

반복하중을 받는 외부 보-기둥 접합부에 정착된 57mm 확대머리철근의 정착성능평가

정형석¹, 정주홍², 최창식³, 배백일⁴, 최현기^{1*}

Evaluation on Anchorage Performance of 57mm Headed Bars in Exterior Beam-Column Joint under Cyclic loading

Hyung-Suk Jung¹, Joo-Hong Chung², Chang-Sik Choi³, Baek-IL Bae⁴, Hyun-Ki Choi^{1*}

Abstract: In this study, the anchoring performance of 57mm headed bars anchored at the external beam-column joint under cyclic loading was evaluated. A total of 6 external beam-column joint test specimens were planned, and anchorage performance was evaluated by setting concrete compressive strength, side covering thickness, lateral reinforcement ratio, and fracture type as major experimental variables. As result of cyclic loading test, it was found that the factors that had the greatest influence on the anchoring capacity of the large-diameter headed bar anchored at the joint were the side cover thickness and the transverse reinforcing bar. It was confirmed that the 57mm large-diameter headed bar anchored at the external beam-column joint showed sufficient anchoring capacity even under cyclic loading.

Keywords: Headed bar, Large diameter steel bar, Anchorage Capacity, External beam-column joint, Cyclic loading

1. 서론

철근콘크리트 구조물의 대형화 및 고층화로 인하여 지름 43mm 이상의 대구경 철근의 사용이 증가하고 있다. 대구경 철근은 큰 지름으로 인하여 긴 정착길이가 요구된다. 대구경 철근을 직선 정착할 경우, 긴 정착길이에 의하여 효율적인 단면 설계 및 충분한 정착길이의 확보가 어려운 문제점이 있다. 또한 대구경 철근을 갈고리 정착할 경우, 직선 정착에 비하여 정착길이를 짧게 할 수 있지만, 갈고리 연장부로 인하여 배근이 어렵거나 철근 간의 간섭 등이 발생할 수 있다. 그러나 대구경 철근을 확대머리철근으로 정착하게 될 경우, 정착길이를 크게 줄일 수 있으며, 갈고리 연장부가 없어 배근의 혼잡 문제 등을 줄일 수 있다.

특히 외부 보-기둥 접합부에 대구경 확대머리철근을 정착할 경우, 정착길이 감소로 인하여 접합부 단면을 효율적으로 설계할 수 있으며, 철근 간의 간섭이 줄어들어 시공이 용이한 장점이 있다.

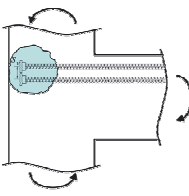
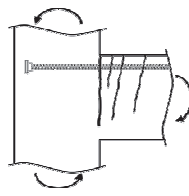
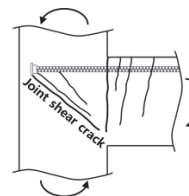
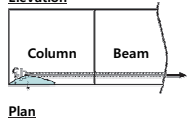
이에 본 연구에서는 57mm 대구경 확대머리철근을 사용한 외부 보-기둥 접합부를 대상으로 반복하중실험을 수행하여, 접합부에 정착된 대구경 확대머리철근의 정착성능을 평가하고자 한다.

2. 실험 계획

2.1 변수 설정

확대머리철근이 정착된 외부 보-기둥 접합부에서 발생할 수 있는 파괴유형은 Table 1과 같이 크게 3가지 형태로 구분할 수 있다.

Table 1 Failure modes of exterior beam-column joint

Side-face blowout failure of joint	Flexural yielding failure of beam	Shear failure of joint
		
Elevation		
		
Plan		

¹정희원, 경남대학교 소방방재공학과 교수

²정희원, 대전대학교 스마트건축토목공학부 교수

³정희원, 한양대학교 건축공학부 교수

⁴정희원, 한양사이버대학교 디지털건축도시공학과 교수

*Corresponding author: chk7796@kyungnam.ac.kr

Fire and Disaster Prevention Engineering, KyungnamUniversity, Changwon, 51767, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2022년 1월 31일까지 학회로 보내주시면 2022년 2월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

첫 번째 유형은 접합부 면에서 발생할 수 있는 측면파열 파괴이다. 이는 확대머리철근의 머리부분에서 발생하는 지압력이 피복 콘크리트를 밀어냄에 따라 피복 콘크리트가 탈락되면서 발생하는 정착파괴유형 중 하나이다. 주로 피복두께가 얇은 접합부의 측면에서 발생하며, 매우 취성적으로 파괴되는 특성이 있다.

두 번째 유형은 보의 휨 항복파괴이다. 이는 확대머리철근의 정착이 충분히 이루어짐에 따라 정착파괴가 발생하지 않으며, 철근의 항복과 함께 소성힌지 발생으로 인하여 충분한 변형을 보이며 보가 휨 항복하여 파괴되는 유형이다. 이는 취성적인 측면파열파괴와 달리 보 및 접합부의 충분한 변형을 나타내는 연성적인 파괴 특성을 보인다.

세 번째 유형은 접합부의 전단파괴이다. 이는 접합부 단면이 작거나 전단보강근의 충분하지 않을 경우 접합부에 나타나는 파괴유형이다. 이는 확대머리철근이 충분한 정착성능을 가지고 있음에도 철근이 항복하기 이전에 접합부의 내력이 부족하여 파괴되는 유형이다.

따라서 본 연구에서는 57mm 대구경 확대머리철근의 정착성능을 평가하기 위하여, 실험체의 최종 파괴유형이 접합부의 측면파열파괴 또는 보의 휨 항복파괴로 유도될 수 있도록 실험변수를 설정하였다. 주요 실험변수로는 콘크리트 압축강도, 측면피복두께 및 횡보강근 유무 등으로 선정하였다.

현행 구조설계기준에서는 확대머리철근의 정착길이(l_d) 설계식을 콘크리트 압축강도(f_{ck}), 철근 지름(d_b) 및 철근 항복강도(f_y)의 비로 표현하고 있다. 기준에서는 콘크리트 인장강도와 정착성능의 상관관계를 고려하여, 정착길이가 콘크리트 압축강도에 반비례하는 것으로 나타내고 있다. 이는 콘크리트 압축강도가 증가할수록, 확대머리철근의 정착길이는 짧아짐을 의미하며, 본 연구에서도 이러한 상관관계를 검증하고자 콘크리트 압축강도를 주요 실험변수로 설정하였다.

구조설계기준에서 제시하고 있는 확대머리철근의 정착길이 설계식 및 제한조건들은 대부분 철근 지름에 대한 비로 표현하고 있다. 특히, 측면피복두께는 철근 지름의 2배($2d_b$) 이상으로 규정하고 있다. Chun의 연구결과에 따르면 측면파열 파괴는 측면피복두께에 큰 영향을 받는 것으로 나타나 있다 (Chun et al., 2017). 따라서 본 연구에서는 실험체의 측면파열 파괴를 유도하고, 측면피복두께의 영향력을 분석하기 위하여 측면피복두께를 주요 실험변수로 설정하였다.

확대머리철근의 정착구간에 배근된 횡보강근의 영향을 평가하기 위하여 여러 연구자들에 의하여 다양한 실험이 수행되었다. Wallace 및 Thompson은 실험을 통하여 횡보강근이 정착강도 향상에 영향을 주는 것으로 주장하고 있으나, DeVries는 횡보강근은 정착강도에 큰 영향을 주지 않으나, 파괴 후 잔존강도 상승 및 연성능력 향상에는 기여한다고 주장하고 있

다(Wallace et al., 1998; Thompson, 2002; DeVries, 1996). 이에 본 연구에서는 확대머리철근의 정착성능에 대한 횡보강근의 영향력을 분석하기 위하여, 횡보강근을 주요 실험변수로 설정하였다.

이를 바탕으로 본 연구에서는 모든 실험체의 최종 파괴유형을 접합부의 측면파열파괴 또는 휨 항복파괴로 한정하고, 주요 실험변수에 대한 범위를 설정하였다. 확대머리철근의 정착성능에 영향을 주는 철근의 항복강도(f_y)는 550MPa로 제한하였으며, 콘크리트 압축강도(f_{ck})의 영향력을 평가하기 위하여 압축강도는 42MPa와 70MPa로 2가지로 설정하였다. 측면파열파괴를 유도하고, 그 영향력을 평가하기 위하여 측면피복두께(C_s)는 $1d_b$, $2d_b$ 의 2가지로 설정하였다. 또한 횡보강근의 영향력을 평가하기 위하여 횡보강근지수(K_{tr})는 $0d_b$, $1d_b$ 의 2가지로 설정하였다.

2.2 실험체 설계

주요 실험변수로 설정된 파괴유형, 콘크리트 압축강도, 측면피복두께 및 횡보강근지수 등에 따라 총 4개의 외부 보-기둥 접합부 실험체를 계획하였다.

기본 실험체(EJ-C42-L15-S2-T0)의 철근의 항복강도는 550MPa이며, 콘크리트 압축강도는 42MPa이다. ACI 318-11의 확대머리철근 설계기준에 따라 기본 실험체의 확대머리철근 정착길이는 $15d_b$ 로 설계하였으며, 측면피복두께는 $2d_b$ 로 설계하였다.

콘크리트 압축강도의 영향력을 분석하기 위한 실험체(EJ-C70-L13-S2-T0)는 철근의 항복강도는 기본 실험체와 동일하나, 콘크리트 압축강도는 70MPa로 설계하였다. 설계기준에 따라 실험체의 확대머리철근 정착길이는 $13d_b$ 로 설계하였으며, 측면피복두께는 기본 실험체와 동일한 $2d_b$ 로 설계하였다.

측면파열파괴를 유도하고 측면피복두께 및 횡보강근의 영향력을 분석하기 위하여, 측면피복두께가 $1d_b$ 인 실험체는 무보강 실험체 및 횡보강 실험체 2가지로 구분하여 계획하였다. 측면피복두께가 $1d_b$ 인 2가지 실험체는 기본 실험체(EJ-C42-L15-S2-T0)와 동일한 철근의 항복강도와 콘크리트 압축강도로 설계하였다.

무보강 실험체(EJ-C42-L15-S1-T0)는 측면피복두께의 영향력을 분석하기 위하여 기본 실험체와 동일하게 확대머리철근의 정착길이는 $15d_b$ 로 계획하였고, 측면피복두께는 기본 실험체와 달리 $1d_b$ 로 계획하였으며, 정착구간에 횡보강근은 배근하지 않았다. 횡보강 실험체(EJ-C42-L15-S1-T1)는 확대머리철근 정착길이 및 측면피복두께는 무보강 실험체와 동일하나, 횡보강근의 영향력을 분석하기 위하여 확대머리철근의

정착구간에 U-Type의 횡보강근을 확대머리철근과 직교하게 배근하였으며, 횡보강근지수는 $1d_b$ 로 설정하였다.

모든 실험체의 보는 동일한 단면 크기를 가지도록 설계하였으나, 기둥의 단면 크기는 확대머리철근 정착길이나 측면 피복두께에 따라 다르게 설계되었다. 접합부는 ACI 352-02의 구조설계기준에 따라 설계되었으며, 접합부의 전단파괴가 발생하지 않도록 접합부의 횡보강철근량을 설계기준에 따라 산정하여 접합부를 설계하였다.

이와 같이 주요 실험변수에 따라 총 4개의 외부 보-기둥 접합부 실험체를 계획하였다. 실험체별 주요 상세를 Fig. 1 및 Table 1에 자세히 정리하였으며, 실험체의 접합부 단면 및 평면을 실험변수에 따라 각각 구분하여 나타내었다.

2.3 실험 방법

반복하중을 받는 외부 보-기둥 접합부에 정착된 대구경 확대머리철근의 정착성능을 평가하기 위하여 Fig. 2와 같이 실험

및 가력방법을 계획하였다. 반복하중 가력의 편의성을 위하여 Fig. 2와 같이 기둥은 반력바닥면에 배치하고, 기둥 양쪽 단부의 회전이 가능하도록 하였다. 보는 반력벽과 평행한 방향으로 배치하였으며, 반력벽에 설치된 가력장치를 이용하여 보 단부

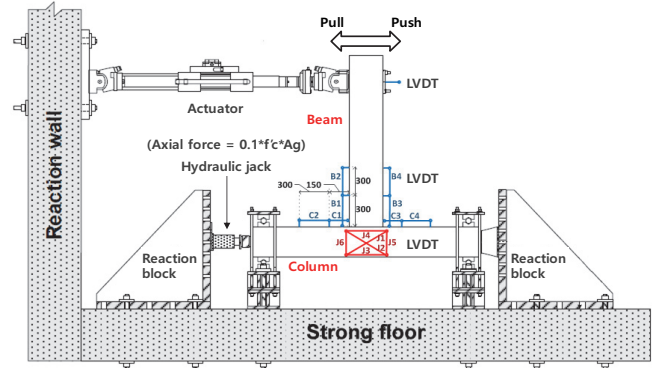


Fig. 2 Test setting of exterior beam-column joint

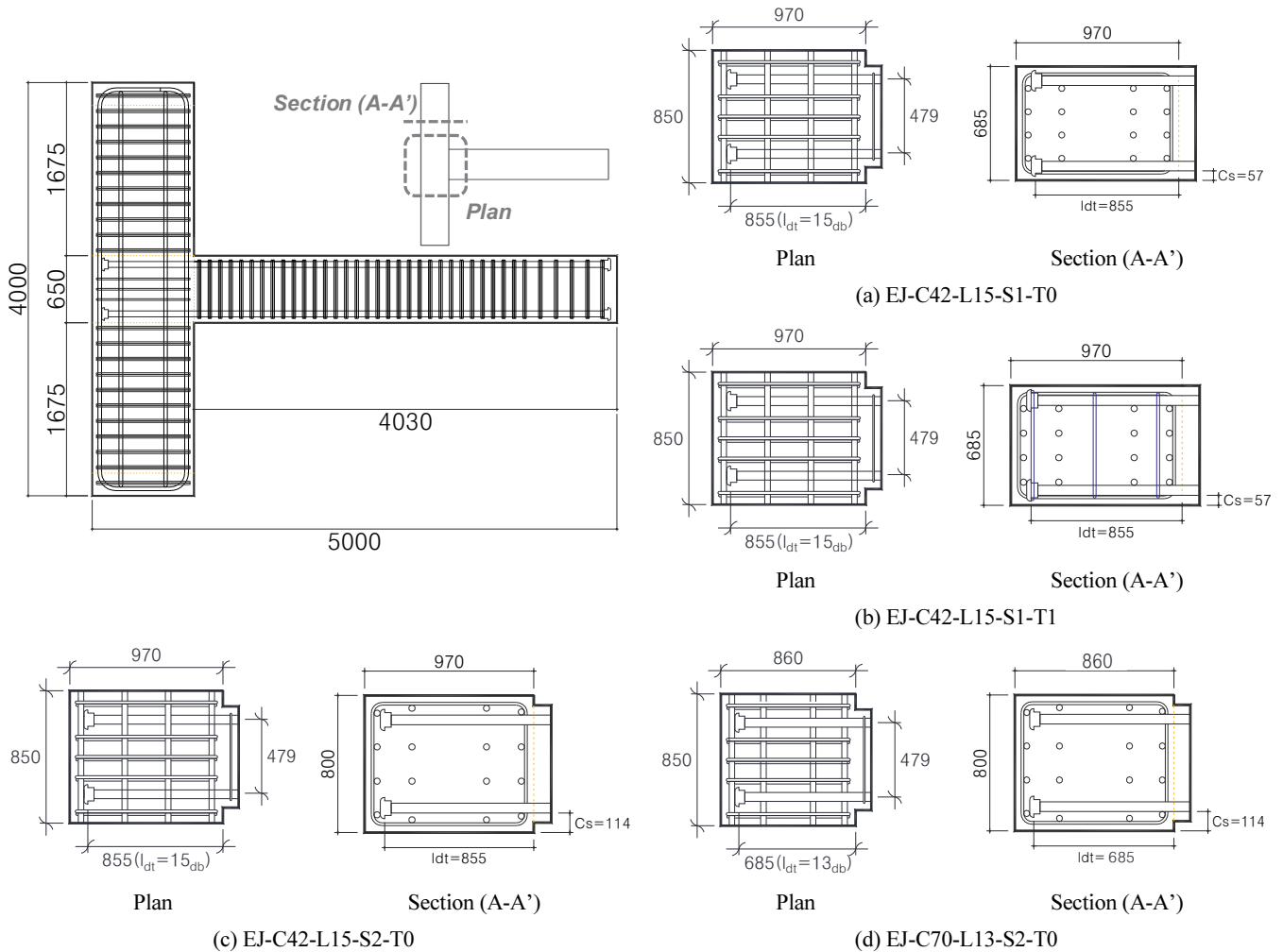


Fig. 1 Detail of exterior beam-column joint specimens

를 정방향 및 부방향으로 가력할 수 있도록 계획하였다.

확대머리철근이 정착된 접합부를 실제 외부 보-기둥 접합부와 동일하게 모사하기 위하여, 기둥에 일정한 크기의 축력을 가력한 상태에서 보에 반복하중을 가력할 수 있도록 계획하였다. 또한 접합부에 정착된 확대머리철근이 반복하중의 가력방향에 따라 인장력과 압축력을 반복하여 받을 수 있도록 가력 방법을 계획하였다. 보에 가력되는 반복하중은 ACI 352에서 제시하고 있는 기준에 따라 0.2%에서 7.0%까지 증가하도록 계획하였다(ACI, 2002). 첫 Drift 구간은 탄성구간에 존재하도록 하도록 계획하였으며, 다음 Drift 구간은 이전 Drift 구간의 5/4와 3/2 사이의 비율로 증가할 수 있도록 Fig. 3과 같이 반복하중을 계획하였다.

정착성능을 평가하기 위하여, 확대머리철근에 변형률 게이지를 부착하였다. 모멘트 최대지점인 위험단면과 확대머리면 사이에 게이지를 철근 지름의 2배의 일정한 간격($2d_b$)으로 부착하여, 확대머리철근에서 발현되는 지압강도, 부착강도 및 정착강도를 측정할 수 있도록 계획하였다.

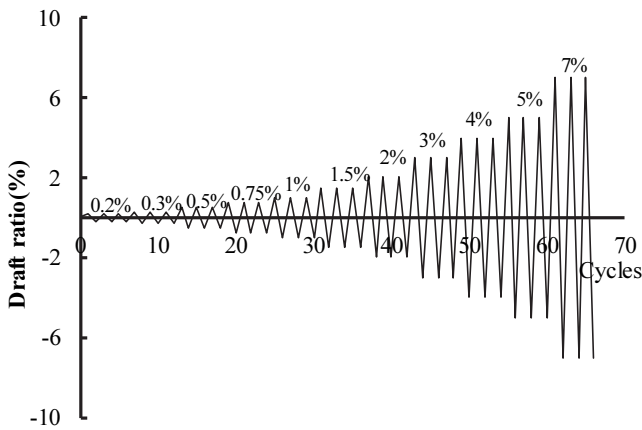


Fig. 3 History of cyclic load

3. 실험 결과

3.1 파괴 양상

대구경 확대머리철근을 적용한 외부 보-기둥 접합부 실험체의 파괴 양상은 계획한 것처럼 크게 두 가지 형태로 나타났다. 첫 번째는 확대머리철근의 항복 이후 확대머리철근이 정착된 접합부에서 측면파열파괴가 발생하는 형태이며, 두 번째는 접합부의 측면파열파괴 및 전단파괴 없이 보에서 휨 항복하는 파괴 형태이다.

측면파복두께가 $1d_b$ 인 실험체는 Fig. 4(a), (b)와 같이 확대머리철근의 항복 이후 접합부에서 측면파열파괴가 발생하여 최종 파괴되었다. 측면파복두께가 $2d_b$ 인 실험체에서 Fig. 4(c)와 같이 측면파열파괴가 발생하지 않았으며, 확대머리철근의 항복 이후 보에서 소성힌지가 발생하는 보의 휨 항복파괴로 최종 파괴되었다.

EJ-C42-L15-S1-T0 실험체는 측면파복두께가 $1d_b$ 이며, 횡보강근이 없는 무보강 실험체이다. EJ-C42-L15-S1-T1 실험체는 측면파복두께가 $1d_b$, 횡보강근지수가 $1d_b$ 인 횡보강 실험체이다. 두 실험체는 서로 다른 파괴 양상을 보였다. 무보강 실험체(EJ-C42-L15-S1-T0)는 확대머리철근의 항복 시작 이후 공칭 휨강도에 도달하였으나, 보의 소성힌지가 발생하기 전에 확대머리철근의 지압력이 커짐에 따라, Fig. 4(a)와 같이 접합부 오른쪽 확대머리철근의 머리부분에서 측면파열파괴가 발생하며, 하중이 급격히 감소하는 취성적인 파괴 양상을 보였다.

동일한 측면파복두께를 가지나, 확대머리철근의 정착부에 일정한 간격으로 U Type의 횡보강근이 배치된 횡보강 실험체(EJ-C42-L15-S1-T1)는 정착된 모든 확대머리철근이 항복강도에 도달하였으며, Fig. 4(b)와 같이 접합부 확대머리철근의 머리부분에서 측면파열파괴가 발생하며 최종 파괴되었다. 무

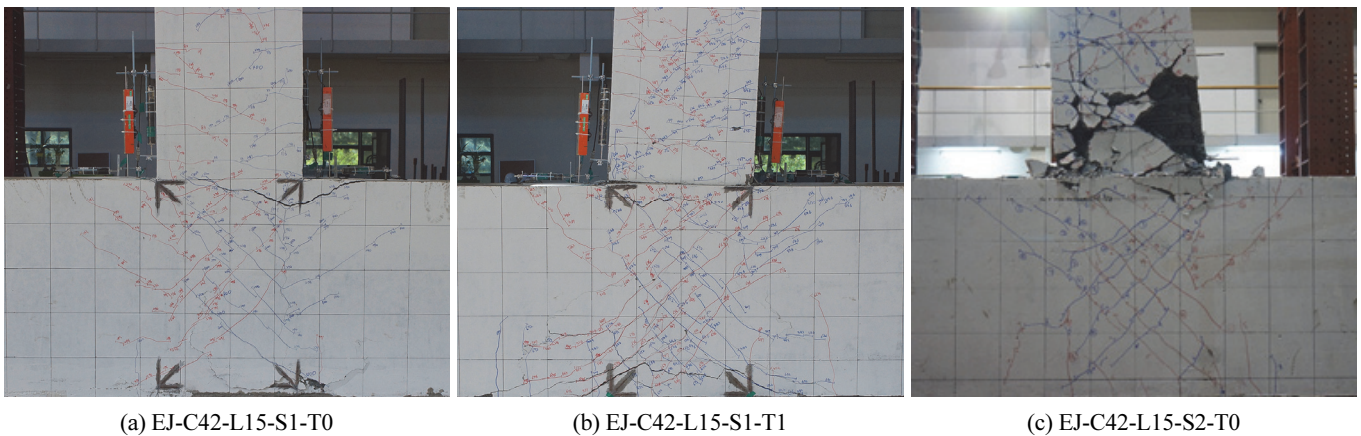


Fig. 4 Crack and failure modes of the exterior beam-column joint

보강 실험체와 달리 취성적인 파괴 양상은 나타나지 않았으며, 확대머리철근의 양쪽 모두에서 측면파열파괴가 발생되었다.

EJ-C42-L15-S2-T0와 EJ-C70-L13-S2-T0 실험체는 모두 측면피복두께가 $2d_b$ 인 실험체이나, 서로 다른 콘크리트 압축강도를 가지는 실험체들이다. 그러나 파괴형태는 두 실험체 모두 콘크리트의 강도에 관계없이 보에서 충분한 변형으로 인한 소성힌지가 나타났으며, 최종적으로는 보의 휨 항복파괴로 파괴되었다. 특히 콘크리트 압축강도가 70MPa로 설계된 EJ-C70-L13-S2-T0 실험체는 확대머리철근 정착길이가 $13d_b$ 로 기본 실험체에 비하여 정착길이가 짧게 설계되었음에도 측면파열파괴와 같은 정착파괴없이 보의 휨 항복파괴 형태를 나타냈다.

3.2 하중-변위 관계

Fig. 5(a)는 측면피복두께가 $1d_b$ 이고, 횡보강근이 배근되지

않는 무보강 실험체(EJ-C42-L15-S1-T0)의 하중-변위 곡선이 다. 실험체는 1.4%의 변위에서 확대머리철근의 항복이 시작되었으며, 1.6% 변위에서 보의 공칭 휨강도 이상의 내력을 발현하였다. 이후 2.0% 변위에서 최대하중에 도달함과 동시에 접합부 면에서 측면파열파괴가 발생하면서 순간적으로 하중이 급격히 감소하는 경향을 보이는 매우 취성적인 거동을 나타냈다. 보의 공칭 휨강도 이상의 내력이 발현되었으나, 측면파열파괴로 인하여 충분한 변형을 발생하지 못하고 최종 파괴되었다.

Fig. 5(b)는 측면피복두께가 $1d_b$ 이고, U Type의 횡보강근이 배근된 횡보강 실험체(EJ-C42-L15-S1-T1)의 하중-변위 곡선이다. 실험체는 1.4%의 변위에서 확대머리철근의 항복이 시작되었으며, 1.7% 변위에서 보의 공칭 휨강도 이상의 내력을 발현하였다. 이후 2.0% 변위에서 최대하중에 도달하였다. 최대하중 도달 이후 무보강 실험체와 달리 연성적인 거동을 보

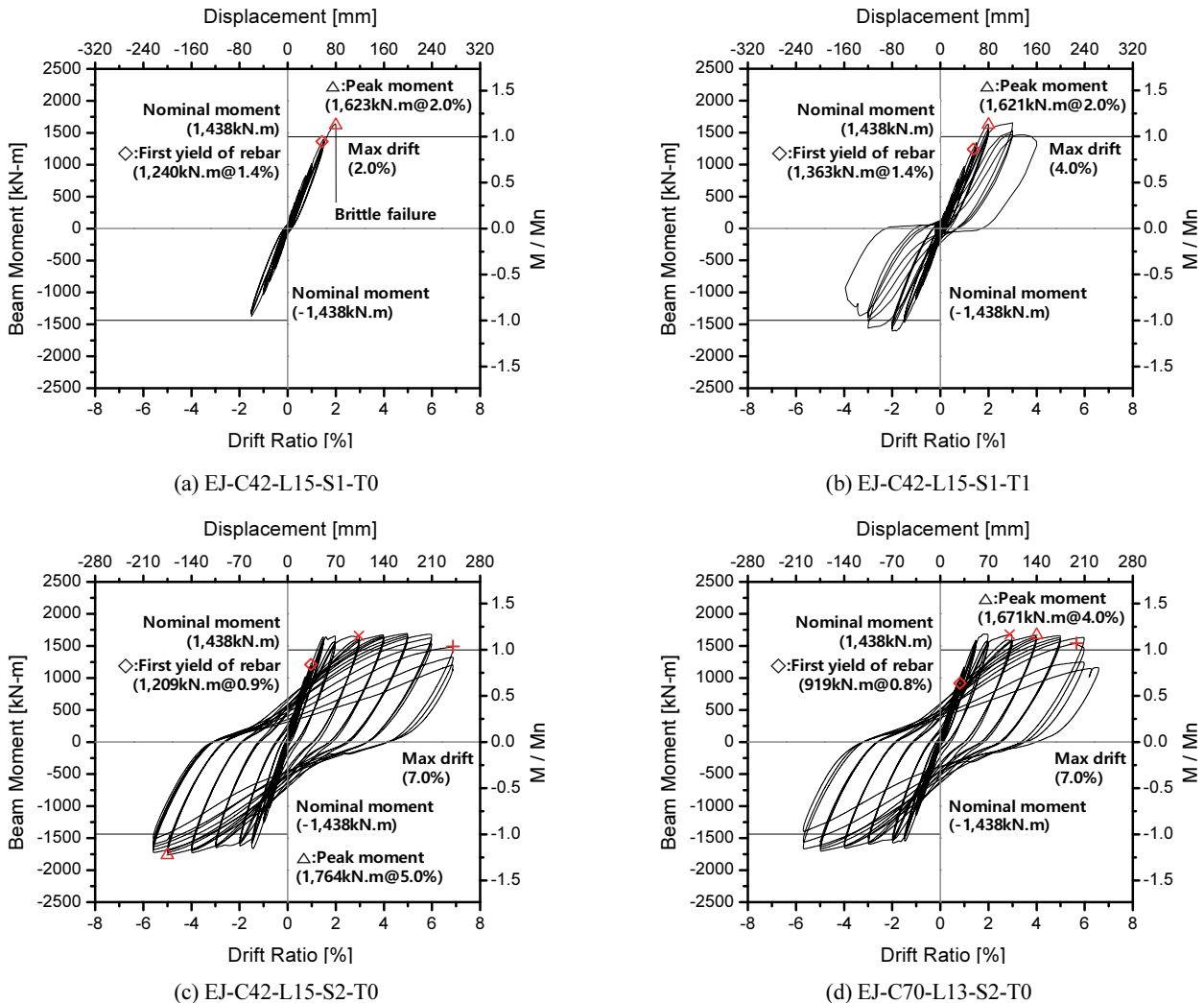


Fig. 5 Load-displacement curve of the exterior beam-column joint

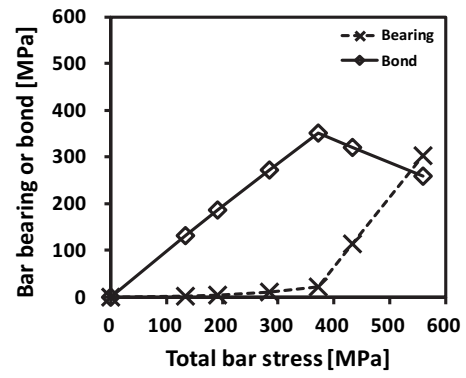
Table 2 Test results of exterior beam-column joint

Specimens	Beam	Column	Con'c	Headed bar			Cover thickness	Transverse rebar	Test result				
	$b_b \times h_b$ [mm]	$b_c \times h_c$ [mm]	f_{ck} [MPa]	f_y [MPa]	l_{dt} [mm]	d_b [mm]	c_s [mm]	K_{tr} [d_b]	M_y [kN.m]	M_n [kN.m]	M_u [kN.m]	θ_y [rad]	θ_u [rad]
EJ-C42-L15-S1-T0	685 ×650	685 ×970	42	550	855 (15 d_b)	57	57 (1 d_b)	-	1,240	1,438	1,623	1.38	2.00
EJ-C42-L15-S1-T1	685 ×650	685 ×970	42	550	855 (15 d_b)	57	57 (1 d_b)	1.0 d_b	1,363	1,438	1,621	1.43	1.98
EJ-C42-L15-S2-T0	685 ×650	800 ×970	42	550	855 (15 d_b)	57	114 (2 d_b)	-	1,209	1,438	1,764	0.96	4.98
EJ-C70-L13-S2-T0	685 ×650	800 ×860	70	550	741 (13 d_b)	57	114 (2 d_b)	-	919	1,438	1,671	0.81	4.00

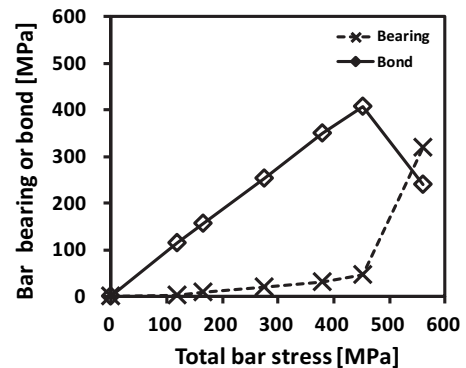
였다. 2.0% 변위 이후, 보의 공칭 휨강도 이상의 내력을 발현하며, 보의 휨파괴가 시작되었다. 그러나, 4.0% 변위에서 접합부 면에서 측면파열이 서서히 나타나면서, 내력이 최대하중 대비 약 25% 정도까지 감소되며, 측면파열파괴로 최종 파괴되었다.

Fig. 5(c)는 측면피복두께가 2 d_b 이고, 콘크리트 압축강도가 42MPa인 EJ-C42-L15-S2-T0 실험체의 하중-변위곡선이다. 이 실험체는 0.9% 변위부터 확대머리철근의 항복이 시작되었으며, 1.2% 변위에서 보의 공칭 휨강도 이상의 내력을 발현하였다. 이후 철근의 항복과 함께 보의 공칭 휨강도 이상의 내력을 발현하며, 내력의 큰 증진 없이 변형만 증가하는 전형적인 보의 휨 항복파괴 형태를 보였다. 측면피복두께가 1 d_b 인 두 실험체에 비하여 매우 큰 변형능력을 나타내었다. 또한 철근의 항복 시점도 측면피복두께가 1 d_b 인 실험체들에 비해 낮은 변위 단계에서 발생함을 확인할 수 있다. 5.0% 변위에서 최대 하중에 도달하였으며, 이후 보의 소성힌지 발생 부분에서 콘크리트의 압괴가 진전되면서 내력이 감소하는 경향을 보이며, 최종 파괴되었다.

Fig. 5(d)는 측면피복두께가 2 d_b 이고, 콘크리트 압축강도가 70MPa인 EJ-C70-L13-S2-T0 실험체의 하중-변위곡선이다. 이 실험체는 0.8% 변위부터 확대머리철근의 항복이 시작되었으며, 1.1% 변위에서 보의 공칭 휨강도 이상의 내력을 발현하였다. 이후 철근의 항복과 함께 보의 공칭 휨강도 이상의 내력을 발현하며, 내력의 큰 증진 없이 변형만 증가하는 전형적인 보의 휨항복파괴 형태를 보였다. 이와 같이 전체적인 거동은 콘크리트 압축강도가 42MPa인 EJ-C42-L15-S2-T0 실험체와 유사하게 나타났으나, EJ-C42-L15-S2-T0 실험체에 비하여 짧은 정착길이(13 d_b)로 인하여 작은 접합부 단면을 가짐에 따라 7% 변위 단계에서 접합부의 균열이 진전되면서, 내력이 크게 저하되는 경향을 보였다.



(a) EJ-C42-L15-S1-T0



(b) EJ-C42-L15-S1-T1

Fig. 6 Bearing and bond stress of headed bar

3.3 정착 거동

확대머리철근의 정착거동을 분석하기 위하여, 측면파열파괴로 최종파괴된 실험체를 대상으로 확대머리철근의 지압응력과 부착응력을 발현강도와 비교하였다. Fig. 6(a)는 측면피복두께가 1 d_b 이고, 횡보강근이 배근되지 않는 무보강 실험체 (EJ-C42-L15-S1-T0)의 결과이며, Fig. 6(b)는 측면피복두께가 1 d_b 이고, U Type의 횡보강근이 배치된 횡보강 실험체

(EJ-C42-L15-S1-T1)의 결과이다. 그래프의 x축은 확대머리 철근의 발현강도를 나타내고 있으며, y축은 지압응력 또는 부착응력을 나타내고 있다.

초기에는 발현강도의 대부분을 부착응력이 기여하고 있음을 확인할 수 있다. 부착응력이 최고점에 도달하기 전까지는 발현강도가 증가함에 따라 부착응력 또한 증가하는 경향을 보였다. 그러나, 최대 부착응력 이후에는 부착응력의 감소와 함께 지압응력이 급격하게 증가하는 경향을 보였다. 이는 발현강도가 항복강도에 가까워짐에 따라 위험단면 근처에서부터 쪼갬균열이 발생하며, 부착응력의 손실이 발생하기 때문이라고 판단된다.

횡보강근의 유무에 따라 지압응력 및 부착응력은 서로 다른 경향을 보였다. 횡보강 실험체(Fig. 6(b))는 무보강 실험체(Fig. 6(a))에 비하여 부착응력이 더 높게 발현되었다. 지압응력이 급격히 증가하는 시점에 해당하는 확대머리철근의 발현강도 또한 더 높다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 횡보강근은 쪼갬균열의 발생을 억제시키는 역할을 수행하며, 확대머리철근의 부착응력을 향상시키며, 부착응력의 손실 시점을 지연시키기 때문이라고 판단된다.

Fig. 7은 무보강 실험체의 균열 및 최종파괴형태를 나타내고 있다. 초기 하중에서 위험단면에서부터 확대머리철근의 정착방향을 따라 쪼갬균열이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

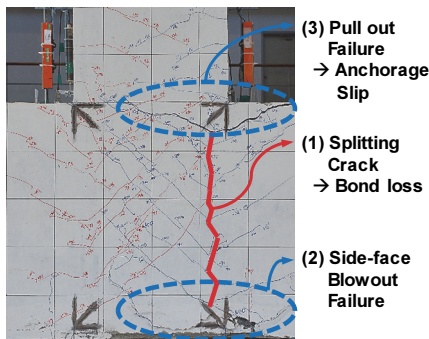


Fig. 7 Crack and failure mode of side-face blowout

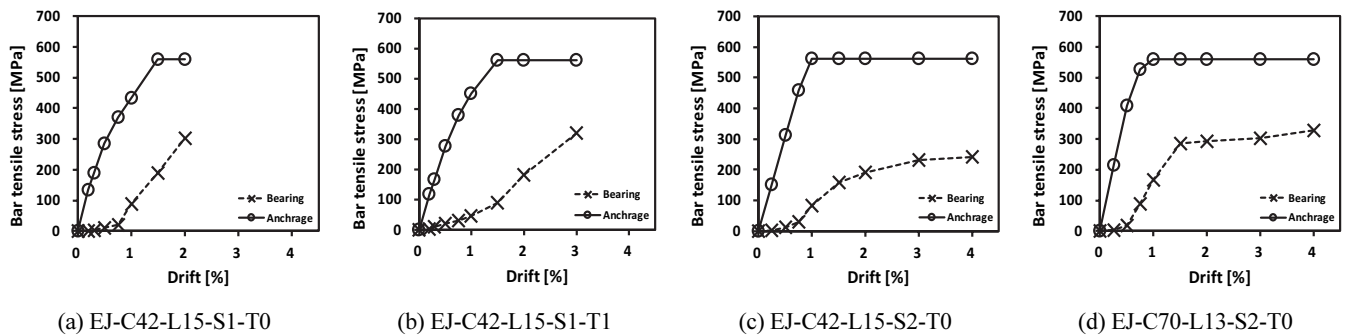


Fig. 8 Bearing and anchorage stress of headed bar versus drift

하중이 점차 증가함에 따라 쪼갬균열이 진전되고, 최종적으로 확대머리철근 머리부분에서 측면파열파괴가 발생함과 동시에 위험단면부분에서 뿔힘파괴가 발생되며, 확대머리철근의 슬립까지 유발됨을 확인할 수 있었다.

이러한 파괴가 발생하는 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다. 하중 증가에 따라 쪼갬균열이 진전되며, 이는 확대머리철근의 부착응력의 소실로 이어진다. 이러한 부착응력의 소실은 확대머리철근의 실제적인 정착구간을 짧아지게 하는 역할을 한다. 최대 부착응력 이후에는 모든 정착구간에 쪼갬균열이 발생하게 되고 부착응력이 급격하게 소실되면서, 확대머리철근의 머리부분에서 소실된 부착응력만큼의 지압응력이 발현하게 된다. 급격히 증가한 지압응력이 피복두께가 얇은 면의 콘크리트를 밀어내며, 측면파열파괴를 발생되고, 이와 동시에 위험단면부위에서 확대머리철근의 뿔힘파괴까지 발생하여 최종적으로 파괴된다.

Fig. 8은 위험단면에서 측정된 확대머리철근의 발현강도와 확대머리철근의 머리부분에서 측정된 지압응력을 변위 별로 비교한 것이다. 모든 실험체에서 초기단계에는 지압응력은 작게 나타나고 있으며, 발현강도에 대한 지압응력의 기여분 또한 작은 것으로 나타났다. 그러나 확대머리철근이 항복 시점에 가까워질수록 지압응력이 크게 증가하고, 발현강도에 대한 지압응력 기여분 또한 증가하는 경향을 보였다.

측면파열파괴로 파괴된 실험체는 Fig. 8(a), (b)와 같이 변위가 증가함에 따라 최종파괴시점까지 지압응력이 급격하게 증가하는 경향을 보였다. 또한 두 실험체 모두 비슷한 수준의 지압응력이 발현되었지만, 횡보강 실험체(Fig. 8(b))의 지압응력이 무보강 실험체(Fig. 8(a))에 비하여 완만하게 증가하는 경향을 보이며, 더 많은 변위(3.0%)에서 최대 부착응력이 발현되었다. 이는 횡보강근이 정착성능 향상보다는 변형능력 향상에 더 기여하고 있음을 보여준다. 측면파열파괴가 발생하지 않는 실험체는 Fig. 8(c), (d)와 같이 지압응력이 증가하다가 일정한 시점 이후에는 변위가 증가하더라도 지압응력의 큰 증가 없이 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 이러

한 이유로 철근 항복 이후에도 측면파열과괴가 발생하지 않고, 반복하중에 대하여 접합부의 충분한 변형이 가능한 것으로 판단된다. 또한 측면피복두께가 $1d_b$ 인 실험체(Fig. 8(a), (b))에서는 약 1.5% 변위에서 확대머리철근이 항복하였으며, 2.0% 또는 3.0% 변위까지 확대머리철근의 정착성능이 발현되었다. 그러나, 측면피복두께가 $2d_b$ 인 실험체(Fig. 8(c), (d))에서는 1.0% 변위 이전에 확대머리철근이 항복하였으며, 4.0% 이상의 변위까지 확대머리철근의 정착성능이 발현되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 측면피복두께의 증가가 확대머리철근의 정착성능뿐만 아니라 변형능력 향상에도 기여하고 있음을 보여준다.

4. 결론

본 연구에서는 주요 실험변수를 대상으로 총 4개의 외부 보-기둥 접합부 실험체를 계획하고, 반복하중실험을 통하여 57mm 대구경 확대머리철근의 정착성능을 평가하였다. 이를 통하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 반복하중 하에서 측면피복두께는 정착성능뿐만 아니라 연성능력 향상에도 기여하고 있으나, 횡보강근은 정착성능보다 연성능력 향상에 기여하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 콘크리트 압축강도의 증가는 정착성능을 향상시키고, 정착길이를 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.
- (2) 57mm 대구경 확대머리철근을 사용한 외부 보-기둥 접합부의 정착성능 및 연성능력 확보에 가장 큰 영향을 주는 요소는 측면피복두께이며, 이를 확보하기 위하여 측면피복두께가 최소 $2d_b$ 이상이어야 함을 확인할 수 있었다.
- (3) 모든 실험체의 확대머리철근은 최종파괴 이전에 모두 항복하였으며, 이를 통하여 외부 보-기둥 접합부에 정착된 57mm 대구경 확대머리철근은 반복하중 하에서도 충분한 정착성능을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(21CTAP-C164325-01)

References

1. ACI 318-11 (2011), Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills.
2. ACI 352-02 (2002), Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structure, ACI, Farmington Hills.
3. Bashandy, T. R. (1996), Application of Headed Bars in Concrete Members, PhD Dissertation, The University of Texas at Austin.
4. Chun, S. C., Choi, C. S., and Jung, H. S. (2017), Side-face blowout failure of large-diameter high-strength headed bars in beam-column joints, *ACI Structural Journal*, Vol. 114, No. 1
5. DeVries, R. A. (1996), Anchorage of Headed Reinforcement in Concrete, PhD Dissertation, The University of Texas at Austin.
6. Furche, J., and Eligehausen, R. (1991), Lateral Blow-Out Failure of Headed Studs Near a Free Edge, *ACI Internatinal*, SP-130, Farmington Hills.
6. Thompson, M. K. (2002), The Anchorage Behavior of Headed Reinforcement in CCT Nodes and Lap Splices, PhD Dissertation, The University of Texas at Austin.
7. Wallace, J. W., McConnell, S. W., Gupta, P., and Cote, P. A. (1998), Use of Headed Reinforcement in Beam-Column Joints Subjected to Earthquake Loads, *ACI Structural Journal*, 95(5).

Received : 09/24/2021

Revised : 10/18/2021

Accepted : 11/02/2021

요 지 : 본 연구에서는 반복하중을 받는 외부 보-기둥 접합부에 정착된 57mm 확대머리철근의 정착성능을 평가하였다. 총 4개의 외부 보-기둥 접합부 실험체를 계획하였으며, 콘크리트 압축강도, 측면피복두께, 횡보강근비 및 파괴유형을 주요 실험 변수로 설정하여 정착성능평가를 수행하였다. 성능평가 결과, 접합부에 정착된 대구경 확대머리철근의 정착성능에 가장 큰 영향을 주는 요소는 측면피복두께 및 횡보강근으로 나타났으며, 외부 보-기둥 접합부에 정착된 57mm 대구경 확대머리철근은 반복하중하에서도 충분한 정착성능이 발현되는 것을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 확대머리철근, 대구경 철근, 정착성능, 외부 보-기둥 접합부, 반복하중