

# 고강도 철근콘크리트 연속 깊은 보의 크기효과에 대한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Size Effect of Reinforced Concrete Continuous Deep Beams

양 근 혁\*

정 현 수\*\*

Yang, Keun Hyeok

Chung, Heon Soo

### ABSTRACT

To understand of size effect in high-strength reinforced concrete continuous deep beams, 6 specimens with section overall depth ranging from 400 to 720mm were tested. Test results indicated that the size effect of continuous deep beams is slightly greater than in simply supported deep beams.

### 1. 서론

스트럿-타이 작용에 의해 하중이 전달되는 철근콘크리트 깊은 보는 스트럿의 횡방향을 따라 발생하는 인장응력 및 경사균열에서의 큰 에너지 해방으로 인해 일반 보에 비해 크기효과가 현저하다. 특히 정·부 휨 균열들이 다수 발생하는 내부 전단경간의 스트럿 유효강도에 의해 내력이 결정되는 연속 깊은 보의 단순지지 깊은 보에 비해 크기효과가 크게 나타날 수 있다. 따라서 본 연구의 목적은 연속 깊은 보에서 크기효과를 파악하고 단순지지 및 각 설계기준과의 비교를 통하여 그 안전성을 평가하는 것이다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1 시험체 계획

주요 실험변수는 단면깊이( $h$ )와 전단경간비( $a/h$ )이다. 단면깊이는 400mm, 600mm, 720mm이며, 전단경간비는 0.6과 1.0이다. 콘크리트 설계강도는 60MPa이다. 모든 시험체의 단면 폭은 160mm이며, 상·하부 주철근은 주철근 비 1.0%이다. 콘크리트 스트럿만의 크기효과를 파악하기 위하여 전단철근은 배근하지 않았다. 표 1에는 시험체 상세를 나타내었다. 시험체 명에서 앞의 숫자는 전단경간비를, 뒤의 숫자는 단면 깊이를 각각 나타낸다.

#### 2.2 가력 및 측정방법

2경간 연속을 모델링하기 위하여 3지점을 설치하였다. 두 경간은 각각 W-경간(West)과 E-경간(East)으로 구별하였다. 지압파괴를 방지하기 위해 상부 가력 판의 폭( $l_b$ )은 120mm, 하부 가력판의 폭은 내부와 외부 각각 150mm와 100mm로 하였다. 세 지점의 수직위치는 허용오차  $\pm 0.1$ mm 범위 내에

\* 정희원, 목포대학교 건축조경토목공학부 전임강사

\*\* 정희원, 중앙대학교 건축학과 교수

있을 수 있도록 제작하였다. 또한 양 단부의 지점과 중앙부 지점의 강성이 다르면 하중의 증가와 함께 지점의 부등처짐으로 인해 부가 모멘트와 전단력이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이를 고려하여 양 단부 지점과 중앙부 지점의 축강성을 비슷하게 계획하였으며 최대하중 3000kN에서 부등처짐은  $L/10,000$  이상으로 있도록 계획되었다.

가력은 3,000kN 용량의 만능시험기를 사용하여 30kN/min의 속도로 대칭 가력하였다. 하중분배와 작용 전단력을 정확히 평가하기 위하여 양 단부 지점에 1,000kN 용량의 로드셀을 설치하였다. 하중은 만능시험기에 장착된 로드셀과 양 단부 지점에 설치된 로드셀을 이용하여 기록하였다. 처짐은 시험체 하부에 설치된 전기식 변위계(이하 LVDT)를 통해 측정하였다. LVDT는

가력점 하부와 최대처짐 위치에 설치하였다. 전단변형이 고려된 최대처짐 위치를 평가하기 위하여 유한요소해석을 수행하였다. 해석결과 최대처짐 위치는 외부지점에서 약  $0.45\sim 0.47L$  범위에 있었다.

경사균열 폭은 PI형 게이지를 이용하여 측정하였다. 가력 전에 가력점과 지지점을 연결하는 잠재적인 경사균열 면에 수직으로 부착하였다. 주철근의 타이작용은 콘크리트 타설 전에 매립된 W.S.G.를 통해 측정되었다. 상·하부 주철근에 부착된 W.S.G.의 간격은  $50\sim 70\text{mm}$ 이었다.

표 1. 시험체 상세 및 실험결과

Specimen	$f_{ck}$ (MPa)	$h$ (mm)	$a/h$	$A_{st}$ (mm <sup>2</sup> )	Diagonal cracking (kN)		Ultimate (kN)		
					$P_{cr}$	$V_{cr}$	$P_u$	$V_u$	
6-400	65.1	400	0.6	574	869	270	2025	592	
6-600		600			861	1046	305	2248	633
6-720		720			1,148	1274	411	2342	695
10-400	67.5	400	1.0	574	647	196	1112	335	
10-600		600			861	690	228	1276	373
10-720		720			1,148	758	252	1282	393

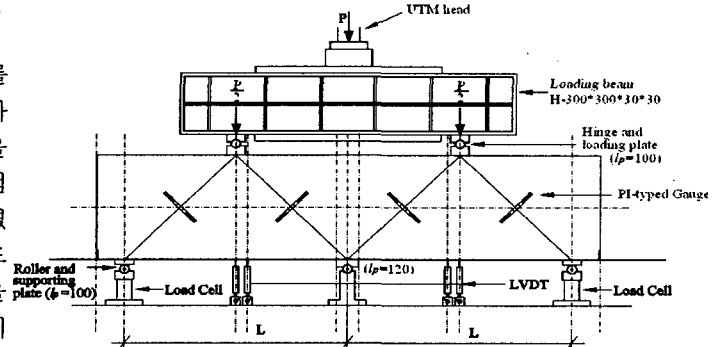


그림 1. 시험체 가력 및 측정장치

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 전단내력

표 1에 실험결과를 그림 2에 단면깊이와 전단내력의 관계를 나타내었다. 표 1에서는 경사균열 및

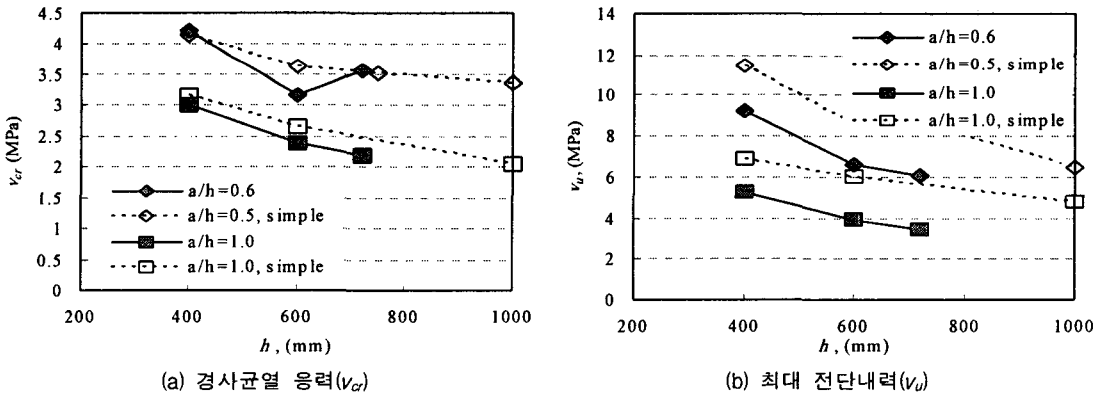


그림 2. 단면깊이( $h$ )와 전단내력의 관계

최대내력 시의 하중( $P$ )과 내부 경간의 전단력( $V$ )을 나타내었다. 그림 1에서 단순지지 시험체의 내력은 이전 연구에서 수행한 동일 시험체의 것이다. 경사균열 응력은 단면깊이 증가와 함께 감소하며, 감소 기울기는 전단경간비의 영향이 크게 나타나지 않았다. 최대 전단응력도 단면깊이 증가와 함께 감소하며, 전단경간비가 작을수록 감소기울기는 크게 있었다. 또한 경사균열 응력 및 최대 전단응력은 단순지지보다는 연속 깊은 보에서 크게 나타났다.

이와 같이 연속 깊은 보에서 크기효과가 현저하게 나타나는 이유는 동일 전단응력에서 단면 깊이가 클수록 정·부 휨 균열 진전이 높고 균열 수가 많아 에너지 해방율이 크게 있기 때문이라 판단된다. 즉, 깊은 보는 콘크리트 압축 스트럿에 의해 하중이 지지되며 압축 스트럿의 폭은 단면 춤에 비례하여 증가하지만 압축 스트럿에서의 압괴영역과 응력 해방대(stress relief strip) 영역은 단면 춤에 관계없이 거의 일정하고 재료 자체의 파괴에너지 및 역학적 성질에 의해 결정되기 때문이다.

### 3.2 하중-변위 관계

그림 3에 하중-변위 관계를 나타내었다. 단면깊이가 부재의 초기강성에 미치는 영향은 거의 나타나지 않았다. 하지만 경사균열 발생 후의 강성저하에 대한 단면깊이의 영향은 전단경간비에 따라 달랐다. 전단경간비가 0.6인 경우 내부 전단경간에서 경사균열이 발생하여도 강성저하는 나타나지 않았지만 외부 전단경간에서의 균열 발생과 함께 강성저하가 증가하였다. 전단경간비가 1.0인 경우에는 내부 전단경간에서 경사균열 발생과 함께 강성이 급격하게 감소하는데 단면깊이가 클수록 현저하였다.

### 3.3 하중-최대 균열 폭 관계

그림 4에 하중진전에 따른 최대 경사균열 폭의 관계를 나타내었다. 최대 경사균열 폭은 가력점과 중앙 지지점을 연결하는 내부 전단경간의 경사면에서 나타났다. 단면깊이가 작을수록 경사균열 발생과 함께 진전하는 균열 폭 및 하중진전에 따른 균열 폭의 진전 등은 작게 있었다. 이들 경향은 전단경간비가 작을수록 현저하였다. 즉 단면깊이가 클수록 균열 면에서 에너지 해방이 크게 있으며 이는 내력저하의 원인이 되고 있다고 판단된다.

### 3.4 각 기준과의 비교

깊은 보의 최대 전단내력에 대한 콘크리트 구조설계기준(이하 KCI-03)은 일반 보의 사인장 균열내력에 근거하는 ACI 318-99의 기준을 따르고 있으며, 전단철근이 없을 때 식(1)로 제시하고 있다.

$$V_u = \left( 3.5 - 2.5 \frac{M_u}{V_u d} \right) \left( 0.16 \sqrt{f_{ck}} + 17.6 \rho_s \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d \quad (1)$$

여기서  $\rho_s$ 는 주철근비를 나타낸다.  $M_u$ 와  $V_u$ 는 각각 위험단면에서 계수모멘트와 계수 전단력을 나타낸다. 이때 위험단면은  $0.5a$ 로서 연속 깊은 보인 경우 변곡점과 거의 일치한다. 따라서 식(1)은 강도 상승계수 과대평가 및 크기효과를 반영하지 않아 실험 값은 불안전측에 있을 가능성이 크다.

스트럿-타이 모델에 의해 내력을 평가하는 ACI 318-02는 전단철근이 없을 때 스트럿의 유효강도 계수를 전단경간비, 단면깊이 및 콘크리트 강도에 관계없이 0.6으로서 일정하게 제시하고 있다. 이 유효강도 계수는 단순지지 깊은 보의 실험결과에 근거함으로써 크기효과가 더 큰 연속 깊은 보에서는 불안전측에 있을 가능성이 높다.

그림 5에 최대내력에 대한 각 기준과의 비교를 나타내었다. KCI-03 기준은 단면깊이가 클수록 안전율은 감소하며 특히 연속 깊은 보에서는 불안전측에 있었다. ACI 318-02 기준은 전단경간비가 작을수록 불안전측에 있으며, 단순보다는 연속 깊은 보에서 과대평가 정도가 현저하였다.

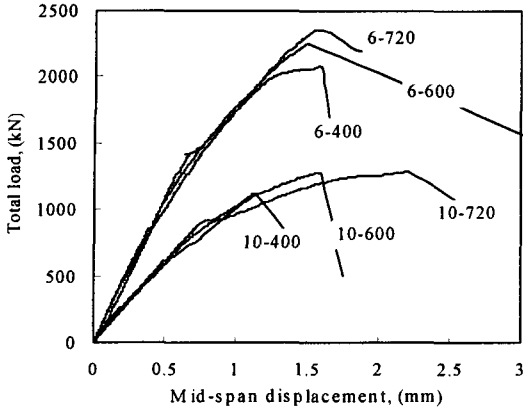


그림 3. 하중-변위 관계

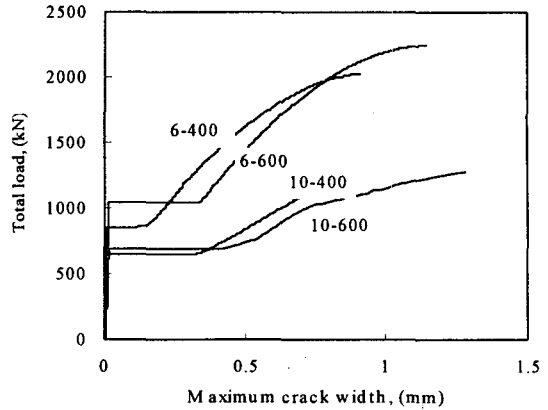
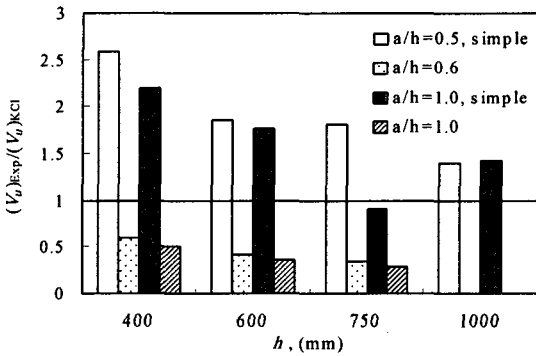
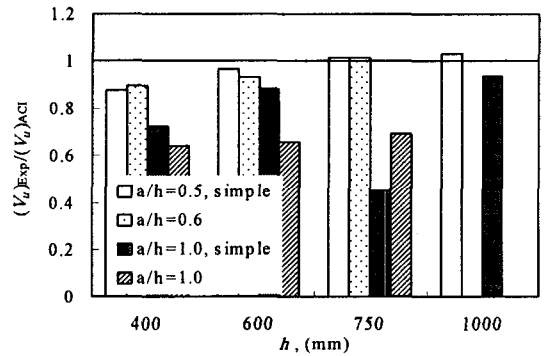


그림 4. 하중-최대 균열 폭 관계



(a) KCI-03



(b) ACI 318-02

그림 5. 최대내력에 대한 각 기준과의 비교

#### 4. 결론

- 1) 깊은 보의 크기효과는 전단경간비가 작을수록 증가하며, 단순지지보다는 연속깊은 보에서 현저하게 나타났다.
- 2) 깊은 보의 전단설계에 대한 KCI-03 및 ACI 318-02 기준은 단면깊이가 클수록 그리고 단순지지보다는 연속지지에서 불안전측에 있었다.

#### 감사의 글

이 연구는 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. KRF-2003-041-D00586

#### 참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조설계기준, 2003
2. 양근혁, 은희창, 정현수, "철근 콘크리트 깊은 보의 크기 효과에 대한 실험적 연구", 대한건축학회논문집, 제18권 2호, 2002. 2, pp. 19-26
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete(318-02) and Commentary-(318R-02)", American Concrete Institute, 2002.