

Buckling Analysis

(좌굴 해석)

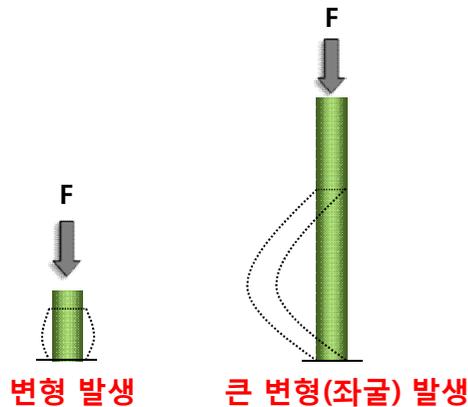
00 좌굴 해석 개요

좌굴 해석

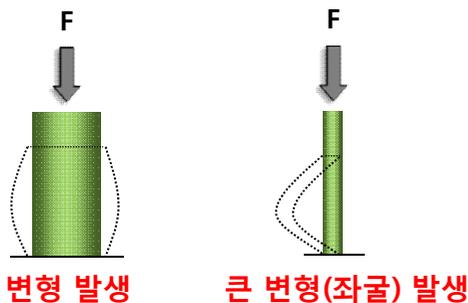
- ▶ 좌굴해석은 압축력을 받는 구조물의 불안정성 여부를 판단하기 위한 해석이다.
- ▶ 좌굴에 의한 구조물의 불안정성은 재료 강도에 무관하고, 구조물의 기하학적 형상 및 강성, 구속 조건과 밀접관 관련이 있다.
- ▶ 가늘고 긴 구조물 끝에 구조물 축 방향으로 압축력이 작용하는 경우, 하중의 크기가 작을 때에는 하중의 크기에 비례하여 구조물이 압축변형을 하지만, 특정 크기 이상의 하중이 작용하면 좌굴이 발생하여 하중의 크기가 증가하지 않아도 구조물이 크게 변형을 일으키게 된다.

원기둥의 좌굴 형상

A. 길이가 다르고 면적이 같은 원기둥에 같은 크기의 압축력을 받는 경우



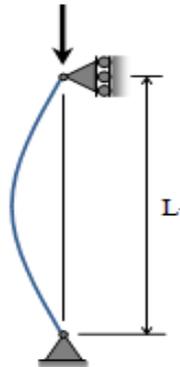
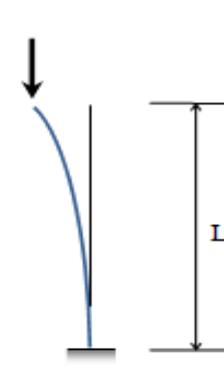
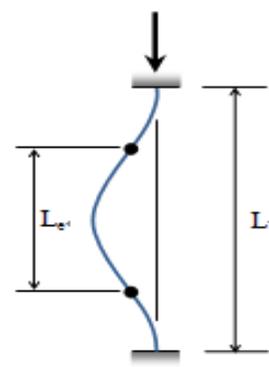
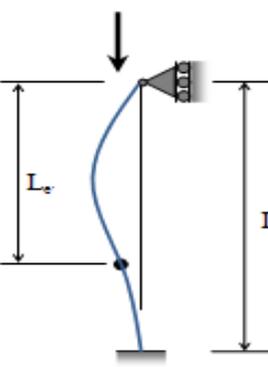
B. 면적은 다르고 길이는 같은 원기둥에 같은 크기의 압축력을 받는 경우



- A의 경우에는 두 원기둥의 면적이 같기 때문에 $\sigma = F/A$ 공식에 의해 발생하는 응력크기가 같다.
하지만 기둥의 길이가 길어진 경우에는 큰 변형(좌굴)이 발생할 수 있다.
- B의 경우에는 두 원기둥의 길이는 같지만 면적이 다르기 때문에 동일한 압축력을 가하게 되면 면적이 작은 쪽에서 더 큰 응력을 받기 때문에 좌굴이 발생하게 된다.
즉, 원기둥의 면적이 작을수록(압축응력이 클수록), 길이가 길수록 좌굴이 발생할 확률이 높아진다.

하중/경계 조건

- 하중은 주로 가늘고 긴 구조물의 축방향에 대한 압축력을 가하는 경우가 일반적이며, 하중을 입력 하는 방식은 선형 정적 해석의 경우와 동일하다.
- 좌굴 해석에서의 경계조건 역시 선형 정적 해석에서의 경계조건 입력 방법과 동일하다.
- 단, 구조물의 좌굴 하중은 부재의 구속 조건에 따라 상당히 달라지므로 구속의 성분은 좌굴을 고려하여 합리적으로 설정할 필요가 있다.

양단 핀지지	상단자유, 하단고정	양단 고정	상단핀지지, 하단고정
$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$	$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$	$P_{cr} = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$	$P_{cr} = \frac{2.046\pi^2 EI}{L^2}$
			
$L_e = L$	$L_e = L$	$L_e = L$	$L_e = L$
$K = 1$	$K = 1$	$K = 1$	$K = 1$

개요

➤ 좌굴 해석

- 단위: N, m
- 기하모델: Buckling.x_t

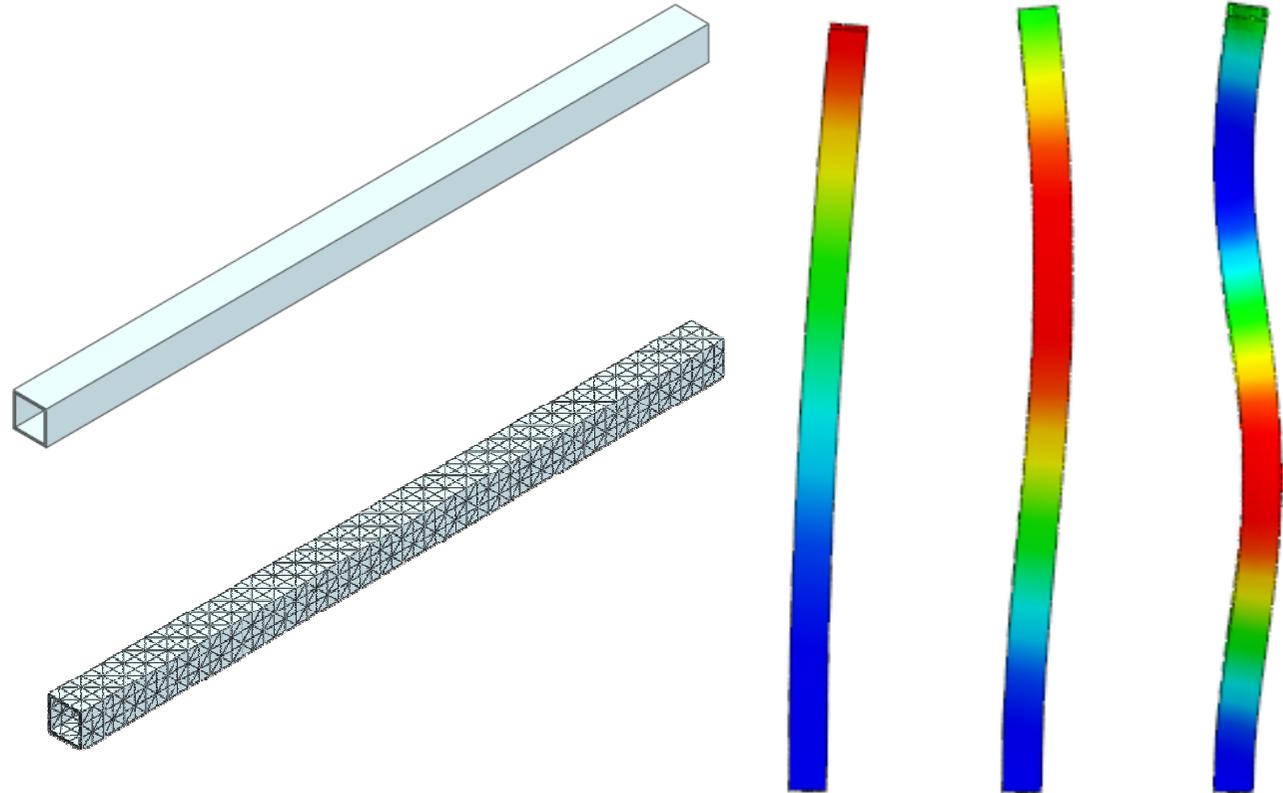
➤ 경계조건과 하중조건

- 경계조건 (고정구속)
- 집중하중 (160KN)

➤ 결과 확인

- 변위
- 고유치
- 모드형상
- 수계산과 비교

Rectangular Pipe



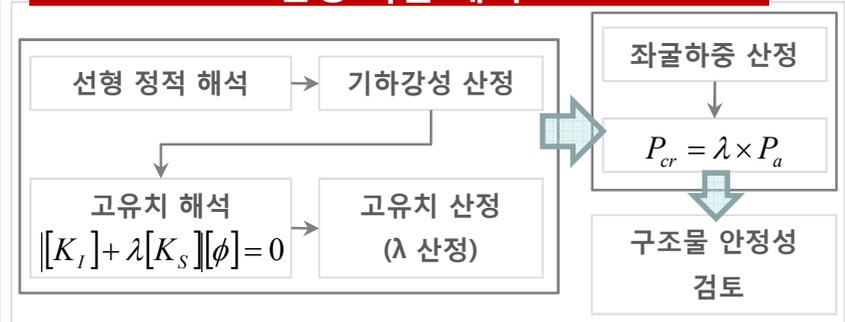
따라하기 목적

- 기본적인 선형 좌굴 해석에 대한 이해
 - 선형 좌굴 해석 절차에 대한 이해

선형 좌굴 해석의 종류

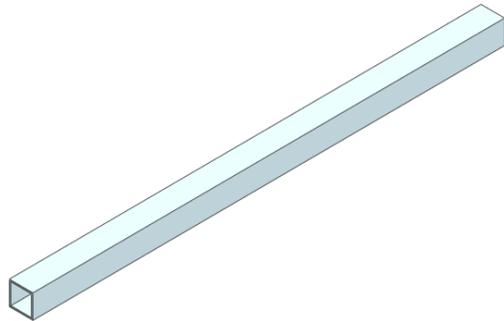
- 크기가 큰 압축 하중을 받는 구조물
- 축하중을 받는 가느다란 기둥 형태의 구조물
- 외부 압력을 받는 얇은 두께의 원통형 구조물
- 테두리에 압력을 받는 얇은 판 형태의 구조물
- 상부 표면에 횡방향의 끝단 하중을 받는 길고 얇은 외팔보 형태의 구조물

선형 좌굴 해석



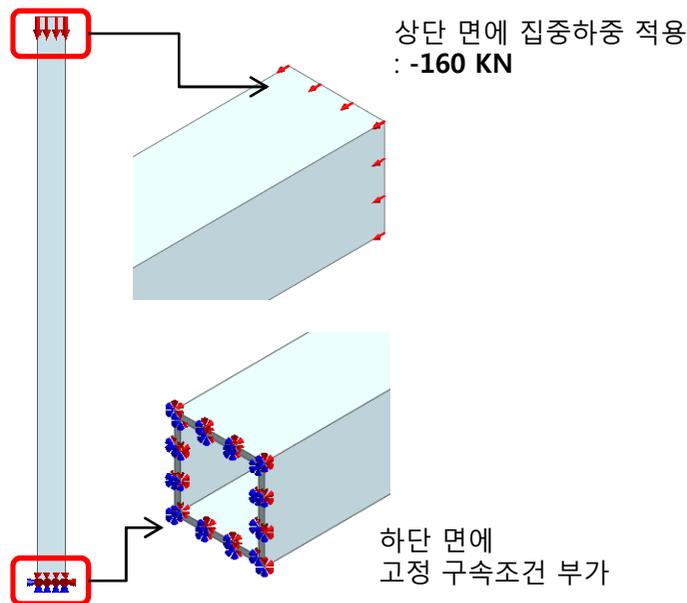
해석 개요

➢ 대상 모델

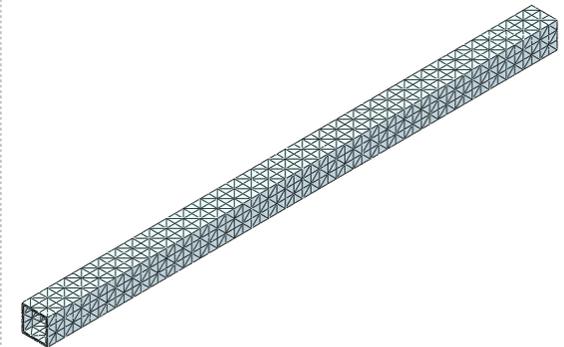


탄성계수	7e+010 N/m ²
프와송비	0.33
질량밀도	7.85 kg/m ³

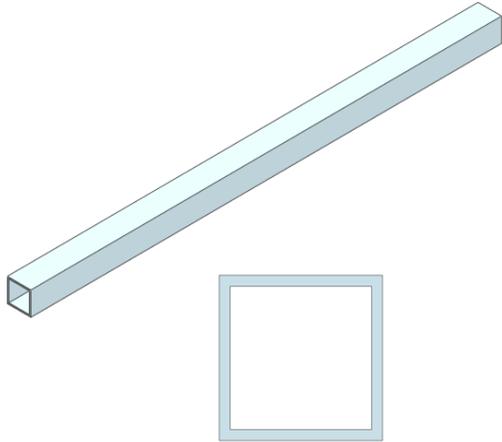
➢ 경계조건 (대칭조건, 핀구속)



➢ 유한요소모델 (사면체 요소망)



임계하중의 계산



단면: $150\text{mm} \times 150\text{mm}$
 두께 (t): 10mm
 길이 (L): 3000mm

$$P = 160\text{KN}$$

$$E = 70\text{GPa}$$

$$\gamma = 0.33$$

$$\rho = 7.850\text{kg/m}^3$$

$$P_{cr} = \frac{n^2 \pi \cdot E \cdot I}{4 \cdot L^2}$$

$$P_1 = \frac{1^2 \pi \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot \frac{1}{12} ((0.15 \times 0.15^3) - (0.13 \times 0.13^3))}{4 \cdot 3^2} = 352.86\text{KN}$$

$$P_3 = \frac{3^2 \pi \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot \frac{1}{12} ((0.15 \times 0.15^3) - (0.13 \times 0.13^3))}{4 \cdot 3^2} = 3175.8\text{KN}$$

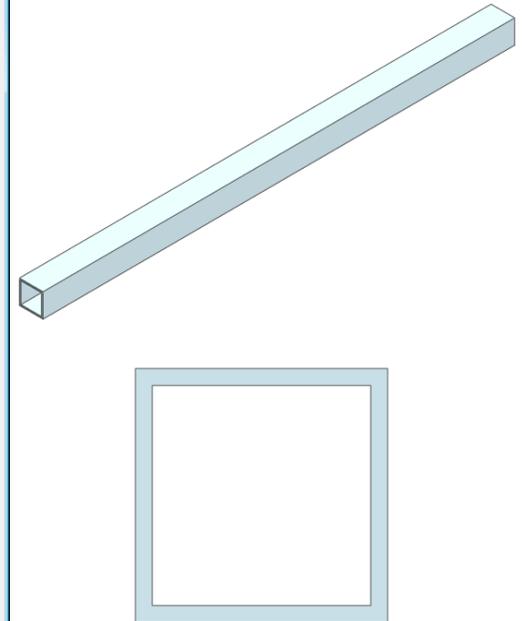
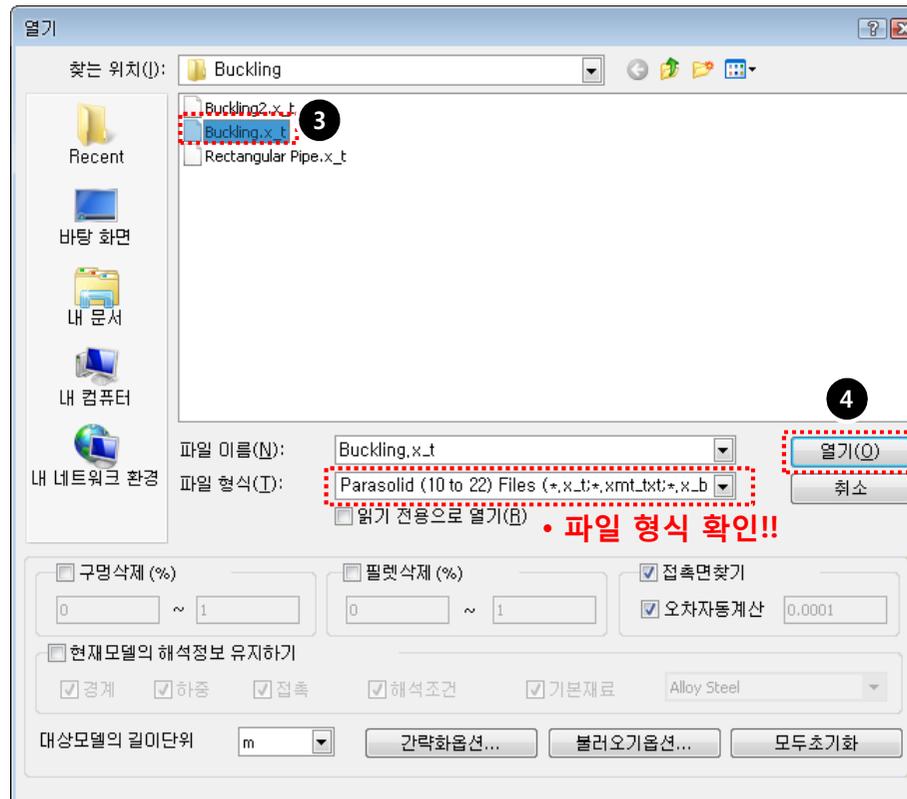
$$P_5 = \frac{5^2 \pi \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot \frac{1}{12} ((0.15 \times 0.15^3) - (0.13 \times 0.13^3))}{4 \cdot 3^2} = 8821\text{KN}$$

작업 순서

- ① [] (새로 만들기) 아이콘 클릭. 
- ② [형상] - [불러오기] 아이콘 클릭.
- ③ 모델 선택: **Buckling.x_t** 선택.
- ④ [열기] 버튼 클릭.

※ 프로그램이 설치된 하위 폴더의
ManualsWTutorialsWFiles 폴더 안에
따라하기의 모델들이 있습니다.

 프로그램을 실행시킨 후 [새로 만들기]
아이콘을 클릭하면 모든 메뉴가 활성화
됩니다.

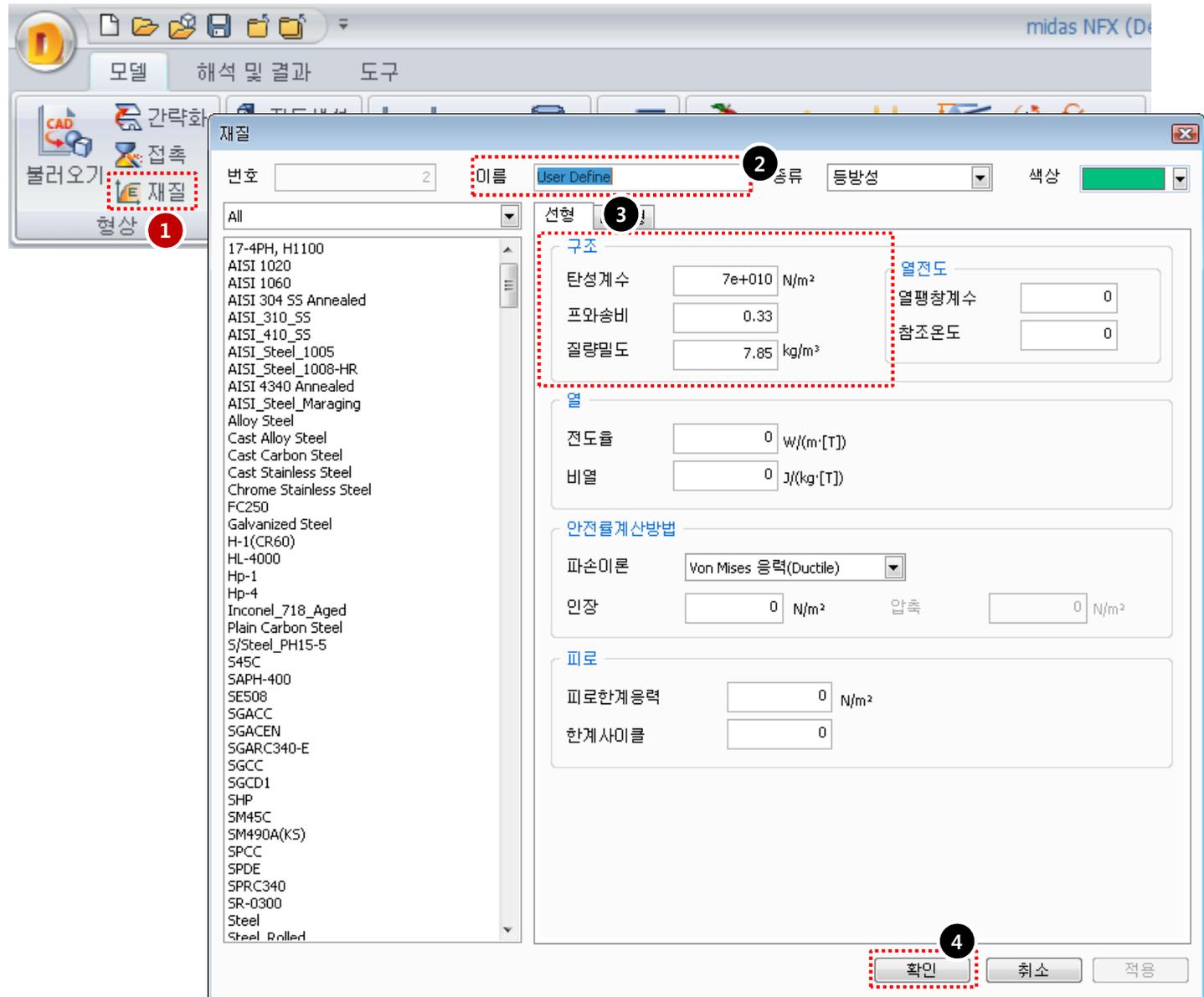


작업 순서

- 1 [형상] - [재질] 아이콘 클릭.
- 2 이름에 **User Define** 입력.
- 3 탄성계수 "7e10", 프와송비 "0.33"
질량밀도 "7.85" 입력 
- 3 [확인] 버튼 클릭.

 주어진 값의 단위계와 일치 시키기 위하여 단위계를 m로 변경 합니다.

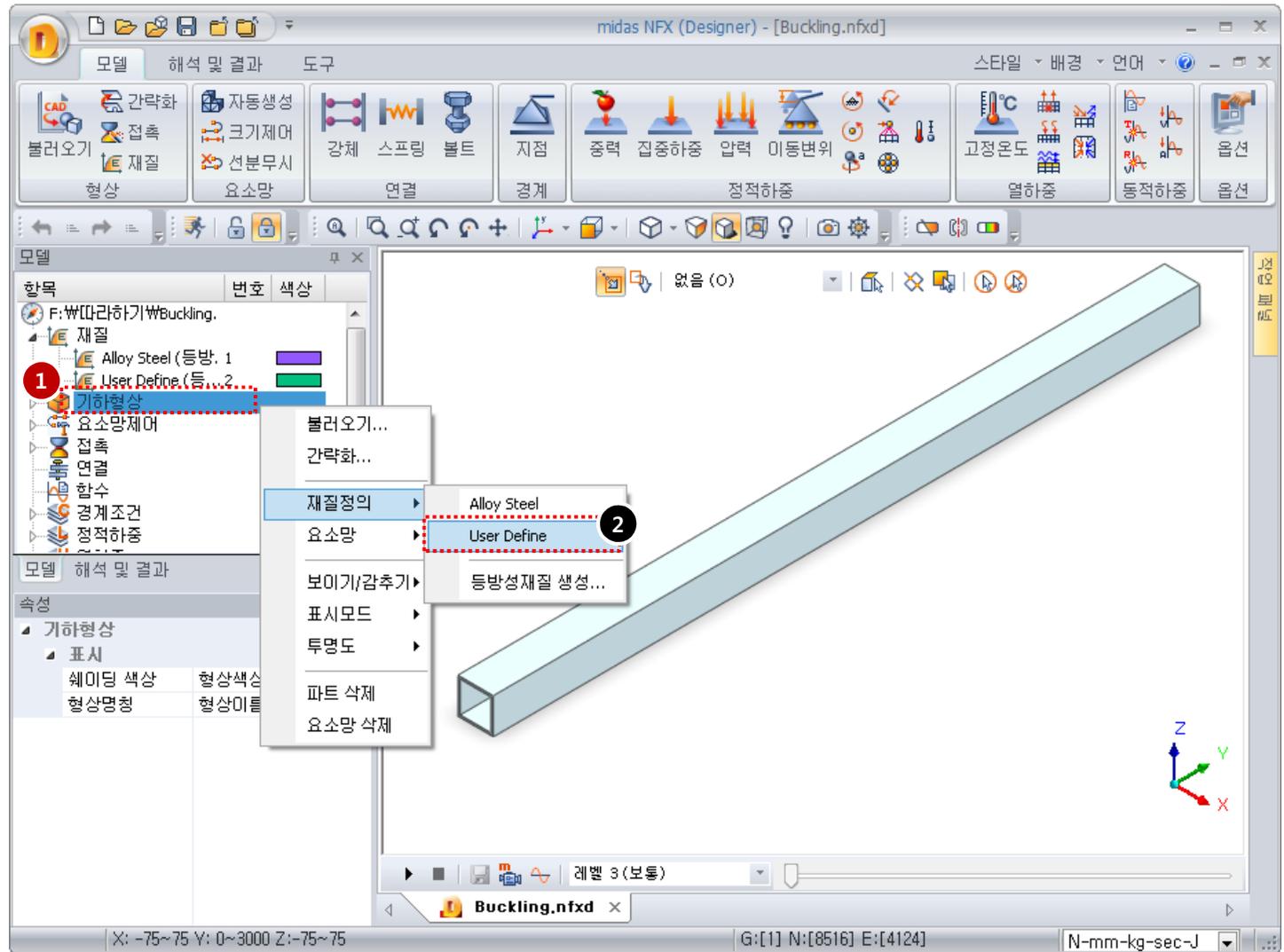
N-m-kg-sec-J 



작업 순서

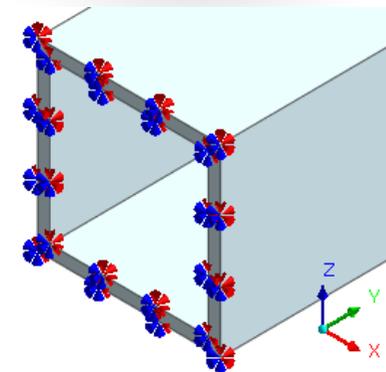
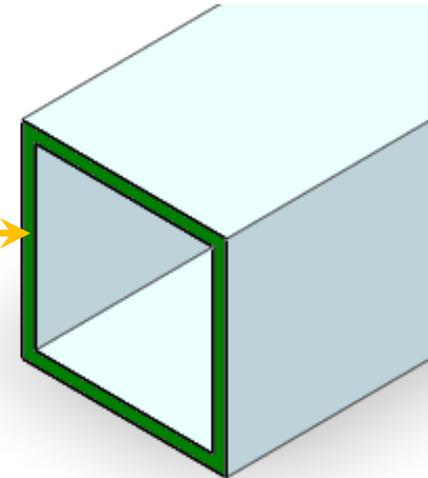
- 1 모델 작업트리 - 기하형상에서
오른쪽 마우스 클릭. 💡
- 2 [재질 정의] > [User Define] 선택.

💡 파트 별로 재질을 지정하려면 각 파트에서 오른쪽 마우스를 이용하여 각각의 재질을 지정하고, 모든 파트에 동일한 재질을 한번에 지정하려면 기하형상에서 오른쪽 마우스를 이용하여 재질을 지정합니다.



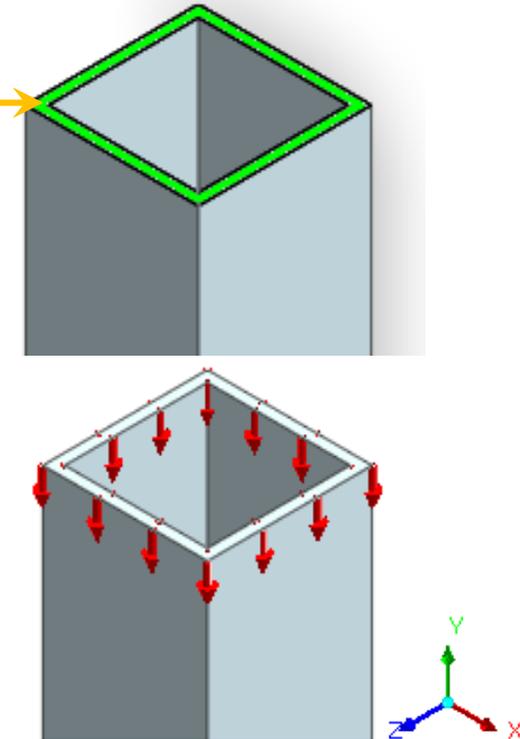
작업 순서

- ① [경계] - [지점] 아이콘 클릭.
- ② 이름: Fix 입력
- ③ 대상: 1개 면 선택. (그림 참조)
- ④ 조건: 고정구속 선택.
- ⑤ [확인] 버튼 클릭.



작업 순서

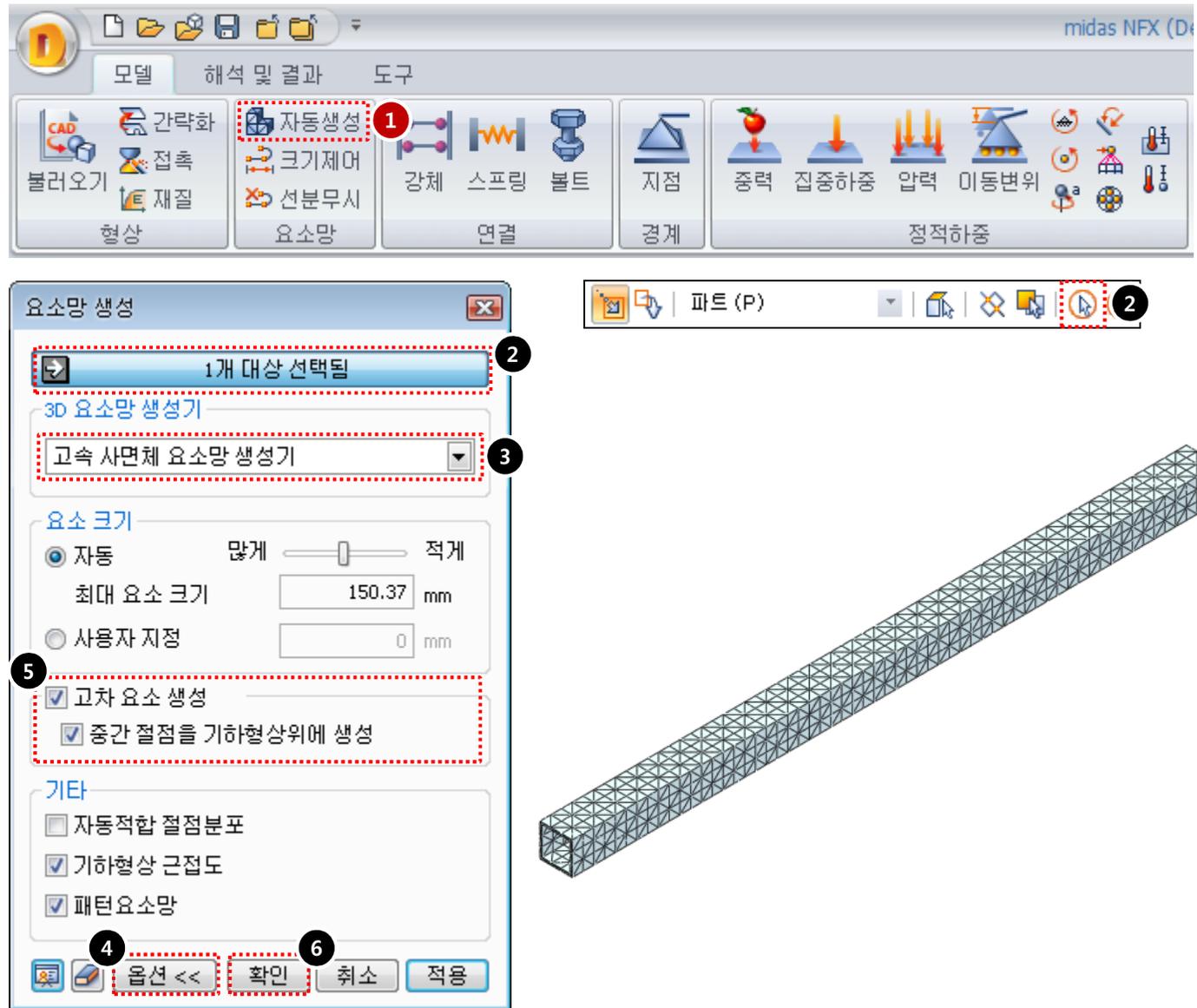
- 1 [정적하중] - [집중하중] 아이콘 클릭.
- 2 등각보기2 선택
- 3 이름: **Force** 입력
- 4 대상: **1개 면** 선택. (그림 참조)
- 5 하중타입 : **총합력** 선택.
- 6 Y방향 하중 "**-160000**" 입력
- 7 [확인] 버튼 클릭.



작업 순서

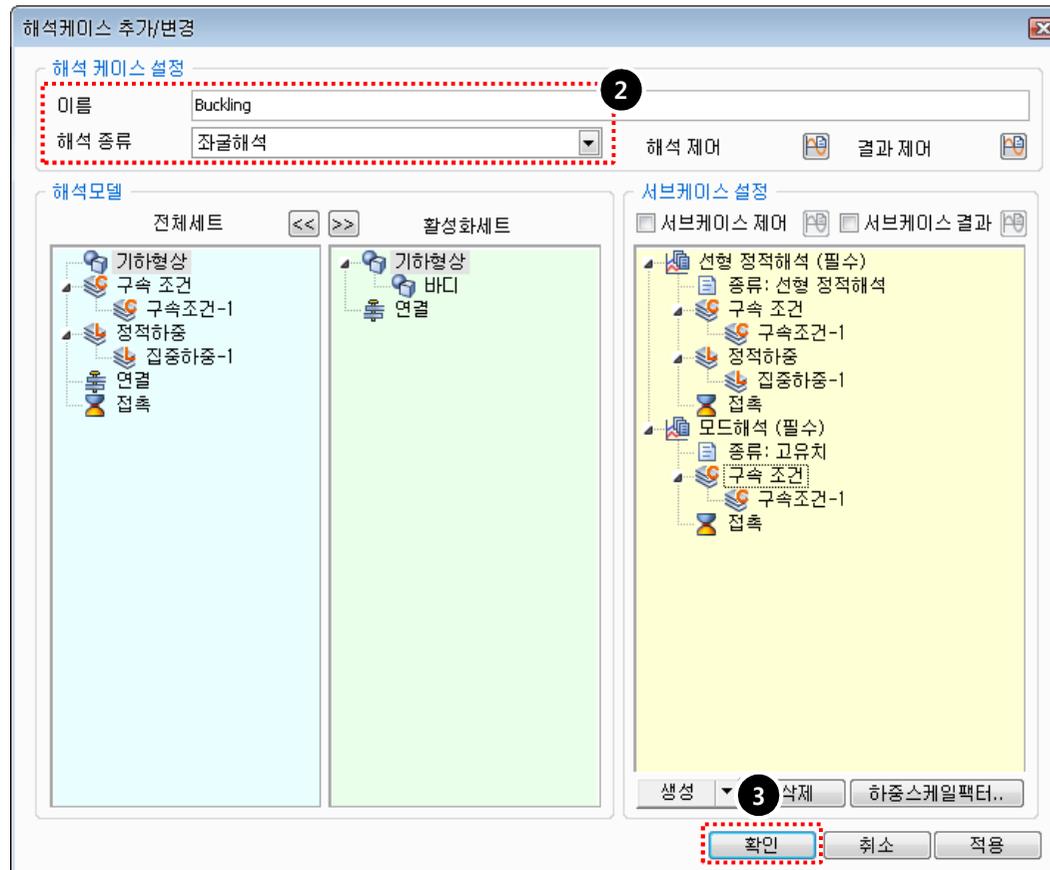
- 1 [요소망] - [자동생성] 아이콘 클릭.
- 2 모델 전체를 대상으로 선택 함. 
- 3 고속 사면체 요소망 생성기 선택
- 4 옵션 선택
- 5 고차요소 생성 선택
- 6 [확인] 버튼 클릭

  (전체 선택) 아이콘을 클릭하면 화면상에 보이는 모델이 전부 선택 됩니다.



작업 순서

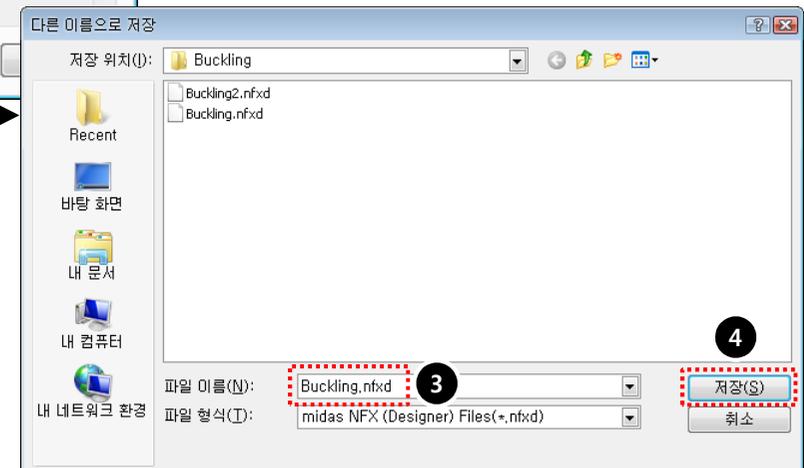
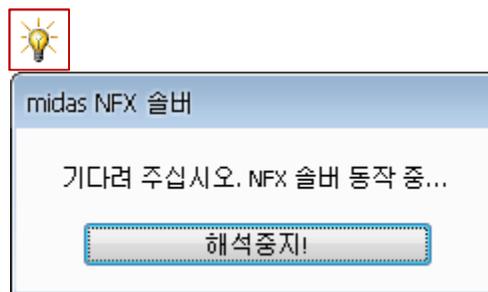
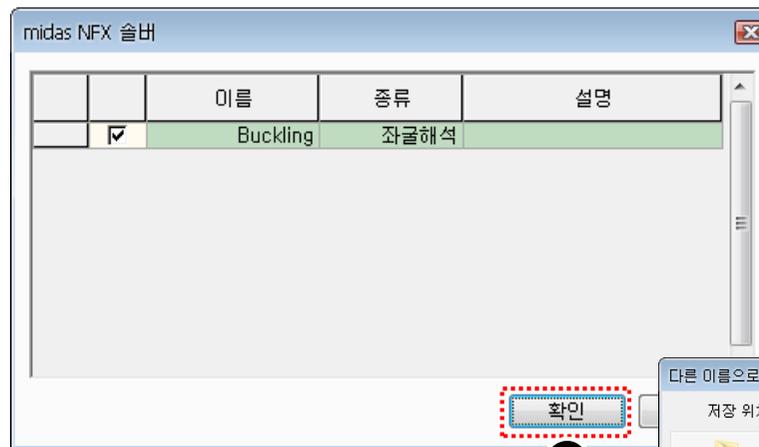
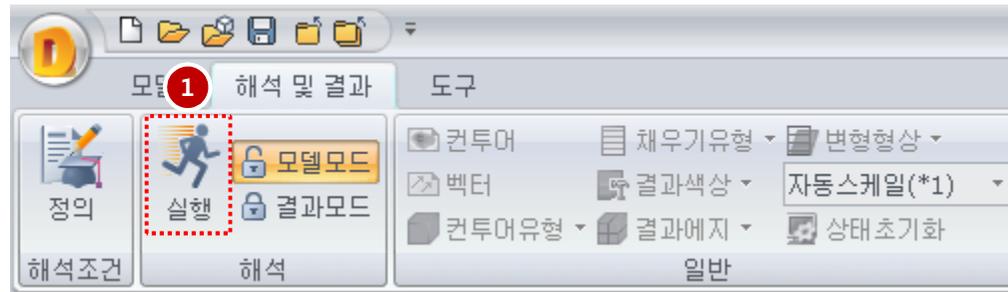
- 1 [해석조건] - [정의] 아이콘 클릭.
- 2 이름: "Buckling" 입력.
해석 종류: [좌굴해석] 선택.
- 3 [확인] 버튼 클릭.



작업 순서

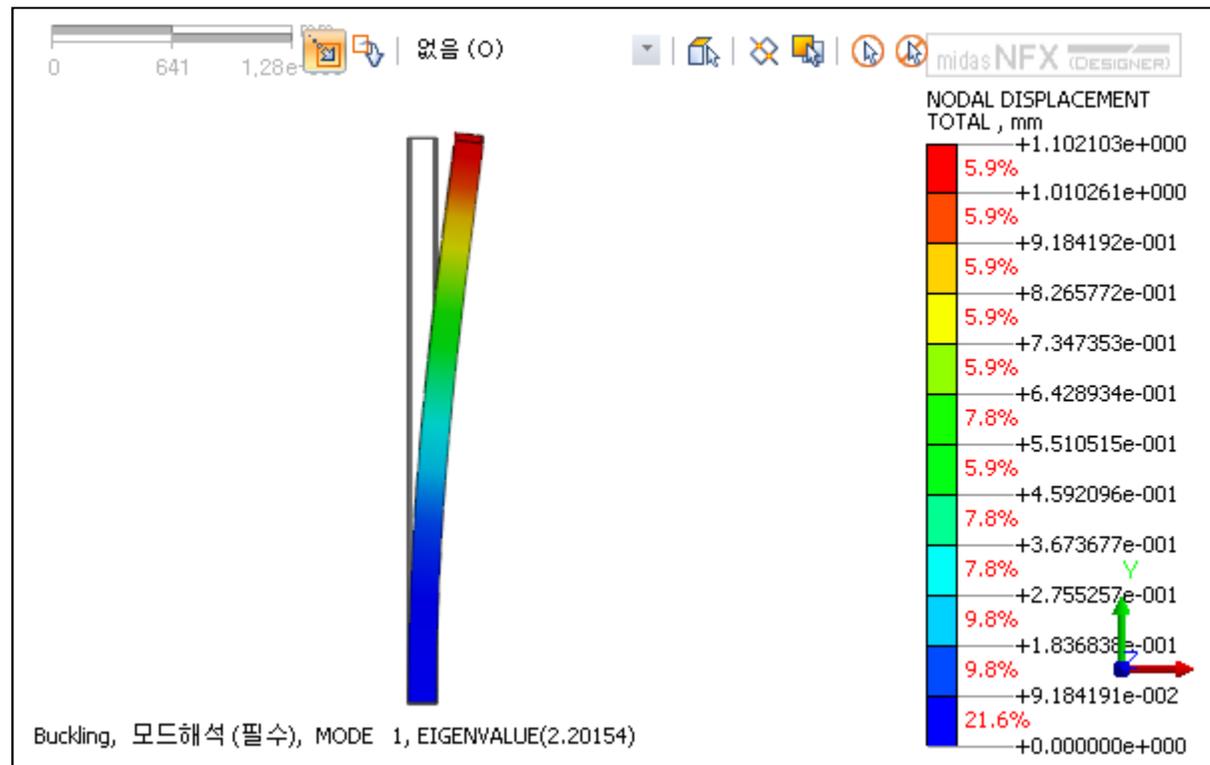
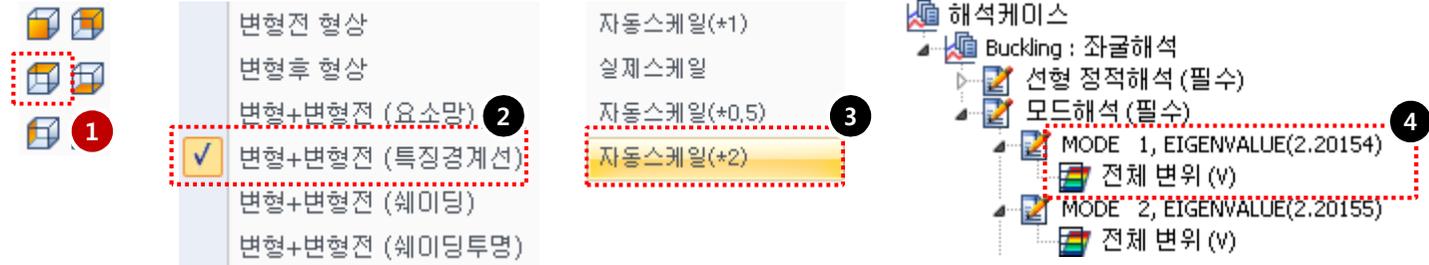
- 1 [해석] - [실행] 아이콘 클릭.
- 2 [확인] 버튼 클릭.
- 3 다른 이름으로 저장: "Buckling" 입력.
- 4 [저장(S)] 버튼 클릭.

💡 해석을 실행하면 midas NFX 솔버가 작동됩니다. 해석중지! 버튼을 클릭하면 해석이 중지됩니다.



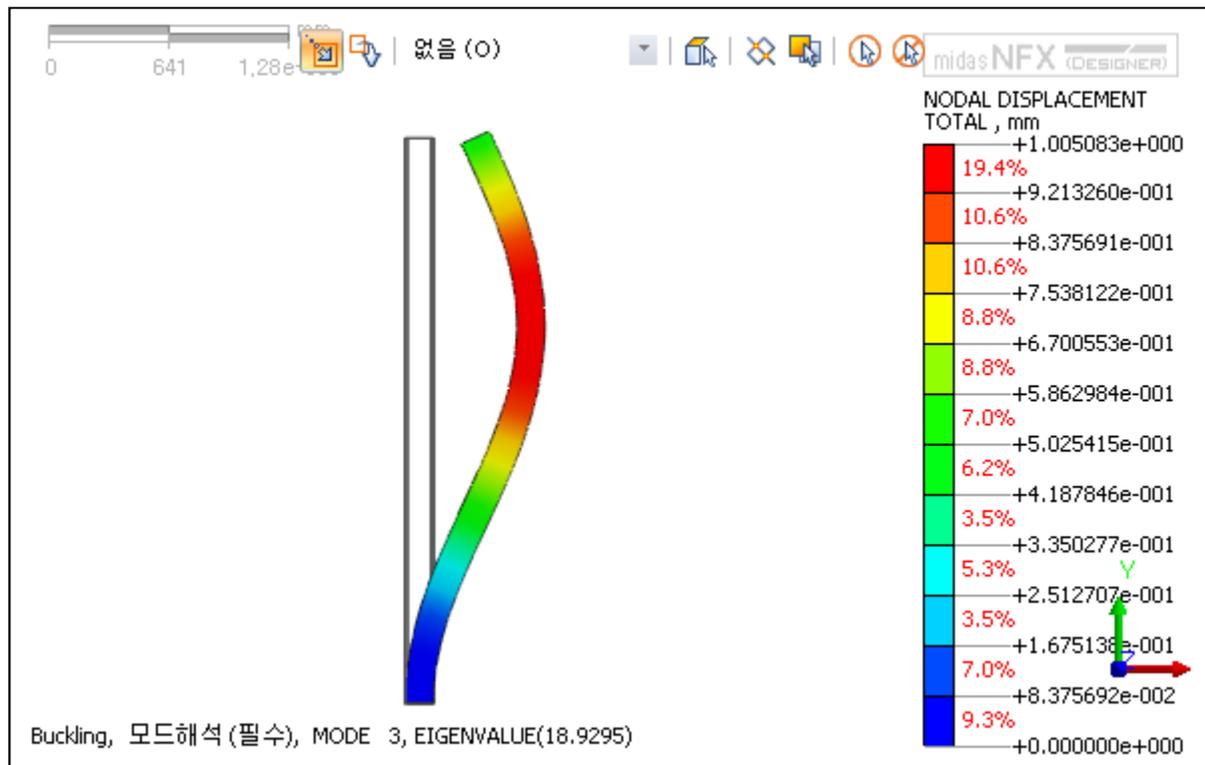
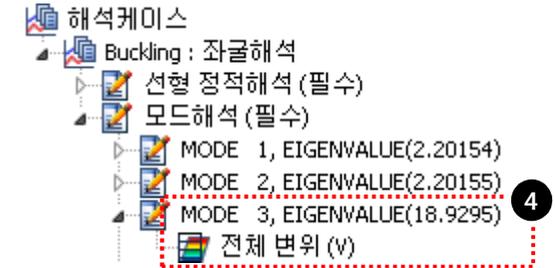
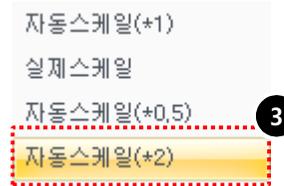
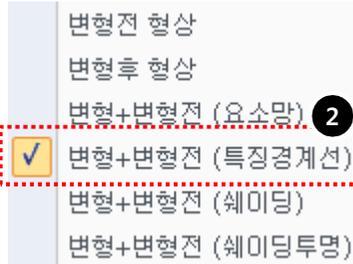
작업 순서

- 1 [] (잇면) 아이콘 클릭.
- 2 변형형상에서 변형+변형전 (특징경계선)을 선택.
- 3 스케일에서 자동스케일(*2)를 선택.
- 4 해석 및 결과 작업트리의 모드해석 결과에서 **MODE 1**의 전체변위를 더블 클릭.



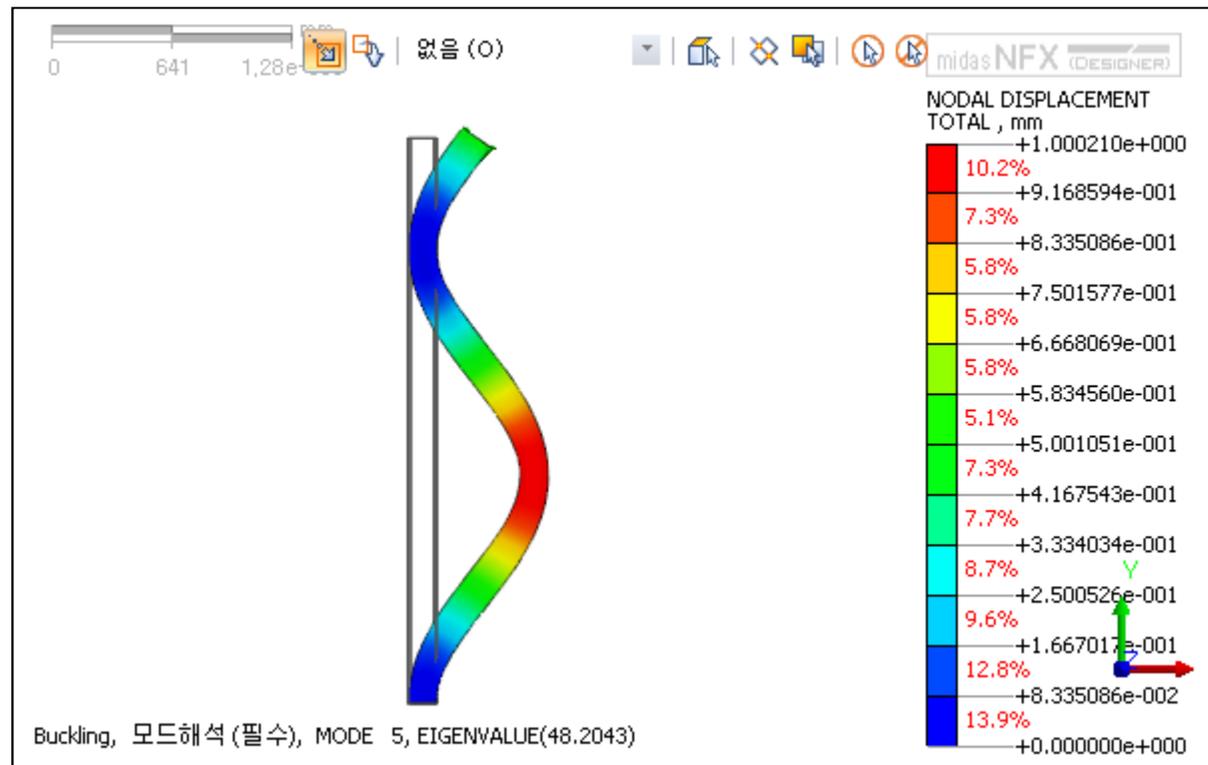
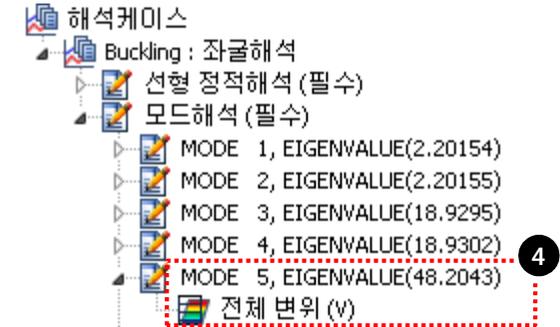
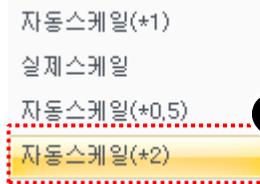
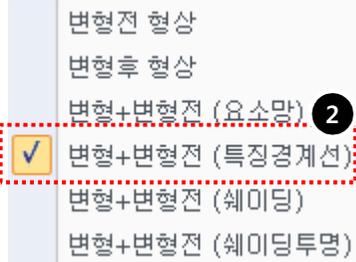
작업 순서

- 1 [] (잇면) 아이콘 클릭.
- 2 변형형상에서 변형+변형전 (특징경계선)을 선택.
- 3 스케일에서 자동스케일(*2)를 선택.
- 4 해석 및 결과 작업트리의 모드해석 결과에서 **MODE 3**의 전체변위를 더블 클릭.



작업 순서

- 1 [] (잇면) 아이콘 클릭.
- 2 변형형상에서 변형+변형전 (특징경계선)을 선택.
- 3 스케일에서 자동스케일(*2)를 선택.
- 4 해석 및 결과 작업트리의 모드해석 결과에서 **MODE 5**의 전체변위를 더블 클릭.



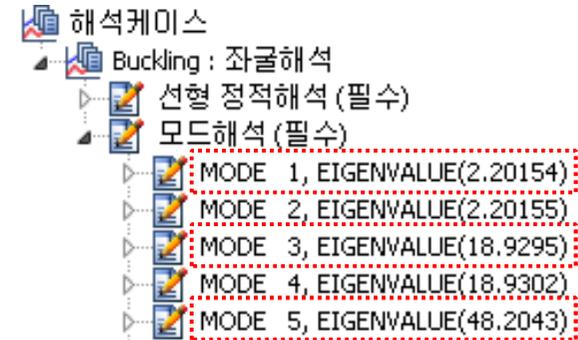
수 계산 과의 비교

$$P_{cr} = \frac{n^2 \pi \cdot E \cdot I}{4 \cdot L^2}$$

$$P_1 = \frac{1^2 \pi \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot \frac{1}{12} ((0.15 \times 0.15^3) - (0.13 \times 0.13^3))}{4 \cdot 3^2} = 352.86 \text{KN} \quad 1$$

$$P_3 = \frac{3^2 \pi \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot \frac{1}{12} ((0.15 \times 0.15^3) - (0.13 \times 0.13^3))}{4 \cdot 3^2} = 3175.8 \text{KN} \quad 3$$

$$P_5 = \frac{5^2 \pi \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot \frac{1}{12} ((0.15 \times 0.15^3) - (0.13 \times 0.13^3))}{4 \cdot 3^2} = 8821 \text{KN} \quad 5$$



$n = 1$

$$160 \text{KN} \times 2.20154 = 352.2464 \text{KN} \quad 1$$

$n = 3$

$$160 \text{KN} \times 18.9295 = 3028.72 \text{KN} \quad 3$$

$n = 5$

$$160 \text{KN} \times 48.2043 = 7712.688 \text{KN} \quad 5$$