

## 역타 합성기둥-철골보 접합부의 반강접 상세 적용 연구

류기춘<sup>1</sup> · 박서진<sup>2</sup> · 최성모<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>한미글로벌 주식회사 이사, <sup>2</sup>한미글로벌 주식회사 전무, <sup>3</sup>서울시립대학교 건축공학과 교수

### Semi-Rigid Connection Design for CFT Column-Steel Girder Joints Used for Top-Down Construction

Ryu, Ki Choon<sup>1</sup>, Park, Seo Jin<sup>2</sup>, Choi, Sung Mo<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Director, Hanmiglobal Co., Ltd., Seoul, 06164, Korea

<sup>2</sup>Vice President, Hanmiglobal Co., Ltd., Seoul, 06164, Korea

<sup>3</sup>Professor, Dept. of Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul, 02054, Korea

**Abstract** - In this study, the practical applicability of synthetic semi-rigid designs for the connection details of downward-construction structures subjected to vertical loads is examined. By conducting structural analysis with consideration for semi-rigidity, it was confirmed that an economical and efficient joint fixity factor is 0.6. The semi-rigidity of the connections is evaluated using theoretical formulas from previous studies and international design standards. With a focus on the realism and constructability of on-site applications, a simplified synthetic semi-rigid connection detail with a simplified lower flange is proposed and the factors affecting the moment strength in the design of synthetic semi-rigid connections for the downward-construction SRC column-steel beam connections are investigated.

**Keywords** - Composite semi-rigid connection, Top-down construction, Welding minimization, Splicing simplification, End fixity

### 1. 서론

최근 도심지 공사 및 대형 건설공사 현장에서 굴착 공사의 안정성 및 공기 단축을 위해 top-down 공법이 다수 적용되고 있다. 수평재의 경우는 일반적으로 철골보를 많이 적용하며 기둥은 경제성을 고려하여 합성 기둥이 주로 적용된다.

Top-down 공사 시 지하층 골조공사의 경우 지상 1층부터 지하 방향으로 굴착공사와 병행하여 진행하게 되는데, 이로 인한 제한된 작업환경에서 기둥과 보의 접합 시공조건은 접합부의 품질이나 공기에 상당한 영

향을 끼치게 된다. 따라서 구조부재 접합시공의 단순화가 요구되고, 이를 위해서는 최근 기둥-보 접합에서 주로 적용되는 용접과 볼팅을 이용한 강접합을 단순한 접합상세로 변경하여 실무에 적용해야 한다<sup>[13]-[15]</sup>.

본 연구 대상인 지하층 모멘트골조의 경우 수평하중에 저항하지 않고 수직하중만을 받기 때문에 설계가 비교적 용이하고 실무 적용의 현실성이 있는 합성 반강접 상세의 적용으로 접합의 단순화가 가능할 것으로 판단되었다.

이에 따라, 본 연구는 제한된 공간에서 이뤄지는 역타공사에서 지하층 골조공사를 용이하게 할 수 있고, 기둥과 철골보 접합부의 용접시공을 최소화할 수 있는 단순화된 합성 반강접 상세를 제안하고, 역타공사에서 많이 적용되는 지하구조물의 구조해석 및 부재설계를 통해 가장 적절한 반강접성(단부고정도)과 각 부재의 응력, 처짐 검토 및 물량 차이를 비교하고자 한다. 단부고정도의 평가방법으로 선행연구인 반강접 접합부의 적정 단부구속율에 관한 연구에서 제시된 이

Note.-Discussion open until June 30, 2024. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on August 31, 2023; revised on November 14, 2023; approved on November 14, 2023.

Copyright © 2023 by Korean Society of Steel Construction

\*Corresponding author.

Tel. +82-2-6490-2759 Fax. +82-2-6490-2749

E-mail. smc@uos.ac.kr

론식과 합성 반강접 접합부의 성능 실험결과값을 활용하고, 구조해석에서 가정한 접합부의 고정도값을 이론식을 통해 수치적으로 계산한 값과 비교하고자 한다.

## 2. 반강접 상세 적용 검토

### 2.1 반강접 상세의 종류

반강접 접합은 철골 반강접과 합성 반강접으로 분류할 수 있다. 철골 반강접은 핀접합 형식에 상·하 보 플랜지와 기둥을 앵글 또는 직접 볼트 체결하여 접합한 형식이며 Fig. 1과 같이 유사 형태의 여러 가지 형식이 있다. 합성 반강접은 철골 반강접 접합과 동일한 하부 접합을 갖지만 상부의 보 플랜지가 기둥과 접합되어 있지 않은 상태에서 상부 슬래브의 보강철근을 기둥 주위에 배치하여, 이에 의해 접합부의 강성 및 내력이 확보되는 접합형식이다. Fig. 2와 같이 상부는 슬래브에 의해 강성을 확보하고 하부플랜지의 상세에 따라 3가지로 구분할 수 있다.

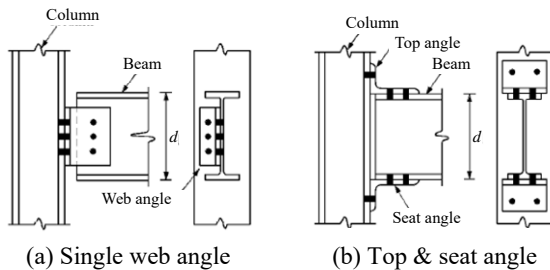


Fig. 1. Types of semi-rigid steel connection<sup>[1]</sup>

Fig. 2(a) Type 1의 seat/double web angle 접합부는 기둥의 플랜지와 보의 웹브에 앵글을 한 개 혹은 두 개를 용접하거나 볼트로 결합하는 형태이다. 접합부의 휨저항성능에 차이가 있다.

Top & seat angle을 적용한 접합부는 Fig. 2(b) Type 2와 같은 형식이며 하부 L형강은 수직하중만을 전달할 수 있고 휨저항은 없다. 상부 L형강은 보의 축방향 안전성을 높이는 역할을 한다.

Fig. 2(c) Type 3는 하부 seat angle을 배제하고 web angle 전단접합과 상부 슬래브 보강근만으로 구성된다. Web angle이 상대적으로 약하지만 angle의 두께를 증가시키고, angle의 위치를 보 web의 하부 쪽으로 이동시킴으로써 휨 내력을 향상시킬 수 있다.

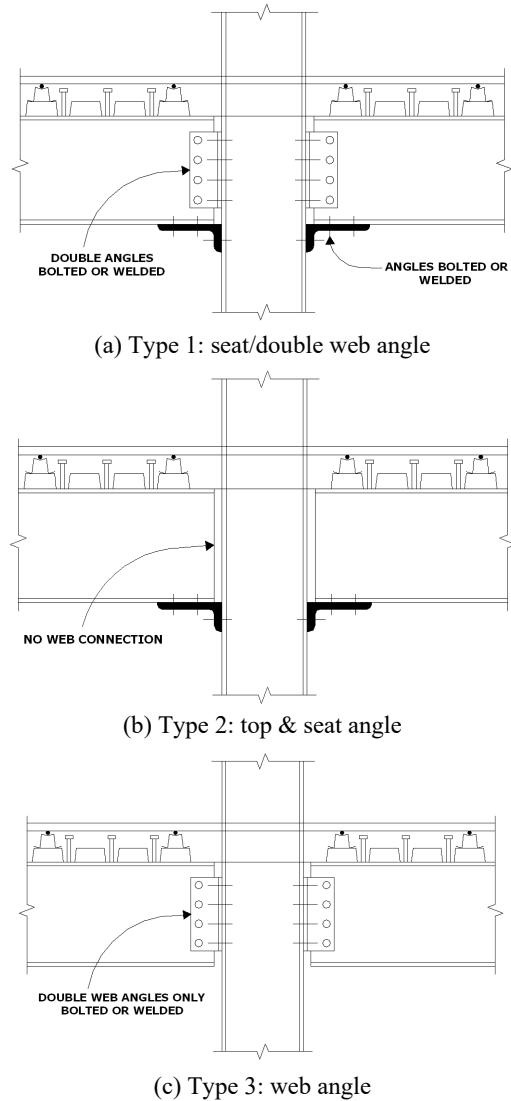


Fig. 2. Types of composite semi-rigid steel connection<sup>[4]</sup>

### 2.2 관련기준 및 선행연구 분석

#### 2.2.1 관련기준

본 연구의 대상인 합성 반강접 설계와 관련하여, 미국의 경우 AISC-LRFD에서 반강접 접합을 규정하고 AISC-LRFD PRCCs Design Guide 8에 합성반강접 접합의 설계기준, 설계식 및 설계절차에 대해 비교적 상세하게 다루고 있다.

Eurocode 3, Eurocode 4의 경우도 강성, 강도에 반강접의 분류, 합성 반강접에 대한 범위와 해석, 모델링 및 설계방법을 제시하고 있다. 합성 반강접 모델에서 상부 슬래브 철근으로 strut-tie model 개념을 적용하였고 압축은 하부플랜지와 contact plate를 통해 H

형강 기둥으로 전달되는 개념이라는 점에서 AISC 기준과 차이가 있다.

- (1) AISC Steel Design Guide 08\_PRCCs<sup>[8]</sup>: 합성 반강접 형태인 Fig. 2(a) Type 1에 대해서 다루고 있으며, Fig. 3와 같이 합성 반강접 접합부의 반강접성을 강도 및 강성에 의해 분류하고 있다.

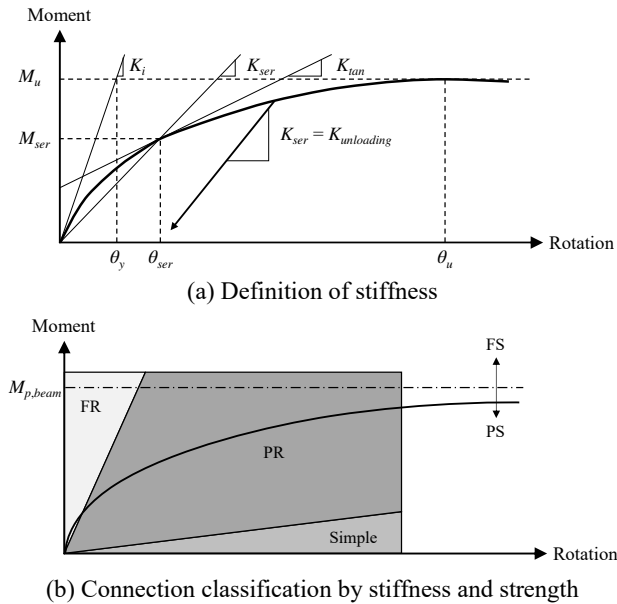


Fig. 3. Classification of semi-rigid by strength and stiffness<sup>[8]</sup>

- (2) Eurocode 3<sup>[9]</sup>: Eurocode 3에서는 접합부의 등급 및 선택된 해석방법에 따라 적절한 유형의 접합 모델을 다음 Table 1에서 결정하도록 하고 있다.

Table 1. Types of joint model<sup>[9]</sup>

Method of global analysis	Classification of joint		
Elastic	Nominally pinned	Rigid	Semi-rigid
Rigid-plastic	Nominally pinned	Full-strength	Partial-strength
Elastic-plastic	Nominally pinned	Rigid and strength	Semi-rigid and partial-strength Semi-rigid and full-strength Rigid and partial-strength
Type of joint model	Simple	Continuous	Semi-continuous

- (3) Eurocode 4<sup>[10]</sup>: Section 8에서 합성 반강접의 범위와 해석, 모델링 및 설계방법을 제시하고 있다, 합성 반강접 상세의 예는 Fig. 4와 같이 AISC의 상세와 유사하나, 하부플랜지의 접합방식에서 contact plate가 사용된다는 점에서 약간의 차이가 있다. 합성 반강접 상세의 합성저항은 Fig. 5와 같이 인장에 strut-tie model 개념을 적용하여 상부 슬래브 철근이 저항하고 압축은 하부플랜지와 contact plate를 통해 H형강 기둥으로 전달되는 개념이다.

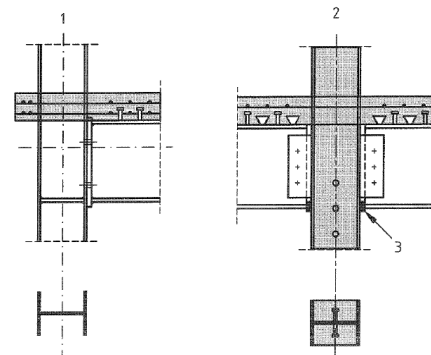


Fig. 4. Example of composite joints<sup>[10]</sup>

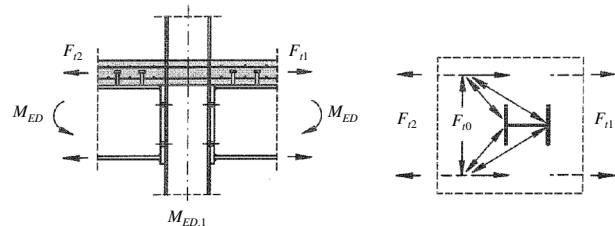


Fig. 5. Concept of synthesis resistance<sup>[10]</sup>

2.2.2 선행연구

- (1) 반강접 접합부의 적정 단부구속율 연구<sup>[5],[6]</sup>: 접합부의 회전강성과 보의 휨강성을 바탕으로 단부고정계수를 산정하고, 반강접 해석에 따른 각 부재별 자료은행을 만들어 보다 간편하게 반강접 설계를 할 수 있도록 하는 내용이며, 반강접 접합부의 단부고정도를 평가하기 위하여 AISC Design Guide 8을 기반으로 고정도계수를 산정하는 식을 제시하고 있다. 이 식은 4.2.1에서 합성 반강접 상세의 단부고정도를 검증하기 위한 식으로 활용하였다.
- (2) 합성 반강접 접합부의 성능 실험 연구<sup>[4],[7]</sup>: 합성 반강접 상세의 실험체를 만들어 실험을 통해 접

합부의 구조성능을 검증한 연구로, 여러 가지 변수에 따른 케이스별 실험을 실시하고, 각 케이스별 모멘트와 회전각 관계, 파괴 특성을 통한 내력 및 반강접성 평가 등을 수행하였다. 2가지의 대표적인 실험에는 Fig. 6와 같이 하부 플랜지의 접합방식을 변수로 한 실험이 있으며, Fig. 7과 같이 상부 슬래브의 철근 배치 방식을 변수로 하는 실험이 있다. 2가지 실험체의 실험 결과 모두 반강접 고정도 이상의 결과를 나타내므로, 수직하중을 받는 구조물의 경우 반강접의 고려가 가능할 것으로 판단된다. Table 2는 위에서 설명한 2가지 type의 합성 반강접 실험체에 대한 실험결과를 요약한 자료이다. 각 실험체에 적용한 기둥 및 보 부재 크기와 재료강도를 비교하였으며, 강접합 대비 회전강성과 휨 모멘트값을 이용하여 반강접성을 평가하였다. 본 논문의 연구대상이 수직하중만을 받는 접합

부임을 고려하여 보의 상부플랜지가 인장을 받는 부모멘트에 해당하는 결과를 정리하였고, 접합부의 고정도는 0.8 이상의 값을 나타냄을 알 수 있다. 철골보의 상부플랜지를 접합하지 않고 슬래브 보강 철근만으로 거의 강접과 유사한 접합성능을 보이는 것을 알 수 있다.

### 3. 구조해석을 통한 안전성 및 경제성 평가

#### 3.1 구조해석 개요

##### 3.1.1 구조물 설계개요

합성 반강접 상세의 실무적용을 위해서는 역타 구조물의 구조해석을 통하여 구조안전성 및 경제성을 검증할 필요가 있다고 판단되므로, 지하구조물을 대상으로 MIDAS사의 GEN 프로그램을 이용하여 구조해석 및 부재설계를 진행하였다.

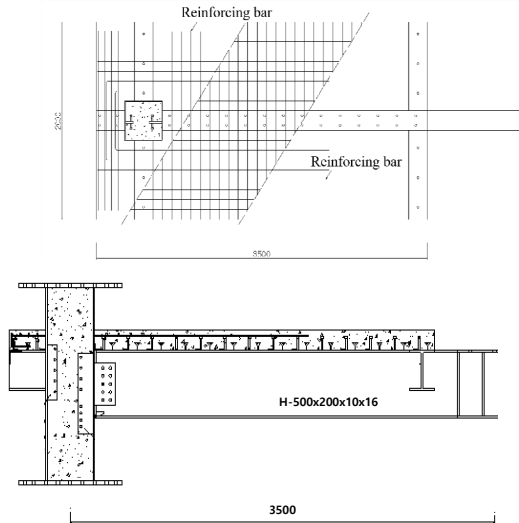


Fig. 6. Experiment with lower flange attachment<sup>[4]</sup>

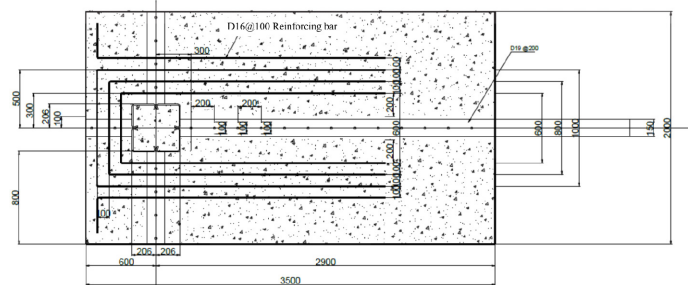


Fig. 7. Experiment with rebar placement<sup>[7]</sup>

Table 2. Summary of composite joint semi-rigidity evaluation results

Item		Member					K/K <sub>p</sub>	M/M <sub>p</sub>
		Column	Girder	Slab thickness	Slab rebar	Flange joint type		
Experiment by Park <sup>[4]</sup>	S-3	□-400×400×12 (SM490, 50 MPa)	H-500×200×10/16 (SS400)	150 mm (f <sub>ck</sub> = 24 MPa)	8-D13 (SD400)	Seat angle welding	0.82	0.81
	S-4						0.85	0.80
Experiment by Lee <sup>[7]</sup>	A	□-412×412×9 (SM490, 50 MPa)	H-300×150×6.5/9 (SS400)	150 mm (f <sub>ck</sub> = 30 MPa)	6-D16 (SD400; (outside of a column))	Direct welding	-	0.91
	B						-	1.2

접합부의 반강접을 고려하고, 효율적인 부재설계를 위한 고정도 조건을 확인하기 위해 단부 구속조건을 0.6에서 1.0으로 변화시키며 각 조건별 구조해석과 부재설계 결과를 비교하였으며, 슬래브 콘크리트 타설 시 콘크리트가 완전히 경화되기 전의 조건인 완전한 지단(Pin)의 조건도 고려하였다.

### 3.1.2 해석 모델링 개요

주차장 공간에 주로 적용되는 9 m × 9 m 모듈을 적용하였으며, 수직하중만을 받는 골조이기 때문에 조업 차량 주차장과 일반주차장을 고려하여 2개 층을 모델링하였다. 구조물을 구성하는 부재는 최근 많이 쓰이고 있는 H형강보와 CFT 기둥을 적용하였다.

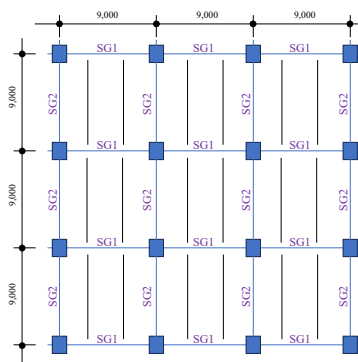
설계하중은 Table 3와 같이 적용하였으며 작은보 2개를 1방향으로 배치하였다.

**Table 3.** Design load of parking lot

Purpose	Design load (kN/m <sup>2</sup> )		
	DL	LL	LL
Parking lot	6.2 (Slab: 3.6 [thk.: 150 mm]; F. conc': 2.3 [thk.: 100 mm]; Finish: 0.3 [thk.: 100 mm])	6.0 (truck)	3.0 (general car)

구조부재의 재료강도는 다음과 같이 적용하였다.

- 철골 항복강도  $F_y = 355 \text{ MPa}$  (SHN355)
- 콘크리트 압축강도  $f_{ck} = 24 \text{ MPa}$
- 철근 항복강도  $f_y = 400 \text{ MPa}$  (SD400)
- 슬래브 두께  $thk. = 150 \text{ mm}$



**Fig. 8.** Structural floor plan for analytical model (downward structures)

- 기둥 크기: 400 mm × 400 mm

구조해석 모델링을 위한 구조평면도는 Fig. 8과 같으며, 활하중을 달리하여 2개 층으로 계획하였다.

### 3.2 반강접성을 고려한 역타 구조물 해석 및 분석

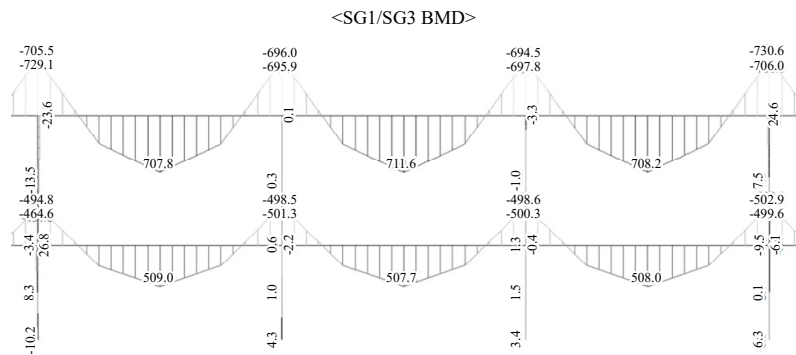
반강접성을 고려하여 구조해석을 수행한 결과 중 다음 Fig. 9은 고정도계수 최소치인 고정도 0.6으로 해석한 결과이며 응력의 분포가 가장 효율적인 것을 알 수 있다. 고정도 0.8의 경우는 거의 강접합의 성능을 보이나 0.6의 경우는 단부·중앙부의 휨모멘트 값이 유사하므로 최적의 부재설계가 가능하다.

강접합, 고정도 0.6과 0.8의 각 조건별 구조해석 및 설계결과를 요약하면 Table 4와 같다.

### 3.3 안전성 검토 및 경제성 평가

고정도 변화에 따른 구조해석결과에 따라 부재설계를 진행하였으며, 반강접의 경우는 AISC 기준에 따라 합성 반강접 설계를 통해 철골부재 및 슬래브 보강근을 산정하였다. Table 5는 강접과 고정도 0.6과의 모멘트 및 처짐량을 비교한 결과로 증감비의 차이가 있지만, Table 4와 같이 2가지 조건 모두 구조안전성에는 문제가 없음을 알 수 있다. Table 6는 각 조건별 부재 크기를 비교하였으며 고정도 0.6의 경우 강접 대비 약 15% 이상 철골물량 절감이 가능하다(철근물량 제외).

철골보 부재 크기 차이에 따른 물량절감 측면에서의 경제성 효과뿐 아니라 플랜지 용접 삭제에 따른 용접량 절감, 열악한 역타 공사환경에서 용접 작업 삭제에 따른 시공성 개선 등의 효과가 있음을 알 수 있다.



**Fig. 9.** Diagram of semi-rigid connection (rigidity 0.6)

**Table 4.** Summary of analysis results

Rigidity	Member		Stress ratio	Deflection (mm)	
				DL+LL	LL
1.0	SG1	H-606×201×12/20	0.960	12.93	-
	SG2	H-396×199×7/11	0.962	17.85	-
	SG3	H-500×200×10/16	0.997	16.38	-
	SG4	H-396×199×7/11	0.867	13.25	-
0.8	SG1	H-596×199×10/15 (20-D16)	0.893	18.04	8.89
	SG2	H-396×199× 7/11 (10-D16)	0.896	19.70	9.49
	SG3	H-496×199× 9/14 (16-D16)	0.945	20.55	6.85
	SG4	H-396×199×7/11 (8-D16)	0.812	14.66	4.75
0.6	SG1	H-596×199×10/15 (14-D16)	0.973	20.66	10.19
	SG2	H-396×199×7/11 (8-D16)	0.892	22.53	10.86
	SG3	H-496×199×9/14 (12-D16)	0.986	23.63	7.87
	SG4	H-396×199×7/11 (6-D16)	0.851	16.81	5.44

**Table 5.** Results of structural safety review

Name	Rigidity 1.0 (fix)		Rigidity 0.6 (composite)		(+,-) ratio (%)	
	$M_u$ (kN·m)	$\delta$ (mm)	$M_u$ (kN·m)	$\delta$ (mm)	$M_u$	$\delta$
SG1	935.30	12.93	695.27	16.29	-25.7	+26.0
SG2	331.90	17.85	247.70	22.53	-25.4	+26.2
SG3	671.50	16.38	499.48	20.89	-25.6	+27.5
SG4	239.20	13.25	178.67	16.81	-25.3	+26.9

**Table 6.** Results of structural member quantity review

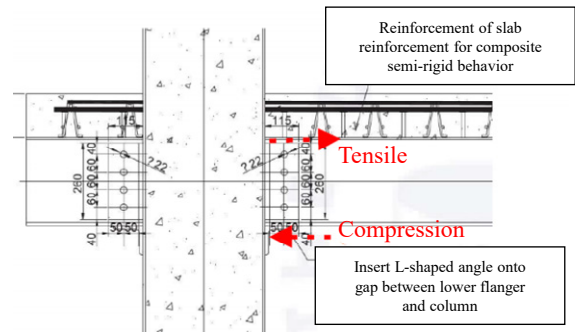
Name	Rigidity 1.0 (fix)		Rigidity 0.6 (composite)		(+,-) ratio (%)
	Member	Unit load (kg/m)	Member	Unit load (kg/m)	
SG1	H-606×201×12/20	120.0	H-596×199×10/15	94.6	21
SG2	H-396×199×7/11	56.6	H-396×199×7/11	56.6	0
SG3	H-500×200×10/16	89.6	H-496×199×9/14	79.5	11
SG4	H-396×199×7/11	56.6	H-396×199×7/11	56.6	0

## 4. 역타 합성기둥-철골보 접합부의 반강접 적용 제안

### 4.1 합성 반강접 상세 개요

역타 공사현장에서 적용 가능한 반강접 상세는 AISC 기준에 명시되어 있으며, 선행연구의 실험결과에서 이론식과 상당한 유사성을 보인 방식인 하부플랜지를 용접 고정하거나, 시트 앵글을 통해 접합하는 방식의 적용이 가능한 것으로 판단된다.

역타 구조의 경우 수직하중만을 받기 때문에 부모멘트를 받는 철골보 단부 하부플랜지는 기둥에 압축력만 전달하면 되므로 기존 상세를 좀 더 단순화하는 것이 가능할 것으로 판단된다. Fig. 10은 선행 실험연구의 접합상세에서 하부플랜지 접합부를 더욱 단순화한 상세이며, 압축력을 기둥에 균등하게 전달할 수 있도록 T자 앵글을 삽입(또는 tag welding)하는 방식이다.



**Fig. 10.** Suggestion of details of (-)moment resistance

### 4.2 접합부 반강접성 평가

#### 4.2.1 고정계수 산정식

합성 반강접 접합부가 구조해석에서 가정한 단부고정도 0.6 이상을 확보하는지 여부에 대한 검증으로, 선행 연구자료 및 기준식을 참고하여 근사적인 이론식을 통해 고정계수를 산정하였다.

Fig. 11과 같이 접합부의  $M-\theta$  곡선을 통해 회전강성  $R_{kb}$  값을 구하고, 이  $R_{kb}$  값을 이용한 근사식을 통해 단부고정계수를 구할 수 있다<sup>[6],[8]</sup>.

$$M_b = M_F + \frac{2EI}{L} \theta_r = \frac{\omega L^2}{12} (1 - \theta_r / \theta_{bo}) \quad (1)$$

여기서,  $M_F = \omega L^2 / 12$  (등분포하중인 경우),

$\theta_{bo} = \omega L^3 / 24EI$  (단부가 핀일 때의 회전각),  
 $EI/L =$  보의 휨강성.

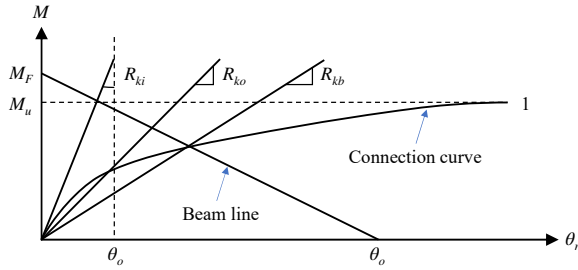


Fig. 11. Rotational stiffness of joints<sup>[6],[8]</sup>

위의 식 (1)을 통해  $\theta_r$ 를 구할 수 있고,  $M_b$ 와  $\theta_r$ 을 이용해  $R_i$ 를 구할 수 있으며, 또한  $R_i$ 를 통해 다음 식을 이용하여 고정계수를 산정한다<sup>[6],[8]</sup>.

$$M_\alpha = R_i \cdot \alpha \Rightarrow \alpha = \frac{M_\alpha}{R_i} \quad (2)$$

$$M_\alpha = \phi - \frac{M_\alpha \cdot L}{3EI} \quad (3)$$

$$M_\alpha \left[ \frac{1}{R} + \frac{L}{3EI} \right] = \frac{M_\phi \cdot L}{3EI} \quad (4)$$

$$\frac{M_\alpha}{M_\phi} = \frac{1}{\left[ 1 + \frac{3EI}{R_i \cdot L} \right]} = r_i \text{ (단부고정계수)} \quad (5)$$

여기서,  $\phi$ : 접합부의 회전강성이 0일 때의 회전각,  
 $\beta$ : 접합부의 회전강성  $R$ 값에 의해 감소되는 회전각,  
 $\alpha$ : 반강접을 고려했을 때의 단부회전각( $= \phi - \beta$ )  
 $\phi = \frac{M_\phi \cdot L}{3EI}$  (회전단일 때의 단부회전각).

결과적으로,  $r_i = 1$ 일 때  $M_\alpha = M_\phi$ 이므로 고정단,  $r_i = 0$ 일 때  $M_\alpha = 0$ 이므로 회전단이다. 따라서,  $0 < r_i < 1$ 일 때, semi-rigid connection이며, 다음 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$r_i = \frac{1}{1 + 3EI/R_i L} \quad (6)$$

여기서,  $i$ : 1 또는 2,  
 $R_i$ : 접합부 스프링강성( $= R_{kb}$ ).

#### 4.2.2 각 부재별 고정계수 산정결과

각 구조부재의 단부고정계수 산정 결과는 Table 7과

같으며, 모든 부재의 결괏값이 0.6 이상으로 산정되었음을 알 수 있다.

Table 7. Results of rigidity calculation for each member

Name	Member attributes			Rigidity
	Slab thk. (mm)	Reinf.	H-beam	
SG1	150	14-D16	H-596×199×10/15	0.670
SG2	150	8-D16	H-396×199×7/11	0.663
SG3	150	12-D16	H-496×199×9/14	0.662
SG4	150	6-D16	H-396×199×7/11	0.661

#### 4.3 합성 반강접 설계 시 모멘트강도 영향 검토

합성 반강접 상세 설계 시 웨브두께와 슬래브 보강근량에 따라 휨모멘트 강도가 어떻게 변화하는지 3장 구조해석에 적용된 SG1 부재에 대해 검토하였으며, 다음 Tables 8-9과 같이 슬래브 보강근의 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

Table 8. Variation of moment strength with H-beam size (web thickness)

Slab reinforcement	Member	Moment strength (kN·m)	(+,-) ratio (%)
14-D16	BH-600×200×8/15	677.16	-5.54
	BH-600×200×9/18	697.65	-2.68
	BH-600×200×9/20	696.22	-2.88
	H-596×199×10/15	716.84	0.00
	BH-600×200×10/22	716.87	0.00
	BH-600×200×10/25	714.49	-0.33
	H-600×200×11/17	743.32	3.69

Table 9. Variation in moment strength with slab reinforcement

H-beam	Slab reinforcement	Moment strength (kN·m)	(+,-) ratio (%)
H-596×19×10/15	10-D16	575.88	-19.66
	12-D16	646.36	-9.83
	14-D16	716.84	0.00
	16-D16	787.31	9.83
	18-D16	857.79	19.66

## 5. 결론

본 연구에서는 수직하중을 받는 역타구조물 접합부의 반강접 상세 적용을 위해 합성 반강접 설계의 실무 적용성을 검토하였다. 반강접성을 고려하여 구조해석을 수행하여 경제적이고 효율적인 단부고정도는 0.6임을 확인하였으며, 선행연구 결과 및 해외 설계기준을 참고하여 접합부의 반강접성을 평가하였다. 현장 적용의 현실성과 시공성을 고려하여 하부플랜지가 단순화된 합성 반강접상세를 제안하였으며 결과를 요약하면 아래와 같다.

- (1) 기본모듈 9 m × 9 m 지하주차장의 구조해석 결과 강접합의 경우는 단부대비 중앙부 휨모멘트 비가 2.0배인 반면, 고정도 0.6인 반강접을 고려할 경우 단부와 중앙부 휨모멘트 값의 차이가 거의 없으며, 이 값은 가장 효율적인 부재설계를 위한 고정도 값을 알 수 있다.
- (2) 합성기둥-H형강 철골보 접합부에서 반강접을 고려할 경우, 보의 중앙부는 H형강 노출형 합성보로, 단부는 합성 반강접 설계를 적용하여 철골보의 물량이 강접합 대비 약 15 % 절감되었다 (철근물량 제외).
- (3) 구조해석 시 가정한 단부고정도 값은 부재설계에 의해 산정된 단면강성과 접합부 회전강성을 통해 산정한 결과 0.6 이상의 값이 산정됨을 확인하였으며, 선행연구 실험결과에서도 고정도 0.6 이상의 값을 확보하는 것을 확인하였다.
- (4) 합성 반강접 상세 설계에서 휨모멘트강도 값에 영향을 주는 철골보의 웨브두께와 슬래브 보강근량에 따른 모멘트 강도의 변화를 검토한 결과 철골보 춤이 동일한 조건이라면 웨브두께보다는 슬래브 보강근량에 따른 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

상기 결과와 같이 합성기둥-철골보 접합부에 합성 반강접 상세를 적용할 경우 보다 효율적인 부재설계를 할 수 있으며 접합부의 용접을 최소화함에 따라 시공성을 개선할 수 있으므로 실무 적용에 효과적일 것으로 판단된다. 하지만 현실적인 실무 적용을 위해서는 접합부 고정도에 대해 더 다양한 방법의 객관적인

검증이 필요하고, 따라서 추가적인 실험적 연구 및 접합부 설계를 위한 기준과 이론적인 체계 정립이 필요한 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 2021년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 기초연구실지원사업(NRF-2021R1A4A1031201)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌(References)

- [1] Kim, J.-W. (2002) *A Study on the Structural Analysis and Optimum Design for Steel Frames with Semi-Rigid Connections*, Master's Thesis, Kyungil University, Korea (in Korean).
- [2] Kim, J.S. (2003) An Analytical Study of the Behavior of Steel Frames with Semi-Rigidity Beam-to-Column Connections, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.15, No.5, pp.551-559 (in Korean).
- [3] Park, S.-H. (2004) *A Study on the Structural Capacities for CFT Square Column-to-Beam Partially Restrained Composite Connections*, Master's Thesis, University of Seoul, Korea (in Korean).
- [4] Park, Y. (2010) *A Study on Implementation of Partially Restrained Composite Beam-to-Square CFT Columns to Structural Design*, Ph.D. Dissertation, University of Seoul, Korea (in Korean).
- [5] Choi, W.-G., Kim, H.-G., and Heo, M.-J. (2010) A Study on the Appropriate End-Fixity Rate of Semi-Rigid Connection by Vertical Load, *Proceedings of Annual Conference Architectural Institute of Korea*, AIK, pp.145-146 (in Korean).
- [6] Heo, M.J., Kim, H.G., and Choi, W.G. (2011) A Study on the Simple Design Method of Semi-Rigid Connection with Angle in Steel Structure, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.23, No.3, pp.261-273 (in Korean).
- [7] Lee, J. (2013) *A Study on the Structural Capacities for CFT Square Column-to-Beam Partially Restrained Composite Connections*, Master's thesis, University of Seoul, Korea (in Korean).
- [8] Leon, R.T., Hoffman, J.J., and Staeger, T. (1996)



- Partially Restrained Composite Connections: Load and Resistance Factor Design (Steel Design Guide Series 8)*, America Institute of Steel Construction, USA.
- [9] European Committee for Standardization (2002) *Eurocode 3: Design of Steel Structures, Part 1.8: Design of Joints* (EN 1993-1-8: 2004), Belgium.
- [10] European Committee for Standardization (2004) *Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Building* (EN 1994-1-1: 2004), Belgium.
- [11] ASCE Task Committee on Design Criteria for Composite Structure in Steel and Concrete (1998) Design Guide for Partially Restrained Composite Connections, *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol.124, No.10, pp.1099-1144.
- [12] Leon, R.T., and Zandonini, R. (1992) *Steel Design: An International Guide*, Composite Connections, Elsevier, UK, pp.501-522.
- [13] Choi, S.M., Park, S.H., Park, Y.W., and Kim, J.H. (2005) Monotonic Loading Test for CFT Square Column-to-Beam Partially Restrained Composite Connection, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.17, No.3, pp.325-335 (in Korean).
- [14] Choi, S.-M., Park, S.-H., Park, Y.-W., and Kim, J.-H. (2005) Hysteresis Behavior for CFT Square Column-to-Beam Partially Restrained Composite Connections, *Journal of the Architectural Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.21, No.6, pp.25-32 (in Korean).
- [15] Kim, S.-H., Bang, J.-S., Park, Y.-W., and Choi, S.-M. (2012) The Structural Economical Efficiency Evaluation of Partially Restrained Composite CFT Column-to-Beam Connection, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.24, No.1, pp.109-117 (in Korean).

---

**요 약**: 본 연구에서는 수직하중을 받는 역타구조물 접합부의 반강접 상세 적용을 위해 합성 반강접 설계의 실무 적용성을 검토하였다. 반강접성을 고려한 구조해석을 수행하여 경제적이고 효율적인 단부고정도는 0.6임을 확인하였으며, 선행연구 결과 및 해외 설계기준의 이론식을 활용하여 접합부의 반강접성을 평가하였다. 현장 적용의 현실성과 시공성을 고려하여 하부플랜지가 단순화된 합성 반강접상세를 제안하였으며, 역타기둥-철골보 접합부의 합성 반강접 설계 시 모멘트 강도의 영향요소를 검토하였다.

**핵심용어**: 합성 반강접 상세, 역타공법, 용접 최소화, 접합부 단순화, 단부고정도

---