

보 단부 부착시험체에 의한 높은마디 철근의 부착성능

Evaluate Bond strength of high Relative Rib Area Bars Using Beam-end test specimens

서 동 민* 양 승 열** 홍 기 섭*** 최 완 철****
Seo, Dong Min Yang, Seung Youl Hong, Gi Suop Choi, Oan Chul

ABSTRACT

Bond between reinforcing bar and surrounding concrete is supposed to transfer load safely in the process of design of reinforced concrete structures. Bond failure of reinforcing bar generally take place by splitting of the concrete cover as bond force between concrete and reinforcing bars exceeds the confinement of the concrete cover and reinforcement. However, the confinement force has a limitation. Thus, the only variable is the bearing angle corresponding to the change of bond force. Higher rib height bars possessing higher shearing resistance can maintain higher bearing angle and higher splitting resistance when bars are highly confined, and consequently higher bond strength, than lower rib higher bars. In this study, from the evaluate bond strength of high Relative Rib Area Bars Using beam-end test specimens are compared with the current provisions for development of reinforcement, and the improved design method of bond strength is proposed.

1. 서론

철근과 콘크리트의 부착 성능은 철근콘크리트 구조의 기본 조건이다. Clark(1949)에 의해 이형철근이 개발된 이래 부착기구, 슬립, 파괴형태, 철근마디형태, 정착길이, 내진거동 등을 중심으로 끊임없이 연구가 수행되었다. 부착과파는 썩기작용에 의한 피복 콘크리트의 조깅 파괴와 철근마디의 콘크리트 국부지압에 의한 뿔힘 파괴로 구분되었으며 뿔힘 파괴가 일어나지 않도록 정착길이 및 이음길이가 설계되고 철근마디의 상세가 결정되었다. 이후 철근마디에 대한 연구가 계속되면서 마디 각이 일정값 이상 일 때 부착강도에 영향이 없는 현상을 알게 되었으나(Tefers 1979, Skorobogatov 1979) 실험결과로서 인식에 그쳤다.

*정회원, 숭실대학교 건축공학과 석사과정

**정회원, 숭실대학교 건축공학과 박사과정

***정회원, 홍익대학교 건축공학과 교수, 공학박사

****정회원, 숭실대학교 건축공학과 교수, 공학박사

1980년대 이후 철근마디로부터 썩기작용에 의해 발생하는 응력을 3차원으로 해석하고 이론적으로 규명하기 시작하였고 철근마디 및 마디각도의 중요성이 확인되었다. 부착강도가 우수한 철근마디 형태에 대해 Darwin(1993), Hamad(1995)등에 의해 연구 수행되었으나 계면특성과 관련한 마디각, 상대마디면적 등에 대한 이론적 근거가 제시되지 못하였고 제한적 실험 위주의 연구가 시행되었으며 이에 따라서 높은 마디면적 철근의 활용이 지연되고 있다. Choi 등(2002)은 계면부착에 대한 이론적 해석을 수행하였으며 마찰계수, 점착력, 횡구속력, 마디면적의 역할을 밝혔다. 횡구속이 적어 조깅 파괴가 지배될 때에는 마디면적의 부착강도에 대한 영향이 없음을 검증하였고, 반면에 실제 구조물에서 횡구속이 큼을 이용함으로써 높은 마디철근의 개발이 가능함을 인지하였다.

Darwin(1996)은 높은 마디면적 철근에 대한 연구를 수행하였으나 이 연구는 보 시험체를 사용한 이음길이 실험에 국한되어 있고, 접합부, 내진특성 등에 대한 연구가 부족하여 실용화에 어려움이 있다.

본 연구에서는 고강도 철근의 마디형태를 개발하여 콘크리트와의 부착 성능을 개선시켜 구조안전성과 가공성 및 시공성을 향상 시키고자 한다. 본 연구에서 ACI 408 위원회에서 제시한 높은 마디 철근의 정착길이 설계식을 고찰한다. 또한 부착 성능 향상을 위한 높은 마디 철근의 부착 성능에 관한 기초연구의 평가 및 실험적 연구를 수행한다. 총 30개의 내민 보 단부 시험체에 대한 실험을 수행하며, 실험의 주요 변수는 높은 마디 철근의 상대 마디 면적과 이음철근의 직경으로 한다.

2. 높은 마디 철근의 부착특성

Darwin(1996)은 높은 마디면적 철근에 대한 연구를 수행하였으며 ACI 408 위원회(2001)에서는 마디면적이 높은 철근을 이용할 경우 정착길이 설계기준을 제시하였다. 즉, 마디높이가 높을수록 또한 횡구속 지수가 클수록 정착길이가 짧아진다. ACI 408 위원회에서 제시한 높은 마디 철근의 정착길이 설계식은 (2.1)식과 같다.

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{(f_y/f_c^{1/4} - 1900w)\alpha\beta\gamma}{72\left(\frac{cw + K_{tr}}{d_b}\right)} \quad (2.1)$$

$(cw + K_{tr})/d_b$ 는 4보다 크면 안되며, $f_c^{1/4}$ 의 값은 11.0을 초과할 수 없고 f_y 값은 80ksi를 초과할 수 없다. w 는 1.0 혹은 (2.2)식을 이용하여 구할 수 있다.

$$w = 0.1 \frac{C_{\max}}{C_{\min}} + 0.9 \leq 1.25 \quad (2.2)$$

k_{tr} 은 (2.3)식을 이용하여 구할 수 있다.

$$k_{tr} = c_R (0.72d_b + 0.28) \frac{A_{tr}}{sn} \quad (2.3)$$

$$\text{여기서 } C_R = 44 + 330 (R_r - 0.10) \quad (2.4)$$

이며 $0.10 \leq R_r \leq 0.14$ 이고 α, β, γ 는 ACI 408 위원회가 제시한 기준값을 적용하여 모두 1.0으로 한다.

(2.1) 식을 f_y 에 대한 식으로 변환하면 다음과 같다.

$$f_y = \left[\frac{l_d}{d_b} 72 \left(\frac{cw + k_{tr}}{d_b} \right) + 1900 \right] f_c^{1/4} \quad (2.5)$$

$f_y \rightarrow f_s$ 로 보면

$$T_b = A_s f_s \quad (2.6)$$

3. 부착실험

3.1 개요

본 연구에서는 고강도 높은 마디면적 철근을 보 단부 부착실험을 통하여 부착강도를 측정하여 비교, 분석한다. 높은 마디 철근의 상대마디 면적과 철근의 직경을 변수로 하는 내민 보 단부 시험체의 주근을 인발실험을 시행하여 부착강도를 측정한다.

- (1) SD500 D 19와 D 25의 철근을 각각 마디 높이와 마디 간격을 조합한 4가지 변수로 시험하여 상대마디면적이 부착특성에 미치는 영향을 연구한다.
- (2) 같은 조건으로 기존의 철근 D19와 D25의 철근을 각각 3개씩 실험하여 평균 부착강도를 측정하고 높은 마디철근의 부착강도와 비교하여 부착특성 차이를 연구한다.

3.2 철근 및 시험체 별 주요변수

기존의 이형철근(D 19, D 25)은 SD 400 인 철근을 사용했으며, 가공철근(D 19, D 25)은 SD 500 인 철근이 실험에 사용되었다.

3.3 시험체 제작

그림 3.3의 검은색 선은 재하 되는 철근으로 보의 주근이다. 시험체는 D 19와 D 25를 철근마디 높이와 마디 간격을 변수로 4개의 그룹으로 형성하였고, 동일한 변수에 대하여 3개의 시험체를 제작하여 실험에 쓰여진 시험체는 총 24개이다. 그림 3.3은 D 25를 사용한 시험체의 치수이다.

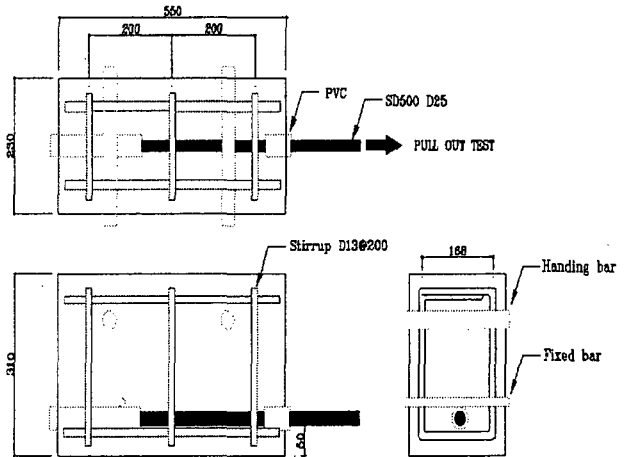


그림 3.3 보 단부 시험체

3.4 시험체명

본 연구에서는 같은 변수를 가진 시험체를 D19, D25를 각각 5그룹으로 나누어 제작하여 실험하고 시험체명 상세 및 시험체의 예상 부착강도는 ACI 408 위원회가 제시한 값으로 계산되어진 표 3.4이다.

표 3.4. 시험체 및 변수

구분	시험체명	정착길이 (mm)	마디높이 (mm)	마디간격 (mm)	마디지압면적 (mm ²)	단위마디면적 (mm ²)	상대마디 면적	예상부착강도 (tf)
KS			1.0-2.0 1.3-2.6	13.4 17.8				
포함	BE19-CV-LC-A BE25-CV-LC-A	220 300	1.8 2.3	12.9 17.1	117.6(94.1) 197.2(157.8)	9.11(7.29) 11.53(9.22)	0.128(0.103) 0.124(0.100)	9.79 19.74
개발1	BE19-HR-LC-A BE25-HR-LC-A	220 300	2.0 2.5	13.0 17.0	131.9 215.9	10.14 12.70	0.140 0.135	10.42 20.20
개발2	BE19-MR-LC-A BE25-MR-LC-A	220 300	1.7 2.2	13.0 17.0	110.5 187.9	8.50 11.50	0.121 0.120	10.10 19.56
개발3	BE19-MS-LC-A BE25-MS-LC-A	220 300	1.7 2.2	10.0 13.0	110.5 187.9	11.05 14.45	0.157 0.156	10.68 21.07
개발4	BE19-LS-LC-A BE25-LS-LC-A	220 300	1.4 1.8	10.0 13.0	89.7 160.5	8.97 12.35	0.131 0.136	10.27 20.24

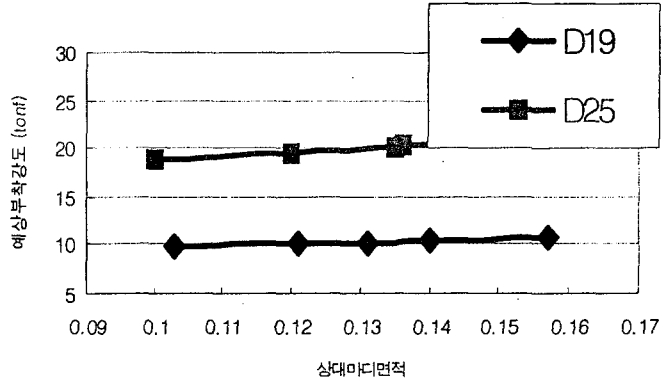
비고	· 마디지압면적(bearing area) = $\pi\{(r+h_r)^2-r^2\} = \pi(2r+h_r)h_r$	
	· 마디전단면적(shearing area) = $2\pi(r+h_r)S_r$	· 단위마디면적 = 마디지압면적 / S_r
	· 상대마디면적 = 마디지압면적/마디전단면적 * () 값은 리브(longitudinal rib)를 고려하여 감소시킨 값	
	■ 변수별 의미	
	개발1: 기존대비 마디높이를 40% 높임.	개발2: 기존대비 마디높이를 20% 높임
	개발3: 기존대비 마디높이를 20% 높이고, 간격을 25% 줄임.	개발4: 기존대비 간격을 25% 줄임

3.5 부착강도 예측 및 분석

(1) SD500 강도를 사용한 D 19와 D 25의 철근을 각각 4가지 변수로 시험하여 상대마디면적이 부착특성에 미치는 영향을 구한다.

(2) 같은 조건으로 기존의 철근 D19와 D25의 철근을 각각 3개씩 실험하여 평균 부착강도를 측정하고 높은 마디철근의 부착강도와 비교하여 부착특성 차이를 연구한다.

상대마디면적에 따른 예상부착강도의 관계를 그래프 3.4에 나타내었고, 그래프에서 알 수 있듯이 상대마디면적이 증가함에 따라 예상부착강도가 증가하는 양상을 보여주고 있다.



그래프 3.4 상대마디면적에 따른 예상부착강도

4. 결론

철근의 고강도화가 됨에 따라 ACI 408 위원회(2001)에서는 마디면적이 높은 철근의 정착길이에 대한 연구를 수행하여 마디높이가 높을수록 또한 횡구속지수가 클수록 정착길이가 짧아진다는 결론을 얻었다. 본 실험에서는 ACI 408 위원회에서 제시한 높은 마디 철근의 정착길이 설계식을 고찰하며, 부착 성능 향상을 위한 높은 마디 철근의 부착 성능에 관한 기초연구의 평가 및 실험적 연구를 수행한다. 실험 후 결과와 각각의 제안식에 근거한 예상치를 비교·분석할 것이며, 철근의 상대마디면적에 따른 부착강도 성능 향상을 제시 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구(과제번호:R01-2003-000-10606-0) 연구비 지원으로 수행되었으며 이 지원에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. ACI Committee 408, "Splice and Development Length of High Relative Rib Area Reinforcing Bars in Tension (408.3-01) and Commentary (408.3R-01)" American Concrete Institute, 2001.
2. David Darwin, Jun Zuo, Michael L. Tholen, Emmanuel K. Idun, "Development Length Criteria for Conventional and High Relative Rib Area Reinforcing Bars," University of Kansas Center for Research, INC. Lawrence, Kansas, May, 1995.
3. 김상준, "콘크리트와 철근의 부착에 대한 횡구속의 영향," 숭실대학교 석사학위 논문, 1998.