

VISUAL BASIC을 이용한 강뼈대 구조물의 비선형 해석 Nonlinear Analysis of Steel Frames Using Visual Basic

윤 영 조* 김 선 회** 이 중 석***
Kim, Sun-Hee Yoon, Young-Jo Lee, Jong-Seok

ABSTRACT

Generally, H-section is used for columns and beams in the middle and low steel building, But it has a strong and 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 rigid 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.

Non-linear analysis program⁽¹⁾ was considered the non-linearity of semi-rigid connection and the geometrical non-linearity under the effect of axial force. It was programed by FORTRAN90 and Visual Basic.

1. 서 론

강뼈대구조물의 보-기둥 접합부의 해석과 설계는 일반적으로 활절 또는 강절로 이상화시켜 이루어지고 있다. 그러나 실제 보-기둥 접합부는 인의의 하중에 대하여 어느 정도의 모멘트 전달과 회전 구속력을 갖기 때문에 이상화된 활절과 강절 사이의 적절한 회전강성을 갖는 반강접접합부의 개념을 도입함으로써 보다 경제적이고 정확한 설계가 가능하게 되는 것이다. 접합부의 모멘트-회전 특성을 구하기 위해서는 실험에 의한

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

방법과 기존의 비선형 해석 Program을 이용하는 방법이 있는데, 본 논문에서는 범용 Program인 COSMOS/M을 사용하여 접합부에 대한 비선형 해석⁽⁴⁾을 하였다. 그 해석 결과를 함수화하기 위해 Kishi-Chen Power Model로 Curve Fitting하여 접합부 회전강성 예측모형식을 제안하였으며, 예측모형식을 이용하여 Fortran으로 프로그램을 구성하였다. 해석과정에서 접합부의 반강접성과 부재의 축력효과를 동시에 고려하여 구조물의 실제거동을 추적하는 해석과정⁽¹⁾을 사용하였다. 그리고 Program의 사용을 보다 쉽고, 그 결과를 더욱 시각적으로 나타내기 위해 Input과정과 Output과정을 Visual Basic으로 구현하였다.

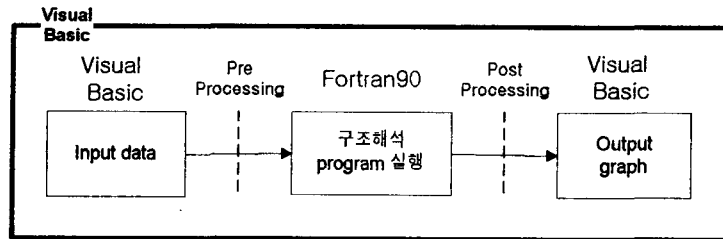


그림 1. 프로그램 구성도

2. 접합부 모델링

기둥과 보는 실제 중·저층 구조물에서 사용될 수 있는 모델로 선정하였다⁽²⁾. 기둥은 \square -200×200×6가 사용되었고, 보의 경우는 H-150×100×6×9를 사용하였다. 기둥의 깊이는 예측되는 접합부 변형 범위를 고려하여 600mm로 결정하였고 보의 길이는 횡좌굴을 고려하여 2.0m로 하였다. 철근의 인장응력 분포 및 콘크리트내의 응력분포에 대해서 정확히 관찰하기 위해서는 보의 한쪽 길이가 2.0m가 되는 것이 적당하리라 생각되었다. 그리고 무근콘크리트를 각형강관기둥 내에 충전하였으며 스태드 볼트(Stud Bolt)를 H형강보 하부플랜지에서 H형강보와 스라브가 일체로 거동하게 하였다. 스라브의 폭은 800mm이고 두께는 120mm로 하였다. 사용된 주철근은 D13을 사용하였으며 반강접 접합부 모델은 그림2에 나타내었고 접합부 모델명의 구성방식은 그림3.와 같다. 표1.에서는 각 접합부에 대한 COSMOS/M의 해석 결과를 Kishi-Chen Power Model에 의하여 Curve Fitting된 접합부 모델을 제안하고 있다.

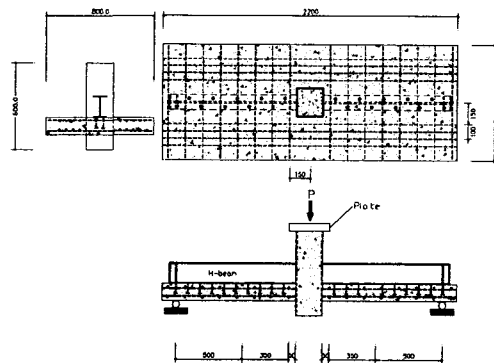


그림2. 시험체의 개형

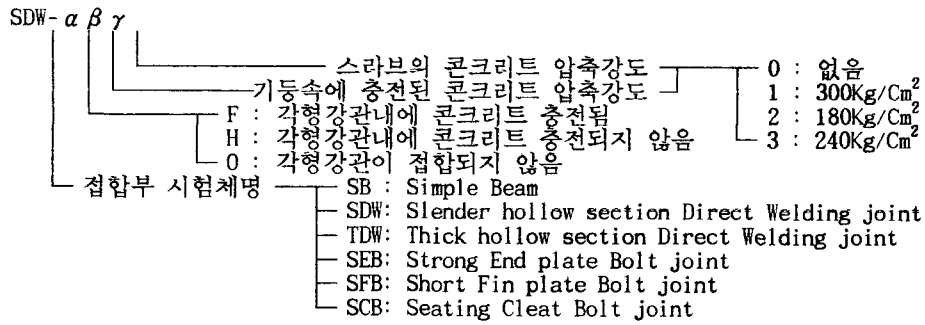


그림3. 접합부 모델명

표1. 접합부 회전강성 예측모형

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

3. 반강접성 분석

3.1 축력효과와 반강접 효과를 고려한 구조 해석

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)⁽⁸⁾과 비선형 특성을 고려한 반복법(Iteration Method)으로 접합부의 반강접성과 축방향력의 영향이 뼈대구조에 미치는 영향을 분석한다. 그림4.에서 이에 대한 흐름도를 보여주고 있다. 비선형 특성을 고려한 반복법(Iteration

Method)^(8,9)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 해석결과는 Real Curve보다 아래에 놓이게 된다. 그런데 반강접성과 축력을 동시에 고려하면 그림5,6.과 같은 과정이 되며 이렇게 되면 비로서 Real Curve A에 접근하는 Curve D 또는 C를 그림7.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 그림8,9.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 식 1), 2)와 같이 도입하게 되었다. 그리하여 Real Curve를 실험 또는 해석(하중단계 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 표2.와 같다.

$$\gamma_i^{n-1} = \frac{\alpha \cdot \gamma_i^{n-1,1} + \beta \cdot \gamma_i^{n-1,2}}{\alpha + \beta} \text{ ----- 1)}$$

$$\gamma_i^{n-1} = \frac{(2\alpha + \beta)\gamma_i^{n-1,1} - \alpha \cdot \gamma_i^{n-1,2}}{\alpha + \beta} \text{ ----- 2)}$$

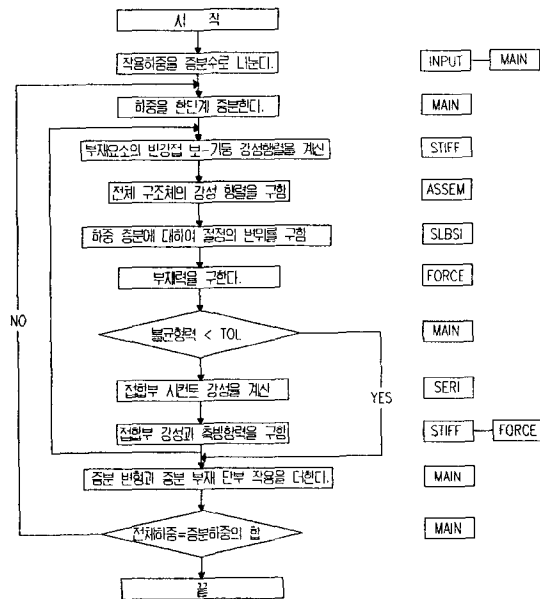


그림4. 반강접 효과를 고려한 탄성해석 순서도

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

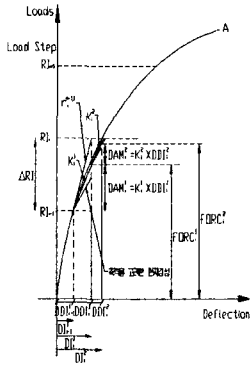


그림5.

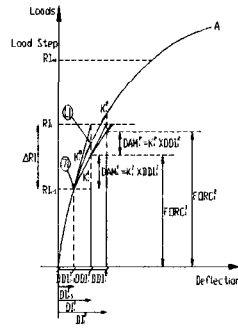


그림6.

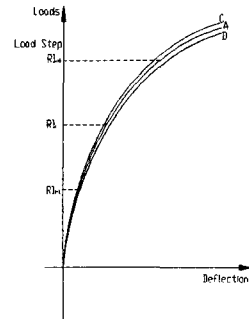


그림7.

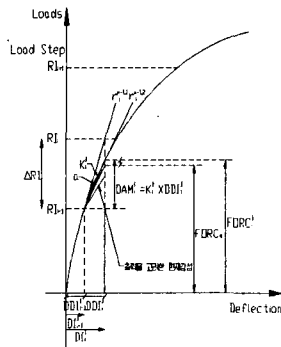


그림8.

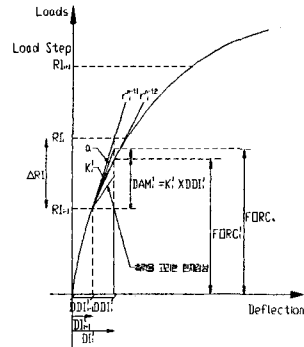


그림9.

3.2 해석대상 구조물 시스템

본 연구에서는 강뼈대 구조물 접합부의 특성을 살릴 수 있도록 횡력이 적은 중·저층 규모의 그림 10.과 같은 해석대상 구조시스템을 제시하였다. 그림10.의 대상 구조물을 해석하기 위하여 DATA를 입력한 모습을 그림 11.에 나타내었고, 해석에 의한 결과를 그림 12.에서 보여주고 있다.

3.3 해석결과의 분석

그림10.의 대상 구조물을 컴퓨터 프로그램에 의한 해석결과를 분석하였다. 기준이 되는 모델의 하중단계를 10등분으로 나누고 수평값의 허용치를 0.01로 두어 해석하였다. 뼈대구조물은 접합부가 유연할수록 수평변위는 증가하고 보 모멘트는 감소하고 있음을 알 수 있다. 뼈대구조의 강성이 적은 경우일수록 접합부의 반강접 효과에 의한 뼈대구조의 거동에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 그림 13.,14. 에서는 층진한 각형강관과 비층진한 각형강관에 횡력이 작용하는 경우의 최대 수평변위와 층간 수평변위를 제시함으로써 접합부의 연성도와 골조의 수평거동간의 관계를 보여주고 있다. 그림14.에서는 전체하중을 10등분하여 각각의 하중 단계마다 그에 상응하는 수평변위를 도시함으로써 횡력의 크기에 대한 전체 뼈대구조의 거동양상을 알 수 있다. 강접 접합부와 비교하여 접합부들이 유연도가 클수록 기둥모멘트는 증가한다. 즉 횡력에 대한 뼈대구조의 수평강성이 문제시되며 이러한 문제점으로 인하여 전단벽, 가새의 설치, 기둥강성의 증가, 강성이 강한

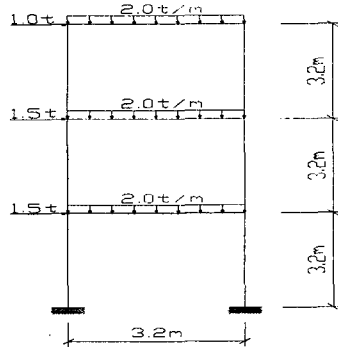


그림 10. 해석대상 구조시스템

STRUCTURE NO.	TYPE OF STRUCTURE	NUMBER OF LOADING SYSTEM
1		10

***** STRUCTURE DATA *****

부재수	절점수	구속도자유도수	구속도불자유
9	8	6	2

--- 물 질 정 의 ---

절점번호	X축절점좌표	Y축절점좌표
1	0	0
2	3.2	0
3	0	3.2
4	3.2	3.2
5	0	6.4
6	3.2	6.4
7	0	9.6
8	3.2	9.6

--- 부 재 정 의 ---

부재번호	시작절점	종료절	단면적	탄성2차모멘트	형상계수
1	1	3	004673	000021153	
2	2	4	004673	000021153	
3	3	6	004673	000021153	
4	4	8	004673	000021153	
5	5	7	004673	000021153	
6	6	8	004673	000021153	
7	5	4	005084	00002701	
8	8	6	005084	00002701	
9	7	8	005084	00002701	

--- 지 역 조 건 ---

지점번호	X방향구속조건	Y방향구속조건	Z방향구속조건
1	1	1	1

그림 11. Visual Basic을 이용한 Data 입력

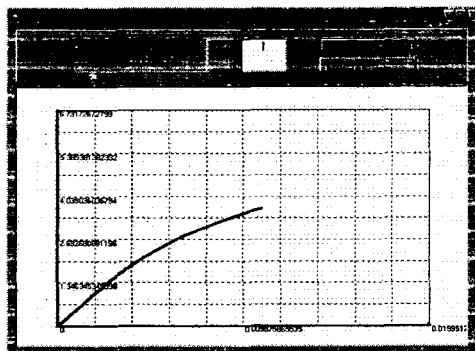


그림 12. 해석결과 그래프

접합부의 사용등 구조계획시 수평강성을 확보하는 방법이 요구시 된다. 각 모델별 $\alpha \cdot \beta$ 계수값은 표2와 같다. 최상층 수평변위에 대한 사용성 한계상태를 검토하면 표3과 같다. AISC에서 수평변위와 높이의 비율 1/400이하로 규정하고 있다. 그리고 이 기준⁽¹¹⁾은 강접접합부에 대해서 적용되는 기준이며 반강접접합부에 대해서 그대로 적용시킬 것 인지에 대한 연구가 필요하다.

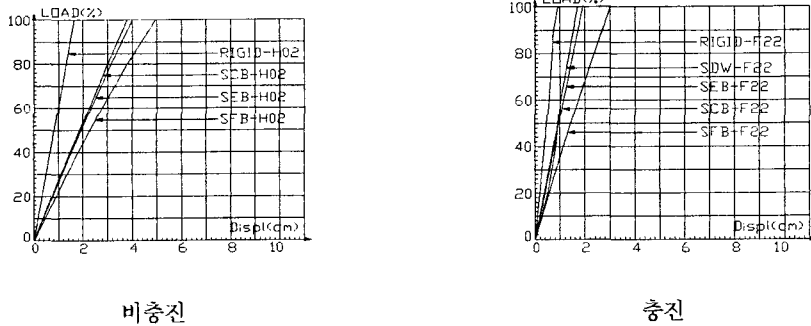


그림13. 최상층 수평변위

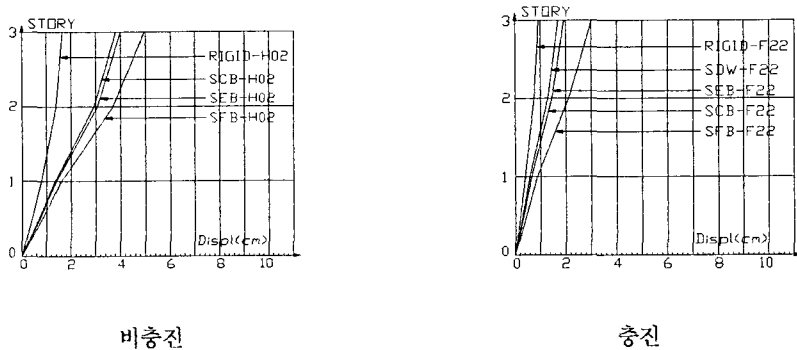


그림14. 층별 수평변위

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

표2. 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

표3. 사용성 한계상태 검토

4. 결 론

1) COSMOS/M에 의한 반강접접합부의 해석 결과를 함수화하기 위해 Kishi -Chen Power Model로 Curve Fitting하여 접합부 회전강성 예측모형식을 제안하였다. 제안된 예측모형식을 비선형해석프로그램에 적용하였고, VISUAL BASIC을 이용하여 Data 입출력을 편리하게 하였다.

2) 제안된 식 1)과 2)의 α, β 값을 각 모델별로 표2와 같이 결정하여 보았다. 이러한 방법이 사용되어 지므로 동력학적 비선형해석등에서 적은 Load Step에서도 정밀해에 가까운 결과를 도출할 수 있는 가능성을 제시하였다.

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

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

5) 본 프로그램에서는 고려되지 않은 변동반복하중과 지진하중과 같은 과하중을 받는 반강접 골조의 실제 거동을 예측하기 위한 부재의 비탄성을 고려한 해석 프로그램의 개발이 필요하며, 보 항복형의 파괴 메카니즘을 유도할 수 있는 가새 및 전단벽이 있는 골조의 해석 프로그램개발이 필요하다.

5. 참고문헌

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