

철근콘크리트 기둥과 철골 보로 이루어진 혼합구조 접합부의 역학적 거동

Structural Behavior of Joints Consisting of Reinforced Concrete Column and Steel Beam

김도균* 김옥종** 이동렬*** 문정호**** 이리형*****
Kim, Do Kyoon Kim, Ook Jong Lee, Dong Ryul Moon, Jeong Ho Lee, Li Hyoung

ABSTRACT

Recently, composite structural systems have been developed actively due to its structural advantages of combining different materials. The objective of this paper is to investigate the structural behavior of moment connection in composite structures which consist of steel beams and reinforced concrete columns. In this study, three 1/2 scale joint specimens were tested under reversal loads. The results showed that beam-column joints maintain ductility, strength and exhibit excellent energy-dissipating capacity when subjected to inelastic deformations under reversal load.

1. 서론

현대 건축물의 구조시스템은 합리화, 경제성, 안정성 및 사용성의 측면에서 크게 철근콘크리트 구조, 철골 구조, 철골철근콘크리트 구조로 구분할 수 있다. 그러나, 최근 선진국을 중심으로 철골구조와 철근콘크리트구조를 혼용하여 최대한의 구조성능을 발휘할 수 있는 혼합구조에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이들 혼합구조는 기존의 철근콘크리트구조나 철골구조가 단독으로 얻기 어려운 우수한 성능을 얻을 수 있다는 점에서 그 활용범위가 상당히 넓다고 할 수 있다.

이러한 혼합구조의 하나로 개발된 철근콘크리트 기둥과 철골 보로 이루어진 혼합구조는 압축력에 강하며 높은 경제성을 가진 콘크리트를 기둥에 사용하고 휨 및 전단력에 강하고 경량인 강재를 보에 적용하는 우수한 구조시스템이다.

현재 이러한 혼합구조에 대한 연구는 미국과 일본을 중심으로 활발히 진행되고 있으며, 국내에서도 초기단계의 연구가 이루어지고 있다. 그러나 국내·외적으로도 혼합구조에 대한 구조적 거동 및 이종구조부재간의 응력전달기구가 명확히 밝혀지지 않은 실정이며, 설계기준도 정립되어 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 혼합구조의 실제 적용에 앞서 보-기둥 접합부의 파괴거동 및 내력을 실험과 이론적인 검토를 통하여 분석하고 정확한 구조성능을 평가하는데 목적이 있다.

* 정회원, 한양대학교 건축공학과 석사
** 정회원, 한양대학교 건축공학과 박사과정
*** 정회원, 삼성물산(주)건설부문 건축기술팀 부장

**** 정회원, 한남대학교 건축공학과 교수
***** 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수

2. 실험

본 연구에서는 대전 P 건물을 모델로, 구조해석을 통하여 응력이 가장 많이 발생하는 지점을 선정 한 후, 실물크기의 1/2로 실험체를 축소하여 제작하였다. 본 연구에서는 접합부의 거동과 응력전달기구를 고찰하기 위하여 접합부 내력에 영향을 미치는 변수로 FBP, E-FBP, 직교보 등을 변수로 선정하여 실험을 계획하였다. 그리고 본 연구의 목적은 보-기둥 접합부의 거동을 연구하는 것이므로 접합부에서 파괴가 발생하도록 실험체를 계획하였다. 각 실험체는 보 플랜지 상단에 $t=19\text{mm}$ 의 강재 덧판을 부착하여 철골 보의 휨내력을 증대시켰다. 실험에 사용된 실험체 일람표를 표 1에 나타내었으며, 대표적인 실험체의 배근상세를 그림 1에 나타내었다.

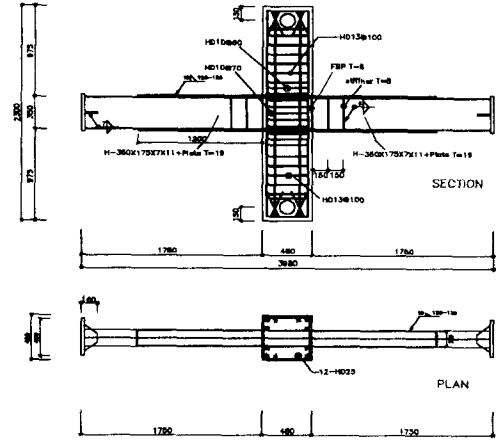


그림 1 기준형 실험체 형상 및 배근상황

실험체에 사용된 콘크리트는 모두 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 설계 압축강도를 사용하였고, 철근은 D10, D13, D25를, 철골은 H-350×175×7×11에 T=8mm의 stiffener를 보강하여 사용하였다. 철골 및 철근의 인장시험결과는 표 2와 같다.

표 1 실험체 일람표

구분	SNI-1	STI-1	STI-2
기둥	단면	B×D=480mm×480mm	
	주근	12-D25	
	띠근	D13@100	
보	H-350×175×7×11 + Plate t=19mm (SWS 490)		
접합부	보강	FBP	FBP + 직교보 + D형강
	띠근	D10@70	
축력	92.2 ton (0.1A _g f' _c)		

표 2 철골 및 철근 재료실험 결과

구분	항복강도 (kg/cm^2)	인장강도 (kg/cm^2)	탄성계수 (kg/cm^2)	연신율 (%)	
철	D10	3528	5479	1.71×10^9	17.5
	D13	4186	5701	1.84×10^9	19.9
	D25	4320	6532	2.02×10^9	20.7
철	Flange	4734	6037	2.21×10^9	23.8
	Web	4840	5951	2.10×10^9	22.2
	FBP	5130	6437	2.39×10^9	24.7
골	Plate	4140	5520	2.09×10^9	25.2
	D형강	4732	5793	2.02×10^9	23.7

실험체 설치상황은 그림 2에서 보는 바와 같이 반력벽에 300ton, 500ton Oil Jack을 프레임에 고정시키고 반대편 프레임에 실험체를 놓쳐 기둥 하부를 힌지와 연결하고 상부 기둥은 Strong Frame에 부착된 힌지와 긴결시켰다.

가력 방법은 부재각(R)에 따라 단계별로 점중가력 하였으며, 정·부의 반복가력으로 부재각 1/500인 초기단계의 가력으로 시작하여 각각 3 Cycle씩 반복가력하면서 부재각에 따른 변위제어 방식으로 가력하였다.

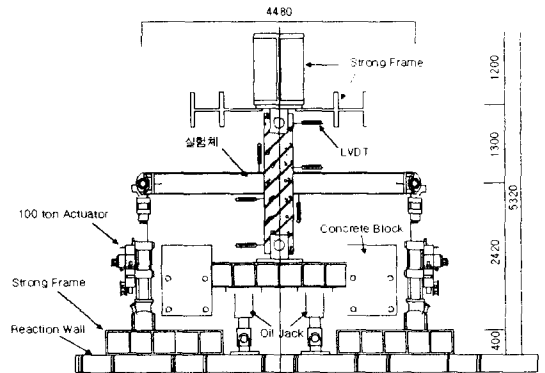


그림 2 실험체 설치 상황

3. 실험결과 및 분석

3.1 내력 및 하중-부재각 곡선

각 실험체의 내력 및 파괴형상을 표 3에 나타내었다. 대부분의 실험체가 부재각 $R=1/200$ 에서 RC접합부에서 초기 수평균열이 발생하였고, 접합부의 대각선 전단균열과 지압응력에 의한 균열로 확장되면서 최대하중에 이르렀으며, 최종파괴모드는 접합부 패널존의 전단파괴에 의해 결정되었다. 기준형 실험체인 SNI-1 실험체는 $R=1/25$ 에서 최대내력 21.34ton에 도달한 후, 접합부의 전단변형으로 인하여 내력이 상승하지 못하였으나, 연성적인 거동을 보였다.

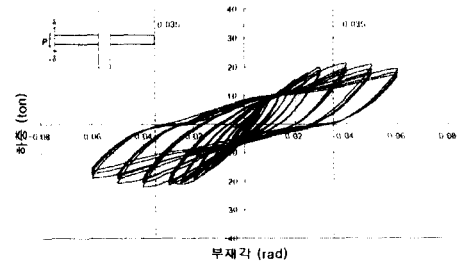
반면, 접합부에 직교보를 추가한 STI-1 실험체의 경우, 최대내력이 기준형에 비해 약 11% 정도 상승하였으나 $R=1/20$ 이후 연성적인 거동을 보이지 못하고 기동의 전단파괴로 최종파괴되었다. 직교보와 E-FBP를 보강한 STI-2 실험체는 파괴양상이 STI-1 실험체와 비슷하였으나 철골 보 상·하단에서 지압파괴가 거의 발생하지 않았고 E-FBP에 의해 STI-1 실험체보다 19% 정도의 내력이 상승하였다.

3.2 연성비에 따른 내력평가

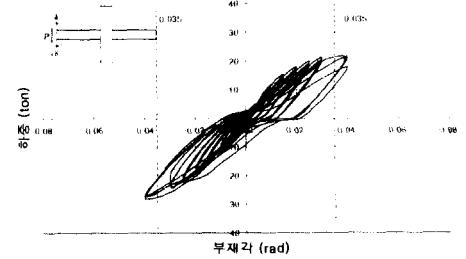
실험체의 접합부 상세에 따른 변형능력과 내력의 차이를 그림 4에 나타내었다. 그림에서와 같이 SNI-1 실험체의 연성비가 4.0 정도로 가장 크게 평가되었다. 그러나 $R=1/25$ 에서 최대내력에 도달한 후 강도저하 현상이 현저히 나타남을 알 수 있다. 반면, 기준형 실험체와 비교하여 볼 때 연성비는 각각 2.0, 2.8로 변형능력이 저하되었다. 이는 접합부의 직교보, E-FBP와 같은 상세는 접합부의 내력을 상승시키고 유지하는데는 효과적이거나 변형능력면에서는 다소 불리한 것으로 판단된다.

3.3 접합부의 최대전단변형각 비교

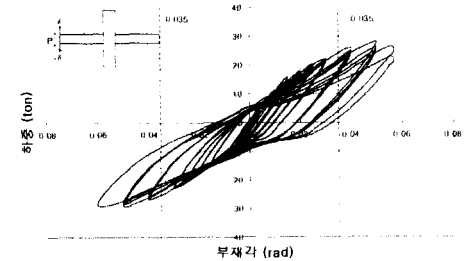
전단변형도의 최대값을 각 부재각별로 나타내면 그림 5와 같다. 접합부의 무보강 실험체인 SNI-1 실험체는 다른 실험체에 비해 4~20배까지의 큰 값을 나타냈으며 $R=0.03$ 이후 전단변형이 현저히 증가하였다. 이는 접합부의 전단변형이 타 실험체와 비교하여 볼 때 접합부 외부에 형성되는 콘크리트 압축장에 의한 저항이 적어짐에 따라 외부 콘크리트의 전단변형이 급격하게 커진 것으로 판단된다. STI-1과 STI-2 실험체를 비교하면, 탄성구간에서 6배, 소성구간에서 2.5배 차이가 남을 알 수 있다.



(a) SNI-1 실험체



(b) STI-1 실험체



(c) STI-2 실험체

그림 3 실험체의 하중-부재각 이력곡선

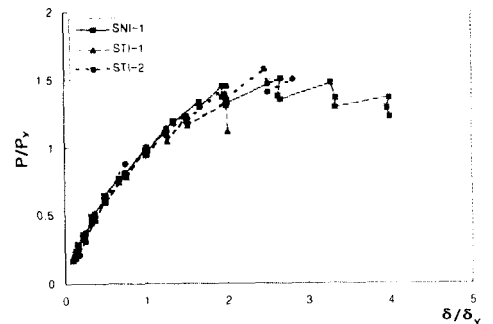


그림 4 연성비에 따른 강도비의 변화

표 3 실험결과

실험체명	예상값(Q_e , ton)					실험값(Q_u , ton)		Q_u/Q_e	파괴모드
	보휵	보전단	기둥휵	기둥전단	접합부	정(+)	부(-)		
SNI-1	49.5	62.3	34.3	37.3	16.1	21.34	21.81	1.34	접합부 전단
STI-1	49.5	62.3	34.3	37.3	16.1	28.91	28.97	1.80	접합부 전단 및 기둥 전단
STI-2	49.5	62.3	34.3	37.3	27.4	32.51	33.44	1.21	접합부 전단 및 기둥 전단

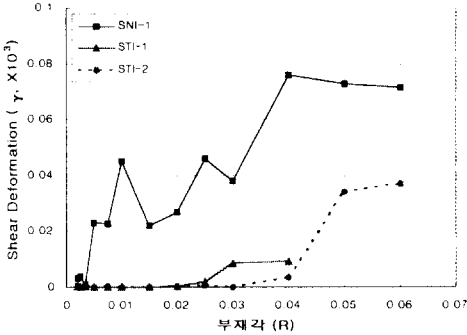


그림 5 접합부의 최대전단변형도의 변화

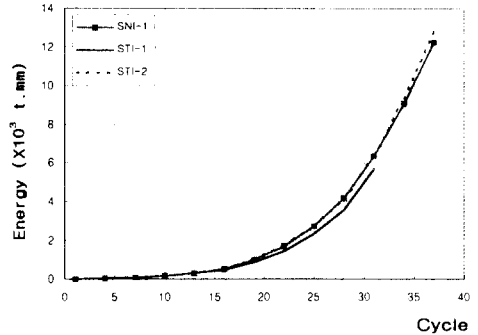


그림 6 누적된 에너지 소산량

4. 결론

- (1) 실험체의 최대내력은 접합부의 보강상세 - 직교보, 확장형 FBP(E-FBP) - 에 의해 약 11%, 28%의 강도 증가의 효과가 나타났다. 이는 접합부 보강상세에 의한 전단변형이 구속되어 압축스트리트의 형성과 압축장의 집중으로 내력을 상승시켰다고 사료된다.
- (2) 연성비는 접합부가 전단파괴된 SNI-1 실험체가 4.00으로 가장 크게 평가되었으며 STI-1, STI-2 실험체가 각각 2.02, 2.81로 나타났다. 접합부 보강상세가 접합부 전단내력의 상승에는 효과적이나 연성적인 거동을 확보하는 데는 다소 불리한 것으로 판단된다.
- (3) 강성은 접합부의 보강에 따른 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 최대전단변형도에 있어서는 기준형 실험체보다 0.04~0.53%로 나타나 전단변형 구속에 효과적인 것으로 판단된다.
- (4) 혼합구조 접합부가 항복한 이후에는 콘크리트 기둥, 접합부의 변형비율은 같거나 약간 감소하는 것으로 보아 설계개념인 접합부가 파괴되지 않고 철골 보로 용력이 전달되고 있음을 알 수 있다.

감사의 글

이 연구는 한양대학교 초대형구조시스템연구센터와 삼성물산(주)건설부문의 연구비 지원으로 수행된 결과의 일부이며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. ASCE Structural Division Task Committee on Design Criteria for Composite Structures in Steel and Concrete (ASCE Guidelines) "Guidelines for Design of Joints Between Steel Beams and Reinforced Concrete Columns," J. Struc. Engrg., ASCE (to be published), 1993.
2. 日本建築學會 構造委員會, "柱RC梁Sとする混合構造の柱梁接合部の力學的舉動に關するシンポジウム", 日本建築學會 混合構造小委員會, 1994. 12
3. 한양대학교 초대형구조시스템연구센터, "LC Frame을 이용한 복합화 공법의 개발 및 성능평가", 1998.
4. "철근콘크리트 기둥과 철골 보로 이루어진 혼합구조 접합부의 역학적 거동", 한양대학교 석사논문, 1999.