

T 형강을 사용한 합성골조 보-기둥 접합부의 휨 저항성능에 관한 연구

A Study on the Moment Resisting Performance of the Hybrid Beam-Column Connection System with Structural Tee

임 대 성^{*} 최 광 호^{**} 김 상 식^{***}
Lim, Dae Sung Choi, Kwang Ho Kim, Sang Sik

ABSTRACT

The composite systems, consisting of R/C Columns-Steel Beams, are reasonable structures because of their constructional and economical advantages, workability and so on. But, it is difficult to apply the composite systems to actual design due to material dissimilarity and complicate stress flow in the connection.

This study aims to propose the hybrid beam-column connection system with structural tee and through experimental research make clear the shear and moment resistance capacity and stress transfer mechanism.

1. 서론

철근콘크리트 기둥-철골 보 복합구조는 철근콘크리트와 강재의 구조 및 재료적 효율성과 시공성, 경제성 등을 고려하여 두 부재의 장점을 살린 합리적인 구조물이다. 그러나, 이질 재료간의 접합으로 철근콘크리트 기둥과 철골 보의 접합부에서는 변위의 불연속 구간이 발생할 소지가 있고, 응력전달과정의 해석이 복잡하여 실제 설계에는 많은 구조적인 문제점들이 놓여 있다.

이 연구에서는 T 형강과 고강도 강봉 연결재를 사용한 새로운 형태의 기둥-철골 보 접합부 형식을 제안하고, 실험을 통하여 제안된 접합부의 지지 성능과 효율성을 검증하며, 실험 자료를 바탕으로 접합부의 응력전달경로를 해석하여 접합부 설계의 기초자료를 제시하고자 한다.

2. T 형강을 사용한 합성골조 보-기둥 접합부

이 연구에서 고안된 접합부는 기둥관통형 철골 보-철근콘크리트 기둥 시스템으로, 이 시스템은 기둥이 연속되고 보가 단절된 형태로 접합되기 때문에 보의 휨모멘트 및 전단력이 기둥 내부에 효율적으로 전달되도록 설계되어야 한다.

* 인하대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 남서울대학교 건축공학과 조교수

*** 정회원, 인하대학교 건축공학과 교수

접합부에 사용된 T 형강은 시스템 내부 및 외부의 모든 응력전달요소를 연결하는 주요 요소로서 접합부의 전체 형태를 유지하며 기둥 거푸집의 역할도 분담함과 동시에 보 플랜지의 압축력을 기둥면에 분산시키는 지압판의 역할도 한다. 보 플랜지의 인장력을 기둥 내부에서 전달하기 위한 요소로 한 방향은 고강도 강봉을 사용하고 이와 직교하는 방향은 강재 연결판을 사용하여 두 요소의 간섭이 없도록 하였다. 스티프너 보강된 Γ 형강을 사용하여 보 플랜지의 인장력을 기둥면에 전달하도록 하였으며, 보의 전단력을 지지하기 위하여 전단접합판을 T 형강에 용접하여 보의 웨브와 전단접합되도록 하였다. 그리고 접합부의 일체성과 콘크리트의 구속력을 위하여 T 형강의 모서리에 앵글을 용접하였다. 그림 1과 표 1에 각각 T 형강을 사용한 합성골조 보-기둥 접합부의 상세와 구성요소의 세부 사항이 나타나 있다.

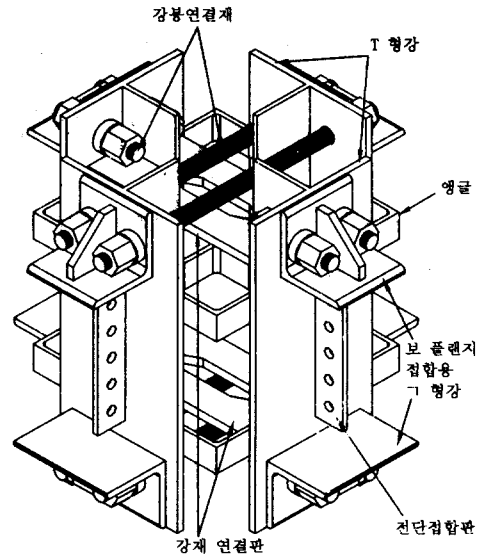


그림 1. T 형강을 사용한 합성골조 보-기둥 접합부

같은 형태의 접합부를 2 개 제작하였으며, 시험체의 내부 십자형 접합부에서 x, y 방향의 하중전달 경로와 구조거동이 다르므로, 하중을 전달하는 재료에 따라 강봉으로 하중을 전달하는 방향을 MR-1 및 MR-2로 시험체명을 정하고, 연결판 방향을 MP-1, MP-2로 하였다.

3. 구조실험

3.1 접합부의 힘내력

시험체에 사용된 철골 보(H-400×200×8×13)의 단면계수는 $Z = 1190 \text{ cm}^3$, 허용응력은 $f_b = 1.6 \text{ t/cm}^2$, 항복응력은 $f_y = 2.4 \text{ t/cm}^2$ 이고 H 형강의 소성모멘트에 관련한 형상계수는 $k_s = 1.2$ 이므로 시험체의 허용모멘트 M_a , 항복모멘트 M_y , 소성모멘트 M_p 는 다음과 같이 계산된다.

표 1 시험체의 구성요소

구성요소		사용부재	비고	
내부 요소	T 형강	T-150×300×10×15	H-300×300×10×15를 반분하여 얻음	
	연결재	고강도 강봉	∅32 프리스트레스 강봉	
		연결판	PL-19 강판	
	앵글	L-100×100×10	후프근 역할과 접합부 일체성을 높이기 위해 사용	
외부 요소	스티프너 보강 Γ 형강	Γ 형강	L-150×150×15	보 플랜지의 인장력을 강봉에 전달
		스티프너	PL-16 강판	Γ 형강의 성능 향상을 위해 Γ 형강에 용접
	웨브접합부	전단접합판	PL-12 강판	보 웨브와 전단접합됨
		고력볼트	F10T M20	보 웨브의 전단내력 이상의 성능을 가지도록 개수 산정(5 개)
철골 보		H-400×200×8×13		

$$M_a = Z \cdot f_b = 19.04 \text{ t} \cdot \text{m}, \quad M_y = Z \cdot f_y = 28.56 \text{ t} \cdot \text{m}, \quad M_p = M_y \cdot k_s = 34.27 \text{ t} \cdot \text{m} \quad (1)$$

보의 휨모멘트를 전달하기 위하여 사용된 요소들의 내력은 다음과 같이 산정한다.

1) 스티프너 보강된 Γ 형강

보 플랜지의 인장력을 기둥면으로 전달하기 위하여 사용된 Γ 형강의 내력을 향상시키기 위하여 스티프너(PL-16)를 보강하였으며, 이 스티프너 보강된 Γ 형강은 보 플랜지의 인장력에 의한 직접전단력 및 강봉의 중심과 플랜지 면 사이의 편심에 의한 휨모멘트를 지지하여야 한다. 전단내력은 와셔 밑부분의 Γ 형강과 스티프너 단면적의 합에 전단응력도를 곱하여 구한다. 스티프너의 단면적을 A_s , Γ 형강의 길이 방향 단면적을 A_L 이라 하면 스티프너 보강된 Γ 형강의 전단내력 V_y 는 다음과 같이 계산된다.

$$V_y = (A_s + A_L) \times F_y / \sqrt{3} \quad (2)$$

휨내력은 Γ 형강과 스티프너가 이루는 T 형 단면의 인장 및 압축측 단면계수를 구하여 이 중 작은 값에 F_y 를 곱하여 구한다. 스티프너 보강된 Γ 형강의 인장·압축측 단면계수 중 작은 값을 Z_{min} 이라고 하면 항복모멘트 M_y 는 다음과 같이 구한다.

$$M_y = Z_{min} \cdot F_y \quad (3)$$

2) T 형강

T 형강은 연결판으로 보 플랜지 인장력을 전달하는 MP-1,2 시험체에서 Γ 형강과 볼트접합되어 Γ 형강과 연결판 사이의 하중전달 역할을 한다. 이 때 T 형강은 보 플랜지에서 전달되는 인장력에 의한 직전단력과 강봉의 중심과 연결판 사이의 편심에 의한 휨모멘트를 받는다. 전단력은 T 형강의 웨브 단면적에 플랜지 단면 중 연결판이 용접된 부분의 단면적을 합한 면적을 전단유효단면적으로 하여 검토하고, 휨내력은 T 형강의 인장·압축측 단면계수 중 작은 값에 F_y 를 곱하여 구한다. T 형강의 전단유효단면적을 A_T , 인장·압축측 단면계수 중 작은 값을 Z_{min} 이라 하면, 전단내력 V_y 와 항복모멘트 M_y 는 각각 다음과 같이 산정된다.

$$V_y = A_T \cdot F_y / \sqrt{3}, \quad M_y = Z_{min} \cdot F_y \quad (4)$$

3) 강봉 및 연결판

강봉과 연결판의 내력은 직인장력에 대해서만 검토 한다. 강봉의 단면적을 A_{rod} , 연결판의 단면적을 A_{con} 이라 하면, 강봉의 인장내력 N_{rod} 와 연결판의 인장내력 N_{con} 은 각각 다음과 같이 산정된다.

$$N_{rod} = A_{rod} \cdot F_{rod,all} \quad (5)$$

$$N_{con} = A_{con} \cdot F_y$$

여기서, $F_{rod,all}$ 은 프리스트레스 강봉의 긴장 권고치로서, 강봉의 인장강도 11 t/cm^2 의 55%인 6 t/cm^2 의 값을 가진다.

식 (1)에서부터 식 (5)를 적용하여 얻은 각 구성 요소의 내력을 기둥과 보의 접합면에 작용하는 모멘트 M_y 및 구조시험체의 가력하중 P_y 로 치환한 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2 구성요소의 항복내력

구성요소	검토하중	항복내력	
		M_y (t·m)	P_y (t)
보(H-400×200×8×13)	휨모멘트	28.56	43.94
스티프너 보강 Γ 형강 (L-150×150×15)	직전단력	20.54	31.60
	편심모멘트	13.18	20.28
T 형강 (T-150×300×10×15)	직전단력	19.30	29.70
	편심모멘트	12.46	19.17
프리스트레스 강봉 ($\phi 32$, 2 개)	직인장력	37.35	57.46
연결판(PL-19, 2 개)	직인장력	24.71	38.01

3.2 가력 및 측정

200 t 용량의 구조시험기로 가력을 하여 시험체의 접합부에 휨모멘트와 전단력을 가하였다. 시험체의 하부에는 50 mm 변위계(LVDT)를 설치하여 부재의 처짐을 측정하였고, 접합부의 응력흐름을 파악하기 위하여 보 플랜지와 T 형강, 강봉 및 연결판 등에 변형도 게이지를 부착하였다. 하중이력은 접합부의 최대 내력을 고려한 하중제어 방식으로 30 t, 50 t, 70 t의 3회에 걸쳐 가력 및 제하를 반복하였다. 그림 2와 그림 3에 각각 시험체의 설치 상황과 변형도 게이지 부착 위치 및 접합부 내부 상세가 나타나 있다.

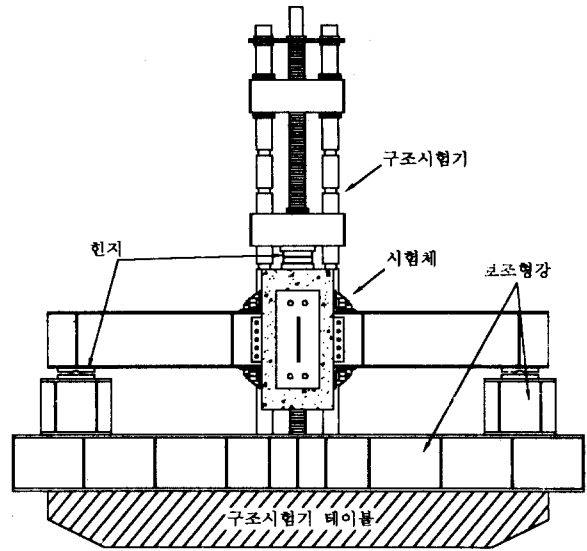


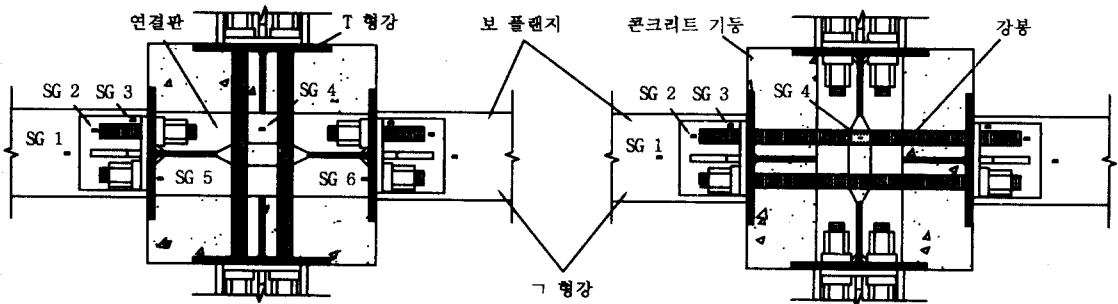
그림 2. 시험체 설치 상황

4. 실험 결과

4.1 파괴상황

보 플랜지의 인장 또는 압축측 변형도가 소성상태에 들어갈 때까지 가력을 진행하였으나 구성요소가 완전한 파괴를 보인 것은 없었고, 보 플랜지에 용접한 스티프너 보강된 T 형강이 볼트 밑부분에서 휘어져서 기둥면 밖으로 벌어지는 변형이 모든 시험체에서 관찰되었다. 모든 시험체가 가력하중 약 50 t 전후에서 굉음과 함께 순간적으로 하중이 2~4 t 정도 떨어진 후 다시 원래의 하중을 회복하는 현상을 보였으며, 이러한 현상은 50 t을 넘어서서 5~10 t 마다 간헐적으로 일어났다. 이는 보에서 전달되는 모멘트를 보 플랜지 접합부와 전단접합부가 분담하여 지지하다가 전단접합 고력볼트가 조금씩 미끄러지면서 나타나는 현상으로 판단된다.

MR-1,2 시험체는 실험이 끝난 후에도 콘크리트 기둥에는 거의 변화가 없었으나, MP-1,2 시험체는 약 30 t을 넘어서면서 인장측의 T 형강과 콘크리트와의 경계면에서 미세한 균열이 발생하였고, 또한 T 형강의 중앙부에서 시작되는 수직 균열도 1~2 개 관찰되었다. 이는 T 형강에 작용하는 휨과 전단력에 의하여 T 형강이 기둥면 밖으로 벌어지려는 변형 때문에 생긴 것으로 보인다.



(a) MP-1,2

(b) MR-1,2

그림 3. 변형도 게이지 부착 위치 및 접합부 내부 상세

4.2 접합부 내력 및 하중-변형도 곡선

보 플랜지의 인장력은 MR-1,2 시험체에서는 보 플랜지-스티프너 보강된 Γ 형강-강봉의 경로로 전달되며, MP-1,2 시험체에서는 보 플랜지-스티프너 보강된 Γ 형강-강봉-T 형강-연결판 통하여 전달된다. 이 때, 강봉의 중심과 연결 요소간의 편심으로 인하여 스티프너 보강된 Γ 형강과 T 형강 및 연결판에는 직인장력 또는 직전단력과 더불어 편심으로 인한 휨모멘트가 작용한다. 그러나, Γ 형강과 T 형강은 접합면에서 서로 밀착되어 서로의 변형을 구속하며 또한, 편심거리가 짧기 때문에 편심모멘트의 영향은 현저히 줄어들 것으로 예상되며, 연결판에 작용하는 편심모멘트는 콘크리트의 구속력으로 감쇄되어 연결판에는 직인장력만 작용하는 것으로 가정할 수 있다.

그림 4는 3회 가력시 스티프너 보강된 Γ 형강의 하중-변형도 곡선이다. 첨자 v는 Γ 형강의 전단내력에 대해 산정한 하중이고 첨자 M은 휨내력에 대해 산정한 내력이며, P_a 는 허용내력, P_y 는 항복내력을 나타낸다. 그림 4의 곡선은 Γ 형강의 최대 항복내력인 $P_{y,v} = 31.60$ t까지도 탄성 거동을 하는 것을 보여준다.

그림 5는 보 플랜지와 강봉 및 연결판의 하중-변형도 관계를 나타낸 곡선이다. 여기서, P_a , P_y , P_p 는 각각 보의 허용·항복·소성모멘트에 해당하는 하중이며, $P_p = 52.72$ t에 이를 때까지 플랜지의 인장력이 원활하게 전달되는 것을 보여준다.

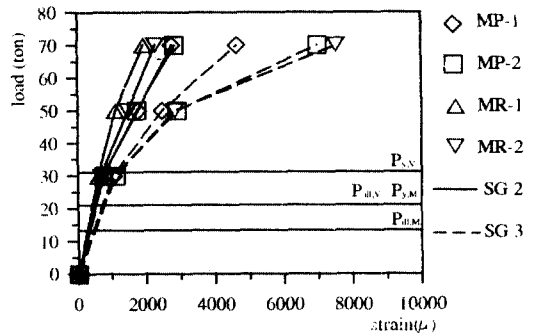
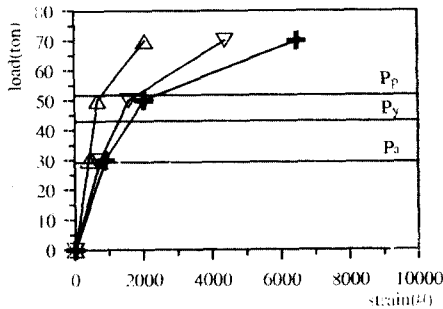
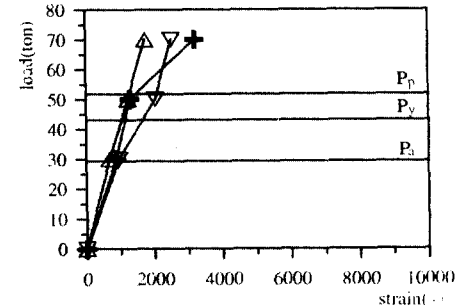


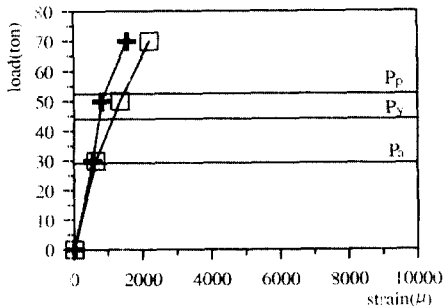
그림 4. Γ 형강의 하중-변형도 곡선



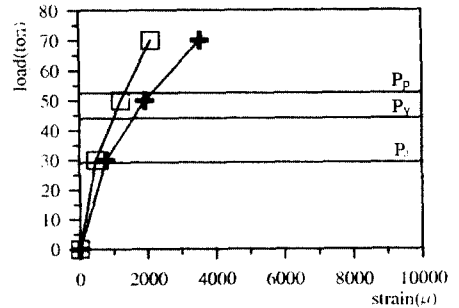
(a) MP-1



(b) MP-2



(c) MR-1



(d) MR-2

그림 5. 보 플랜지와 강봉 및 연결판의 하중-변형도 곡선

4.3 모멘트-처짐각 곡선

그림 6은 접합부의 모멘트-처짐각 곡선이다. 여기서 M_a , M_y , M_p 는 식 (1)에 의해 산정된 철골 보의 휨내력이고, 처짐각은 기둥과 보의 접합면에서 측정된 부재의 처짐을 측정 위치에서 지점까지의 거리로 나눈 값으로 한다. 모멘트-처짐각 곡선은 각 시험체가 보의 소성모멘트 $M_p = 34.27 \text{ t} \cdot \text{m}$ 에 이를 때까지 안정적인 거동을 하는 것을 보여준다. MP-1,2 시험체가 MR-1,2 시험체에 비해 부재의 처짐각이 다소 크게 나타나, T 형강의 변형으로 인해 MP-1,2 시험체의 접합부 회전 강성이 MR-1,2 시험체보다 작은 것을 알 수 있다.

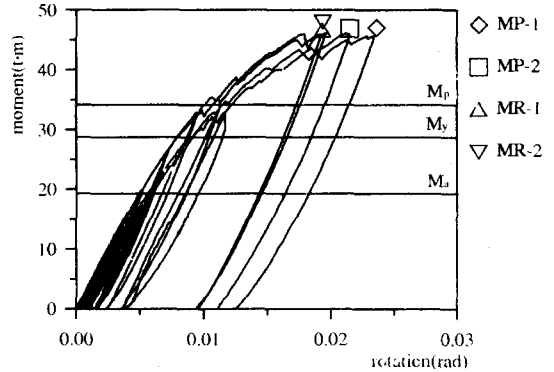


그림 6. 시험체의 모멘트-처짐각 곡선

5. 결론

이상과 같이 T 형강을 사용한 합성골조 보-기둥 접합부의 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 이 연구에서 제안된 T 형강 합성골조 접합부는 현장 적용이 가능한 가공성과 운반성 및 시공성을 가지며, 철골 보 - 접합용 γ 형강 - 연결용 강봉 및 연결판으로 전달되는 응력전달이 매우 순조로운 것이 구조실험 결과 밝혀졌다.
- 2) 보 플랜지의 휨인장력을 전달하는 프리스트레스 강봉과 연결판의 항복내력은 시험체 가력하중을 기준으로 각각 57.46 t, 38.01 t으로 계산되는데, 보의 항복내력 43.94 t을 넘어 소성모멘트에 해당되는 52.73 t 까지 두 부재가 안정적인 거동을 보이며, 보 항복내력의 약 1.6 배인 70 t에서도 파괴에 이르지 않아 강봉과 연결판은 보 휨내력 이상의 성능을 가지는 것이 확인되었다.
- 3) 스티프너 보강된 γ 형강에는 보 플랜지 인장력에 의한 직전단력과 강봉 중심과의 편심으로 인한 모멘트가 작용하며, 직전단력에 대한 항복내력은 31.60 t, 편심모멘트에 대한 항복내력은 20.28 t으로 계산되는데, 보 항복내력 43.94 t을 상회하는 50 t에 이를 때까지도 모든 시험체가 변형도 0.003 이하의 안정적인 거동을 보이고, 직전단력에 대한 항복내력의 약 2.2 배인 70 t에서도 파괴되지 않아 편심에 의한 영향은 거의 없는 것으로 판단되며, 보 플랜지의 휨인장력 전달에 충분한 지지성능을 가지고 있고 이로부터 이 형식의 접합부는 원활한 응력의 흐름을 보이는 것으로 나타났다.

감사의 말

이 연구는 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터(STRESS)의 지원 하에 수행 중인 “T 형강을 사용한 철근콘크리트 기둥-철골 보의 접합부 형식 개발” 연구의 한 부분으로, 동 센터의 지원에 고마움을 표하는 바이다.

참고문헌

1. 조이훈, 최광호, 김상식, “T 형강을 사용한 철근콘크리트 기둥·철골 보 접합부의 휨 저항성능”, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 제10권 제1호, pp. 701~706, 1998. 4.
2. 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”, 1994.12.