

개구부를 갖는 깊은 보의 보강근 효과에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Web Reinforcement Effects of Reinforced Concrete Deep Beams with Web Opening

이 경 미* 이 진 섭** 김 상 식***
Lee, Kyung Mi Lee, Jin Seop Kim, Sang Sik

ABSTRACT

The shear behavior and reinforcement effects of simply supported reinforced concrete deep beams with web opening subject to concentrated loads have been scrutinized experimentally to verify the effects of structural parameters such as size, location and reinforcements of web opening.

A total of 14 specimens were tested at the laboratory under two-point top loading. The shear span ratio was taken constantly 0.8, and various types of reinforcements based on truss models were adopted.

In the tests, the effects of location, reinforcements of web openings on the shear behavior, and crack initiation and propagation have been carefully checked and analyzed.

1. 서론

깊은 보의 하중이 부재의 상부 또는 압측면에 작용하고, 보의 춤에 대한 스패의 비가 5 보다 작으며, 하중점과 지지점 사이에 경사진 압축대에 의하여 힘이 전달되는 부재로 정의되고 있다. 철근콘크리트 건물에서는 주상복합 건물 등에 설치되는 층 높이 하중 전달 보나 기초 벽보, 전단벽 등이 깊은 보의 범주에 속한다.

깊은 보의 실제 시공 시에는 창호, 배관, 설비 등의 건축적 요구 조건과 각종 제약 조건에 의하여 웹에 개구부를 설치해야하는 경우가 많으며, 이러한 개구부는 깊은 보의 힘의 흐름을 더욱 복잡하게 하고, 개구부 위치에서 갑작스런 전단 파괴가 발생할 가능성을 가지고 있다.

많은 실험 연구에서 깊은 보의 하중 지지 능력은 전단스팬비, 콘크리트의 강도 및 웹 보강근의 영향을 받는 것으로 알려져 왔으며, 웹에 개구부가 있는 시험체의 경우에는 위의 영향 이외에 개구부의 위치, 크기 및 형태 등에도 큰 영향을 받게 된다. 그러나 개구부를 갖는 깊은 보에 대한 정확한 이론 및 기준식은 아직 정립되지 않고 있으며, 몇몇 연구자들에 의해 제한된 범위 내에서의 실험식만이 제안되고 있는 실정이다. 따라서 웹에 개구부를 갖는 철근콘크리트 깊은 보를 대상으로, 개구부의 위치에 따른 깊은 보의 전단 거동을 고찰하고 개구부의 보강근이 전단강도에 미치는 영향 등을 실험을 통하여 규명하는 것이 필요하다.

* 인하대학교 대학원 석사과정
** 정희원, 인하대학교 대학원 박사과정 수료
*** 정희원, 인하대학교 건축공학과 교수

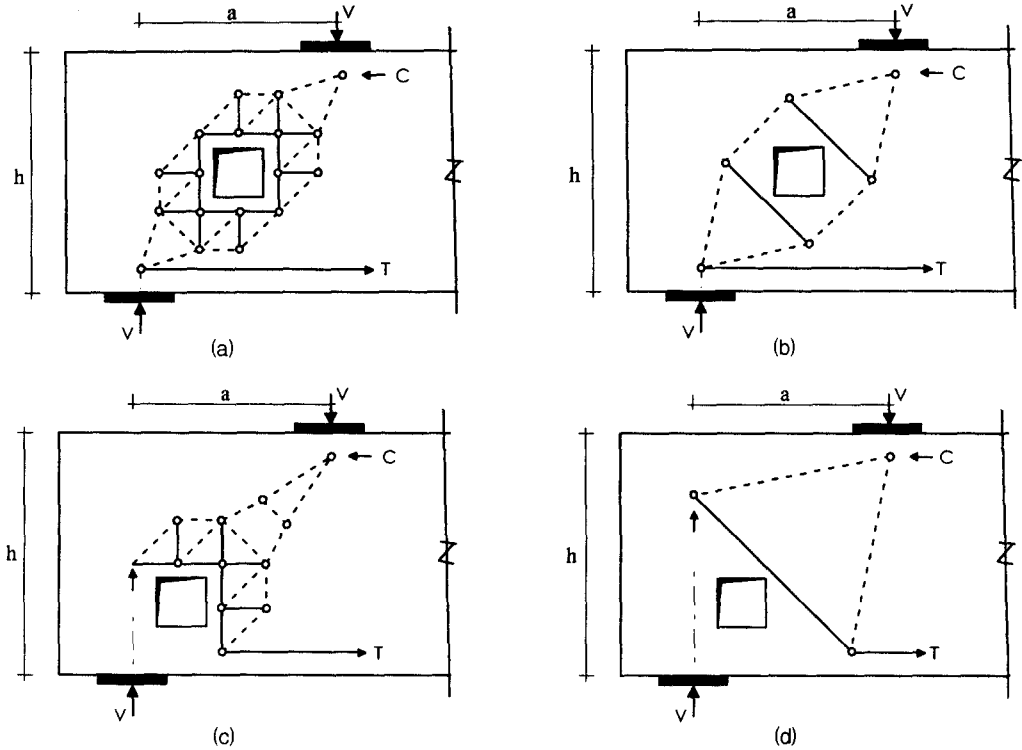


그림 1 개구부를 갖는 깊은 보의 트러스 모델

2. 트러스 모델에 따른 깊은 보의 보강

개구부를 갖는 깊은 보의 전단 거동은 개구부가 하중점과 반력점을 잇는 콘크리트의 주 압축대를 훼손하는 정도에 따라 큰 차이를 보이게 되는데, 개구부가 주 압축대를 훼손하지 않으면 개구부의 영향은 무시할 수 있을 만큼 작아지나, 개구부가 주 압축대의 일부 또는 전부를 훼손하게 되면 압축대를 통한 힘의 전달이 교란되기 때문에 깊은 보의 전단강도는 현저히 감소하게 된다. 따라서 개구부가 주 압축대를 훼손하는 경우 개구부 주변의 보강이 필수적이며, 이러한 보강 방법은 트러스 모델을 통해 얻어질 수 있다. 그림 1은 개구부가 깊은 보의 주 압축대를 훼손하는 경우의 트러스 모델을 나타낸 것으로서, 크게 직선 철근을 사용한 모델과 대각근을 사용한 모델의 두 가지로 나누어지는데, 점선은 압축부를, 실선은 인장부를 나타내며, 보강근은 인장부의 위치에 배치하게 된다.

3. 구조 실험

실험에 사용된 시험체는 개구부의 크기, 위치 및 개구부 보강근의 종류를 주요 변수로 하여 모두 14 개가 제작되었으며, 실험 변수의 내용은 표 1에서 보이는 바와 같다.

시험체는 그림 2 및 그림 3에서 보이는 바와 같이 단면이 10 cm×50 cm, 지점간의 거리가 120 cm인 장방형 단순보이며, 모든 시험체의 단면과 지점간의 거리는 일정하다. 주인장철근은 SD 40 재질의 2-D 19로서 주 철근비 0.0125를 유지하였고, 충분한 정착길이를 확보하기 위하여 90° 훅치하여 모든 시험체에 동일하게 배근하였다. 웨브의 기본 보강은 $\phi 6$ 원형철근을 사용하였으며, 수직철근비 0.0057, 수평철근비 0.0054를 적용하였다.

표 1 시험체의 제원

시험체명	개구부 크기 (mm)	a/h	개구부의 위치	보 강 방 법				비 고
				웨브의 기본 배근	트러스 보강		개구부 대각근 보강	
					하현재	수직재		
VMB0 VMB1-1 VMB1-2 VMB2-1 VMB2-2 VMB3	100×100	0.8	전단 구역의 중심	○ ○ ○ ○ ○	3-D10 3-D13	3-D10 3-D13	2-D10 2-D13 2-D10	웨브 기본 배근 수직 0.0057, 수평 0.0054
VNB0 VNB1-1 VNB1-2 VNB2-1 VNB2-2 VNB3	100×100	0.8	전단 구역 지점부 (3사분면)	○ ○ ○ ○ ○	4-D10 4-D13	3-D10 3-D13	4-D10 4-D13 4-D10	웨브 기본 배근 수직 0.0057, 수평 0.0054
WMB3	150×150	0.8	전단 구역의 중심	○	3-D10	3-D10	2-D10	수직 0.0057, 수평 0.0054
WNB3	150×150	0.8	지점부	○	4-D10	3-D10	2-D10	수직 0.0057, 수평 0.0054

시험체 기호 표시에서, 첫번째 문자는 개구부의 크기 표시로 V는 개구부의 크기가 10 cm×10 cm, W는 15 cm×15 cm를 나타내며, 두번째 문자인 M,N은 개구부의 위치로서 M은 전단구역의 중앙, N은 지점부를 의미한다. 세번째 문자 B는 전단스팬비 0.8을 지칭하며, 마지막 숫자는 개구부의 보강 형태를 나타내는 것이다. 예를 들어 VMB1-1은 개구부가 10 cm×10 cm 크기에 전단구역의 중앙에 위치하며, 개구부 주변에 복배근으로 3-D10 이 배근된 시험체를 나타낸다. 콘크리트 타설 시 콘크리트 압축강도 시험용 공시체를 제작하여 시험체와 동일한 조건으로 양생하였으며, 실험 실시 일에 압축강도 실험을 한 결과 콘크리트의 평균 압축강도는 250.4 kg/cm²로 나타났다.

시험체의 전단스팬비는 0.8로 일정하게 유지되며, 200 톤 용량의 구조물시험기를 사용하여 상부에 2점 집중하중으로 가력하였다. 파괴에 이르기까지 1분당 약 1 톤의 속도로서 점진적으로 단조 가력하였으며, 각 하중단계마다 균열의 발생과 진전 상황, 중앙부의 변위 및 각 보강근의 변형도를 측정하였다.

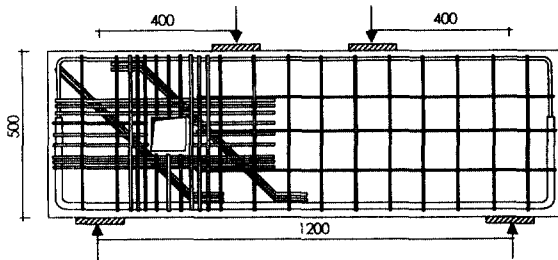


그림 2 VM 계열 시험체

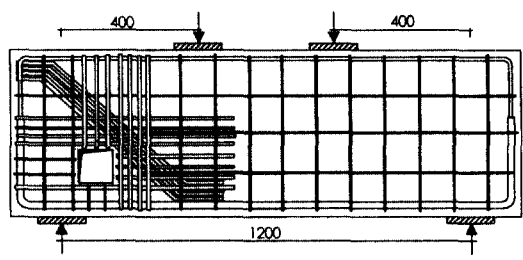


그림 3 VN 계열 시험체

표 2 실험 결과

시험체명	초기 균열		대각 균열		파괴 하중		비 고
	하중(t)	변위(mm)	하중(t)	변위(mm)	하중(t)	변위(mm)	
VMB0	8.0	0.31	15.5	0.71	33.1	1.93	개구부 파괴
VMB1-1	9.0	0.29	14.5	0.54	50.2	2.84	개구부 파괴
VMB1-2	10.5	0.32	16.0	0.56	48.6	2.60	
VMB2-1	8.5	0.22	14.0	0.45	53.0	2.40	
VMB2-2	4.5	0.12	12.5	0.42	53.7	2.60	
VMB3	9.0	0.27	15.5	0.62	54.8	2.94	
VNB0	5.5	0.16	20.5	0.86	40.4	2.10	개구부 파괴
VNB1-1	10.0	0.31	12.0	0.43	52.9	3.23	개구부 하단 압괴 시작
VNB1-2	7.0	0.20	12.0	0.45	55.1	3.31	개구부 하단 압괴 시작
VNB2-1	6.5	0.16	15.5	0.55	51.55	2.54	
VNB2-2	7.5	0.22	13.0	0.44	56.8	2.97	
VNB3	5.0	0.12	15.0	0.49	52.0	2.67	
WMB3	6.0	0.18	14.5	0.53	51.2	3.01	개구부 하단 압괴 시작
WNB3	4.5	0.12	18.0	0.73	50.6	3.29	개구부 하단 압괴 시작

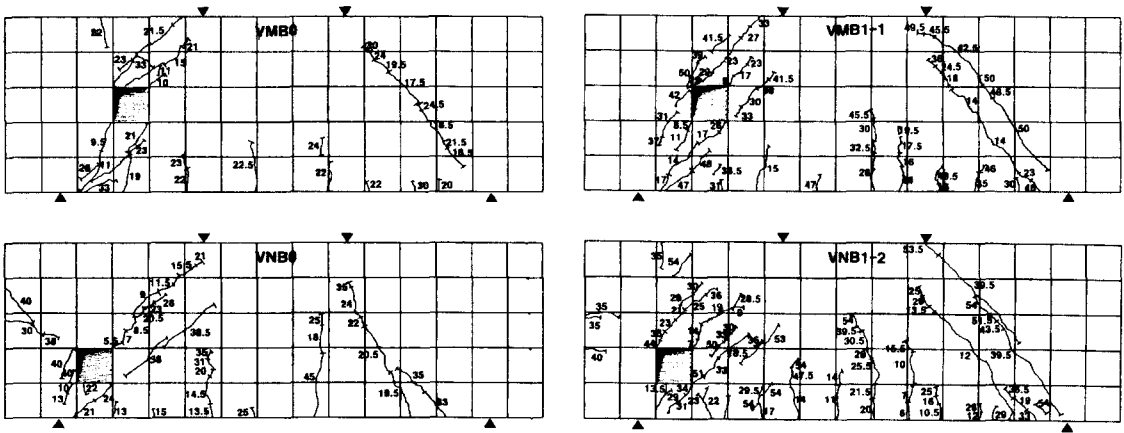


그림 4 시험체의 균열 양상

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 균열 및 파괴 양상

개구부가 전단 스패의 중앙에 위치한 VM 및 WM 시험체의 초기 균열은 개구부의 모서리 중 하단부에서 먼저 발생하였으며, 이후 모서리의 상하단으로 진전되었다. 개구부가 없는 면의 대각 균열은 12.5 톤~16.0 톤에서 발생하였으며, 개구부 상하단의 대각균열 발생시의 하중은 시험체에 따라 14 톤~ 29 톤의 큰 차이를 보였지만 보강에 따른 특징은 발견할 수 없었다. 균열의 진전은 개구부의 상부보다는 인장역인 하단 쪽에서의 진전이 더 빠르게 파급되었고, 개구부가 있는 면에 비교적 많은 수의 균열이 발생하여 개구부 주변의 힘의 흐름이 좀더 복잡한 양상을 띄는 것으로 나타났다. 시험체 중 VMB0 시험체와 VMB1-1 시험체에서 개구부의 파괴가 발생하였는데, 가력점 및 반력점에서 먼 쪽의 개구부 모서리를 잇는 선을 따라 파괴되었으며, 개구부를 갖는 면에 보강이 없는 VMB0 시험체는 개

개구부가 없는 면의 전단강도의 63 퍼센트 정도로 나타났다.

개구부가 전단 구역의 3사분면 즉 지점부에 위치한 VN 및 WN 시험체의 초기 균열은 개구부의 모서리에서 인장 균열의 형태로 발생하였으며, 이후 상부 모서리에서 가력점 쪽으로 진전되었다. 개구부가 없는 면의 대각 균열은 12.0 톤~19.0 톤에서 발생하였는데, 초기에는 휨균열의 형태로 시험체의 하단에서 출발하다가 하중이 증가하면서 대각균열의 형태로 이어지는 경향을 보인다. 개구부 상단의 대각균열은 초기에 발생한 개구부 모서리 균열이 가력점 쪽으로 계속 진전되며 형성되고 개구부 하단은 전체가 인장력이 작용하는 구간으로 대각균열 및 수직 인장 균열이 혼재되어 발생하고 있다. 개구부에 보강이 없는 VNB0 시험체는 개구부가 없는 면의 전단강도의 75 퍼센트 정도로 측정되었으며, 개구부가 중앙에 위치한 VMB0 시험체에 비해 1.22 배 높다. 대부분의 VN 및 WN 계열 시험체는 개구부의 지점 외부 측으로 시험체의 중간 높이에 수평한 균열 발생이 관찰되어, 상하단 모서리의 철근 절곡부 영향을 고려한 해석이 필요할 것으로 판단된다

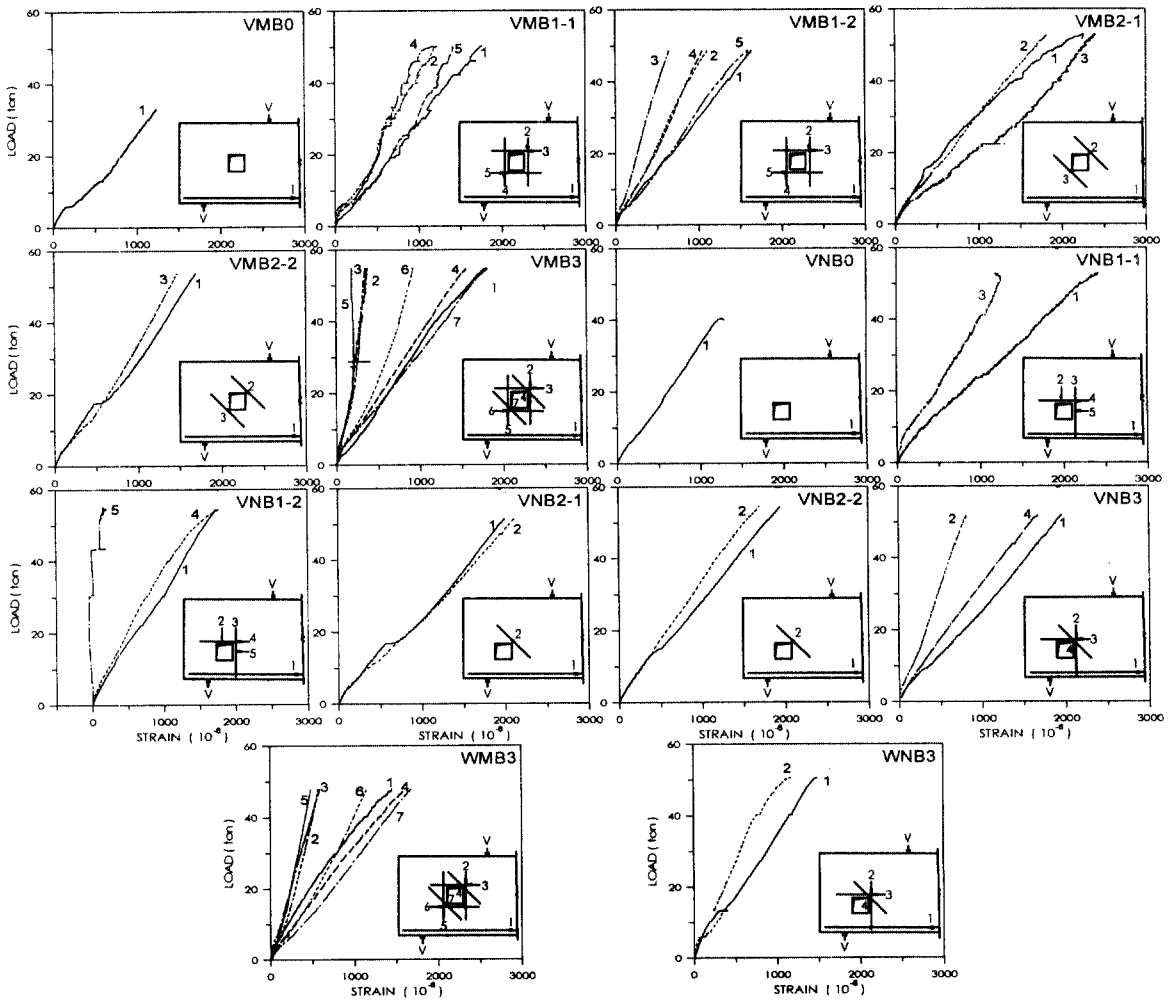


그림 5 시험체의 하중-변형도 곡선

4.2 개구부 보강근의 하중 - 변형도 관계

모든 시험체에서 주근의 변형도는 하중의 증가에 따라 거의 선형적인 증가를 보이며, 주근의 변형도에 미치는 개구부 보강근의 영향은 발견할 수 없었다. 전체적으로 개구부 주변 보강근의 변형도 중 대각 보강근의 변형도가 가장 커 개구부 보강근 중 대각 보강근이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

개구부가 전단구역의 중앙에 위치한 M 계열 시험체에서, 파괴시 보강철근에 작용하는 인장력은 대체적으로 반력점 측의 개구부 수직근, 가력점 측의 개구부 수직근, 개구부 상부의 수평근, 개구부 하단의 수평근, 개구부 상부 모서리의 대각근, 개구부 하부 모서리의 대각근, 주근 순으로 증가하는 것이 관찰되었으나, 3-D 13의 수평, 수직근이 배근된 VMB1-2 시험체에서는 파괴시 개구부 하단 수평근이 주근보다 더 큰 인장력을 받고 있는 것으로 측정되었다. 개구부가 지점부에 위치한 N 계열 시험체에서는 보강철근에 작용하는 인장력이 개구부 측면의 수직근, 개구부 상단의 수평근, 개구부 상부 모서리의 대각근 순으로 증가하나, 4-D 13의 대각 보강근 만이 배근된 VNB2-2 시험체에서는 대각근에 작용하는 인장력이 주근보다 크게 나타났다. 또한 가정된 트러스 모델의 인장재 위치에 개구부 보강근을 배치한 결과, 보강근에 작용하고 있는 인장력의 크기에 있어서는 실험결과와 다소 차이를 보이지만, 모든 보강근이 가정과 동일하게 인장 응력을 받고 있는 것으로 확인되어, 개구부를 갖는 깊은 보의 힘을 흐름을 파악하고 배근 상세를 결정하는 데 있어 트러스 모델이 유용한 도구가 될 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

이 연구는 개구부를 갖는 철근콘크리트 깊은 보에서 개구부가 주 압축대를 훼손하는 경우에 관한 것으로, 각기 다른 개구부 위치 및 크기, 보강근을 갖는 단순지지된 시험체를 대상으로 깊은 보의 전단 거동 및 보강근 효과를 실험을 통해 조사하였으며, 제한된 범위의 실험 연구를 통해 고찰된 결과는 다음과 같다.

- (1) 개구부 보강을 하지 않은 시험체에서, 10 cm×10 cm의 개구부가 압축대의 중앙에 있는 시험체와 압축대 하부의 지지점 가까이에 놓인 시험체의 전단강도는, 개구부가 없는 시험체 전단강도의 대해 각각 63 퍼센트 및 75 퍼센트로 나타나, 개구부의 위치가 하단의 지지점 가까이에 놓인 시험체의 전단강도가 상대적으로 큰 것으로 나타났다.
- (2) 개구부의 보강에서 대각보강근이 배근된 시험체는 수직, 수평근이 배근된 시험체에 비해 개구부 주변에서의 균열 개수와 폭이 작게 나타났다.
- (3) 개구부에서의 파괴는 가력점 및 반력점과 개구부 모서리를 잇는 선을 따라 진행되었으며, 주압축대의 상단과 수평 방향 외단부에서도 인장균열 발생이 관찰되어, 상하단 모서리의 철근 절곡부 영향을 고려한 해석이 필요할 것으로 판단된다.
- (4) 개구부 보강철근의 변형도는 개구부의 크기에 관계없이 대체적으로 수직근, 수평근, 대각근의 순으로 증가하는 것이 관찰되어, 개구부 보강근 중 대각 보강근이 가장 효과적인 것으로 나타났으며, 개구부 수평 보강근의 변형도는 하부 인장역에 가까울수록 증가하였다.
- (5) 가정된 트러스 모델의 인장재 위치에 보강근을 배치한 결과, 모두 인장 응력을 받고 있는 것이 확인되어, 개구부를 갖는 깊은 보의 배근 상세 결정에 트러스 모델이 유용함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 대한건축학회, 극한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계기준 및 해설, 1988.
2. G. J. MacGregor, Reinforced Concrete Mechanics and Design, Prentice Hall, 1988.
3. J. Schlaich, K. Schäfer, M. Jennewein, "Toward a Consistent Design of Structural Concrete," Journal of the Prestressed Concrete Institute, Vol. 32, No. 3, May-June 1987, pp 74-150.