

철근콘크리트 기둥-철골 보 접합부의 용접성능 및 휨 저항성능

Welding and Moment Resisting Performance of R/C Column-Steel Girder Connection

전 재 범^{*} 최 광 호^{**} 이 세 웅^{***} 김 상 식^{****}
Jun, Jae Bum Choi, Kwang Ho Lee, Sae Woong Kim, Sang Sik

ABSTRACT

As a process of development of composite beam - column connection system, structural tests have been conducted to verify moment resisting performance of the system. The tests have been proceeded by two steps, the first being welding performance test of the steel connection rod and stiffeners, and the second overall moment resisting capacity of the fully assembled system. Ten welding test specimens and four prototype specimens have been used in the tests. Good structural performance of welding test specimens has been observed without any single welding failure, and sufficient moment resisting capacity has been proved from the overall performance test, with the moment magnitude in excess of the calculated plastic moment.

1. 서론

대부분의 건물들은 철근콘크리트조나 철골조의 구조시스템으로 되어 있으며, 이 두 시스템은 하중 지지능력이나 유지관리 면에서 서로 다른 장단점을 가지고 있다. 따라서, 기둥을 철근콘크리트로 보를 철골로 하면 재료와 구조적인 이점으로 설계와 시공에서 많은 장점을 갖게 된다. 그러나, 이질재료를 사용한 보와 기둥사이 구조일체성과 연속성의 확보 및 시공성 등에서 많은 문제점도 아울러 가지고 있다. 이 연구에서는 생산성, 시공성 및 구조 효율성에서 합리적인 복합구조 접합부 형식을 개발하고, 접합부의 휨모멘트 전달 및 지지성능을 파악하기 위하여 우선, 접합부내 휨모멘트 전달요소인 강봉의 용접성능 시험을 실시하고, 같은 재질의 구성요소로 제작된 실물 시험체에 대한 휨저항 성능시험을 수행한다.

2. 복합구조 접합부 형식 개발

이 형식에서 개발한 철근콘크리트 기둥-철골 보 형식은 표 1, 그림 1에 나타난 바와 같이, 스티프너로 보강된 네 개의 T형강이 원형 강봉으로 연결되어 십자(十字)형태를 이루는 형식이다. 이 형

- * 성회원, 인하대학교 건축공학과 석사
- ** 성회원, 남서울대학교 건축학과 조교수
- *** 성회원, 쌍용건설 기술연구소 부장
- **** 성회원, 인하대학교 건축공학과 교수

식에서 스티프너는 휨몰 보의 상부 및 하부 플랜지 위치에 설치되어 있어, 모멘트 집합부 집합부에 전달되는 응력을 분산시키면서 지압저항을 형성하는 두가지 구조기능을 겸하고 있다. 강봉은 보의 플랜지로부터 T형강을 통해 전달되는 휨인장력을 전달 지지하고, T형강은 적교되는 T형강의 모서리에 접합되어 후프근의 역할과 집합부 인체성을 높이는 기능을 한다. 개발된 집합부 형식은 구성이 비교적 단순하고 하향용집이 많아 제작성능이 높으며, 콘크리트 붓기 등 시공성이 좋은 것이 장점이다.

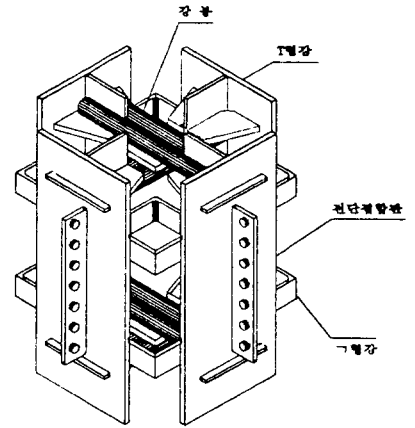


그림 1 개발된 집합부

3. 용접성능 시험

3.1 시험체 및 시험방법

보에서 발생한 휨모멘트와 전단력이 집합부로 전달되는 경로를 살펴보면, 휨모멘트는 보의 플랜지로부터 T형강에 용접된 강봉을 통해 전달되고, 전단력은 보의 웨브로부터 전단결합판을 통해 스티프너의 지압저항으로 지지된다. 이 연구에서는 집합부의 휨내력을 산정하기 위해 우선적으로, 용접성능 시험을 수행하여 강봉과 T형강의 용접성능 및 강봉의 인장내력을 파악하였으며, 이를 토대로 휨 저항성능 시험용 실물 시험체를 제작하였다.

용접 시험체는 그림 2와 같이 H형강을 반분하여 얻은 T형강에 강봉을 용접한 형태로 10개를 제작하였으며, 표 2, 그림 3과 같이 용접치수를 시험변수로 하였다. 가력방법은 시험체에 직인장력을 가하는 것으로 하였으며, 이 때 강봉 중앙부위에 변형도 게이지를 부착하여 강봉의 인장력 전달성능을 조사하였다.

표 1 집합부 구성요소

요소	사용부재	비고
T형강	T-150×300×10×15	H-300×300×10×15를 반분하여 얻음
연결재	지름 40 mm내외의 원형 강봉	H형강 보의 플랜지 내력이상의 성능을 가지도록 선정함
스티프너	PL12 강판	지압저항과 집합부에 전달되는 휨응력을 분산함
L형강	L 100×100×10 축 10 cm	후프근 역할과 집합부 인체성을 높이기 위하여 사용됨

3.2 용접성능 시험결과

집합부내 강봉과 T형강의 용접에는 플레어 베벨 그루브 용접(flare bevel groove welding)방법이 사용되었으며, 시험체의 용접성능을 확인하기 위하여 이 용접규준의 설계력과 시험결과를 비교하였다. 비교된 용접규준은 두 가지로서, 먼저 미국용접협회(American Welding Society)의 용접기준(ANSI/AWS D1.4-79)에 의한 설계력 F_w 는 식 1과 같다.

$$F_w = a l_e f_s = 0.2 D l_e f_s \quad (1)$$

여기서, 유효 폭부께 a 는 강봉지름 D 의 0.2 배로 하고, l_e 는 유효용접길이, f_s 는 용접봉과 모재의 인장강도 중 작은 값으로 한다. 다음으로, 미국강구조협회(American Institute of Steel Construction)의 하중저항계수설계법(Load Resistance Factor Design)에 의한 설계력은 식 2로 선정된다.

$$F_w = 0.75 a l_e (0.6 F_{EXX} \text{ or } F_u) \quad (2)$$

여기서, a 는 유효 폭부께, l_e 는 유효 용접길이, F_{EXX} 는 용접봉의 인장강도이고 F_u 는 모재의 항복강도이다.

시험모중 안전 상 100 t 정도에서 가력을 멈추었고, 이 때까지의 시험결과와 설계력을 비교하였으 미 그림 4와 같다. 모든 시험체의 최대 가력하중 100 t 은 AWS 설계력 28 t 에서 모두 선형 변화하 고 AISC LRFD 설계력의 1.1 -1.7 배 정도의 값을 갖으며, 모 플랜시 항복내력 76.8 t 을 상회하는 것 으로 조사되어 모의 휨인장력에 대한 강봉과 용접부의 하중전달이 원활함을 확인하였다.

표 2 강봉의 용접성능시험 변수

(단, D는 강봉의 직경)

종류	시험체명	인장재(강봉)			용접봉	수량
		Ø38 탄소강	용접지수	용접길이		
1	CAX 1	Ø38 탄소강	웨이브와의 용접지수	0.5D	일반(E4316)	3
	CAX 2		스티프너와의 용접지수	0.5D		
	CAX 3		용접지수	0.5D		
2	CAY 1	Ø38 탄소강	웨이브와의 용접지수	0.5D	일반(E4316)	3
	CAY 2		스티프너와의 용접지수	0.8D		
	CAY 3		용접지수	0.8D		
3	CBY 1	Ø38 탄소강	웨이브와의 용접지수	0.8D	일반(E4316)	4
	CBY 2		용접지수	0.8D		
	CBY 3		스티프너와의 용접지수	0.8D		
	CBY 4		용접지수	0.8D		

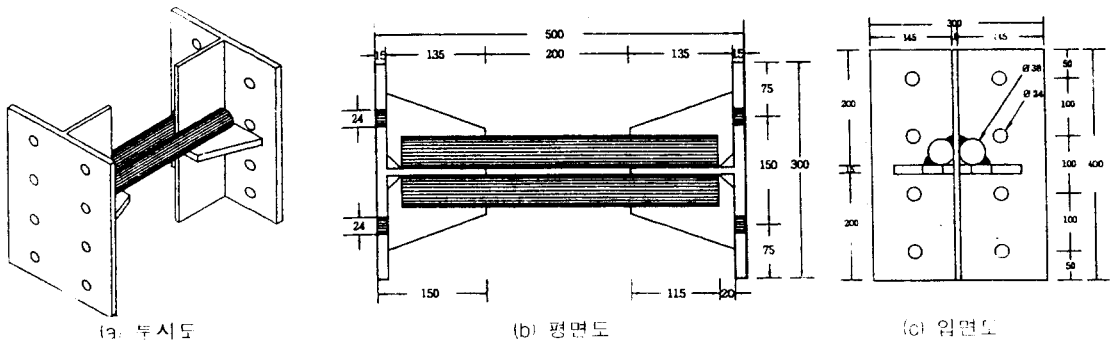


그림 2 연결재의 용접시험체

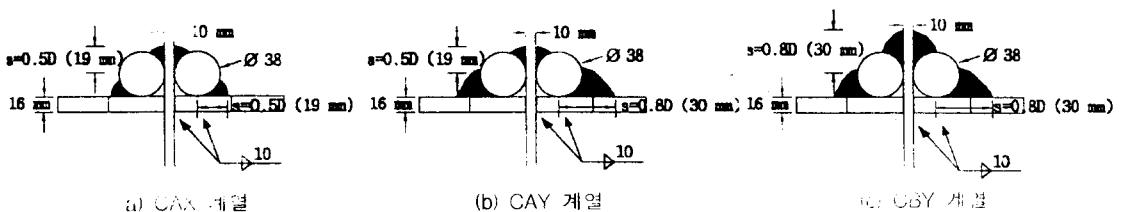
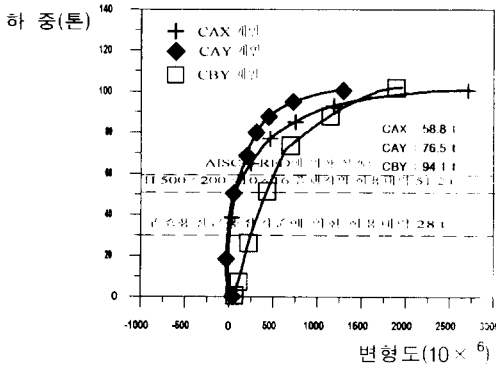
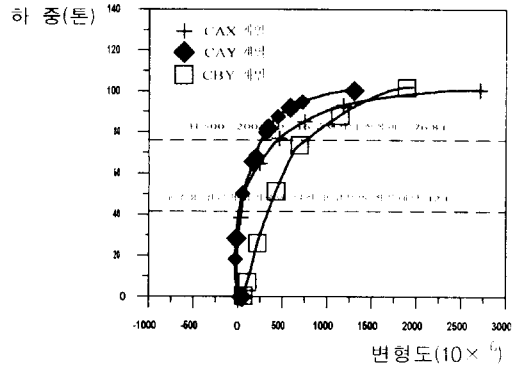


그림 3 용접시험 변수



a) 설계력의 비교



b) 항복내력의 비교

그림 4 시험결과와 용접기준의 비교

4. 휨 저항성능 시험

4.1 시험체

시험체는 그림 5에 보이는 바와 같이 단면을 $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$, 높이를 1 m로 하여 네 개가 제작되었으며, 이 때 강봉과 T형강과의 용접지수는 용접시험 결과를 토대로 강봉 직径의 0.8배로 하였다.

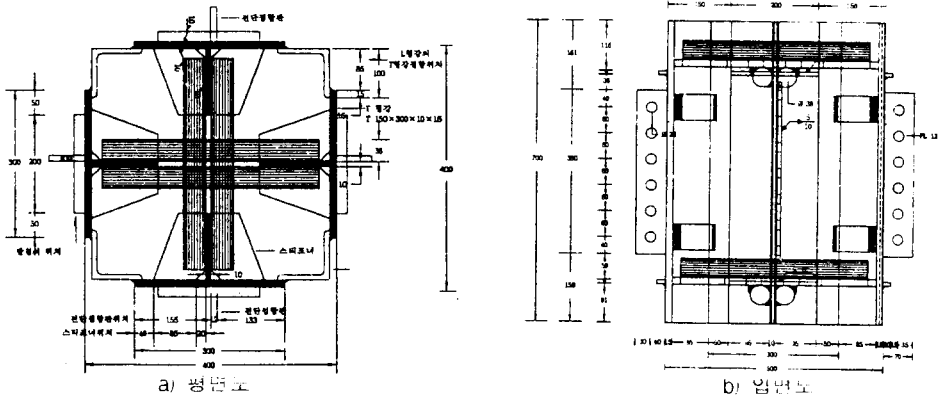


그림 5 휨 저항성능 시험체

4.2 가력 및 측정

실물 시험체의 휨 저항성능을 알아보기 위하여 그림 6에 보이는 바와 같이 시험체 중앙부에 하중 P를 가하고, 이 때 힌지 지점에서 발생하는 P/2의 반력에 의한 모멘트 P/2이 접합부에 작용하도록 하였다. 시험길과 측정은 그림 7과 같이, 접합부의 처짐 및 처짐 각을 측정하기 위해 접합부 하부에 변형측정기(LVDT)를, 모멘트에 의한 휨인장력과 휨압축력 및 강봉의 전단성능을 파악하기 위해 보 상·하 플랜지 위치와 강봉 중앙부에 변형도 게이지를 설치하였다. 하중이력은 3회에 걸쳐 1회에 26 t·m, 2회에 39 t·m, 3회에 32 t·m의 휨 모멘트가 발생하도록 가력하였다.

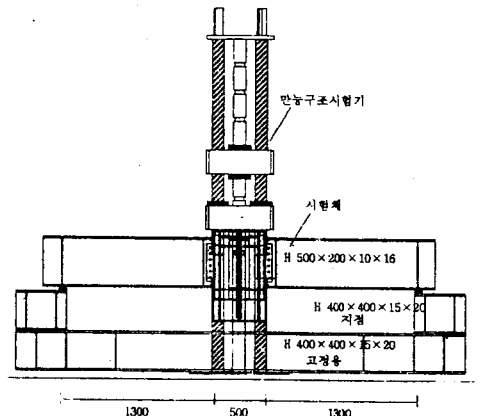


그림 6 휨 저항성능 시험체의 가력장치

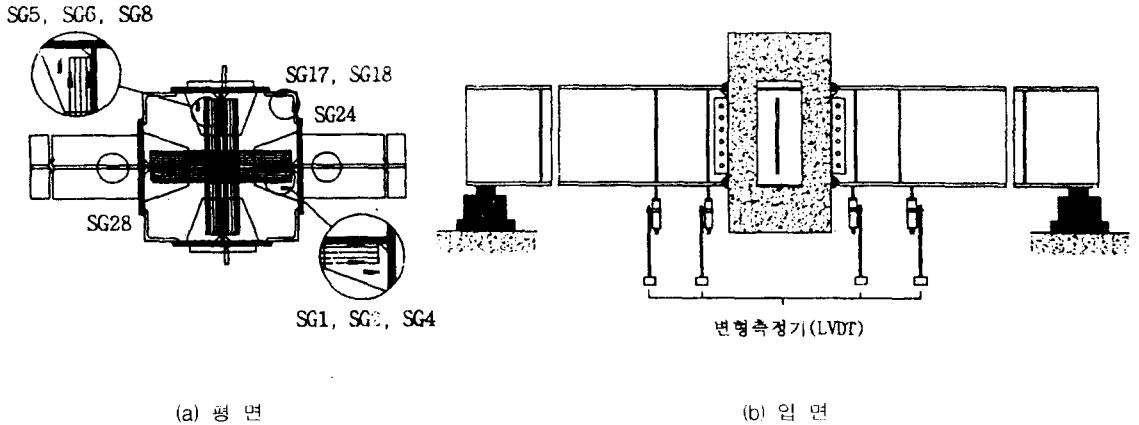


그림 7 게이지 측정 위치

4.3 시험결과

4.3.1 파괴상황

응력전달시험체 접합부에 $P/2$ 의 모멘트가 생기도록 만능구조시험기로 3회에 걸친 하중이력을 가하였을 때, 공통적으로 최대 가력하중 80 t 근처에서 모의 항복현상과 모 웨브에 체결된 고력볼트가 약간 미끄러지는 것이 관찰되었으나 접합부 내부의 파괴는 전혀 발생하지 않았다.

4.3.2 휨 모멘트 전달 및 지지 성능

시험체 접합부 하단에 설치된 LVDT 데이터 값으로부터 그림 8의 모멘트-처짐각 비교곡선을 구하였고, 이를 설계력과 비교하기 위해 시험체의 허용모멘트 M_a , 항복모멘트 M_y 및 소성모멘트 M_p 를 산정 하였다. 시험에 사용된 H 500×200×10×15 형상의 단면계수는 $Z = 1910\text{cm}$, SS400 재질 강재의 허용 휨응력도는 $f_b = 1.6\text{ t/cm}^2$, H형강의 소성모멘트에 관련한 형상계수는 $k_s = 1.2$ 이므로, 설계력은 식 3과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 M_a &= Z \cdot f_b = 30.6 \text{ t} \cdot \text{m} \\
 M_y &= Z \cdot f_y = 45.84 \text{ t} \cdot \text{m} \\
 M_p &= k_s \cdot M_y = 55 \text{ t} \cdot \text{m}
 \end{aligned} \tag{3}$$

그림 8에서 시험체별 최대 휨모멘트는 다소 차이가 있으나, 모두 항복모멘트를 상회하고, 소성모멘트에 근접하는 것이 확인되어, 이론적인 설계력과 비교작 가깝게 일치하였다.

또한, 표 3, 그림 9에 나타난 모 플랜지와 강봉 변형도 값의 비교로부터 휨모멘트 전달성능을 확인 하였다. 각 시험체별 탄성역으로 추정되는 가력하중 40 t ($M=25\text{ t} \cdot \text{m}$), 60 t ($M=40\text{ t} \cdot \text{m}$)에서 모 플랜지 변형도와 이를 전달하는 두 개의 상부 변형도 비의 평균값은, 상대적으로 큰 편차를 보이는 RCS-1-1 경우는 제외하고 60퍼센트에서 80퍼센트 이내로 계산되었으며, 이로부터 강봉과 모 플랜지의 편심, 모의 회전, 강봉 주변 콘크리트의 구속, 휨모멘트를 휘인상력으로 등가 환산한 해석상의 오차 등을 감안하면, 모의 모멘트가 접합부로 원활히 전달되는 것으로 판단되었다.

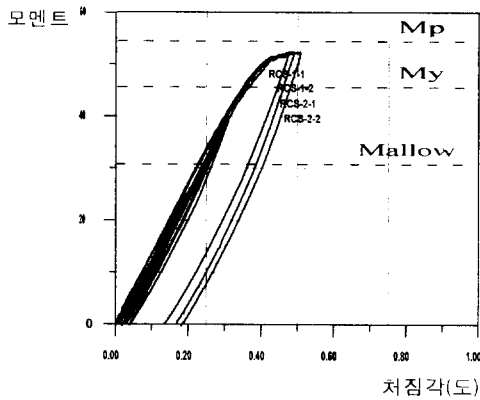


그림 8 모멘트-처짐각 비교곡선

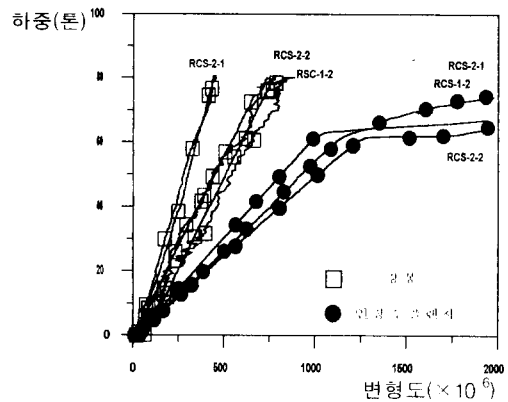


그림 9 강봉과 인장축 보 플랜지의 변형도 비교곡선

표 3 강봉과 인장축 보 플랜지의 변형도 비교

가력하중 부위	RCS-1-1			RCS-1-2			RCS-2-1			RCS-2-2		
	40 t	60 t	80 t	40 t	60 t	80 t	40 t	60 t	80 t	40 t	60 t	80 t
인장축 플랜지	0.00440	0.00450	0.01150	0.00095	0.00210	0.01 ~ 0.0115	0.00056	0.00160	0.009 ~ 0.012	0.00100	0.00275	0.008 ~ 0.016
강 봉	0.00087	0.00090	0.00170	0.00045	0.00075	0.00110	0.00018	0.00040	0.00045	0.00038	0.00060	0.00080

5. 결론

이 연구에서는 철근콘크리트 기둥 - 철골 보 복합구조 접합부 형식을 개발하고, 접합부의 휨모멘트 전달 및 지지성능을 파악하기 위하여 휨모멘트 전달요소인 강봉의 용접성능 시험과 실물 시험체에 대한 휨 저항성능 시험을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 강봉의 용접성능 시험결과, 시험체의 최대 가력하중 100 t 은 AWS 설계력 28 t 에서 모두 선형 변화하고 AISC LRFD 설계력의 1.1 ~ 1.7 배 정도의 값을 가지며, 보 플랜지 항복내력 76.8 t 을 상회하는 것으로 조사되어, 보의 휨인장력에 대한 강봉과 용접부의 하중지지 성능을 확인하였다.
- 2) 실물 시험체에 대한 휨 저항성능시험결과, 시험체별 최대 휨모멘트는 다소 차이가 있으나, 모두 항복모멘트 45.84 t·m 를 상회하고, 소성모멘트 55 t·m 에 근접하는 것이 확인되어, 이론적인 설계력과 비교적 가깝게 일치하였다.
- 3) 각 시험체별 탄성역으로 추정되는 가력하중 40 t (M=25 t·m), 60 t (M=40 t·m)에서 보 플랜지와 이를 전달하는 두 개의 강봉 변형도 비 평균값이 60 ~ 80 퍼센트 이내로 계산되었으며, 이로부터 강봉과 보 플랜지의 편심, 보의 회전, 강봉 주변 콘크리트의 구속, 휨모멘트를 휨인장력으로 등가 환산한 해석상의 오차 등을 감안하면, 보의 모멘트가 접합부로 원활히 전달되는 것으로 판단되었다.

참고 문헌

1. 최광호, 이세웅, 김재순, 김상식, "철근콘크리트 기둥과 철골 보의 접합부 형식 발전 및 용접성능에 관한 시험적 연구", 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, Vol.9, No.2, 1997.11., pp.569-574.
2. 金洸演, "柱RC·梁S混合構造接合部のせん断耐力に關する研究", 千葉大學學位申請論文, 1997.
3. 日本建築學會, "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", 1994.