

개구부 보강철근을 갖는 철근콘크리트 연속 깊은 보의 구조적 거동

Structural Behavior of Reinforced Concrete Continuous Deep Beams with Reinforcement around Opening

양 근 혁* 홍 성 우**
Yang, Keun Hyeok Hong, Seong Woo

ABSTRACT

Test results of four reinforced concrete two-span continuous deep beams are summarized. Main variables were the configuration of web opening reinforcement. Shear span-to-overall depth ratio and the size of the web opening were fixed by 1.0 and $0.5a \times 0.2h$, respectively. To control diagonal crack and enhance strength, it can be recommended that diagonal reinforcement crossing the crack plane joining between loading points and corner of openings should be provided.

1. 서론

전이 보와 같은 깊은 보는 대부분 단순보보다는 연속으로 시공이 된다. Ashour⁴⁾는 연속 깊은 보의 실험으로부터 하중분배 및 내력이 단순지지와는 다를 것을 보였다. 특히 내부 전단경간에서 높은 횡 변형을 분포로 인해 전단내력이 감소하기 때문에 단순지지 실험결과를 연속 깊은 보에 적용하기 위해서는 많은 검토가 필요함을 지적하였다. 개구부가 있는 연속 깊은 보의 하중분배 및 파괴모드가 동일 조건의 단순지지와는 매우 다르다. 특히 개구부는 부재의 내력과 사용성을 급격히 감소시킬 뿐만 아니라 하중전달경로가 바뀌기 때문에 개구부의 적절한 보강은 매우 중요하다. Ashour⁴⁾는 개구부가 있는 연속 깊은 보의 하중분배는 개구부 위치의 영향을 가장 많이 받으며 전체내력 변화에도 크게 작용함을 보였다. 본 연구에서는 개구부가 내부에 있는 연속 깊은 보에서 개구부 보강방법에 따른 하중 분배 및 내력을 평가하고 동일조건의 단순지지 실험결과와 비교를 하였다.

2. 연구방법 및 내용

2.1 시험체 상세

표 1에는 시험체 상세를 나타내었다. 주요변수로는 개구부 보강철근의 배근 방법이다. 개구부는 내부 전단경간에 위치하였다. 개구부 크기는 $300 \times 120\text{mm}$ 이다. 개구부의 중심은 전단경간의 중심과 일치시켰다. 콘크리트 설계강도(f_{ck})는 60Mpa 이며, 전단경간비(a/h)는 1.0이다. 시험체 단면 폭(b_w)은

*정회원, 목포대학교 건설공학부 건축공학전공 조교수

**정회원, 목포대학교 건축공학전공 석사과정

160mm이며 전체 깊이(h)는 600mm이다.

상·하부 주철근은 3-D19로 배근하였으며, 항복강도는 560MPa를 사용하였다. 하부 주철근의 정착은 시험체 양 단부에 설치된 강판용접에 의하였다. 상부 주철근은 ACI 318-02 기준에 따라 지점을 지난 시험체 단부에서 90° 갈고리를 두어 정착길이를 확보하였다. 개구부 보강철근의 정착·시공 용이를 위해 모든 시험체의 개구부 상부에 2-D10(SD400)을 수평 배근하였다. 연속 깊은 보에서 개구부 보강철근(SD400)만의 영향을 파악하기 위하여 전단철근은 배근하지 않았다.

2.2 가력 및 측정방법

그림 1에는 시험체 가력 및 측정장치를 나타내었다. 2경간 연속을 모델링하기 위하여 시험체 양 단부와 중앙부에 지점을 설치하였고, 지점들은 만능시험기 바닥판과 고정하고 시험체의 회전을 자유롭게 하였다. 지압파괴를 방지하기 위해 가력점 판의 폭과 중앙 지지점 판의 폭은 120mm로 하였으며, 단부 지지점 판의 폭은 100mm로 하였다. 양 단부의 지점과 중앙부 지점의 축강성은 동일하게 하였다.

가력은 3,000kN 용량의 만능시험기를 사용하여 30kN/min의 속도로 대칭 집중가력하였다. 하중분배와 작용 전단력을 정확히 평가하기 위하여 양 단부 지점에 1,000kN 용량의 로드셀을 설치하였다. 가력방법은 초기 시험체의 하중전달 및 각 지점으로의 분배가 정확히 될 수 있도록 균열이 발생하지 않는 범위인 전체하중 100kN까지 시험가력을 수행한 후 재가력하였다.

처짐은 시험체 하부에 설치된 LVDT를 통해 측정하였다. LVDT는 가력점 하부와 최대처짐 위치에 설치하였다. 경사균열 폭은 PI형 게이지를 이용하여 측정하였다. PI형 게이지는 하중점과 개구부 모서리를 연결하는 잠재적인 경사균열 면에 수직으로 부착하였다. 개구부 보강철근의 타이작용에 의한 변형을 분포는 잠재적인 경사균열 면에 수직으로 만나는 보강철근에 W.S.G를 부착하여 측정하였다.

그림 2에는 시험체 배근 형상을 나타내었다. 개구부 보강철근 방법에 따른 철근콘크리트 연속 깊은 보의 전단 내력을 측정하기 위해서 철근콘크리트 구조계산기준(KCI)의 최소 전단철근 규정에 따라 보강철근(6-D10)을 100mm 간격으로 수평, 수직, 경사로 배근하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 하중분배

표 1 시험체 일람

specimen	f_{ct} (Mpa)	a/d	Openings			Opening Reinforcement	
			Width	Depth	Position	-	-
10-N	60.71	1.0	300 (mm)	120 (mm)	Interior	-	-
10-V	50.52					Vertical	3-D10
10-H						Horizontal	
10-D						Diagonal	

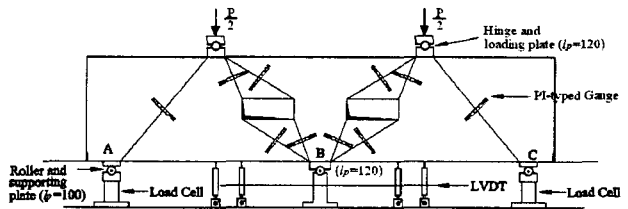


그림 1 시험체 가력 및 측정장치

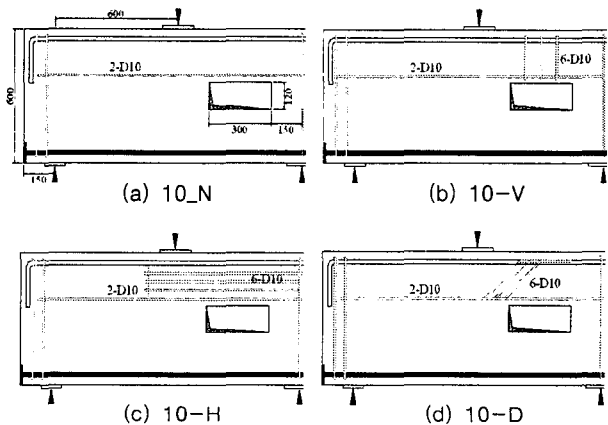


그림 2 시험체 배근 형상

그림 3에는 각 시험체의 전체하중과 지점 반력의 관계를 나타내었다. 개구부를 갖는 연속 교은 보에서 하중분배 및 응력분포에 대한 실험결과와의 비교, 분석을 위한 보조수단으로서 비선형 유한요소 해석 프로그램인 ATENA를 이용하였다. 전체 작용하중에 대한 지점반력은 경사균열이 발생하기 전까지는 개구부 보강방법에 관계없이 선형 및 비선형 유한요소 해석과 잘 일치하였다. 그러나 경사균열 발생과 함께 상대적으로 강성이 큰 전단 경간(단부)로 전달되는 하중이 증가하였다. 선형 유한요소 해석결과 보다 단부로 전달되는 하중이 작게 있어 선형 유한요소해석에서 경사균열 발생이후에 하중분배가 적절히 평가되지 않고 있다. 반면 비선형 유한요소 해석과는 비교적 잘 일치하였다. 따라서 개구부를 갖는 교은 보에서의 하중분배는 선형 유한요소보다는 비선형 유한요소해석에 의해 평가되어야 할 것이다.

3.3 하중-변위 관계

그림 4에는 각 시험체의 하중-변위 관계를 나타내었다. 초기 경사균열 발생 후 변위는 급격히 증가하였다. 이들 변위의 증가는 수직 및 경사보강의 경우에 비하여 무보강 및 수평보강 한 시험체에서 컸다. 개구부를 보강한 시험체에서는 경사균열 발생 후 상당한 내력을 유지하였고, 경사, 수직, 수평의 순서로 효율성이 크게 나타났다. 모든 시험체는 개구부 상·하 압축 스트럿의 파괴로 인한 전단파괴 양상을 보였다. 본 실험에 비해 비선형 유한요소해석 결과의 내부전단력이 작게 평가되고 있는데 이는 본 연구의 보조수단으로 사용한 ATENA 프로그램이 개구부 보강철근에 의한 내부 경간의 강성증가 효과가 잘 평가되지 않는 것으로 판단된다.

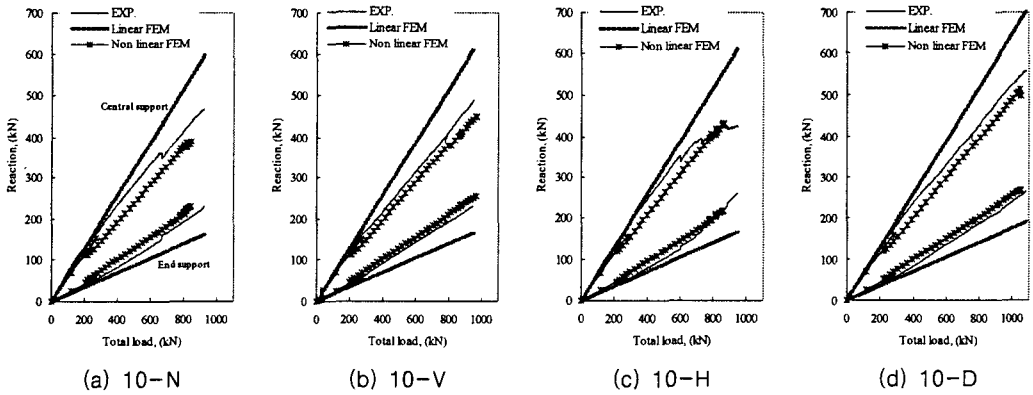


그림 3 전체하중과 지점 반력의 관계

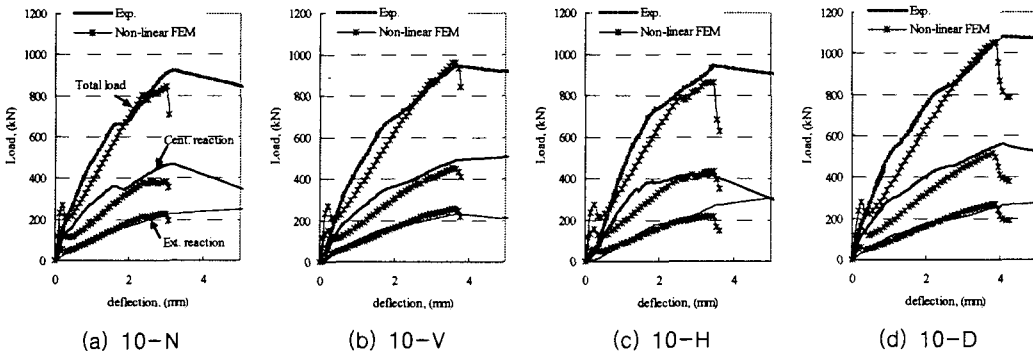


그림 4 하중-변위의 관계

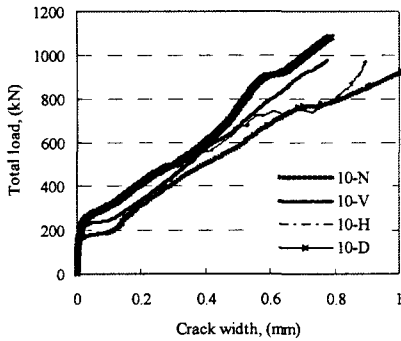


그림 5 균열폭과 하중과의 관계

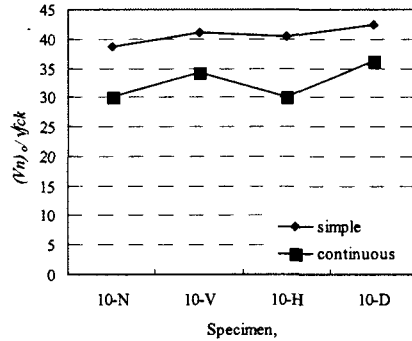


그림 6 보강방법과 $(V_n)_0/\sqrt{f_{ck}}$ 과의 관계

3.4 경사균열 및 전단내력

그림 5에는 하중증가에 따른 균열 폭과 전체 하중과의 관계를 나타내고 그림 6에는 보강방법과 $(V_n)_0/\sqrt{f_{ck}}$ 과의 관계를 나타내었다. 모든 시험체의 최초의 균열은 최대 하중의 20~30% 범위에서 개구부 모서리에서 발생하여 가력점과 지지점을 향해 진전하였다. 전단경간비(a/d)가 1.0에서는 수평, 수직, 경사보강 순서로 균열폭 제어에 효과가 크게 있었으며 하중이 증가할수록 그 효과는 더 크게 있었다. 단순지지에 비해 개구부를 갖는 연속 깊은 보의 전단력은 25~30%정도 떨어지며 보강방법에 따른 전단력 또한 경사보강철근 배근 방법이 가장 우수하게 나타났다.

4. 결 론

1. 작용하중에 대한 반력은 경사균열 발생 이후 선형 유한요소해석 결과와는 다소 큰 차이를 보이지만 비선형 유한요소해석 결과와는 잘 일치하였다.
2. 전단경간비가 1.0인 연속 깊은 보의 경사균열제어 및 내력에 미치는 영향은 수직, 수평 보강근 보다는 경사보강근이 가장 효율적이었다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 김광두, 김자영, 양근혁, 은희창, 정헌수, "개구부가 설치된 철근콘크리트 깊은보의 전단거동에 대한 개구부 보강근 배근방법의 영향", 대한건축학회 논문집, 제20권 3호, 2004, pp.15~22.
2. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조설계기준", 한국콘크리트학회, 2003.
3. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318R-02)" American Concrete Institute, 2002.
4. Ashour, A. F., and Rishi, G., "Tests of Reinforced Concrete Continuous Deep Beams with Web Openings." ACI Structural Journal, V. 97, No. 3, May-June, 2003, pp.418-426