Joint Stiffness 해석

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

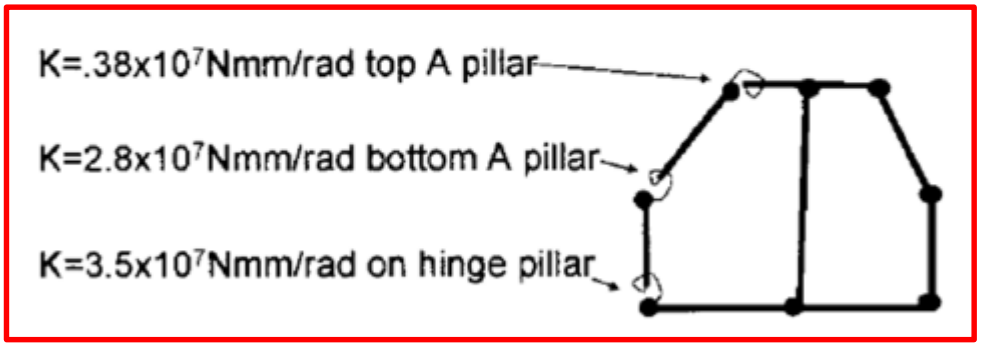
목차

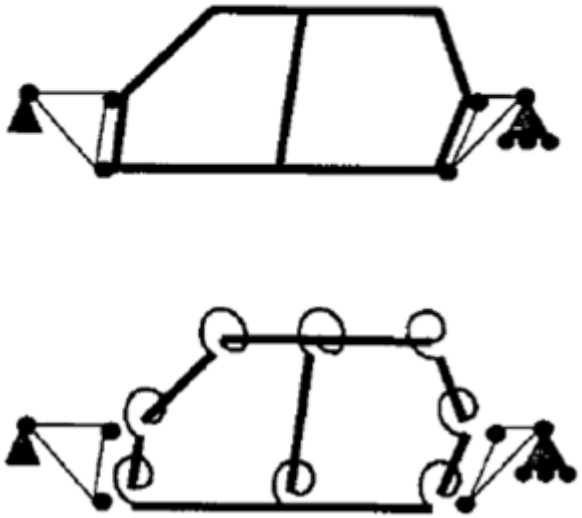
- 예제 문제
  - Joint stiffness analysis
- 해석 프로세스
  - Component-geometry 생성
  - Materials and properties
  - Component-mesh 생성
  - Load collectors-boundary conditions 설정
  - Load collectors-load 설정
  - Load steps 정의 및 해석
  - 후처리

예제: JOINT STIFFNESS (1)

How to calculate rotational joint stiffness?

- F = 6680 N → δ = 6.4 mm
  - K = 1044 N/mm per side = 2088 N/mm bending stiffness
  - 30% of 7000 N/mm target
  - Twice the actual stiffness: too stiff ?
- Modified model with flexible joints

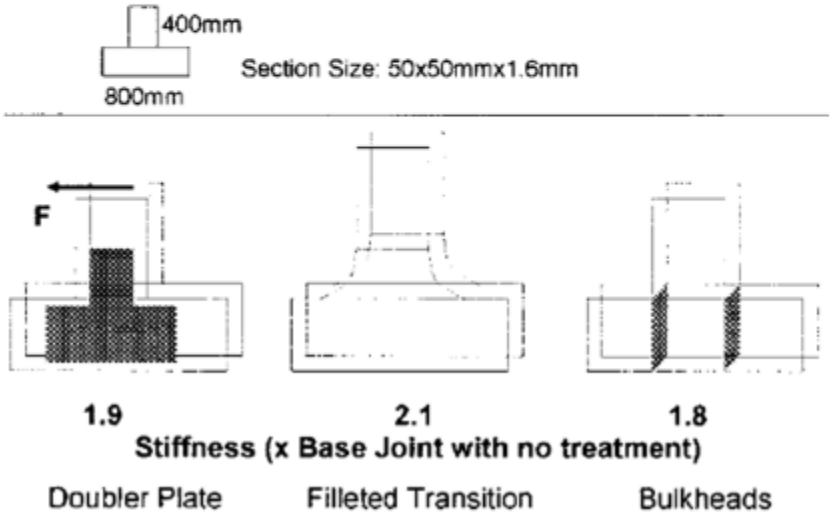


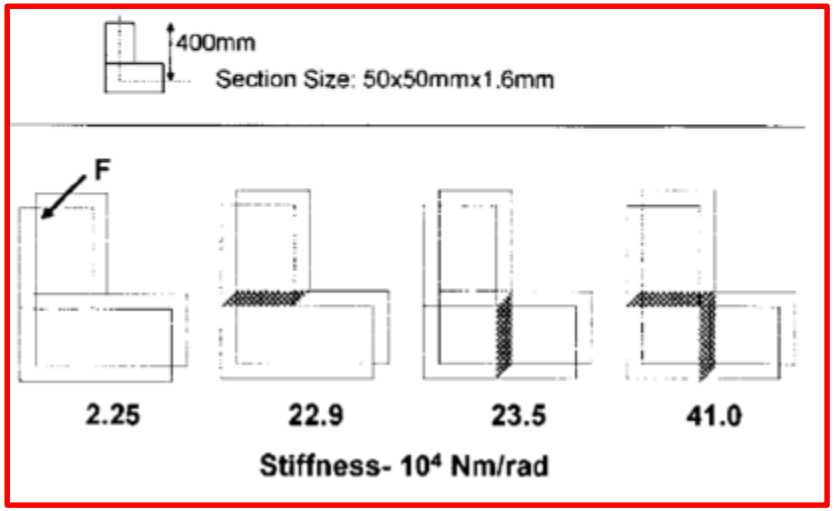


- F = 6680 N → δ = 7.7 mm
  - K = 1735 N/mm bending stiffness

예제: JOINT STIFFNESS (2)

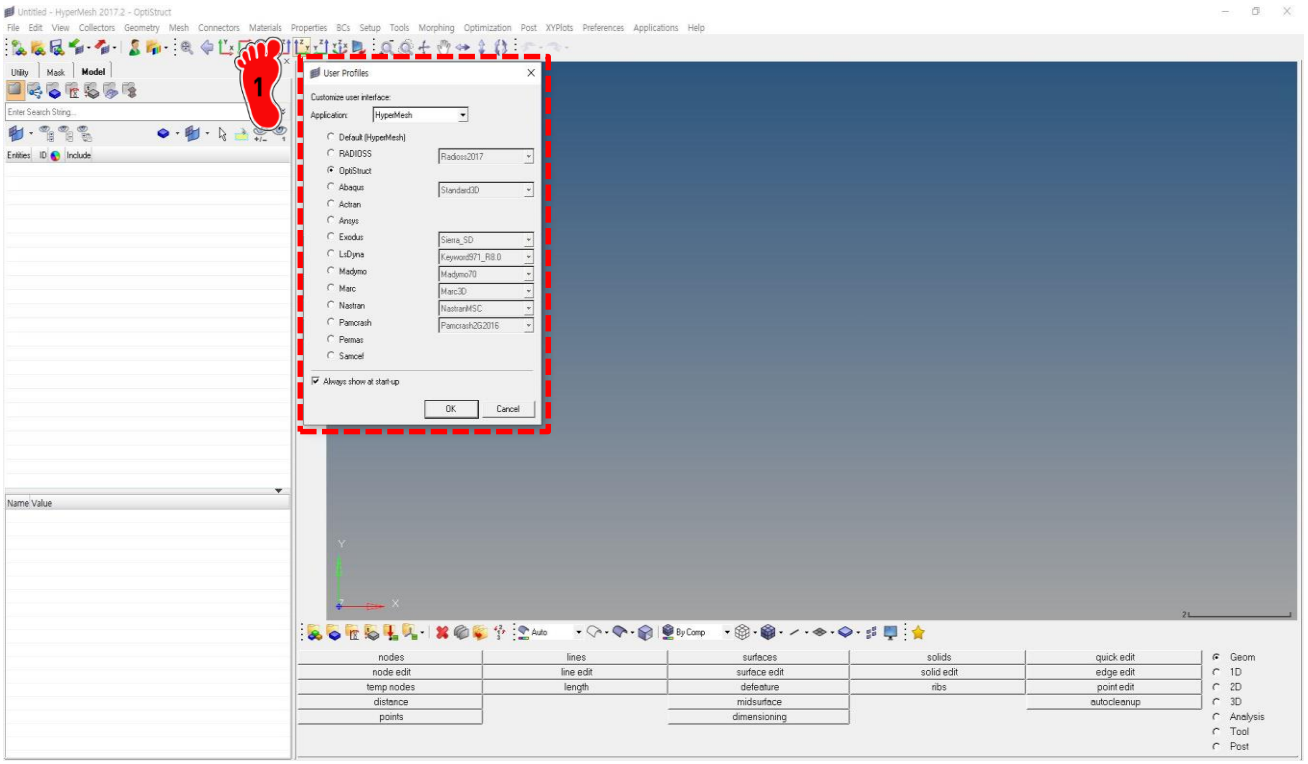
- Joint rigidity in-plane bending
  - Mass penalty
  - Additional load path
- Effect of added bulkhead on out-of-plane joint rigidity





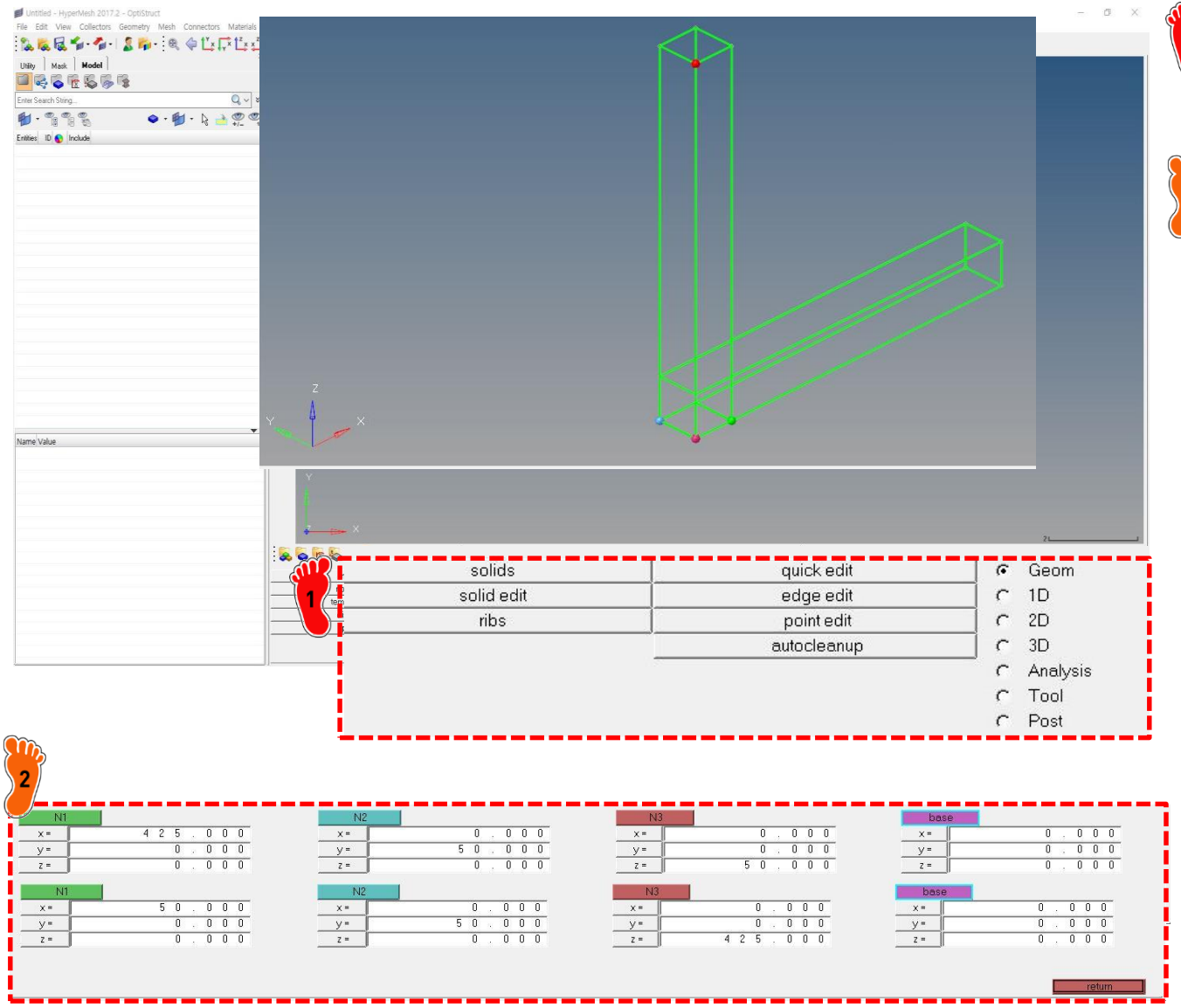
JOINT STIFFNESS
쉘 요소

기하형상 생성 (1)



1 OptiStruct 선택, OK

기하형상 생성 (2)



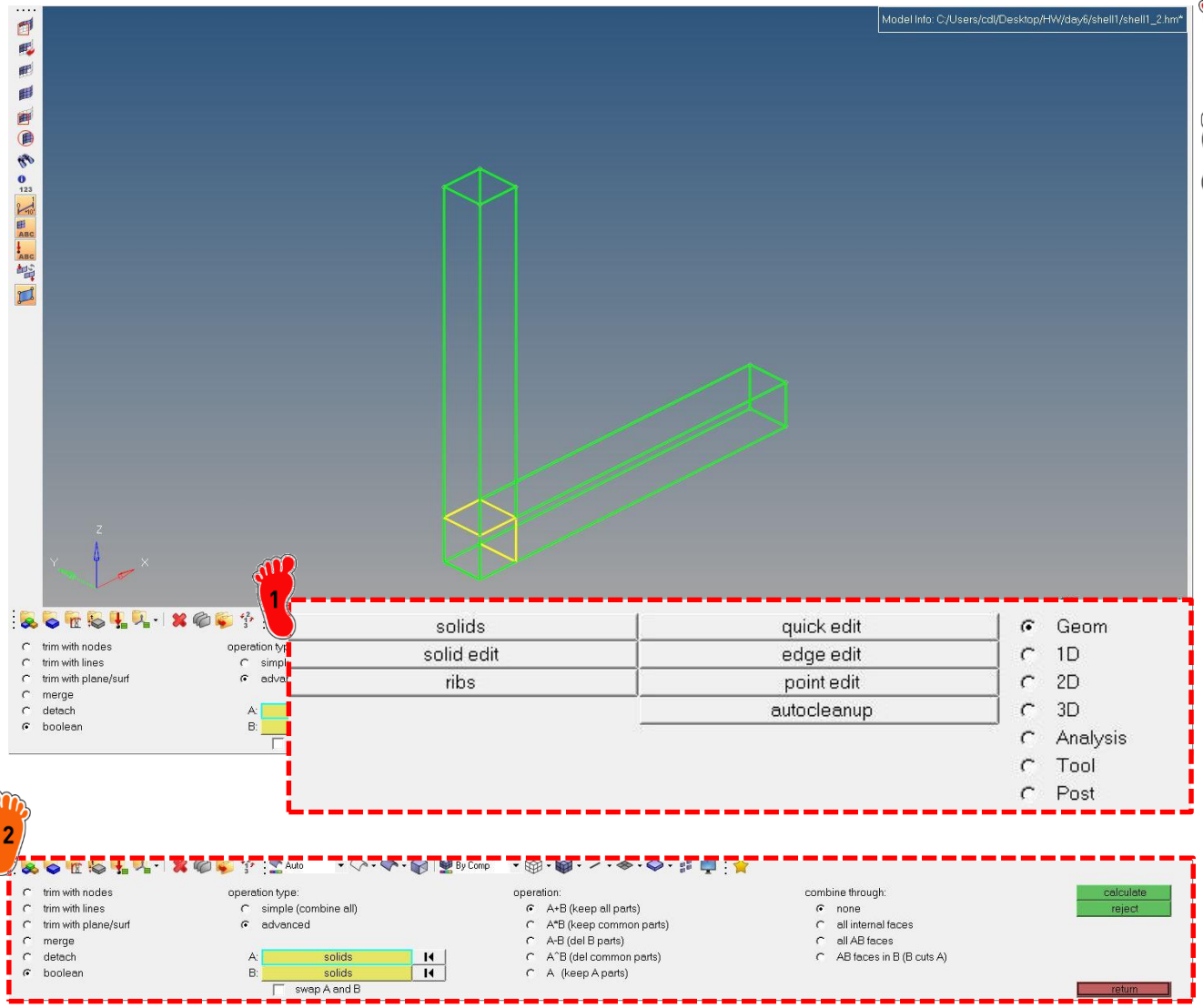
1 'Geom' -> 'solids' 클릭

2 base (0,0,0)
N1 : (425,0,0)
N2 : (0,50,0)
N3 : (0,0,50)

base (0,0,0)
N1 : (50,0,0)
N2 : (0,50,0)
N3 : (0,0,425)

인 두 개의 솔리드 생성

기하형상 생성 (3)



1 'Geom' -> 'solid edit' 클릭

2 boolean 선택
advanced 선택

A,B항목에 각각의 솔리드 선택

A+B , none 선택 후 calculate

재료 물성 및 특성 입력

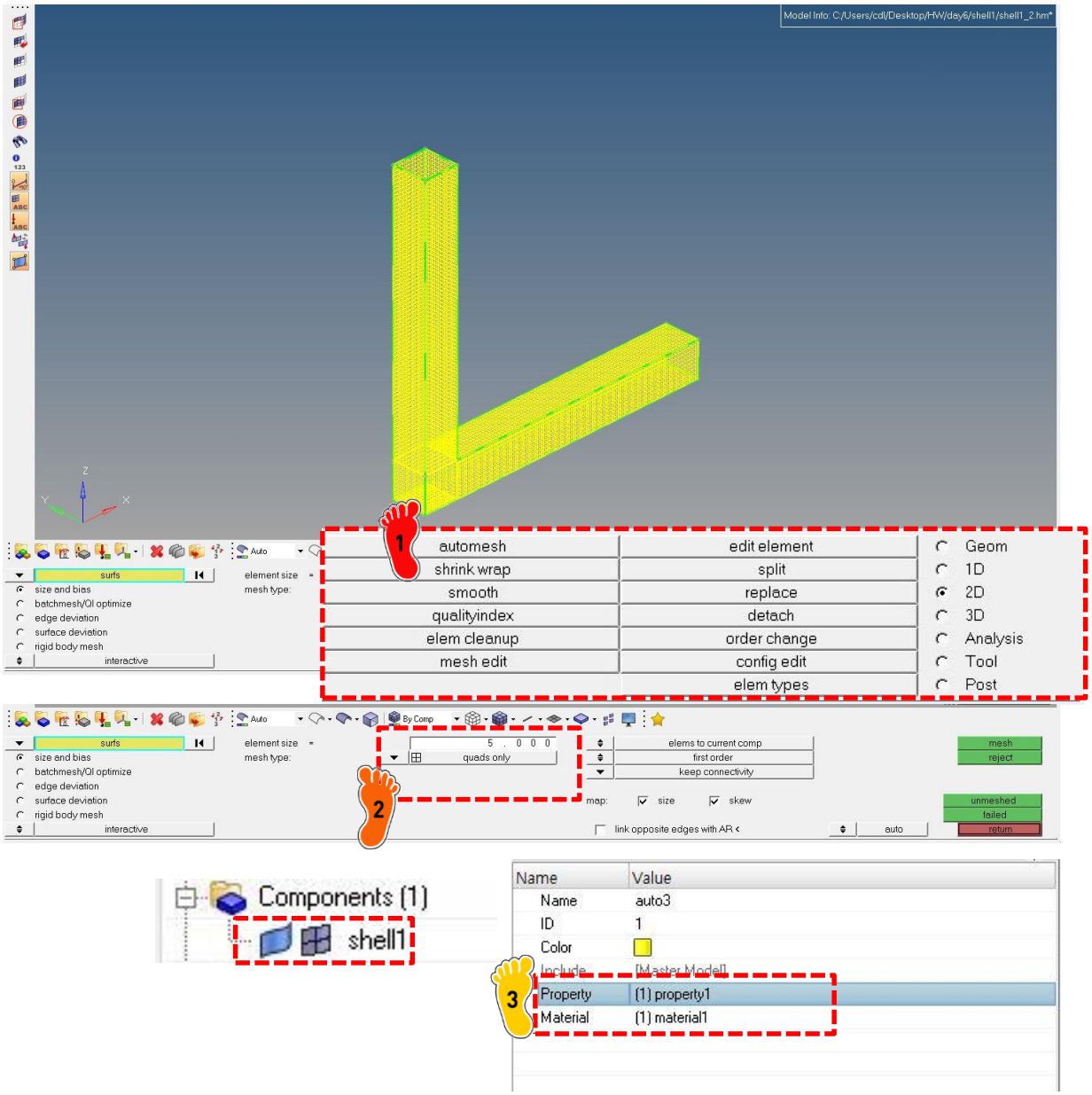
1 재료 생성 및 물성치 입력

2 property 생성 후
재료 및 두께 설정

Solver Keyword	MAT1
Name	material1
ID	1
Color	
Include	[Master Model]
Defined	☑
Card Image	MAT1
User Comments	Hide In Menu/Export
E	210000.0
G	
NU	0.3
RHO	

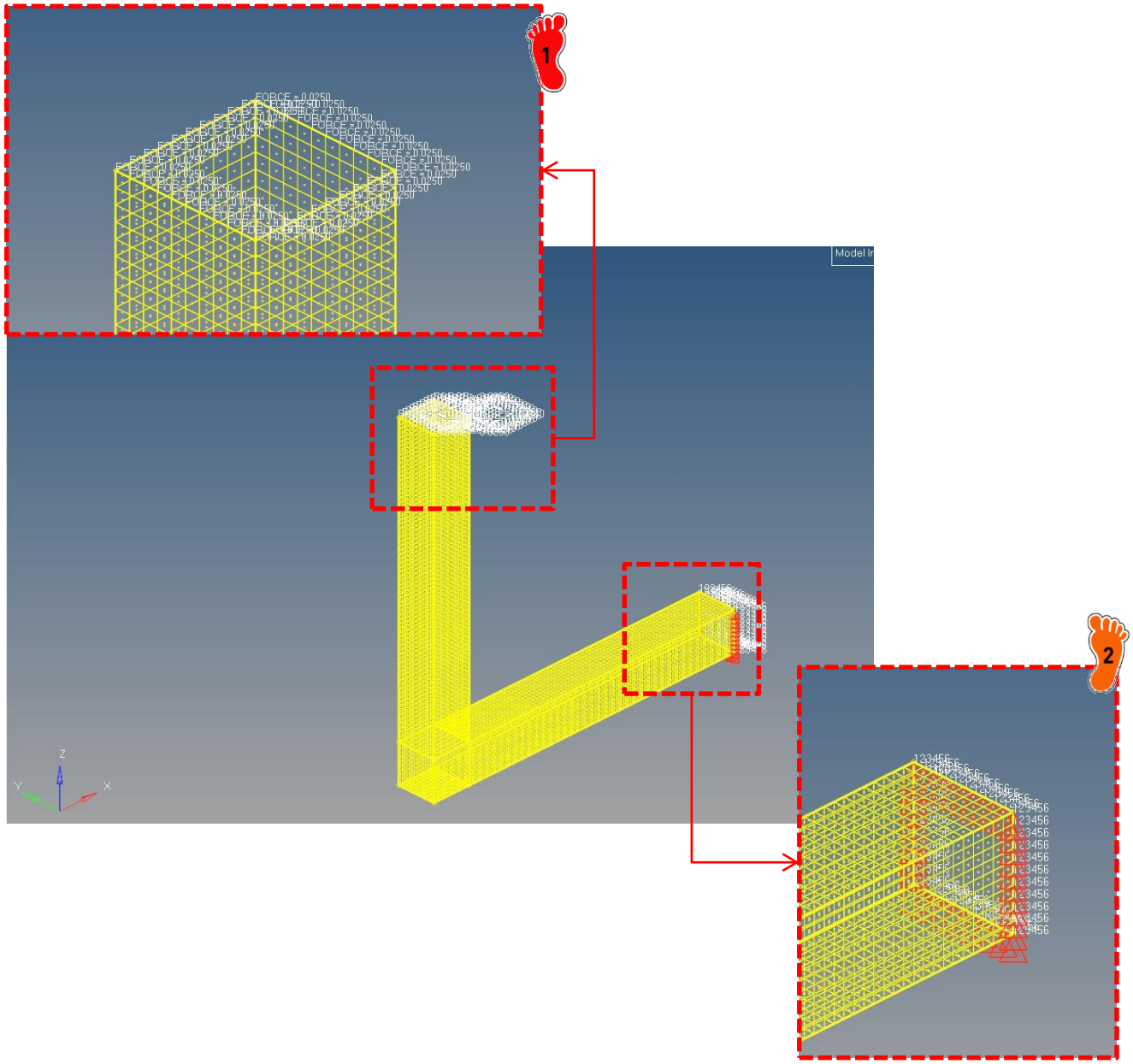
Name	Value
Solver Keyword	PSHELL
Name	property1
ID	1
Color	
Include	[Master Model]
Defined	☑
Card Image	PSHELL
Material	(1) material1
User Comments	Hide In Menu/Export
T	1.6

요소망 생성



1. '2D' -> 'automesh' 클릭
2. 최 외곽 면들을 이용하여 요소 크기 5인 요소망 생성
3. 생성한 요소망에 특성 설정

구속조건 및 하중조건 설정

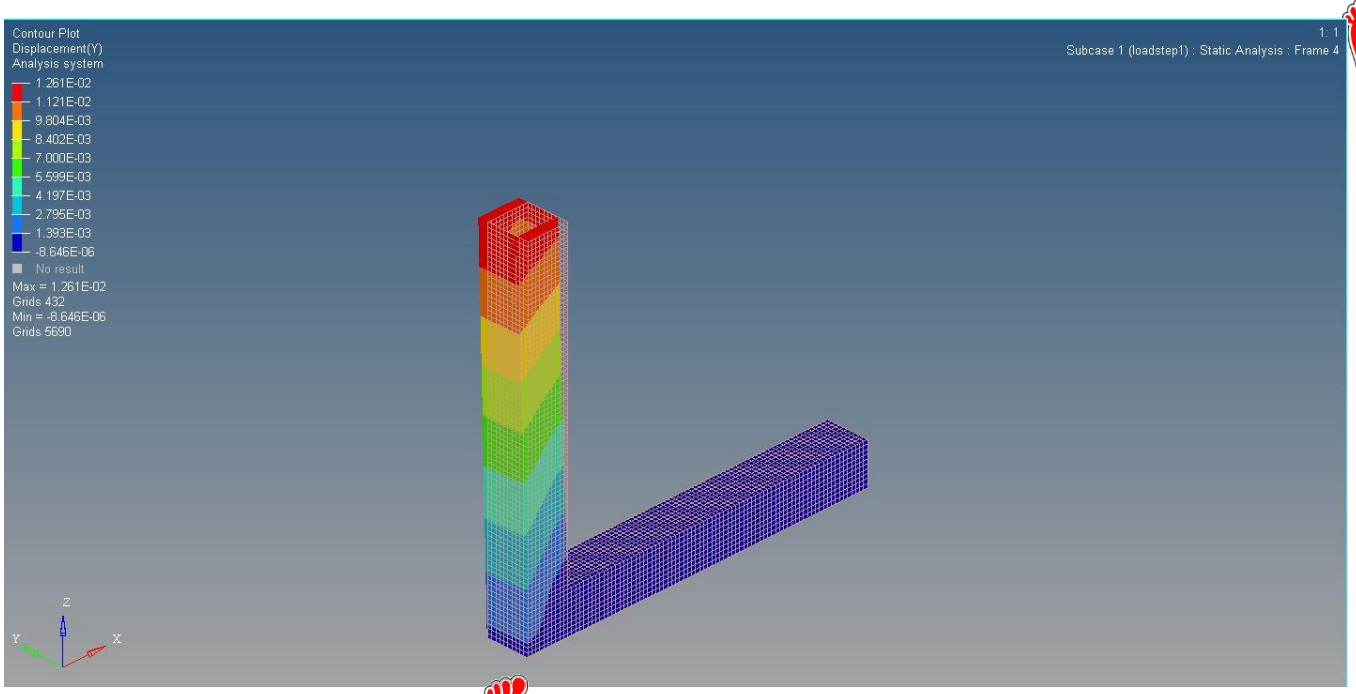


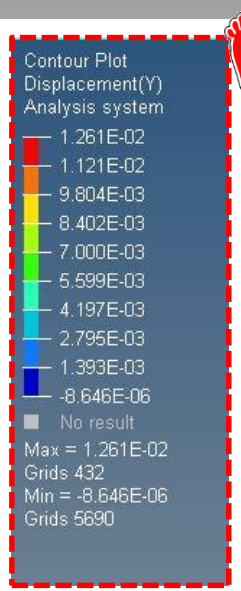
1 평면에 수직한 방향(y)으로 하중(1N) 입력

2 고정구속으로 구속조건 설정

3 선형 정적해석 수행

해석 결과





하중 방향 최대 변위는 1.261e-2 mm,
최대 회전은 3.152e-5 rad 확인

l=1.261e-2mm

r=400mm

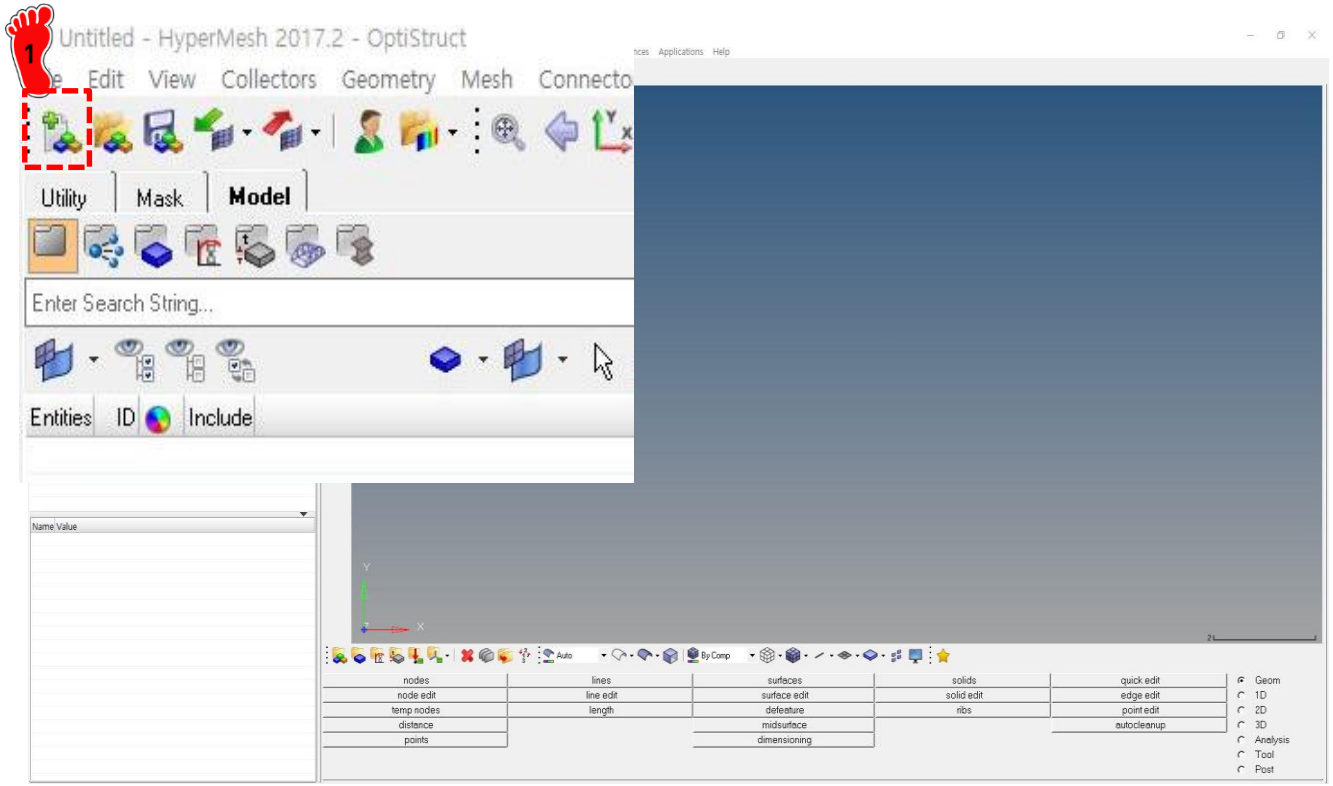
θ

$$\theta \approx \frac{l}{r}$$

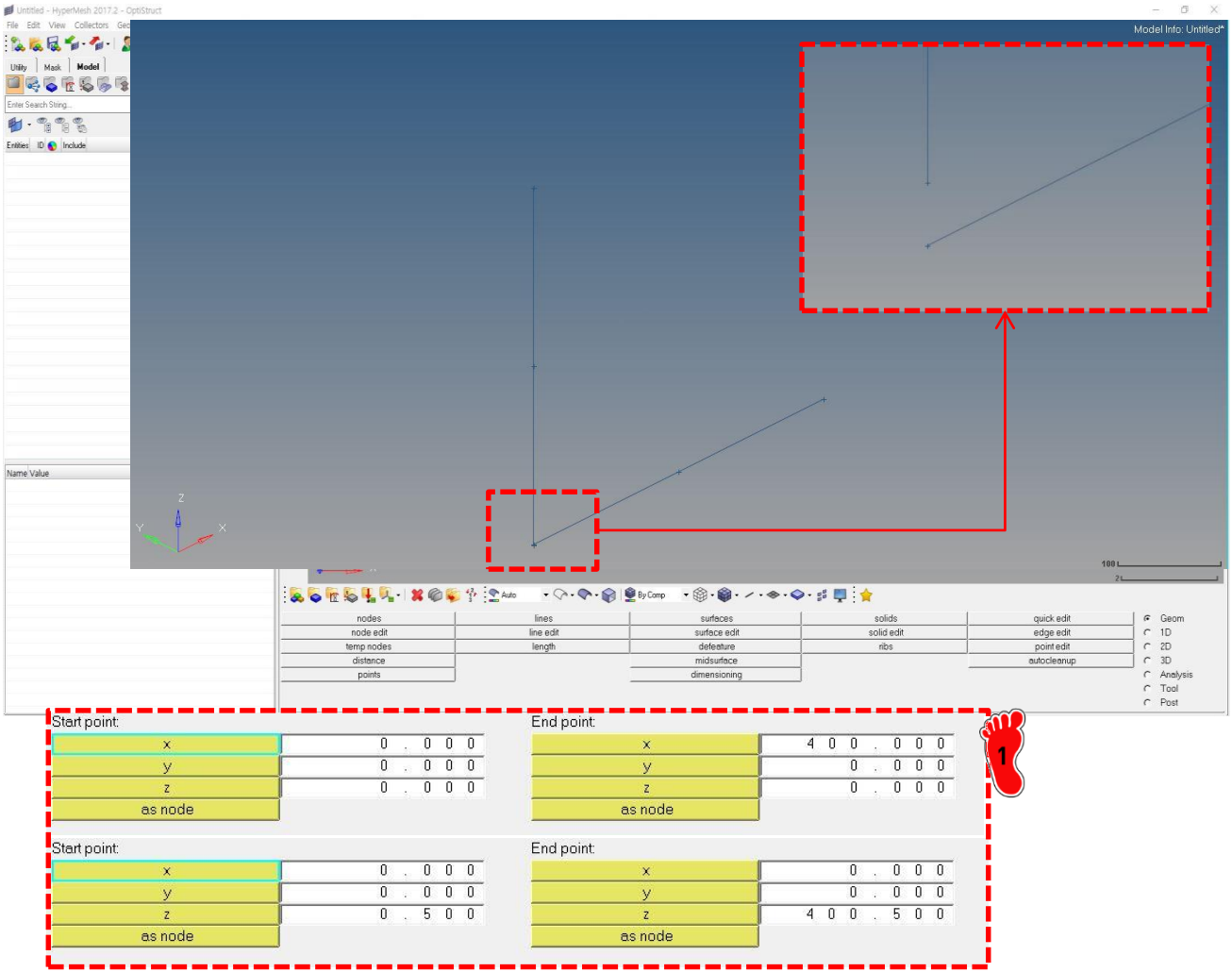
JOINT STIFFNESS
빔 요소

기하형상 생성 (1)

1 New model 클릭



기하형상 생성 (2)



1 'Geom' -> 'lines' 클릭
가로 세로 400 mm 인 ㄴ 자 형상을 생성

스프링을 부착할 부분을 0.5 mm 정도로 떨어트림

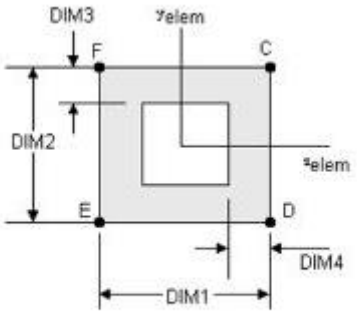
재료 물성 및 특성 입력

1 Box 형상의 beamsection 생성

2 재료 생성 및 물성치 입력

3 특성 생성

Name	beamsection1
ID	1
Include	[Master Model]
Collector	(1) beamsectcol1
Config	Standard
Section Type	BOX
Parameter Definitions	
Dimension DIM1	50.0
Dimension DIM2	50.0
Thickness DIM3	1.6
Thickness DIM4	1.6
Data	
Area	309.76
Centroid: Local Yc	0.0
Centroid: Local Zc	0.0
MOI: Local IY	121070.72853333
MOI: Local IZ	121070.72853333
MOI: Local IYZ	0.0
MOI: Centroidal Iy	121070.72853333
MOI: Centroidal Iz	121070.72853333
MOI: Centroidal Iyz	0.0
MOI: Principal Iv	121070.72853333
MOI: Principal Iw	121070.72853333
MOI: Principal Angle	0.0
Shear Center: Local Ys	0.0
Shear Center: Local Zs	0.0

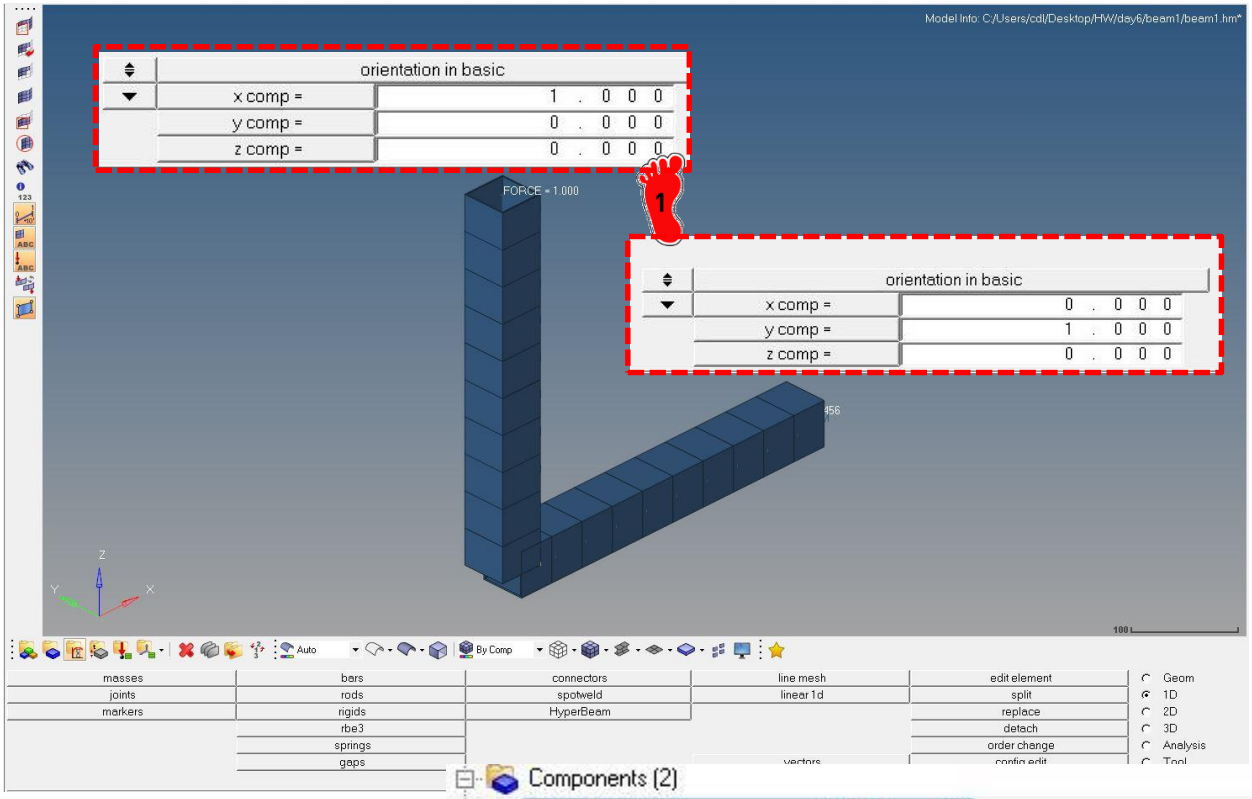


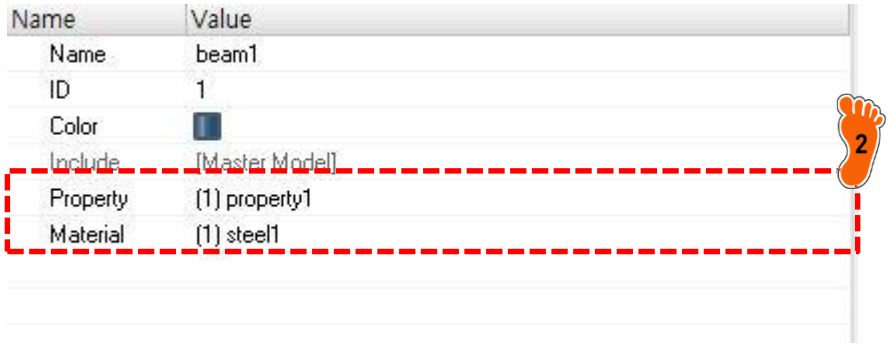
Type = BOX

Name	Value
Solver Keyword	MAT1
Name	steel1
ID	1
Color	
Include	[Master Model]
Defined	
Card Image	MAT1
User Comments	Hide In Menu/Export
E	210000.0
G	
NU	0.3
RHO	
A	
TREF	
GE	

Name	Value
Solver Keyword	PBEAM
Name	property1
ID	1
Color	
Include	[Master Model]
Defined	
Card Image	PBEAM
Material	(1) steel1
User Comments	Hide In Menu/Export
Beam Section	(1) beamsection1
PBEAM_CARD3 =	0
Aa	309.76
I1a	121070.72853333
I2a	121070.72853333
I12a	0
Ja	181407.8464

요소망 생성



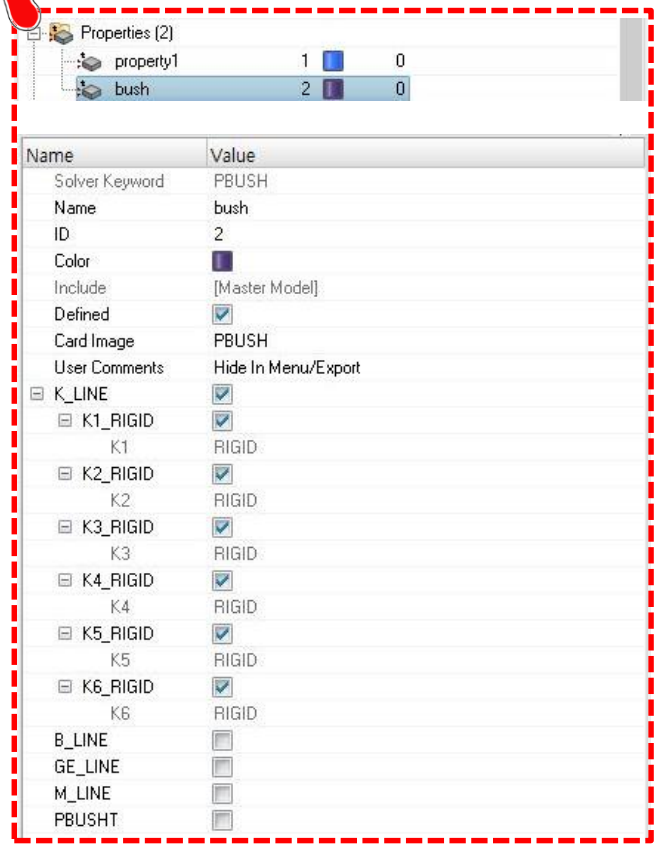


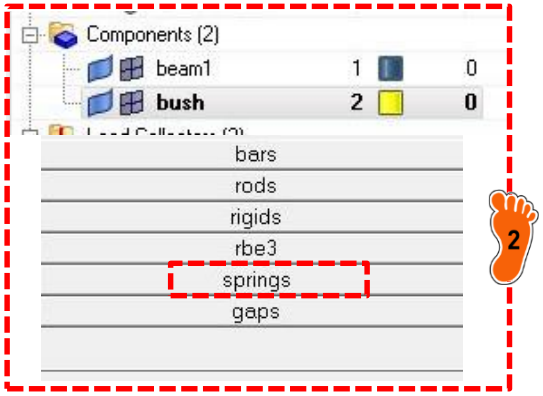
1 '1D' –> 'line mesh' 활용하여 크기 40의 요소망 생성

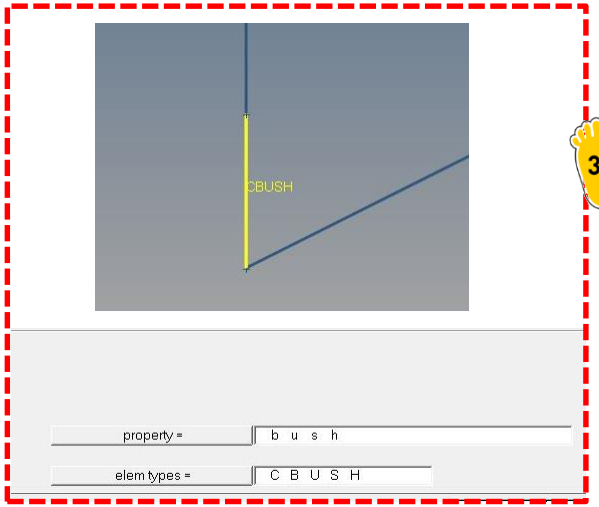
빔 단면의 로컬 y축 방향을 고려하여 각각 생성

2 생성한 요소망에 property 설정

부쉬 생성(1)







1 bush property 생성

각 자유도에 맞는 강성 값 입력

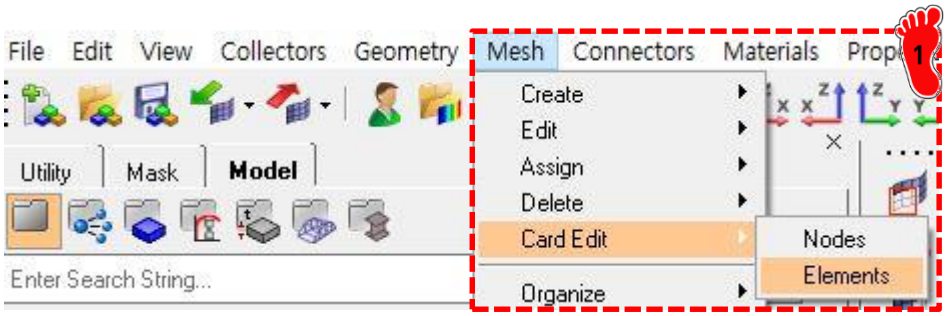
강성 값은 RIGID 선택

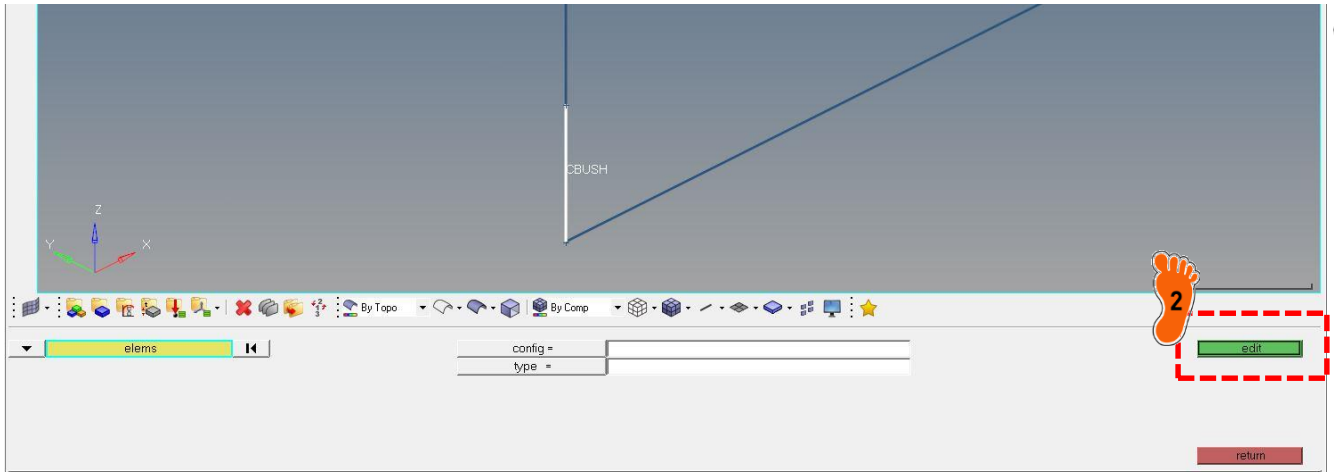
2 bush component 생성 후 '1D' -> 'springs' 클릭

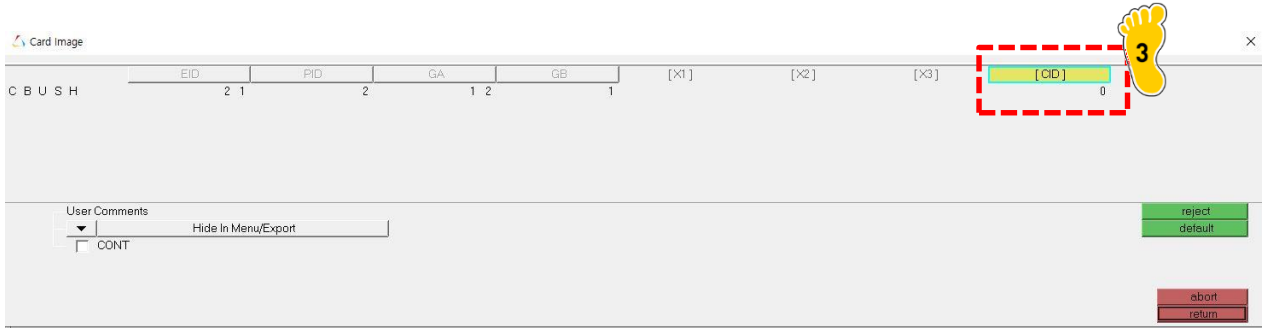
3 property = bush
elem types = CBUSH

연결 부위 절점 두개를 선택하여 부쉬 생성

부쉬 생성(2)





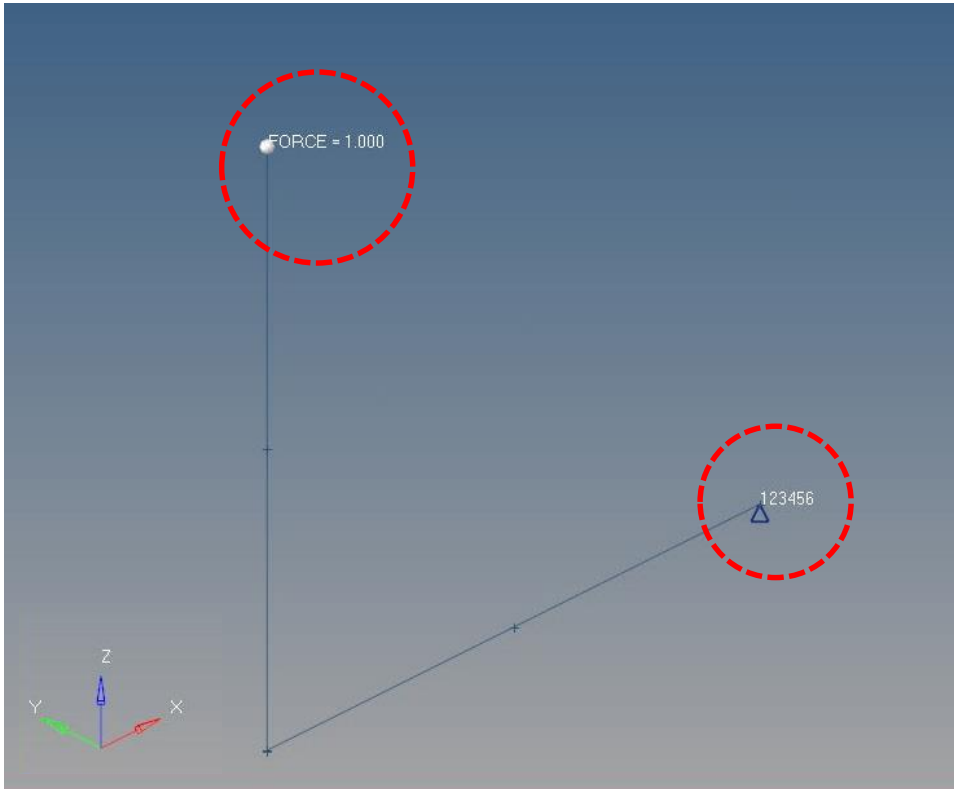


1 주 메뉴 창에서 'Mesh' ->'Card Edit' -> 'Elements' 클릭

2 부쉬 요소 선택 후 'edit'

3 'CID' 항목에 0 입력 (부쉬요소의 좌표계 설정, 0 : 기본좌표계)

구속조건 및 하중조건 설정

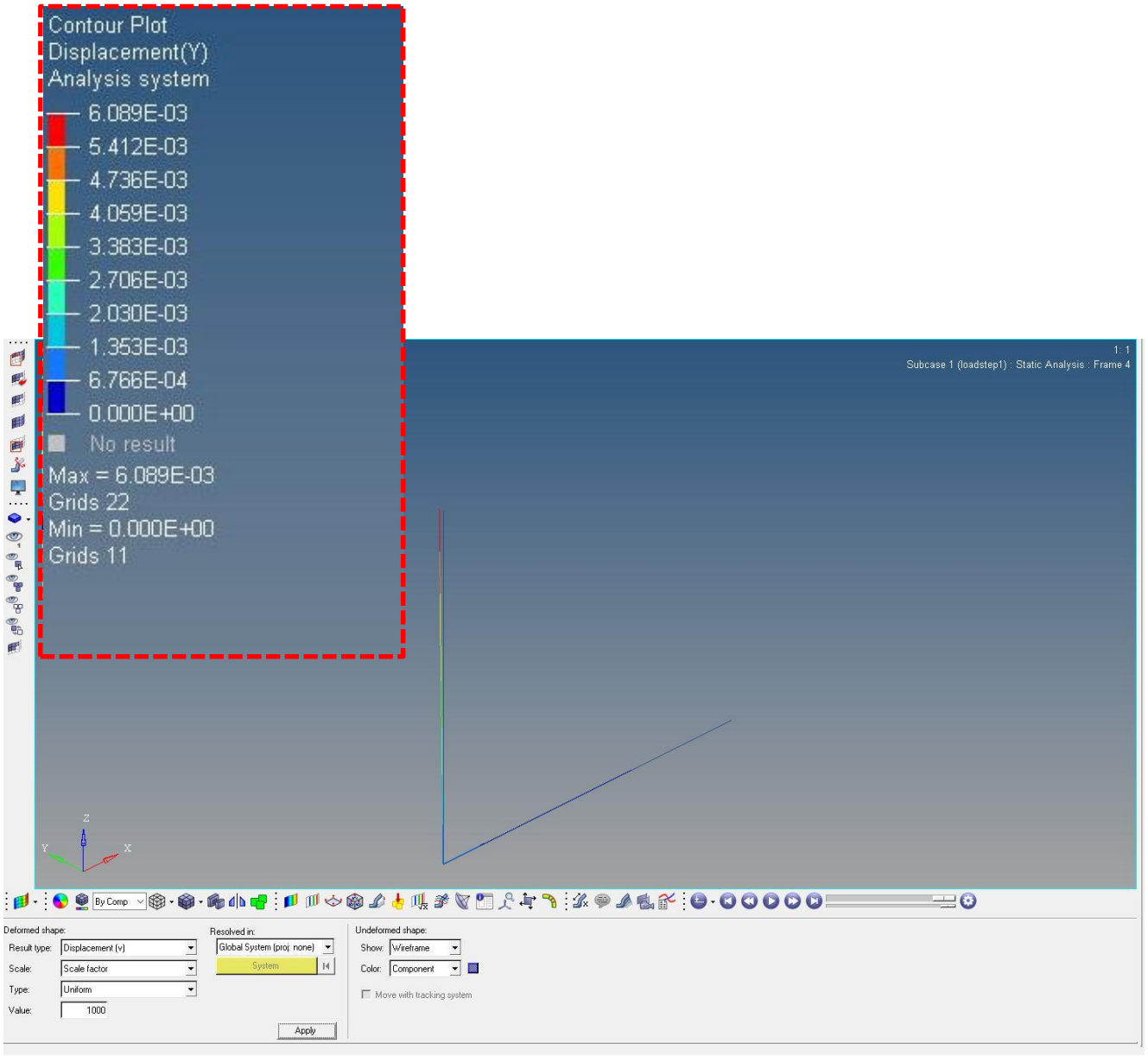


1 예제와 동일하게 구속 조건 및 하중 조건 설정

구속 조건은 고정 구속
하중 조건은 면외 방향(y)으로 단위하중 입력

2 선형정적해석 수행

해석 결과



1

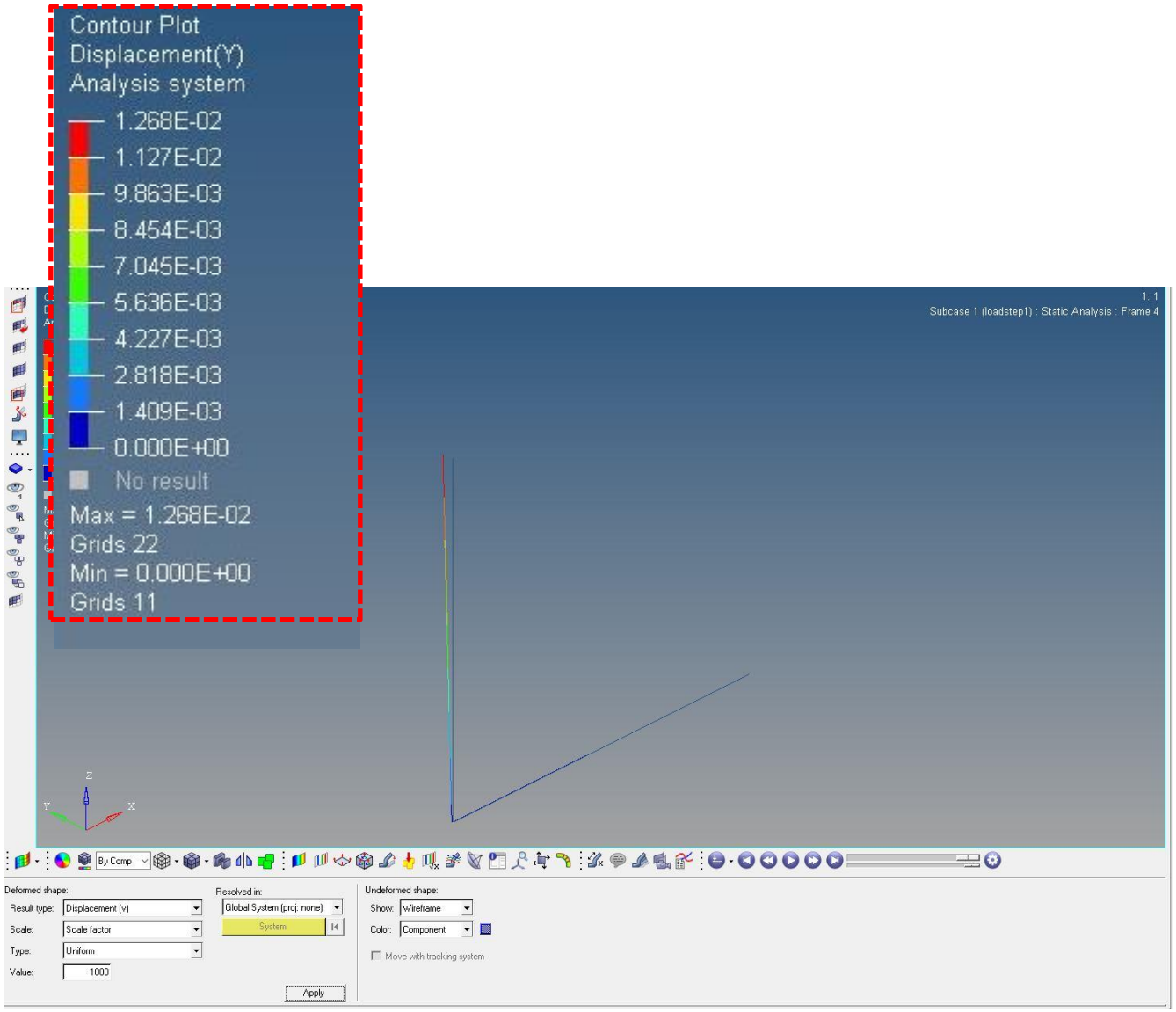
최대 변위는 6.089e-3 mm 로 기존 쉘 요소의1.261e-2 mm 보다 강성이 높은 것으로 확인

따라서 스프링 강성을 변화시키면서 기존 쉘 요소의 변위를 갖는 강성을 시행착오법으로 구함
(K4 스프링 강성 변경)

찾은 스프링 강성 값은 2.43e7 N/rad

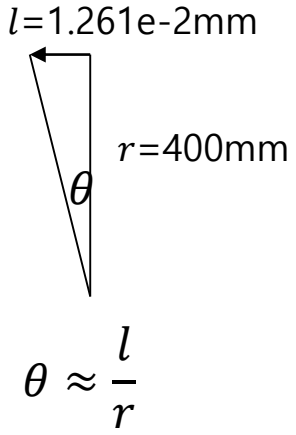
Name	Value
Solver Keyword	PBUSH
Name	bush
ID	2
Color	
Include	[Master Model]
Defined	☑
Card Image	PBUSH
User Comments	Hide In Menu/Export
K_LINE	☑
K1_RIGID	☑
K1	RIGID
K2_RIGID	☑
K2	RIGID
K3_RIGID	☑
K3	RIGID
K4_RIGID	☐
K4	2.43e7
K5_RIGID	☑
K5	RIGID
K6_RIGID	☑
K6	RIGID
B_LINE	☐
GE_LINE	☐
M_LINE	☐
PBUSHT	☐

해석 결과: 스프링 상수 변경



1 스프링 상수 변경 후 최대 변위는 1.268e-2 mm 로 기존 쉘 요소의 1.261e-2 mm 과 유사한 것을 확인

스프링 상수 변경 후 회전변위 계산 결과는 3.170e-5 rad

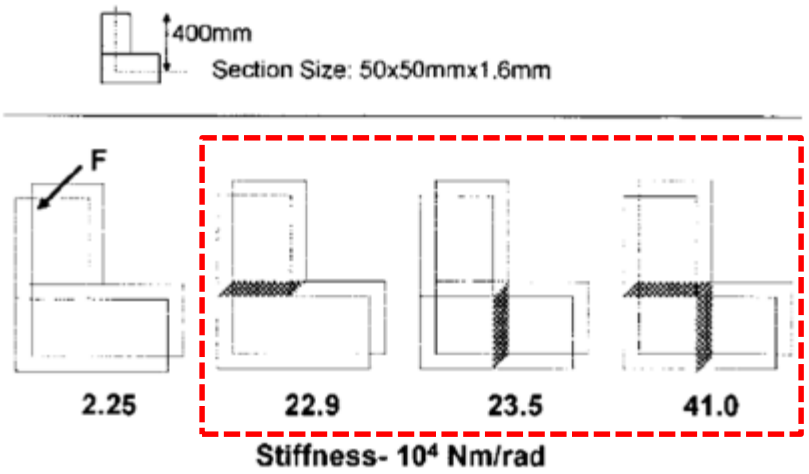


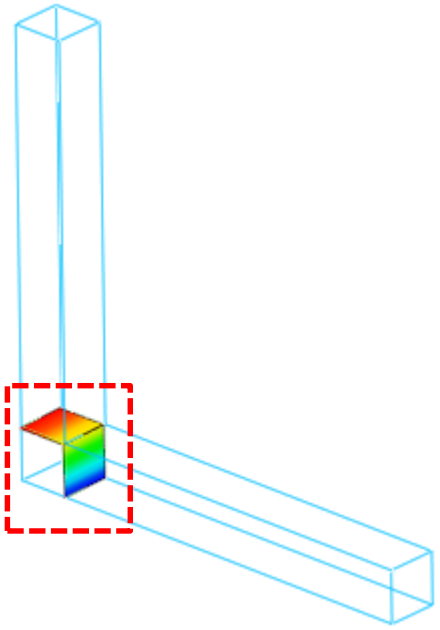
$$\theta \approx \frac{l}{r}$$

연습문제: BULKHEAD 효과

- Bulkhead 를 모델링하여 해석 수행 후 강성 비교

- Effect of added bulkhead on out-of-plane joint rigidity





해석 결과 (T/θ)	1.06	1.84	1.86	1.94

비선형 거동을 고려한 조인트 설계

비선형 정적 해석 개요

선형 거동이란?

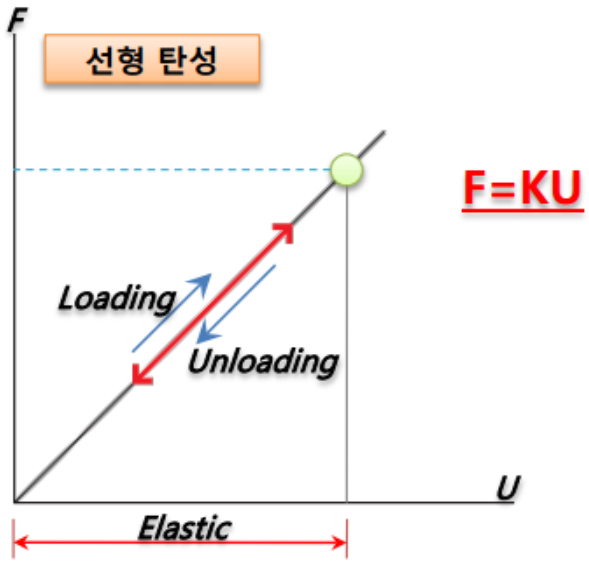
➢ 유한요소 해석에서 가장 기본이 되는 식은 다음과 같다.

$$\{F\} = [K]\{U\}$$

{F} : 하중 벡터
{U} : 변위 벡터
[K] : 강성 행렬(Stiffness Matrix)

➢ **강성행렬이 일정한 값**을 가지는 경우 하중과 변위는 선형 관계에 있다고 한다.

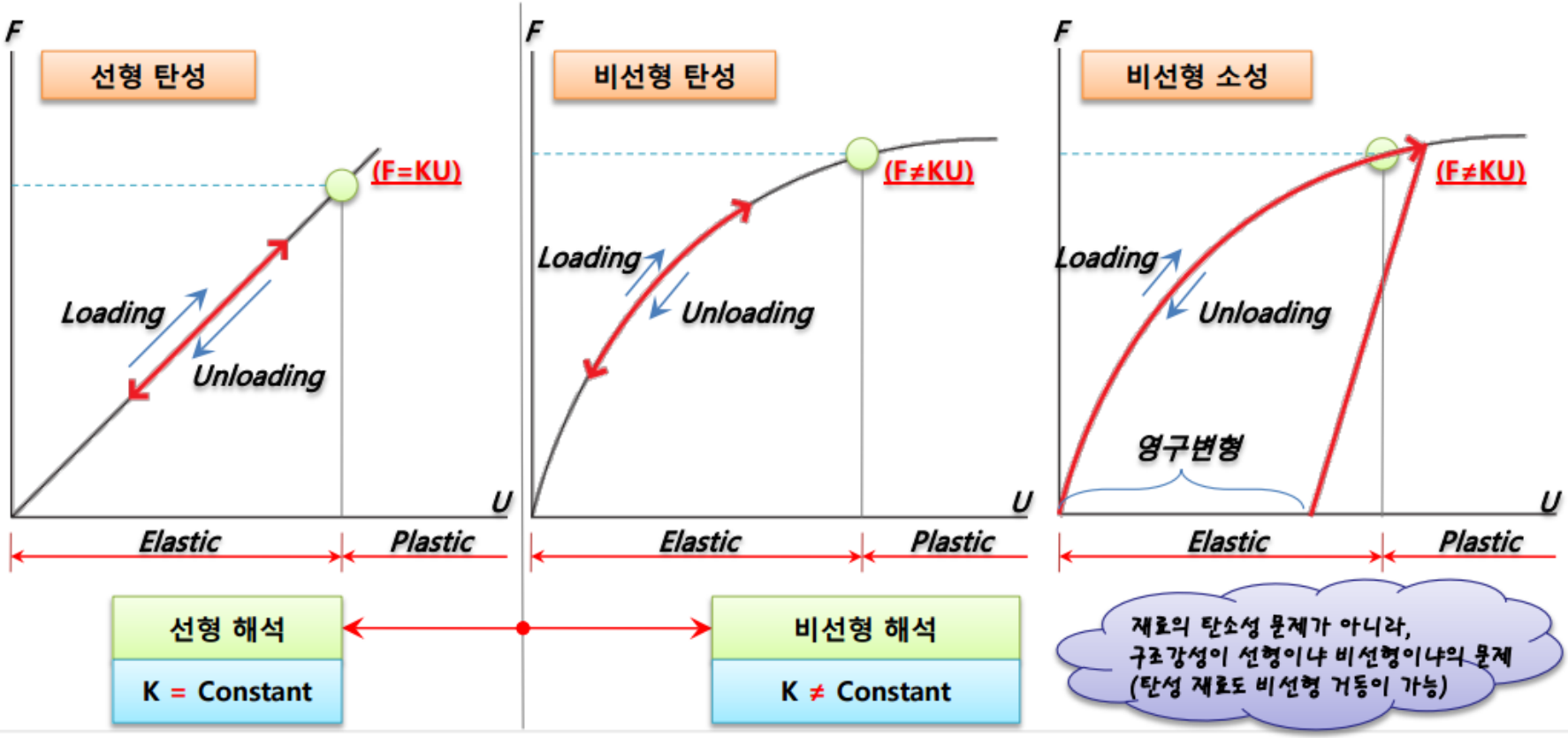
- 하중-변위 관계식이 선형 조건
- 변형 및 변형율이 미소한 경우에 적용
- 요소의 적합 및 구성 방정식이 선형
- 강성행렬이 항상 일정
- 항복강도 이하에서 해석
- 초기 모델이 평형조건식을 만족
- 경계조건이 변하지 않음
- 하중은 변위에 독립된 요소
- 변위는 하중에 선형 비례함
- 중첩의 원리 적용 가능



비선형 정적 해석 개요

비선형 거동이란?

- 자연계의 현상은 정확히 말해서 모두 비선형 현상이라고 볼 수 있다.
- 비선형 현상을 포함하고 있는 구조물은 하중과 변위의 관계가 선형 관계를 가지고 있지 않는 것을 의미한다.
- 즉, 비선형성을 포함하고 있는 구조물의 기본적인 특성은 하중이 변함에 따라 구조 강성이 변한다는 것을 의미한다.

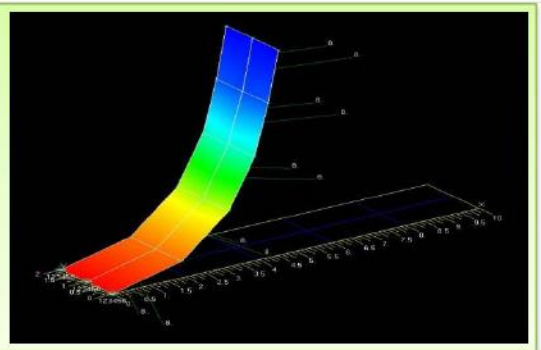


비선형 정적 해석 개요

비선형 정적 해석의 종류

비선형 정적 해석

- 기하 비선형
  - ➢ 대변형률(Large Strain)
  - ➢ 대변형(Large Deformation)
  - ➢ 대회전(Large Rotation)

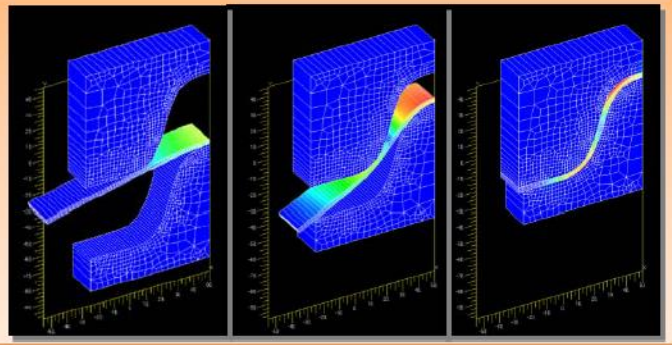


- 재료 비선형
  - ➢ 비선형 탄성재료(Nonlinear Elastic)
  - ➢ 소성재료(Plasticity)
  - ➢ 초탄성재료(Hyperelasticity)

비선형 탄성(Nonlinear Elastic)

탄소성(Elasto-plastic)

- 접촉 비선형
  - ➢ 접촉(Contact)

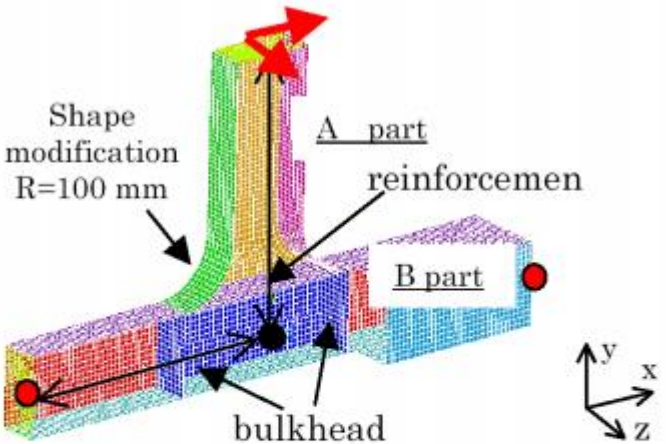


예제: JOINT ANALYSIS

First Order Analysis for Automotive Body Structure Design –Part 2 : Joint Analysis Considering Nonlinear Behavior

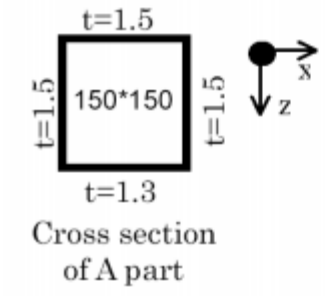
Yasuaki Tsurumi, Hidekazu Nishigaki, Toshiaki Nakagawa, Tatsuyuki Amago, Katsuya Furusu
Toyota Central R&D Labs.,Inc.

Noboru Kikuchi
The department of Mechanical Engineering at the University of Michigan

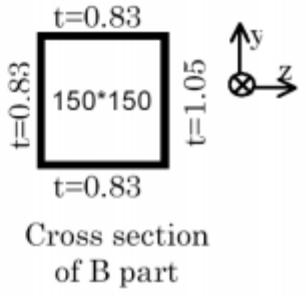


E(young modulus) $= 203000\left(N/mm^2\right)$

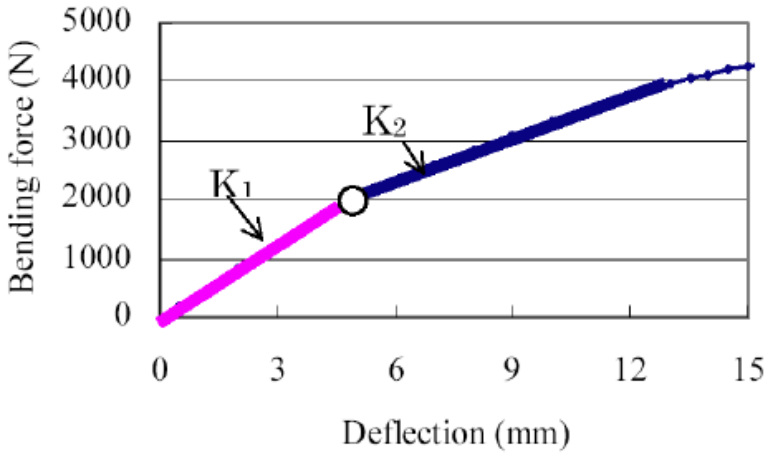
υ(poisson ratio) $= 0.3$



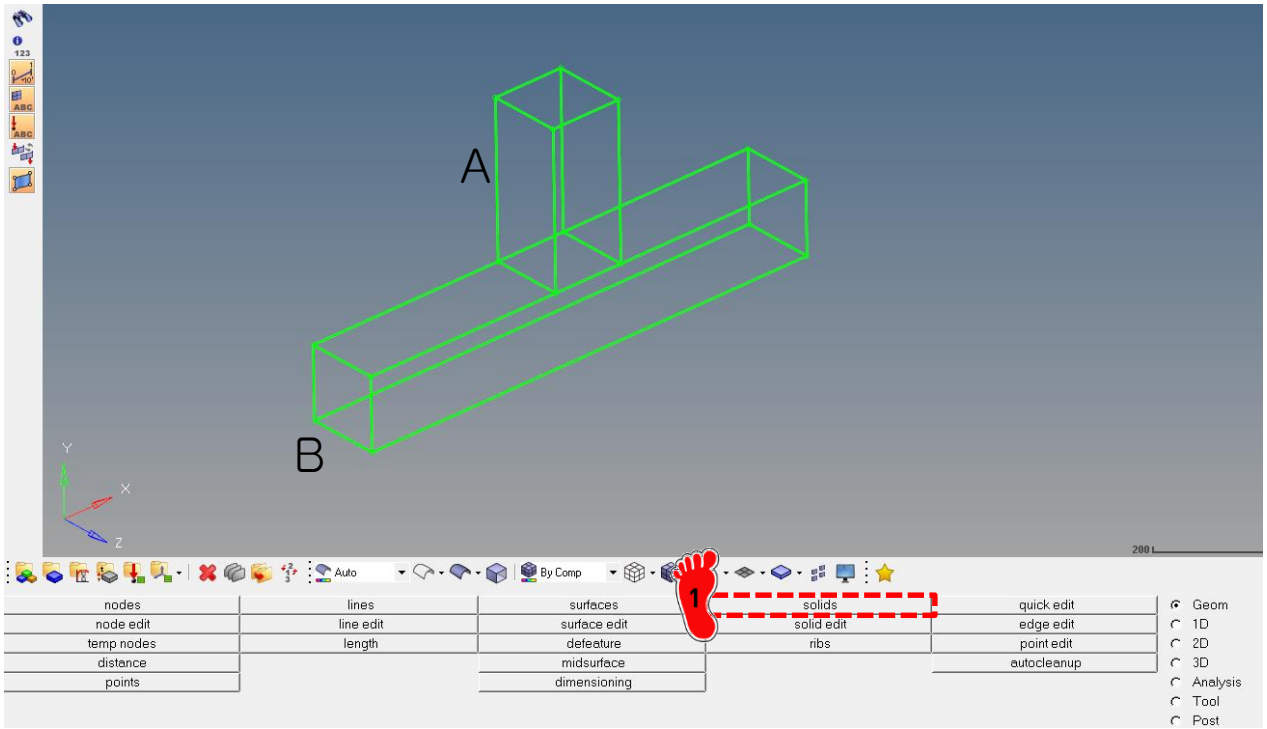
Cross section of A part



Cross section of B part



기하형상 생성



A

N1		N2		N3		base	
x =	575.000	x =	425.000	x =	425.000	x =	425.000
y =	150.000	y =	475.000	y =	150.000	y =	150.000
z =	0.000	z =	0.000	z =	150.000	z =	0.000

B

N1		N2		N3		base	
x =	1000.000	x =	0.000	x =	0.000	x =	0.000
y =	0.000	y =	150.000	y =	0.000	y =	0.000
z =	0.000	z =	0.000	z =	150.000	z =	0.000

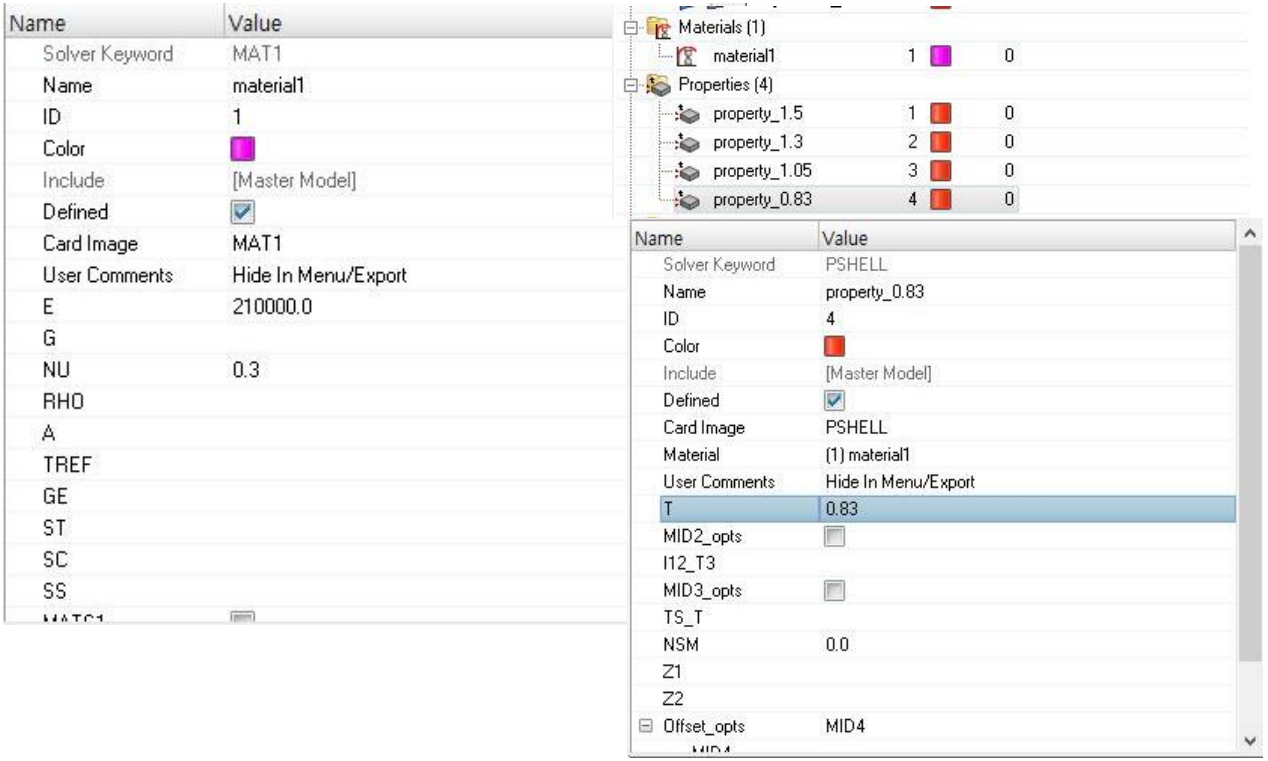
1 예제의 형상을 바탕으로 A, B 파트 생성

(bulkhead 없는 형상)

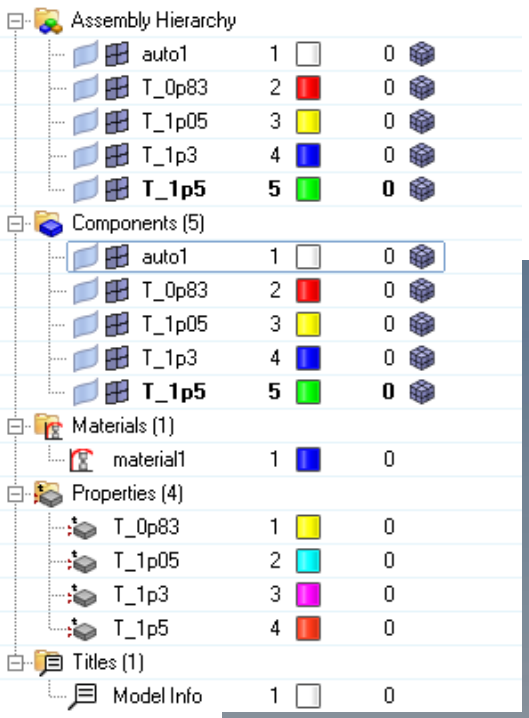
재료 물성 및 특성 입력

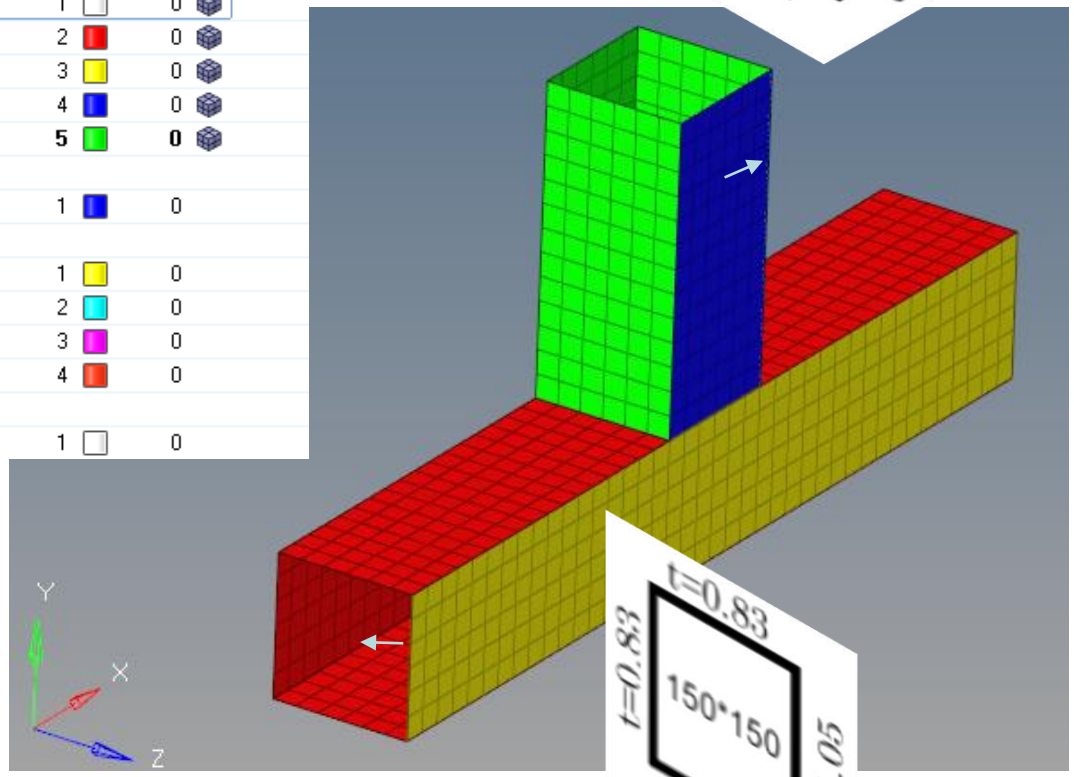
1 재료 물성치 및 특성 생성

두께 별 특성 각각 생성



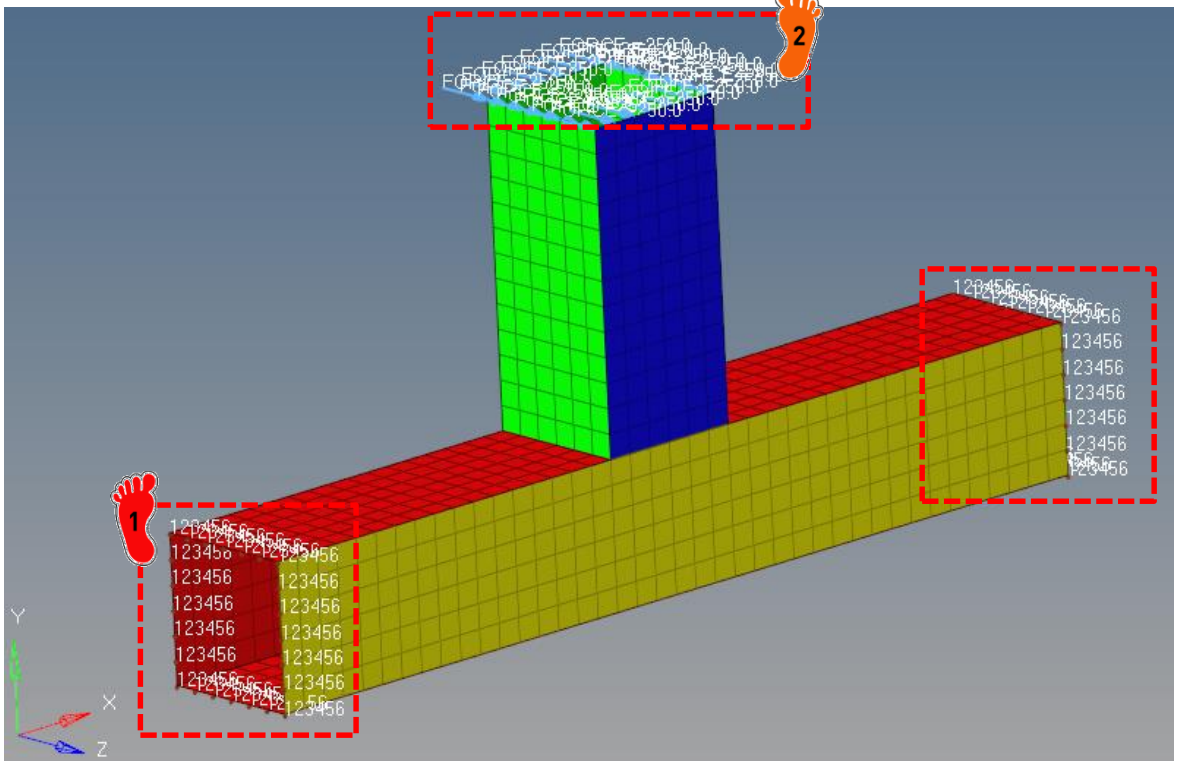
요소망 생성





1 두께 별 특성을 적용하여
크기 25인 요소망 생성

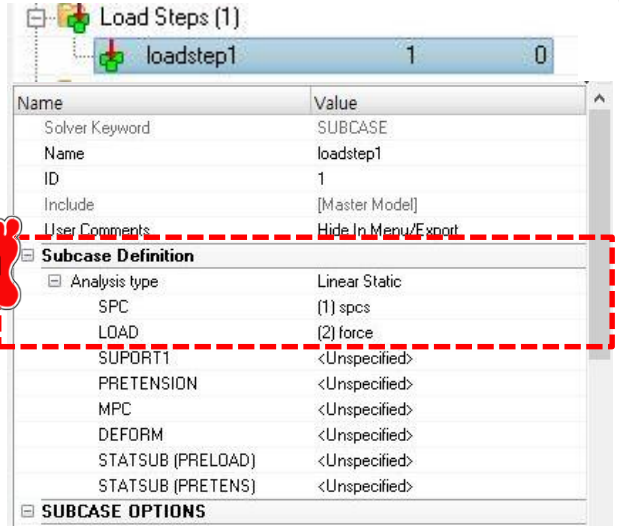
구속조건 및 하중조건 설정

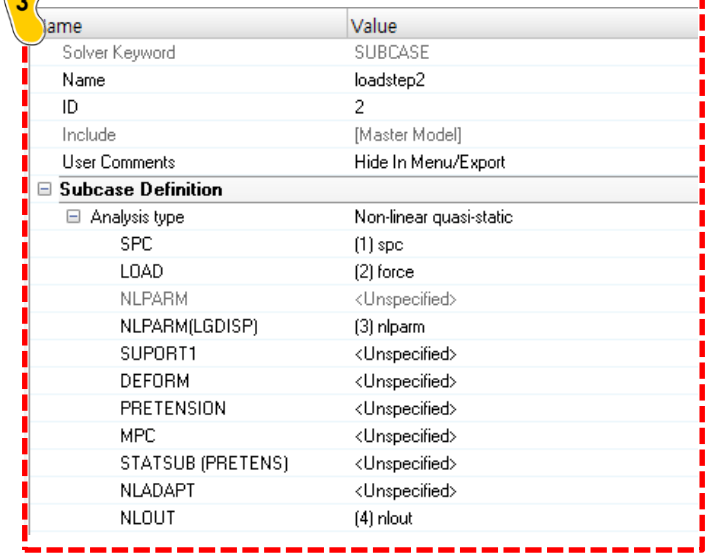


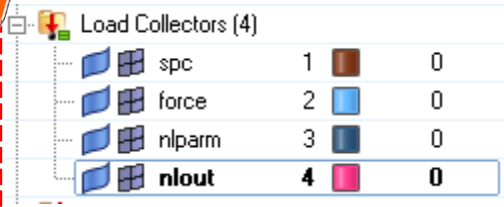
1 고정 구속

2 평면에 수직한 방향(Z)으로 6000N 입력

해석 케이스 정의







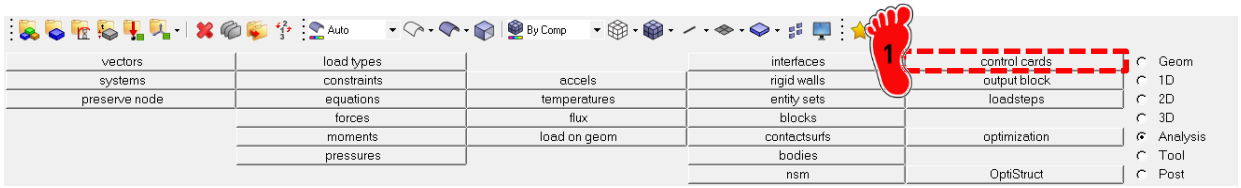
Name	Value
Solver Keyword	NLPARM
Name	nlparm
ID	3
Color	
Include	[Master Model]
Card Image	NLPARM
User Comments	Hide In Menu/Export
NINC	
DT	0.0

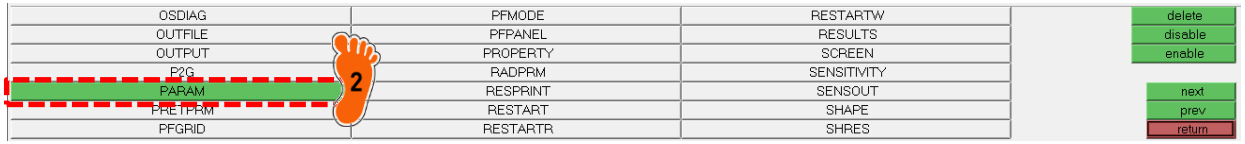
Name	Value
Solver Keyword	NLOUT
Name	nlout
ID	4
Color	
Include	[Master Model]
Card Image	NLOUT
User Comments	Hide In Menu/Export
NINT	☐
SVNONCNV	☐

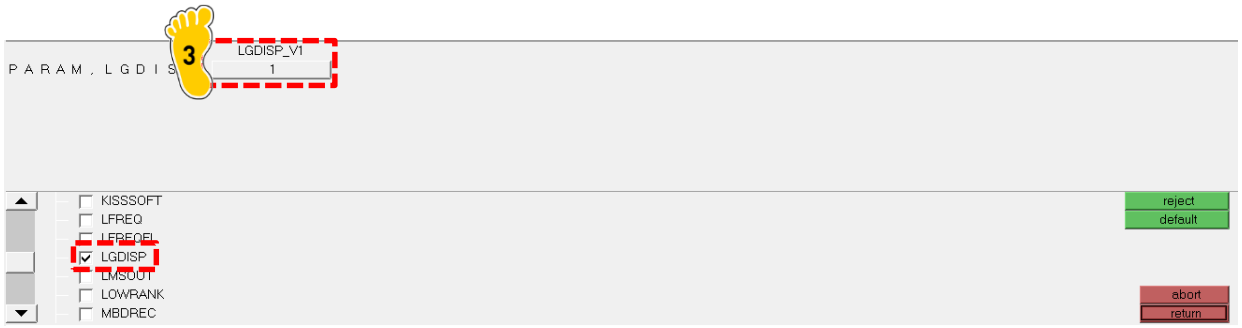
1. 'loadstep1'은 선형 정적 해석 케이스
2. 비선형 정적 해석을 위한 'NLPARM', 'NLOUT' 설정
3. 'loadstep2'는 비선형 정적 해석 케이스

해석 수행

해석 케이스 정의







PARAM, LGDISP

Bulk Data Entry

Activates Large Displacement Nonlinear Analysis.

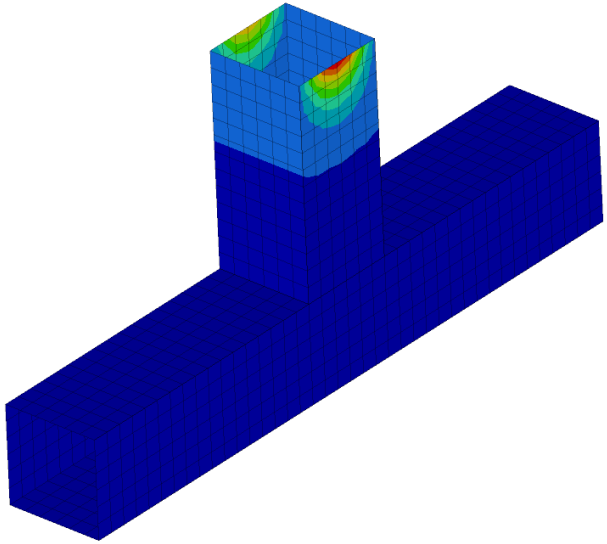
1 Control card 클릭

2 PARAM 클릭

3 'LGDISP' 체크

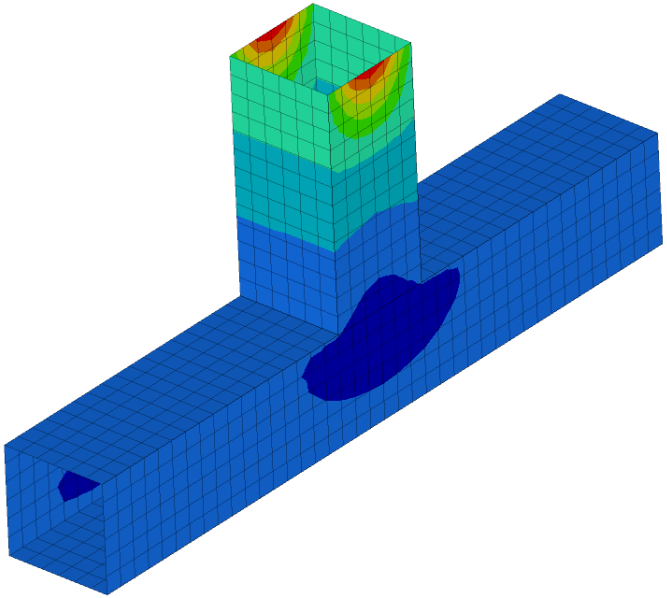
해석 결과 (1)

선형 해석
변형 결과



Contour Plot
Displacement(Z)
Analysis system
1.697E+01
1.505E+01
1.314E+01
1.122E+01
9.303E+00
7.386E+00
5.469E+00
3.552E+00
1.634E+00
-2.829E-01

비선형 해석
변형 결과

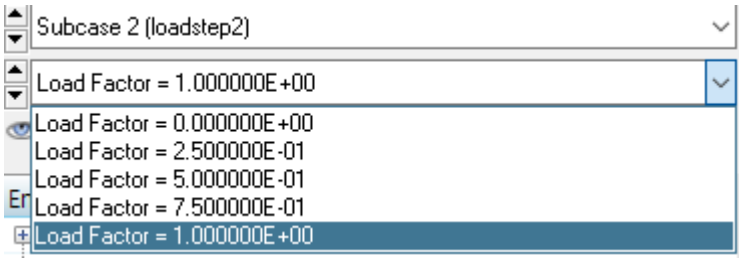


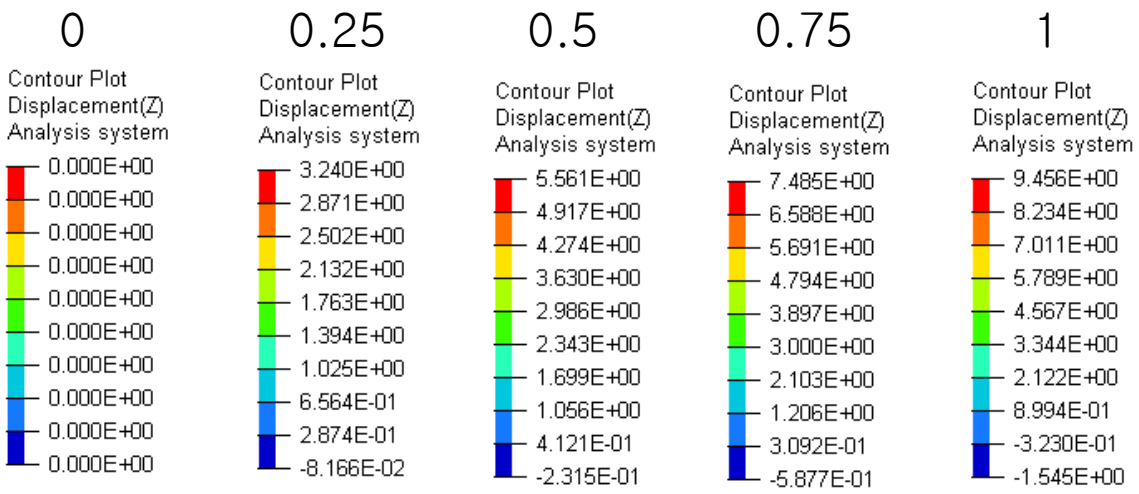
Contour Plot
Displacement(Z)
Analysis system
9.456E+00
8.234E+00
7.011E+00
5.789E+00
4.567E+00
3.344E+00
2.122E+00
8.994E-01
-3.230E-01
-1.545E+00

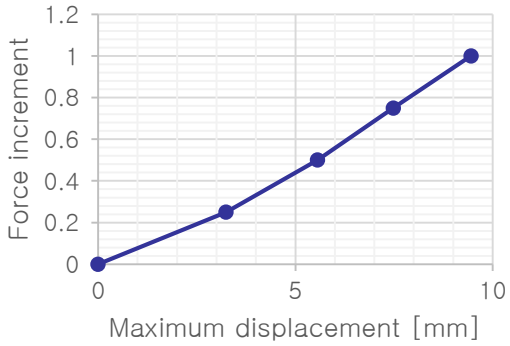
1 선형 해석의 경우
16.97 mm,

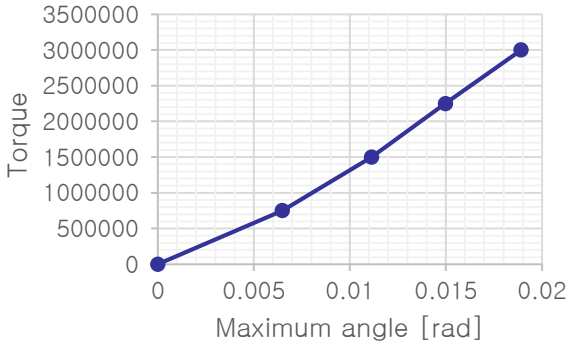
비선형 해석의 경우
9.46 mm 의 변형 결과를
보임

해석 결과 (2)





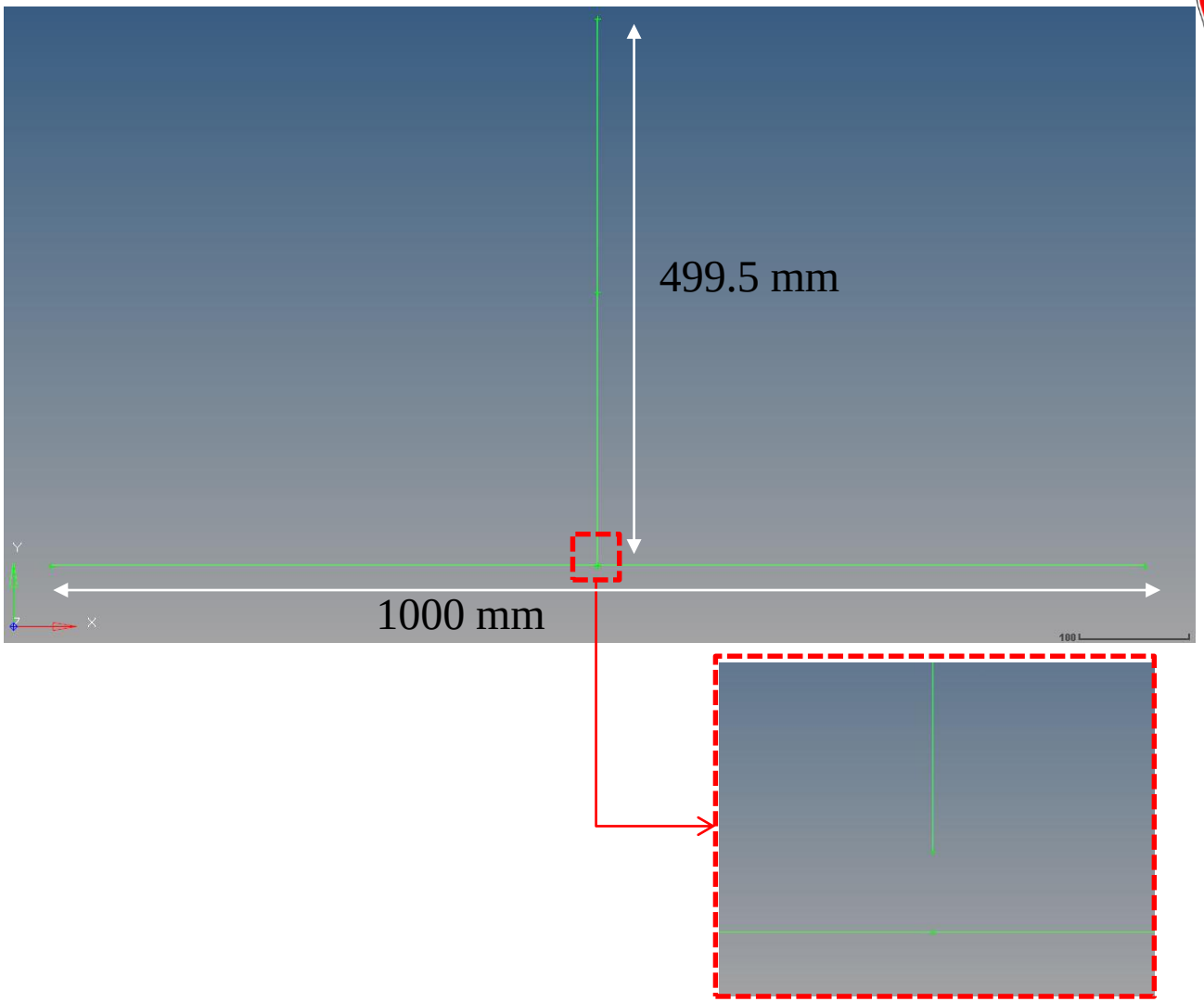




1 비선형 해석 수행 과정동안 하중을 분할하여 계산한 변위 확인 가능

비선형 거동을 고려한 조인트 설계 : 1D 모델링

기하형상 생성



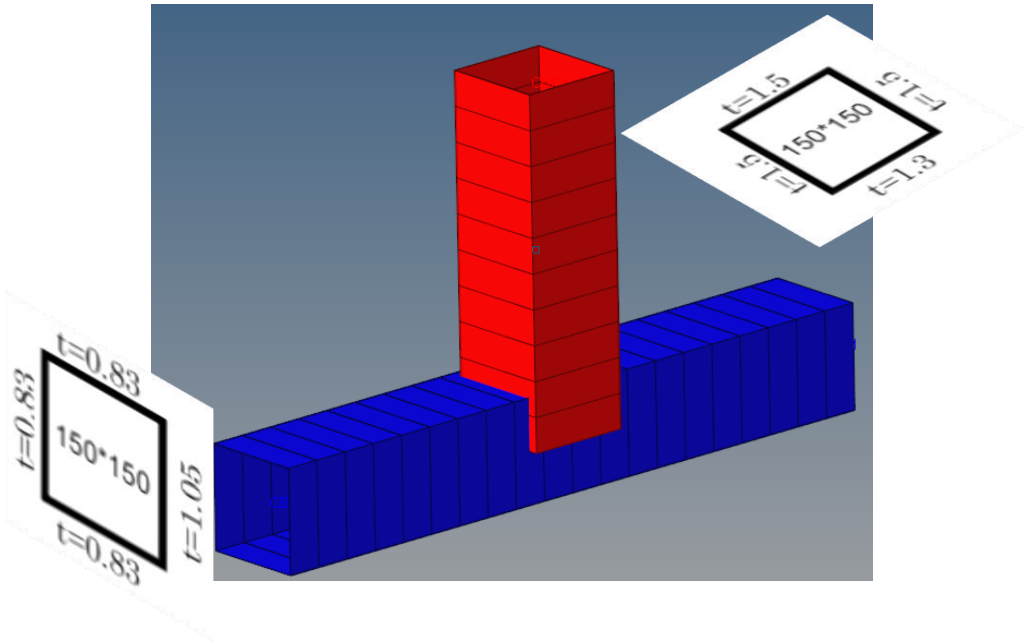
1 'Geom' -> 'lines' 클릭,
형상 생성
(하단 라인은 한번에 생성)

스프링을 부착할 부분을
0.5 mm 정도로 떨어트림

재료 물성/특성 입력 및 요소망 생성

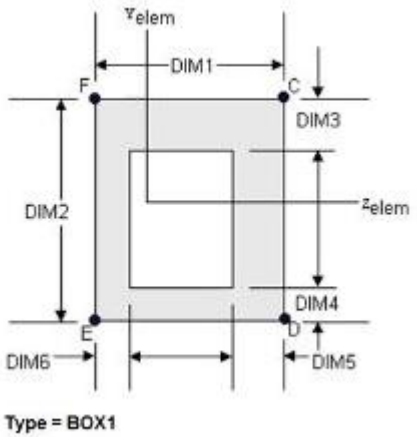
Name	Value
Name	beamsection1
ID	1
Include	[Master Model]
Collector	(1) beamsectcol1
Config	Standard
Section Type	BOX1
Parameter Definitions	
Dimension DIM1	150.0
Dimension DIM2	150.0
Thickness DIM3	1.5
Thickness DIM4	1.5
Thickness DIM5	1.5
Thickness DIM6	1.3

Name	Value
Name	beamsection2
ID	2
Include	[Master Model]
Collector	(1) beamsectcol1
Config	Standard
Section Type	BOX1
Parameter Definitions	
Dimension DIM1	150.0
Dimension DIM2	150.0
Thickness DIM3	0.83
Thickness DIM4	0.83
Thickness DIM5	1.05
Thickness DIM6	0.83



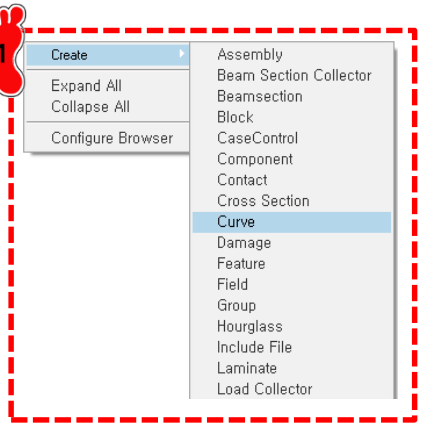
1. 예제에서 주어진 단면 특성을 갖는 1차원 특성 생성

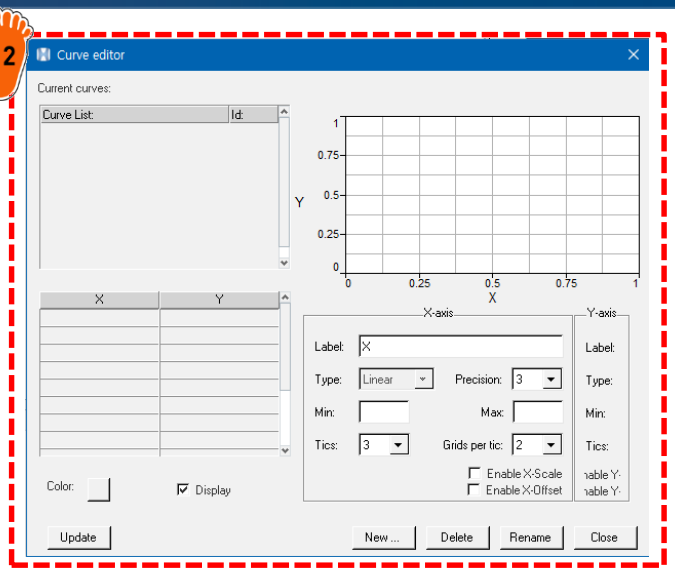
2. 각 특성에 맞도록 요소망 생성
(요소망 크기 50)

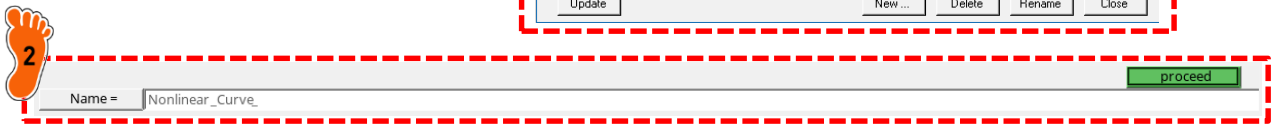


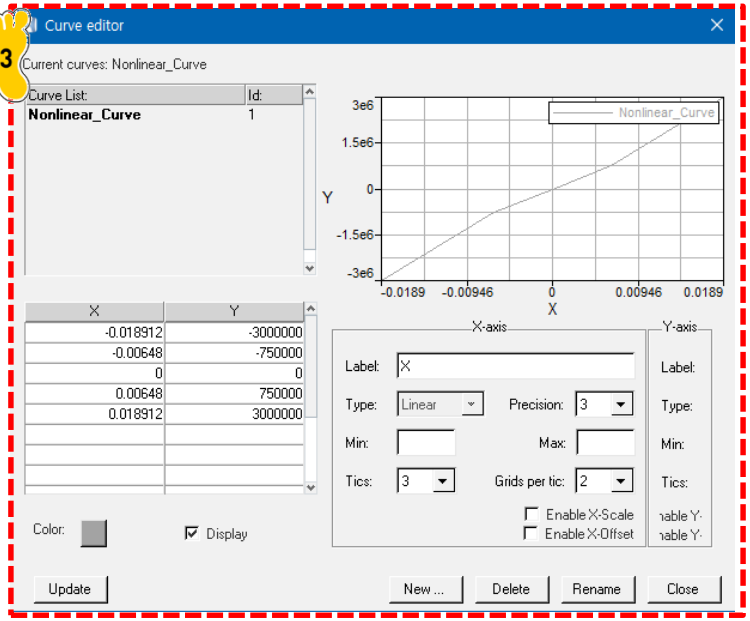
Type = BOX1

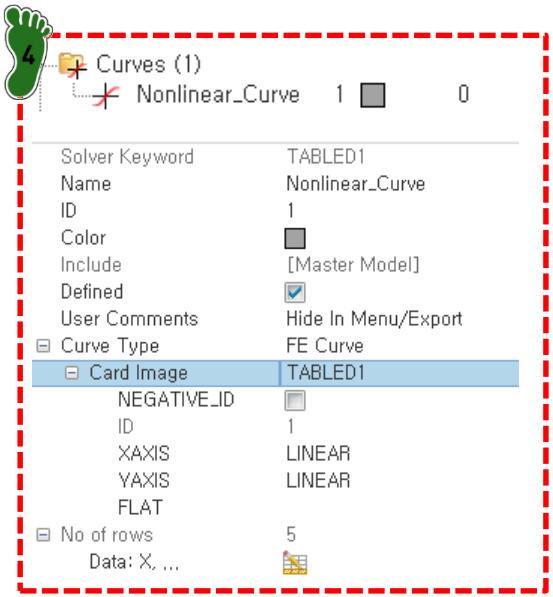
비선형 부쉬 특성 생성 (1)











1. 작업트리 우클릭
→ 'Curve' 생성

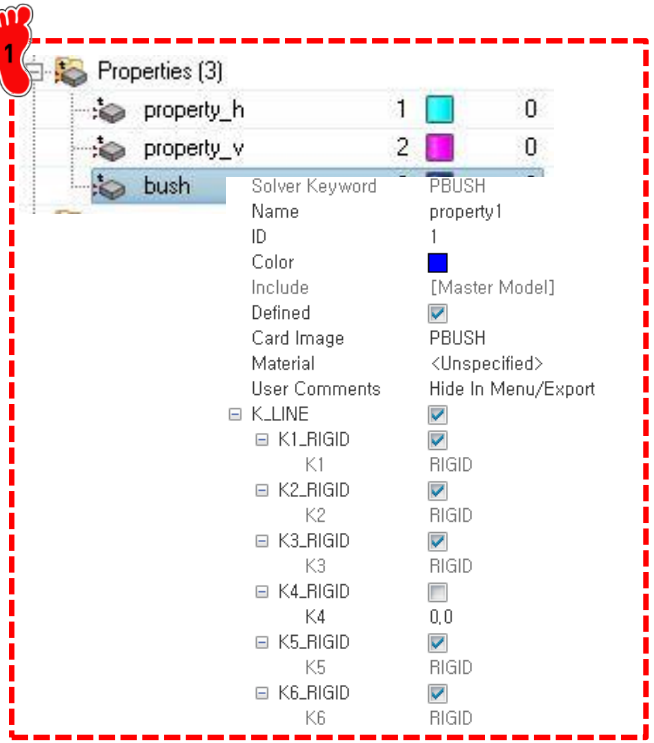
2. 하단의 New 클릭,
이름 설정 후 proceed 클릭

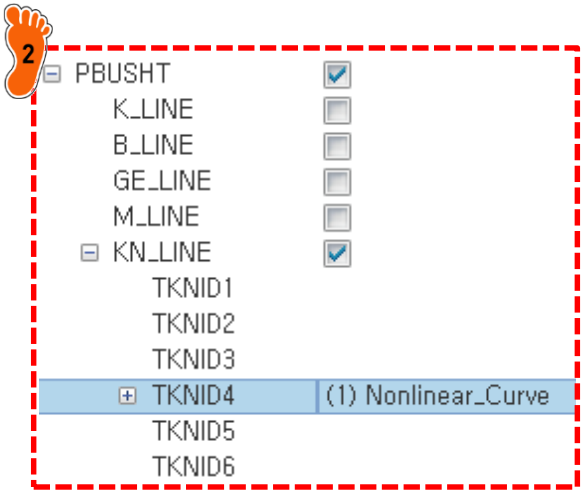
3. X, Y 값 입력 후 close 클릭

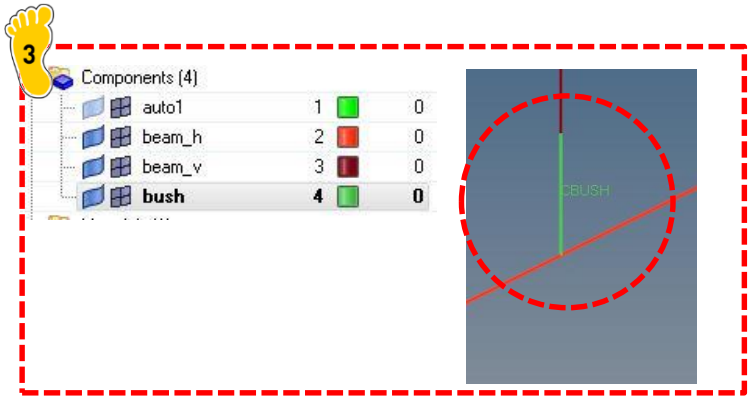
4. Curve Card Image: TABLED1
선택

*비선형 함수
1) 선형 구간 기준으로
조인트 강성 계산
2) 3차원 결과에서 기울기가
감소한 부분의 강성 반영
3) 기울기가 변화하는 지점
찾기 (부쉬 요소의 회전
변위 기준)

비선형 부쉬 특성 생성





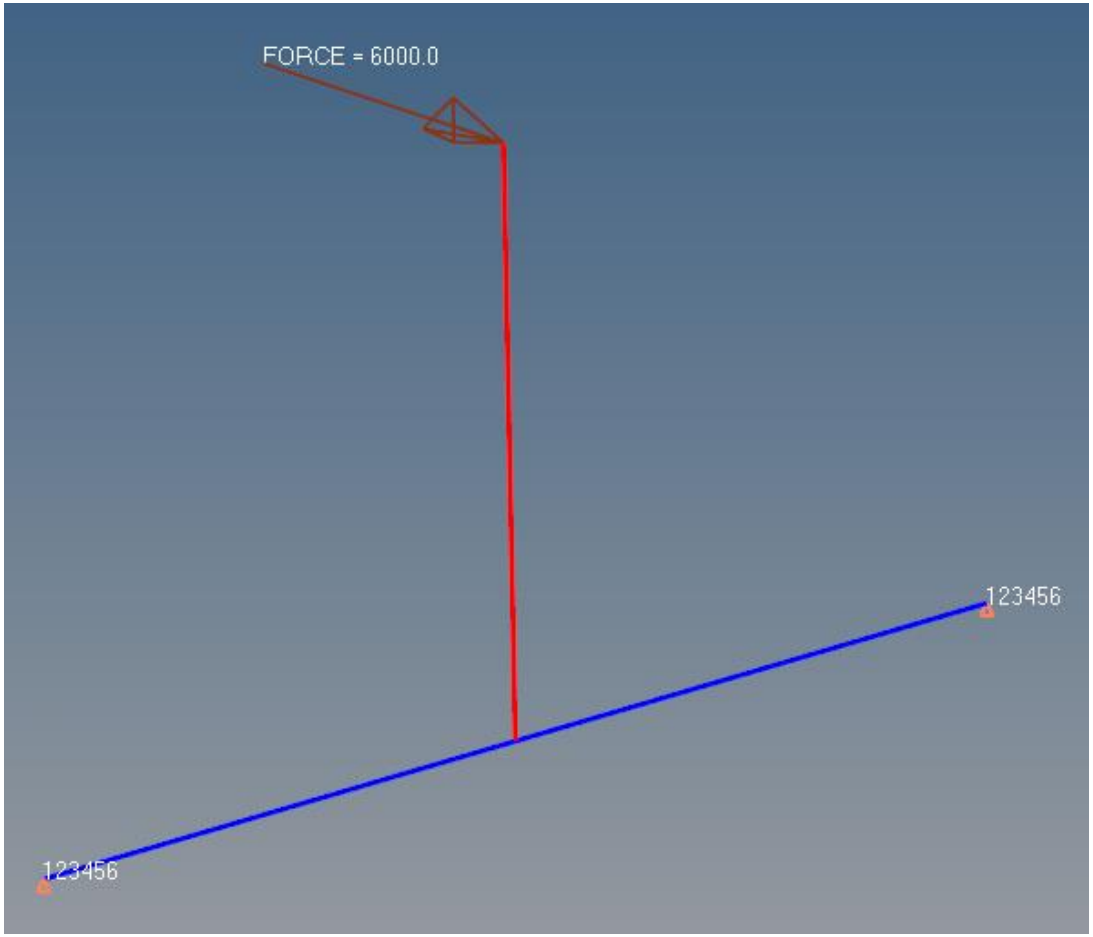


1 부쉬 특성 생성
K4 자유도 외 'RIGID' 설정

2 PBUSHT→KN_LINE→TKNID4 선택 후 앞서 생성한 curve 선택

3 부쉬 생성

구속조건 및 하중조건 설정

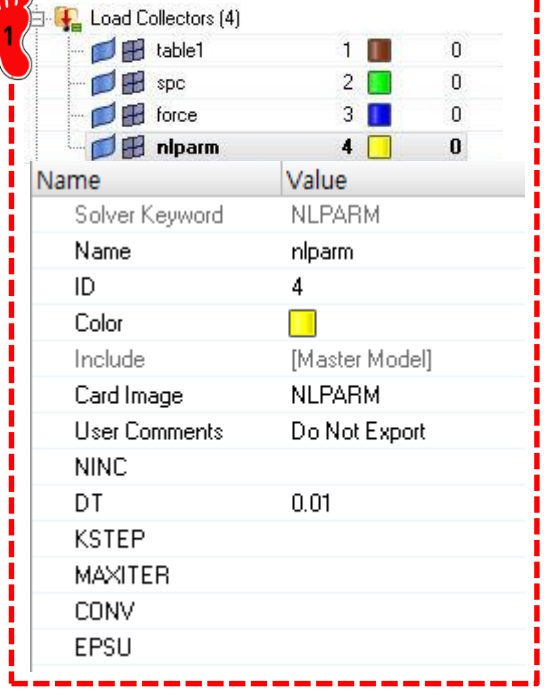


1 예제와 동일하게 구속 조건 및 하중 조건 설정

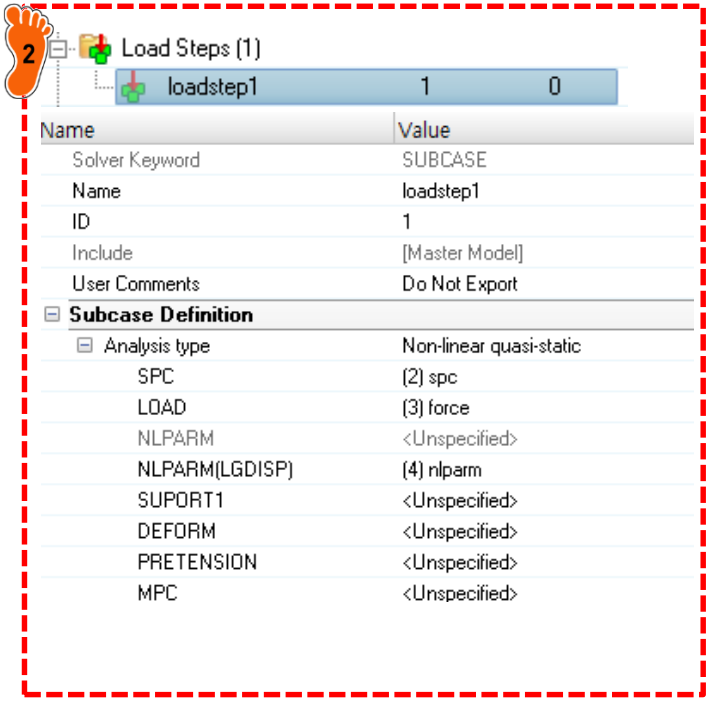
구속 조건은 고정 구속
하중 조건은 면외 방향(y)으로 -6000N 하중입력

해석 케이스 정의 및 해석 실행

1



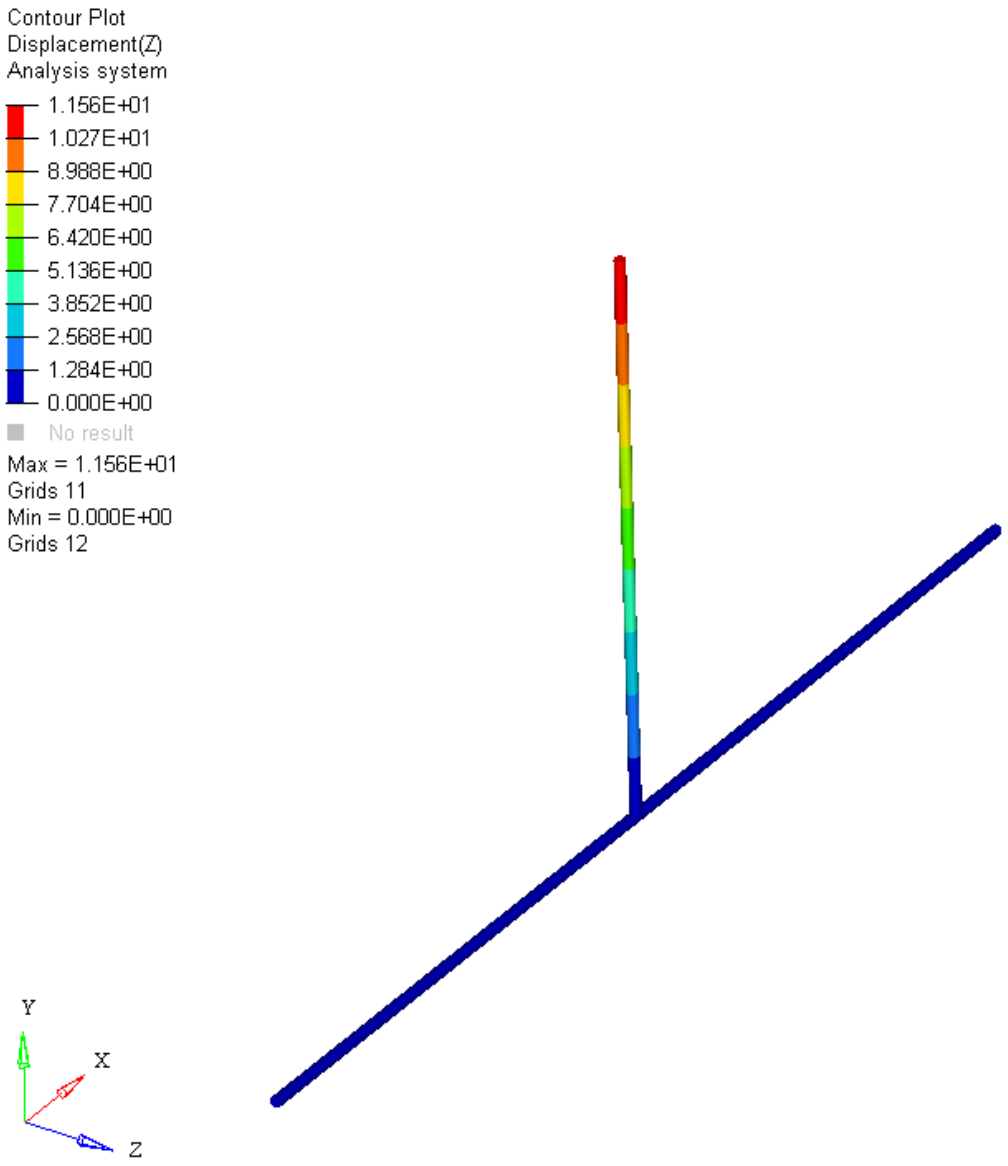
2



1 비선형 정적해석을 위한 'NLPARM', 'NLOUT' 생성

2 Loadstep 설정 후 해석

해석 결과



1 기존 쉘 모델과 유사한 거동을 하는지 확인

숙제

- 다음 모델에 대하여 비선형 정적 해석을 이용하여 1D 조인트 설계 수행