은 전단에 의해 지배를 받기 때문에 수평 전단철근의 영향을 거의 받지 않고 있으며, a/h 가 1.0인 시험체에서 주 경사균열이 발행 한 이후 강성이 저하하는 경향을 보이고 있다. 그리고 최종 파괴시 수평 전단철근은 취성파괴 방지에 조금도 도움이 되지 못하고 있다.

그림 3에 ρ_{sh} 가 0.012일 때 하중의 증가에 따른 균열의 진전을 나타내었다. 균열진전은 휨 구간의 보 하부에서 초기 휨 균열이 발생한 이후 전단경간에서 주 경사균열이 복부 중앙에서 갑작스럽게 발생하였다. 경사균열이 출현한 이후 휨 구간에서 휨 균열의 진전은 거의 없고 하중 증가와 함께 주 경사균열은 가력점과 지지점을 향해 진전하였다. 최대 하중의 80~90%에서 다시 휨 균열들이 진전하였으며 ρ_{sh} 가 클수록 전단경간에서 또 다른 경사균열들이 나타나는 경향을 보였다.

균열 간격은 수평 전단철근 양이 많을수록 좁게 나타났으며 일부 시험체에서는 수평 전단철근을 따라 거의 수평에 가까운 균열의 진전형상도 보였다. 특히 a/h 가 1.0인 시험체에서 수평 전단철근 간격이 좁을수록 압축 스트럿에서 많은 균열들이 나타났으며, 이로 인해 압축스트럿의 연화현상으로 내력 저하의 한 원인이 되기도 하였다.

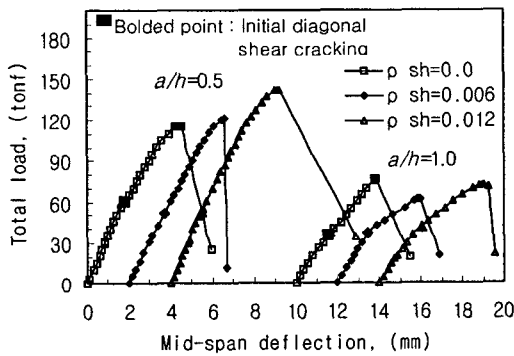
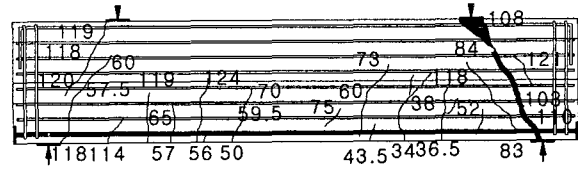
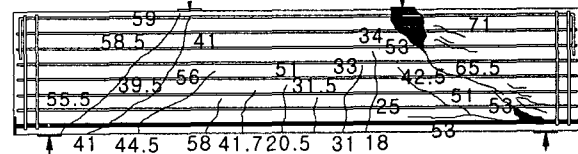


그림 2 하중-변위 관계



(a) 5T 시험체(주 경사균열+전단압축 파괴)



(b) 10T 시험체 (주 경사균열+압축 스트럿+전단압축 파괴)
그림 3 ρ_{sh} 에 따른 균열 진전 및 파괴모드

3.2 수평 전단철근비(ρ_{sh})의 영향

그림 4에 ρ_{sh} 와 깊은 보의 전단내력과의 관계를 나타내었다. 깊은 보의 경사균열 내력은 일반 보에 서처럼 수평 전단철근 양에 거의 영향을 받지 않고 있다. 하지만 극한 전단내력은 a/h 가 1.0인 경우 수평 전단철근 양이 증가하여도 거의 변함이 없지만, a/h 가 0.5인 경우 ρ_{sh} 가 클수록 증가하는 경향을 나타내고 있다.

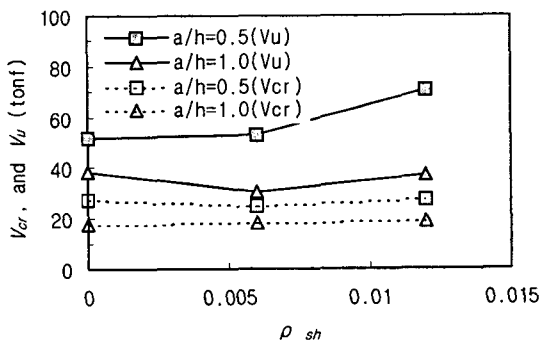


그림 4 ρ_{sh} 와 전단내력의 관계

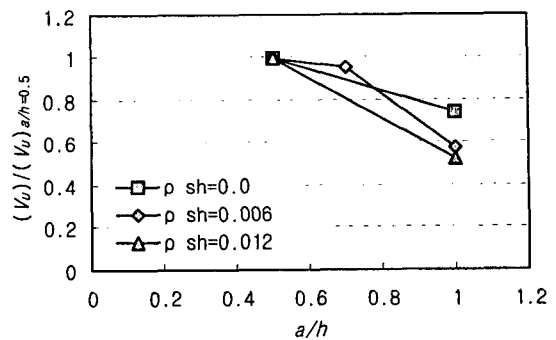


그림 5 a/h 와 극한 전단내력의 관계

3.3 전단경간비(a/h)의 영향

그림 5에 수평 전단철근이 배근된 깊은 보에서 a/h 의 증가에 따른 극한 전단내력 감소를 나타내었다. 그림에서 세로축은 a/h 의 증가에 따른 극한 전단내력 감소율을 파악하기 위해 각각 동일 조건의 시험체에 대해 a/h 가 0.5일 때의 극한 전단내력으로 무차원 하였다. a/h 가 0.5에서 1.0으로 증가할 때 수평 전단철근이 없는 시험체인 경우 26%, 수평 전단철근 비가 0.006인 경우 43%, 수평 전단철근 비가 0.012인 경우 46%의 극한 전단내력 감소율을 각각 보였다. 이는 a/h 가 1.0인 경우 수평 전단철근의 전단내력 분담은 a/h 가 0.5일 때에 비해 감소함을 의미하며, 깊은 보에서 수평 전단철근의 배근은 a/h 에 따라 결정되어야 한다고 판단된다.

그림 6에 a/h 에 따른 수평 전단철근의 거동을 나타내었다. 수평 전단철근의 응력은 경사균열이 발생한 이후 급격히 증가하고 있다. 특히 a/h 가 작을수록 전단 저항에 효율적이지만 a/h 가 1.0인 경우에는 수평 전단철근은 전단저항 성능이 크지 않으며, 최대 내력시 전단철근은 항복하지 않음을 알 수 있다. 따라서, a/h 가 1.0 이상에서 전단철근의 항복을 가정하여 수평 전단철근의 전단내력 분담을 산정할 경우 부재의 내력을 과대평가 할 우려가 있다.

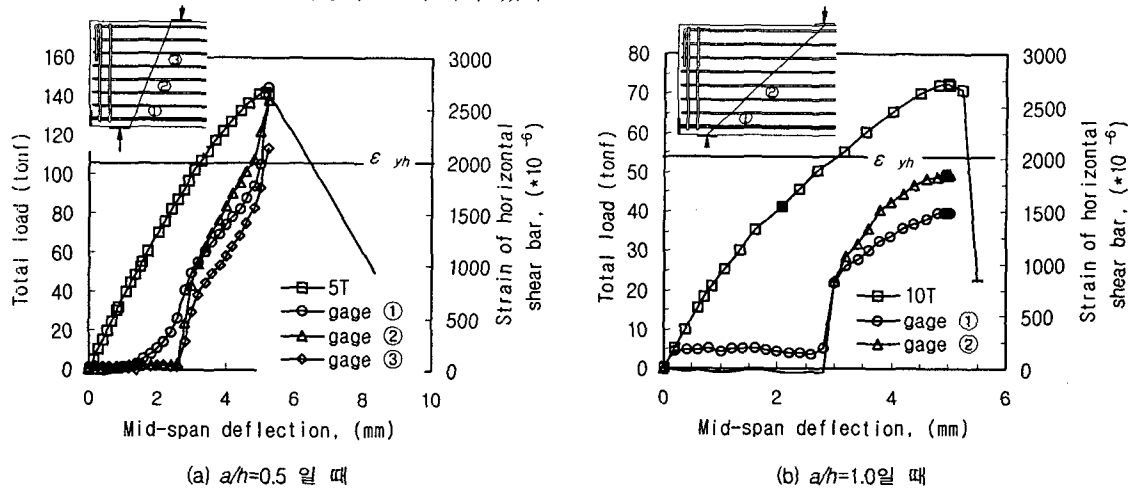


그림 6 수평 전단철근의 거동($\rho_{sh}=0.012$ 일 때)

4. 결론

- 1) a/h 가 1.0인 시험체에서 수평 전단철근 양이 많을수록 콘크리트 스트럿에 전단철근을 따라 많은 균열들이 발생하여 급격한 콘크리트 연화로 인한 전단내력이 감소하는 현상이 나타났다.
- 2) 수평 전단철근이 전단저항에 대한 효율성은 a/h 에 의해 결정되며, 깊은 보의 전단설계시 수평 전단철근의 배근은 a/h 가 1.0 미만에서 고려되어야 안전한 설계가 될 수 있을 것이라 판단된다.

참고문헌

1. 양근혁, 은희창, 정현수, "철근콘크리트 깊은 보의 전단강도와 설계기준과의 비교", 대한건축학회 논문집 구조계, 제17권 8호, 2001. 8., pp. 19-26.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete(318-99) and Commentary-(318R-99), American Concrete Institute, 1999.
3. Tan, K. H., Kong, F. K., Teng, S., and Weng, L. W., "Effect of Web Reinforcement on High-Strength Concrete Deep Beams," ACI Structural Journal, V.94, No. 5, Sep.-Oct., 1997, pp. 572-582.