

합성반강접 CFT기둥-보 접합부 구조의 경제성 평가

The Structural Economical Efficiency Evaluation of Partially Restrained Composite CFT Column-to-Beam Connection

김 선 희¹⁾ · 방 중 석²⁾ · 박 영 욱³⁾ · 최 성 모⁴⁾
Kim, Sun Hee · Bang, Jung Seok · Park, Young Wook · Choi, Sung Mo

요 약 : 연구대상은 콘크리트 충전강관 (Concrete Filled steel tube)기둥과 보의 접합부를 합성반강접으로 적용한 구조물의 설계 적용에 관한 것이다. 합성반강접으로 기둥접합부의 강성을 조절함으로써 구조적 안전성을 확보하고 경제적인 부재를 적용하고자 하였다. 저층건물을 모멘트골조로 구조물의 안정성을 검토한 결과 합성작용으로 인하여 합성반강접을 이용하면 횡강성이 증대하여 저층건물의 경우 특별한 횡 보강재 없이 저항할 수 있음을 확인 하였다. 고층건물의 경우 모멘트골조가 횡저항 분담이 10%정도 되었으며 반강접 비율은 60%정도가 적절하였다. 경제적인 면에서 보 부재는 등분포하중이 작용하는 경우는 반강접 효과가 크나 집중하중이 작용하는 보의 반강접 효과가 크지 않았으며 등분포의 경우 60% 반강접이 단부 모멘트 저감에 따른 경제성이 가장 좋은 것으로 분석되었다. 단부 모멘트는 약 25% 감소되는 것을 확인 할 수 있었다.

ABSTRACT : This study seeks to devise a design application for a beam structure with partially restrained composite connection to a CFT column. A cost-efficient and stable component is applied by adjusting the stiffness ratio of the column connection through partially restrained composite connection. Based on a review of the structure's stability, it was confirmed that in the case of a low-rise building as a moment frame, resistance without bracing is feasible because stiffness increased by virtue of the partial restrained composite connection by composite action. In the case of a high-rise building, lateral resistance load of moment frame was approximately 10% when proper partial restrained rate was at around 60%. With considerations related to economic efficiency, the partial restriction effect of the beam component was significantly activated by the uniform load, but that of the beam activated by concentrated load was not significantly indicative. The analysis indicated that 60% partial restrained girder at the connection was the most economical in the case of uniform load. It also showed that end moments can be reduced by approximately 25%.

핵심용어 : 합성반강접, 콘크리트 충전형 기둥, 기둥-보 접합부, 경제성 평가, 횡 변위

KEYWORDS : partially restrained composite connections, concrete filled tube column, column to beam connection, economical evaluation, lateral displacement

1. 연구의 배경 및 목적

철골조의 기둥-보 접합부에 주로 이상적인 강(Rigid)접합과 힌지(hinge)접합으로 설계되고 있으므로 부재의 단면을 효율적으로 사용할 수 없는 한계가 있다. 강접합의 경우 단부 휨모멘트는 중앙부에 비해 1.5~2.0배 정도 높은 것이 일반적이다. 중앙부와 단부에 휨모멘트의 값의 차이를 최소화 할

수 있는 방안으로 반강접 설계에 대한 연구가 꾸준히 이루어져 오고 있다. Leon (1987~1994)는 실험적 연구를 바탕으로 기둥 주위로 배치된 상부 슬래브 보강근과 웹 및 하부 앵글을 합성시켜 반강접 접합부를 소개하였다. 합성 반강접합부의 장점은 접합방식이 용이하고 상부의 슬래브 보강근을 이용하여 모멘트를 저항하여 일정 강성확보가 가능하다. 한편, 슬래브 합성효과로 인해 상부 슬래브 보강근은 비대칭

1) 서울시립대학교 건축공학과, 공학박사 수료(sun@uos.ac.kr)
2) 서울시립대학교 건축공학과, 공학박사(bjsin@dic.co.kr)
3) (주)한미파슨스 부장, 공학박사(ywpark@hanmiparsons.com)
4) 교신저자, 서울시립대학교 건축학부 교수, 공학박사
(Tel: 02-2210-2194, Fax: 02-2248-0382, E-mail: smc@uos.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2012년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

적인 큰 인장력을 받게 되어 최종적으로 과도한 인장력으로 인해 파단에 이르게 된다. 이에 대한 한계로 합성반강접 설계에 대한 연구가 꾸준히 이루어져 왔으나 그림 1과 같이 접합부의 형태 및 강성에 따른 회전각 크기를 실험을 통해 이론적으로 밝혀내는 것이 쉽지 않다(Chen, 1992).

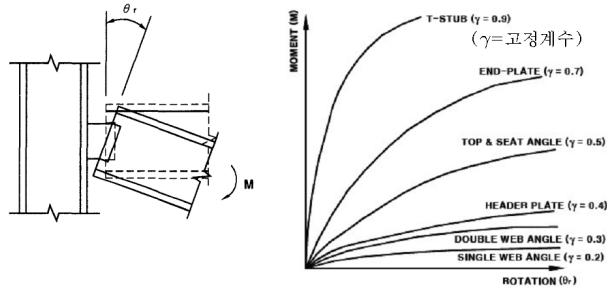


그림 1. 접합부의 모멘트-회전각관계

AISC Design Guide-8에는 H-형강 기둥을 갖는 합성반강접합부의 설계절차가 제시되고 있지만, H-형강의 약축 방향에 대한 연구는 배제된 상태이며, 강관기둥에 대한 자료는 없는 실정이다. 합성반강접은 여러 장점을 갖고 있음에도 정량적인 분석을 못하는 이유 중 하나이다(박수희 등, 2005). 그 예로, 보는 슬래브와 결합되어 있는 형태로 되어 합성으로 적용할 수 있으나 해석의 복잡함 때문에 단순보만 적용하고 일반 보는 일반적으로 슬래브 강성을 무시하고 해석 후 설계를 하고 있다(박영욱, 2010). 하지만, 반강접은 특히, 접합부의 회전강성을 평가하여 실제 거동특성을 반영하여 설계해야하므로 슬래브의 합성을 고려한 합성반강접 거동으로 적용하는 것이 바람직할 것이다. 이와 같은 합성반강접 접합부는 사용하중 하에서 강접합과 유사한 거동을 보이며, 극한상태에서 뛰어난 연성과 에너지 소산능력을 보인다(김요숙 등, 1999).

합성반강접합부의 설계 물량이 강접합보다 감소되어 비용절감 효과가 있으며 편접합보다 시공성이 크게 떨어지지 않는 장점이 있다. CFT 각형 기둥-보 접합부에 합성반강접 접합을 적용할 경우, 기둥의 접합부의 보의 모멘트가 작아져 모멘트 접합의 강관 내 다이어프램을 제거할 수 있어서 시공성이 우수하다. 또한, 철골 반강접에 비해 합성반강접 접합은 슬래브가 보와 합성거동을 하여 추가적인 강도와 강성을 확보할 수 있으며, 철골 단면이 감소되고 적재하중에 의한 변형을 최소화할 수 있다. 따라서 본 연구는 저층골조와 고층골조를 대상으로 선정하여 밀면전단력, 부재력의 층간변위 및 강성비를 갖고 접합부의 안정성을 평가하며, 부재의 물량저감비로 발생하는 경제성을 고찰하였다.

2. 반강접 접합부 강성과 강도

접합부의 성능을 분류하기 위해 미국, 유럽 등지에서는 모멘트-회전각 거동을 바탕으로 하는 접합부성능을 평가하는 기준을 제시하고 있다. AISC에서는 접합부의 모멘트-회전각 거동과 beam-line을 이용하여 접합부의 성능을 평가하고 있으며, Eurocod-3에서는 구조물의 가새골조와 비가새골조를 구분하고 강성, 강도와 같은 세부적인 항목을 바탕으로 접합부의 성능을 평가하고 있다. 또한, Eurocode-4에서는 합성구조의 접합부 성능에 대해 평가하는 기준을 제시하고 있다.

AISC 기준의 경우 사용하중 작용 시 휨모멘트에 대한 접합부의 구속정도를 기준으로 접합부를 분류한다. 접합부의 구속정도는 접합부의 모멘트-회전각 성능 곡선과 beam-line을 이용하여 결정된다. 여기서 beam-line은 양단이 완전 고정 시 발생하는 보의 단부모멘트와 단순보일 경우 보 단부에서 발생하는 처짐각을 연결한 직선이다. 그리고 접합부의 모멘트의 구속정도가 90%이상일 경우 FR Type 1으로 분류되며, 20% 이하일 경우 PR, Type 2로 분류된다. 이 사이의 구간이 반강접으로 분류되며, PR, Type 3으로 규정된다. 그러나 AISC 기준에서는 강도 및 강성에 따른 세분화된 접합부의 분류는 규정되어 있지 않다.

Eurocode-3의 경우 접합부의 강성, 강도 및 구조물의 안정성을 고려하여 접합부의 성능을 평가하고 있다. 그림 2와 같이 구조물의 횡지지 여부에 따라 접합부에 요구되는 성능을 구분하였으며, 접합부의 회전각을 보의 휨강성에 의한 보 소성회전각에 대해 무차원화 시키고 접합부의 모멘트는 보의 소성모멘트에 의해 무차원화 함으로서 접합부의 성능을 규정하였다. 또한 사용하중 시와 함께 극한하중 시에서의 접합부 성능도 명시하고 있으며, 보의 소성모멘트와 접합부의 모멘트를 비교하여 전강도(full strength) 접합부와 부분강도(partial strength) 접합부로 구분하고 있다. 그리고 접합부의 강도가 보강도의 1.2배 이하일 경우 접합부의 연성도 평가를 요구하고 있다. 접합부의 분류를 위해 $\bar{\phi} = \phi / \phi_p$, $\bar{m} = M / M_p$ 인 무차원 변수를 이용하였다. 여기서 ϕ_p 는 $M_p / (EI_b / L_b)$ 로 정의되었고, I_b 와 L_b 는 각각 보의 단면2차 모멘트와 길이를 의미하며 M_p 는 보의 전소성 모멘트이다.

● 강성에 의한 분류

◦ 비가새 골조에 대한 강접과 반강접의 경계

$$\bar{m} \leq \frac{2}{3} \Rightarrow \bar{m} = 25 \phi$$

$$\frac{2}{3} < \bar{m} \leq 1.0 \Rightarrow \bar{m} = \frac{25\bar{\phi} + 4}{7}$$

- 가새골조에 대한 강접과 반강접의 경계

$$\overline{m} \leq \frac{2}{3} \Rightarrow \overline{m} = 8\phi$$

$$\frac{2}{3} < \overline{m} \leq 1.0 \Rightarrow \overline{m} = \frac{20\phi + 4}{7}$$

- 공칭 편접합의 범위

$$k_i \leq \frac{EI_b}{2L_b}$$

● 강도에 의한 분류

보-기둥 접합부는 모멘트 저항에 관해서는 공칭편, 전강도, 부분강도로 아래와 같이 분류된다.

- 공칭 편접합 $M \leq M_p/4$
- 전강도접합 $M > M_p$
- 부분강도접합 $M_p/4 < M \leq M_p$

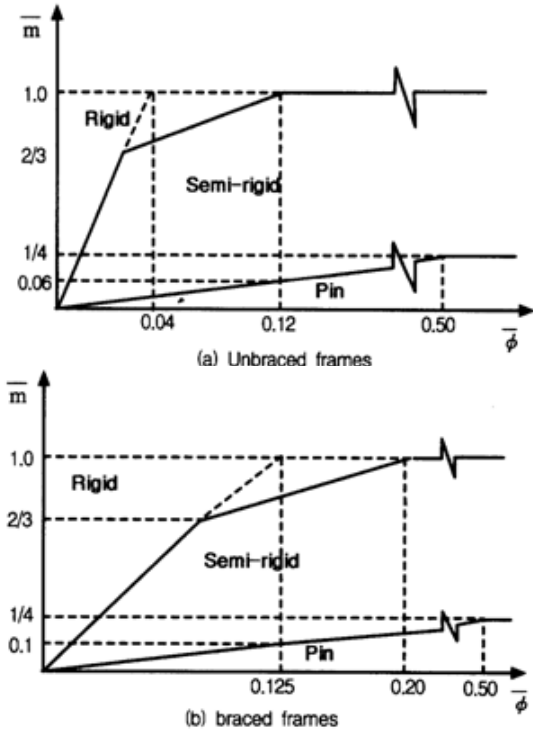


그림 2. Eurocode-3 접합부 성능평가 기준

트 타설 후 설계하중은 반강접의 설계를 고려하므로 적재하중이 큰 건물에 적용하는 것이 경제성이 있을 것으로 판단하였다. 건물을 대상으로 그림 3과 같이 강접과 반강접, 합성강접, 합성반강접의 4가지 경우를 해석을 하여 전체변위, 층간변위를 검토하였다. 합성반강접의 거동특성과 적용방안을 연구하고 각 조건에 맞는 구조 부재를 설계한 후에 물량비교를 통하여 CFT기둥의 합성반강접의 설계의 적용성을 평가해 보도록 한다.

해석은 Midas-Gen을 이용하여 보 부재 단부의 조건으로 partially released를 적용하였다. KBC-2009에서는 수평변위 또는 층간수평변위 제한값을 건물높이 또는 층높이의 1/400~1/500범위에서 사용하도록 제시되어있다. 따라서 전체 횡변위는 최소 허용치인 H/400을 기준으로 하고, 층간변위도 국내설계기준에서 제시한 0.015 허용치로 정하였다. 그림 4와 같이 5층의 건물로 1~2층은 매장으로 사용되며 3~5층과 지붕 층은 주차장 용도로 사용한다. 모듈은 가로방향은 10m 길이로 7개 경간으로 총길이 70m, 세로방향은 8m 길이로 7개 경간으로 총길이 56m이다. 층고는 할인매장으로 사용하는 곳은 5.4m와 주차장 용도로 사용하는 곳은 4.5m로 총 높이는 24.3m이다. 적용하중은 표 1과 같다.

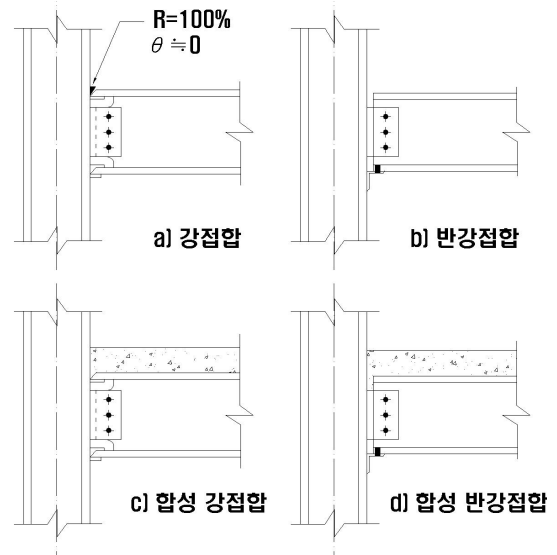


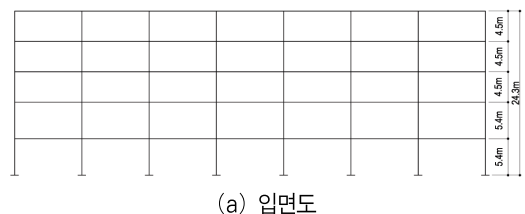
그림 3. 구속조건에 따른 접합변수

3. 기둥-보 접합조건에 따른 안정성 평가

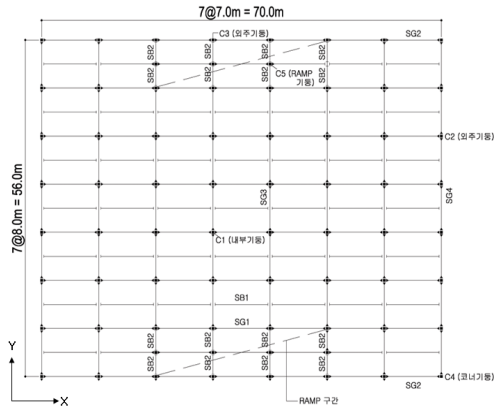
3.1 저층건물

3.1.1 해석대상 및 범위

첫 번째 해석대상은 저층건물로 철골사용이 가장 빈번한 할인매장을 기준으로 선택 하였다. 할인매장은 적재하중이 커서 합성반강접의 경우 시공 중에는 단순보로 적용한 후 콘크리



(a) 입면도



(b) 평면도

그림 4. 할인매장 평면골조도 (해석대상)

표 1. 적용하중

	마감	슬래브 (150mm)	천장
고정하중	0.60 kN/m ²	3.60 kN/m ²	0.50 kN/m ²
	4.70 kN/m ²		
적재하중	6.00 kN/m ²		

외벽은 경량재 마감으로 1.00kN/m²로 적용하였다. 풍하중은 서울지역을 기준으로 설계 풍속 25m/sec, 노풍도 B, 중요도 계수를 1.0으로 가정하였다. 지진하중은 서울지역을 기준으로 중요도계수는 1.2, 지반계수 Sc로 적용하였다. KBC-20009에서는 부재력 및 층간변위를 산정할 때 적절한 반응수정계수 R를 골조시스템별로 제시하고 있다. 따라서 지진저항시스템은 반응수정계수를 모멘트골조의 경우로 6.0, 철골중심가새 골조를 적용 시에는 5.0를 적용하였다. 보와 CFT기둥의 철골은 SM490으로 콘크리트 압축강도는 50MPa를 적용하였다. 부재크기는 수직하중에 저항하는 것을 기준으로 아래 표 2와 같이 정하였다. 그 이유는 부재는 횡력이 작용하더라도 하중조합이 수직하중에 의한 값보다 작은 경우에 가장 경제적인 것이다. 횡하중이 발생 시 횡변위나 층간변위가 허용치를 상회하는 경우는 부재를 횡저항하도록 키우는 것보다 새로운 횡저항 구조시스템을 추가하는 것이 바람직하다. 본 연구도 이런 방식으로 진행을 하였다.

표 2. 할인매장 적용 부재크기

No.	부재	No.	부재
SG1	H-500x200x10x16	C1	□-400x400x12
SG2	H-396x199x7x11	C2	□-300x300x12
SG3	H-606x201x12x20	C3	□-300x300x12
SG4	H-404x201x9x15	C4	□-350x350x12
SB1	H-446x199x8x12	C5	H-344x348x10x16
SB2	H-198x99x4.5x7		

3.1.2 접합조건에 따른 변위비교

안정성은 철골부재만으로 강접조건과 슬래브가 같이 역할을 하는 합성강접조건을 검토하고 이 두 가지 조건에 반강접은 50%를 기준으로 검토하였다. 그 결과는 표 3과 같다. 해석 결과 저층건물이므로 풍하중에 의한 변위는 모두 H/400이하로 만족을 하고 있다. 지진에 대한 층간 변위비는 X 방향에 대하여서는 합성이 아닌 골조 해석한 경우는 모두 허용치를 벗어나고 있다. Y 방향에 대하여서는 합성이 아니며 반강접인 경우만 허용치를 벗어나고 있다.

표 3. 강접과 반강접 안정성 비교

Case		강접	합성강접	반강접	합성반강접
변위 (cm)	X	1.955	1.088	3.518	1.646
	Y	1.920	1.293	2.631	1.575
변위비	X	H/1243	H/2233	H/691	H/1476
		O.K	O.K	O.K	O.K
	Y	H/1266	H/1879	H/924	H/1543
		O.K	O.K	O.K	O.K
층간 변위비	X	0.0169	0.0094	0.0201	0.0142
		N.G	O.K	N.G	O.K
	Y	0.0139	0.0910	0.0192	0.0113
		O.K	O.K	N.G	O.K

표 4에서 보는 바와 같이 합성이 되었을 경우의 강성 증가를 평가해보았다. 철골조의 강접상태를 100%강성이라고 기준을 설정하였을 경우에 슬래브 역할을 고려한 합성이 강접을 비교할 경우에는 X방향은 80%로 Y방향은 48% 증가함을 알 수 있다. 반강접의 경우는 X방향은 44% 감소하고 Y방향은 27% 감소하였다.

표 4. 접합조건에 따른 건물 강성 평가

접합조건		강접	합성강접	반강접	합성반강접
X	변위	1.955	1.088	3.518	1.646
	대표강성	0.5115	0.9191	0.2843	0.6075
	강성비	100%	180%	56%	119%
Y	변위	1.92	1.293	2.631	1.575
	대표강성	0.5208	0.7734	0.3801	0.6349
	강성비	100%	148%	73%	122%

3.1.3 구속비율에 따른 변위비교

합성반강접은 X방향은 19%로 Y방향은 22% 증가함을 알 수 있다. 즉, 철골로만 검토한 경우의 강접골조보다 강한 것을 알 수 있다. 좀 더 보수적인 조건을 선호하는 설계를 위해

서 합성작용을 배제할 경우에 X방향은 강접을 적용하여도 층간변위가 허용치를 벗어나므로 가새를 설치하여 허용치 내로 들어가도록 한 후에 Y방향에 반강접을 적용 시 가능한 허용치를 평가하여 보았다. 이 해석을 X방향은 60% 반강접에 철골브레이스를 설치하여 X방향의 층간변위를 만족시킨 후에 각 반강접 비율을 50%~100%까지 10%단위로 증대하면서 해석하였다. 본건물의 경우에 Y방향의 경우 브레이스를 설치하지 않을 경우에 층간변위가 허용치내로 가능한 반강접 접합 상태는 표 5와 같이 80%인 것을 해석을 통하여 확인하였다.

표 5. Y방향 반강접 비율에 따른 층간 변위 비교
(X방향 60%반강접+가새설치조건)

반강접비	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
층간변위	0.0185	0.0169	0.0158	0.0149	0.0143	0.0137
판정	N.G	N.G	N.G	O.K	O.K	O.K

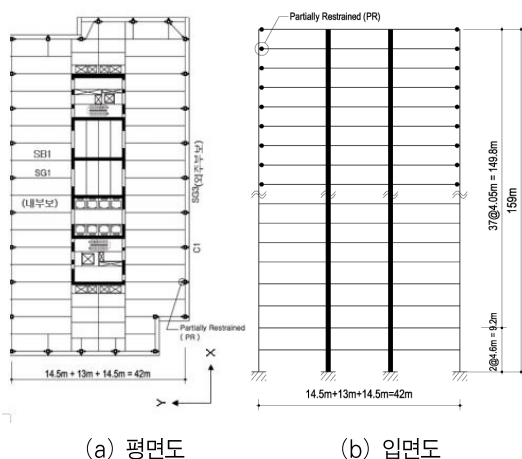
3.2 고층구조물

3.2.1 해석대상 및 범위

고층구조물의 해석대상은 그림 5와 같이 39층 건물로 용도는 2층까지 판매, 공용시설이며, 3층이상 부터는 사무실용도를 갖는다. 적용하중은 아래 표 6과 같다.

표 6. 적용하중

고정하중	마감	슬래브(150mm)	천장
4.70 kN/m ²	0.60 kN/m ²	3.60 kN/m ²	0.50 kN/m ²
적재하중	3.50 kN/m ²		



(a) 평면도 (b) 입면도
그림 5. 해석대상 평면, 입면도

외벽은 경량재 마감으로 1.00kN/m²로 적용하였다. 설계상 공용공간과 오피스 부분의 하중을 다르겠지만 단순화하기 위하여 하중은 전층 같은 조건을 적용하였다. 풍하중은 서울지역을 기

준으로 설계 풍속 25m/sec, 노풍도 B, 중요도 계수를 1.0으로 가정하였다. 지진하중은 서울지역을 기준으로 중요도계수는 1.2 지반계수 Sc로 적용하고 지진저항시스템은 건물골조시스템으로 철근콘크리트 코어가 저항하는 경우로 5.0의 반응 수정계수를 적용하였다. 철골보는 SM490으로 CFT기둥의 철골은 SM490으로 콘크리트 강도는 50MPa를 적용하였다. 단면가정은 강접으로 수직하중에 저항하는 것을 기준으로 아래 표 7과 같이 설정하였다. 코어 두께는 500mm, 코어 내 링크보는 500mmx1,000mm로 50% 강성으로 적용하였다.

표 7. 해석대상 적용 부재크기

부재	강 접	부재 No.	강 접
SG1	H-588x300x12x20	1~5	□-600×600×25×2
		6~10	□-600×600×20×20
SG2	H-582x300x12x17	11~20	□-600×600×15×15
		21~42	□-600×600×12×12
SB1	H-588x300x12x20		

3.2.2 접합조건에 따른 안전성 검토

해석대상 규모의 건물의 경우 모멘트골조가 분담하는 횡력 저항 비율은 5%~20%를 담당한다. 때때로 코어가 100% 횡력을 부담하도록 설계하고 골조는 수직하중에 저항하는 것으로 설계하기도 한다. 이러한 경우에 내진 규정에서 변형적 합성을 만족시키기 위하여 모멘트골조도 해당 코어의 변형에 해당하는 변위를 견딜 수 있도록 설계를 하도록 하고 있다. 즉, 일부 골조가 횡력을 분담하여 저항할 수 있도록 설계를 하는 것이 바람직하다. 따라서, 코어와 모멘트골조의 접합비율을 조정하여 안전성 검토를 하였다. 반강접성능을 확보하려면 규준상 50%이상을 요구하고 있으므로 반강접 성능을 50%를 기본으로 표 8과 같이 7가지 경우의 수를 도출하였다. 구조시스템의 종류를 최소화하기 위하여 경우0은 RC 코어만 적용하는 경우를 기준으로 시작하여 시스템을 붙여나가는 방식으로 검토하였다.

표 8. 오피스 case study

경우	구조 시스템 조건
0	Core 만 저항
1	Core + Column
2	Core + 외주부보 강접(100%) + 내부보 힌지(0%)
3	Core + 외주부보 반강접(50%) + 내부보 힌지(0%)
4	Core + 외주부보 강접(100%) + 내부보 반강접(50%)
5	Core + 외주부보 반강접(50%) + 내부보 반강접(50%)
6	Core + 외주부보 반강접(60%) + 내부보 반강접(60%)

코어와 기둥만 저항하는 경우의 해석 결과를 보면(표 9 참조) 풍하중에 의한 변위는 X 방향은 모두 만족하고 있으나 Y방향은 만족을 못하고 있다. 또한, 기둥만을 추가하였을 경

우는 강성변화가 거의 없음을 알 수 있다. 지진하중에 의한 층간 변위비는 반대의 경우로 X방향에 대하여 허용치 이하임을 알 수 있다. 따라서 모멘트골조의 역할이 수행되어야 허용치 내로 들어갈 수가 있음을 알 수 있다. 이러한 조건을 만족시킬 수 있는 경우를 경우 2, 3, 5, 6을 외주부 보와 내부보의 합성 조건을 조정하여 검토하였다. 그 결과 경우 2인 외주부보가 100% 강접인 경우가 허용치 내를 만족하고 있다. 경우 5번인 외주부와 내부보 모두 50%인 경우는 비록 허용치를 초과하고 있기는 하지만 층간변위비가 0.0153으로 약간 상회하고 있으므로 접합비를 다소 조정을 하면 허용치 내로 예측된다. 그 비율을 조정한 것이 경우 6으로 외주부와 내부보 모두를 60%로 조정된 경우에는 허용치 내를 모두 만족할 수 있음을 확인하였다.

표 9. 안정성 검토

경우		0	1	2	3	4	5	6
변위 (cm)	X	23.31	23.21	20.43	21.94	20.37	20.63	20.51
	Y	40.59	40.5	37.99	39.40	35.01	37.06	36.78
변위비 *1	X	H/678	H/681	H/773	H/720	H/775	H/766	H/770
		O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
	Y	H/389	H/390	H/416	H/401	H/451	H/426	H/429
		N.G	N.G	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
층간 변위비 *2	X	0.0178	0.018	0.0137	0.0158	0.0134	0.0153	0.0150
		N.G	N.G	O.K	N.G	O.K	N.G	O.K
	Y	0.0134	0.012	0.0104	0.0101	0.0093	0.0094	0.094
		O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K

*1:허용변위는 H/400 기준으로 적용 *2:허용 층간변위비는 0.015 이하로 적용

3.2.3 강성참여율 분석

횡력에 대한 구조시스템별 참여율을 분석하고자 변위대표값($x = \sqrt{\sum \phi^2 / N}$), 강성대표값($I = 1/x$)을 적용하였다. 여기서 ϕ 는 각층의 변위이며, N은 대상구조물의 층수이다. 경우1은 코어와 기둥이 횡력에 대하여 강성이 100%를 참여하는 것으로 기준으로 정하여 분석하였다. 그 결과는 표 10과 같다. 허용치 내에 있는 경우 2와 경우 6을 비교해보면 X방향에 대한 골조는 10%, 11.6% 정도로 비슷한 강성참여를 하고 있으며 Y방향의 경우는 6.2%, 9.2%로 반강접의 참여율이 1.5배 정도로 증가하고 있다.

표 10. 강성참여도 비교

경우		1	2	3	4	5	6	
X 방향	변위(cm)	23.21	20.43	21.94	20.37	20.63	20.51	
	변위대표값	23.21	20.43	21.94	20.37	20.63	20.51	
	강성대표값	0.0431	0.0489	0.0456	0.0491	0.0485	0.0488	
	상대강성		0.0059	0.0025	0.0060	0.0054	0.0057	
	강성 참여도	골조	0%	12.0%	5.5%	12.2%	11.1%	11.6%
		코어	100%	88.0%	94.5%	87.8%	88.9%	88.4%
Y 방향	변위(cm)	40.5	37.99	39.4	35.01	37.06	36.78	
	변위대표값	40.5	37.99	39.4	35.01	37.06	36.78	
	강성대표값	0.0247	0.0263	0.0254	0.0286	0.0270	0.0272	
	상대강성		0.0016	0.0007	0.0039	0.0023	0.0025	
	강성 참여도	골조	0%	6.2%	2.7%	13.6%	8.5%	9.2%
		코어	100%	93.8%	97.3%	86.4%	91.5%	90.8%

4. 기둥-보 접합조건에 따른 경제성 분석

4.1 강접과 반강접

합성반강접의 안정성에 대한 확인을 하였으나 아직 실용적 사용을 위해서는 해석에 대한 검증이 필요할 것으로 판단되어 해석은 보수적으로 접근으로 반강접을 적용하였고 강접과 반강접 부재의 경제성을 분석하였다. X방향의 골조는 그림 6과 같이 등분포하중을 받는 보로서 고정일 경우에 단부모멘트와 중앙부 모멘트의 차이가 최대 2배이다. 단부와 중앙부의 모멘트가 거의 같도록 한 것이 기둥접합부에 60%가 가장 경제적인 것으로 그림 6과 같이 해석되었다. 중앙부 정모멘트는 66% 증가하였고 기둥단부 부모멘트는 34% 감소하였다.

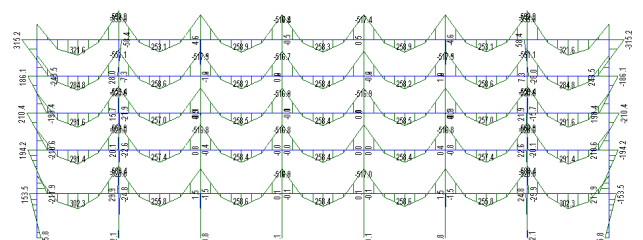


그림 6. 강접골조의 SG1의 모멘트 다이어그램

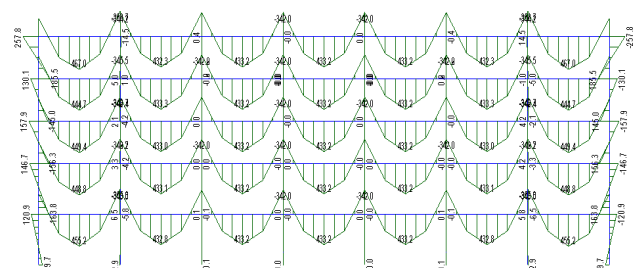


그림 7. 60% 반강접골조의 SG1의 모멘트 다이어그램

그러나, Y방향의 골조는 집중하중을 받는 보로서 고정일 경우에 단부모멘트와 중앙부 모멘트의 같거나 비슷한 경우가 많다. 본 골조의 경우도 그림 8에서 보듯이 약 1배의 차이를 보이고 있다. 이를 보면 50%로 반강접 상태로 조정하여도 그림 9와 같이 모멘트의 차이가 변화가 크지 않음을 알 수 있다. 해석결과를 표 11에 정리하였다.

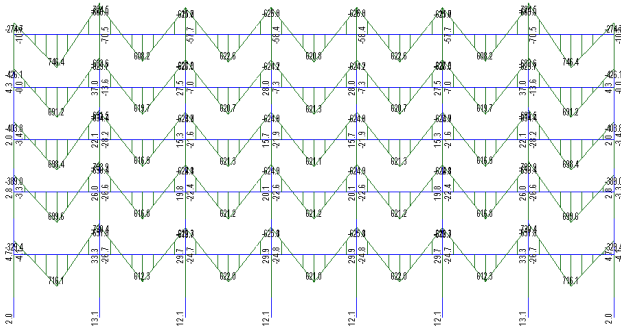


그림 8. 강접골조의 SG3의 모멘트 다이어그램

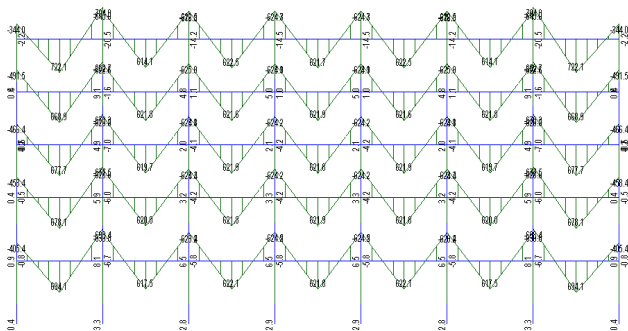


그림 9. 50% 반강접골조의 SG3의 모멘트 다이어그램

표 11. 강접, 반강접 모멘트 비교

부재	강접		반강접		감소비율		비고
	Mu (kN/m ²)	Vu (kN)	Mu (kN/m ²)	Vu (kN)	Mu (%)	Vu (%)	
SG1	592.26	337.79	431.25	323.17	27	4	등분포
SG2	278.76	163.64	230.32	161.93	17	1	등분포
SG3	746.4	370.55	722.08	359.31	3	3	집중
SG4	337.31	155.15	331.08	157.74	2	-2	집중

등분포하중이 작용하는 SG1과 SG2보는 반강접을 60%로 적용하였을 경우에 최대모멘트가 27%와 17%로 감소하였다. 그러나 집중하중이 작용하는 SG3와 SG2는 강접비율이 50%로 저감하여도 3%, 2%밖에 저감되지 않았다. 반강접 성능을 극대화 하기 위해서는 선택적으로 등분포하중이 작용하는 보에만 적용하는 것이 효율적임을 알 수 있다. 또한, 집중하중이 작용하는 부분은 횡하중의 안정성 내에서 변위를 검토하여 합성비율을 조정하면 접합부의 모멘트 값의 차이는 별로 없다 하더라도 반강접 접합부를 사용하므로 CFT기둥 내

에 내 다이어그램의 적용을 배제할 수 있을 것이다. 저감된 모멘트를 기준으로 하여 강접과 반강접 보의 설계를 재조정 한 결과를 표 12와 표 13에 정리를 하였는데 부재는 SG1과 SG2만 줄었음을 알 수 있다. 두 부재의 물량은 SG1은 11% SG2는 13% 감소하였다.

표 12. 강접합의 할인매장 적용 부재크기

부재	강접	비율	Mu(kN-m)	Pu(kN)	하중 조합*	물량 (ton)
SG1	H-500x200x10x16	0.99	592.26		2	188.3
SG2	H-396x199x7x11	0.893	278.76		2	39.7
SG3	H-606x201x12x20	0.959	746.4		2	162.8
SG4	H-404x201x9x15	0.941	337.31		2	42.3
SB1	H-446x199x8x12	0.936			2	171.7
SB2	H-198x99x4.5x7	0.11			2	5.8
C1	□-400x400x12	0.826	24.56	4710	2	245.7
C2	□-300x300x12	0.887	108.2	2250	2	52.0
C3	□-300x300x12	0.887	95.9	2161	2	52.0
C4	□-350x350x12	0.867	188.8	226	2	21.9
C5	H-344x348x10x16	0.943		3421	2	22.3
#. 하중조합2는 1.2DL+1.6LL						1004.5

표 13. 반강접합의 할인매장 적용 부재크기

부재	강접	비율	Mu(kN-m)	Pu (kN)	하중 조합	물량 (ton)
SG1	H-498x199x9x14	0.828	431.25		2	167.0
SG2	H-350x175x7x11	0.908	230.32		2	34.7
SG3	H-606x201x12x20	0.927	722.08		2	162.8
SG4	H-404x201x9x15	0.923	331.08		2	42.3
SB1	H-446x199x8x12	0.936			2	171.7
SB2	H-198x99x4.5x7	0.109			2	5.8
C1	□-400x400x12	0.767	19.56	4631	2	245.7
C2	□-300x300x12	0.836	92.68	2281	2	52.0
C3	□-300x300x12	0.895	119.41	2200	2	52.0
C4	□-350x350x12	0.806	200.42	226	2	21.9
C5	H-344x348x10x16	0.943		3421	2	22.3
#. 하중조합2는 1.2DL+1.6LL						978.2

반강접 비율에 의하여 모멘트는 SG1은 27%, SG2는 17%감소를 하였으나 부재는 그것과 일치하게 감소하지는 않았다. 그 이유는 철골 rolled부재를 사용하므로 내력이 여유 있더라도 생산되는 부재가 없기 때문이다. 타 부재는 반강접의 효과가 크지 않아 물량저감의 효과가 없어 전체적인 물량의 경감을 고려해보면 전체 철골물량에서 26ton이 저감하여

2.6%의 절감효과를 보였다. 물량의 절감은 위와 같지만 철골부재를 반강접을 적용하여 모멘트나 하중이 저감되기는 했지만 rolled 부재를 사용하므로 같은 부재를 사용한 경우도 발생하므로 본 건물의 경우에 내력의 여유치의 증감을 표 14에 검토해본 결과 평균 약 3.91%의 여유치가 생긴 것을 알 수 있다. 즉, 건물이나 상황에 따라 3%~7% 정도의 물량 절감이 가능하다는 것을 시사하고 있다. 표 12의 보 설계를 위하여 적용된 최대 값은 횡하중 하중조합이 아닌 수직하중이 작용하는 1.2DL+1.6LL 경우임을 확인하였다. 즉, 국내의 경우 경간의 차이가 매우 크지 않다면 지진이나 풍하중에 의하여 모멘트 값이 기둥과 접합부에 정모멘트가 발생하는 경우는 없다고 할 수 있다.

표 14. 강접합과 반강접합의 내력비 비교

	강접합	반강접	증감	부재	강접합	반강접	증감
SG1	0.99	0.828	16.36%	C1	0.826	0.767	7.14%
SG2	0.893	0.908	-1.68%	C2	0.887	0.836	5.75%
SG3	0.959	0.927	3.34%	C3	0.887	0.895	-0.90%
SG4	0.941	0.923	1.91%	C4	0.867	0.806	7.04%
SB1	0.936	0.936	0.00%	C5	0.943	0.943	0.00%
SB2	0.11	0.109	0.91%	평균	0.840	0.807	3.91%

4.2 합성반강접

상기 보 중 구조부재 절감에 영향을 가장 크게 미치는 SG1과 SG2를 대상으로 내력을 표 10과 같이 검토하였다. 표 15(a)에서 보듯이 SG1의 경우는 강접대비 합성반강접의 설계를 할 경우에는 약 26%의 절감 효과를 보였으며 반강접 대비 17%의 절감효과를 볼 수 있다. SG2는 표 15(b)와 같이 강접대비 합성반강접의 설계를 할 경우에는 약 27%의 절감 효과를 보였으며 반강접 대비 17%의 절감효과를 볼 수 있다. SG2는 합성반강접의 경우 시공하중에 의해 부재크기가 결정되어 합성강접의 부재 이하로 절감할 수가 없었다. 이를 전체 골조의 비율을 비교한 결과를 표 16에 나타내었다.

표 15. 접합별 부재 비교

(a) SG1

조건	부재 (H형강)	As (cm ²)	응력비	Mu (kn.m)	ΦMn (kn.m)	절감비	
						강접대	반강접대
강접	500x200x10x16	114.2	0.99	592.3	600.5		
반강접	498x199x9x14	101.3	0.83	431.3	523.7	11%	
합성강접	498x199x9x14	101.3	0.99	592.3	599.2	11%	
합성반강접	400x200x8x13	84.12	1.00	431.3	430.1	26%	17%

(b) SG2

조건	부재 (H형강)	As (cm ²)	응력비	Mu (kn.m)	ΦMn (kn.m)	절감비	
						강접대	반강접대
강접	396x199x7x11	72.2	0.893	278.8	312.2		
반강접	350x175x7x11	63.1	0.908	230.3	253.6	13%	
합성강접	346x174x6x9	52.7	0.95	278.8	292.9	27%	
합성반강접	346x174x6x9	52.7	0.79	230.3	292.9	27%	17%

그 결과 등분포 하중만 작용하는 보만 합성반강접을 적용할 경우에 강접에 비하여 6%로 절감이 되었다. 반강접에 비하여는 3.5%의 절감비율을 갖고 있다.

표 16. 접합별 전체물량 비교

조건	총물량 (ton)	절감비 (강접대)	절감비 (반강접대)
강접	1004.5	-	-
반강접	978.2	2.62%	-
합성강접	972.5	3.18%	-
합성반강접	944.1	6.01%	3.48%

5. 결론

본 연구는 저층골조와 고층골조를 대상으로 선정하여 구조적 안정성 및 경제성을 평가하여 다음 아래의 결론을 도출하였다.

- (1) CFT기둥의 합성반강접 골조의 설계 가능성을 마련하고자 적합조건에 따른 안정성 검토와 강성참여율을 분석하였다. 층간변위에 따른 안정성을 만족하는 접합 비율은 약60%였으며 이와 같이 구조물의 접합비를 조정하여 건물의 안정성, 경제성과 접합부의 시공성 등을 모두 만족시키는 결과를 도출할 수 있다.
- (2) 등분포하중이 작용하는 부재의 경우에는 단부 모멘트를 20~30% 정도 감소하여 반강접의 적용이 구조물의 경제성을 확보하기가 유리함을 알 수 있다. 따라서, 등분포하중이 작용하는 보의 합성반강접 보의 적용이 바람직하다.
- (3) 집중하중이 작용하는 보의 반강접의 효과가 미미하다. 강접이나 반강접이나 발생하는 모멘트의 저감비율이 2~3%정도로 적었다.
- (4) 등분포가 작용하는 보의 합성성능을 고려할 경우에는 강접보보다 26% 물량 감소가 가능하고 반강접보보다

17%감소가 가능함을 알 수 있다. 전체물량은 강접대비 6% 절감이 됨을 알 수 있다. 따라서 등분포 하중을 작용하는 보만 적용하여도 충분한 경제성이 있음을 확인할 수 있다.

감사의 글

본 논문은 2011년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다(ROA 2011-0020486 , No.2010 05092007).

참 고 문 헌

김요숙, 임승혁(1999) 반강접 합성보 효과를 고려한 고등해석, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제11권, 제6호, pp. 603-614.

김종성(2001) 반강접 접합부를 갖는 평면 강골조의 거동에 관한 연구, Research Review Kyungil University, Vol. 17, pp. 159-173.

대한건축학회(2009) 국토해양부 고시 건축구조기준 및 해설. 기문당. 제3장 설계하중, pp. 141-143.

박수희, 최성모, 박영욱, 김진호(2005) CFT각형 기둥-보 합성 반강접 접합부의 이력거동, 대한건축학회 논문집, 대한건축학회, 제21권, 제6호, pp. 25-32.

박순규, 노환근(2005) CFT 기둥-보 단부평판 접합부의 내진성능, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제18권, 제3호, pp. 3-10.

박영욱(2010) 각형 CFT기둥과 보의 합성반강접 구조설계 적용 연구, 서울시립대학교 건축공학과 박사학위논문.

AISC (2003) Steel Design Guide Series-8, Partially

Restrained Composite Connections.

Abdalla, K.M. and Chen, W.F. (1995) Expanded Database of Semi-Rigid Steel Connections, *Computer and Structures*, Vol. 56, No. 4, pp. 553-564.

Chen, W.F., Goto, Y., and Liew, J.Y.R. (1995) Stability design of semi-rigid frames, JOHN WILEY & SONS.INC.

Chen, W.F., King, W.S., and White, D.W. (1992) Second-order inelastic analysis methods for steel-frame design. *J. Structural Engineering*, ASCE, Vol. 118, No. 2, pp. 408-428.

Eurocode3 (1992) Design of Steel Structures, Part1.1 : General Rules for Building, ENV 1993-1-1.

Leon, R.T. and Rassati, G.A. (2004) Component Modeling of PR Composite Frames under Cyclic and Dynamic Loading: Numerical Modeling, *International Journal of Steel Structures*, Vol. 4, No. 3, pp. 131-140.

Xu, L. and Grierson, D.E. (1993) Computer-Automated Design of Semi-Rigid Steel Frameworks, *Journal of Structural Engineering - ASCE*, Vol. 119, No. 6, pp. 1740-1760.

Xu, L., Sherbourne, A.N., and Grierson, D.E. (1995) Optimal Cost Design of Semi-Rigid Low-Rise Industrial Frames, *Engineering Journal*, AISC, Vol. 32, No. 3, pp. 87-97.

(접수일자 : 2011. 6. 23 / 심사일 2011. 7. 15 /
심사완료일 2012. 2. 6)