

# 반강접 접합부를 갖는 강골조의 거동에 대한 해석적 연구

## An Analytical Study on the Behavior of Steel Frames with Semi-Rigidity of Beam-to-Column Connections

김 종 성<sup>1)</sup>  
Kim, Jong Sung

요 약 : 강골조의 보-기둥 접합부에 대한 해석과 설계는 일반적으로 완전한 강접이나 마찰이 없는 완전한 핀접합으로 가정하는 것이 보통이다. 이러한 경우, 구조해석 및 설계과정을 단순화시키는 장점은 있으나, 실제 철골 접합부에서는 작용하중에 대하여 어느 정도의 모멘트 전달과 회전구속력을 갖는 반강접으로 해석해야 하므로 실제와는 다소 차이가 날 수 있다. 이에, 본 연구에서는 고정계수에 의한 기둥-보 접합부의 반강접성과 P-delta 효과를 고려한 골조의 비선형 해석 프로그램을 작성하고, 수치해석을 통해 평면 강골조의 변형과 내력에 미치는 접합강성의 영향을 검토하였으며, 상용의 해석프로그램인 Midas Gen과 비교하였다.

ABSTRACT : In steel frames, the analysis and design techniques are based on either idealized fixed or pinned connections. In this case, it has the advantage that the structural analysis and the design procedure were simplified, but there could be given different results of analysis between the real steel frame connections and the idealized fixed and pinned connection. This is because the real connections would be analyzed by semi-rigid, and have some transfer of moment and rotational constraint about the loads. In this study, structural analysis program, with considered connections that have joint rigidity of fixed, pinned and semi-rigid, was developed. Then, the effects of joint rigidity on strength and displacement, in steel frames subjected to lateral forces and axial forces, were investigated, and the results were compared with those of the Midas Gen.w program.

핵심용어 : 접합강성, 반강접 접합부, 고정계수, 골조의 해석, 최소중량설계

KEYWORDS : Joint Rigidity, Semi-Rigid Connection, Fixed Factor, Frame Analysis, Minimum Weight Design

### 1. 서론

강골조에서의 접합부는 구조거동에 큰 비중을 차지하고 있다. 또한 접합부는 작용하중에 의해 생기는 응력을 전달, 분배하는 기능과 동시에 접합부의 형태에 따라 응력 집중, 피로 및 국부변형발생 등으로 골조의 안전성에 큰 영향을 미친다.

강골조의 접합부에 대한 해석과 설계는 일반적으로 접합부를 완전한 강접합으로 가정하거나, 마찰이 없는 완전한 핀접합으로 가정한다. 이러한 이상화는 해석과 설계를 간단하고, 편리하게 하지만, 실제 보-기둥 접합부는 작용하중에 대하여 어느 정도의 모멘트 전달과 회전구속력을 가지는 일종의 반강접 접합부로 볼 수 있어서, 실제와는 다소 오차가 생기게 된다. 특히, 최근에 고강도 강재의 발달과 더불어 널리 사용되고, 고력볼트에 의한 보-기둥 접합방법은 반강접 접합부의 성

격이 강하여, 강골조의 구조해석 시 기둥의 모멘트를 어느 정도 보에 분배할 수 있기 때문에, 접합부의 접합강성(joint rigidity)을 고려하여야 한다.

반강접성을 고려한 강골조 해석에 대한 초기 연구는 Johnston과 Mount(1942)에 의해서 이루어졌는데, 이들은 반강접 계수를 정의하고, 이를 이용하여 기존의 처짐각법과 모멘트 분배법을 수정하여 반강접 효과를 고려하고자 하였으며, Monforton과 Wu(1963)는 고정계수를 정의하고, 이 계수로 기존의 강성행렬을 수정한 후 해석하는 방법을 사용하였다.

일반적으로, 반강접성을 고려한 강골조를 해석하기 위해서는, 접합부의 강성을 그대로 사용하지 않고, 접합부의 휨모멘트-회전거동을 나타내는 모형을 개발하여 강성행렬을 구성할 때 적용한다. 해석과정의 편리함과 접합부의 특성을 정확히 표현하기 위해서 여러 종류의 매개변수(Parameter)를 사용

1) 정회원, 경일대학교 건축학부 교수, 공학박사  
(Tel. 053-850-7243 Fax. 053-850-7607, E-mail:jsk@kyu.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2004년 4월 28일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

하고 있다.

대표적인 반강접 접합부를 나타내는 매개변수에는, Timoshenko(1961)가 제안한 단부구속도(End Restraints Coefficient), Kinney(1957)가 제안한 부분고정도(Partial Fixed Factor) 및 Monforton과 Wu(1963)에 의한 고정계수(Fixed Factor)를 이용하는 방법이 있다.

본 연구에서는 Monforton과 Wu(1963)가 제안한 고정계수 개념을 도입하여, 선형화된 접합강성을 고려한 강골조의 강성행렬을 구성하여, 골조 해석 프로그램을 작성하고, 접합강성의 변화에 따른 골조의 해석을 실시하였다.

또한, 본 연구에서는 골조의 수평하중에 의한 2차 모멘트의 효과를 고려한 기하학적 비선형과 강접, 핀, 반강접등의 접합강성을 가지는 보-기둥 접합부의 골조를 해석한 후, 그 내력과 변형을 서로 비교하여, 골조형상 및 하중패턴에 대한 고정계수의 영향을 조사하는 것을 목적으로 하며, 본 연구의 해석 프로그램의 정도(精度)를 검토하기 위하여, 상용의 Midas GENw과 비교하였다.

## 2. 반강접 접합부의 거동특성

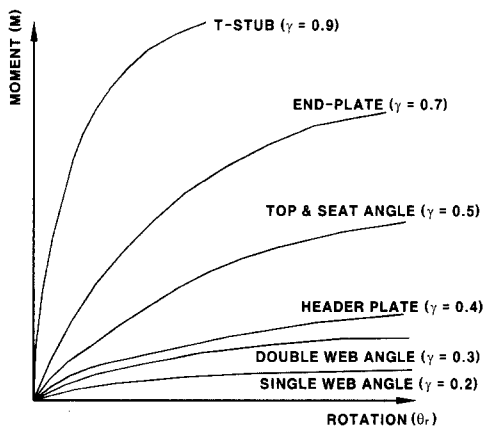


그림 1. 반강접 접합부의 모멘트-회전곡선  
(괄호 안의 값은 고정계수)

접합부는 전단력과 휨모멘트를 한 부재에서 다른 부재로 전달하는 매개체로서, 휨모멘트에 의한 회전변형이 가장 중요한 인자로 고려되므로, 접합부의 회전변형은 보통 휨모멘트의 함수로 표현된다. 반강접 강골조의 해석에는 휨모멘트 구속력에 따른 상대적인 각 변화를 방지하기 위한 값의 20~90% 사이의 값을 갖는다고 가정한다. 휨모멘트 M이 접합부에 작용된 경우, 접합부는 각 변위  $\theta$ , 만큼 회전을 하게 되고, 일반적인 반강접 접합부의 모멘트-회전거동을 그림 1과 같이

도식적으로 나타낼 수 있다. 여기서 각 접합부 형태별로 고정계수를 ( )안에 표시했다. 예를 들어, Single web angle 접합부는 매우 유연하여 핀접합(고정계수는 0.0)의 거동양상을 나타내고(고정계수는 약 0.2), T-stub 접합부는 강접합(고정계수 1.0)에 가까운 거동양상을 보여주고(고정계수는 0.9) 있다.

따라서 해석모델에 대한 결과, 부재 단부와 중앙부의 휨모멘트의 분배가 거의 같아지는 고정계수를 찾으면, 그 값은 해당 골조에 가장 적합한 반강접 접합부의 모델을 그림 1에서 찾을 수가 있다.

## 3. 고정계수를 사용한 반강접 골조의 해석기법

### 3.1 고정계수(Fixed Factor)

Monforton과 Wu는 그림 1과 같은 모멘트-회전각 관계에서의 기울기의 역수를 반강접 계수라 정의하였다. 즉, 강접합의 경우  $\lambda_\alpha = 0$ , 핀접합의 경우  $\lambda_\alpha = \infty$ 가 되며, 반강접 접합부를 고려한 강성행렬을 유도하는 과정에서 고정계수라는 식(1)과 같은 무차원 매개변수를 사용하였다.

$$\gamma_\alpha = \frac{L}{(L + 3EI\lambda_\alpha)} \quad (1)$$

단,  $\lambda_\alpha = \frac{\theta_r}{M}$  : 모멘트 회전곡선의 기울기에 대한 역수

$\gamma_\alpha$ 의 값은 반강접 계수와 부재의 형상과 특성에 의해 결정되며, 마찰이 없는 핀일 경우( $\gamma_\alpha = 0$ )에서 완전 고정( $\gamma_\alpha = 1$ )까지 변화한다.

### 3.2 반강접성(Semi-Rigid)을 고려한 강성행렬

반강접 강성을 고려한 부재의 강성행렬을 일반화하는 방법에는 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 공액보법에 의한 방법을 사용하며, 이 방법은 공액보(Conjugated beam) 단부에서의 전단력은 실제 보 단부에서의 순수 각도 변화와 같다는 점을 근거로 하여, 접합강성을 가지는 보 및 기둥요소의 강성행렬을 구성한다. 이 방법에서 접합부의 휨모멘트-회전변형 관계를 정의하기 위해서 고정계수개념을 도입하였으며, 초기 강성 값으로 선형화하였다.

반강접성을 가지는 부재의 강성행렬을 공액보법에 의해 유도하면, 식(2)와 같다.

$$V_i = \theta_i - \phi_i - R = \left[ \frac{M_i L}{3EI} \right] - \left[ \frac{M_i L}{6EI} \right] + \left[ \frac{Ab}{EIL} \right] \quad (2)$$

$$V_j = \theta_j - \phi_j - R = \left[ \frac{M_j L}{3EI} \right] - \left[ \frac{M_j L}{6EI} \right] - \left[ \frac{Aa}{EIL} \right]$$

위 식에서  $\phi_i = M_i \lambda_i$  과  $\phi_j = M_j \lambda_j$  를 대입하고, 식(3)과 같은 Monforton과 Wu의 고정계수를 도입하여  $M_i$ 와  $M_j$ 에 대해 정리하면 식(4), 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma_i = \frac{L}{(L + 3EI\lambda_i)}, \quad \gamma_j = \frac{L}{(L + 3EI\lambda_j)} \quad (3)$$

$$M_i = \left[ \frac{6EI}{L} \right] \left[ \frac{\gamma_i}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] [2\theta_i + \gamma_i \theta_j - (2 + \gamma_i) R] - \left[ \frac{6A}{L^2} \right] \left[ \frac{\gamma_i}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] (2b - a\gamma_i) \quad (4)$$

$$M_j = \left[ \frac{6EI}{L} \right] \left[ \frac{\gamma_j}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] [2\theta_j + \gamma_j \theta_i - (2 + \gamma_j) R] + \left[ \frac{6A}{L^2} \right] \left[ \frac{\gamma_j}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] (2b - b\gamma_j) \quad (5)$$

식(4)와 식(5)는 반강접 접합부를 가지는 부재에 대한 처짐각 방정식이 된다. 여기서,  $\gamma_i$ 와  $\gamma_j$ 는 부재의 고정계수인데,  $\gamma$ 의 값은 반강접 계수(semi-rigid connection factor)와 부재의 형상, 특성에 따라 달라지며, 힌지 접합부에서  $\lambda = \infty$  이므로,  $\gamma = 0$  에서부터, 완전 강접합부에서는,  $\lambda = 0$  이므로,  $\gamma = 1$  까지 변화한다.

식(4)와 식(5)를 이용하여 부재 단부에 작용하는 내력을 구하면, 다음과 같이 구할 수 있다.

### 3.2.1 단부 모멘트

$$M_i = \left[ \frac{4EI}{L} \right] \left[ \frac{3\gamma_i}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] \theta_i + \left[ \frac{6EI}{L^2} \right] \left[ \frac{\gamma_i(2 + \gamma_j)}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] y_i \quad (6)$$

$$+ \left[ \frac{2EI}{L} \right] \left[ \frac{3\gamma_i \gamma_j}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] \theta_j - \left[ \frac{6EI}{L^2} \right] \left[ \frac{\gamma_i(2 + \gamma_j)}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] y_j$$

$$M_j = \left[ \frac{2EI}{L} \right] \left[ \frac{3\gamma_i \gamma_j}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] \theta_i + \left[ \frac{6EI}{L^2} \right] \left[ \frac{\gamma_j(2 + \gamma_i)}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] y_i \quad (7)$$

$$+ \left[ \frac{4EI}{L} \right] \left[ \frac{3\gamma_j}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] \theta_j - \left[ \frac{6EI}{L^2} \right] \left[ \frac{\gamma_j(2 + \gamma_i)}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] y_j$$

### 3.2.2 단부 전단력

$$Y_i = \frac{M_i + M_j}{L}$$

$$= \left[ \frac{6EI}{L^2} \right] \left[ \frac{3\gamma_i}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] \theta_i + \left[ \frac{12EI}{L^3} \right] \left[ \frac{(\gamma_i + \gamma_i \gamma_j + \gamma_j)}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] y_i \quad (8)$$

$$+ \left[ \frac{6EI}{L^2} \right] \left[ \frac{\gamma_i(\gamma_i + 2)}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] \theta_j - \left[ \frac{12EI}{L^3} \right] \left[ \frac{(\gamma_i + \gamma_i \gamma_j + \gamma_j)}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] y_j$$

$$Y_j = -\frac{M_i + M_j}{L}$$

$$= -\left[ \frac{6EI}{L^2} \right] \left[ \frac{3\gamma_j}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] \theta_i - \left[ \frac{12EI}{L^3} \right] \left[ \frac{(\gamma_i + \gamma_i \gamma_j + \gamma_j)}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] y_i \quad (9)$$

$$- \left[ \frac{6EI}{L^2} \right] \left[ \frac{\gamma_j(\gamma_j + 2)}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] \theta_j + \left[ \frac{12EI}{L^3} \right] \left[ \frac{(\gamma_i + \gamma_i \gamma_j + \gamma_j)}{(4 - \gamma_i \gamma_j)} \right] y_j$$

### 3.2.3 단부 축력

$$X_i = \left( \frac{EA}{L} \right) (x_i - x_j), \quad X_j = \left( \frac{EA}{L} \right) (x_j - x_i) \quad (10)$$

이상의 단부 모멘트, 전단력, 축력을 행렬형태로 표현하여, 다음과 같이 반강접 효과를 고려한 보-기둥부재 탄성 행렬을 나타낼 수 있다.

$$[K] = EI \begin{bmatrix} \frac{A}{L} & 0 & 0 & -\frac{A}{L} & 0 & 0 \\ & \frac{12}{L^3} \left[ \frac{a}{h} \right] & \frac{6}{L^2} \left[ \frac{b}{h} \right] & 0 & -\frac{12}{L^3} \left[ \frac{a}{h} \right] & \frac{6}{L^2} \left[ \frac{g}{h} \right] \\ & & \frac{4}{L} \left[ \frac{c}{h} \right] & 0 & -\frac{6}{L^2} \left[ \frac{b}{h} \right] & \frac{2}{L} \left[ \frac{f}{h} \right] \\ & & & \frac{A}{L} & 0 & 0 \\ Sym. & & & & \frac{12}{L^3} \left[ \frac{a}{h} \right] & -\frac{6}{L^2} \left[ \frac{g}{h} \right] \\ & & & & & \frac{4}{L} \left[ \frac{d}{h} \right] \end{bmatrix} \quad (11)$$

여기서, A : 단면적, I : 단면 2차 모멘트, L : 부재 길이  
 $a = \gamma_i + \gamma_j + \gamma_i \gamma_j$ ,  $f = 3\gamma_i \gamma_j$   
 $b = \gamma_i(2 + \gamma_j)$ ,  $g = \gamma_j(2 + \gamma_i)$   
 $c = 3\gamma_i$ ,  $h = 4 - \gamma_i \gamma_j$ ,  $d = 3\gamma_j$ ,

$$\gamma_i = \frac{L}{L + 3EI\lambda_i}, \quad \gamma_j = \frac{L}{L + 3EI\lambda_j}$$

식(11)에서, 고정계수에 따라서, 각 행렬요소의 우측 항 즉,  $\frac{a}{h}$ ,  $\frac{b}{h}$ ,  $\frac{c}{h}$ ,  $\frac{f}{h}$  값이 수정되어, 반강접성이 고려된 강성행렬로 구성된다. 본 연구에서는, 식(3)에 의해,  $\gamma_i$ ,  $\gamma_j$ 가 강접합일 경우는 1.0, 편접합 일 때는 0이 되며, 반강접일 경우, 그림 1의 반강접 접합부의 형상에 따라서, 0~1사이의 값을 가진다고 가정하여 프로그램을 작성하였다.

## 4. 해석결과

본 연구에서 강골조의 반강접성은, 반강접 접합부의 모멘트-회전곡선을 나타낸 그림 1에서의 초기 기울기 값의 역수  $\lambda$ 를 산정하여, 식(3)에 의한 고정계수 값으로 고려하였으며, 그림 2와 같은 과정을 통해, 보-기둥 접합부의 반강접성과 축

력에 의한 골조의 기하학적인 비선형을 고려한 부재의 탄성강성행렬을 구성하여 해석프로그램을 개발하고, 다양한 해석모델을 설정하여 수치해석을 실시하였다.

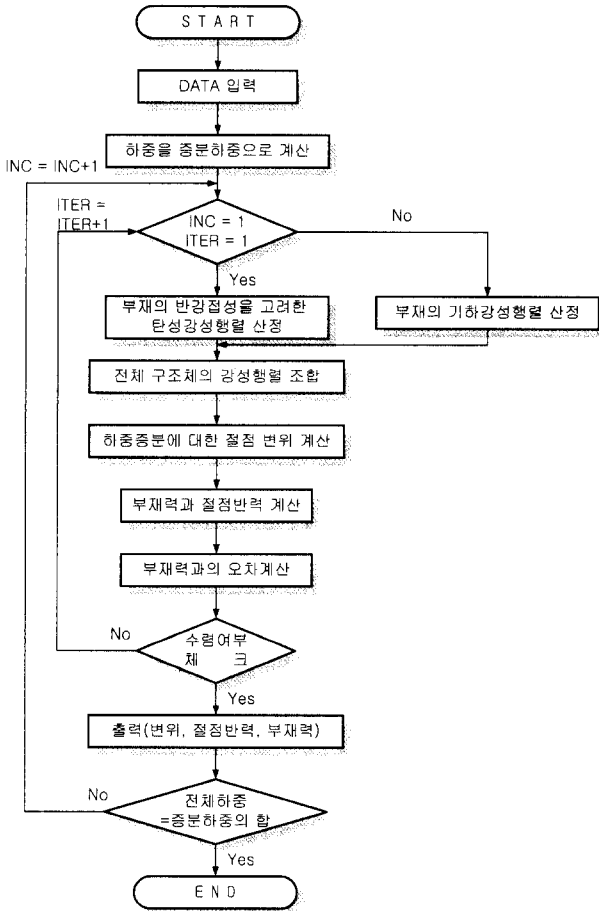


그림 2. 프로그램의 흐름도

4.1 Cantilever 보(해석모델 1)

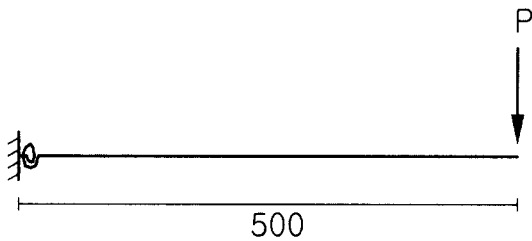


그림 3. 해석모델 1

본 연구에서는 반강성을 고려하는 매개변수로서, 고정계수를 이용한 해석 프로그램을 작성하여 해석을 실시하였고, 반면에, Midas에서는 부분고정도를 사용하고 있으므로, 본 해석프로그램의 정도(精度)를 직접 비교하기가 어렵다. 따라서 본 예제에서는 Midas의 'Point Spring Supports'기능에 접

합부의 회전강성 값을 고려하여, 그림 3과 같은 해석모델 1에 대해서 해석하였다. 고정계수를 회전강성으로 치환하기 위하여, 식(3)을 식(12)와 같이 변환하여 사용하였다.

$$\frac{1}{\lambda_e} = \frac{M}{\theta} = \left(\frac{3EI}{L}\right) \cdot \left(\frac{\gamma}{1-\gamma}\right) \quad (tf \cdot cm/rad) \quad (12)$$

부재의 단면특성과 식(12)에 의한 회전강성은 표 2와 같다.

표 1. 단면특성 및 회전강성

단면적 (cm <sup>2</sup> )	단면2차 모멘트 (cm <sup>4</sup> )	탄성계수 (tf/cm <sup>2</sup> )	고정 계수	회전강성 (tf · cm/rad)	작용하중 (tf)
400	13,333	2,100	0.2	41,998.95	1
			0.4	111,997.20	
			0.6	251,993.70	
			0.8	671,983.20	

표 2. 해석결과의 비교

	수직변위(cm)		오차(%)
	Midas	본 연구	
0.2	-7.4421	-7.4407	0.02
0.4	-3.7217	-3.7203	0.04
0.6	-2.4816	-2.4802	0.06
0.8	-1.8616	-1.8602	0.07

표 2의 결과는, 표 1의 고정계수와 Midas에는 회전강성을 입력하여 해석한 처짐의 결과이며 아주 적은 범위의 오차가 생겼고, 휨모멘트의 경우는 예제의 특성상 고정계수와는 관계 없이 본 연구의 결과와 Midas의 오차가 거의 생기지 않았다.

4.2 보 요소(해석모델 2)

반강접 접합부를 갖는 보에서, 모멘트 분배가 가장 고르게 되는 경우의 고정계수를 찾아내기 위해서, 그림4와 같은 조건의 보(beam)를 선택하였다. 사용부재는 H-300×300×10×15(E=2,100tf/cm<sup>2</sup>,SS400)이며, 하중은 P=1tf로 하고, 고정계수를 변화시켰으며, 해석결과를 Midas의 결과와 비교하였다.

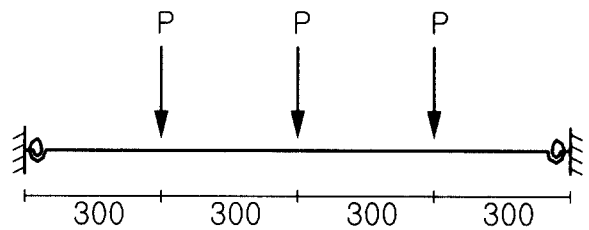


그림 4. 해석모델 2

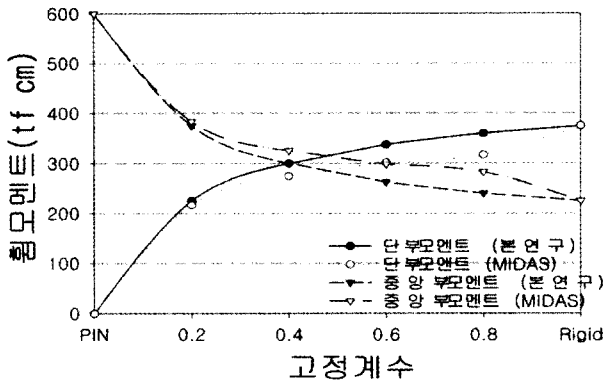


그림 5. 고정계수에 따른 모멘트 분포

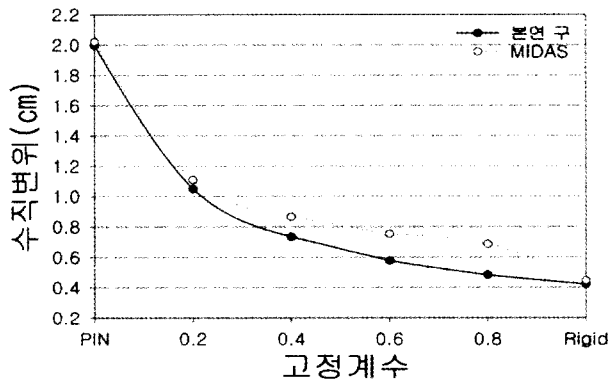


그림 6. 고정계수에 따른 수직변위의 분포

그림 5와 6에서 x축은, 본 연구에서는 고정계수를, Midas에서는 부분고정도를 의미하고, y축은 각각 휨모멘트와 처짐(V.Disp)을 나타낸다. 본 연구의 경우는 고정계수가 0.4일 때, Midas에서는 부분고정도가 0.6근처에서, 단부 모멘트와 중앙부모멘트가 같아져, 가장 고른 모멘트분포를 나타내며, 이것은 해석모델 2의 경우에는 고정계수가 0.4 혹은 0.6인 반강접의 접합부가 적당함을 나타낸다. 또한, 처짐은 그림 6을 보면, 강접합에 가까울수록 커지고 거의 일치하며, Midas에 의한 중앙부의 휨모멘트 값은 본 연구의 탄성해석치보다 고정계수가 커질수록 평균 약 9.2% 크게 평가되고, 단부의 휨모멘트는 오히려 평균 9.7% 과소평가되고 있음을 알 수 있다.

### 4.3 6층 골조(해석모델 3)

본 예제에서는 반강접 접합부를 가지는 골조에 수평하중(Q)이 미치는 영향을 살펴보기 위하여, 그림 7과 같은 6층 골조를 선정하였다. 해석 시, 수직하중(P)은 0.4tf에서 4tf까지 0.4tf씩 증분시키고, 수평하중은 0.06tf에서 0.6tf까지 0.06tf씩 증분시켜, 고정계수의 변화에 따라 해석을 실시하였다. 초기

사용부재는 표 3과 같으며, 고정계수는 골조의 전체 접합부에서 동일하게 가정하였다.

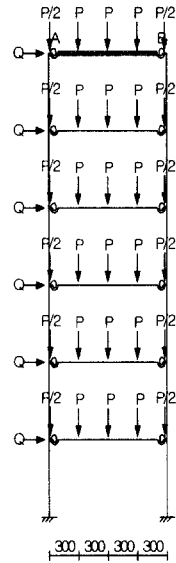


그림 7. 해석모델 3

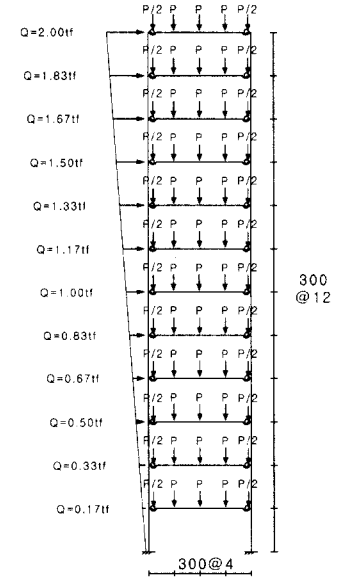


그림 8. 해석모델 4

표 3. 부재별 단면 특성

부재	사용강재	단면적 (cm <sup>2</sup> )	단면2차모멘트 (cm <sup>4</sup> )	탄성계수 (tf/cm <sup>2</sup> )
보	H-340×250×9×14	101.5	21,700	2,100
기둥	H-350×350×12×19	173.9	40,300	

#### 4.3.1 수직하중만 작용하는 경우(Case 1)

Case 1에서는 해석모델 3의 6층 골조에 수평하중은 무시하고, 수직하중(P)만을 작용시킨 경우의 예이다.

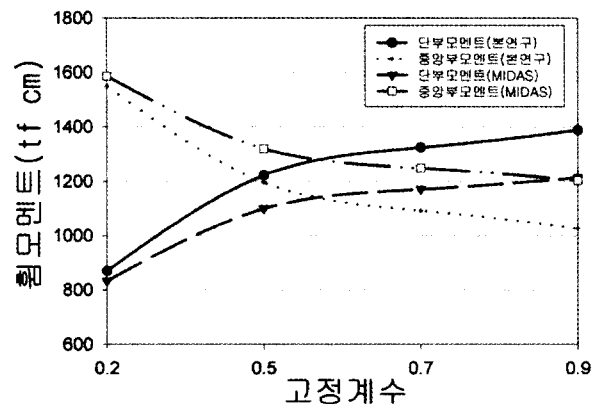


그림 9. 고정계수에 의한 모멘트 분포

그림 9는 고정계수가 부재의 모멘트 분포에 미치는 영향을 조사하기 위해, 해석모델 3의 최상층의 보(beam)인, AB부재에 대해 해석결과를 나타낸 것이다. 그림 9에서 보듯이,

AB부재의 모멘트는 고정계수가 커질수록 단부와 중앙부의 모멘트 차이가 줄어들어 고정계수 0.5 부근에서 단부와 중앙부 모멘트가 거의 동일한 값으로 재분배됨을 나타냈다. 또한 Midas에 의한 중앙부 모멘트는 본 연구에 비해 과대평가되고 있고, 단부모멘트는 오히려 과소평가되는 경향은 해석모델 2의 보의 경우와 같다.

4.3.2 수직하중과 수평하중이 동시에 작용하는 경우 (Case 2)

Case 2는 해석모델 3의 골조에 수평하중과 수직하중이 동시에 작용한 경우의 예제이다. 수평하중이 작용하는 경우는 모멘트분포가 비대칭이 되므로 모멘트재분배에 의해 단부와 중앙부가 거의 일치하는 경우는 구하기 힘들고, 반면에 골조의 형상과 하중패턴에 대해 각 고정계수별 층간변위에 대한 특성을 파악할 수가 있다.

그림 10은 Case 1에서와 같이 최상층 보(beam)인 부재 AB에 대해, 각각의 고정계수의 변화에 따른 수평변위와 층간변위를 나타낸 것이다. 그림 10에서 나타나듯이, 고정계수가 0.5보다 작은 경우에 수평변위와 층간변위가 급격히 커지는 경향을 나타내었으며, 특히 중간층(3층)에서 층간변위가 크게 됨을 볼 수 있다. 이는 지진하중에 대한 골조의 특성과도 관련이 있는 흥미 있는 결과이다.

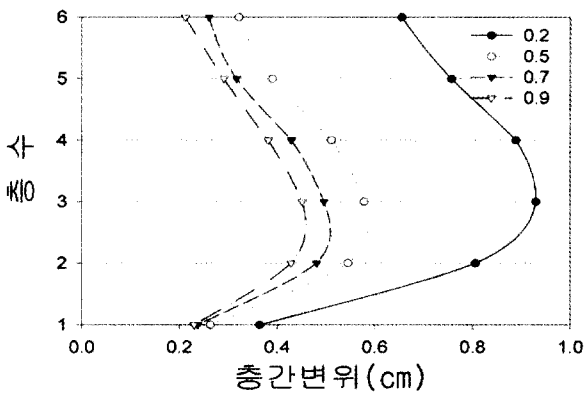


그림 10. 고정계수에 따른 층간변위

4.4 12층 골조(해석모델 4)

그림 8과 같이, 지점이 고정상태인 12층 강골조를 해석모델 4로 선택하였다. 사용부재는 해석모델 3과 동일하다. 본 예제에서의 수직하중 P는 4tf이고, 수평하중의 분포는 역삼각형 형태로 하였으며, 증분재하 하였다.

그림 11은 해석모델 4에서 수직하중(P)만 작용한 경우의 휨모멘트와 고정계수의 관계도이다. 여기서 고정계수 0.5인 경우에 모멘트재분배에 의해 단부와 중앙부 모멘트가 거의 일

치하며, 이 경우에는 그림 1의 Top& Seat Angle 반강접 접합부가 적합함을 나타낸다.

그림 12는 해석모델 4의 층간변위를 나타낸 것이며, 해석모델 3과 같이, 내진설계시의 특징인 중간층(4~5층)에서, 가장 큰 층간변위가 발생하며, 고정계수가 0.4보다 작은 경우의 층간변위가, 0.4이상인 경우에 비해 더 많이 증가하는 것을 알 수 있다.

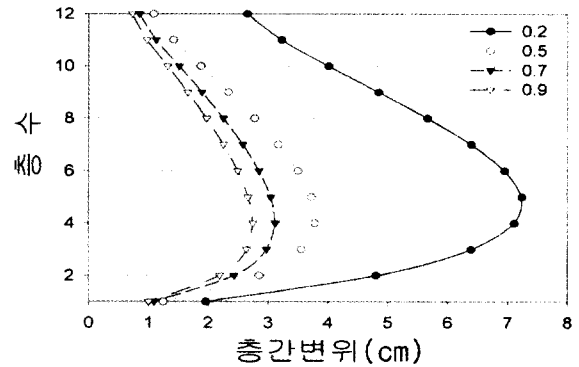


그림 11. 고정계수에 따른 모멘트 분포(수평하중이 없는 경우)

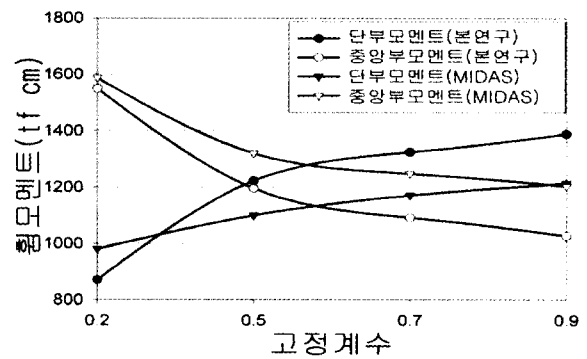


그림 12. 층수에 따른 층간변위 분포

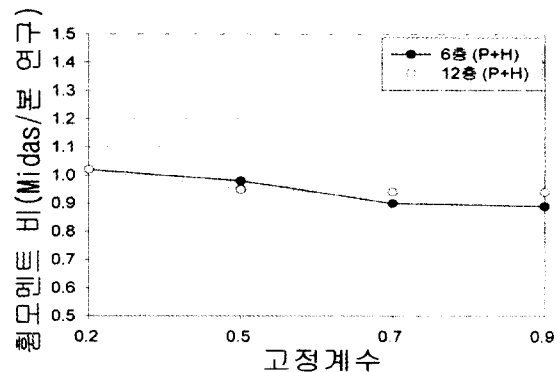


그림 13. 최대모멘트의 비교

그리고 그림 13은 해석모델 3(6층)과 4(12층)에서 수평하중과 수직하중을 동시에 받는 경우, 단부의 최대 휨모멘트의 결과를 본 연구와 Midas를 비교한 것이다. 전반적으로 고정계수가 커질수록 본 연구에서의 값보다 Midas의 값이 적

게 평가되고 있으나, 6층보다는 12층의 경우가 그 폭은 작아진다. 따라서 실용적으로 많이 사용되고 있는 Midas의 특징은, 본 연구와 비교해서, 부재의 단부모멘트는 과소 평가되고 중앙부 모멘트는 과대 평가된다. 또한 수평하중의 영향은 고정계수가 커질수록 고층일수록 본 연구의 결과와 거의 일치하는 특성을 보인다.

#### 4.5 최적설계에 의한 검토

##### 4.5.1 수직하중만 작용하는 경우(Case 1)

그림 14는 해석모델 3의 해석결과를 이용하여 Midas SET-ART를 사용하여 부재의 최소중량설계를 한 것이다.

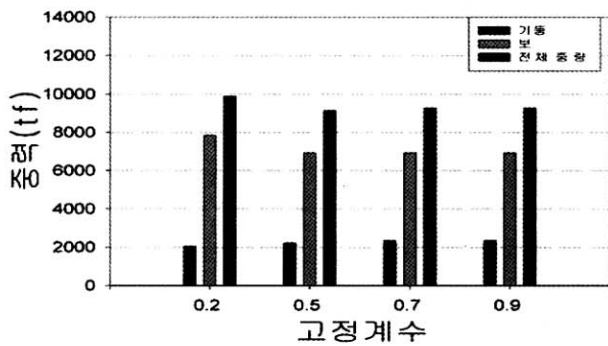


그림 14. 고정계수에 따른 부재최소중량의 변화

즉, 본 연구에서의 해석프로그램으로 구해진 최대모멘트, 전단력 값을 Midas SET-ART에 입력하여 부재를 구한 뒤, 그 부재 값을 다시 해석프로그램에 입력하여 재해석하여 수렴할 때까지 반복수행하여 최소 중량의 부재를 선정한다. 그림 14에서는 해석모델 3의 경우에는 고정계수 0.5의 경우가 전체 강재중량이 최소가 됨을 알 수가 있다.

그림 15는 초기조건에 의한 설계(중량) 값( $W_1$ )과 최소중량설계 값( $W_2$ )의 비와 고정계수의 관계를 나타낸 것으로, 단부모멘트와 중앙부모멘트의 차이가 거의 없는 고정계수 0.5에서 가장 최소의 부재중량을 가질 수 있음을 알 수 있다.

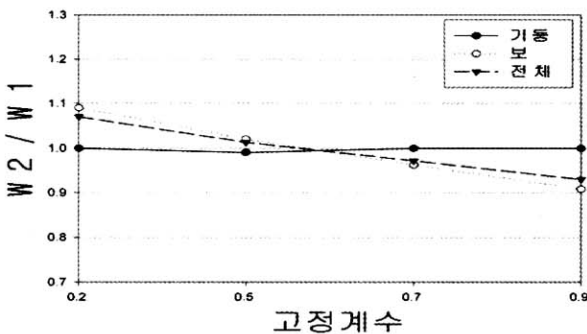


그림 15. 최소중량설계(Case 1)

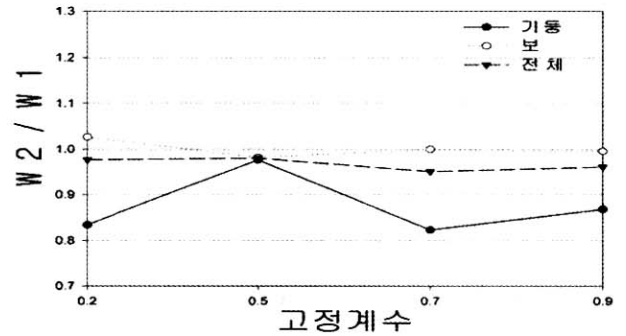


그림 16. 최소중량설계(Case 2)

##### 4.5.2 수직하중과 수평하중이 동시에 작용하는 경우(Case 2)

그림 16은 Case 1에서와 같이 Midas SET-ART를 사용하여 최소중량의 부재를 설계한 결과이다. 그림에서 나타나듯이, 고정계수가 0.7에서 가장 최소의 중량을 구할 수 있었다. 단지, Midas SET-ART의 경우 부재의 강도설계만 고려하기 때문에 사용성 측면, 즉 수평변위에 대한 고려가 되지 않았다고 할 수 있으며, 고정계수가 0.7인 경우가 최소중량으로 부재설계를 한 결과라고 사료된다. 표 4는 이 때의 결과를 나타낸 것이다.

그리고 그림 17은 해석모델 4의 경우, 수평하중의 유무를 고려한 Case 1과 Case 2의 최소중량설계의 결과를 나타낸 것이며, 고정계수 0.5인 경우가 최소의 중량을 나타내고 있다.

표 4. 부재설계 결과(고정계수 0.7)

부재	사용강재	단면적 (cm <sup>2</sup> )	단면2차모멘트 (cm <sup>4</sup> )	전체중량 (t)
C1	H-336×249×8×12	88.15	18,500	10,101.6
C2	H-298×201×9×14	83.36	13,300	
G1	H-390×300×10×16	136	38,700	
G2	H-390×300×10×16	136	38,700	
G3	H-434×299×10×15	135	46,800	
G4	H-434×299×10×15	135	46,800	
G5	H-434×299×10×15	135	46,800	6
G6	H-434×299×10×15	135	46,800	

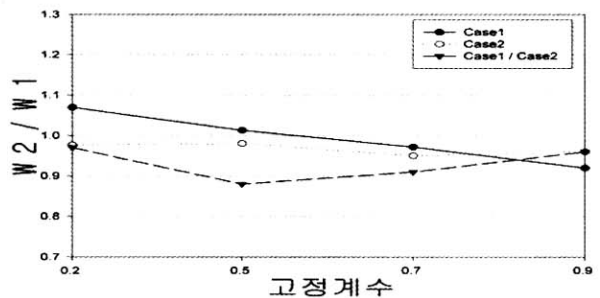


그림 17. 고정계수에 따른 최소중량설계 비교

## 5. 분석 및 고찰

### 5.1 본 연구의 해석정도

본 연구에서의 해석프로그램의 정도파악을 위해서 현재 실무설계에서 상용되는 Midas Gen과 비교를 하였다. 그 결과, 고정계수가 커질수록 처짐과 보(beam)의 중앙부 휨모멘트는 Midas의 경우가 본 연구의 해석결과보다 다소 크게 평가되고, 단부모멘트는 작게 평가하고 있다. 그러나 그 오차는 최대 9.2%이내로 작다. 따라서 본 연구에서의 개발한 골조의 해석프로그램은 반강접성을 고려하는 골조의 응력해석에 사용할 수가 있다.

### 5.2 고정계수와 골조의 거동

1) 골조의 형상(규모)에 따라 고정계수가 특정 값 일 경우에(예, 해석모델 2의 경우 : 0.4, 해석모델 3 : 0.5, 해석모델 4 : 0.5-0.7), 단부와 중앙부의 휨모멘트 재분배가 일치하는데, 이는 골조의 규모, 형상에 따라 최적의 반강접 접합부를 갖는 골조의 최적설계가 가능함을 보여준다. 따라서, 예를 들어, 고정계수 0.5인 경우는, 그림 1의 Top&Seat Angle형, End Plate형의 반강접 접합부를 갖는 골조가 적당함을 의미한다.

2) 수평하중이 상대적으로 크게 작용하는 골조에서는 고정계수가 0.5 이하에서 수평변위와 층간변위가 급격히 커지는 경향을 보이며, 특히 건물의 중간층(6층의 3층, 12층의 4-5층)에서 큰 층간변위가 발생한다. 따라서 이런 경우는 강도뿐만 아니라 사용성 측면에서의 검토가 중요하다.

### 5.3 수평하중이 강골조의 최소중량에 미치는 영향

해석모델 3의 경우에, 연직하중만 작용하는 경우(Case 1)는 고정계수 0.5일 때가 최소중량을 나타내며, 수평하중을 고려한 경우(Case 2)는 고정계수 0.7인 경우가 최소중량을 나타낸다.

따라서 수평하중이 상대적으로 크게 작용하는 골조에서는 최적의 반강접 접합부를 달리 선택해야 됨을 나타낸다. 또한 이러한 골조에서는 보(beam)의 모멘트 분포가 비대칭이 되면서 최대 휨모멘트를 다소 작게 평가하는 경향이 있으므로 실무설계시 참조해야 한다.

이상에서 본 연구에서 작성한 해석 프로그램은, 다양한 종류의 골조의 해석에 응용이 가능하고, 특히 골조의 형상, 규모에 따라 적합한 반강접 접합부의 형식(종류)를 선정할 수

있도록 해준다. 그리고 Midas Gen에서는 부재의 처짐과 중앙부의 휨모멘트를 다소 안정적으로 평가하는 경향이 있는데 비해서, 본 프로그램은 좀 더 정확한 설계가 되도록 도와주는 데 그 유효성이 있다고 할 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구에서는, 고정계수에 의한 보-기둥 접합부의 반강접성과 기하학적인 비선형을 고려하여 골조의 비선형 해석프로그램을 개발하여, 다양한 해석모델에 대해 수치해석을 실시하고, 상용의 Midas와의 비교 및 최소중량설계를 통해, 기둥-보 접합부의 접합강성이 강골조의 거동에 미치는 영향을 검토하였다.

- (1) 접합부의 접합강성을 임의의 고정계수로 평가하여 작성한 본 연구의 해석프로그램은 상용의 Midas Gen과 비교하였을 때, 충분한 정도(精度)를 가지므로, 반강접 골조해석에 적용할 수 있다.
- (2) 반강접 접합부의 회전거동을 고정계수로 가정하여 골조의 비선형 거동을 파악하였으며, 연직하중이 주로 작용하는 골조에서는, 기둥-보 접합부의 고정계수 값은 골조의 종류나 규모에 따라 보의 단부와 중앙부 휨모멘트의 재분배가 거의 일치하는 특성의 값을 나타낸다. 따라서 이에 적합한 반강접 접합부로 설계되어야 한다.
- (3) 수평하중이 상대적으로 크게 작용하는 골조에서는 고정계수가 0.5이하일 때, 골조의 중간층에서 층간변위 크게 발생한다. 따라서 이러한 골조에서의 반강접 접합부는 사용성 측면에서의 검토가 중요함을 알 수가 있다.
- (4) 특정의 고정계수일 때 최소중량을 갖는 골조의 경우는(예를 들어, 해석모델 3에서는 0.7), 그림 1을 참조하여 End Plate형 접합부나, T-Stub형 접합부로 골조를 설계하는 것이 가장 적당하다.

## 참 고 문 헌

김종성 외(2002) 반강접 강골조의 접합강성에 대한 해석적 연구, 한국강구조학회학술발표 논문집  
 신유미(2000) 접합부의 반강접성을 고려한 골조의 비선형 거동에 관한 연구, 부산대학교 건축공학과 석사학위 청구논문.  
 장준호(1998) 재료 및 기하학적 비선형을 고려한 반강접



- 뼈대구조물의 최적설계 프로그램의 개발, 경북대학교 토목공학과 박사학위 청구논문.
- 한영철(1993) 반강접 철골구조물의 구조적 거동에 관한 연구, 연세대학교 건축공학과 박사학위청구논문.
- Brebbia and Ferrante(1979) Computational Method for the Solution of Engineering Problems, Pentech Press, London
- Monforton, Wu(1963) "Matrix Analysis of Semi-Rigid Connected Frames", *J. of Structural Division*,
- Timoshenko, S.,(1961) Theory of Elastic Stability, McGraw-Hill Book Co.,
- Kinney, J. S.,(1957) Indeterminate Structural Analysis, Addison Wwsley Publishing Co.,
- MIDAS GENw(2001) Version 4.3.2, (주)MIDASITt
- MIDAS SET-ART Version 2.0,(주)마이다스아이티, 2001
- MICROFEAP(2)-P1-Module(Release3.0), Microcomputer Club of Applications in Civil Engineering, 1987
- (접수일자 : 2003. 7. 23 / 심사일 2003. 8. 13 /  
심사완료일 2003. 9. 30)