

# 강구조에서 $\gamma$ 형강을 이용한 반강접 접합의 간편 설계

## A Study on the Simple Design Method of Semi-Rigid Connection with Angle in Steel Structure

허 명 재<sup>1)</sup> · 김 홍 근<sup>2)</sup> · 최 원 구<sup>3)</sup>  
Heo, Myong Jae · Kim, Hong Geun · Choi, Won Gu

**요 약 :** 최근에는 건축물의 대형화, 고층화라는 시대적인 흐름과 요구로 인해서 철골 구조의 수요가 급증하고 있다. 일반적인 철골 구조의 해석은 접합부를 강접합과 단순접합으로 가정하여 수행되고 있는데, 강접합(Fixed connection)의 경우에는 절점에 연결된 각 부재의 변형 전 상대적인 각도가 변형 후에도 그대로 유지된다고 가정하므로 접합부가 충분한 강성을 발휘하고 안정성을 확보하도록 패널존 부분에 스티프너로 보강을 한다. 하지만 인건비 상승과 함께 강접 접합부의 제작비가 과도해짐으로 경제성 측면에서 스티프너 보강을 생략한 접합부의 필요성이 증가하고 있다. 반면, 단순접합(Pinned connection)의 경우에는 단순보처럼 거동하여 보와 기둥 사이에 휨모멘트가 전달되지 않는다고 가정한다. 이는 공장제작이 간단하고, 시공이 간편한 장점이 있으나 접합부에서 모멘트를 전달할 수 없어서 구조적인 효율이 떨어지는 단점이 있다. 반강접의 도입은 단면치수 결정의 효율성을 증대하고, 현장에서의 부재조립 용이성, 골조 전체의 안전성 확보 등의 이점이 있어서 외국의 경우, 보-기둥 접합부의 실제적인 거동을 파악하기 위해서 지속적인 노력을 해왔고 그 결과를 규준에 적용하고 있다. 본 논문은 미국 AISC의 LRFD 설계규준을 참고하여 국내 강재를 적용한 반강접의 구조해석을 실시해서 각 강재에 대한 자료은행을 만들 것이고 이상화된 접합부의 구조해석 결과와 비교하여 경제성 측면, 단부 고정계수, 회전강성과 함께 반강접을 고려한 구조물의 설계 방안을 제시 하고자 한다.

**ABSTRACT :** Recently, the demands for steel frame are increasing because of the trend and due to the demand for bigger and higher buildings. In the analysis of typical steel frame, connections are based on the idealized fixed or pinned connection. A fixed connection assumes that the relative angle of each member before deformation is the same after the transformation. Therefore, the stiffener reinforces the connection to sufficient rigidity and stability of the panel zone. In the economical aspect, however, the necessity of connection that the stiffener reinforcement has omitted is increasing due to the excessive production as well as labor costs of connection. In contrast, pinned connection is assumed that bending moments between the beams and columns do not transfer to each member. This is easy to make in the plant and the construction is simple. However, the structural efficiency is reduced in pinned connection because connection cannot transfer moments. The introduction of this semirigid process can decide efficient cross-sectional dimensions that promote ease in the course of structural erection, as performed by members in the field—a call for safety in the entire frame. Therefore, foreign countries exert efforts to study the practical behavior and the results are applied to criterion. This paper analyzes the semirigid connection of domestic steel by design specifications of AISC/LRFD and make data bank that pertain to each steel. Afterwards, the results are compared to those of idealized connection; at the same time, this paper presents a design method that matches economic efficiency, end-fixity, and rotational stiffness.

**핵심용어 :** 반강접 접합부, 철골 구조물,  $M-\theta$  곡선, 단부 구속, 회전 강성

**KEYWORDS :** semi-rigid connection, steel frame,  $M-\theta$  curve, end-fixity, rotational stiffness

### 1. 서론

일반적으로 철골구조는 보와 기둥의 접합에 의해 구성되는

구조물이다. 이러한 접합은 구조물 즉, 기둥과 보에 작용하는 접합부의 모멘트 회전변형에 따라 강접, 반강접, 그리고 단순 접합으로 분류된다. 현 국내에서는 보와 기둥의 접합형태를

1) 인천대학교 건축공학과 교수(myong@incheon.ac.kr)  
2) 인천대학교 건축공학과 박사수료, (주)STMeng 대표이사(khkong@lycos.co.kr)  
3) 교신저자. (주)센구조연구소  
(Tel: 02-2629-3164, Fax: 02-2629-3108, E-mail: wg\_choi@hanmail.net)

본 논문에 대한 토의를 2011년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

브라켓 이음이 주로 사용되는 강접과 거세트 형태가 주로 사용되는 단순접합만으로 이원화하여 설계, 시공되고 있는데, 브라켓 이음의 경우 기둥에 브라켓을 용접하는 제작공정이 복잡하고 용접검사 및 용접열에 의한 변형교정 작업이 수반되어야 하며 운반 및 양중시의 제약 등이 있다. 거세트 형태의 경우는 공장제작이 간단하고 시공시 간편하지만 접합부에서 모멘트를 전달할 수 없어서 구조적 효율이 떨어지는 단점이 있다. 이와 같이 이원화된 접합은 해석과 설계에 있어서 단순함과 편리성을 제공하지만 구조물의 전체거동을 실제로 나타내지는 못한다.

실제의 모든 철골 보-기둥 접합부는 작용하중에 대하여 강접합은 어느 정도의 접합부 부재간의 상대적인 회전각이 발생하고 단순접합도 어느 정도의 모멘트 전달과 회전 구속력을 갖고 있기 때문에 반강접(Semi-Rigid) 접합의 도입은 단부 모멘트를 중앙부로 재분배하여 단면치수 결정에 효율성을 증대하고, 현장에서의 부재조립 용이성, 골조 전체의 안전성 확보 등의 이점을 갖게 된다.

우리나라는 반강접에 대해서 김종성(2003)은 반강접 접합부를 갖는 강골조의 거동에 대해서 해석적 연구를 했고, 문태섭 등은 2-parameter log model을 볼트 접합된 반강접 접합부에 적용하여 제안하기도 했는데, 이와 같이 국내에서의 연구는 반강접 접합부 거동 이해를 위한 제한된 연구 결과가 대부분이며 국내에서 생산되고 있는 부재로 제작된 다양한 접합부 형태에 대한 축적된 자료를 찾아보기가 힘든 실정이다. 결국, 구조 실무에 적용하거나 응용할 수 있는 반강접 접합의 효과를 고려한 골조 해석 및 부재 설계에 관한 연구는 아직 부족하다고 할 수 있다.

외국의 경우 보-기둥 접합부의 실제적인 거동을 파악하기 위해 1910년대 이후부터 계속적인 노력을 해오고 있다. 1917년 Illinois 대학의 Young과 Wilson & Moore는 리벳 접합을 가지고 최초로 철골 접합부의 고정도 평가에 대한 실험을 실시하였고 이것을 시작으로 Baker(1934), Rathbun(1936), Johnston & Hechtman(1940) 등에 의해서 실험되기도 하였다.

Goverdhan(1983), Nethercot(1985), Kish & Chen(1986), 그리고 Gerardy 와 Schleich(1991), Weinand(1982)은 보-기둥 접합부에 대한 실험 자료를 수집하여 자료 은행을 만들기도 하였으며, 접합부에 대한 회전강성과 모멘트능력을 평가하는데 있어서 직접 실험에 의한 방법이 가장 정확하겠지만 여러 근사적인 이론 방법이 제시되어왔고 그 중 Frye와 Morris(1975)는 모멘트-회전각 곡선 거동을 잘 나타낸 다항함수 모델을 제안하였다. 또한 지수형태(Chen and Kishi, 1986), 멱급수 모형(Chen and Kishi,

1987)들이 제시 되었고, 3개(Colson, 1980) 또는 4개(Ang and Morris, 1984)의 매개변수를 이용한 방법들이 제시되기도 하였다. Rigid와 flexible한 요소들을 한데 묶어서 스프링으로 모델링한(Chmielowiec and Richard, 1987) mechanical model들도 있고 용접된 보-기둥 접합부에 대해서는 충분히 정확하게 표현(Patel and Chen, 1984)되는 finite element model등이 있다. 몇 년 전에는 판 이론을 이용한 방법(M.Mofid, M.Ghorbani Asl and McCabe, 2001)이 등장하기도 하였다.

외국의 기준을 보면, AISC-ASD에서는 세가지 접합형태(Rigid, Simple, Semi-rigid)를 규정하고 있고, AISC-LRFD에서는 FR(Fully Restraint)형과 PR(Partially Restraint)로 구분하여 반강접을 규정하고 있다.

본 연구에서는 구조물에 연직하중 작용 시, 강접과 단순접합의 이원화된 국내 해석과 반강접을 고려한 구조물의 해석을 국내 강재에 적용 할 것이다. 미국 AISC의 LRFD 설계 기준을 참고하여 반강접에 대한 TSDW(Top & Seat Angle with Double Web Angle)접합부의 모멘트-회전각 곡선을 구해서 구조해석 모델의 회전강성을 구하고, 이 값을 토대로 강성행렬법을 이용한 해석프로그램상의 수치해석을 실시한다. 그리고 나서 상용 프로그램인 MIDAS를 통한 기존의 이상화된 접합부의 골조해석을 반강접 접합의 수치해석과 비교, 검토하여 접합부의 반강접성이 강골조의 내력에 미치는 영향을 파악하고자 한다. 여기서 TSDW접합부를 적용한 이유는 그림 1에서 볼 수 있듯이 T-Stub 접합은 단부 고정계수가 70%의 상위에 있어서 강접에 가까운 거동을 하기 때문이고 다른 접합형태들도 단부 고정계수가 너무 낮거나 높다는 이유에서 TSDW접합부가 가장 용이하다고 판단했기 때문이다. 최종적으로는 해석상의 수치를 적용하여 설계할 경우 반강접을 고려한 구조물의 적정 단부 고정계수와 그때의 단부 회전강성, 경제성 측면을 비교 검토하여 반강접을 고려한 구조물의 설계 방안을 제시하고자 한다.

단, 본 연구과정에서는 반강접에 따른 접합부의 회전구속 능력이 강접합에 비해서 감소되는 것으로 확인되었기에 횡력에 대한 저항은 가새골조 또는 전단벽에 의해 지지된다고 가정했고, 그래서 연직하중만을 고려한 중력저항시스템으로 연구를 수행했다.

## 2. 반강접 접합부

### 2.1 반강접 접합부의 거동 특성 및 분류

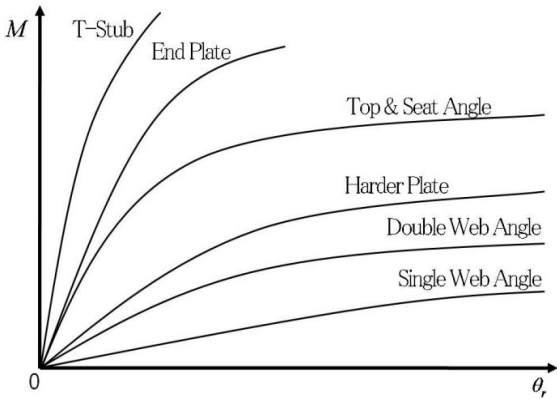


그림 1. 접합부 모멘트-회전각 곡선

그림 1은 접합 형태에 따른 모멘트 회전각 곡선을 나타낸다. 모든 접합 형태는 완전 강접합을 나타내는 y축과 단순 접합을 나타내는 x축 사이에 있다. Single Web Angle의 경우는 매우 유연한 거동양상을 나타내고 반대로 T-Stub는 강접합에 가까운 양상을 나타낸다. 여기서 모든 보-기둥 접합부의 모멘트-회전각 관계는 완전 강접합과 완전 단순 접합사이에 있다는 것을 알 수 있다. 이 두 접합부 사이의 모멘트 저항 능력을 가진 반강접 접합부에 대한 분류는 대표적으로 AISC 표준과 Eurocode 3 표준이 있다.

2.1.1 회전변형 구속정도에 따른 분류(AISC 기준)

AISC기준에서는 보-기둥 접합부의 휨모멘트에 대한 회전 변형 구속 정도에 따라 분류한다.

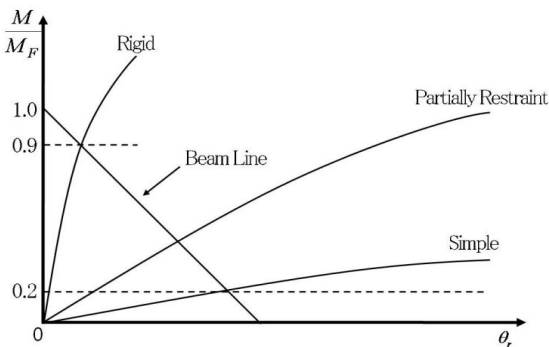
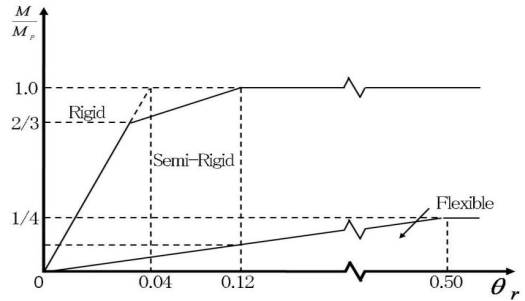


그림 2. AISC 기준에 의한 분류

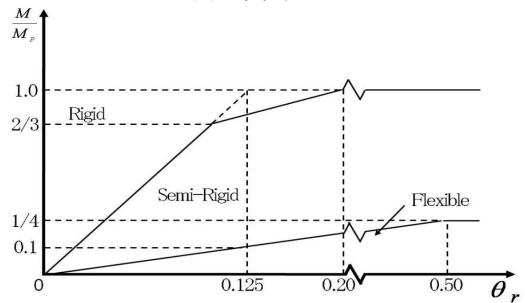
Beam Line은 양단 고정정보의 단부 모멘트  $M_F$ 와 단순보의 회전각을 연결한 직선이다. 강접합부는 휨모멘트에 대한 회전변형 고정계수가 90%이상인 접합부이며, 단순 접합부는 회전변형 고정계수가 20%이하인 접합부를 말한다. 반강접 접합부는 단부 휨모멘트에 대한 회전변형 구속정도가 20~90% 사이에 있는 접합부를 말한다. 설계 매뉴얼에서는 반강접 접합의 이용에 관한 방법만이 소개되어 있고 접합부 형식에 따른 강도 및 강성도에 관한 내용은 주어지지 않고 있다.

2.1.2 보의 기준길이에 따른 분류(Eurocode 3)

시스템 Eurocode 3은 보 기준 길이에 대한 접합부를 강도, 강성, 연성을 고려하여 분류하였으며 접합부 경계를 제시하기 위해서 접합부의 유효 길이를 제시하고 있다. 구조물 전체의 강도를 고려하기 때문에 구조시스템의 전반적인 계획 및 부재 상세를 알고 있으면 합리적인 분류가 가능하지만 요구되는 연성도가 명시되어 있지 않다.



(a) 비가새 골조



(b) 가새 골조

그림 3. Eurocode 3에 의한 분류

보의 소성모멘트에 대해 접합부의 모멘트를 무차원화 시키므로 Eurocode 3은 극한강도 한계상태(Ultimate Strength Limit State)와 사용성 한계상태(Serviceability Limit State) 각각에 적합한 기준을 제시하였으며, 사용성 한계상태는 변형과 회전강성을 고려했고, 극한강도 한계상태 기준은 부재의 강도 결정과 관련한다. 보-기둥 접합부는 실제로 비선형 거동을 나타내지만 기준 활용의 편리성과 두 한계상태의 동시 고려를 위해 선형화시켜 사용하고 있다.

2.2 반강접 접합부 모델링

접합부의 모델링은 Kishi와 Chen의 Three-Parameter Power Model을 적용하는데 초기 접합부 강성( $R_{ki}$ ), 접합부 모멘트 극한 강도( $M_u$ ), 형상계수( $n$ )로 이루어져 있으며 지수 함수를 이용하여 모멘트-회전각 거동을 모델링하였다. 이러한 Power Model은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M = \frac{R_{ki} \cdot \theta_r}{\{1 + (\theta_r/\theta_0)^n\}^{1/n}} \quad (1)$$

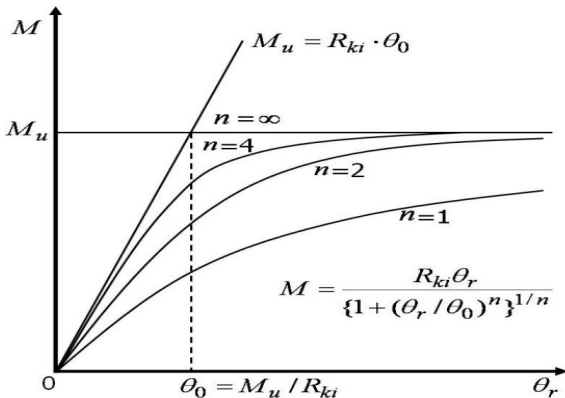


그림 4. Three-Parameter Power Model의 형상계수

### 2.3 반강접 접합부의 회전강성

#### 2.3.1 접합부의 회전강성 산정배경 및 과정

그림 9의  $M-\theta$  곡선에서 x축과 y축은 각각 이상화된 단순 접합과 강접합을 나타낸다. 그러므로 반강접 접합은 x축과 y축 사이에 존재하는 경우이다. 접합부 곡선의 초기 접선 회전강성인  $R_{ki}$ 는 실제 구조물의 거동보다도 높게 해석되기 때문에 그 감소 효과를 고려하기 위해서, 이상화된 고정단 상태의 모멘트와 회전단 상태의 회전각 사이를 연결한 Beam Line과 식(1)에 의한 접합부 곡선이 교차되는 점을 원점과 연결해서 회전 강성  $R_{kb}$ 를 사용한다. Beam Line의 산정은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

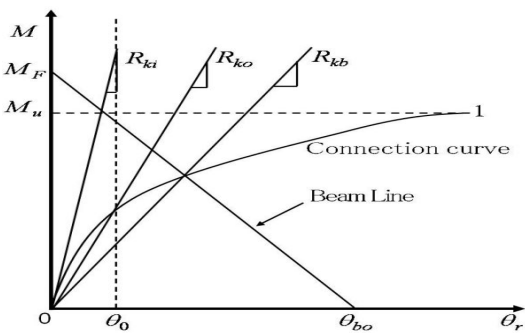


그림 5. 접합부의 회전 강성

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

여기서,

$$M_F = wL^2/12 \text{ (등분포하중인 경우)}$$

$$\theta_{bo} = wL^3/24EI \text{ (단부가 편일때의 회전각)}$$

$$EI/L = \text{보의 휨강성}$$

#### 2.3.2 반강접 접합부의 단부 고정계수

##### 1) 단부 고정계수의 개념

접합부는 전단력과 휨모멘트를 한 부재에서 다른 부재로 전달하는 매개체로서, 휨모멘트에 의한 회전변형이 가장 중요한 인자로 고려된다. 접합부의 형태별 회전강성 R값에 의해 보-기둥간의 상대적인 각도와 휨모멘트가 발생하는데 반강접 접합의 해석에는 구속력에 따라 발생된 휨모멘트에 의해서 상대적인 각 변화를 방지하기 위한 값으로 20~90% 사이를 갖는다고 가정한다. 일반적인 반강접 접합부의 모멘트-회전 관계를 그림 5와 같이 도식 할 수 있는데 매우 유연한 접합은 단순 접합( $r_i=0$ )을 나타내고 반대는 강접합( $r_i=1$ )이다. 그림 3에서 Single Web Angle 접합부( $r_i=0.2$ )는 매우 유연한 단순 접합 거동 양상을 나타내고, T-Stub 접합부( $r_i=0.9$ )는 강접합 거동 양상을 보인다.

##### 2) 단부 고정계수의 산정

2.3.1에서 구한  $R_{kb}$ 를 바탕으로 단부 고정계수를 구할 수 있다. 아래의 그림으로부터 단부 고정계수의 산정 과정은 다음과 같다.

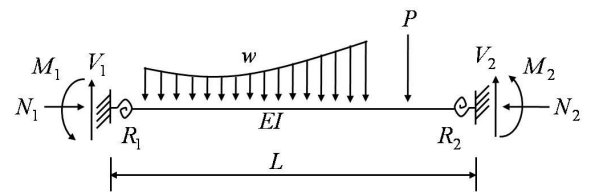


그림 6. 반강접 접합부 모델

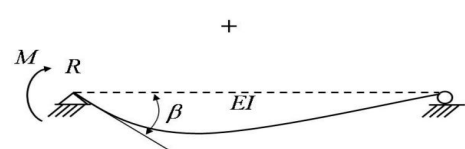
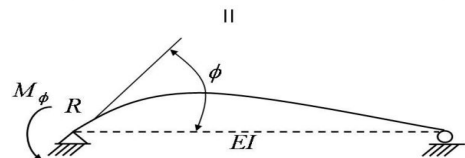
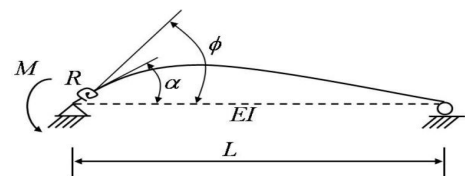


그림 7. 단부 고정계수에 의한 처짐

5) 부록. 1 참조

$$M_\alpha = R_i \cdot \alpha \Rightarrow \alpha = \frac{M_\alpha}{R_i} \quad (3)$$

$$\frac{M_\alpha}{R_i} = \phi - \frac{M_\alpha \cdot L}{3EI} \quad (4)$$

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

$$\frac{M_\alpha}{M_\phi} = \frac{1}{\left[ 1 + \frac{3EI}{R_i \cdot L} \right]} = r_i \quad (\text{단부 고정계수}) \quad (6)$$

여기서,

$\phi$  = 접합부의 회전 강성이 0 일 때, 즉 회전단 일 때의 회전각.

$\beta$  = 접합부의 회전강성 R값에 의해 감소되는 회전각.

$\alpha$  = 반강접을 고려했을 때의 단부 회전각. ( $= \phi - \beta$ )

$$\phi = \frac{M_\phi \cdot L}{3EI} \quad (\text{회전단 일 때의 단부 회전각})$$

결과적으로,  $r_i=1$  일 때,  $M_\alpha = M_\phi$  이므로 고정단.

$r_i=0$  일 때,  $M_\alpha = 0$  이므로 회전단.

따라서,  $0 < r_i < 1$  일 때, Semirigid connection 이고, 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$r_i = \frac{1}{1 + 3EI/R_i L} \quad (7)$$

여기서,  $r_i$  = 단부 고정계수

$$i = 1, 2$$

$R_i$  = 접합부 스프링강성 (=  $R_{kb}$ )

### 2.3.3 접합부 강재의 회전강성 범위

강접해석의 경우 단부에 발생된 모멘트에 의해서 부재가 결정되는데, 가장 이상적인 경우는 단부와 중앙부(합성효과)의 휨모멘트 모두에 의해서 결정되는 것이다. 반강접을 적용한 구조물은 그 두 가지 경우 사이에 있다고 보고 표 1과 같이 각 강재의 단부 최대 모멘트에 의한 하중값으로 반강접 해석된 경우와 표 2와 같이 단부와 중앙부의 휨모멘트 모두에 의한 하중값으로 반강접 해석을 할 수 있는 프로그램을 Matlab 을 통해서 만들었다. 그 결과를 자료은행으로 만들었고, 자료은행을 보는 방법은 다음 그림과 같다. 단, 합성보의 경우 슬래브 두께 150mm, 데크는 골 없는 데크를 사용했고 해석은 상용프로그램인 MIDAS사의 set을 사용했다.

극한모멘트  
조기회전강성  
조기회전각  
형상계수  
Rkb 산정시의 모멘트  
Rkb 산정시의 회전각  
산정된 Rkb  
Rkb에 의한 단부구속도  
등분포 하중

강재 종류  
웨브의 볼트 개수

tt-ts	bolt	H-496x199				
		web bolt				
		3	4	5	6	
9	M20	Mu	133.8029627	152.7865222	170.7603233	187.724366
		Rki	70779.10896	79586.5725	88394.03605	97201.4996
		$\theta_o$	0.00189043	0.001919753	0.001931808	0.001931291
		n	0.827	0.832976851	0.836777678	0.836615058
		M_r	103.4973689	116.5553978	128.2232446	138.5331065
		$\theta_r$	0.0108	0.01	0.0092	0.0085
		Rkb	9583.089713	11655.53978	13937.3092	16298.01253
		r	0.303448726	0.346344338	0.387849818	0.42558544
		W	21.86666667	21.86666667	21.86666667	21.86666667

그림 8. 반강접 접합부의 자료은행 표

표 1. 반강접 접합부 조건에 따른 강재별 해석 결과(단부, 중앙부 모두 기준) (단위 : kN,m)

tt (=ts)	bolt	H-588x300			H-700x300		
		web bolt			web bolt		
		4	5	6	6	7	
15	M24	Mu	428.51963	450.9285	472.32766	561.13054	586.58859
		Rki	697475.12	713715.037	729954.94	1026064.13	1048897.03
		$\theta_o$	0.0006143	0.0006318	0.0006470	0.0005468	0.0005592
		n	0.827	0.827	0.827	0.827	0.827
		M_r	393.61218	412.39105	430.31184	514.04156	535.58144
		$\theta_r$	0.0146	0.0141	0.0137	0.0125	0.0122
		Rkb	26959.73	29247.592	31409.624	41123.32	43900.118
		r	0.3032259	0.320705	0.3364369	0.28042137	0.2937934
		W	82.944444	82.944444	82.944444	116.17222	116.17222

\* 등분포하중은 강재 단부 최대모멘트에 의해 구해진 값 적용

표 2. 반강접 접합부 조건에 따른 강재별 해석 결과(단부 기준) (단위 : kN,m)

tt (=ts)	bolt	H-588x300			H-700x300		
		web bolt			web bolt		
		4	5	6	6	7	
15	M24	Mu	428.5196	450.9285	472.32766	561.13054	586.58859
		Rki	697475.12	713715.03	729954.94	1026064.13	1048897.03
		$\theta_o$	0.0006143	0.0006318	0.0006470	0.0005468	0.0005592
		n	0.827	0.827	0.827	0.827	0.827
		M_r	363.46419	377.78808	391.52815	478.97489	496.02154
		$\theta_r$	0.0063	0.0059	0.0056	0.0059	0.0056
		Rkb	57692.73	64031.879	69915.741	81182.185	88575.276
		r	0.4822084	0.5082626	0.5302039	0.4348101	0.4563377
		W	51.916666	51.916666	51.916666	74.333333	74.333333

\* 등분포하중은 강재 단부와 중앙부 최대모멘트합을 w^2/8s에 의해 구해진 값 적용

강재 시리즈 H-500x200, H-600x200, H-600x300, H-700x300, H-800x300, H-900x300에 대한 강재별 최대 단부 모멘트와 합성보 효과를 적용한 중앙부 최대 모멘트에 대한 표는 다음과 같다.

표 3. 강재별 최대 모멘트

	강재 종류	단부/중앙	최대모멘트	
H-500X200	H-496X199	EM	262.4	
		MM	417.5	
	H-500X200	EM	297.0	
		MM	468.4	
	H-506X201	EM	346.8	
		MM	542.8	
H-600X200	H-596X199	EM	331.0	
		MM	552.7	
	H-600X200	EM	401.0	
		MM	617.6	
	H-606X201	EM	463.3	
		MM	709.3	
H-600X300	H-582X300	EM	549.6	
		MM	804.4	
	H-588X300	EM	623.0	
		MM	870.0	
	H-594X302	EM	716.2	
		MM	1028.7	
H-700X300	H-692X300	EM	771.9	
		MM	1098.3	
	H-700X300	EM	892.0	
		MM	1199.1	
	H-800X300	H-792X300	EM	996.1
			MM	1390.1
H-800X300		EM	1133.0	
		MM	1490.3	
H-900X300		H-890X299	EM	1204.3
			MM	1678.5
	H-900X300	EM	1418.0	
		MM	1902.0	
	H-912X302	EM	1696.4	
		MM	2289.5	

반강접 해석시 강재의 등분포하중에 따른 Beam Line과  $R_{kb}$  범위는 그림 9의 점 A, B 사이로 볼 수 있다. 이때 그림 9의 확대된 그림에서 볼 수 있듯이 점A, B를 직선화시켜도 무방한 것으로 나타났고 강접 해석일때의 하중값으로 반강접 해석에 적용할 경우, 하중에 따른 직선 C와의 교점을 찾아  $\theta_r$ ,  $R_{kb}$ ,  $r$ 값을 각각 식 (9), (10), (7)를 통해서 구할 수 있다. 그림 9에서 A점과 B점은 각각 반강접 해석시 결정되는 강재의 강접 해석시 단부 휨모멘트에 의한  $w$  값에 대한 Beam Line과의 교차점과, 단부와 중앙부(합성보) 휨모멘트 동시에 의한  $w$  값에 대한 Beam Line과의 교차점이다. 점A, B의 좌표들은 각각 표 1과 표 2의  $M_r$ 과  $\theta_{r}$ 값들이다.

표에서의  $M_r$ 과  $\theta_r$ 은  $R_{kb}$ 가 결정되는 부분의 모멘트와 회전각을 의미한다.

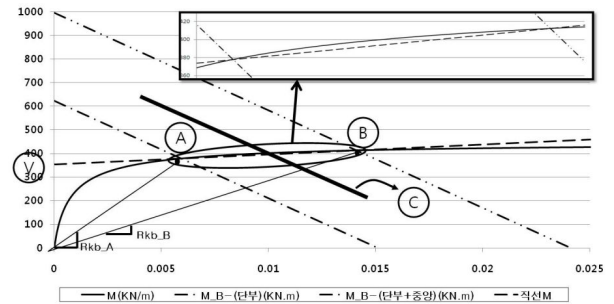


그림 9. 접합부 강재의 회전강성 범위

식 (9)은 A점과 B점의 기울기 S와 그에 따른 변수 V로 이루어진 점 A, B직선에 대한 식이다.

$$M = S \cdot \theta_r + V \tag{8}$$

$$\theta_r = \frac{\left(\frac{wl^2}{12} - V\right)}{\left(S + \frac{2EI}{l}\right)} \tag{9}$$

$$R_{kb} = S + \frac{V}{\theta_r} \tag{10}$$

A점과 B점의 기울기 S와 그에 따른 변수 V로 이루어진 강재 각각의 자료은행 중 일부가 다음 표와 같다.

표 4. 반강접 접합부 조건에 따른 강재별 직선 기울기 및 변수 (단위 : kN,m)

tt=	ts	bolt	구 분	H-588x300		
				web bolt		
				4	5	6
15	M20	S(기울기)	3676.549868	4257.190231	4817.35863	
			V(M)	317.5193213	329.1850515	340.3935707
	M24	S(기울기)	3632.287571	4219.873706	4788.110436	
			V(M)	340.5807879	352.8908315	364.7147359

지금까지의 설명을 토대로 표 3과 표 4의 자료 은행 전체, 그리고 식 (7), (9), (10)을 사용해서 강접 해석시 결정된 강재가 반강접 접합을 적용했을 경우 어느 강재로 변경 될 수 있는지, 그리고 변경될 경우 단부 고정계수는 어느 정도 인지를 범위로 나타낸 자료은행이 다음 표와 같다. 하중은 강접 해석시의 단부 최대 하중을 사용했다. 실제로 강접 해석시 큰 차이를 보이지 않는 하중에 대해선 반강접 해석시 같은 강재가 선택되기도 한다.

표 5. 반강접 해석에 따른 단부 고정계수 범위

강접 해석시 강재	반강접으로 해석시 결정된 강재	단부 고정계수( $r$ )의 범위
H-500x200	H-496x199	0.269 ~ 0.683
H-506x201	H-496x199	0.234 ~ 0.604
	H-500x200	0.233 ~ 0.608
	H-596x199	0.271 ~ 0.741
H-596x199	H-496x199	0.244 ~ 0.626
	H-500x200	0.243 ~ 0.634
H-600x200	H-496x199	0.206 ~ 0.543
	H-500x200	0.204 ~ 0.536
	H-506x201	0.203 ~ 0.541
	H-596x199	0.237 ~ 0.660
H-606x201	H-500x200	0.180 ~ 0.478
	H-506x201	0.178 ~ 0.472
	H-596x199	0.208 ~ 0.594
	H-600x200	0.208 ~ 0.602
H-582x300	H-506x201	0.154 ~ 0.407
	H-596x199	0.180 ~ 0.531
	H-600x200	0.178 ~ 0.520
	H-606x201	0.177 ~ 0.522
H-588x300	H-600x200	0.160 ~ 0.471
	H-606x201	0.158 ~ 0.465
	H-582x300	0.186 ~ 0.544
H-594x302	H-606x201	0.140 ~ 0.412
	H-582x300	0.163 ~ 0.476
	H-588x300	0.163 ~ 0.478
H-692x300	H-606x201	0.131 ~ 0.387
	H-582x300	0.153 ~ 0.445
	H-588x300	0.152 ~ 0.445
	H-594x302	0.152 ~ 0.449
H-700x300	H-582x300	0.135 ~ 0.393
	H-588x300	0.134 ~ 0.388
	H-594x302	0.133 ~ 0.388
	H-692x300	0.153 ~ 0.486
H-792x300	H-594x302	0.120 ~ 0.348
	H-692x300	0.139 ~ 0.437
	H-700x300	0.138 ~ 0.439
H-800x300	H-594x302	0.108 ~ 0.309
	H-692x300	0.124 ~ 0.389
	H-700x300	0.123 ~ 0.387
	H-792x300	0.137 ~ 0.468
	H-800x300	0.129 ~ 0.444
H-890x299	H-692x300	0.117 ~ 0.368
	H-700x300	0.116 ~ 0.365
	H-792x300	0.130 ~ 0.441
	H-800x300	0.129 ~ 0.444
H-900x300	H-800x300	0.111 ~ 0.378
	H-890x299	0.123 ~ 0.435
H-912x302	H-800x300	0.095 ~ 0.320
	H-890x299	0.105 ~ 0.367
	H-900x300	0.104 ~ 0.366

2.4 반강접(Semi-Rigid)을 고려한 수정 강성 행렬

구조물 전체 강성행렬을 직접 형성함으로 컴퓨터 프로그래밍 위주로 전개한 방법이 직강성도법인데, 반강접 접합부를 가진 부재의 강성행렬을 구하는 방법 중에 하나가 공액보법에 의한 방법이다. 다음 그림을 참고한 공액보법에 의해 유도된 강성 행렬은 다음과 같다.

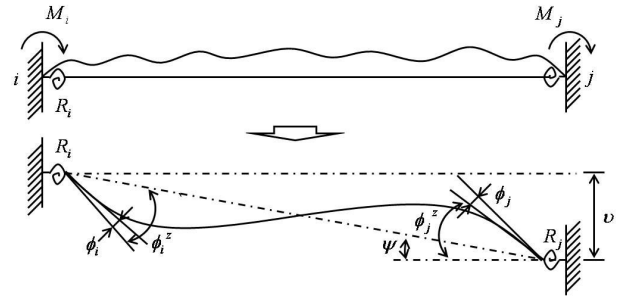


그림 10. 등분포 하중시의 부분 고정단 보

$$k_i^{sr} = S_i \cdot C_{e-i} \tag{11}$$

여기서,  $S_i$ 는 Rigid Frame의 강성 행렬.

$C_{e-i}$ 는 Semi-rigid의 연성능력을 고려한 수정강성행렬.

$$S_i = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 \\ 0 & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 \\ \text{sym} & & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 \\ & & & & \frac{4EI}{L} & 0 \end{bmatrix} \tag{12}$$

$$C_{e-i} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{4r_2 - 2r_1 + r_1 r_2}{4 - r_1 r_2} & \frac{-2Lr_1(1 - r_2)}{4 - r_1 r_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{6(r_1 - r_2)}{L(4 - r_1 r_2)} & \frac{3r_1(2 - r_2)}{4 - r_1 r_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{4r_1 - 2r_2 + r_1 r_2}{4 - r_1 r_2} & \frac{2Lr_2(1 - r_1)}{4 - r_1 r_2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{6(r_1 - r_2)}{L(4 - r_1 r_2)} & \frac{3r_2(2 - r_1)}{4 - r_1 r_2} \end{bmatrix} \tag{13}$$

여기서,  $A$  = 단면적

$I$  = 단면 2차 모멘트

$L$  = 부재 길이

3. 반강접 접합부를 고려한 구조물의 설계 및 해석

본 연구에서의 구조물 해석은 Kishi와 Chen의 Three-Parameter Power Model을 이용한 반강접의  $M-\theta$ 곡선과 Beam-Line이 교차되는 위치의  $R_{kb}$ (접합부 스프링 강성)값, 그리고 그 이외의 값들을 그림 8과 같이 미리 자료은행을 만들어서 강접에 의한 해석을 반강접으로 쉽게 바꿀 수 있음을 보이하고자 한다.

### 3.1 반강접 접합 구조물의 해석 절차

구조물 해석에 있어서 절차는 다음의 그림과 같다.

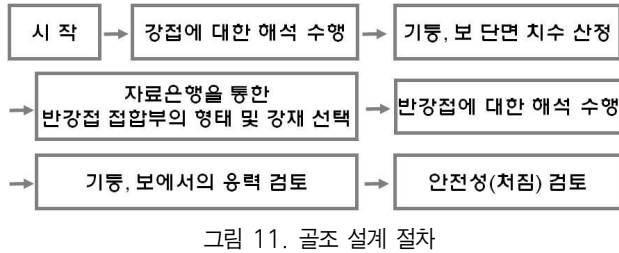


그림 11. 골조 설계 절차

본 연구에서의 구조물 해석은 Kishi와 Chen의 Three-Parameter Power Model을 이용한 반강접의  $M-\theta$ 곡선과 Beam-Line이 교차되는 위치의  $R_{kb}$ (접합부 스프링 강성)값, 그리고 그 이외의 값들을 그림 8과 같이 자료은행으로 만들었고 강재별 단부 고정계수만 요약한 표 5를 통해서 강접에 의한 해석을 반강접으로 쉽게 바꿀 수 있음을 보이고자 한다.

### 3.2 해석을 위한 접합부의 설계

반강접 접합부의 접합 형태는 다음 그림과 같이 TSDW형태를 사용한다.

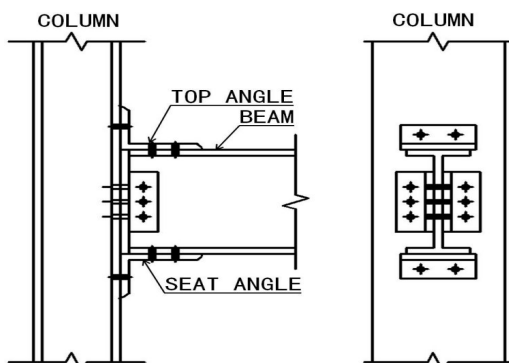


그림 12. 상·하부와 웹 앵글 접합부 형상

보-기둥의 접합을 위해 사용된 볼트는 F10T(M20, M24)로 상·하부 앵글과 웹 앵글에 적용했고 특히 웹 앵글의 경우 볼트 개수는 최소3개에서 보의 웹에 적용할 수 있는 볼트의 최대 개수에 대해서 실시했다.

표 6. 사용 강종의 재료 정수

사용 강재	항복강도( $F_y$ ) (N/mm <sup>2</sup> )	인장강도( $F_u$ ) (N/mm <sup>2</sup> )	탄성계수( $E$ ) (N/mm <sup>2</sup> )
SS 400	235	400	210000

표 7. 앵글 시험편

앵글	부재 단면	앵글길이 (mm)	게이지 거리 $g_1$ (mm)
Top angle	L-150x100x12	보 플랜지 폭 길이	120
Seat angle	L-150x100x12	보 플랜지 폭 길이	120
Web angle	L-100x75x10	보 웹에 따른 길이	55

### 3.3 해석을 위한 구조물의 설계

비교를 위한 3개층 구조물의 기준층(1층) 평면도는 다음 그림과 같다.

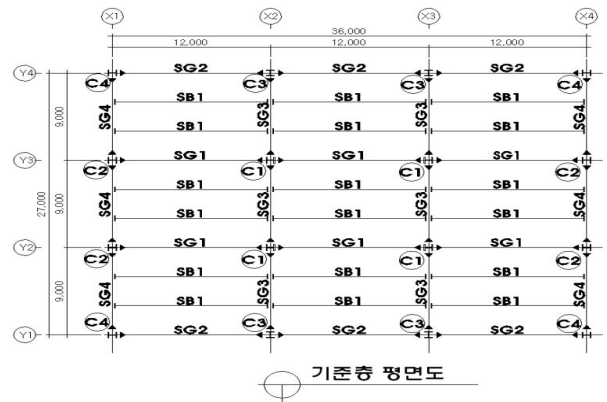


그림 13. 비교 대상 구조물의 기준층(1층) 평면도

비교 대상 구조물의 용도는 중량품 저장창고이며 하중조합은 허용 응력법으로 적용했다. 기준층 해석을 위해 적용된 설계하중은 다음 표와 같다.

표 8. 설계하중

	하중 종류	하중
기준층	마감	1.5 kN/m <sup>2</sup>
	SLAB(테크포함)	3.7 kN/m <sup>2</sup>
	활하중	12.0 kN/m <sup>2</sup>

비교를 위해서 기준층(1층)에서도 기둥과 거더가 내부에 존재하는 대상 1과 기둥과 보의 위치가 모두 외부에 존재하는 대상 2로 분류했다. 두 대상에 대한 거더 해석 과정에서, 단부의 휨모멘트는 강재보 설계로, 중앙부 휨모멘트에 대해서는 합성보 효과를 고려한 설계를 실시했다.



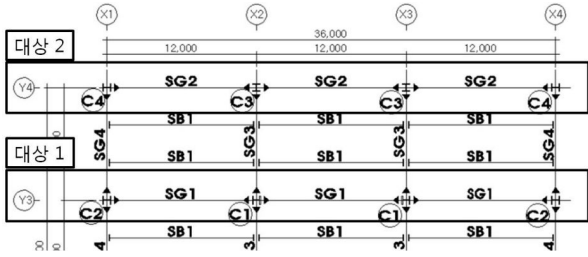


그림 14. 수치 해석 비교를 위한 대상의 분류

### 3.4 구조물의 해석

#### 1) 대상 1의 해석

이상적인 강접합에 대한 해석은 MIDAS를 통해서 부재 설계가 가능했다. SG1의 경우에는 단부와 중앙부에 발생한 각각의 휨모멘트에 대해 설계가 이루어 졌고, C1은 휨모멘트 보다는 축력에 의해, C2는 휨모멘트와 축력을 고려해서 설계 결과가 도출 되었다. SB1의 경우는 단면의 감소가 발생하지 않는 것으로 간주 하므로 H-692x300x13x20 단면으로 설계된다.

표 9. 대상 1의 SG1에 발생된 휨모멘트

분 류	중앙부(kN · m)	단부(kN · m)
강접	310.1	648.1
반강접	597.6	331.2

2.3.3절의 내용을 토대로 Beam Line과의 교차점을 통해 구한 회전강성을 2.4절에 적용해서 표 9와 표 10같은 부재의 휨모멘트를 구했다. 이때 선택한 접합 조건은 F10T(M24), 상·하부 앵글의 두께 15mm, 웨브의 볼트 개수는 6개이다.

표 10. 대상 1의 기둥에 발생된 축력과 휨모멘트

분 류	축력(kN)	휨모멘트(kN · m)	
C1	강접	6157.9	28.9
	반강접	6157.9	4.9
C2	강접	3074.6	223.5
	반강접	3074.6	107.28

다음의 표는 각각 강접과 반강접으로 해석 했을 경우의 단면을 나타낸다.

표 11. 강접에 대한 대상 1의 해석 결과

부재	부재 단면
SG1	H-692x300x13x20
C1	H-498x432x45x70
C2	H-428x407x20x35

표 12. 반강접에 대한 대상 1의 해석 결과

부재	부재 단면
SG1	H-600x200x11x17
C1	H-498x432x45x70
C2	H-428x407x20x35

이상적인 강접합으로 적용한 구조물과 실제의 거동을 고려한 반강접 접합을 적용한 구조물의 해석 결과에 대한 기준층 대상 1의 중량 감소 효과는 다음 표에 나타나 있다.

표 13. 대상 1 해석 결과에 따른 감소 효과

부재	단면적 (mm <sup>2</sup> )	단위중량 (N/mm)	중량 감소 비율 (%)
SG1	강접	21150	36.19
	반강접	13440	
C1	강접	77010	0
	반강접	77010	
C2	강접	36070	0
	반강접	36070	

보의 경우는 단부의 모멘트 일부분이 중앙부로 분배되어 합성정보 효과에 의한 단면 감소 효과를 볼 수 있고, 기둥의 경우 C1은 휨모멘트의 영향을 거의 받지 않기 때문에 변화가 없고, C2는 약축에 의한 모멘트 영향 때문에 중량감소의 효과가 없는 것으로 나타났다.

#### 2) 대상 2의 해석

대상 2도 대상 1과 같은 방법으로 설계가 이루어 졌으며 각각의 해석 결과를 다음 표에 나타내었다. 역시 이때 선택한 접합 조건은 F10T(M24), 상·하부 앵글의 두께 15mm, 웨브의 볼트 개수는 5개이다.

표 14. 대상 2의 SG2에 발생된 휨모멘트

분 류	중앙부(kN · m)	단부(kN · m)
강접	185.7	375.4
반강접	304.2	235.8

표 15. 대상 2의 기둥에 발생된 축력과 휨모멘트

분 류	축력(kN)	휨모멘트(kN · m)	
C3	강접	2626.9	5.8
	반강접	2626.9	1.4
C4	강접	1609.5	157.3
	반강접	1609.5	59.2

표 16. 강접에 대한 대상 2의 해석 결과

부재	부재 단면
SG2	H-500x200x10x16
C3	H-458x417x30x50
C4	H-498x432x45x70

표 17. 반강접에 대한 대상 2의 해석 결과

부재	부재 단면
SG2	H-396x199x7x11
C3	H-458x417x30x50
C4	H-498x432x45x70

표 18. 대상 2 해석 결과에 따른 감소 효과

부재		단면적 (mm <sup>2</sup> )	단위중량 (N/mm)	중량 감소 비율 (%)
SG2	강접	11,420	1.18	25.6
	반강접	7,216	0.878	
C3	강접	29,540	4.07	0
	반강접	29,540	4.07	
C4	강접	29,540	5.93	0
	반강접	13,480	5.93	

기준층의 대상 2의 경우도 기둥의 경우 C3과 C4 모두 강축과 약축에 대한 휨모멘트의 영향 때문에 중량감소 효과가 없는 것으로 나타났다.

대상 각각에 대한 설계 결과를 기준층 전체로 확대하여 이상화된 강접을 적용한 해석과 반강접 접합을 적용한 해석이 기준층 전체에 대해서는 어느 정도의 경제적인 효과가 있는지 다음 표에 나타내었다. 대상 각각의 회전강성과 단부 고정계수에 대해서도 다음 표에 나타내었다.

표 19. 기준층(1층) 전체에 대한 해석 결과의 감소 효과

분류	총중량(N)	중량 감소 비율(%)
강접으로 고려된 기준층	1,107,780	5.79
반강접으로 고려된 기준층	1,043,556	

표 20. 대상 1, 2의 회전강성 및 단부고정계수

분류	회전강성 (kN·m/rad)	단부고정계수 (r)
SG1	30289	0.4264
SG2	31972	0.5603

3) 처짐 검토

대상 1과 2의 반강접일때 처짐 검토는 다음 표와 같다. 처짐의 허용기준은 고정하중과 적재하중 둘 다 고려할 경우는 1/300이다. 그러므로 본 구조물 해석시의 허용 기준은 40mm가 된다.

표 21. 반강접 해석시의 처짐 변화량

분류	최대 처짐량(mm)
G1	17.55
G2	12.54

4. 결론

Kishi와 Chen의 Three-Parameter Power Model을 통해서 반강접에 대한 해석을 수행하였고, 일일이 계산해야 되는 번거로움을 줄이고자 각 강재마다의 자료은행을 만들어서 강접에서 반강접으로의 해석을 보다 용이하게 만들려고 시도했다.

중량품 저장창고로써의 철골조 건물에 반강접에 대한 해석을 적용한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 강접을 이용한 구조물의 경우는 거더의 중앙부 보다 단부에서 더 큰 휨모멘트가 발생해서 기둥에 큰 휨모멘트를 발생시키지만, 반강접 접합을 고려하여 설계한 구조물의 경우는 단부의 모멘트가 줄어들어 기둥의 휨모멘트도 따라서 줄어들게 되었다.
- (2) 강접합 구조물의 경우 합성보 효과를 적용한 부재 중앙부의 모멘트보다도 단부 모멘트에 의한 강재보 해석에 의해 단면 크기가 정해지는 반면에 반강접을 적용한 구조물은 부재 단부 모멘트가 줄어들고 합성보 효과를 적용한 부재 중앙부의 모멘트가 증가해서 비록 모멘트는 증가 했지만 합성보 효과로 인해 단면 크기는 강접일때의 구조물보다 줄어들었다.
- (3) 반강접 접합을 고려한 3개층 철골 구조물의 경우, 기준층에서 기둥은 강축과 약축 모두를 고려해야 되기 때문에 중량 감소 효과가 없었고 보는 단면 크기가 줄었기 때문에 중량 감소 효과가 있었다. 해석 대상이 된 구조물의 기준층(1층)은 전체적으로 약 6%정도의 중량 감소 효과가 있는 것으로 나타났고 이는 기준층(1층)만의 감소 효과이므로 구조물의 전 층과 고층의 철골 구조물에 적용할 경우 중량 감소 효과는 더 클 것으로 기대된다.
- (4) 강접 해석시의  $w$ 를 반강접 구조물에 적용했을 경우 Beam Line은 변하게 되고  $R_{kb}$ ,  $r$ 값에도 영향이 있기 때문에 적정 하중과 단부 고정계수 결정이 쉽지 않았다. 다른 방법으로써 본 논문과 같이 강접에서 반강접으로 해석할 때 반강접으로 해석되는 강재에서  $R_{kb}$  값을 결정하기 위해 작용하는 하중에 따라 변하는 Beam Line의 범위를 산정하게 되었고, 반강접으로 해석되는 강재의 Beam Line 범위를 각 강재별 자료은행으로 만들었기 때문에 일일이 계산해야 하는 수고로움을 덜 것으로 판단된다.
- (5) 하중에 의해서 Beam Line이 변하게 되고, 그에 따라  $R_{kb}$ ,  $r$ 이 결정되기 때문에 건물의 용도와 마감, 보의 간격 등에 의해서 결정되는 하중에 대해 본 연구처럼 단부 고정계수의 범위를 정할 수는 있지만 적절한 단부 고정계수를 산정하기는 어려울 것으로 판단된다.

본 연구는 TSDW라는 하나의 접합 형태에 ㄱ형강을 가지고 반강접 접합을 적용한 구조물의 해석을 수행하였다. 접합 형태를 End Plate 형이나, T-Stub 형 등으로 다양하게 변화시키고, 건물 용도와 스패 길이도 다양하게 변화시켜서 국내 강재를 적용한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

결과적으로 실험을 통한 검증 과정이 뒷받침되어야 하고 그로 인해 실무에서도 반강접 접합부를 설계할 때 적절한 해석 방법을 선택할 수 있도록 반강접 접합부 실험 자료와 해석 결과의 반복적인 비교 분석 작업이 필요할 것이다. 향후 계속적인 사례적용을 통해 설계자들의 이해를 돕기 위한 매뉴얼이 마련되어야 하고 반강접으로 해석시 국내 강재에 맞는 설계 기준도 제시되어야 할 것이다.

### 감사의 글

이 논문은 인천대학교의 2009년도 자체 연구비 지원을 받아 수행된 연구로 이에 감사드립니다.

### 부 록

#### 부록. 1 접합부 모델링을 위한 변수 산정식

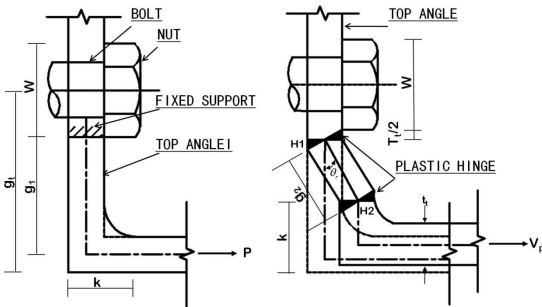


그림 15. 상부 ㄱ형강 접합 (Kishi et al. 1993)

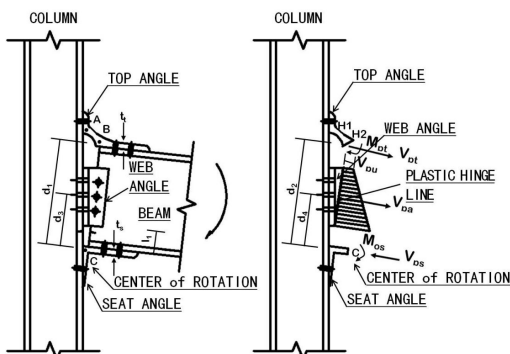


그림 16. 보-기둥 접합부의 변형 형상과 극한 상태의 접합부 하중

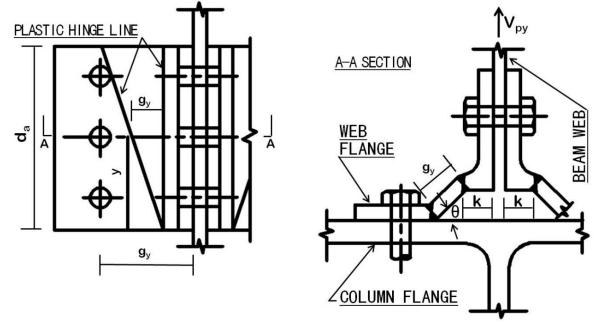


그림 17. 극한 상태에서의 웹 앵글 형상 (Kishi et al. 1993)

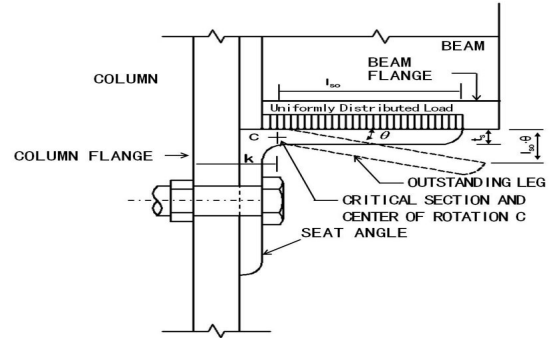


그림 18. 하부 ㄱ형강 접합 (Kishi et al. 1993)

#### 1) 초기 접합부 강성의 결정, $R_{ki}$

$$R_{ki} = K_{it} + K_{is} + K_{ia} \quad (14)$$

$$K_{it} = \frac{3EI_t(d_1)^2}{g_1(g_1^2 + 0.78t_t^2)} \quad (15)$$

$$K_{is} = \frac{4EI_s}{I_{so}} \quad (16)$$

$$K_{ia} = \frac{6EI_a(d_3)^2}{g_3(g_3^2 + 0.78t_a^2)} \quad (17)$$

여기서,

$K_{it}$  = top-angle에 의한 초기 강성

$K_{is}$  = seat-angle에 의한 초기 강성

$K_{ia}$  = web-angle에 의한 초기 강성

$EI_t$  = top-angle의 휨강성

$EI_s$  = seat-angle의 휨강성

$EI_a$  = web-angle의 휨강성

$g_1$  = 외팔보로써 거동하는 top-angle의 수직 길이  
 (=  $g_t - W/2 - t_t/2$ )

$g_3$  = 외팔보로써 거동하는 web-angle의 수직 길이  
 (=  $g_c - W/2 - t_a/2$ )

$d_1 = d + t_s/2 + t_t/2$

$I_{so}$  = seat-angle에서 돌출된 단면의 길이  
 $d_3 = d/2 + t_s/2$

2) 극한 모멘트 능력 결정,  $M_u$

$$M_u = M_{os} + M_{pt} + V_{pt}d_2 + 2V_{pa}d_4 \quad (18)$$

여기서,

$$M_{pt} = \text{top-angle의 소성 모멘트} (\sigma_y = F_y) \\ (= V_{pt}g_2/2)$$

$$M_{os} = \text{seat-angle의 소성 모멘트} \\ (= \rho_y l_s (t_s)^2)$$

$V_{pt}$  = top-angle 수직부의 소성전단력

$V_{pt}$ 는 다음의 식으로 계산된다.

$$\left(\frac{V_{pt}}{V_{ot}}\right)^4 + \frac{g_2}{t_t} \left(\frac{V_{pt}}{V_{ot}}\right) - 1 = 0$$

여기서,

$$V_{ot} = \sigma_y l_s t_s / 2$$

$$g_2 = g'_t - k_t - W/2 - t_t/2$$

$$d_2 = d + t_s/2 + k_t$$

$$V_{pt} = d + t_s/2 + k_t$$

$$V_{pa} = \text{single web-angle의 소성 전단력} \\ (= (V_{pu} + V_{oa})l_p/2)$$

$V_{pu}$ 는 다음의 식으로 계산된다.

$$\left(\frac{V_{pu}}{V_{oa}}\right)^4 + \frac{g_y}{t_a} \left(\frac{V_{pu}}{V_{oa}}\right) - 1 = 0$$

여기서,

$$V_{oa} = \sigma_y t_a / 2$$

$$g_y = g_c - k_a$$

$$d_4 = l_p(2V_{pu} + V_{oa}) / \{3(V_{pu} + V_{oa})\} + l_1 + t_s/2$$

3) 형상계수의 결정,  $n$

표 22. 형상계수( $n$ )의 결정

Connection type	n
Single web-angle connection	0.520log <sub>10</sub> θ <sub>0</sub> + 2.291 for log <sub>10</sub> θ <sub>0</sub> > -3.073
	0.695 for log <sub>10</sub> θ <sub>0</sub> < -3.073
Double web-angle connection	1.332log <sub>10</sub> θ <sub>0</sub> + 3.952 for log <sub>10</sub> θ <sub>0</sub> > -2.582
	0.573 for log <sub>10</sub> θ <sub>0</sub> < -2.582
Top-and seat-angle connection	2.003log <sub>10</sub> θ <sub>0</sub> + 6.070 for log <sub>10</sub> θ <sub>0</sub> > -2.880
	0.302 for log <sub>10</sub> θ <sub>0</sub> < -2.880
Top-and seat-angle connection with double web-angle	1.398log <sub>10</sub> θ <sub>0</sub> + 4.631 for log <sub>10</sub> θ <sub>0</sub> > -2.721
	0.827 for log <sub>10</sub> θ <sub>0</sub> < -2.721

### 참 고 문 헌

강경원, 강석봉(1997) 철골구조물 반강접 보-기둥 접합부 해석모델의 단순화에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집 (구조계), 대한건축학회, 제17권, 제2호, pp.1155-1161.

강석봉(1998) 철골 골조 구조물의 보-기둥 반강접 접합부, 대한건축학회, 제42권, 제7호, pp.40-44.

강철규, 전성남(1999) 반강접 철골조의 안전성 설계에 관한 연구, 산업기술종합 연구소 논문집, 제17권, pp.403-417.

김규석(1991) 철골구조학(개정), 기문당.

김덕기, 전성남(2000) 반강접 특성을 고려한 큰보-작은보 접합부 거동에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 대한건축학회, 제20권, 제1호, pp.71-74.

김상대, 김지영, 김대영(2001) 철골구조 반강접 접합부의 국내 적용 검토, 한국강구조학회지, 제13권, 제4호, pp.71-81.

김상대, 김지영, 김대영(2002) AISC Design Guide에 의거한 철골구조 합성 반강접 접합부의 설계방안, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회지, 제14권, 제2호, pp.91-98.

김중성(2003) 반강접 접합부를 갖는 강골조의 거동에 대한 해석적 연구, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제15권, 제5호, pp.551-559.

김진욱(2002) 반강접 접합부를 고려한 철골건물의 해석 및 최적 설계에 관한 연구, 경일대학교 산업대학원 석사학위논문.

류홍식, 이상섭, 문태섭(2000) 반강접 접합부를 갖는 철골 골조의 탄성해석, 대한건축학회논문집, 대한건축학회, 제16권, 제1호, pp.77-82.

안형준, 김진욱(2002) 단부구속도에 따른 철골 접합부의 모멘트-회전각 관계에 관한 연구, 한국구조물진단학회, 제6권, 제4호, pp.219-224.

양재근, 김기환, 김호근(2004) 더블앵글 접합부의 초기강성 산정을 위한 해석모델, 한국셀·공간구조학회 논문집, 제4권, 제4호, pp.55-63.

양철민, 김영문(2004) 반강접 접합부를 갖는 중·저층 철골 골조의 거동특성에 관하여, 한국강구조학회지, 제16권, 제4호, pp.58-63.

- 윤성기, 이치형(2002) 반강접 접합부의 구조신뢰성 해석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 대한건축학회, 제18권, 제1호, pp.61-68.
- 한영철(1993) 반강접 철골구조물의 구조적 거동에 관한 연구, 연세대학교 대학원 박사학위논문.
- 허명재(1998) 기본 강구조 설계, 영풍문고.
- AISC(1998) Load & Resistance Factor Design, 2nd Edition.
- Chen, W.F. (1987) Joint Flexibility in Steel Frame, Elsevier Applied Science.
- Chen, W.F. (2000) Practical analysis for semi-rigid frame design, World Scientific.
- Chen, W.F., Goto, Y., and Richard Liew, J.Y. (1996) Stability design of semi-rigid frames, John Wiley & Sons.
- Chen, W.F. and Kim, S.E. (1997) LRFD steel design using advanced analysis, CRC Press.
- Chen, W.F. and Kishi, N. (1987) Moment-rotation relation of top and seat angle connections, Purdue University School of Civil Eng.
- Chen, W.F. and Lui, E.M. (1991) Stability Design of Steel Frames, CRC Press.
- Chen, W.F. and Toma, S. (1993) Advanced analysis of steel frames : theory, software, and applications, CRC Press.
- Eurocode 3 (1993) Design of Steel Structures.
- Kennedy, D.J. (1969) Moment-rotation characteristics of shear connection, AISC Eng. J., Vol. 6, No. 4, pp.105-115.
- Kishi, N. and Chen, W.F. (1990) Moment-rotation relation of semi-rigid connection with angle, J. Struct. Eng., ASCE, Vol. 116, No. 7, pp.1813-1834.
- Monforton, G.R. and Wu, T.S. (1963) Matrix analysis of semirigid connected frames, Journal of the structural division, Vol. 87, No. st6, pp.13-42.
- Salmon, C.G., Johnson, John, E.M., and Faris, A. (2008) Steel Structures, Design And Behavior, Prentice Hall.

(접수일자 : 2011. 1. 20 / 심사일 2011. 2. 17 /  
심사완료일 2011. 6. 13)