

# 6층 비가새 철골구조물의 반강접 접합부에 관한 해석적 연구

## An Analytical Study on Semi-Rigid Connections of 6-Story Unbraced Steel Structures

김진형<sup>1)</sup> · 강석봉<sup>2)</sup>

*Kim, Jin Hyoung Kang, Suk Bong*

**요약** : 일반적으로 철골조의 구조해석과 설계시 접합부는 완전한 강절점과 활절점으로 가정되나 실제의 접합부는 반강접의 거동을 보인다. 본 논문에서 접합부의 연성도를 고려한 비선형 거동과 부재의 기하 비선형을 고려할 수 있는 구조해석 프로그램을 개발하였다. 6층 비가새 철골구조물에 대한 효율적인 반강접 접합부를 제안하였으며 반강접 접합부의 구조물 거동에 미치는 영향을 파악하였다.

**ABSTRACT** : Structural analysis and design of steel frames is usually conducted under the assumption that beam-to-column connections are either fixed or pinned. In reality, each connection possesses a certain rotational stiffness. In this study, structural analysis program is developed, which takes into account the nonlinear behavior of framed structures including flexibility of semi-rigid connections and member geometric nonlinearity. Effective semi-rigid connections for a 6-story unbraced steel frame are suggested and the effect of flexible connections on the behavior of the structure are studied.

**핵심용어** : 반강접, 접합부, 직선변환점, 구조해석, 비선형 해석

**KEYWORDS** : Semi-rigid, Connection, Turning Point, Structural Analysis, Nonlinear Analysis.

### 1. 서론

철골 구조물에서 보-기둥 접합부의 거동은 구조해석과 설계상의 편리성 때문에 완전한 강절점(Fully Rigid Joint)와 완전한 활절점(Pinned

Joint)으로 이상화하여 사용된다. 이러한 이상화된 접합방법을 사용하면 구조해석 및 설계과정을 단순화시킬 수 있으나 일반적인 구조물에서는 활절점에서 약간의 휨모멘트가 전달되고, 강절점에서 어느 정도의 상대적인 변형이 일어나는 것이

1) 울산대학교 대학원 건축학과 석사과정

2) 정회원, 울산대학교 건축학부 부교수, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 2000년 2월 29일까지 학회로 보내 주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

사실이다. 이러한 집합부를 반강접 집합부로 정의하고 있다. 실질적으로 반강접 집합은 시공의 용이성과 부재의 효율적인 모멘트 분배가 가능하다는 유리한 점 때문에 바람, 지진 등과 같은 수평하중이 문제되지 않는 지역에서 사용 가능성이 높다. 외국의 연구에서는 반강접 집합이 내진설계 시 불리한 집합만은 아니라는 결과가 제시되고 있다. 또한, 최근의 전산기 및 전산해석 프로그램의 발전에 의해 비선형 구조해석이 용이해 짐에 따라 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나, 보-기둥 집합부 모멘트-회전각 관계는 집합부마다 다르므로 대부분 실험에 의존해야 하는 어려움이 있으며, 집합부의 비선형 모멘트-회전각 곡선을 얻는다고 해도 구조해석 과정에서 이 곡선을 수학적 근사식으로 모델화 하여야 한다. 이러한 비선형 반강접 집합부 거동을 구조해석과정에서 정확히 고려하기 위해서는 반복법 등을 사용하게 되어 구조해석시간이 상당히 늘어나게 된다. 따라서 비선형 해석모델보다는 이를 적절하게 단순화한 모델이 제시될 필요성이 있다.

본 연구에서는 그림 4와 같은 Top and Seat Angle에 의한 반강접 집합부의 비선형 모멘트-회전거동을 실제 구조물의 구조해석에 적용한다. 첫 번째로 집합부의 비선형 및 골조의 기하 비선형을 고려한 2차 탄성해석 프로그램을 개발하고, 두 번째로 집합부의 단순 해석모델을 제시하며, 마지막으로 반강접 보-기둥 집합부에 따른 골조의 수평변위, 모멘트 분포 양상을 비교하여 제안한 집합부의 적절성을 검증하고자 한다.

## 2. 반강접 집합부를 고려한 구조해석

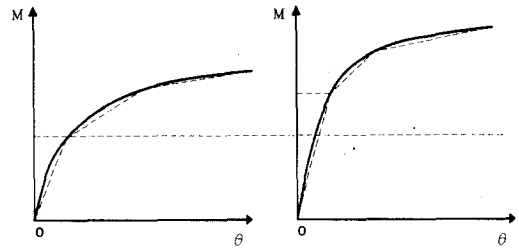
### 2.1 2차 탄성해석 프로그램

본 연구의 2차 탄성해석 프로그램에서는 부재 강성도 유도를 위하여 Hybrid Beam Element<sup>(8)</sup>를 사용하였고 집합부 단순 해석모델을 위한 해석기법으로는 직선변환점(Turning Point)을 정확히 고려할 수 있도록 하였다. 그리

고, 집합부의 비선형 뿐만 아니라 골조의 기하 비선형을 고려하였다. 그러나, 재료 비선형 및 반복하중에 의한 거동은 고려되지 않았다.

본 연구에서는 집합부의 비선형 모멘트-회전각 곡선을 그림 1과 같이 강성이 바뀌는 점을 직선 변환점으로 하여 Multi-Linear화하였다. 이러한 방법은 비선형 해석모델을 선형 해석모델로 대체하여 약간의 오차가 예상되나 구조해석과정에서 예상되는 Overshooting 문제나 P-delta 효과를 고려하는 경우 반복법을 사용하여야 하는 것을 고려하면 해석모델 기법으로 장점이 있다.

직선 변환점을 활용하는 해석기법에서는 제일 먼저 직선 변환점에 도달하는 집합부와 이에 필요한 하중의 증분을 확인하고 이 하중 증분을 작용시킨 후 P-delta 효과를 고려하기 위하여 반복법을 활용하여 집합부의 직선 변환점에 도달하도록 한다. 반복과정 각각의 단계에서 부재의 축력은 일정하다고 가정하여, 잔여 하중증분에 대한 하중증분의 합이 구조물에 가하려는 하중에 도달할 때까지 구조해석을 수행하게 된다.



집합부 I                                  집합부 II  
 그림 1. 직선 변환점(Turning Point)

### 2.2 반강접 효과를 고려한 부재 강성행렬

집합부의 반강접 효과를 부재 강성행렬에 포함시키기 위해서 반강접 집합부를 특정한 모멘트-회전각 관계를 가진 스프링으로 모델화하여 두 개의 스프링이 평형조건과 적합조건을 만족하면서 보의 양 끝단에 구속되어 있다고 본다. 이러한 가정을 바탕으로 2개의 스프링과 보 부재의 힘과 변위관계를 유도한 뒤 부재의 자유도 사이의 기

하학적 관계를 고려함으로써 강성행렬을 유도한다. 그림 2에는 부재와 접합부의 부재 결합과정을 보여주고 있다.

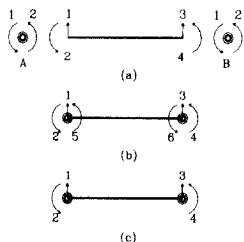


그림 2. Hybrid Beam Element

각 각의 부재 힘-변위관계는 다음과 같다.

$$\{F\} = [K]\{X\} : \text{보 부재}$$

여기에서 F: 힘, K: 강성행렬, X: 변위이다.

$$\begin{bmatrix} r_{1A} \\ r_{2A} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{kA} & -R_{kA} \\ -R_{kA} & R_{kA} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{1A} \\ d_{2A} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} r_{1B} \\ r_{2B} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{kB} & -R_{kB} \\ -R_{kB} & R_{kB} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{1B} \\ d_{2B} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기에서 r: 힘벡터, R: 강성, d: 변위이다.

각 각의 부재를 하나의 부재로 결합한다.

$$\{r\} = [K]\{d\} + \{r_f\} \quad (3)$$

여기에서 r<sub>f</sub>: 외력 벡터이다.

$$\begin{bmatrix} r_a \\ 4 \times 1 \\ \dots \\ r_b \\ 2 \times 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{aa} & | & k_{ab} \\ 4 \times 4 & | & 4 \times 2 \\ \dots & | & \dots \\ k_{ba} & | & k_{bb} \\ 2 \times 4 & | & 2 \times 2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_{Fa} \\ 4 \times 1 \\ \dots \\ r_{Fb} \\ 2 \times 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

부재 양 단부의 휨모멘트에 대해 표현하면

$$\begin{aligned} r_b &= 0 = k_{ba} d_a \\ &= k_{bb} d_b + r_{Fb} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} r_a &= (k_{aa} - k_{ab} k_{bb}^{-1} k_{ba}) d_a \\ &+ (r_a - k_{ab} k_{bb}^{-1} r_{Fb}) \\ &= k_{hyb} d_{hyb} + r_{hyb} \end{aligned} \quad (6)$$

여기에서 k<sub>hyb</sub> = k<sub>aa</sub> - k<sub>ab</sub>k<sub>bb</sub><sup>-1</sup>k<sub>ba</sub>이다.

반강접 접합을 고려한 부재강성행렬은 k<sub>hyb</sub>이고 부재 양단의 접합부 강성이 같지 않아도 되며 부재의 축력과 휨모멘트 효과를 고려할 수 있다.

### 2.3 P-delta 효과를 고려한 부재 강성행렬

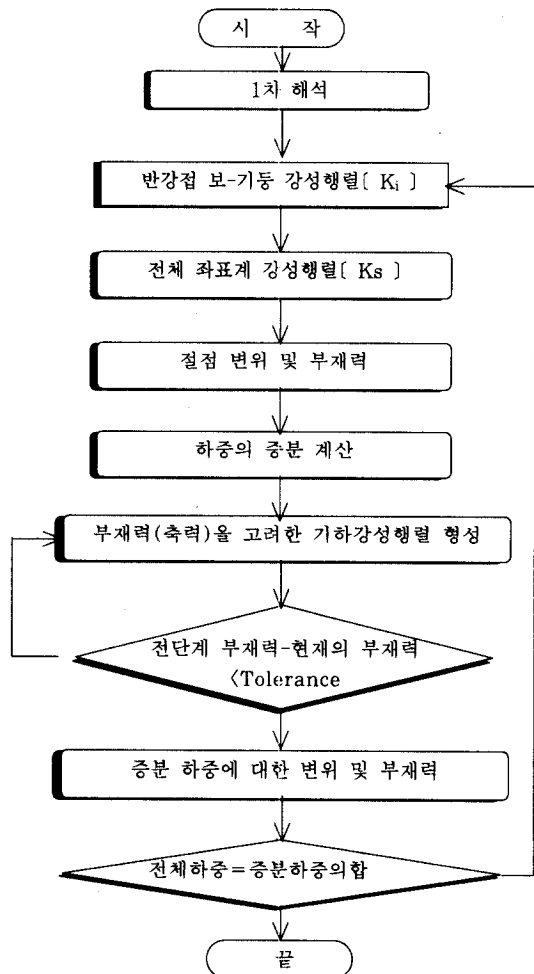
P-delta 효과를 고려한 부재 강성행렬<sup>(10)</sup>은 [K<sub>hyb</sub>]와 기하강성행렬의 합으로 표현될 수 있다.

$$[K_i] = [K_{hyb}] + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{6}{5} & \frac{0}{L} & 0 & -\frac{6}{5} & \frac{L}{10} \\ \frac{2L^2}{15} & 0 & -\frac{L}{10} & -\frac{L^2}{30} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{6}{5} & -\frac{L}{10} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2L^2}{15} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Symmetry

### 2.4 구조해석 순서도

2차탄성 구조해석 알고리즘은 다음과 같다.



### 3. 반강접 접합부 해석모델

#### 3.1 개 론

본 연구에서 요구되는 접합부 강성 및 강도를 나타낼 수 있는 반강접 접합부 형태를 결정하고 기존 실험결과<sup>(9)</sup>를 토대로 반강접 접합부 비선형 해석모델 중 Fyre-Morris Polynomial Model, Colson Power Model, Chen Exponential Model, Richard Power Model 및 멱급수 함수식<sup>(7)</sup> 등을 비교 검토하여 가장 적절한 비선형 해석모델을 선정한다. 선정된 접합부에 대한 비선형 모멘트-회전각 곡선식을 구한 후 충분한 직선변환점을 가지는 Multi-Linear 모델로 변환하여 비선형 해석모델을 대체할 수 있다. 그리고 구조 해석시 골조의 기하 비선형을 고려한 해석에 따른 반복 수렴과정을 최소화하기 위하여 Bi - Linear 해석모델<sup>(6)</sup>로 단순화한다.

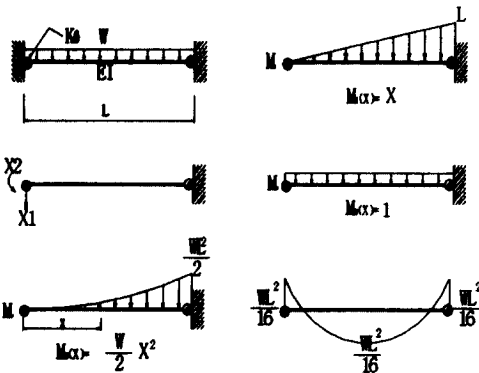


그림 3. 가상일의 원리를 이용한 변위일치법

구조물에 등분포 하중이 작용하는 보에서 양단이 고정인 경우의 단부와 중앙부 모멘트는 각각

$$M_{end} = wL^2/12, \quad M_{center} = wL^2/24 \quad (8)$$

으로 표현된다. 하지만, 그림 3과 같이 단부에 반강접 접합부가 있다고 가정할 경우, 단부와 중앙부의 모멘트가 동일하다고 하면 그 크기는 다음 식.(9)로 나타난다.

$$M_{end} = M_{center} = wL^2/16 \quad (9)$$

이 경우, 보 부재는 최적설계가 되며 이때의 회전 스프링 강성도는 가상일의 원리를 이용하여 식.(10)과 같이 구할 수 있다. 즉, 등분포 하중이 작용하는 경우 이상적인 접합부의 회전강성도가 식.(10)과 같이 산정되는 것이다.

$$K_{\theta} = \frac{6EI}{L} \quad (10)$$

본 연구는 위의 결과에 근거하여 여러 가지 접합부의 강성분석 결과 Top and Seat Angle without Double Web Angle(이하 T&S)과 Top and Seat Angle with Double Web Angle(이하 TSD)를 선택하였다.

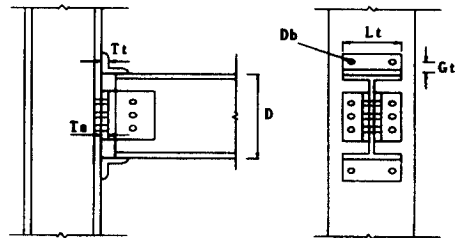
#### 3.2 모멘트-회전 거동에 대한 비선형 해석모델

T&S 접합부는 보 플랜지 위, 아래에 앵글을 고력볼트로 접합하고 기둥 플랜지에도 고력볼트를 접합한 접합부이다. T&S 접합부의 주요 설계 매개변수는 상부 앵글 두께(Tt), 보의 춤(D), 긴 결재의 지름(Db), 상부 앵글의 폭(Lt)로 결정되었다. TSD 접합부는 보의 플랜지에 Top and Seat Angle을 사용하고 웨브에 Double Web Angle로 보강한 접합부이다. 설계 매개변수로서는 Tt, D, Ta, Lt, Gt로 결정되어있다.

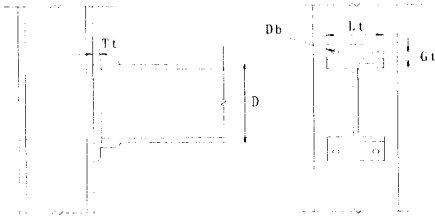
표 1. 접합부 표준화 상수 K

접합부	K
T&S	$T_t^{-0.5} \cdot D^{-1.5} \cdot D_b^{-1.1} \cdot L_t^{-0.7}$
TSD	$T_t^{-1.184} \cdot D^{-1.379} \cdot T_a^{-0.434} \cdot L_t^{-0.955} \cdot G_t^{-1.078}$

이상에서 구한 반강접 접합부 형태에 따른 설계 매개변수의 지수값은 표 1<sup>(7)</sup>과 같다.



(a) TSD 접합부



(b) T&S 접합부

그림 4. TSD접합부와 T&S접합부의 매개변수

본 연구에서는 3.1절의 강성분석에 따라 T&S 접합부 및 TSD 접합부에 한정하여 모멘트-회전 각관계의 회전강성으로써 접합부의 연성도를 나타내었고 접합부를 이루고 있는 설계변수들의 모멘트 성능에 대한 영향도를 고려하였다. 또한, 문헌<sup>(9)</sup>에서 제시하고 있는 실험결과를 이용하여 접합부의 설계 매개변수들의 모멘트 성능을 고려하였다. 곡선추적법인 멱급수 함수식을 이용하여 접합부의 모멘트-회전거동을 나타내었다. 그리고 반강접 접합부의 형태별 예측 모형식<sup>(7)</sup>을 구성하기 위한 곡선 추적상수의 값을 실험 데이터 값으로부터 구한 반강접 보-기둥 접합부 모멘트-회전거동에 대한 모형식은 식.(11)과 같은 형태이다.

$$M = \frac{1}{k} \left\{ a \cdot \theta + \frac{\beta \cdot \theta}{\left[ 1 + \left( \frac{\theta}{r_1} \right)^{r_2} \right]^{\beta}} \right\} \quad (11)$$

여기서 K는 접합부 형태별 표준화 상수이며 식의 변수는 표 2<sup>(7)</sup>에 나타나 있다.

표 2. 예측모형식의 매개변수

접합부	$\alpha$	$\beta$	$r_1$	$r_2$	$r_3$
T&S	0.031	0.412	0.260	1.290	0.780
TSD	0.150	9.069	0.320	1.750	0.572

## 4. 구조물 설계

### 4.1 구조물 개요

본 연구를 위하여 선정된 Prototype 구조물은

그림 5와 같이 중저층 구조물로 가로 세로 3Bay의 6층 철골구조물이다. 재하된 하중으로 사하중은  $0.49t/m^2$ , 활하중은  $0.25t/m^2$  그리고 지진 하중에 대한 등가 횡하중은 1층의  $0.89ton$ 에서 6층의  $4.59ton$ 까지 선형으로 재하되었다. 이와 같은 하중에 대하여 허용응력도법(ASD)을 활용하여 구조설계하였다. 부재설계 결과는 표 3과 같으며 구조물은 그림 5와 같다.

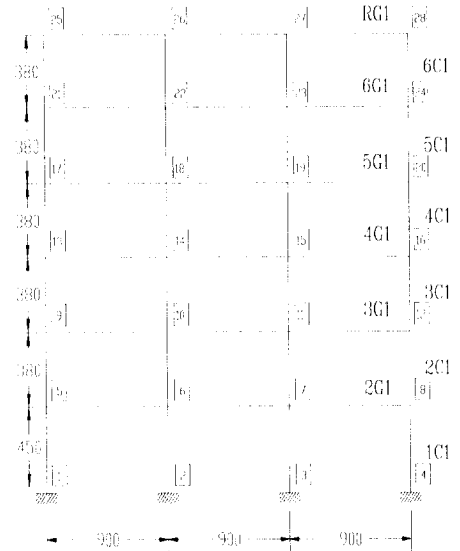


그림 5. 6층 3격간 구조물 단면도 (단위 : Cm)

표 3. 부재설계 결과 (단위 : mm)

부재	단면치수
2G1, 3G1, 4G1	H-450×300×11×18
5G1, 6G1, RG1	H-450×300×10×15
1C1, 2C1, 3C1	H-350×350×19×19
4C1, 5C1, 6C1	H-350×350×10×16

### 4.2 접합부 설계

가장 적합한 강성 및 강도를 선택하기 위하여 접합부 비선형 모델식의 극한모멘트  $M_u$ 를 보 소

성모멘트의 70% 즉,  $0.7M_p$ 로 하여 모델링한 접합부는 표 4와 같으며, 접합부의 거동은 그림 6 및 그림 7과 같다.

이 접합부를 분석하여 본 결과 T&S 접합부의 경우는 상기 절에서 유도된 강성  $6EI/L$ 의 200%정도의 강성을 가지며, TSD 접합부는 230% 정도의 강성을 가지고 있다.

표 4. 접합부의 매개변수 (단위 : mm)

접합부	보 단면치수	t	d	f	Tc	g	l
T & S	H-450×300 ×11×18	35.0	450	21.5	-	-	300
	H-450×300 ×10×15	25.0	450	21.5	-	-	300
TSD	H-450×300 ×11×18	12.0	450	-	7.00	49.0	300
	H-450×300 ×10×15	13.0	450	-	6.00	60.0	300

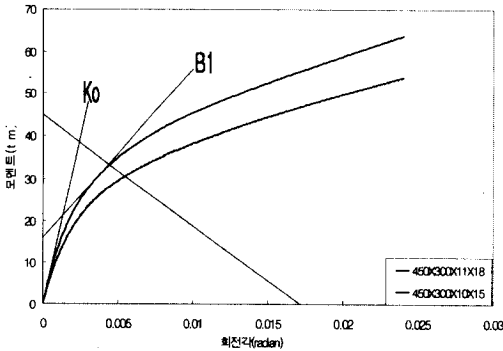


그림 6. T&S 접합부 모멘트-회전각 곡선

그림 6 및 그림 7에 나타난 Bi-Linear 해석모델에 대한 내용은 다음과 같다. 지금까지 주로 사용된 Bi-Linear 해석모델에서는 초기강성  $K_0$ 의 1/3되는 직선을 평행이동하여 접합부 곡선과 접하도록 한다. 평행이동된 접선이 초기접선과 만나

는 점의 모멘트가 접합부의 항복모멘트  $M_y$ 이며, 이 모멘트에 해당하는 접합부 곡선의 회전각이 항복 회전각이다.

본 연구에서 적용한 Bi-Linear B1 모델<sup>(6)</sup>의 경우에는,  $K_0/3$  기울기를 가지고 곡선에 접하는 직선과 초기직선이 만나는 점이 접합부의 항복모멘트를 나타내도록 하여 이 점의 회전각이 접합부의  $\theta_y$ 가 되도록 하였다. 이 경우 초기강성도 직선상의  $2M_y/3$ 에 해당되는 점이 직선변환점이 되도록 하였다.

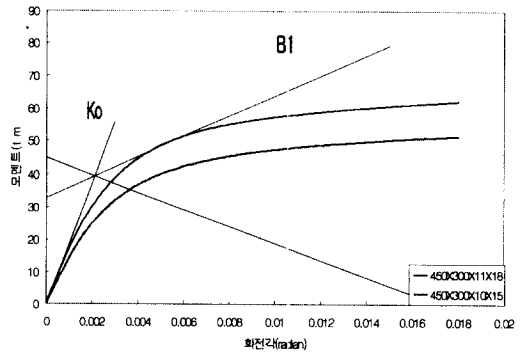


그림 7. TSD 접합부 모멘트-회전각 곡선

## 5. 구조해석 결과

본 연구에서 개발한 프로그램의 검증<sup>(5)</sup>을 위하여 DRAIN-2DX 및 MIDAS를 이용하여 1Bay 1Story 구조물과 캔틸레버 보에 대하여 검토한 결과 부재력 및 변위에 있어 0.3%이내의 오차를 보였다.

그림 5의 Prototype 구조물은 수평하중보다는 수직하중에 의해 부재가 결정된 구조물이지만 본 연구에서는 수평하중이 작용하게 될 경우에 대해서 살펴보았다.

### 5.1 P-delta 효과

UBC-97에는 건물 각층의 2차모멘트  $M_{xs}$ 와 1차모멘트  $M_{xp}$ 의 비가 0.10보다 작으면 P-delta

표 5. 강접골조의 1차모멘트에 대한 2차모멘트 비

층 x	중 량 Wi (ton)	상부 중량 Px (ton)	층간 변위 Δx (Cm)	전단력 Vx (ton)	층 고 Hx (Cm)	$M_{xs} / M_{xp} = P_x \Delta x / V_x H_x$
6	382.1	382.1	0.191	13.49	380	0.014
5	382.4	764.5	0.296	24.81	380	0.024
4	382.4	1147	0.394	33.94	380	0.035
3	382.4	1529	0.421	40.95	380	0.041
2	382.4	1912	0.441	45.76	380	0.048
1	382.4	2294	0.446	48.37	450	0.047

효과는 고려하지 않아도 된다고 명시되어 있다. 이에 대한 구조해석 결과가 표 5에 나타나 있다.

표 5는 반강접 효과를 무시한 구조해석 결과이며 가장 큰 P-delta 모멘트 비가 0.048로 나타나 있는데 이것은 기준인 0.1보다 작은 값이다. 따라서 P-delta 효과를 고려할 필요가 없다.

표 6. 반강접골조의 1차모멘트에 대한 2차모멘트 비

층 x	중 량 Wi (ton)	상부 중량 Px (ton)	층간 변위 Δx (Cm)	전단력 Vx (ton)	층 고 Hx (Cm)	$M_{xs} / M_{xp} = P_x \Delta x / V_x H_x$
6	382.1	382.1	0.284	13.49	380	0.021
5	382.4	764.5	0.400	24.81	380	0.032
4	382.4	1147	0.514	33.94	380	0.046
3	382.4	1529	0.554	40.95	380	0.054
2	382.4	1912	0.573	45.76	380	0.063
1	382.4	2294	0.519	48.37	450	0.055

반강접 효과를 고려한 구조해석 결과는 표 6에 나타난 것과 같이 강접 골조해석에 대하여 모멘트 비율이 1층에서 17%, 6층에서 71% 그리고 나머지 층에서는 30% 정도의 증가를 보이고 있다. 그러나 P-delta 효과를 고려할 필요는 없다.

## 5.2 부재력 분배

Prototype 구조물의 부재 단면치수는 수직하

중에 의하여 결정되었으므로 부재력에 대한 비교 검토는 수직방향의 설계하중에 대해서 실시하였다. 표 7은 T&S 접합부를 적용하였을 경우이며 접합부를 강접으로 해석하였을 경우, 비선형 해석모델을 15개의 직선변환점으로 된 Multi-Linear 모델, 그리고 Bi-Linear 모델인 B1 모델을 사용하였을 경우에 대한 결과이다. 결과를 분석하여 보면, 부재력의 감소는 최소 15%에서 최대 20%까지 나타났으며 Bi-Linear 모델인 B1 모델을 사용하였을 경우 Multi-linear 모델의 경우에 비하여 2% 내외의 근소한 오차를 보여 주었다.

표 7. 수직 하중에 의한 휨 모멘트 (T&S)

Element	No.7(tm)		No.9(tm)	
	No.6	오차(%)	No.10	오차(%)
강 접	47.34	-	45.57	-
T&S	37.80	-20.15	38.05	-16.50
T&S B1	38.47	-18.74	38.79	-14.88

표 8. 수직 하중에 의한 휨 모멘트 (TSD)

Element	No.7(tm)		No.9(tm)	
	No.6	오차(%)	No.10	오차(%)
강 접	47.34	-	45.57	-
TSD	40.73	-13.96	39.53	-13.25
TSD B1	40.91	-13.58	39.60	-13.10

표 8은 TSD접합부를 적용하였을 경우에 대한 결과이며, 비교는 상기와 동일하다. 결과를 분석하여 보면, 부재력에 있어서 14%내외의 감소를 보이고 있으며, B1 모델과 비선형 모델은 0.3% 내외의 안정적인 오차를 보이고 있다. 따라서 B1 모델은 T&S 접합부와 TSD 접합부의 거동을 나타내는데 적합하다. 예상한 대로 접합부의 연성도가 클수록 골조의 보에서 발생하는 단부 모멘트는 감소하며 중앙부 모멘트는 증가하게 된다.

표 9. 보 부재의 안전율 검토

구분	하중		허용전단응력도		허용휨응력도		치짐		조합응력	
	전단력(t)	모멘트(t·m)	1.27 t/cm <sup>2</sup>	안전율	2.2 t/cm <sup>2</sup>	안전율	3 cm	비율(%)	1.0	비율(%)
기준										
강 접	31.7	47.7	0.81	1.57	1.87	1.18	0.76	25.33	0.94	94.00
반강접	31.2	40.0	0.81	1.57	1.54	1.43	1.41	47.00	0.74	74.00

### 5.3 수평변위

횡하중이 작용하게 될 경우에 대해서 살펴보면 기둥의 모멘트가 증가하고 있고 지진하중을 고려하는 경우 수평변위가 최상층에서 완전 강절점의 경우보다 38%정도 증가하였다.

층간변위의 한계를 층고의 0.015배로 보는 경우 1층은 1.13Cm, 2층부터 6층까지는 0.95Cm가 한계가 된다. 또 다른 제한은 건물의 기본 주기가 0.7초가 넘지 않는 경우 층간변위가 층고의 0.005배를 넘지 못하도록 되어있으며 이에 대한 내용은 1층 1.35Cm, 2층부터 6층까지 1.90Cm가 된다. 이 구조물의 경우 한계를 모두 만족시키고 있다. 따라서 이 골조 구조물에 적용한 강성은 보에서 단부모멘트와 중앙부 모멘트의 분배 그리고 기둥모멘트 증가 및 변위의 한계치 모두를 만족하므로 적합한 것으로 판단된다.

### 5.4 보 부재 검토

접합부의 연성도를 고려하였을 경우 보 부재에 미치는 영향을 다음과 같이 검토하였다.

보의 압축측 플랜지가 가새나 슬래브로 지지되어 횡변형의 우려가 없다고 가정하여 허용휨응력도를  $f_b = f_t = F_y/1.5$ 로 하였고 설계 단면은 강축에 휨모멘트를 받고 있으므로 설계규준에 의거하여 식.(12), 식.(13)과 같은 허용 휨 응력도 중 큰 값을 사용하였다.

$$1) f_b = \left\{ 1 - 0.4 \frac{(l_b/i)^2}{C_m \lambda_p^2} \right\} \frac{F_y}{1.5} (t/cm^2) < f_t \quad (12)$$

$$2) f_b = \frac{1}{1.5} \frac{0.65E}{l_b h / A_f} = \frac{900}{l_b h / A_f} < f_t \quad (13)$$

그리고 조합응력에 대해서는  $\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} < 1.0$ 으로 검토하였다.

표 9에는 강접골조 설계시와 같은 단면 H-450×300×11×18에 대한 결과를 비교하였는데 전단력은 변화가 없으나 부재가 받는 모멘트가 강접골조 해석시의 모멘트보다 현저히 줄어서 허용휨응력도와 조합응력의 검토에서 20% 이상의 안전율을 확보하였다. 부재의 최대치짐은 L/300 이하이므로 치짐한계를 만족시킨다.

## 6. 결 론

철골 구조물 보-기둥 접합부의 비선형 거동 및 기하 비선형을 고려한 2차 탄성해석 프로그램을 개발하였다. 6층 Prototype 구조물에 적합한 접합부를 선정하여 Bi-Linear 해석모델로 단순화하였다. 개발된 프로그램을 이용하여 Prototype 구조물의 구조해석 결과를 비교 검토한 결과는 다음과 같다.

- (1) 반강접 접합부 거동을 위해 직선변환점을 활용한 단순 해석모델을 이용하여 반강접 철골구조물의 2차 탄성해석을 실행할 수 있었다.
- (2) UBC-97 규준을 적용할 경우 본 연구의 구조물에서는 P-delta 효과를 고려할 필요가 없으며 P-delta 효과를 고려하는 경우 부재력의 5% 정도의 차이를 보였다.
- (3) 부재설계는 수평하중 보다는 수직하중에 의



한 조합응력에 의하여 결정되었으므로 이에 대하여 검토한 결과 20%정도의 안전율을 확보할 수 있었고 부재선정 과정에서 이에 해당하는 경제성을 확보할 수 있다.

(4) 접합부 극한모멘트를 보 소성모멘트의 70%로 하는 경우 접합부 강성은 6EI/L의 200%(T&S)와 230%(TSD)정도를 갖는다.

(5) T&S접합부의 초기강성은 보-선의 60%정도 구속도를 가지고 있으며 접합부 강도가 비교적 낮게 요구되는 구조물에 적합하였고, TSD접합부의 경우 보-선의 70%의 구속도를 가지고 있었고, T&S 접합부에 비하여 비교적 높은 접합부 강도를 필요로 하는 구조물에 적합하였다.

### 감사의 말

본 연구는 한국과학기술원 특정기초연구 "건축물 구조설계에서 반강접 접합부의 실용화(과제번호 96-062-03-01-3)"의 지원으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

- (1) 김재훈, "H형강보, 각형강관 기둥 접합부의 연성도를 고려한 골조의 거동에 관한 연구", 울산대학교 건축학과 석사학위 논문, 1996.
- (2) 한영철, "半剛接 鐵骨 構造物の 構造的 舉動에 관한 研究", 연세대학교 건축학과 박사학위 논문, 1993.
- (3) 강철구, "반강접 철골 구조물의 구조적 거동에 관한 연구", 강건재 학술발표회 제4권, 1995.
- (4) 신상훈, "H형강보-각형강관 기둥의 단부 평판 접합부의 거동에 관한 연구", 울산대학교 건축학과 석사학위 논문, 1995.
- (5) 김진형, "재료비선형을 고려한 반강접 철골구조물의 거동에 관한 연구", 울산대학교 건축학과 석사학위 논문, 1999.
- (6) 강경원, 강석봉, "철골구조물의 반강접 보-기둥 접합부 해석모델의 단순화에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표회 논문집 제17권 2호, 1997.
- (7) 임상민, 강석봉 "철골구조물 반강접 접합부 거동에 대한 해석모델에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표회 논문집 제19권 2호, 1999.
- (8) W.F. Chen, "Joint Flexibility in Steel Frames", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 8, 1987.
- (9) W.F. Chen, N. Kishi, "Semi-Rigid Steel Beam-To-Column Connection: Data Base and Modeling", ASCE, ST. Vol. 115, No.1, 1989.
- (10) W.F. Chen, E.M. Lui, "Stability Design of Steel Frame", CRC Press, Inc., 1991.
- (11) W.F. Chen, E.M. Lui, "Semi-Rigid Connections in Steel Frames", McGraw-Hill, 1993.
- (12) B.S. Dhillon, Abdel Majid, "Interactive Analysis and Design of Flexibly Connected Frames", Computers & Structures, Vol. 36, 1990.
- (13) MIDAS Manual 4, "ANSYS, Engineering Analysis System Verification Manual", Revision4.4, SWANSON Analysis Systems, Inc., VM41, 1990.
- (14) DRAIN-2DX Base Program Description and User Guide, "Structural Engineering Mechanics and Materials" Version 1.10, 1993.

(접수일자 : 1999년 6월 10일)