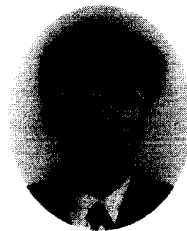


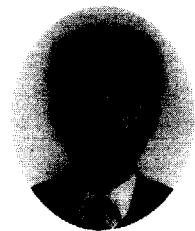
# 집중하중을 받는 철근콘크리트 깊은 보의 전단거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Shear Behavior of  
Reinforced Concrete Deep Beams Subject to Concentrated Loads



이진섭\*

Lee, Jin-Seop



김상식\*\*

Kim, Sang-Sik

## ABSTRACT

The shear behavior of simply supported reinforced concrete deep beams subject to concentrated loads has been scrutinized experimentally to verify the influence of the structural parameters such as concrete strength, shear span-depth ratio, and web reinforcements.

A total of 42 reinforced concrete deep beams with compressive strengths of 250 kg/cm<sup>2</sup> and 500 kg/cm<sup>2</sup> has been tested at the laboratory under one or two-point top loading. The shear span-depth ratio have been taken as three types of 0.4, 0.8 and 1.2, and the horizontal and vertical shear reinforcements ratio, ranging from 0.0 to 0.57 percent respectively. In the tests, the effects of the shear span-depth ratio, concrete strength and web reinforcements on the shear strength and crack initiation and propagation have been carefully checked and analyzed.

From the tests, it has been observed that the failures of all specimens were due to shear and the shear behaviors of specimens were greatly affected by inclined cracks from the load application points to the supports in shear span. The load bearing capacities have changed significantly depending on the shear span ratio, and the efficiency of horizontal shear reinforcements were increased as the shear span-depth ratio decreased.

The test results have been analyzed and compared with the formulas proposed by previous researchers and the design equations from the code. While the shear strengths obtained from the tests showed around 1.4 and 1.9 times higher than the values calculated by CIRIA guide and the domestic code, they were closely coincident with the formulas given by de Paiva's equation.

keywords : Deep Beam, Shear-span Depth Ratio, Web Reinforcements, Shear Strength

\* 정회원, 인하대학교 건축공학과 박사과정

\*\* 정회원, 인하대학교 건축공학과 교수

• 본 논문에 대한 토의를 1999년 6월 30일까지 학회로 보내  
주시면 1999년 8월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서론

철근콘크리트 구조물에서 깊은 보의 일반 보에 비하여 춤이 크고 스패น이 상대적으로 작은 보를 일컬으며, 철근콘크리트 구조제산 규준에서는 보의 춤이 스패스의 1/5 이상 되며, 하중점과 지지점 사이의 경사진 압축대에 의하여 힘이 전달되는 부재로 정의하고 있다. 철근콘크리트 건물에서 기둥열이 바뀔 때 상층부를 지지하는 층 높이의 보나 기초 벽보, 전단벽 등의 부재들은 거의 깊은 보의 범주에 속한다.

깊은 보의 구조거동은 휨작용이 지배적인 일반 보와 달리 상부에 작용하는 하중의 많은 부분이 하중점과 지지점 및 휨 인장 철근 사이에 형성되는 트러스 작용에 의하여 전달되기 때문에 깊은 보의 파괴는 주로 전단거동에 의하여 지배받게 된다. 균열이 생기지 않은 깊은 보의 응력은 평면 응력 상태의 2차원 탄성이론에 의하여 결정되나, 균열 발생 시에는 구조 및 재료의 비선형성으로 인하여 구조거동에 대한 정확한 이론적 해석방법이 확립되어 있지 않은 상태이며, 대부분의 설계 공식은 실험에 근거를 두고 있다.

기존의 많은 실험 연구에서 깊은 보의 하중 지지능력은 콘크리트 강도, 전단스패스와 보춤의 비, 수평 및 수직 보강 철근의 영향을 받는 것으로 밝혀지고 있다. 이러한 관점에서 이 연구에서는 전단스패스비, 콘크리트의 강도, 웨브의 수직-수평 철근 보강 등을 변수로 하여 집중하중을 받는 철근콘크리트 깊은 보의 구조거동과 파괴형태를 실험적으로 조사하고 하중 지지능력을 분석하며, 기존의 제안식 및 규준식과 비교하여 철근콘크리트 깊은 보의 설계에 필요한 전반적인 기초 자료를 제시하고자 한다.

## 2. 시험체 및 실험장치

### 2.1 시험체 제작

실험에 사용된 시험체는 콘크리트 강도, 전단스패스비 및 웨브의 수직-수평철근비를 변수로 하여 모두 42 개가 구조 실험실에서 제작되었으며, 실험 변수의 내용은 다음과 같다.

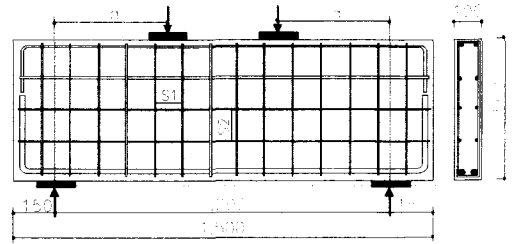


Fig. 1 Details of Specimens

- ① 콘크리트 강도 ; 일반강도  $250 \text{ kg/cm}^2$ ,  
고강도  $500 \text{ kg/cm}^2$
- ② 전 단 스 패스 비 ; 0.4, 0.8, 1.2
- ③ 수직보강철근비 ; 0.00, 0.0028, 0.0057
- ④ 수평보강철근비 ; 0.00, 0.0027, 0.0054

시험체는 Fig. 1에서 보이는 바와 같이, 단면이  $10 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$  이며, 지점간의 거리가  $120 \text{ cm}$  인 장방형 단순보로서 모든 시험체의 단면과 지점간의 거리는 일정하다.

주인장철근은 SD40 재질이며 일반강도 시험체의 경우 2-D19, 고강도 시험체의 경우 2-D22로서 철근비 0.0125와 0.0168을 유지하였으며, 충분한 정착길이를 확보하기 위하여  $90^\circ$  훅크하여 모든 시험체에 동일하게 배근하였다. 웨브의 보강은  $\Phi 6$  원형철근을 사용하였으며, 시험체의 크기, 지점거리 및 전단스패스 거리 등을 고려하여 배근하였다.

각 시험체의 콘크리트 압축강도, 전단스패스비, 수직 및 수평 철근비는 Table 1에 나타나 있다. Table 1의 시험체 기호 표시에서, 첫번째 문자는 콘크리트의 압축강도 표시로 **N**은  $250 \text{ kg/cm}^2$ , **H**는  $500 \text{ kg/cm}^2$ 을 나타내며, 두번째 문자인 **A**, **B**, **C**는 각각 전단스패스비 0.4, 0.8 및 1.2를 의미한다. 세번째 숫자는 웨브의 수직 철근비에 대한 내용으로,  $\Phi 6$  원형철근을 복배근으로 하여 간격이  $10 \text{ cm}$ 인 것은 1, 간격이  $20 \text{ cm}$ 인 것은 2로 표기하였고, 마지막 숫자는 웨브의 수평 철근비에 대한 것으로서, 시험체의 높이를 고려하여  $\Phi 6$  원형철근의 간격을  $10.5 \text{ cm}$ 로 하여 단배근 한 것은 1, 복배근 한 것은 2로 표기하였다.

예를 들어 NA12는 콘크리트 압축 강도가  $250 \text{ kg/cm}^2$ 이고, 전단스패스비 0.4에 수직 철근비 0.0028, 수평 철근비 0.0054를 갖는 시험체

Table 1 Properties of Specimen

시험체	압축 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	전단 스펠비 (a/h)	수직 철근		수평 철근	
			간격 S <sub>v</sub> (cm)	철근비 ρ <sub>v</sub>	간격 S <sub>h</sub> (cm)	철근비 ρ <sub>h</sub>
NA00	250	0.4	-	0	-	0
NA01					10.5	0.0027
NA02			10.5	0.0054		
NA10			20	0.0028	-	0
NA11					10.5	0.0027
NA12					10.5	0.0054
NA20					-	0
NA21			10	0.0057	-	0.0027
NA22					10.5	0.0054
NB00			0.8	-	0	10.5
NB01		10.5				0.0027
NB02		10.5		0.0054		
NB10		-		0		
NB11		20		0.0028	10.5	0.0027
NB12					10.5	0.0054
NB20		-		0		
NB21		10		0.0057	10.5	0.0027
NB22					10.5	0.0054
NC00		1.2		-	0	-
NC01			10.5			0.0027
NC02			10.5	0.0054		
NC10			-	0		
NC11	20		0.0028	10.5	0.0027	
NC12				10.5	0.0054	
NC20	-		0			
NC21	10		0.0057	10.5	0.0027	
NC22				10.5	0.0054	
HA00	500		0.4	-	0	-
HA02		10.5				0.0054
HA11		20		0.0028	10.5	0.0027
HA20		10		0.0057	-	0
HA22		10.5	0.0054			
HB00		0.8	-	0	-	0
HB02					10.5	0.0054
HB11			20	0.0028	10.5	0.0027
HB20			10	0.0057	-	0
HB22		10.5	0.0054			
HC00		1.2	-	0	-	0
HC02					10.5	0.0054
HC11			20	0.0028	10.5	0.0027
HC20			10	0.0057	-	0
HC22	10.5	0.0054				

를 나타낸다.

시험체 제작에는 강재 거푸집이 이용되었으며, 거푸집에 타설된 콘크리트는 봉형 진동기를 사용하여 콘크리트가 밀실하게 채워지도록 전 면적에 고르게 사용하였다. 또한 콘크리트의 설계 압축강

Table 2 Mix Proportion of Concrete

설계 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	물-시멘트 비 (%)	중 량 비 (kg/m <sup>3</sup> )				
		시멘트	물	모래	자갈	혼화제
250	55.3	333	184	857	887	
500	27.3	643	176	658	853	1.92

도는 일반강도의 경우는 28일 압축강도 250 kg/cm<sup>2</sup>을, 고강도의 경우는 500 kg/cm<sup>2</sup>을 기준으로 하여 Table 2와 같이 배합하였다. 압축강도 실험 결과 콘크리트의 평균 압축강도는 일반강도 시험체의 경우는 256 kg/cm<sup>2</sup>, 고강도 시험체의 경우는 505 kg/cm<sup>2</sup>로 측정되었다.

### 2.2 시험장치 및 실험 방법

구조실험에서 시험체의 가력에는 200 톤 용량의 만능시험기(UTM)가 사용되었으며, 가력점과 지지점에는 시험체의 지압파괴를 막기 위하여 길이 14 cm, 너비 10 cm의 힌지로 된 지지판이 설치되었다. 시험체의 변위는 중앙부에 3 개, 지지점 사이의 1/4 지점에 각각 2 개씩 설치된 자동 변위계를 통해 측정하였고, 전단스펠비가 0.4, 0.8인 A계열과 B계열 시험체는 상부에서 2점 집중하중으로, 전단스펠비가 1.2인 C계열 시험체는 중앙부 상단에 1점 집중하중으로 작용토록 하여 각기 다른 전단스펠비를 갖도록 하였다. 파괴에 이르기까지 1분당 약 1톤의 속도로서 점진적으로 가력하였으며, 각 하중 단계마다 하중, 처짐 등을 자동 변형률 측정기를 통해 컴퓨터에 저장되도록 하였고 균열 발생 및 진전 상황을 관찰, 기록하였다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 균열 및 파괴 형태

모든 시험체는 휨파괴 이전에 전단 파괴되었고, 전단스펠 내에서 콘크리트의 과도한 균열 및 파괴에 의해 파괴되었다. 초기균열은 대부분의 시험체에서 보의 중앙부에서 수직 휨균열 형태로 발생하였으며, 경사 균열은 일반강도 시험체의 경우 극한 하중의 30~50 퍼센트, 고강도 시험체의 경우는 극한하중의 20~30 퍼센트에서 양쪽 전

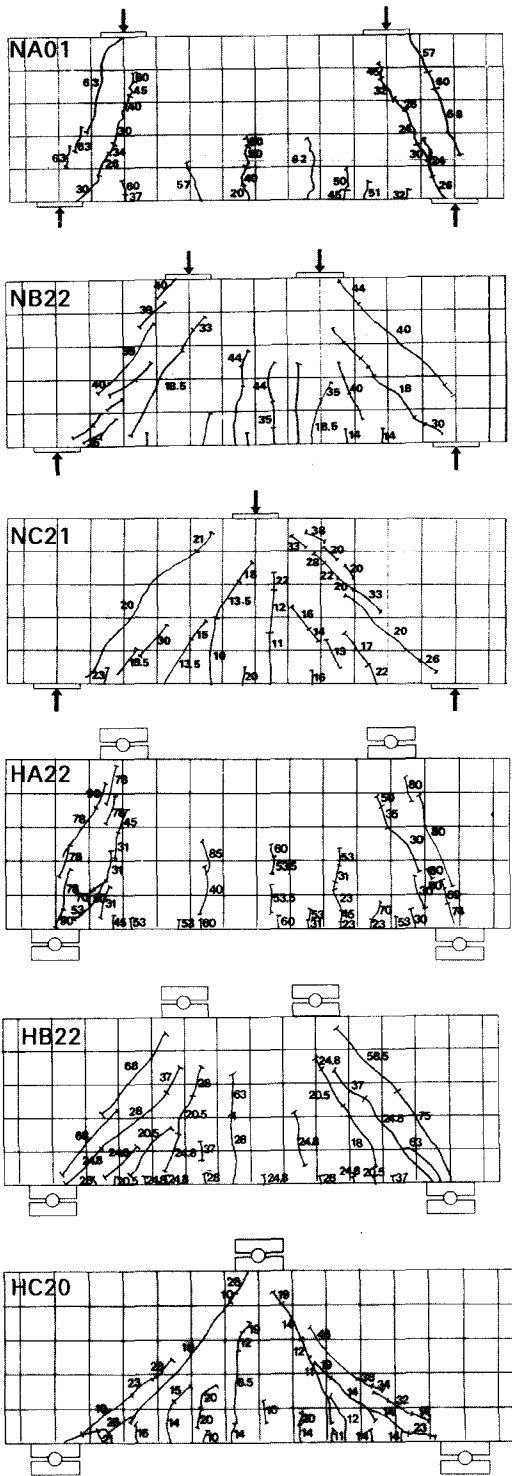


Fig. 2 Crack Patterns of Specimen

Table 3 Load-Displacements Relationships of Specimen

시험체	압축 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	전단 스패너 a/h	경사 균열		최대 하중	
			하중 (톤)	변위 (mm)	하중 (톤)	변위 (mm)
NA00	250	0.4	22.0	0.73	60.3	2.12
NA01			22.0	0.77	72.6	3.15
NA02			25.5	0.74	74.5	2.81
NA10			25.0	0.93	70.2	3.14
NA11			23.0	0.76	65.1	2.98
NA12			28.0	0.97	69.8	2.66
NA20			23.5	0.78	62.2	2.87
NA21		27.0	0.83	68.0	2.62	
NA22		33.0	1.36	66.5	3.23	
NB00		15.0	0.78	35.6	2.46	
NB01		16.7	0.83	48.4	3.25	
NB02		14.5	0.74	50.6	3.80	
NB10		21.0	0.99	49.4	3.09	
NB11		18.0	0.77	48.2	2.81	
NB12	17.4	0.95	52.5	3.61		
NB20	20.0	0.91	47.7	2.95		
NB21	15.0	0.69	48.7	3.42		
NB22	17.1	0.98	51.4	3.61		
NC00	14.8	1.12	29.1	3.44		
NC01	15.2	1.08	35.7	4.27		
NC02	14.0	0.80	37.3	3.53		
NC10	15.0	0.94	38.5	4.14		
NC11	14.0	0.97	27.1	2.64		
NC12	15.1	0.94	36.1	3.76		
NC20	13.5	0.82	38.2	3.62		
NC21	20.0	1.41	36.8	3.89		
NC22	15.5	0.87	36.4	3.55		
HA00	500	0.4	20.0	0.31	105.6	2.22
HA02			28.0	0.35	116.3	2.00
HA11			23.0	0.33	116.5	2.10
HA20			25.0	0.26	108.6	1.74
HA22		30.0	0.43	111.5	2.06	
HB00		0.8	14.5	0.42	63.9	3.14
HB02			16.0	0.40	77.5	3.32
HB11			15.0	0.45	82.6	3.84
HB20			15.0	0.47	74.9	3.45
HB22			20.0	0.51	81.2	3.42
HC00			1.2	14.0	0.53	44.3
HC02		14.0		0.43	44.1	2.46
HC11		13.5		0.50	49.1	3.45
HC20		14.0		0.59	59.0	4.13
HC22	13.5	0.46	62.8	4.47		

단스팬의 중앙부근에서 거의 대칭으로 발생하였다. 하중 증가에 따라 휨균열이 새롭게 발생하여 수직 혹은 경사지게 가력점 방향으로 진전되었으나 균열폭은 극히 미소하였고, 경사균열폭은 하중 증가에 따라 조금씩 확장되었지만 웨브가 보강된

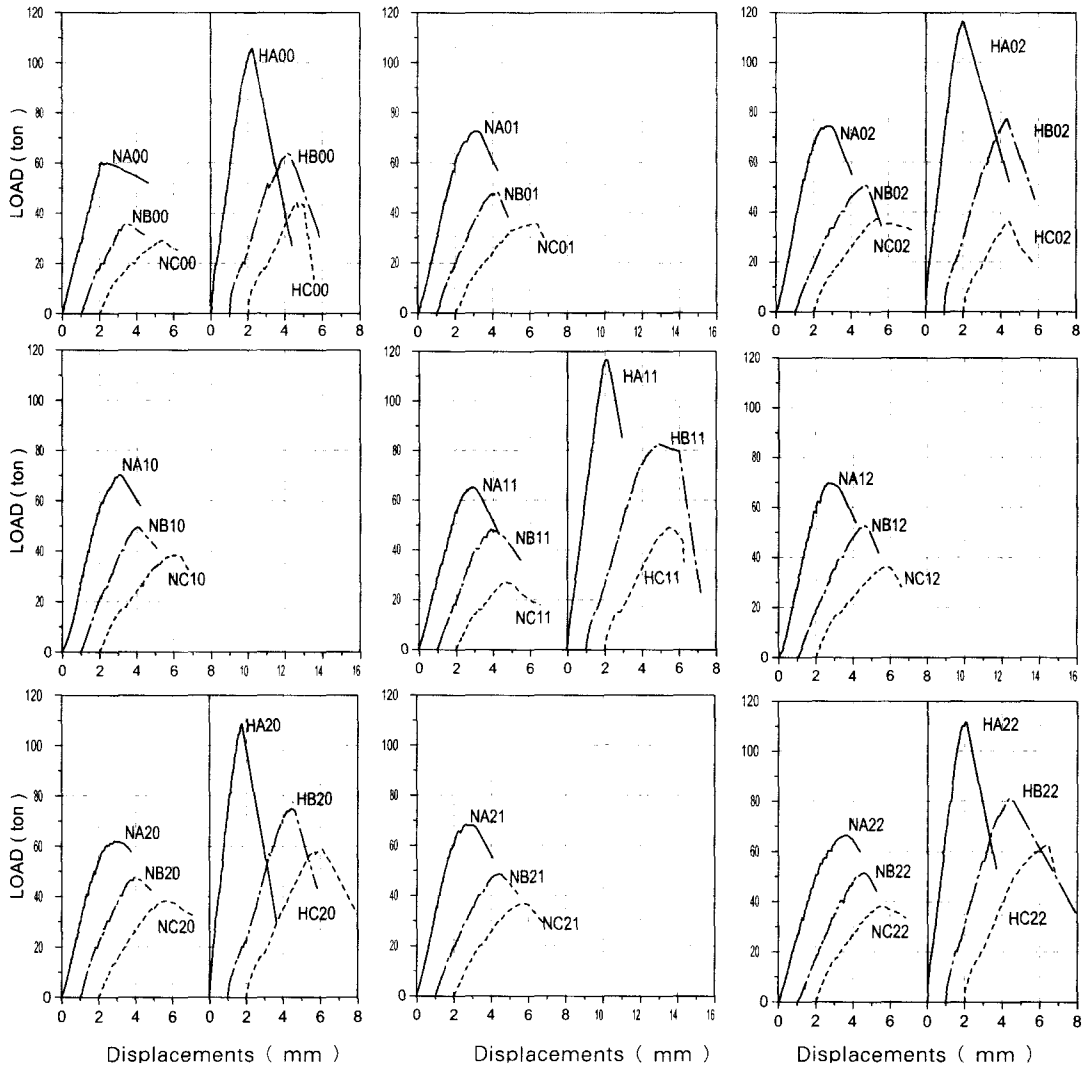


Fig. 3 Load-Displacements Curve

시험체는 보강되지 않은 시험체에 비해 균열이 분산되어 나타났고 상대적으로 작은 균열 폭을 보이고 있었다. 또한 일반강도 시험체인 NA와 NB계열 시험체에서 파괴하중의 70~90%에 이르러 기준 경사균열 위로 평행하게 새로운 경사 균열이 발생한 후 완만히 하중을 지지하다 파괴되었으나, 일반강도 시험체 중 전단스팬비가 1.2로 가장 큰 NC계열 시험체 및 모든 고강도 시험체의 경우는 이러한 새로운 경사균열이 발생하는 동시에 파괴되는 양상을 보였다. 전단스팬비가 커질수록 가력점과 지지점을 잇는 선을 따라 그 균열각이 점점 작아지는 경향을 보였는데, 고강도

시험체의 경우는 이러한 경향이 더욱 현저하였다. 또한 대부분의 시험체에서 경사진 압축대 형성이 관찰되어 보의 아치작용에 의하여 전단력이 지지되는 것으로 나타났다.

### 3.2 하중-변위 관계

각 시험체의 실험결과는 Table 3에 요약되어 있으며, 그 결과 Fig. 3에서 보이는 바와 같이 시험체의 초기강성은 압축강도에 관계없이 전단스팬비가 작을 수록 크게 나타났고, 경사균열 발생 이후 보의 강성이 감소되는 경향을 보였는데, 이러

한 현상은 전단스팬비가 클수록 현저하게 나타났다. 일반강도 시험체의 경우 NA계열 시험체의 하중-변위 곡선에서는, 최대하중의 90퍼센트까지는 거의 선형적인 거동을 보이다가 최대하중 부근에서는 비선형 거동이 나타났으며, NB·NC계열 시험체는 경사균열 발생 이전까지는 탄성거동을 보였으나 경사균열이 발생된 이후에서는 강성의 감소와 함께 비선형 거동을 보여 경사균열이 깊은 보의 거동에 영향을 주는 것으로 나타났다. 그러나 고강도 시험체의 경우에는 경사균열이 발생하면서 일시적으로 강성저하가 일어나나, 다시 강성을 회복하여 최대하중의 약 80~90 퍼센트까지 선형적인 거동을 보이다가 비선형 거동을 나타내며 파괴되었다.

#### 4. 실험결과와 분석 및 고찰

##### 4.1 경사균열 및 최대 하중에 대한 비교

일반적으로 철근콘크리트 보에서 웨브 보강근이 없는 경우, 전단스팬비가 2.5 이상인 보는 전단균열이 발생하면 곧 최대하중에 도달하지만, 전단스팬비가 2.5 이하인 깊은 보에서는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 웨브 보강에 관계없이 모든 시험체에서 경사균열 하중은 최대하중보다 상당히 작게 나타나고 있다. 경사균열이 발생한 이후에도 높은 전단지지성능을 보이는 것은 깊은 보에 발생하는 전단력이 아치작용에 의하여 지지되기 때문으로 판단되며, 전단스팬비가 증가함에 따라 경사균열 및 최대하중은 일정하게 감소하는 경향을 보이고 있어 전단스팬비의 증가에 따라 아치작용 역시 감소하는 것으로 나타났다. 최대하중은 압축강도에 따라 크게 증가하였으나, 초기 경사균열이 발생할 때의 하중은 콘크리트의 압축강도가 거의 2 배로 증가하여도 동일 전단스팬대에서는 거의 일정한 하중 분포를 보이고 있는 것으로 측정되어, 콘크리트의 압축강도 증가가 초기 경사균열의 발생 억제에는 큰 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다.

##### 4.2 콘크리트 압축강도의 영향

콘크리트의 압축강도가 2배로 증가한 경우, Fig. 5에서 보이는 바와 같이 콘크리트의 압축

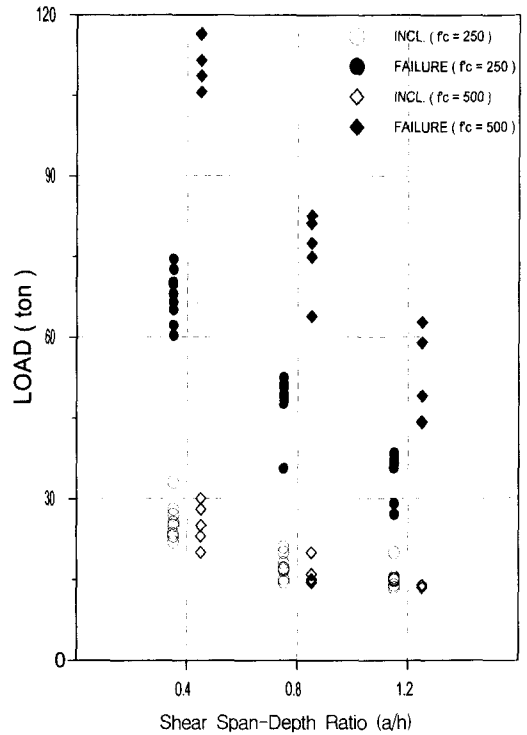


Fig. 4 Effect of Shear Span-Depth Ratio

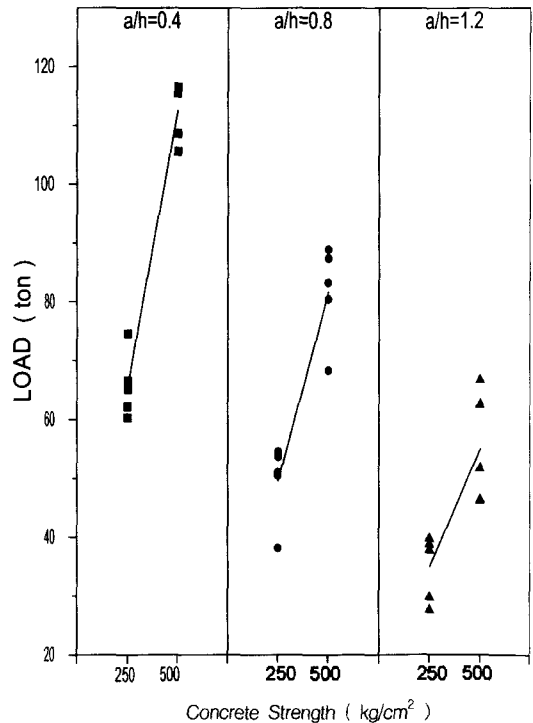


Fig. 5 Effect of Concrete Strength

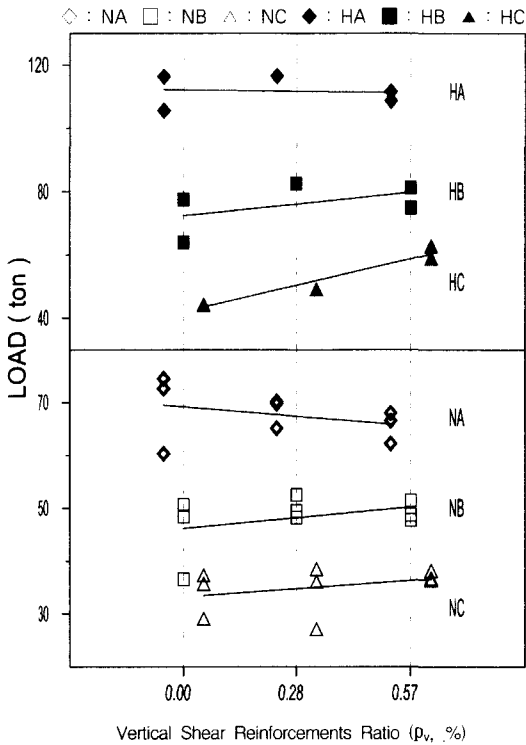


Fig. 6 Effect of Vertical Shear Reinforcements

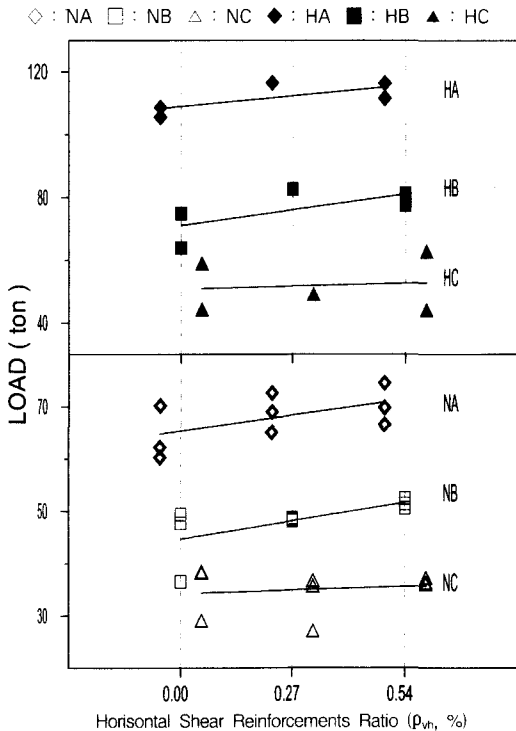


Fig. 7 Effect of Horizontal Shear Reinforcements

증가에 따른 경사균열 하중의 증가는 거의 없었으나, 평균 최대하중은 크게 증가하였다. 또한 전단스팬비가 증가할수록 압축강도에 따른 최대하중의 증가율이 현저히 줄어들고 있어, 전단스팬비의 증가에 따라 콘크리트의 압축강도가 전단강도에 미치는 영향이 일정하게 감소하고 있음을 알 수 있었다.

#### 4.3 웨브 전단보강근의 영향

웨브의 전단보강근 효과는 하중점과 지지점을 잇는 선과 각각의 전단보강근이 만나는 각도에 따라 수직철근과 수평철근의 효과가 좌우되는 것으로 보이며, 전단강도에 대한 시험체별 수직, 수평철근의 영향은 다음과 같다.

##### 1) 수직보강철근의 영향

수평 철근비가 일정한 경우, 수직 철근비의 변화에 따른 극한전단강도와와의 관계는 Fig. 6에 나타나 있다. 일반강도 및 고강도 시험체 모두, 전단스팬비가 0.4인 A 계열에서는 수직철근비의 증가에 따른 시험체의 전단강도 증가가 없었으나, 전단스팬비가 0.8, 1.2인 B, C 계열 시험체의 경우는 수직철근비가 증가할수록 시험체의 전단강도가 증가하여, 완만하나 전단스팬비가 증가할수록 웨브의 수직보강근 효과가 커짐을 알 수 있었다.

##### 2) 수평보강철근의 영향

Fig. 7에서 보이는 바와 같이, 수직철근비가 일정할 때 일반강도 및 고강도 시험체 모두, 전단스팬비가 0.4, 0.8인 A, B 계열 시험체에서는 수평철근비의 증가에 따라 극한전단강도가 증가하는 경향을 보였다. 그러나 전단스팬비가 1.2인 C 계열 시험체에서는 전단스팬비가 증가하여도 거의 일정한 전단강도를 보여, 전단스팬비가 작을수록 수평철근의 영향을 더 받는 것으로 보인다.

#### 4.4 제안식 및 표준식과의 비교

철근콘크리트 깊은 보의 전단강도에 대한 제안식, 강도설계법에 의한 국내 표준식 및 CIRIA의 지침식은 다음과 같다.

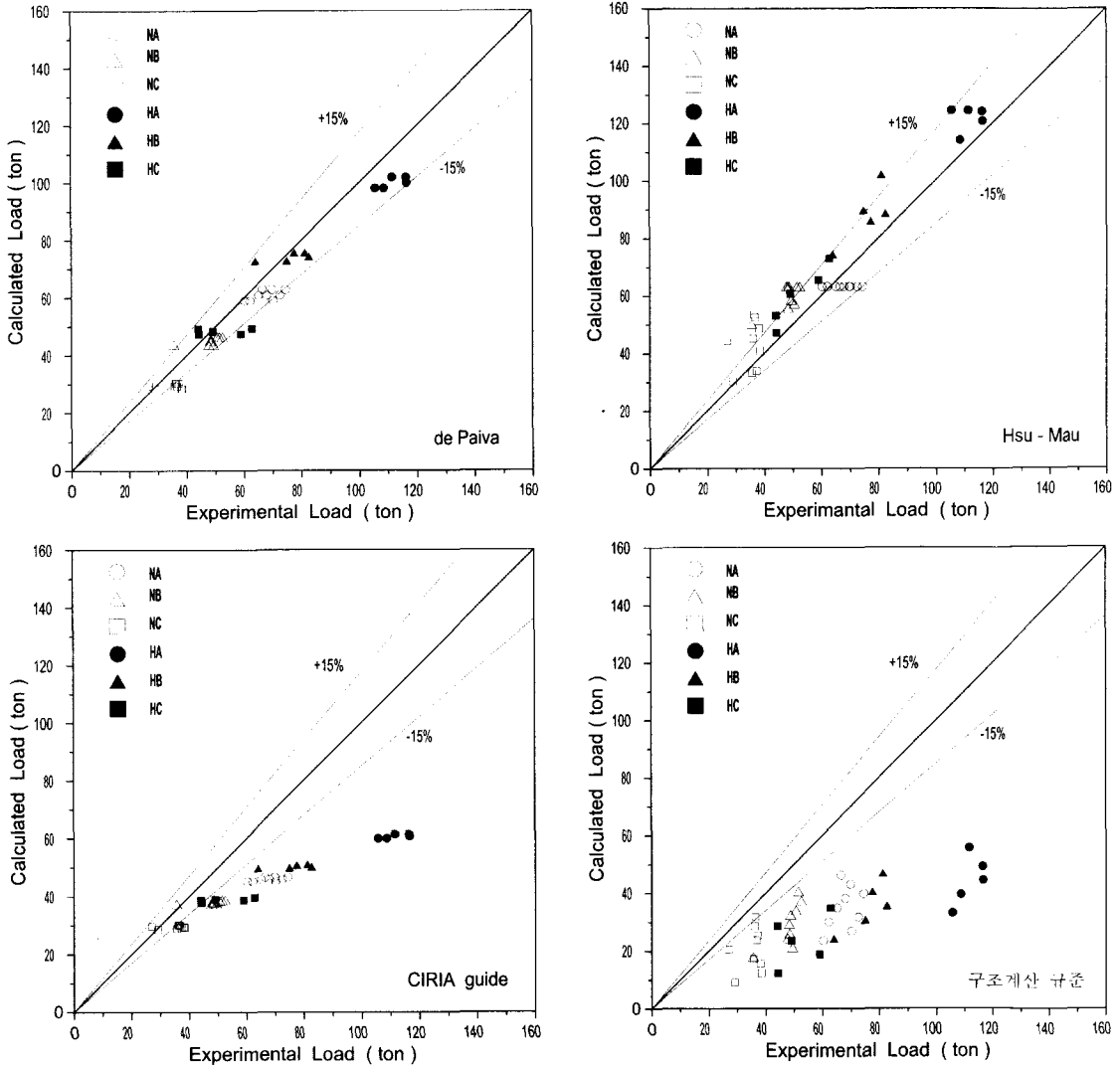


Fig. 8 Comparison of Failure Load Between Theoretical Predictions and Test Results

1) de Paiva and Siess 제안식<sup>(4)</sup>

$$V_n = 0.124 bh \left( 1 - 0.6 \frac{x}{h} \right) \left( 200 + 2.674 f'_c + 21,300 \frac{A_s}{bh} \right) \dots\dots\dots(1)$$

- x : 지지점과 하중점 사이의 순전단스팬(cm)
- h : 깊은 보의 전체 춤(cm)
- $A_s$  : 모든 수평철근의 전체 단면적( $\text{cm}^2$ )
- $f'_c$  : 원통형 공시체의 압축강도( $\text{kg/cm}^2$ )

2) Hsu-Mau<sup>(9)</sup>의 제안식

$$V_n = 0.5 f'_c b d_v [k(\omega_l + 0.03) + \sqrt{k^2(\omega_l + 0.03)^2 + 4(\omega_l + 0.03)(\omega_l + 0.03)}] \leq 0.3 f'_c b d_v \dots\dots\dots(2)$$

여기서,

$$\omega_l = \frac{\rho_l f_y}{f'_c} \leq 0.26, \quad \omega_t = \frac{\rho_t f_y}{f'_c} \leq 0.12$$

$$k = \frac{2d_v}{h} \quad 0 < a/h \leq 0.5$$

$$k = \frac{d_v}{h} \left[ \frac{h}{a} \left( \frac{4}{3} - \frac{2}{3} \frac{a}{h} \right) \right] \quad 0.5 < a/h \leq 2$$

$$k = 0 \quad a/h > 2$$



$f'_c$  : 원통형 공시체의 압축강도(kg/cm<sup>2</sup>)  
 $f_y$  : 보강근의 항복강도(kg/cm<sup>2</sup>)  
 $d_v$  : 전단요소의 유효축(cm),  $d_v = d - d'$   
 $a$  : 전단스팬(cm)

3) CIRIA 규준식<sup>(6)</sup>

$$V_n = C_1 \left( 1 - 0.35 \frac{x}{h} \right) \sqrt{f_{cu}} bh + C_2 \sum A \frac{y}{h} \sin^2 \alpha \dots\dots\dots(3)$$

$C_1 = 0.44$  (일반콘크리트)  
 $C_2 = 850 \text{ kg/cm}^2$  (원형철근)  
 $= 1950 \text{ kg/cm}^2$  (이형철근)

$f_{cu}$  : 정방형 공시체의 압축강도 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $x$  : 지지점과 하중점 사이의 순전단스팬 (cm)  
 $A$  : 지지점과 하중점을 잇는 선과 만나는 철근의 단면적 (cm<sup>2</sup>)  
 $y$  : 지지점과 하중점을 잇는 선과 만나는 철근이 보상단에서부터 떨어진 거리 (cm)  
 $\alpha$  : 지지점과 하중점을 잇는 선과 철근이 이루는 각도

4) 강도설계법에 의한 국내 규준식<sup>(1)</sup>

$$V_n = \phi ( V_c + V_s ) \dots\dots\dots(4)$$

$$V_c = \left( 3.5 - 2.5 \frac{M_u}{V_u d} \right) \left( 0.5 \sqrt{f'_c} + 176 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right)$$

$$V_s = \left[ \frac{A_v}{s} \left( \frac{1 + l_n/d}{12} \right) + \frac{A_{vh}}{s_2} \left( \frac{11 - l_n/d}{12} \right) \right] f_y d$$

여기서,

$f'_c$  : 원통형 공시체의 압축강도 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $f_y$  : 보강근의 항복강도 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $l_n$  : 지지점 사이의 순스팬 (cm)  
 $A_v$  : 수직 전단보강근 단면적 (cm<sup>2</sup>)  
 $s$  : 수직 전단보강근의 간격 (cm)  
 $A_{vh}$  : 수평 전단보강근 단면적 (cm<sup>2</sup>)  
 $s_2$  : 수평 전단보강근의 간격 (cm)

5) 제안식 및 규준식과의 비교

실험결과를 토대로 할 때, de Paiva and Siess<sup>(4)</sup>의 식은 제안식/실험값의 평균과 표준편차가 각각 0.92과 0.10으로서, 실험결과보다는 다소 낮지만 콘크리트 강도와 관계없이 거의 실험값에 근접하고 있는 것으로 나타났다. 연화 트

러스 모델을 사용한 Hsu- Mau<sup>(9)</sup>의 식은 제안식/실험값의 평균과 표준편차가 각각 1.14와 0.17이며 실험결과에 비해 다소 큰 전단강도를 보이고 있으며, 전단스팬비가 1.2인 일반강도 시험체에서 비교적 큰 산포를 보였다. Kong<sup>(6)</sup> 등의 실험식에 안전율을 도입하여 수립된 CIRIA 규준식은 가정된 균열단면과 이에 맞는 경사진 철근의 영향을 고려한 것으로서, 규준식/실험값의 평균과 표준편차가 각각 0.73과 0.13으로 나타나고 있다. 강도설계법에 의한 국내규준<sup>(1)</sup>으로 계산된 깊은 보의 전단강도는 규준식/실험값의 평균과 표준편차가 각각 0.52와 0.15로서, 실험값에 비교하여 상당히 낮은 값으로 계산되고 있으며 특히 콘크리트 요소의 전단강도에 대한 기여도가 다른 식에 비해 비교적 작게 평가되고 있다. 따라서 국내 규준식은 안전 측에 있는 것으로 판단되며, 각 제안식 및 규준식과 실험값의 비교는 Fig. 8에 나타나 있다.

5. 결론

이 연구는 집중하중을 받는 철근콘크리트 깊은 보에 관한 것으로, 각기 다른 콘크리트 강도, 전단스팬비 및 웹 보강근을 갖는 단순지지 시험체를 대상으로 하여 전단강도 및 파괴거동을 실험을 통해 조사하고 이를 이론식 및 현행 규준식과 비교하였으며, 고찰된 결과는 다음과 같다.

- 1) 모든 시험체는 전단스팬 내에서 콘크리트의 과도한 균열 및 압괴에 의해 파괴되었으며, 가력점과 반력점을 잇는 선을 따라 경사진 압축대 형성이 관찰되어 보의 아치작용에 의하여 전단력이 지지되는 것으로 나타났다.
- 2) 시험체의 초기강성은 압축강도에 관계없이 전단스팬비가 작을수록 크게 나타났으며, 경사균열 발생 이후 보의 강성이 점진적으로 감소되나, 고강도 시험체의 경우는 균열 이후 강성을 회복하여 최대하중의 약 80~90 퍼센트까지 거의 선형적인 거동을 보였다.
- 3) 전단스팬비가 증가함에 따라 경사균열 및 최대하중은 일정하게 감소하는 경향을 보이고 있어, 전단스팬비의 증가에 따라 아치작용이 감소하는 것으로 나타났다.

- 4) 콘크리트 압축강도가 증가할수록 최대하중은 증가하나 경사균열 하중은 거의 변화가 없으며, 전단스팬비가 증가할수록 압축강도 증가에 따른 최대하중의 증가율이 현저히 줄어들고 있어, 전단스팬비의 증가에 따라 콘크리트의 압축강도가 전단강도에 미치는 영향 또한 일정하게 감소하는 것으로 보인다.
- 5) 웨브의 전단보강근 효과는 하중점과 지지점을 잇는 선과 전단보강근이 만나는 각도에 크게 영향을 받는 것으로 보이며, 전단스팬비가 작아지면 수평보강근의 효과가, 전단스팬비가 커지면 수직보강근의 효과가 상대적으로 커짐을 알 수 있었다.
- 6) 이론식으로는 de Paiva의 제안식이, 표준식으로는 CIRIA guide가 실험결과에 가장 부합하는 것으로 나타났으며, 국내 표준식은 실험값에 비해 상당히 낮은 강도로 계산되고 있어 안전 측에 있는 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 대한건축학회, "극한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계기준 및 해설", 1988.
2. ACI Committee 318, " Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-95), " American Concrete Institute, Detroit, 1995.
3. Collins, Michael P., "Toward a Rational Theory for RC Members in Shear,"

- Proceedings, ASCE, V. 104, ST4, Apr. 1978, pp. 649-666.
4. De paiva, H. A. R., and Siess, Chester P., "Strength and Behavior of Deep Beams in Shear," Proceedings, ASCE, V. 91, ST5, Oct. 1965, pp. 19-41.
5. Kong, Fung-Kew, Robins, Peter J., and Cole, David F., "Web Reinforcement Effects in Deep Beams," ACI Journal, Proceedings, V. 67, No. 12, Dec. 1970, pp. 1010-1017.
6. Kong, Fung-Kew, Reinforced Concrete Deep Beams, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
7. Hsu, Thomas T. C., "Softened Truss Model Theory for Shear and Torsion," ACI Structural Journal, V. 85, No. 6, Nov.-Dec. 1988, pp. 424-635.
8. Leohardt, F., and Walther, R., "Deep Beams," Bulletin 178, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin, 1966.
9. Mau, S. T., Hsu, Thomas T. C., "Formula for the Shear Strength of Deep Beams," ACI Structural Journal, V. 86, No. 5, Sep.-Oct. 1989, pp. 516-523.
10. Smith, K. N., and Vantsiotis, A. S., "Shear Strength of Deep Beams", ACI Journal, Proceedings V. 79, No. 3, May-June 1982, pp. 201-213.

### 요 약

집중하중을 받는 단순지지 철근콘크리트 깊은 보를 대상으로 콘크리트의 압축강도, 전단스팬비, 웨브 수직 및 수평 보강철근비를 변수로 하여 깊은 보의 구조거동과 전단강도를 실험적으로 조사하였으며, 각 변수의 영향을 고찰하고 표준식 및 제안식 등과 비교, 검토하였다.

42개의 시험체를 실험한 결과, 모든 시험체는 전단스팬 내에서 콘크리트의 과도한 균열 및 압괴에 의해 파괴되었고, 시험체의 초기강성은 압축강도에 관계없이 전단스팬비가 작을수록 크게 나타났으며, 경사균열 발생 이후 보의 강성이 점진적으로 감소되었다. 전단스팬비가 증가함에 따라 경사균열 및 최대하중은 일정하게 감소하며, 콘크리트 압축강도가 증가할수록 최대하중은 증가하나 경사균열 하중은 거의 변화가 없었고, 전단스팬비의 증가에 따라 콘크리트의 압축강도가 전단강도에 미치는 영향 또한 일정하게 감소하는 것으로 보인다. 웨브의 전단보강근 효과는 전단스팬비의 영향을 받으며, 전단스팬비가 작아지면 수평보강근의 효과가, 전단스팬비가 커지면 수직보강근의 효과가 상대적으로 커짐을 알 수 있었다. 실험결과와 비교하여, 이론식은 de Paiva의 제안식이, 표준식은 CIRIA guide가 실험결과에 가장 부합하는 것으로 나타났으며, 국내 표준식은 실험값에 비해 상당히 낮은 강도로 계산되고 있어 안전 측에 있는 것으로 판단된다.

(접수일자 : 1998.9.14)