

비접촉 겹침 이음된 프리캐스트 U형 보의 휨성능에 미치는 효과

Effect of Flexural Performance on U-Shaped Precast Concrete Beams with Noncontact Lapped Splice

하 상 수*
Ha, Sang-Su

김 승 훈**
Kim, Seung-Hun

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-shaped PC beam. To evaluate the performance for noncontact lapped splice, experimental and analytical works were conducted. Major variables for tests are the length of lap, the diameter of connection reinforcing bars, and the distance between lapped bars. Analytic research was performed nonlinear finite element method. Analytic research focused on crack pattern, load-deflection curve, comparison of internal force, evaluation of ductility strains of reinforcement bar. Results of experimental and analytical works show that the these variables has much influence on flexural strength and ductility, and joint behavior.

요 지

본 연구는 중진지역에서의 PC(precast concrete) 보-기둥 접합부의 새로운 모멘트-저항 시스템을 제안하는 것이다. 철근 이음형 접합부에서 연결재는 접합부를 관통하고, U형 하프 PC 보의 하부철근과 비접촉 겹침이음으로 연결되어 있다. 비접촉 겹침이음에 대한 성능을 파악하기 위하여 실험적 연구와 해석적 연구가 수행되었다. 실험의 주요변수는 겹침길이, 연결재의 크기, 그리고 겹침이음된 연결재의 거리 등이다. 또한, 균열양상, 하중-변위 곡선, 내력 비교, 그리고 연결재의 변형 등에 초점을 맞추어 해석적 연구를 수행하여 실험결과와 비교하였다. 해석과 실험 결과 주요변수인 겹침길이, 연결재의 크기, 연결재의 비접촉 수직 거리 등에 따라 강도, 연성, 그리고 접합부 거동에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

Keywords : Connection reinforcing bar, Noncontact lapped splice, Precast concrete, U-shaped beam

핵심 용어 : 연결재, 비접촉 겹침이음, 프리캐스트 콘크리트, U형 보

* 정회원, 한경대학교 건설공학연구소 전임연구교수

** 정회원, 한밭대학교 건축공학부 조교수, 교신저자

E-mail : kimsh@hanbat.ac.kr 042-821-1120

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2009년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

현재 국내에서 PC 구조물을 설계 및 시공할 경우, 접합부의 일체성을 확보하기 위하여 부분 PC를 많이 적용하고 있다. 이에 본 연구자들은 Fig. 1과 같은 철근 관통형 PC 보-기둥 접합부 상세를 개발하였다.⁽¹⁾

철근 관통형 PC 보-기둥 접합부 상세는 하프 PC 보의 양단부가 U형으로 홈이 나 있는 하프 PC 보를 사용하고 하프 PC 보 단부의 하부철근은 부재 내부에서 절단하였다. 대신 U형으로 홈이 나 있는 하프 PC 보 내부 바닥면에 철근 연결재를 보-기둥 접합부를 관통하여 배근하고 현장타설하여 보의 하부 철근과 겹침이음되어 보의 응력을 접합부에 전달하게 된다. 이러한 철근 연결재는 시공성 및 경제성을 향상시키고, 또한 이러한 방법들의 적용은 접합부의 강도 및 강성을 증가시킴으로써 강진지역에 적합한 접합부의 요구성을 만족시키게 된다. 개발된 접합부에서 U형 PC 보의 하부 철근과 덧침 콘크리트 내부의 철근 연결재는 보의 축방향으로 간격을 가지면서 비접촉 겹침이음 된다. 하지만 이러한 비접촉 수직 겹침이음에 대한 국내외 연구가 현재까지는 뚜렷한 근거를 마련하지 못하고 있다.

본 연구에서는 철근 관통형 PC 보-기둥 접합부를 대상으로 접합부가 횡력에 의하여 정모멘트를 받아서 수직 겹침이음된 부분에 인장력이 작용할 경우 보의 휨성능을 평가하기 위해 실험을 실시하고 이에 대한 비선형 유한요소 해석을 실시하였다.

주요 실험 및 해석 변수로는 겹침이음길이, 연결재 종류, 연결재와 PC 바닥면까지의 간격 등이다.

유한요소 해석에서는 다양한 부재묘사, 하중조건, 경계조건 등을 반영하였다. 또한 하중-변위 관계, 압축과 인장축 변형률, 에너지 성능 등을 실험결과와 비교분석하였다.

이상의 연구를 토대로 본 논문에서는 수직 비접촉 겹침이음 상세가 휨 성능에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험체 계획

이음길이, 연결재 종류, 연결재와 PC 바닥면까지의 간격 등을 변수로 하여 총 8개의 휨성능 평가를 위한 실험체를 계획하였다(Table 2 및 Fig. 2 참조). 비접촉 겹침이음되는 보 하단부 철근은 3개의 D19를 사용하였고, 실험체 보 단면은 300×400mm에 길이 5400mm로 제작하였다. 순경간 5000mm로 계획하였으며, 실제 접합부의 배근을 고려하여 D10의 철근을 80mm간격으로 전 구간에 배근하였다. Fig. 4는 실험체의 설치 상황을 나타내었다.

2.2 재료시험

실험체 제작에 사용된 PC와 RC의 재료시험에 의한 평균압축 강도는 재령 28일 강도를 기준으로 각각 26.5, 25.2 MPa로 나타났으며, 철근의 재료시험 결과는 Table 1에 나타내었다.

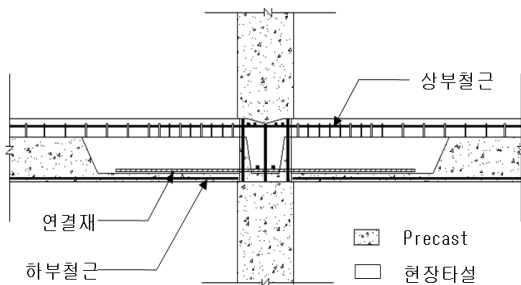


Fig. 1 수직 비접촉 철근이음의 구성

Table 1 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

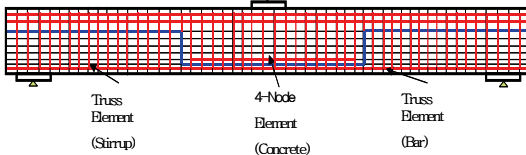


Fig. 5 FEM 해석 보 모델링

하중은 강제변위로 제어 최대한 실험과 동일하게 접근 가능하도록 하였다. 콘크리트는 4절점 아이소파라메트릭(isoparametric) 평면 응력요소를 사용하였고, 철근은 트러스 요소를 사용하였으며 균열거동 모델링과 전체적인 휨거동을 종합적으로 파악하는 것에 중점을 두어, 균열이 발생하는 요소를 균열에 의해 재료가 방향성을 가지게 되는 직교 이방성 연속체로서 취급할 수 있도록 하는 분산균열 모델(smearred crack model)을 채택하였다. 비선형 해석수법으로는 Newton-Rapson method를 하였다. 해석에 사용된 상수값들은 재료시험에서 얻은 값을 사용하였으며, 이외의 값들은 해석 프로그램에서 기본적으로 제시하는 일반적인 상수값을 이용하였다.

3.2 FEM 해석시 사용된 재료 및 해석방법

(1) 콘크리트

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 선형탄성으로 하고, 균열 발생후에는 지수형의 인장연화를 고려하였다.

(2) 철근

철근은 모든 경우에 대하여 길이방향의 일축으로만 응력이 작용하는 것으로 가정하여 Fig. 6(c)와 같이 2절점 트러스 요소로 모델링 하였고, 압축과 인장에 대하여 완전탄소성(elastic-perfectly plastic)으로 가정하였으며, 항복응력에 도달한 후, 변형경화도를 초기강성의 1/100으로 가정하였다. 항복조건은 Von Mises의 항복조건을 사용하였다.

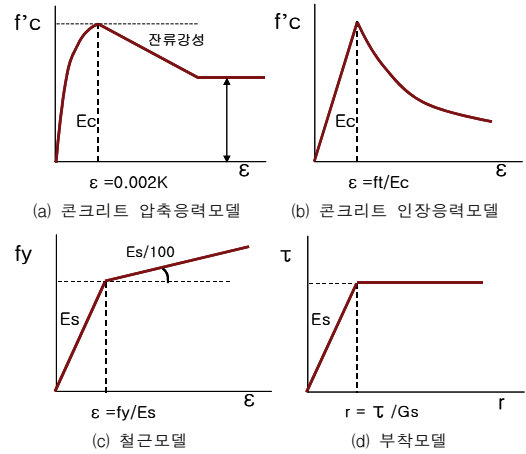


Fig. 6 재료 요소 모델

(3) 콘크리트와 철근의 부착

실험과 유사한 철근과의 부착요소를 고려하기 위하여 전단탄성계수 등을 조절, 최대부착응력(τ)을 변화시키면서 하중-변위 곡선과 일치 되도록 해석을 하였으며 최대부착응력에 도달시 전단응력을 해방시키고 전단강성을 감소시키는 모델로 표현하였다. 부착요소는 4절점 아이소파라메트릭 판본드 요소로 Fig. 6(d)와 같이 모델링 하였다. 물성치는 논문을 참조하여 이선형(Bi-linear)으로 표현하였다.

4. FEM 해석결과와 실험결과의 비교분석

4.1 균열상황

최종파괴시 균열상황은 대부분 실험체에서 휨균열 양상을 보여주고 있으나 이음길이가 작은 B1-1와 B1-3 실험체와 연결재와 U형보 내부면까지의 거리가



Fig. 7 B1-1 실험체 최종파괴상황

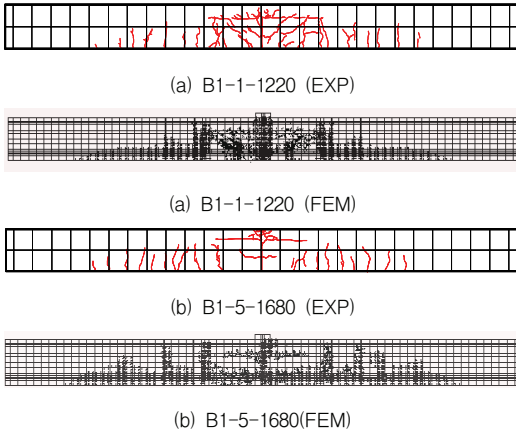


Fig. 8 실험체 최종파괴시 균열상황

작은 B1-8 실험체 등은 Fig. 7과 같이 보 중앙면에서 V자 형태로 전단균열이 발생하였다. 이는 철근 연결재와 보 하부 철근의 이음성능이 부족하다는 것을 나타낸다.

Fig. 8은 실험과 해석에 의한 실험체와 해석의 최종파괴시 균열 양상을 나타내고 있다. Fig. 8과 같이 실험 결과와 해석 결과가 유사하게 나타나고 있음을 보여주고 있다. 다른 실험체들은 일반적인 보의 휨균열 양상을 내면서 최종파괴 되었다.

4.2 하중-변위 곡선 및 내력 비교

실험 및 해석에 의한 항복강도 및 최대강도를 정리하여 Table 3에 나타내었다. B1-1 실험체와 같이 연결재 길이가 작은 실험체의 경우, 최대 내력에 도달되

어도 연결재의 길이가 확보되지 않아 미끄러짐이 발생되므로 변형계이지가 항복하지 않은 경우에는 오프셋 방법(Offset Method)으로 항복하중을 결정하였다. 오프셋 방법은 최대하중의 0.05배와 0.4배를 연결하는 초기 탄성강성을 설정한 후 부재각 0.3%에서 초기 강성의 기울기와 평행하게 선을 그어 하중-변위 이력곡선의 만나는 점을 말한다. 실험 및 해석 변수별로 비교하면 다음과 같다.

(1) 수직 비접촉 이음 길이(L_d)

기준식에 의한 이음길이의 1.2배, 1.4배한 B1-4-1460와 B1-5-1680 실험체는 실험과 해석 모두 주근이 먼저 항복한 후 연성적인 휨거동을 보였다. 이음길이가 적은 B1-1-1220과 B1-3-980 실험체는 이음성능부족에 의한 부차전단 파괴로 내력 및 강성이 저하되고 최대내력 이후 취성적인 거동을 나타내었다. Table 3에서 강도비는 거의 유사하게 나타났으나 특히 이음길이가 기준의 1.4배인 B1-5-1680 실험체인 경우 인장영역에 정착된 철근의 길이가 충분하여 이음성능이 확보된 것으로 판단된다.

(2) 연결재의 종류

D19를 연결재로 사용한 B1-1-1220 실험체는 부차전단파괴 되었지만 B1-6-D25 및 B1-7-D22인 이형철근을 연결재로 사용한 B1-6-D25과 B1-7-D22 실험체는 휨 연성파괴 거동을 나타내었다. 이는 기준식에서 D19 이하에 적용되고 있는 철근크기 계수 0.8의 영향과 철근 직경 감소로 인한 PC 보 내부 바

Table 3 실험 및 해석결과(하중값)

실험체	$TestP_{cr}$ (kN)	P_{cr} (FEM)	$TestP_y$ (kN)	P_y (FEM)	$TestP_n$ (kN)	P_n (FEM)	P_n (Design)	$\frac{TestP_n}{TestP_{cr}}$	$\frac{P_n}{P_{cr}}$ (FEM)	$\frac{TestP_n}{P_n(FEM)}$	$\frac{TestP_n}{P_n(Design)}$
B1-1-1220	18.4	23.0	59.1	78.98	75.4	92.55	100.8	4.09	4.02	0.81	0.74
B1-3-980	18.4	22.4	56.3	66.96	76.6	83.28	101.2	4.16	3.71	0.91	0.75
B1-4-1460	19.1	25.7	74.6	81.31	106.0	101.84	101.2	5.54	3.96	1.04	1.05
B1-5-1680	19.4	24.6	73.0	89.98	109.7	105.21	100.1	5.65	4.27	1.04	1.09
B1-6-D25	17.2	23.6	111.9	103.51	139.2	132.22	112.7	8.09	5.60	1.05	1.23
B1-7-D22	22.7	26.8	66.8	64.21	101.6	97.44	87.7	4.47	3.69	1.04	1.15
B1-8-0mm	19.8	26.8	67.1	79.84	90.0	102.63	103.3	4.54	3.82	0.87	0.87
B1-9-30mm	20.0	23.6	69.2	72.97	96.8	91.61	92.5	4.84	3.88	1.05	1.04

P_{cr} : 초기균열하중, P_y : 항복강도, P_n : 최대강도(실험값), $P_n(Design)$: 설계강도 P_n/P_{cr} : 하중 여유율

단면과의 부착면적 감소로 인한 부착 내력이 충분히 반영을 못한 것으로 사료된다. 철근이 인장하중을 받을 때, 특히 포아송비 때문에 철근직경이 감소하기 때문에 부착에 대한 효과가 빨리 상실한다. 또한 하중 여유율(최대하중/ 균열발생하중)은 비접촉 점침이음된 주인장 철근비가 클수록 하중이 계속하여 증가하였다.

(3) 연결재와 PC 보 내부 바닥면까지의 거리

연결재와 PC 보 내부 바닥면까지의 거리가 3cm인 B1-9-30mm 실험체는 휨 연성과파괴 거동을 보여 충분한 이음성능을 확보하는 것으로 알 수 있다. 하지만 연결재와 PC 보 내부 바닥면까지의 거리가 1cm 이하인 B1-8-0mm과 B1-1-1220(10mm) 실험체는 이음성능이 부족하게 평가되었다. 특히 철근에 대한 방사힘의 영역은 철근사이에 콘크리트 구속작용에 대한 부족으로 인한 것으로 판단된다.

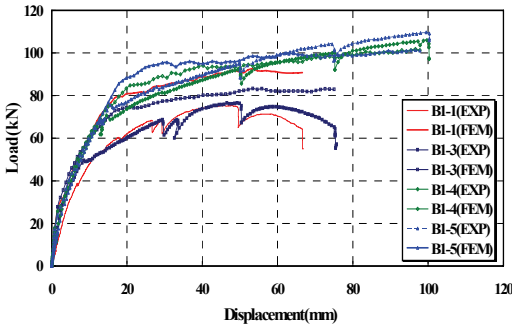


Fig. 9 이음길이 비교 포락선

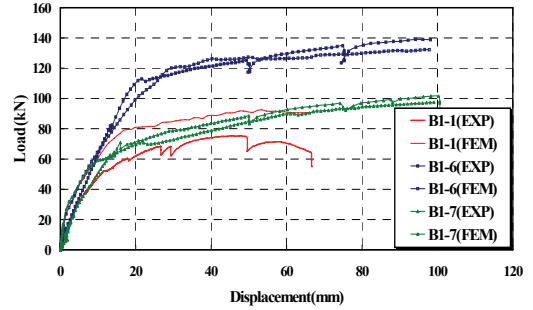


Fig. 10 연결재 비교 포락선

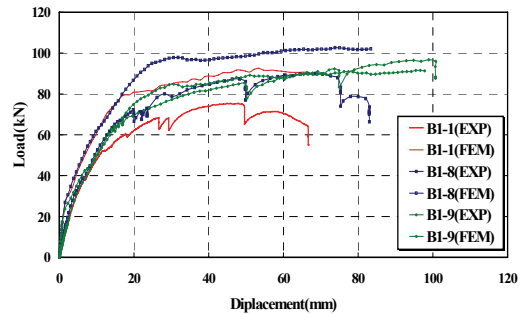


Fig. 11 접합면과 연결재의 거리 비교 포락선

4.3 연성 평가

구조물이나 부재가 외력을 받았을 때 어느정도의 변형이 일어난 후에 파괴에 이르는가를 나타내는 지표로서 붕괴의 위험성을 예측하는데 간접평가의 기준으로 사용되고 있다. 지진하중을 받는 구조물의 비탄성 변

Table 4 실험 및 해석결과(변위값)

실험체	I_w (EXP)	I_w (FEM)	Δ_{cr} (mm)	Δ_{cr} (FEM)	Δ_y (mm)	Δ_y (FEM)	Δ_u (mm)	Δ_u (FEM)	$\frac{\Delta_u}{\Delta_{cr}}$	$\frac{\Delta_u(FEM)}{\Delta_{cr}(FEM)}$	$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$	μ (FEM)
B1-1-1220	3.1	3.7	2.51	2.32	18.3	16.82	44.9	53.42	17.8	23.02	2.45	3.17
B1-3-980	4.3	4.8	1.80	1.65	15.8	13.57	49.9	53.42	27.7	32.37	3.14	3.93
B1-4-1460	6.8	6.7	1.82	1.75	20.7	18.82	99.6	100.3	54.7	57.31	4.81	5.32
B1-5-1680	10.1	6.4	2.01	1.93	14.7	17.82	99.4	96.62	49.4	51.30	5.42	5.26
B1-6-D25	5.9	5.8	2.09	1.89	20.5	21.82	98.1	99.01	46.9	52.38	4.76	4.53
B1-7-D22	10.2	9.9	2.88	2.32	14.9	15.07	100.2	99.07	34.7	42.70	6.68	6.57
B1-8-0mm	5.7	5.6	2.32	2.32	16.2	16.82	68.5	73.82	28.7	31.81	4.21	4.38
B1-9-30mm	7.1	6.7	2.74	2.68	19.6	18.82	98.9	100.2	36.1	37.38	5.04	5.32

I_w : 에너지성능지표 Δ_{cr} : 균열발생 변위 Δ_y : 항복변위 Δ_u : 최대변위, Δ_u/Δ_{cr} : 변위 여유율 μ : 변위연성비

형수준의 척도인 변위 연성도는 최대하중에서의 변위에 대한 항복때의 변위비로 (1)식과 같이 정의하였으며 그 결과를 Table 3에 나타내었다.

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (1)$$

여기서 Δ_u 는 최대하중에서의 변위이며, Δ_y 는 항복하중에서의 변위이다. 각 실험체에서 나타난 변위 연성비는 이음길이 변수 중에서 B1-5-1680=5.42로 결과가 크게 나타났으며, 연결재의 종류의 변수 중에서는 B1-6-D25=4.76와 B1-7-D22=6.68의 결과를 얻을 수 있었다. 또한 연결재와 PC보 내부 바닥면까지의 거리에 따라서는 B1-9-30mm= 5.04로 변위 연성이 큰 것을 알 수 있다.

또한 해석값에서도 마찬가지로 B-1-5-1680=5.26, B1-6-D25=4.53, B1-7-D22=6.57와 B1-9-30mm=5.32의 결과를 얻을 수 있었다. 이 실험체들은 연성응답을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 마찬가지로 변위에 대한 여유율(Δ_u/Δ_{cr})은 실험과 해석모두 유사하게 나타났으며 특히 이음길이의 1.2배, 1.4배에서 증가하였다.

4.4 에너지 성능 평가

에너지 성능을 상호 비교하기 위하여 식 (2)와 같은 에너지 성능지표 I_w 를 산정하여 Table 4 및 Fig. 12에 나타내었다.

$$I_w = \Sigma (P_{max}/P_y) (\Delta_u/\Delta_y) \quad (2)$$

I_w 는 최대하중 이후 최대하중의 75%에 이르기까지 각 사이클별로 실험 및 해석으로부터 측정된 최대하중과 변위의 곱으로 구한 에너지를 항복하중과 변위의 곱으로 구한 에너지로 나누어 산정한 계수를 누적한 것으로, 에너지 분산능력을 간접적으로 평가한다.

Table 4에 나타난 것처럼 이음길이 변수를 비교해보면 B1-5-1680 실험체에서 I_w 가 가장 크게 나타났다. 에너지 분산능력도 기준길이보다 3배정도 향상되는 것을 알 수 있다. 지름별 변수에서는 B1-6-D25, B1-7-D22에서 크게 나타났으나 특히 B1-7-D22일때 이음길이 B1-5-1680일 때와 유사하게 값이 나타났다. PC보 내부 바닥면까지의 거리 변수로는 B1-9-30mm일때 크게 나타났다. 결과적으로 이음길이 B1-5-1680과 지름 B1-7-D22일 때 가장 내진성능이 향상되는 것으로 판단된다. 또한 휨성능에 대한 연성적인 거동이 기준 실험체보다 증가 된 것을 알 수 있다.

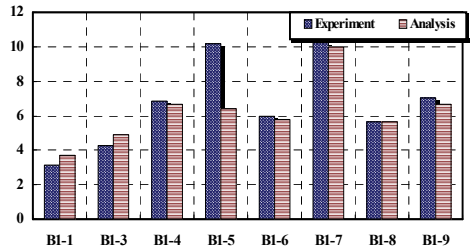


Fig. 12 에너지 성능지표 I_w 비교

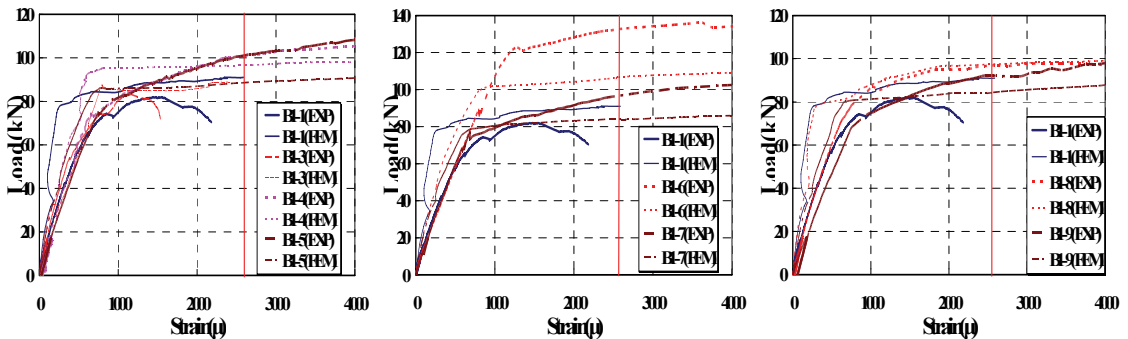


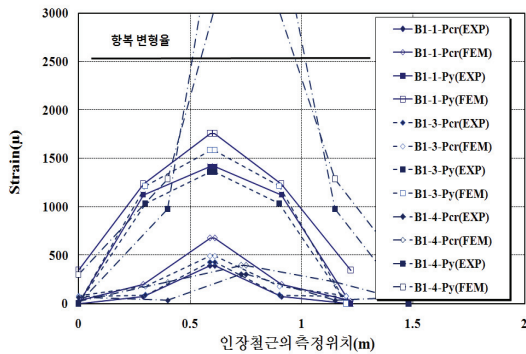
Fig. 13 압축하중 하중-변형률

4.5 압축측 변형률 비교

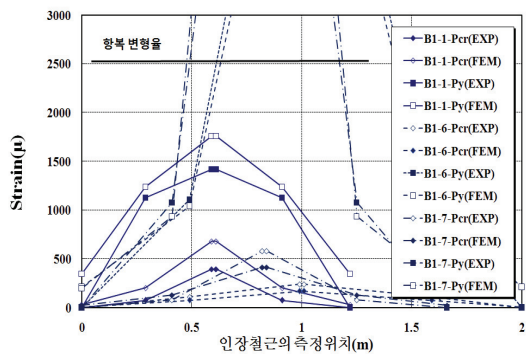
Fig. 13에서는 각 실험체의 압축측 하중-변형률 관계를 나타내었다. Fig. 13에서 보는 바와 같이 실험과 해석결과 값은 거의 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 이음길이를 변수로 한 B1-1-1220mm, B1-3-980mm 값은 응력에 대한 전단철근의 슬립 발생으로 인하여 내력 전달이 충분하지 못하여 전단균열이 작용하였다. 그 외 실험체는 압축측 변형률은 구속력이 잘 반영되어 요구되는 내력에 연성적인 거동을 잘 반영하였다.

4.6 인장철근 측정위치 비교

실험체에 일정간격으로 부착된 스트레인게이지로 철근의 변형률을 측정하였다. 게이지가 부착된 위치에서



(a) 이음길이별 변형률



(b) 연결재 종류별 변형률

Fig. 14 인장철근 위치별 변형률

철근변형률의 실험결과 값과 해석결과 값을 실험 변수별로 비교하여 Fig. 14에 나타내었다. Fig. 14에서 보듯이 실험체에서 휨 균열이 발생하기 시작하는 이음길이 중앙부에서 변형률이 급격히 증가되고 있음을 알 수 있다. 또한 초기 균열하중과 항복하중 범위에서 보의 전체적인 휨 거동을 볼 때 실험결과에 대해 해석결과가 대체로 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

4.7 인장 철근 변형률 비교

실험과 해석의 정확한 파악을 하기 위해서 결과를 토대로 철근 연결재의 변화를 알아보기 위한 철근 연결재에 부착한 스트레인 게이지와 동일한 위치의 철근 트러스 요소를 변수별로 분석하였다. 또한 철근과 콘크리트 사이 구속정도와 철근의 이음에 따른 부담하는 인장력에서 오는 차이점을 변수를 통하여 분석하였다.

(1) 수직 비접촉 이음 길이(l_d)

Fig. 15(a)~(d)에서는 이음길이를 변수로 둔 실험체에서 이음길이의 1/2에 해당하는 거리만큼 떨어진 지점에서 철근 연결재의 변형률을 비교해 보았다. 실험값과 해석값의 결과는 유사하게 나타났다. 또한 상부철근을 기준으로 B1-1-1220, B1-3-980은 B1-4-1460과 B1-5-1680 보다 하중별 변형비가 적게 나타났다. 기준길이의 0.8 배인 B1-3-980은 실험값에서는 이음길이 부족으로 인한 초기 파괴가 일어나 하부 철근에 내력이 상부 연결철근보다 크게 작용하여 변형률의 변화가 다른 실험체들보다 영향을 많이 받은 것을 알 수 있다. Fig. 16에도 나타나듯이 이음길이 중앙부위와 1/2 지점은 내력이 유사하게 나타나 철근과 콘크리트 간의 응력전달의 흐름이 미흡하다는 것을 알 수 있다. 그 외 다른 결과에서는 B1-4-1460, B1-5-1680은 수직 이음길이를 충분히 반영하여 이음길이와 하부 인장주근 1/2지점에서의 구속력이 응력전달에 적당한 연성적인 반응을 보이는 것을 알 수 있다.

(2) 연결재의 종류

Fig. 15(e), (f)에서는 철근의 종류를 변수로 하였을 때 철근 연결재의 변화를 살펴보면 기준 실험체와는

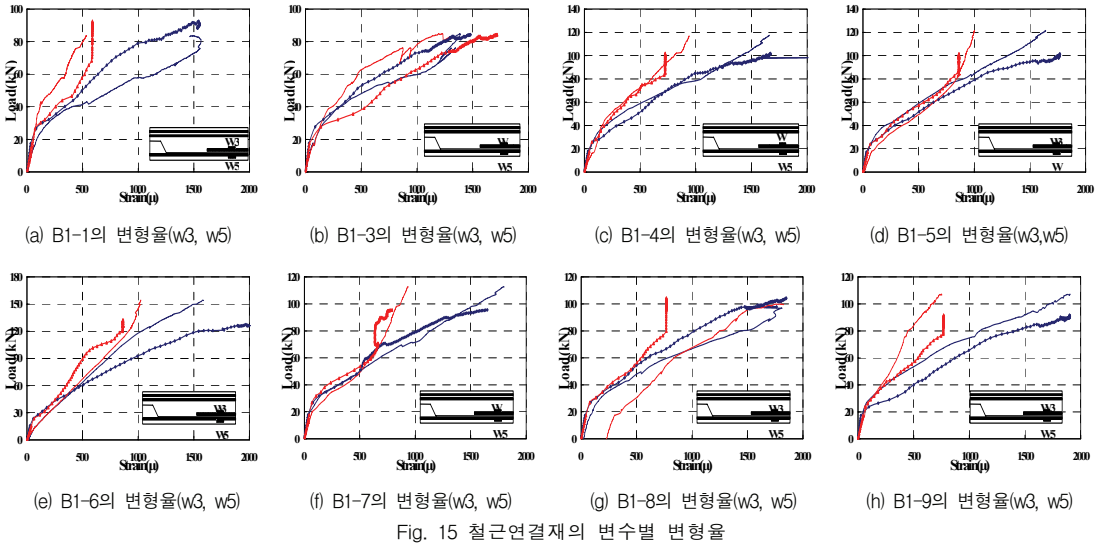


Fig. 15 철근연결재의 변수별 변형율

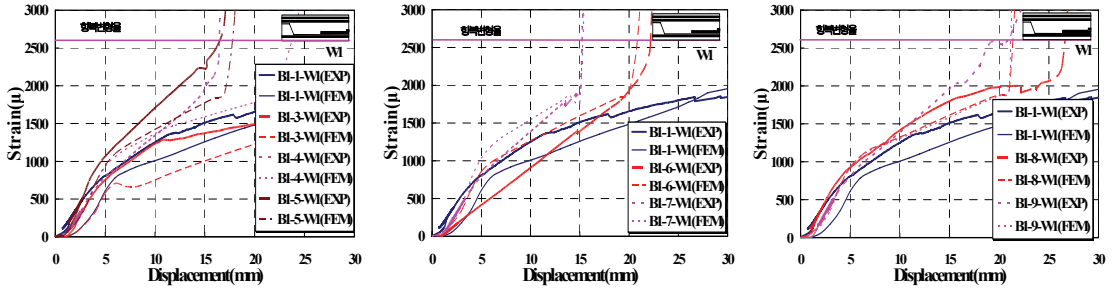


Fig. 16 철근 연결재 변형율(W1)

달리 B1-6-D25, B1-7-D22 모두 초기에 하부철근에 대한 변형이 크게 증가한 것을 알 수 있다. 이것은 상부 연결 철근과 하부 철근간의 마찰면적의 증가에 따른 부차와 구속력을 잘 반영하며 이음 성능이 잘 이루어지는 것으로 판단된다. 또한 유사하게 초기 변형율을 유지하다가 상부 연결철근이 계속 커지는 반면 PC 하부 철근에는 일정 범위내에서 유지하고 있어 철근 연결재에서 많은 응력을 부담하고 있음을 알 수 있다. Fig. 16에서는 B1-6-D25과 B1-7-D22는 변위가 22.14mm와 15.1mm 정도에서 실험과 해석 모두 유사하게 항복하였음을 알 수 있다.

(3) 연결재와 PC 보 내부 바닥면까지의 거리

Fig. 15(g), (h)에서는 PC보와 내부 철근 연결재까지의 거리를 변수로 하였을 때 철근 연결재의 1/2 부분에서 B1-8-0mm는 하부철근이 하중이 26kN 정도 일때 상부철근의 변형율을 넘어서는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 16에서 B1-8-0mm의 철근연결재 중앙부 값은 1/2 부분에서 값과 거의 동일하게 나타났다.

B1-9-30mm는 철근 연결재가 항복 후 하부 인장철근과 고르게 응력에 대하여 변형율이 발생하였다.

이상의 세가지를 비교한 결과 Fig. 15~Fig. 16에서 처럼 철근연결재가 중앙에서부터 1/2까지 변형률을 비교해 보았을 때 약 2.5배정도 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 이것은 B1-1-1220과 B1-3-980을 제외한 다른 실험체에서는 응력전달이 잘 이루어 졌음을 알 수

있다. 또한 실험 및 해석 결과를 국내 이음 산정식을 사용하여 산정해 보았는데 소정의 휨에 대한 이음 성능 확보와 연성적인 거동을 하고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

수직 비접촉 겹침이음된 철근 연결재를 사용한 PC U형 보의 휨 성능을 평가하기 위하여 실험 및 해석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 보의 휨파괴가 주요 파괴모드이며, PC와 현장 타설 콘크리트로 이루어진 보는 최종파괴에 이를 때까지 일체로 거동하였다.
- 2) D22 및 D25인 이형철근을 연결재로 사용하여 실험 및 해석결과, 연결재의 이음이 확보되어 휨 연성파괴 거동을 나타내었다. 그러나 D19인 이형철근을 연결재로 사용한 실험체는 이음 부족으로 인하여 최대 휨 내력 및 연성이 감소하였다. 이와 같은 결과로 볼 때 D19 이하에 적용되고 있는 철근 크기 계수 0.8은 PC접합부에서는 적용하지 않고 철근 크기에 관계없이 1.0을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 3) B1-1, B1-8, B1-9 실험체는 모두 D19인 이형철근을 연결재로 사용하고, 설계기준에 의한 이음길이를 적용한 실험체로서 PC 접합면에서 연결재까지의 거리를 제외하고는 모두 동일하다. 실험결과 PC 접합면에서 연결재까지 거리가 0cm 와 1cm인 B1-8 실험체와 B1-1실험체는 이음성능이 부족한 것으로 나타났으나, PC 접합면에서 연결재까지 거리가 3cm인 B1-9 실험체는 충분한 이음 성능을 확보하는 것으로 나타나 PC 접합부에서 D19인 이형철근을 연결재로 사용할 경우에는 PC 접합면에서 연결재까지의 거리를 최소 3cm 이상 확보해야 할 것으로 판단된다.
- 4) 이음을 만족하는 비접촉 겹침이음은 충분한 연성 거동을 보여 휨 변형성능이 우수한 것으로 판단된다.
- 5) 수평 겹침이음의 설계식으로도 비접촉 겹침이음된 U형 보의 휨성능을 적절하게 판단하였다.
- 6) 차후 추가적인 실험 및 해석을 통한 겹침 철근의 최대 적정 간격과 구체적인 이음길이를 도출해야

하며 그와 관련된 구속력과 부착 메카니즘에 대한 연구와 수직 비접촉 이음길이에 적합한 설계식을 판단해야 한다.

- 7) 휨성능에대한 정확한 예측과 인장이음길이의 실질적인 접근성을 부여하기 위한 수직 이음 부분에 2점가력을 실시하여 순수 인장에 대한 해석적 접근이 필요하리라 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 정부재원 (교육인적자원부 학술연구 조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2005-050-D00017)하에 이루어진 연구결과의 일부로써 이에 감사드립니다.

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. pp. 51-54.
3. 한국콘크리트 학회, "콘크리트 구조 설계기준", 2003
4. (주)토탈인포메이션 서비스, "Total-RC 사용설명서 및 이론설명서", 2004
5. ACI Committee 318, "Development and Splices of Reinforcement (318R-187)", ACI, detroit, 2002.
6. Park R., "A Perspective on the seismic Design of Precast Concrete Structures in New Zealand", PCI Journal, V. 40, No.3, May-Jun. 1995, pp. 40-60.
7. V. E Sagan, P. Gergely, and R. N. White, "Behavior and Design of Noncontact Lap Splices Subjected to Repeated Inelastic Tensile Loading", ACI Structural Journal, Jul.-Aug. 1991, pp. 420-431.
8. Bilal S. Hamad and Mohamad Y. Mansour, "Bond Strength of Noncontact Tension Lap Splices", ACI Structural Journal, May-Jun. 1996, pp. 316-326.

(접수일자 : 2008년 5월 20일)
(심사완료일자 : 2008년 8월 25일)