

철골보-고강도 콘크리트 기둥 접합부의 거동에 관한 연구

Behavior of Steel Beam-High Strength Concrete Column Joint Subjected to Cyclic Loadings

신 성 우*
Shin, Sung-Woo

이 광 수**
Lee, Kwang-Soo

서 선 민***
Seo, Seon-Min

Abstract

The objective of this study is to investigate the structural behavior of steel beam-high strength concrete column joints subjected to reversed cyclic loadings. The variables of the experimental study is amount of steel plates at the beam-to-column joint panel zone. Three specimens were prepared and tested under constant uniaxial load($0.2f_{ck}A_g$) to reinforced high strength concrete column, and the reversed cyclic loads were applied to end of steel beams. The failure modes, hysteresis loop, stiffness degradations and energy dissipation capacities were analyzed and compared for test variables.

Keywords : beam-column joint, cyclic loadings, high-strength concrete, stiffness degradation, energy dissipation,

1. 서 론

건설재료와 관련하여 가장 보편적으로 이용되고 있는 강재 및 콘크리트에 대하여 각각 독립적인 관심하에 연구가 집중되었으며, 근래 강재와 콘크리트는 비강도(무게/강도)가 낮은 까닭으로 구조부재 단면의 증대가 요구되었을 뿐 아니라 주변환경에 따라 품질 및 시공이 저하되는 등 구조부재로서의 불합리한 문제점을 내포하고 있다. 특히 초고층 구조물의 구축 등에 따라서 고강도 콘크리트의 사용이 증가하

고 있으며, 이러한 고강도 콘크리트는 수평부재보다는 수직부재(기둥, 벽체 등)에 보다 큰 장점을 지니고 있어 수직부재에는 고강도 콘크리트를 그리고 수평부재에는 철골을 사용하는 시스템이 관심을 받고 있다. 특히 이러한 콘크리트의 문제점을 해결하기 위한 노력으로 단면축소 및 장스팬을 가능하게 하는 철골보에 RC기둥을 사용한 구조시스템의 최적화에 많은 관심을 선진 각국에서 보이고 있는 실정이다.

그러나 철골 보-RC 기둥의 혼합구조는 고층 건물에서 바람, 지진 등 횡력에 대해 연성적인 거동을

* 한양대학교 건축공학과 교수

** 여주대학 건축과 부교수

*** 한양대학교 대학원 석사

● 본 논문에 대한 토의를 2000년 9월 30일까지 학회로 보내 주시면 2000년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

확보하기 위해서는 접합부 패널 존(Panel Zone)에서 복잡한 구조상세를 요하며, 이에 따라 시공시 상당한 기술과 복잡한 작업이 요구되기 때문에 실용화에 어려움이 많은 실정이다.

본 연구에서는 고강도 철근콘크리트 기둥과 철골 보강접합부 실험체 제작 및 반복하중을 가력하여 접합부의 파괴 유형 및 접합부 내력을 평가, 분석하고 접합부 상세 개발과 설계식을 위한 자료를 제시하여 철근콘크리트 기둥과 철골 보강접합부 신기술 활용을 위한 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 사용재료 및 실험

2.1 사용재료

2.1.1 콘크리트 및 철근

본 연구에서 실험체 제작시 기둥에 사용된 콘크리트는 수직부재의 장점을 극대화하기 위해서 기둥에 압축강도는 400kgf/cm^2 이고 철근(D10)의 항복강도는 $4,000\text{kgf/cm}^2$, 철골의 항복강도는 $3,700\text{kgf/cm}^2$ 재료의 특성은 Table 1, 2, 3에 나타나 있다.

Table 1 콘크리트 압축강도 시험결과

구분	$E_c(\text{kgf/cm}^2)$ ($\times 10^5$)	f_{ck} (kgf/cm^2)
28	2.812	410

Table 2 철근의 인장강도 시험결과

종류	$E_s(\text{kgf/cm}^2)$ ($\times 10^6$)	f_y (kgf/cm^2)	$\epsilon_y (\times 10^{-6})$
HD 10	2.05	4090	2.548

Table 3 철골의 인장강도 시험결과

종류	$E_s(\text{kgf/cm}^2)$ ($\times 10^6$)	f_y (kgf/cm^2)	연신율 (%)
steel	2.01	3712	25.3

2.2 실험

2.2.1 실험계획

구조물에 연직하중 뿐 만 아니라 지진 및 풍하중 등의 수평하중이 작용할 경우 철근 콘크리트 기둥 - 철골 보(RCS) 접합부에 대한 구조적 거동을 파악하기 위해 접합부 실험체를 계획하였다. 철근콘크리트 기둥에(300×300) 10mm 두께의 철골을 사용하여 외부 철골 플레이트를 설치하여 철골보(350×175×7×11)를 강접합 시켰다. 접합부 조인트 패널존 내부에 10m 두께를 갖는 철골 플레이트를 사용하여 보강하였으며, 그에 따른 스티프너의 보강량을 1개, 2개, 3개인 변수로 하여 접합부 거동을 특성을 파악하도록 계획하였다. 변수를 바탕으로 제작한 실험체 일람표가 Table 4에 나타나 있다.

Table 4 실험체 일람표

실험체명	접합부내 플레이트 보강량	콘크리트 압축강도 (kgf/cm^2)	철골보 (mm)	하중재하
EH-1	1장	400	350×175 ×7×11	반복하중
EH-2	2장	400	350×175 ×7×11	반복하중
EH-3	3장	400	350×175 ×7×11	반복하중

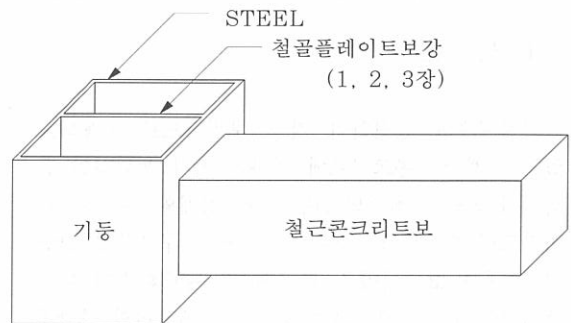


Fig. 1 접합부 보강변수

2.2.2 하중재하 및 측정방법

실험체는 200tonf 오일잭(oil jack)을 이용하여 일정한 축력($0.2f_{ck}A_g$)을 철근 콘크리트 기둥에 가하였으며, 가력은 50tonf Actuator를 이용하여 철

골 보 양 끝에서 반복 가력을 행하였다. 모든 실험체는 철골보의 항복변위를 기준으로 하여 변위에 따른 점증반복가력을 하였으며, 하중재하는 매단계

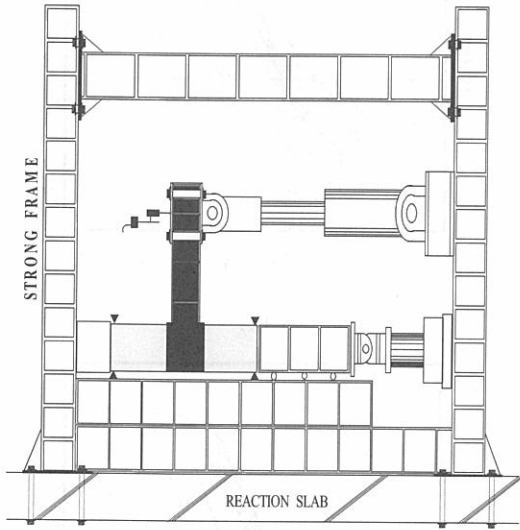


Fig. 2 실험체 설치상황

(Cycle Group)에 각각 3회씩 4단계 총 12 Cycle로서 계획하였다. 기둥 양단부는 단순지지로 하였으며, 실험체는 변위제어방식(Displacement Control)으로 가력하였다. a/d 는 2.9로 하였다.(Fig. 2참조)

실험시 각 자료취득을 위한 방법으로는 철골보 가력 지점부분에 100mm 변위계 Displacement Transducer)를 설치하여 부재의 변위를 측정하였으며 RC기둥의 주근에 변형률(strain)을 측정하기 위하여 스트레인 게이지를 상·하단에 설치하였으며, 철골 보 부재의 변형률을 측정하기 위하여 철골보 플랜지, 웨브, 그리고 플레이트에 자료를 취득하였다.

3. 실험결과 및 고찰

실험결과는 파괴양상, 하중-처짐곡선, 강성저하, 에너지 소산능력으로 나누어 분석하였고 실험체에 대한 실험결과는 Table 5와 같다.

Table 5 각 cycle별 하중-변위 관계

S.N.	1 STAGE									2 STAGE								
	1CYCLE			2CYCLE			3CYCLE			1CYCLE			2CYCLE			3CYCLE		
	P (tonf)	δ (mm)	P/ δ (tf/mm)	P (tonf)	δ (mm)	P/ δ (tf/mm)	P (tonf)	δ (mm)	P/ δ (tf/mm)	P (tonf)	δ (mm)	P/ δ (tf/mm)	P (tonf)	δ (mm)	P/ δ (tf/mm)	P (tonf)	δ (mm)	P/ δ (tf/mm)
EH-1	10.8	5.94	1.68	11.7	5.94	1.97	12.0	5.95	2.02	21.6	11.9	1.82	22.0	11.8	1.86	22.4	11.9	1.89
EH-2	8.04	5.92	1.36	8.52	5.94	1.43	8.3	5.96	1.39	16.7	11.9	1.40	16.8	11.9	1.40	16.6	11.9	1.4
EH-3	8.27	5.88	1.41	8.61	5.92	1.45	18.6	11.7	1.59	16.6	11.9	1.39	15.2	11.8	1.28	28.4	23.7	1.20

S.N.	3 STAGE									4 STAGE								
	1CYCLE			2CYCLE			3CYCLE			1CYCLE			2CYCLE			3CYCLE		
	P (tonf)	δ (mm)	P/ δ (tf/mm)	P (tonf)	δ (mm)	P/ δ (tf/mm)	P (tonf)	δ (mm)	P/ δ (tf/mm)	P (tonf)	δ (mm)	P/ δ (tf/mm)	P (tonf)	δ (mm)	P/ δ (tf/mm)	P (tonf)	δ (mm)	P/ δ (tf/mm)
EH-1	37.6	23.8	1.58	23.5	23.6	1.0	28.5	23.7	1.20	38.0	35.5	1.07	38.1	35.5	1.07	38.0	35.7	1.08
EH-2	31.8	23.7	1.34	32.3	23.8	1.36	32.0	23.7	1.35	34.4	35.7	0.97	36.5	47.6	0.77	37.1	39.6	0.96
EH-3	28.4	23.7	1.20	28.5	23.8	1.20	30.9	32.4	0.95	30.1	35.7	0.84	30.9	35.7	0.87	33.2	47.6	0.7

3.1 실험체 파괴양상

EH-1 실험체의 경우 2사이클에서 기둥에서 약 10cm정도 높이의 플랜지 하부에서 좌굴이 발생되었고 4사이클에서 비틀림이 발생하였고, 플레이트와 콘크리트 사이에 균열이 발생하였다. 4사이클에서 축력이 10tonf 정도 떨어졌으며 5사이클에서는 웨브와 플랜지가 좌굴을 일으키면서 플레이트와 콘크리트부착면에서 파괴가 진전되어 플레이트와 이미 발생한 소성힌지사이에서 사인장 전단균열로 최종파괴되었다.

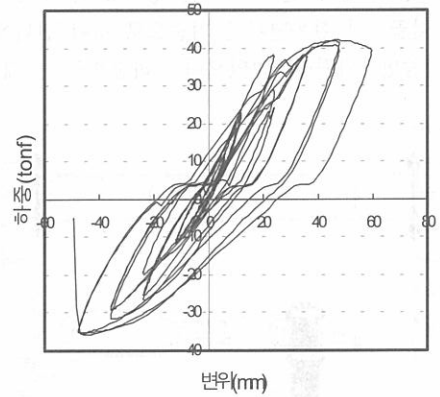
EH-2 실험체의 경우는 2사이클에서 플레이트와 플랜지 사이의 콘크리트에 균열이 발생하였고, 기둥에서 약 10cm정도 높이의 플랜지 하부에서 좌굴이 발생되었다.

3사이클에서 플랜지 하부에서 좌굴이 더욱더 진전되었으며 플레이트와 콘크리트사이에서 균열이 발생하여, 사인장 균열로 진전되었다. 5사이클에서 플레이트와 콘크리트사이에서 사인장 전단균열로 최종파괴 되었다.

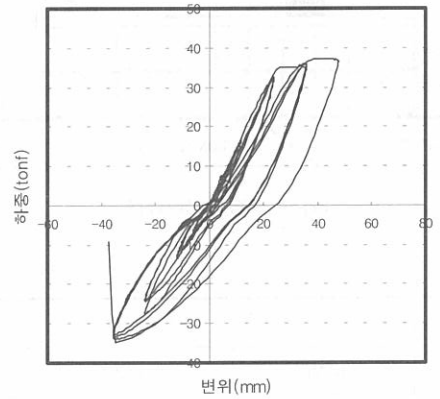
EH-3 2사이클에서 플레이트와 콘크리트 사이에 균열이 발생했고, 3사이클에서 플레이트와 콘크리트 사이에 균열이 진전되었으며, 철골보에서는 비틀림이 발생과 플랜지에서 좌굴이 발생하였다. 4사이클에서 플랜지의 좌굴이 진전되었고, 플레이트와 콘크리트 사이에 사인장 균열로 진전되어 최종파괴 되었다.

3.2 하중-변위 곡선

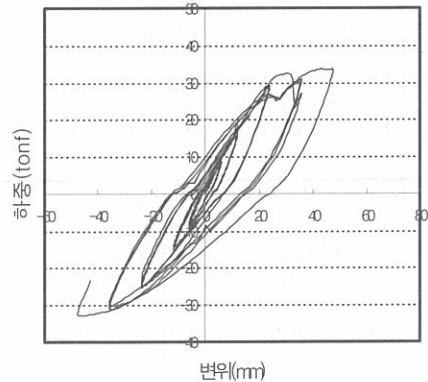
하중-변위 곡선은 각 시험체 전체 거동을 파악할 수 있는 가장 중요한 것으로 반복하중에 대한 내력 저하 및 핀칭 효과, 에너지 흡수력, 강성저하 등 시험체에 특성을 알 수 있다. 각 부재의 하중-변위곡선은 Fig. 3와 같으며 모든 실험체의 경우 전반적인 하중-변위이력곡선은 비교적 완만한 것으로 나타났다. 각 실험체별로 살펴보면 접합부 패널 보강에 따라 EH-1와 EH-2의 경우는 약간의 핀칭현상을 나타내고 있으며, EH-3의 경우는 핀칭현상이 거의 나타나지 않고 있으며 전형적인 철골과 같은 거동을 나타내고 있다.



(a) EH - 1



(b) EH - 2



(c) EH - 3

Fig. 3 하중 - 변위 곡선

최대 하중은 EH-1 실험체가 가장 크며, 변위연성은 EH-2와 EH-3 실험체가 EH-1 실험체에 비하여 우수하게 평가되었다.(Table 6 참조).

Table 6 각실험체별 실험결과 요약

S.N	P_y (tonf)	δ_y (mm)	P_{max} (tonf)	δ_{max} (mm)	$0.8P_{max}$ (tonf)	$0.8\delta_{max}$ (mm)
EH-1	10.8	5.94	38.14	35.68	30.51	28.54
EH-2	8.04	5.92	37.1	47.63	29.68	38.10
EH-3	8.27	5.88	33.16	47.61	26.53	38.10

3.3 강성저하

부재가 항복점을 지난 후 하중이 감소하면 잔류변형률에 의해 부재의 휨강성은 초기 탄성강성보다 작은 값을 갖게된다. 부재의 탄성범위를 지나 소성변형 상태에서의 변형능력을 평가하기 위해 각 실험체의 강성저하를 평가하였다.

Fig. 4은 강성저하를 나타내며, EH-1의 경우는 7사이클에서부터 급작스러운 강성저하가 발생하였으며, 9사이클 이후의 거동은 뚜렷한 강성저하를 나타내지는 않았다.

EH-2의 경우는 거의 강성저하가 나타나지 않았으나 10사이클부터 강성저하를 나타내었다.

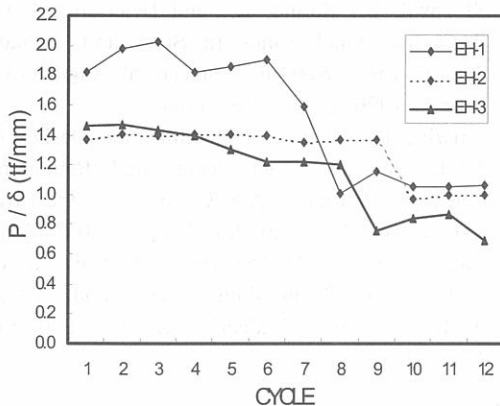


Fig. 4 강성저하

EH-3의 경우는 각 사이클마다 약간의 강성저하를 보이다가 9사이클에서 다소 큰 강성저하를 나타내었다. 이는 플레이트에 보강된 스티프너가 전반적으로 부재의 강성저하를 크게 일으키지 않도록 것으로 판단된다.

3.4 에너지 소산 능력

철근콘크리트 부재의 변형능력을 평가하는 것중 하나가 부재의 에너지 소산능력으로서 에너지 소산능력은 구조부재가 요구되는 내력을 유지하면서 흡수된 에너지를 분산시킬 수 있는 능력을 예측하고 상호 비교하기 위한 것으로 사용되고 있다. 이는 구조물의 설계에 참고자료로 이용될 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 5와 같이 항복시의 내부면적을 기준으로 하여 항복이후에 부재가 경험한 각 사이클의 면적을 나누어 무차원화하여 각 실험체별로 평가하였으며, 그 결과가 Fig. 6에 나타나 있다.

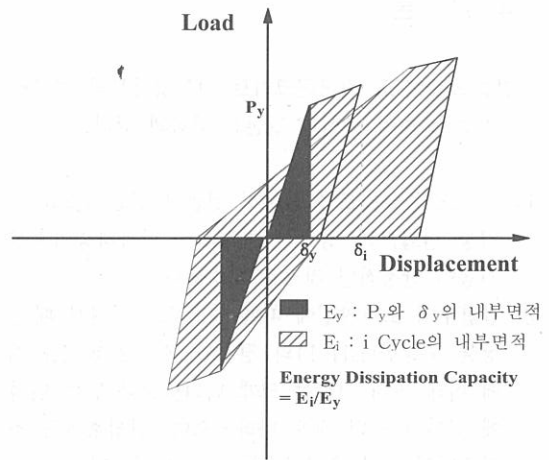


Fig. 5 에너지소산능력 평가 개념도

3.4.1 누적에너지 소산능력

Fig. 5에 따라서 평가한 누적에너지 소산능력결과는 다음 Fig. 6과 같으며, 큰 변위를 갖지 않는 초기 5사이클까지는 모든 실험체가 비슷한 에너지 소산능력을 나타내었으며, 변위 증분에 따른 하중제하 사이클이 증가할수록 에너지 소산능력은 보-기동

접합부내에 보강된 스티프너의 수가 증가할수록 더 우수한 것으로 나타났다. 이는 플레이트내부에 보강된 스티프너가 부재의 변위 연성능력을 우수하게 하므로 에너지의 소산능력이 스티프너의 수에 비례하여 나타난 것으로 판단된다.

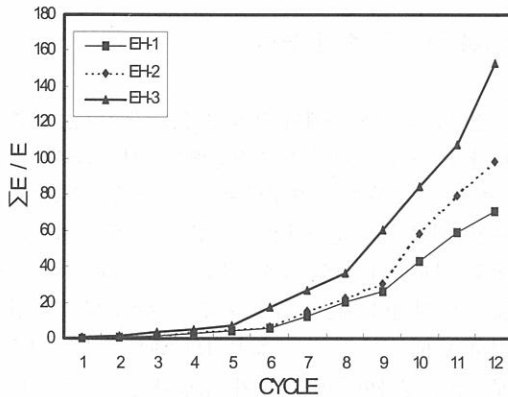


Fig. 6 누적에너지 소산능력

4. 결 론

철골보-고강도 철근콘크리트 기둥접합부의 반복하중실험을 통하여 분석한 결론은 다음과 같다.

- 1) 고강도 콘크리트를 사용한 철골보-철근 콘크리트 기둥 접합부의 경우 전반적으로 항복하중이후에 거동이 안정적인 것으로 나타났다.
- 2) 접합부내 보강판넬에 따른 영향으로 살펴볼 때 1장을 보강한(EH-1)의 경우가 EH-2 과 EH-3에 비해 최대 강도는 크게 나타났으나 변위 연성에 있어서는 더 작게 나타났으며, 핀칭효과는 스티프너의 수가 증가할수록 적게 나타났다.
- 3) 강성저하현상은 스티프너의 증가량이 클수록 적게 나타났다.
- 4) 에너지 소산능력에 있어서는 스티프너가 증가함에 따라서 부재의 에너지 소산능력 역시 증가하는 것으로 나타나 내력설계이외에 부재의 에너지 소산능력을 고려할 경우 접합부내 보강판넬의 양을 함께 고려해야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단의 연구비지원으로 수행되었으며, 이에 심심한 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 이리형 외, "기둥관통형 철근콘크리트 기둥-철골보의 혼합구조 시스템 개발에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표논문집 제 17권 제 2호, 1997.10.25.
2. K.Yonezawa and H. Noguchi "Analytical Study on the Shear Performance of Beam-Column Connections in Hybrid Structures with RC Columns and S Beams" JCI Vol.16,1994 pp. 257-264
3. Tauqir M. Sheikh, Gregory G. Deierlein, Joseph A. Yura, and James O. Jirsa, Members, ASCE "Beam-Column Moment Connections for Composite Frames: Part 1" ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol. 115, No. 11, November, 1989. pp. 2858-2875.
4. Tauqir M. Sheikh, Gregory G. Deierlein, Joseph A. Yura, and James O. Jirsa, Members, ASCE "Beam-Column Moment Connections for Composite Frames: Part 2" ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol. 115, No. 11, November, 1989. pp. 2877-2896.
5. K. Kim and H. Noguchi "Experimental Study on Shear Strength of Beam-Column Joints Consisting of Reinforced Concrete Column and Steel Beam" JCI Vol. 17, 1995 pp 217-224
6. EI-Tawil, S., Kanno, R., and Deierlein, G. G. "Modeling Panel Zones in Steel and Mixed Steel-Concrete Systems", Structural Engineering Report, 1996, Cornell University
7. Darwin, D. et al., "Guidelines for Design of Joints Between Steel Beams and Reinforced Concrete Column", ASCE, Jr. of Structural Engineering, Vol. 120, No. 8, pp. 2330-2357
8. Kei, T., et al., "An Experimental Study on RC Column-Steel Beams Joints Part 1 and Part 2, Abstract at Annual Meeting of AIJ, 1990, pp. 1183-1186

(접수일자 : 2000. 7. 20)