

20d_b 정착길이를 가지는 SD700 갈고리철근과 확대머리철근의 정착성능 실험

김호영* · 심혜정**

Anchorage performance tests of SD700 hooked bar and headed bar with an anchorage length of 20d_b

Kim Ho Young* · Sim Hye Jung**

Abstract: With the increase of the skyscraper center, the development of large-diameter and high-strength reinforcing bars is being carried out to solve the dense reinforcement. In case of the steel reinforced concrete with a small cross section such as beam-column joints, the development length becomes short when straight bars are used. Therefore, it is possible to solve the problem that the development length becomes short by using the bearing strength of the hooked bar and headed bar. In this study, the exterior beam-column joint test of SD700 hooked bar and headed bar with anchorage length of 20d_b was conducted to extend the development length limitation of hooked bar and headed bar. As a result of the evaluation of the anchorage strength using the design equation by KCI, the average of the [measured value]/[predicted value] ratio was 1.31 for the hooked reinforcing bars. In the case of headed bars, the average of the [measured value]/[predicted value] ratio was 1.12. In addition, in order to compare the anchorage performance of the hooked bar and the headed bar, the measured values were divided by the square root of the compressive strength of the concrete to compare the anchorage strength. Under the same conditions, the anchorage strength of headed bars was 8.5% higher than the hooked bars.

키 워 드 : 외부 보-기둥 접합부, 갈고리철근, 확대머리철근, 정착길이

Key Words : Exterior beam-column joint, Hooked bar, Headed bar, Development length

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

초고층 건축물이 증가하면서, 철근 밀집 부위의 과밀배근을 해소하기 위해 대구경 및 고강도 철근의 개발이 이루어지고 있다.

슬래브-벽체 접합부, 보-기둥 접합부와 같은 작은 단면의 철근 밀집 부위에서는 직선철근을 사용할 경우, 정착길이가 부족해진다. 이러한 경우, 갈고리철근 및 확대머리철근과 같이 지압에 의한 정착을 이용하면 정착길이가 부족해지는 문제를 해결할 수 있다.

콘크리트구조기준(KCI, 2012)은 표준갈고리철근 갖는 인장 이형철근의 정착길이를 아래와 같이 규정하고 있다.

$$l_{dh} = 0.24 \frac{f_y d_b}{\sqrt{f_{ck}}} \quad (1)$$

여기서, l_{dh} 는 갈고리철근의 정착길이(mm), f_{ck}

는 콘크리트 압축강도(MPa), f_y 는 철근의 항복강도(MPa), d_b 는 철근지름(mm)이다. 설계기준항복강도가 550MPa을 초과하는 철근을 사용하는 경우에는 띠철근에 대한 보정계수를 적용할 수 없도록 규정되어 있고, 철근의 설계기준항복강도(f_y)는 600MPa이하로 규정되었다.

또한 확대머리 이형철근의 인장에 대한 정착길이는 다음과 같이 규정하고 있다.

$$l_{dt} = 0.19 \frac{f_y d_b}{\sqrt{f_{ck}}} \quad (2)$$

여기서, l_{dt} 는 확대머리철근의 정착길이(mm), f_{ck} 는 콘크리트 압축강도(MPa), f_y 는 철근의 항복강도(MPa), d_b 는 철근지름(mm)이다. 콘크리트 압축강도는 40MPa이하, 철근의 설계기준항복강도는 400MPa이하, 철근지름은 35mm이하로 규정하고 있다.

* 영남대학교 건설시스템공학과

** 인천대학교 도시과학대학 건축학과

이 연구에서는 이러한 갈고리철근 및 확대머리철근의 정착길이 설계식의 철근항복강도 제한을 확장하기 위해, 20db의 정착길이를 가지는 SD700 갈고리철근과 확대머리철근의 정착성능 실험을 수행하였다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

갈고리철근의 정착길이 설계식은 Marques and Jirsa(1975)의 외부 보-기둥 접합부 실험을 통해 제안되었다.

확대머리철근은 갈고리철근의 단점을 보완하기 위해 갈고리를 생략하고 철근 단부에 정착판을 부착한 철근으로 갈고리철근 정착길이의 80%로 규정되어있다.

따라서 이 연구에서는 보의 주철근으로 갈고리철근과 확대머리철근을 정착시켜 외부 보-기둥 접합부를 모사한 실험을 수행하였다. 이 실험을 통해 갈고리철근 및 확대머리철근의 정착 성능을 평가하였다. 콘크리트구조기준(KCI, 2012)의 철근항복강도 제한을 확장하기 위해 SD700 철근을 사용하였다. 철근의 항복강도인 700MPa를 상회하도록 실험변수를 구성하였다.

2. 기존 문헌고찰

2.1 갈고리철근의 정착길이 선행연구

갈고리철근의 정착길이 설계식은 Marques and Jirsa(1975)의 외부 보-기둥 접합부 실험을 통해 제안되었다. Figure 1과 같이 갈고리철근을 보의 주철근으로 기둥에 정착한 후, 센터 홀 오일잭(D)을 이용하여 철근에 인장력을 가하였다. 이러한 인장력과 같은 힘의 압축력을 프레임(E)을 통해 설정하여 외부 보-기둥 접합부를 모사하였다.

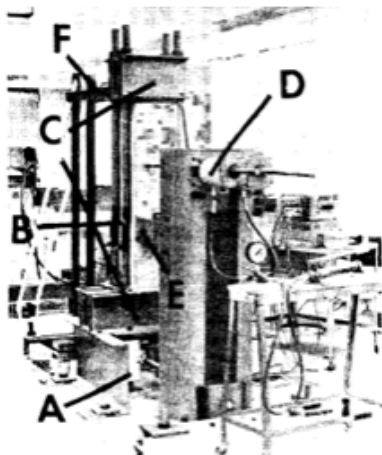


Figure 1. Marques and Jirsa(1975)의 갈고리철근 외부 보-기둥 접합부 실험

2.2 확대머리철근의 정착길이 선행연구

Chun et al.(2017)은 확대머리철근의 정착길이 제한을 확장하기 위해 SD550 43mm, 57mm의 대구경 고강도철근을 사용한 확대머리철근의 외부 보-기둥 접합부 실험을 수행하였다.

Figure 2와 같이 Marques and Jirsa(1975)의 실험과 동일하게 보의 주철근을 기둥에 정착하여 철근에 인장력을 가하였다. 철근에 직접 인장력을 가하기 위해 보는 타설하지 않았다. 센터 홀 오일잭을 이용하여 철근에 인장력을 가하고 압축영역을 설정하여 인장력과 같은 크기의 압축력을 가해 외부 보-기둥 접합부를 모사하였다.

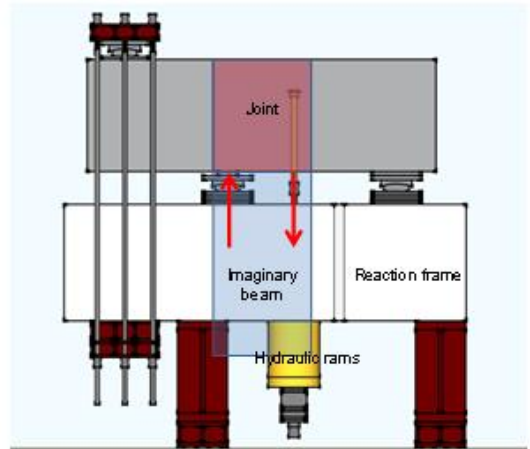


Figure 2. Chun et al.(2017)의 확대머리철근 외부 보-기둥 접합부 실험

실험변수는 철근지름, 측면피복두께, 콘크리트 압축강도, 횡 보강근의 유무로 실험결과 측면파열파괴강도에 영향을 주는 요인은 정착길이, 측면피복두께, 횡 보강근이었다. 실험결과를 통해 아래와 같은 확대머리철근의 측면파열파괴 평가식을 제안하였다.

$$f_{dt,p} = (3 \frac{l_{dt}}{d_b} + 30)(0.25 \frac{c_{so}}{d_b} + 0.75 + 0.4 \frac{K_{tr}}{d_b}) \sqrt{f_{ck}} \quad (3)$$

여기서, $f_{dt,p}$ 는 보-기둥 접합부에 정착된 확대머리철근의 측면파열파괴강도[MPa], c_{so} 는 측면피복두께(mm), K_{tr} 은 횡 방향 철근지수 ($K_{tr} = 40A_{tr}/sn$)로 A_{tr} 횡 방향 철근의 전체 단면적(mm^2), s 는 횡 방향 철근의 최대 중심간 간격(mm) n 은 쪼개질 가능성이 있는 평면을 따라 이어지는 철근의 수이다.

Table 1. 실험체 목록

Series	specimen	l_{ch} or l_{st}	c_{so}	fck	B x H x L (mm)	Expected strength
						Eq (1) [MPa]
hooked bar	D22-L20-C2-S42	20 d_b	2 d_b	42 MPa	325 x 493 x 2653	540
	D35-L20-C2-S42				590 x 756 x 3869	540
headed bar	D22-L20-C2-S42	20 d_b	2 d_b	42 MPa	325 x 496 x 2067	707
	D35-L20-C2-S42				590 x 759 x 2933	707

Notations: B , H , and L are width, height, and length of specimens, respectively; d_b is a bar diameter; l_{ch} is a embedment length; c_{so} is clear side cover; and K_{tr} is transverse reinforcement index ($= (40A_{tr})/(s_{tr}n)$, refer to clause 8.2 of KCI 2012).

3. 정착성능 실험 계획

3.1 정착성능 실험 방법

Marques and Jirsa(1975)의 실험과 동일한 방법으로 실험을 수행하였다. Figure 3과 같이 기둥에 보 주철근인 90°의 갈고리철근과 확대머리철근을 정착시킨 후 센터 홀 오일잭을 이용하여 철근에 인장력을 가하였다. 안전한 실험을 위해 기둥을 놓힌 상태로 실험하였다.

3.2 정착성능 실험변수

실험변수는 철근의 설계항복강도인 700MPa을 상회하도록 설정하였다. 정착길이를 20 d_b , 콘크리트압축강도 42MPa, 측면피복두께 2 d_b 를 기준으로 철근지름은 D22, D35철근을 사용하였다. 콘크리트구조기준(KCI, 2012)의 갈고리 및 확대머리철근의 정착길이 설계식과 Chun et al.(2017)의 확대머리철근 측면피열파괴강도 평가식을 이용하여 예상강도를 산정하였다. Table 1에 실험체 목록과 예상강도를 나타내었다.

3.3 정착성능 실험설계

이 실험의 파괴유형인 측면피열파괴만 발생하고 기둥의 전단 및 휨 파괴, 접합부의 전단파괴는 방지하도록 실험체를 설계하였다. 기둥의 높이는 확대머리철근의 콘크리트파괴를 방지하기 위해 접합부의 압축 스트럿이 확대머리를 충분히 구속할 수 있도록 설정하였다. 기둥의 폭은 기둥 높이에서 가력장비인 오일잭 2대가 간섭되지 않도록 설정하였다.

접합부의 전단파괴를 방지하기 위해 ACI 352R-02의 접합부 전단강도 식(식 (4))에 따라 전단강도를 산정하고, 횡 방향 철근의 단면적 산정식(식 (5), (6))중 작은 값의 식에 따라 접합부에 전단철근을 배근하였다.

$$V_n = 0.083\gamma\sqrt{f_{ck}}bh_c \quad (4)$$

여기서, f_{ck} 는 콘크리트 설계기준강도이고 b_j 는 접합부 유효 폭(mm), h_c 는 기둥의 높이(mm)이다.

$$A_{sh} = 0.30(sh_o f_{ck}/f_{yh}) [(A_g/A_{ch}) - 1] \quad (5)$$

$$A_{sh} = 0.09sh_o f_{ck}/f_{yh} \quad (6)$$

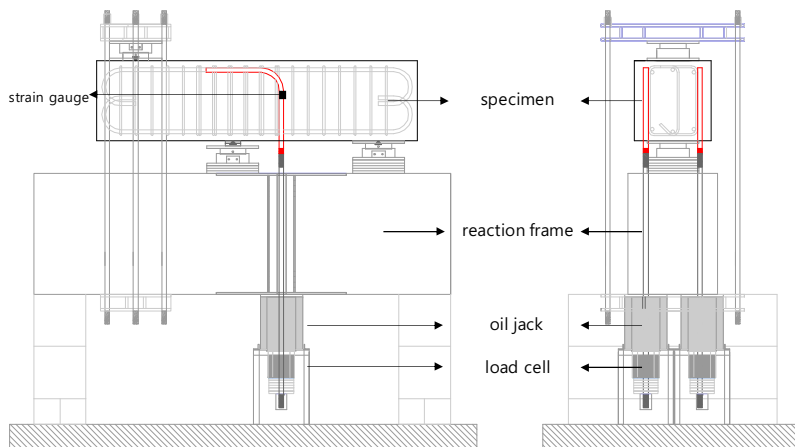


Figure 3. 실험 가력도

여기서, s 는 횡 방향 철근의 간격(mm), h_c 는 기둥 내부의 깊이(mm), f_{yh} 는 횡 방향 철근의 설계기준항복강도(MPa), A_g 는 전체단면적(mm²), A_{ch} 는 횡 방향 철근의 외곽으로 측정된 부재의 단면적(mm²)이다.

기둥의 전단 및 휨 파괴는 콘크리트구조기준의 최소철근비와 전단강도 설계식에 의해 전단보강철근을 설계하였다. 실험체 상세도는 Figure 4에 나타내었다.

3.4 정착성능 가력 및 계측방법

Figure 3과 같이 Marques and Jirsa(1975)의 실험방법과 동일한 방법으로 3,000kN용량의 센터 홀 오일잭 2대를 이용하여 확대머리철근에 직접 인장력을 가하였다. 정착시킨 철근은 유니버설 커플러를 이용해 동일 지름을 가진 강봉과 연결한 후 센터 홀 오일잭으로 인장력을 가하였고, 센터 홀 오일잭에 로드셀을 연결하여 작용되는 하중값을 얻었다. 앞, 뒤로 각각 연결된 두 개의 오일잭은 같은 오일펌프에 연결되어 2개의 철근에는 동일한 인장력이 가해지도록 하였다. 또한 갈고리 및 확대머리의 지압과 부착에 대한 영향을 알아보기 위해 타설 전 확대머리철근의 정착판에서 $1d_b$ 를 띄우고 2개씩 변형률 게이지를 부착하였다. 전면과 후면 중 한 쪽의 확대머리철근이 먼저 파괴되면 파괴된 면에 연결된 오일잭의 유압을 차단하고, 파괴되지 않은 면에 인장력을 계속 가하였다. 고강도 철근을 사용하여 높은 인장력이 유발되기 때문에, 실험 중 철근이 파단되면 매우 위험하다. 따라서 실험의 안전을 위해

Table 2. 콘크리트 재료시험 결과

series	d_b	f_{ck} (MPa)	f_{cm} (MPa)	E (MPa)
headed bar	D22	42	52.1	21,825
	D35		41.8	19,199
hooked bar	D22	42	42.3	14,685
	D35			

Table 3. 철근인장강도시험 결과

series	d_b	f_y (MPa)	f_t (MPa)	E_s (MPa)
headed bar	D22	794	890	197,645
	D35	701	874	188,726
hooked bar	D22	794	890	197,645
	D35	698		

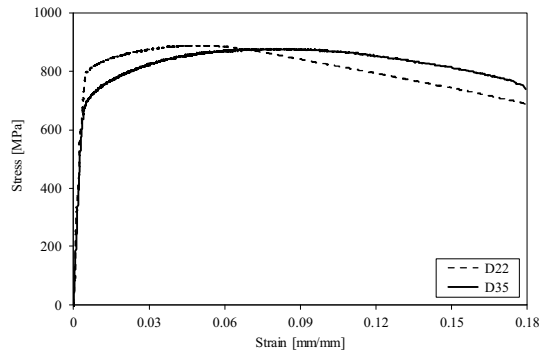


Figure 5. SD700 철근인장시험 stress-strain 곡선

사용된 확대머리철근의 실제 항복강도가 발현되면 실험을 중단하였다.

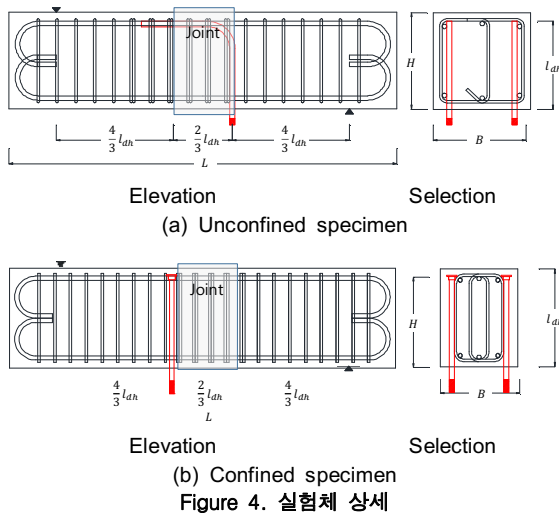


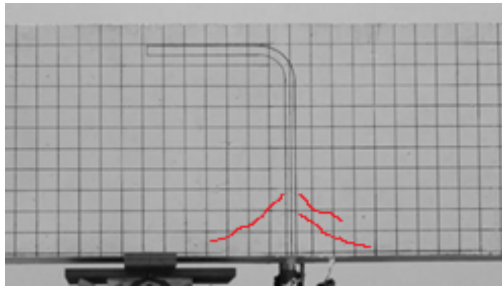
Figure 4. 실험체 상세

4. 정착성능 실험결과

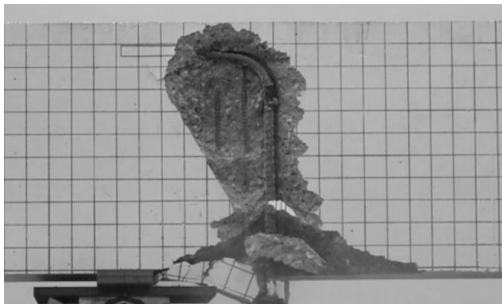
4.1 재료시험결과

콘크리트 압축강도시험은 외부 보-기둥 접합부 실험 직후 실시하였다. 실험결과는 Table 2에 나타내었다. 갈고리철근 실험체의 압축강도는 D22-series가 52.1MPa, D35-series가 41.8MPa, 확대머리철근의 실험체는 한 번에 제작하여 42.3MPa이었다. 각 실험체의 탄성계수는 갈고리철근 D22-series가 21,825MPa, D35-series가 19,199MPa, 확대머리철근 실험체는 14,685MPa이었다.

철근인장시험결과는 Table 3과 Figure 5에 나타내었다. 갈고리철근의 항복강도는 D22, D35 각각 794MPa, 890MPa이었고, 인장강도는 890MPa, 874MPa, 탄성계수는 각각 197,645MPa,



(a) initial crack



(b) side-face blowout failure

Figure 6. 측면파열파괴양상

188,726MPa이었다. 확대머리철근의 항복강도는 D22, D35 각각 794MPa, 698MPa이었고, 인장강도는 890MPa, 841MPa, 탄성계수는 각각 197,645MPa, 177,141MPa이었다.

4.2 파괴양상

대부분의 실험체는 안전을 위해 가력을 중단하였다. 파괴된 실험체는 모두 측면파열파괴가 발생되었다. 파괴된 실험체는 가력초기에 부착에

의해 정착강도가 발현되어 Figure 6의 (a)와 같이 정착의 하단부에서 균열이 발생하였다. 하중이 증가할수록 균열의 폭이 커지면서 부착력이 상실된다. 최대하중에서는 갈고리의 굽힘 부분 혹은 확대머리의 지압 면에서 정착강도가 발현되며 측면피복 콘크리트가 갑자기 떨어져 나오는 측면파열파괴가 발생되었다.

4.3 실험결과 및 콘크리트구조기준에 따른 정착강도 평가

갈고리철근 및 확대머리철근의 정착강도는 측면파열파괴 발생 시의 하중 혹은 실험중단 직전의 최대하중을 철근의 단면적으로 나누어 산정하였다. 실험결과는 Table 4에 나타내었다.

각 실험결과를 현행 콘크리트구조기준의 정착길이 산정식으로 계산한 예측값과 비교하였다. 갈고리철근의 경우 [실험값]/[예측값] 비율의 평균은 1.31로 현행설계기준은 정착강도를 과소평가하는 것으로 나타났다. 그러나, 현행설계기준에 1.25의 안전율을 고려하면 현행설계기준은 실험값을 정확하게 예측하였다. 확대머리철근의 경우 [실험값]/[예측값] 비율의 평균은 1.12로 비교적 정확하게 예측하였다.

갈고리철근의 정착길이 산정식의 경우 측면피복두께의 영향이 고려되어 있지 않기 때문에 안전율이 높게 나타났다. 반면 확대머리철근의 경우 측면피복두께의 영향이 고려된 산정식이기 때문에 비교적 정확하게 실험값을 예측하였다.

5. 정착성능 실험결과 분석

5.1 현행설계기준과 실험결과 비교

Table 4. 외부 보-기둥 접합부 정착강도 실험결과

Series	specimen	failure mode	f_{ok} [MPa]	P_e [kN]	f_{de} [MPa]	f_{dp} [MPa]	$f_{th,e}/f_{p,KCI}$	average
hooked bar	D22-L20-C2-S42	Y	52.09	319	823	601	1.37	1.31
		SF		304	785	601	1.31	
	D35-L20-C2-S42	SF	42.1	762	797	541	1.21	
		SF		754	788	541	1.34	
headed bar	D22-L20-C2-S42	Y	42.29	295	762	685	1.11	1.12
		Y		293	757	685	1.11	
	D35-L20-C2-S42	Y	42.29	747	781	685	1.14	
		Y		737	770	685	1.13	

Notations: P_e is a measured maximum load; f_{de} is a measured bar strength; f_{dp} is predicted bar strengths by KCI; Y means a test that stopped after the hooked bar yielded; and SF means a side-face blowout.

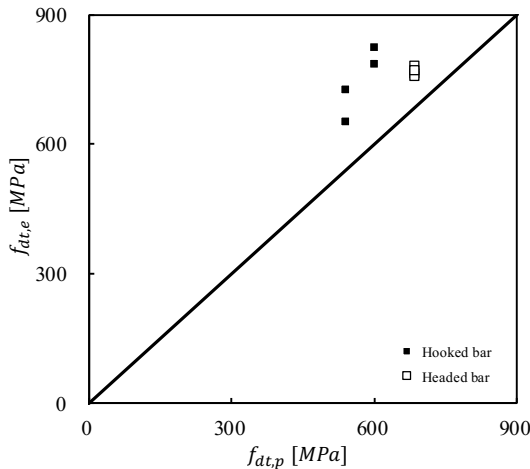


Figure 7. 콘크리트구조기준에 따른 예측값에 대한 실험값

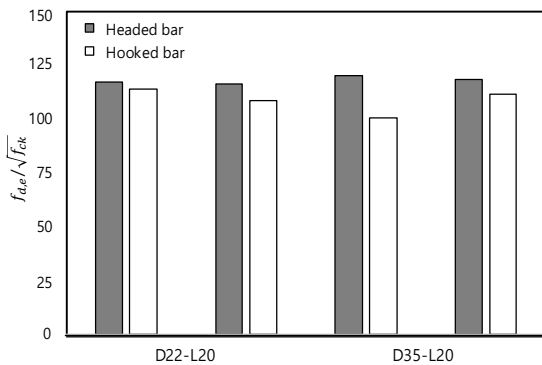


Figure 7. 갈고리철근과 확대머리철근의 정착강도 비교

현행설계기준인 콘크리트구조기준(KCI, 2012)과 실험결과를 비교한 결과, 갈고리철근과 확대머리철근 모두 현행설계기준에 SD700철근을 사용하여도 안전한 것으로 나타났다.

그림 Figure 7에 예측에 대한 실험값을 그래프로 나타내었다. 모든 데이터가 예측값보다 크게 나타난 것을 볼 수 있다.

한 실험체 당 총 8개의 데이터 중 5개의 데이터는 안전을 위해 실험을 중단하였다. 확대머리철근의 경우, 모든 실험체에서 가력을 중단하였다. 더 높은 강도의 철근을 사용하여 끝까지 가력 하였다면, 더 높은 강도가 발현될 것이다.

5.2 갈고리철근과 확대머리철근의 정착성능 비교

갈고리철근과 확대머리철근의 정착성능을 비교하였다. 선행연구에서 갈고리철근과 확대머리철근의 정착강도는 철근지름에 대한 영향이 없는 것으로 나타났기 때문에, D22철근이 배근된

실험체와 D35철근이 배근된 실험체를 함께 분석하였다. 실험설계에서는 모든 실험체의 압축강도가 42MPa이었으나, 실제 시험결과는 각 실험체가 모두 다른 압축강도를 가졌기 때문에, 압축강도에 대한 영향을 배제하기 위해 콘크리트구조기준의 정착길이 설계식을 참고하여 정착강도를 $\sqrt{f_{ck}}$ 로 나누어 평가하였다.

콘크리트압축강도를 정규화 하여 각각의 정착강도를 비교한 결과는 Figure 8과 같다. 확대머리철근은 갈고리철근보다 약간 더 높은 정착강도가 발현되었다. 동일조건에서 확대머리철근 정착 실험체는 갈고리철근 정착에 비해 정착강도가 평균 8.5% 향상되었다.

6. 결론

이 연구에서는 갈고리철근 및 확대머리철근의 설계기준항복강도 제한을 확장하기 위해 $20d_b$ 의 정착길이를 가지는 700MPa고강도 철근을 사용한 외부 보-기둥 접합부 실험을 수행하였다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 대부분의 실험체에서 높은 강도가 발현되어, 안전을 위해 사용된 철근의 실제 항복강도가 발현되면 실험을 중단하였다.
- 2) 콘크리트구조기준의 정착길이 산정식을 정착강도 식으로 역산하여 평가한 결과, 갈고리철근의 경우 [실험값]/[예측값] 비율의 평균은 1.31, 확대머리철근의 경우 [실험값]/[예측값] 비율의 평균은 1.12로 나타났다. 콘크리트구조기준의 1.25 안전율을 고려하면 현행설계기준은 갈고리철근의 실험값을 정확하게 예측하였다.
- 3) 확대머리철근은 모든 실험체에서 안전을 위해 가력을 중단하였기 때문에 비교적 낮은 안전율을 가지는 것으로 나타났다.
- 4) 갈고리철근과 확대머리철근의 정착성능을 비교하기 위해, 실험값을 콘크리트 압축강도의 제곱근으로 나누어 정착강도를 비교한 결과, 동일조건에서 확대머리철근 정착 실험체는 갈고리철근 정착에 비해 정착강도가 평균 8.5% 향상되었다.

REFERENCES

논문투고일 11월 30일
 논문심사일 12월 10일
 논문게재일 12월 30일

- ACI Committee 352R (2002), “Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures” , ACI, Farmington Hills, Mich., USA, 2002, 38
- ASTM A615 (2016), “Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement” , ASTM, West Conshohocken, PA, 8.
- ASTM A970 (2015), “Standard Specification for Headed Steel Bars for Concrete Reinforcement” , ASTM, West Conshohocken, PA., 9 pp.
- Bae, M.-S., Chun, S.-C., and Kim, M.-G., (2016), “Behavior of 550 MPa 43 mm Hooked Bars Embedded in Beam-Column Joints” , Journal of the Korea Concrete Institute, 28(5), 611-620 (In Korean)
- Bashandy T. R., (1996), “Application of Headed Bars in Concrete Members” , Ph.D, The University of Texas at Austin. 303pp.
- Chun, S. C., (2015), “Lap Splice Tests Using High-Strength Headed Bars of 550MPa (80ksi)” , Yield Strength ACI Structural Journal, 112(6). 679-688.
- Chun, S. C., Bae, M. S., and Lee, B. S., (2017), “ Side-Face Blowout Strength of 43 and 57 mm(No. 14 and No. 18) Hooked Bars in Beam-Column Joints” , ACI Structural Journal, 114(5), 1227-1238
- Chun, S. C., Choi, C. S., Jung, H. S., (2017) Side-Face Blowout Failure of Large-Diameter High-Strength Headed Bars in Beam-Column Joints. ACI Structural Journal. 114(1). 1-12.
- Korea Concrete Institute (KCI) (2012), “Concrete Design Code and Commentary” Kimoondang Publishing Company, Seoul, 2012, 599 (In Korean)
- KS D 3504: (2016), “Steel Bars for Concrete Reinforcement” , Korean Agency for Technology and Standards, 2016, 31
- Marques, J. L. G. and Jirsa, J. O., (1975), “A Study of Hooked Bar Anchorages in Beam-Column Joints” , ACI Journal, Proceedings, 72(5), 198-209.