

복합구조의 철근콘크리트 전이보에 대한 이론적 해석 연구

A Study on Theoretical Analysis for Reinforced Concrete Transfer Girder of Hybrid Structures

권기혁* 이춘호** 김민수*** 이한선**** 고동우*****

Kwon, Ki Hyuk Lee, Choon Ho Kim, Min Soo Lee, Han Seon Ko, Dong Woo

ABSTRACT

In this paper, the behavior for transfer girder of the upper-wall and lower-frame structures was studied by the nonlinear finite element analysis. It was analyzed and compared with the experimental results. Analysis results showed that failure modes were progressed by a initial diagonal crack in the shear span between the edges of the load and intermediate support plate. The nonlinear finite element analysis could predict deformation, principal stress, ultimate load and concrete crack. Also analysis results showed good agreement the test results.

1. 서론

주거와 상업용 공간이 공존하는 주상복합구조는 상부 전단벽과 하부골조의 복합시스템으로 이 두가지 구조형식이 만나는 부분에서는 연직하중 및 횡하중의 효과적인 흐름을 위해 하중전달보인 전이보가 널리 사용되고 있다. 복합구조에서 전이보는 하중점과 지지점 사이의 압축대를 통하여 하중이 전달되는 부재로 깊은보의 형태를 가진다. 현행의 구조설계실무에서는 전이보 설계시 비선형 해석을 고려하여 설계되는 경우가 드물고 또한 전이보의 단면크기 및 설계기법 등이 불명확한 상태이다. 기존의 많은 실험적 연구는 깊은보의 하중지지능력은 콘크리트의 강도, 전단스팬과 보춤의 비, 수평 및 수직 보강근의 영향을 받는 것으로 밝혀지고 있으나 전이보의 위에 놓이는 상부벽체의 영향 및 연속스팬에 대한 실험은 거의 행하여지지 않았다.

본 연구에서는 주상복합구조의 실무 현황분석을 토대로 전이보 상부에 배치된 벽체의 길이를 고려한 1/2.5 축소 시험체로 실험을 시행한 결과에 근거하여 비선형 유한요소 해석을 실시하여 전이보의 파괴모드를 고찰하였고 상부벽체의 유무 및 벽체길이차에 따른 비교를 통하여 전이보 설계에 대한 기초 자료를 제시하고자 한다.

* 정회원, 서울시립대학교 건축공학과, 조교수

** 정회원, 서울시립대학교 건축공학과, 박사과정

*** 정회원, 서울시립대학교 건축공학과, 석사과정

**** 정회원, 고려대학교 건축공학과, 부교수

***** 정회원, 고려대학교 건축공학과, 박사과정

2. 시험체 및 실험결과

2.1 시험체 제작

시험체의 종류 및 배근상세는 각각 표1, 그림1과 같다. 시험체 단면크기는 상부벽체를 갖는 전이보 모델로 1/2.5 축소하여 설계되었다. 전이보에 상하부 주근은 D10, 수직·수평 전단보강근 및 벽체철근은 D5를 사용하였다. 콘크리트는 표 2의 배합비로 설계되었다.

재료시험결과 철근의 항복강도가 각각 4,400kgf/cm²(D10), 4,100kgf/cm²(D5)로 설계항복강도(4,000kgf/cm²)를 상회하였고 콘크리트의 공시체 강도는 표 1과 같다.

표 1 전이보 시험체

시험체명	설계법	con'c강도 (kgf/cm ²)	주근 (하부)	전단보강근	
				수직	수평
AL-86	ACI	440	0.004	0.007	0.002
AS-72	ACI	390	0.004	0.004	
XL-60	X형전단 보강근	404	0.005	0.002	
XL-48	X형전단 보강근	404	0.007	0.002	
○●-H	○:설계법 ●:상부벽체길이 L=2.64m, S=1.8m, H:축				

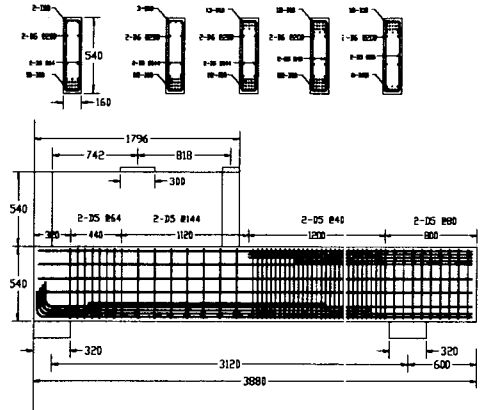


그림 1 시험체배근(AS-72)

2.2 실험방법

시험장치는 그림2와 같이 설치하였다. 가력은 200t 용량의 유압잭을 사용하였으며 상부하중을 2개의 집중하중으로 나누어 가력하였다. 연속보의 효과를 고려하기 위하여 오른쪽 단부에서 60cm 떨어진 지점의 수직변위를 구속하여 연속보와 유사한 거동을 하도록 하였고 이곳에 로드셀을 장치하여 가력시 얻어지는 반력(R)을 측정하였고 실험시 전이보가 균형을 잃어 전도될 위험이 있으므로 상부전단벽 좌우로 횡지지 장치를 설치하였다.

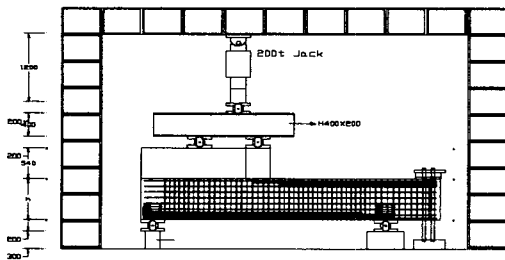


그림 2 실험장치

표 2 콘크리트 배합비

최대 골재치수	물-시 멘트비	잔골 재율	단위중량(kgf/m ³)			
			물	시멘트	잔골재	굵은 골재
10mm	40	46	201.4	503.6	692.7	828.8

2.3 실험결과

상부벽체가 비교적 짧은 경우는 시험체 중앙 하단부의 변위에서 30mm, 상부벽체가 긴 경우는 10~15mm의 변위에서 파괴되어 상대적으로 전자가 연성이 크게 나타났다. X형전단보강근을 사용한 시험체는 철근의 항복이전에 전이보 상부벽체에서 지압파괴가 일어나서 실험이 종료되었고 파괴하중은 좀 더 크게 나타날 것으로 예측되었다.

표 3 실험결과 요약

시험체명	V_n (설계값)	R(반력값)	V_{max} (실험값)	V_{max} / V_n	파괴모드
AS-72	38.5tf	33.4tf	38.3tf	0.99	전단파괴
AL-86	45.2tf	22.1tf	53.4tf	1.18	전단파괴
XL-48	40.1tf	28.5tf	42.6tf	1.06	지압파괴
XL-60	38.9tf	17.5tf	36.5tf	0.94	지압파괴

표 4 최초 및 사균열 하중(tf)

시험체명	파괴 하중	초기균열 하중	
		초기휨균열 하중	초기사균열 하중
AS-72	82.5	26.5	36.5
AL-86	91.3	29.4	48.9
XL-48	61.8	16.5	21.5
XL-60	70.3	19	28

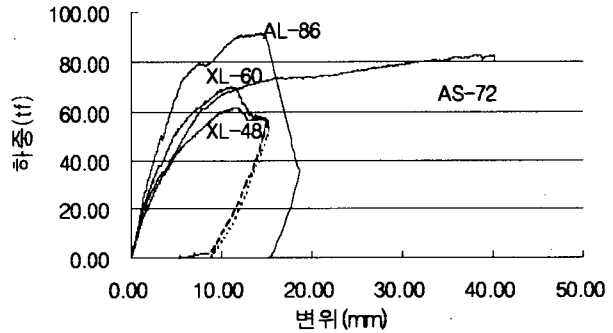


그림 3. 하중- 변위 그래프

3. 전이보의 유한요소 해석

3.1 비선형 유한요소법 및 재료모델

현재 국내에서 사용되는 전이보(깊은보)의 설계는 휨거동 위주의 해석모델(beam element)을 설정하여 부재력을 산정하는 경우가 빈번하며, 평면응력요소(plane stress)를 사용하더라도 신뢰할만한 부재내력을 얻어내지 못하고 있다. 전단력이 크거나 구조물에 기하학적 불연속 또는 집중하중이 존재하는 응력 혼돈지역은 구조요소의 합리적인 해석을 위해서 유한요소법의 적용이 필수적이며 콘크리트 균열하중 이후의 응력재분배 현상을 고려하기 위해서는 비선형 유한요소법에 근거한 해석이 요구된다. 본 연구에서는 비선형 유한요소 프로그램인 ANSYS-55를 이용하여 해석을 수행하였다. 기본데이터는 실험에 근거하여 적용하였고 콘크리트 소성이론에 근거한 SOLID65모델을 이용하여서 하중의 증감에 따른 균열형상 및 파괴형태 등을 알아보았다.

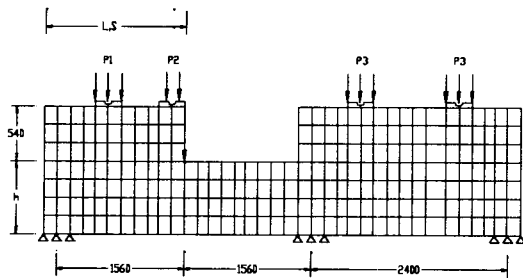


그림 4 해석 모델

표 5 전이보 해석모델

	전단스팬/층		순스팬/층
	S	L	
AS-72, AL-72, NAS-72	1.88	1	4
AS-86, AL-86, NAS-86	1.574	0.84	3.5
XS-48, XL-48, NXL-48	2.25	1.2	4.8
XS-60, XL-60, NXL-60	2.81	1.5	6
N=상부벽체가 없는 시험체			

3.2 해석결과

유한요소해석은 상부벽체의 유무 및 벽체 길이에 따라 ACI설계모델과 X형 대각전단근으로 설계된 시험체들에 대해서 실시하였다.

표 6 해석결과 요약

해석모델	파괴하중(tf) ($P_1 + P_2$)	초기균열 하중(tf) ($P_1 + P_2$)	초기사균열 하중(tf) ($P_1 + P_2$)	V_{max} (tf)	해석치/ 실험치	
					파괴하중	V_{max}
AS-72	74	19	33	35	0.90	0.91
AL-72	81	23	36	42.7	-	-
NAS-72	66	15	29	32.1	-	-
AS-86	80	26	41	47.1	-	-
AL-86	85	28	44	50.2	0.93	0.94
NAS-86	73	21	32	41.6	-	-
XS-48	43	11	21	21.6	-	-
XL-48	51	16	27	29.8	0.83	0.82
NXL-48	42	13	19	22.7	-	-
XS-60	54	18	27	28.7	-	-
XL-60	68	21	31	41.2	0.97	0.97
NXL-60	59	14	25	33.7	-	-

3.3 해석결과 및 고찰

3.3.1 균열양상과 파괴모드

해석모델은 최초 휨균열의 발생이후 하중이 증가되면서 중간전단스팬에서 사균열이 발생하여 하중 점과 중간지판을 연결하는 형태로 균열패턴이 형성되었다. 상부벽체와 전이보의 집합부위에서는 사균열 이후에 균열형태가 크게 나타났으며 콘크리트의 부분적인 지압파괴도 예측할 수 있었다. 모든 해석

모델의 초기 휨균열은 파괴하중의 25% 전후에서 발생하였고 초기 전단균열은 45% 전후에서 발생하였다.

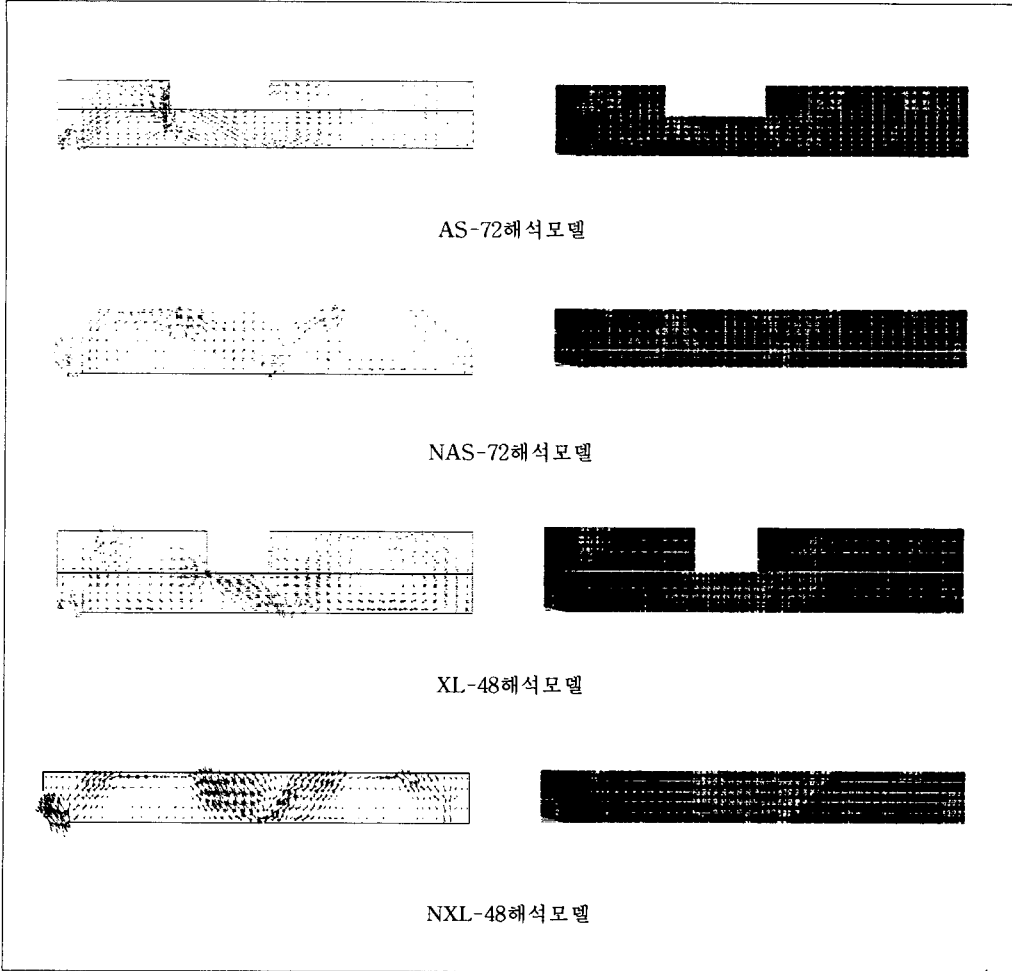


그림 5 해석모델의 주응력도 및 균열상황

3.3.2 상부벽체의 유무 및 길이 변화에 따른 해석비교

상부벽체의 길이에 따라서는 벽체길이가 긴 해석체, 즉 전단스팬 대 춤의 비가 적은 모델은 파괴시에 하부 변위는 적게 나타나다가 변위가 입력된 하중의 2/3정도에서 급격하게 증가하는 양상을 띠므로 취성적인 파괴형태를 예측할 수 있었고 벽체의 길이가 비교적 짧은 해석체에서는 파괴시까지 하부의 변위가 완만하게 증가하는 양상을 보였다.

상부벽체의 유무에 따른 모델을 설정하여 해석을 실시하였으며 벽체가 전이보의 거동에 어떠한 영향을 미치는지와 해석결과의 차이점 등을 알아본 결과 상부벽체의 유무에 따라 주응력의 흐름이 다르게 나타나고 있으며 상부벽체가 없는 경우의 모델은 상부벽체가 있는 경우보다 해석값이나 실험값보다 적은 하중값에서 파괴되는 양상을 보였다. 이는 상부벽체의 일부가 보와 함께 거동한 것으로 사료된다.

표 7 전이보 유무에 따른 비교

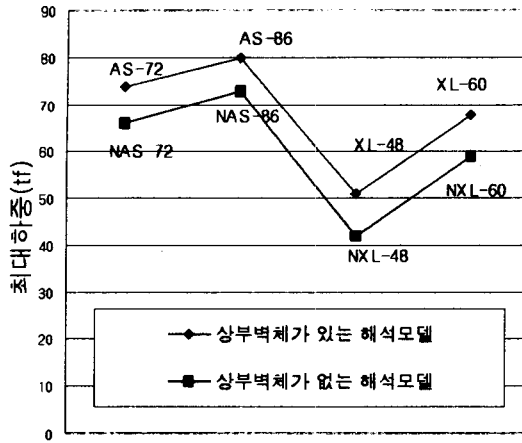
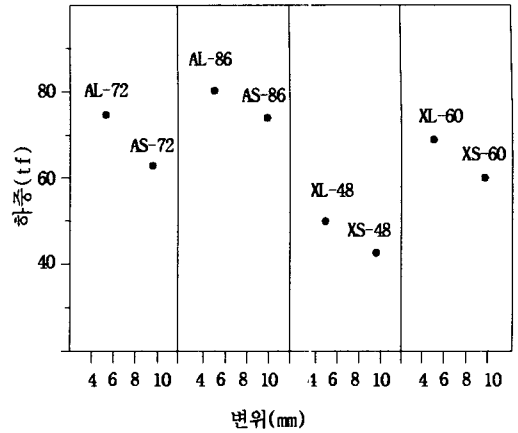


표 8 상부벽체 길이차에 따른 비교



4. 결론

비선형 유한요소 해석결과는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 파괴모드는 중간전단스팬에서 사균열이 발생하여 하중점과 중간지판을 연결하는 선을 따라 균열이 진행되는 전단파괴형태 또는 상부벽체와 전이보 접합부위에서 콘크리트 지압파괴로 나타났다.
2. 상부벽체의 유무에 따라 전이보에 발생하는 주응력은 차이를 보였다. 파괴하중도 전단벽이 설치된 시험체가 10~15%정도 크게 나타났다. 이는 상부벽체가 전이보의 거동에 영향을 미친 것으로 사료된다.
3. 상부벽체의 길이가 비교적 짧을수록 연성적인 거동을 하였으며 벽체가 길수록 취성적인 파괴를 보였다.
4. 해석결과는 실험결과와 유사하였으며 보 중앙부 변위는 실험결과보다 해석결과가 다소 적게 나타났다.

향후 깊은보 연구는 전이보 상부벽체의 영향 및 연속스팬 조건을 고려한 보다 실제상황에 근접한 해석기법 및 설계기법이 요구되며 후속되는 이론해석 및 실험적 연구를 통하여 전이보 설계방법을 제안하고자 한다.

참고문헌

1. F.K.Kong, "Reinforced concrete deep beams", 1990
2. 이한선의, "복합구조(전단벽+골조)의 내진설계기법 연구", 건교부 98연구개발사업 보고서, 1999
3. 김상식의, "집중하중을 받는 철근콘크리트 깊은보의 전단거동에 관한 실험적연구", 1999
4. Ashraf F. Ashour, "Test of Reinforced concrete continuous deep beams", ACI Structural Journal, 1994