

프리캐스트 보-기둥 헤드철근 연결부 반복하중 실험

김인규^{1)*} · 유승룡¹⁾

¹⁾ 동국대학교 건축공학과

(2002년 8월 12일 원고접수, 2003년 3월 13일 심사완료)

Reversed Cyclic Loading Tests on Precast Beam-Column Joints with Headed Reinforcement

In-Gyu Kim^{1)*} and Sung-Yong Yu¹⁾

¹⁾ Dept. of Architectural Engineering, Dongguk University, Seoul, 100-715, Korea

(Received August 12, 2002, Accepted March 13, 2003)

ABSTRACT

One of the most complex reinforcement location in the precast building frame is the beam-column joint in a prefabricated construction. It is generally resulted from the vertical bars of column, anchorage bars of beam, and bars of hoop. Particularly the hooked anchorage bars of beam are confronted with hoop and main column bars. The headed reinforcement is considered to place them easily and to reduce the anchorage length in a precast construction. Reversed cyclic loading tests are performed on four beam-column specimens to evaluate the strength and behavior of beam to column and column to column connections. The result of test shows that the headed reinforcement has a similar performance than that of hooked reinforcement in a precast specimen with strong column and weak beam joints. The splice column joints which are used frequently in the domestic fields also show reliable behaviors in those tests with strong column and weak beam joints.

Keywords : beam-column joint, headed reinforcement, splice, anchorage, cyclic loading, precast

1. 서 론

프리캐스트 보-기둥 연결부는 보의 정착철근과 기둥 주근, 연결부에서 기둥의 띠철근 등으로 매우 복잡한 배근을 형성한다. 이에 따른 철근 배근과 콘크리트의 타설 및 다짐이 어려우며, 보의 갈고리 철근은 띠철근 또는 주근과의 맞닿뜨림이 흔히 발생하는 철근으로, 특히 외곽기둥에서 충분한 정착길이를 확보하기가 더욱 난해할 수 있다. 헤드철근(headed reinforcement)은 철근 콘크리트 보-기둥 연결부에서 상기 문제점을 해결하는데 효과적으로 활용될 수 있다. 한편, 프리캐스트 수직재 연결부는 일반적으로 용접, 스플라이스(mechanical splice), 그리고 나사식 커플러(coupler) 등을 이용하여 주철근을 접합하는 방법이 활용되고 있다. 스플라이스 공법은 용접이나 커플러공법에서 요구되는 연결부 주위의 일정 개구부를 필요로 하지 않고 주철근의 연속성을 확보할 수 있으므로 국내 PC공법에서 수직 연결부로 가장 많이 활용되는 방법 중 하나이다.

따라서, 본 연구에서는 보-기둥 연결부 실험체로 두 개의 프리캐스트 기둥과 하나의 프리캐스트 보를 연결한 4개의 실험체를 제작하였다. 이 중 3개의 실험체는 하부 기둥과 보를 헤드철근으로 연결한 후, 토핑 콘크리트를 타설하였고, 남은 하나의 실험체는 비교를 위하여 갈고리철근으로 연결하여 토핑 콘크리트를 타설하였다. 그리고, 모든 상부 기둥은 스플라이스 공법으로 연결하였다.

PC 보-기둥 접합부로 헤드철근의 관련된 실험과 국내 활용 스플라이스 접합부에 대한 실험은 근래에까지 실행된바 없으나, 국내 현장에서 일반적으로 활용되는 공법들이다. 본 연구의 목적은 이 두 가지 공법의 구조적 적합성을 평가하기 위한 하나의 방법으로, 두 개의 연결방법으로 결합된 프리캐스트 보-기둥연결부에 대한 반복하중 실험을 실행하여, 헤드철근의 프리캐스트 구조물에 대한 적용성을 평가하고, 국내에서 활용되고 있는 스플라이스 공법의 안전성을 검토하였다. 한정된 실험체에서 두 번수를 실험하기 위하여 3개의 강주 약보 실험체는 헤드철근 연결부의 극한 내력을 고려하여 설계되었고, 남은 하나의 약주 강보 실험체는 기둥 스플라이스 연결부의 극한 내력을 평가하기 위하여 설계하였다.

* Corresponding author
Tel : 02-2260-3361 Fax : 02-2260-3361
E-mail : ysy@dgu.ac.kr

2. 실험체 설계

2.1 개론

프리캐스트 보와 기둥은 현장에서 기둥 위에 보가 얹혀져 형성되는 패널 존에 토핑 콘크리트가 타설되어 하나의 합성구조로 연결부가 형성된다. 이러한 연결부는 토핑콘크리트가 경화되기 전까지는 단순지지로서 일체의 합성작용을 하지 못하고 토핑 콘크리트가 완전 경화된 후에는 부모멘트를 받는 모멘트 저항연결부(moment resisting connection)로 거동하게 된다. 이 구조적인 변화는 연결부에서의 모멘트 재분배를 야기하지만 이러한 초기 모멘트 재분배 성능이 얼마간 그리고 어느 정도 지속될 수 있는가는 연결부에서의 철근배근형태와 콘크리트의 재료적인 성질 - 크리이프와 건조수축에 달려있다.

본 연구에서는 콘크리트의 크리이프와 건조수축의 영향을 배제한 연결부의 단기적인 거동을 평가하였다. 여타의 다른 연구들과 마찬가지로 본 연구에서도 합성작용이 일어난 PC연결부를 일체식 연결부(monolithic joint)로 간주하고 연구를 진행하였다. 연결부에서 발생할 수 있는 파괴 경우는 1) 보의 휨균열, 2) 보의 전단균열, 3) 기둥 전단균열, 4) 기둥 휨균열 영향에 의한 연결부파괴로 예상된다.

2.2 실험체

본 연구의 실험체는 ACI 318-99¹⁾ 기준과 보-기둥 연결부와 관련한 ACI-ASCE Committee 352²⁾의 Report 352-91에 의거하여 계획하였다. Report 352는 내진형 조인트 2종 연결부와 비내진형 조인트 1종 연결부에 대하여 설계방법을 나열하였다. 1종 연결부는 연결부의 연성과 관련하여 추가사항이 없으며, 2종 연결부를 위한 주요 설계요점은 1) 연결부 전단내력을 위한 연결부 크기에 관련한 사항, 2) 강주 약보를 위한 강도 비율지침, 3) 보 연결 철근의 정착길이와 관련한 사항, 4) 연결부 띠철근과 관련한 사항으로 요약된다. 1종 연결부를 위한 주요설계요점은 수평전단 내력과 띠철근에 관련한 사항이다. 연결부내의 띠철근 간격은 15cm를 넘지 않으며, 적어도 보의 상·하 정착근 사이에 두 개 이상의 띠철근을 필요로 한다. 본 연구의 대상 실험체는 비내진형 1종 실험체 설계에 의거하여 계획하였다. 단, 본 연구의 목적이 헤드철근과 스플라이스 접합의 적합성을 검토하는데 있으므로, 기둥/보의 휨강도 비를 J-1과 J-2는 1.9, J-3는 1.19, 그리고 J-4는 0.87로 하여 강주 약보와 약주 강보 연결부에서의 스플라이스 접합성능을 검토하려 하였다.

상·하부 기둥과 보의 연결은 Fig. 1과 같이 스플라이스 접합과 Fig. 2와 같이 보의 정착근에 12cm 토핑 콘크리트를 타설하여 제작하였다. 프리캐스트 기둥단면은

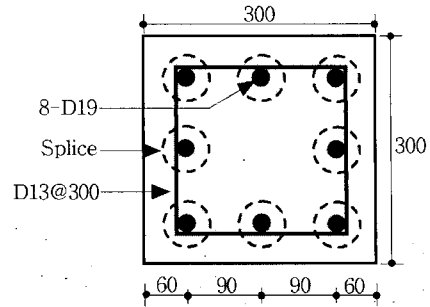


Fig. 1 Section of PC column

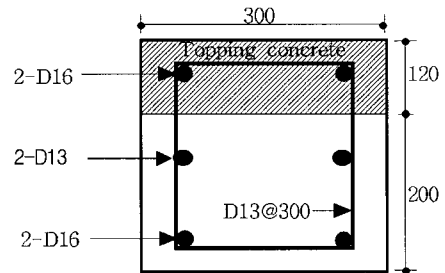


Fig. 2 Section of PC beam (J-1)

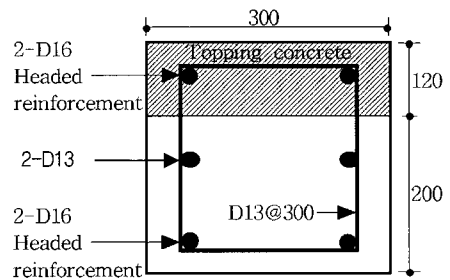


Fig. 3 Section of PC beam (J-2)

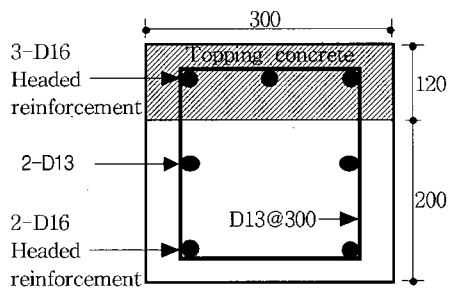


Fig. 4 Section of PC beam (J-3)

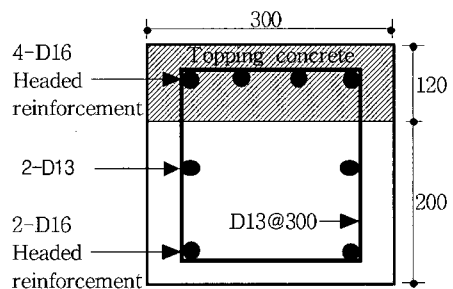


Fig. 5 Section of PC beam (J-4)

30×30 cm, 합성보 단면은 30×32 cm로 모든 실험체가 동일한 크기를 가진다.

J-1 실험체는 보 상·하부에 2-D16의 갈고리철근을 배근한 실험체이며, J-2, J-3, J-4는 하부에 2-D16 헤드철근과 상부에 각각 2-D16, 3-D16, 4-D16의 헤드철근을 사용하였다. 기둥과 보의 단면 치수 및 배근 상황 등 실험체 상세는 Fig. 2에서 Fig. 5와 같다.

설계를 위한 대상건물은 스펠 8.4m×10m로 중층 규모의 프리캐스트 건물 저층부의 테두리에 위치한 보-기둥 연결부를 대상으로 하였다. 보 및 기둥 부재는 반곡점을 기점으로 1/2의 축소 모형을 제작하였다. 연결부에서 상·하부 기둥의 길이는 기준층의 층고를 4m로 고려할 때 반곡점의 위치까지인 2m를 적용할 수 있는데, 1/2 축소 실험체이므로 각각 1m를 적용하였고 보의 길이는 반곡점 위치인 2.1m와 가력점의 길이를 고려하여 1.2m로 하였다. 보-기둥 연결부 상세는 Fig. 6과 Fig. 7에 도시하였다.

2.3 연결부에서 전단력

ACI-ASCE Committee 352의 철근 콘크리트 보-기둥 연결부에 대한 설계 지침 보고서에서는 보-기둥의 연결부를 2가지 형태로 구분하고 있다. 그 두 가지 형태는, 1종 연결부(황하중에 대하여 비탄성 변형을 기대할 수 없는 경우)와 2종 연결부(지진이나 폭풍에 의하여 반전되는 비탄성 변형상태에서 강도 및 연성을 유지하도록 설계하여야 하는 경우)이다. 일반적으로 1종 연결부는 공칭 연성만을 요구하게 되고, 연속적인 모멘트저항 골조에서 중력방향의 하중과 풍하중에 대하여서만 고려하는 접합형태이다. Fig. 8의 연결부 자유 물체도(free-body diagram)에서 연결부의 전단력은 식 (1)과 같다.

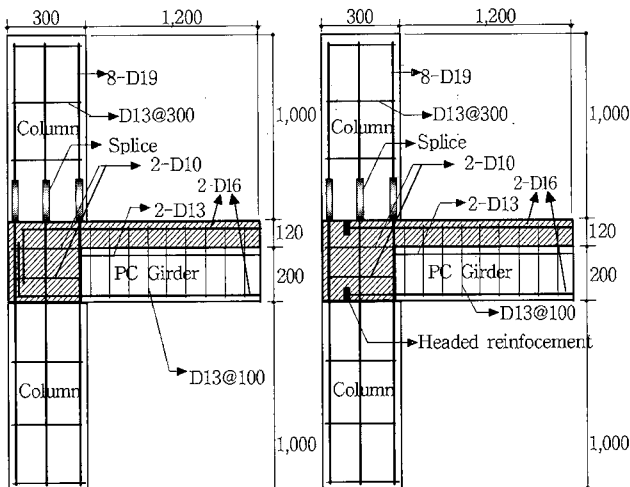


Fig. 6 Specimen with hooked reinforcement

Fig. 7 Specimen with headed reinforcement

$$V_{u(joint)} = T_n - V_{column} = \alpha A_s f_y - V_{column} \quad (1)$$

여기서,

$\alpha = 1$ 종연결부일 경우 1.0, 2종연결부일 때; 1.5 $A_s =$ 철근량

$f_y =$ 철근의 항복강도 $V_{column} =$ 기둥양단의 수평력

2.4 연결부의 전단강도

연결부에서의 전단 강도는 식(2)와 같이 제한하고 있다.

$$V_n = \gamma \sqrt{f_{ck}} b_j h \quad (2)$$

$\gamma =$ 연결부의 형태에 따른 전단응력계수 (Table 1 참조)

$b_j =$ 보폭 > 기둥폭 일 때, $b_j =$ 기둥폭

$b_j =$ 보폭 < 기둥폭 일 때, $b_j = (\text{보폭} + \text{기둥폭}) / 2$

$h =$ 하중 방향에 있는 기둥의 두께

즉, 식 (2)에 의하면, 본 연구에서의 실험체는 실험당시의 토핑 콘크리트의 강도($f_{ck} = 168 \text{ kgf/cm}^2$)를 활용하면, 30×30 cm 기둥에서 1종 외곽 연결부는 63 tf의 전단내력이 있는 것으로 생각할 수 있다.

2.5 기둥 철근과 연결부의 띠철근 배근

2.5.1 1종 연결부

패널존에서 기둥 띠철근은 접합되는 보의 상·하부 주근 사이에 적어도 2개 이상 배근되어야 한다.

배근되는 기둥 띠철근의 상·하부 중심 간격은 30cm를 초과해서는 안 된다. (연결부가 수평력에 저항하는 시스템의 한 부분이면 15cm 이내로 해야 한다)

2.5.2 2종 연결부

직사각형 기둥에서의 띠철근은 다음 두 식을 만족하여야 한다.

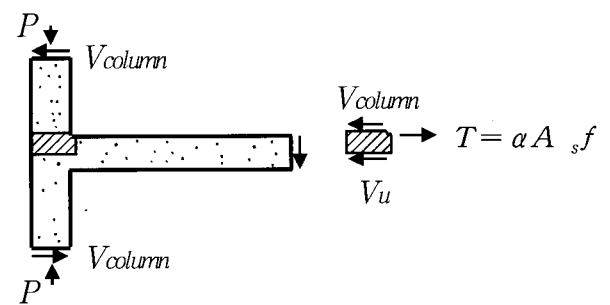


Fig. 8 Free-body diagram of beam-column joint

Table 1 Shear stress coefficient

γ	Interior	Exterior	Corner
Type 1 Joint	24	20	15
Type 2 Joint	20	15	12

$$A_{sh} = 0.3 S_h \cdot h_c \cdot \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \quad (3)$$

$$A_{sh} = 0.09 S_h \cdot h_c \cdot \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \quad (4)$$

여기서,

A_{sh} = 간격 S_h 사이에 있는 모든 띠철근과 보조 띠철근의 전체 면적

h_c = 기둥 코어의 단면 치수 f_{yh} = 띠철근의 항복강도

S_h = 띠철근의 간격 A_g = 압축재의 총 단면적

A_c = 띠철근의 외곽선으로 측정된 직사각형 코어의 면적

따라서, 본 연구에서의 실험체설계를 위하여, $S_h = 10$ cm, $h_c = 20.7$ cm 값을 적용할 때, 식 (3)에 의한 실험체의 연결부 띠철근 요구량은 0.23 cm^2 이며 식(4)에 의한 띠철근 면적은 0.745 cm^2 이므로 2-D10을 적용하면 두 식의 요구사항을 모두 만족한다.

2.6 사용재료

2.6.1 콘크리트

본 연구에서 사용한 시멘트는 PC부재와 토핑 콘크리트 모두 동일한 D사 1종 포틀랜드 시멘트이다. 세골재는 강 모래를, 조골재는 최대 지름이 25mm의 쇄석을 사용하였다. 28일 목표강도 350 kgf/cm^2 인 PC재와 목표강도 270 kgf/cm^2 인 토핑 콘크리트를 사용하였고, 각각의 배합비는 Table 2와 같다. 시험당일의 PC, 토핑 콘크리트, 스플라이스 모르타르 강도는 9개의 공시체 평균값이며, Table 3과 같다.

2.6.2 철근과 강재

기둥 부재의 주근은 D19, 보 부재의 주근은 D16, 전단

Table 2 Concrete mix design

Type of concrete	Water(W) (kg/m ³)	Cement(C) (kg/m ³)	Coarse agg. (kg/m ³)	Fine agg. (kg/m ³)
PC concrete	156	411	752	1,000
Topping concrete	166	346	812	1,025

Table 3 Material properties

Specimens	Concrete (kgf/cm ²)			Steel (kgf/cm ²)		
	PC	Topping	Splice	Column	Beam	Yield strength
J - 1	369	168	720	8-D19	Upper: 2-D16	4,000
J - 2	369				Lower: 2-D16	
					Upper: 2-D16	
J - 3	399				Lower: 2-D16	
		Upper: 3-D16				
J - 4	399	Lower: 2-D16				
		Upper: 4-D16				
				Lower: 2-D16		

보강근은 D13을 사용하였으며, 각 실험체 배근량과 재료 특성은 Table 3과 같다. 본 연구에서 활용한 BCS19 스플라이스 슬리브의 상세를 Fig. 9에 도시하였다. 아울러 본 연구에서 사용한 헤드철근의 모양과 크기는 국내 S사의 제안에 의하여 Wallace와 McConnell³⁾의 논문에서 활용된 것과 유사하게 제작하였다. Devries⁴⁾ 등은 헤드철근의 인발시험으로 단부 정착구 철근으로 효율적으로 쓰일 수 있음을 증명하였다. 헤드철근은 Fig. 10과 같이 지름 5cm 두께 2cm의 원통형 모양으로 가운데 철근을 볼트형으로 철근을 삽입하도록 하였다.

3. 실험방법

실험체는 Fig. 11과 Fig. 12 같이 철골 프레임에서 기둥양단을 회전단으로 구속하였고, 기둥은 100tf 용량 오일 잭으로, 보는 50tf 용량 actuator로 가력하였다. 기둥의 축력은 $0.2P_n$ 을 고려하여 40tf로 실험 시작 전에 가력하여 부재파괴 시까지 동일하게 하였다. 실험체에는 기둥과 보의 변위를 측정하기 위하여 Fig. 11과 같이 총 3개의 LVDT를 설치하였다. 기둥 상·하에 설치한 LVDT는 기둥의 수평변위를 측정하였고, actuator 가력점 하부의 LVDT는 보의 수직변형을 확인하기 위하여 설치하였다.

실험은 변위제어방식으로 진행하였다. 초기값을 맞추기 위하여 초기에 상하 2.5mm, 5mm, 10mm로 가력한 후, 초기 균열 발생시의 변위를 Δ_y 로 하여 $2\Delta_y$, $3\Delta_y$, $4\Delta_y$ 로 증가시켜 최종 파괴 시까지 가력하였다. 동일한 변위에서의 반복하중재하는 매 단계를 분당 1회전으로 하여 최소 $4\Delta_y$, 최대 $8\Delta_y$ 까지 가력하였으며, 이에 따르는 하중이력 (loading history)을 Fig. 13에 도시하였다.

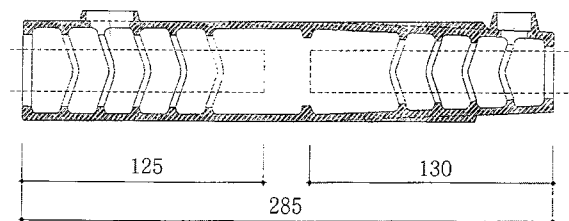


Fig. 9 BCS19 splice sleeve

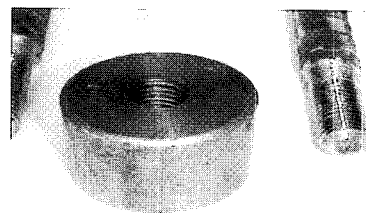


Fig. 10 Headed reinforcement

4. 실험결과 및 분석

4.1 하중-변위 곡선

재하된 모멘트와 실험체의 보단부에서 측정된 처짐에 관한 하중-변위곡선을 Fig. 14에서 Fig. 17에 도시하였다. 일반적으로 변위하중이 실험 시작단계부터 $4\Delta_y$ 단계까지는 하중 수행 능력이 증가하는 추세를 보이고 있으나 연결부 또는 기둥에서 균열이 발생하는 시점에서는 하중 증가 없이 실험체는 처짐만이 증가하는 추세를 보여주었다.

기둥/보 휨 강도비가 1.9인 J-1 실험체와 J-2 실험체는 순수 보 휨 파괴로 종국 파괴한 실험체들로 Fig. 14와 Fig. 15 같이 강도 증가에 따라 안정된 거동을 보이는 반면, 기둥/보 휨 강도비가 각각 1.19와 0.87인 J-3 실험체와 J-4 실험

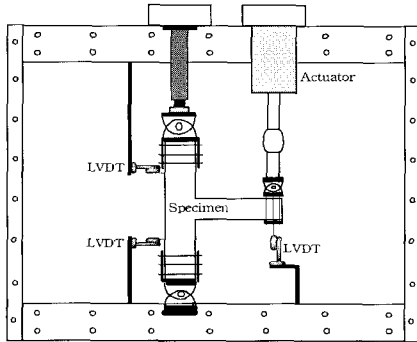


Fig. 11 Schematic view of test setup

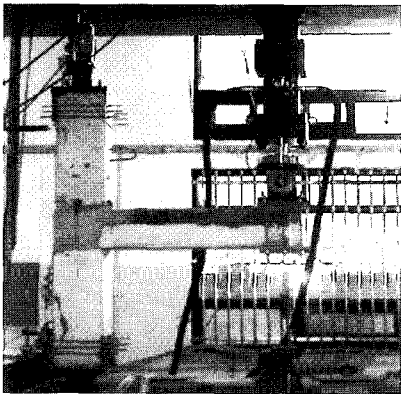


Fig. 12 Photographic view

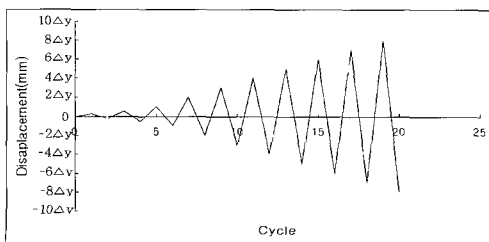


Fig. 13 Loading history

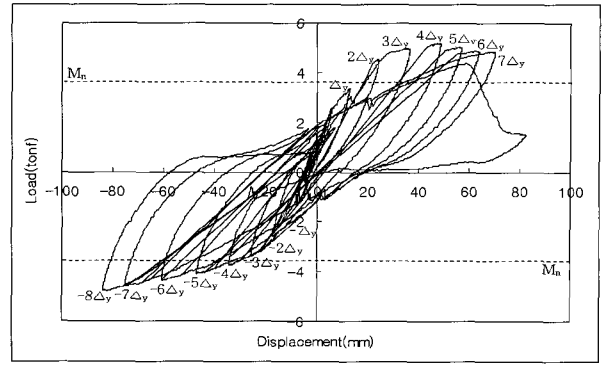


Fig. 14 Load-displacement relationship (J-1)

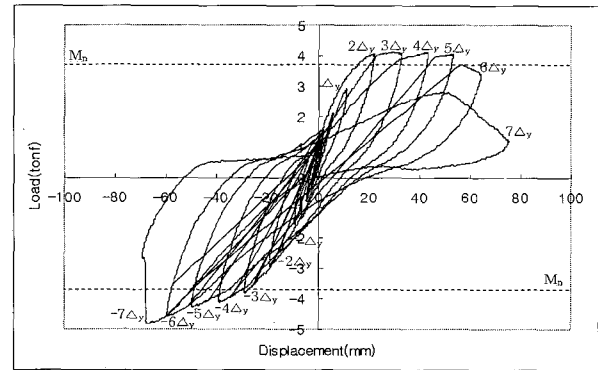


Fig. 15 Load-displacement relationship (J-2)

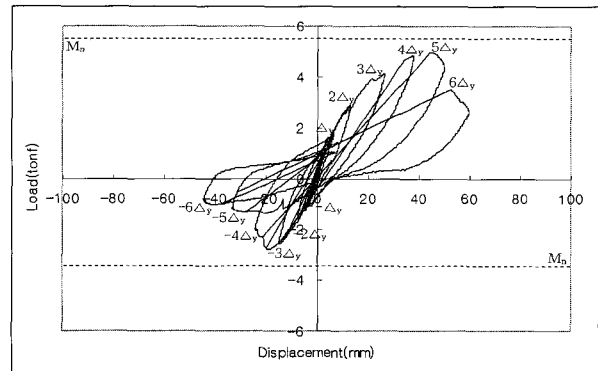


Fig. 16 Load-displacement relationship (J-3)

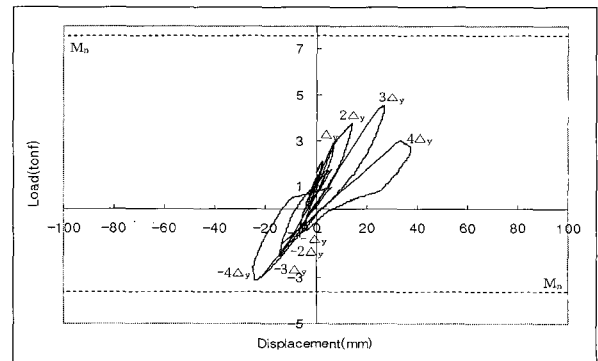


Fig. 17 Load-displacement relationship (J-4)

험체는 Fig 16과 Fig 17 같이 기둥에 수직균열 발생과 함께 급격한 강도저하 및 에너지 흡수능력이 떨어지는 것을 알 수 있다. 따라서, 보-기둥 헤드철근에 의한 스플라이스 접합공법 시에는 기둥/보 휨강도비 제한 값인 1.4 범위 안에서 시행되어야 할 것으로 판단된다.

4.2 휨 강도

실험체들은 하향 가력 시 Table 5에 J-1에서 J-3실험체는 모두 Exp/Cal값이 1.0을 상회하고 J-4실험체만 약주 강보 실험체로 기둥 스플라이스 접합과괴를 동반하며 파괴하였다. 상향 가력 시에는 Table 6에서 J-3실험체만 0.95값이나 1.0에 근접한 값이고 보 파괴가 주도된 것이 아니라 연결부 전단파괴가 주도되었으므로 일어난 현상으

로 사료된다. 기둥/보의 휨강도비가 1.9인 J-1과 J-2 실험체는 공칭강도를 상회하여 중극 파괴하였을 뿐 아니라 보의 순수 휨파괴로 최종 파괴하여 안정적인 거동을 보였다. 기둥/보의 휨강도비가 1.19인 J-3 실험체는 $3\Delta_y$ 이전까지는 J-1, J-2실험체와 동일한 안정적인 거동을 하였으나, $4\Delta_y$ 의 상향 가력 시 기둥의 수직 균열 발생 후 급격한 강도 저하를 보였다. 아울러, 기둥/보의 휨강도비가 0.87인 J-4 실험체는 $4\Delta_y$ 의 하향 가력 시 기둥의 수직 균열 발생 후 급격한 강도 저하를 보였다.

4.3 연성도

강주 약보인 실험체들은 평균 4~5 Δ_y 에서 파괴된 반면 약주 강보인 실험체는 1.6 Δ_y 의 연성도를 보였다. 강주 약

Table 4 Test result

Specimens	Span (cm)	Max cycle (No)	Initial cracking loading		Failure loading		Failure mode
			Loading (tf)	Beam deflection (mm)	Loading (tf)	Beam deflection (mm)	
J - 1	108.5	10	2.00	10.40	5.19	47.44	Flexural failure of beam
J - 2	110.0	9	2.16	12.64	4.12	30.00	Flexural failure of beam
J - 3	110.0	9	3.28	10.13	4.95	45.75	Splice connection failure
J - 4	109.5	7	2.00	10.53	4.53	26.71	¹⁾ Combined cracking failure

Comments : 1) Combined cracking failure = connections failure + splice connection failure + flexural failure of beam

Table 5 Strength of beam (down loading)

Specimens	$M_{cr}(tf \cdot m)$			$M_y(tf \cdot m)$			$M_{max}(tf \cdot m)$		
	Exp M_{cr}	Cal ²⁾ M_{cr}	Exp/Cal	Exp M_y	Cal ³⁾ M_y	Exp/Cal	Exp M_{max}	Cal ⁴⁾ M_n	Exp/Cal
J - 1	2.18	1.32	1.64	3.66	6.30	0.58	5.60	3.25	1.72
J - 2	2.38	1.32	1.79	4.30	6.30	0.68	4.53	3.25	1.39
J - 3	3.61	1.32	2.71	1.40	4.73	0.30	5.46	5.19	1.05
J - 4	2.20	1.32	1.65	3.99	6.30	0.63	4.96	7.10	0.70
Average	2.72	1.49	2.05	3.12	5.08	0.52	5.20	3.92	1.39

Comments: 2) $M_{cr(cal)} = (f_r \times I_g) / y_t$, 3) $M_{y(cal)} = A_t \times f_y \times jd$, 4) $M_{max(cal)} = 0.85 f_{ck} a b (d - a/2) + A'_s f_y (d - d')$

Table 6 Strength of beam (up loading)

Specimens	$M_{cr}(tf \cdot m)$			$M_y(tf \cdot m)$			$M_{max}(tf \cdot m)$		
	Exp M_{cr}	Cal ²⁾ M_{cr}	Exp/Cal	Exp M_y	Cal ³⁾ M_y	Exp/Cal	Exp M_{max}	Cal ⁴⁾ M_n	Exp/Cal
J - 1	2.18	1.97	1.64	3.66	3.15	1.16	5.18	3.25	1.59
J - 2	2.38	1.97	1.79	4.30	3.15	1.37	5.31	3.25	1.63
J - 3	3.61	2.04	2.71	1.40	3.15	0.44	3.07	3.25	0.95
J - 4	2.20	2.04	1.65	3.99	3.15	1.27	3.40	3.25	1.05
Average	2.72	2.00	2.05	3.12	3.11	0.99	4.52	3.44	1.39

Table 7 Summary of test result

Specimen	Initial cracking load		Load at steel yield		Maximum load		Load at failure	
	Δ_{cr}	P_{cr}	Δ_y	P_y	Δ_{max}	P_{max}	$\Delta_{failure}$	$P_{failure}$
J - 1	4.52	2.00	13.71	3.37	75.37	5.96	58.52	4.45
J - 2	5.75	2.16	17.11	4.05	63.53	6.07	48.53	2.79
J - 3	16.21	3.28	13.23	3.31	45.14	4.96	52.60	3.50
J - 4	2.01	2.01	16.12	3.74	26.71	4.53	33.36	3.03

보인 실험체들은 일반적으로 균열이 보를 중심으로 발생하여 종국파괴 시까지 충분한 연성을 보이는 반면, 약주 강보인 실험체는 균열발생 위치가 보뿐만 아니라 연결부와 기둥의 스플라이스 접합부분 전반에 걸쳐 발생하여 보의 순수 파괴로 종국 파괴한 실험체들에 비하여 낮은 연성을 보였다. 실험결과를 정리하면 Table 7과 같다.

4.4 에너지 흡수능력

실험체들의 하중-변위 이력곡선에서 각 하중단계에서의 loop에 의하여 둘러싸인 면적을 계산하여 나타낸 에너지 흡수 능력을 Fig. 18에 도시하였다. 변위연성 능력이 큰 실험체 J-1과 J-2가 J-3과 J-4에 비하여 큰 에너지를 흡수할 수 있음을 알 수 있다. J-1실험체와 J-2실험체는 각각 변위 연성도 $7\Delta_y$ 와 $6\Delta_y$ 에서 최대 내하력에 도달한 후 에너지 흡수 능력이 크게 둔화되는 것을 알 수 있다. 이는 변위가 조금 증가하더라도 내하력이 크게 저하되고 큰 변위 연성도에 따른 손상의 축적으로 편칭이 크게 일어나기 때문이다. J-3실험체는 변위 연성도 $5\Delta_y$ 에서 최대 내하력에 도달하였으며, 변위 연성도 $4\Delta_y$ 에서 기둥의 수직 균열이 발생한 후 최대 내하력의 급격한 저하로 인하여 에너지 흡수능력이 저하되는 것을 보여주고 있다. J-4 실험체의 경우는 변위 연성도 $4\Delta_y$ 에서 연결부 내부에서 발생하여 기둥의 수직 균열로 진전된 균열에 의하여 에너지 흡수능력의 하강없이 최대 점에서 부재가 파괴되는 모습을 보여주고 있다. 따라서, 약주 강보인 실험체들은 공칭 강도뿐만 아니라 에너지흡수 측면에서도 강주 약보의 실험체에 비하여 낮은 능력을 보여주고 있다.

4.5 일반적인 파괴양상

실험체의 종국 파괴양상은 보와 기둥의 휨강도비에 따라 주도되었다. 기둥/보의 휨강도비가 1.9인 J-1과 J-2 실험체는 보의 순수 휨파괴로 종국 파괴하였고, 강도비가 1.19인 J-3 실험체는 연결부와 기둥 스플라이스에 수직균열을 발

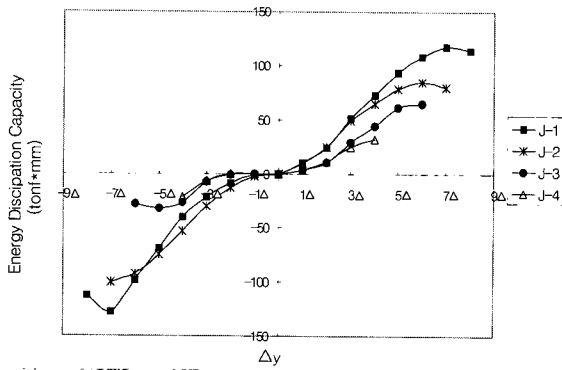


Fig. 18 Energy dissipation capacity curve

생하며 종국 파괴하였다. 반면, 기둥/보의 휨강도비가 0.87인 J-4 실험체는 기둥 스플라이스 연결부의 수직균열과 연결부 사인장 균열이 주도적으로 최종 파괴를 유도하여 보의 휨파괴를 동반하여 종국 파괴하였다. 일반적으로 모든 실험체는 변위가 Δ_y 에서 연결부 내부 5~6cm 지점(보가 기둥에 얹혀진 부분)에서 초기균열이 발생하여 보-기둥 연결부 중앙부까지는 접합면 방향으로 사인장 균열이 발달하였다. 초기 휨 균열이 발생 후 하중이 증가함에 따라 두 번째 균열은 보의 상부 토핑 콘크리트에서 보-기둥 연결부에서 가력점으로 10~25cm 떨어진 곳(보)에서 발생하였다. 이후 하중이 증가함에 따라 강주 약보 실험체들은 연결부 및 기둥에서의 균열은 전혀 발생하지 않았으며 최종파괴 시까지 보를 중심으로 균열이 발생하였다. 반면, 약주 강보 실험체들은 보뿐만 아니라 상부 기둥 또는 연결부 내부에서 발생한 균열이 기둥으로 진전하였으며, 부재파괴 시까지 기둥과 보 및 연결부의 복합적인 균열들이 발생하였다. 실험체별 균열 양상을 Fig. 19에서 Fig. 22에 도시하였다.

보 파괴가 주도적인 J-1, J-2 실험체는 모두 보의 공칭 강도를 상회하는 최종강도를 발휘하였으나, 기둥파괴가 주도적인 J-3과 J-4실험체에서는 보의 공칭강도와 기둥의 공칭강도에 이르기 전 복합적인 파괴 양상으로 종국 파괴하였다. 여기서, J-3 실험체의 경우는 $4\Delta_y$ 의 상향 가력 시 기둥의 수직 균열 발생하여 상향 가력 시 공칭강도에 95%에 미치는 내력을 보이며 파괴하였다. 국내 적용 스플라이스 기둥 접합은 강주 약보의 기둥에서는 충분한 내력을 발휘하였다.

그러나, 약주 강보 기둥에서 기둥의 변위가 클 경우 스플라이스 매입철근 주위 수직균열이 2mm 이상 발달하였다. 보 상·하부에 2-D16철근을 갈고리철근과 헤드철근으로 각각 동일하게 배근한 J-1과 J-2 실험체는 유사한 강도와 연성을 보이며 종국 파괴하였다. 상향가력 및 하향가력으로 인한 강도를 비교하면 상향가력에서도 하향가력과 유사한 강도를 발휘하므로 PC보다 훨씬 저강도인 토핑 콘크리트의 취약점은 거의 없었다.

보 상부 헤드철근은 매입한 철근게이지로 측정된 결과 모든 실험체에서 항복변형률에 도달하였다. 강주 약보 연결부에서 보는 공칭강도를 상회하여 종국 파괴하였고, 동일 배근인 J-1과 J-2 실험체에서 유사한 강도와 연성을 보여주므로 헤드철근의 PC 연결부 활용은 적합한 것으로 판단된다. 실험체별 초기 균열과 종국 파괴 시 강도와 파괴양상은 Table. 4와 같다.

5. 결 론

기존의 갈고리철근 배근과 헤드철근을 배근하여 프리캐스트 보-기둥 연결부 실험을 수행한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

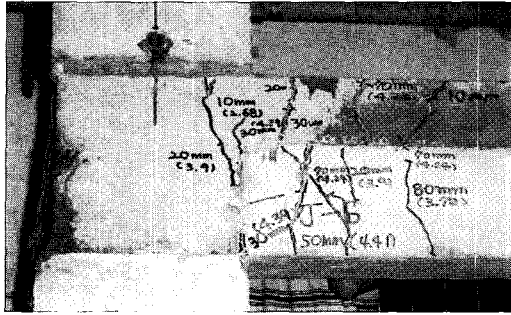


Fig. 19 Flexural cracking at failure stage (J-1)

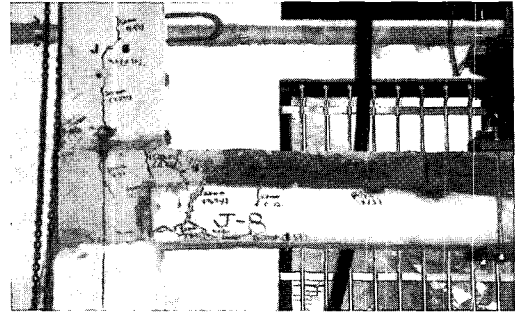


Fig. 21 Splice connection cracking (J-3)

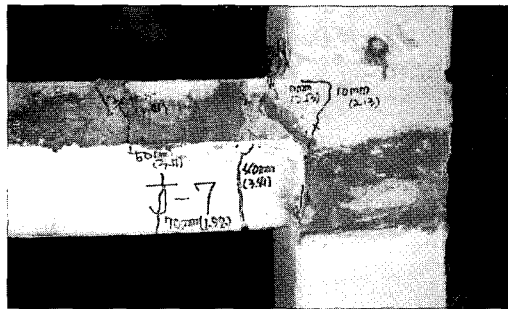


Fig. 20 Flexural cracking at failure stage (J-2)

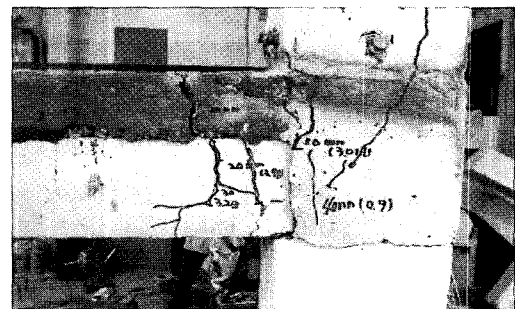


Fig. 22 Combined cracking at failure stage (J-4)

- 1) 보 상부 헤드철근은 모든 실험체에서 항복변형률에 도달하였고, 동일한 철근량으로 갈고리 철근 실험체(J-1) 과 헤드철근 실험체(J-2) 실험체는 유사한 강도와 연성을 보여주므로 헤드철근의 PC 연결부 활용은 적합한 것으로 판단된다.
- 2) 국내 적용 스플라이스 기둥 접합은 강주 약보의 기둥에서는 보의 강도를 상회하는 충분한 내력을 발휘하였으나 약주 강보 실험체에서는 기둥의 수직균열과 연결부 사인장 균열로 기둥의 공칭강도 70%에서 파괴하였다. 즉, 약주 강보 연결부에서 스플라이스 접합공법은 기둥/보 휨강도비 제한 값인 1.4 범위 안에서 시행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 1998~2000년 과학기술부 사업의 일환으로 과학기술부와 삼성물산(주)의 연구비 협조로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary - ACI 318-99," ACI, Detroit, MI.
2. ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures," ACI 352-91, American Concrete Institute, Farmington Hills, 1991.
3. John W. Wallace, Scott W. McConnell, Pius Gupta, and Paul A. Cote., "Use of Headed Reinforcement in Beam-Column Joints Subjected to Earthquake Loads," *ACI Structural Journal*, September-October 1998, pp. 590-606.
4. Devries, R.A., Jirsa, J.O., and Bashandy, T., "Anchorage Capacity in Concrete of Headed Reinforcement with Shallow Embedments," *ACI Struc. Journal*, V96, No.5, Sep-Oct. 1999, pp.728-736.

요 약

프리캐스트 보-기둥 연결부에는 기둥 주근과 보의 정착철근, 연결부를 위한 띠철근 등으로 매우 복잡한 배근상태로 철근 배근과 콘크리트의 타설 및 다짐이 용이하지 않다. 특히 보의 갈고리는 띠철근 또는 주근과의 마주침이 흔히 발생하는 철근으로, 외곽기둥의 경우 충분한 정착길이를 확보하기가 더욱 난해할 때가 있다. 본 연구에서는 헤드철근을 적용한 보-기둥 연결부를 위하여 두 개의 프리캐스트 기둥과 하나의 프리캐스트 보를 연결한 4개의 실험체를 제작하여, 보-기둥접합부와 기둥-기둥접합부에 대한 반복하중실험으로 강도와 그 이력거동을 평가하여 보았다. 실험 결과 강주 약보 실험체들은 갈고리철근과 유사한 거동을 보였다. 국내에서 주로 적용되는 스플라이스 기둥 접합은 강주 약보의 기둥에서는 충분한 내력을 발휘하였다.

핵심용어 : 보-기둥 연결부, 헤드철근, 스플라이스, 정착구, 반복하중, 프리캐스트