

# 철근콘크리트 연속 깊은 보의 전단내력 평가에 대한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Evaluation of Shear Strength in Reinforced Concrete Continuous Deep Beams

양 근 혁\*  
Yang, Keun-Hyeok

정 현 수\*\*  
Chung, Heon-Soo

박 정 화\*\*\*  
Park, Jeong-Hwa

### ABSTRACT

The objective of this experimental study is to understand the shear behavior of reinforced concrete continuous deep beams. The main variables considered were concrete strength and shear span-to-depth ratio. Specimens of 4 two-span continuous deep beams were tested and compared with the strength of simple span beams. The results show that the influence of concrete strength on the shear strength of continuous deep beams is comparable to that on simple span deep beams. However, the effect of span-to-depth ratio is significantly greater than simple span deep beams.

### 1. 서론

철근콘크리트 연속 깊은 보의 거동은 단순지지 된 깊은 보의 하중전달 기구와 다르며, 특히 부모멘트 힘 균열들의 영향으로 콘크리트 스트럿의 연화가 가속화된다. 철근콘크리트 구조설계기준(이하 KCI-03)<sup>1)</sup>에서 명시하고 있는 위험단면 규정에 따르면 연속보에서는 전단에 대한 위험단면이 변곡점과 거의 일치함으로써 보유강도계수가 커지게 된다. 이러한 이유로 동일한 단면과 강도상에서 연속 깊은 보의 내력은 단순지지보다 크게 평가된다. 하지만 MacGregor<sup>2)</sup> 등의 실험 연구에서는 연속지지 깊은 보에서의 내력이 단순 지지에 비해 감소됨이 지적되고 있다. 따라서 KCI-03 기준에서 제시하는 것과는 달리 깊은 보의 전단 내력은 단순지지에 비해 연속지지에서 안전율이 감소할 수 있는 가능성이 있다. 본 연구의 목적은 연속 깊은 보의 전단내력 및 KCI-03 기준의 안전성 평가에 있다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1 시험체 개요

연속 깊은 보의 거동 및 내력을 평가하기 위해서 콘크리트 강도( $f_{ck}$ ), 전단경간비( $a/h$ )를 주요 변수

- \* 정희원, 목포대학교 건축조경토목공학부 건축공학전공 전임강사
- \*\* 정희원, 중앙대학교 건축공학과 교수
- \*\*\* 정희원, 중앙대학교 건축공학과 석사과정

표 1. 시험체 개요 및 결과

Specimen	$f_{ck}$ (MPa)	$a/h$	$l_v/h$	$a_{st}$ (cm <sup>2</sup> )	$P_c$ (kN)		$P_{cr}$ (kN)		$V_{cr}$ (kN)		$P_u$ (kN)	$V_u$ (kN)	
					Pog.	Neg.	Int.	Ext.	Int.	Ext.		Int.	Ext.
L5NN	32	0.5	1.0	8.61	902	1055	852	902	255	180	1635	473	343
L10NN		1.0	2.0		754	668	537	-	173	-	880	264	175
H6NN	68	0.5	1.0		866	1582	1046	1562	305	321	2248	633	490
H10NN		1.0	2.0		793	596	690	868	228	149	1276	373	265

\* L5NN

- └ 수직 전단철근비 : N:(0.0)
- └ 수평 전단철근비 : N:(0.0)
- └ 전단경간비 : 5( $a/h=0.5$ ), 6( $a/h=0.6$ ), 10( $a/h=1.0$ )
- └ 콘크리트 강도 : L-series( $f_{ck}=26$ MPa), H-series( $f_{ck}=60$ MPa)

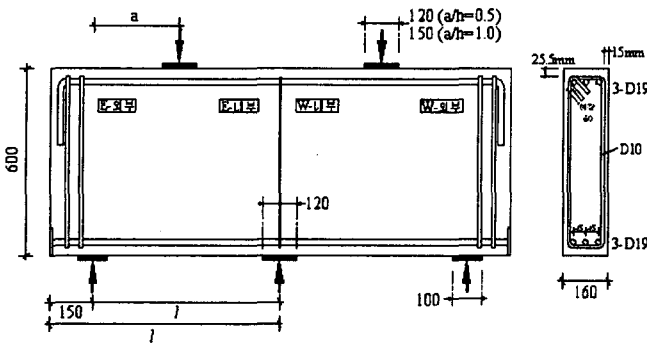


그림 1 시험체 상세

로 선택하였다. 콘크리트 강도는 32MPa (L-series)과 68MPa(H-series)이며, 전단경간비는 L-series에서 0.5, 1.0이고, H-series에서 0.6, 1.0이었다. 단면크기는 모두 160×600mm로 일정하였다. 상·하부 주철근 모두 1단 배근하였으며, 주철근의 항복강도는 500MPa이다. 시험체 개요 및 결과를 표 1에 나타내었다. 지지조건에 따른 전단거동의 평가를 위해 동일조건인 단순지지 실험결과를 Yang<sup>2)</sup>의 결과를 이용하였다.

## 2.2 가력 및 측정방법

시험체 가력은 3000kN 용량의 만능시험기(UTM-Servo system)를 사용하여 30kN/min의 속도로 가력하였다. 시험체의 지압과피를 방지하기 위해 가력판의 폭은 전단경간비가 0.5일 때 150mm, 1.0일 때 120mm로 하고, 내부 지점판의 폭은 120mm, 외부 지점판은 100mm를 유지하였다. 하중 증가에 따른 전단철근의 거동을 위해 가력점과 지지점을 연결하는 잠재적인 균열면과 전단철근이 만나는 위치에 변형률 게이지를 부착하였다. 그림 1에 시험체 상세를 나타내었다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 하중-균열 관계

그림 2에 하중과 최대 균열 폭과의 관계를 나타내었다. 초기 경사균열은 L-series에서 전단경간비가 0.5보다 1.0에서 먼저 발생하였고 H-series에서는 전단경간비의 영향이 거의 없었다. 즉, 초기 경사균열 발생시점은 저장도에서 전단경간비의 영향을 더 크게 받는 것으로 나타났다. 균열 폭은 경사균열 발생과 함께 급격히 증가하는 경향을 보였다. 또한 전단경간비가 클수록 하중 증가에 따른 균열 폭의 진전은 현저히 증가하고 있었다. 반면 균열 폭 진전에 대한 콘크리트 강도의 영향은 거의 나타나지 않았다. 균열 폭에 대한 전단경간비의 영향이 큰 이유는 전단경간비가 증가할수록 부모멘트 영역에서 발생하는 휨 균열의 영향이 커지고 따라서 콘크리트 압축 스트럿의 횡방향으로 발생하는 인장 변형이 증가하여 내력이 감소하기 때문이다.

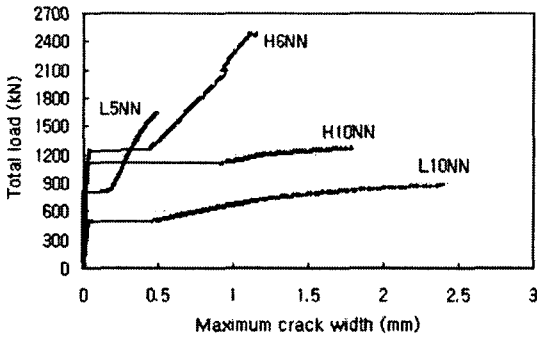


그림2 하중 - 최대 균열 폭 관계

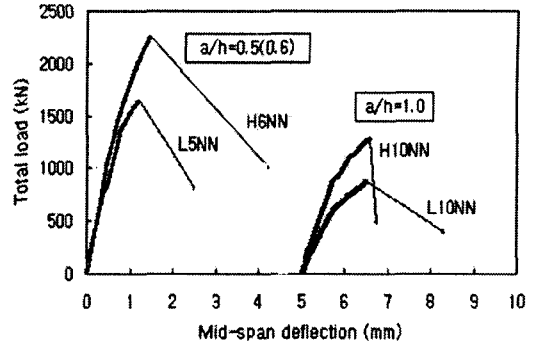


그림 3 하중 - 변위 관계

### 3.2 하중-변위 관계

그림 3에 콘크리트 강도와 전단경간비에 따른 하중-변위 관계를 나타내었다. 모든 시험체는 취성과 파괴 하였고 전형적인 전단거동을 보이고 있었다. 정·부모멘트 영역에서 발생하는 휨 균열은 부재 강성저하에 큰 영향을 미치지 않았는데 이는 깊은 보의 특성상 전단강성에 의해 지배를 받기 때문이다. 내부 전단경간에서 경사균열이 발생함과 동시에 강성이 급격히 감소하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 콘크리트 강도가 작을수록, 전단경간비가 클수록 더 크게 나타났다. 이후 외부 전단경간에서 경사균열의 발생 후 곧 최대내력에 도달하는 경향을 보였다. 외부 전단경간에서의 경사균열 발생은 내부 전단경간에서 경사균열 발생 후 감소된 강성보다 더 큰 강성감소를 보였다.

### 3.3 각 변수와 전단내력의 관계

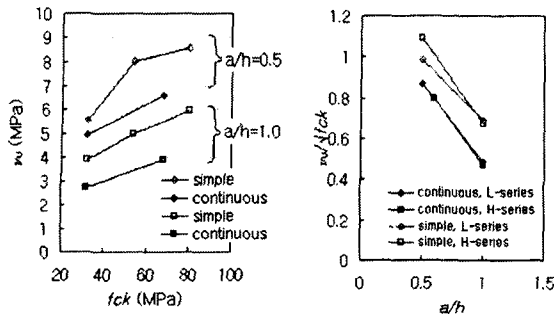
그림 4-(a)에 콘크리트강도( $f_{ck}$ )와 전단내력의 관계를 나타내었고 그림 4-(b)에 전단경간비( $a/h$ )와 전단내력의 관계를 나타내었다. 경사 균열응력( $v_{cr}$ )과 극한 전단응력( $v_u$ )은 콘크리트 강도와 비례하는 경향을 보이며, 증가기울기는 단순지지 시험체와 비슷하게 타나났다. 즉 콘크리트 강도가 깊은 보의 전단내력에 미치는 영향은 단순지지 및 연속지지에서 동일한 효과를 보인다고 판단된다.

콘크리트 강도의 영향을 무시하기 위해 세로축을 콘크리트 강도의 루트승( $\sqrt{f_{ck}}$ )으로 무차원화 하여 깊은 보의 전단거동에 대한 전단경간비의 영향을 나타내었다. 연속 깊은 보의 경사 균열응력비 및 극한 전단응력비는 전단경간비가 증가함에 따라 감소하였고 감소기울기는 단순지지 시험체와 비교할 때 비슷하게 있었다.

하지만 연속 깊은 보의 극한 전단응력과 극한 전단응력비의 절대값은 단순보에 비해 낮게 나타났다. 이는 보유강도비가 단순지지 보에 비해 낮음을 나타낸다. 즉 정·부 모멘트 영역에서 발생하는 다수의 휨 균열로 인한 압축 스트럿의 연화와 전단에 대한 임계 단면과 모멘트가 0이 되는 변곡점이 거의 일치하게 됨으로 인한 콘크리트 스트럿의 횡방향으로 작용하는 인장변형률이 크게 작용하기 때문으로 판단된다.

### 3.4 KCI-03 기준과의 비교

그림 5에 지지조건에 따른 각 시험체의 최대 전단내력에 대한 KCI-03 기준값과 실험값의 비를 나타내었다. 일반 보의 사인장 균열에 기본을 둔 KCI-03 기준은 단순지지의 경우 실험값 대비 평균 0.48로 안전측에 있었다. 반면 연속지지의 경우 평균값이 0.72로 지지조건에 의해 약 20% 정도 안전



(a) 콘크리트강도( $f_{ck}$ ) (b) 전단경간비( $a/h$ )  
그림 4 각 변수와 전단내력의 관계

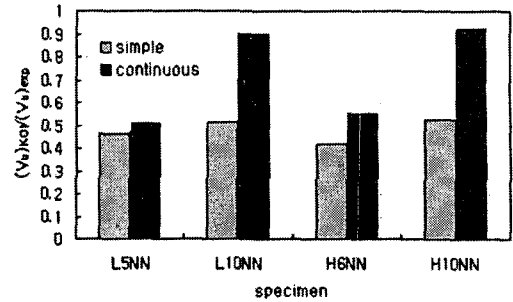


그림 5 각 시험체의 최대내력에 대한 KCI-03 기준값과 실험값의 비

울의 차이를 나타냈다. 특히 전단경간비가 1.0 이상인 경우 단순지지일 때보다 연속지지, 깊은 보에서 안전율이 급격하게 감소하고 있었다. 이처럼 안전율의 급격한 감소는 연속 깊은 보의 내력을 과대평가 하게 되어 사용성(serviceability) 면에서 문제가 될 수 있다. KCI-03 기준에서 명시하고 있는 위험단면 규정에 따르면 연속보에서는 전단에 대한 위험단면이  $M_u$ 가 영(0)에 접근하는 곳에 위치한다. 즉 보유강도계수가 단순지지 보에 비해 크게 평가되어 내력을 과대평가하게 된다. 하지만 실제 거동에서는 연속 깊은 보의 내부경간에서 발생하는 정·부 모멘트 휨 균열의 영향으로 스트럿 유효강도가 떨어지고 연화가 가속화되어 단순지지에 비해서 내력이 떨어질 가능성이 크다. 이는 KCI-03 기준의 제안식이 단순지지 보의 실험결과를 바탕으로 하고 있어 각 변수들의 영향을 적절히 반영하지 못하기 때문이다. 따라서 연속 깊은 보의 합리적인 설계를 위해서 안전율 확보를 위한 적절한 보정이 요구된다.

#### 4. 결론

- 1) 연속 깊은 보에서 콘크리트 강도가 전단내력에 미치는 영향은 단순지지 깊은 보와 동일한 효과를 보였고 전단경간비 증가에 따른 전단내력의 감소는 단순지지보다 연속 깊은 보에서 더 크게 나타났다.
- 2) KCI-03 기준에서 깊은 보의 전단내력을 평가하기 위한 제안식은 단순지지 보의 실험결과를 바탕으로 하고 있어 콘크리트 스트럿 강도에 대한 휨 균열의 영향이 큰 연속 깊은 보에 적용할 경우 과대평가 정도가 커져 제안식에 대한 안전성 평가와 보정이 이루어져야 할 것이다.

#### 감사의 글

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

#### 참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트구조설계기준, 2003
2. 양근혁, "전단보강근이 없는 고강도 철근콘크리트 깊은 보의 전단거동", 대한건축학회 논문집(구조계), v.17, 2000. 11, No. 11, pp.11-18
3. James G. MacGregor, "Test of Reinforced Concrete Deep Beams", ACI Structural Journal, V. 83 No. 4, July-Agu., 1984, pp. 614-623