

철근콘크리트 유공 깊은 보에 대한 해석적 연구

Analytical Study on Reinforced Concrete Deep Beams with Opening

이 석 주* 이 증 권** 이 병 해***
Lee, Suk Joo Lee, Jong Kweon Lee, Byung Hai

ABSTRACT

As the residential spaces become high-rised and high-density, Multi-story buildings were constructed with transfer girders, Deep beams, wall foundations, floor diaphragms and shear walls which may have column offsets. Especially In the analysis and design of Multi-story buildings, the lateral loads must be taken into account. But, there have been no appropriate theory and national design code for predicting ultimate shear strength of reinforced concrete Deep beams with web opening. Only empirical and semi-empirical formulas for predicting their ultimate load bearing capacities due to the complexities of the structural non-linearity and material heterogeneity. So this study analyze two-dimensional finite element model that represents exactly the behavior of real structures with SBETA which are general nonlinear finite element analysis program, and compare the results with that from the real reinforced Concrete Deep beams with web opening tests. From the comparison, and parametric study, The Study presents the elementary data of the earthquake resistance for the reinforced concrete Deep beams with web opening.

1. 서론

깊은 보란 스패닝에 비해 춤이 큰 보로서 가동열이 바뀔 때 상부기둥의 하중을 하부기둥으로 전달하는 전이보나 기초 벽보로 사용되는 부재이다. 이러한 부재는 고층건물과 최근들어 많이 건설되고 있는 주상 복합건물의 하층부에서 유용하게 사용되고 있다. 주상복합건물에서 깊은보에 대한 지진, 풍하중 같은 횡하중을 고려하여야 하나, 구조 및 재료의 비선형성으로 인하여 구조거동에 관한 정확한 이론적 해석방법이 확립되어 있지 않은 상태이므로, 대부분의 설계공식¹⁾²⁾은 실험에 근거를 두고 있다. 본 연구에서는 구조물의 전단거동을 정확히 예측할 수 있는 비선형 유한요소프로그램인 SBETA를 사용, 깊은 보의 구조거동과 파괴양상을 해석적으로 파악하여 이론식 또는 실험만으로 불충분한 깊은보의 전단거동에 대해 분석하며, 웹에 개구부를 갖는 철근콘크리트 깊은 보의 횡하중 저항능력 설계시 필요한 기초 자료를 제시하고자 한다.

* 정회원, 한양대학교 건축공학과, 석사과정

** 정회원, 한양대학교 건축공학과, 박사과정

*** 정회원, 한양대학교 건축공학과, 교수

2. 시험체 및 비선형 유한요소프로그램

2.1 시험체

개구부의 위치는 개구부의 중심에 위치하는 것과 지지점 가까이 3사분면에 위치하는 것으로 하였으며, 크기는 부재축의 0.2배에서 0.05배씩 0.4배 까지 변화시켰다. 또 개구부의 보강방법은 개구부 주위에 수직,수평근 배근, 사인장 보강근을 부재축에 45° 로 배근, 또는 수직,수평근과 사인장보강근을 혼합하여 배근하였고, 철근은 D6, D10, D13을 사용하였다. 시험체명은 연구의 주요변수를 명확하게 인지할 수 있도록 콘크리트 압축강도, 전단스팬비, 개구부 보강 방법, 개구부 크기등을 표시할 수 있는 인수를 사용하여 다음과 같이 나타내었다.

①콘크리트강도

U = Ultra High Strength Concrete Beam, (750 kgf/cm^2)

H = High Strength Concrete Beam, (500 kgf/cm^2)

N = Normal Strength Concrete Beam (240 kgf/cm^2)

②개구부 위치(그림1) : C : 전단구역의 중심, S : 전단구역의 3사분면

③개구부 크기 A~E : A=0.2h, B=0.25h, C=0.30h, D=0.35h, E=0.40h

④개구부 보강방법

0 = 개구부주변 무보강, 1-1 = 수직, 수평 보강(HD10), 1-2 = 수직, 수평 보강(HD13)

2-1 = 사인장보강(HD10) 2-2 = 사인장보강(HD13), 3 = 수직, 수평 보강 + 사인장보강(HD10)

예를 들어 NCA1-1은 콘크리트 압축강도가 240 kgf/cm^2 이고, 개구부의 위치가 전단중심이며, 크기가 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 이고 개구부 주변보강에 수직, 수평보강근 HD10를 갖는 시험체를 나타낸다.

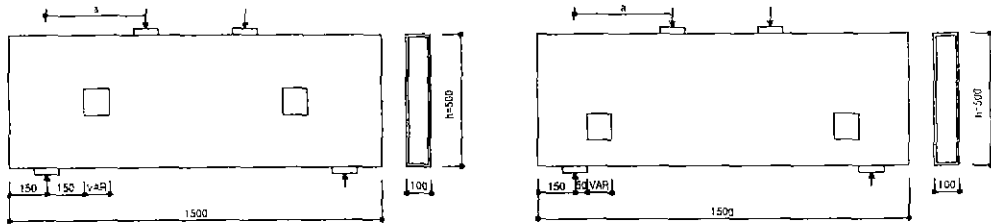


그림1 시험체의 형태

2.2 유한요소해석프로그램

2.2.1 개요

이 연구에서는 Cervenka³⁾ 에 의해 개발된 비선형 유한요소프로그램인 SBETA를 사용하였다, 각종 콘크리트 재료모델을 Database화하여 사용자가 각종 모델의 Diagram을 선택하면서 Data 입력이 가능하기 때문에 입력 및 수정이 쉬우며, 또한 요소의 생성이 사용자가 정의하는대로 자동요소 분할이 된다. 일반적인 유한요소 프로그램과 같이 아래와 같은 기능을 가진다.

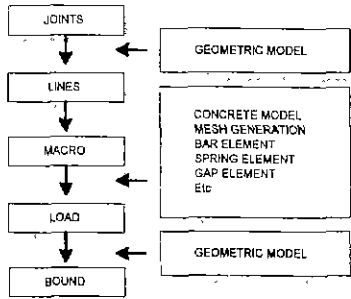


그림2 SBPRE 프로그램의 흐름도

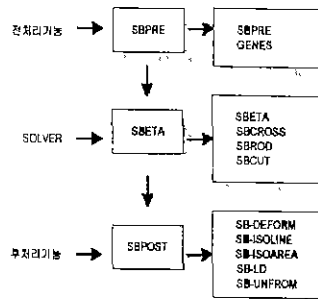


그림3 SBETA 프로그램의 흐름도

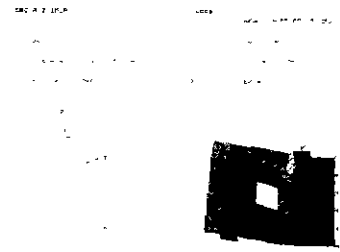


그림4 SBETA 프로그램 해석 화면

2.2.2 재료모델

SBETA는 2축응력 상태의 콘크리트 거동과 균열된 콘크리트 성질 및 파괴역학적인 특성 등이 고려된 범용 해석프로그램으로, 사용된 재료모델은 다음의 거동을 포함하고 있다.

- ① 압축상황에서의 연화현상을 포함한 비선형 거동
- ② 비선형 파괴역학에 근거한 인장상태에서 콘크리트파괴
- ③ 2축응력 파괴기준
- ④ 균열 이후 압축강도의 감소
- ⑤ 인장 강화 효과
- ⑥ 균열 이후 전단강성의 감소

2.2.3 유한요소 해석

해석에 사용된 사변형 콘크리트요소는 그림.5와 같이 6 절점 12 자유도를 갖는 삼각형 요소를 기본으로 하며 2개의 중간절점에 운동학적 구속조건을 부여하여 4개의 요소를 갖는 삼각형 요소로 변환시킨 후 그림6 같이 삼각형 요소 2개를 조합함으로써 얻어진다.

철근은 그림7과 같은 2절점 트러스 요소로서 일축응력 상태에서 오직 축 강성만을 가지며 변형도 분포도 일정하다. 철근요소는 콘크리트 요소를 가로질러 모델링 할 수 있도록 되어있으며, 철근과 콘크리트의 부착은 완전한 것으로 가정한 모델을 사용하였다. 비선형 해법으로는Newton-Raphson과 arc-length법을 사용할 수 있으나, 이 연구에서는Newton-Raphson의 반복해법을 적용하고 있으며 불균형력이 충분히 작을 때까지 반복하여 수행하였다. 요소의 분할은 시험체의 특성 및 형상에 맞추어 적용하였으며, 콘크리트 요소의 크기는 3.0cm×3.0 cm를 기본으로 하여 분할하였으나 개구부 및 가력점의 크기 등을 고려하여 조절하였다

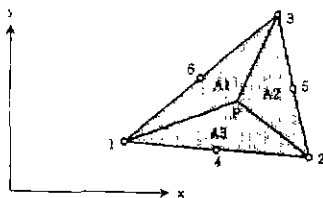


그림5 6절점 삼각형 요소

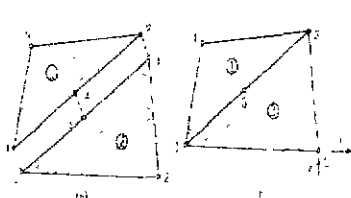


그림6 2개의 삼각형 요소로 구성된 사변형 요소

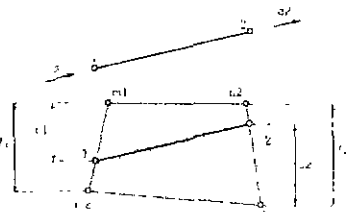


그림7 철근의 트러스 요소

3. 유한요소해석 결과

3.1 기존 실험을 통한 유한요소해석 검증

시험체는 이진섭⁴⁾에 의한 것으로 두께10cm, 춤 50cm 스펠 120cm 로 동일 제작된 36개로 콘크리트 강도는 240 kgf/cm²이며, 인장철근은 SD40이 사용되었다. X, Y계열은 개구부의 위치, 전단스팬비, 개구부의 보강여부에 따라 분류하였고, V, W 계열은 개구부의 위치, 크기 및 웨브보강 방법에 의하여 분류한 시험체이다. 개구부를 갖는 시험체에 대한 유한요소해석결과, 해석값 / 실험값의 차이는 개구부가 큰 일부 X계열을 제외한 나머지는 0.90~1.05로 나타나 매우 높은 정도를 나타내고 있다

표1 개구부가 있는 시험체의 유한요소해석과의 비교

시험체	최대하중 (ton)		실험/해석	시험체	최대하중 (ton)		실험/해석
	실험	해석			실험	해석	
XA0	28.70	30.84	0.93	YC0	24.10	23.64	1.02
XA1	36.20	37.87	0.96	YCO-1	29.60	28.36	1.04
XA2	40.50	40.23	1.00	YC1	20.20	21.12	0.96
XA3	53.90	52.57	1.02	YC1-D	21.10	23.72	0.89
YA0	69.90	71.73	0.97	VMB0	33.10	32.58	1.01
YA1	83.20	86.45	0.96	VMB1-1	50.20	49.88	1.00
YA1-D	85.80	89.81	0.96	VMB1-2	48.60	56.00	1.15
XB0	13.30	14.20	0.94	VMB2-1	53.00	51.52	1.03
XB1	17.40	18.32	0.95	VMB2-2	53.70	54.20	0.99
XB2	28.00	26.79	1.04	VMB3	54.80	53.75	1.02
XB3	32.80	31.66	1.04	VNB0	40.40	38.61	1.05
YB0	54.30	51.45	1.05	VNB1-1	52.90	49.86	1.06
YB1	56.20	57.96	0.97	VNB1-2	55.10	53.48	1.03
YB1-D	69.60	70.03	0.99	VNB2-1	51.55	49.23	1.05
XC0	10.40	12.00	0.87	VNB2-2	56.80	56.30	1.00
XC1	13.90	20.78	0.67	VNB3	52.00	51.80	1.00
XC2	24.30	30.41	0.80	WMB3	51.20	42.84	1.19
XC3	29.20	36.53	0.80	WNB3	50.60	40.51	1.25

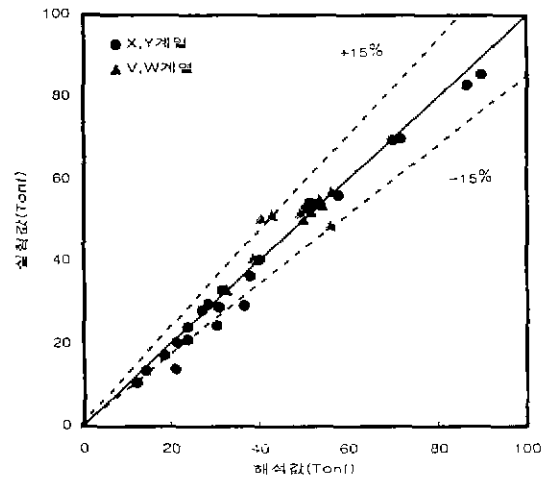


그림8 개구부가 있는 시험체의 유한요소해석과의 비교

3.2 유한요소 프로그램을 사용한 변수연구

3.2.1 개구부의 크기 변화에 따른 최대전단응력 비교

개구부 크기에 대해서는 콘크리트 강도와 개구부 주변의 보강방법이 변함에 따라 최대 전단응력의 감소를 나타내는 기울기가 거의 비슷한 경향을 나타내지만, 개구부가 전단구역중심에 있는 C 계열의 경우 직선근으로 보강한 개구부 크기가 0.2h, 0.25h인 경우 비슷한 최대전단응력을 나타낸다

3.2.2 개구부 위치에 따른 최대전단응력 비교

개구부에 보강이 없고 0.2h의 작은 개구부를 갖는 경우 S 계열이 C 계열에 비하여 6~16% 정도 크게 나타나지만 콘크리트 강도가 증가 할 수록, 개구부 크기가 커질수록, 보강철근비가 증가 할 수록 개구부가 전단구역중심에 있는 C 계열의 시험체의 최대 전단응력이 S 계열에 비하여 최고 52% 정도 더 크게 나타난다.

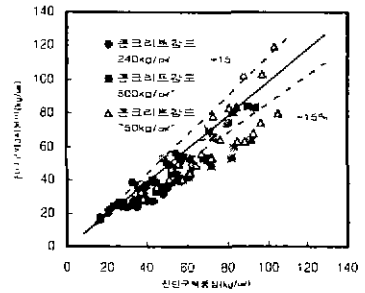
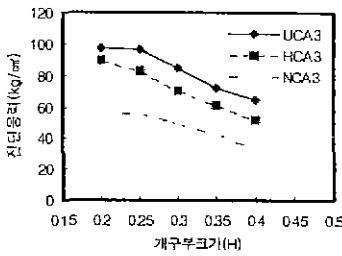
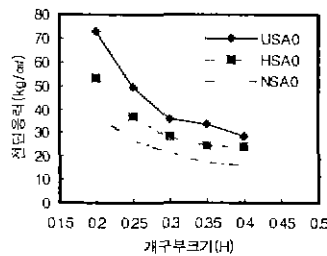
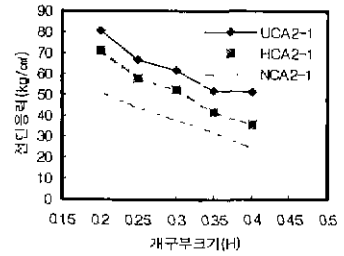
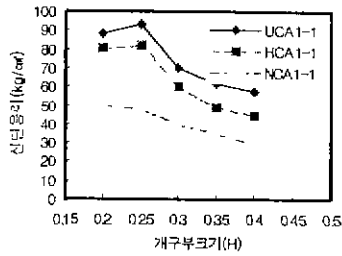
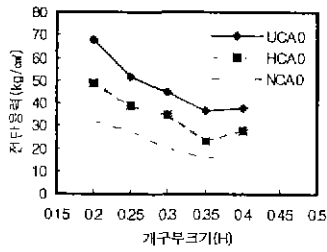


그림9 개구부의 크기에 대한 최대전단응력 비교

그림10 개구부 위치에 따른 최대전단응력의 비교

3.2.3 콘크리트 압축강도의 영향

콘크리트 압축강도는 일반강도 시험체인 N계열이 240 kgf/cm² 고강도 시험체인 H 계열이 500 kgf/cm², 초고강도 시험체인 U계열이 750 kgf/cm²으로 강도 증가율은 일반강도 시험체에 비하여 2.08, 3.125배의 압축강도 증가율을 가진다. 개구부가 전단구역중심에 있는 C계열의 경우 U 시험체가 N 시험체에 비하여 1.5~2.3배, H 시험체가 N 시험체에 비하여 1.3~1.5배 까지 최대전단응력이 증가 하였으며, 개구부가 지지점 가까이에 있는 S계열의 경우 U 시험체가 N 시험체에 비하여 1.8~2.3배 H 시험체가 N 시험체에 비하여 1.3~1.6배 까지 최대전단응력이 증가하였다.

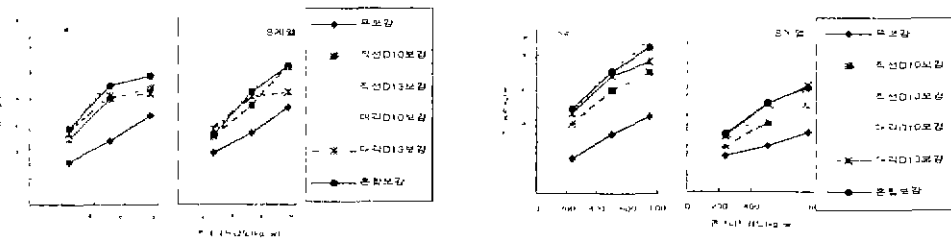


그림11 개구부 크기에 따른 콘크리트압축강도

3.2.4 개구부의 보강에 따른 최대전단응력 비교

개구부가 전단구역중심에 있는 C 계열은 개구부가 커지고, 개구부 주변보강이 증가 할수록 완만하게 최대전단응력도 증가하나, 효과면에서는 콘크리트강도가 240 kgf/cm²일 때는 경사 보강철근이 효

과적인 것으로 조사되지만 강도가 커질수록 수직.수평 보강근을 사용한 시험체가 더 효과적으로 나타났다. 한편, 개구부가 지지점 가까이 있는 S 계열 시험체는 개구부 주변의 보강이 증가할수록 C 계열 보다 더 완만하게 최대 전단응력이 증가하며 전반적으로 수직.수평으로 보강한 시험체보다 경사 보강한 시험체의 내력이 좀 더 높게 나타난다.

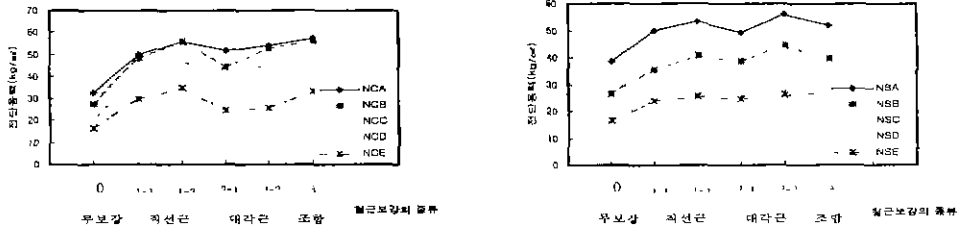


그림12 C계열, S계열의 개구부 보강에 따른 최대전단응력 비교

4. 결론

이 연구는 다양한 구조변수를 갖는 철근콘크리트 깊은보 에 대하여 SBETA를 사용하여 깊은 보의 구조거동과 파괴양상을 해석적으로 파악하여 이론식 또는 실험만으로 불충분한 깊은보의 전단강도 및 거동에 대해 변수연구를 통하여 예측.분석하여 깊은보 설계시 기초자료를 제공하는데 목적이 있으며, 유한요소프로그램 사용시 다음과 같은 이점이 있다

- 1) 이진섭⁴⁾ 개구부가 있는 실험체와 비선형 유한요소 프로그램인 SBETA를 사용한 깊은보의 극한 전단강도는 실험값에 대해 평균 90~105%의 분포를 나타내고 있어 유한요소해석이 깊은보의 전단 거동 검토 및 예측에 유용한 수단이 될 수 있다고 판단된다.
- 2) 비선형 프로그램 SBETA를 이용하여 개구부가 있는 깊은보의 해석시 실험체에 비하여 경사철근의 효율이 적게 나타나므로 메쉬분할 방법을 다르게 하거나 재료모델을 보완하고 수정할 필요가 있다.
- 3) 깊은 보의 주요변수 선택과 제한조건의 변화를 쉽게 할 수 있기 때문에 더욱 최적화된 깊은 보 설계에 필요한 기초 자료를 제시 할 수 있다.
- 4) 비선형 프로그램 사용시 실험시보다 시간적, 경제적 이점을 얻을 수 있고 실험이전에 구조물에 대한 거동을 예측함으로써 실험의 오차를 줄이며 좀 더 효율적인 실험을 가능하게 하는 기반이 될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 지원으로 진행된 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1 ACI Committee 318-95 "Building Code Requirements for Reinforced Concrete."
2. Kong, F., Robins, P. T., and Cole D.F., "Web Reinforcement Effects in Deep Beams." ACI Journal, Proceedings Vol. 68 NO., 7, July 1971, pp514-520
3. Cervenka Consulting, SBETA Program Documentation, Cervenka Consulting, 1996
- 4 이진섭, "철근콘크리트 깊은 보의 전단거동에 미치는 구조변수의 영향", 인하대학교 박사학위논문, 1998.8.