

Buckling 해석

Computational Design Laboratory
Department of Automotive Engineering
Hanyang University, Seoul, Korea



한양대학교
HANYANG UNIVERSITY



CDL

Computational
Design
Lab

목차

- 예제 문제
 - Column buckling
 - Panel buckling
- 해석 프로세스
 - 기하형상 생성
 - 재료 물성 및 특성 입력
 - 요소망 생성
 - 구속조건 설정
 - 하중조건 설정
 - 해석케이스 정의 및 해석 실행
 - 후처리

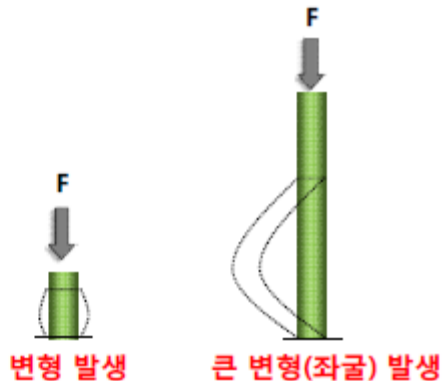
예제: COLUMN BUCKLING (1)

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 밀접한 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.

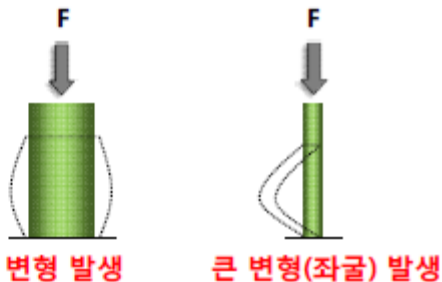
원기둥의 좌굴 형상

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



- 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.

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

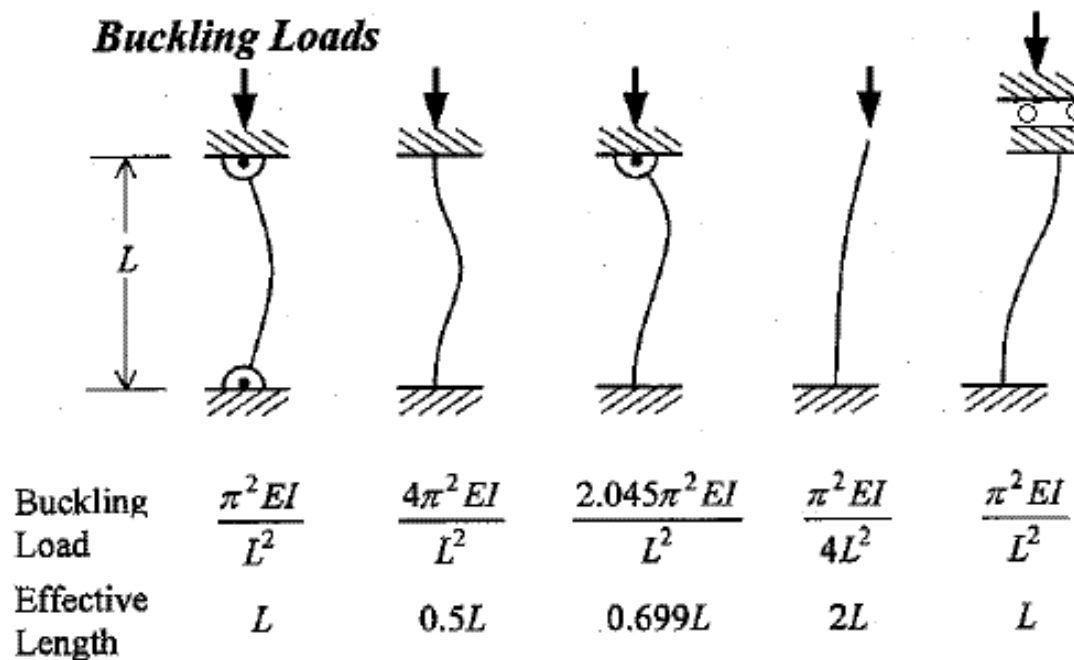


- B의 경우에는 두 원기둥의 길이는 같지만 면적이 다르기 때문에 동일한 압축력을 가하게 되면 면적이 작은 쪽에서 더 큰 응력을 받기 때문에 좌굴이 발생하게 된다.
즉, 원기둥의 면적이 작을수록(압축응력이 클수록), 길이가 길수록 좌굴이 발생할 확률이 높아진다.

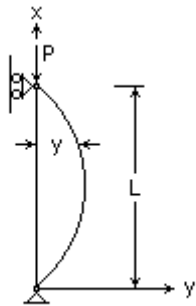
예제: COLUMN BUCKLING (2)

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.



예제: COLUMN BUCKLING (3)



Slender Pinned Column

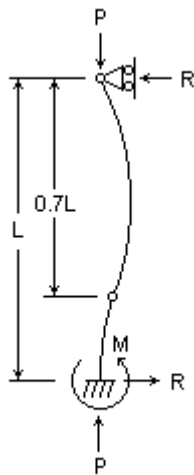
$$M = -EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = P_{cr} y$$

$$EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + P_{cr} y = 0 \rightarrow \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{P_{cr}}{EI} y = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \lambda^2 y = 0$$

Homogeneous solution

$$: y = A \sin(\lambda x) + B \cos(\lambda x) \quad y(0) = y(L) = 0$$

$$: y = A \sin\left(\frac{n\pi}{L} x\right) \quad n = 1, 2, 3, \dots \rightarrow \lambda^2 = \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 = \frac{P_{cr}}{EI} \rightarrow P_{cr} = \frac{n^2 \pi^2}{L^2} EI$$



Fixed-Pinned Column

$$M = -EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = P_{cr} y - R(L - x)$$

$$EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + P_{cr} y = R(L - x) \rightarrow \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{P_{cr}}{EI} y = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \lambda^2 y = \frac{R}{EI} (L - x)$$

→ Non-Homogeneous solution

General solution: $y = A \sin(\lambda x) + B \cos(\lambda x)$

Particular solution: $y_p = \frac{R}{P} (L - x)$

$$\left. \begin{array}{l} y(0) = y(L) = 0, y'(0) = 0 \end{array} \right\}$$

$$: y = \frac{R}{P\lambda} \sin(\lambda x) - \frac{RL}{P} \cos(\lambda x) - \frac{R}{P} (L - x) \rightarrow \lambda L = \tan \lambda L \rightarrow P_{cr} = \lambda^2 EI$$

예제: COLUMN BUCKLING (4)

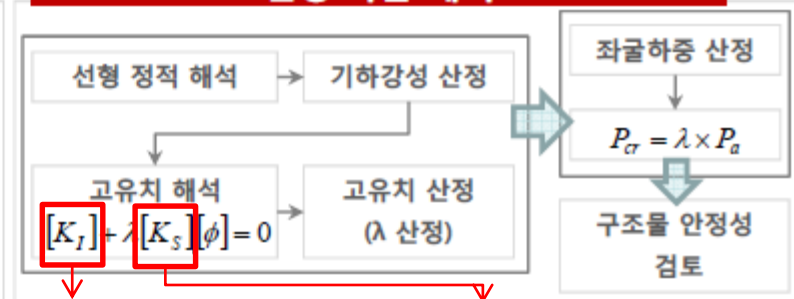
따라하기 목적

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

선형 좌굴 해석의 종류

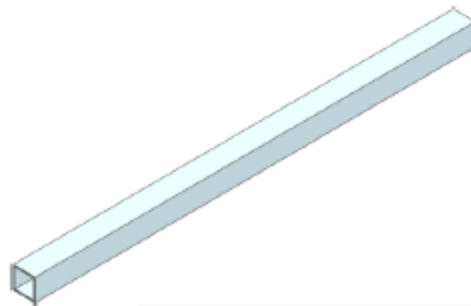
- 크기가 큰 압축 하중을 받는 구조물
- 축하중을 받는 가느다란 기둥 형태의 구조물
- 외부 압력을 받는 얇은 두께의 원통형 구조물
- 테두리에 압력을 받는 얇은 판 형태의 구조물
- 상부 표면에 횡방향의 끝단 하중을 받는 길고 얇은 외팔보 형태의 구조물

선형 좌굴 해석



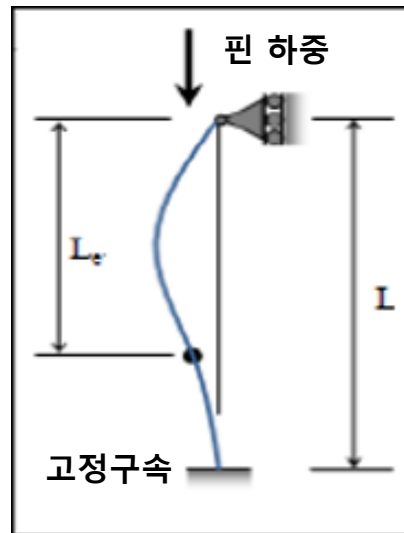
해석 개요

➤ 대상 모델

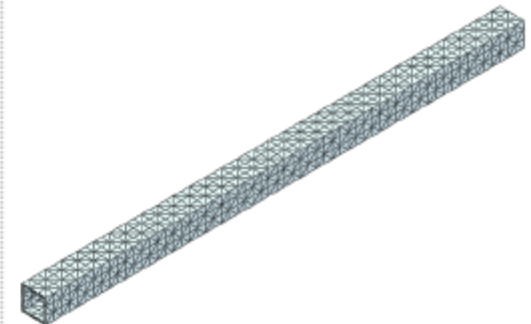


탄성계수	7e+010	N/m ²
프와송비	0.33	
질량밀도	7.85	kg/m ³

➤ 경계조건 (대칭조건, 핀구속)

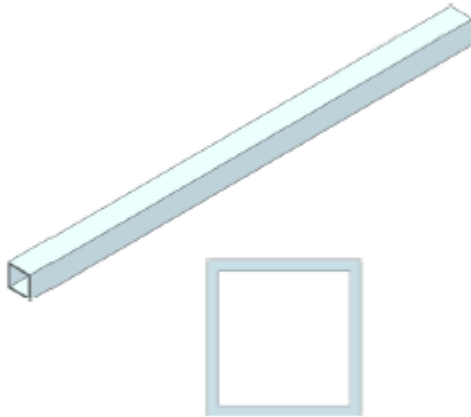


➤ 유한요소모델 (사면체 요소망)



예제: COLUMN BUCKLING (5)

임계하중의 계산



단면: $150\text{mm} \times 150\text{mm}$

두께 (t): 10mm

길이 (L): 3000mm

$P = 160 \text{ kN}$

$E = 70 \text{ GPa}$

$\nu = 0.33$

$$P_{cr} = \lambda^2 EI, \quad \lambda L = \tan \lambda L \quad (\lambda L \approx \exp[\cosh^{-1}((2n+1)\pi / 4)])$$

$$P_1 = 2883 \text{ kN}$$

$$P_2 = 8533 \text{ kN}$$

$$P_3 = 17003 \text{ kN}$$

$$P_4 = 28295 \text{ kN}$$

$$P_5 = 42409 \text{ kN}$$

COLUMN BUCKLING

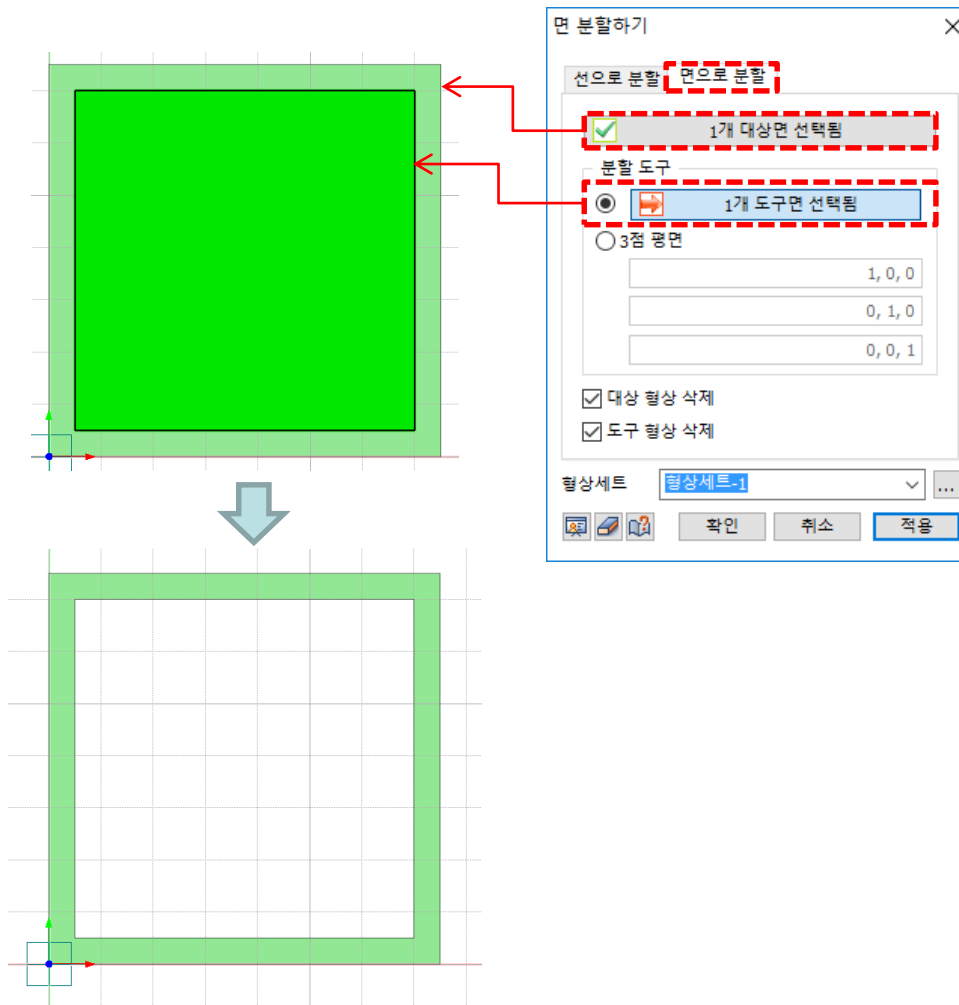
솔리드 요소

기하형상 생성



1 두 개의 사각 단면 생성
(길이 150mm/130mm)

2 면 나누기 기능을 이용하여
외부 사각형에서 내부 사각
형 제거



재료 물성 및 특성 입력

재료

번호 2 이름 재료 색상

All

17-4PH, H1100
AISI 1020
AISI 1060
AISI 304 SS Annealed
AISI_310_SS
AISI_410_SS
AISI_Steel_1005
AISI_Steel_1008-HR
AISI 4340 Annealed
AISI_Steel_Maraging
Alloy Steel
Cast Alloy Steel
Cast Carbon Steel
Cast Stainless Steel
Chrome Stainless Steel
FC250
Galvanized Steel
H-1(CR60)
HL-4000
Hp-1
Hp-4
Inconel_718_Aged
Plain Carbon Steel
S/Steel_PH15-5
S45C
SAPH-400
SE508
SGACC
SGACEN
SGARC340-E
SGCC
SGCD1
SHP
SM45C
SM490A(KS)
SPCC
SPDE
SPRC340
SR-0300
Steel
Steel_Rolled
SUP12
SUS304
SUS316

선행 탕소성 초탄성 온도 의존

구조

탄성계수 70000 N/mm²

프와송비 0.33

질량밀도 0 kg/mm³

열응력

열팽창계수 0

참조온도 0 [T]

열전도

전도율 0 W/(mm·[T])

비열 0 J/(kg·[T])

발열계수 1

안전률계산방법

파손이론 Von Mises 응력(Ductile)

인장 0 N/mm² 압축 0 N/mm²

감쇠 지수

질량 비례 감쇠 계수 0 1/sec

강성 비례 감쇠 계수 0 sec

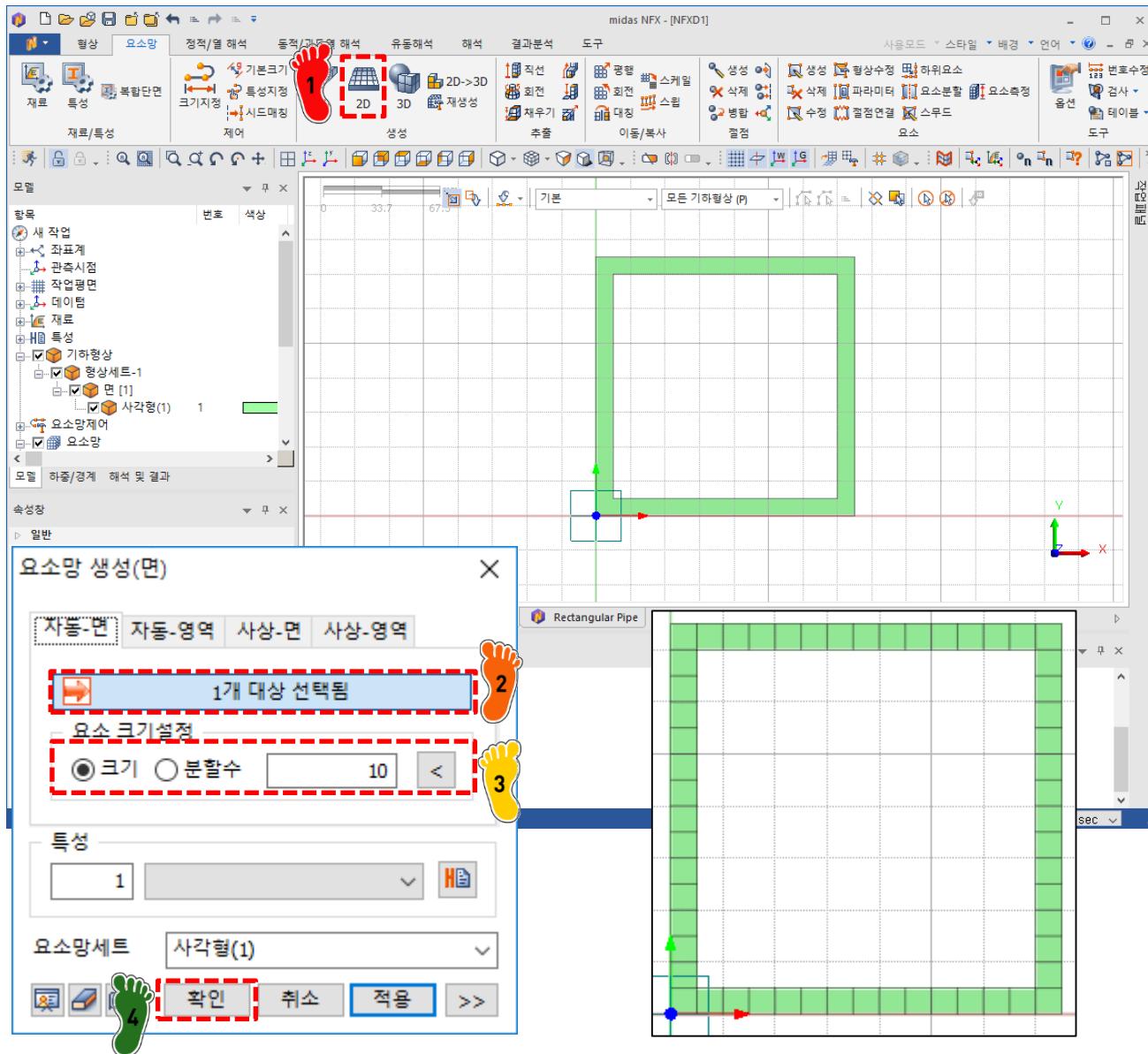
구조 감쇠 계수 0

불러오기... 편집... 확인 취소 적용

1 탄성계수 70 GPa
푸아송비 0.33
재료 생성

3차원 특성 생성

요소망 생성 (1)



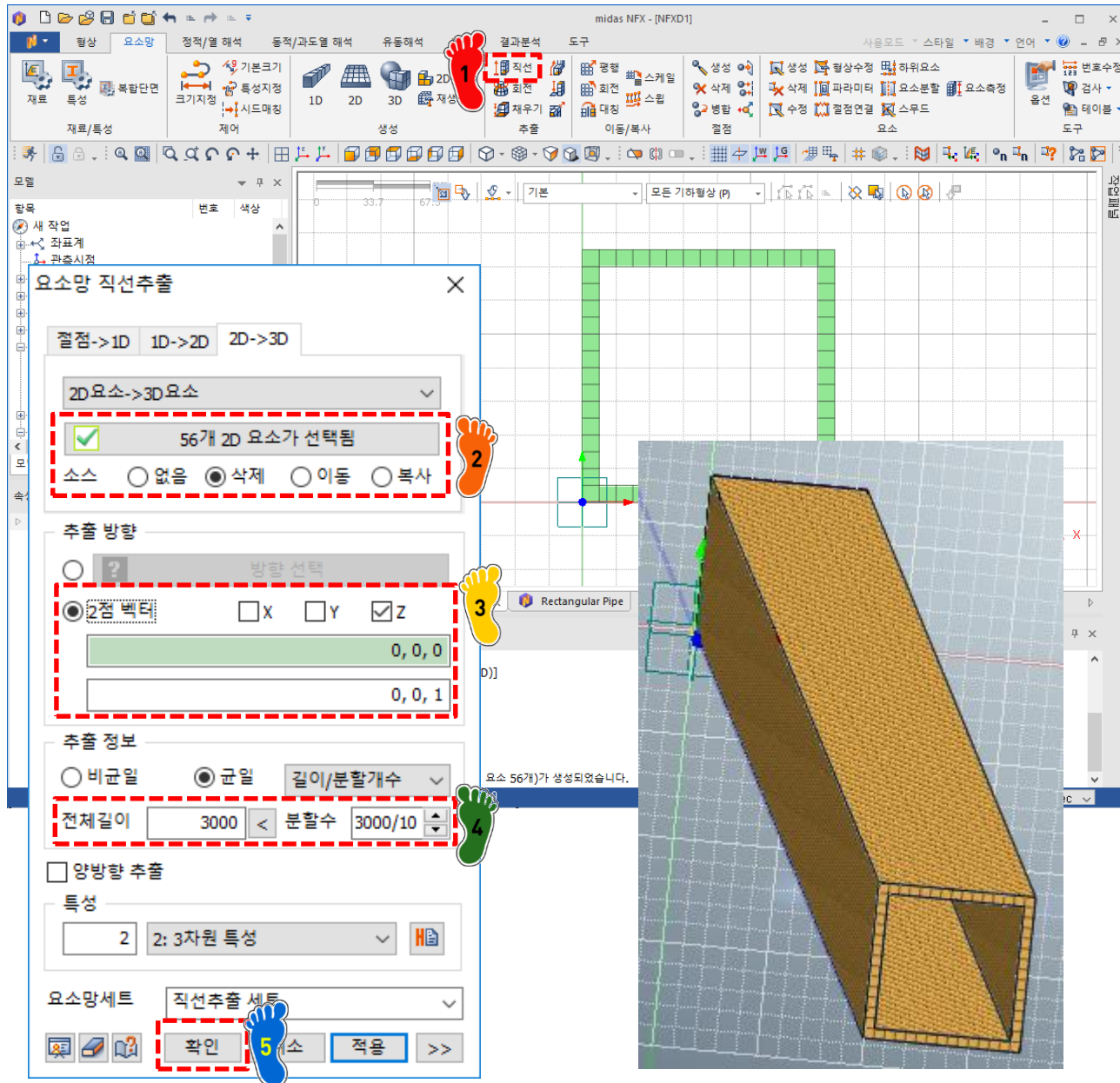
1 요소망 탭메뉴의 2D 클릭

2 면 선택

3 크기 10 입력

4 확인

요소망 생성 (2)



1 요소망 탭메뉴의 직선 클릭
(곡선 추출의 경우 스위치)

2 끝 면의 요소 56개 선택
(소스: 삭제)

3 추출 방향 선택 가이드 곡선
선택 (Z 방향)

4 전체길이 3000, 분할수
3000/10 입력

5 확인

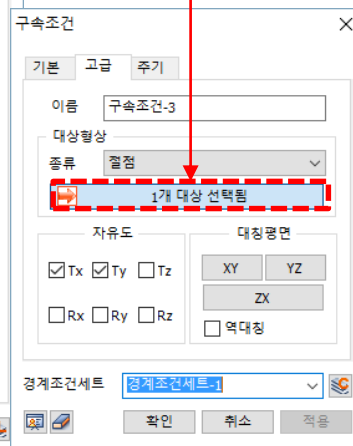
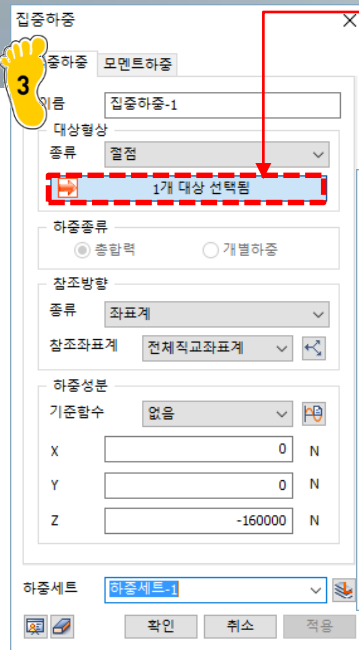
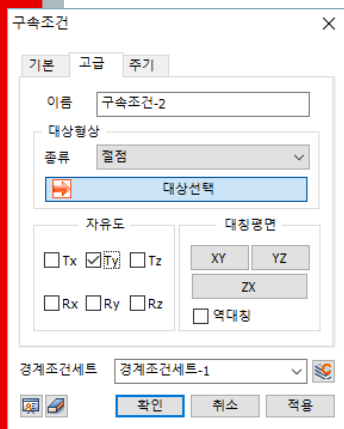
하중조건 및 구속조건 설정



제일 끝단의 절점 고정구속

평면 거동을 위해 제일 상단 하중을 줄 절점들을 제외하고 y방향 구속 (상단 제외)

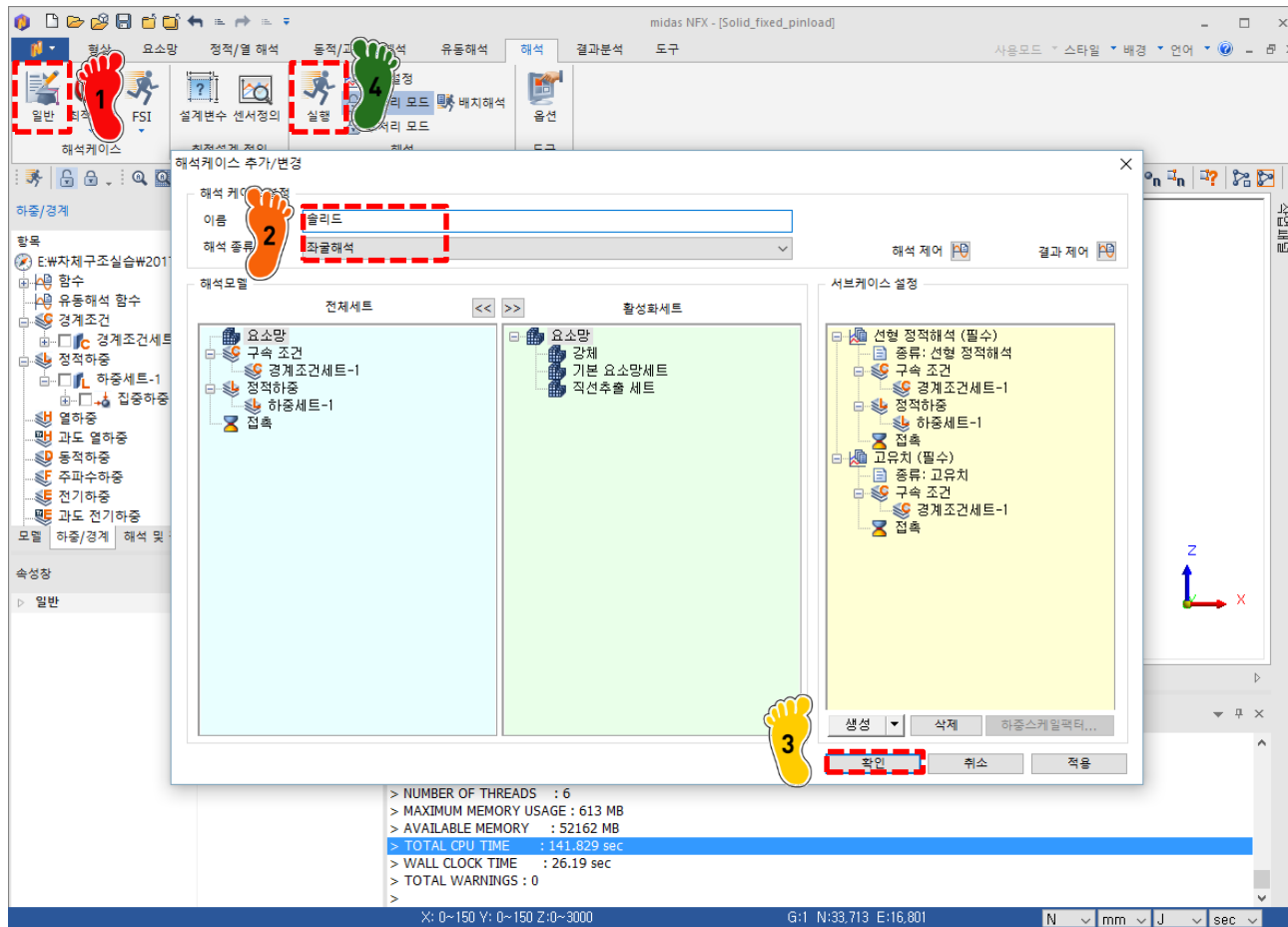
제일 상단에 강체 요소 생성 후 중심에 하중/구속조건 부여
(강체: 요소망→생성→기타)



z방향으로만 움직이게 하기 위함



해석 케이스 정의 및 해석 실행



1 주 메뉴 창에서 해석 탭메뉴에서 일반 클릭

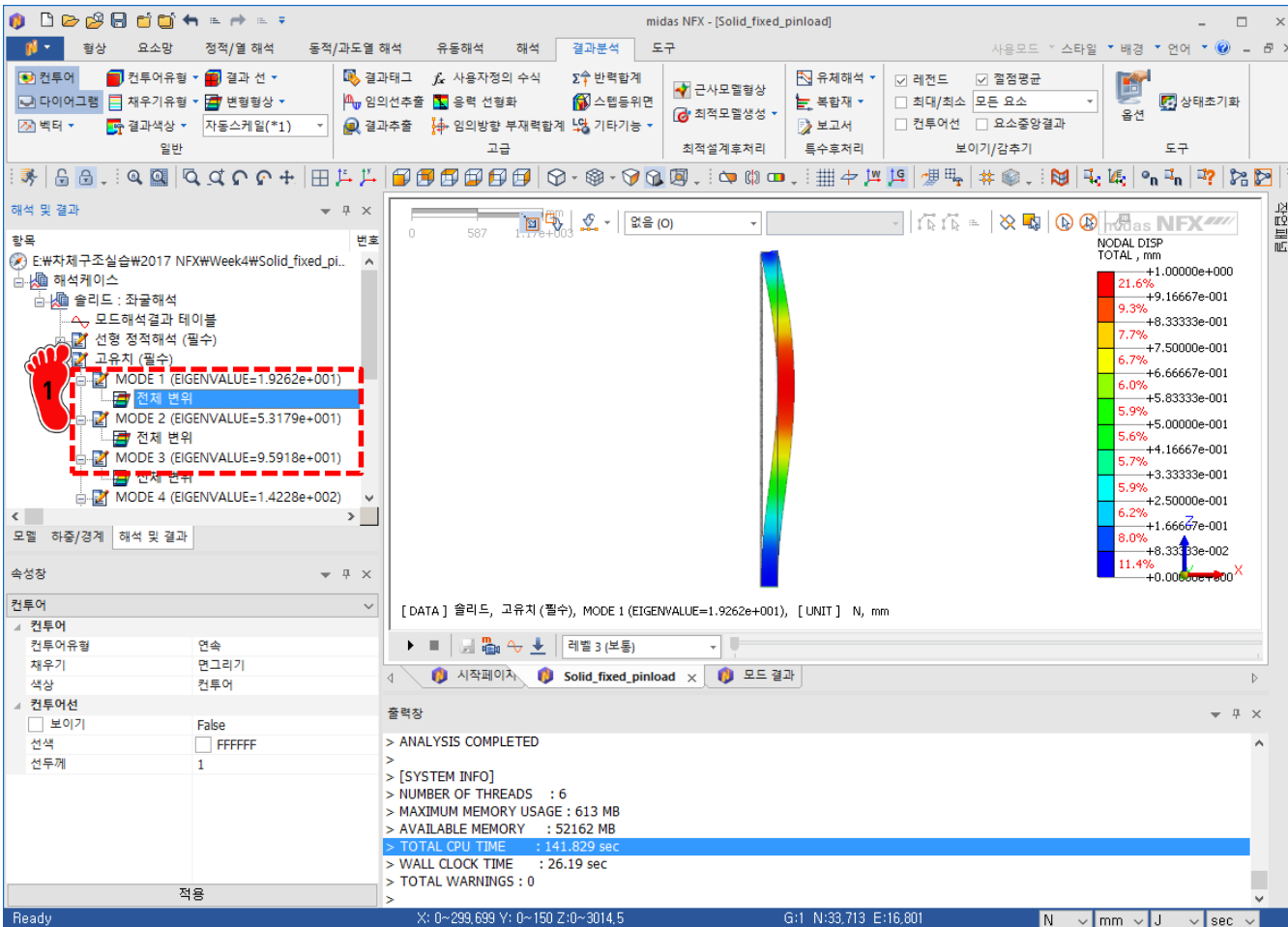
2 임의의 이름 입력 후 좌굴해석 선택

3 확인

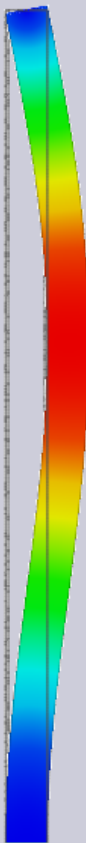
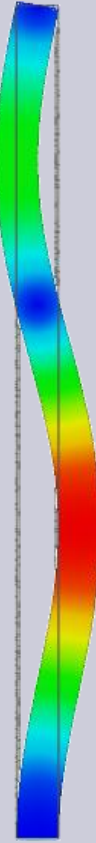
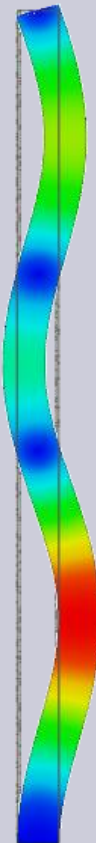
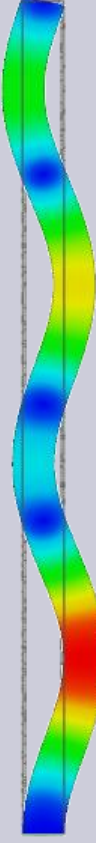
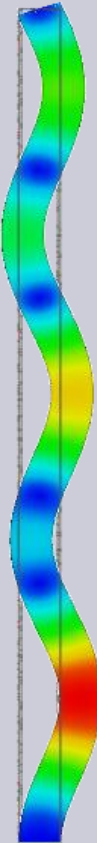
4 실행 클릭

좌굴 해석 결과

각 모드에 대한 고유치 및 변형 결과 확인



후처리

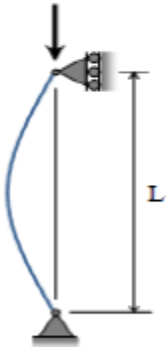
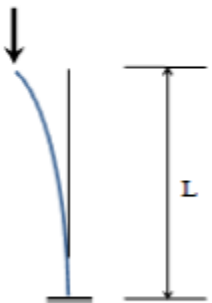
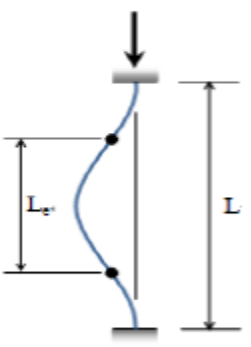
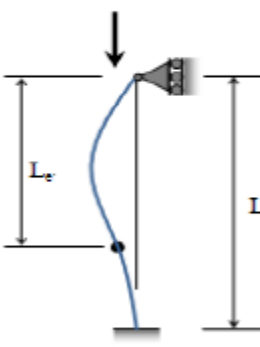
모드 차수	1	2	3	4	5
모드 형상					
고유값 (λ)	1.926e1	5.318e1	9.592e1	1.423e2	1.875e2
임계 하중 [kN] ($P_{cr} = P \times \lambda$)	3082	8509	15347	22765	29997

결과 정리

unit : kN	1차		2차		3차		4차		5차	
이론	2883		8533		17003		28295		42409	
빔	2874	0.3	8495	0.4	16917	0.5	28117	0.6	41969	1.0
솔리드	3082	6.9	8509	0.3	15347	9.7	22765	19.5	29997	29.3

숙제

양단 핀지지일 때 3가지 요소의 좌굴하중(5차까지)을 구하고 해석적인 해와 비교, 고찰하시오

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

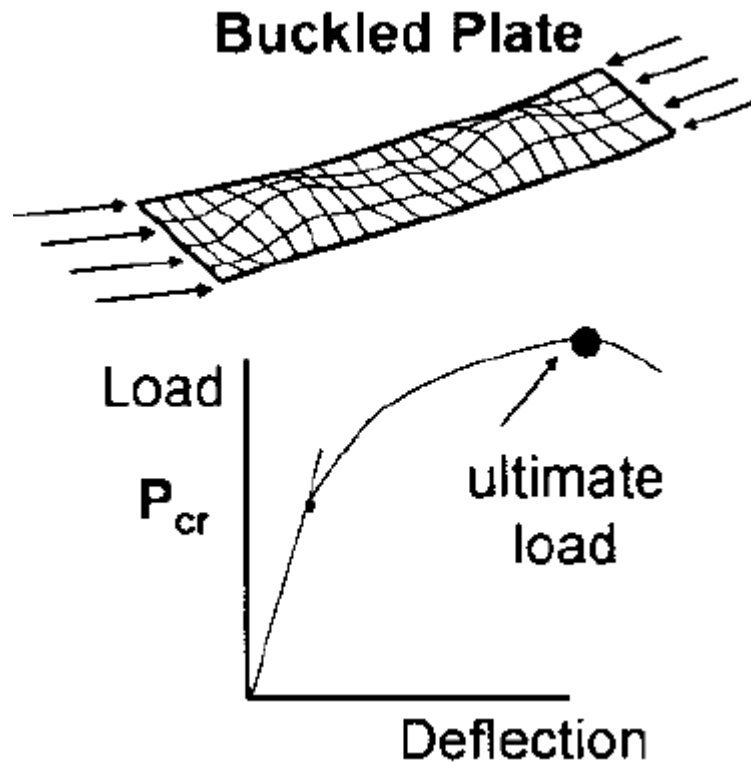
$$P_{cr} = EI\alpha^2, \alpha = \frac{\pi}{L}k, k = 1, 2, 3, \dots$$

PANEL BUCKLING

셸 요소

예제: PANEL BUCKLING (1)

$$\sigma_{cr} = \frac{D\pi^2}{tb^2} k = \frac{E\pi^2}{12(1-\nu^2)(b/t)^2} k$$

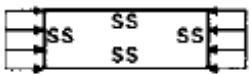
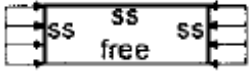
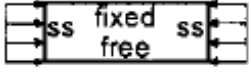
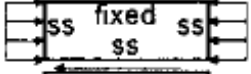
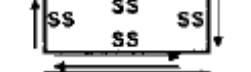
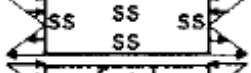
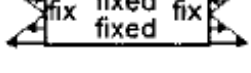


Case	Boundary Condition	Loading	k
(a)	ss ss ss ss ss	Compression	4.0
(b)	ss fixed ss fixed fixed	Compression	6.97
(c)	ss ss ss free	Compression	0.425
(d)	ss fixed ss free	Compression	1.277
(e)	ss fixed ss ss	Compression	5.42
(f)	ss ss ss ss ss	Shear	5.34
(g)	ss fixed ss free	Shear	8.98
(h)	ss ss ss ss ss	Bending	23.9
(i)	fix fixed fix fixed fixed	Bending	41.8

예제: PANEL BUCKLING (2)

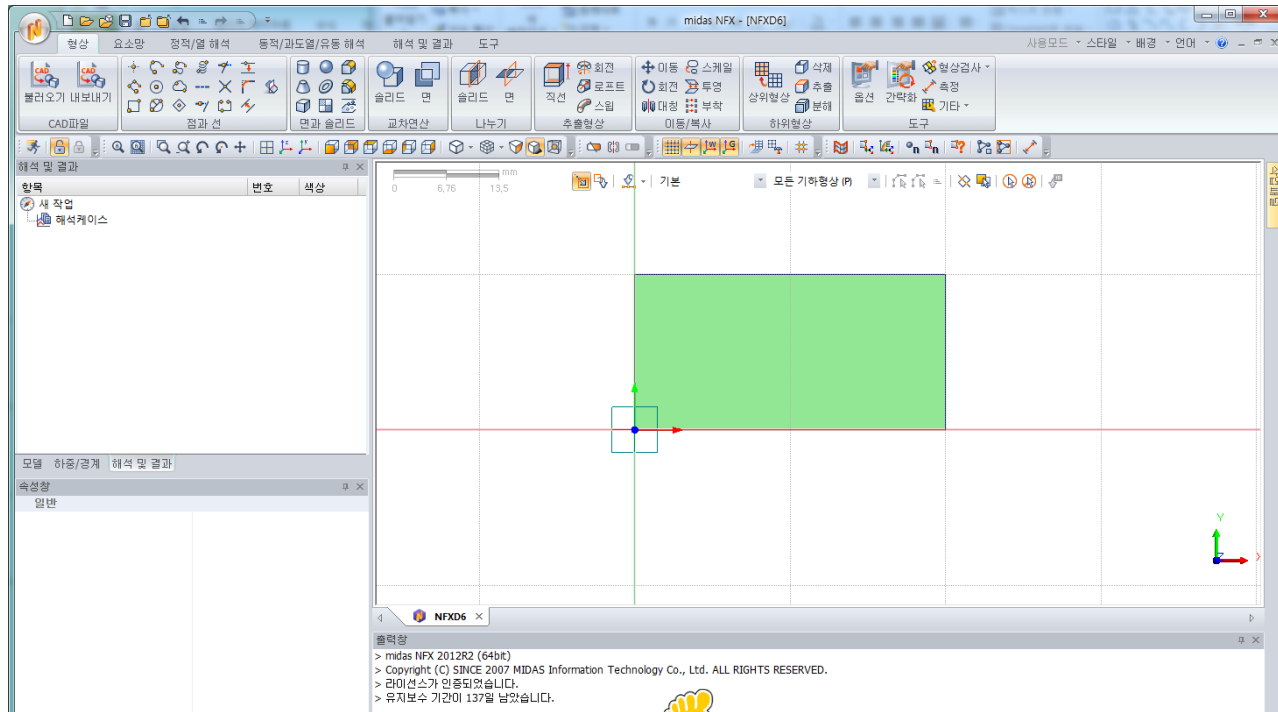
$$\sigma_{cr} = \frac{D\pi^2}{tb^2} k = \frac{E\pi^2}{12(1-\nu^2)(b/t)^2} k$$

$$E = 210 \text{ GPa}, \nu = 0.28, b = 20 \text{ mm}, t = 1 \text{ mm}$$

Case	Boundary Condition	Loading	k
(a)		Compression	4.0
(b)		Compression	6.97
(c)		Compression	0.425
(d)		Compression	1.277
(e)		Compression	5.42
(f)		Shear	5.34
(g)		Shear	8.98
(h)		Bending	23.9
(i)		Bending	41.8

$$\sigma_{cr} = 1874 \text{ MPa}, P_{cr} = \sigma_{cr} A = \sigma_{cr} bt = 37482 \text{ N}$$

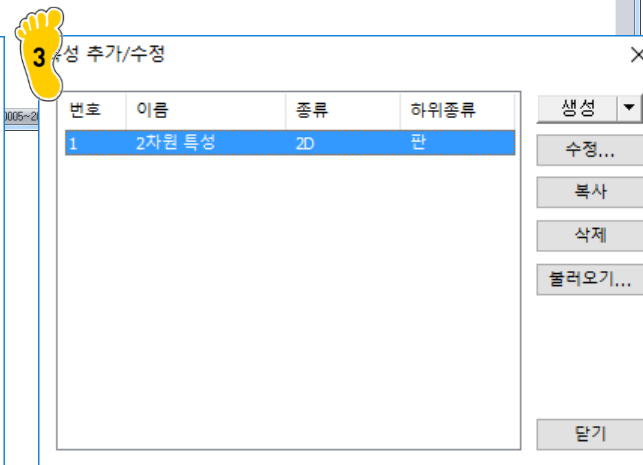
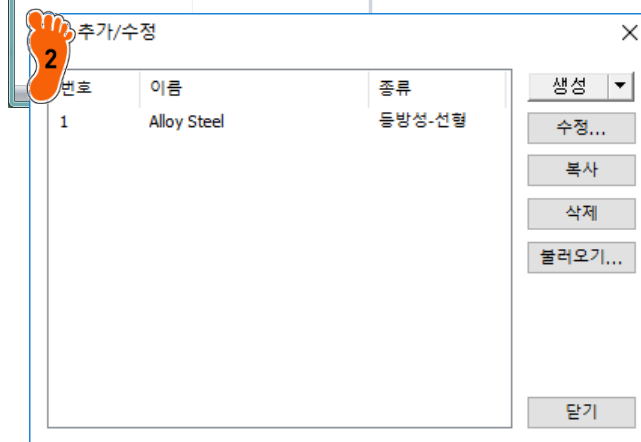
기하형상 생성 및 재료/특성 설정



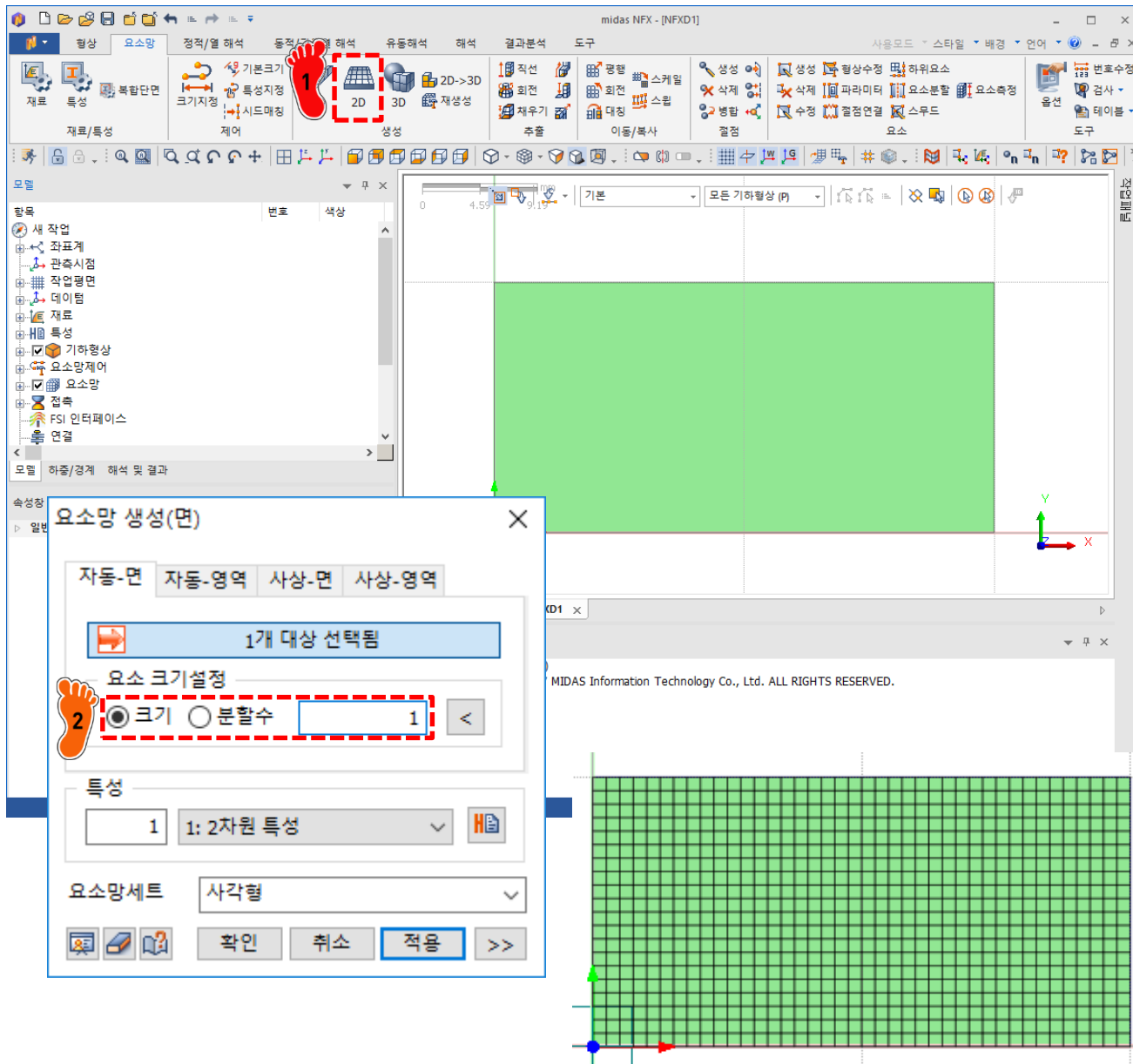
1 가로 40 mm 세로 20 mm
평판 생성

2 재료는 Alloy Steel 그대로
사용

3 두께 1mm의 2차원 특성 생
성



요소망 생성



1 요소망 탭메뉴의 2D 클릭

2 크기 1로 요소 생성

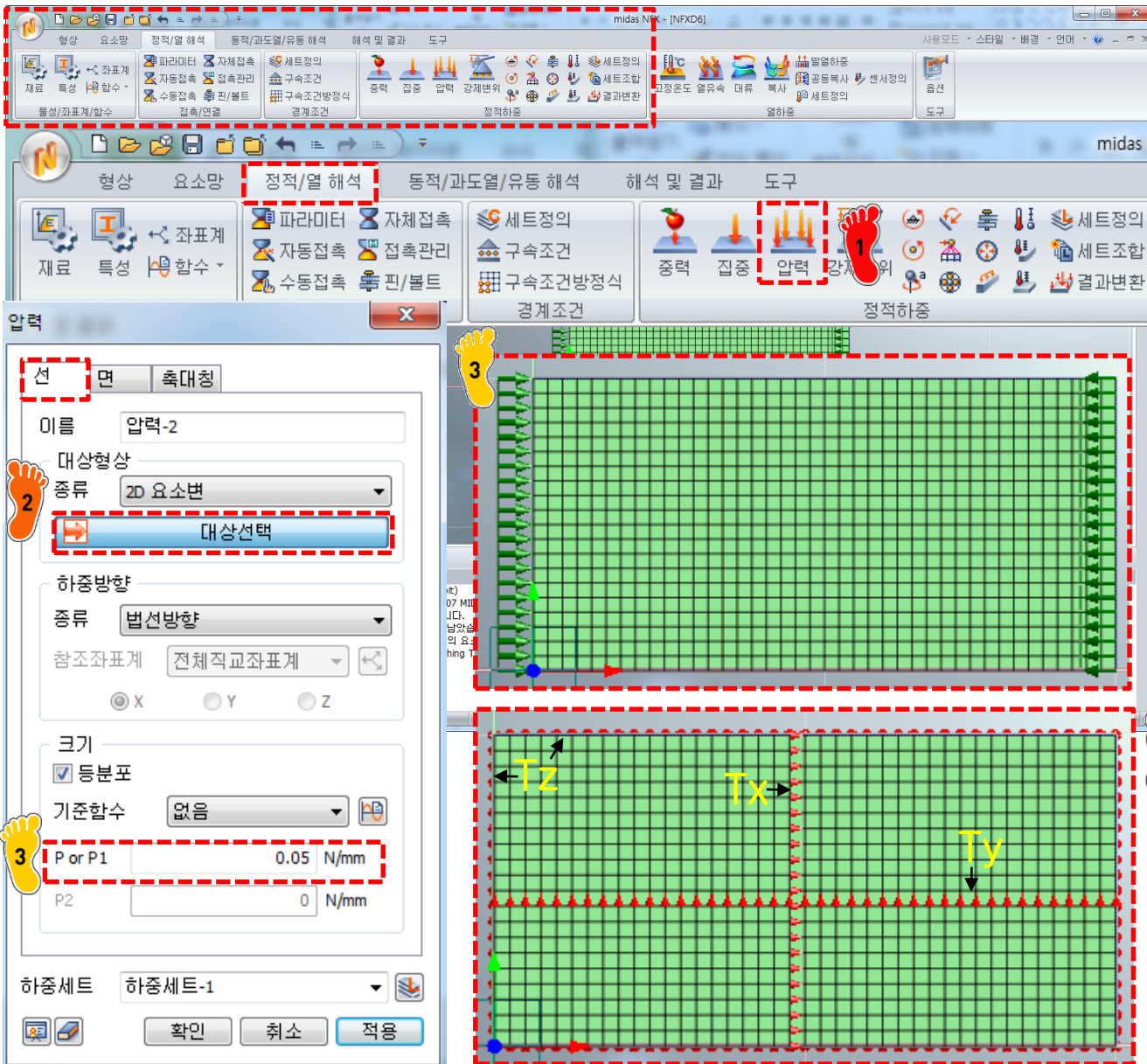
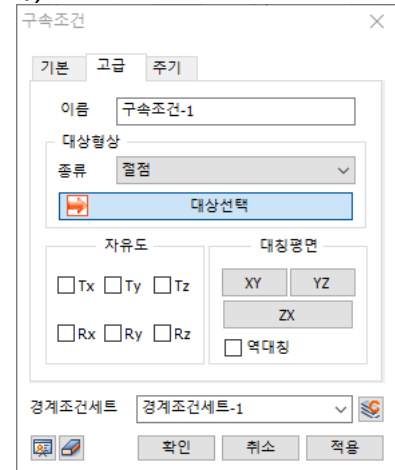
구속조건 및 하중조건 설정

1 정적/열 해석 탭메뉴에서 압력 클릭

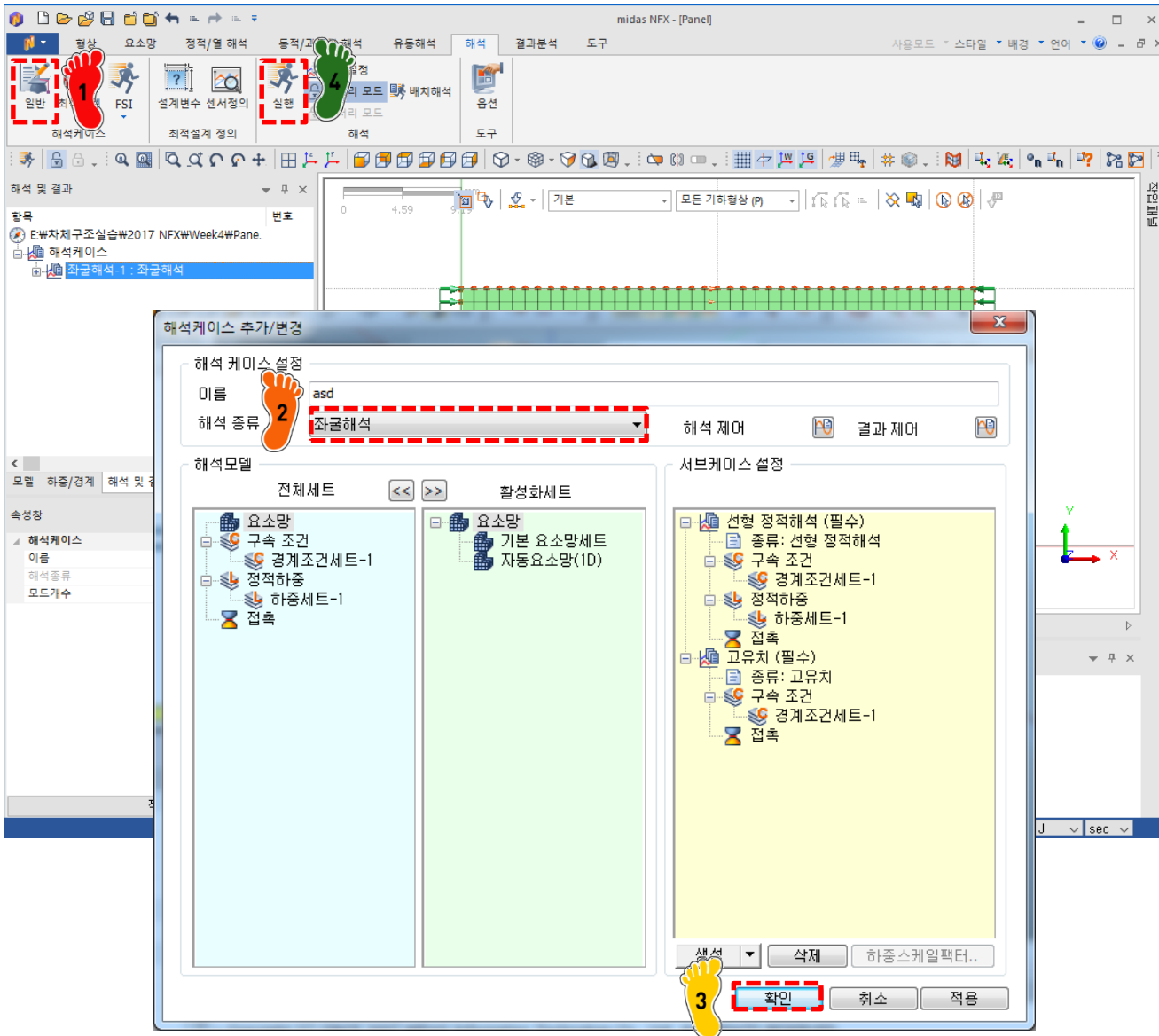
2 선 탭메뉴에서 양 끝 하중을 가할 선 선택

3 단위 길이당 하중이므로 단위하중이 입력되도록 0.05 입력

4 구속조건인 경우 최 외각 절점들은 Tz로 구속, 가운데 세로방향은 Tx, 가운데 가로 방향은 Ty로 구속 (강체운동 방지)



해석 케이스 정의 및 해석 실행



1 주 메뉴 창에서 해석 탭메뉴에서 일반 클릭

2 임의의 이름 입력 후 좌굴해석 선택

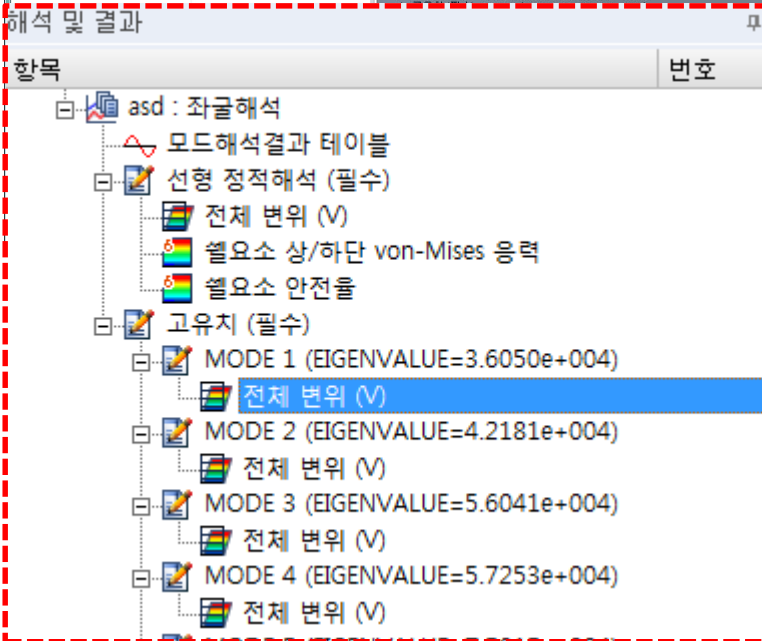
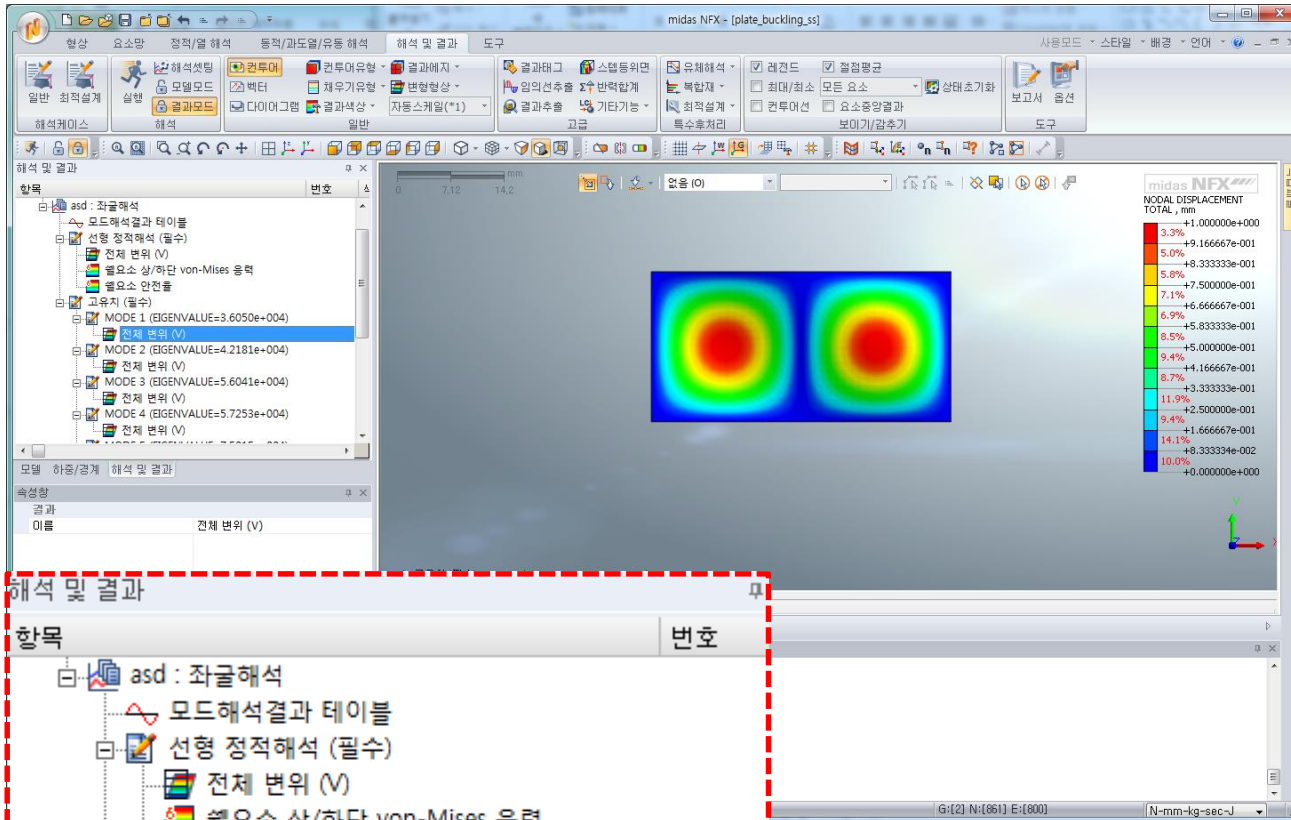
3 확인

4 실행 클릭

후처리



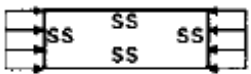
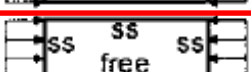
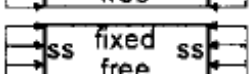
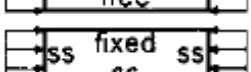
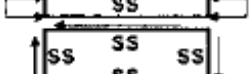
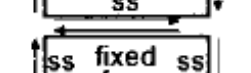
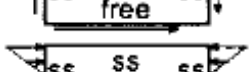
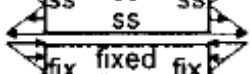
첫 번째 고유값은 $3.6050e4$
임계 하중은 고유값 곱하기
가해진 하중이므로
 $3.6050e4$ 이 임계하중



예제: PANEL BUCKLING (2)

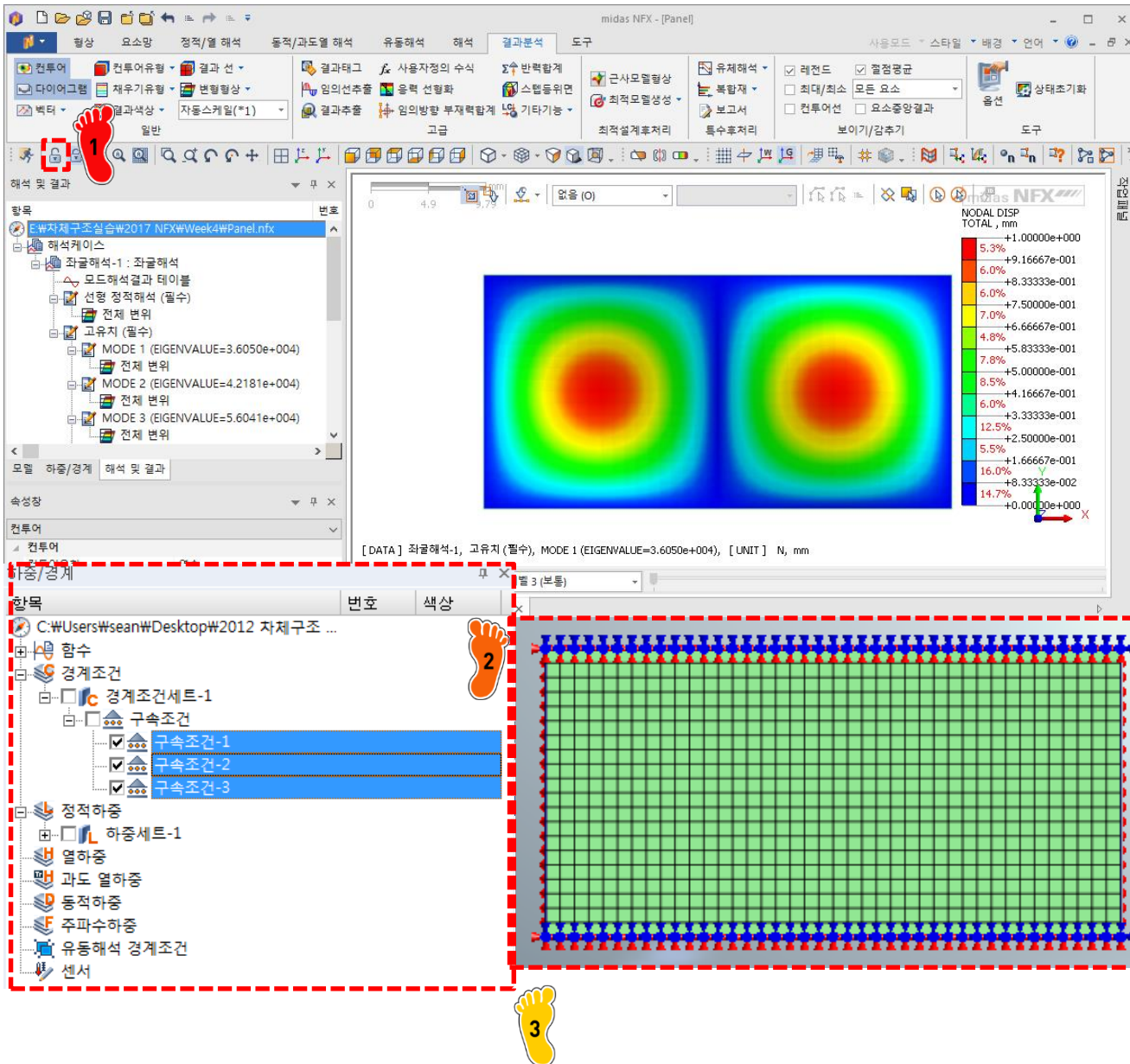
$$\sigma_{cr} = \frac{D\pi^2}{tb^2} k = \frac{E\pi^2}{12(1-\nu^2)(b/t)^2} k$$

$$E = 210 \text{ GPa}, \nu = 0.28, b = 20 \text{ mm}, t = 1 \text{ mm}$$

Case	Boundary Condition	Loading	k
(a)		Compression	4.0
(b)		Compression	6.97
(c)		Compression	0.425
(d)		Compression	1.277
(e)		Compression	5.42
(f)		Shear	5.34
(g)		Shear	8.98
(h)		Bending	23.9
(i)		Bending	41.8

$$\sigma_{cr} = 3266 \text{ MPa}, P_{cr} = \sigma_{cr} A = \sigma_{cr} bt = 65313 \text{ N}$$

구속조건 및 하중조건 설정



1 모델모드로 변경

2 기존 구속조건 제거

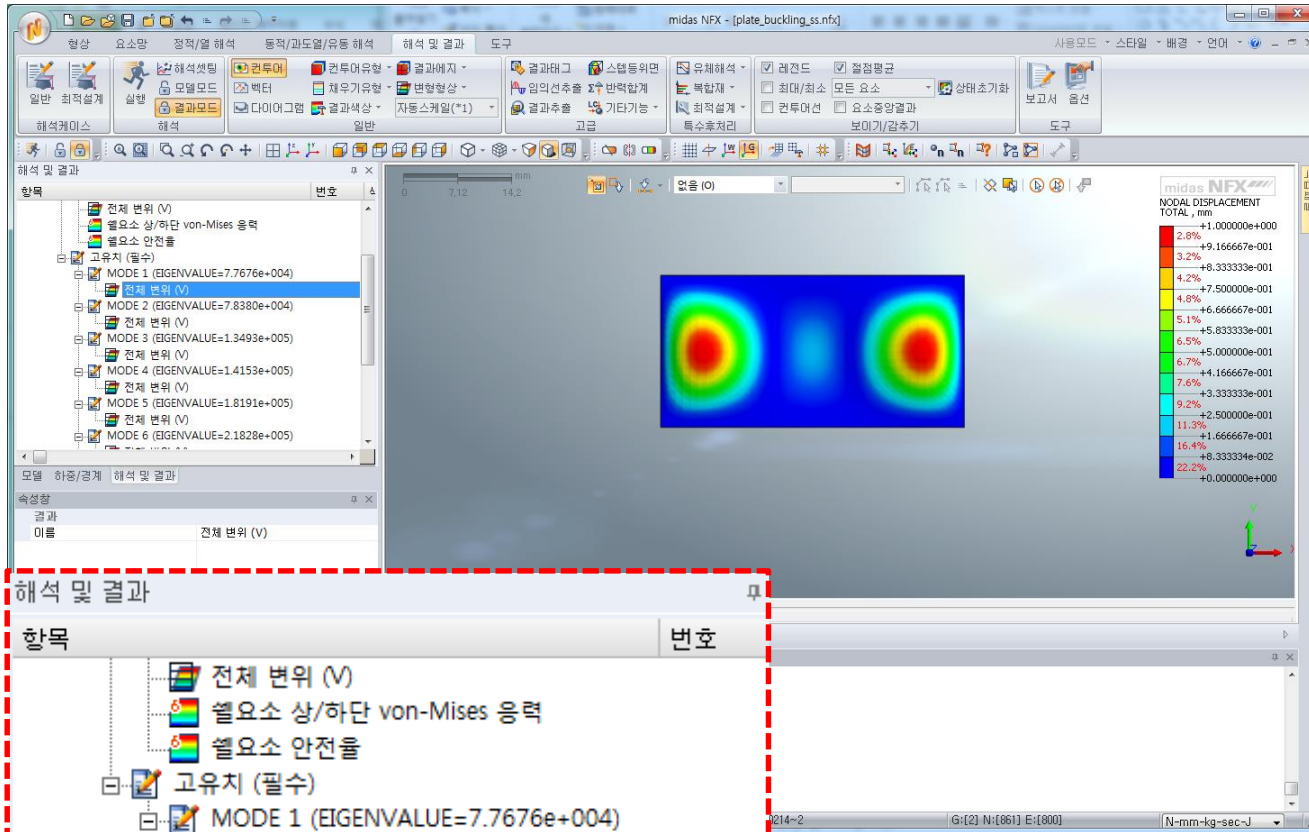
3 새로운 구속조건 입력
- 위/아래: 고정구속
- 좌/우: 단순지지(Tz)

해석 재실행

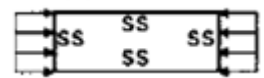
후처리



첫 번째 고유값은 $7.7676e4$

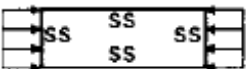
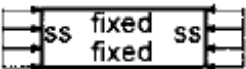
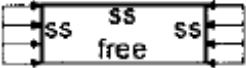
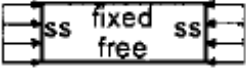
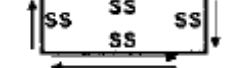
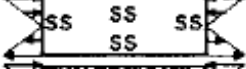


결과 정리

		
Analytic P_{cr} [N]	37482	65313
FEM P_{cr} [N]	36050	77676
Error [%]	3.8	18.93

숙제

3가지 경계 조건 및 하중 조건이 주어질 때 임계하중을 구하고 해석적인 해와 비교 고찰하시오

Case	Boundary Condition	Loading	k
(a)		Compression	4.0
(b)		Compression	6.97
(c)		Compression	0.425
(d)		Compression	1.277
(e)		Compression	5.42
(f)		Shear	5.34
(g)		Shear	8.98
(h)		Bending	23.9
(i)		Bending	41.8

접촉 해석

Computational Design Laboratory
Department of Automotive Engineering
Hanyang University, Seoul, Korea



한양대학교
HANYANG UNIVERSITY



CDL

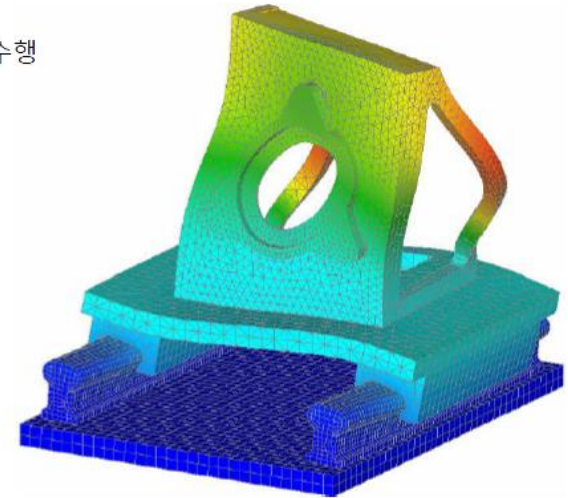
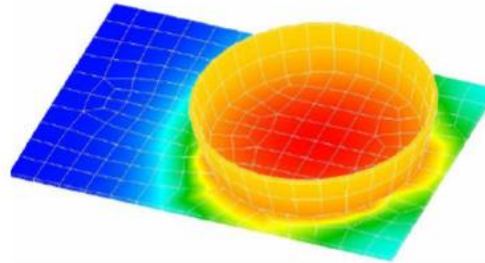
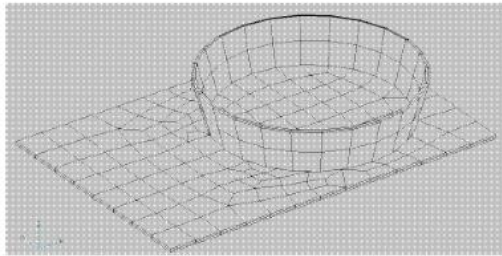
Computational
Design
Lab

접촉 해석 (CONTACT ANALYSIS)

접촉의 이해 및 종류

➤ 접촉이란?

- 한 파트의 여러 절점을 다른 파트의 절점에 연결하는 것
- 주접촉면(Master)과 종속접촉면(Slave)의 절점 사이에서 Penalty Stiffness Method를 이용하여 접촉해석을 수행
- 발생 가능한 모든 자유도에서 접촉해석 수행 가능
- 접촉면 사이에서 절점이 일치하지 않는 경우에도 해석이 가능
- 선형 해석 및 비선형 해석 수행 가능, 선형 해석 수행 시에는 연속된 강성으로 형성하여 해석을 수행

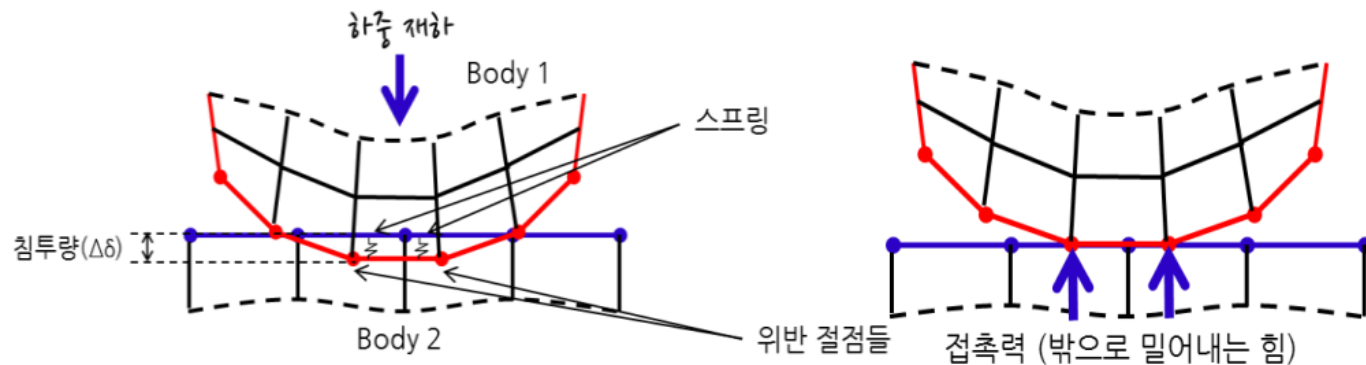


➤ 접촉의 종류

- **일체거동 접촉** : 접촉면 상호간의 상대적인 강성을 이용하여 접촉 강성을 산정하고, 두 접촉면을 연결하는 방식으로 변위와 응력의 연속성을 확보.
일반적으로 주 접촉면과 종속 접촉면이 초기부터 붙어 있는 경우에 사용하며, 해석이 진행되는 동안에 두 면이 분리되는 것이 허용되지 않음.
특히, 두 면이 붙어있으나 주/종속 접촉면의 절점들이 서로 일치하지 않는 경우에 유용하게 사용할 수 있음.
- **양방향 미끄러짐 접촉** : 두 면 사이에 미끄러짐이 발생할 때 적용하며, 두 면이 분리될 수 없음. (인장/압축에 대해서는 일체거동 접촉과 동일하게 거동)
베어링, 미소한 미끄러짐이 발생하는 선형해석 수행에 적합.
- **일반접촉** : 주 접촉면과 종속 접촉면 사이의 자유로운 거동 표현이 가능한 전형적인 3차원 비선형 접촉해석 타입.
두 면이 초기(해석 전)에 붙어있는 경우는 물론이고, 해석 중에 두 면이 접촉 또는 분리를 반복하여도 해석이 가능.
- **거친 접촉** : 인장, 압축에서는 일반접촉과 유사한 거동을 하지만 미끄러짐을 허용하지 않음.

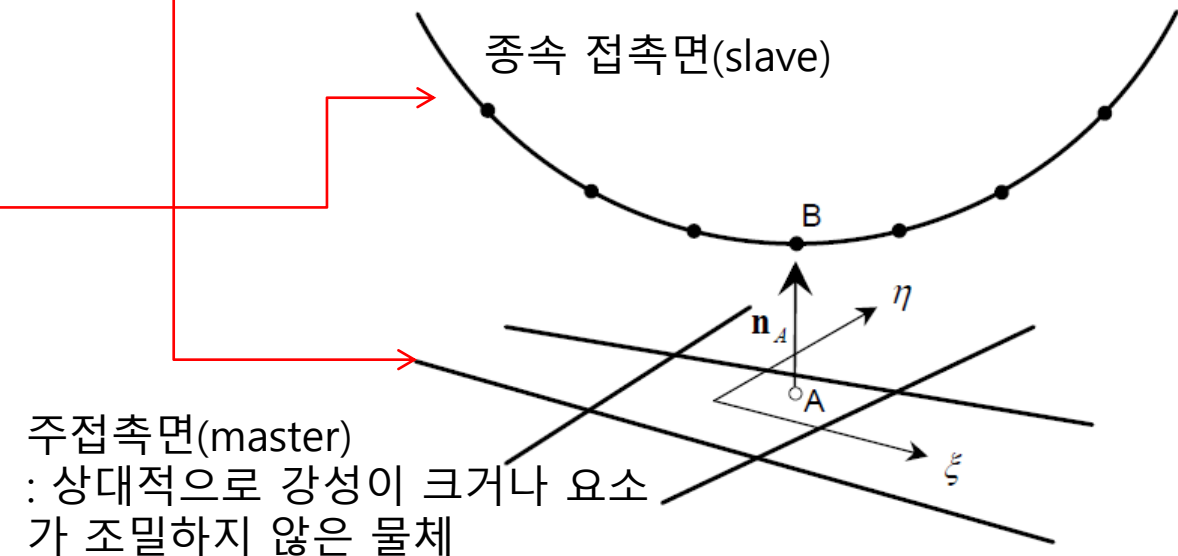
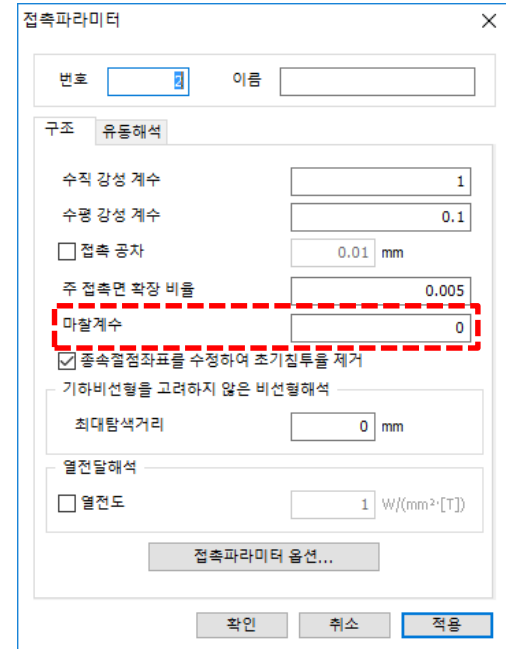
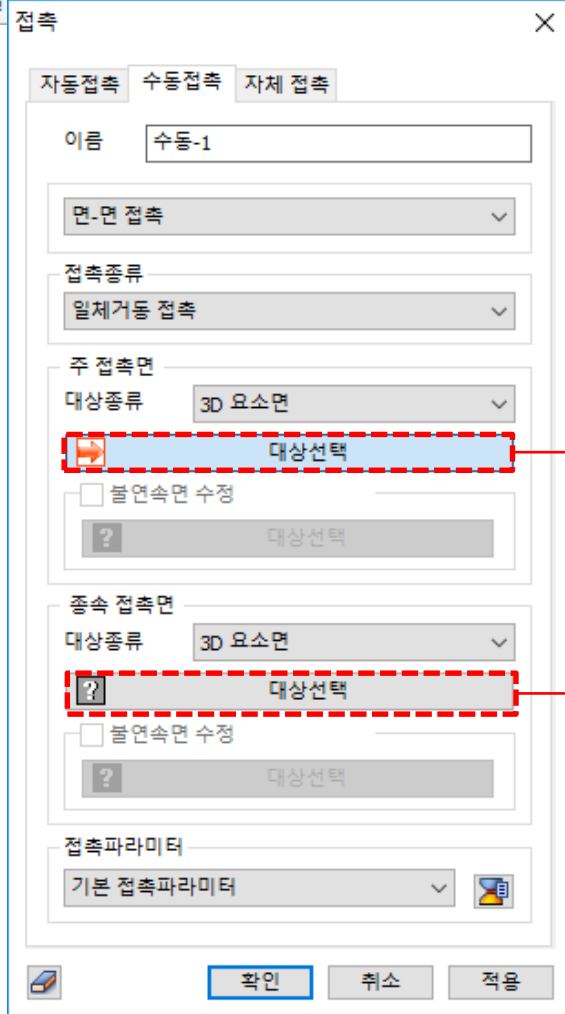
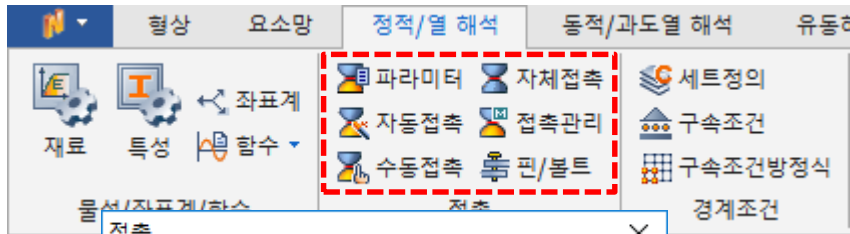
벌칙 기법 (PENALTY METHOD)

- 약간의 침투($\Delta\delta$)를 허용하고, 스프링(K) 개념을 도입하여 침투에 대한 힘(F)을 계산
- 이때 발생한 힘(F)을 접촉력(Contact force)이라고 하며, 접촉 물체를 밀어냄



- 침투를 허용하기 때문에 정확도는 떨어지나 수치적인 처리가 간단하고 해석시간을 증가시키지 않아 복잡한 구조 해석에도 많이 사용
- 정확한 방법에는 Lagrange Multiplier 기법이 있음

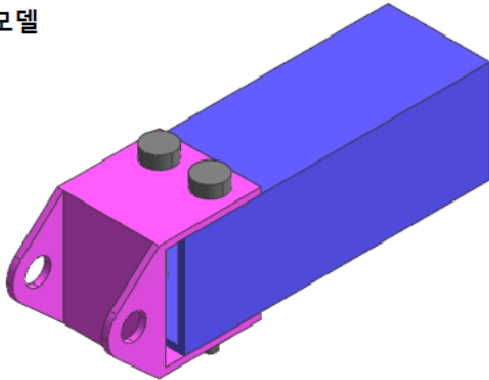
NFX의 접촉 해석



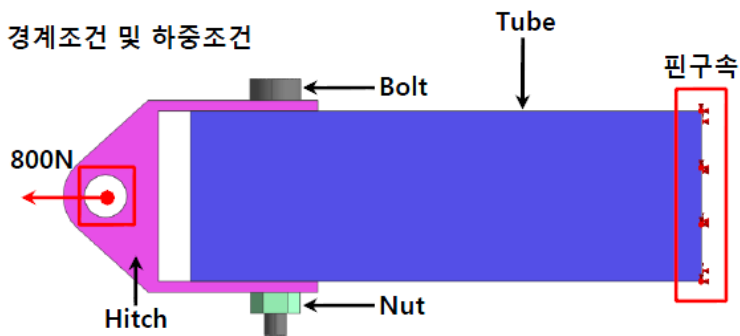
예제: HITCH ASSEMBLY

해석 개요

➤ 대상 모델

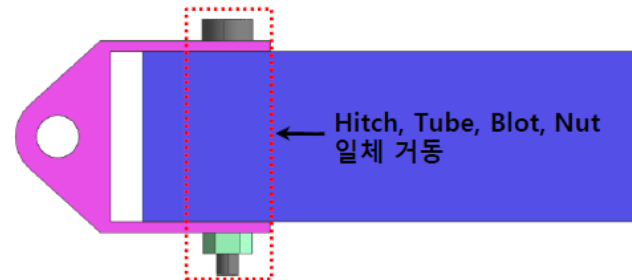


➤ 경계조건 및 하중조건

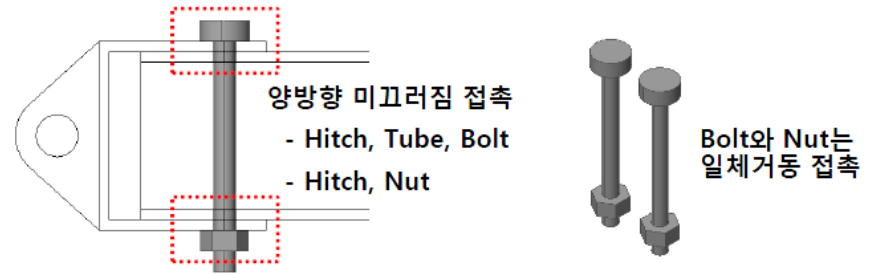


➤ 접촉조건

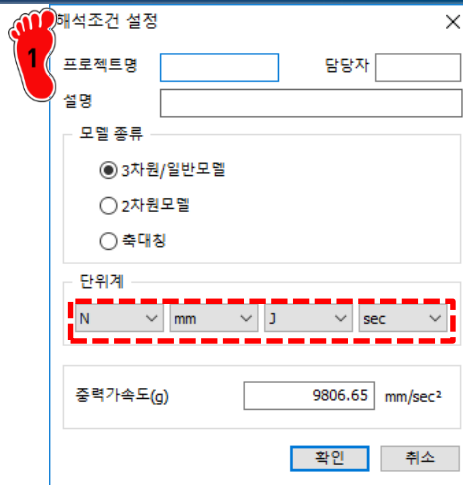
- 해석케이스-1 : 일체거동 접촉 (전체 파트가 하나로 일체 거동하는 조건)



- 해석케이스-2 : 일체거동 & 양방향 미끄러짐 접촉
(Bolt와 Nut는 일체거동, 나머지 파트는 양방향 미끄러짐 접촉)

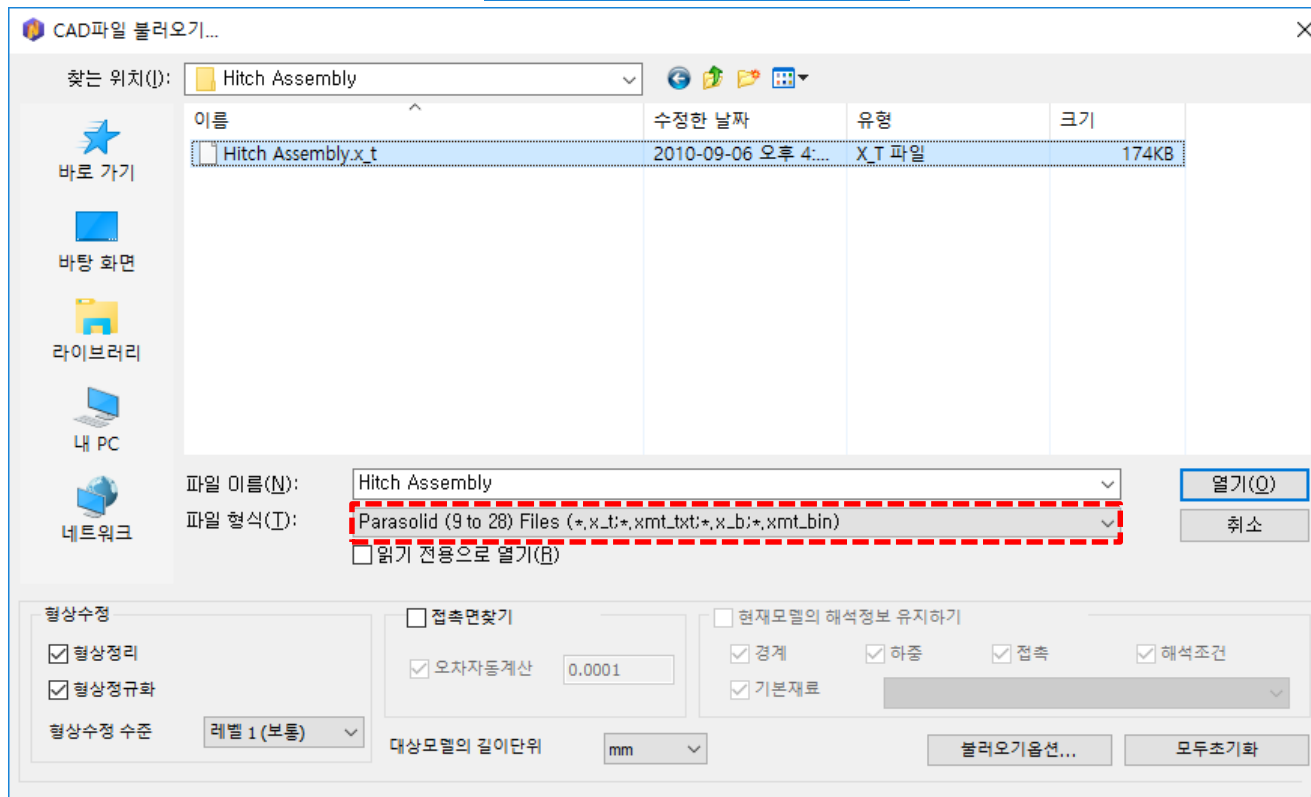


기하 형상 불러오기



1 3차원 모델/기본 단위계로 설정

2 CAD 불러오기를 통해 Hitch_Assembly.x_t파일 불러오기



재료 및 특성 설정

재료

번호 이름 색상

All

구조

탄성계수 N/mm²

프와송비

질량밀도 kg/mm³

열팽창계수

기준온도 [T]

열전도

전도율 W/(mm·[T])

비열 J/(kg·[T])

발열계수

전위

전도율 A/mm·V

에너지 확산 계수

안전률계산방법

파손이론

인장 N/mm² 압축 N/mm²

감쇠 지수

질량 비례 감쇠 계수 ☐

강성 비례 감쇠 계수 ☐

구조 감쇠 계수 ☐

크리프 ☐

블러오기... 편집...

원 특성 생성/변경

슬리드 복합재료 슬리드 3D 유동해석 3D 혼합물 유동해석

번호 이름 색상

재료

재료좌표계

확인 취소 적용



'Steel' 재료로 생성
탄성계수: $1.9e5 \text{ N/mm}^2$
프와송비: 0.29
질량밀도: $8e-6 \text{ kg/mm}^3$



생성한 'Steel' 재료로 3차원
특성 생성

하중 및 구속조건 설정

집중하중

1 집중하중 모멘트하중

이름 집중하중-1

대상형상

종류 면

8개 대상 선택됨

하중종류

☒ 총합력 ☐ 개별하중

참조방향

종류 좌표계

참조좌표계 전체직교좌표계

하중성분

기준함수 없음

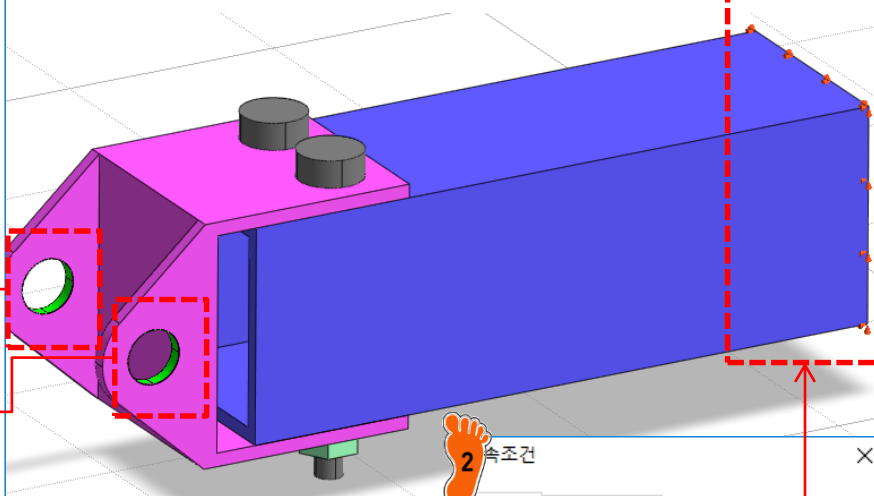
X 0 N

Y -800 N

Z 0 N

하중세트 하중세트-1

확인 취소 적용



- 1 내부 면에 하중 적용
- 하중종류: 총합력
 - 하중크기: -800N(Y방향)

- 2 면에 핀구속 설정

구속조건

기본 고급 주기

이름 구속조건-1

대상형상

종류 면

1개 대상 선택됨

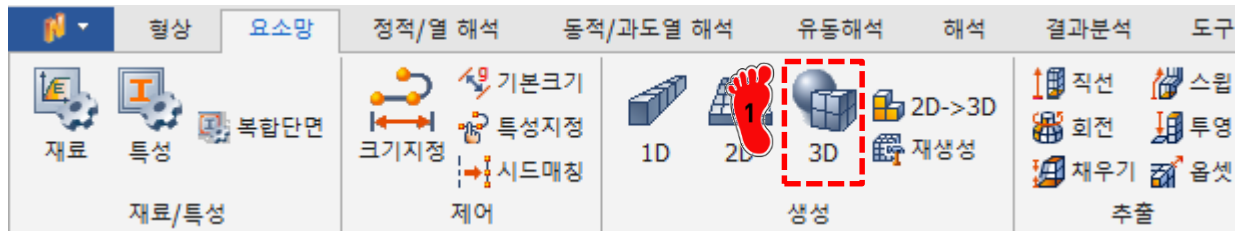
조건

고정구속 ☐ ☒ 핀구속 ☐ 회전구속

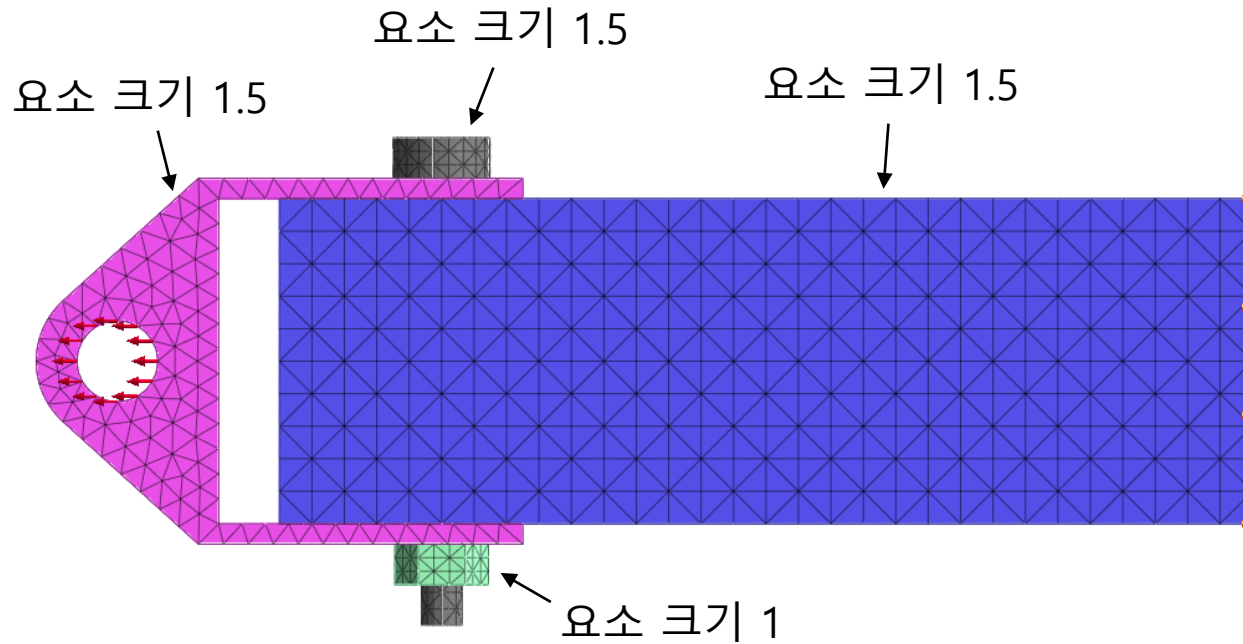
경계조건세트 경계조건세트-1

확인 취소 적용

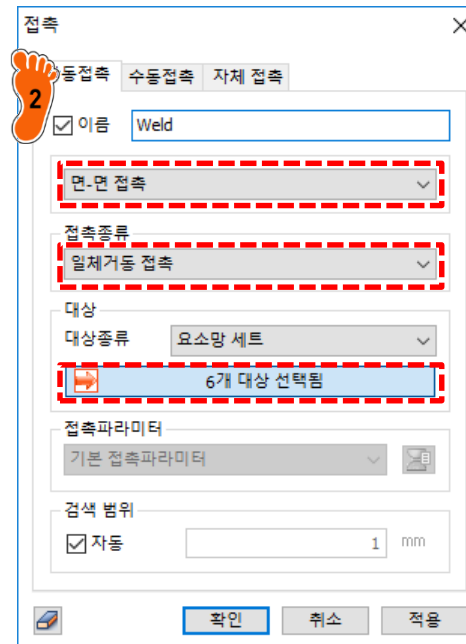
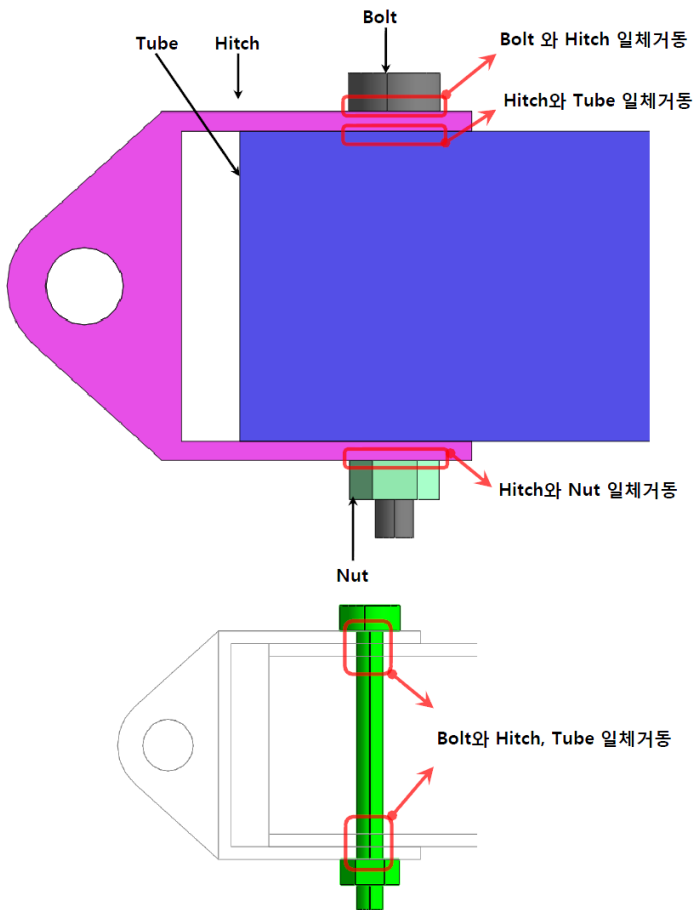
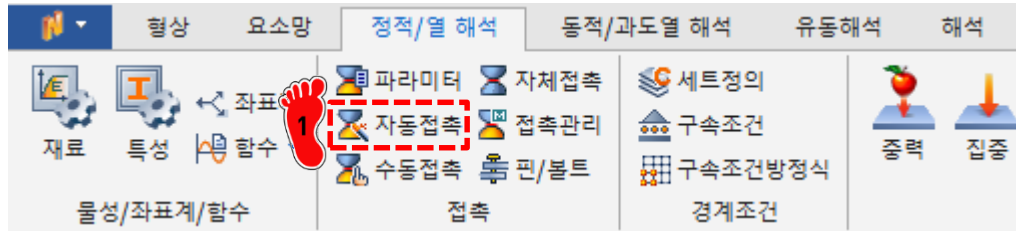
요소망 설정



1 3D 요소망 생성 기능을 이용하여 각 파트에 요소 생성



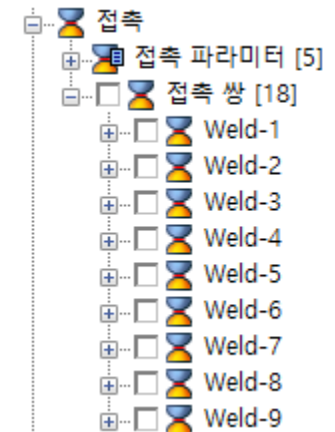
접촉 설정 [1]



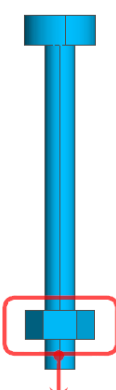
1 정적/열 해석 탭의 자동접촉 선택

2 이름을 설정하고 접촉 생성

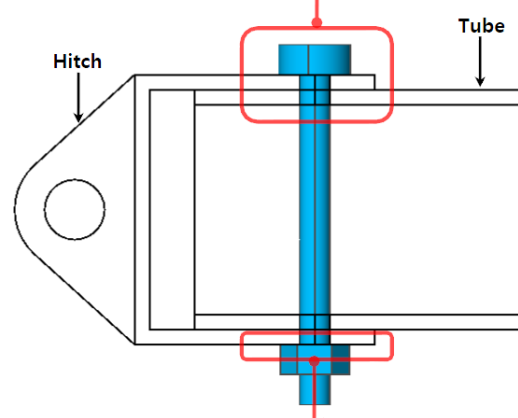
- 면-면 접촉
- 일체거동 접촉
- 모든 파트 선택



접촉 설정 [2]



접촉 종류	일체거동 접촉
기하형상	Bolt, Nut



접촉 종류	양방향 미끄러짐 접촉
기하형상	Hitch, Tube, Bolt



1

이름: Weld sliding

면-면 접촉

접촉 종류: **일체거동 접촉**

대상: 요소망 세트

4개 대상 선택됨

접촉 파라미터: 자동 접촉파라미터-1

검색 범위: ☒ 자동 1 mm

확인 취소 적용



2

이름: Weld sliding

면-면 접촉

접촉 종류: **양방향 미끄러짐 접촉**

대상: 요소망 세트

대상 선택

접촉 파라미터: 기본 접촉파라미터

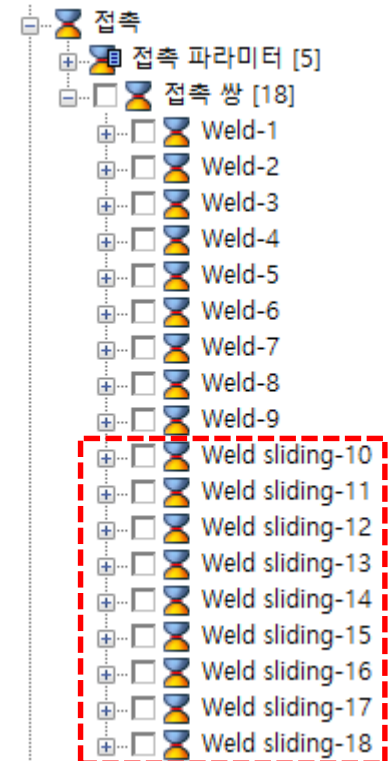
검색 범위: ☒ 자동 1 mm

확인 취소 적용

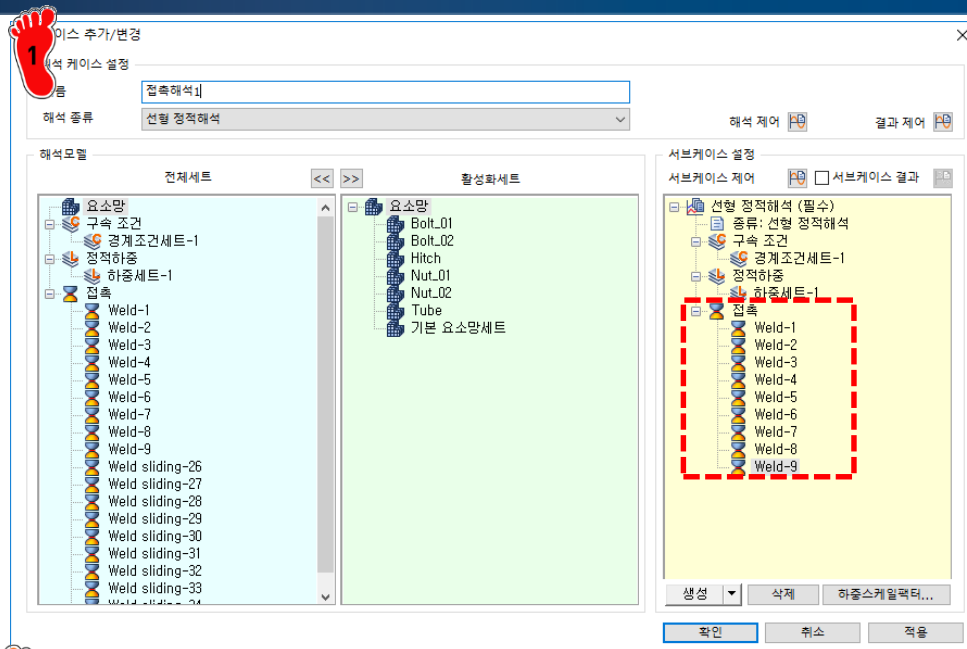
강체거동과 비교하기 위해
양방향 미끄러짐 접촉 생성

1 Bolt-Nut를 선택하여 일체
거동 접촉 생성

2 Hithch, Tube, Bolt 와 Hitch,
Nut에 대해 양방향 미끄러
짐 접촉 생성

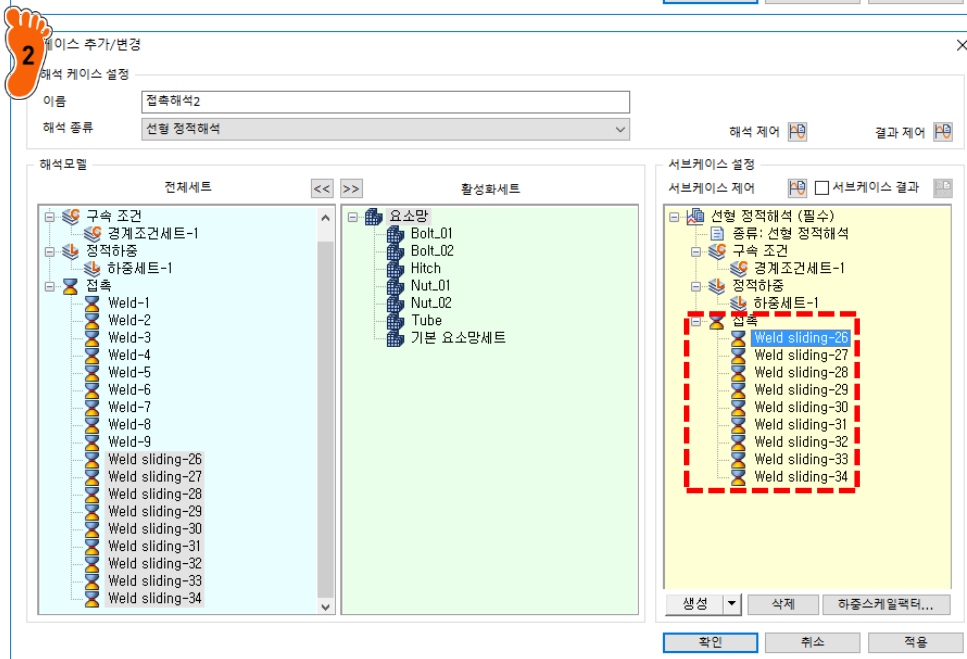


해석 케이스 정의 및 해석 실행



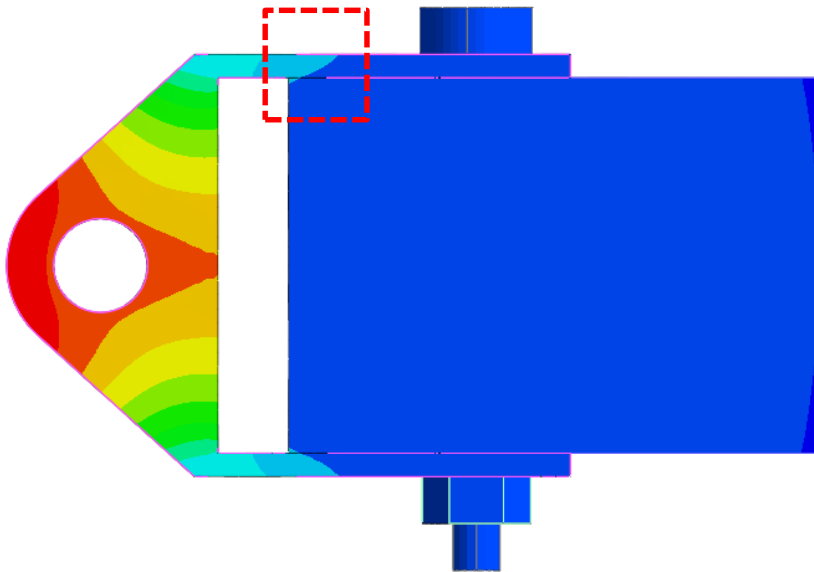
1 해석1: 강체거동 접촉만을 고려한 접촉에 대해 해석 수행

2 해석2: 양방향 미끄러짐을 포함한 접촉에 대해 해석 수행

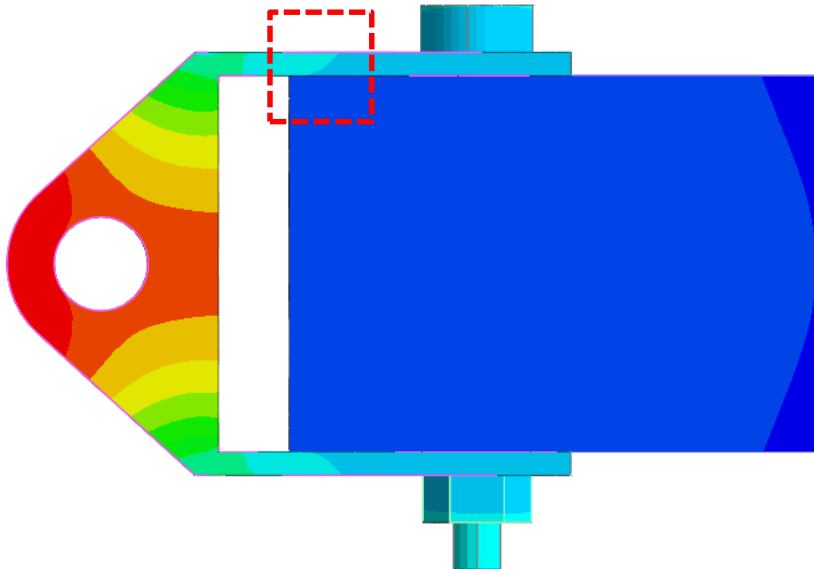


해석 결과: 변위

강체 거동
접촉



양방향
미끄러짐
접촉



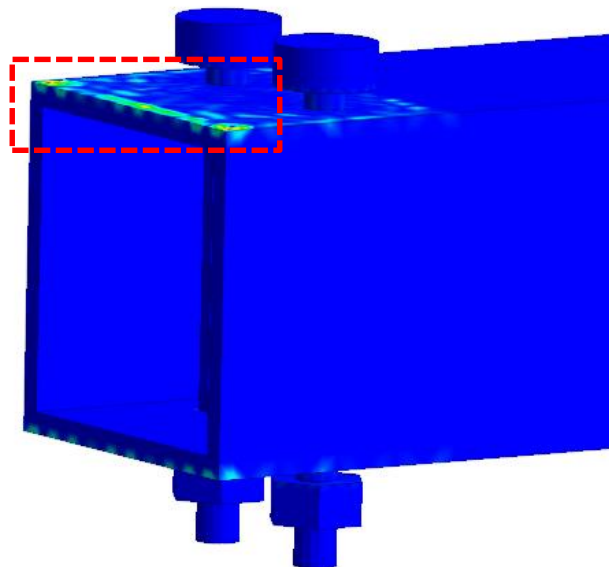
강체 거동 접촉의 경우 파트
간의 변위가 연속적으로 나
타남



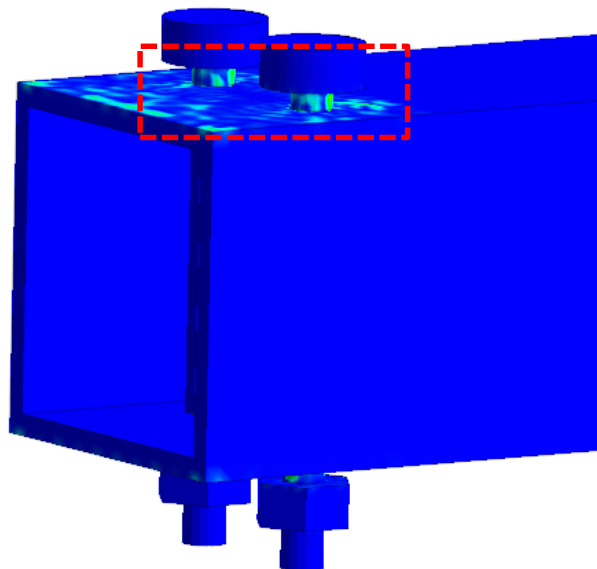
양방향 미끄러짐을 고려한
경우 파트간에 변위가 불연
속 하게 나타남

해석 결과: 접촉력

강체 거동
접촉



양방향
미끄러짐
접촉



'해석 결과 추가' 에서 접촉
반력 추가



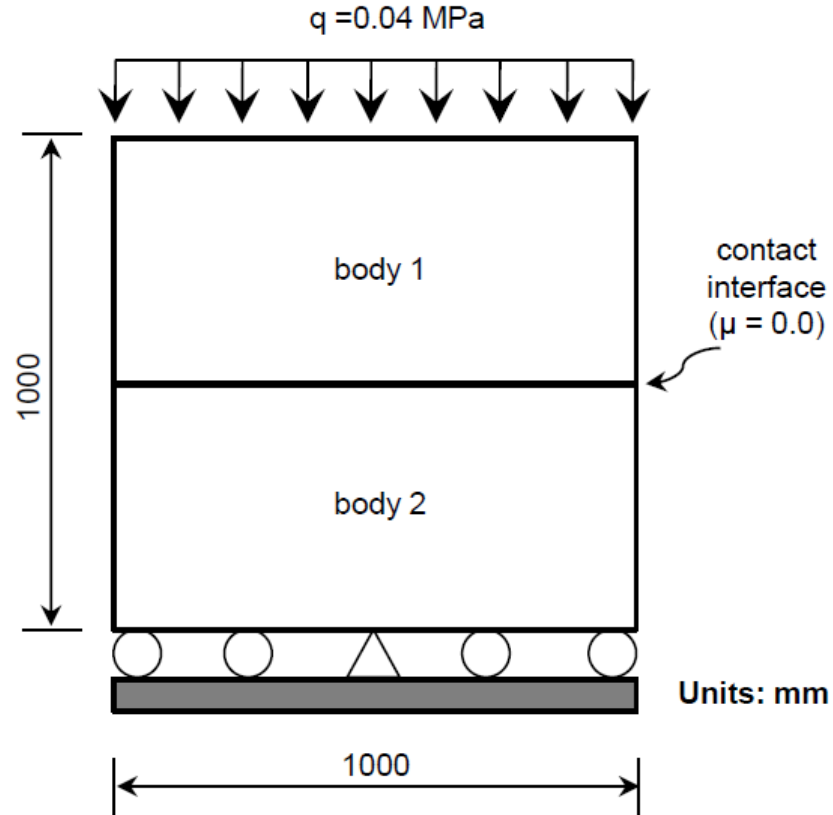
강체 거동 접촉의 경우
Hitch 파트와 Tube 파트가
접촉되는 부위에 접촉력이
나타남



양방향 미끄러짐을 고려한
경우 Hitch 파트와 Bolt 파
트가 접촉되는 부위에 접
촉력이 크게 나타남

숙제

다음 그림과 같이 두 개의 파트가 접촉을 할 때 요소 종류에 따른 접촉력을 계산하시오(요소 사이즈 다르게). 1) 삼각형 요소, 2) 사각형 요소



Material data	Young's modulus	$E_{\text{punch}} = E_{\text{foundation}} = 100 \text{ MPa}$
	Poisson's ratio	$\nu_{\text{punch}} = \nu_{\text{foundation}} = 0.3$