

17 . 좌굴 해석

개요

본 예제에서는 다양한 경계조건하에서 축력을 부담하는 기둥부재의 좌굴해석을 수행하여 좌굴모드와 임계하중을 알아봅니다.

- **Material**
탄성계수 : $1.0 \times 10^4 \text{ tonf/m}^2$
- **Section**
형 상 : Solid Rectangle
크 기 : $B \times H = 1.0 \times 0.25 \text{ m}$
- **Load**
(-)Z방향으로 집중하중 1 tonf 재하

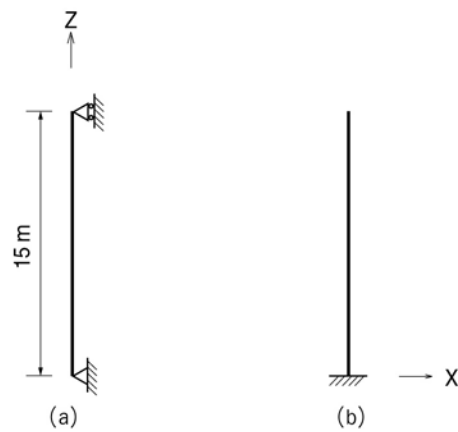


그림 17.1 해석 모델

기본환경 설정

새 파일을 열고 파일명을 'Buckling.mgb' 로 저장합니다.

File / **New Project**
 File / **Save (Buckling)**

사용 단위계와 구조해석 조건을 지정합니다.

본 모델에서는 전체좌표계 X-Z 평면내의 거동만을 허용하는 2차원 해석을 수행합니다.

Tools / **Unit System**

Length > **m** ; Force > **tonf** ↵

Model / **Structure Type**

Structure Type > **X-Z Plane** ↵

Point Grid (off) **Point Grid Snap** (off) **Front View**

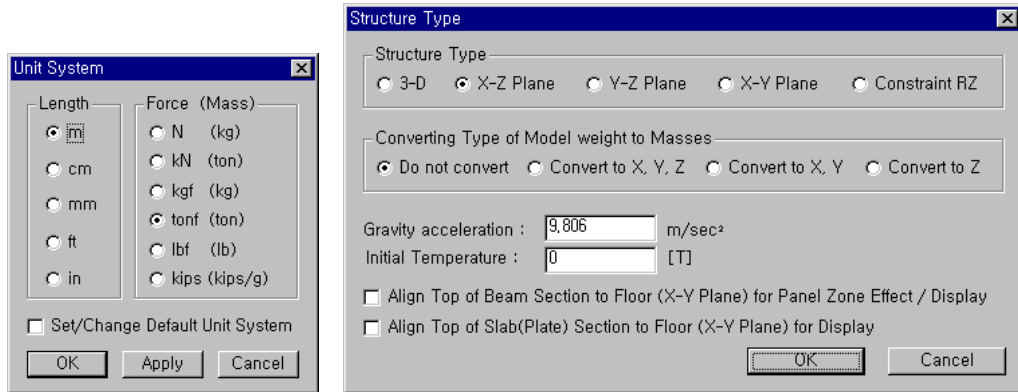




그림 17.2 사용단위계 및 구조해석 조건 지정

재질 및 단면 정의

예제 모델에 사용된 구조부재의 재질과 단면을 입력합니다. 재질은 해석의 편의를 위하여 사용자가 값을 부여하는 user defined type으로 입력하고 단면은 프로그램 내부에서 강성데이터를 자동계산합니다.

Model / Properties /  **Material**
 General > Name (**Mat**) ; Type > **User Defined**
 User Defined > Standard > **None**
 Analysis Data > Modulus of Elasticity (**1.0E+4**) ↓

Model / Properties /  **Section**
Value tab
 Section ID (**1**) ; Name (**Sect**)
 Shape > **Solid Rectangle** ; Size > H (**0.25**) ; B (**1.0**)
 Calculate Stiffness ↓

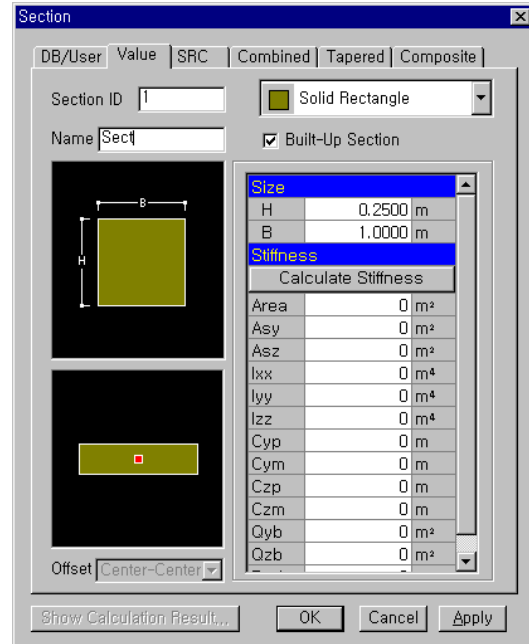
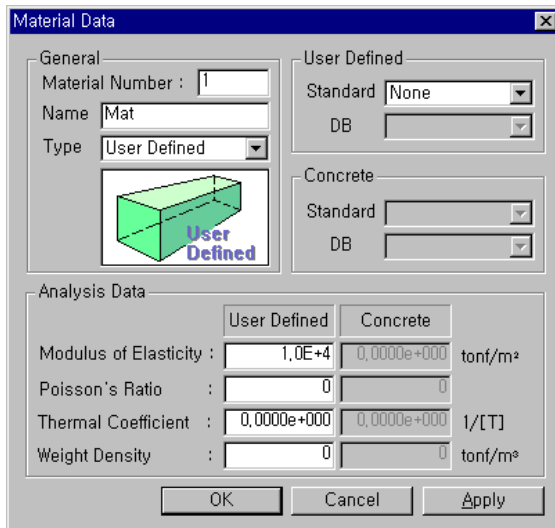


그림 17.3 재질 및 단면 정의

절점과 요소 생성

절점을 입력한 후, 기둥 요소를 생성합니다.

Model / Nodes /  **Create Nodes**

Coordinates (**0, 0, 0**)

Copy > Number of Times (**60**)

Distances (**0, 0, 0.25**) ↵

Model / Elements /  **Create Elements**

 **Zoom Fit**

Element Type > **General beam/Tapered beam**

Material > **1:Mat**

Section > **1:Sect**

Intersect > **Node** (on) ; **Element** (on) ; Beta Angle (**0**)

Nodal Connectivity (**1, 61**)

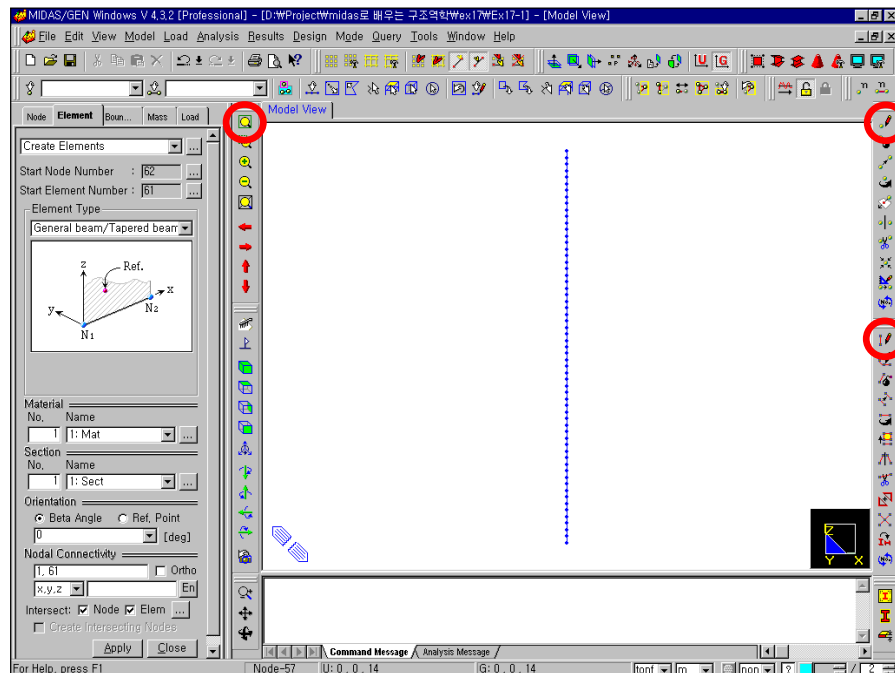


그림 17.4 기둥 생성

경계조건 입력

기둥의 상하단에 구속조건을 입력합니다. 하단은 핀 지지조건, 상단은 롤러 지지조건을 입력합니다.

☞ X-Z 평면의 면외방향 거동에 대한 자유도는 해석조건 지정시 자동으로 구속된다.

본 예제와 같이 X-Z 평면에 관한 거동만이 허용되는 경우는 핀 지지조건으로 Dx와 Dz 자유도를, 롤러 지지조건으로는 Dx 자유도만을 구속하면 됩니다. ☞

Model / Boundaries / Supports

Node Number ; Select Single (Node : 1)

Options > Add

Support Type > Dx, Dz (on) ↓

Select Single (Node : 61)

Support Type > Dz (off) ↓

Node Number (off)

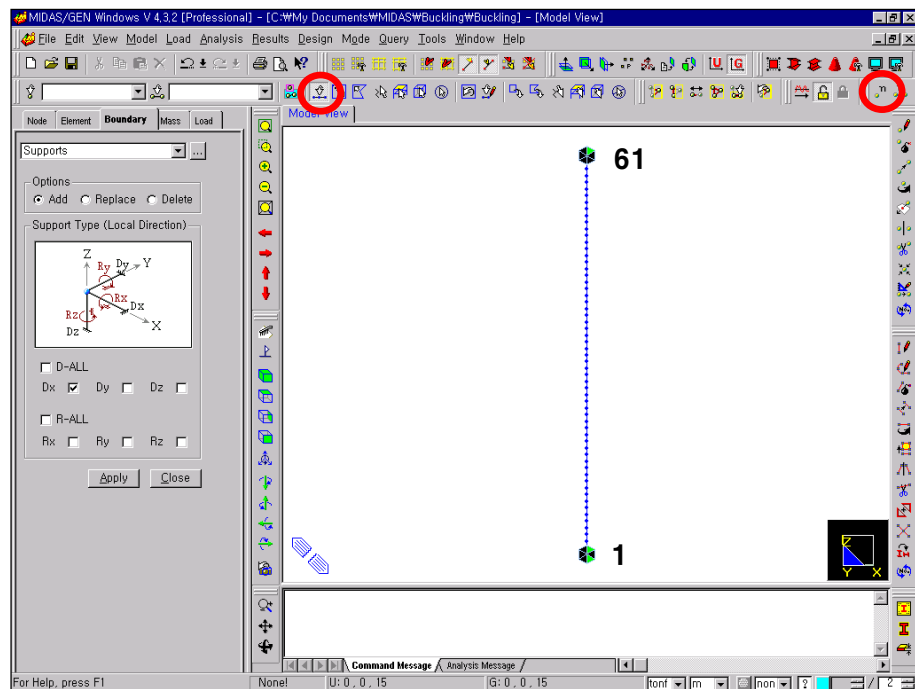


그림 17.5 지지조건 입력

하중입력

하중조건 정의

집중하중을 입력하기 위하여 하중조건을 정의합니다.

Load / *Static Load Cases*

Name (**Case1**) ; Type > **User Defined Load** ↵

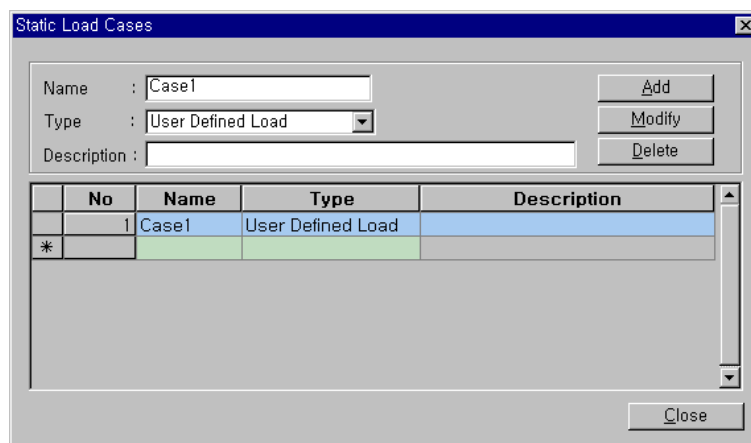


그림 17.6 하중조건 입력

집중하중 입력

기둥의 상단에 (-Z방향으로) 집중하중을 재하합니다.

Load / *Nodal Loads*

 *Select Single (Node : 61)*

Load Case Name>**Case1** ; Options>**Add** ; Nodal Loads>**FZ (-1)**

↵

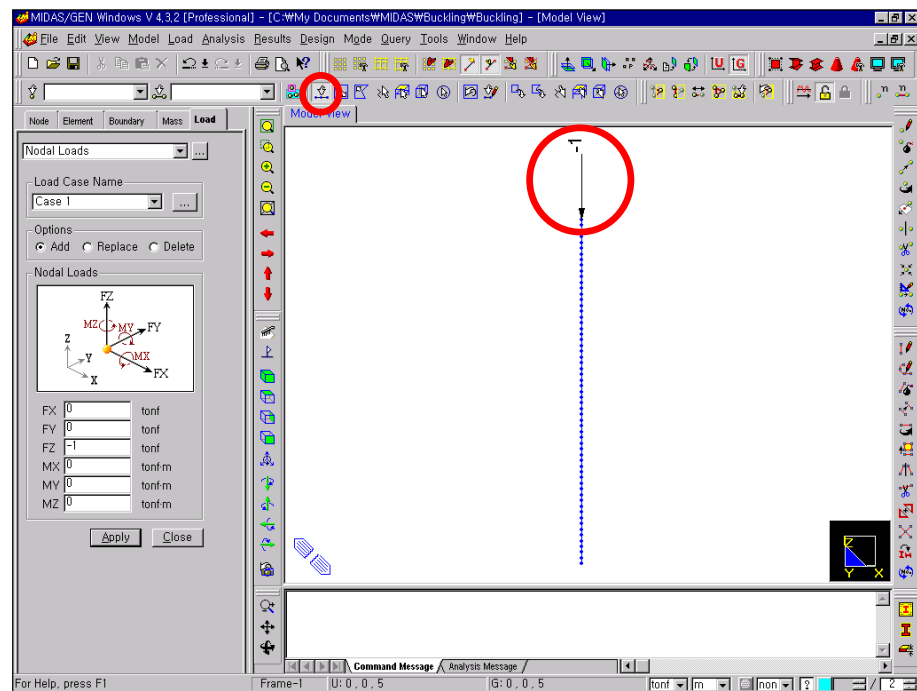


그림 17.7 집중하중 입력

해석조건 입력

좌굴해석 데이터 입력

좌굴모드 수와 반복횟수 등 좌굴해석을 수행하기 위한 기본 데이터를 입력합니다.

좌굴해석에 대한 상세한 내용은 매뉴얼의 “구조물의 좌굴 해석” 참조

Analysis / *Buckling Analysis Control*

Number of modes (**5**)

Control Parameters > Number of Iteration (**30**)

Convergence Tolerance (**0.001**)

Buckling Combinations > Load Case > **Case1**

Scale Factor (**1**) ↵

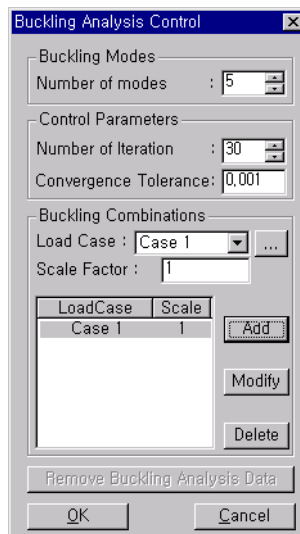


그림 17.8 좌굴해석 데이터 입력

구조해석

구조해석을 수행합니다.

Analysis /  *Perform Analysis*

해석결과 확인

좌굴모드

좌굴모드 형상을 확인합니다.

Results /  **Buckling Mode Shapes**

Load Cases > **Mode 1**

Components > **Md-XYZ**

Type of Display > **Undeformed (on)** ; **Legend (on)** ↵

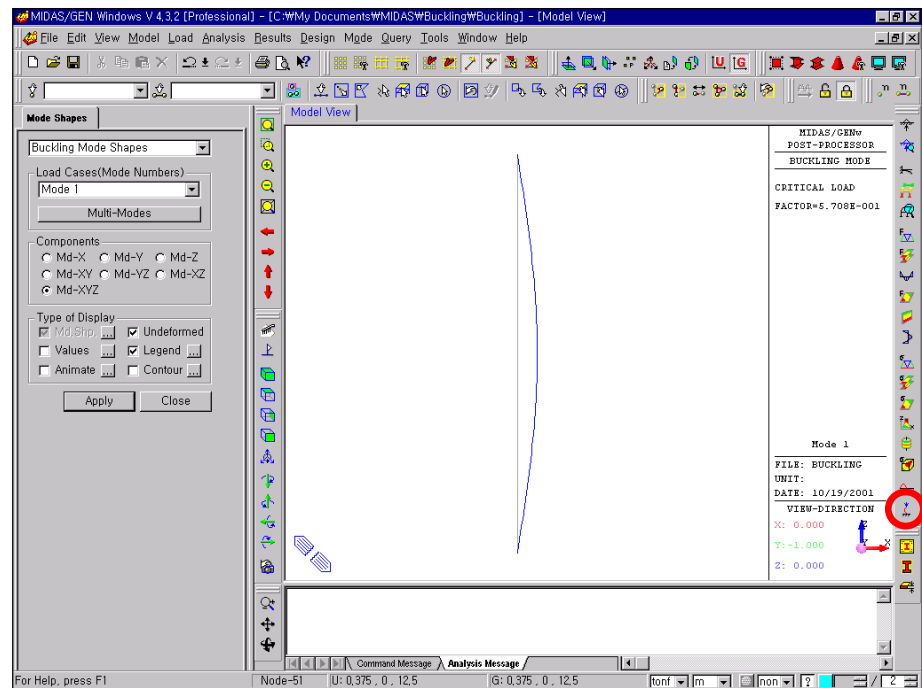
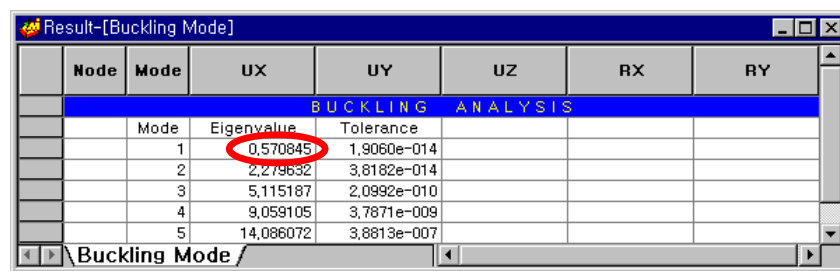


그림 17.9 좌굴모드 확인

임계하중 계산

임계하중을 계산하기 위하여 좌굴해석 결과 테이블에서 고유치를 확인합니다.

Results / Results Tables / *Buckling Mode Shape*



Node	Mode	UX	UY	UZ	RX	RY
BUCKLING ANALYSIS						
	Mode	Eigenvalue	Tolerance			
	1	0.570845	1.9060e-014			
	2	2.279632	3.8182e-014			
	3	5.115187	2.0992e-010			
	4	9.059105	3.7871e-009			
	5	14.086072	3.8813e-007			

그림 17.10 고유치 확인

임계하중(critical load)은 좌굴해석에 적용된 하중과 고유치의 곱(0.57 tonf)으로 계산됩니다.

경계조건 수정 및 구조해석 수행

모델의 경계조건을 변경하여 좌굴모드와 임계하중을 알아봅니다. (그림 17.1(b) 참조)

Tree Menu의 Works tab에서 61번 절점의 경계조건을 수정하고, 구조해석을 수행합니다.

File/Save As (Ex17-2)

Tree Menu>Works

Works>Boundaries>Supports :2>Support Type 1 [101000]>**Properties**

Model / Boundaries / *Supports*

Options > **Replace** ; Support Type > **Dx, Dz, Ry (on)**

Tree Menu>Works

Works>Boundaries>Supports :2>Support Type 2 [100000]>**Properties**

Model / Boundaries / *Supports*

Options>**Replace** ; Support Type>**D-All (off)** ; **R-All (off)**

Analysis / Perform Analysis

수정하려는 속성을 지정된 상태로 우측 버튼을 클릭하여 "Properties"를 선택하면, 속성을 수정하는 대화상자가 호출된다.

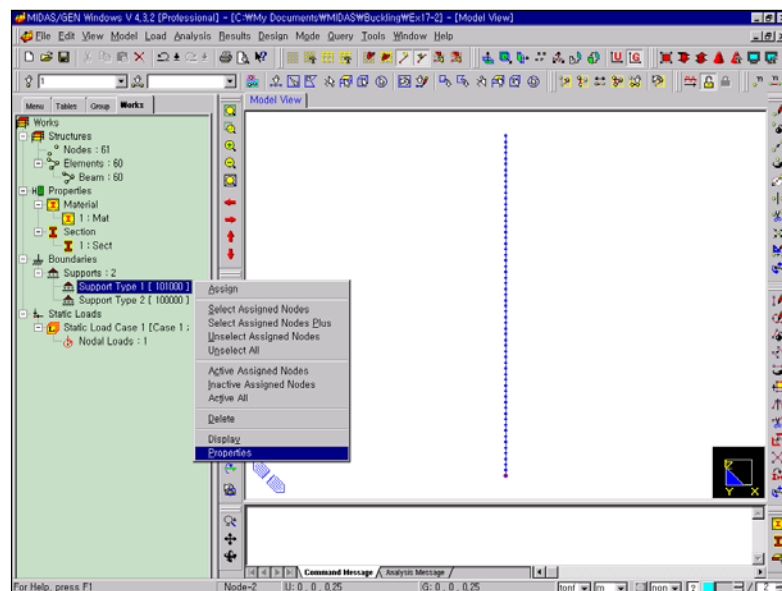


그림 17.11 경계조건 수정

해석결과 확인

좌굴모드

좌굴모드 형상을 확인합니다.

Results /  **Buckling Mode Shapes**

Load Cases > **Mode 1**

Components > **Md-XYZ**

Type of Display > **Undeformed (on)** ; **Legend (on)** ↵

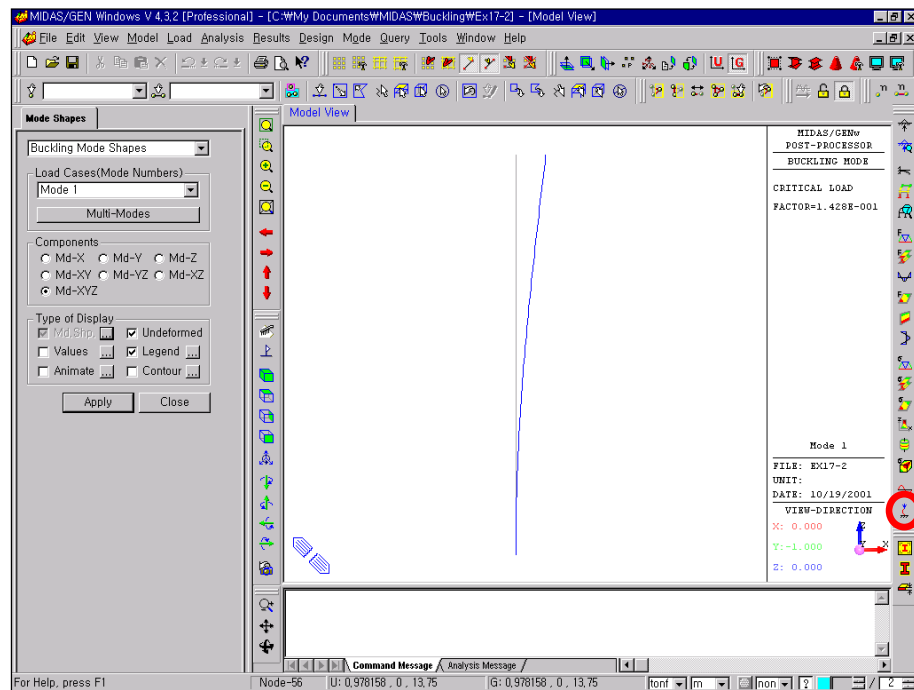


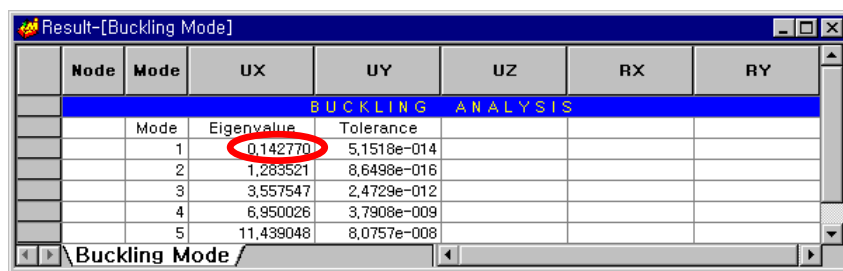
그림 17.12 좌굴모드 형상 확인

임계하중 계산

임계하중(critical load)을 계산하기 위하여 좌굴해석 결과 테이블에서 고유치를 확인합니다.

$$\text{임계하중} = 0.143 \text{ tonf}$$

Results / Results Tables / *Buckling Mode Shape*



Node	Mode	UX	UY	UZ	RX	RY
BUCKLING ANALYSIS						
	Mode	Eigenvalue	Tolerance			
	1	0.142770	5.1518e-014			
	2	1.283521	8.6498e-016			
	3	3.557547	2.4729e-012			
	4	6.950026	3.7908e-009			
	5	11.439048	8.0757e-008			

그림 17.13 임계하중 확인

정해와의 비교

경계조건에 따른 기둥부재의 좌굴 해석결과(임계하중)와 정해를 비교합니다.

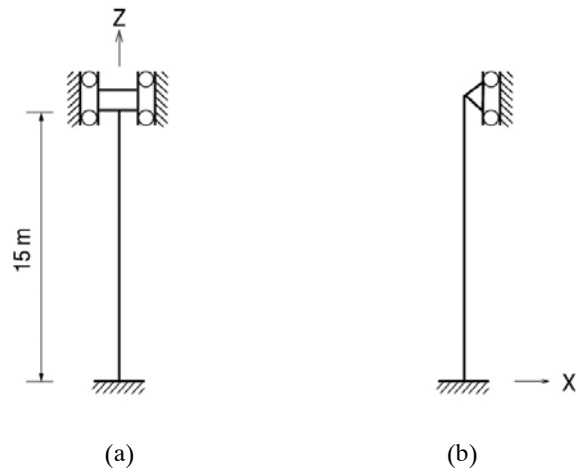
경 계 조 건	1차 모드의 임계하중	
	정 해	해 석 결 과
하단 핀, 상단 롤러	0.5712	0.5708
하단 고정, 상단 자유	0.1428	0.1428

Reference

Gere & Timoshenko, "Mechanics of Materials", Chapter 11

연습문제

1. 아래 그림과 같은 경계조건을 가진 기둥부재의 좌굴모드 형상과 임계하중을 구하시오.



- *Material*
탄성계수 : $1.0 \times 10^4 \text{ tonf/m}^2$
- *Section*
형상 : Solid Rectangle
크기 : $B \times H = 1.0 \times 0.25 \text{ m}$
- *Load*
(-)Z방향으로 집중하중 1tonf 재하

Reference

Gere & Timoshenko, “*Mechanics of Materials*”, Chapter 11.