

반강접성을 고려한 강뿔대 구조물의 비선형 해석에 관한 연구
A Study on the Non-linear Analysis of Steel Frame
with Semi-rigid Connections

이 종석¹⁾ 이 상엽²⁾ 김 정훈³⁾
Lee, Jong-Seok Lee, Sang-Yeoub Kim, Jeong-Hun

ABSTRACT

Generally, H-section is used for columns and beams in the middle and low building steel structure, But it has a axis and a weak axis. Thus if H-section is used for columns, the structure needs reinforcement on the weak axis. Therefore recently, square hollow section(S · H · S) is used for columns because it is able to cover the vulnerability of H-section. Structural analysis is usually executed under the assumption that connections are either ideally pinned joint or fully joint. Actually all connections are semi-rigid which possess a rotational stiffness. Therefore it can be designed economically as using the property of connections which has a rotational stiffness.

This paper presents a prediction model curve which is fitted with Kishi-Chen Power Model about the behavior of connection between H-beam and S · H · S column in the previous experimental paper. It also suggests the new analysis algorithm considering the non-linear of semi-rigid connection and the geometrical non-linear under the effect of axial force.

1. 서 론

강뿔대구조의 보-기둥 접합부에 대한 해석과 설계는 접합부 거동의 단순화 작업과 접합부의 회전-변형관계, 비탄성 설계방법의 이해등 많은 어려움으로 인하여 일반적으로 활절(Ideally Pinned Joint) 또는 강절(Fully Rigid Joint)로 이상화시켜 이루어지고 있다. 그런데 강뿔대구조물 접합부는 작용하중에 대하여 어느 정도의 모멘트 전달과 회전 구속력을 갖기 때문에 이상화된 활절과 강절 사이의 적절한 회전강성을 갖는 반강접 접합부의 개념도입이 필요하다. 이밖에도 저층 강뿔대 구조물에 있어 반강접 특성을 가진 접합부를 사용하므로써 경제적인 뿔대구조물 설계가 가능하게 되는 장점을 가지고 있다.

본 연구는 기존 실험결과^(1,2,3,4)를 기초로하여 강뿔대구조 접합부의 모멘트-회전 거동을 예측할 수 있는 모형식인 Kishi-Chen Power Model에 의해 Curve Fitting된 접합부 모델을 제시하고 반강접 접합부를 고려한 강뿔대구조 해석 알고리즘을 제시하였다. 해석에는 뿔대구조의 축력효과를 고려한 기하학적 비선형성을 고려하였고 반강접 접합부의 비선형성을 고려하기 위해 매개변수를 도입하여 모멘트-회전 관계에 대한 비선형성을 강성행렬에 일반화시켰다.

1. 울산대학교 토목·환경공학부 교수
2. 울산대학교 토목·환경공학부 대학원 석사과정
3. 울산대학교 토목·환경공학부 대학원 석사과정

2. 기존의 회전강성 예측모형

접합부의 회전강성 예측모형식은 수많은 실험을 통해 얻은 $M-\theta$ 관계에 대한 자료를 이용하여 다양한 접합부 모형의 비선형 회전곡선을 근사화하여 나타낸다. 일반적으로 많이 쓰여져온 회전강성 예측모형식은 다항식모형, 승수모형, 지수모형등이 제시되고 있다. 중요한 Curve Fitting^(4,6,7,8) 방법 중 몇가지를 요약하면 Frye-Morris 다항식모형, Kishi-Chen Power모형, Colson Power모형, Ang-Morris Power모형, Lui-Chen 지수모형등이 있다. 반강접 보-기둥 접합부에 대한 기존의 예측모형중에서 다항식모형은 임의의 휨모멘트에서 접합부의 강성이 음수가 될 수도 있는 물리적으로 설명하기 어려운 문제점을 가지고 있다. 또한 함수의 불연속 가능성, 점선강성 사용에 따른 수치적 어려움 등의 단점을 가지고 있다. 이에반해 승수모형은 매개변수가 적으므로 실험Data를 많이 필요하지 않는다는 장점을 가지고 있지만 그에 따른 정확성이 떨어진다는 단점이 있다. 지수모형은 다변수 모델로 비선형 접합부 거동을 비교적 정확하게 표현할 수 있다. 그 외에 선형모형식은 간단하고 사용하기 쉽지만 변화되는 임의의 회전변형에서 강성의 변화를 표현하기는 부적당하다. 그리고 비교적 실험데이터와 잘 일치하고 있는 3차B-스프라인(Cubic-B-Spline)곡선 추적방법⁽⁶⁾은 많은 양의 실험데이터가 필요하다. 본 연구에서는 기존실험결과를 근거로 승수모델의 Kishi-Chen Power Model을 사용하여 예측모형을 제시하였다. 각형강관기둥과 H형강 보의 접합방법은 체계적으로 분석되지 않은 문제점 때문에 접합부모형의 매개변수가 부정확할 수 있다. 그리하여 타방법에 비해 부정확한 매개변수를 배제할 수 있는 Kishi-Chen Power Model을 사용하게 되었다.

3. 접합부 모델링

본 연구에서 기둥과 보는 실제 중·저층 구조물에서 사용될 수 있는 모델로 선정하였다⁽¹⁾. 기둥은 $\square-200 \times 200 \times 6$ 가 사용되었고, 보의 경우는 H-150 \times 100 \times 6 \times 9로 일정한 규격을 사용하였다. 기둥의 길이는 예측되는 접합부 변형 범위를 고려하여 600mm로 결정하였고 보의 길이는 휨좌굴을 고려하여 2.0m로 하였다. 또한 비충진 기둥-보접합부의 기존 실험결과와 비교하고, 철근의 인장응력 분포 및 콘크리트내의 응력분포에 대해서 정확히 관찰하기 위해서는 보의 한쪽 길이가 2.0m가 되는 것이 적당하리라 생각되었다. 그리고 무근콘크리트를 각형강관기둥 내에 충전하였으며 스티드볼트(Stud Bolt)를 H형강보 하부플랜지에 용접하여 H형강보와 스라브가 일체로 거동하게 하였다. 스라브의 폭은 800mm이고 두께는 120mm로 하였다. 사용된 주철근은 D13을 사용하였으며 반강접 접합부 모델별 실험결과는 그림2와 같다.

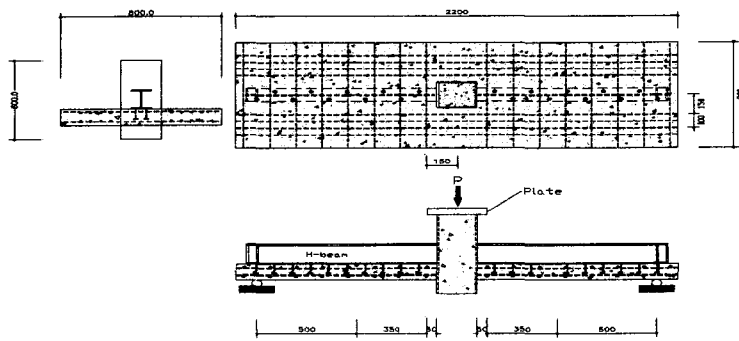


그림1. 시험체의 개형

반강접 접합부 실험결과인 그림2에 대하여 모멘트-회전변형 관계를 모델링 할 수 있다. 본 연구에서는 반강접 보-기둥 접합부를 이루고 있는 구성 설계 매개변수들의 모멘트-회전거동에 대한 영향도를 그림2의 실험결과를 이용하여 파악하고 이를 Kishi-Chen Power Model식으로 반강접 접합부의 모멘트-회전거동에 관한 예측모형으로 제시하여 반강접 골조의 거동해석시 이용할 수 있도록 한다. 표1.에서는 각각의 접합부에 대한 Kishi-Chen Power Model에 의해서 Curve-Fitting 된 접합부 모델을 제안하고 있다. 그림3은 제안된 모델에 의한 $M-\theta$ 곡선이다.

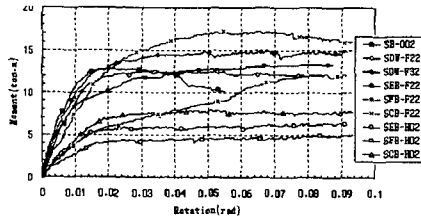


그림2. 실험에 의한 M-θ 곡선

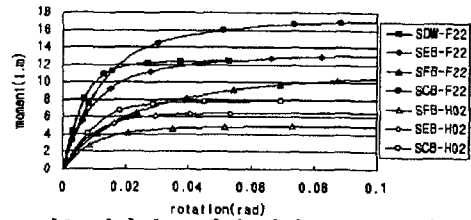


그림3. 제안된 모델에 의한 M-θ 곡선

시험체	N	집합부 모델
SDW-F22	2.36	$\theta_r = \frac{M}{1398} \cdot \frac{1}{[1 - \frac{M}{12.58} ^{2.36}]}^{2.36}$
SEB-F22	1.41	$\theta_r = \frac{M}{1134} \cdot \frac{1}{[1 - \frac{M}{13.49} ^{1.41}]}^{1.41}$
SFB-F22	1.13	$\theta_r = \frac{M}{498} \cdot \frac{1}{[1 - \frac{M}{12.34} ^{1.13}]}^{1.13}$
SCB-F22	1.65	$\theta_r = \frac{M}{1075} \cdot \frac{1}{[1 - \frac{M}{17.41} ^{1.65}]}^{1.65}$
SEB-H02	2.15	$\theta_r = \frac{M}{522} \cdot \frac{1}{[1 - \frac{M}{6.53} ^{2.15}]}^{2.15}$
SFB-H02	1.83	$\theta_r = \frac{M}{384} \cdot \frac{1}{[1 - \frac{M}{5.12} ^{1.83}]}^{1.83}$
SCB-H02	2.61	$\theta_r = \frac{M}{548} \cdot \frac{1}{[1 - \frac{M}{7.95} ^{2.61}]}^{2.61}$

표1. 집합부 곡률 매개변수 및 집합부 모델

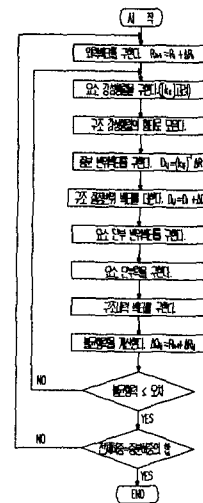


그림4. 2차 탄성해석 순서도

4. 반강접 뼈대구조 해석 알고리즘

4.1 축력효과를 고려한 평면라멘의 강성 행렬

축력효과를 고려한 뼈대구조 해석은 2차해석 SOA(Second-Order Analysis)라고 한다. 1차 해석 FOA(First-Order Analysis)와는 달리 변형된 구조물(Deflected Structure)을 기준으로 해석하며 해석상의 비선형문제로 인하여 반복법(Iteration Method)이 사용된다. 모든 구조물은 하중의 작용에 의해서 변형한다. 변형된 구조물에 대한 하중의 효과를 2차효과(Secondary Effect)라고 한다. 이러한 2차 효과는 부재의 변형을 크게하여 부재의 응력을 가중시키므로 구조물의 강도와 강성에 불리한 영향을 미치며 해석과정 및 설계과정에서 고려하는 것이 좋다. 축력효과를 고려한 평면라멘의 강성행렬은 다음식과 같다.

$$\text{여기서 } [K] = [K_0] + [K_C] \quad \text{----- 4-1)}$$

$[K_0]$ = 탄성 강성행렬

$[K_C]$ = 축력을 고려한 기하강성행렬

$$[K] = \begin{bmatrix} \frac{A}{L} & 0 & 0 & -\frac{A}{L} & 0 & 0 \\ \frac{12}{L^3} & \frac{6}{L^2} & 0 & -\frac{12}{L^3} & \frac{6}{L^2} & 0 \\ & \frac{4}{L} & 0 & -\frac{6}{L^2} & \frac{2}{L} & 0 \\ & & \frac{A}{L} & 0 & 0 & 0 \\ \text{SYM} & & & \frac{12}{L^3} & -\frac{6}{L^2} & 0 \\ & & & & \frac{4}{L} & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{6P}{5L} & \frac{P}{10} & 0 & -\frac{6P}{5L} & \frac{P}{10} & 0 \\ \frac{2PL}{15} & 0 & 0 & -\frac{P}{10} & -\frac{PL}{30} & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \text{SYM} & & & \frac{6P}{5L} & -\frac{P}{10} & 0 \\ & & & & \frac{2PL}{15} & 0 \end{bmatrix} \quad \text{----- 4-2)}$$

4.2 반강접 효과를 고려한 강성행렬

반강접 접합부를 가진 부재의 강성행렬을 구하는 방법^(4,7,8)으로 공액보법, 처짐각법, 그리고 Hybrid Beam에 의한 방법이 제시되고 있다. 본 논문에서는 공액보법에 대한 기본적인 개념으로 강성행렬을 제시한다. 이 방법은 공액보 단부에서의 전단력은 실제 보 단부에서의 순간도 변화와 같다는 공액보이론을 근거로하여 반강접 접합부를 가진 보, 기둥요소의 강성행렬을 구한다. 그리고 반강접 접합부를 가진 뼈대구조를 해석하기 위해서는 접합부의 강성을 그대로 사용하는 경우도 있지만 대부분의 해석과정에서는 해석과정의 편리함, 접합부의 반강접 특성을 정확하게 표현하기 위해서 여러 매개변수를 사용하고 있다. 본 논문에서는 접합부의 모멘트-회전변형관계를 정의하기 위해서 Monforton과 Wu의 고정계수(Fixity Factor)를 도입하고 반강접 접합부를 가진 부재의 공액보를 제시하여 강성행렬을 공액보법에 의해 유도하였다.

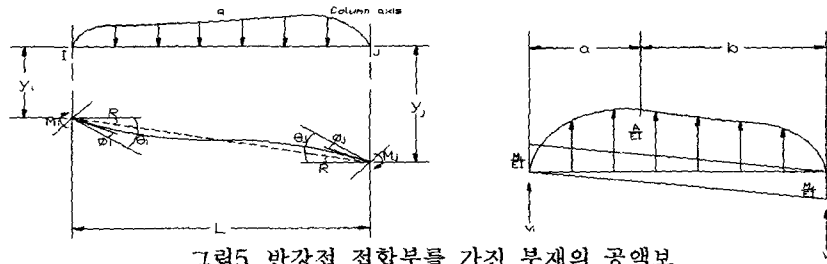


그림5. 반강접 접합부를 가진 부재의 공액보

$$V_i = \theta_i - \phi_i - R = \left[\frac{M_i L}{3EI} \right] - \left[\frac{M_j L}{6EI} \right] + \left[\frac{Ab}{EI L} \right] \quad \text{----- 4-3}$$

$$V_j = \theta_j - \phi_j - R = \left[\frac{M_j L}{3EI} \right] - \left[\frac{M_i L}{6EI} \right] + \left[\frac{Aa}{EI L} \right] \quad \text{----- 4-4}$$

위의 식에 $\phi_i = \lambda_i M_i$ 와 $\phi_j = \lambda_j M_j$ 를 대입하며 Monforton과 Wu의 고정계수(Fixity Factor)

$$r_i = \frac{L}{(L + 3EI \lambda_i)}, r_j = \frac{L}{(L + 3EI \lambda_j)} \text{를 도입하고 그림5.로부터 } LR \approx y_j - y_i, R = \frac{y_j - y_i}{L}$$

을 구하고 4-3), 4-4)식에 대입하여 힘-변위 관계를 유도한다. 유도하는 과정에서 힘-변위관계를 간략화하기 위해서 Small Displacement 가정이 사용되었고 마찰이 없는 편일 경우에는 $\gamma_i, \gamma_j = 0$, 완전 고정단일 경우에는 $\gamma_i, \gamma_j = 1$ 이다. 프로그램에서 부재에 작용하는 하중은 등가하중(Equivalent Load)의 형태로 단부에 재하되며 일반적인 강접 골조에서의 등가 하중과는 달리 반강접 골조인 경우 접합부의 반강접 효과를 고려한 등가하중의 사용이 요구된다. 공액보법에 의해 유도된 반강접 접합부를 가진 보-기둥부재의 강성행렬은 다음과 같다.

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

$$\begin{aligned} \text{여기에서 } a &= \gamma_i + \gamma_j + \gamma_i \gamma_j & f &= 3 \gamma_i \gamma_j \\ b &= \gamma_i (2 + \gamma_j) & g &= \gamma_j (2 + \gamma_i) \\ c &= 3 \gamma_i & h &= 4 - \gamma_i \gamma_j \\ d &= 3 \gamma_j \end{aligned}$$

4.3 축력효과를 고려한 구조 해석

축력효과를 고려한 구조해석 방법은 그림4.의 정확한 해석방법 뿐만 아니라 근사 해석방법이

소개되고 있다. 근사 해석방법⁽⁷⁾으로는 Two Cycle Iteration Method, Fictitious Lateral Load Method, Iterative Gravity Load Method, Negative Stiffness Method 등이 있다. 본 논문에서는 좌굴효과를 고려한 구조해석 방법의 근사화방법 중 하나인 2사이클 반복법(Two Cycle Iteration Method)을 사용하고 있다. 이 해석 방법은 1차 해석에 의한 각 부재의 축력을 구한 뒤 축력효과를 고려하는 기하 강성행렬을 보완하여 전체 강성행렬을 수정, 재해석하는 방법이다. 이 해석방법은 최대 오차가 설계기준에 적용 가능하다는 검토에 의해서 많은 시간을 필요로 하는 비선형 해석방법을 단순화시킨 근사 방법이다.

4.4 반강접 효과를 고려한 구조 해석

뼈대구조의 반강접 효과를 고려한 구조 해석^(5,7,8)은 그림6. 에서 제시하고 있는 반강접 접합부의 비선형관계를 고려하여야 한다. 이는 앞에서 제시한 Kishi -Chen Power Model을 이용하여 반강접 접합부의 거동에 접근한다. 반강접 접합부의 거동을 접근하는 방법으로는 시컨트 강성 방법(Secant Stiffness Method)과 접선 방법(Tangent Stiffness Method)이 있다. 본 논문에서는 시컨트 강성 방법이 접선 강성 방법에 비하여 프로그램의 편리성이 높다는 이유로 시컨트 강성 방법을 채택하였다.

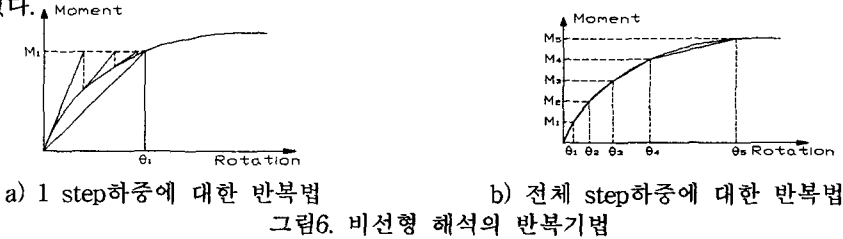


그림6. 비선형 해석의 반복기법

4.5 축력효과와 반강접 효과를 고려한 구조 해석

뼈대구조의 반강접 효과를 고려한 구조 해석은 4.3 절에서의 축력효과를 고려한 해석과 병행하여 그림6.에서 제시하고 있는 반강접 접합부의 비선형관계를 고려하여야 한다. 본 논문에서 비선형 뼈대구조의 해석방법은 1차 해석에 의한 각 부재의 축력을 구한 뒤 축력효과를 고려하는 기하 강성행렬과 반강접효과를 고려한 강성행렬을 보완하여 전체 강성행렬을 수정, 재해석하는 방법인 2사이클 반복법(Two Cycle Iteration Method)⁽⁷⁾과 비선형 특성을 고려한 반복법(Iteration Method)으로 접합부의 반강접성과 축방향력의 영향이 뼈대구조에 미치는 영향을 분석한다. 그림14.에서 이에 대한 흐름도를 보여주고 있다. 비선형 특성을 고려한 반복법(Iteration Method)^(7,8)은 크게 4가지 방법으로 분류되며 그 방법은 Load Control Method, Displacement Control Method, The Arc Length Control Method, The Work Length Control Method 이다. 본 논문에서는 전체 하중을 단위 하중으로 나누어 단위하중에 대한 수렴치를 구하는 Load Control Method에서 Newton-Raphson Load Control Method를 사용하고 있다. 이 방법은 Drift-Off Error를 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 그런데 이 방법에 의한 해석결과는 Real Curve와 꼭 맞지는 않다. 그 이유에 대해 설명하면 다음과 같다. 우선 축력만 고려되는 비선형 해석과정을 살펴보면 그림8. 에서와 같이 해석결과는 Real Curve보다 아래에 놓이게 된다. 이렇게 되면 그림7.의 B Curve와 같은 결과가 나타난다. 그런데 반강접성과 축력을 동시에 고려하면 그림10.,11.과 같은 과정이 되며 이렇게 되면 비로서 Real Curve A에 접근하는 Curve D 또는 C를 그림9.에서 얻게 된다. 즉 축력과 반강접성을 동시에 고려하여 어느 정도 정확성을 갖춘 해석을 할 수 있다는 것이다. 본 논문에서는 보다 더 정확성을 부여하기 위하여 해석 Curve의 모양을 임의로 변경시킬 수 있는 방법을 그림12.,13.에서와 같이 고안하게 되었다. 즉 변형(내부모멘트)이 커짐에 따라서 고정계수(γ_i, γ_j)가 변화하는 경향을 실제 Curve에 맞게 적당히 조절해 주는 $\alpha \cdot \beta$ 계수값의 개념을 식4-5), 4-6)과 같이 도입하게 되었다. 그리하여 Real Curve를 실험 또는 해석(하중단계를 1000단계 정도로 늘리어 구함)을 통하여 구하고 그 Real Curve를 하중단계 3~5회에서 근접시킬 수 있는 $\alpha \cdot \beta$ 계수값을 구하여 보았다. 각 모델별 $\alpha \cdot \beta$ 계수값은 표4.과 같다.

$$\gamma_i^{n-1} = \frac{\alpha \cdot \gamma_i^{n-1.1} + \beta \cdot \gamma_i^{n-1.2}}{\alpha + \beta} \text{ ----- 4-5)}$$

$$\gamma_i^{n-1} = \frac{(2\alpha + \beta)\gamma_i^{n-1.1} - \alpha \cdot \gamma_i^{n-1.2}}{\alpha + \beta} \text{ ----- 4-6)}$$

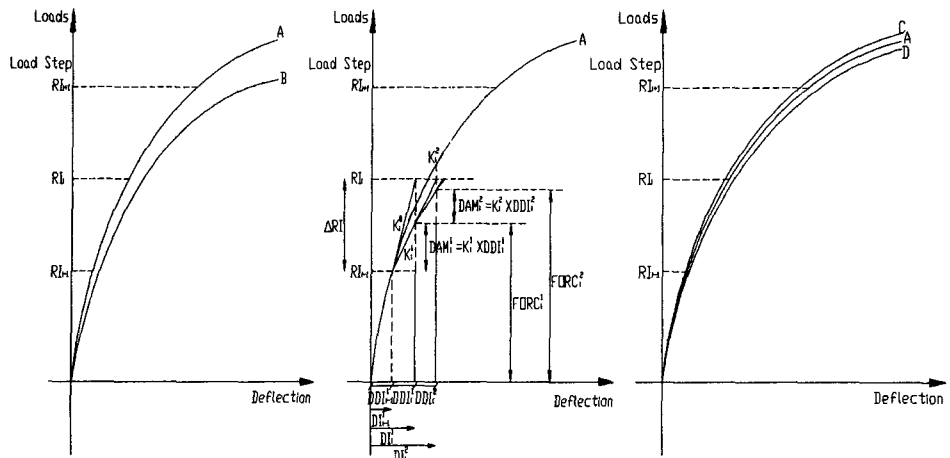


그림7.

그림8.

그림9.

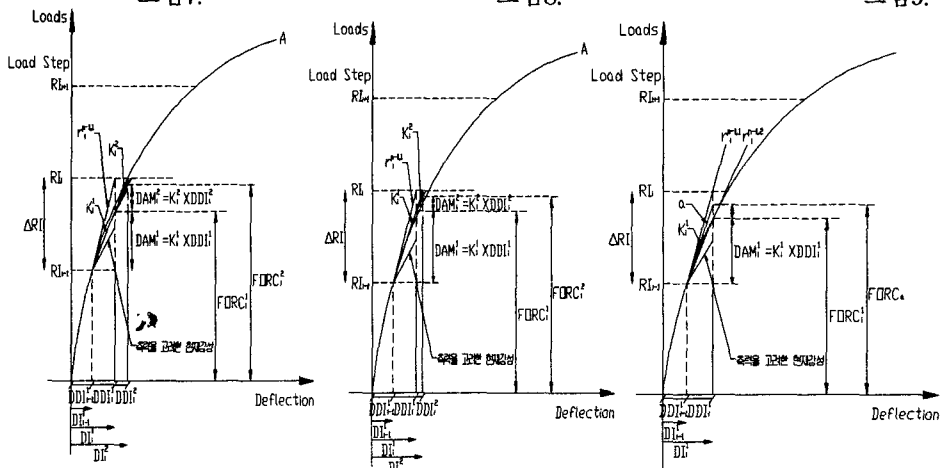


그림10.

그림11.

그림12.

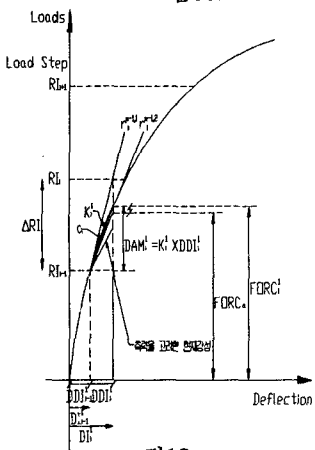


그림13.

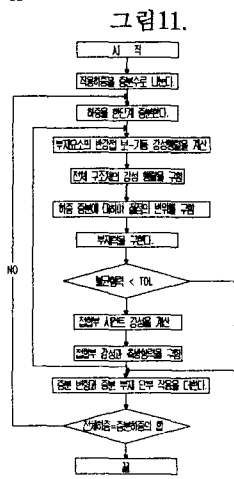


그림14. 반강점 효과를 고려한 탄성해석 순서도

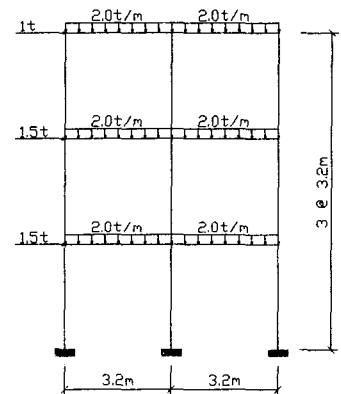


그림15. 해석대상 구조시스템

여기서 A : Real Curve
B,C,D : Analysis Result Curve

5. 구조 시스템

본 연구에서는 강뿔대 구조물의 특성을 살릴 수 있으며 접합부의 특성을 살릴 수 있도록 횡력이 적은 중·저층 규모의 구조 시스템을 선정한다. 참고적으로 그림 2에서 나타난 바와 같은 반강접 접합부의 실험결과에서 사용되어진 구조 시스템을 고려하여 그림15와 같은 해석대상 구조시스템을 제시하기로 하자.

6. 분석

표1.에서 제안된 모델에 의해 그림3.과 같은 M- ϕ 곡선을 얻는다. 실험에 의한 M- ϕ 곡선인 그림2.와 그림3.에서 접합부의 막작용을 감안한 처짐각을 0.02rad로 가정^(1,2,4)하여 구한 항복강도를 비교하면 거의 일치한다.

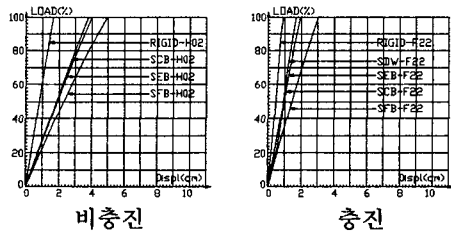


그림16. 최상층 수평변위

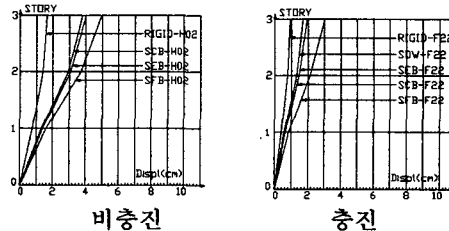


그림17. 층별 수평변위

컴퓨터 프로그램에 의한 해석결과를 분석하였다. 기준이 되는 모델의 하중단계를 10등분으로 나누고 수렴값의 허용치를 0.01로 두어 해석하였다. 뿔대구조물은 접합부가 유연할수록 수평변위는 증가하고 보 모멘트는 감소하고 있음을 알 수 있다. 뿔대구조의 강성이 적은 경우일수록 접합부의 반강접 효과에 의한 뿔대구조의 거동에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 그림 16.,17.에서는 충진한 각형강관과 비충진한 각형강관에 횡력이 작용하는 경우의 최대 수평변위와 층간 수평변위를 제시함으로써 접합부의 연성도와 골조의 수평거동간의 관계를 보여주고 있다. 그림17.에서는 전체하중을 10등분하여 각각의 하중 단계마다 그에 상응하는 수평변위를 도시함으로써 횡력의 크기에 대한 전체 뿔대구조의 거동양상을 알 수 있다.

접합부명	α	β
RIGID-F22	1	12
SDW-F22	1	23
SEB-F22	1	31
SFB-F22	1	55
SCB-F22	1	28
RIGID-H02	1	19
SEB-H02	1	74
SFB-H02	1	105
SCB-H02	1	70

표3. 모델별 $\alpha \cdot \beta$ 계수값

접합부명	수평변위/높이
RIGID-F22	0.93/960
SDW-F22	1.71/960
SEB-F22	1.93/960
SFB-F22	3.03/960
SCB-F22	1.93/960
RIGID-H02	1.65/960
SEB-H02	4.01/960
SFB-H02	4.96/960
SCB-H02	3.81/960

표4. 사용성 한계상태 검토

강접 접합부와 비교하여 접합부들이 유연도가 클수록 기둥모멘트는 증가한다. 즉 횡력에 대한 뿔대구조의 수평강성이 문제시되며 이러한 문제점으로 인하여 전단벽, 가새의 설치, 기둥강성의 증가, 강성이 강한 접합부의 사용등 구조계획시 수평강성을 확보하는 방법이 요구시 된다. 각 모델별 $\alpha \cdot \beta$ 계수값은 표3.과 같다.

최상층 수평변위에 대한 사용성 한계상태를 검토하면 표4.와 같다. AISC에서 수평변위와 높이의 비를 1/400이하로 규정하고 있다. 그리고 이 기준⁽¹⁾은 강접접합부에 대해서 적용되는 기준이며 반강접접합부에 대해서 그대로 적용시킬 것 인지에 대한 연구가 필요하다.

7. 결론

1) 제안된 식 4-5)과 4-6)의 α, β 값을 각 모델별로 표4.와 같이 결정하여 보았다. 이러한 방법이 사용되어 지므로서 동력학적 비선형해석등에서 적은 Load Step에서도 정밀해에 가까운 결과를 도출할 수 있는 가능성을 제시하였다.

2) 반강접 접합부의 유연도가 뼈대구조의 수평하중 횡변위에 미치는 영향을 본 연구에서 제시하는 방법으로 분석해보면, 충전 각형강관에 강접합 뼈대구조에 비하여 SDW-F22가 1.84배, SEB-F22가 2.01배, SFB-F22가 3.26배, SCB-F22가 2.08배의 횡변위를 발생시키고 있다. 비충진 각형강관은 충전 각형강관에 비하여 SEB는 2.08배, SFB는 1.63배, SCB는 1.97배의 횡변위를 더 발생시키고 있다.

3) 기존의 수평변위 제약 AISC(1/400)을, 반강접성을 고려한 Second-Order Analysis에 그대로 적용 시킬 것 인지에 대한 연구가 필요하다.

4) 반강접 접합부의 거동에 대한 예측 프로그램은 실험 결과를 근거로 프로그램화 되어진다. 그러므로 그 구조물이 가지고 있는 접합부의 휨모멘트-회전변형 관계에 대한 실험 결과가 필요하며 또한 횡력이 작용하는 경우 발생하는 부모멘트에 대한 휨모멘트-회전변형 관계, 반강접 접합부의 에너지 흡수 능력을 분석할 수 있는 Cyclic Loading Test에 의한 휨모멘트-회전변형 관계 등 다양한 조건에 대한 실험결과가 필요하다. 또한 지진하중과 같은 과하중을 받는 반강접 뼈대구조의 실제 거동을 예측하기 위한 부재의 비탄성을 고려한 해석 프로그램의 개발이 필요하며, 보 항복형의 파괴 메카니즘을 유도할 수 있는 가새 및 전단벽이 있는 골조의 해석프로그램 개발이 필요하다.

6. 참고문헌

1. 이광훈 “ 콘크리트 충전된 각형강관과 콘크리트 합성된 H형강보 접합부의 구조적 성능에 관한 연구 ” 울산대학교 토목·환경공학부 석사학위논문
2. 이장춘 “ 각형강관 기둥과 H형강보 접합부의 휨 거동에 관한 연구 ” 울산대학교 토목·환경공학부 석사학위논문
3. 변우정 “ 충전콘크리트 각형강관과 콘크리트 합성된 H형강보 접합부의 유한요소 모델링에 관한 연구 ” 울산대학교 토목·환경공학부 석사학위논문
4. 김재훈 “ H형강보·각형강관기둥 접합부의 연성도를 고려한 골조의 거동에 관한 연구 ” 울산대학교 건축학과 석사학위 논문
5. 김옥선 “ 반강접 접합부를 가진 철골 구조물의 거동에 관한 연구 ” 연세대학교 건축학과 석사학위 논문
6. 한영철 “ 반강접 철골 구조물의 구조적 거동에 관한 연구 ” 연세대학교 건축학과 박사학위 논문
7. W.F.Chen and E.M. Lui " Stability Design of Steel Frames " CRC Press, 1991.
8. W.F.Chen and E.M. Lui " Joint Flexibility in Steel Frames " J. Constructional Steel Research Vol.8
9. W.F.Chen and E.M. Lui " Structural Stability ", Theory and Implementation Elsevier Science Publishing Co. Inc., New York, 1987.
10. Frye, J.M. and Morris, G.A. " Analysis of Flexibly Connected Steel Frames" Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.2, 1975.
11. W.F.Chen and Seung-Eock Kim " LRFD Steel Design Using Advanced Analysis " CRS Press 1997