

국내외 이형철근의 마디 형태 및 부착강도 비교

Evaluation of Rib Geometries of Reinforcing Bars Available in Korea, Japan and USA

서 동 민^{*} 김 기 성^{**} 봉 원 용^{**} 양 승 열^{***} 홍 기 섭^{****} 최 완 철^{*****}
Soe, Dong Min Kim, Ki Seong Bong, Won Young Yang, Seung Yul Hong, Gi Suop Choi, Oan Chul

ABSTRACT

The aims of this study are to investigate rib geometries of reinforcing bars commercially available in Korea, Japan and USA, and evaluate bond performance using beam-end test specimens. Measurement of rib geometries of the bars include nominal area, average distance of rib, height of rib and an angle of rib perpendicular to bar axis. The result of this study show that rib height of Korean reinforcement bars are much less than those of Japan and USA resulting in the lowest value of relative rib area.

Average bond strength of Korean D25 deformed bars is known as 9 % less than that of bars produced in USA. Bond strength depends primarily on the relative rib area. Bond strength of the high relative rib area bars produced in USA show 18% higher than that of bars produced in Korea .

1. 서론

철근 콘크리트 구조에서 철근의 부착력은 철근 콘크리트 구조물의 중요한 성립조건 중 하나이다. 부착력에 영향을 주는 요소로는 재료 강도 이외에 철근의 마디높이, 마디간격, 마디각도 등 마디 형태로부터 얻어지는 철근의 마디 형상 치수이다. 이형봉강의 형상치수에 대한 제원은 각 나라마다 공업 규격에서 제시되어 있고 이에 따라 생산되어 현장에서 건설되고 있다.

최근에 고부착 고강도 철근 개발에 대하여 관심이 높아짐에 따라 실제 현장에서 건설되는 철근의 마디 실측치에 대한 평가가 고부착 철근의 연구에 기초 자료로 요구되고 있다. 더욱이 이러한 실측치는 각 국가별 생산되는 철근에 대한 비교로부터 평가 될 수 있겠다.

본 논문에서는 부착강도에 마디의 형상치수가 미치는 영향을 분석하기 위해 한·미·일 3개국의 공업 규격을 검토하고 실제 생산되는 각국의 철근 샘플을 구입하고 마디높이, 마디간격 등을 실측하여 비교한다. 실측된 값으로부터 부착강도에 영향을 주는 주요인자로 알려진 마디면적비(relative rib area 이형철근의 마디의 지압면적을 전단면적으로 나눈값)를 계산하여 비교한다. 또한 보단부 시험체를 이용하여 실험하여 부착강도를 비교하여 보고 이를 이용하여 높은마디 면적비 철근 개발에 활용하고자 한다.

* 정회원, 숭실대학교 건축공학과 공학석사

** 정회원, 숭실대학교 건축공학과 석사과정

*** 정회원, 숭실대학교 건축공학과 박사과정

**** 정회원, 홍익대학교 건축학부 교수, 공학박사

***** 정회원, 숭실대학교 건축공학과 교수, 공학박사

2. 한국, 미국, 일본 이형철근의 형상치수 비교

2.1 한국, 미국, 일본 철근의 공업 규격

표 1과 표 2는 각각 한국과 일본, 미국의 이형 봉강의 직경별 제원이다. 한국과 일본의 공업규격은 유사하고 미국의 규격과는 다소 차이가 있다. 공칭 지름, 공칭 단면적, 마디의 평균 간격 최대치는 사용하는 단위가 다름에서 발생하는 차이가 있을 뿐 대체적으로 동일하다. 한국, 일본과 미국 공업규격의 큰 차이는 마디높이와 마디와 축선과의 각도에 관한 규정이다. 한국과 일본은 마디높이의 최소 및 최대치를 규정하는데 반해 미국은 마디 높이의 최소치만을 규정하고 있다. 마디와 축선과의 각도는 한국은 45° 이상, 일본은 45° ~ 54.5°, 미국은 45° ~ 70°도로 규정하여 최소치는 모두 동일하지만 범위는 각국이 다르다.

표 1 이형 봉강의 직경별 제원(한국, 일본)

| 호칭명 | 단위무게 (kg/m) | 공칭 지름 (d) (mm) | 공칭 단면적(S) (mm ²) | 마디의 평균간격 최대치(mm) | 마디높이 | | 마디와 축선과의 각도 |
|-----|----------------|----------------------|------------------------------------|------------------------|-------------|-------------|------------------------------------|
| | | | | | 최소치 (mm) | 최대치 (mm) | |
| D10 | 0.560 | 9.53 | 71.33 | 6.7 | 0.4 | 0.8 | 국내 : 45°이상 일본 : 45°~54.5° |
| D13 | 0.995 | 12.7 | 126.7 | 8.9 | 0.5 | 1.0 | |
| D16 | 1.56 | 15.9 | 198.6 | 11.1 | 0.7 | 1.4 | |
| D19 | 2.25 | 19.1 | 286.5 | 13.4 | 1.0 | 2.0 | |
| D22 | 3.04 | 22.2 | 387.1 | 15.5 | 1.1 | 2.2 | |
| D25 | 3.98 | 25.4 | 506.7 | 17.8 | 1.3 | 2.6 | |
| D29 | 5.04 | 28.6 | 642.4 | 20.0 | 1.4 | 2.8 | |
| D32 | 6.23 | 31.8 | 794.2 | 22.3 | 1.6 | 3.2 | |

표 2 이형 봉강의 직경별 제원(미국)

| 호칭명 No(mm) | 단위무게 (kg/m) | 공칭 지름 (d) (mm) | 공칭 단면적 (S) (mm ²) | 마디의 평균 간격 최대치(mm) | 마디 높이의 최소치(mm) | 마디와 축선과의 각도 |
|---------------|----------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------|----------------|
| 3(10) | 0.560 | 9.5 | 71 | 6.7 | 0.38 | 45°~70° |
| 4(13) | 0.994 | 12.7 | 129 | 8.9 | 0.51 | |
| 5(16) | 1.552 | 15.9 | 199 | 11.1 | 0.71 | |
| 6(19) | 2.235 | 19.1 | 284 | 13.3 | 0.97 | |
| 7(22) | 3.042 | 22.2 | 387 | 15.5 | 1.12 | |
| 8(25) | 3.973 | 25.4 | 510 | 17.8 | 1.27 | |
| 9(29) | 5.060 | 28.7 | 645 | 20.1 | 1.42 | |
| 10(32) | 6.404 | 32.3 | 819 | 22.6 | 1.63 | |

2.2 마디형태 측정

3개국에서 생산되는 철근을 버니어 캘리퍼스와 LVDT를 이용하여 마디높이, 마디간격, 직경을 측정하여 정리한 것이 표 3 ~ 표 5 이다. 마디 높이와 마디 간격을 종합적으로 판단하기 위하여 마디면적비 (R : 철근의 지압면적을 전단면적으로 나눈 값으로 철근의 축에 대한 수직 면적을 철근의 마디와 마디의 중심간 거리에 둘레를 곱한 면적을 나눈 값) 또한 계산하여 표에서 나타내었다.

표 3에서 국내 생산된 철근의 실측 값을 표 1의 규격을 비교하면 D25를 제외한 모든 철근은 제안치를 만족하고 있으나 D25 철근은 국내 공업규격의 마디높이 최소치를 1.3mm를 만족하지 못하고 있다. 이러한 규격미달은 생산 과정에서 품질관리의 부족을 보여 주고 있으며 결과적으로 부착강도가 부족할 것으

로 예측되고 있다. 표 5에서 U1 ~ U4는 미국산 높은 마디 면적비 철근이며 U5는 미국산 일반 철근이며 CV는 국내산 일반 철근이다. 일반 철근의 마디높이 1.43mm에 비하여 높은 마디 면적비 철근의 마디 높이는 최대 29.4%에서 최소 8.4%로 높다. 공통적으로 측정된 D25 철근의 마디높이를 비교하면, 일본산 철근이 1.3mm와 1.65mm로 가장 높으며 미국산 일반 철근이 1.43mm, 국내산 철근이 1.03mm로 가장 낮게 나타났으며 마디면적비 또한 이와 같은 순서이다.

표 3 국내 철근의 마디면적비

| 구분 | 마디높이 (mm) | 마디간격 (mm) | 공칭지름 (mm) | 마디면적비 (R_r) |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------------|
| D19 | 1.00 | 13.0 | 19.1 | 0.066 |
| D22 | 1.62 | 15.3 | 22.2 | 0.083 |
| D25 | 1.05 | 17.55 | 25.4 | 0.054 |
| D29 | 2.2 | 19.1 | 28.6 | 0.091 |
| D32 | 1.7 | 21.05 | 31.8 | 0.064 |

표 4 일본산 철근의 마디면적비

| 구분 | 마디높이 (mm) | 마디간격 (mm) | 공칭반지름 (mm) | 마디면적비 (R_r) | |
|-----|-----------|-----------|------------|-----------------|-------|
| D19 | J1A | 1.30 | 12.85 | 9.55 | 0.083 |
| | J1B | 1.20 | 11.45 | 9.55 | 0.087 |
| D25 | J2A | 1.30 | 18.95 | 12.7 | 0.058 |
| | J2B | 1.65 | 16.25 | 12.7 | 0.085 |

표 5 미국산 철근의 마디면적비

| 구분 | 마디높이 (mm) | 마디간격 (mm) | 공칭지름 (mm) | 마디면적비 (R_r) | |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------------|-------|
| D25 | U1 | 1.75 | 8.90 | 25.4 | 0.162 |
| | U2 | 1.80 | 14.45 | 25.4 | 0.102 |
| | U3 | 1.55 | 9.45 | 25.4 | 0.141 |
| | U4 | 1.85 | 11.05 | 25.4 | 0.141 |
| | U5 | 1.43 | 17.0 | 25.4 | 0.072 |

표 6 일본 철근의 종류별 사진

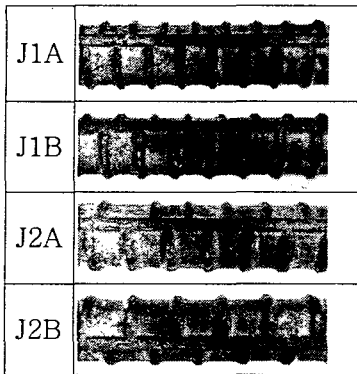


표 7 미국산, 국내산 철근의 종류별 사진

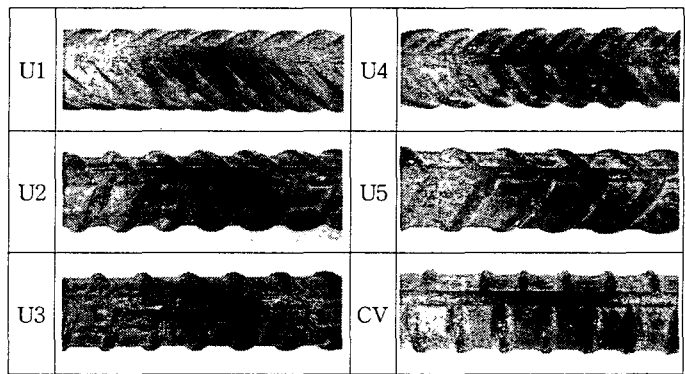


표 3 ~ 표 5의 D25 철근의 마디면적비를 직접 비교하면 국내산 0.054, 미국산 일반철근 0.072, 일본산 0.085으로 나타나고 있다. 국내 철근의 마디면적비는 미국과 일본 철근의 마디면적비에 비해 가장 낮은 것으로 나타났다.

표 6과 표 7에서 보듯이 한국과 일본 철근의 마디형태는 대나무 형태(bamboo)로 동일하나 미국산 철근은 여러가지 모양을 보이며 마디각과 철근 축의 각도가 다양하다. 철근 생산 시에 공정상 발생하는 리브는 공통적으로 나타나는 양상으로 철근과 콘크리트의 부착강도에 큰 영향은 미치지 않지만, 이러한 리브의 발생은 마디면적비에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 리브가 있는 철근의 마디면적비는 리브가 없는 철근보다 10%~25% 정도 감소한다.

3. 부착강도 실험 결과

실측된 D25 철근의 마디높이, 마디 간격 등이 부착강도에 미치는 영향을 판단하기 위하여 보단부 시험체를 이용하여 부착실험을 실시하였으며 그 결과를 정리한 것이 표 8이다. 미국산 높은 마디면적비 철근은 국내산 철근에 비하여 10%~18% 범위에서 높게 나타나고 있다. 또한 보통 마디면적비 철근인 CV와 U5의 비교에서 국내산 철근이 부착강도가 약 9% 작게 나타나고 있다.

실험의 결과는 높은 마디면적비 철근의 부착성능이 일반 철근에 비하여 우수하였으며 이는 기존 실험 연구의 결과와 대체적으로 일치하였다.

표 8 보단부 시험체의 부착실험 결과

| Bar type | f_{ck} (MPa) | Designation | R_r | Average Bond strength (kN) | Bond strength ratio | Normalized bond stress (MPa) |
|--------------|----------------|-------------|-------|----------------------------|---------------------|------------------------------|
| SD400 D25 | 27 | CV | 0.054 | 171.61 | 1.00 | 8.6 |
| | | U1 | 0.162 | 198.82 | 1.16 | 10.0 |
| | | U2 | 0.102 | 189.36 | 1.10 | 9.5 |
| | | U3 | 0.141 | 202.14 | 1.18 | 10.1 |
| | | U4 | 0.141 | 193.91 | 1.13 | 9.7 |
| | | U5 | 0.072 | 186.50 | 1.09 | 9.4 |

4. 결론

각국 철근의 공업 규격을 검토한 결과 대체적으로 일치하나 마디 높이의 최대, 최소치와 마디와 축선과의 각도는 각국이 다르게 규정하고 있다. 일부 국내산 D25 철근의 마디 높이가 국내 규격의 요구치를 만족하지 못하였으며, 마디 높이는 일본산, 미국산, 국내산 순으로 차이를 보였다.

부착 강도 실험 결과 마디면적비가 부착강도에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 마디면적비가 클수록 부착강도도 비례하여 증가하는 것으로 평가된다.

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. 서동민, "높은 마디면적비 철근의 부착특성에 관한 실험적 연구," 숭실대학교 석사학위 논문, 2005