

성형 제작 합성보(HyFo Beam)의 내진 성능

Seismic Performance of Hybrid Forming Composite Beam



김 성 배*
Sung-Bae, Kim



김 상 섭**
Sang-Seup, Kim



이 경 구***
Kyung-Koo, Lee



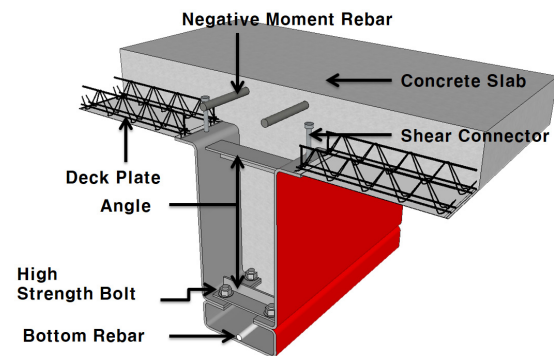
김 민 식****
Min-Sik, Kim

1. 성형 제작 합성보

최근 경제성 및 시공성을 확보하고 콘크리트와 강재의 재료적 장점을 결합한 합성 구조에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 이에 본 기사에서는 열연 코일을 상온에서 냉간으로 성형 제작하는 냉간 성형보(HyFo beam)를 활용한 기둥-보 접합부의 내진 성능 평가 결과를 간략히 소개하고자 한다.

HyFo 합성보는 보 내부에 고강도 철근과 강재를 사용한 하이브리드 구조와 슬래브 및 강재보를 시어 커넥터로 일체화한 구조의 조합이다. HyFo 보 형상은 2개의 대칭되는 상부 강판과 ㄷ자 형상의 하부 강판으로 구성되며, 상부 강판과 하부 강판은 고력 볼트로 일체화 하였다<Fig. 1>. 상부와 하부 양

끝은 비구조재이며, 보 내부에는 슬래브와 함께 콘크리트로 일체화한다¹⁾. HyFo 보와 기둥 접합부는 기둥의 형상에 따라 적용이 가능하며, 내진 성능은 철골 철근 콘크리트 기둥과 콘크리트 충전 기둥 등으로 구분하여 평가하였다^{2),3)}.



<Fig. 1> Hybrid Forming composite beam

* (주)더나은구조엔지니어링 소장
The Naeun Structural Engineering Co., Ltd.
** 한국기술교육대학교 디자인·건축공학부 교수
Korea University of Technology and Education
*** 단국대학교 건축공학과 부교수
Dept. of Architectural Engineering, Dankook Univ.
**** (주)엔아이스틸 과장
NI Steel Co., Ltd.

2. SRC 기둥과 합성보 내진 성능

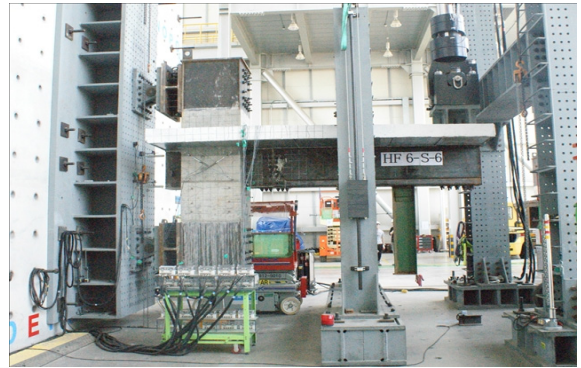
철골 철근 콘크리트 기둥(SRC 기둥)과 HyFo 합성보 접합부의 내진 성능 실험은 1차와 2차에 걸쳐 시물 크기로 제작하여 실시하였다. HyFo 보의 굵은

1차 실험의 경우 300mm, 500mm, 2차 실험의 경우 600mm, 800mm이다. 실험체 수는 각각 3개씩 제작하여 실시하였다.

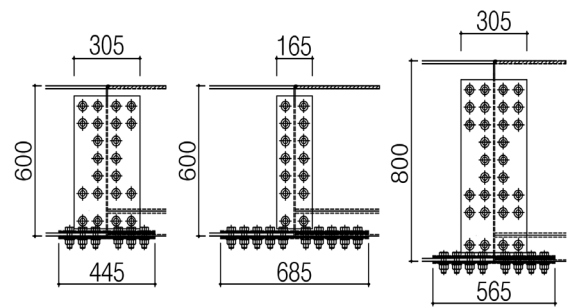
1차와 2차 실험 모두 송도 소재 포항산업과학연구원 실험실에서 실시하였다. 보의 순 길이는 2,880mm이며, 액츄에이터의 가력점에서 기둥 중심까지의 길이는 3,280mm, 기둥 상·하부 지점간 거리는 2,500mm이다. 슬래브 폭은 2,000mm이고, 슬래브 두께는 150mm(1차), 180mm(2차)이다. 기둥과 보 접합부는 브라켓 형식을 적용하였으며, 브라켓 길이는 강축 방향의 기둥 플랜지 면에서 200mm(1차)와 600mm(2차)이다. 기둥 브라켓과 보 접합은 측면과 하부 모두 고장력 볼트(F10T M22)로 접합하였다.

〈Fig. 2〉는 2차 실험의 실험체 셋팅 전경이고, 〈Fig. 3〉은 2차 실험에서 실시한 브라켓과 보 이음부의 볼트 상세이다. 〈Fig. 4〉는 1차 실험과 2차 실험에 대한 파괴 양상이다. 1차 실험은 최대 하중 이후 하부 플랜지 이음판의 미끄러짐이 발생하였고, 2차 실험은 하부 플랜지와 최외단 볼트 부분 이음판의 파단 및 국부 좌굴이 발생하였다. 〈Fig. 5〉는 보 춤이 600mm인 실험체의 모멘트-회전각 그래프이다.

1차와 2차 실험 결과 모두 중간 모멘트 골조의 내진 성능을 확보하였다. 1차 실험 결과, 정모멘트가 부모멘트에 비해 내력이 저하하여 정모멘트 부분의 저항 능력 향상이 필요한 것으로 확인되었으며, 실험 결과를 반영하여 현장 적용 접합부 상세를 변경하였다. 2차 실험은 보 춤이 큰 경우(600mm, 800mm) 접합부가 합성 중간 모멘트 골조 이상의 내진 성능을 확보하기 위해 웹 또는 하부 플랜지에 볼트를 추가하는 상세를 적용하면 내진 성능이 향상되어 합성 중간 모멘트 골조의 내진 성능을 확보하는 것으로 확인되었다.



〈Fig. 2〉 Test setting

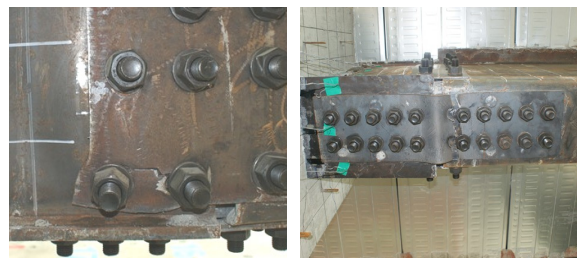


(a) HF6-S-6 (b) HF6-S-10 (c) HF8-S-10

〈Fig. 3〉 Bracket-Beam detail



(a) 1st test

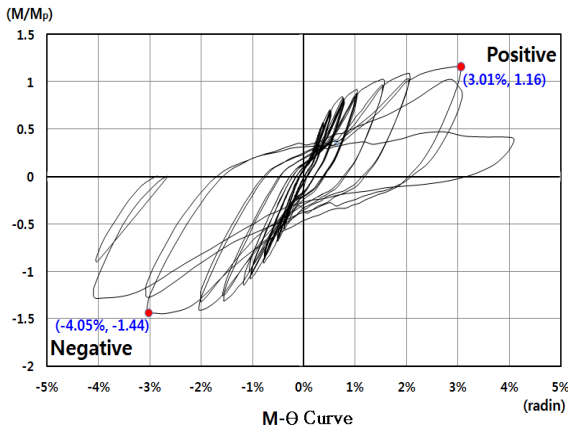


(b) 2nd test

〈Fig. 4〉 Failure shape

3. CFT 기둥과 합성보 내진 성능

콘크리트 충전 각형 강관 기둥과 HyFo 합성보 접합부의 내진 성능 평가를 위해 접합부 및 용접부 상



〈Fig. 5〉 Moment-Rotation curve

세를 변수로 기둥-보 접합부의 내진 성능 실험을 실시하였다.

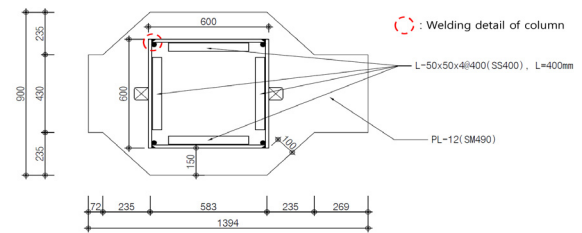
각형 강관 기둥(D-Column)과 HyFo 합성보 접합부의 내진 성능 평가는 강기둥-약보 설계 개념으로 실험체를 제작하였다. 이때 각형 강관 기둥에 외부 다이어프램을 적용하였으며 브라켓과 고장력 볼트를 이용하여 접합하였다. 실험체는 하부 접합부의 고장력 볼트 개수와 각형 강관 기둥의 용접 방법을 변수로 2개의 실험체를 제작하였다. 실험체는 HF-700×270×6×6의 HyFo 보가 사용되었으며, 기둥은 Built-up으로 제작된 □-600×600×16의 각형 강관 기둥을 적용하였다.

〈Fig. 6〉은 실험체 설치 전경이며 〈Fig. 7〉은 접합부 상세이다. 상·하부 외부 다이어프램 상세는 〈Fig. 7 (a)〉와 같으며 HyFo 합성보 플랜지 두께의 2배인 12mm 강판을 사용하였다. CFT 각형 강관 기둥 모서리부의 용접은 〈Fig. 7 (b)〉와 같이 그루브 용접(Complete joint penetration)과 부분 용입 용접(Partial joint penetration)으로 구분하였다. 브라켓 길이는 기둥 중심에서 800mm가 되도록 하였다. 각형 강관 기둥과 보 접합부 상세를 살펴보면 상부 외부 다이어프램과 플랜지는 그루브 용접으로 접합하였으며, 웨브와 하부 강관은 이음판(9mm)과 고장력 볼트(F10T M22)를 이용하고 하부 강관의 고장력 볼트의 개수를 달리하여 실험체를 제작하였다.

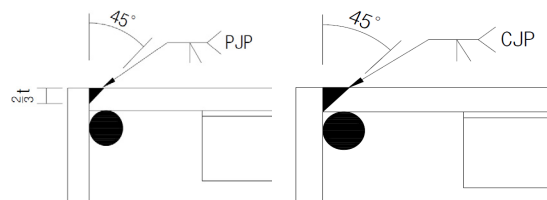
〈Fig. 8〉은 모멘트-회전각 곡선이다. 실험 결과, 두 실험체 모두 설계 기준 강도로 평가 시 최대 하중 이후 0.03rad에서 소성 모멘트의 80% 이상을 만족하여 중간 모멘트 골조의 성능을 발휘하였다. 각형 강관은 롤이나 프레스 성형으로 제작하지만 플레이트를 절단하여 모서리 용접으로 제작 시 용접각장은 판 두께의 2/3 이상을 확보하면 내진 성능이 확보되는 것으로 확인되었다.



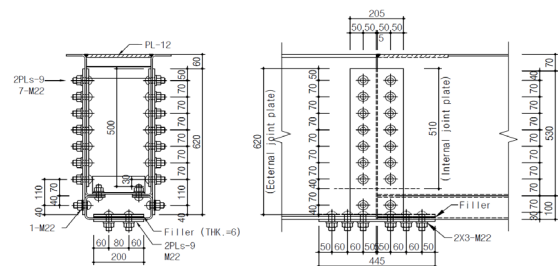
〈Fig. 6〉 Test setting



(a) External diaphragm

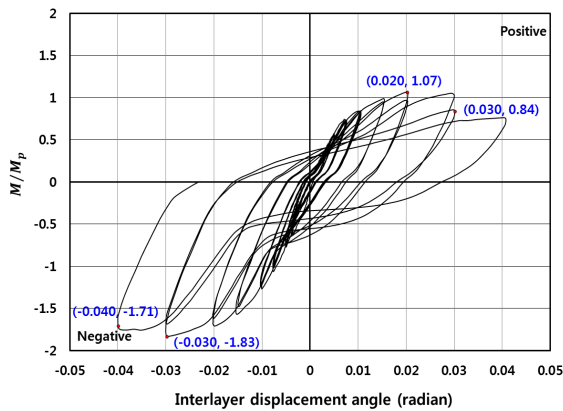


(b) Welding detail of column



(c) Bracket-Beam connection

〈Fig. 7〉 Connection detail



〈Fig. 8〉 Moment-Rotation curve

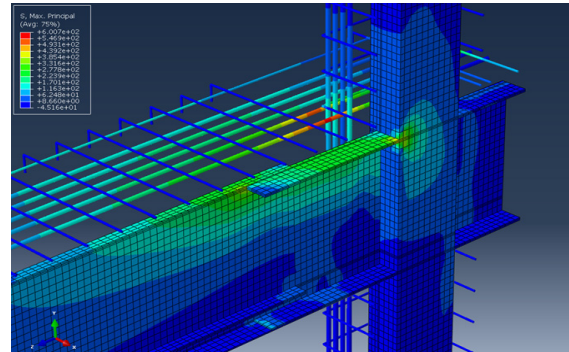
4. HyFo 보-기둥 접합부 해석 검증

HyFo 합성보와 기둥의 내진 성능에 대한 해석적 검증은 철골 철근 콘크리트 기둥(SRC)과 HyFo 보 춤 800mm를 대상으로 실시하였다. 해석 프로그램은 ABAQUS를 이용하였으며, 해석 모델은 콘크리트와 강재의 응력-변형률 관계를 적용하였다. 하중 조건은 변위 제어이며 실험체와 동일한 경계 조건을 구현하였다. 해석은 슬래브가 인장을 받는 하중을 가력하였으며, 슬래브와 HyFo 보, 브라켓, SRC 기둥을 모델링 하였고, X축(슬래브 폭 방향) 대칭을 반영해 1/2 모델로 해석하였다.

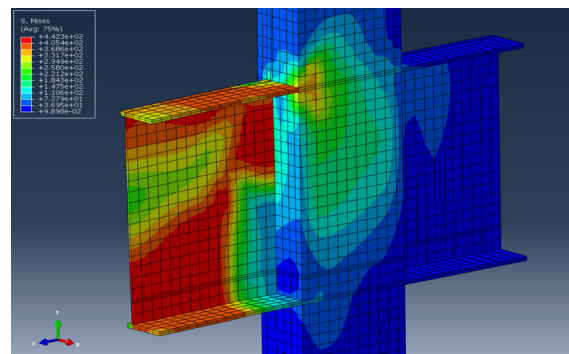
해석 결과, 브라켓과 H형강 기둥 접합부, 브라켓 상부 플랜지, 슬래브 인장 주철근, 브라켓 웨브의 순서로 항복이 진전되었다. 〈Fig. 9〉는 슬래브 보강 철근의 해석 결과이며 〈Fig. 10〉은 회전각 0.03rad에서의 응력 분포이다. 브라켓의 경우 충분한 소성 상태를 보이고 있으나 인장 강도 미만이며 파단 가능성과 국부 좌굴은 없는 것으로 확인되었다. 또한 해석 결과는 실험 결과와 잘 일치함을 확인하였다.

5. 결론

포스코의 열연 코일을 이용하여 냉간 성형으로 제작하는 HyFo 합성보와 철골 철근 콘크리트 기둥 및 콘크리트 충전 각형 강관 기둥으로 구성된 접합



〈Fig. 9〉 Re-bar yielding in slab



〈Fig. 10〉 Stress distribution on 0.03rad

부에 대해 내진 성능 평가를 실험적·해석적으로 검증하였다. 실험 결과, 모든 실험체는 최대 하중 이후 0.03rad에서 소성 모멘트의 80% 이상을 만족하는 중간 모멘트 골조의 내진 성능을 확보하였다. 춤이 큰 HyFo beam의 경우 브라켓과 보 이음부의 볼트 수를 증가시킨 상세를 반영하면 800mm 이하까지 중간 모멘트 골조의 내진 성능을 확보하는 것으로 실험 및 해석적 검증을 통해 확인하였다. 이러한 연구 결과를 중심으로 한국강구조학회의 기술 인증을 획득하였으며(제 KSSC CST 2019-01, 2019. 03. 11) 국토교통부 신기술지정(제800호, 2016. 10. 21)을 취득하였다.

References

1. Kim, S. B., Kim, S. S., & Ryu, D. S., "Study on the Cyclic Seismic Testing of U-shape Hybrid Composite Beam-to-Composite Column Connections", Journal of Korean Society of

- Steel Construction, Vol.25, No.1, pp.47~59,
2013
2. Kim, S. B., Cho, S. H., Choi, Y. H., & Kim, S. S., “An Experimental study on bending performance of Hybrid Forming composite beam”, International Journal of Steel Structures, Vol.17, No.4, pp.1639~1649, 2017
 3. Choi, Y. H., Kim, S. B., Hong, H. J., & Kim, S. S., “A Study on the Bending and Seismic Performance of High Performance Cold Forming Composite Beam”, International Journal of Steel Structures, Vol.18, No.5, pp.1772~1783, 2018