



# 51 mm 대구경 철근을 사용한 외부 보-기둥 접합부의 정착상세별 구조성능 평가

김정엽<sup>1)</sup> · 정형석<sup>2)</sup> · 천성철<sup>3)</sup> · 김인호<sup>4)</sup> · 최창식<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>한양대학교 건축공학부 <sup>2)</sup>가톨릭관동대학교 건축공학과 <sup>3)</sup>인천대학교 도시건축학부 <sup>4)</sup>포스코건설 기술연구소

## Structural Performance of Beam-Column Connections Using 51 mm Diameter with Different Anchorage Details

Jung-Yeob Kim,<sup>1)</sup> Hyung-Suk Jung,<sup>2)</sup> Sung-Chul Chun,<sup>3)</sup> In-Ho Kim,<sup>4)</sup> and Chang-Sik Choi<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>Dept of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul 04763, Rep. of Korea

<sup>2)</sup>Dept. of Architectural Engineering, Catholic Kwandong University, Gangneung 25601, Rep. of Korea

<sup>3)</sup>Division of Architectural and Urban design, Incheon National University, Incheon 22012, Rep. of Korea

<sup>4)</sup>R&D Center, Posco E&C, Incheon 22009, Rep. of Korea

**ABSTRACT** In exterior beam-column joints, hooked bars are used for anchorage, but usage of high-strength and large-diameter bars increases, headed bar is preferred for solving steel congestion and difficulty in construction. To investigate the structural performance of headed bars, Six exterior beam-column joints were tested under cyclic loading. Tests parameter were the anchorage methods and concrete strength. The test results indicate that behavior of headed bar specimens shows similar performance with hooked bar specimens. All specimens failed by flexural failure of the beam. Headed bar specimens shows better performance in anchorage and joint shear. All specimens were satisfied the criteria of ACI374.1-05. Test results indicate that use of headed bar in exterior beam column joint is available.

**Keywords** : exterior beam column joints, anchorage methods

### 1. 서 론

최근 초고층 건물 및 원전구조물과 같은 대형구조물의 수요 증가로 대구경 고강도 철근의 수요가 증가하고 있다. 외부 보-기둥 접합부에서는 주로 사용되는 갈고리철근과 같은 경우 대구경 고강도 철근을 사용할 경우 철근사이의 간섭과 철근의 과밀배근으로 콘크리트 타설 및 시공에 문제가 발생되며, 이러한 점을 해결하기 위해 철근의 지압판을 사용하는 확대머리철근이 사용되고 있다. ACI 318-14,<sup>1)</sup> KCI 2012<sup>2)</sup>에서는 확대머리철근의 사용을 철근항복강도 420 MPa 직경 36 mm로 제한하고 있다. ACI 318-14,<sup>1)</sup> KCI 2012<sup>2)</sup> 내 확대머리철근의 제한사항들은 Thompson<sup>3)</sup>의 연구에서 진행된 실험값을 기반으로 제시되었으며, 제한범위를 넘어선 고강도 대구경 철근의 사용을 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.

Kang<sup>4)</sup> 등의 연구에서는 기존의 확대머리철근을 사용한

외부 보-기둥 실험체들을 비교하였다. 실험체들은 부재의 휨 항복 파괴, 부재 휨 항복 후 접합부파괴, 부재 휨 항복 전 접합부파괴 3가지 파괴형태를 보였다. 연구에서는 철근 항복강도 352 MPa부터 1034 MPa, 철근직경 36 mm 이하, 콘크리트 압축강도 25.4 MPa부터 130 MPa인 실험체들을 비교하였으며, 철근 항복강도 352 MPa에서 710 MPa 인 실험체에서는 보의 휨항복파괴가 발생하였다. 연구에서는 철근 항복강도 815 MPa 이상인 실험체와 같은 경우 정착길이가 ACI 318-14,<sup>1)</sup> KCI 2012<sup>2)</sup> 기준 값을 만족하지 못하기 때문에 접합부에서 파괴가 발생하였다고 판단하였다. 이를 통하여 설계 정착길이가 ACI 318-14,<sup>1)</sup> KCI 2012<sup>2)</sup> 기준의 정착길이를 만족할 경우 고강도 확대머리철근의 사용은 가능할 것으로 보이나 대구경 철근에 대한 연구는 부족하다.

Chun<sup>5)</sup> 등의 연구에서는 철근 항복강도 550 MPa, 직경 43, 57 mm 확대머리철근을 외부 보-기둥 접합부를 모사한 CCT 절점에 정적하중을 가하여 정착강도를 평가하였다. 피복두께는  $1d_b$ ,  $2d_b$ , 횡구속철근 유무를, 콘크리트 압축강도 45.3 MPa, 75.8 MPa를 변수로 설정하였다. 실험 결과 피복두께  $2d_b$ 인 경우 측면파열파괴가 발생하기 전에 충분한 항복강도를 발현하였으며, 이를 통해 SD600, D51 확대머리철근을 외

\*Corresponding author E-mail : ccs5530@hanyang.ac.kr

Received December 28, 2016, Revised February 15, 2017,

Accepted March 8, 2017

©2017 by Korea Concrete Institute

부 보-기둥접합부에 사용할 경우 충분한 정착성능을 발휘할 것으로 예상된다.

Hung-Jen Lee<sup>6)</sup> 등의 연구에서는 콘크리트 압축강도 30 MPa, 철근 항복강도 420 MPa, D22인 확대머리철근과 같고 리철근을 사용한 외부 보-기둥 접합부에 반복가력을 가하여 구조성능을 평가하였으며, 비탄성 변형에서 확대머리철근 실험체가 같고리철근 실험체보다 동등하거나 더 좋은 성능을 보였다. 이를 통해 기준에서 제한하고 있는 대구경 고강도 철근에서도 확대머리철근이 같고리철근보다 더 좋은 성능을 보여줄 것이라고 예상되며, 이에 대한 사용할 수 있는지 연구가 필요하다.

기존의 연구에서 대구경 고강도 확대머리철근을 사용한 외부 보-기둥 접합부의 구조성능평가에 관한 실험은 없었기에, 이번 실험에서는 51 mm, SD600 확대머리철근의 사용을 위하여 구조성능을 평가하였다. 51 mm, SD600 확대머리철근 외부 보-기둥 실험체에서 측면파열과괴가 발생하지 않으므로 같고리실험체와 비교가 가능하며, 최종적으로 확대머리철근이 같고리철근을 대체할 수 있는지 평가하였다.

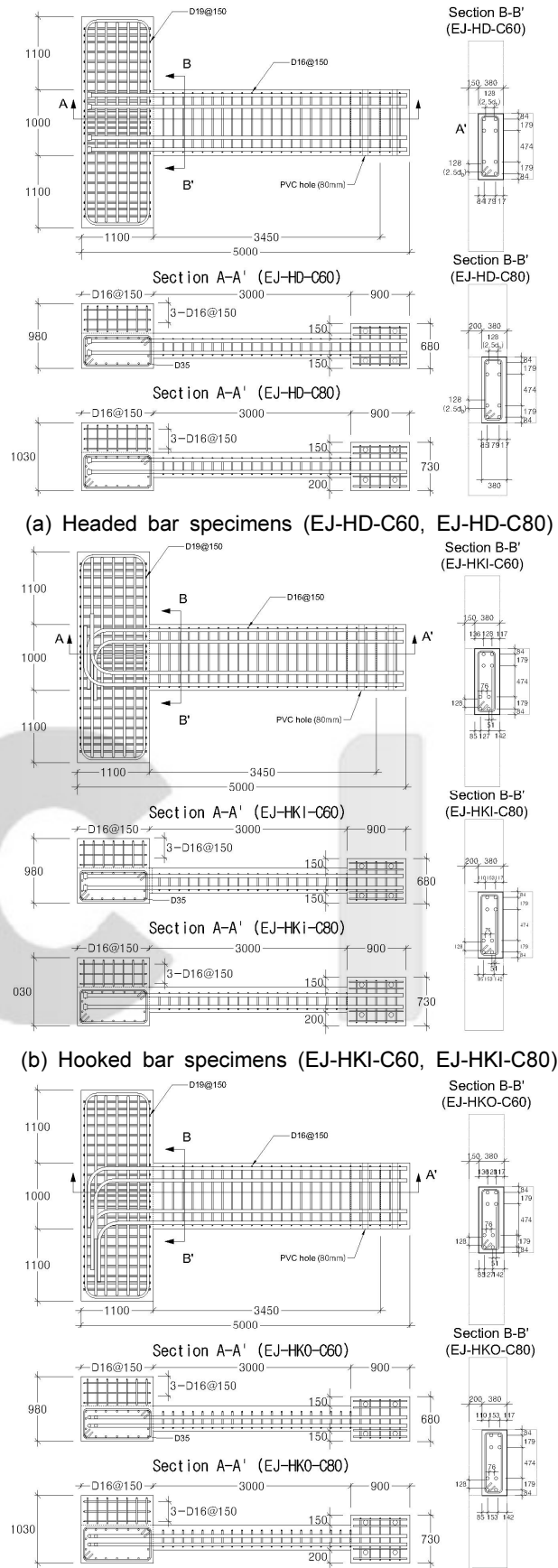
## 2. 실험 계획

외부 보-기둥접합부 실험체는 실제 시공되는 건축물을 모사하여 기둥 및 보의 단면크기를 정하였으며, 접합부에 정착되는 보의 주 철근은 상, 하부근 모두 2단으로 배근하였다. 대구경 고강도 확대머리철근의 실험체와 비교하기 위해 동일한 조건을 가지는 같고리철근실험체를 설계하였으며, 같고리철근의 지압력 방향에 따른 같고리철근 정착성능을 비교하고자 Fig. 1과 같이 같고리를 안쪽으로 배근한 실험체와 같고리를 한쪽으로 배근한 실험체를 제작하였다. 정착길이 식의 변수인 콘크리트 강도와 같은 경우 철근의 정착성능에 얼마나 영향을 미치는지 확인하기 위하여, 실험변수로 설정하였다.

접합부의 콘크리트의 설계강도는 60 MPa, 80 MPa로 설계하였으며, 재료 실험 결과 63 MPa, 97.6 MPa를 발휘하였다. 보의 주철근인 같고리철근과 확대머리철근은 D51, SD600 철근으로 설계하였으며, 실제 항복강도는 637 MPa를 발휘하였다. 외부 보-기둥 접합부 실험체 설계에는 ACI 318-14,<sup>1)</sup> KCI 2012<sup>2)</sup>의 특수 모멘트골조 규정에 맞게 설계하였으며, 보의 휨항복과괴가 발생하도록 강기둥약보로 설계하였다.

ACI 318-14,<sup>1)</sup> KCI 2012<sup>2)</sup>에서는 같고리철근의 정착길이  $l_{dh}$ , 확대머리철근의 정착길이  $l_{dt}$ 로 정의하고 있으며, 이를 철근의 항복강도  $f_y$ , 콘크리트 압축강도  $f'_c$ , 철근의 지름  $d_b$ 을 변수로 식 (1), (2)와 같이 설계식을 제시하고 있으며, 다음과 같은 제한사항을 제시하고 있다.

$$l_{dh} = 0.24 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} d_b \quad (1)$$



(c) Hooked bar specimens (EJ-HKO-C60, EJ80-HKO-C80)

Fig. 1 Details of test specimens

**Table 1** Design and material properties

Specimens	Reinforcing Type	Design $f'_c$ (MPa)	Measured $f'_c$ (MPa)	Reinforcement			Beam Section $b_w \times h_b$ (mm×mm)	Effective joint section $b_w \times h_b$ (mm×mm)	$l_{dh}, l_{dt}$ (mm)	$l_p$ (mm)		
				$n_b$	Design $f_y$ (MPa)	Measured $f_y$ (MPa)					$f_t$ (MPa)	
EJ-HD-C60	Headed Bar	60	62.8	8-D51	600	637	847	380 X 1000	455 X 1100	732	1000	
EJ-HKI-C60	Hooked-In Bar									927	980	
EJ-HKO-C60	Hooked-Out Bar											
EJ-HD-C80	Headed Bar	80	97.6						380 X 1000	480 X 1100	695	1000
EJ-HKI-C80	Hooked-In Bar										878	980
EJ-HKO-C80	Hooked-Out Bar											

$$l_{dt} = 0.19 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} d_b \quad (2)$$

(a)철근의 항복강도 400 MPa 이하 (b)콘크리트 압축강도 40 MPa (c)철근의 지름은 35 mm 이하 (d)확대머리철근의 순지압면적  $A_{brg}$ 는  $4A_b$  이상, (e)순피복두께는  $2d_b$  이상, (f) 철근의 순간강도는  $4d_b$  이상이어야 한다.

위 제한사항에서 추가로 KCI 2012<sup>2)</sup>에서는 철근의 순간강도는 접합부가 횡보강근에 의하여 구속하고, 확대머리철근의 확대머리가 압축스트럿에 존재할 때, 기준에 의하여 순간강도를  $2.5 d_b$  이상으로 설계가능하다.

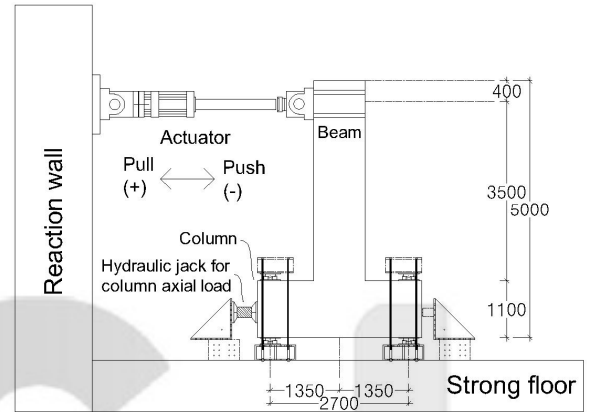
실험에서는 위 기준에 맞추어 철근의 순간강도  $2.5 d_b$ 로 설계하였으며, 확대머리철근과 갈고리실험체의 정착성능을 비교하기 위하여 동일한 정착길이를 설계하였다. 정착길이가 더 긴 갈고리철근의 정착길이에 맞추어 상부철근의 정착길이를 1000 mm로 설계하였으며, 주요설계사항은 다음 Table 1과 같이 서술하였다.

보의 휨항복 파괴 이전에 전단파괴발생을 방지하기 위하여 ACI 318-14,<sup>1)</sup> KCI 2012<sup>2)</sup> 기준에 나와 있는 전단강도 식 (3), (4)을 비교하였다. 전단강도에서  $\gamma$ 는 실험체가 외부 보-기둥접합부이므로 12를 사용하였으며,  $V_u$ 에서 철근의 항복강도  $f_y$ 는 내진설계에 의해 1.25배로 식 (4)와 같이 설계하였다. 식 (3), (4)를 통하여 실험체에서 보의 휨항복파괴 이전에 전단파괴가 발생하지 않을 것으로 판단하였다.

$$V_n = \gamma \sqrt{f'_c} A_j \quad (3)$$

$$V_u = 1.25 A_s f_y - V_{col} \quad (4)$$

반복하중 가력 중 전단강도 감소를 제어하기 위한 횡구속 철근의 단면적  $A_{sh}$ 는 ACI 318-14,<sup>1)</sup> KCI 2012<sup>2)</sup> 기준과 같이 횡보강철근 간격  $s_h$ , 기둥의 내부 단면 치수  $h_c$ , 기둥의 전체 단면적  $A_g$ , 횡구속철근내 단면적  $A_{ch}$ 를 변수로한 식 (5)의 계산값보다 크도록 배근하였다.



**Fig. 2** Test setup

$$A_{sh} = 0.3 \frac{s_h h_c f'_c}{f_{yh}} \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad (5)$$

실험체는 Fig. 2와 같이 T형태의 외부 보-기둥 실험체를 90도 회전하여 반력바닥쪽에 기둥을 반력벽에 평행하도록 보를 설치하였다. 보의 단부를 정방향 및 부방향으로 횡가력하였으며, 실험체의 변위비  $\theta$ 를 구하기 위해 가력부분의 변위  $\Delta$ , 보의 길이  $L_b$ , 기둥의 내부 단면치수  $h_c$ 를 변수로 다음 식 (6)과 같이 계산하였다.

$$\theta = \Delta / (L_b + 0.5h_c) \quad (6)$$

실험체에 가력하는 횡하중은 ACI 374.1-05<sup>7)</sup> 기준에서 명시한대로 실험체는 3사이클 반복 가력하였으며, 변위비 0.25%에서 변위비 6%까지 증가하도록 계획하였다.

처음 변위비 구간은 탄성구간에 존재하도록 가력하였으며, 변위비구간은 이전 변위비구간의 1.25에서 1.5배 사이로 증가하도록 가력계획을 세웠다. 반복가력 내 구간별 변위비는 Fig. 3과 같이 설정하였다. 실험체에 가력하는 축력과 같은 경우 축력이 작용하지 않는 경우 접합부 전단파괴에 더 보수적이다. 이를 반영하여 ACI 374.1-05<sup>9)</sup> 기준에서도 축력에 대한 제한사항 없으며, 실제 실험에서는 실제 구조물을 모사하기 위하여  $0.05 A_g f_{ck}$ 의 일정한 축력을 가력하였다.

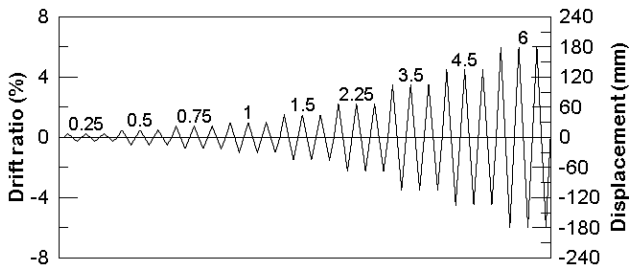


Fig. 3 Cyclic loading history

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 하중 변위 관계

실험체 결과는 Table 2에 서술하였다. 실험체는 Fig. 4와 같이 보의 휨 항복파괴가 발생하였으며, 모든 실험체에서 비슷한 균열양상을 보였다. 실험체는 변위비 0.25%부터 보 단부에서 휨 균열이 발생하였으며, 변위비 0.75%에서부터 접합부에 전단균열이 발생하였다. 보의 주철근이 항복하는 변위비 2.25%부터 보의 휨 균열이 크게 진전되었으며, 보의 콘크리트 압괴로 인하여 내력 저하가 발생하여 보의 휨 항복 파괴가 발생하였다. 실험체 정착상세별 균열은 비슷한 형태를 보였으나, 최종 파괴형상에서 갈고리철근을 한쪽으로 배근한 실험체는 다른 실험체보다 접합부 전단균열이 많이 발생하였다. 이는 확대머리철근 실험체와 갈고리를 안쪽에 배근한 실험체는 접합부 대각스트럿 내 확대머리판과 갈고리철근의 지압부분으로 인하여 접합부 콘크리트의 구속이 가능하지만 갈고리철근이 한쪽으로 배근된 실험체는 불가능하므로, 균열이 더 많이 발생하였다. Fig. 5는 실험체의 모멘트-변위비 곡선 그래프로 연성적인 거동을 보임을 확인하였다. 실험체체는 모두 1.5% 근처에서 항복하였으며, 갈고리철근 및 확대머리철근 모두 충분한 정착길이를 확보한 것으로 판단되었다. 실험체 중 EJ-HKI-C60 실험체는 변위비 3.5%의 첫 번째 사이클 보에서 횡좌굴발생으로 실험이 위험하다고 판단되어 중단되었으며, 나머지 실험체들은 4.5% 변위비에서 최종파괴 되었다. 모든 실험체는 ACI374.1-05<sup>9)</sup> 규정대로 변위비 3.5%에서 최대하중의 75% 이상의 하중재하능력을 보였으며, 이를 통하여 연성적인 파괴가 발생하였다

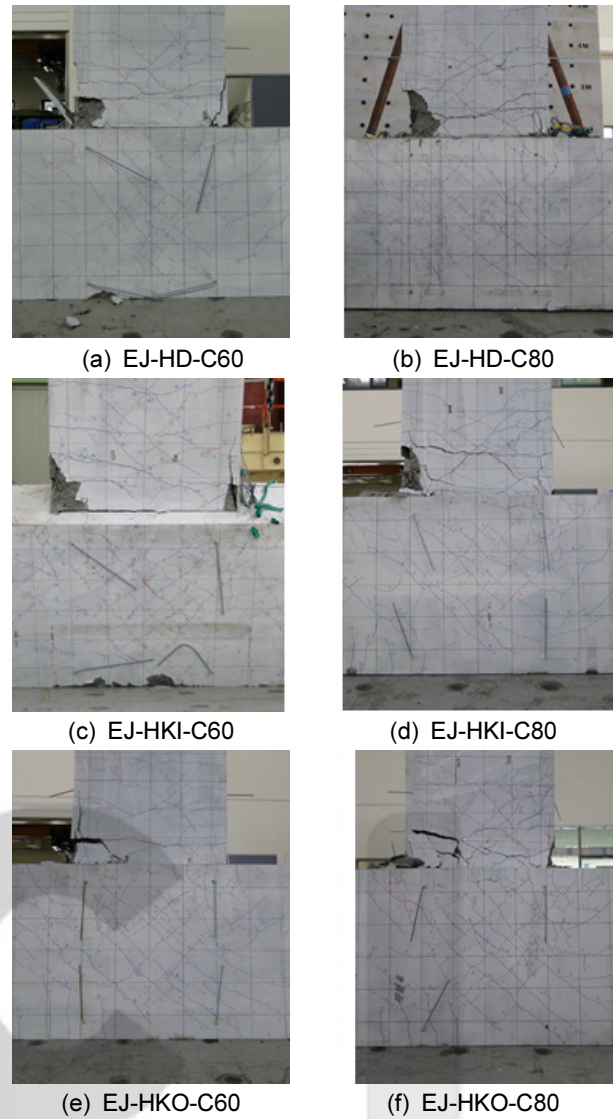


Fig. 4 Test failure mode

고 판단하였다. 확대머리철근 실험체는 정,부 모멘트 모두 공칭 휨강도 이상으로 발현되었으며, 갈고리철근 실험체는 부모멘트에서만 공칭 휨강도 이상으로 발현되었다. 모든 실험체는 변위비 3.5%에서 보의 단부부분에서 압괴로 인하여 내력저하가 발생하였으며, 변위비 4.5%에서 최종적으로 파괴되었다.

#### 3.2 정착성능

외부 보-기둥 접합부내 철근의 정착성능을 알아보기 위하여 Fig. 6과 같이 상부철근에 철근게이지를 설치하였다.

접합부 위험단면에 S1게이지를 설치하였으며, 철근의 지압부분 작용점 앞에 S2게이지를 설치하여 각 변형률을 측정하였다. 정착상세별 철근의 정착성능을 비교하기 위해 Fig. 6에 실험 결과를 표시하였다.

모든 실험체는 초기에 부착응력에 의해 철근 인장응력을 지지하고 있으며, 인장응력이 증가함에 따라 지압응력이 증가하는 형태를 보였다. 주철근이 항복 후에는 부착응력감소를 보였으며, 주철근이 항복하기 전까지 확대머리철근실험

Table 2 Predicted and measured test results

Specimens	$M_n$ (kN·m)	$M_{peak}$ (kN·m)	$V_n$ (kN)	$V_u$ (kN)	$V_{peak}$ (kN)	Dissipated energy (kN·m)
EJ-HD-C60		-4235			3382	91.6
EJ-HKI-C60	3770	-4036	3861	3257	3223	-
EJ-HKO-C60		-4028			3216	79.9
EJ-HD-C80		-4202			3355	93.4
EJ-HKI-C80	3837	-4077	4703	3315	3481	93.4
EJ-HKO-C80		-4041			3402	82.3

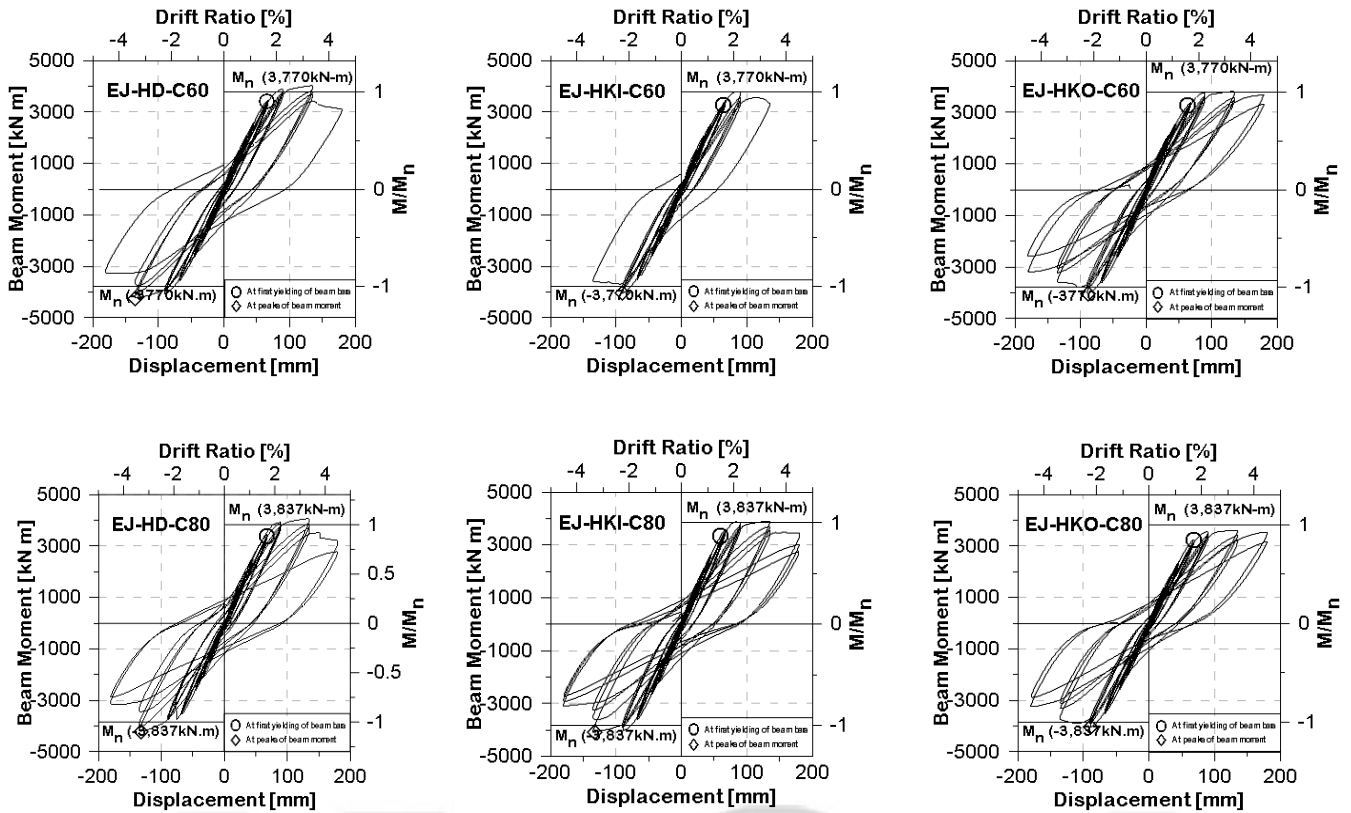


Fig. 5 Beam moment versus drift ratio relations

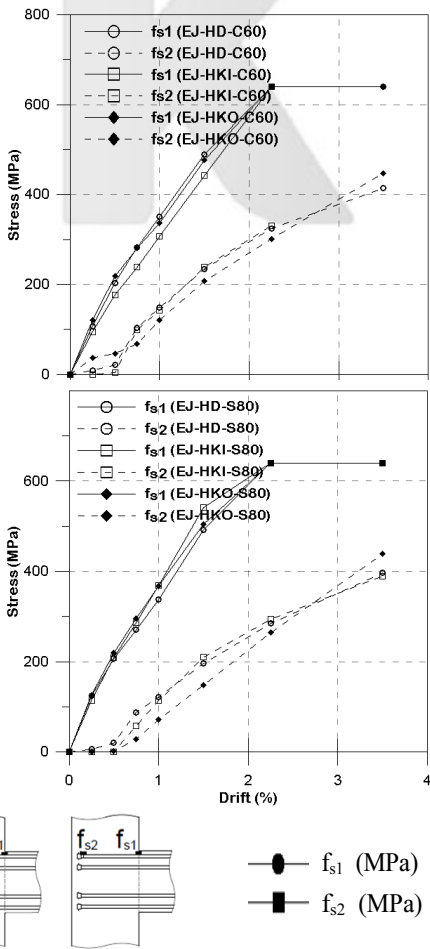


Fig. 6 Bar tensile stresses (EJ measured)

체와 갈고리철근실험체 유사한 부착성능을 발휘하였다. 모든 실험체에서는 보의 휨 항복과괴까지 충분한 부착응력을 발휘하였다. 철근이 항복한 변위비 2.25% 이후부터 확대머리철근 실험체와 갈고리철근을 안쪽으로 배근한 실험체는 거의 동일한 정착성능을 보여주었으며, 갈고리를 한쪽으로 배근한 실험체는 부착능력 감소가 다른 실험체보다 크게 나타났다. 콘크리트 압축강도가 큰 80 MPa 실험체는 콘크리트 압축강도 60 MPa 실험체보다 좋은 부착성능을 보여주었다.

### 3.3 전단성능

Fig. 7에서는 외부 보-기둥접합부 실험체의 전단력과 전단 변형각의 상관관계를 나타냈다. 접합부에 가해지는 전단력은 식 (4)을 사용하여 산정했으며, 전단변형각 $\gamma_j$ 는 접합부에 대각방향으로 설치한 LVDT에서 얻은 변위  $\Delta_1, \Delta_2$ 와 접합부의 단면치수  $a, b$ 를 사용하여 다음 식 (7)과 같이 산정하였다.

$$\gamma_j = \frac{(\Delta_1 - \Delta_2) \sqrt{(a^2 + b^2)}}{2ab} \quad (7)$$

갈고리철근은 한쪽으로 배근한 EJ-HKO-C60, EJ-HKO-C80 이 나머지 실험체들에 비하여 큰 비선형적인 전단변형을 보여 주었으며, 정모멘트방향으로 횡가력될 때 부모멘트방향 보다 큰 전단변형을 보였다. 이는 Paulay<sup>8)</sup>의 연구와 같이 갈고리가 한쪽방향으로 배근될 때 하중방향에 따라 전단저항 능력이 다르기 때문에 실험체에서도 하중방향에 따라 전단

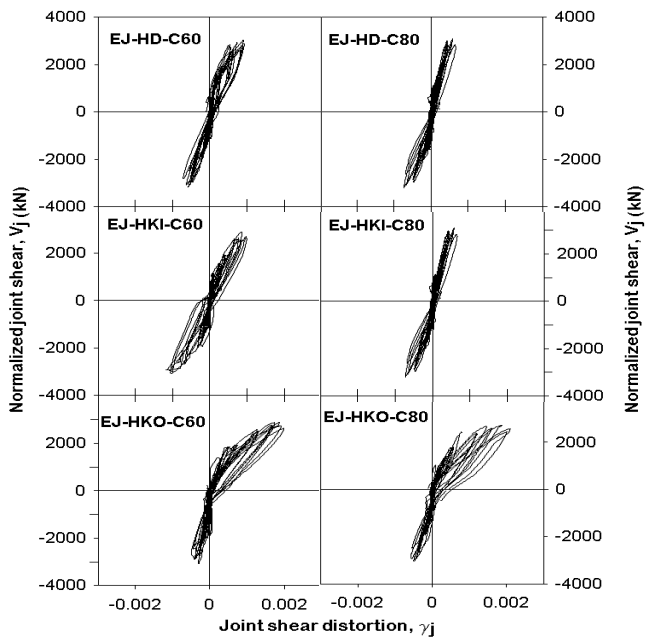


Fig. 7 Joint shear versus joint shear distortion relations

변형이 다르게 발생한 것으로 판단된다. 모든 실험체의 전단력은 기준의 식 (3)의 전단강도 기준을 만족하였으며, 이를 통해 전단파괴는 발생하지 않았다고 판단하였다. 전단변형이 크게 발생한 EJ-HKO, -C60, EJ-HKO, -C80 실험체와 같은 경우 최대 전단변형각이 0.0020, 0.0021으로, 전체 실험체 변형의 3.84%, 4.03%를 기여하였으며, 실험체 내 전체 변형에 비해 전단변형기여는 크지 않았다. Fig. 7의 결과를 통하여 확대머리철근 실험체가 갈고리철근을 한쪽으로 배근한 실험체보다 더 나은 전단성능을 발휘하였으며, 갈고리철근을 안쪽으로 배근한 실험체와 비슷한 전단저항성능을 발휘하는 것을 확인하였다. 또한 콘크리트 압축강도 80 MPa 실험체와 60 MPa 실험체가 비슷한 전단 변형을 보여주었으며, 고강도 콘크리트에서는 콘크리트 인장강도가 비슷하므로 유사한 전단변형을 보였다.

#### 4. 실험체 내진성능 평가

ACI 374.1-05<sup>9)</sup>에서는 ACI 318-14<sup>1)</sup>의 제한범위를 벗어날

Table 3 Tests results compared with ACI374.1-05 criteria

Specimens		EJ-HD-C60	EJ-HKI-C60	EJ-HKO-C60	EJ-HD-C80	EJ-HKI-C80	EJ-HKO-C80
Initial stiffness for first cycle of 0.25% drift (kN/mm)	Positive	128.6	73.9	134.4	128.7	129.5	127.0
	Negative	78.2	59.0	89.6	49.8	62.7	60.2
Percentage degradation in load capacity from first to third cycle of 3.5%drift	Positive	8.4%	11.9%	9.2%	9.0%	9.2%	10.1%
	Negative	13.3%	12.0%	24.2%	19.3%	20.4%	23.1%
Relative energy dissipation ratio*		0.245	0.332	0.195	0.234	0.256	0.233
Ratio of secant stiffness around zero drift to initial stiffness**	Positive	0.14	0.08	0.13	0.15	0.14	0.14
	Negative	0.22	0.32	0.17	0.32	0.25	0.25

\* Relative energy dissipation ratio = energy-dissipated in third cycle of 3.5% drift / idealized elastoplastic energy

\*\* Secant stiffness around zero drift was obtained between 0.35% and -0.35% drift ratios in third complete cycle of 3%drift ratio

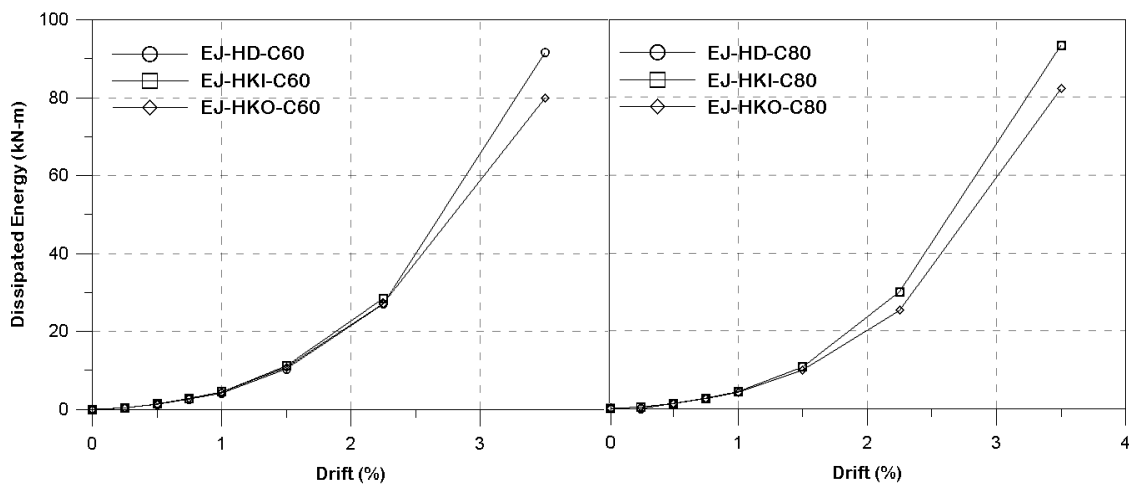


Fig. 8 Energy dissipation capacities of test specimens

때 보-기동접합부의 최소내진성능평가기준을 제시하고 있다. Table 3에서는 ACI 374.1-05<sup>9)</sup> 기준에서 명시한 보-기동접합부에서 실험체의 변위비 3.5%의 3번째 사이클의 결과값과 기준치를 비교하였으며, 좌굴로 인하여 파괴된 EJ-HKI-C60 실험체와 같은 경우 변위비 3.5% 1번째 사이클과 비교하였다.

1) 강도 저하는 같은 방향의 최대하중의 25%보다 커야 한다.

2) 3번째 사이클에서 에너지소산비율은 0.125이상이어야 한다.

3) 3번째 사이클내 곡선에서 -0.35%~0.35% 사이의 활선강선이 실험체 초기 강성의 5%이상이어야 한다.

모든 실험체는 최소 성능 평가기준을 만족하였다. Fig. 8에서는 실험체의 에너지소산능력을 각 변위비 별로 비교하였다. 모든 실험체는 파괴될 때까지 충분한 에너지소산능력을 보여주었다. 변위비 2.25% 이후에서 EJ-HKO-C60, EJ-HKO-C80 실험체가 다른 실험체에 비하여 낮은 에너지 소산능력을 보였는데 이는 Fig. 6에서 변위비 2.25% 이후 실험체의 부착응력 감소가 영향을 미친 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

외부 보-기동 접합부 내 SD600, 51 mm 확대머리 철근사용을 위하여 정착상세별 구조성능을 평가하였으며, 외부 보-기동 접합부를 모사한 T형 실험체에 반복가력 하였다. 기존 사용하고 있는 갈고리철근과 비교하기 위해 확대머리철근 실험체, 갈고리철근을 안쪽으로 배근한 실험체, 갈고리철근을 한쪽으로 배근한 실험체를 설계하였으며, 정착성능에 영향을 미치는 콘크리트압축강도를 60 MPa, 80 MPa로 설계하였다. 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 실험 결과 확대머리철근 실험체와 갈고리철근 실험체 모두 유사한 거동을 보였으며, 변위비 4.5%에서 파괴되었다. 보의 휨 항복과파괴가 발생하기 전까지 전단파괴 및 정착파괴는 발생하지 않았으며, 모멘트-변위 곡선을 통하여 확대머리철근 실험체가 더 높은 모멘트강도를 발현하였다.
- 2) 확대머리철근 실험체는 갈고리철근을 안쪽을 배근한 실험체와 비슷한 정착성능을 보여주었으며, Fig. 6을 통하여 변위비 2.25% 이후 갈고리철근을 한쪽으로 배근한 실험체는 더 큰 부착응력 감소를 보였다. 콘크리트 압축강도에 따라서는 콘크리트 강도 80 MPa가 60 MPa보다 더 좋은 부착성능을 보였다.
- 3) 전단 성능면에서 확대머리철근 실험체와 갈고리철근을 안쪽으로 배근한 실험체와 유사한 성능을 보였으며 갈고리철근을 한쪽으로 배근한 실험체는 더 큰 전단변형을 보였다.
- 4) 모든 실험체는 ACI 374.1-05<sup>9)</sup> 기준을 만족하였으며, 확대머리철근 실험체는 갈고리철근 실험체와 동등하거나 더 좋은 에너지소산능력을 보였다. 위와 같은 실험결과를 통하여 외부 보-기동접합부에서

SD600, 51 mm 확대머리철근과 갈고리철근 실험체를 비교하였다. 실험에서 갈고리실험체와 확대머리 실험체 모두 비슷한 성능을 보였으며, 콘크리트 압축강도 60 MPa, 80 MPa를 사용한 외부 보-기동접합부에서 SD600, 51 mm 확대머리 철근의 사용이 가능할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구과제입니다(No. 한국연구재단에서 부여한 과제번호: NRF-2014R1A2R1A11051049).

또한 이 논문은 포스코 건설, (주)부원 BMS의 연구비 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## Reference

1. ACI Committee 318, "Building code requirements for reinforced concrete (ACI 318-14)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, pp.465.
2. Korea Concrete Institute, Concrete Design Code, Kimoonang Publishing Company, Seoul, 2012, 342pp.
3. Thompson, M.K., Ziehl, M.J., Jirsa, J.O., and Breen, J.E., "CCT Nodes Anchored by Headed Bars-Part 1: Behavior of Nodes", *ACI Structural Journal*, Vol.102, No.6, 2005, pp.808-815.
4. Kang, T.H.-K., Shin, M.-S., Mitra, N., and Bonacci, J.F., "Seismic Design of Reinforced Concrete Beam-Column Joints with Headed Bars", *ACI Structural Journal*, Vol.106, No.6, 2009, pp.868-877.
5. Chun, S.-C., Sim, H.-J., Bae, M.-S., Kim, M.-G., and Lee, B.-S., "Anchorage Strength of High-Strength Large-Diameter Headed Bars in CCT nodes", *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Vol.28, No.1, 2016, pp.753-754.
6. Lee, H.-J., and Yu, S.-Y., "Cyclic Response of Exterior Beam-Column Joints with Different Anchorage Methods" *ACI Structural Journal*, Vol.106, No.3, 2009, pp.329-339.
7. Choi, H.-K., Yoo, C.-H., Choi, Y.-C., and Choi, C.-S., "Structural Capacity Evaluation of Hybrid Precast Concrete Beam-Column Connections Subjected to Cyclic Loading", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.22, No.3, 2010, pp.325-333.
8. Choi, C.-S., Kim, S.-H., Choi, Y.-C., and Choi, H.-K., "Analytical Study on Hybrid Precast Concrete Beam-Column Connections", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.25, No.6, 2013, pp.631-639
9. ACI Committee 374, "Acceptance Criteria for Moment Frames based on Structural Testing and Commentary", ACI 374.1-5, American Concrete Institute, Farmington

- Hills, 2005, pp.1-9.
10. Paulay, T., and Priestley, M., “Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings”, New York: John Wiley & Sons, 1992, 300pp.
  11. Joint ACI-ASCE Committee 352, “Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352R-02),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI,2002, pp.37.
  12. Chun, S.-C., Choi, C.-S., and Jung, H.-S., “Side-Face Blowout Failure of Large-Diameter High-Strength Headed Bars in Beam-Column Joints”, *ACI Structural Journal*, Vol.114, No.1, 2017, pp.161-171.
  13. Chun, S.-C., and Lee, S.-H., “Failure Modes and Strengths of Headed Bars Anchored in Exterior Beam-Column Joints”, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & construction*, Vol.25, No.5, 2009, pp.47-54.

**요 약** 외부 보-기둥 접합부에서는 철근 정착을 위해 갈고리철근 사용하고 있으며, 철근과 밀배근 해소와 시공작업의 어려움으로 확대머리철근의 사용이 증가하고 있다. SD600 51 mm 확대머리철근을 사용할 경우 ACI318-14 및 KCI2012기준에서 사용을 제한하고 있다. 이번 연구에서는 외부 보-기둥 접합부 내에 고강도 대구경 철근의 확대머리 철근의 사용이 가능하도록 실험 60 MPa, 80 MPa 콘크리트강도로 제작된 실험체의 정착상세별 구조성능을 평가하였다. 모든 실험체에서는 보의 휨항복파괴가 발생하였으며, 실험체의 모멘트-변위 곡선에서 비슷한 양상을 보였다. 다른 실험체보다 갈고리가 한쪽방향으로 배근한 실험체에서는 갈고리철근 배근방향에 의해 전단저항능력이 달라지므로 3.5%변위비 이후에 부착응력 감소가 더 크게 나타났으며, 전단변형능력도 더 크게 나타났다. 실험체의 내진성능을 확인하기 위하여 ACI374.1-05기준과 비교하였으며, 실험결과 충분한 내진성능을 확보하였다. 이를 통하여 외부 보-기둥 접합부에서 SD600, 51 mm 확대머리철근의 사용이 가능한 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 외부 보-기둥 접합부, 정착상세

