

천장 브래킷형 모듈러 시스템의 접합부 내진 성능과 설계 프로세스

Seismic Performance and Design Process of a Ceiling Bracket-Typed Modular Connection

이 승 재*
Lee, Seungjae

강 창 훈**
Kang, Changhoon

박 재 성***
Park, Jaeseong

곽 의 신****
Kwak, Euishin

손 수 덕*****
Shon, Sudeok

Abstract

This paper examines the seismic performance and structural design of the ceiling bracket-type modular connection. The bracket-type system reduces the cross-sectional area loss of members and combines units using fitting steel plate, and it has been developed to be fit for medium-story and higher-story buildings. In particular, this study conducted the cyclic loading test for the performance of the C-type and L-type brackets, and compared the results. The test results were also compared with the commercial FEA program. In addition, the structural design process for the bracket-type modular connection was presented. The two connections, proposed as a result of the test results, were all found to secure the seismic performance level of the special moment steel frame. In the case of initial stiffness, the L-type bracket connection was found to be great, but in the case of the maximum moment or fully plastic moment, it was different depending on the loading direction.

Keywords : Bracket-type modular connection, Cyclic loading test, Seismic performance, Special moment frame, Fully plastic moment

1. 서론

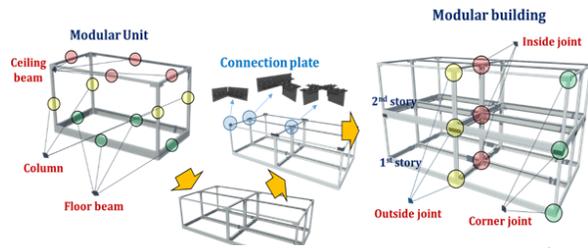
모듈러 구조 시스템이 임시 가설물이나 주택이 아닌 하나의 건축 구조물로서의 개념을 얻기까지는 많은 기술자와 연구자들의 연구와 다양한 시도가 있었다. 최근 들어 이러한 시도는 중고층 빌딩에 모듈러 시스템을 적용하기 위한 아이디어들로 나타나기 시작했고, 3D 프린터 분야와 더불어 미래의 새로운 건축 설계 패러다임을 제시하고 있다. 특히 모듈러 수요에 대한 확장과 개선된 기술들은 많은 건설 시공사들의 관심을 불러일으켰으며,

새로운 기술의 영역으로 재형성되었다. 이러한 기술 중 중고층 빌딩을 위한 시스템 개선의 문제들은 주로 접합부의 개발과 내진 성능을 확보¹⁻³⁾함으로써 해결되었고, BIM 기술의 접목⁴⁾이나 유닛의 개발 등이 실험적 또는 해석적인 방법으로 다루어졌다⁵⁻⁷⁾.

이 중 브래킷형 접합부³⁾를 가진 모듈러 구조는 길 관을 이용해 다른 유닛과의 접합을 시도한 것으로 단면의 손실을 줄여 접합부 강성을 높이고, 지진 에너지를 잘 흡수할 수 있게 고안되었다. 공장 생산을 통해 양질의 유닛을 생산하고 현장에서 접합하는 공정에서 발생하는 단면의 손실을 최소화한 방법은 완전 강접합 접합부(Fully restraint moment connection)에 가까운 실험 결과를 얻을 수 있었고, 다양한 파라미터에 대한 영향이 연구되었다(Fig. 1). 그러나 접합부의 내진 성능에 대한 평가 파라미터는 적지 않고, 같은 브래킷의 형태라도 두께에 따라 다양한 결과를 예상할 수 있으므로 더욱 다양한 연구가 필요하였다. 아울러 이러한 접합부 형태에 대한 구조 설계 방법도 필요한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 브래킷형 모듈러 접합부의 브래킷

* 정희원, 한국기술교육대학교 건축공학과 교수
Dept. of Architectural Eng., Koreatech Univ.
** 정희원, 현대엔지니어링(주) 기술연구소 소장, 공학박사
Hyundai Engineering Co., Ltd.
*** 정희원, (주)동양구조안전기술 연구소, 공학박사
Dongyang Structural Engineers Group Co., Ltd.
**** 정희원, (주)효성구조엔지니어링 대표이사
Hyosung Structural Engineering Inc.
***** 교신저자, 정희원, 한국기술교육대학교 건축공학과 연구교수
Dept. of Architectural Eng., Koreatech Univ.
Tel: 041-560-1334 Fax: 041-560-1224
E-mail: sdshon@koreatech.ac.kr



〈Fig. 1〉 Ceiling-bracket-type modular³⁾

형태에 대한 내진 성능을 평가하고 비교한다. 또한 이러한 접합부의 구조 설계 방법을 제시하여 실제적인 설계가 가능한 방법과 세부사항을 다루도록 한다. 본 논문의 구성은 2장에서 브래킷 모델을 설명하고 실험 방법과 평가 방법을 기술한다. 3장과 4장에서는 실험 결과와 유한 요소 해석을, 5장에서 접합부 설계 방법을 설명한다. 이를 통해서 도출된 결론을 6장에서 제시한다.

2. 브래킷형 접합부의 실험

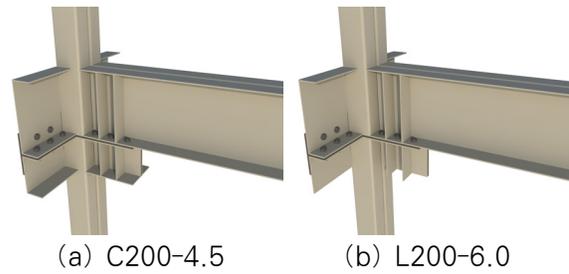
연구 대상 모듈러 접합부 실험은 〈Fig. 2〉와 같이 유닛의 결합으로 생성되는 보-기둥 접합부를 모델링하여 반복 가력 실험을 수행하였다. 이 실험체는 수평 하중을 받는 모멘트 골조와 유사하다.

대상 실험체는 C형(C200-4.5)과 L형(L200-6.0) 브래킷이며, 참조 모델 Ref-W는 브래킷이 없이 용접된 모델이다. C형은 이미 성능이 검증되었으며, L형 브래킷에 대한 성능을 본 연구에서 검증하도록 한다. L형의 경우 브래킷의 밀판이 없는 관계로 두께를 C형보다 두꺼운 값으로 채택하였으며, 두 실험체의 브래킷 중량이 유사하도록 채택하였다.

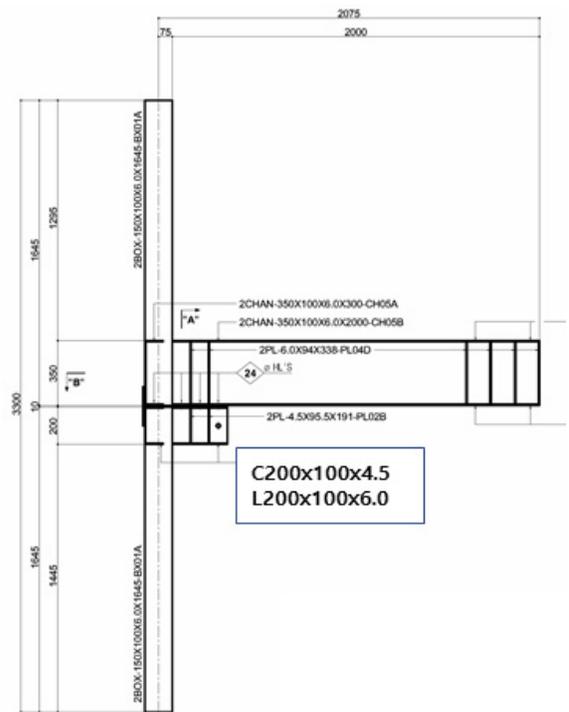
실험체는 각형강관 기둥, C형강 바닥보 및 천장 브래킷으로 구성되며, 천장 중앙부 보는 내진 성능에 기여하지 않으므로 고려하지 않는다. 세부 부재의 구성과 초기 실험체는 〈Fig. 3〉 및 〈Fig. 4〉와 같다.

〈Table 1〉 Information of the test specimens

Specimen name	Column and floor beam	Ceiling bracket
Ref-W		N.A.
C200-4.5	□-150 X 100 X 6.0 C-350 X 100 X 6.0	C-200 X 100 X 4.5
L200-6.0		L-200 X 100 X 6.0



〈Fig. 2〉 Test specimens



〈Fig. 3〉 Detail of test specimens



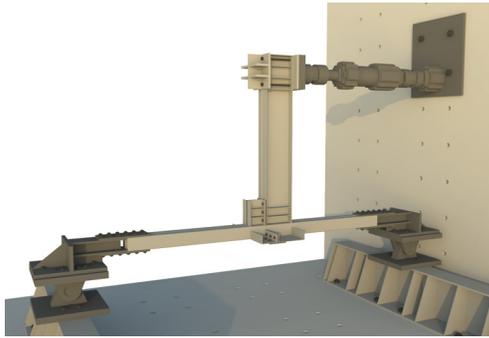
(a) C200-4.5 (b) L200-6.0

〈Fig. 4〉 Initial state of the test specimens

실험체 소재 인장 시험의 시험편은 KS B 0801(금속 재료인장시험편) 기준에 따라 SM490급 강재의 두께 6.0mm와 SS400급 강재의 두께 4.5mm, 6.0mm 및 10mm의 연결 플레이트에서 5호 시험편으로 제작하였다. 시험은 KOLAS 인증기관⁸⁾에 의뢰하였고, 결과는 〈Table 2〉와 같다.

〈Table 2〉 Tensile test result

Grade	Strength (MPa)		Young's modulus (MPa)	Yield ratio	Elongation (%)	Member
	Yield	Tensile				
SM490	450	518	191,537	0.87	35	Column (Thk6.0)
SS400	281	441	200,296	0.64	45	Beam (Thk6.0)
SS400	346	446	201,446	0.78	39	Beam (Thk4.5)



〈Fig. 5〉 Set-up of a test specimen

〈Fig. 5〉와 같이 실험체의 가력은 기둥 양단을 핀 지지로 하고 바닥보 자유단에 가력 장치를 연결하였다. 본래 세워져 있던 실험체를 편의를 위해 90° 눕힌 상태로 계획하였다. 가력은 KBC2016에 정의된 강구조 보-기둥 접합부의 내진 성능 검증을 위한 반복 재하 이력에 기초하였다. 실험체는 기둥 중심선에서 액츄에이터 중심선까지의 길이 $L_b=1,875\text{mm}$ 를 기준으로 가력하였다³⁾.

초기 강성의 이론적 값은 완전 강접합 모델에 기초한 초기 강성 ${}_aK_i$ 를 이용하며, 식 (1)과 같다.

$${}_aK_i = \frac{M}{\theta} = \frac{PL_b^2}{\delta_c + \delta_b} \quad (1)$$

여기서 P , L_b , δ_c , δ_b 는 각각 보의 전소성모멘트를 발생시키는 하중, 기둥 중심에서 보 단부까지의 거리, 하중에 의한 보의 처짐 및 기둥의 회전에 의한 보의 처짐이며, 본 연구의 실험체에 대한 값은 ${}_aK_i = 6,904 \text{ kN}\cdot\text{m/rad}$ 이다.

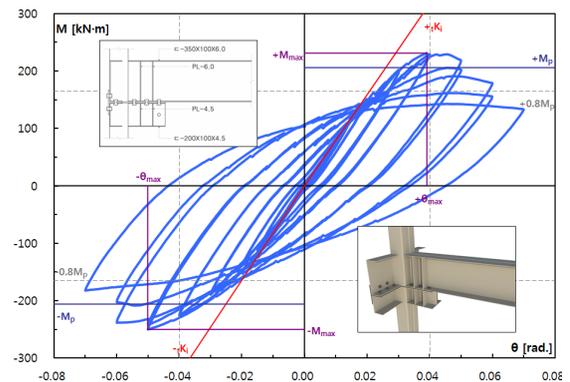
3. 브래킷 접합부의 성능

3.1 실험체의 이력 거동과 특성

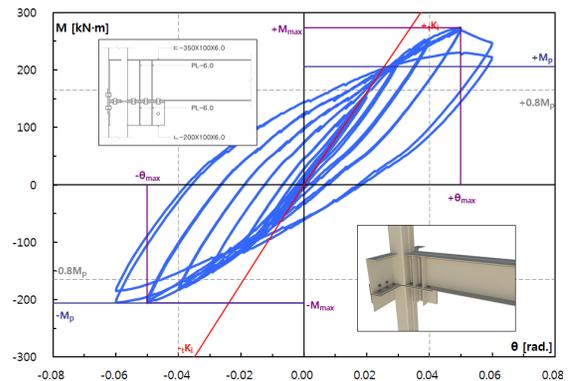
실험체의 이력 곡선은 〈Fig. 6〉과 같고, 초기 강성 및 최대 모멘트는 〈Table 3〉과 같다. 여기서, 실험체의 특성은 C200-4.5와 L200-6.0만 다루도록 한다.

C200-4.5는 가장 기본적인 접합부로서 볼트로 접합되며, 브래킷형 모듈러 유닛을 모델링한 것이다. 실험체의 이력 거동은 〈Fig. 6 (a)〉와 같고, 초기 강성은 $7,936 \text{ kN}\cdot\text{m/rad (+)}$ 및 $8,206 \text{ kN}\cdot\text{m/rad (-)}$ 이며, 최대 모멘트는 $231 \text{ kN}\cdot\text{m (+)}$ 및 $250 \text{ kN}\cdot\text{m (-)}$ 로 나타났다. 이 값은 M_p 를 상회하였고, 〈Fig. 7 (a)〉에서 보는 바와 같이 브래킷과 연결되는 바닥보에서 좌굴 현상이 나타났다.

L200-6.0은 L형 브래킷을 가진 모델로 브래킷 형태의 영향을 살펴본 실험체이다. 실험체의 이력 거동은 〈Fig. 6 (b)〉와 같고, 초기 강성은 $8,057 \text{ kN}\cdot\text{m/rad (+)}$ 및 $8,579 \text{ kN}\cdot\text{m/rad (-)}$ 이며, 최대 모멘트는 $274 \text{ kN}\cdot\text{m (+)}$ 및 $206 \text{ kN}\cdot\text{m (-)}$ 로 나타났다. 또한 〈Fig. 7 (b)〉와 같이 바닥보에서 소성 변형이 나타났다.



(a) C200-4.5



(b) L200-6.0

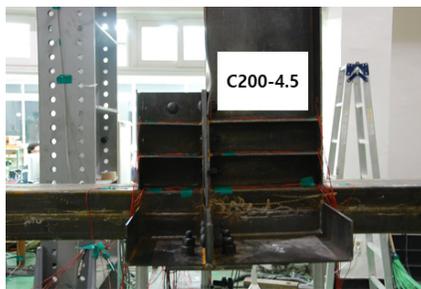
〈Fig. 6〉 Set-up of a test specimen

〈Table 3〉 Initial stiffness and maximum moment of the specimens (Experiment)

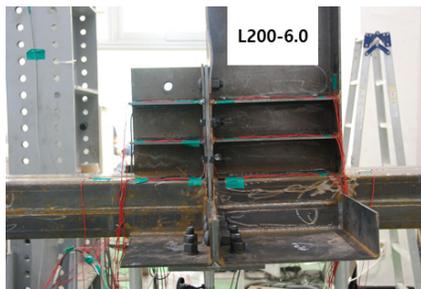
Specimen name	${}_tK_i$ (kN·m/rad.)		${}_tM_{max}$ (kN·m)	
	+Dir.	-Dir.	+Dir.	-Dir.
Ref-W	7,055	6,905	208	221
C200-4.5	7,936	8,206	231	250
L200-6.0	8,057	8,579	274	206

${}_tK_i$: Initial stiffness (Experiment)

${}_tM_{max}$: Maximum moment (Experiment)



(a) C200-4.5



(b) L200-6.0

〈Fig. 7〉 State of the specimens at the final loading step

3.2 초기 강성 및 최대 모멘트의 비교

초기 강성과 최대 모멘트의 비교는 〈Table 4〉와 같다. 각각의 값은 이론치 초기 강성 ${}_aK_i$ 과 보의 전소성 모멘트를 기준으로 비교하였다. 표에서 나타난 바와 같이 초기 강성은 Ref-W의 경우 그 값이 유사하며, L200-6.0 실험체의 경우 (-)방향 결과를 제외한 나머지 실험체에서 모두 12~33%를 상회하였다. 이는 완전 강접합 접합부에 적절한 결과를 나타낸 것이며, 실험 결과가 이론값에 비해 초기 강성이 높게 나타났다.

본 연구에서 제안된 접합부의 초기 강성과 최대 모멘트에 대한 완전 강접합 실험체 Ref-W의 비교한 결과를 〈Table 5〉에 나타내었다. 실험 결과는 L200-6.0의 (-)

방향 결과를 제외하고 모두 그 값을 상회하고 있다. 이는 실험에 의한 초기 강성이 역학 모델에 기초한 이론적 초기 강성으로 비교적 잘 예측하고 있다. 즉, 모델의 완전 강접합에 가까운 결과를 얻을 수 있었다.

3.3 절점의 내진 성능

건축구조기준에 따르면 철골 모멘트 골조의 유형 중 특수 모멘트 골조의 보-기둥 접합부는 최소 0.04rad.의 층간 변위각을 발휘할 수 있어야 하고, 0.04rad.에서 적어도 보 M_p 의 80% 이상을 유지해야만 한다. 〈Fig. 6〉에서 나타난 바와 같이 계측된 모멘트와 보의 전소성 모멘트 비는 모든 실험체가 0.04rad.에서 $0.8M_p$ 이상을 유지하는 것을 확인할 수 있다. 제안된 모듈러 구조 시스템은 비록 탄성 회전각이 0.02rad.을 넘기지만 건축구조기준에서 요구하는 지진 저항 시스템 중 특수 모멘트 골조 수준에 준하는 내진 성능으로 생각할 수 있으며, 완전 강접합 거동이 가능할 것으로 판단된다.

〈Table 4〉 Comparison with an initial stiffness and maximum moment (Experiment / Theory)

Specimen name	${}_tK_i / {}_aK_i$ (%)		${}_tM_{max} / {}_bM_p$ (%)	
	+Dir.	-Dir.	+Dir.	-Dir.
Ref-W	102	100	101	107
C200-4.5	115	119	112	121
L200-6.0	117	124	133	100

${}_bM_p$: Fully plastic moment of floor beam (=206kN·m)

〈Table 5〉 Comparison with an initial stiffness (Experiment / Ref-W)

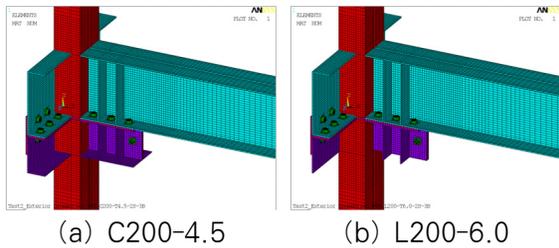
Specimen name	${}_tK_i / {}_rK_i$ (%)		${}_tM_{max} / {}_rM_{max}$ (%)	
	+Dir.	-Dir.	+Dir.	-Dir.
Ref-W	100	100	100	100
C200-4.5	112	119	111	113
L200-6.0	95	116	115	100

${}_rK_i$: Initial stiffness of Ref-W

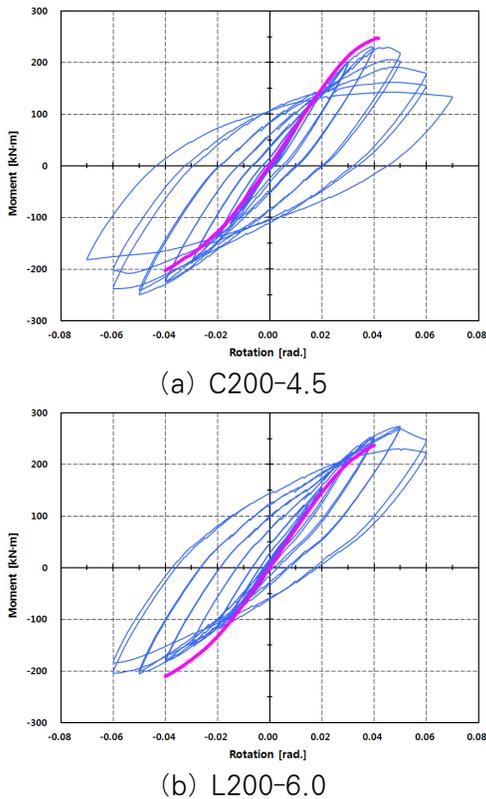
4. 유한 요소 해석과 초기 강성

실험체의 실험 결과와 유한 요소 해석을 비교하기 위

해서 상용 프로그램 ANSYS⁹⁾를 이용한 해석을 수행하였다. 유한 요소 모델링은 <Fig. 8>과 같으며, 해석에 사용된 요소는 SOLID45이다. 용접 부분과 볼트의 나사 부분은 모델링 하지 않았고, 요소 PREST179¹⁰⁾를 이용하여 설계 볼트(F10T-M20) 장력 164.93kN을 부여하였다. 강관 사이의 접촉면과 볼트의 접촉면 등은 CONTA174와 TARGE170 요소를 사용하였고, 각 부재의 미끄럼 계수는 0.5로 가정하였다. 재료는 소재 인장 시험 결과를 적용하였다. 해석 시간과 편의를 위해서 (+) 및 (-)방향으로 약 0.04rad까지 증분 해석을 수행하였다.



<Fig. 8> Finite element modelling



<Fig. 9> Results of FE analysis

<Table 6> Initial stiffness (FE analysis)

Specimen name	fK_i (kN·m/rad.)		fK_i / aK_i (%)	
	+Dir.	-Dir.	+Dir.	-Dir.
C200-4.5	7,584	6,767	110	98
L200-6.0	7,534	7,027	109	102

해석 결과는 <Fig. 9>와 같고, 모멘트-회전각 곡선은 층간 변형각이 증가할수록 탄성 영역을 넘어 비탄성 거동을 한다. 그림에서 나타난 바와 같이 해석 결과의 비선형 곡선은 실험 결과의 이력 거동과 유사한 패턴을 나타내고 있다. 탄성 영역의 초기 강성은 <Table 6>에서 보는 바와 같다. FE 초기 강성 fK_i 의 비교를 위해서 aK_i 을 이용하였고, 가력 방향에 따라 실험체의 강성을 나타내었다. 이론적 초기 강성에 비해서 (+)방향은 약 109.5%, (-)방향은 100%의 분포를 나타내었다. 해석 결과로 볼 때 모델의 초기 강성이 단순 누가된 이론적 초기 강성보다 조금 높게 나타났다.

5. 접합부 구조 설계 방법

모듈러 접합부의 상세는 바닥보 단부 및 천장 단부 브래킷에 스티프너를 설치하고, 바닥보 하부 플랜지와 천장 단부 브래킷을 연결 플레이트를 이용하여 고력 볼트로 체결한다. 기본적으로 접합부는 소요 강도 R_u 이 설계 강도 ϕR_n 을 넘지 못하는 강도 설계 바탕으로 설계 방법을 제안한다¹¹⁾.

접합부의 소요 모멘트 M_c 와 소요 전단력 V_c 의 산정은 다음과 같다.

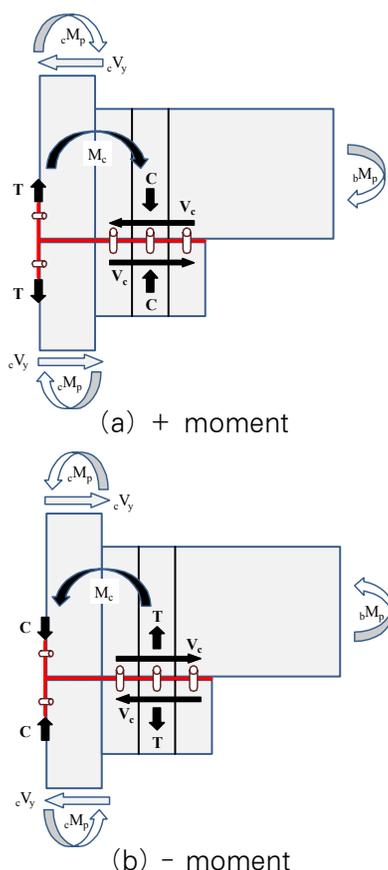
$$M_c = \max(cM_p, bM_p + V_u \cdot S_h) \quad (2)$$

$$V_c = cV_y \quad (3)$$

여기서, bM_p 는 바닥보의 전소성 모멘트(N·mm), cM_p 는 기둥의 전소성 모멘트(N·mm), S_h 는 소성 힌지 위치에서 기둥면까지의 거리(mm)와 천장 브래킷 길이(mm), V_u 는 보 단부에서의 전단력(kN), cV_y 는 기둥의 공칭 전단 강도(N)이다.

5.1 접합부의 공칭 모멘트

접합부는 연결 볼트가 접합부에 작용하는 모멘트 및 전단력에 안전하고, 보에 소성 힌지가 형성되도록 설계한다. 실험 대상 접합부는 브래킷의 영향으로 바닥보에 정모멘트가 발생하는 경우와 부모멘트가 발생하는 경우를 나누어 산정할 필요가 있다. 각각의 경우에 대한 자유물체도를 나타내면 <Fig. 10>과 같다.



<Fig. 10> Free-body diagram

5.1.1 바닥보에 정모멘트가 작용하는 경우

<Fig. 10 (a)>와 같이 접합부는 바닥보 및 천장 단부 브래킷의 수평 연결부가 압축 지점을 형성하고, 외측 기둥의 단부가 인장력에 저항하여 발생하는 우력 모멘트가 접합부의 모멘트를 부담하며, 접합부에 발생하는 수평 전단력은 수평 연결 고력 볼트가 부담하도록 설계한다. 바닥보의 변형에 의하여 작용하는 압축력(C)은 천장 단부 브래킷에 바닥보 스틱너 위치에서의 집중 하중으로 작용하는 것으로 가정할 수 있고, 이 브래킷은 집중 하중을 받는 보로 설계하면 된다. 따라서 외측 기둥

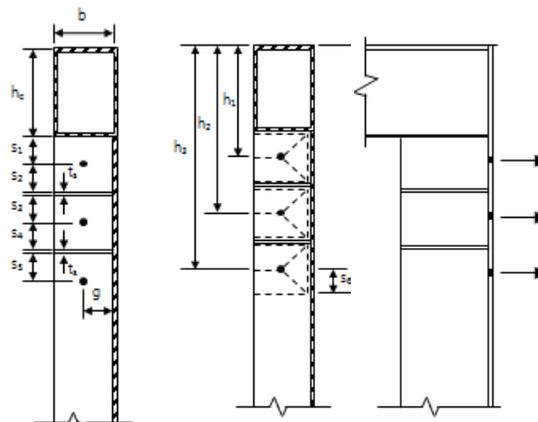
의 단부에 작용하는 인장력(T)은 수직 연결 고력 볼트의 마찰 접합으로 저항하고, 바닥보의 변형에 의하여 작용하는 압축력(C)은 천장 단부 브래킷이 캔틸레버보로서 저항하는 것으로 가정하여 산정하고 다음의 식으로 설계한다.

$$\phi M_n > M_c \tag{4}$$

$$M_n = v R_n L_e \tag{5}$$

5.1.2 바닥보에 부모멘트가 작용하는 경우

<Fig. 10 (b)>와 같이 접합부는 외측 기둥의 약축 방향 보에 체결된 고력 볼트의 마찰 전단력으로 인장력에 저항하고, 바닥보 및 천장 단부 브래킷의 수평 연결부 내력(플랜지 면의 변형력 및 고력볼트의 인장력)으로 저항하여 발생하는 우력 모멘트가 접합부의 모멘트를 부담하며, 접합부에 발생하는 수평 전단력은 수평 연결 볼트가 부담하도록 유도한다.



(a) Detail (b) Yield line (c) Tension

<Fig. 11> Yield line model

수평 연결부의 내력은 <Fig. 11>과 같은 항복선이 바닥보 플랜지 및 천장 단부 브래킷 플랜지에 발생하고, 최외측에 위치하는 수평 연결 볼트가 설계 볼트 장력에 도달하는 것으로 가정하여 산정한다. 2개의 스틱너와 3개의 볼트인 경우는 다음과 같다.

$$\phi M_n > M_c \tag{6}$$

$$M_n = M_{FB} + M_{CB} \tag{7}$$

여기서, P_1 은 기둥의 1번째 볼트 작용 인장력(N), P_2 는 기둥의 2번째 볼트 작용 인장력(N), P_3 은 기둥의 3번째 볼트 작용 인장력(N), M_{FB} , M_{CB} 는 바닥보 및 천장 브래킷 부재의 항복선 모델에 의한 접합부 모멘트(N·mm)이다.

5.2 볼트 및 천장 단부 브래킷

5.2.1 접합부 모멘트에 저항하는 수직 연결 볼트

수직 연결 볼트는 전단에만 저항하는 마찰 전단 접합으로 아래와 같이 설계할 수 있다.

$$\phi_v R_n > T = M_c / L_c \quad (8)$$

$${}_v R_n = \mu h_{sv} T_0 N_s \quad (9)$$

여기서, L_c 는 기둥 외측서 천장 브래킷 단부까지의 거리(mm), μ 는 미끄럼 계수, h_{sv} 는 표준 크기 구멍 1.00 및 대형구멍 0.85, T_0 은 설계 볼트 장력(kN), KBC <표 0710.3.2.>¹¹⁾, N_s 는 전단면의 수이다.

5.2.2 집중 하중을 받는 천장 단부 브래킷

바닥보 스틱프너 위치에서 집중 하중을 받는 천장 단부 브래킷은 휨재로서 전술한 보 설계 절차에 따라 설계가 가능하다. 건축구조기준에서 집중 하중을 받는 보의 웨브의 파괴 모드에 기초하여 웨브 국부 항복 강도, 웨브 좌굴 강도, 웨브 크리플링 강도가 계수 집중 하중보다 작은 경우 스틱프너로 보강하도록 규정하고 있다. 연구 대상 브래킷은 바닥보와 동일한 위치에 스틱프너가 설치되어 있으므로 웨브의 국부 파괴는 고려하지 않고, 웨브 유효폭 $12t_w$ 와 스틱프너로 구성되는 T자형 단면으로서 유효 좌굴 길이 $0.75h$ 의 압축재로 설계할 수 있다.

5.2.3 전단력에 저항하는 수평 연결 볼트

수평 연결 볼트는 인장과 전단의 조합력을 받는 마찰 전단 접합으로 아래와 같이 볼트 미끄럼 강도에 끼움재 감소 계수를 곱하여 접합부 전단력에 저항하도록 설계할 수 있다.

$$\phi_h R_n \times \text{끼움재 감소계수} > V_c \quad (10)$$

$${}_h R_n = k_s \mu h_{sv} T_0 N_s \quad (11)$$

여기서, ϕ 는 강도 감소 계수(사용성 한계 1.0, 강도 한계 0.85), ${}_h R_n$ 은 수평 연결 볼트의 설계 미끄럼 강도(N), 끼움재 감소 계수 $[= 1 - 0.0154(t_{filler} - 6)]$, t_{filler} 는 수평 연결 플레이트 두께(mm), k_s 는 인장과 전단의 조합에 의한 감소 계수, $[= 1 - T_u / T_0 N_b]$, T_u 는 소요 인장력(kN), N_c 는 전단면의 수, N_b 는 인장력을 받는 볼트의 수이다.

6. 결론

본 논문에서는 천정 브래킷형 모듈러 시스템의 접합부에 대해서 연구하였다. C형 브래킷과 L형 브래킷을 이용한 모듈러 접합부에 대해서 반복 가력 실험과 유한 요소 해석을 수행하여 결과를 비교하였다. 또한 항복선 이론을 이용하여 접합부의 구조 설계 방안을 제안하였다.

반복 가력 실험 및 해석 결과를 통해 다음의 결론을 도출할 수 있었다.

1) 제안된 브래킷형 모듈러 시스템의 접합부의 실험 결과는 유한 요소 해석 결과의 비교를 통해서 신뢰할 수 있는 결과임을 알 수 있었다. 두 모델의 초기 강성을 비교하여 비교적 유사한 결과를 얻었다.

2) 제안된 두 형태의 브래킷형 접합부는 건축구조기준에서 요구하는 최소 0.04rad.의 층간 변위각에서 보의 전소성 모멘트가 80% 이상 유지되었다.

3) 반복 가력 실험 결과에서 가력된 방향에 따른 초기 강성과 저항 모멘트는 차이가 발생하며, 이는 브래킷에 따른 영향으로 판단된다. 특히 C형 모델보다 L형 모델에서 가력 방향의 영향이 더 크게 나타났다.

4) 용접을 통한 완전 강접합 실험체(Ref-W 모델)와 비교할 때 브래킷형 접합부의 두 모델 모두 모델의 접합부 내진 성능이 완전 강접합 철골 구조로서 성능 확보가 가능하다고 판단된다.

접합부의 설계에서 정방향과 부방향의 모멘트에 대한 소요 강도를 만족할 수 있는 공칭 강도를 계산하는 방법을 제안하였고, 설계 방안에서 부방향 모멘트의 설계는 항복선 패턴을 이용하였다. 향후 연구로서 모듈러 유닛이 모두 접합된 구조 시스템의 해석과 설계 방안이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2019R1A2C2010693). 또한, 이 논문은 2020년도 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었음.

References

1. Jellen, A. C., & Memari, A. M. (2013). The State-of-the-Art Application of Modular Construction to Multi-Story Residential Buildings. Proceedings of the 1st Residential Building Design & Construction Conference, USA, pp.284~293
2. Modular Building Institute. (2011). Permanent Modular Construction 2011 Annual Report. Retrieved from http://www.modular.org/documents/document_publication/2011permanent.pdf
3. Lee, S., Park, J., Shon, S., & Kang, C., "Seismic Performance Evaluation of the Ceiling-Bracket-Type Modular Joint with Various Bracket Parameters", Journal of Constructional Steel Research, Vol.150, pp.298~325, 2018, doi: 10.1016/j.jcsr.2018.08.008
4. Lee, C., & Lim, S. (2012). A research & development on BIM design systems of Urban-life-housing. Proceedings of the Annual Conference of the Architectural Institute of Korea 2012, Structure & Construction, Republic of Korea, Vol.32, No.2, pp.97~98
5. Choi, K. S., Lee, H. C., & Kim, H. J., "Influence of Analytical Models on the Seismic Response of Modular Structures", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.20, No.2, pp.74~85, 2016, doi: 10.11112/jksmi.2016.20.2.074
6. Lee, S., Park, J., Kwak, E., Shon, S., Kang, C., & Choi, H., "Verification of the Seismic Performance of a Rigidly Connected Modular System Depending on the Shape and Size of the Ceiling Bracket", Materials, Vol.10, No.3, 2017, doi: 10.3390/ma10030263
7. Lacey, A. W., Chen, W., Hao, H. & Bi, K., "Structural response of modular buildings - An overview", Journal of Building Engineering, Vol.16, pp.45~56, 2018, doi: 10.1016/j.jobe.2017.12.008
8. KOLAS, Korea Laboratory Accreditation. (2020.09). Retrieved from <http://www.knab.go.kr/kolas>
9. ANSYS, "Theory Reference-Release 5.6" Kohnke, P., Ed.; ANSYS Inc.: Canonsburg, PA, USA, 1999.
10. Kim, J., Yoon, J. C., & Kang, B. S., "Finite element analysis and modeling of structure with bolted joints", Applied Mathematical Modelling, Vol.31, No.5, pp.895~911, 2007, doi: 10.1016/j.apm.2006.03.020
11. Architectural Institute of Korea, "Korean building code and commentary", Architectural Institute of Korea, 2016.

- Received : January 29, 2020
- Revised : February 27, 2020
- Accepted : February 27, 2020