

횡하중을 받는 반강접 철골 골조의 유연도에 관한 연구(Ⅱ)

— 골조 해석모형을 중심으로 —

A Study on the Flexibility of Semi-Rigid Steel Frames under Lateral Loadings(Ⅱ)

강 철 규¹⁾ · 한 영 철²⁾ · 이 갑 조³⁾
KANG, Cheol Kyu HAN, Young Cheol LEE, Gab Jo

ABSTRACT : Semi-rigid frames are frames for which the connections joining the beam and column are neither fully rigid nor perfectly pinned. In reality, all steel frames are semi-rigid in nature as all connections exhibit a certain degree of flexibility under loads. For semi-rigid framed structures, it is tended to reduce more rigidity of the member for the nonlinear behavior of connections and the P-delta effects of framed structure. To predict the actual behavior of semi-rigid steel frames, a more realistic analysis methods which explicitly takes into account the effect of connection flexibility should be used. In this research, the effect of connection flexibility in the semi-rigid structure has been investigated. To predict the response of flexibility connected frames, the algorithm of semi-rigid steel frame is developed using connection model having nonlinear spring on end of beam.

1. 서 론

최근에 들어 고강도 강재의 발달과 더불어 널리 사용되는 볼트에 의한 보-기둥 접합방법은 반강접 접합부의 성격이 강하여 철골골조의 구조해석시 실질적인 접합부 회전강성을 고려하여야 한다. 이러한 반강접 철골골조의 해석과 설계방법에 대한 연구는 보-기둥 접합부의 실제 응답특성인 비선

형성을 적용시키기 위해 접합부의 반강접 개념을 해석 모형에 포함시키고자 하며, 실무에서 사용하고 있는 접합부가 다양하기 때문에 접합부의 형태에 따른 특성을 그동안 이루어진 많은 실험과 이론자료를 이용하여 강도, 강성, 그리고 연성(ductility)의 측면에서 접합부 특성이 분류되어야 한다.

본 연구에서는 철골접합부의 거동에 영향을 주

1) 경기대학교 대학원 건축공학과 박사과정
2) 경기대학교 대학원 강사, 공학박사
3) 경기대학교 건축공학과 교수, 공학박사

는 설계변수들을 이용하여 구성된 모멘트-회전거동에 대한 예측모형식의 접선강성으로 회전강성을 구하여 반강접 골조해석을 수행하였다. 해석방법으로, 골조의 기하학적인 비선형성을 위해 축방향력에 의한 P-delta 효과를 고려하고, 반강접 골조에 있어 접합부의 특성을 보 단부에 회전강성을 가지는 스프링 요소로 모형화하여 해석알고리즘을 제시하였다. 이러한 해석알고리즘에 근거하여, 수평하중에 대한 반강접 골조 형태에 따른 거동을 수치해석 모델을 통하여 수행하여 철골 반강접 골조의 유연도(flexibility)를 분석하였다.

2. 접합부 회전강성

2.1 접합부 모형

이 연구에서의 보-기둥 접합부의 모형화는 크게 두가지로 구분할 수 있다. 첫째는 앵글(Angle)을 사용한 접합으로 보 웨브와 기둥 플랜지가 볼트에 의한 접합방법이며, 둘째는 플레이트(Plate)를 사용한 접합으로 보 웨브와 플레이트는 공장에서 용접하고 기둥 플랜지에는 현장에서 볼트를 사용하는 접합방법으로 그림 2-1과 같다⁽⁴⁾.

2.2 회전강성식

본 연구에서 이용된 반강접 접합부의 예측 모형식은 멱급수 형태로 Menegott-Pinto 응력도-변형도 관계식을 수정한 모멘트와 회전변형에 관한 $M=f(\theta)$ 의 함수식으로 다음식과 같다⁽⁵⁾.

$$M = \frac{1}{k} \left\{ \alpha \cdot \theta + \frac{\beta \cdot \theta}{[1 + (\frac{\theta}{r_1})^{2n}]^{1/3}} \right\} \quad (2-1)$$

여기서 K 는 접합부 형태별 표준화 상수

반강접 보-기둥 접합부 형태별에 따른 회전강성은 연구에서 이용된 모멘트-회전거동에 대한 예측

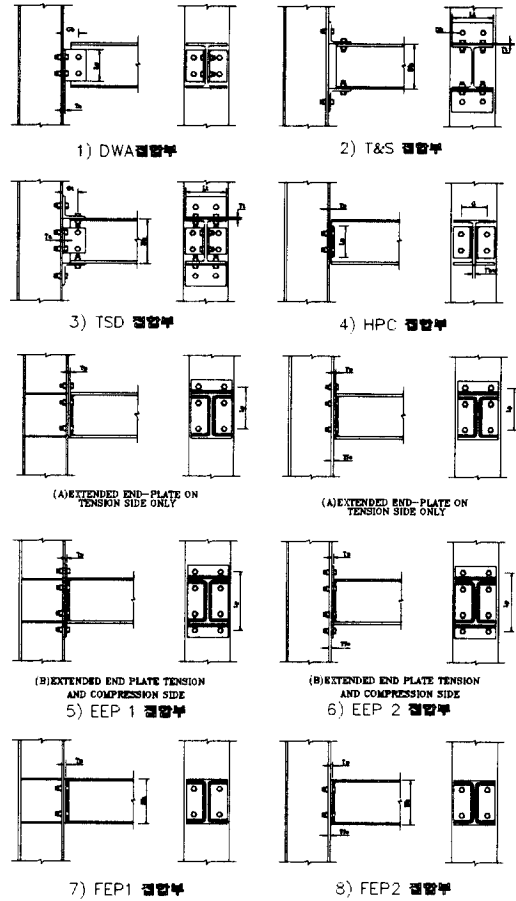


그림 2-1 반강접 접합부 모형

모형식의 도함수값으로 나타내었다. 모멘트-회전거동 예측식인 식(2-1)을 회전변형 θ 로 미분시켜 정리하여 다음 식(2-2)로 접합부 회전강성을 나타내었다.

$$f'(\theta) = \frac{1}{K} \left[KM_o \left\{ - \left(\frac{B \cdot \theta \cdot (1+\Theta)^{-1-\frac{1}{n}} \Theta^{-1+n}}{\theta_o^n} \right) + \frac{b}{\theta_o} + \frac{B}{(1+\Theta)^{\frac{1}{n}}} \right\} \right] \quad (2-2)$$

여기서

K : 접합부 형태별에 따른 표준화 상수

θ : 회전변형

n : 곡선형태를 결정하는 형태매개변수

R_{ki} : 모멘트-회전거동의 초기강성

R_{kp} : 비탄성구간의 접선강성

K, M_o, θ_o : 곡선추적상수

b : R_{kp}/R_{ki}

B : $1-b$

$$\Theta = \frac{\theta}{\theta_o}$$

식(2-2)을 반강접 보-기둥 접합부 형태에 따른 표준화상수 K 와 각 공통변수들을 정리하면 식(2-3)와 같이 된다. 식(2-3)는 $M=f(\theta)$ 의 모멘트-회전거동의 함수식에 대한 접선의 기울기로서 접합부 회전강성식이다. 이 식은 증분법을 사용한 반강접부재의 강성매트릭스를 구성할 때 접합부의 회전강성으로 대입하기 간편하게 구성되어 있다.

$$f'(\theta) = \frac{1}{K} \left\{ \alpha_1 - \frac{\alpha_2 \cdot \theta^{n_1}}{(1 + \alpha_3 \cdot \theta^{n_1})^{n_2}} + \frac{\alpha_4}{(1 + \alpha_3 \cdot \theta^{n_1})^{n_3}} \right\} \quad (2-3)$$

식(2-3)를 구성하고 있는 회전강성식의 각 변수값을 반강접 고-기둥 접합부의 형태에 따른 식으로 구성하기 위해 각 변수의 값을 구해 표 2-1와 같이 나타내었다.

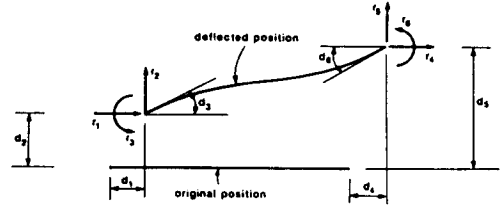
여기서, α_i, n_i 는 반강접 보-기둥접합부 형태별 상수

표 2.1 반강접 접합부 회전 강성식의 변수값

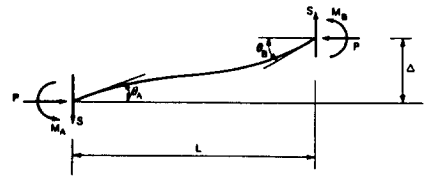
접합부	α_1	α_2	α_3	α_4	n_1	n_2	n_3
DWA	1.614	264.56	8.535	30.995	1.459	1.685	0.685
T&S	0.343	50.8	5.26	9.657	1.268	1.789	0.789
TSD	5.489	1487.7	7.29	204.03	1.273	1.785	0.785
EEP1	24.92	49521	15.62	3169.5	1.603	1.624	0.624
EEP2	5.637	4632.8	20.04	231.2	1.805	1.554	0.554
FEP1	0.465	85.03	5.328	15.959	1.509	1.663	0.663
FEP2	6.635	1135.9	3.976	285.67	1.466	1.682	0.682
HPC	27.89	540.5	3.709	145.69	2.065	1.484	0.484

3. 반강접 골조해석 알고리즘

3.1 기하학적 비선형성



(a) 자유도의 결정



(b) 부재력

그림 3-1 보-기둥 부재요소

이 연구에서는 반강접 부재의 구조적 비선형 거동을 알기 위해 변위법을 사용하여 기하학적 비선형성을 고려하고 보-기둥 접합부의 강성을 접합부 예측모형식의 회전강성값으로 대입하여 거동해석한다.

우선 비탄성해석에 의해 보-기둥부재요소의 강성매트릭스를 축방향력성분에 의한 기하학적인 비선형성인 P- Δ 효과를 고려하였다. 그림 3-1과 같이 보-기둥부재요소의 강성매트릭스는 부재단부력과 변위관계로 6 X 6 매트릭스형태로 구한다. 그림 3-1(a)의 방향을 양(+)의 방향으로 하고 그림 3-1(b)에서와 같이 보-기둥부재에 대해 처짐각법을 이용하면 식(3-1), 식(3-2)와 같이 부재 단부력을 구할 수 있다.

$$M_A = \frac{EI}{L} [s_{ii} \theta_A + s_{ij} \theta_B - (s_{ii} + s_{ij}) \frac{\Delta}{L}] \quad (3-1)$$

$$M_B = \frac{EI}{L} [s_{ij} \theta_A + s_{ji} \theta_B - (s_{ii} + s_{jj}) \frac{\Delta}{L}] \quad (3-2)$$

여기서 s_{ii} , s_{ij} 는 축방향력의 함수인 안정도 함수로써 축방향력이 압축력이면 다음 식(3-3), 식(3-4)와 같다.

$$s_{ii} = \frac{KL \sin KL - (KL)^2 \cos KL}{2 - 2 \cos KL - KL \sin KL} \quad (3-3)$$

$$s_{ij} = \frac{(KL)^2 - KL(\sin KL)}{2 - 2 \cos KL - KL \sin KL} \quad (3-4)$$

부재단부의 전단력 S 는 다음 식(3-5)와 같다.

$$S = \frac{-M_A + M_B + P\Delta}{L} \quad (3-5)$$

식(3-5)에다 식(3-1), 식(3-2)을 대입하고 $K = \sqrt{\frac{P}{EI}}$ 로 하여 정리하면 식(3-5)은 아래 식(3-6)과 같이 된다.

$$S = \frac{-EI}{L^2} \left\{ (s_{ii} + s_{ij}) \theta_A + (s_{ii} + s_{ij}) \theta_B + [2(s_{ii} + s_{ii}) - (KL)^2] \frac{\Delta}{L} \right\} \quad (3-6)$$

축방향력에 의한 곡률반경의 감소(바우잉 효과)를 고려하지 않으면 축방향력과 변위와의 관계식을 식(3-7)과 같이 쓸 수 있다.

$$P = \frac{EA}{L} u \quad (3-7)$$

위에서 정리한 식을 행렬형태로 나타내면 아래 식(3-8)과 같다.

$$\begin{bmatrix} M_A \\ M_B \\ S \\ P \end{bmatrix} = \frac{EI}{L} \begin{bmatrix} s_{ii} & s_{ij} & -\frac{(s_{ii} + s_{ij})}{L} & 0 \\ & s_{ii} & -\frac{(s_{ii} + s_{ij})}{L} & 0 \\ & & -\frac{2(s_{ii} + s_{ij}) - (KL)^2}{L^2} & 0 \\ SYM. & & & \frac{A}{I} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_A \\ \theta_B \\ \Delta \\ u \end{bmatrix} \quad (3-8)$$

그림 3-1를 이용하여 정력학적 평형방정식으로 구성하면 다음 식(3-9)과 같다.

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ r_4 \\ r_5 \\ r_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_A \\ M_B \\ S \\ P \end{bmatrix} \quad (3-9)$$

식(3-9)을 운동학적 방정식으로 구성하면 다음 식(3-10)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \theta_A \\ \theta_B \\ \Delta \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \\ d_6 \end{bmatrix} \quad (3-10)$$

식(3-8), 식(3-9) 그리고 식(3-10)를 합치면 아래와 같이 식(3-11)와 같은 보-기둥 부재의 강성매트릭스로 된다.

$$K = \frac{EI}{L} \begin{bmatrix} \frac{A}{I} & 0 & 0 & -\frac{A}{I} & 0 & 0 \\ & \frac{12}{L^2} \Phi_1 & \frac{6}{L} \Phi_2 & 0 & -\frac{12}{L^2} \Phi_1 & -\frac{6}{L} \Phi_2 \\ & & 4\Phi_3 & 0 & -\frac{6}{L} \Phi_2 & 2\Phi_4 \\ & & & \frac{A}{I} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{12}{L^2} \Phi_1 & -\frac{6}{L} \Phi_2 \\ SYMM. & & & & & 4\Phi_3 \end{bmatrix} \quad (3-11)$$

여기서 $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$ 는 안정도 함수(stability function)로써 축방향력 P가 압축력일 때는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned}\Phi_1 &= \frac{(KL)^3 \sin KL}{12 \Phi_c} \\ \Phi_2 &= \frac{(KL)^2 (1 - \cos KL)}{6 \Phi_c} \\ \Phi_3 &= \frac{(KL)(\sin KL - KL \cos KL)}{4 \Phi_c} \\ \Phi_4 &= \frac{(KL)(KL - \sin KL)}{2 \Phi_c} \\ \Phi_c &= 2 - 2 \cos KL - KL \sin KL\end{aligned}\quad (3-12)$$

$$\text{여기서 } K = \sqrt{\frac{P}{EI}}$$

축방향력 P가 작을 경우에는 위 식(3-12)은 수치적으로 불안정하므로 멱급수 형태를 이용하여 다음 식(3-13)와 같이 구하며 여기서의 n은 10정도로 구하고자 하는 값에 충분히 수렴한다.

$$\begin{aligned}\Phi_1 &= \frac{1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)!} [\mp (KL)^2]^n}{12 \Phi} \\ \Phi_2 &= \frac{\frac{1}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+2)!} [\mp (KL)^2]^n}{6 \Phi} \\ \Phi_3 &= \frac{\frac{1}{3} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(n+1)}{(2n+3)!} [\mp (KL)^2]^n}{4 \Phi} \\ \Phi_4 &= \frac{\frac{1}{6} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+3)!} [\mp (KL)^2]^n}{2 \Phi} \\ \Phi &= \frac{1}{12} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(n+1)}{(2n+4)!} [\mp (KL)^2]^n\end{aligned}\quad (3-13)$$

축방향력이 작다고 가정하면 테일러 시리즈(Taylor series)를 Φ 에 적용하여 처음 두개의 항으로 나타내고 $(kL)^2$ 대신 PL^2/EI 를 대입하여

P/L에 대한 항을 분리하여 강성매트릭스를 나타낼 수 있다.

$$K = \frac{EI}{L} \begin{bmatrix} \frac{A}{I} & 0 & 0 & -\frac{A}{I} & 0 & 0 \\ & \frac{12}{L^2} & \frac{6}{L} & 0 & -\frac{12}{L^2} & -\frac{6}{L} \\ & & 4 & 0 & -\frac{6}{L} & 2 \\ & & & \frac{A}{I} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{12}{L^2} & -\frac{6}{L} \\ \text{SYMM.} & & & & & 4 \end{bmatrix}$$

$$\mp \frac{P}{L} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & \frac{6}{5} & \frac{L}{10} & 0 & -\frac{6}{5} & \frac{L}{10} \\ & & \frac{2L^2}{15} & 0 & -\frac{L}{10} & -\frac{L^2}{30} \\ & & & 0 & 0 & 0 \\ & & & & \frac{6}{5} & -\frac{L}{10} \\ \text{SYMM.} & & & & & \frac{2L^2}{15} \end{bmatrix}\quad (3-14)$$

식(3-14)는 $[k] = [k_0] + [k_G]$ 로 왼쪽항 $[k_0]$ 는 탄성강성 매트릭스, 오른쪽 항 $[k_G]$ 는 축방향력의 영향으로 인한 골조의 기하학적인 비선형을 나타내는 기하강성 매트릭스이다.

3.2 반강접 부재요소

반강접 부재의 비선형 거동을 해석하기 위해 부재 양단부의 모멘트에 대한 회전성능을 스프링요소로 기존 6개의 자유도를 가지는 보-기둥 요소에 2개의 자유도로 회전강성 스프링부재를 연결하여 접합부를 모형화한다.

최종적인 반강접 부재요소의 강성매트릭스를 구성하기 위해 중간매개부재를 이용, 정역학적 힘과 변형관계를 이용하여 수식을 정리한다.

그림 3-2(a)와 같은 회전 스프링 요소로 된 접합 A, B에 대한 모멘트-회전관계는 2개의 자유도와

따라서 식(3-17), 식(3-18)을 이용하여 식(3-19)은 그림 3.2(b)와 같은 중간매개부재의 강성매트릭스인 아래 식(3-20)이 된다.

$$\bar{K} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & 0 & k_{14} & k_{15} & 0 & \vdots & k_{13} & k_{16} \\ k_{12} & k_{22} & 0 & k_{24} & k_{25} & 0 & \vdots & k_{23} & k_{26} \\ 0 & 0 & R_{KA} & 0 & 0 & 0 & \vdots & -R_{KA} & 0 \\ k_{14} & k_{24} & 0 & k_{44} & k_{45} & 0 & \vdots & k_{34} & k_{46} \\ k_{15} & k_{25} & 0 & k_{45} & k_{55} & 0 & \vdots & k_{35} & k_{56} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_{KB} & \vdots & 0 & -R_{KB} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{13} & k_{23} & -R_{KA} & k_{34} & k_{35} & 0 & \vdots & R_{KA}+k_{33} & k_{36} \\ k_{16} & k_{26} & 0 & k_{46} & k_{56} & -R_{KB} & \vdots & k_{36} & R_{KB}+k_{66} \end{bmatrix} \quad (3-20)$$

여기서,

- K_y : 보-기둥 부재요소의 강성매트릭스
- R_K : 접합부의 회전강성값

반강접 부재요소의 강성매트릭스를 구하기 위해 중간매개부재의 자유도를 조정하여 나타내면 아래 식(3-21)가 된다.

$$\begin{bmatrix} \bar{r}_a \\ \dots \\ \bar{r}_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{k}_{aa} & \vdots & \bar{k}_{ab} \\ \dots & \vdots & \dots \\ \bar{k}_{ba} & \vdots & \bar{k}_{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{d}_a \\ \dots \\ \bar{d}_b \end{bmatrix} \quad (3-21)$$

반강접 부재요소의 강성매트릭스는 자유도 7번, 8번의 값은 물리적으로 0이 되므로 식(3-21)에서 $\bar{r}_7 = \bar{r}_8 = 0$ 으로 하면 $\bar{r}_b = 0$ 이 된다.

$$\text{따라서, } \bar{r}_b = 0 = \bar{k}_{ba}\bar{d}_a + \bar{k}_{bb}\bar{d}_b \quad (3-22)$$

$$\text{그러므로, } \bar{d}_b = -\bar{k}_{bb}^{-1} \bar{k}_{ba}\bar{d}_a \quad (3-23)$$

식(3-23)를 식(3-22)에 대입하여 최종적인 반강접 부재요소의 강성매트릭스를 구하면 다음 식(3-24)와 같다.

$$\begin{aligned} \bar{r}_a &= \bar{k}_{aa}\bar{d}_a + \bar{k}_{ab}\bar{d}_b \\ &= (\bar{k}_{aa} - \bar{k}_{ab} \cdot \bar{k}_{bb}^{-1} \cdot \bar{k}_{ba})\bar{d}_a \end{aligned} \quad (3-24)$$

윗 식을 다음 식(3-25)와 같이 간단한 형태로 나타내어 반강접 부재요소의 힘-변위관계 식이 된다.

$$\bar{r}_s = K_s \bar{d}_s \quad (3-25)$$

여기서,

- \bar{r}_s : 반강접 부재요소의 부재력(\bar{r})
- \bar{d}_s : 반강접 부재요소의 변위(\bar{d})
- K_s : 반강접 부재요소의 강성매트릭스

식(3-25)은 양단에 반강접 보-기둥 접합부가 있는 부재요소의 강성매트릭스를 나타내며 반강접 접합부의 비선형 모멘트-회전거동과 골조의 기하학적인 비선형성을 함께 고려한 식이다.

3.3 컴퓨터 프로그램

이 연구에서의 반강접 부재요소의 기하학적 비선형성과 반강접 접합부의 비선형 모멘트-회전거동특성을 고려한 골조해석 프로그램은 모두 16개의 프로그램으로 구성되어 있다. 이들 중 반강접 접합부의 종류별 특성은 SECON 부프로그램에서 RK 변수에 의해 고려된다. 그리고 FORCE에서 구한 축방향력은 STIFF에서 골조의 비선형 강성매트릭스를 구성하도록 인수가 전달되며 반강접 접합부의 위치에 따른 강성매트릭스 구성은 서브 프로그램 ALLM, LEFM, RIGM에서 산정하여 ASSEM을 통해 최종적으로 구조체의 강성매트릭스를 구성하도록 하였다.

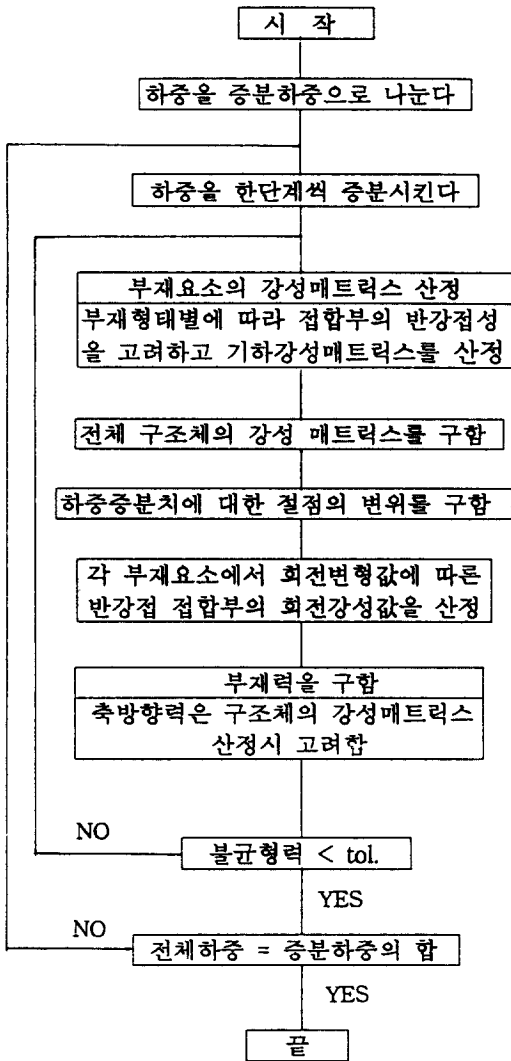


그림 3-3 컴퓨터 프로그램 흐름도

4. 반강접 골조해석의 적용분석

반강접 접합부 유연도가 골조거동에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 연구에서 제시하는 방법으로 반강접 골조해석을 하였다. 해석골조모형은 그림 4.1과 같은 횡하중과 수직하중을 받는 스패이 7.2M, 층고가 3.6M인 5층 철골골조를 사용하였다. 그림 4.1의 기둥부재는 H-300×300×10×15형강

을, 보부재는 H-250×250×9×4형강을 사용하였다.

해석방법은 골조의 1차해석과 축방향력의 영향을 고려한 2차해석을 하여, 접합부의 반강접성과 축방향력의 영향이 골조거동에 미치는 영향을 분석한다.

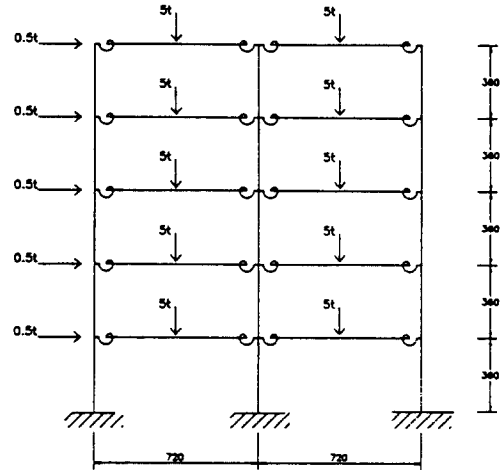


그림 4-1 해석 골조모형

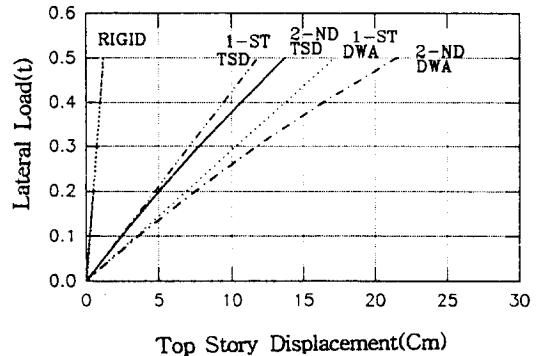


그림 4-2 앵글접합부 골조의 수평하중-회전위 곡선

4.1 수평하중-회전위

1) 앵글 접합부

앵글접합부의 DWA접합부를 사용한 골조와 TSD접합부를 사용한 골조의 수평하중-최상층 횡

변위 관계를 그림 4-2에 나타냈다. 수평하중 0.5t에서 강접합 골조와 DWA접합부 골조, TSD접합부 골조를 비교해 보면, 1차해석의 경우에는 강접합 골조에 비하여, DWA접합부 골조가 약 14.65배의 횡변위를, TSD접합부 골조가 약 10.07배의 횡변위를 발생시킴을 알 수 있으며, 2차해석의 경우에는 DWA접합부 골조가 약 18배의 횡변위를, TSD접합부 골조가 약 11.5배의 횡변위를 발생시키고 있다.

또한, 같은 수평하중하에서 TSD접합부 골조와 DWA접합부 골조의 횡변위 비교에서는, 1차해석의 경우에는 DWA접합부 골조가 TSD접합부 골조에 비하여 약 1.45배의 횡변위를, 2차해석의 경우에는 약 1.57배의 횡변위를 발생시킴을 알 수 있었다.

2) EEP 접합부

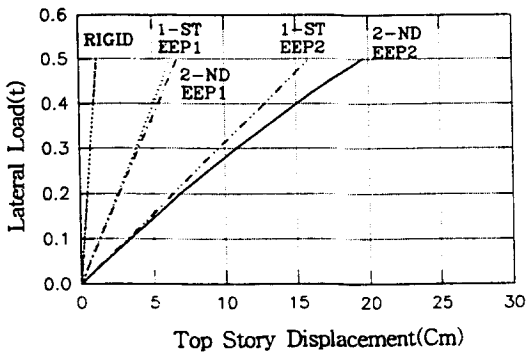


그림 4-3 EEP접합부 골조의 수평하중-횡변위 곡선

EEP접합부를 사용한 골조의 수평하중-최상층 횡변위 관계를 살펴보면, 수평하중 0.5t에서 강접합 골조에 비하여, 1차해석의 경우에는 EEP1접합부 골조가 약 5.37배의 횡변위를, EEP2접합부 골조가 약 13.6배의 횡변위를 발생시키고 있으며, 2차해석의 경우에는 EEP1접합부 골조가 약 5.8배의 횡변위를, EEP2접합부 골조가 약 16.75배의 횡변위를 발생시키고 있다. 또한 수평하중 0.5t에서 EEP1접합부 골조와 EEP2접합부 골조의 횡변위 비교에서는 EEP2접합부 골조가 EEP1접합부 골

조에 비하여 1차해석의 경우에는 약 2.53배의 횡변위를, 2차해석의 경우에는 약 2.88배의 횡변위를 발생시키고 있으나, 이것은 접합부의 예측모형 산정시 EEP접합부의 실험데이터의 부족에 의한 것으로 간주된다.

3) FEP 접합부

FEP접합부를 사용한 골조를 수평하중-최상층 횡변위를 그림 4-4에 나타내었다. 수평하중 0.5t에서 FEP접합부 골조는 강접합 골조에 비하여 1차해석의 경우에는 FEP1접합부 골조가 약 13.3배의 횡변위를 FEP2접합부 골조는 약 14.09배의 횡변위를 발생시키고 있다.

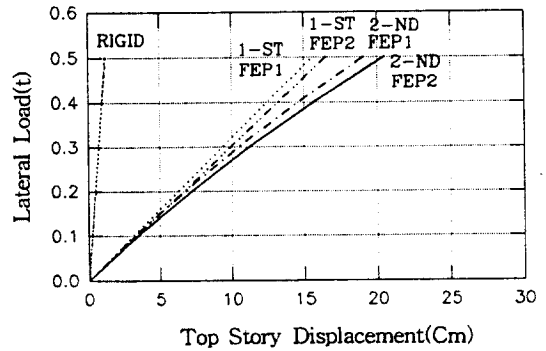


그림 4-4 FEP접합부 골조의 수평하중-횡변위 곡선

축방향력을 고려한 2차해석의 경우에는 강접합 골조에 비하여 FEP1접합부 골조가 약 16배의 횡변위를, FEP2접합부 골조가 약 17.23배의 횡변위를 발생시키고 있다. 또한 같은 수평하중하에서 FEP1접합부 골조와 FEP2접합부 골조의 횡변위 비교에서는 FEP2접합부 골조가 FEP1접합부 골조에 비하여, 1차해석의 경우에는 약 1.06배의 횡변위를, 2차해석의 경우에는 약 1.07배의 횡변위를 발생시키고 있다.

4.2 층별-횡변위

1) 뱅글접합부

앵글접합부를 사용한 DWA접합부 골조와 TSD

접합부 골조의 층별-횡변위 관계를 그림 4-5에 나타내었다.

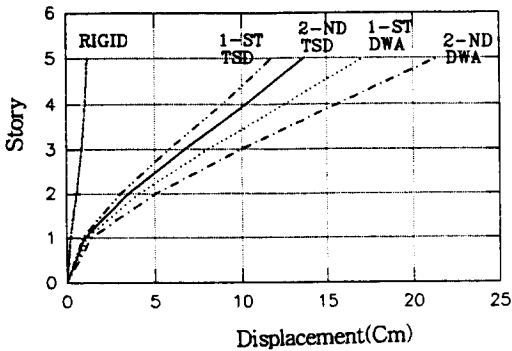


그림 4-5 앵글접합부 골조의 층별-횡변위 곡선

그림 4-5에서와 같이, 강접합골조의 경우 기하학적 비선형성을 고려한 2차해석은 1층 횡변위값이 1차해석에 비해 1.52%의 증가를 보이는 반면, DWA접합부 골조는 21.62%의 증가를 보였으며, 최상층의 경우 강접합 골조가 1.52%, DWA 골조가 25.25%의 증가를 보여 골조의 기하학적인 비선형에 반강접 결합부의 비선형성이 합쳐져 골조의 횡변위를 더욱 증대시킴을 알 수 있다. 또한, TSD접합부 골조의 경우, 2차해석은 1차해석에 비하여 1층에서는 13.5%의 증가를, 최상층에서는 16.1%의 증가를 보여 주어 접합부의 유연도가 클수록 축방항력에 의한 횡변위가 증대함을 알 수 있다.

2) EEP접합부

EEP접합부 골조의 층별-횡변위 관계를 살펴보면, EEP1접합부 골조는 1차해석에 대한 2차해석의 횡변위 증가율이 1층에서는 6.82%를, 최상층에서는 8.07%를 나타내었다.

EEP2접합부 골조는 축방항력을 고려한 2차해석이 1차해석에 비하여 1층의 경우 19.66%의 증가율을, 최상층에서는 23.05%의 증가율을 나타내었다.

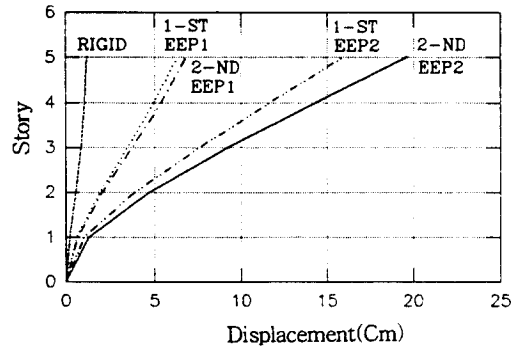


그림 4-6 EEP 접합부 골조의 층별-횡변위 곡선

3) FEP접합부

FEP접합부 골조의 층별-횡변위 관계는 그림 4-7에서와 같이, 2차해석에 의한 횡변위 증가율이 1차해석에 비하여 강접합 골조의 경우 1층에서 1.52%를, 최상층에서 1.52%의 증가를 보이는 반면, FEP1접합부 골조는 1층에서 19.07%를, 최상층에서는 22.38%의 증가율을 보였다. 또한 FEP2접합부 골조의 경우, 1층에서는 20.57%를, 최상층에서는 24.06%의 증가율을 나타내었다.

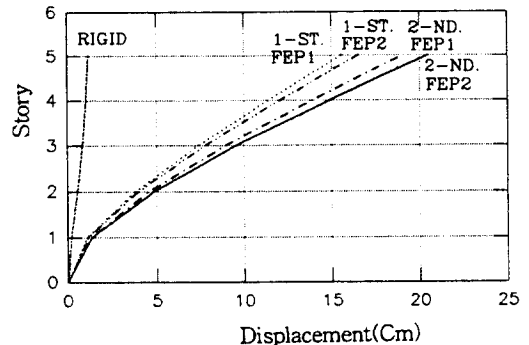


그림 4-7 FEP 접합부 골조의 층별-횡변위 곡선

5. 결 론

이 연구에서는 철골 반강접 보-기둥 접합부 거동에 영향을 미치는 설계변수들을 이용하여 구성

된 예측모형식의 접선강성으로 접합부 회전강성을 구하고, 접합부의 반강접 특성을 고려한 골조 해석 알고리즘을 제시하여, 접합부 형태에 따른 유연도가 골조거동에 미치는 영향을 분석하였다. 이와 같은 해석방법에 의한 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 반강접 접합부의 유연도가 골조의 수평하중-회전위에 미치는 영향을 연구에서 제시하는 방법으로 분석해보면, 강접합 골조에 비하여 **Double Web Angle** 접합부 골조가 약 18배, **Top and Seat with Double Web Angle** 접합부 골조가 약 11.5 배, **Extended End-Plate with Stiffener** 접합부 골조가 약 5.8배의 횡변위를 발생시키고 있으며, 따라서 반강접 접합부만으로 수평하중에 지지하는 것은 바람직하지 않다고 판단된다.

2. 강접합 골조의 경우 기하학적 비선형성을 고려한 2차해석은 최상층 횡변위값이 1차해석에 비해 1.52%의 증가를 보이는 반면, **Double Wwb Angle** 접합부 골조는 25.25%, **Top and Seat with Double Web Angle** 접합부 골조의 경우 16.1%, **Extended End-Plate with Stiffener** 접합부 골조는 8.07%의 증가를 보여 접합부의 유연도가 클수록 골조의 기하학적인 비선형에 반강접 접합부의 비선형성이 합쳐져 골조의 횡변위를 더욱 증대시킴을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 1994년도 포항종합제철주식회사의 철강분야 대학 연구비 지원(No.94056)에 의하여 수행되었으며, 연구비를 지원해 주신 포항종합제철주식회사에 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Brebbia, C.A., and Ferrante, A.J., *Computational Methods for the Solution of Engineering Problems*, Pentech Press, London, 1979.
2. Chen, W.F. and Lui, E. M., *Stability Design of Steel Frames*, CRC Press, 1991.
3. Kishi, N and Chen, W.F., "Data Base of Steel Beam-to-Column Connections", Vol.I and II, *Structural Engineering Report No.CE-STR-86-26*, School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN. Aug.1986.
4. 강철규, "반강접 접합부 구성매개변수의 유연도 해석에 관한 연구", 경기대학교 대학원 석사학위논문, 1994.
5. 한영철, "반강접 철골구조물의 구조적거동에 관한 연구", 연세대학교 대학원 박사학위논문, 1993.