

플레이트 형상에 따른 Headed Bars의 파괴거동에 관한 연구

Fracture Behaviors of Headed Bars with Different Plate Types

박 현 규* 윤 영 수** 류 영 섭*** 이 만 섭****
Park, Hyun Kyoo Yoon, Young Soo Ryoo, Young Sup Lee, Man Seop

ABSTRACT

This paper presents the failure mode on Headed Bars and prediction of tensile capacity, which is governed by concrete cone failure. 17 different plate types, three different concrete strengths and three different welding types of specimens were simulated. Static tensile load was applied. Headed Bars were manufactured in different areas, and their shape and thickness are based on ASTM 970-98. Calculation of embedment length in concrete is conducted based on CSA 23.3-94, and static tensile load was applied. Tested pullout capacities were compared to the values determined using current design methods such as ACI-349 and CCD method.

1. 서론

Headed bar는 처음에 해양 석유 플랫폼의 시공을 위해 유럽에서 개발되었다. 지난 십여년동안 캐나다, 미국 등지에서 Headed bar의 실제 적용이 이루어졌다. Headed bar의 사용은 미국의 토목 회사들, 건설 업자들에게 일반적이고, 지진 재하에 대한 교량의 설계와 건축 구조에 사용하기 위해 연구되고 있다. 또한, 한국에서도 Headed bar의 적용에 대하여 연구가 진행되고 있다. Headed bar는 용접 혹은 주조과정에 의해서 제조된다. 또한 헤드플레이트와 철근사이의 결합강도를 엄격하게 관리를 하고, 세부 플레이트 치수의 결정은 헤드 아래의 콘크리트에서의 힘의 전달을 고려하여 ASTM A970-98에 맞춰서 결정한다. 기존의 연구를 통해서 밝혀진 Headed bar를 사용해서 얻을 수 있는 이점은 다음과 같다. 1) 기존의 철근보다 작은 정착길이 2) 철근 밀집현상 감소 효과 3) 전단 변형량 최소화 4) 콘크리트 구속효과 5) 구조의 응력 흐름의 명확화를 통한 스트럿 타이 모델의 해석적 용이성 확보 6) 부재의 크기 감소 7) 부재의 연성 효과 극대화 8) 시공중 콘크리트 타설 및 철근 배근의 용이성 확보 9) 설계상 소요되는 철근 개수 감소 및 대체 효과 10) 절곡근, 갈고리근의 국부적인 지압으로 인한 파괴 위험 최소화 11) 프리캐스트 콘크리트 산업발전에 기여 12) 고성능 콘크리트의 활용성 증대 14) 고강도 철근의 연성 거동 보장과 같은 이점을 갖고 있다. 더하여 화재 혹은 지진으로 인해 콘크리트 커버가

* 고려대학교 방재과학기술연구소 연구원

** 고려대학교 토목환경공학과 교수

*** 브이에스엘코리아(주) 기술연구소 이사

**** 브이에스엘코리아(주) 기술연구소 전무이사

떨어져 나간다 해도 Headed bar의 헤드 플레이트 부분이 커버없이 정착성능을 발휘한다는 것이다. 이를 이용하여 보수, 보강에 유용하게 사용할 수 있다.

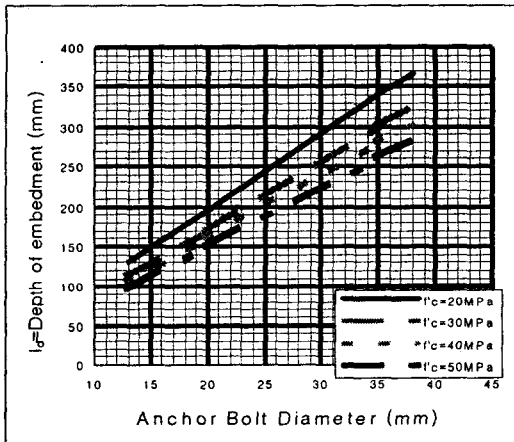
2. 배경

2.1 Headed bar의 제작

Headed bar 제작을 위해 ASTM 970-98을 기준으로 삼아 사용되는 철근과 헤드 플레이트에 사용되는 강재는 ASTM A706을 만족하는 것을 선택하였다. 이는 유럽과 북미에서 이루어졌던 실험을 근간으로 해서 만들어진 기준이다. 이 계산은 4286kgf/cm²의 철근 항복강도와 306kgf/cm²의 콘크리트 압축 강도를 기준으로 만들어 졌다.

헤드 두께는 철근의 축선의 수직으로 측정되고, 헤드의 횡단면 영역은 철근의 축선에 수직으로 봤을 때의 투영 면적이다. 이를 바탕으로 대략 철근 면적 대략 10 배의 헤드 면적, 또는 철근 직경 3 배의 헤드 직경이 헤드와 철근을 부착시키기 위해 필요한 것으로 나타났다.

표 1 Headed Bar의 묻힘길이를 앵커지름



2.2 묻힘길이의 산정

Headed bar의 효율적인 묻힘길이 산정에 관한 시방 기준이 없기 때문에 이 연구에서는 그 묻힘길이를 Headed bar 거동이 앵커의 거동과 유사하기 때문에 CSA23.3-94를 이용하여 그 길이를 산정했다. 이와 관련된 사항은 표 1을 보면 알 수 있다.

2.3 콘크리트 내에서의 Headed bar의 거동

1개의 Headed bar가 콘크리트에서 일어날 수 있는 거동은 Headed bar의 철근 부분에서 파단(그림1(a)), Head의 상부에서의 콘크리트의 파괴(그림1(b)), 철근과 Head의 접합부가 떨어지는 파괴(그림1(c))등이 일어날 수 있다.

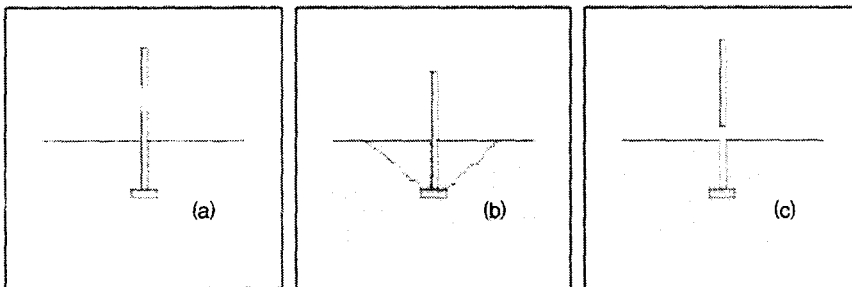


그림 1 Headed Bar의 파괴거동

3. 실험

3.1 개요

콘크리트 내에서의 Headed bar의 영향을 평가하기 위하여 인장실험을 수행하였으며 다양한 모양과 크기의 플레이트를 사용하였고, 하중-변위 곡선, 파괴형상, 파괴강도를 측정하였다.

표 2 Headed Bar의 앵커지름과 부착길이와의 관계

Test variables	Details
Concrete strength	280kg/cm ² , 360kg/cm ²
Reinforcing Bar Diameter	16mm, 19mm, 22mm
Shape of head	Circular, Square, Rectangular, Elliptical
Dimension of head	Aspect ratio, Area, Thickness
Welding Type	Friction welding, General welding 1 & 2
Embedment depth	70mm, 100mm.

3.2 실험변수

Headed bar의 인장실험에 있어서 하중재하방식, 문합길이, 연단거리, 플레이트 형상, Headed bar의 개수, bar에 쓰인 철근과 보강철근의 강도, 콘크리트의 강도, 보강철근과 Headed bar의 거리등 많은 변수들이 고려될 수 있다. 이 실험에서는 Headed bar의 플레이트 형상과 철근의 이음방법을 주 변수로 잡고 수행하였다.

그 시험편은 4개의 Type A(220cm×220cm×30cm, 280kgf/cm² 콘크리트 강도; 실험군 1과 2) 그리고 13개의 Type B(140cm×80cm×30cm; 360kgf/cm² 콘크리트 강도 및 280kgf/cm² 콘크리트 강도의 실험군 3)로 나누어서 하였고, 표 2에 이 변수들을 정리 하였다. 그리고, 각각의 변수에 대하여 2회씩의 실험을 행하였다.

3.3 실험 재료

3.3.1 Headed Bar

Headed bar에 사용된 철근의 직경은 16mm, 19mm, 22mm이고 항복강도는 모두 4000kgf/cm²이다. 자세한 헤드 플레이트 형상은 그림 5에 잘 나타나 있다. 실험에 사용된 헤드 플레이트와 철근의 이음을 위해서 용접을 사용하였는데 마찰용접과 일반 가스용접을 사용하였다. 일반용접은 용접면적을 달리 함으로써 구별을 하여 총 3가지의 용접 방법을 사용하였다. 용접 면적과 방법은 그림 2 ~ 4를 보면 알 수 있다.

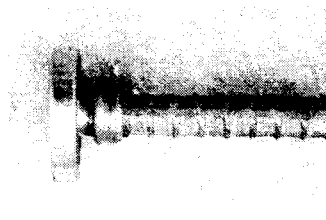


그림 2 Friction Welding

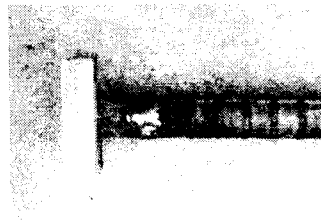


그림 3 General Welding Type 1



그림 4 General Welding Type 2

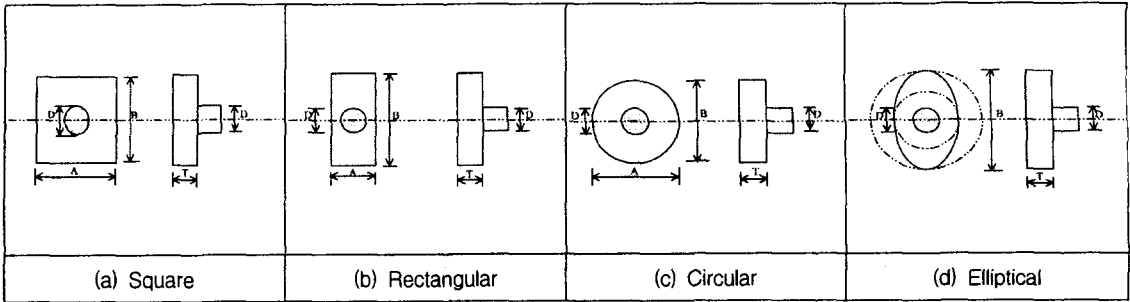


그림 5 Headed Bar의 세부형상

3.3.2 콘크리트와 철근

한국에서는 보통 210kgf/cm^2 와 400kgf/cm^2 의 범위의 콘크리트를 사용하고 있다. 280kgf/cm^2 레디믹스드 콘크리트와 360kgf/cm^2 현장배합 콘크리트가 실험에 사용되었다.

보강철근은 D13, 4000kgf/cm^2 항복강도의 철근은 사용하였고, 0.45의 철근비로 실험체 하부를 보강하였다. 실험체의 크기와 Headed bar의 배치는 그림 6과 그림 7에 나와 있다.

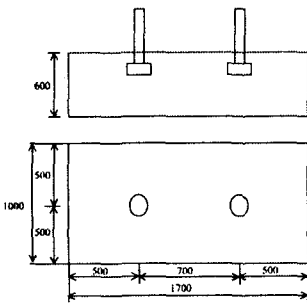


그림 6 Type B Headed Bar 배치

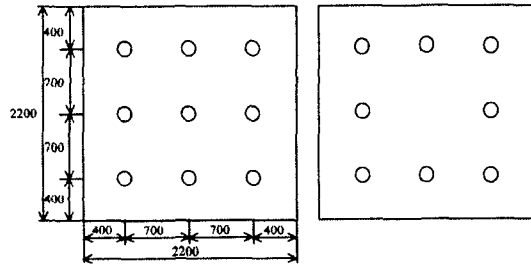


그림 7 Type B Headed Bar 배치

4. 실험결과

그림 8은 실험군 3에서의 하중-변위 관계곡선이며, 그림 9는 실험군 3에서의 D 16 원형 플레이트 모양을 갖는 실험체 들의 하중-변위 곡선이다. 대부분의 실험체가 비슷한 경향을 보이지만, 플레이트의 두께가 다른 실험체들(C1, C2, C3)을 비교할 때, 두께가 기준(ASTM 970-98)에 적합한 시험체인 C2가 가장 큰 변위량을 나타냈다.

실험군 1의 경우, 철근 파괴와 콘크리트 파괴가 일어났으며, 이는 문힐깊이 산정이 앵커의 식을 이용하였지만 안전한 결과를 나타낸다고 볼 수 있었다. 실험군 2의 경우, 모두 용접부위가 끊어지는 결과를 나타냈는데 이는 작은 용접 부위로 인해 충분한 용접강도를 유지할 못했다고 생각이 들수도 있지만, 파괴강도는 철근 항복강도의 125%를 넘는 결과를 나타냈다. 실험군 3의 경우는 실험군 1과 2보다 문힐깊이는 낮게 잡고, 실험군 2보다 넓은 용접면적을 갖는 가스용접을 사용한 결과 값이다. 시편의 파괴 양상은 그림 10에서 세부적으로 보여준다.

실험군 3에서의 파괴 면적은 기준식에서 예측한 값보다 큰 크기를 보이고 있는데 이 차이는 기준식

에서 35도에서 45도까지 보고 있는 파괴각도와 관련이 있다. ACI의 경우는 플레이트의 폭과 문힘깊이를 고려하고, CCD Method의 경우는 문힘깊이를 기준으로 파괴면적을 추정하였는데 실험결과는 이보다 큰 크기로 나왔다. Headed bar와 가까운 영역의 파괴각도를 보면 기준식에서 예측하고 있는 각도와 비슷한 각을 보이고 있지만, 콘크리트 상부로 올라 갈수록 그 각이 작아져서 큰 파괴 면적을 보이고 있으며 이는 실제 설계시 고려되어야 한다.

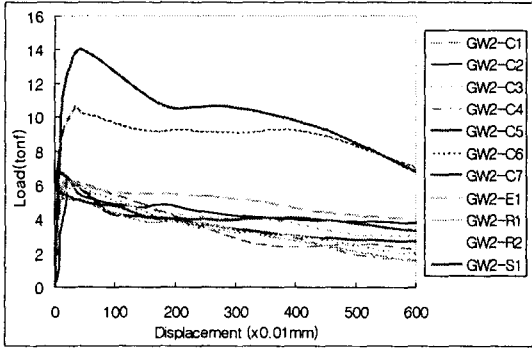


그림 8 실험군 3에서의 하중-변위 관계곡선

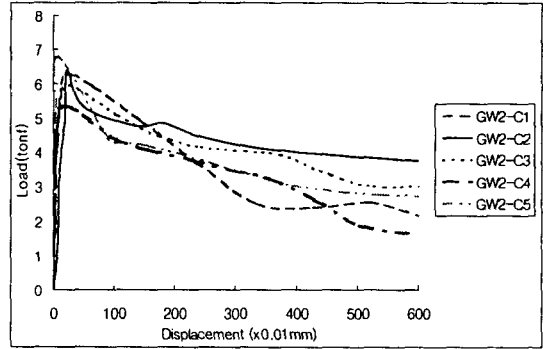


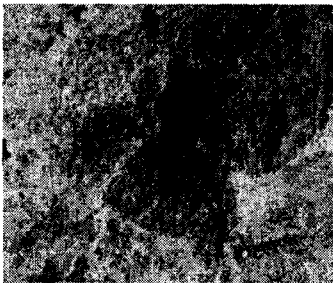
그림 9 실험군 3에서의 D16 원형 플레이트 모양을 갖는 실험체들의 하중-변위 곡선



(a) Concrete Cone Breakout



(b) Steel Failure



(c) Pull-through Failure



(d) Concrete Cone Breakout

그림 10 실험체의 파괴양상

5. 결 론

이 연구는 콘크리트에 Headed bar의 안전하고 경제적인 적용에 관한 기본적인 자료와 설계 방향을 제시하기 위해 수행되었으며, 플레이트의 형상과 용접방법을 달리하며 기존식들과의 비교를 통해 다음과 같은 결론을 내렸다.

- 1) 콘크리트 파괴의 가장 큰 영향요소는 묻힘길이와 Headed bar의 철근과 플레이트 이음이었으며, 넓은 면적의 용접부위를 갖는 일반용접이 경제적 측면과 실용적 측면에서 우수한 성능을 보였다.
- 2) 철근의 직경에 따른 Headed bar의 정착내력은 직경이 커질수록 기준식에 접근하는 경향을 보인다.
- 3) 플레이트의 면적의 영향은 플레이트의 두께가 강도에 미치는 영향보다는 크다. 그러나 플레이트의 두께는 하중-변위 관계에 영향을 주고 있다.
- 4) 이 논문에 쓰인 기준식은 앵커에 관련된 식이며, 기존 앵커와 달리 이형철근이 사용되고 더 큰 플레이트 크기가 사용되는 Headed bar의 결과도 모두 기준식에 만족하는 결과를 보이고 있다.

감사의 글

이 논문은 국가지정연구소(National Research Laboratory, NRL)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. ASTM, "Standard Specification for Welded or Forged headed bars for Concrete Reinforcement", A 970/A 970M-98.
2. CPCA Concrete Design Handbook, CSA Standard A23.3-94.
3. ACI 349 Appendix B Draft, Fastening to Concrete, June, 1999.
4. ACI 349 Proposed Revisions to Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures and Commentary, New Appendix B, Fastening to Concrete.
5. Werner Fuchs, Rolf Eligehausen, and John E. Breen, Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete, ACI Structural Journal, Vol.92, No. 1, January-February, 1995.
6. Dale e. Berner, Ben C. Gerwick, and George C. Hoff, T-Headed Stirrup Bars, Concrete International, May, 1991.
7. John W. Wallace, Scott W. McConnell, Piush Gupta, and Paul A. Cote, Use of Headed Reinforcement in Beam-Column Joints Subjected to Earthquake Loads, ACI Structural Journal, Vol. 95, No. 5, September-October, 1998.
8. Dale E. Berner and George C. Hoff, Headed Reinforcement in Disturbed Strain Regions of Concrete Members, Concrete International, January, 1994.
9. Dale E. Berner, T. Dahlgren, and K. Dahl, Design and Detailing with Headed Reinforcement for Seismically Resistant Concrete Bridge Structures, ACI International, SP-184.
10. Richard A. DeVries, James O. Jirsa, and Tarek Bashandy, Anchorage Capacity in Concrete of Headed Reinforcement with Shallow Embedments, ACI Structural Journal, Vol. 96, No. 5, September-October, 1999.