

Headed bar를 사용한 외부 철근 콘크리트 보-기둥 접합부의 강화된 내진 성능에 대한 유한요소해석

Finite Element Analysis of Exterior R.C. Beam-Column Joints Containing Headed Bars utilized for Enhanced Seismic Performance.

방 석* 이 주 하** 윤 영 수***
Bang, Suk Lee, Joo ha Yoon, Young Soo

ABSTRACT

This paper proposes Headed bar as reinforcement of beam-column joint, and proves seismic performance and reduction of reinforcement congestion. In these case, the use of Headed bars have obvious advantages. The greatest benefit of using Headed bars is not only improved structural performance of beam-column joints, but also the ease of fabrication, construction, and placement. Three-dimensional finite element analysis model is compared with test program which was fulfilled by the proposed model with Headed bar.

Also, the plastic hinge region is relocated to the center of the longitudinal beam length according to the strong column-weak beam design philosophy, so Headed bar is used as the joint reinforcement. Therefore, this paper presents results of a computer analysis of a practical solution for relocating potential beam plastic hinge regions by the placing of straight - Headed bar.

1. 서론

최근 콘크리트의 고강도화에 따른 빌딩의 고층화, 부재의 축소화, 연성거동의 필요성에 따라 새로운 보강재료의 필요가 대두되고 있다. 특히 고층 구조물 및 대규모의 교량 구조물에서의 보-기둥 접합부는 보의 정착철근과 기둥 주근, 기둥의 띠철근의 복합적인 배근으로 인해 매우 복잡한 배근을 형성한다. 그리고 현재 강 기둥-약 보 설계 개념에 입각하여 보-기둥 접합부 면에 발생하여 심각한 파괴를 일으키는 소성 힌지의 위치를 기둥 부근에서 보의 중앙으로 이동시켜서 내진 하중 하에서의 고층 구조물의 안정성을 확보하는데 그 초점을 둘 수 있다. 이에 Headed bar는 철근 콘크리트 보-기둥 접합부에서 이러한 문제점을 해결하는데 사용될 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 국외에서 수행된 보-기둥 접합부의 내진 실험의 결과를 발췌하고, 거기에 Headed bar의 우수성을 입증하기 위한 시편을 추가하여 총 9개의 시편을 비선형 구조해석 프로그램인 DIANA V7.2를 사용하여 배근 방법에 따른 구조 거동을 예측 및 해석 하였다.

* 고려대학교 방재과학기술연구센터 연구원

** 고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정

*** 고려대학교 사회환경시스템공학과 교수

2. Headed bar의 특징

Headed bar는 앵커와 같이 일종의 정착 시스템인 Head를 철근의 양단 또는 한쪽 끝에 도입한 철근이다. 이러한 Head는 상대적으로 기존의 이형철근의 정착길이 보다 작은 길이로 Head 하부의 콘크리트 구속효과를 발휘할 수 있다. 이러한 Head의 크기는 구속효과의 극대화를 위하여 ASTM A970-98 등 여러 규정이 크기 제한을 제시하고 있다.

3. 해석

3.1 개요

본 연구에서는 RC 보-기둥 접합부의 9개의 시편이 그림 1과 같이 분류되어 수행되었다. 이 시편은 기존에 외국에서 수행된 시편으로 90도 각도로 회전시킨 것이다. 접합부 정착 상세에 따라 H, Q, R로 나누었고, 접합부 보강상세에 따라 1, 2, 3시편으로 나누어서 조합한 것이다. Q1, Q3와 R1, R3는 실험 시편의 결과를 그대로 가져와 적용 하여, 본 연구의 해석 결과와 비교하였으며, Headed bar를 적용한 것으로는 H1, H2, H3, Q2, R2를 추가하였다.

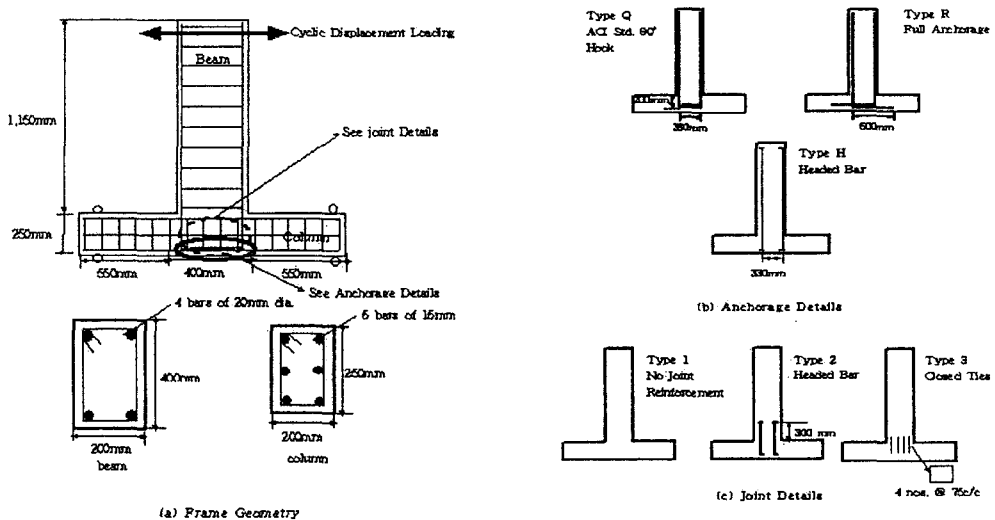


그림 1 해석 시편의 분류

3.2 해석조건

해석의 Element type으로는 콘크리트의 경우 He8, HX24L, Brick 요소로 실제 크기에 맞게 Geometry를 구성하였으며, 철근 및 Headed bar는 Be2, Reibar, Line 요소로 가정하여 철근 배근 위치의 도심을 연결하여 모델링하였다. 해석에 대한 세부사항은 다음과 같이 정리할 수 있다.

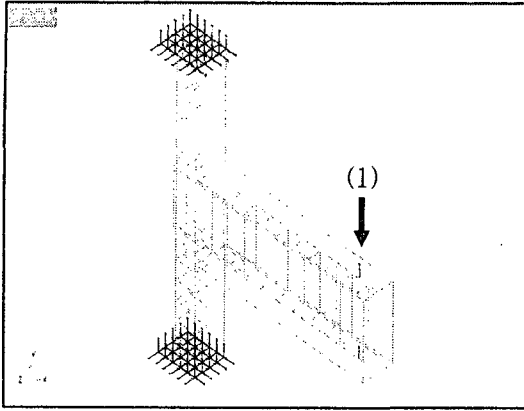


그림 2 DIANA V7.2에 의한 실제 모델링 과정

- FEA Program : DIANA V7.2
- FEA 유형 : 3-Dimensional Structural Non-Linear(Qusi-Static)
- 경계조건 : 기둥 양 끝단의 수직-수평 방향 구속(Pinned)
- 하중조건 : (1) 지점에서의 주기하중 (quasi-static condition)
- Mesh Type
Concrete : He 8, HX24L-brick, 8 nodes.
Reinforcement : Be 2, Reibar-line 2 nodes.
- 콘크리트의 제원 : $E_c = 2.8 \times 10^4$ MPa
포아송비 0.25
- 철근의 제원 : $E_s = 2.1 \times 10^5$ MPa
포아송비 0.30

- Headead bar의 묘사 : Headed bar를 묘사하기 위하여 Bar를 선형 요소를 가정하여 Mesh를 나누었고, 철근의 Head 두께 만큼의 철근 단면적을 달리 입력하여 일체화 된 Headed bar를 묘사하였다

4. 해석결과

9개의 시편에 대한 해석 결과를 살펴보면, 같은 접합부 정착 방법에 대한 시편 분류에서 H, Q, R은 서로 비슷한 구조성능을 보이며, 접합부 보강 방법에 따른 분류에서는 Headed bar를 보강한 2시편이 다른 시편에 비해 에너지 소산능력 및 강성감소 측면에서 우수한 성능을 나타낸다.

표 1 The Ultimate Strength of All specimens (kN)

	1	2	3
H	96.0	125.0	99.3
Q	94.5	126.0	97.7
R	95.3	126.0	102.0

표 1은 각 시편의 해석결과로 도출된 극한강도 값이며, 그림 3과 그림 4에서 알 수 있듯이 2시편의 이력곡선의 양상이 에너지 소산능력과 강성감소의 측면에서 가장 우수하다는 것을 보여준다. 그림 5와 그림 6은 최종 파괴 단계까지 이르기까지의 접합부에서부터 떨어진 거리에 따른 콘크리트의 응력 분포를 보여주고 있다.

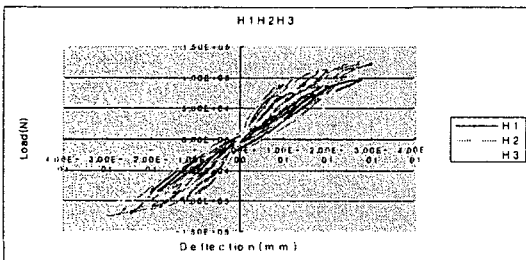


그림 3 Lateral Load-Displacement Curves of Type H Specimens

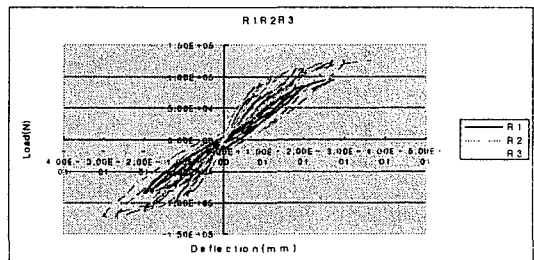


그림 4 Lateral Load-Displacement Curves of Type R Specimens.

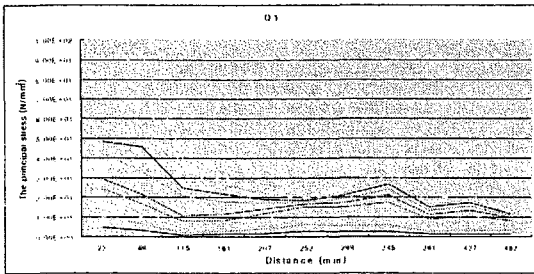


그림 5 The Stress Distribution of Concrete on the Distance from Column Face [Q1]

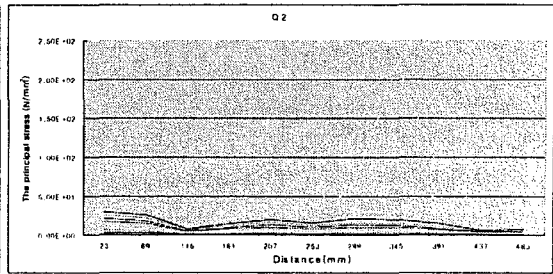


그림 6 The Stress Distribution of Concrete on the Distance from Column Face [Q2]

5. 결론

철근 콘크리트 보-기둥 접합부의 내진거동에 대한 여러 가지 설계 인자의 효과를 연구하기 위하여 구조해석 프로그램인 DIANA V7.2를 사용한 3차원 해석모델을 사용하였다. 그 예측 결과 Headed bar의 내진 성능하의 구조적 우수성이 입증되었고, 그 결과는 다음과 같이 정리된다.

- 1) 접합부 철근이 없는 시편이 에너지 소산능력과 강성감소 측면에서 바람직하지 못하며, Headed bar의 보강은 내진성능을 향상시킨다.
- 2) ACI 표준 갈고리와 Full Anchorage를 갖는 주인장철근을 배근 하였을 때와 Headed bar를 사용하였을 때의 내진 성능이 거의 유사하다는 것이 응력 흐름과 이력곡선으로부터 입증되었다.
- 3) 기둥 접합부로부터 300 mm 떨어진 지점에 강기둥 - 약보 설계 개념에 맞는 소성힌지의 이동을 Headed bar의 보강으로 가능해졌다는 것이 콘크리트의 응력 분포와 이력곡선을 비교함으로써 알 수 있다. 또한 주기 하중 하에서의 소성힌지 영역에 Headed bar를 중간철근으로 사용하는 것은 에너지 소산능력의 증가를 가져오며, 강성감소를 최소화 할 수 있다.
- 4) 이러한 Headed bar를 사용하는 것은 유사한 구조성능 하에서 과밀 배근 지역에 시공성 증대를 가져올 뿐만 아니라, 주인장 철근으로 사용하였을 때나 보강 철근으로 사용하였을 때, 우수한 내진 성능을 발휘할 수 있다.

참고문헌

1. ACI Committee 318 (2002) Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-02) and Commentary(ACI 318R-02), American Concrete Institute, Michigan.
2. ACI Committee 352, Recommendation for Design of Beam - Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures, ACI 352-02, ASCE - ACI Committee 352, American Concrete Institute, Farmington Hills, 2002.
3. Wallace, J. W.; McConnell, S. W.; Gupta, P.; and Cote, P. A., Use of Headed Reinforcement in Beam-Column Joints Subjected to Earthquake Loads, ACI Structural Journal, V. 95, No. 5, Sep. Oct. 1998, pp. 590-606.
4. Nuttawat Chutarat and Riyad S. Aboutaha, Cyclic Response of Exterior Reinforced Concrete Beam-Column Joints Reinforced with Headed Bars-Experimenta Investigation, ACI Structural Journal, V.100. No.2 MARCH-APRIL 2003, pp.259-266.