

# 철근콘크리트 깊은 보에서 전단철근비와 전단내력의 관계

## The Relationships Between Shear Reinforcement Ratios and Shear Strength in Reinforced Concrete Deep Beams

양 근 혁\*  
Yang, Keun-Hyeok

박 정 화\*\*  
Park, Jeong-Hwa

정 현 수\*\*\*  
Chung, Heon-Soo

### ABSTRACT

The objective of this experimental study is to understand the effects of horizontal and vertical shear reinforcement on the shear strength of concrete deep beams. Main variables were the horizontal shear reinforcement ratio( $\rho_{sh}$ ), vertical shear reinforcement ratio( $\rho_{sv}$ ) and shear span-to-overall depth ratio( $a/h$ ). Test results revealed that the effectiveness of shear resistance of shear reinforcement was greatly related to the  $a/h$ . For the beams with  $a/h \geq 1.0$ , the vertical shear reinforcement was more effective than horizontal shear reinforcement.

### 1. 서론

철근콘크리트 깊은 보의 거동은 휨보다는 전단에 의해 지배된다. KCI-03 기준<sup>1)</sup>에서는 깊은 보의 전단설계 시 수평과 수직방향의 전단철근 배근을 제시하고 있다. 이때 전단철근의 전단저항은 전단마찰이론에 의해 순경간 깊이 비( $l_n/d$ )의 함수로서 제시하고 있다. 하지만 Smith<sup>2)</sup>, Tan<sup>3)</sup> 등은 수평, 수직 전단철근의 전단저항은 전단경간비( $a/h$ )에 의해 결정되며, KCI-03의 모태인 ACI 318-99에서 제시하는 전단철근의 전단내력 분담은 실험 값을 과대평가하여 불안전측에 있음을 지적하고 있다.

깊은 보의 안전한 전단설계를 위해서는 전단경간비에 따라 전단철근의 전단저항에 대한 효율성을 적절히 파악할 필요가 있다. 따라서 본 연구의 목적은 전단경간비에 따라 깊은 보의 전단내력에 대한 수평, 수직 전단철근의 영향을 평가하는데 있다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1 시험체 계획

주요 변수는 전단경간비의 변화에 따라 수평, 수직 전단철근 양과 전단내력이 관계를 파악하기 위

\* 정회원, 목포대학교 건축조경토목공학부 건축공학전공 전임강사

\*\* 정회원, 중앙대학교 건축공학과 석사과정

\*\*\* 정회원, 중앙대학교 건축공학과 교수

해 전단경간비( $a/h$ ), 수평 전단철근비( $\rho_h$ ), 수직 전단철근비( $\rho_v$ ) 등을 선택하였다. 콘크리트 강도는 32MPa이며,  $a/h$ 는 0.5, 0.7, 1.0, 1.5로 변화시켰다. KCI-03에서 제시하는 최소 전단철근 비와 최대간격을 고려하여 수평, 수직 전단철근을 각각 0.0, 0.006, 0.012로 하였다.

단면의 크기는 가력장치의 용량(300tonf)과 160×600mm로 하였다. 주철근은 1단 배근하였으며, 주철근의 항복 이전에 전단파괴를 유도하기 위해 항복강도가 820MPa인 고강도 철근을 사용하였다. 주철근 비는 약 1.0%(3-HD 19)이다. 주철근의 정착을 확보하기 위해 시험체 길이 방향의 양 단부에 강판(16×10×1cm)을 용접하였다. 압축 주철근은 2-D10(SD40)을 배근하였다. 전단철근은 D10으로서 전단경간 내에 균등한 간격으로 배근하였다.

시험체의 전체 길이는 2,400mm이며 경간은 2100mm로 고정시키고 가력점을 이동하여  $a/h$ 를 변화시켰다. 경간깊이비( $l/h$ )는 3.5로서 일정하게 있다. 시험체 상세 및 실험결과를 표 1에 자세히 나타내었다. 시험체 명에서 숫자는 전단경간비를, 두 번째 영문자는 수평 전단철근비를, 세 번째 영문자는 수직 전단철근비를 각각 나타낸다. 실험결과에서 전단철근의 전단내력 분담( $V_s$ )은 전단철근이 없는 동일 시험체의 전단내력을 뺀 값이다.

## 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 핀의 마찰을 최소화하였다. 하중 증가에 따른 전단철근의 거동을 살펴보기 위해 가력점과 지지점을 연결하는 잠재적인 균열면과 전단철근이 만나는 위치에 변형을 게이지를 부착하였다. 처짐은 가력점 및 시험체 중앙의 저면에 설치된 LVDT를 통해 측정하였다.

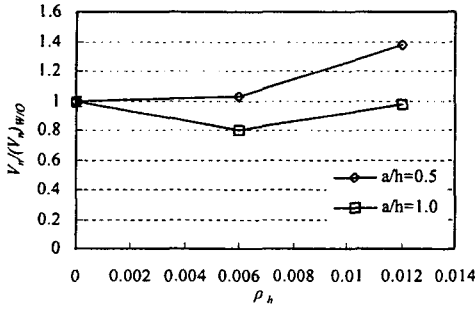
## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 전단철근비와 전단내력의 관계

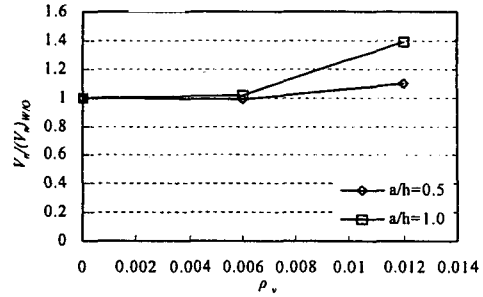
그림 1에 전단철근비와 상대 전단내력의 관계를 나타내었다. 상대 전단내력은 전단철근이 있는 시험체의 전단내력( $V_n$ )을 전단철근이 없는 동일조건 시험체의 전단내력( $(V_n)_{wo}$ )으로 나눈 값이다. 수평 전단철근비가 0.006으로 배근되었을 때 전단경간비 1.0에서, 그리고 수직 전단철근비가 0.006으로 배근되었을 때 전단경간비 1.0에서 전단내력의 증가는 보이지 않았다. 전단철근비가 0.012로 배근되었어도 전단철근비 0.006일 때와 동일한 경향을 보였다. 이와 같이 전단경간비가 0.5일 때 수직보다는 수평 전단철근이, 전단경간비가 1.0일 때에는 수평보다는 수직 전단철근의 전단내력 증가에 효율적으로 나타났다.

표 1. 시험체 상세 및 실험결과

specimen	$a/h$	수평전단철근		수직전단철근		$V_n$ (kN)	$V_s$ (kN)
		$\rho_h$	$s_h$ (mm)	$\rho_v$	$s_v$ (mm)		
5NN	0.5	0	0	0	0	506.6	-
5NS		0	0	0.006	148	497.3	-9.31
5NT				0.012	74	555.6	49
5SN		0.006	148	0	0	521.3	14.7
5SS				0.006	148	661.5	154.8
5TN		0.012	74	0	0	695.8	189.1
7NS	0.7	0	0	0.006	148	438.0	-
7SN		0.006	74	0	0	421.4	-
7SS				0.006	148	522.3	-
10NN	1.0	0	0	0	0	375.3	-
10NS		0	0	0.006	148	381.2	5.9
10NT				0.012	74	519.4	144.1
10SN		0.006	148	0	0	300.8	-74.5
10SS				0.006	148	463.5	88.2
10TN		0.012	74	0	0	365.5	-10
15NN	1.5	0	0	0	0	204.8	-
15SS		0.006	148	0.006	148	360.6	155.8



(a) 수평 전단철근비



(b) 수직 전단철근비

그림 1. 전단철근비와 상대 전단내력의 관계

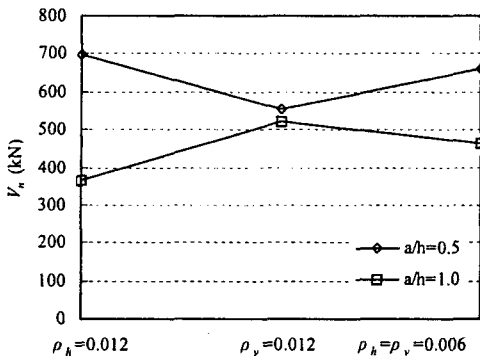


그림 2 전단철근 배근형태와 전단내력 관계

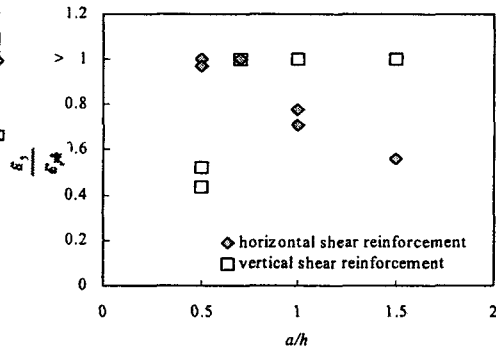


그림 3. 전단경간비와  $\epsilon_s/\epsilon_{yh}$ 의 관계

### 3.2 전단철근 배근형태와 전단내력의 관계

그림 2에 전단철근 배근형태와 전단내력의 관계를 나타내었다. 수평과 수직 전단철근만 배근된 경우에는 전단철근비가 0.012이며, 수평과 수직의 직교 전단철근이 배근된 경우에는 수평 전단철근비와 수직 전단철근비 각각 0.006으로서 합이 0.012이다. 전단경간비 0.5일 때 수평 전단철근만 배근된 경우가, 전단경간비 1.0일 때에는 수직 전단철근만 배근된 경우가 전단내력이 가장 크게 있었다. 즉 동일한 양의 수평과 수직의 직교 전단철근이 배근된 경우보다도 전단내력이 크게 있다. 전단경간비가 0.5 정도로 작을 때에는 수평 전단철근의 전단마찰 작용에 의해, 전단경간비가 1.0 정도로 크게 있을 경우에는 수직 전단철근의 직접인장 작용에 의한 전단저항이 발휘되고 있다고 판단된다.

### 3.3 전단철근의 변형률

그림 3에 전단경간비와 전단철근의 항복변형률( $\epsilon_{yh}$ )에 대한 전단철근의 변형률( $\epsilon_s$ )의 비의 관계를 나타내었다. 전단경간비가 1.0 이상에서 수평 전단철근은 항복 강도에 도달하지 못하고 있으며, 전단경간비 1.0 미만에서는 수직 전단철근이 항복강도에 도달하지 못하고 있음을 알 수 있다. KCI-03의 전단설계 기준에서는 취성파괴 방지를 위해 부재의 파괴 전에 전단철근이 항복할 수 있도록 제안하고 있다. 콘크리트 파괴 전 전단철근이 항복강도에 도달하기 위해서는 전단경간비에 따라 수평 또는 수직 전단철근을 적절히 배근해야 할 것이다.

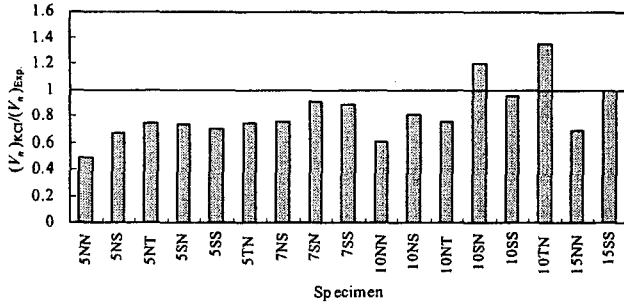


그림 4. 각 시험체의  $(V_n)_{KCI}/(V_n)_{Exp}$ 의 관계

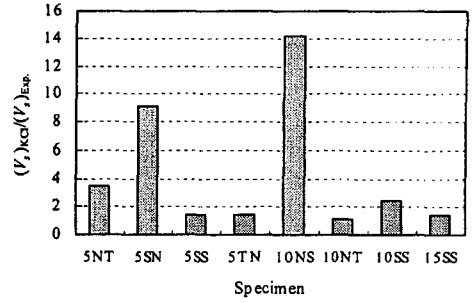


그림 5. 각 시험체의  $(V_s)_{KCI}/(V_s)_{Exp}$ 의 관계

### 3.4 KCI-03 기준과의 비교

KCI-03 기준은 콘크리트가 분담하는 전단내력( $V_c$ )과 전단철근이 분담하는 전단강도( $V_s$ )의 합으로 표현되는 일반 보의 전단내력 산정식을 따르고 있다. 콘크리트가 분담하는 전단내력은 식(1)에 의해 산정되며, 수평, 수직 전단철근이 분담하는 전단내력은 식(2)에 의해 산정된다.

$$V_c = \left(3.5 - 2.5 \frac{M_u}{V_u d}\right) \left(0.16 \sqrt{f_{ck}} + 17.6 \rho \frac{V_u d}{M_u}\right) b_w d \quad \text{단,} \quad \left(3.5 - 2.5 \frac{M_u}{V_u d}\right) \leq 2.5, \quad V_c \leq 0.5 \sqrt{f_{ck}} b_w d \quad (1)$$

$$V_s = f_{yh} d \left[ \frac{A_v}{s_v} \frac{1}{12} \left(1 + \frac{l_n}{d}\right) + \frac{A_{vh}}{s_h} \frac{1}{12} \left(11 - \frac{l_n}{d}\right) \right] \quad (2)$$

그림 4에 각 시험체에서 전단내력에 대한 실험값과 식(1)과 식(2)의 합에 의해 구한 계산 값의 비를 나타내었다. 전단철근이 없을 때 KCI-03 기준은 실험값 대비 평균 0.5 정도로 안전측에 있지만 전단철근이 배근되면 안전율은 감소하며 특히 전단경간비 1.0에서 수평 전단철근이 배근된 시험체들은 불안전측에 있었다. 이는 그림 6에 나타낸 바와 같이 식(2)에 의한 전단철근의 전단내력 분담이 매우 과대평가 되고 있기 때문이다. 따라서 전단철근의 전단내력 평가에 대한 합리적인 모델이 필요하다.

## 4. 결론

- 1) 전단경간비가 0.5일 때 수직보다는 수평 전단철근이, 전단경간비가 1.0일 때에는 수평보다는 수직 전단철근의 전단내력 증가에 효율적으로 나타났다.
- 2) KCI-03 기준은 전단경간비 1.0에서 수평 전단철근이 배근된 시험체들의 전단내력을 과대평가하였다. 전단경간비에 따라 수평, 수직 전단철근의 전단저항을 합리적으로 반영하는 모델이 필요하다.

## 감사의 글

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2003-041-D00586)

## 참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트구조설계기준, 2003
2. Smith, K. N., and Vantsiotis, A. S., "Shear Strength of Deep Beams," ACI Journal Proceeding, V.79, No.3, May-June, 1982, pp. 201-213
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