

기둥관통형 RC 기둥-철골 보 접합부에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Column Penetration Joint of RC Column-Steel Beam

김승훈*

한상환**

이리형**

Kim, Seung Hun Han, Sang Whan Lee, Li-Hyung

Abstract

The composite framed structures, consisting of RC columns and steel beams, become more popular in Korea because of their efficiency and quality. However the force transfer mechanisms between the column and beam may be very complicated since the materials of columns and beams are different. This study develops "the column penetration joint" which the web of steel beam doesn't penetrate and which could improve the strength, deformation, and energy dissipation capacities compared to existing composite joints. It is the concrete-filled square tube joint with the exterior diaphragms and the cruciform stiffening plates.

This study evaluated the strength of RC column penetration to steel beam connection by analyzing the results of partial experiments, and reviewed the applicability the strength formula through the comparison of tested results of joint experiment.

1. 서 론

혼합구조는 서로 다른 종류의 구조부재를 혼합하여 구축된 형식으로서 철골을 매립한 철골 철근콘크리트조, 콘크리트충전 강관구조, 철근콘크리트 기둥과 철골 보의 혼합구조 등의 연구가 진행되고 있다. 이 중 철근콘크리트 기둥과 철골 보의 혼합구조는 압축력에 강한 철근콘크리트 부재와 휨과 전단력에 강한 철골부재의 특성에 맞게 각각 기둥과 보로서 역할을 하게 된다. 이런 형식은 재래의 철골구조에 비하여 접합부의 가공이 단순하고 용접 작업량이 적을 뿐만 아니라 고가인 철골의 양을 줄이는 이점을 가지고 있다. 또한 재래의 철근콘크리트 구조에 비하여 보의 철근량, 거푸집 양을 절감할 수 있고 동바리가 필요 없으며, 작업의 다원화가 이루어져 공기가 단축되는 이점을 가지고 있다. 그러나, 접합부에서의 응력 전달 기구가 명확하지 않을 뿐만 아니라 기둥이나 보 등 주요구조 부재가 소정의 강성과 내력을 충분히 발휘하지 못한다는 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 보 웨브의 접합부 관통 여부에 따라 분류한 기둥관통형과 보관통형의 철근콘크리트 기둥과 철골 보를 조합한 혼합구조 중 기둥관통형에 대해서 이미 연구된 접합부의 인장을 받는 부분을 떼어내 만든 실험체의 순수인장 거동에 관한 실험과 분석을 바탕으로 하여 첫째, 철근콘크리트 기둥-철골 보 접합부에 대한 반복 가력 실험을 실시하여 접합부에 대한 구조적 거동을 파악

* 정회원, 한양대학교원 건축공학부 박사과정

** 정회원, 한양대 건축공학과 교수

하고 둘째, 철근콘크리트 기둥-철골 보 접합부의 내력식을 평가하고자 한다.

2. 기둥관통형 철근콘크리트 기둥-철골 보 시스템

기둥관통형 철근콘크리트 기둥-철골 보 시스템은 기둥이 연속되고 보가 단절된 형태로 되어 있기 때문에 접합부에서의 내력확보와 힘의 전달면에서 문제점을 안고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 철근콘크리트 기둥과 철골 보가 만나는 접합부 부분에 각형강관을 사용하여 접합부 내력을 향상시키고 외부다이아프램을 사용하여 보플랜지의 인장력에 저항하도록 하였다. 그리고 전단력과 접합부의 각형강관을 구속시켜 주는 십자형중판을 각형강관 상하에 용접하였다. 기둥관통형의 기둥-보 접합부 상세를 그림 1에 나타내었다.

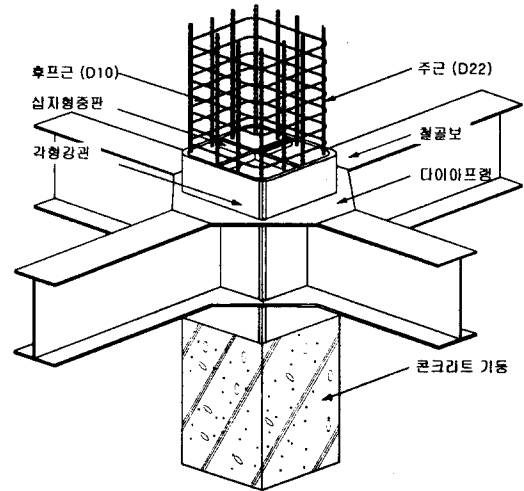


그림 1. 기둥관통형 철근콘크리트 기둥-철골 보 접합부 상세

3. 실험

3.1 실험체 계획

구조물에 연직하중 뿐 만 아니라 지진 및 풍하중 등의 수평하중이 작용할 경우 기둥관통형 철근콘크리트 기둥-철골 보 접합부에 대한 구조적 거동을 파악하기 위해 접합부 실험체를 계획하였다.

본 실험에서는 기둥관통형 철근콘크리트 기둥-철골 보 접합부에서의 각형강관의 두께, 다이아프램의 취약단면의 길이, 보플랜지 두께를 변수로 하여 표 1과 같이 3개의 실험체를 계획하였다.

표 1. 철근콘크리트 기둥-철골 보 접합부 실험체 일람표

실험체명	\overline{ac}	tc	td	보	기둥	비 고
D1	12	9	12	H-350×150×9×12	450×450	기준실험체
D2	24	9	12	H-350×150×9×12	450×450	취약단면길이변화
D3	9	9	9	H-350×150×6×9	450×450	다이아프램 취약단면 길이 및 두께 변화

tc : 각형강관 두께 td : 다이아프램 두께 \overline{ac} : 다이아프램 취약단면 길이 (단위 : mm)

D1 실험체를 기준실험체로 하여 D2 실험체는 다이아프램의 취약단면길이를 변화시켜 취약단면의 단면적을 증가시키고, 반면에 D3 실험체는 다이아프램의 취약단면의 길이와 두께를 변화시켜 취약단면의 단면적을 감소시킴으로써 접합부의 내력과 변형성능을 기준실험체와 비교·분석하였다. 이들 실험체는 이미 수행된 철근콘크리트 기둥-보 플랜지의 인장실험과 분석에 관한 연구를 기초로 하여 접합부의 다이아프램과 각형강관의 취약단면에서 파괴가 일어나도록 계획하였다. 기준실험체인 D1 실험체의 형상은 그림 2와 같다.

3.2 재료실험

실험에는 설계기준강도가 350kg/cm^2 인 콘크리트를 사용하였다. $\phi-100 \times 200(\text{mm})$ 인 원주형 공시체를 제작하여 접합부 실험체와 동일한 조건으로 양생한 후, 유압식 만능 시험기로서 28일 압축강도 시험을 한 결과 평균압축 강도는 393kg/cm^2 로 나타났다.

기둥-보 접합부 실험체에 사용된 강재의 역학적 성질을 파악하기 위하여 KS B 0801의 금속재료 인장재료 시험편 규정에 따라 강판, 철근의 인장시험편을 각각 3개씩 제작하여 재료인장 시험을 행하였다. 접합부 실험에 쓰인 강판의 재질은 SS41이다. 재료인장 실험결과를 표 2에 나타내었다.

3.3 가력 및 측정방법

실험체 가력은 25ton Actuator를 이용하여 철골 보 양 끝에 역대칭으로 반복 가력을 행하였으며, 100ton 오일잭(oil jack) 이용하여 일정한 압축력($0.1 f'_{c} A_g$)을 철근콘크리트 기둥에 가하였다. 실험체 설치는 철근콘크리트 기둥 상하에 힌지(hinge)를 두어 오일잭과 가력프레임(Strong frame)에 볼트로 체결하였으며, 철골 보 역시 보 양단부에 25ton Actuator를 힌지로 연결하였다. 실험체 설치 상황을 그림 3에 나타내었다.

하중제어는 보 단부 가력점의 수직 변위를 가력점에서 기둥 중심점까지의 거리로 나누어 구한 부재 변형각으로 변위제어를 하였다. 부재 변형각이 $1/400, 2/400, 4/400, 6/400, 8/400, 16/400, 24/400(\text{Rad})$ 으로 하여 그림 4과 같이 각 부재변형각당 두 사이클씩 점중가력하였다.

변위 측정은 접합부 패널존과 상하 콘크리트 기둥, 철골 보에 50mm 변위계(Displacement Transducer)와 100mm 변위계를 이용하여 변형각과 변위를 측정하였다. 그리고 각형강판과 다아이프램 및 십자형중

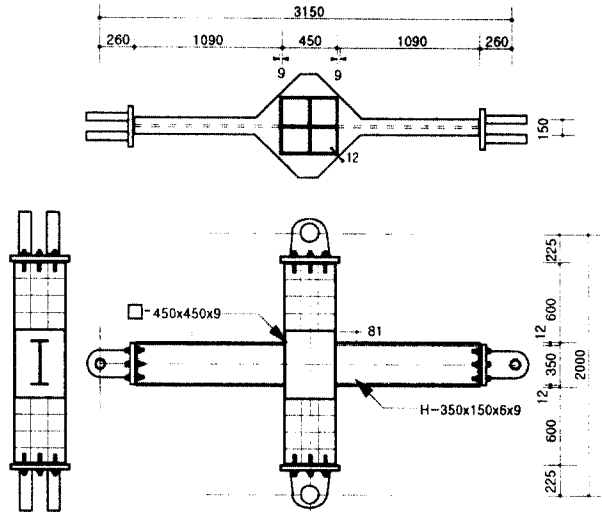


그림 2. 철근콘크리트 기둥-철골 보 접합부 실험체 형상(D1 실험체)

표 2. 강재의 인장강도 시험결과

시험편	σ_y (t/cm^2)	σ_u (t/cm^2)	σ_y/σ_u	Elo (%)	
강 판	6mm	3.26	3.99	0.82	24.27
	9mm	2.90	4.06	0.71	25.08
	12mm	2.60	3.67	0.71	23.29
	16mm	2.82	4.55	0.62	24.68
	20mm	3.72	5.72	0.65	20.17
	26mm	2.78	4.63	0.60	18.15

σ_y : 항복강도 σ_u : 최대인장강도

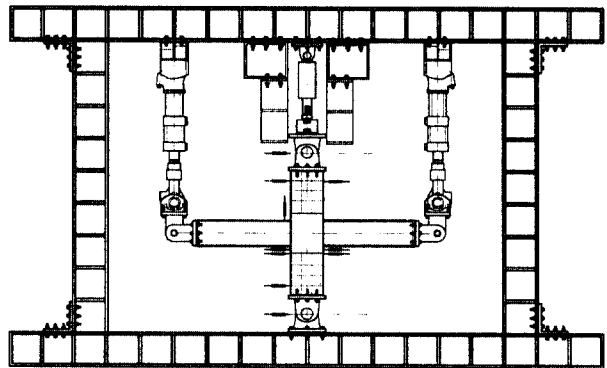


그림 3. 실험체 설치상황

판의 응력흐름을 파악하기 위하여 Wire Strain Gauge를 부착하였으며, 접합부 내의 콘크리트와 기둥 주근·띠철근의 변형을 파악하기 위하여 타설 전에 콘크리트 매립게이지와 Wire Strain Gauge를 설치하였다.

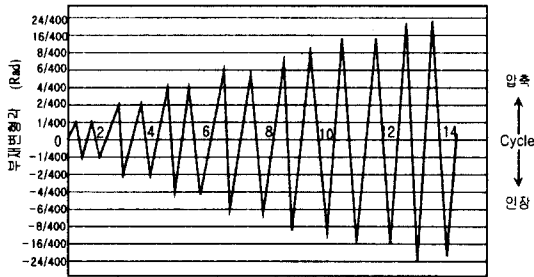


그림 4. 하중제어

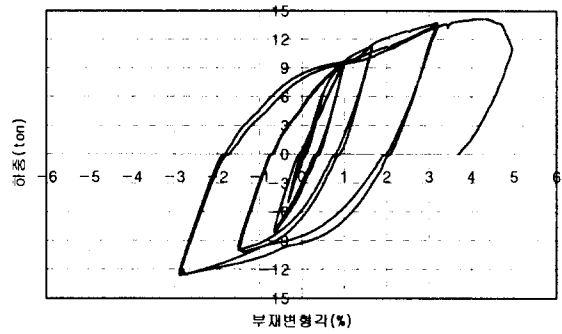
3.4 실험결과

D1 실험체는 7cycle에서 각형강관과 콘크리트가 접하는 부분에 각형강관의 지압에 의한 콘크리트의 미세한 균열이 발생되었고 11cycle에는 상·하 각형강관의 인장력을 받는 부분에서 배불림이 일어났으며 12cycle에서 다이아프램 취약단면의 균열이 나타났다. 13cycle에서 최대하중 13.72ton에 이르러 다이아프램의 취약단면이 절단되고 상하부 십자형중판이 절단되면서 최종파괴되었다.

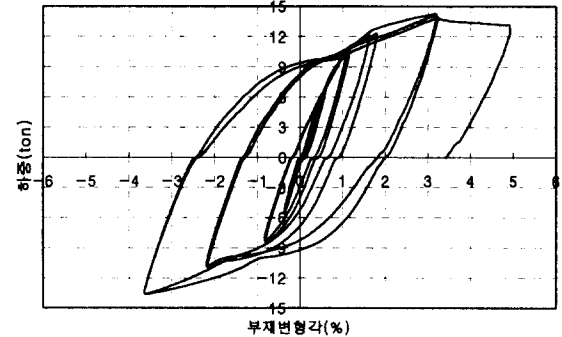
D2 실험체는 기준실험체인 D1 실험체와 비교하여 다이아프램의 취약단면길이를 증가시킨 실험체로 파괴진행 상황이 기준실험체와 비슷하였지만 최대강도는 14.26ton으로 기준실험체보다 4%증가하였다.

기준실험체에서 다이아프램의 두께와 취약단면길이를 감소시킨 D3 실험체 역시 기준실험체와 파괴양상이 비슷했고 최대하중은 10.62ton으로 기준실험체에 비해 23%감소하였다. 이와 같은 실험결과를 정리하면 표 3과 같다. 그림 5는 실험체의 하중과 부재변형각의 관계곡선을 나타낸 것이다.

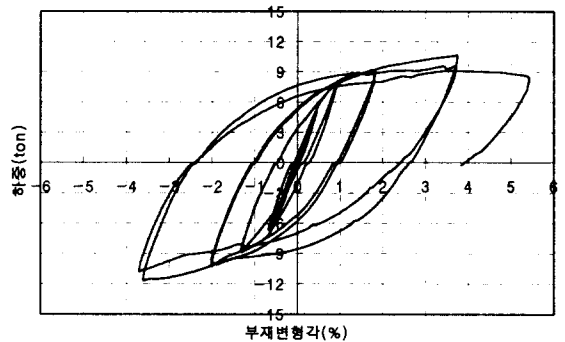
구조체의 변형능력은 외력에 대한 에너지 흡수능력(소산능력)을 의미한다. 에너지 흡수량은 실험으로부터 얻은 하중-변위곡선의 면적으로 구하였고, 매 사이클별 에너지 흡수량의 총합인 누적에너지 흡수량을 그림 6에 나타내었다. 그림 6에 나타난 것처럼 누적 에너지 흡수량은 다이아프램 취



(a) D1 실험체



(b) D2 실험체



(c) D3 실험체

그림 5. 실험체의 하중-부재변형각 곡선

약단면의 단면적이 큰 실험체일수록 높게 평가 되었다.

4. 접합부 내력평가

기둥관통형 접합부의 파괴모드는 접합부의 다이아프램과 각형강관의 취약단면이 인장력에 의한 휨파괴되는 경우와 철골 보가 휨파괴되는 경우이다. 이러한 접합부의 파괴에 대한 항복 내력(Q_y)과 최대 내력(Q_u)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q_y = P_y \cdot h_b / L \quad \text{-----(1)}$$

$$Q_u = P_u \cdot h_b / L \quad \text{-----(2)}$$

여기서 $P_y = \text{Min}(I P_y, II P_y)$

$P_u = \text{Min}(I P_u, II P_u)$

h_b : 보의 층

L : 보의 가력점으로부터 접합부의

각형강관 플랜지까지의 거리

접합부의 다이아프램과 각형강관 취약단면의 휨파괴에 대한 내력은 철근콘크리트 기둥-보 플랜지의 인장실험과 분석에 의해 구하여진 내력식($I P_y$, $I P_u$)을 이용하며, 철골 보의 휨파괴에 대한 내력은 접합부에서의 모멘트를 보플랜지의 응력중심 거리의 우력($II P_y$, $II P_u$)으로 치환하여 다음과 같이 구해진다.

$$I P_y = \frac{38}{162} tc \cdot bc \cdot c \sigma_y + \left(\frac{162tc^2}{bc} - 3tc + \frac{bc}{72} \right) td \cdot d \sigma_y + \sqrt{2} \cdot \overline{ac} \cdot d \sigma_y \cdot td \quad \text{----(3)}$$

$$II P_y = Z \cdot b \sigma_y / h_b \quad \text{----(4)}$$

$$I P_u = \frac{38}{162} tc \cdot bc \cdot c \sigma_u + \left(\frac{162tc^2}{bc} - 3tc + \frac{bc}{72} \right) td \cdot d \sigma_u + \sqrt{2} \cdot \overline{ac} \cdot d \sigma_u \cdot td \quad \text{----(5)}$$

$$II P_u = Z_p \cdot b \sigma_y / h_b \quad \text{----(6)}$$

$c \sigma_y$: 각형강관의 인장항복강도 $c \sigma_u$: 각형강관의 최대인장강도 $c \sigma_u$: 철골 보의 인장항복강도

$d \sigma_y$: 다이아프램의 인장항복강도 $d \sigma_u$: 다이아프램의 최대인장강도

Z : 철골 보의 단면계수

Z_p : 철골 보의 소성단면계수

이렇게 구하여진 접합부의 내력을 실험내력과 비교해 보면 표 4와 같다. 표 4에서 보면 실험내력과 이론내력의 비가 항복내력은 0.97~1.02, 최대내력은 0.9~1.08로써 비교적 이론내력이 접합부의 내력을 비교적 잘 평가하고 있는 것으로 나타났다.

표 3. 실험결과 일람표

실험체명	항복내력 (ton)	최대내력 (ton)	최대내력 / 항복내력
D1	9.28	13.72	1.48
D2	9.94	14.26	1.43
D3	8.23	10.62	1.29

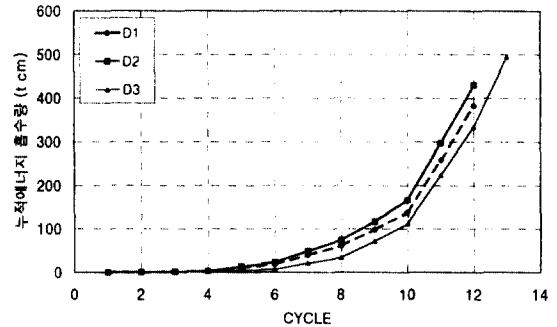


그림 6. 실험체별 누적에너지 흡수량

표 4. 실험내력값과 이론내력값의 비교

실험체명	실험내력 (ton)		이론내력 (ton)		실험내력 /이론내력	
	eQy	eQu	tQy	tQu	eQy/tQy	eQu/tQu
D1	9.28	13.72	9.09	12.75	1.02	1.08
D2	9.94	14.26	10.46	14.69	0.95	0.97
D3	8.23	10.62	8.46	11.85	0.97	0.90

5. 결론

기둥관통형 RC 기둥-철골 보 접합부에 관한 실험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 내렸다.

- (1) 접합부의 반복가력 실험결과, 방추형의 이력곡선을 형성하는 안정적인 거동을 보였다.
- (2) 실험체는 다이아프램과 각형강관의 취약단면에서 파괴되는 형상을 보였으며, 실험체의 다이아프램의 취약단면적이 클수록 내력과 에너지 흡수량면에서 우수한 거동을 보였다.
- (3) 접합부의 실험내력과 이론내력의 비가 항복내력에서는 0.97~1.02, 최대내력에서는 0.9~1.08로써 비교적 이론내력이 접합부의 내력을 비교적 잘 평가하고 있는 것으로 나타났으므로, 본 연구에서의 접합부 내력식이 실제 설계식에 적용 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터와 (주)동부건설 기술연구소의 연구비 지원에 의해 이루어졌음을 밝히며 회사측에 심심한 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. 일본 강구조협회, “혼합구조 Hybrid Structures-혼합구조 소위원회 보고”, 1987. 5
2. T. M. Sheikh, “Beam-column Moment Connections for Composite Frames Part1. Part2”, J. Struct. Eng. ASCE, Vol.115, pp.2858~2896, 1989, 11.
3. G. DAVIS, J. A. Packer, “Predicting the strength of branch plate-RHS Connections for punching shear”, CAN. J. CIV. ENG. Vol.9, 1982
4. 森田耕次, 江波戸化正, 渡邊人, 山本昇, “箱形斷面柱-H形斷面はり接合部のダイアフラム補強に関する研究”, 日本建築學會構造系論文報告集 第388号, 1988年 6月
5. 松井千秋, 河野昭彦, “中空およびコンクリート充填角形鋼管柱と形鋼梁の接合部形式に関する實驗的研究”, 日本建築學會構造系論文報告集 第486号 1996 年 8月
6. 森田耕次, 横山幸夫, “鉛直スチフナ形式・SRC柱-Sはり接合部の力學的舉動に関する實驗的研究”, 日本建築學會構造系論文報告集 第413号, 1990年 7月
7. 유영찬, “콘크리트충填 角形鋼管 構造의 舉動에 관한 研究”, 한양대 박사학위논문 1997年 6月
8. 심종석, “콘크리트충填 角形鋼管 기둥-H形鋼梁 接合부의 耐力에 관한 研究“, 동국대 박사학위논문 1995年 11月
9. “강구조 한계상태 설계규준(안) 및 해설작성에 관한 연구”, 대한건축학회, 1995, pp 57~67