

수직으로 비접촉 겹침이음된 철근의 이음성능에 관한 해석적 연구

Analytical Study on Splice Performances with the Vertical Noncontact Lapped of Reinforcing Bars

이 호 진* 김 승 훈** 하 상 수*** 문 정 호**** 이 리 형***** 이 용 택*****
Lee, Ho-Jin Kim, Seung-Hun Ha, Sang-Su Moon, Jeong-Ho Lee, Li-Hyung Lee, Yong-Taeg

ABSTRACT

In this study, new moment-resisting precast concrete beam-column joint is proposed for moderate seismic regions. It has the connection reinforcing bars, penetrated the joint and lap-spliced with the bottom bars of precast U-beam. To evaluate the performance for noncontact lapped splice, analytical works were conducted. Major variables for FEM analysis are the length of lap, the diameter of connection reinforcing bars, and the distance between lapped bars. The results of this study show that these variables have much influence on strength and deformation of lapped joint.

1. 서론

최근 PC(Precast Concrete) 보-기둥 접합부에서 PC 보 하부 철근의 접합부 내 연속성 확보를 위하여 U형 부분 PC 보와 철근 연결재를 이용한 철근 관통형 PC 보-기둥 접합부 상세가 개발되었다. 철근 연결재는 U형 PC 보 내부 바닥면에 놓이고 보의 하부 철근과 보의 축방향으로 일정한 간격을 가지면서 비접촉 겹침이음되어 응력을 전달하게 된다. 이와 같이 철근 연결재와 보의 하부철근은 수직으로 비접촉 겹침이음되어 철근에 작용하는 응력이 상이하게 되므로 이에 대한 성능 검토가 필요하다. 특히 내진설계시 접합부에 정모멘트가 작용할 경우, 철근 연결재가 보의 하부철근 위에 놓이게 되어 유효춤이 적어져 강도와 강성이 저하될 수 있지만, 기존의 연구는 이러한 수직 비접촉 겹침이음이 미치는 영향을 평가하고 있지 못하다. 본 연구에서는 수직으로 비접촉 겹침이음된 철근의 성능을 평가하기 위하여 이음성능 평가 실험을 토대로 비선형 유한요소 해석을 실시하였다. 하중-변위 곡선, 강성, 내력 등에 대한 실험과 FEM 해석결과를 비교함으로써 겹침이음 성능에 관하여 분석하였다.

- * 정희원, 한양대학교 건축공학부 석사과정
- ** 정희원, 한밭대학교 건축공학부 건축공학전공 진입강사
- *** 정희원, 한양대학교 초대형구조시스템연구센터 연구원
- **** 정희원, 한남대학교 건축공학과 교수
- ***** 정희원, 한양대학교 건축공학과 교수
- ***** 정희원, 한밭대학교 건축공학부 건축공학전공 조교수

2. 실험

2.1 실험체 계획

이음길이, 연결재 종류등을 변수로 이음성능 평가를 위한 실험체를 표 1 및 그림 1과 같이 계획하였다. 비접촉 접침이음되는 보 하단부 철근은 D19일 경우 3개, D22와 D25일때는 2개를 각각 사용하였고, 실험체 보 단면은 300×400mm에 길이 5400mm로 제작하였다. 순경간 5000mm로 계획하였으며, 실제 접합부의 배근을 고려하였다. 횡보강근은 기준(ACI 318-02)에서 지진하중에 저항하는 보의 휨인장 철근의 횡보강 간격이 $d/4$ 또는 100mm를 넘지 않는 범위로 규정하고 있어, D10의 철근을 사용하여 80mm간격으로 전 구간에 배근하였다.

2.2 재료시험

실험체에 사용된 PC와 RC의 재료시험결과에 의한 평균압축강도는 각각 26.5, 23.5 MPa로 나타났으며, 철근의 재료시험결과는 표 2에 나타내었다.

3. 유한요소 해석

3.1 해석방법 및 요소분할

실험체의 유한요소해석을 위하여 콘크리트 전용 비선형 해석 프로그램인 Total-RC를 사용하였으며, 그림 3과 같이 모델링하였다. 콘크리트는 4절점 아이소파라메트릭(isoparametric) 평면 응력요소를 사

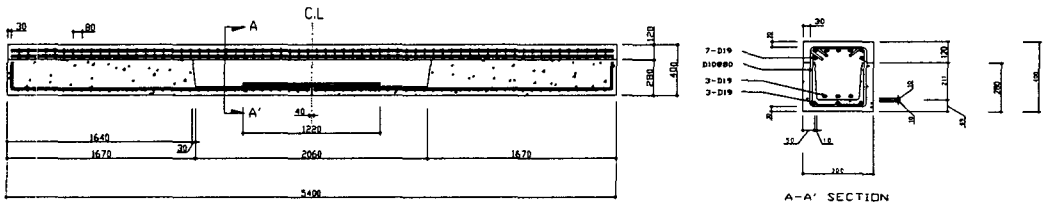


그림 1. 실험체 형상

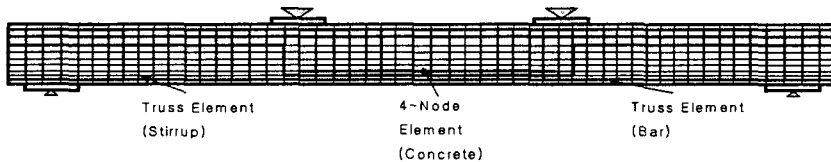


그림 2. FEM 해석 보 모델링

표 1. 실험체 일람

NO	실험체명	연결재 철근	이음길이 (mm)	변수 설명
1	B2-1-1220	3-D19	590	기준 실험체
2	B2-2-980	3-D19	470	이음길이 : 0.8배
3	B2-3-1460	3-D19	710	이음길이 : 1.2배
4	B2-4-1680	3-D19	820	이음길이 : 1.4배
5	B2-5-D25	2-D25	980	연결재 철근 변화
6	B2-6-D22	2-D22	850	

표 2. 철근의 재료시험 결과

종류	항복강도 (MPa)	항복 변형률	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	연신율 (%)
D10	502.1	0.003	734.5	166.7	15.9
D13	535.6	0.0031	747.1	168.7	17.0
D19	525.1	0.0026	760.1	202.0	14.8
D22	508.0	0.0026	756.5	195.2	18.7
D25	514.9	0.0025	791.1	205.9	19.4

용하였고, 철근은 트러스 요소를 사용하였으며, 균열거동을 모델링 하기 위하여 분산 균열모델 (smeared crack model)을 사용하였다. 비선형 해석수법으로는 Newton-Rapson method를 하였으며 해석에 사용된 모든 상수값들은 실험에서 도출된 값을 사용하였다.

3.2 FEM 해석시 사용된 재료 구성 및 해석방법

콘크리트는 4절점 아이소파라메트릭 평면응력요소로 모델링 하였으며 콘크리트의 최대압축강도까지 Kupfer의 이론을 사용, 최대 압축강도 이후에는 변형도 연화를 고려한 이선형(bi-linear) 모델을 사용하였다. 인장강도는 균열발생 전까지 선형탄성, 균열 발생후에는 지수형의 인장연화를 고려하였다. 철근은 그림 3(c)와 같이 2절점 트러스 요소로 모델링 하였고 항복조건은 Von Mises의 항복조건을 사용하였다. 콘크리트와 철근의 부착은 4절점 아이소파라메트릭 판본드 요소로 모델링 하였다. 물성치는 기존의 논문을 참조하여 이선형(Bi-linear)으로 표현하였으며 최대부착응력(τ)을 변화시키면서 하중-변위 곡선과 일치 되도록 해석을 하였다.

4. 실험 및 해석 결과

4.1 균열상황

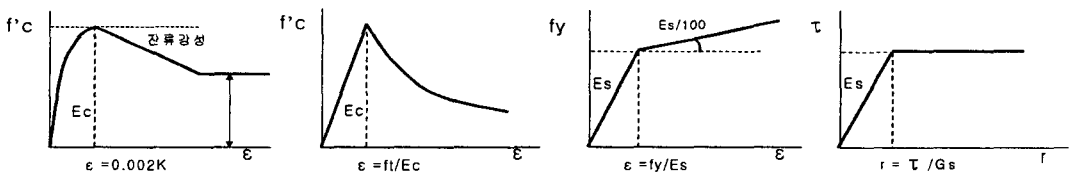
그림 4는 실험과 해석에 의한 B2-1 실험체의 최대내력에 도달시 균열성상을 나타내고 있다. B2-1 와 B2-2 실험체는 철근 연결재와 하부 철근의 이음 성능 부족으로 인하여 전단균열이 중앙면에서 발생하였다. 다른 실험체들은 일반적인 보의 휨균열 양상을 내면서 최종파괴되었다.

4.2. 하중-변위 곡선 및 내력 비교

실험 및 해석에 의한 항복강도, 최대강도 및 변위 연성비를 정리하여 표 3에 나타내었다. 실험 및 해석 변수별로 비교하면 다음과 같다.

(1) 수직 비절축 이음 길이(l_d)

그림 5에서 기준식에 의한 이음길이의 1.2배, 1.4배한 B2-3와 B2-4 실험체는 주근이 먼저 항복한 후 지속적으로 연성적인 휨거동을 나타내었다. 이음길이가 적은 B2-1과 B2-2 실험체는 이음성능부족에 의한 부착전단파괴로 최대 내력비가 감소하고 이후 취성적인 거동을 나타내었다.



(a)콘크리트 압축응력구성모델 (b)콘크리트 인장응력구성모델 (c)철근구성모델 (d)부착구성모델

그림 3. 재료 요소 모델



(a) 실험 (b) FEM 해석

그림 4. B2-1 실험체 최종파괴시 균열상황

표 3. 실험 및 해석결과(하중값)

NO	$Test P_{cr}$ (kN)	P_{cr} (FEM)	$Test P_y$ (kN)	P_y (FEM)	$Test P_n$ (kN)	P_n (FEM)	P_n (Design)	Δy (mm)	Δy (FEM)	Δu (mm)	Δu (FEM)	$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y}$	μ (FEM)	$\frac{Test P_n}{P_n(FEM)}$	$\frac{Test P_n}{P_n(Design)}$
B2-1	31.2	32.0	164.8	180.3	191.4	205.9	201.4	20.40	25.19	40.77	44.83	1.99	1.77	0.92	0.95
B2-2	35.6	34.7	107.9	142.9	149.4	163.4	201.8	13.66	21.14	65.77	50.62	4.81	2.39	0.91	0.74
B2-3	39.9	41.5	160.6	172.1	209.0	208.3	201.1	19.84	25.73	101.14	103.63	5.09	4.02	1.00	1.04
B2-4	30.4	34.4	193.1	182.7	223.0	210.9	202.4	17.55	24.76	99.69	97.29	5.68	3.92	1.06	1.10
B2-5	34.0	33.2	199.2	203.9	248.1	235.2	200.1	21.93	28.38	96.96	98.86	4.42	3.48	1.05	1.08
B2-6	36.7	34.2	148.6	144.45	199.2	198.0	182.7	21.93	22.90	99.20	70.91	4.52	3.09	1.01	1.09

P_{cr} : 초기균열하중, P_y : 항복강도, P_n : 최대강도(실험값), $P_n(Design)$: 설계강도 P_n/P_{cr} : 하중 여유율 $\Delta u/\Delta_{cr}$: 변위 여유율 μ : 변위연성비

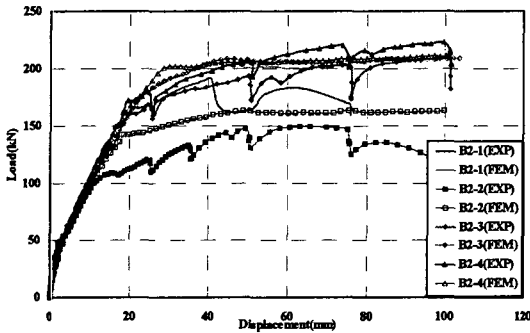


그림 5. 이음길이 비교 포락선

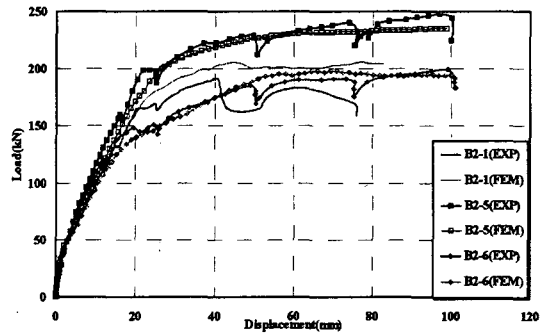


그림 6. 연결재 비교 포락선

(2) 연결재의 종류

그림 6에서 D19를 연결재로 사용한 B2-1 실험체는 부착전단파괴 되었지만 D25 및 D22인 이형철근을 연결재로 사용한 B2-5과 B2-6 실험체는 휨 연성거동을 나타내어, 철근 연결재의 직경에 따른 영향이 크게 나타났다.

5. 결 론

수직 비접촉 겹침이음된 철근연결재를 사용한 PC U형 보의 이음성능을 평가하기 위하여 실험 및 해석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 이음길이를 적용한 실험체에 대한 해석값은 설계기준 이상의 길이를 적용한 해석값과 비교해보면 유사한 항복강도는 보이지만 이음에 대한 부착 전단 파괴로 최대내력이 감소되었다.
- 2) D25 및 D22의 철근 연결재는 D19를 사용한 실험과 해석값과는 달리 충분한 휨연성 파괴를 보이고 있어서 이음성능을 확보하고 있는 것으로 나타났다.
- 3) 비접촉 겹침 이음은 철근사이 콘크리트 압축력에 대한 응력과 겹침의 적절한 길이의 감소로 인한 콘크리트의 인장강도 감소와 철근 간격 사이에 추가적인 콘크리트에 구속근거에 발전을 가져온다.

참고문헌

1. 삼성물산(주), "PC 공법에 의한 다층 연성 골조 시스템 개발", 2004. 2.
2. 김승훈 외, "철근 이음형 PC 보-기둥 내부 접합부의 구조적 거동에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 춘계학술 발표대회 논문집, 제24권 제1호, 2004. 4.