

높은 마디면적비 철근의 부착강도에 따른 정착설계 연구

Study on the Development Design Criteria of High Relative Rib Area bars

박성규* 홍건호** 최완철*** 홍기섭****
Park, Sung-Gyu Hong, Geon-Ho Choi, Oan-Chul Hong, Gi-Suop

ABSTRACT

Bond between reinforcing bar and the surrounding concrete is made up of three components. There are chemical adesion, friction, and mechanical interaction between the rib of the bar and the surrounding concrete. bond of deformed bars depends primarily on the beraing of rib deformation anaiust the surrounding concrete.

The final objective of the study is to enhance structural stability, and workability thorough increasing the bond strength between deformed bar and surrounding concrete.

The results of this study will be used to shorten bond and development length by 20~30 percent and it will facilitate to use of high strength and high-relative rib area bars.

1. 서론

철근콘크리트 구조물은 철근과 콘크리트의 완전한 부착을 기본 조건으로 한다. 철근콘크리트 구조물이 처음 도입되었을때 원형철근을 이용하였으나, 콘크리트와의 부착력에 결점을 보완하기 위해 1949년 Clark에 의해 이형철근이 기본적인 개념이 정립되어 현재까지 사용되고 있다. 이형철근의 부착강도에 대한 연구를 통해 철근마디 및 마디각도의 중요성이 확인되었으며, Darwin(1996) 및 Hammad(1995)는 보 단부 시험체와 보 이음 시험체를 통한 실험을 하였으나 마디면적비에 대한 부착 강도 효과가 낮고 실용성을 확보하지 못하는 연구의 한계를 나타내고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 실험을 통한 마디면적비에 대한 부착강도의 영향을 비교, 분석하고 실험값의 단순화로 실무에 적용할 수 있는 최적의 정착 설계식을 제안하도록 수행하였다.

2. 마디면적비의 정의

높은 마디면적비 철근이란 마디면적비가 0.10이상인 철근을 의미하며, 여기서 마디면적비(R_r)는 마디 높이과 관련된 마디의 지압면적과 마디간격과 관련된 전단 면적의 비율을 의미한다.

* 정회원, 호서대학교 대학원

** 정회원, 호서대학교 건축공학과 교수

*** 정회원, 숭실대학교 건축공학과 교수

**** 정회원, 홍익대학교 건축공학과 교수

$$R_r = \frac{\text{bearing area}}{\text{shearing area}} = \frac{\pi(2r + h_r)h_r}{2\pi(r + h_r)S_f}$$

h_r : 마디높이(mm) S_f : 마디간격(mm)

3. 실험계획 및 방법

본 연구에서 주 실험 변수는 상대 마디면적비(R_r)이다. 마디면적비가 0.066~0.083인 기준 시험체 4개, 높은 마디면적비 시험체 16개, 미국산 철근 시험체 5개를 제작하였다.

보 단부 시험체의 크기는 D19, D22, D25를 주근으로 하고 200×300×470mm, 215×305×510mm, 230×310×550mm인 육면체를 사용하였다. 문힘길이는 12 d_b , 10 d_b 이며 시험체 전면에 콘파괴를 방지하기 위하여 50mm 길이의 PVC 파이프를 매설하였다. 스테럽 철근 배근시 D25미만의 시험체는 D10@200으로 배근하였으며, D25이상인 시험체는 D13@200으로 배근하였다. 미국산 철근의 경우 마디의 각도를 45°로 기울였으며, 철근의 직경은 모두 D25로 5종류를 실험하였다. 실험방법은 LVDT를 3개 부착하여 측정하였으며, LVDT 1은 주 인장철근의 미끄러짐을 정확하게 측정하기 위함이며, LVDT 2와 3은 주 인장철근의 미끄러짐과 늘어난 길이를 동시에 측정하기 위해 주 인장철근에 직접 부착하여 측정하였다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 마디면적비 - 부착응력 일반화

마디면적비에 따른 부착응력 일반화는 그림 1, 2, 3과 같다. 부착응력만으로는 마디면적비에 대한 효과를 얻기 어려우므로 콘크리트 강도로 나누어서 부착응력을 일반화하였다. 그림에서와 같이 보단부 시험체의 경우 기울기는 2.14정도이며, 미국산 철근과 Darwin 실험값은 1.4정도로 비슷한 기울기를 나타내고 있다. 국내실험값이 Darwin 실험값보다 응력값이 큰 이유는 문힘길이 및 스테럽의 개수 영향 때문이다. 국내실험값 중 보 단부와 미국산철근은 대체적으로 비슷한 기울기를 나타내어 일정한 부착응력을 나타내고 있다.

ACI 408 위원회에서는 높은 마디면적비값을 최대 0.140까지로 제한하고 있다. 이러한 제한적인 R_r 값을 실험을 통하여 확인하고자 R_r 값을 최대 0.162까지 변수로 산정하였다. 국내 보 단부 실험값의 경우 0.11~0.14까지 비슷한 부착응력 분포가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

미국산 철근은 마디면적비값이 커짐에 따라 비례적으로 부착응력이 증가하는 양상을 나타내며, Darwin 실험값의 경우 R_r 값이 0.05, 0.10, 0.15의 범위에 정해져 있으며 문힘길이 및 스테럽 개수, 콘크리트 강도 등으로 부착응력의 편차를 보이고 있다.

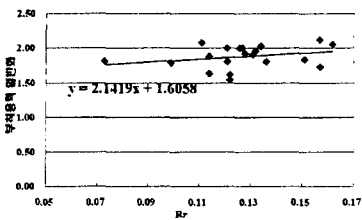


그림 1 국내철근

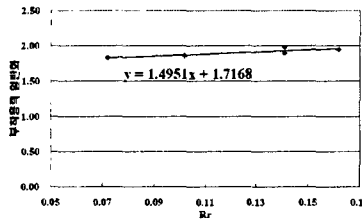


그림 2 미국산 철근

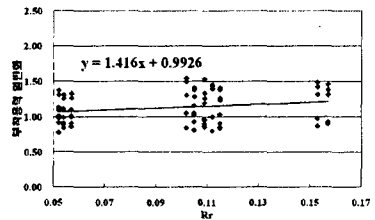


그림 3 Darwin 실험값

4.2 정착길이 설계식 제안

마디면적비의 증가에 따른 부착응력의 증가효과를 반영하기 위하여 ACI 408 위원회에서는 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$l_d = \frac{\left(\frac{f_y}{f_c^{1/4}} - 1900\omega\right)\alpha\beta\lambda}{72\left(\frac{CW + K_{tr}}{d_b}\right)} d_b$$

$$\text{단, } K_{tr} = C_r(0.72d_b + 0.28) \frac{A_{tr}}{sn}$$

$$C_r = 44 + 330(R_r - 0.10)$$

위의 식에서 나타나듯이 ACI 408 위원회의 제안식은 기존 정착설계식에서 사용되는 철근의 횡구속계수인 K_{tr} 에 철근의 마디면적비 R_r 를 반영함으로써 철근의 정착길이를 산정하도록 제안하였다.

그러나, 본 연구에서는 기존 국내의 정착설계식에 마디면적계수 κ 를 도입하도록 하였다. 이에 따라 기존 국내의 인장정착 설계식에 마디면적계수 κ 를 반영하면 다음의 식과 같다.

$$l_d = \frac{0.90d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \times \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{\left(\frac{C + K_{tr}}{d_b}\right)} \times \kappa$$

마디면적계수 κ 는 마디면적비의 변화에 따른 부착응력의 변화로 산정되며, 이에 따라 국내실험값의 경우 여러 변수의 영향으로 기울기를 1.5로 고정함으로써 도식하면 다음의 식과 같다. 그림에서 철근의 마디면적비와 무차원으로 환산된 부착응력과의 관계를 보면, 마디면적비에 비례하여 부착응력이 증가하는 것을 알 수 있으며, 이 때의 비례관계식은 다음과 같다.

$$\sigma_{bond} = 1.45R_r + 1.65$$

비례관계식으로부터 상대 마디면적비에 따른 부착응력 표 1과 같고, 이를 기존 철근($R_r=0.085$)에 대한 부착응력비로 표시한 후, 상대마디면적계수 κ 로 환산할 수 있다.

표 1 상대마디면적계수 κ

R_r	σ_{bond}	기존철근($R_r=0.085$)에 대한 부착응력비	κ (상대마디면적계수)
0.085	1.773	1.000	1.00
0.10	1.795	1.010	0.99
0.11	1.810	1.020	0.98
0.12	1.824	1.030	0.97
0.13	1.839	1.040	0.96
0.14	1.853	1.050	0.95
0.15 이상	1.868	1.054	0.94

국내산 철근과 미국산 철근의 상대 마디면적비는 대부분의 경우 0.16이하이며, 정착길이의 감소율을 의미하는 상대마디면적계수 κ 는 표에서 나타나듯이 최소 0.94으로 설정하였다.

본 연구에서 제안된 정착설계식을 적용하여 산정된 정착길이를 기존 설계식, ACI 408위원회 설계식과 비교하여 보면 그림 5와 같다. 설계식을 통해서 정착길이의 감소율이 증가되는 것을 확인할 수 있었다.

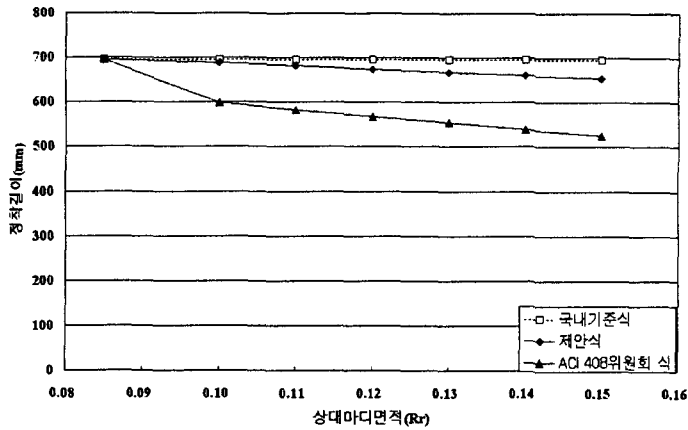


그림 4 정착길이 설계식 제안

5. 결 론

국내철근과 미국철근, Darwin 실험값 등의 부착응력을 상대 마디면적비와 비교하여 분석하였다. 실험 결과를 통해서 국내철근의 경우 부착응력의 값이 미국철근 및 Darwin 실험값보다 크게 나왔으며, 기울기는 여러 변수의 영향으로 높게 나온 것으로 판명되었다. 이를 통해서 국내 정착길이 설계식에서는 마디면적비의 효과를 적절히 반영하지 못하고 있었으나, 새로운 마디면적비 계수 k 를 도입함으로써 실무적으로 유용한 설계식을 제안하였다. 또한 철근의 정착길이를 감소시킴으로서 철근 배근도의 과밀도를 낮추어 시공성의 확보에 따른 구조적인 안전성까지 증가시킬 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구{과제번호:R01-2003-000-10606-0(2004)} 연구비 지원으로 수행되었으며 이 지원에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 홍건호, 최완철. "이형철근의 부착강도에 대한 마디형태의 영향", 한국콘크리트학회지 제16권 4호, pp. 95-99, 2004.
2. Michael L. Tholen David Darwin, "Effects of Deformation properties on the Bond of Reinforcing Bars", University of Kansas Center for Research, Lawrence, Kansas, October 1996
3. David Darwin, Jun Zuo, Michael L. Tholen, Emmanuel K.Idun, "Development Length Criteria 랙 Conventional and High Relative Rib Area Reinforcing Bars", University of Kansas Center for Research, Lawrence, Kansas, May 1995