

헤디드 바를 사용한 외부 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성능 향상

Enhancing Seismic Performance of Exterior R.C. Beam-Column Connections Using Headed Bars

신 현 오¹⁾ 양 준 모²⁾ 윤 영 수^{3)*}
Shin, Hyun Oh Yang, Jun Mo Yoon, Young Soo

Abstract

The reinforced concrete beam-column connections are in lack of constructability and are likely to show anchorage failure because of the complex details of joint regions. Under seismic loads, a destruction of the column or the beam-column joint leads to collapse of the whole structures. For this reason, the safety of structures has to be guaranteed by following procedures which are based on the strong column-weak beam design concept: 1) failure of beam by generating plastic hinge in the beam maintained a certain distance from the surface of column, 2) failure of column or beam-column joint. In this study, headed bars were used as longitudinal reinforcements of beam and joint reinforcements in order to improve the strength and constructability of joint and to relocate plastic hinge. The finite element analyses (FEAs) were performed to the reinforced concrete beam-column joints utilizing headed bar reinforcements. To verify the availability of the analysis models, the FEAs for experimental tests performed by previous researchers were conducted and compared with the experimental results. Additional variables are also considered to confirm the excellence of headed bars. Analysis results indicate that the constructability of beam-column connections can be improved by using headed bars for the full anchorage of longitudinal reinforcements of beam under similar structural performance. In addition, the plastic hinge was relocated to the intended place by using headed bars as joint reinforcements. Under cyclic displacement loading, the energy dissipation capacity and ultimate stress were increased and the decrease in stiffness was minimized.

Keywords : Beam-column connections, Headed bars, Finite element analysis, Plastic hinge, Seismic performance

1. 서론

최근 건설기술의 발전에 따라 고강도 콘크리트의 사용이 증가하고 있고 이로 인해 건물의 고층화 및 부재 단면의 축소화가 가능하게 되었다. 그러나 콘크리트의 강도증가는 부재의 취성을 증가시키고 이는 고강도 콘크리트 사용의 제한 요소로 작용하고 있다. 따라서 콘크리트의 고강도화에 따른 취성파괴를 막고 부재의 연성거동을 확보하기 위하여 새로운 보강재료의 필요성이 대두되고 있다. 특히 철근콘크리트 보-기둥 접합부는 보의 정착철근, 기둥 주철근 및 띠철근이 복합적으로 위치하고, 내진성능을 향상시키기 위해 많은 양의 철근으로 보강을 하기 때문에 배근이 복잡해지고 철근의 정착공간이 협소하기 때문에 정착파괴가 발생할 가능성이 높다.

이러한 보-기둥 접합부의 정착파괴 및 접합부의 파괴는 구조물 전체의 붕괴에 직접적으로 영향을 미칠 수 있기 때문에 이의 보강방법에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 전단철근이나 장부철근이 없는 접합부의 RC jacket 보강 효과(Wang and Hsu, 2009), 철근의 비대칭 배근 효과(Lee and Ko, 2007), 띠철근의 사용 효과(Hwang et al., 2005)와 같이 기존의 보강재료를 다양한 방법으로 활용하여 접합부의 성능을 향상시키기 위한 연구가 진행되었다. 또한 최근에는 HPFRCC를 사용한 전단철근 대체효과(Parra-Montesinos, 2005), 접합부내 대구경 고강도 철근의 부착성능 평가(Brooke, 2006), CFRP sheets의 보강효과(김민 등, 2006) 등과 같은 새로운 보강재를 활용한 연구도 많이 진행되고 있다.

한편 ACI 352R-02에서는 접합부의 하중조건과 횡방

1) 정회원, 고려대학교 건축사회환경공공학부 박사과정
2) 정회원, 고려대학교 BK21건설글로벌리더사업단 박사후연구원
3) 정회원, 고려대학교 건축사회환경공공학부 교수

* Corresponding author : ysyoon@korea.ac.kr 02-3290-3320

• 본 논문에 대한 토의를 2011년 5월 31일까지 학회로 보내주시면 2011년 7월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

향 하중하에서 설계자가 의도한 변형의 발생 여부에 따라 보-기둥 접합부를 아래와 같이 Type 1과 Type 2로 나누어서 설계하도록 제안하고 있다.

- Type 1 connections : 횡하중에 대하여 비탄성 변형을 기대할 수 없는 경우(비내진 구역)
- Type 2 connections : 지진과 폭풍에 의하여 발생하는 비탄성 변형상태에서 강도 및 연성을 유지하도록 설계하는 경우(내진구역)

따라서 지진하중을 받는 구조물의 경우, 갑작스런 붕괴를 막기 위해서 기둥 및 접합부는 탄성범위 내에 있고, 기둥표면에서 일정거리 이상 떨어진 보에 소성힌지(plastic hinge)를 발생시켜 보의 파괴가 선행된 후에 접합부와 기둥이 파괴되는 강기둥-약보(strong column-weak beam)의 설계 개념을 적용하여 구조물의 안정성을 확보하도록 하고 있다.

본 연구에서는 이러한 소성힌지의 이동과 접합부의 강도 향상을 모두 만족시키기 위하여 보 주인장 철근과 접합부 보강 철근으로 헤디드 바를 활용하였다. 헤디드 바를 보강재로 사용한 연구는 선행연구자들(Wallace et al., 1998; Chutarat and Aboutaha, 2003; Chun et al., 2007; Kang et al., 2009)에 의해서도 수행 되었으나 이러한 연구는 실험을 통한 각각의 보강방법에 대한 검증과 보강상세 및 설계모델을 제안하는 것이 주를 이루고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 보-기둥 접합부의 내진 성능 및 소성힌지 이동을 상용프로그램을 활용하여 검증함으로써 향후 다양한 배근 형태의 접합부 구조성능을 해석적으로 평가하는 기초자료를 제공하고자 하며, 헤디드 바의 접합부 보강효과 또한 평가해 보고자 하였다. 이를 위해 Murty 등(2003)에 의해 수행된 실험결과를 바탕으로 유한요소 해석을 수행하여 해석의 정확성을 검증하고, 거기에 헤디드 바의 우수성을 입증하기 위한 시편을 추가하여 보강방법에 따른 구조 거동을 예측하였다.

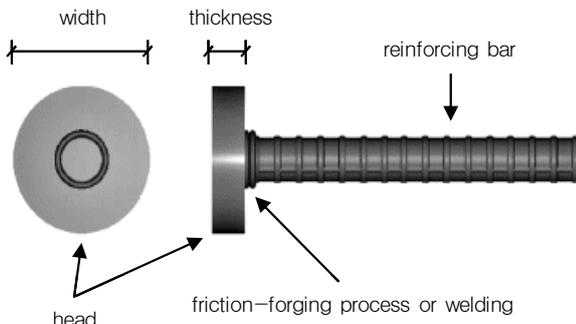


Fig. 1 Details of headed bar

2. 헤디드 바의 특징 및 성능

작은 직경을 가진 여러개의 스티럽을 대체하기위해 해양구조물에 최초로 적용된 헤디드 바는 Fig. 1에 나타난 것처럼 앵커와 같이 일종의 정착 시스템인 헤드를 철근의 양단 또는 한쪽 끝에 볼트나 용접으로 부착한 형태를 가지고 있다. 이러한 헤드는 상대적으로 기존의 이형철근보다 짧은 정착길이로 헤드 하부의 콘크리트에 구속효과를 발휘할 수 있으므로 기존의 철근보다 짧은 정착길이, 철근 밀집감소에 따른 콘크리트 타설 및 철근배근 용이성 확보, 콘크리트의 구속효과, 부재의 연성 극대화와 같은 잠재적 효과를 얻을 수 있다. 헤디드 바의 헤드 크기는 철근에 작용하는 하중을 콘크리트의 파괴나 헤드의 변형 없이 헤드 안쪽에 있는 콘크리트에 충분히 전달할 수 있어야 한다. 이러한 헤드의 크기를 ACI 318-08 (2008)에서는 철근 단면적의 4배 이상으로 규정을 하고 있으며, ASTM A 970-09 (2009)에서는 헤드 크기에 대한 특별한 규정을 두고 있지 않다. 본 연구에서는 헤디드 바의 사용을 통해 충분한 정착성능을 발휘할 수 있도록 철근 단면적의 9~10배 크기의 헤드를 사용하였으며, 사용된 헤디드 바의 상세 규격을 Table 1에 나타내었다.

3. 보-기둥 접합부의 준 정적 비선형 해석

3.1 보-기둥 접합부의 종류 및 해석 대상 구조물

일반적인 철근콘크리트 보-기둥 접합부는 Fig. 2와 같이 분류할 수 있으며, 접합부 종류 및 1장에서 설명한 내진 구역 및 비내진 구역의 구분에 따라 아래 식 (1)의 전단강도 계산시 서로 다른 전단응력계수(γ)를 Table 2와 같이 적용하도록 정의하고 있다(ACI 352R-02). 본 연구에서는 이들 중 Fig. 2(b)와 같은 외부(exterior) 보-기둥 접합부에 대한 해석을 수행하였다.

Table 1 Headed bar dimensions

Reinforcement types	Reinforcing bar		Head		
	Diameter [mm]	Area [mm ²]	Thickness [mm]	Area [mm ²]	Width [mm]
Longi. rein. bars	20	314	14	2,840	60
Joint rein. bars	16	200	12	2,000	50

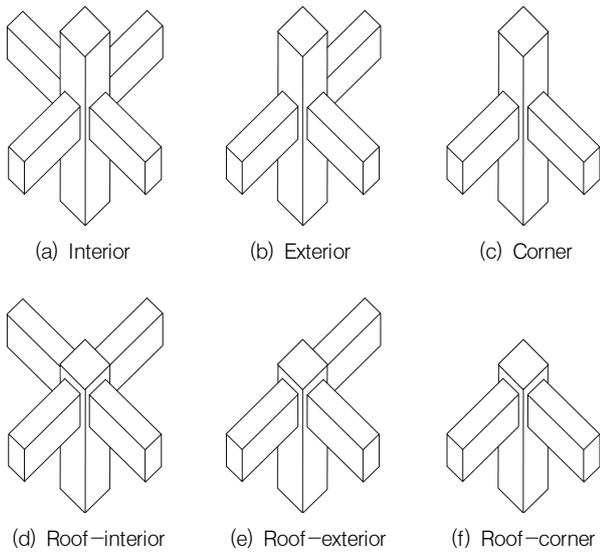


Fig. 2 Typical beam-to-column connections

Table 2 Values of γ for Beam-to-Column Connections

Classification	Type 1	Type 2
Joints with a continuous column		
-Joints effectively confined on all four vertical faces	24	20
-Joints effectively confined on three vertical faces or on two opposite vertical faces	20	15
-Other cases	15	12
Joints with a discontinuous column		
-Joints effectively confined on all four vertical faces	20	15
-Joints effectively confined on three vertical faces or on two opposite vertical faces	15	12
-Other cases	12	8

$$V_n = 0.083\gamma\sqrt{f'_c}b_jh_c \text{ (MPa)} \quad (1)$$

여기서, $\phi=0.85$, V_n =접합부의 공칭전단강도, γ =접합부의 형태에 따른 전단응력계수(Table 2), b_j =접합부 유효폭, h_c =접합부 전단력 방향 기둥의 깊이이다.

3.2 해석 변수

Fig. 3에 해석 변수를 나타내었다. Murty 등(2003)에 의해 수행된 실험결과를 바탕으로 보 주인장 철근의 정착 상세에 따라 Q, R, H series로 나누었고, 접합부 보강상세에 따라 Joint 1, 2, 3로 나누어서 각각을 조합하여 총 9개의 변수에 대해서 해석을 수행하였다. 보 주인장 철근 정착방법에 따른 분류로 Q series의 경우는 90도 표준갈

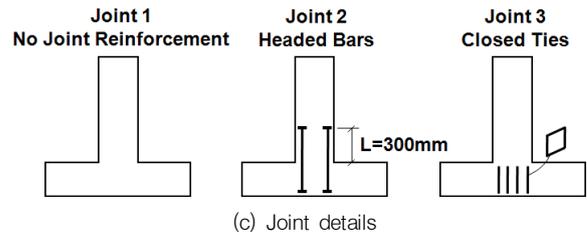
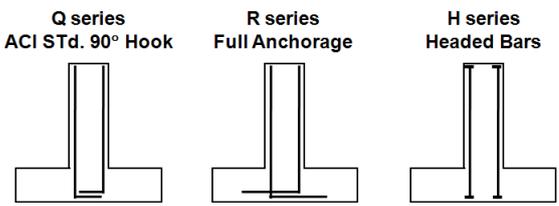
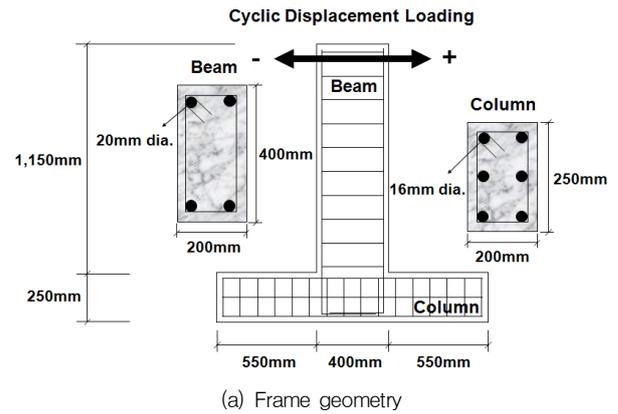


Fig. 3 Geometry and reinforcement details of specimen

고리를 적용하였고, H series는 헤드드 바를 적용하였으며 R series는 완전한 정착 길이를 갖는 시편이다. 이러한 보 주인장 철근에 의한 휨강도는 평균 75.4 kN·m이다. 그리고 접합부 보강방법에 대한 분류로 Joint 1은 접합부에 아무런 보강을 하지 않은 경우이고, Joint 2는 접합부 강도를 향상시키고 소성 힌지를 설계자의 의도대로 이동시키기 위해 헤드드 바를 보 방향으로 300 mm 만큼 내민길이를 갖도록 설치한 것이며, Joint 3은 접합부에 폐합 스테럽 형태의 철근으로 보강을 한 것이다. Joint 2와 Joint 3에 보강된 철근량은 동일하며, Joint 2에 보강된 헤드드 바는 충분한 정착에 의해 약 40%의 휨강도를 증가시킨다. 여기서 Q1, Q3와 R1, R3 시편은 Murty 등(2003)에 의해 실험된 부재와 동일한 변수로 해석의 정확성을 검증하기 위하여 본 연구의 해석 결과와 비교 하였으며, 헤드드 바의 효과를 검증하기 위하여 H1, H2, H3, Q2, R2 시편을 추가하였다.

3.3 유한요소 모델

앞서 설명한 9개의 시편을 범용 구조해석 프로그램인 DIANA를 활용하여 주기하중 조건, 즉 준 정적(quasi static)인 조건으로 해석하였다. 유한요소를 수행하기 위한 기본 형태는 콘크리트의 경우 8절점 등매개변수 입체 요소(8 node isoparametric solid brick element)를 사용하였으며, 철근 및 헤드드 바는 콘크리트 요소 내에서 일정한 단면적을 갖는 2절점 선형요소(2 node line element)를 사용하였다(TNO Building and Construction Research, 2002). 모델을 구성한 매쉬(mesh)는 비선형 수치해석 결과의 수렴 조건을 만족시키기 위해 충분히 촘촘하게 구성하였으며, 기둥의 양 끝단에서 횡방향 변위와 종방향 변위가 구속되도록 경계조건을 부여하였다.

해석의 정확도를 위해 콘크리트는 탄소성 거동을 하도록 가정하였다. 탄성의 한계상태는 Drucker-Prager yield criterion을 기준으로 설정하였으며, 콘크리트의 응력이 항복경계 조건에 도달하였을 때 등방경화(isotropic hardening)에 대한 동반된 규칙을 따라 거동하도록 하였다. DIANA 해석을 위한 항복경계 조건은 현재의 응력 상태와 내부 마찰각(ϕ), 등가 부착력(\bar{c})을 고려하여 평가한다. Drucker-Prager yield criterion에서 제시하는 일축압축응력(f_c)과 등가 부착력(\bar{c})의 관계는 식 (2)과 같으며, 해석을 위한 콘크리트의 재료물성은 탄성계수(modulus of elasticity) 28,000 MPa, 포아송 비(poisson's ratio) 0.2를 적용하였다.

$$\bar{c} = f_c \frac{1 - \sin\phi}{2\cos\phi} \quad (2)$$

철근의 변형경화(strain hardening)와 동반된 거동을 모델링하기 위해 Von Mises yield criterion을 설정하였으며, 철근과 콘크리트 사이의 미끄러움이 발생하지 않는 완벽한 부착상태라고 가정되어있다. 철근의 재료 물성치는 탄성계수 200,000 MPa, 포아송 비 0.3을 적용하였다.

이상의 모델링 결과와 경계조건, 작용하중을 Fig. 4에 도식화하였다. Fig. 3(a)와 Fig. 4에 나타나 있는 작용하중(cyclic displacement loading)은 실험에서 실제 액추에이터에서 가해지는 하중을 변위로 환산하여 Fig. 5와 같은 주기로 가정하여 준 정적인 하중을 적용하였다.

한편, 헤드드 바를 묘사하기 위하여 Fig. 6과 같이 선형

요소를 가정하여 매쉬를 나누었으며, Table 1에 나타나 있는 헤드두께 만큼의 철근 단면적을 중간 이형철근과 달리 입력하여 일체화된 헤드드 바를 묘사하였다. 또한 앞선 2장의 설명처럼 충분히 큰 헤드를 사용하여 완전한 정착이 이루어진 것으로 가정하여 모델링하였다.

비선형 해석에는 전회차의 접선 강성(tangential stiffness)을 사용하여 해를 찾는 Newton-Raphson

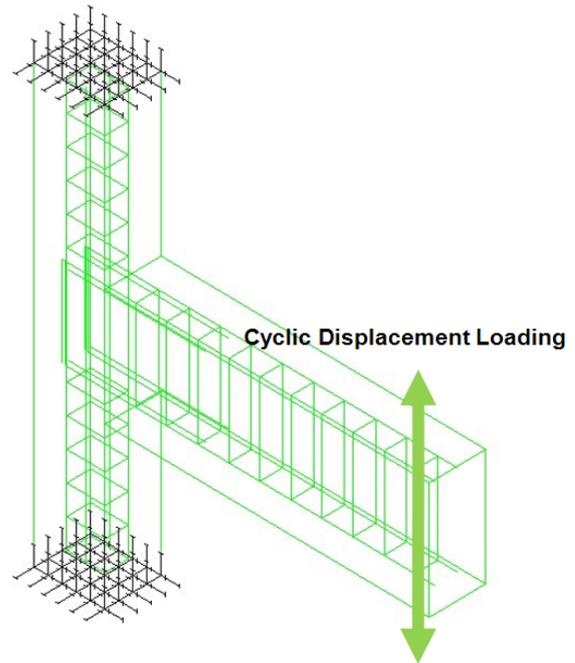


Fig. 4 General model layout showing boundary conditions

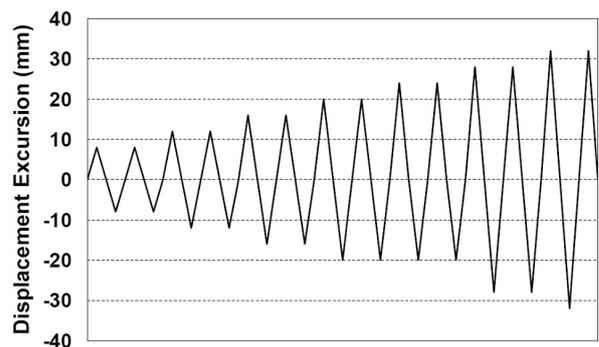


Fig. 5 Cyclic displacement loading history

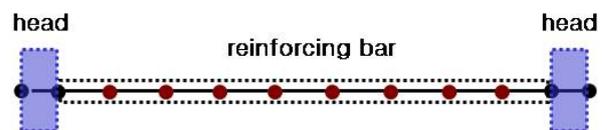


Fig. 6 Modeling of headed bar

Method를 사용하였다.

4. 유한요소 해석 결과

4.1 해석모델의 검증

본 연구에서 수행된 해석의 정확성을 검증하기 위하여 Murty 등(2003)에 의해 실험된 부재와 동일한 변수인 Q1, Q3, R1, R3 시편에 대한 실험결과와 해석결과를 극한강도를 중심으로 비교하여 Table 3에 나타내었다. 분석결과 접합부에 아무런 보강을 하지 않은 Q1, R1 시편의 경우 실험값(H_u^{test})과 해석값(H_u^{FE})이 20~30% 정도의 차이가 있는 것으로 관찰되었으며, 접합부를 폐합 스티럽으로 보강한 Q3, R3 시편의 경우 그 오차가 6~8% 정도로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 한편 철근의 응력이 항복강도의 1.25배일 때의 휨 저항 성능을 바탕으로 계산한 이론적인 값(H_u^{cal} , Medhekar et al., 2004)은 접합부 보강이 되지 않은 경우에는 해석결과와 마찬가지로 실험값과 다소 차이를 보이지만 접합부를 보강한 경우는 실험값과 비슷한 결과를 보여주었다. 이로부터 접합부가 보강되지 않은 경우에는 이론값과 해석값은 보-기둥 접합부의 실제 거동을 다소 보수적으로 예측한다는 것을 유추할 수 있으며, 이러한 현상은 파괴모드의 차이에서 기인한다. 그러나 접합부가 폐합 스티럽과 같은 형태로 적절히 보강된 경우에는 해석결과가 실제 거동과 유사하고, 또한 해석값이 계산에 의한 이론값과는 모든 경우 10% 이내의 오차를 보이기 때문에 본 연구에서 수행된 해석 모델은 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 실제 거동을 잘 모사한다는 것을 확인할 수 있었다.

또한 실험결과에서 Q series는 R series와 비슷한 극한강도 값과 파괴양상을 보이며, 이는 표준갈고리가 시공상의 이점 때문에 더 선호되는 방법임을 시사해 주는 결

과이다. 하지만 접합부 보강방법에 따른 차이에 의해 Joint 1 보다는 Joint 3의 경우가 보다 더 좋은 구조성능을 나타내었다. 이러한 경향은 해석결과에서도 동일하게 나타나고 있으며, 이는 추가 변수(H1, H2, H3, Q2, R2)에 대한 해석결과와의 정확성을 뒷받침할 수 있다.

4.2 이력곡선 비교

보-기둥 접합부의 준 정적 비선형 해석에서 부재의 내진 성능을 평가하기 위해서는 철근 콘크리트 부재의 비탄성 주기거동을 확실하게 평가할 수 있어야 하는데 이는 부재의 강도, 변형능력, 주기당 에너지 소산 능력으로 정의된다. 여기서, 주기당 에너지 소산능력은 하중-변위의 주기 곡선으로 둘러싸인 부분의 면적을 나타낸다.

Fig. 7에 각각의 보 주인장 철근 정착방법에 따른 이력곡선을 나타내었으며, 각각의 변수에 대한 극한강도를 Table 4에 나타내었다. 보 주인장 철근의 정착방법이 같은 시편 내에서, 접합부 보강방법에 따른 거동을 살펴보면 Joint 1에 비해서 Joint 3의 극한강도와 에너지 소산능력이 모두 우수하였다. 특히 Joint 2는 확연하게 그 값들이 Joint 1, 3에 비해서 우수하여 헤디드 바를 접합부 보강 철근으로 활용할 경우 전체 부재의 내진성능 강화에 뛰어난 효과를 발휘한다는 것을 알 수 있다. 이는 앞서 3.2절에서 언급한대로, 헤디드 바가 추가적인 보강근으로서의 역할을 하여 보의 휨강도가 증가하고, 균열발생 후에 강도저하를 감소시켰기 때문이다.

한편, 접합부 보강방법이 같은 경우 보 주인장 철근의 정착방법 변화에 따른 차이를 살펴보면, 각각의 접합부 보강방법에서 Q, R, H series는 모두 비슷한 수준의 극한 강도와 에너지 소산능력을 보이는 것으로 확인되었다. 그러나 유사한 구조성능하에서 보 주인장 철근을 헤디드 바 형태로 정착시킴으로서 철근밀집 해소, 철근절곡 불필요 등의 장점을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 부재의 크기가 작은 경우에도 충분한 정착성능을 발휘할 수 있을 것이다.

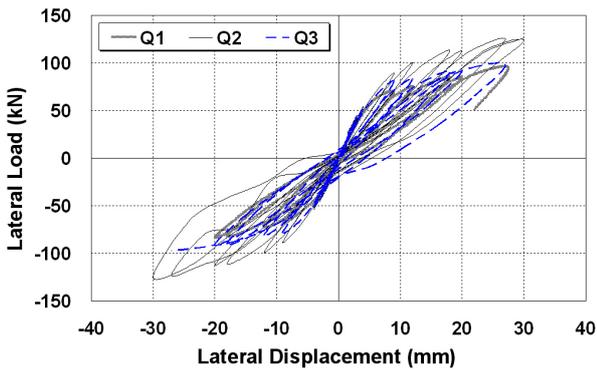
4.3 소성힌지의 이동

Joint 2는 지진하중 하에서 접합부에 형성되는 소성힌지를 설계자가 의도한 위치로 이동시키기 위해 접합부 보강용 헤디드 바를 기둥면으로부터 보 방향으로 300 mm 만큼 내민길이를 갖도록 배근하였다(Fig. 3(c)). 이러한

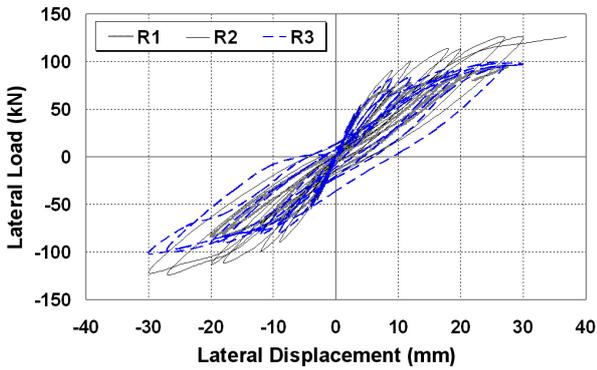
Table 3 Comparison of lateral strength

	H_u^{test} [kN]	H_u^{cal*} [kN]	H_u^{FE} [kN]	H_u^{test}/H_u^{FE}	H_u^{cal*}/H_u^{FE}
Q1	67.9	93.1	94.5	0.72	0.99
Q3	91.6	93.2	97.7	0.94	0.95
R1	75.0	93.5	95.3	0.79	0.98
R3	94.2	93.3	102.0	0.92	0.91

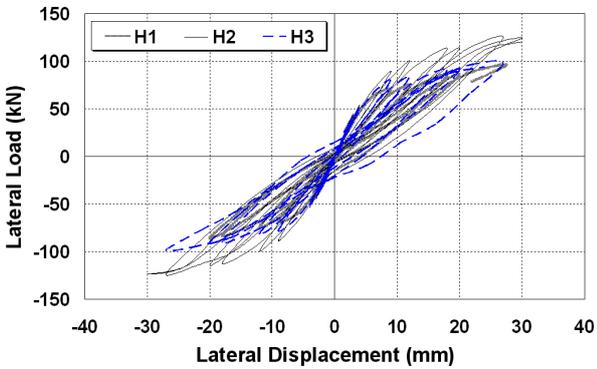
* H_u^{cal} is computed lateral strength of subassembly corresponding to flexural capacity of beam when steel stress reaches $1.25f_y$



(a) Q series



(b) R series



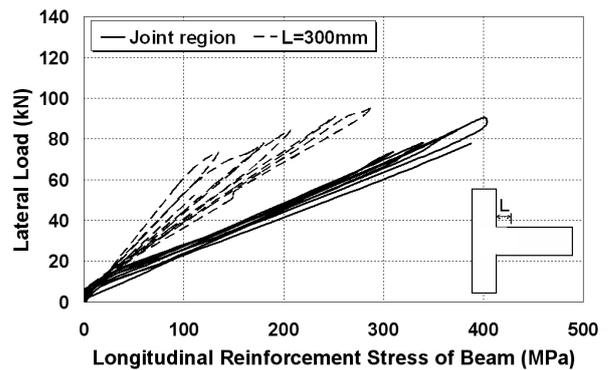
(c) H series

Fig. 7 Lateral load–displacement curves

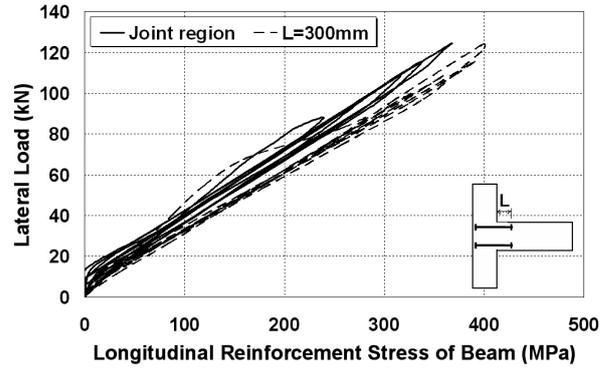
Table 4 The ultimate strength of specimens (unit: kN)

	Joint 1		Joint 2		Joint 3	
	H_u^+	H_u^-	H_u^+	H_u^-	H_u^+	H_u^-
Q	94.5	83.8	126.2	125.3	97.6	97.7
R	95.3	84.2	126.0	123.6	97.4	101.7
H	96.1	86.2	125.4	124.3	97.9	99.3

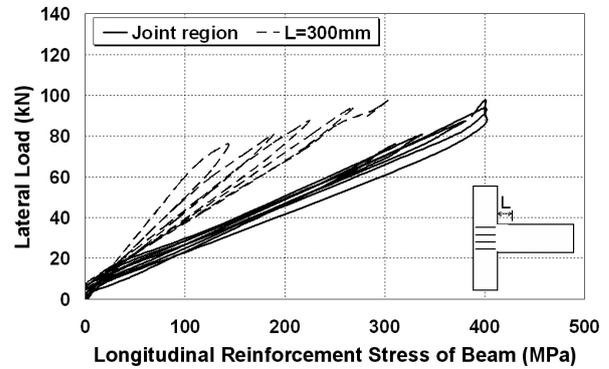
소성힌지 이동에 대한 헤드 바의 효과를 평가하기 위해 보 주인장 철근 변수는 가장 보편적으로 활용되는 90도 표준 갈고리로 정착시킨 Q series로 고정된 상태에서,



(a) Q1 specimen



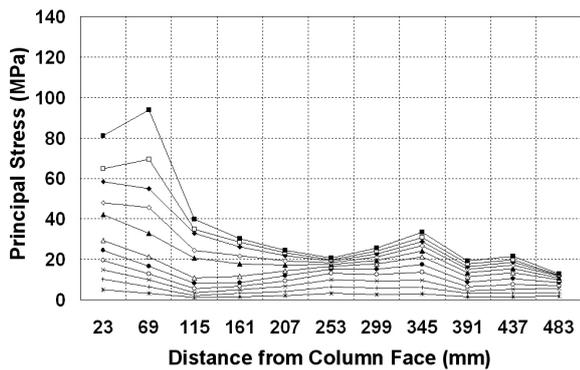
(b) Q2 specimen



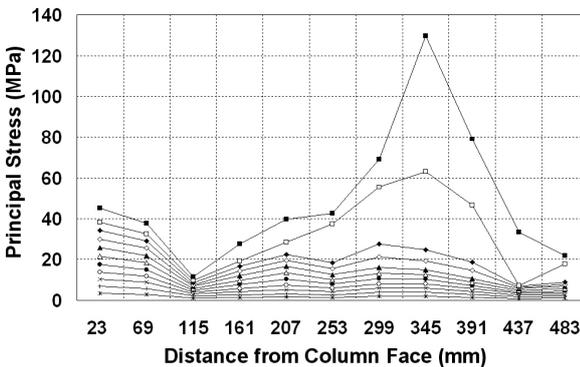
(c) Q3 specimen

Fig. 8 The stress distribution of reinforcement

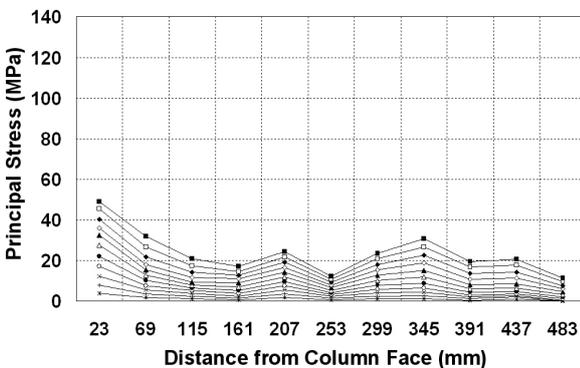
Joint 1, 2, 3의 접합부 부근과 L=300 mm 지점에서의 철근 응력을 Fig. 8에 나타내었다. Q1, Q3 시편의 주인장 철근은 주기하중이 반복됨에 따라 접합부에 있는 철근이 먼저 항복을 하였으며, L=300 mm 지점의 철근은 최대 응력이 300 MPa 정도까지 증가하다가 최종단계에서도 항복을 하지 않은 상태에서 접합부가 먼저 파괴되었다. 그러나 Q2 시편의 경우, L=300 mm 지점에서 주인장 철근이 먼저 항복한 반면 접합부 주인장 철근은 항복이 일어나지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이는 접합부에 보



(a) Q1 specimen



(b) Q2 specimen



(c) Q3 specimen

Fig. 9 Principal stress distribution of beam concrete

강된 헤디드 바가 충분한 정착성능을 발휘하는 경우, 접합부의 응력 일부가 헤디드 바로 전달되어 접합부에서는 주철근의 항복이 지연되고, 철근량이 변화되는 300 mm 지점의 철근이 먼저 항복하기 때문이다. 또한 Q2 시편에서 접합부와 L=300 mm 지점에서의 주인장 철근의 최대 응력은 각각 400 MPa, 367 MPa로 근소한 차이를 보였다. 이러한 차이는 접합부 철근의 보강량을 변수로하여 조절할 수 있으며, 이를 통해 강기동-약보의 설계개념에 바탕을 둔 구조물의 안정성 확보와 보와 기동의 강도성능

을 동시에 최대한 활용하는 효율성 확보 사이에서 최적의 보강량을 결정할 수 있을 것이다. 또한, 부재의 극한 파괴 시까지 기동면으로부터 보 내측방향으로의 거리에 따른 콘크리트의 주응력(principal stress) 분포를 살펴보면 Fig. 9와 같은 그래프 양상으로 나타난다. Q1, Q3 시편은 접합부 부근에서 주응력값이 증가하기 시작하여 최종단계에서 파괴가 발생하지만, 헤디드 바로 소성힌지의 이동을 유도한 Q2 시편은 340 mm 부근에서 응력 값이 급격하게 증가하여 소성파괴가 발생하였다. Fig. 9에서 각 시편의 접합부에서의 최대 주응력 분포만을 살펴보면 파괴 시의 주응력은 접합부가 보강되지 않은 Q1 시편이 제일 크고, 헤디드 바로 보강된 Q2 시편에서 가장 작게 나타났다. 이상의 결과들은 헤디드 바에 의해 접합부의 콘크리트가 충분히 구속되어 Q2 시편이 Q1, Q3 시편에 비해 극한강도, 강성 및 에너지 소산능력이 향상된 4.2절의 결과를 뒷받침하며, 소성힌지가 설계자의 의도대로 접합부 부근에서 보의 내측방향으로 이동하였음을 의미한다.

5. 결론

철근 콘크리트 보-기동 접합부의 내진거동에 대한 헤디드 바의 적용가능성을 검토하고, 다양한 접합부 보강방법에 대한 해석적 기초를 제공하기 위하여 범용 구조해석 프로그램인 DIANA를 사용하여 해석을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 접합부가 보강되지 않은 경우 부재는 접합부에서 갑작스런 전단파괴가 발생하며, 이는 에너지 소산능력과 극한강도 측면에서 충분한 내진성능을 보여주지 못한다. 이 경우 계산값과 해석값은 실제 접합부의 거동을 다소 보수적으로 예측하였다.
- (2) 보 주인장 철근의 정착방법으로 헤디드 바를 사용한 경우는, 표준 갈고리 또는 충분한 정착길이를 갖는 주인장 철근을 배근하였을 때와 내진성능이 거의 유사하였고, 그 결과로부터 헤디드 바를 활용하여 동일한 구조 성능을 발휘하면서 시공성 측면의 이점을 얻을 수 있음을 확인하였다.
- (3) 헤디드 바를 접합부에 보강하여 충분한 정착성능을 발휘하는 경우 추가적인 보강근으로서의 역할을 하여 강도를 향상시키고 강성 감소의 최소화 및 에너지 소산능력을 증대시킴으로써 내진 성능을 향상 시

킬 수 있음을 확인 하였다. 또한 접합부 헤디드 바 보강을 통하여 기둥면으로부터 보 내측방향으로 의 도된 위치에 강기둥-약보 설계 개념에 맞는 소성힌 지를 발생시킬 수 있었다.

- (4) 범용 구조해석 프로그램을 활용한 보-기둥 접합부의 해석결과는 실험결과 및 이론적 계산값과 유사하였으며, 이로부터 해석적인 접근으로 다양한 형태의 접합 부에 대한 구조성능 평가가 가능함을 확인하였다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평 가원에서 위탁시행한 건설핵심기술연구개발사업(Center for Concrete Corea, 05-CCT-D11)의 지원으로 수행 되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김민, 이기학, 이재홍, 우성우, 이정원, "CFRP를 이용한 비내 진 철근콘크리트 외부 보-기둥 접합부의 내진 보강", 한국콘 크리트학회논문집, 제18권 6호, 2006, pp.729-736.
2. ASTM International, Standard Specification for headed Steel Bars for Concrete Reinforcement, ASTM International Standard Worldwide, West Conshohocken, Pa, 2009, p.6.
3. American Concrete Institute (ACI), Building code requirements for structural concrete and commentary, ACI 318-08 and ACI318R-08, Farmington Hill, MI, 2008, p.33.
4. Brooke, N. J. Megget, L. M. and Ingham, J. M., "Bond Performance of Interior Beam-Column Joints with High-Strength Reinforcement", ACI Structural Journal, vol. 103, No. 4, 2006, pp.596-603.
5. Chun, S. C. and Lee, S. H., Kang, T., Oh, B. and Wallance, J. W., "Mechanical Anchorage in Exterior Beam-Column Joints Subjected to Cyclic Loading", ACI Structural Journal, vol. 104, No. 1, 2007, pp.102-112.
6. Chutarat, N. and Aboutaha, R. S., "Cyclic Response of Exterior Reinforced Concrete Beam-Column Joints Reinforced with Headed Bars-Experimental Investigation", ACI Structural Journal, vol. 100, No. 2, 2003, pp.259-266.
7. Hwang, S. J., Lee, H. J., Liao, T. F., Wang, K. C. and Tsai, H. H., "Role of Hoops on Shear Strength of Reinforced Concrete Beam-Column Joints", ACI Structural Journal, vol. 102, No. 3, 2005, pp.445-453.
8. Joint ACI-ASCE Committee 352, Recommendations for Design of Beam-Coulmn Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2002.
9. Kang, T., Shin, M., Mitra, N. and Bonacci, J. F., "Seismic Design of Reinforced Concrete Beam-Column Joints with Headed Bars", ACI Structural Journal, vol. 106, No. 6, 2009, pp.868-877.
10. Lee, H. J. and Ko, J. W., "Eccentric Reinforced Concrete Beam-Column Connections Subjected to Cyclic Loading in Principal Directions", ACI Structural Journal, vol. 104, No. 4, 2007, pp.459-467.
11. Medhekar, M. S., Rashad, G. E. and Jain, S. K., "Shear Reinforcement for Aseismic Design of Flexural members", Indian Concrete Journal, vol. 66, No. 7, 1992, pp.319-324.
12. Murty, C. V. R., Rai, D. C., Bajpai, K. K. and Jain, S. K., "Effectiveness of Reinforcement Details in Exterior Reinforced Concrete Beam-Coulmn Joints for Earthquake Resistance", ACI Structural Journal, vol. 100, No. 2, 2003, pp.149-156.
13. Parra-Montesinos, G. J., "High-Performance Fiber-Reinforced Cement Composites: An Alternative for Seismic Design of Structures", ACI Structural Journal, vol. 102, No. 5, 2005, pp.668-675.
14. TNO Building and Construction Research, DIANA User's Manual(release 8.1), TNO Bulding and Construction Research, Delft, 2002.
15. 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, vol. 95, No. 5, 1998, pp.590-606.
16. Wang, Y. C. and Hsu, K., "Shear Strength of RC Jacketed Interior Beam-Column Joints without Horizontal Shear Reinforcement", ACI Structural Journal, vol. 106, No. 2, 2009, pp.222-232.

(접수일자 : 2011년 1월 4일)

(수정일자 : 2011년 3월 30일)

(심사완료일자 : 2011년 4월 7일)

요 지

철근콘크리트 보-기둥 접합부는 철근의 복합적인 배근으로 인하여 시공성이 저하되고 철근의 정착공간이 협소하여 정착과파괴가 발생할 가능성이 높다. 또한 지진하중 하에서 기둥 또는 접합부의 파괴는 구조물 전체의 파괴를 야기할 수 있기 때문에 기둥 표 면에서 일정한 거리이상 떨어진 보에 소성힌지를 발생시켜 보의 파괴가 선행된 후에 기둥 및 접합부가 파괴되는 강기둥-약보의 설계 개념을 적용하여 구조물의 안전성을 확보하고 있다. 본 연구에서는 이러한 접합부의 강도 증가 및 시공성 향상을 도모하고 소성힌지를 보의 내측방향으로 이동시키기 위한 방안으로 보 주인장 철근과 접합부 보강 철근으로 헤디드 바를 활용하고자 하였다. 이를 위해 헤디드 바로 보강된 철근콘크리트 보-기둥 접합부에 대해 3차원 유한요소 해석을 수행하였다. 해석결과의 정확성을 검증하기 위하여 선행연구자에 의해 실험된 부재와 동일한 변수에 대한 해석을 수행하여 그 결과를 비교하였으며, 헤디드바의 우수성을 확인하기 위한 변수를 추가하여 해석을 수행하였다. 해석결과 보 주인장 철근의 정착방법으로 헤디드 바를 사용함으로써 유사한 구조성능 하에서 시공성 향상을 도모할 수 있음을 확인하였다. 또한 헤디드 바를 접합부에 보강함으로써 설계자가 의 도한 위치에 소성힌지를 발생시킬 수 있었으며, 주기하중 하에서 에너지 소산능력의 증가, 강성 감소의 최소화 및 극한응력을 향상시키는 결과를 얻었다.

핵심 용어 : 보-기둥 접합부, 헤디드 바, 유한요소해석, 소성힌지, 내진성능
