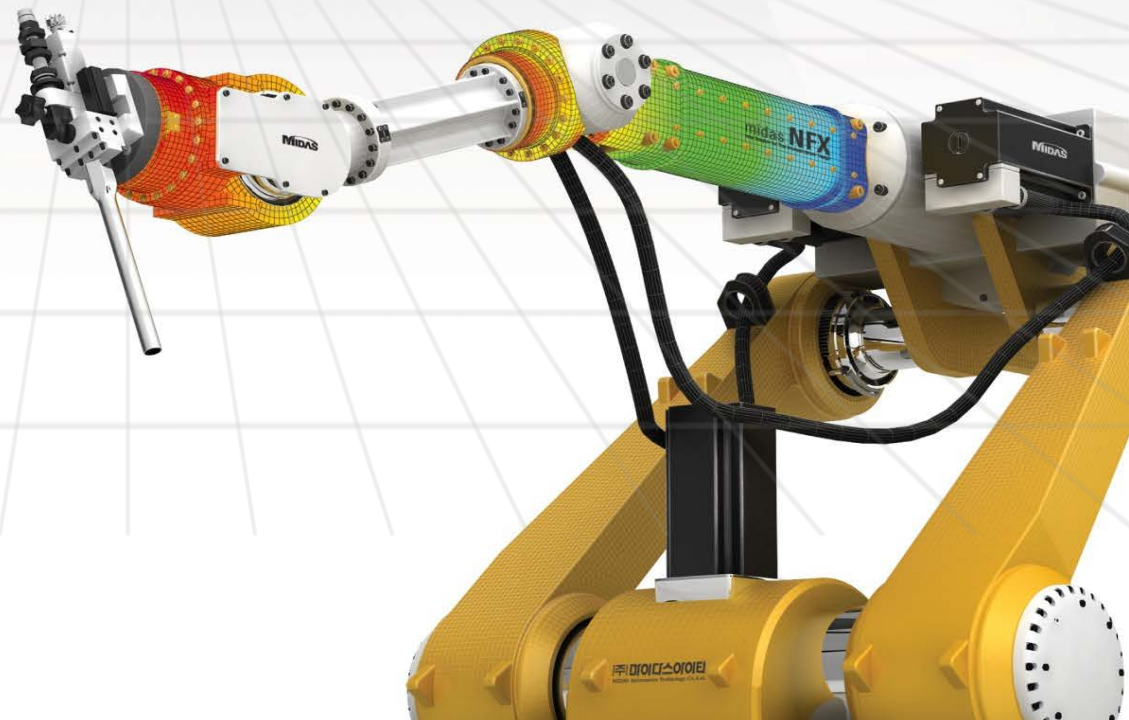


Buckling Analysis (좌굴해석)

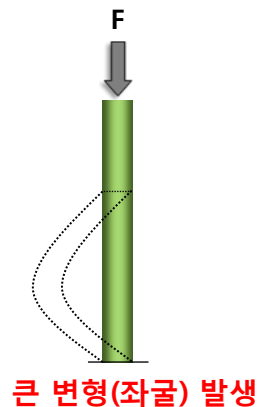
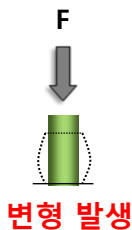


좌굴 해석

- 좌굴해석은 압축력을 받는 구조물의 불안정성 여부를 판단하기 위한 해석입니다.
- 좌굴에 의한 구조물의 불안정성은 재료 강도에 무관하고, 구조물의 기하학적 형상 및 강성, 구속 조건과 밀접한 관련이 있습니다.
- 가늘고 긴 구조물 끝에 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 됩니다.

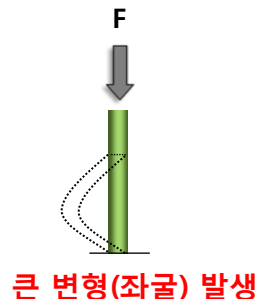
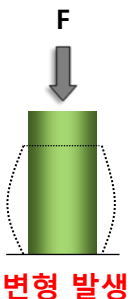
원기둥의 좌굴

A. 길이가 다르고 면적이 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 있습니다.


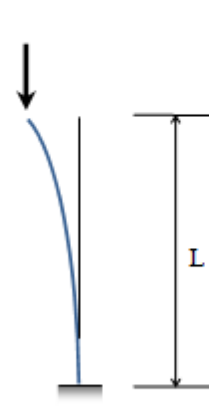
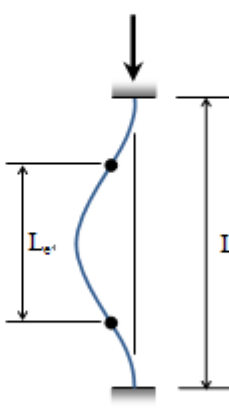
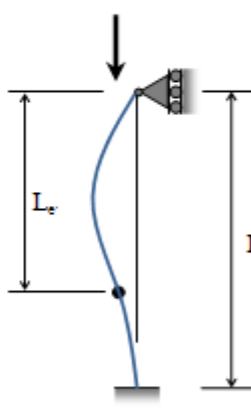
B. 면적은 다르고 길이는 같은
원기둥에 같은 크기의
압축력을 받는 경우



- B의 경우에는 두 원기둥의 길이는 같지만 면적이 다르기 때문에 동일한 압축력을 가하게 되면 면적이 작은 쪽에서 더 큰 응력을 받기 때문에 좌굴이 발생하게 됩니다.
즉, 원기둥의 면적이 작을수록(압축응력이 클수록), 길이가 길수록 좌굴이 발생할 확률이 높아집니다.

하중/경계 조건

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

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, mm
- 기하모델: Rectangular Pipe.x_t

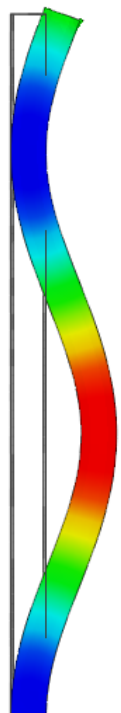
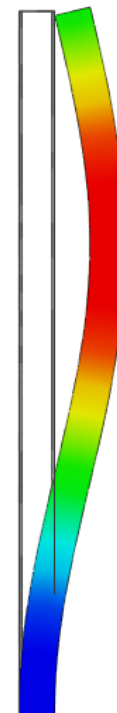
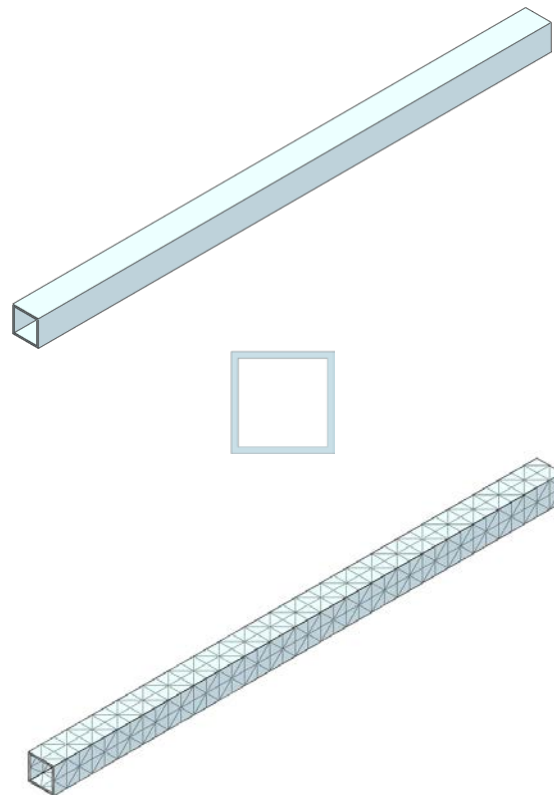
➤ 경계조건과 하중조건

- 하단면 고정구속
- 상단면 집중하중 (160kN)

➤ 결과확인

- 고유치 (좌굴하중계수)
- 모드 형상
- 수계산과 비교

Rectangular Pipe



따라하기 목적

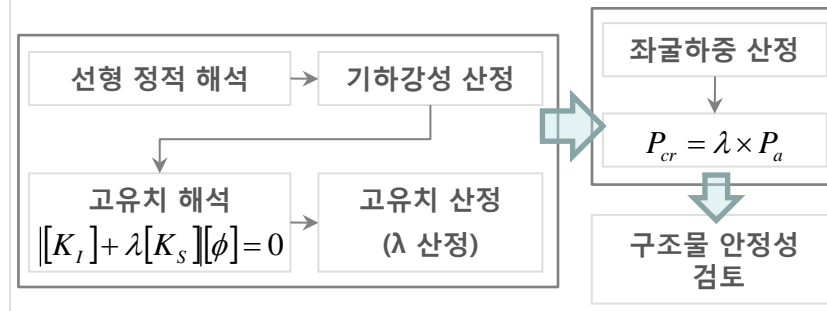
➤ 기본적인 선형 좌굴 해석에 대한 이해

- 선형 좌굴 해석 절차에 대한 이해

선형 좌굴 해석의 종류

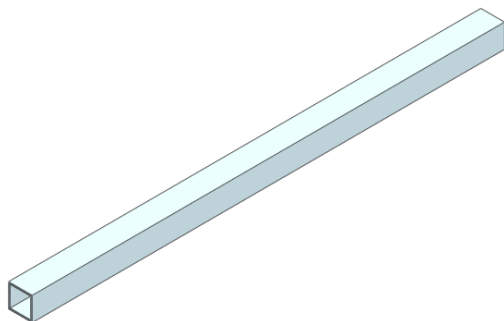
- 크기가 큰 압축 하중을 받는 구조물
- 축하중을 받는 가느다란 기둥 형태의 구조물
- 외부 압력을 받는 얇은 두께의 원통형 구조물
- 테두리에 압력을 받는 얇은 판 형태의 구조물
- 상부 표면에 횡방향의 끝단 하중을 받는 길고 얇은 외팔보 형태의 구조물

선형 좌굴 해석



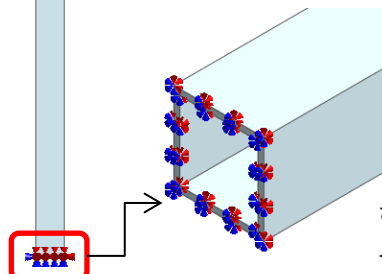
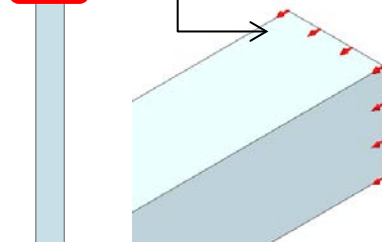
해석 개요

➤ 대상 모델



탄성계수	70000	N/mm ²
프와송비	0.33	
질량밀도	7.85e-9	kg/mm ³

➤ 구속조건 (고정구속)

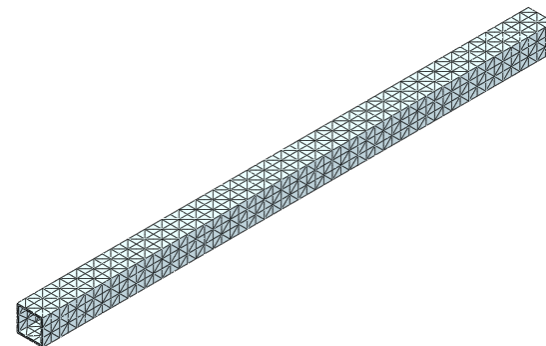


➤ 하중조건 (집중하중)

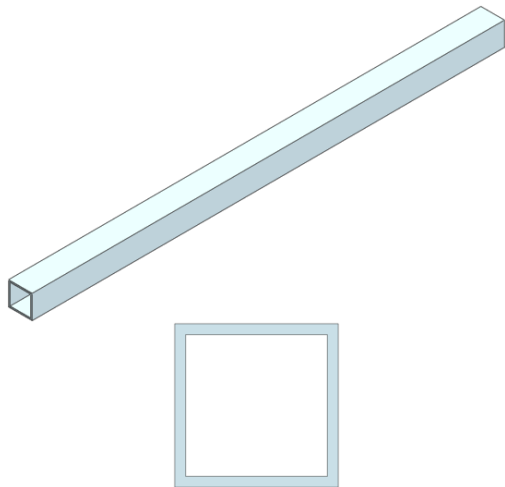
상단 면에 집중하중 적용
: -160 KN

하단 면에
고정 구속조건 부가

➤ 유한요소모델 (사면체 요소망)



임계하중의 계산

단면: $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 두께 (t): 10mm 길이 (L): 3000mm $P = 160\text{KN}$ $E = 70\text{GPa}$ $\gamma = 0.33$ $\rho = 7.850\text{kg/m}^3$



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


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


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

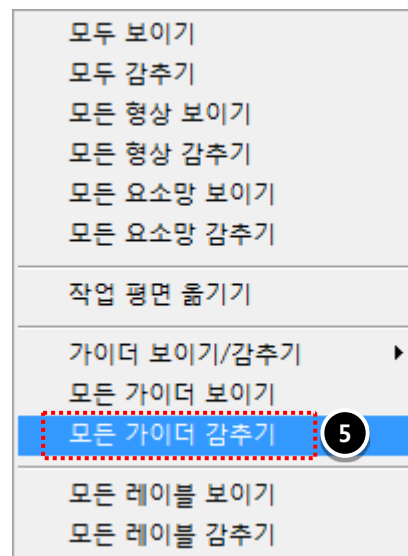
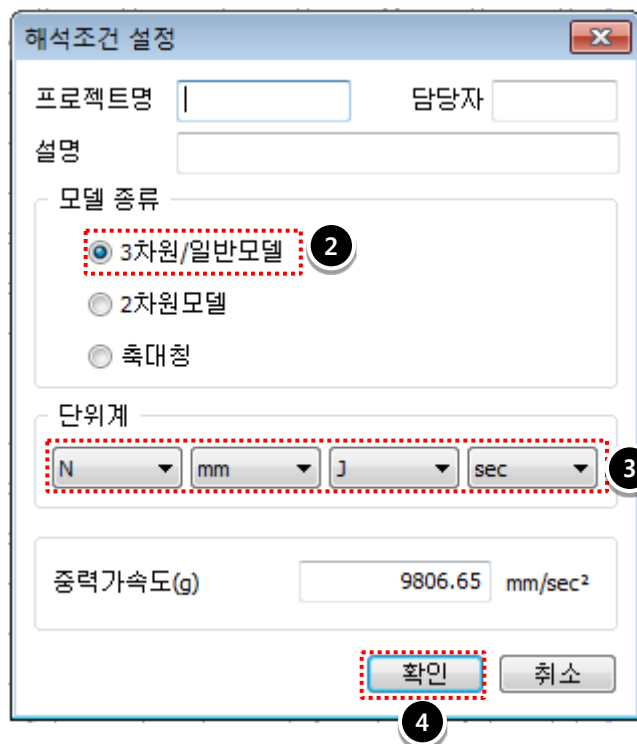
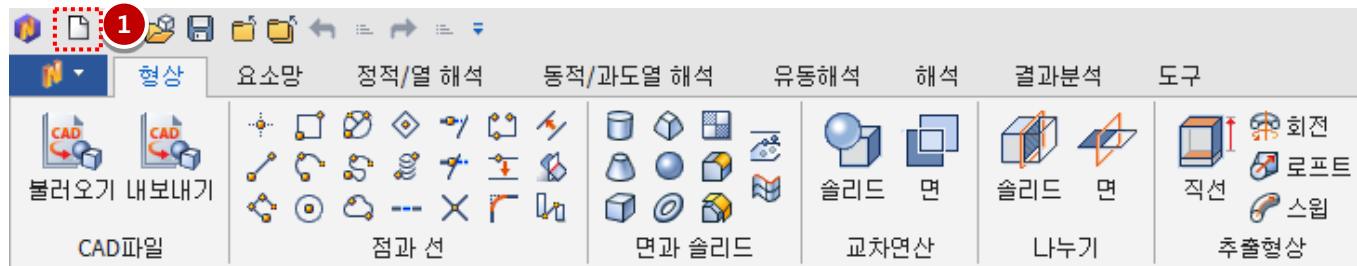
$$P_5 = \frac{5^2 \pi \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot \frac{1}{12} ((0.15 \times 0.15^3) - (0.13 \times 0.13^3))}{4 \cdot 3^2} = 8821\text{KN}$$

작업순서

1. [] (새로 만들기) 클릭.. 
2. [3차원/일반모델] 선택.
3. 단위계 [N-mm-J-sec] 선택.
4. [확인] 버튼 클릭.
5. 작업원도우에서 마우스 오른쪽 버튼 클릭 후, [모든 가이드 감추기] 선택.

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

 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.

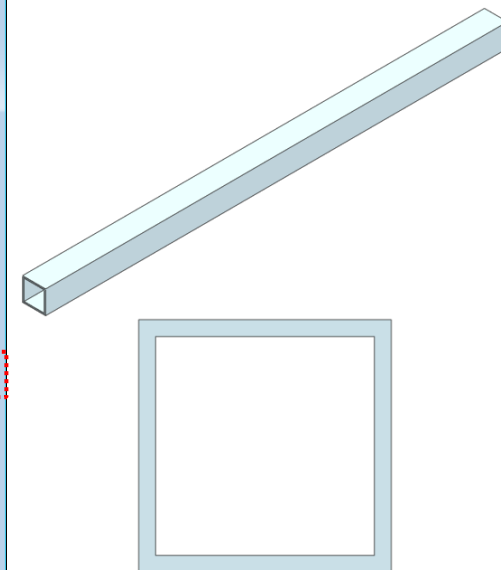
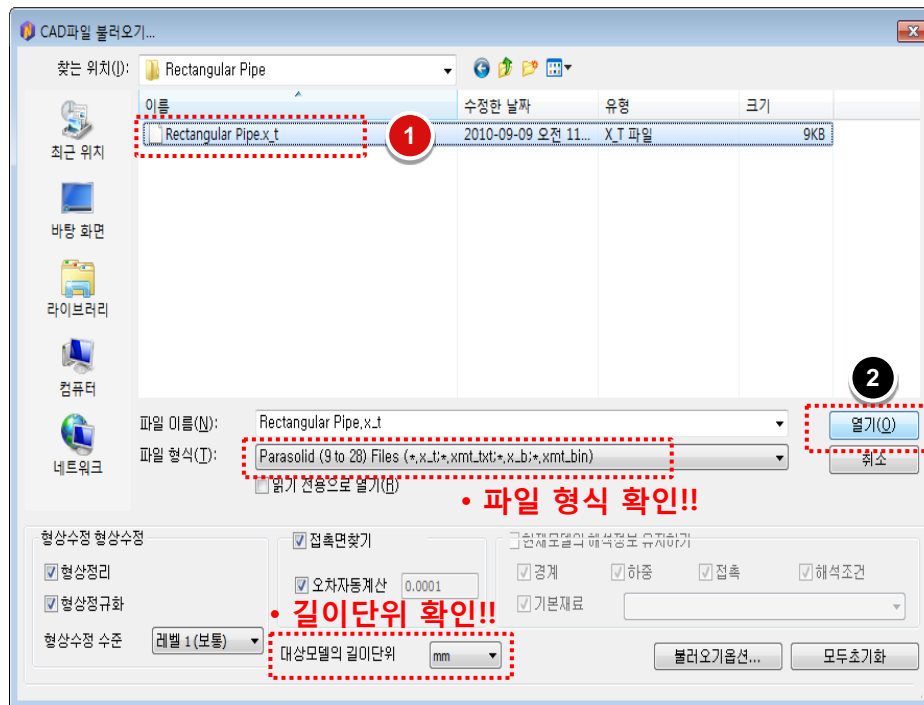
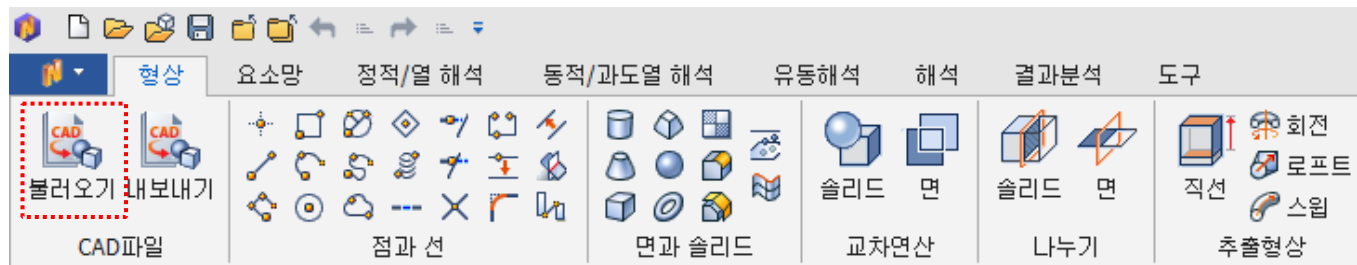


작업순서

1. 모델 선택: **Rectangular Pipe.x_t** 선택
2. [열기] 버튼 클릭.

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

💡 CAD파일이 생성된 원래의 길이단위를
선택해야 정상적인 크기의 모델이 불
러옵니다.



작업순서

1. 생성 >> 등방성 클릭.

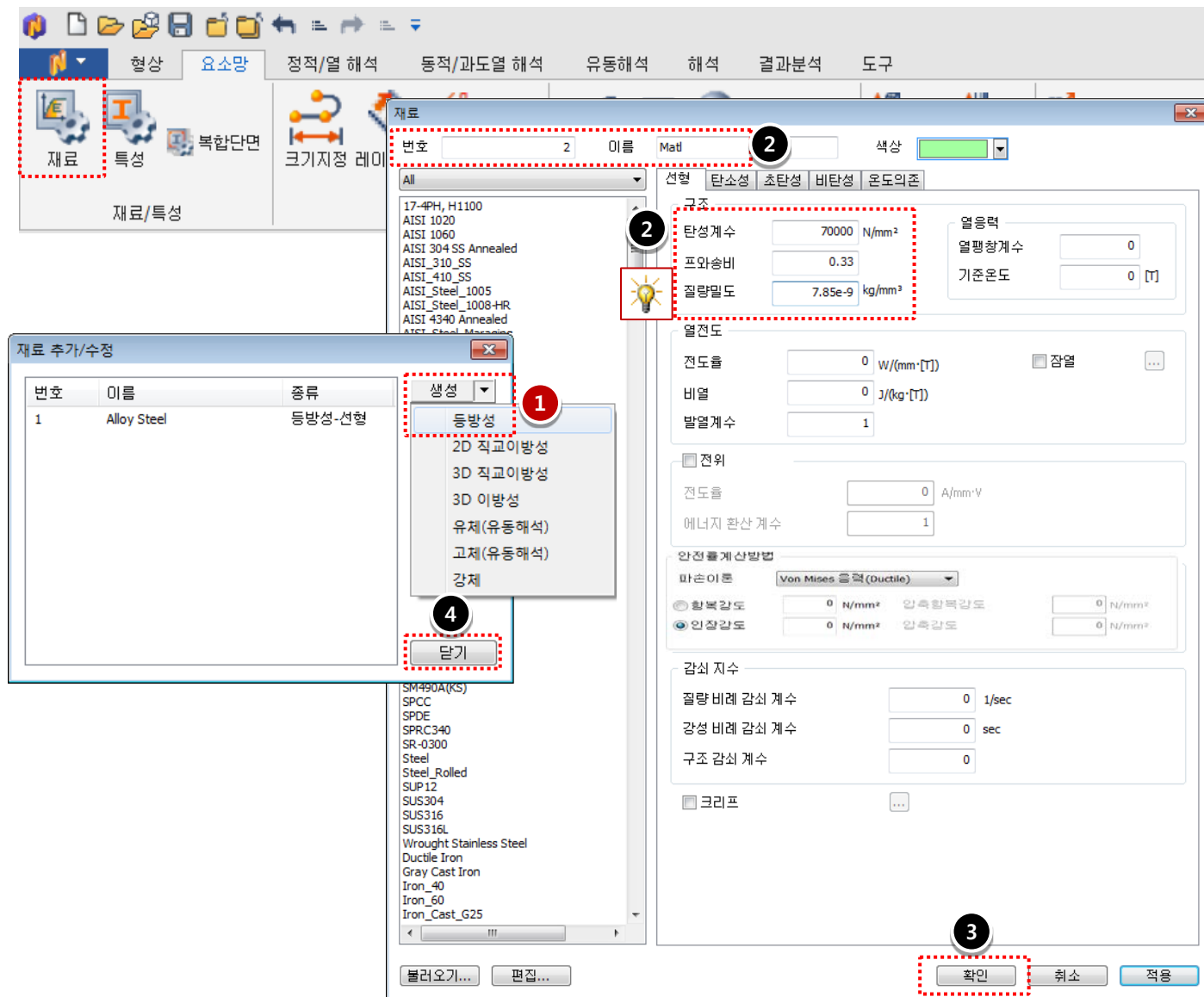
2. 재료물성치 직접 입력.

번호	2
이름	Mat1
탄성계수	70000 (N/mm ²)
프와송비	0.33
질량밀도	7.85e-9 (kg/mm ³)

3. [확인] 버튼 클릭.

4. [닫기] 버튼 클릭.

💡 좌굴해석을 수행하기 위해서는 반드시 질량밀도를 입력해야 합니다.

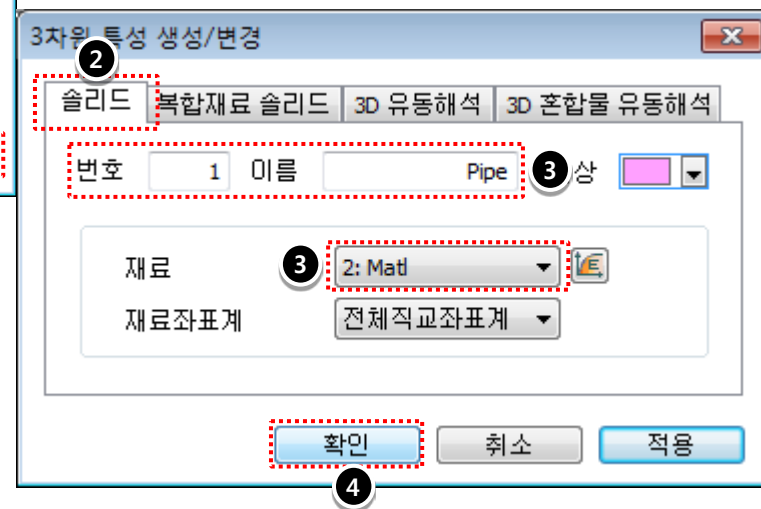


작업순서

1. 생성 >> 3D 클릭
2. [솔리드] 탭 선택..
3. 특성입력


번호	1
이름	Pipe
재질	2: Matl

4. [확인] 버튼 클릭.
5. [닫기] 버튼 클릭

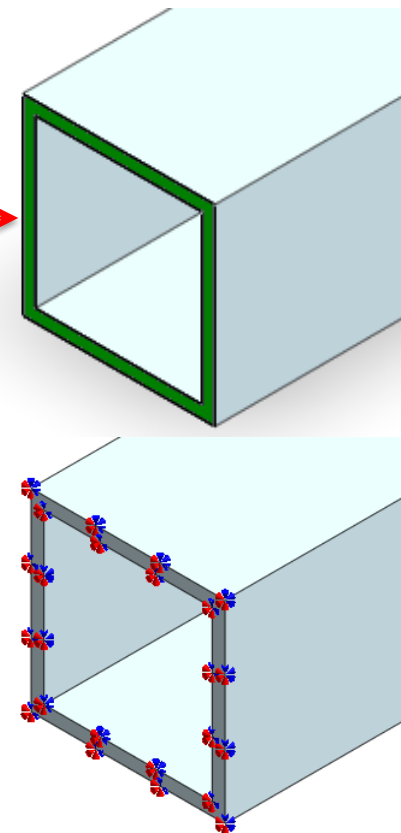
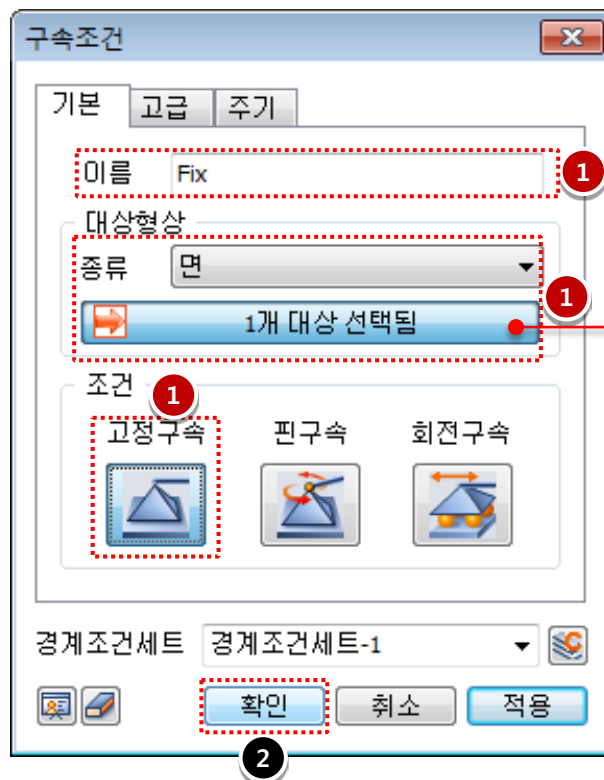
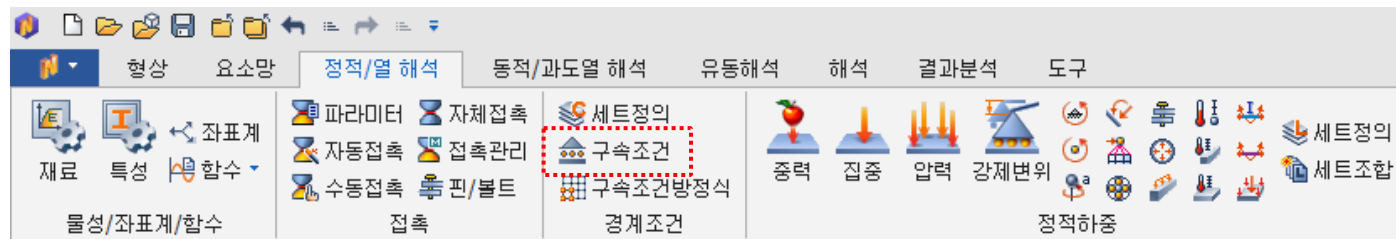



작업순서

1. 구속조건 입력

이름	Fix
대상종류	면
대상선택	1개 선택
조건	고정구속 

2. [확인] 버튼 클릭




-  **고정구속:** X, Y, Z 병진자유도 및 회전 자유도 구속
핀구속: X, Y, Z 병진자유도만 구속

※솔리드 모델에서는 회전자유도가 없기 때문에 **핀구속** 조건으로도 모든 자유도가 구속됩니다.


작업순서

1. [] (등각보기2) 클릭.

2. 집중하중조건 입력

이름	Force
대상종류	면
대상선택	1개 선택
하중종류	총합력 
참조좌표계	전체직교좌표계
하중성분	Y: -160000 N

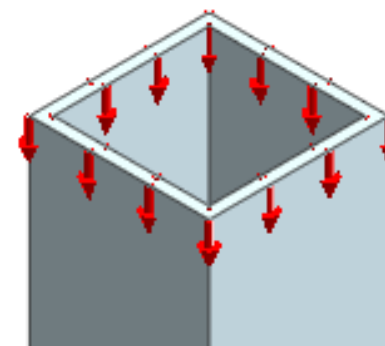
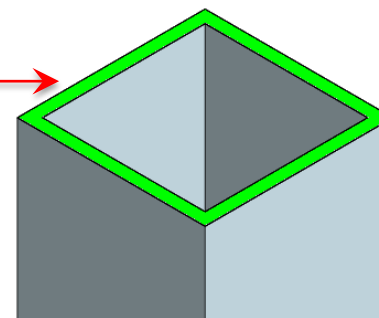
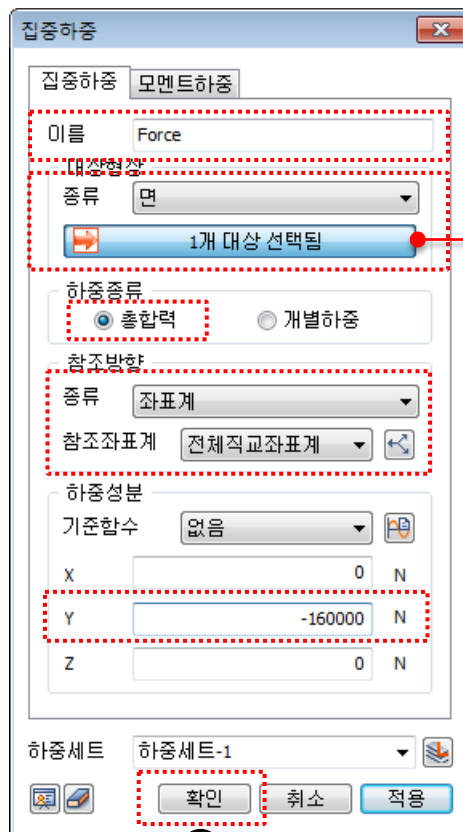
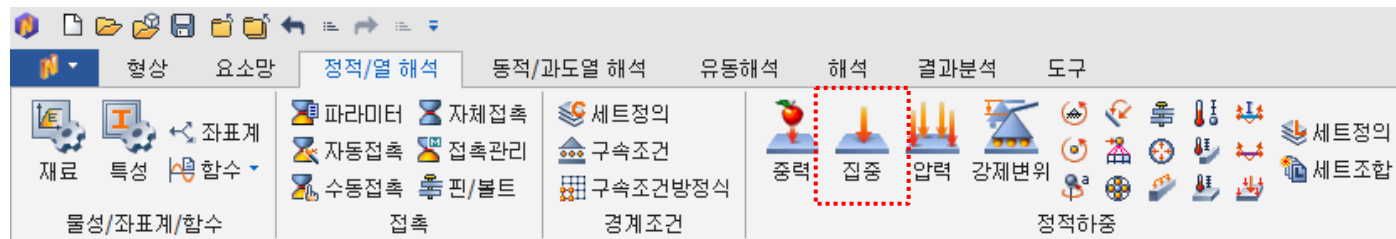
3. [확인] 버튼 클릭

 **총합력:** 선택한 면들에 적용되는 힘의 합계가 입력값이 되도록 합니다.



개별하중: 선택한 면 각각에 입력한 하중값이 적용됩니다.

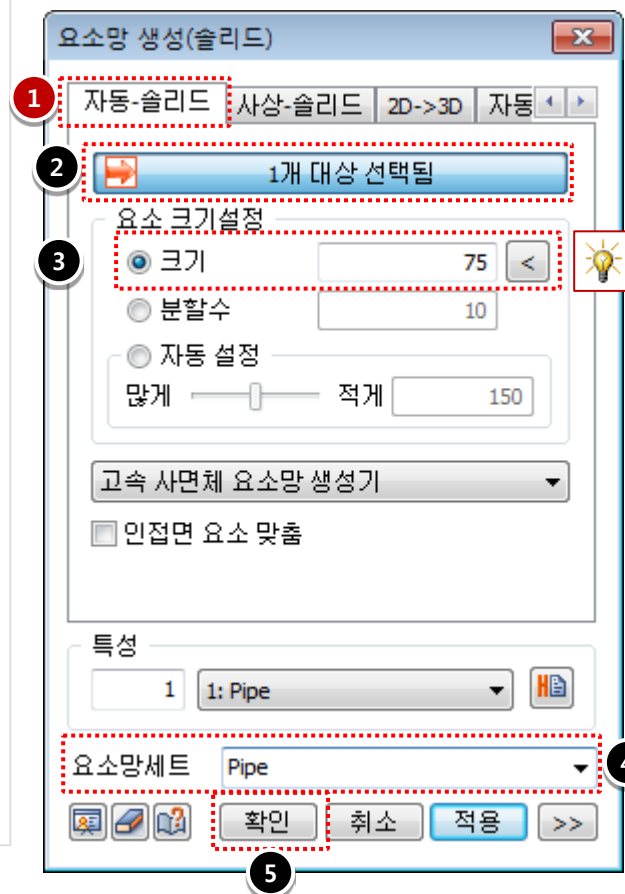
※ 대상종류가 선, 면과 같은 기하형상인 경우에만 하중타입을 선택할 수 있습니다.



절점에 직접 하중을 적용하는 경우에는 각 절점당 하중성분을 입력해야 합니다.




작업순서

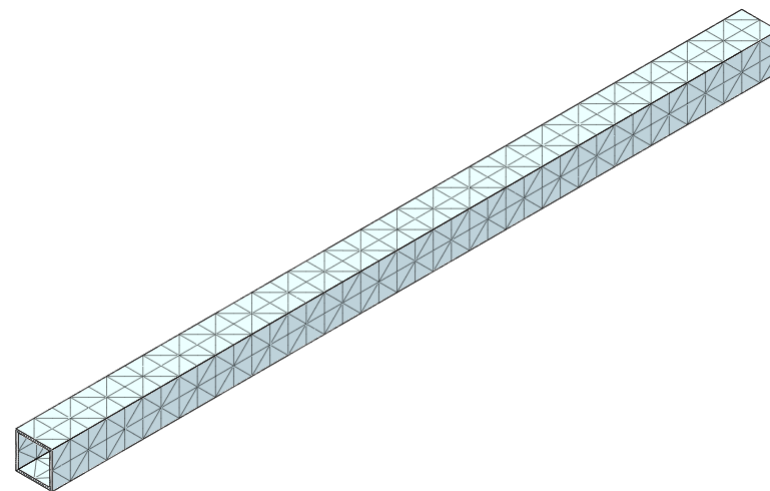
1. [자동-솔리드] 탭 선택.
2. [] (전체 선택) 클릭. 
3. 요소크기설정: 기본 설정값(75) 사용.
4. 요소망세트: "Pipe" 입력.
5. [확인] 버튼 클릭.



 [] (전체 선택) 을 클릭하면 화면상에 보이는 모델이 전부 선택 됩니다.

 전체 모델의 크기에 따라 자동으로 기본 설정값이 정해집니다. 이는 단순히 전체 모델 크기에 따른 비율로 계산되는 값이며, 이 값이 해석에 적합한 요소 크기를 의미하지는 않습니다.

따라하기에서는 기본 요소크기를 사용합니다.

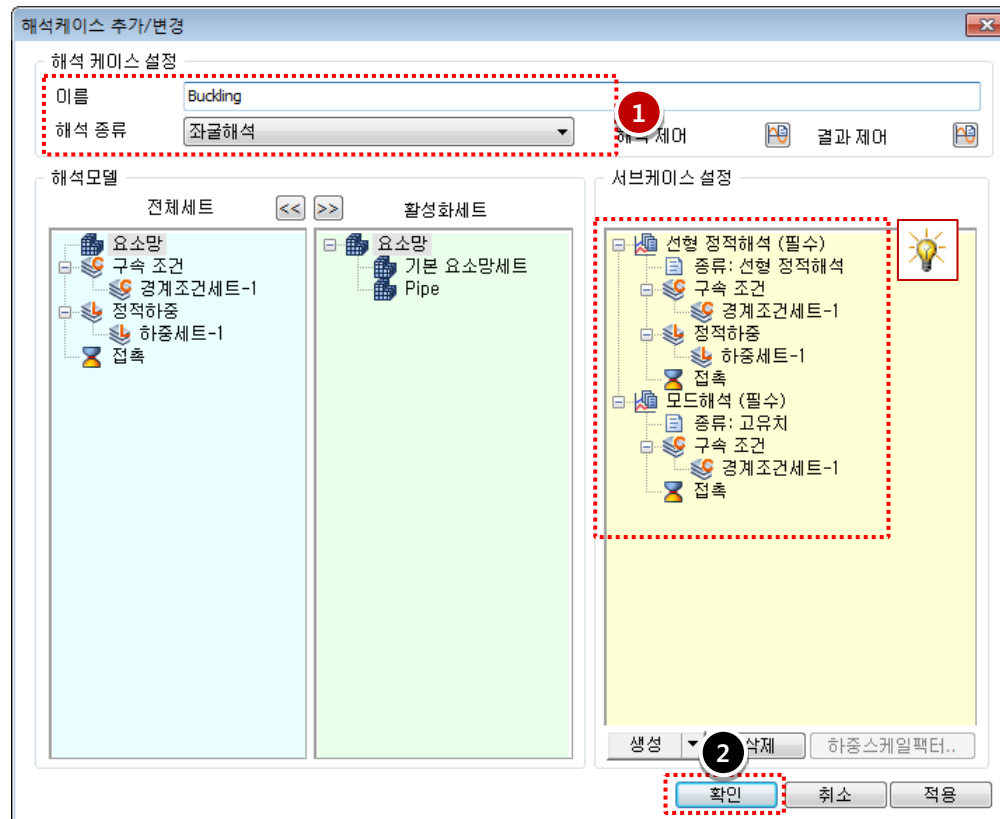
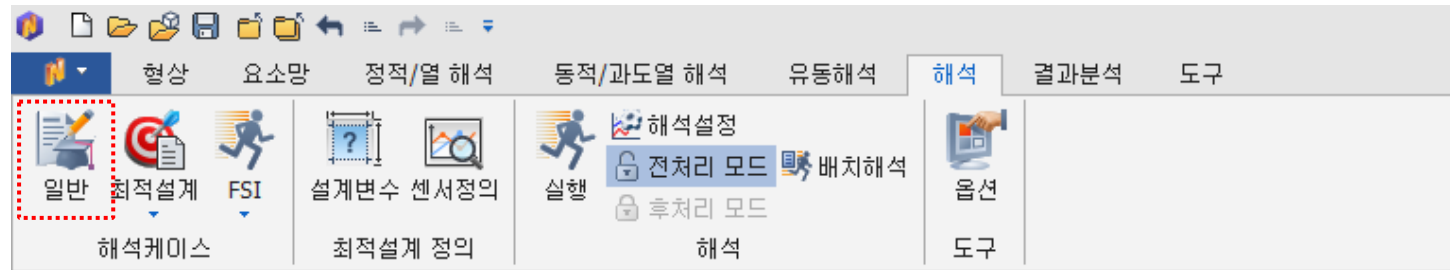


작업순서

1. 해석케이스 설정

이름	Buckling
해석 종류	좌굴해석

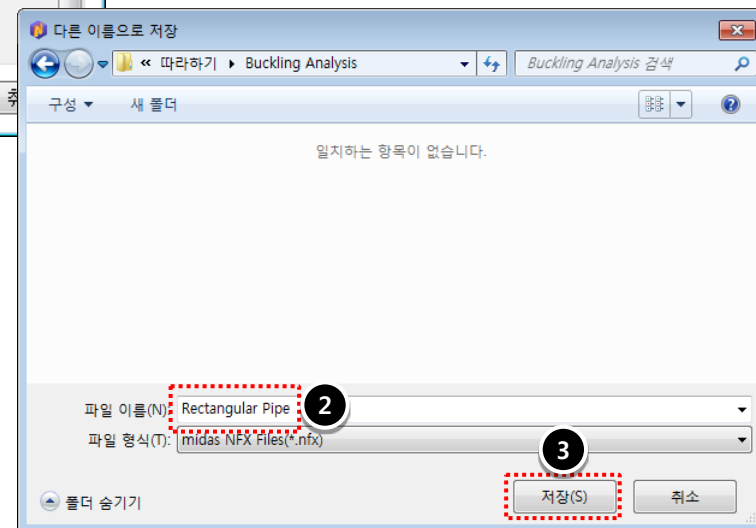
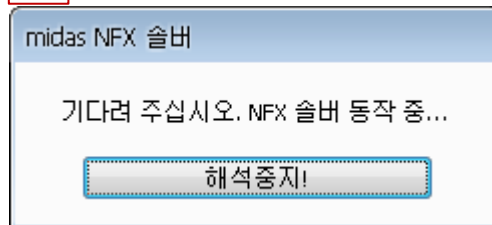
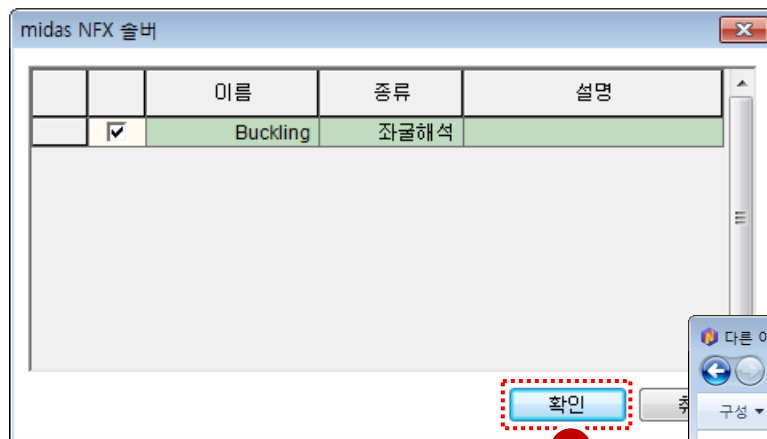
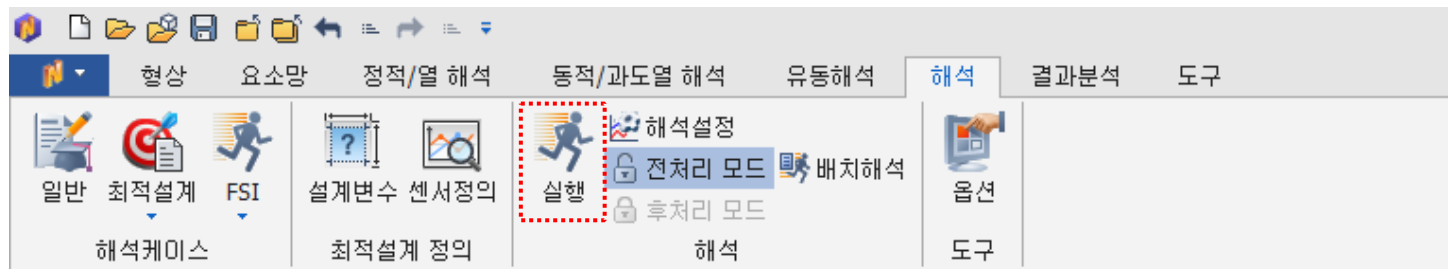
2. [확인] 버튼 선택



💡 좌굴해석을 선택하면 필수 항목인 선형 정적해석과 모드해석이 서브케이스로 자동 정의됩니다.


작업순서

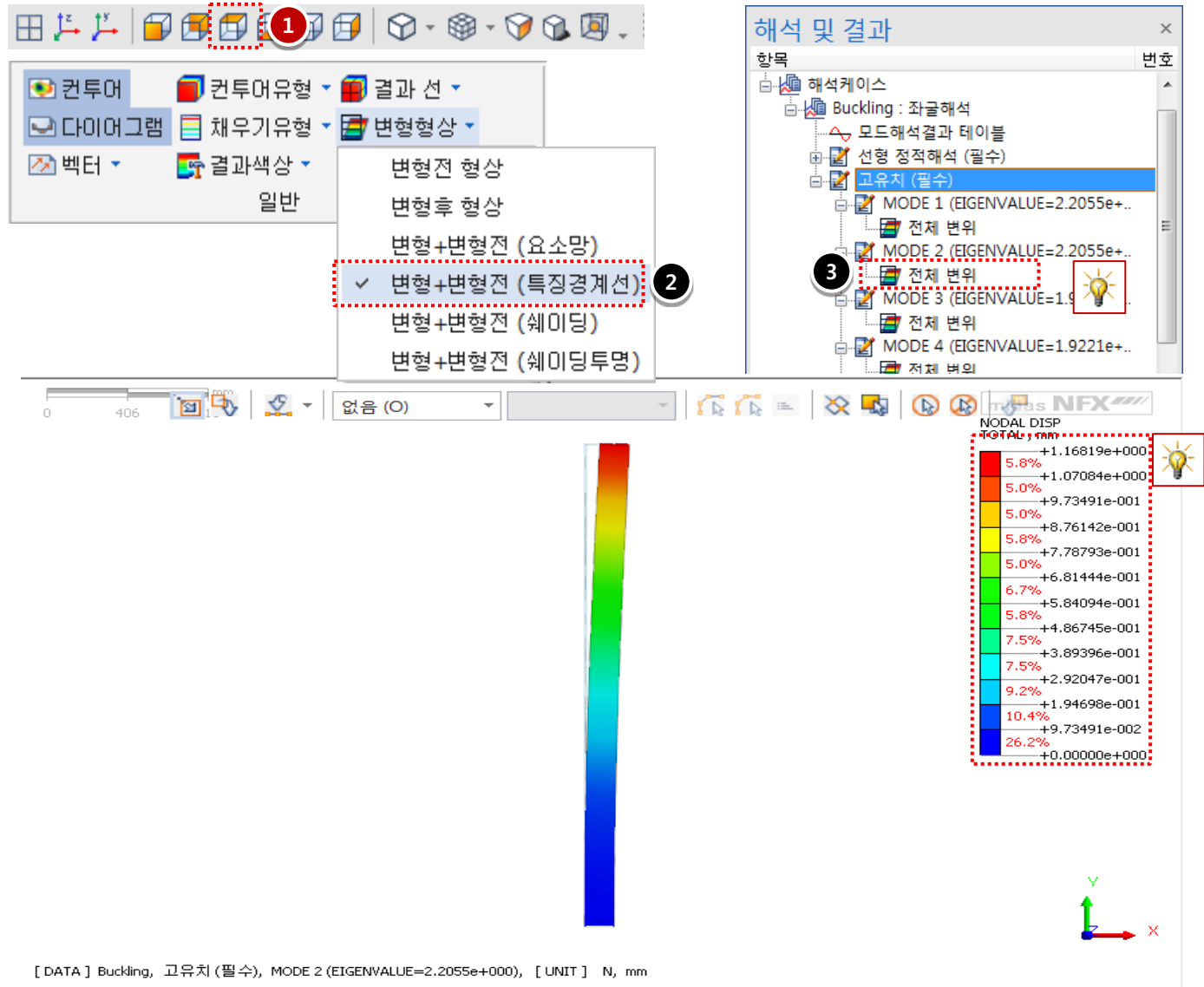
1. [확인] 버튼 클릭.
2. 다른 이름으로 저장: "Rectangular Pipe" 입력.
3. [저장(S)] 버튼 클릭.



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

작업순서


1. [] (윗면) 클릭.
2. 결과분석 >> 일반 >> 변형형상
>> 변형+변형전 (특징경계선) 선택.
3. 해석 및 결과 작업트리에서 전체 변위
더블 클릭.

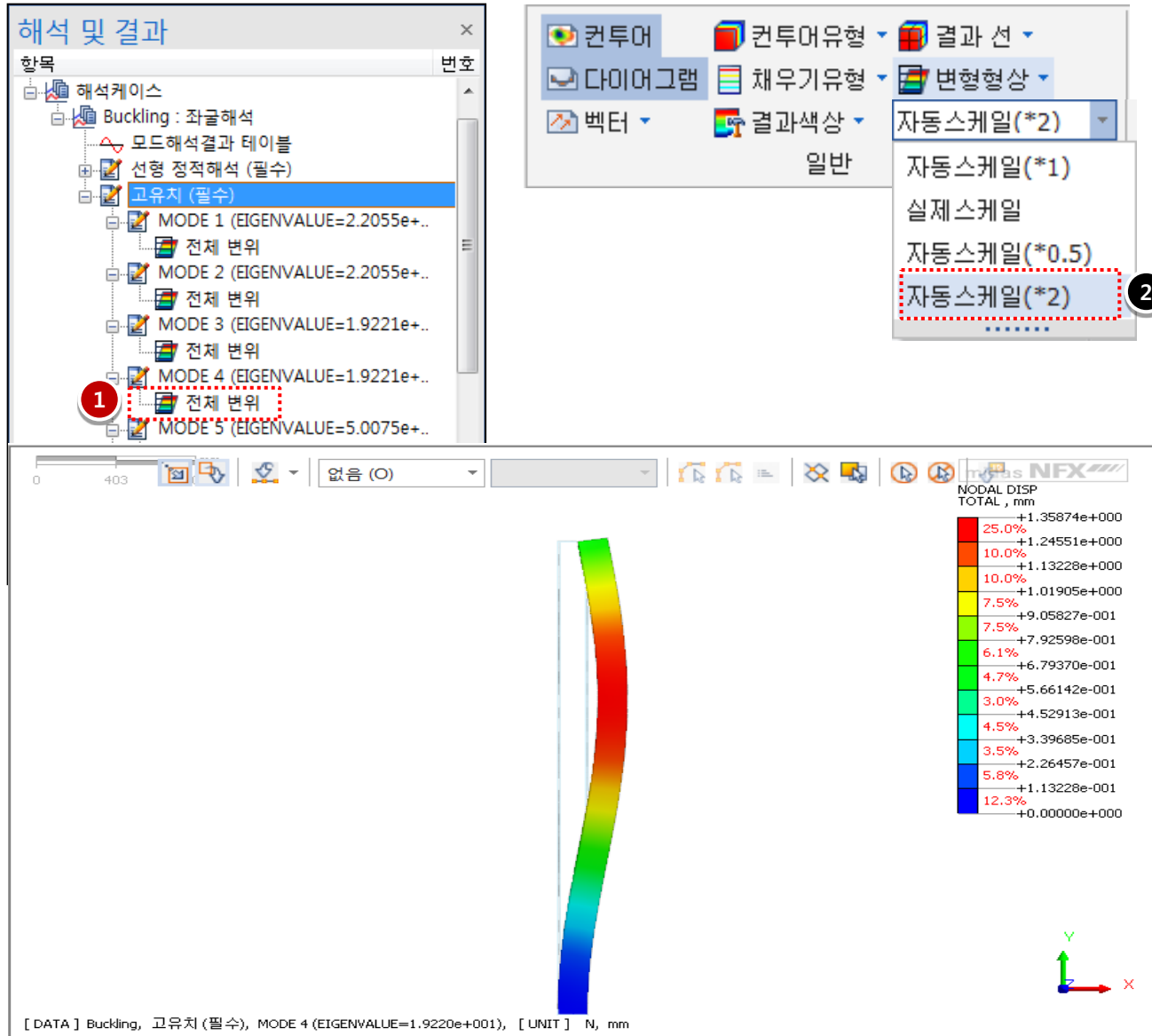


💡 각 고유치는 좌굴하중계수를 의미합니다. 적용된 하중에 좌굴하중계수를 곱하여 해당 모드의 좌굴이 발생하는 좌굴하중을 계산합니다.

💡 좌굴해석에서의 변위값은 실제값이 아니므로, 각 차수에 따른 좌굴계수와 좌굴형상만을 검토하면 됩니다.

작업순서

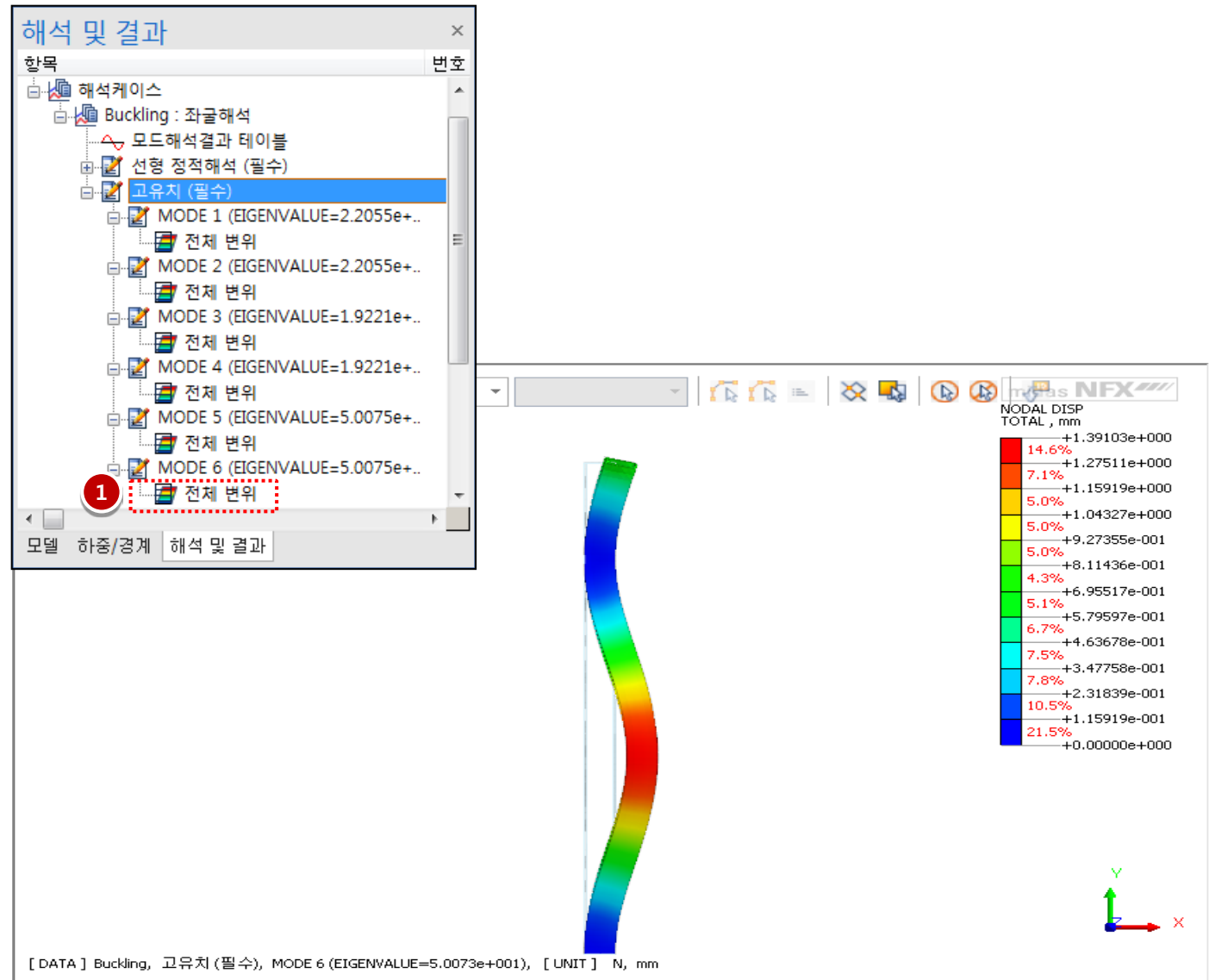
1. 해석 및 결과 작업트리에서 전체 변위
더블 클릭.
2. 해석 및 결과 >> 일반 에서 스케일을
자동스케일(*2) 선택. 



전체모델 크기에 대하여 일정비율로 변형형상을 스케일해서 보여줍니다. 변형형상을 판단하기 쉽지 않은 경우 적절한 스케일값을 선택하여 사용하면 좋습니다.

작업순서

1. 해석 및 결과 작업트리에서 전체 변위
더블 클릭.



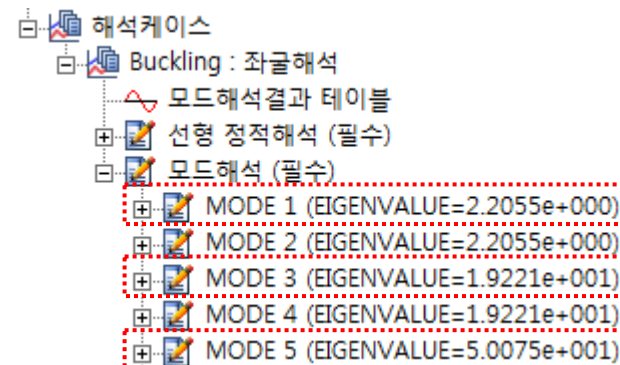
수계산과의 비교

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

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

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

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



$$n = 1 \quad \text{MODE 1} \quad 160 \text{KN} \times 2.2055 = 352.875 \text{KN}$$

$$n = 3 \quad \text{MODE 3} \quad 160 \text{KN} \times 19.221 = 3075.36 \text{KN}$$

$$n = 5 \quad \text{MODE 5} \quad 160 \text{KN} \times 50.075 = 8012.0 \text{KN}$$

개요

➤ 모드 해석

- 단위 : N, mm
- 기하모델: Skin_Stiffener.x_t

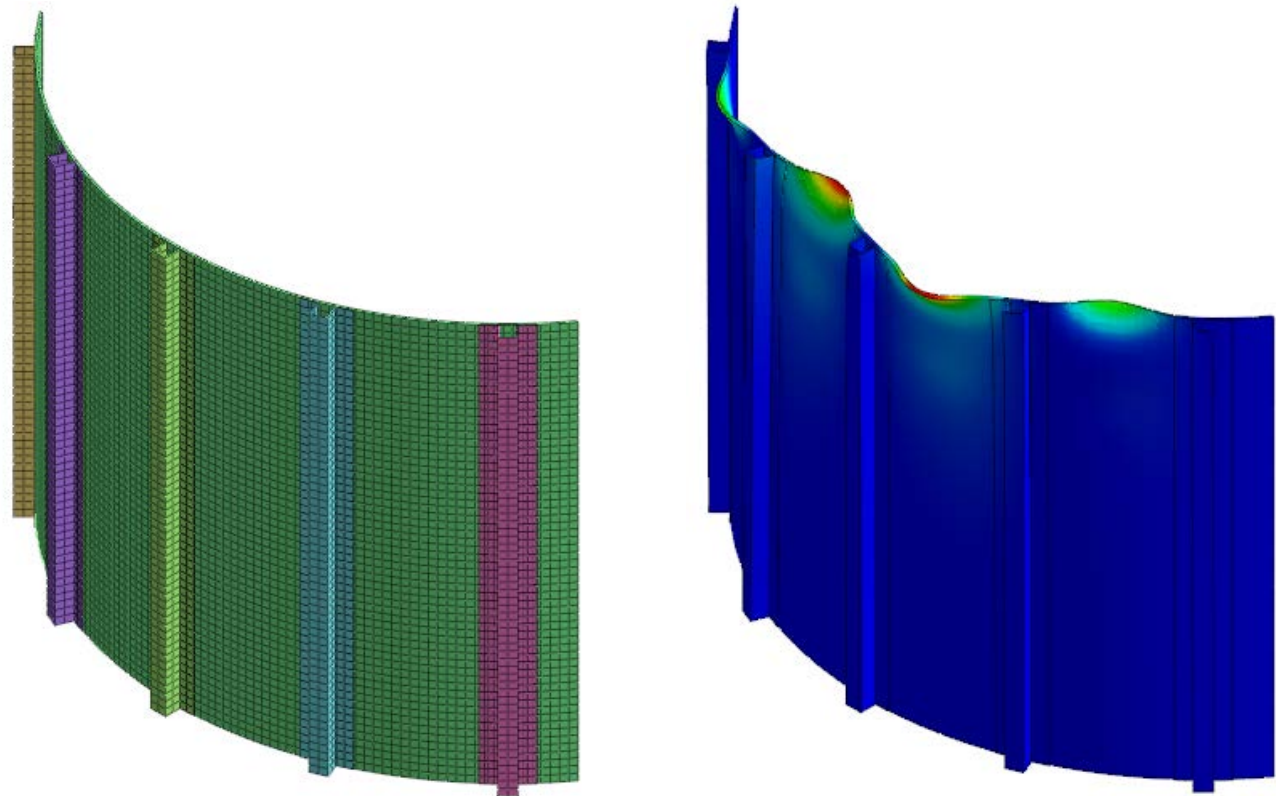
➤ 경계조건과 하중조건

- 고정구속
- 대칭조건
- 집중하중 (10 kN)

➤ 결과확인

- 고유치 (좌굴하중계수)
- 모드 형상

Skin and Stiffener



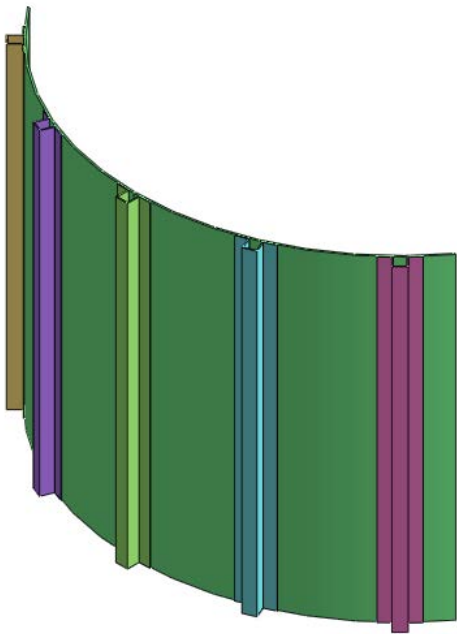
따라하기 목적

➤ midas NFX를 이용한 기본적인 선형 좌굴해석의 수행 및 기능 이해

- 좌굴해석은 압축력을 받는 구조물의 불안정성 여부를 판단하기 위해 주로 이용합니다.
- 좌굴해석은 구조물의 기하강성을 계산하는 선형정적해석과 좌굴하중계수를 계산하는 모드해석의 과정을 거친다.
- 본 따라하기에서는 축방향 압축 하중을 받는 얇은 원통형 구조물에 대한 좌굴해석을 수행합니다. 또한, 기하형상을 불러오는 과정에서 자동으로 접촉면을 검색하는 기능과 3D 사상요소망을 이용하여 요소망을 작성하는 방법을 습득하도록 합니다.

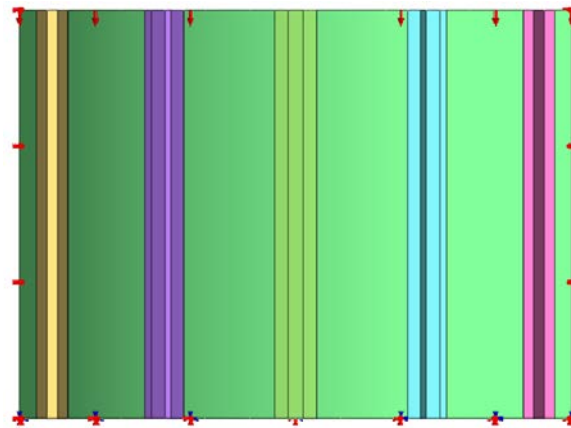
해석 개요

➤ 대상 모델



➤ 구속조건 (대칭 및 고정구속) ➤ 하중조건 (집중하중)

상단 면에 집중하중 적용
: -10 KN






1. 하단 면에 고정 구속조건 부여
2. 양 옆면에 대칭조건(T_x , T_y) 부여


➤ 유한요소모델 (육면체 요소망)

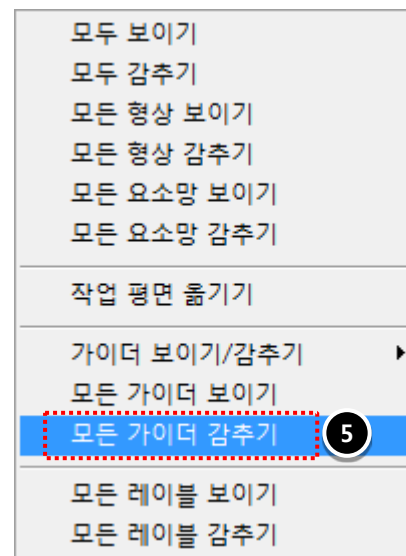
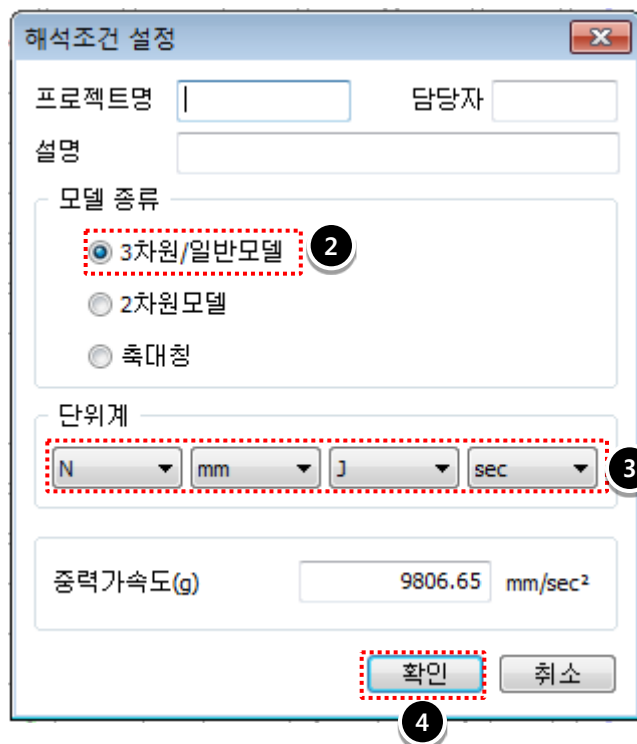
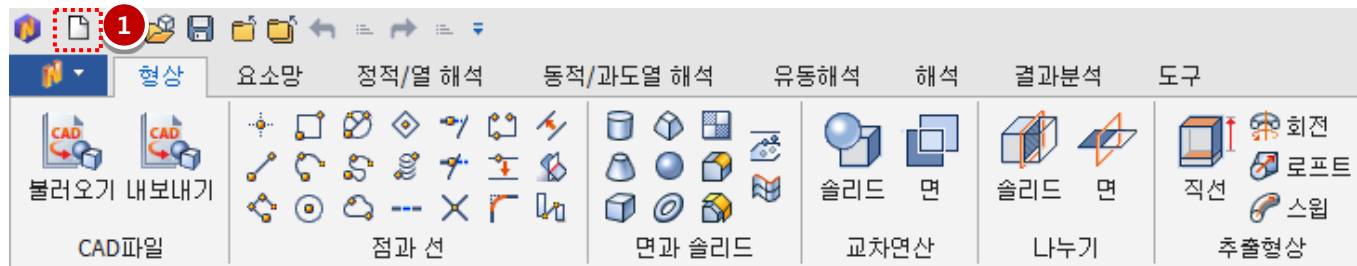


작업순서

1. [] (새로 만들기) 클릭.. 
2. [3차원/일반모델] 선택.
3. 단위계 [N-mm-J-sec] 선택.
4. [확인] 버튼 클릭.
5. 작업원도우에서 마우스 오른쪽 버튼 클릭 후, [모든 가이드 감추기] 선택.

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

 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.

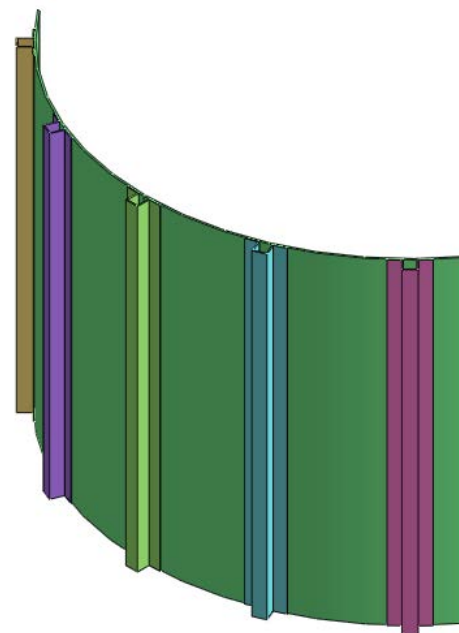
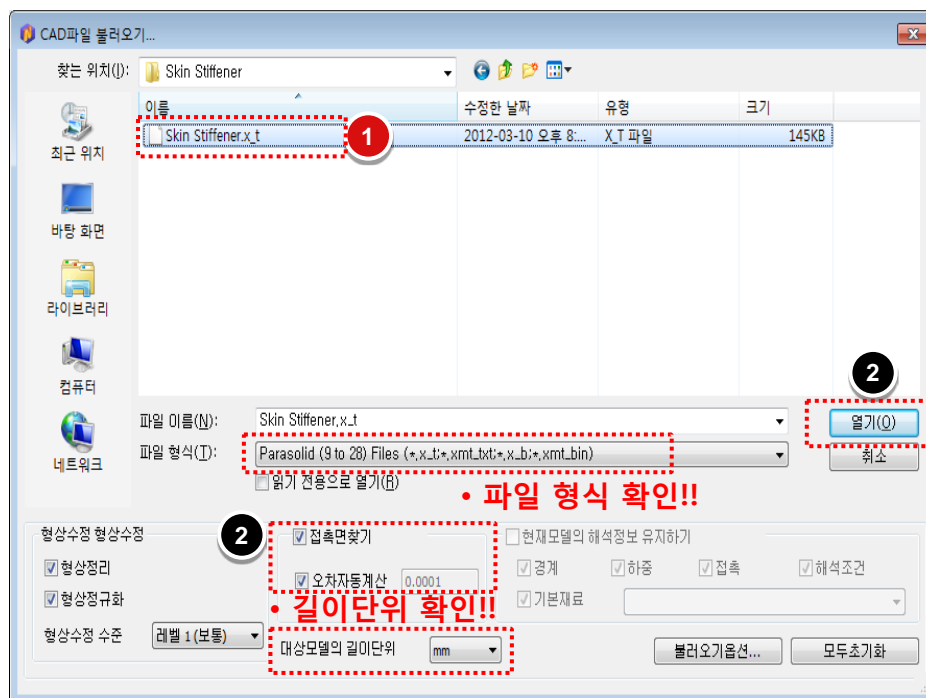
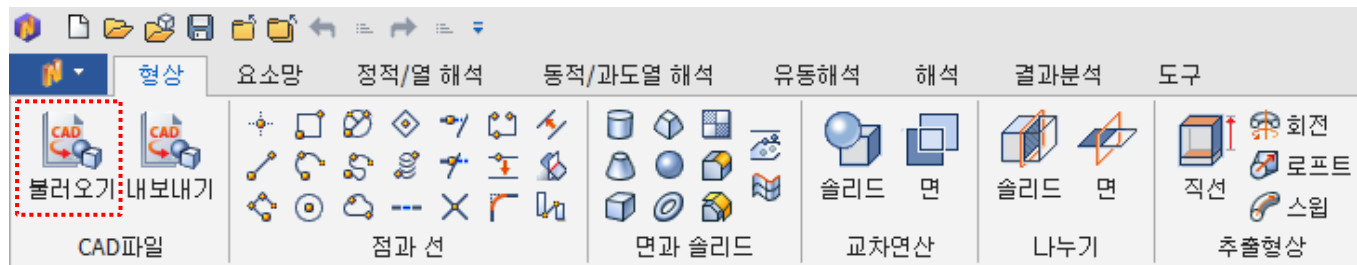


작업순서

1. 모델 선택: **Skin_Stiffener.x_t** 선택
2. [접촉면찾기] 체크. 💡
3. [오차자동계산] 체크
4. [열기] 버튼 클릭.

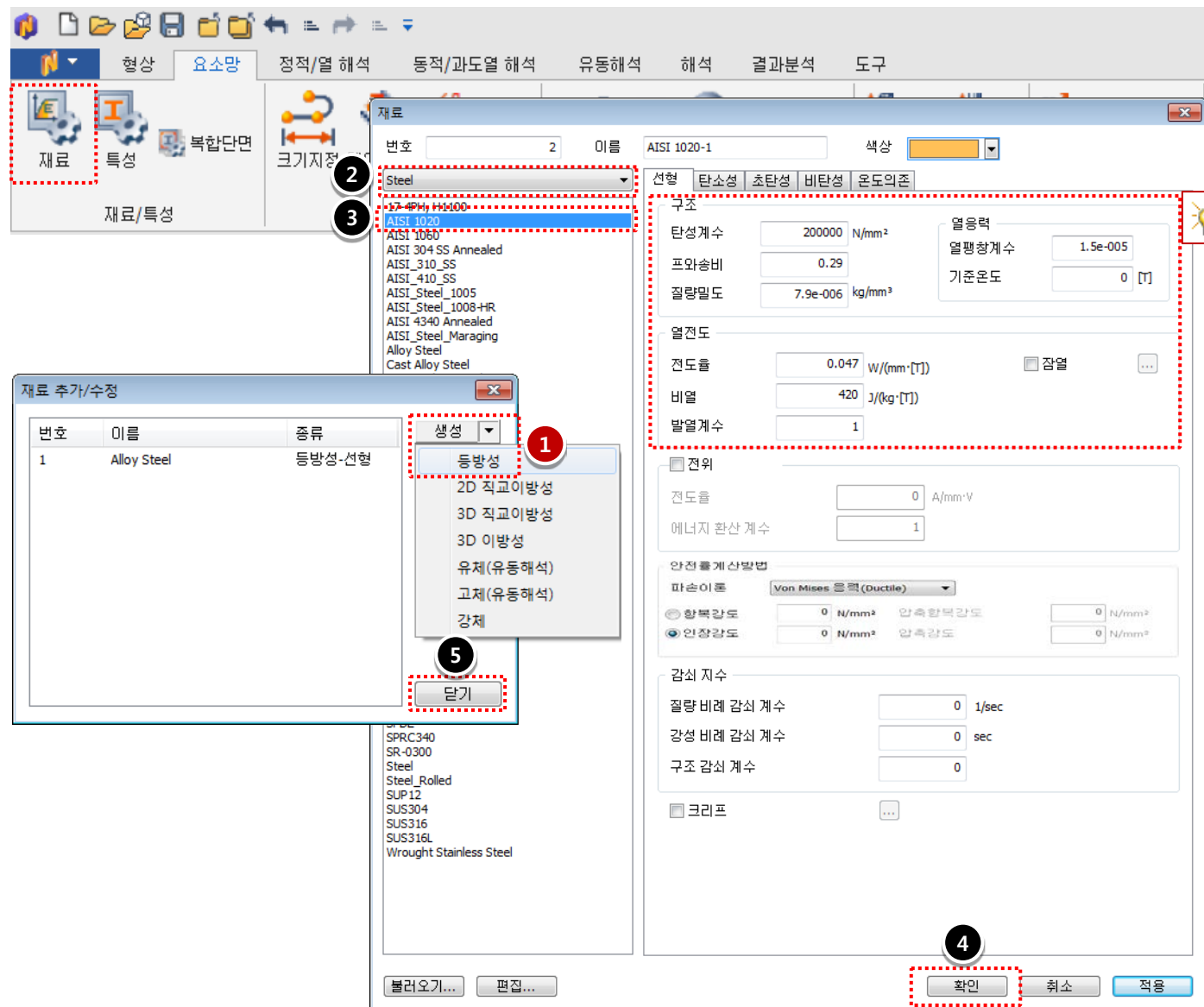
※ 프로그램이 설치된 하위 폴더의
ManualsWTutorialsWFiles 폴더 안에
따라하기의 모델들이 있습니다.

💡 모델을 불러올 때 [접촉면 찾기]를
체크하면, 파트 별 접촉이 [일체거동
접촉]으로 자동 설정됩니다.
[오차자동계산]은 전체모델의 크기에
비례하여 일정비율로 접촉면을 찾을
거리를 산정합니다.



작업순서

1. 생성 >> 등방성 클릭
2. 재료 DB 리스트에서 [Steel] 선택.
3. [AISI 1020] 선택.
4. [확인] 버튼 클릭.
5. [닫기] 버튼 클릭



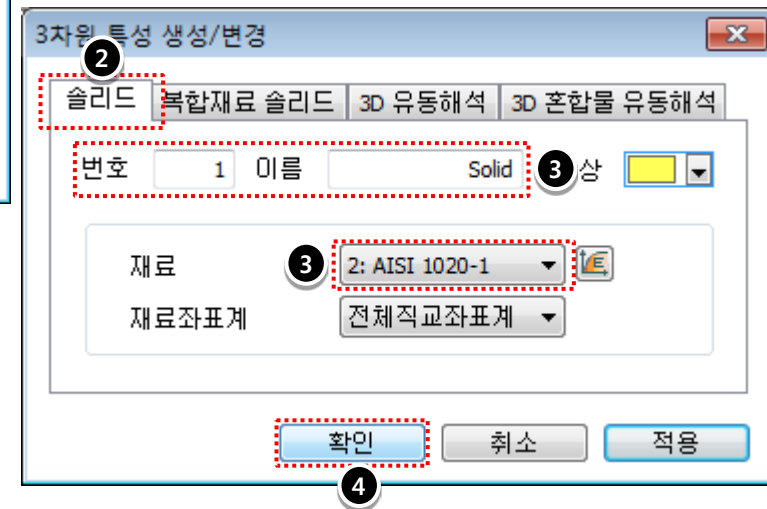
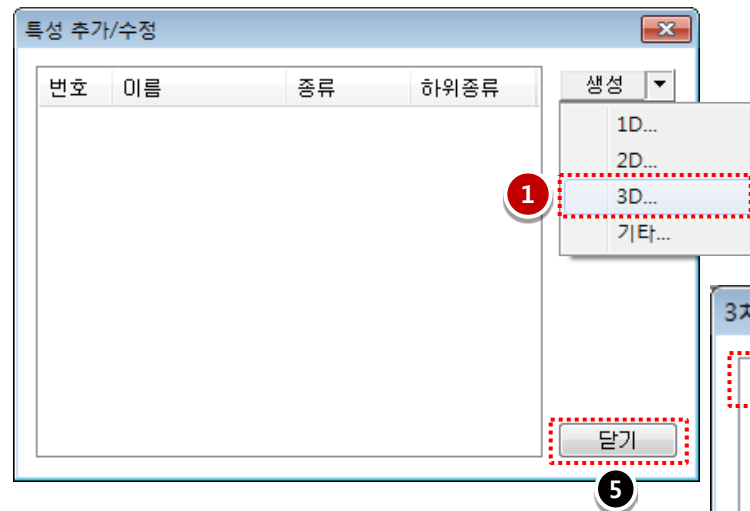
💡 선택한 재료의 물성치가 자동으로 입력됩니다.

작업순서

1. 생성 >> 3D 클릭
2. [솔리드] 탭 선택..
3. 특성입력

번호	1
이름	Solid
재질	2: AISI 1020

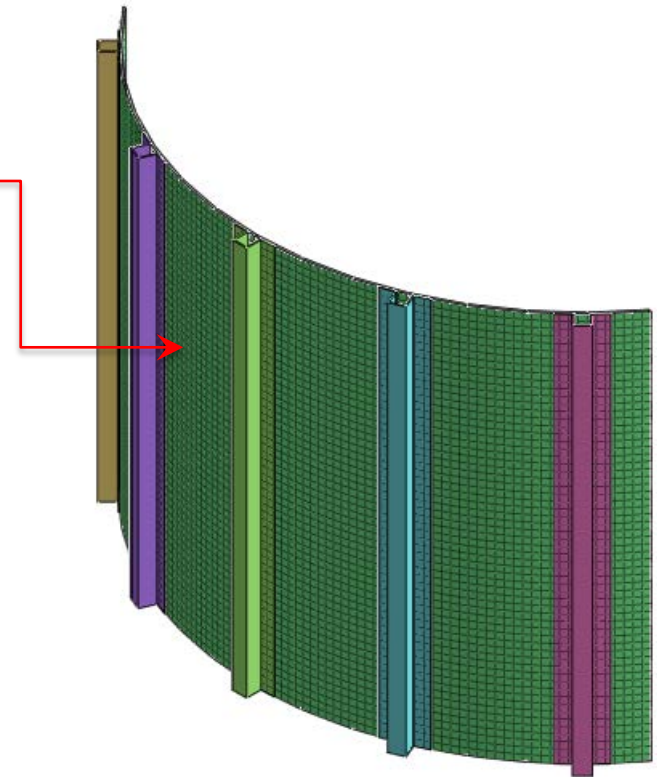
4. [확인] 버튼 클릭.
5. [닫기] 버튼 클릭



작업순서

1. [사상-솔리드] 탭 선택.
2. 요소망 생성 정보 입력. (Skin 파트)
3. [적용] 버튼 클릭.

대상선택	1개 선택 (그림참조)
요소크기	5
특성	1: Solid
요소망세트	Skin

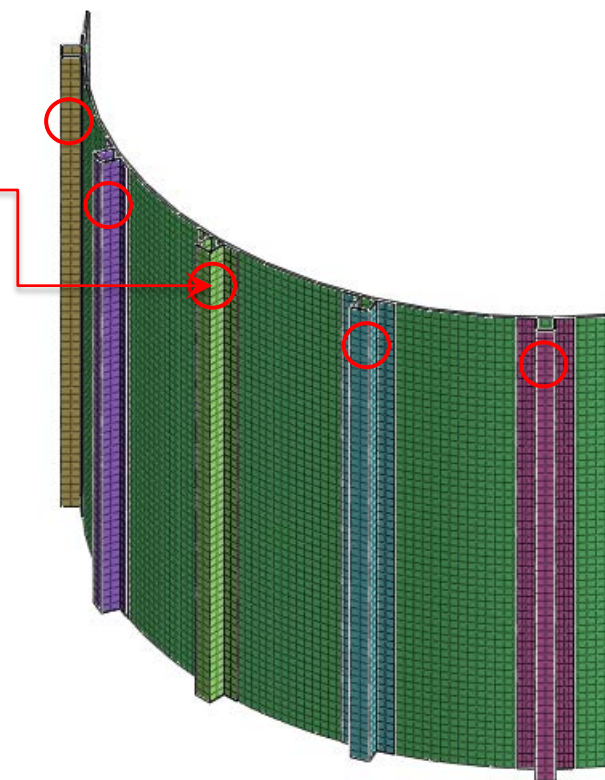


작업순서

1. [사상-솔리드] 탭 선택.
2. 요소망 생성 정보 입력. (Stiffener 파트)


대상선택	5개 선택 (그림참조)
요소크기	5
특성	1: Solid

3. [확인] 버튼 클릭.




작업순서

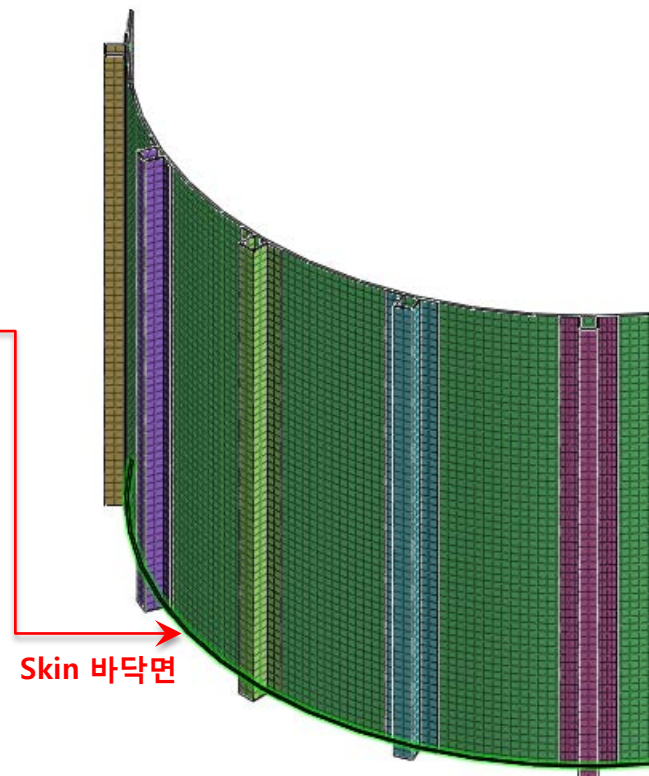
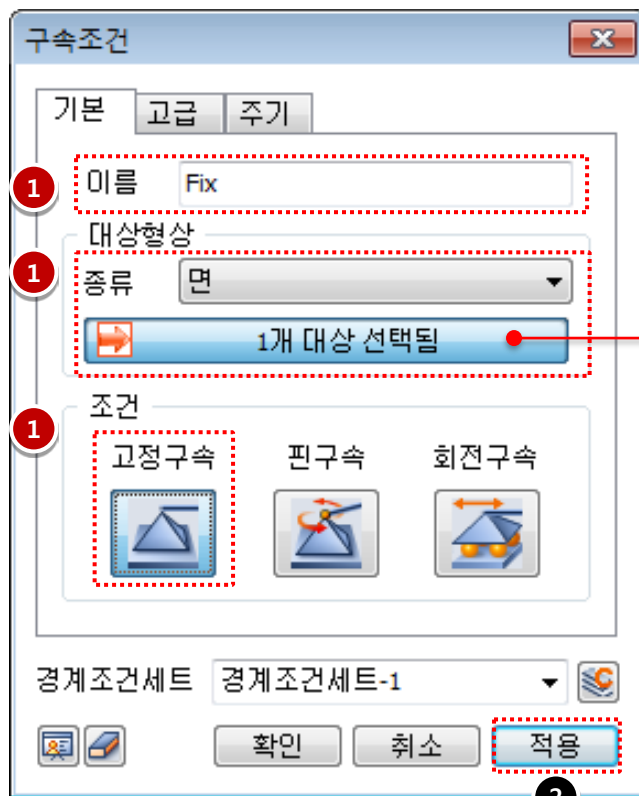
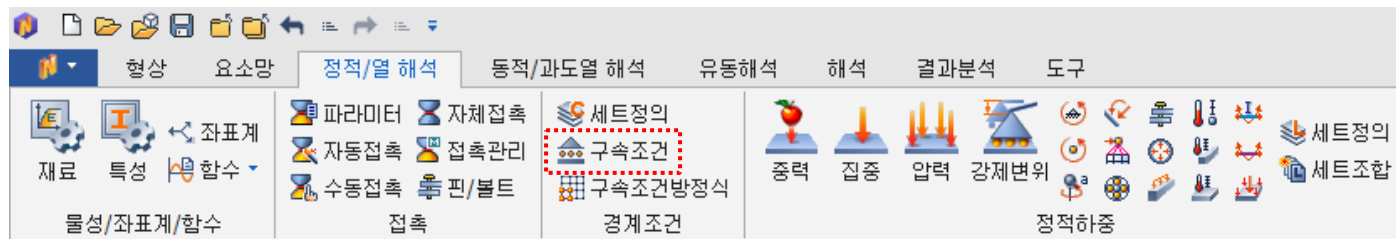
1. 구속조건 입력

이름	Fix
대상종류	면
대상선택	1개 선택
조건	고정구속 

2. [적용] 버튼 클릭

 **고정구속:** X, Y, Z 병진자유도 및 회전 자유도 구속
핀구속: X, Y, Z 병진자유도만 구속

※솔리드 모델에서는 회전자유도가 없기 때문에 **핀구속** 조건으로도 모든 자유도가 구속됩니다.





작업순서

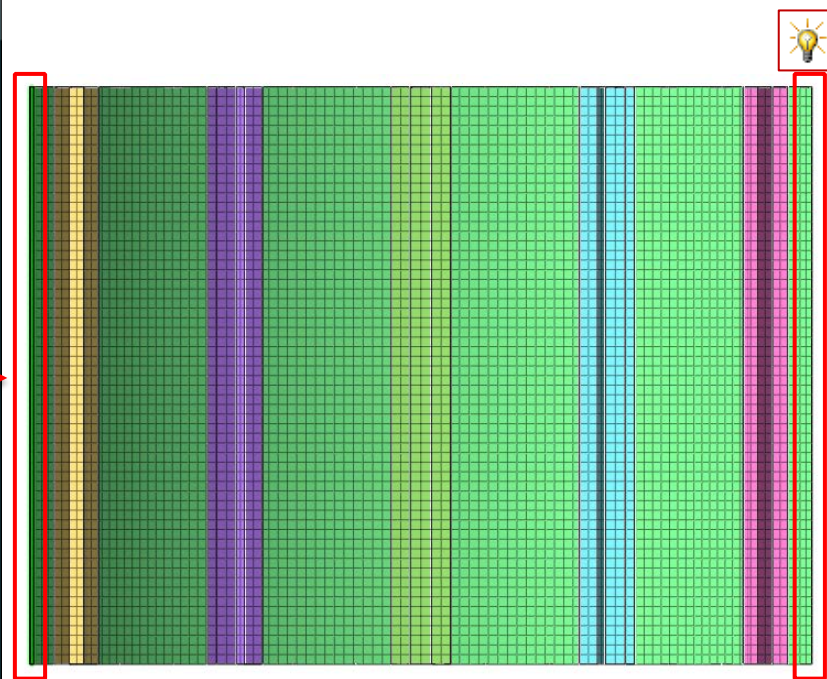
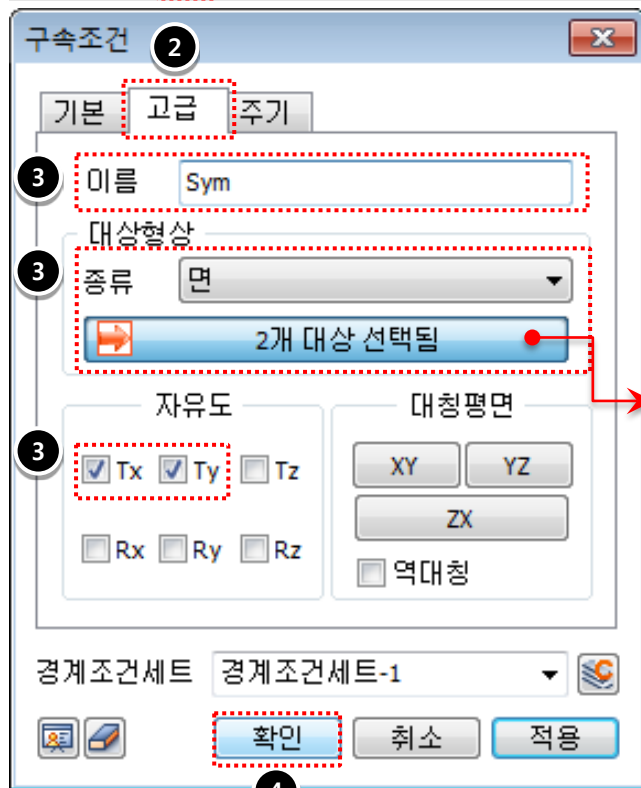
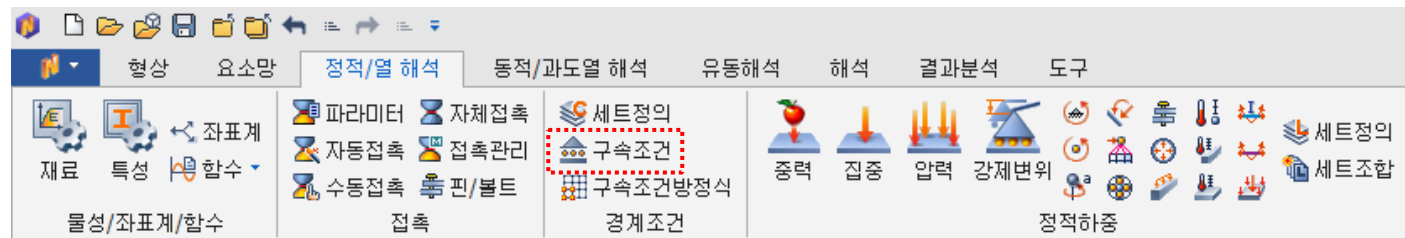
1. [] (정면) 클릭.
2. [고급] 탭 선택.
3. 구속조건 입력

이름	Sym
대상종류	면
대상선택	2개 선택 
자유도	Tx, Ty 체크 

4. [확인] 버튼 클릭

 작업화면에서 마우스 드래그로 박스에 포함되는 대상을 선택할 수 있습니다.


 원통형 형상의 일부분인 Skin의 양 옆면에 대칭조건을 부여합니다.




작업순서

1. [] (등각보기1) 클릭.

2. 집중하중조건 입력

이름	Force
대상종류	면
대상선택	1개 선택
하중종류	총합력 
참조좌표계	전체직교좌표계
하중성분	Z: -10000 N

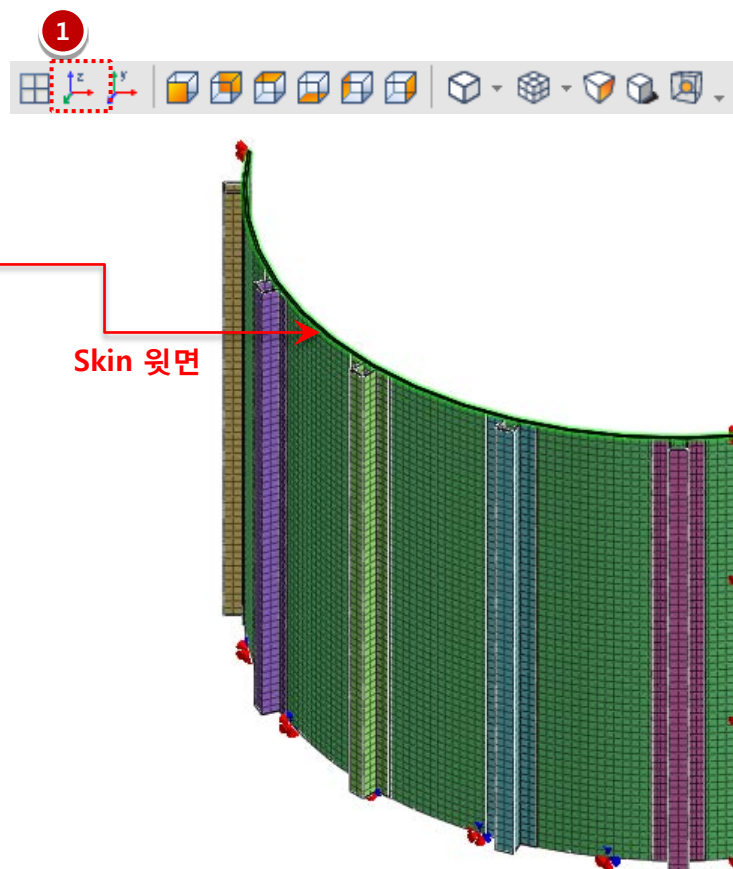
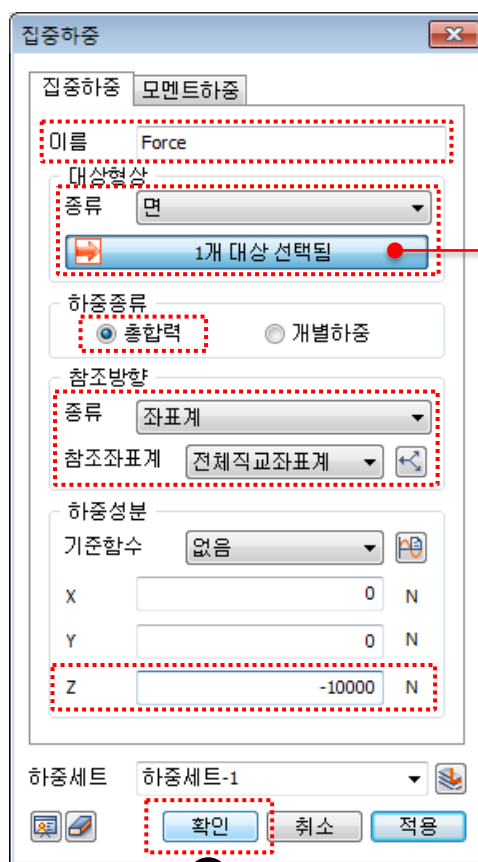
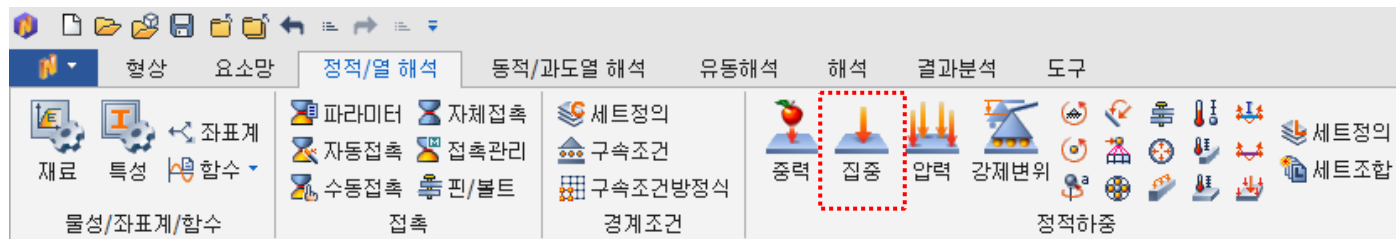
3. [확인] 버튼 클릭

 **총합력:** 선택한 면들에 적용되는 힘의 합계가 입력값이 되도록 합니다.

개별하중: 선택한 면 각각에 입력한 하중값이 적용됩니다.

※ 대상종류가 선, 면과 같은 기하형상인 경우에만 하중타입을 선택할 수 있습니다.

절점에 직접 하중을 적용하는 경우에는 각 절점당 하중성분을 입력해야 합니다.

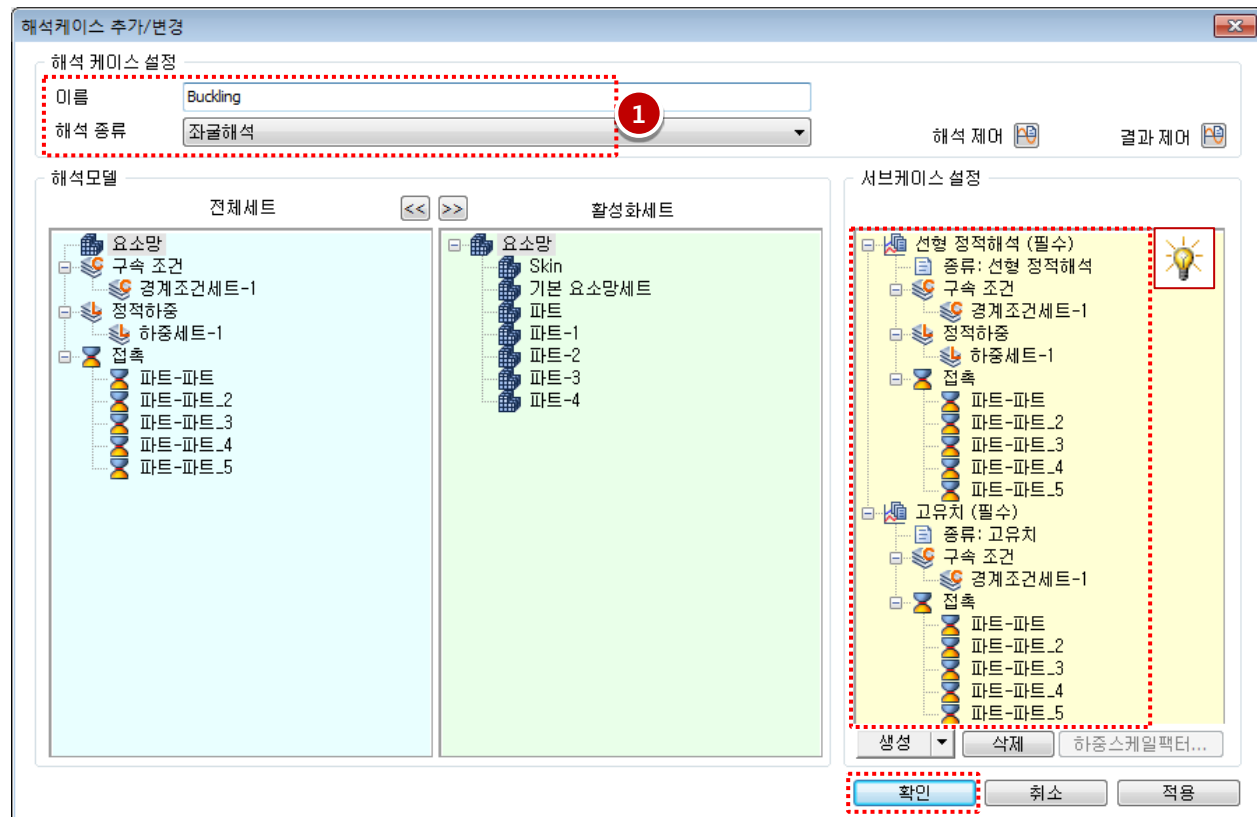
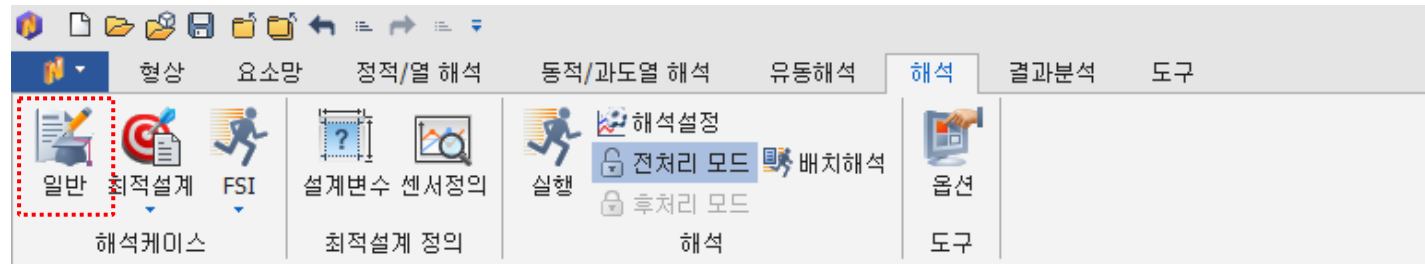


작업순서

1. 해석케이스 설정

이름	Buckling
해석 종류	좌굴해석

2. [확인] 버튼 선택

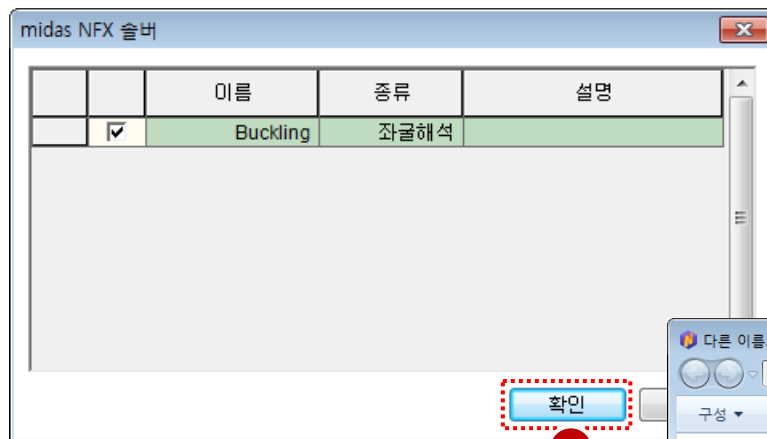
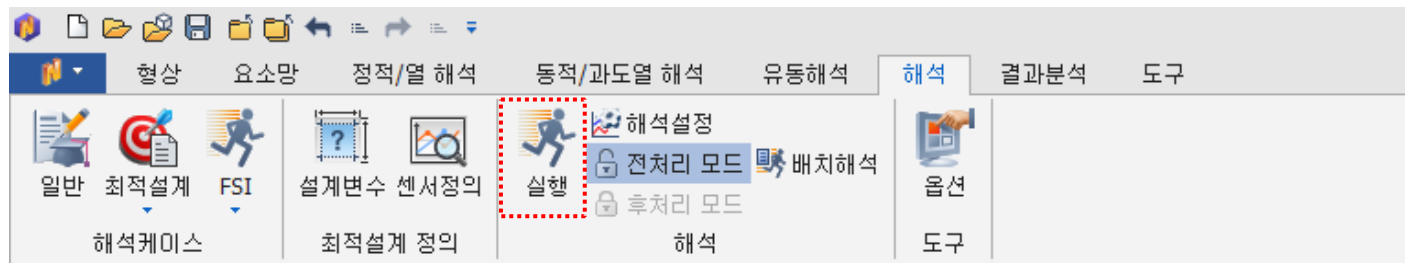


💡 좌굴해석을 선택하면 필수 항목인 선형 정적해석과 모드해석이 서브케이스로 자동 정의됩니다.

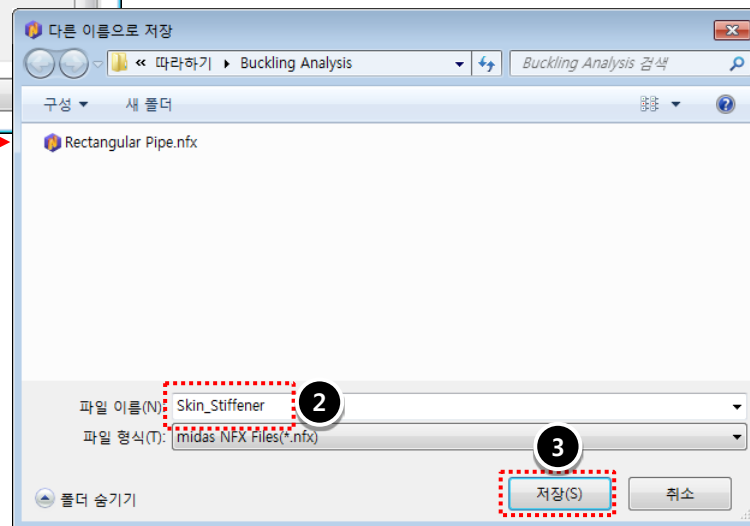
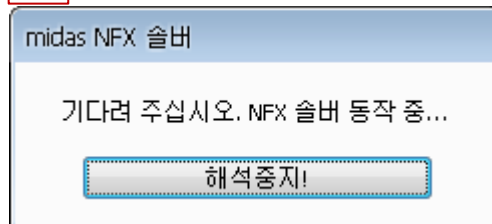
기본적으로 현재 작업된 요소망세트, 하중/경계조건, 접촉조건 등이 모두 활성화 됩니다.

작업순서

1. [확인] 버튼 클릭.
2. 다른 이름으로 저장: "Skin_Stiffener" 입력.
3. [저장(S)] 버튼 클릭.



💡 해석을 실행하면 midas NFX 슬버가 작동됩니다. [해석중지!] 버튼을 클릭하면 해석이 중지됩니다.



작업순서

1. 결과분석 >> 일반 >> 변형형상

>> 변형+변형전 (특징경계선) 선택.

2. 해석 및 결과 작업트리에서 전체 변위

더블 클릭.

$$n = 1$$

MODE 1

$$10\text{KN} \times 30.978 = 309.78\text{KN}$$

☀ 각 고유치는 좌굴하중계수를 의미합니다. 적용된 하중에 좌굴하중계수를 곱하여 해당 모드의 좌굴이 발생하는 좌굴하중을 계산합니다.

☀ 좌굴해석에서의 변위값은 실제값이 아니므로, 각 차수에 따른 좌굴계수와 좌굴형상만을 검토하면 됩니다.

