

# 개구부 경사보강철근이 철근콘크리트 연속 깊은 보의 역학적 거동에 미치는 영향

## Influence of the Diagonal Reinforcement around opening on the Structural Behavior of Reinforced Concrete Continuous Deep Beams

양 근 혁\*                      심 재 일\*\*  
Yang, Keun-Hyeok              Sim, Jea-II

### ABSTRACT

Objective of this study is to understand the diagonal reinforcement around openings on the control of diagonal crack, load distribution, and ultimate strength of reinforced concrete two-span continuous deep beams. Test results of four specimens showed that the strength lost by openings might be completed when diagonal reinforcement ratio was above 0.0014

#### 1. 서론

일반적으로 전이보나 기초보와 같은 깊은 보는 연속으로 시공된다. 이들 깊은 보에는 하부의 덕트 및 배관 설비 등의 통과를 위하여 개구부가 설치되는 경우가 많다. 하지만 개구부를 갖는 깊은 보의 기존연구는 단순지지의 경우에 집중되었다. Rogowsky 등은 연속 깊은 보는 전단변형의 중요성과 높은 모멘트와 전단력이 내부 전단경간에서 동시에 존재하기 때문에 단순지지 깊은 보 또는 연속 일반 보와는 매우 다른 거동을 보임을 지적하였다.

개구부를 갖는 연속 깊은 보의 개구부의 위치에 따라 하중분배 및 내력이 상당히 변한다. 본 연구에서는 개구부 보강철근이 연속 깊은 보의 경사균열제어 및 하중분배와 내력에 미치는 영향을 파악하였다.

#### 2. 시험체 제작 및 가력 방법

##### 2.1 시험체 제작

주요변수는 경사보강철근 양이다. 경사보강철근 양은 개구부 상, 하에서 2-D10과 4-D10을 배근하였다. 전단경간비( $a/h$ )는 1.0이며, 콘크리트 설계강도는 50 MPa이다. 개구부의 폭과 깊이는 160×600 mm이다. 상, 하부 주철근 배근은 3-D19( $\rho=0.01$ )로서 1단 배근 하였다. 하부 주철근은 양단부에 설치된 강판에 용접되었으며 상부 주철근은 ACI 318-05에 따라 가력점 외부에서 90° 갈고리를 두어 정착을 확보하였다. 개구부 경사보강철근은 부재 축에 대하여 45°방향으로 개구부에 가깝

\* 정희원, 목포대학교 건설공학부 건축공학전공 조교수

\*\* 정희원, 목포대학교 건축공학전공 석사과정

표 1 시험체 상세 및 결과

Specimen*	$f_{ck}$ (Mpa)	$a/h$	Size of Opening		Opening Reinforcement		Test Results		
			$m_1 a$ (mm)	$m_2 h$ (mm)	Horizontal	Diagonal	$P_n$	$V_n$	$\lambda$
N0	48.16	1.0	without opening		1-D10	-	1203	399	0.60
O0	50.52		150	60		-	1138	377	0.55
O2						2-D10	1362	424	0.62
O4						4-D10	1510	469	0.68

\* 경사 보강철근양(0: 배근하지 않음, 2: 2-D10, 4: 4-D10)  
 개구부 유무(N: 개구부 없음, O: 개구부 있음)

게 배근하였다. 개구부 상부에는 2-D10의 수평철근을 배근하여 개구부 상부에서의 타이작용에 의한 하중전달을 원활하게 하였다. 이상의 시험체 상세를 표 1에 나타내었다.

### 2.2 재료특성

콘크리트는 레미콘을 이용하여 수직타설하였다. 표 1에는  $\Phi 100 \times 200$  mm 실린더를 이용한 압축강도 실험결과를 나타내었다. 주철근과 경사보강철근의 항복강도는 각각 560 MPa과 400 MPa를 사용하였다.

### 2.2 시험체 가력 및 측정 방법

시험체의 가력 및 측정상황은 그림 1에 나타내었다. 가력은 3,000 kN 용량의 만능 재료 시험기를 이용하여 30 kN/min의 속도로 가력하였다. 하중분배 및 작용 전단력을 정확하게 평가하기 위하여 양 단부 지점에 1,000 kN용량의 Load cell을 설치하였다. 시험체의 처짐은 가력점과 시험체 중앙 지면에 LVDT를 설치하여 측정하였다. 하중과 경사균열 폭의 관계를 파악하기 위하여 하중점과 개구부 모서리를 연결하는 잠재적인 경사균열 면에 PI형 균열게이지 10개를 설치하였다. 보강철근의 거동은 예상균열면과 교차하는 철근면에 변형률 게이지 (W.S.G.)를 부착하여 측정하였다. 실험 데이터는 데이터 로거(TDS 303)을 통해 컴퓨터에 저장하였다.

연속 깊은 보는 지점의 부등침하에 매우 민감하다. 부등침하에 의한 부가 모멘트와 전단력의 영향을 최소화하기 위하여 중앙지점과 단부지점의 부등침하는 최하중에서  $L/15000$  이하로 있을 수 있도록 지점의 강성을 설계하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

실험 결과를 표 1에 첨부하였으며  $P_n$ 는 최대하중,  $V_n$ 는 전단내력을,  $\lambda$ 는  $V_n/bh\sqrt{f_{ck}}$ 를 각각 나타내었다.

### 3.1 파괴모드

개구부가 없는 시험체는 부모멘트 영역에서 휨 균열 발생을 시작으로 내부 전단경간에서 경사균열 및 정모멘트 영역에서의 휨 균열이 발생하였다. 개구부가 없는 시험체는 최초 개구부 모서리의 A점, D점에서 가력점 및 반력

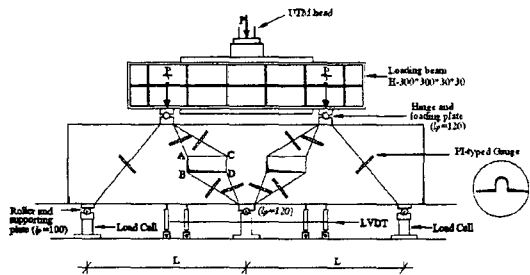


그림 1 시험체 가력 및 측정 장치

점을 향하여 발생하였으며 이후 정모멘트 영역에서의 휨 균열이 발생하였다. 모든 시험체에서 내부 전단파괴가 최종적으로 일어났으며 경사보강철근량이 증가할수록 외부 전단경간의 균열폭도 증가하였다.

### 3.2 내부경간 반력비

그림 2에는 경사보강철근비와 내부경간 반력비의 관계를 나타내었다. 개구부를 갖고 경사보강철근을 배근하지 않은 시험체의 내부경간 반력비는 0.75로 개구부를 갖지 않은 시험체에 비해 5%가량 높은 반력비를 보였다. 경사보강철근비가 증가함에 따라 내부경간 반력비는 감소하며 경사보강철근비가 0.0028에서 개구부를 갖지 않은 시험체와 비슷한 수준에 있었다. 일반적으로 연속 깊은 보의 반력은 내부 응력의 재분배에 의해 개구부 유, 무에 관계없이 선형 유효요소 해석 결과보다 5%~10% 정도 차이를 보였다.

### 3.3 하중-변위관계

그림 3에는 경사보강철근양에 따른 하중-변위 관계를 나타내었다. 개구부를 갖는 시험체는 개구부가 없는 시험체에 비해 초기강성이 작을뿐만 아니라 경사균열 발생 이후에도 변위가 급격히 증가하고 있다. 이는 경사보강철근이 배근되지 않은 시험체에서 현저했다. 경사보강철근을 배근한 시험체는 배근하지 않은 시험체에 비해 초기균열 후 강성저하가 상대적으로 적었다. 경사균열면에서 경사보강철근의 균열제어에 효과적으로 작용하기 때문이라 판단된다. 경사보강철근이 4-D10이 배근된 보에서는 전단파괴임에도 불구하고 연성적인 거동을 보였다.

### 3.4 하중-균열 관계

그림 4에는 경사보강철근양에 따른 하중-균열의 관계를 나타내었다. 초기 균열 발생 이후 모든 시험체에서 급격한 균열 폭의 진전양상을 보였으며 일반적으로 경사보강철근량이 적은 보일수록 하중의 증가에 따른 균열 폭의 진전도 컸다. 하지만 경사보강철근이 2-D10과 4-D10은 균열 폭이 비슷하였다.

### 3.5 경사보강철근의 거동

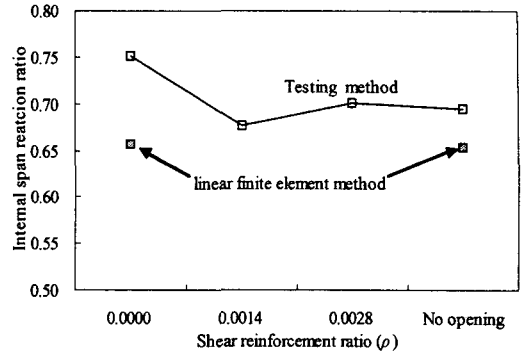


그림 2 경사보강철근비와 내부경간 반력비의 관계

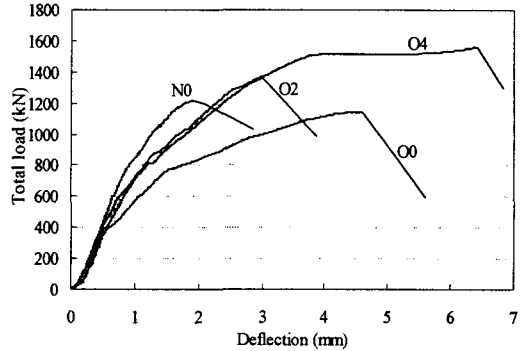


그림 3 경사보강철근양에 따른 하중-변위 관계

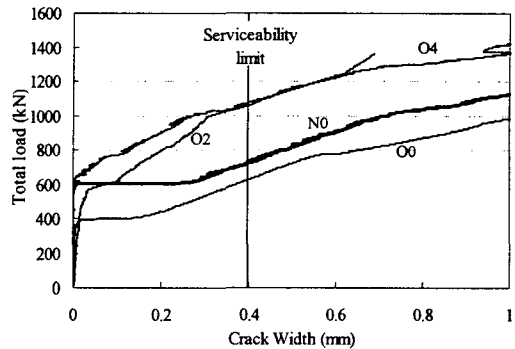


그림 4 경사보강철근양에 따른 하중-균열의 관계

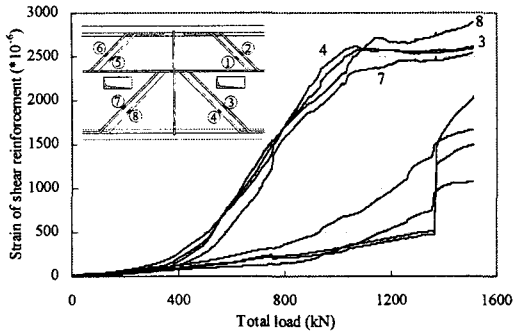


그림 5 하중과 경사보강철근 변형률과의 관계

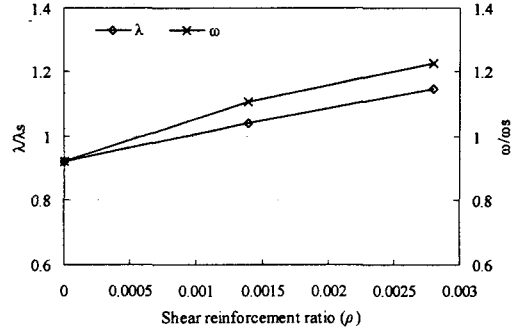


그림 6 경사보강철근비와  $\omega/\omega_s$ 의 관계 및  
경사보강철근비와  $\lambda/\lambda_s$ 의 관계

그림 5에는 하중과 경사보강철근의 변형률과의 관계를 나타내었다. 변형률의 증가는 개구부 하부 경사보강철근에서 뚜렷이 일어나며 상부 경사보강철근은 시험체 파괴시까지도 항복하지 않았다. 이는 주 하중경로가 개구부 하부의 콘크리트 스트럿을 통과하고 있음을 보여주고 있다.

### 3.6 최대하중 및 전단내력

그림 6은 경사보강철근비와  $\omega/\omega_s$ 의 관계 및 경사보강철근비와  $\lambda/\lambda_s$ 의 관계를 나타내었다. 여기서  $\omega$ 는  $P_n/bh\sqrt{f_{ck}}$ 를,  $\lambda$ 는  $V_n/bh\sqrt{f_{ck}}$ 을, 아래첨자  $s$ 는 기준이 되는 개구부를 갖지 않은 시험체이다. 경사보강철근을 배근하지 않은 시험체의  $\omega$ 는 기준 시험체의 0.9정도에 있으며, 경사보강철근비가 0.0014을 넘어서면서부터 기준 시험체의 최대하중을 초과하여 1.1정도 되었고 경사보강철근비에 따라 계속 증가하였다.  $\lambda$ 는  $\omega$ 와 같이 경사보강철근을 배근하지 않은 시험체에서는 기준 시험체의 0.9정도를 보였으며, 경사보강철근비 0.0028까지 선형증가 하였다.

## 4. 결론

- 1) 연속 깊은 보의 반력은 내부 응력의 재분배에 의해 개구부 유, 무에 관계없이 선형 유한요소 해석 결과보다 5%~10% 정도 차이를 보였다.
- 2) 개구부 보강철근 양이 증가할수록 경사균열 폭은 적지만 2-D10과 4-D10의 보강근 양에서는 비슷한 경사균열 폭을 보였다.
- 3) 개구부로 인해 손실된 내력의 보완은 경사보강근 비 0.0014 이상의 배근이 요구되었다.

### 감사의 글

이 논문 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2004-041-D00740)

### 참고문헌

1. 대한건축학회, 한국콘크리트 학회, 콘크리트 구조설계 기준, 2003.
2. 박정화 외 2인, “철근콘크리트 연속 깊은 보에서 전단철근 배근형태와 전단거동의 관계”, 대한건축학회 학술발표논문집, 24권 2호, 2004. 10, pp.183-186.