

철근콘크리트 깊은 보의 전단강도 예측

Prediction of Shear Strength of Reinforced Concrete Deep Beams

천 주 현* 김 태 훈** 이 상 철*** 정 영 수**** 이 광 명***** 신 현 목*****

Cheon, Ju Hyun · Kim, Tae Hoon · Lee, Sang Cheol · Chung, Young Soo · Lee, Kwang Myong · Shin, Hyun Mock

ABSTRACT

This paper presents a nonlinear finite element analysis procedure for the prediction of shear strength of reinforced concrete deep beams. A computer program, named RCAHEST(Reinforced Concrete Analysis in Higher Evaluation System Technology), for the analysis of reinforced concrete structures was used. Material nonlinearity is taken into account by comprising tensile, compressive and shear models of cracked concrete and a model of reinforcing steel. The smeared crack approach is incorporated. The proposed numerical method for the prediction of shear strength of reinforced concrete deep beams is verified by comparison with the reliable experimental results.

1. 서 론

철근콘크리트 깊은 보의 구조거동은 휨작용이 지배적인 일반보와 달리 상부에 작용하는 하중의 많은 부분이 하중점과 지지점 및 휨 인장 철근 사이에 형성되는 트러스 작용에 의하여 전달되기 때문에 깊은 보의 파괴는 주로 전단거동에 의하여 지배된다. 균열이 생기지 않는 깊은 보의 응력은 평면응력 상태의 2차원 탄성이론에 의하여 결정되나, 균열 발생시에는 구조 및 재료의 비선형성으로 인하여 구조거동에 대한 정확한 이론적 해석방법이 확립되어 있지 않은 상태이며, 대부분의 설계공식은 실험에 근거를 두고 있다. 그러므로 이러한 철근콘크리트 깊은 보의 거동 특성 및 전단 강도를 해석적으로 평가하기 위한 기법의 개발이 요구되고 있는 실정이다.

이 연구에서는 철근콘크리트 깊은 보의 거동특성을 예측하기 위하여 비선형 유한요소해석 프로그램 RCAHEST를 사용하였으며 그 타당성을 검증하기 위하여 신뢰성 있는 실험결과¹⁾와 비교·검토를 수행하였다. 한편 콘크리트 구조설계기준²⁾에 의한 설계 강도를 함께 비교하여 나타내었다. 이러한 과정을 통해 철근콘크리트 깊은 보의 설계에 필요한 전반적인 기초 자료를 제시하고자 한다.

* 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 석사과정, 공학사

** 정회원, 성균관대학교 건축·조경 및 토목공학 연구소 선임연구원, 공학박사

*** 정회원, 한국시설안전기술공단 교량실 부장, 구조기술사

**** 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수, 공학박사

***** 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 교수, 공학박사

***** 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 교수, 공학박사

2. 비선형 유한요소해석 프로그램

2.1 철근콘크리트의 비선형 재료모델

철근콘크리트는 복합재료이며, 재료의 비선형성은 타 구조재료에 비해 극히 복잡하다. 특히 균열발생후의 비선형성은 현저하게 나타나며, 이러한 재료적 비선형성에 대해서는 철근콘크리트 요소의 직교이방성의 가정에 따라, 균열직각방향으로 콘크리트가 부담하게 되는 인장응력을 고려하기 위한 인장강성모델과 균열방향으로의 압축강성 저하를 고려하기 위한 압축강성모델 및 균열면에서의 전단전달효과를 고려하기 위한 전단전달모델을 각각 적용 한다³⁾.

2.2 비선형 유한요소해석 프로그램

이 연구에서는 저자 등에 의하여 그 동안 개발된 철근콘크리트 평면응력요소 그리고 탄성요소 등³⁾을 미국 버클리 대학의 Taylor가 개발한 범용 유한요소해석 프로그램인 FEAP⁴⁾에 이식하여 모듈화된 비선형 유한요소해석 프로그램 RCAHEST(Reinforced Concrete Analysis in Higher Evaluation System Technology)를 사용하였다.

3. 검증 예 및 고찰

이 연구에서 제안한 해석기법과 모델의 타당성을 검증하기 위해 1951년에 Clark이 수행한 다양한 철근콘크리트 보의 실험체¹⁾중 A Series와 B Series 및 C series의 총 28개의 부재를 해석 대상으로 선정하였다. 각각의 실험체는 보의 길이와 배근된 철근량 및 철근의 항복강도는 같고, 압축 강도와 스트립의 간격 및 전단지간비 (a/d)를 달리 하고 있다. 각 대상 실험체에 대한 형상 및 배근상세는 그림 1과 그림 2 및 그림 3에 나타내었다. 그리고 표 1 에는 각 실험체에 대한 제원과 실험결과와 비선형 유한요소 해석 프로그램에 의한 극한강도 및 도로교 설계기준에 의한 공칭전단강도를 비교·검토하였다. 그림 4 에는 해석과 실험의 상관관계를 나타내었다. 해석에 의한 결과를 볼 때 해석결과가 실험결과와 전반적으로 잘 일치함을 알 수 있다.

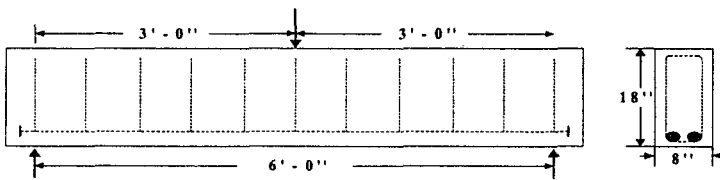


그림 1 A 실험부재들의 부재형상 및 배근상세

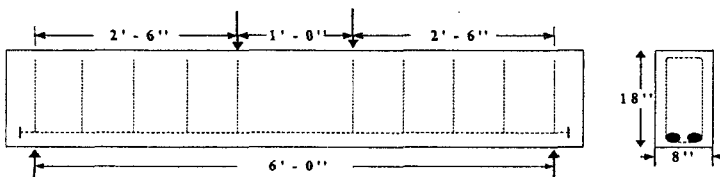


그림 2 B 실험부재들의 부재형상 및 배근상세

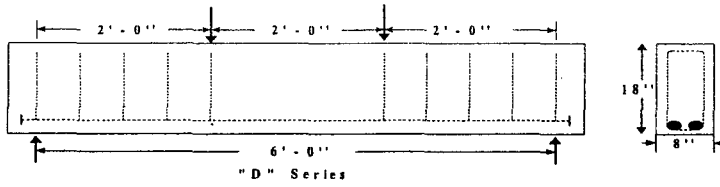


그림 3 C 실험부재들의 부재형상 및 배근상세

표 1 실험부재의 재료물성 및 해석과 실험 결과

Beam	Cross-Section (mm-mm)	a/d	f'_c (MPa)	f_y (MPa)	Design (kN)	Experiment (kN)	Analysis (kN)	Ana. / Exp. Ultimate Shear Force
A1-1	203*457	2.35	24.65	320.61	93.32	222.48	208.88	0.939
A1-2	203*457	2.35	23.65	320.61	91.98	209.13	204.96	0.980
A1-3	203*457	2.35	23.41	320.61	91.66	222.48	203.98	0.917
A1-4	203*457	2.35	24.75	320.61	93.46	244.77	208.59	0.852
B1-1	203*457	1.95	23.36	320.61	87.26	278.80	264.78	0.950
B1-2	203*457	1.95	25.37	320.61	89.94	256.64	286.35	1.116
B1-3	203*457	1.95	23.68	320.61	87.70	284.78	263.60	0.925
B1-4	203*457	1.95	23.30	320.61	87.18	268.99	263.60	0.983
B1-5	203*457	1.95	24.61	320.61	88.94	241.44	274.59	1.137
B2-1	203*457	1.95	23.24	320.61	110.75	301.06	297.14	0.987
B2-2	203*457	1.95	26.34	320.61	114.85	322.25	318.71	0.989
B2-3	203*457	1.95	24.92	320.61	113.01	334.90	307.93	0.920
B6-1	203*457	1.95	42.13	320.61	109.06	379.42	362.84	0.956
C1-1	203*457	1.56	25.62	320.61	85.88	277.72	297.14	1.070
C1-2	203*457	1.56	26.34	320.61	86.77	311.07	297.14	0.955
C1-3	203*457	1.56	23.95	320.61	80.81	245.95	274.59	1.116
C1-4	203*457	1.56	29.03	320.61	90.14	285.96	307.93	1.077
C2-1	203*457	1.56	23.65	320.61	102.50	289.98	285.57	0.985
C2-2	203*457	1.56	24.99	320.61	104.30	301.06	296.65	0.985
C2-3	203*457	1.56	24.13	320.61	103.15	323.81	285.57	0.882
C2-4	203*457	1.56	26.96	320.61	106.83	288.32	307.93	1.068
C3-1	203*457	1.56	14.07	320.61	68.60	223.69	197.11	0.881
C3-2	203*457	1.56	13.79	320.61	68.11	200.30	197.11	0.984
C3-3	203*457	1.56	13.93	320.61	68.36	188.09	197.11	1.048
C4-1	203*457	1.56	24.48	320.61	84.34	309.30	307.93	0.996
C6-2	203*457	1.56	45.23	320.61	107.73	423.84	449.14	1.060
C6-3	203*457	1.56	44.68	320.61	107.19	435.02	449.14	1.032
C6-4	203*457	1.56	47.57	320.61	109.99	428.65	456.99	1.066
평균								0.995
표준편차								0.075
변동계수								0.076 %

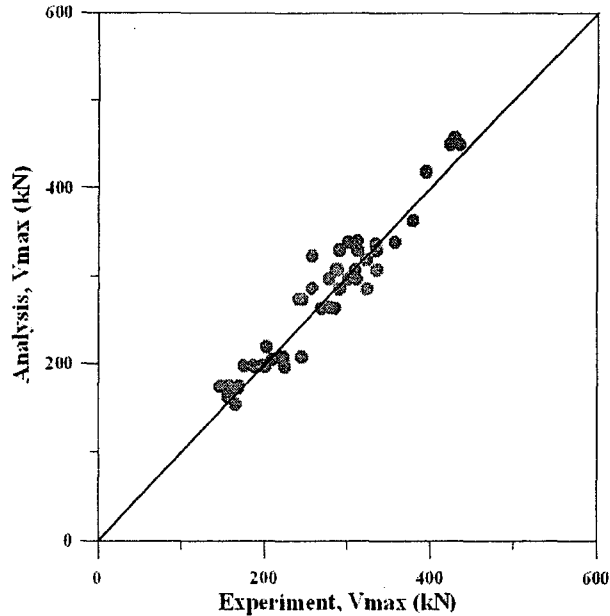


그림 4 해석과 실험에서의 극한강도 비교

4. 결론

이 연구에서는 철근콘크리트 깊은 보에 대한 거동특성 및 전단강도를 예측하기 위한 해석기법과 모델을 제시하였고 실험결과와 비교·검토된 검증예제로부터 다음의 결론을 얻었다.

1. 재료적 비선형성을 고려한 해석모델에 의하여 임의하중을 받는 철근콘크리트 깊은 보의 복잡한 전단거동특성 및 전단 강도를 비교적 정확히 예측할 수 있었다.
2. 철근콘크리트 깊은 보의 비선형 거동특성을 정확하게 예측함으로써 향후 교각 코핑부 등의 안전성평가에 충분히 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 한국시설안전기술공단(KISTEC)의 연구비 지원에 의하여 이루어졌음을 밝히며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Clark A. P., "Diagonal Tension in Reinforced Concrete Beams," ACI Journal, V. 23, No. 2, 1951, pp 145-156
2. 건설교통부, 콘크리트구조설계기준, 2000.
3. 김태훈, "비선형 유한요소해석을 이용한 철근콘크리트 교각의 내진성능평가," 박사학위 논문, 성균관대학교, 2003.
4. Taylor, R. L., FEAP - A Finite Element Analysis Program, Version 7.2, Users Manual, Volume 1 and Volume 2, 2000.