

Beam Torsional Analysis, Geometric Nonlinear Analysis

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



한양대학교
HANYANG UNIVERSITY

CDL Computational
Design
Lab

OUTLINE

- **Lecture Goals**

- ✓ SHELL 요소의 비틀림 해석을 수행하고 open section과 closed section의 차이를 분석한다.
- ✓ SHELL 요소(spot weld flange)의 비틀림 해석을 수행하고 spot weld 해석 기법에 대해 실습한다.
- ✓ BEAM 모델의 두 가지 비선형 해석(기하비선형/종동력)을 수행하고 선형 해석과의 차이를 분석한다.

- **Contents**

- ✓ SHELL 요소 비틀림 해석 (closed section/spot weld flange)
- ✓ BEAM 모델의 비선형 정적 해석 (기하비선형/종동력)

SHELL 요소

비틀림 해석 (closed section/spot weld flange)

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



한양대학교
HANYANG UNIVERSITY

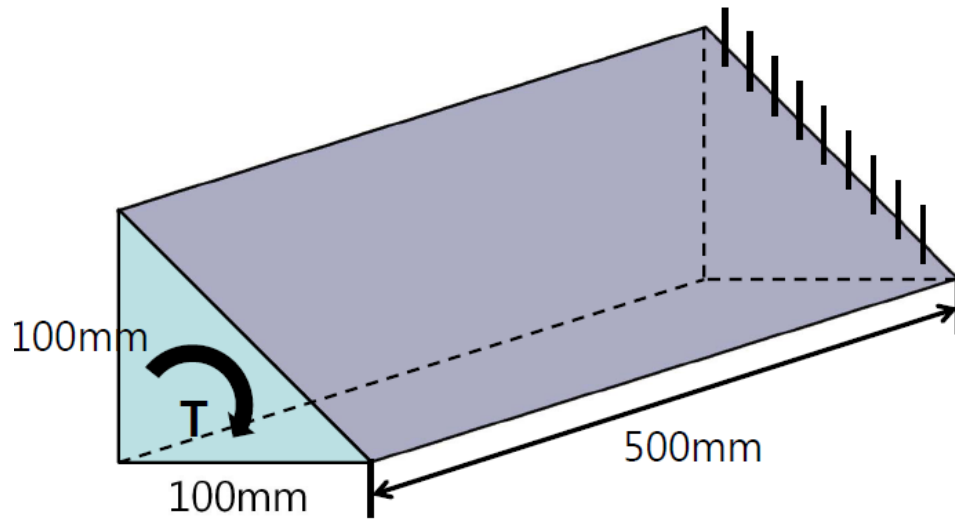
CDL Computational
Design
Lab

목차

- 예제 문제
 - Closed section beam
 - Spot weld flange
- 해석 프로세스
 - 기하형상 생성
 - 재료 물성 및 특성 입력
 - 요소망 생성
 - 구속조건 설정
 - 하중조건 설정
 - 해석케이스 정의 및 해석 실행
 - 후처리

예제: CLOSED SECTION BEAM

비틀림 강성을 계산하시오



재료 물성

- $E = 207 \text{ GPa}$

- $\nu = 0.327$

입력 하중

- $T = 250 \text{ kNmm}$

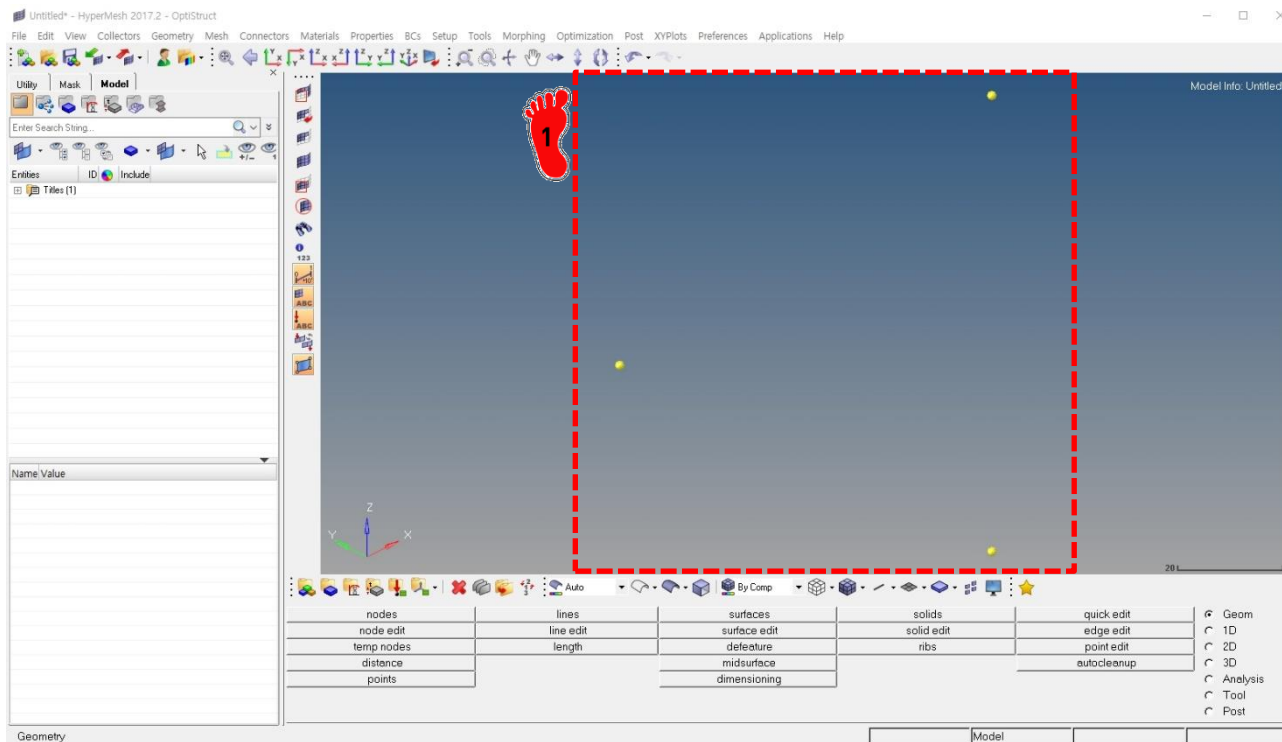
$$\theta = \frac{TL}{GJ_{EFF}} = \frac{(25 \times 10^4 \text{ Nmm})(500 \text{ mm})}{(78 \times 10^3 \text{ N/mm}^2) \times \frac{4 \left(\frac{1}{2} (100 \text{ mm})(100 \text{ mm}) \right)^2 (1 \text{ mm})}{(100 \text{ mm} + 100 \text{ mm} + 141.4 \text{ mm})}} = 5.471 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$K = \frac{T}{\theta} = \frac{25 \times 10^4 \text{ Nmm}}{5.47 \times 10^{-3} \text{ rad}} = 45.704 \text{ Nm/rad}$$

$$\tau = \frac{T}{2tA} = \frac{25 \times 10^4 \text{ Nmm}}{2(1 \text{ mm}) \left(\frac{1}{2} (100 \text{ mm})(100 \text{ mm}) \right)} = 25 \text{ N/mm}^2 = 25 \text{ MPa}$$

CLOSED SECTION (SHELL 요소)

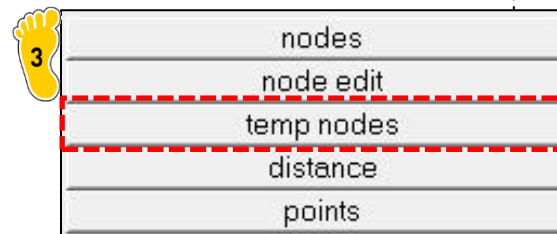
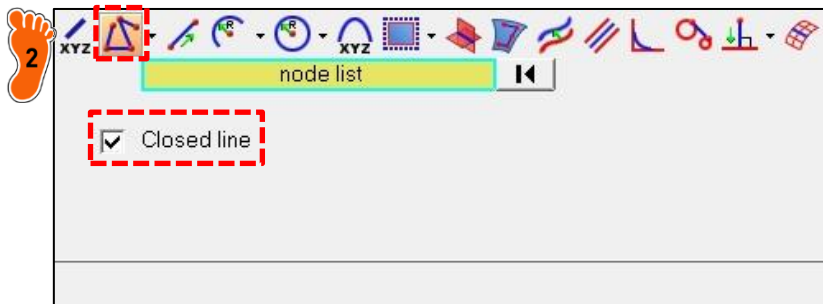
기하형상 생성 (1)



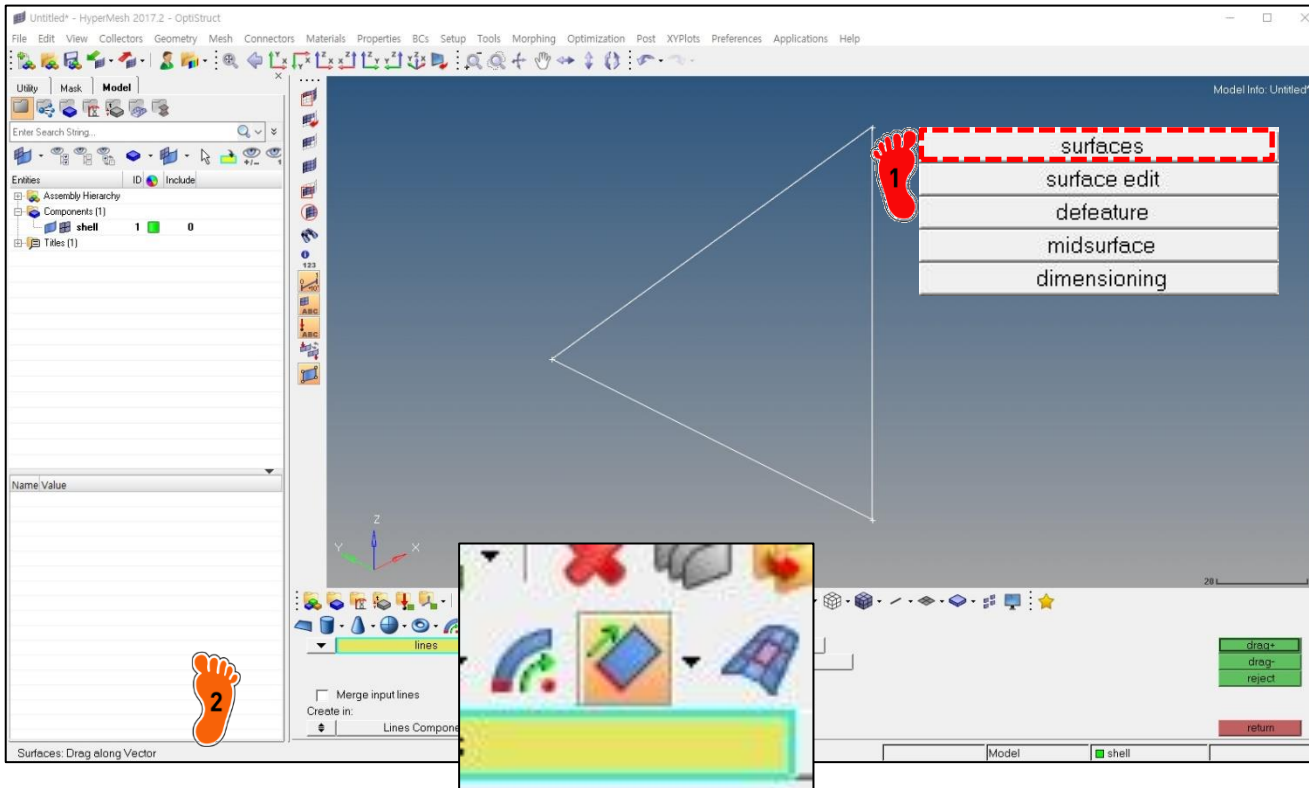
1 Geom → nodes 로
(0,0,0), (0,100,0), (0,0,100)
에 node 생성

2 Geom → lines 에서 그림과
같이 설정 후 생성한 3개의
node 선택

3 Geom → temp nodes 클릭
후 clear all 클릭



기하형상 생성 (2)

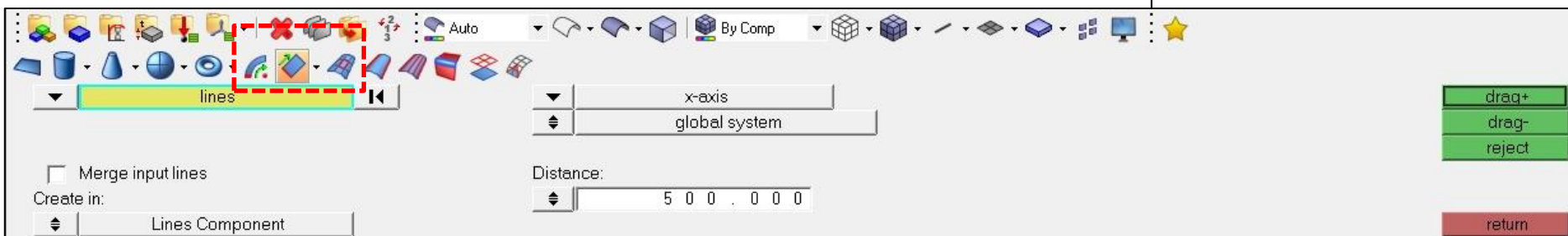


1 Geom → surfaces 클릭

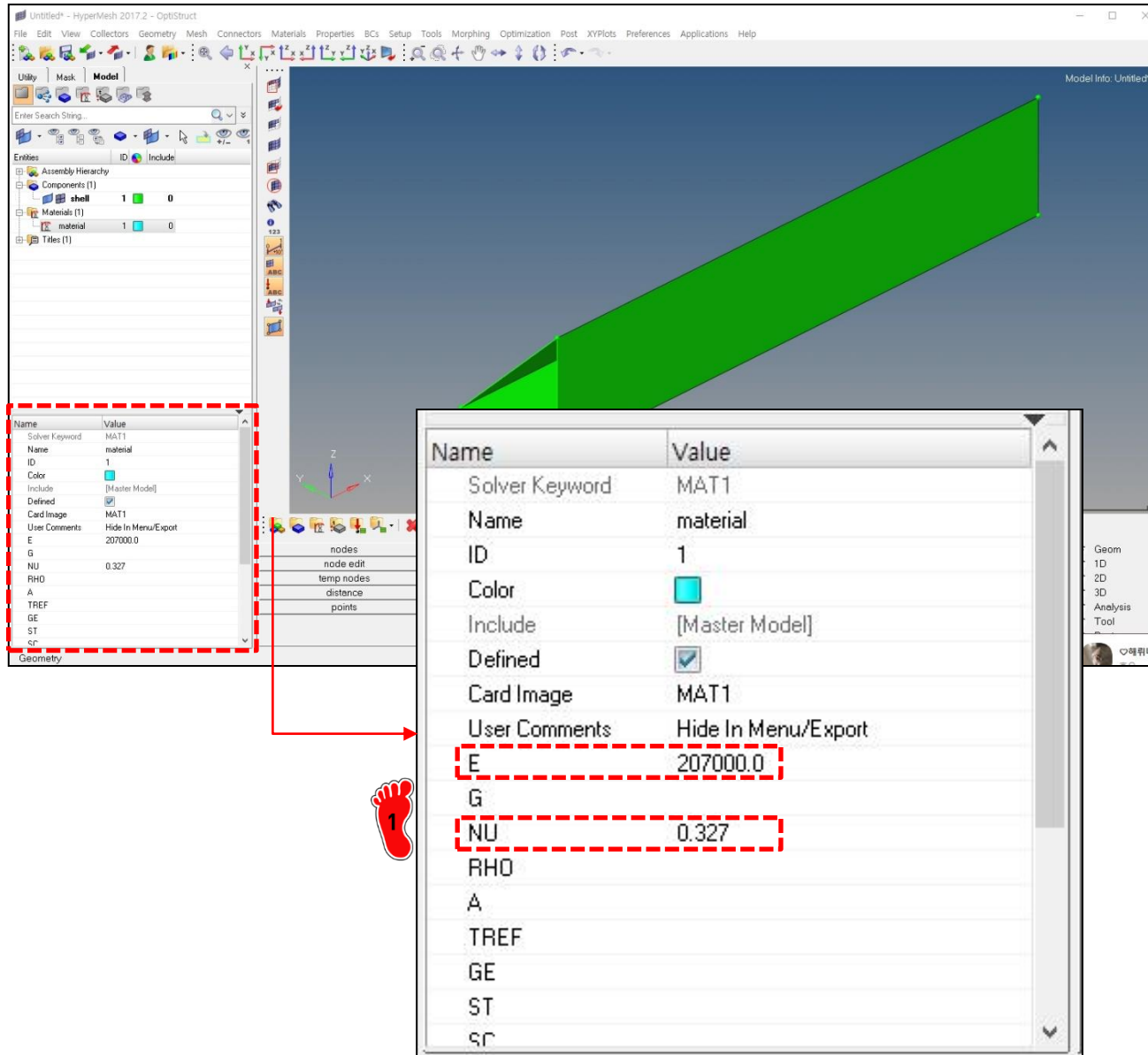
2  아이콘 클릭 후 생성

한 lines 선택 (직선을 drag 하여 평면 생성)

3 Distance에 500입력 후 drag+ 클릭



재료 물성 및 특성 입력 (1)



1 $E = 207 \text{ Gpa}$
 $NU = 0.327$
 재료 생성

재료 물성 및 특성 입력 (2)

The screenshot displays the HyperMesh 2017.2 - OptiStruct interface. Red dashed boxes and foot icons indicate the following steps:

- Step 1 (Red Foot):** In the **Property** dialog, the **Property** field is set to **(1) PSHELL**.
- Step 2 (Orange Foot):** In the **User Comments** field, the value **T = 1.0** is entered.
- Step 3 (Yellow Foot):** In the **Assembly Hierarchy**, the **shell** component is selected, and its **Property** is set to **(1) PSHELL**.

The **Property** dialog shows the following fields:

Name	Value
Name	shell
ID	1
Color	[Green]
Include	[Master Model]
Property	(1) PSHELL
Material	(1) material

The **User Comments** field shows:

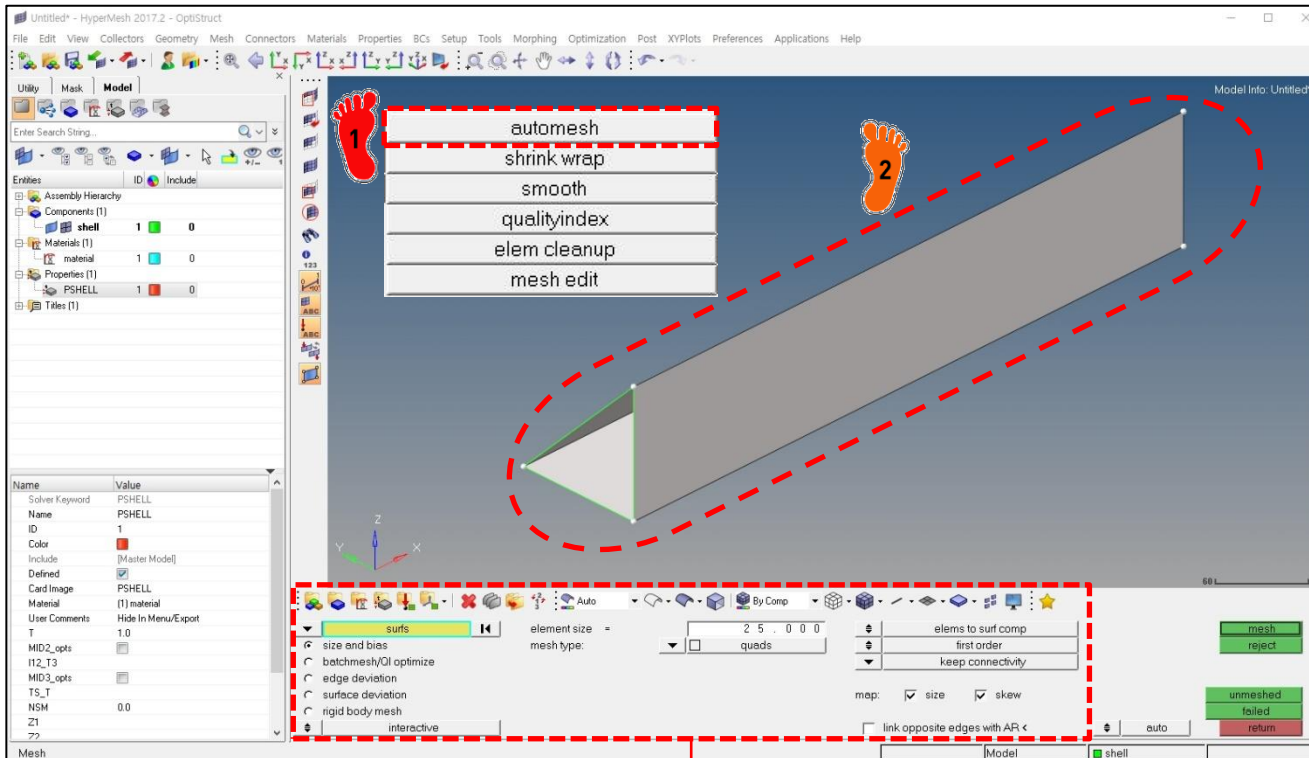
Name	Value
Solver Keyword	PSHELL
Name	PSHELL
ID	1
Color	[Red]
Include	[Master Model]
Defined	☒
Card Image	PSHELL
Material	(1) material
User Comments	Hide In Menu/Export
T	1.0
MID2_opts	☐
I12_T3	☐
MID3_opts	☐
TS_T	☐
NSM	0.0
Z1	☐
Z2	☐

1 property 생성 후
Card image 에서 PSHELL
선택

2 T = 1을 입력

3 Component 에 특성 입력

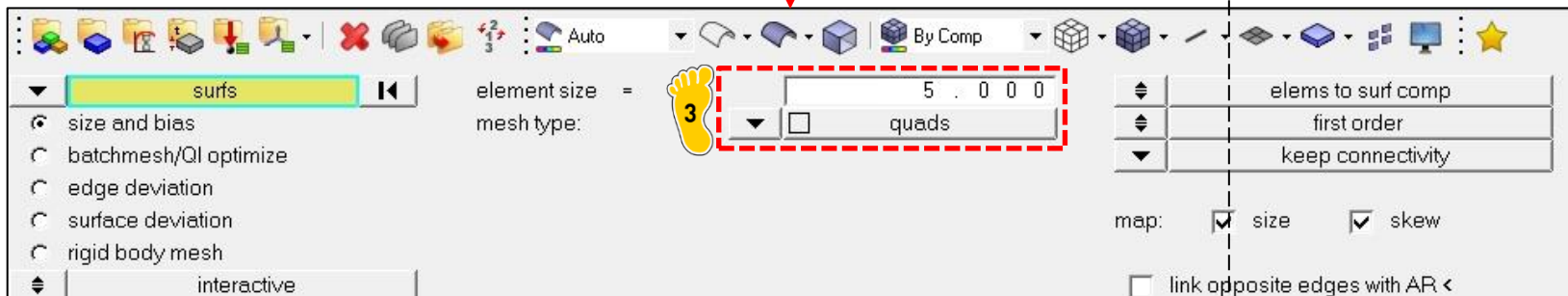
요소망 생성



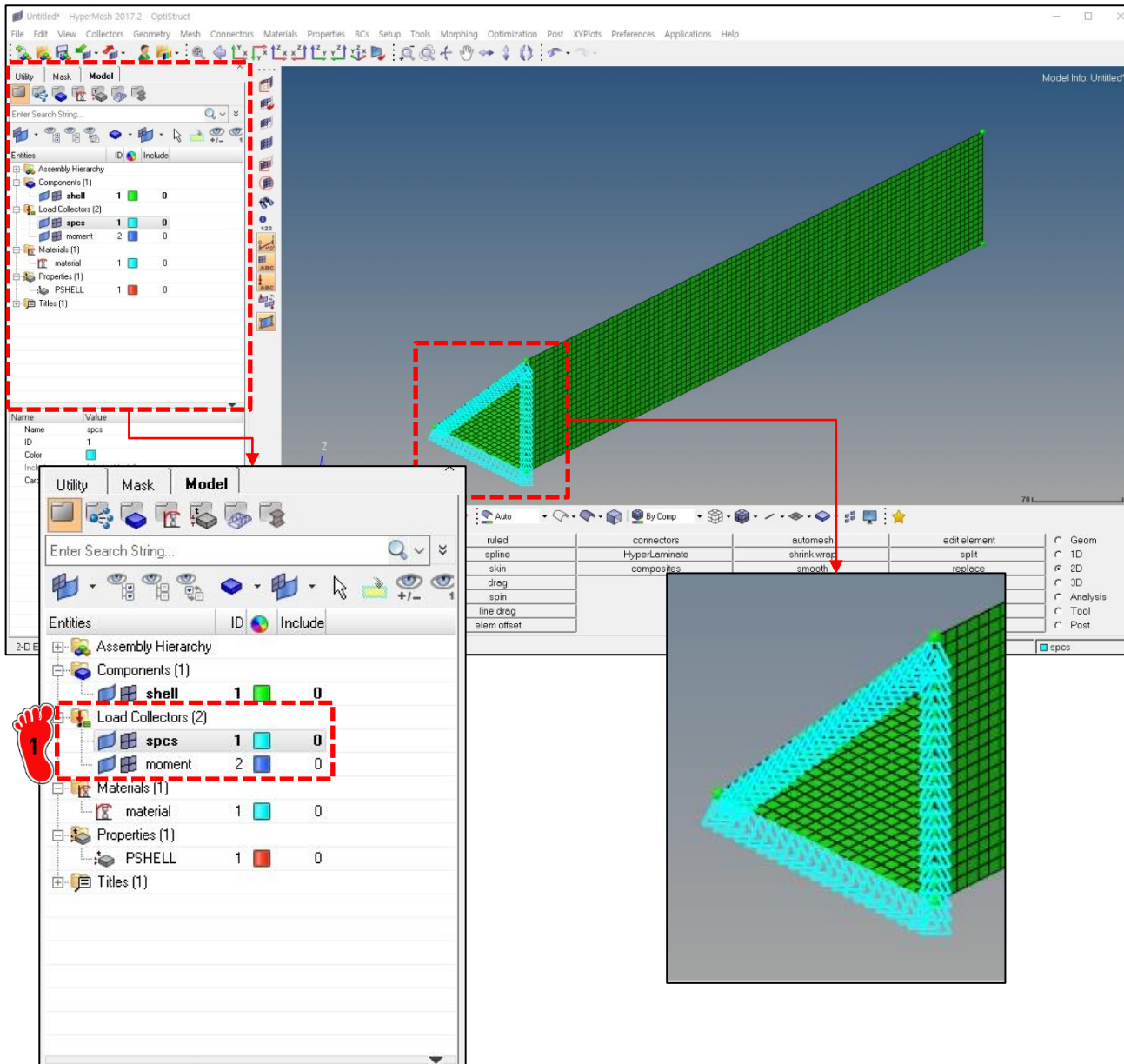
1 2D → automesh 클릭

2 평면 3개 선택

3 element size = 5
mesh type = quads 선택
후 mesh 생성



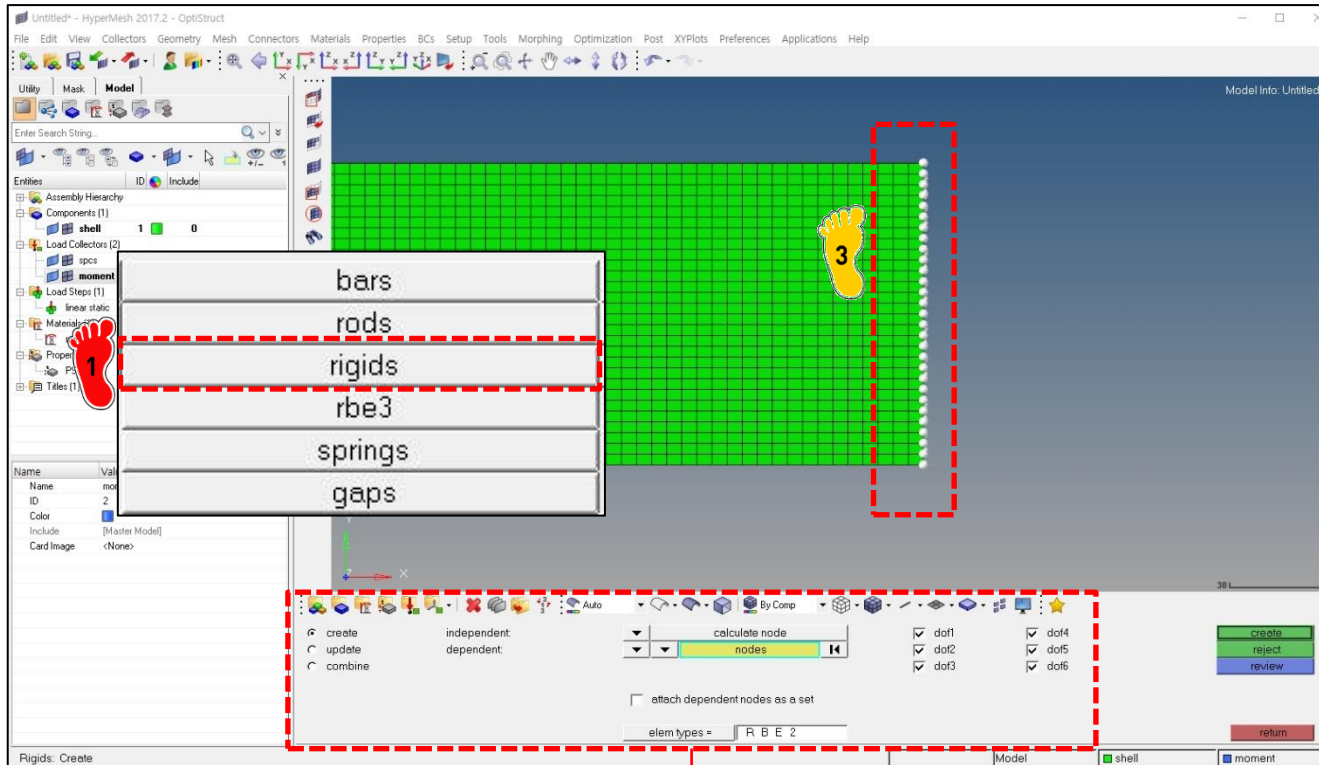
하중조건 및 구속조건 설정 (1)



1 Load collectors 2개 생성

2 한쪽 끝단 모든 점 구속

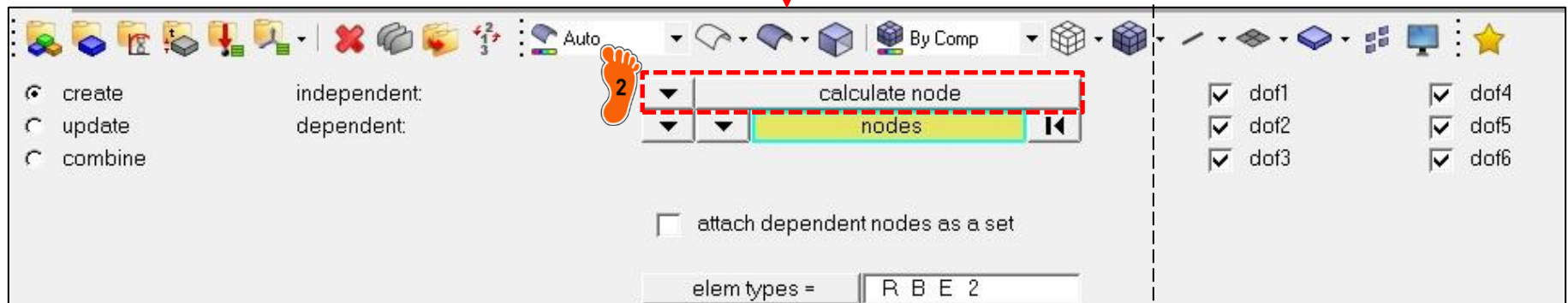
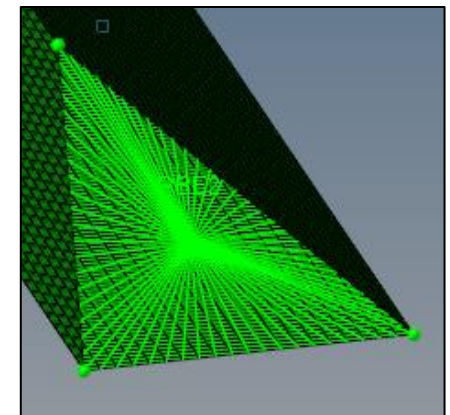
하중조건 및 구속조건 설정 (2)



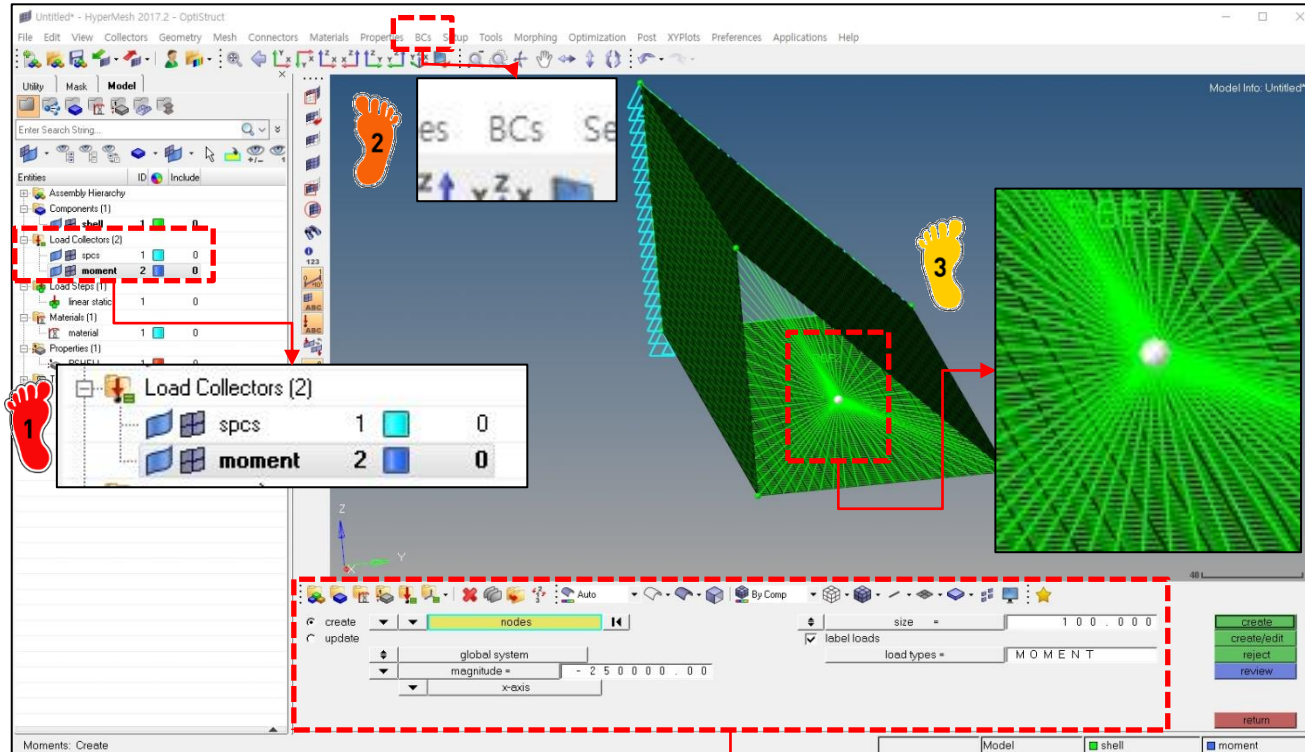
1 1D → rigids 클릭

2 Multiple nodes로 변경 후 independent 부분을 calculate node 로 설정

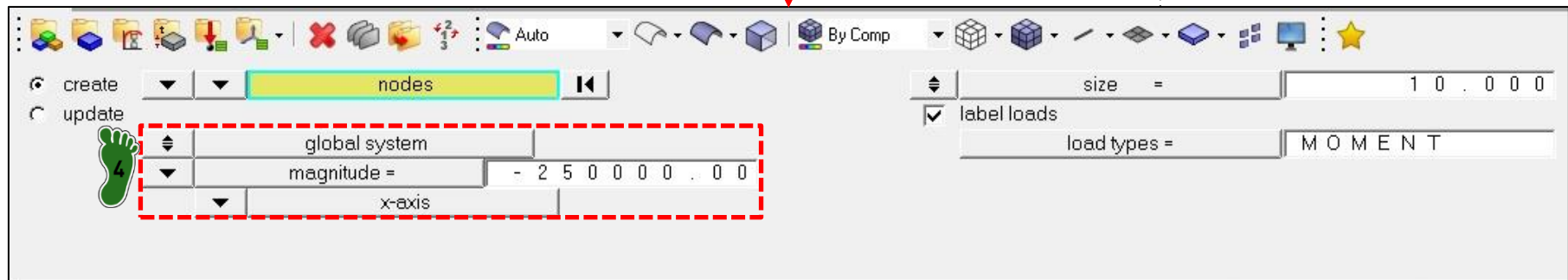
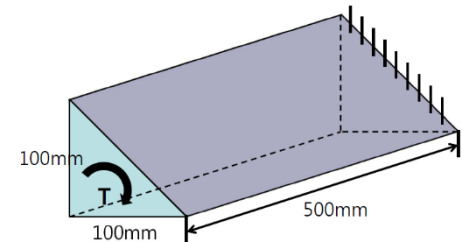
3 구속시켰던 반대 끝단을 모두 선택 후 create



하중조건 및 구속조건 설정 (3)



- 1 Moment를 위한 load collector 활성화
- 2 BCs → Create → Moments 클릭
- 3 생성했던 RBE2 요소 클릭
- 4 문제를 참고하여 방향과 크기 입력 ($T = 250kNmm$)



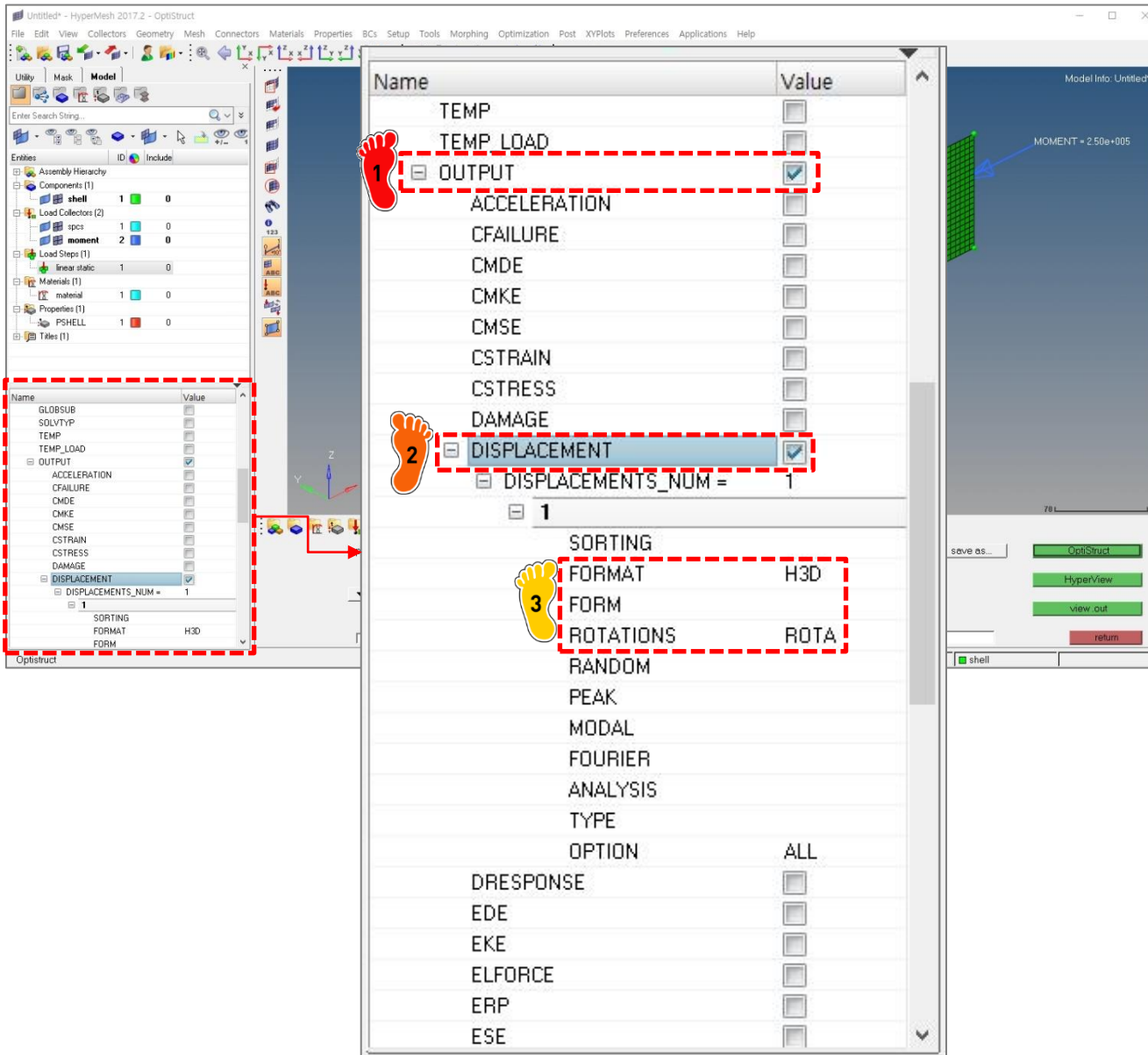
해석 케이스 정의 및 해석 실행 (1)

The screenshot displays the HyperMesh 2017.2 - OptiStruct interface. The main window shows the 'Entities' list on the left, the 'Assembly Hierarchy' in the center, and the 'Model Info' on the right. The 'Entities' list includes 'Components (1)', 'Load Collectors (2)', 'Load Steps (1)', 'Materials (1)', 'Properties (1)', and 'Titles (1)'. The 'Load Steps (1)' list shows 'linear static' selected. The 'Assembly Hierarchy' shows 'Components (1)' containing 'shell', 'Load Collectors (2)' containing 'spcs' and 'moment', 'Load Steps (1)' containing 'linear static', 'Materials (1)' containing 'material', 'Properties (1)' containing 'PSHELL', and 'Titles (1)'. The 'Model Info' shows 'MOMENT = 2.50e+005'. The 'Subcase Definition' panel is open, showing 'Analysis type' as 'Linear Static', 'SPC' as '(1) spcs', and 'LOAD' as '(2) moment'. The 'SUBCASE OPTIONS' panel is also visible, with 'ANALYSIS' checked.

1 Load step 생성

2 Anaylsis type 설정 후 구속 조건과 하중조건 부여

해석 케이스 정의 및 해석 실행 (2)

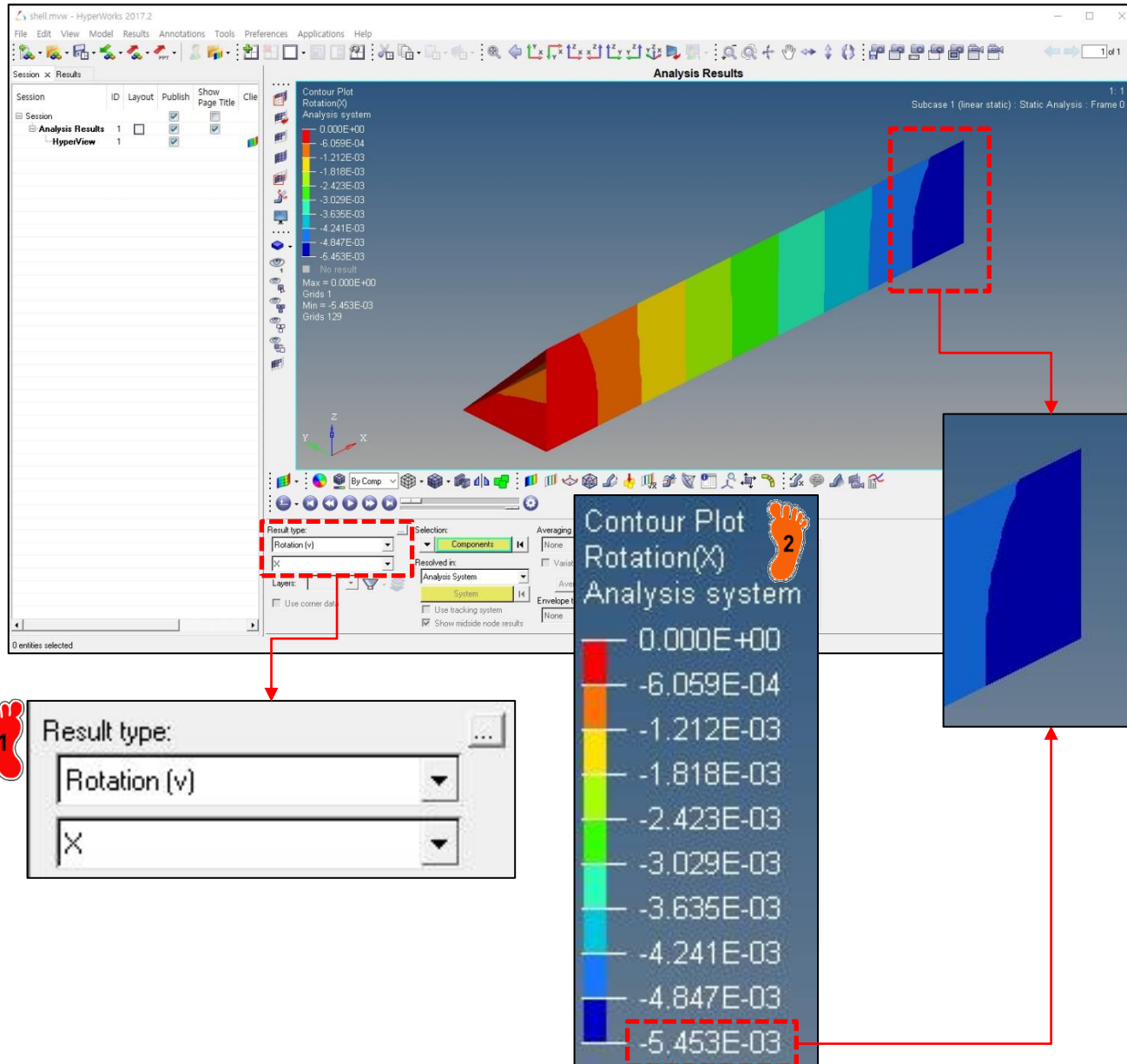


1 Load step의 subcase option 에서 output 체크

2 회전변위를 보기 위해 displacement 체크

3 Format 과 rotations 를 그림과 같이 설정 후 해석 실행

후처리 (1)



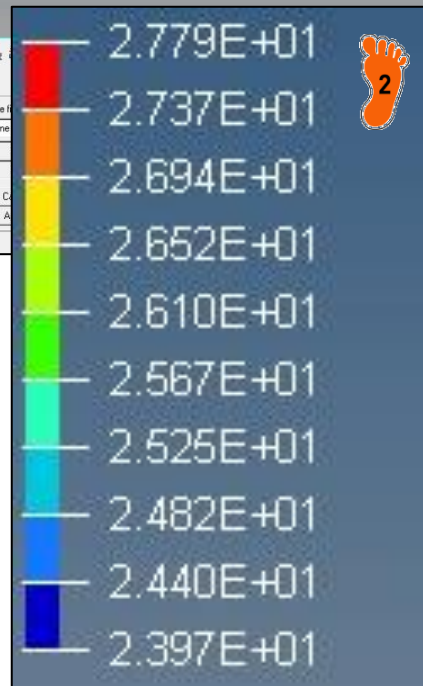
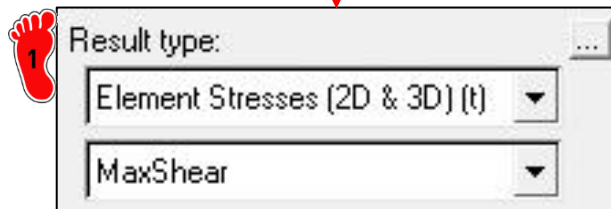
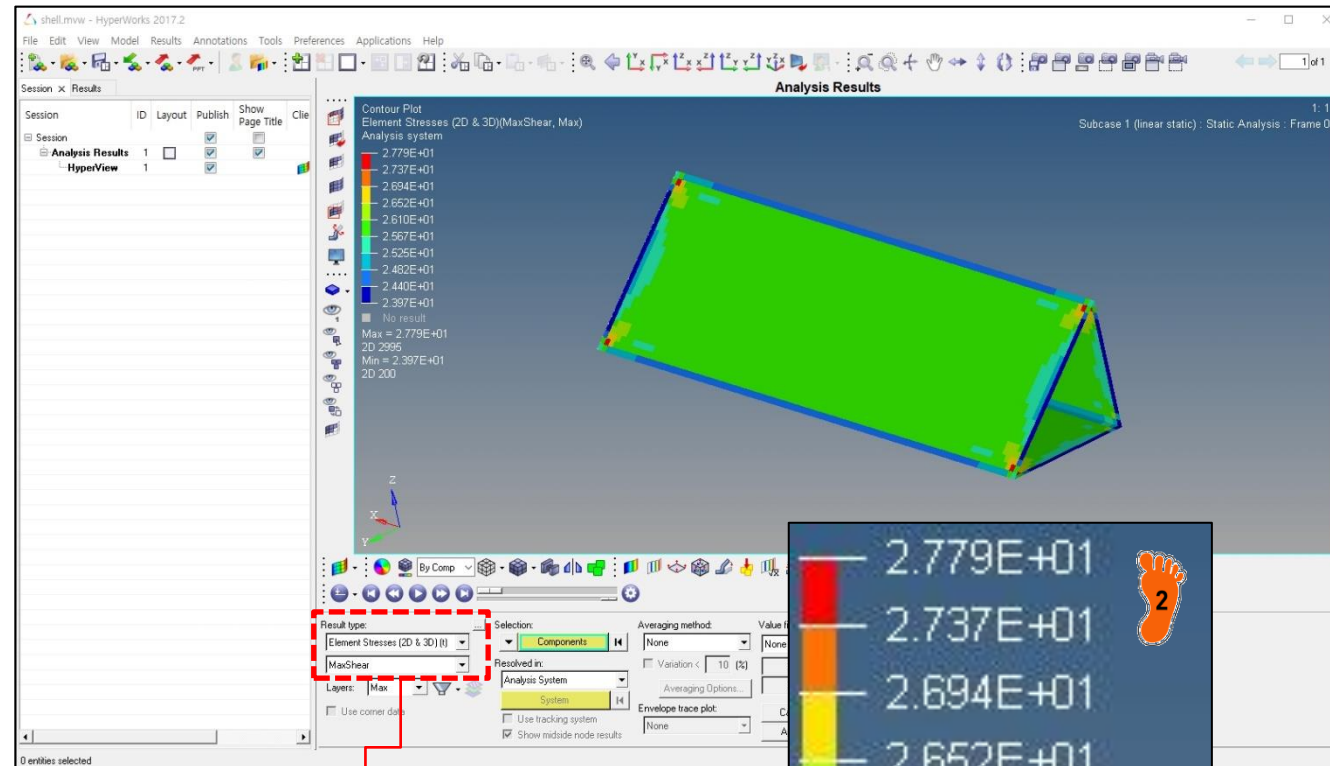
1 Result type을 x방향 회전
변위로 설정

2 Contour plot 확인
회전변위는 -5.453e-3 (rad)
이론 값과 오차는 0.33%

후처리 (2)

1 셸 최대 응력을 확인하기 위해 result type을 그림과 같이 설정

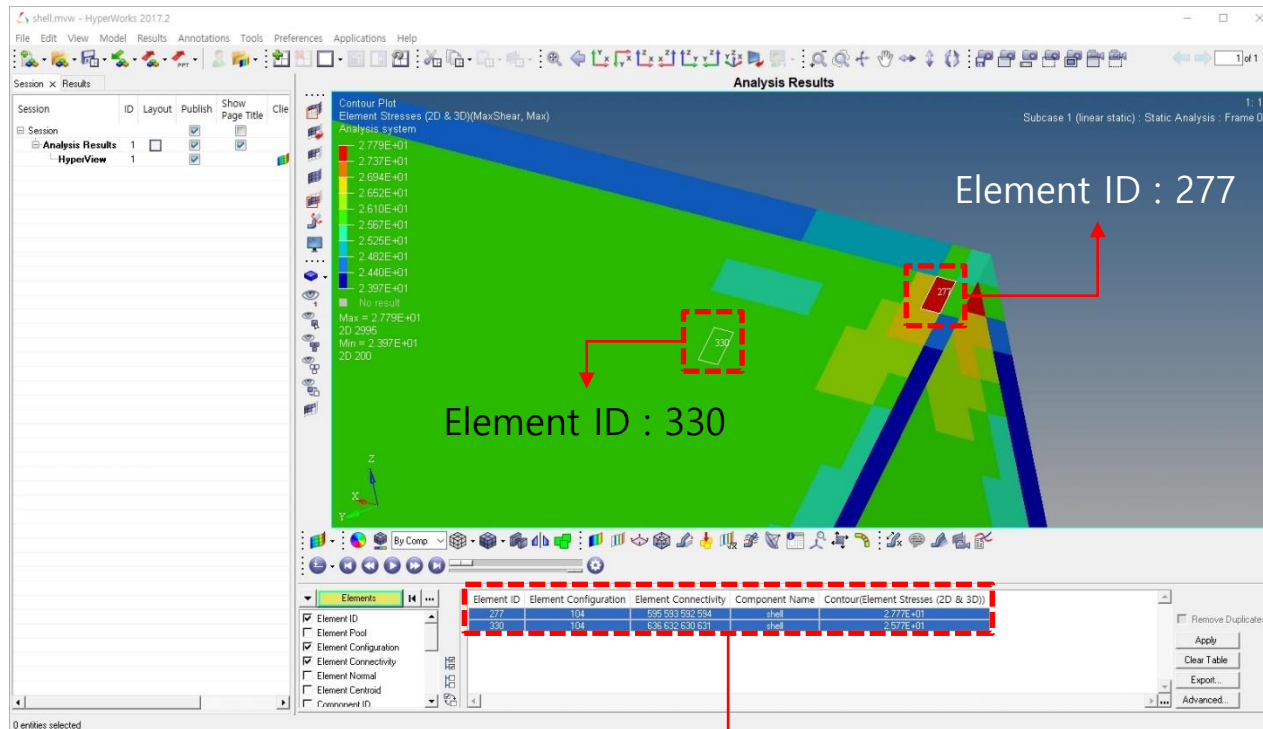
2 Contour plot 확인.
응력 집중이 발생하지 않는 부분의 응력은 이론 값인 25 MPa 와 유사한 수준 확인



후처리 (3)



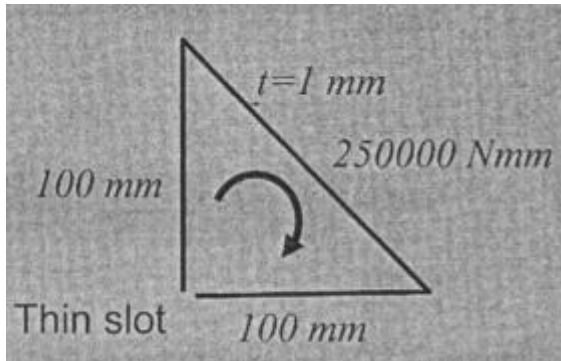
Query 를 통해서도 응력 값
확인 가능



Element ID	Element Configuration	Element Connectivity	Component Name	Contour(Element Stresses (2D & 3D))
277	104	595 593 592 594	shell	2.777E+01
330	104	636 632 630 631	shell	2.577E+01

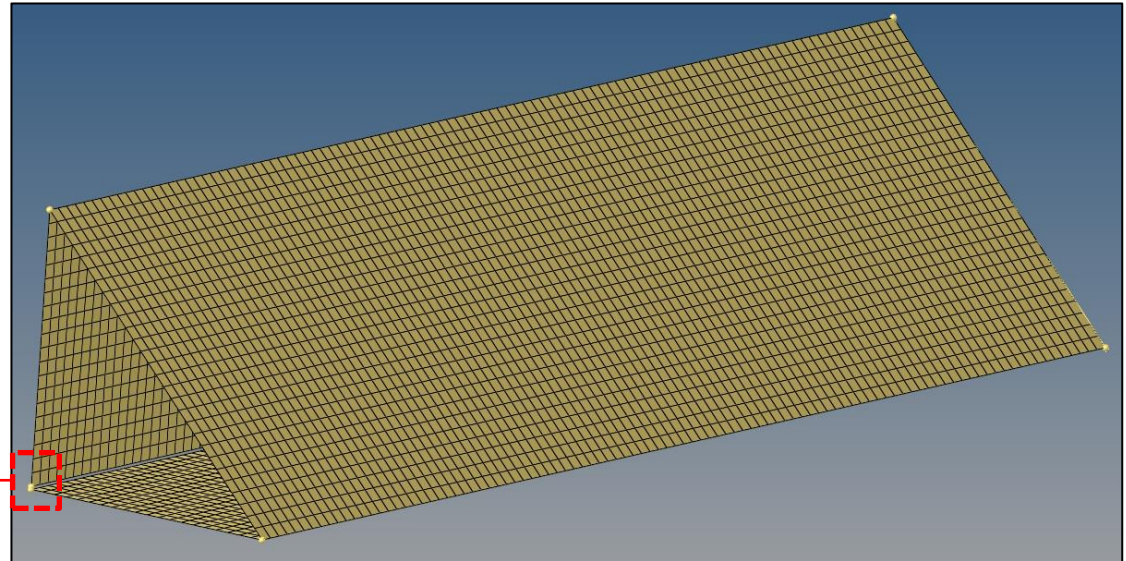
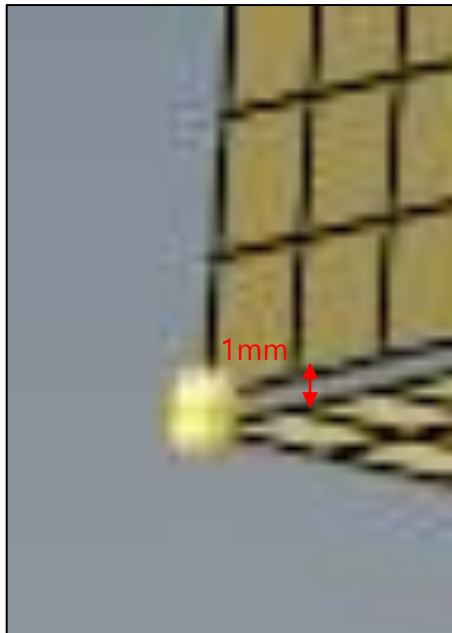
열린 단면인 경우: 단면 정보

Example: Torsion of beam with open section (p.59)



$$J_{EFF} = \frac{1}{3} t^3 S = \frac{1}{3} (1 \text{ mm})^3 (100 \text{ mm} + 99 \text{ mm} + 141.4 \text{ mm}) = 113.46 \text{ mm}^4$$

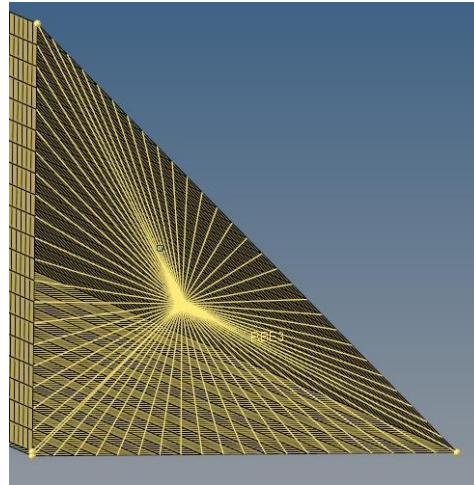
$$\theta = \frac{TL}{GJ_{EFF}} = \frac{(25 \text{ e} 4 \text{ Nmm})(500 \text{ mm})}{(78 \text{ e} 3 \text{ N / mm}^2)(113.46 \text{ mm}^4)} = 14.1 \text{ rad} (803^\circ)$$



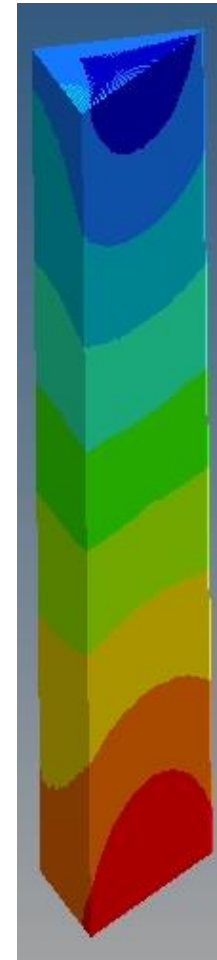
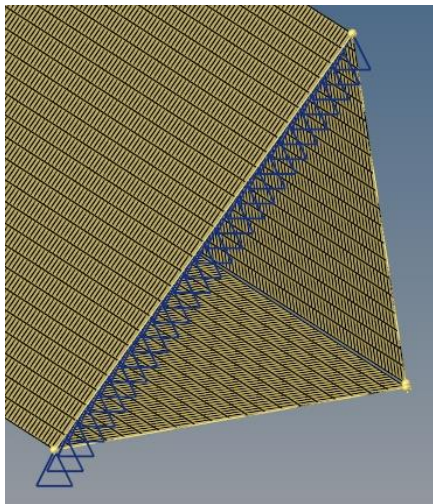
열린 단면인 경우: 해석 결과

강체요소(RBE2) 대신 보간요소(RBE3) 사용

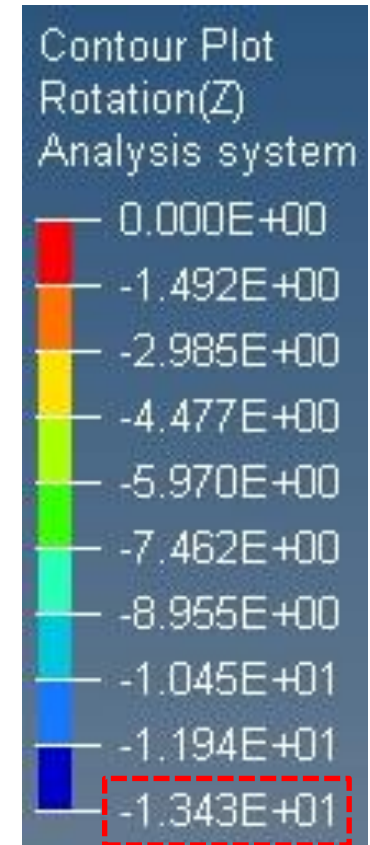
bars
rods
rigids
rbe3
springs
gaps



길이 방향 변형 허용을 위해 대각선 부분만 고정



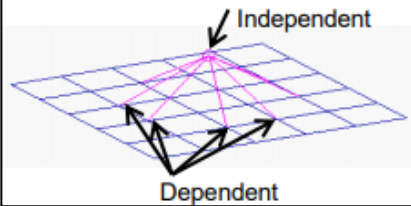
회전 변위 결과



강체요소(RBE2) VS. 보간요소(RBE3)

RBE2

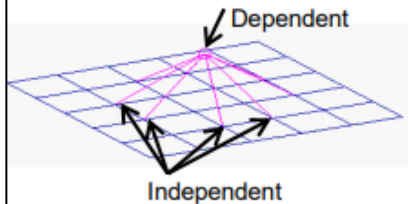
→ 독립 절점의 6자유도 전체가 선택한 종속 절점의 자유도와 연결.



RBE3

→ 독립 절점과 참조 절점 사이의 자유도 관계에 가중치를 부여하는 기능.

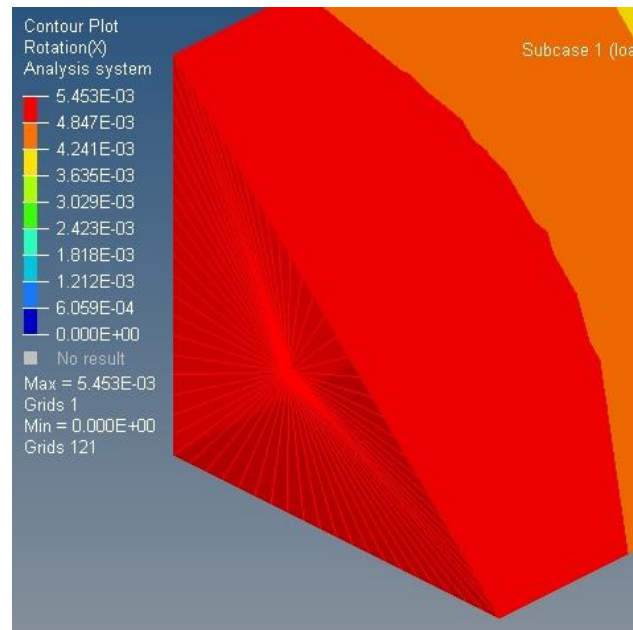
→ 작용하는 하중을 연결되는 여러 지지점에 분산시킬 때 사용.



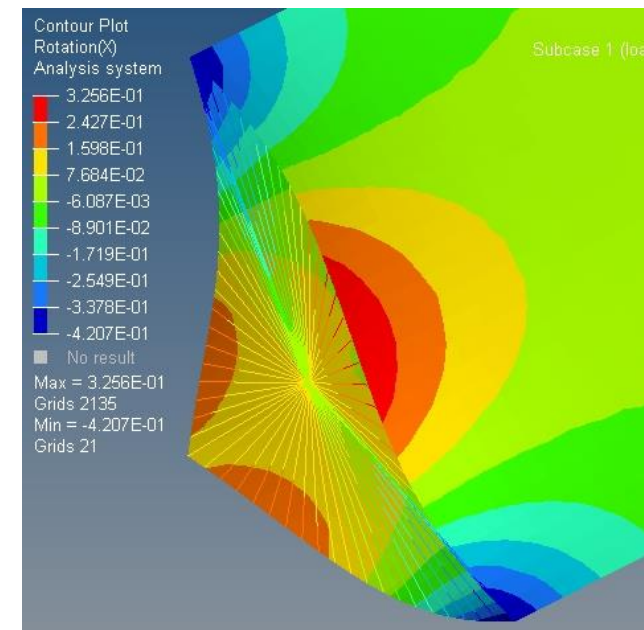
	RBE2	RBE3
정 의	연결된 절점들 모두 동일한 변위 및 회전	연결된 절점들에 모두 동일한 하중이 분배
차이점	절점들이 모두 동일한 변위 및 회전을 해야 하므로 각 절점에서 발생하는 MPC Force가 다르다.	동일한 하중이 분배되므로 각 절점에서 발생하는 변위 및 회전이 다르다.

앞선 closed section 쉘 요소 예제에 대한 결과 비교

RBE2



RBE3

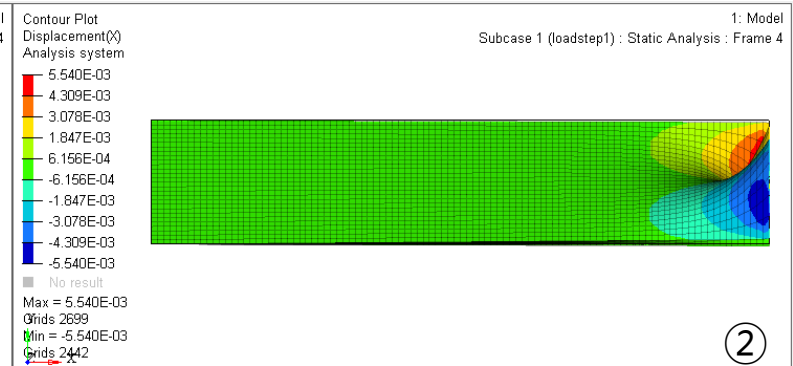
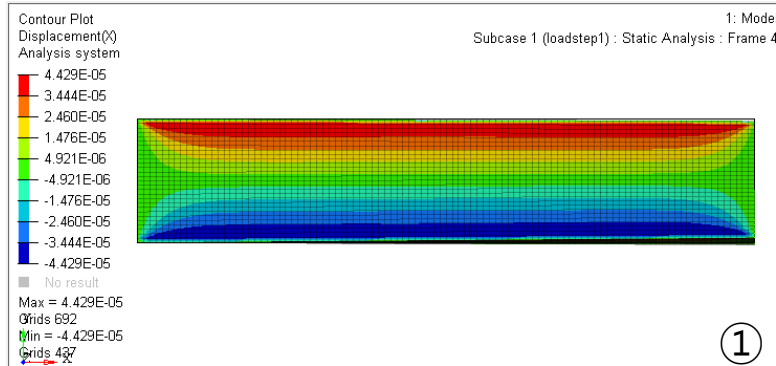


단면 형상과 RBE 요소 별 해석 결과

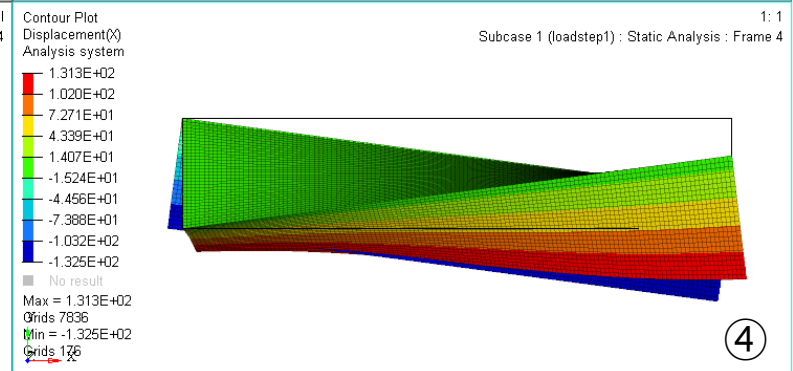
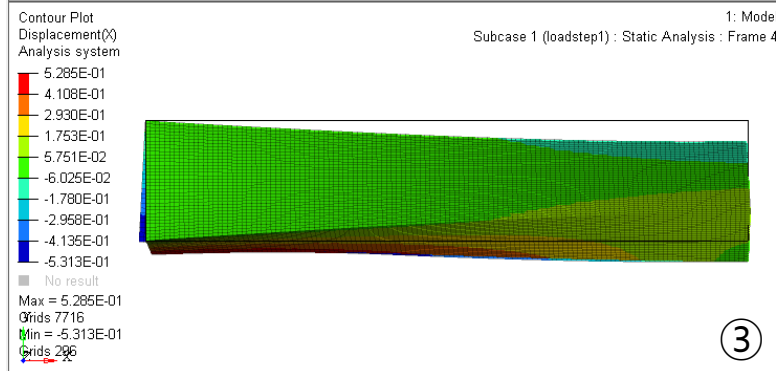
RBE2

RBE3

Closed



Opened



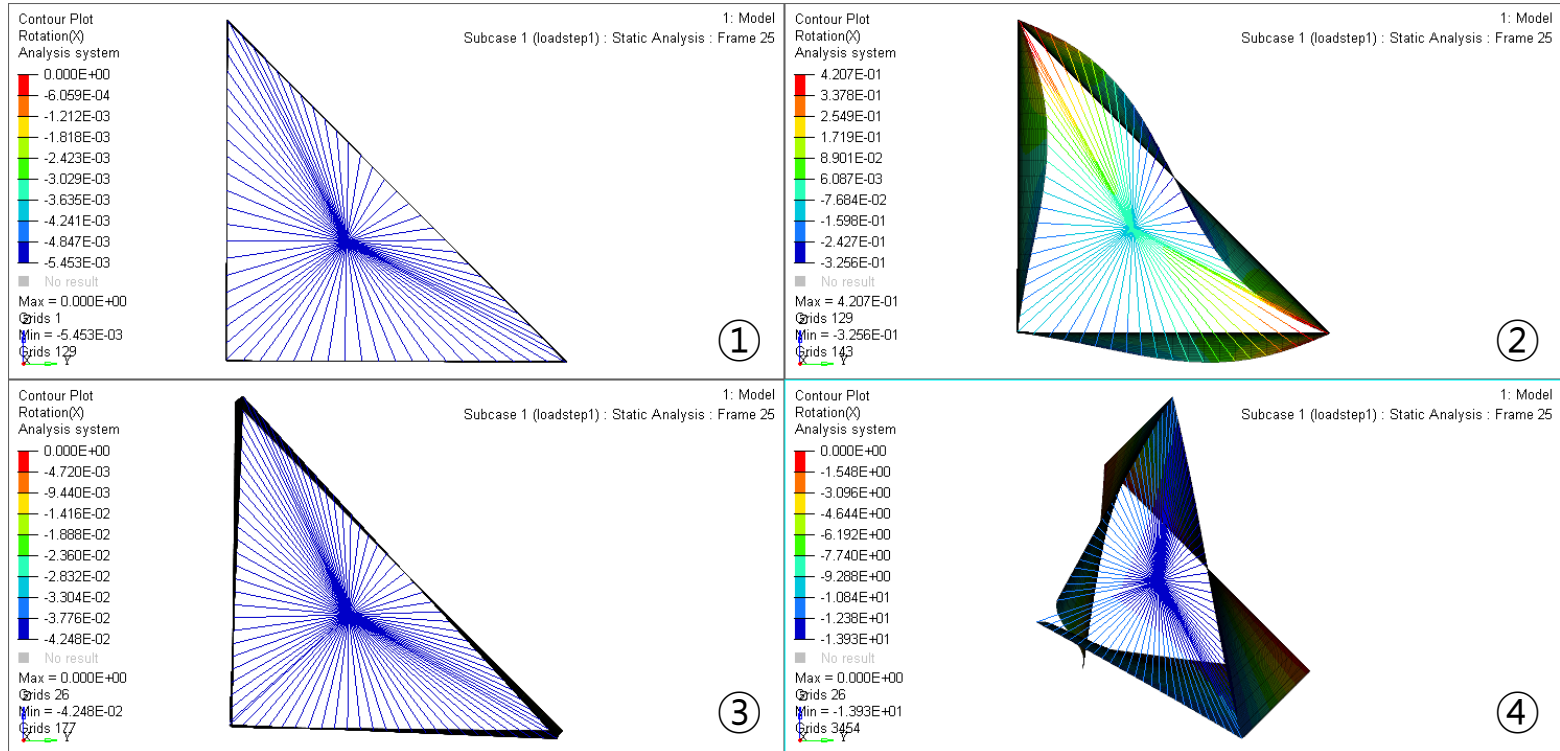
	①	②	③	④
최대 변위 [mm]	4.4e-5	5.5e-3	5.3e-1	131.3
최대 회전 각도 [rad]	5.5e-3	4.2e-1	4.2e-2	13.9

단면 형상과 RBE 요소 별 해석 결과

RBE2

RBE3

Closed



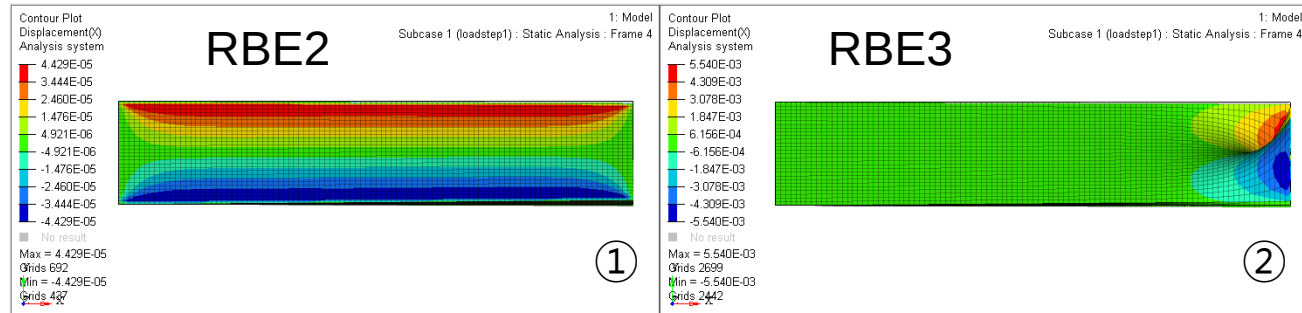
Opened

	①	②	③	④
최대 변위 [mm]	4.4e-5	5.5e-3	5.3e-1	131.3
최대 회전 각도 [rad]	5.5e-3	4.2e-1	4.2e-2	13.9

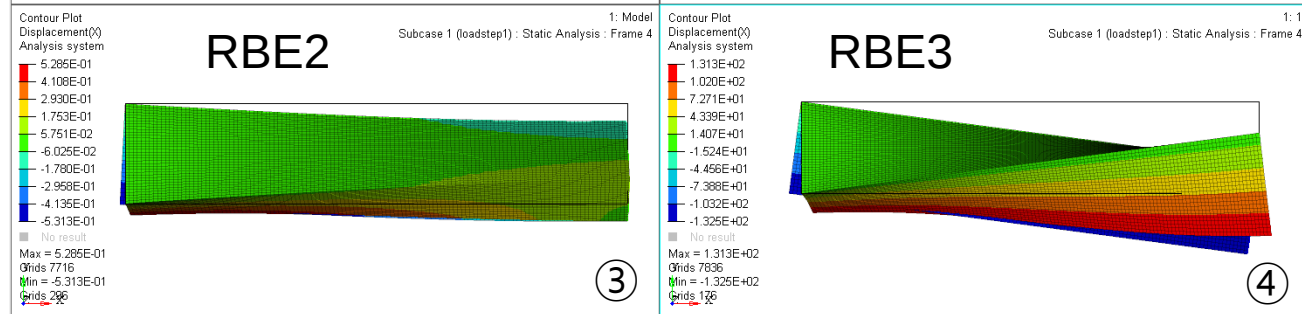
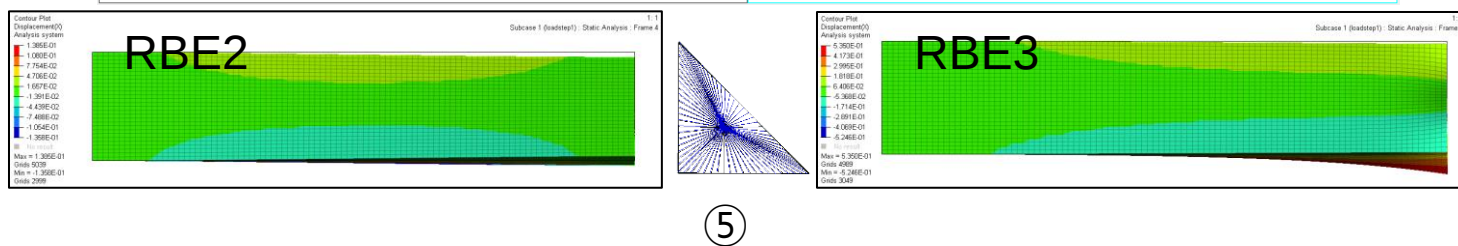
참고 #1

- Opened section '끝단 세 모서리' 전체 구속 결과 비교

Closed



Opened

Opened
(끝단 전체 구속)

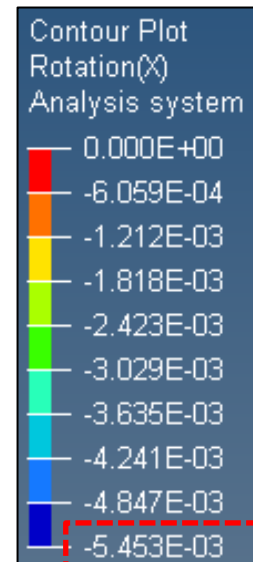
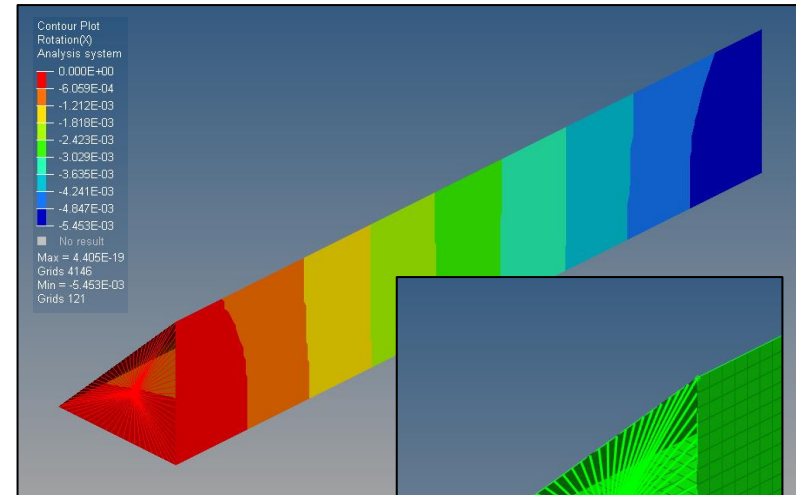
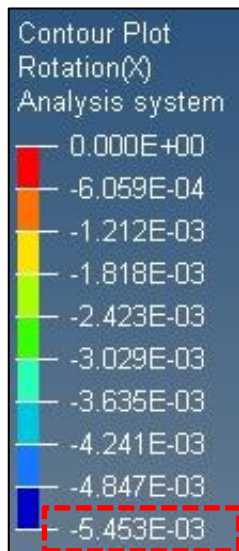
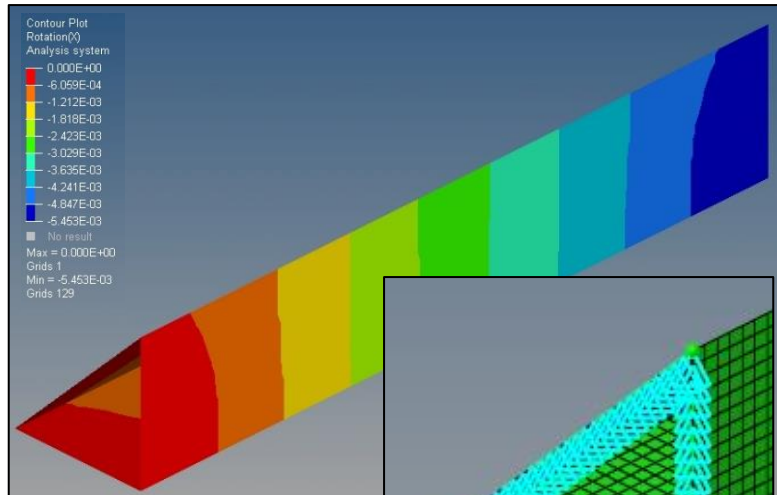
	①	②	③	④	⑤	⑥
최대 변위 [mm]	4.4e-5	5.5e-3	5.3e-1	131.3	1.3e-1	5.4e-1
최대 회전 각도 [rad]	5.5e-3	4.2e-1	4.2e-2	13.9	1.5e-2	4.8e-1

참고 #2

- 구속조건에 RBE2 요소 적용 결과 비교

Node 전체 구속

RBE2 구속



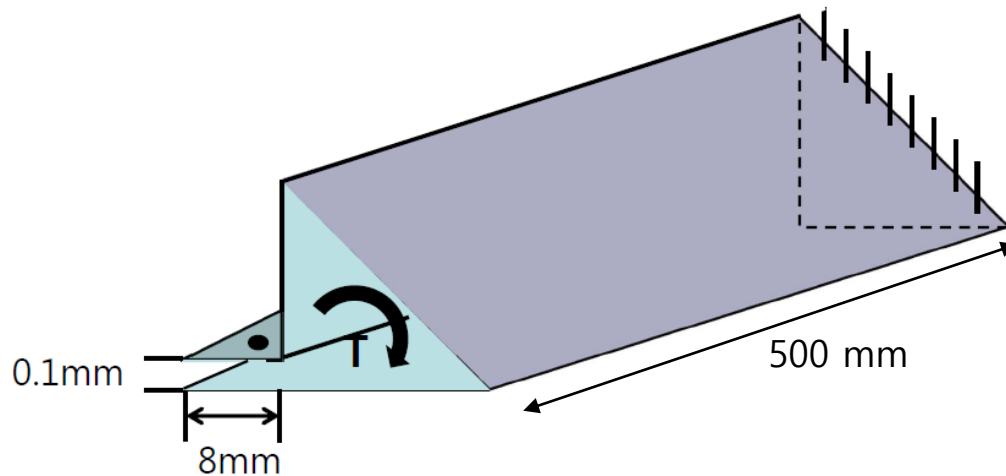
동일한 결과 확인

SPOT WELD FLANGE (SHELL 요소)

(1) NODE 공유법, (2) 요소 적용법

예제: SPOT WELD FLANGE

비틀림 강성을 계산하시오



재료 물성

- $E = 207 \text{ GPa}$

- $\nu = 0.327$

입력 하중

- $T = 250 \text{ kNmm}$

$$K = \frac{T}{\theta} = \frac{(\text{stiffness of closed tube w/o weld flange})}{\left[1 + \frac{3}{4\pi^2(1+\nu)} \frac{p^2}{wS} \right]}$$

if $p = 80\text{mm}$ (weld pitch)

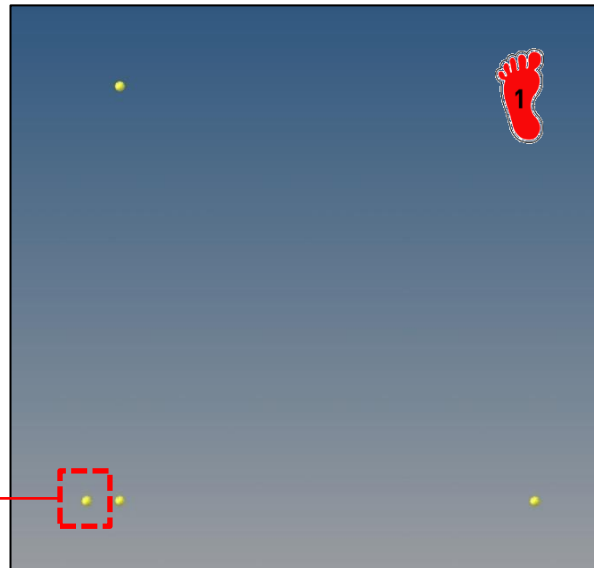
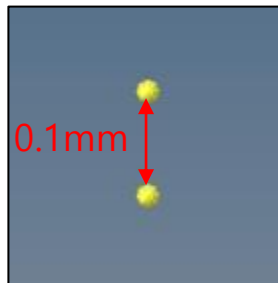
$$\psi = \frac{1}{1 + \frac{3}{4\pi^2(1+\nu)} \frac{p^2}{wS}} = \frac{1}{1 + \frac{3}{4\pi^2(1+0.327)} \frac{80^2}{8(200+100\sqrt{2})}} = 0.882$$

$$\theta_{p=80} = \theta \times \frac{1}{\psi} = 5.471 \times 10^{-3} \times \frac{1}{0.882} = 6.205 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$K_{p=80} = K \times \psi = 45.704 \times 0.882 = 40.297 \text{ Nm/rad}$$

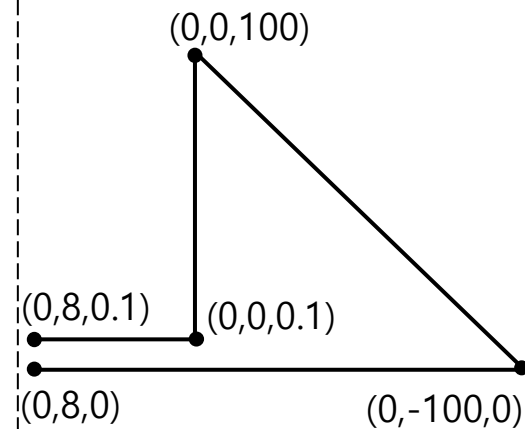
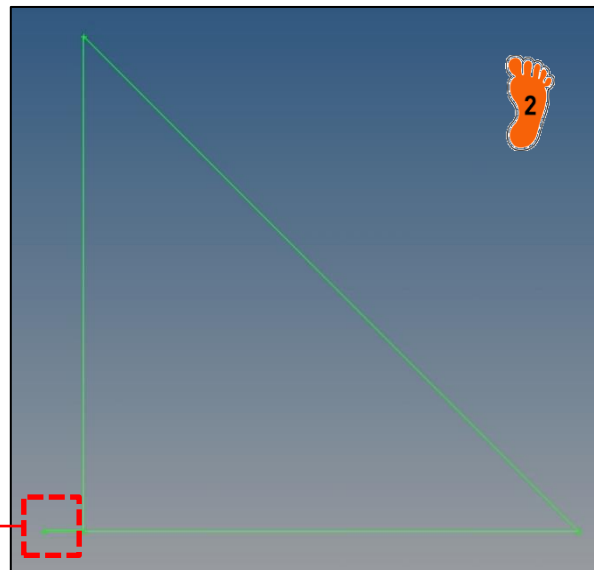
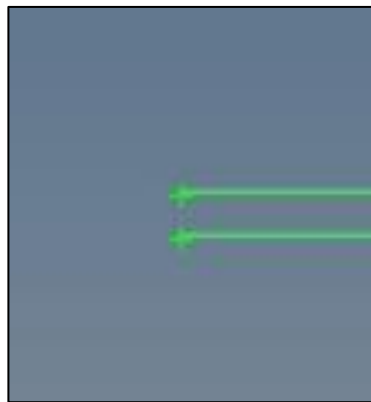
(1) NODE 공유법

단면형상 생성



1 Geom → nodes를 클릭하고
아래 그림을 참고하여 node
생성

2 앞의 예제와 같이 line 생성
(이후 temp node → clear
all)



끝부분이 닫히지 않도록 확인

재료 물성 및 특성 입력

The screenshot shows the HyperMesh 2017.2 interface. The Entities tree on the left lists the hierarchy: Assembly Hierarchy, Components (1), Materials (1), Properties (1), PSHELL, and Titles (1). A red dashed box highlights the Materials and Properties sections, with a red foot icon (1) pointing to the Materials section.

Three property definition windows are shown below:

- Material Property Window (Foot 2):** Shows the definition for material (1). The E (Young's Modulus) is set to 207000.0 and NU (Poisson's Ratio) is set to 0.327. A red dashed box highlights these two values.
- PSHELL Property Window (Foot 3):** Shows the definition for PSHELL (1). The Card Image is set to PSHELL, and the T (Thickness) is set to 1.0. A red dashed box highlights these two values.
- Component Property Window (Foot 4):** Shows the definition for component (1). The Property is set to (1) PSHELL and the Material is set to (1) material. A red dashed box highlights these two values.

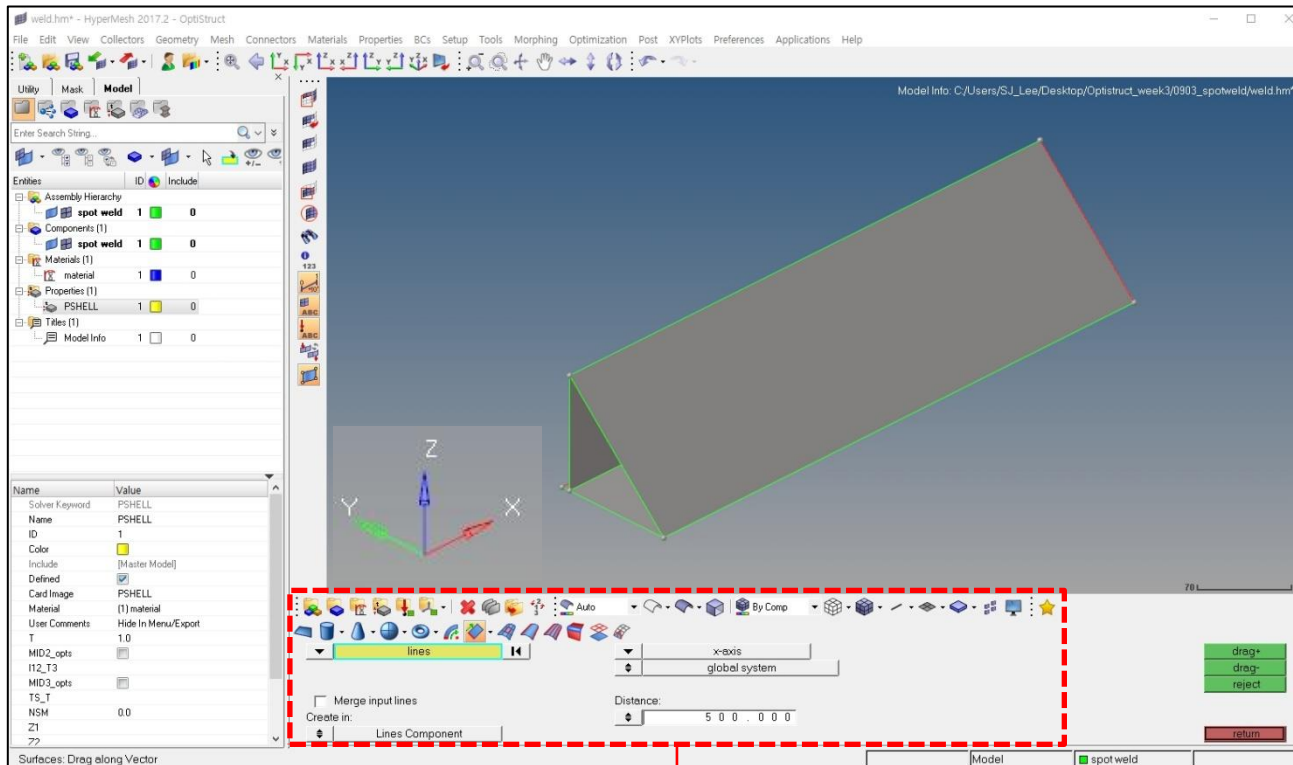
1 Material, Property 생성

2 물성치 입력
 $E = 207000 \text{ GPa}$
 $NU = 0.327$

3 Property 에서 card image
 를 PSHELL 로 설정. 재료
 입력 후 T=1 입력

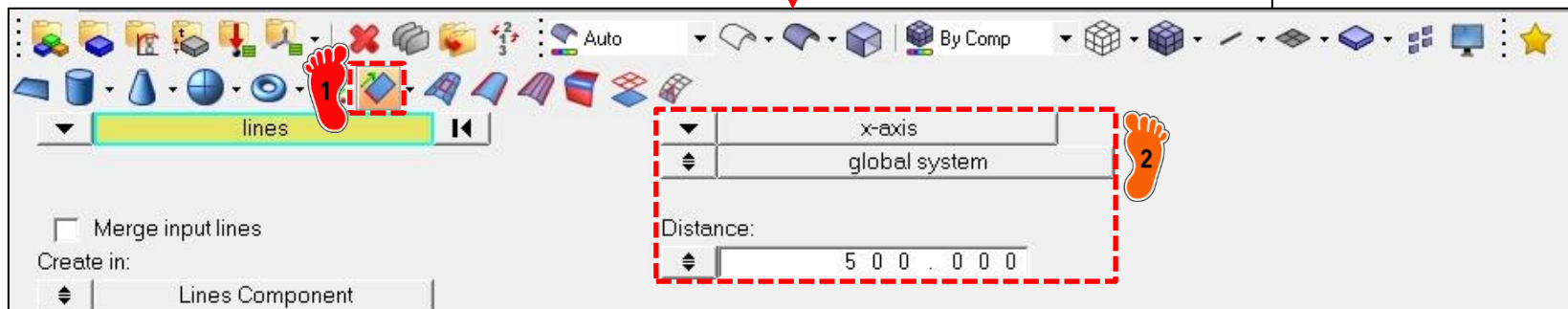
4 Component 에 property
 입력

기하형상 생성

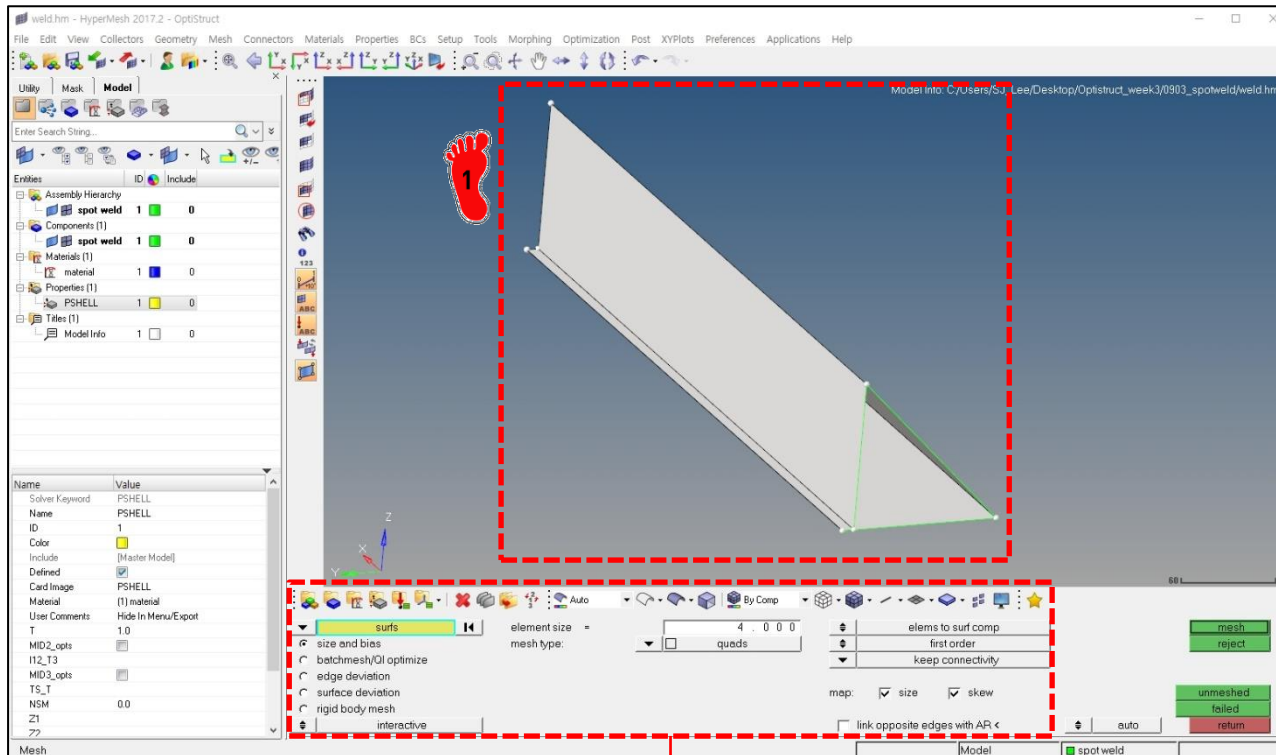


1 Geom → surfaces 클릭 후
클릭

2 생성한 선 클릭 후 방향은
x-axis, Distance 는 500 입력

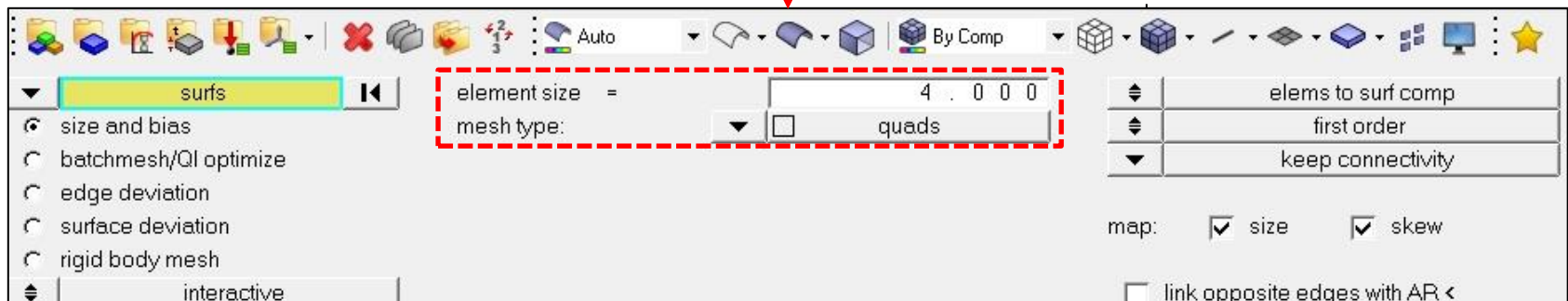


요소망 생성 (1)

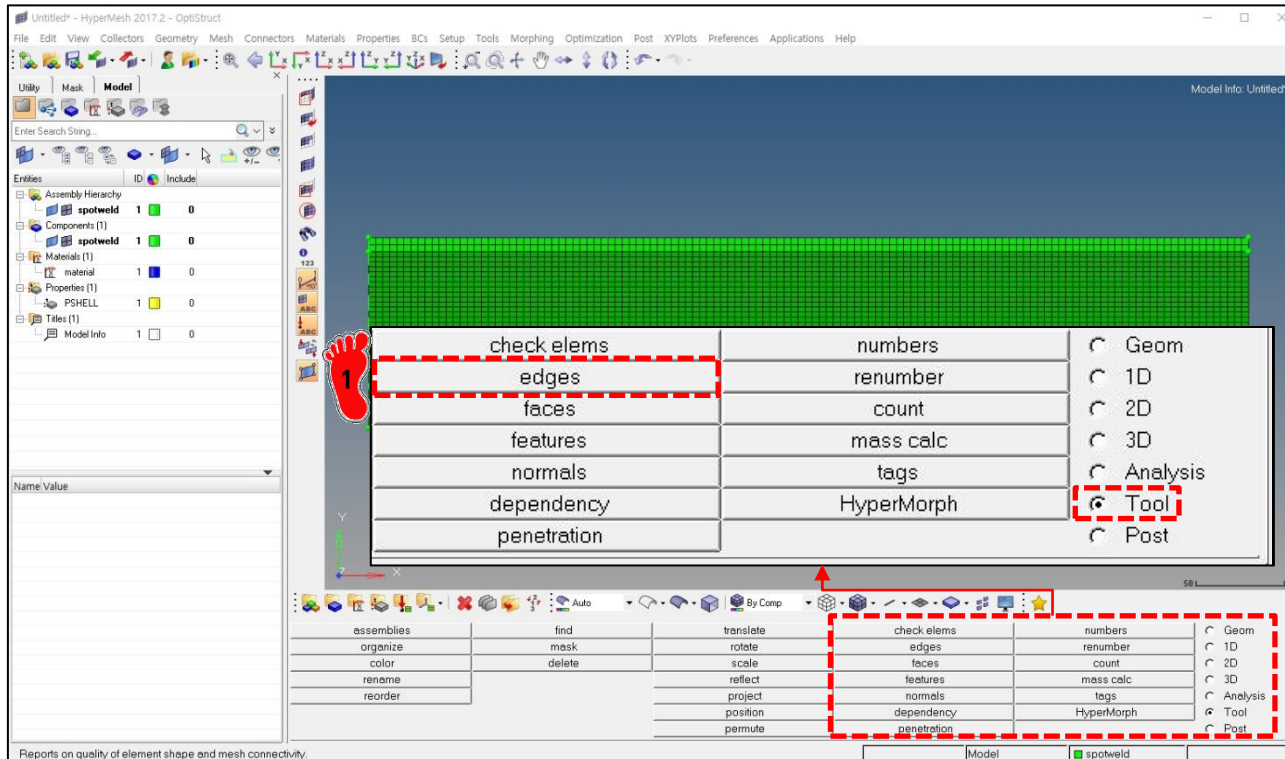


1 2D → automesh 클릭 후
모든 평면 선택

2 element size = 4
mesh type = quads
입력 후 mesh



요소망 생성 (2)



클릭 후 Tool → edges

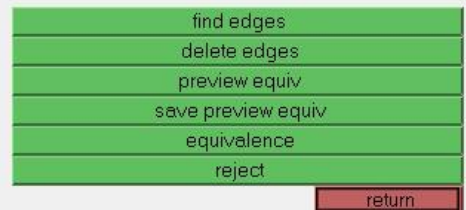
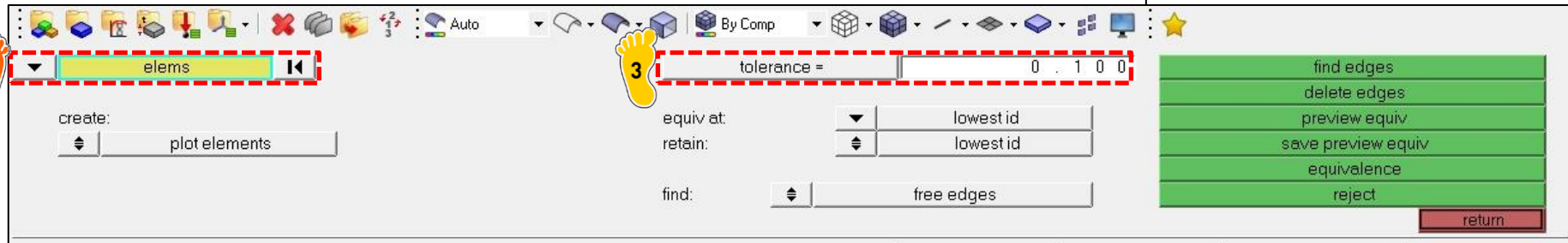
클릭



왼쪽 위의 선택 부분을
elems 로 선택

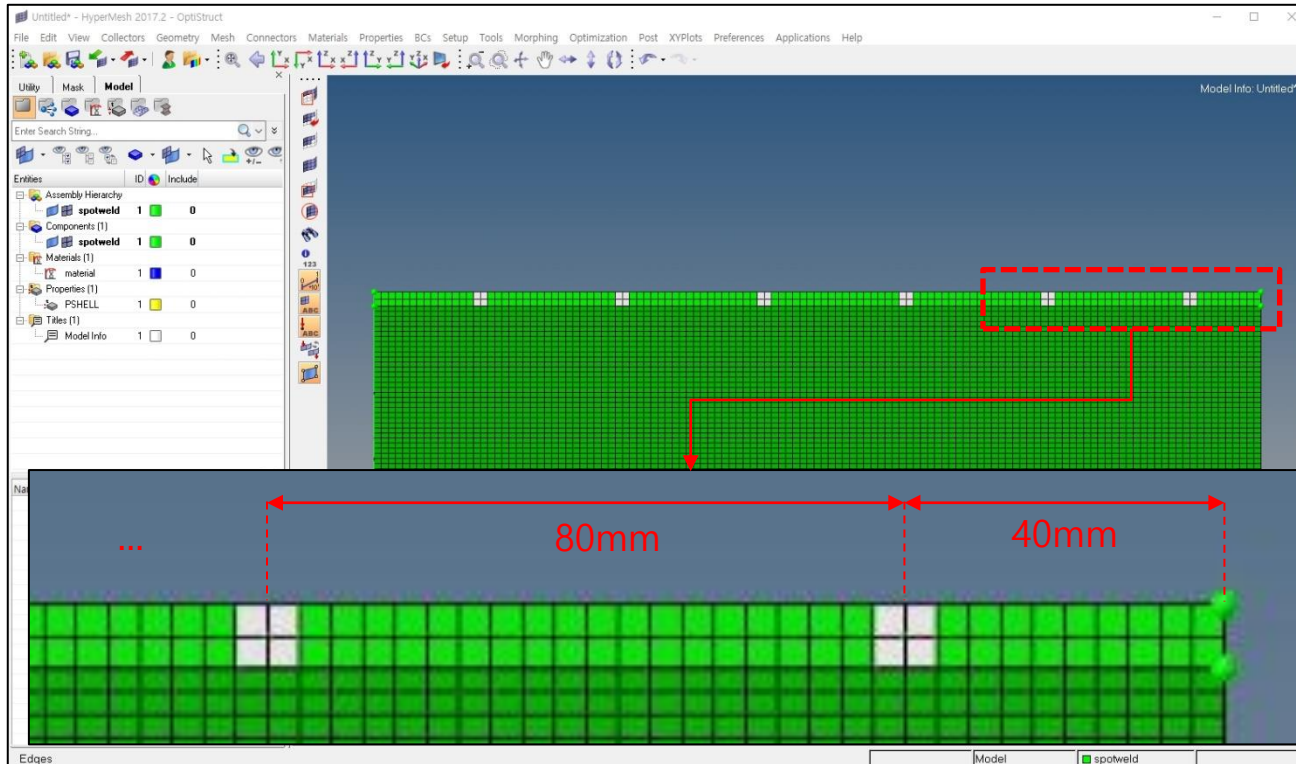


tolerance = 0.1 입력



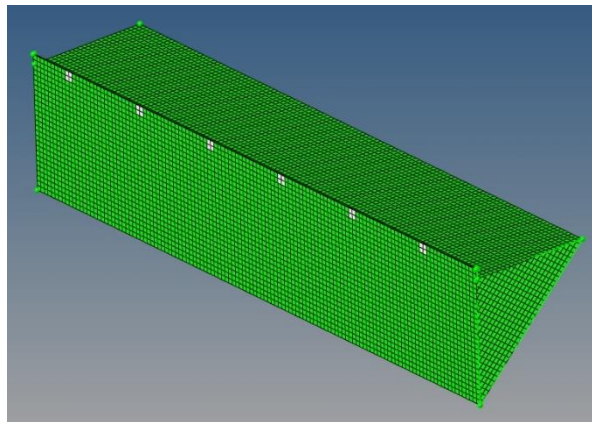
return

요소망 생성 (3)

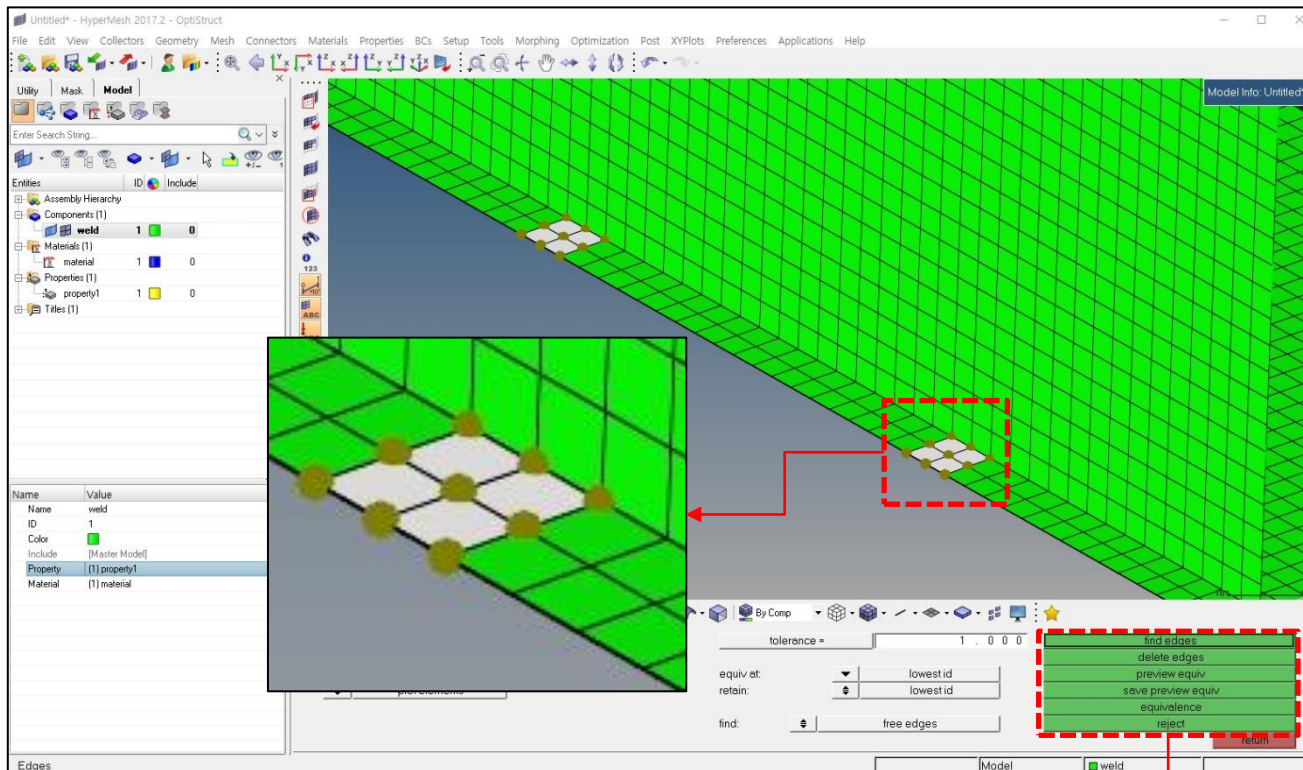


1 오른쪽부터 40mm 떨어진 node를 둘러싸는 4개의 element 선택 (요소 크기 4 참고)

2 왼쪽으로 80mm 간격으로 같은 작업 수행. 이후 대칭이 되도록 뒷면도 선택



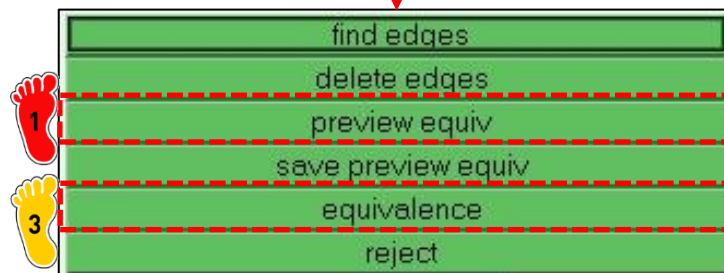
요소망 생성 (4)



1 모두 선택한 후
preview equiv 클릭

2 그림과 같이 연결될 node들이
표시되는 것을 확인

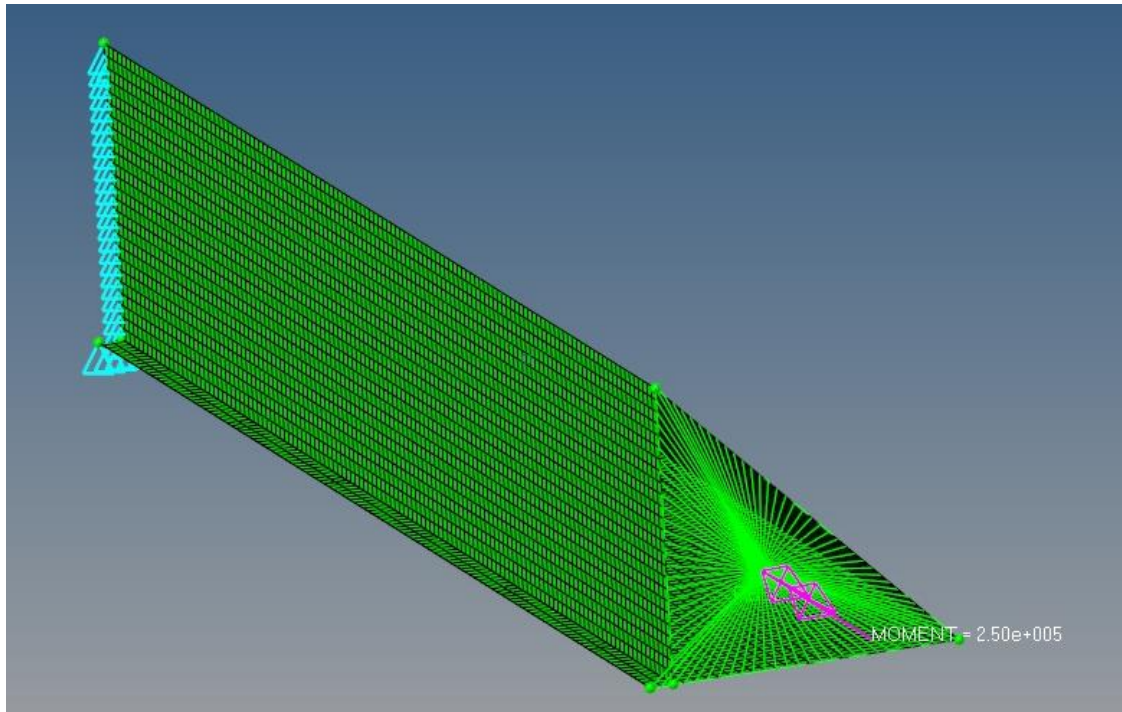
3 equivalence 클릭



구속조건 및 하중조건 설정



Load collector 두개 생성 후
문제와 같이 구속조건과 하
중조건 설정
(1D → rigids 사용)



해석 케이스 정의 및 해석 실행

1 Load step 생성 후 그림과 같이 analysis type과 SPC, LOAD 입력

2 회전변위를 보기 위해 그림과 같이 체크 후 해석 실행

The screenshot shows the HyperMesh 2017.2 - OptiStruct interface. The 'Subcase Definition' dialog is open, showing the following settings:

Name	Value
Solver Keyword	SUBCASE
Name	linear
ID	1
Include	[Master Model]
User Comments	Hide In Menu/Export

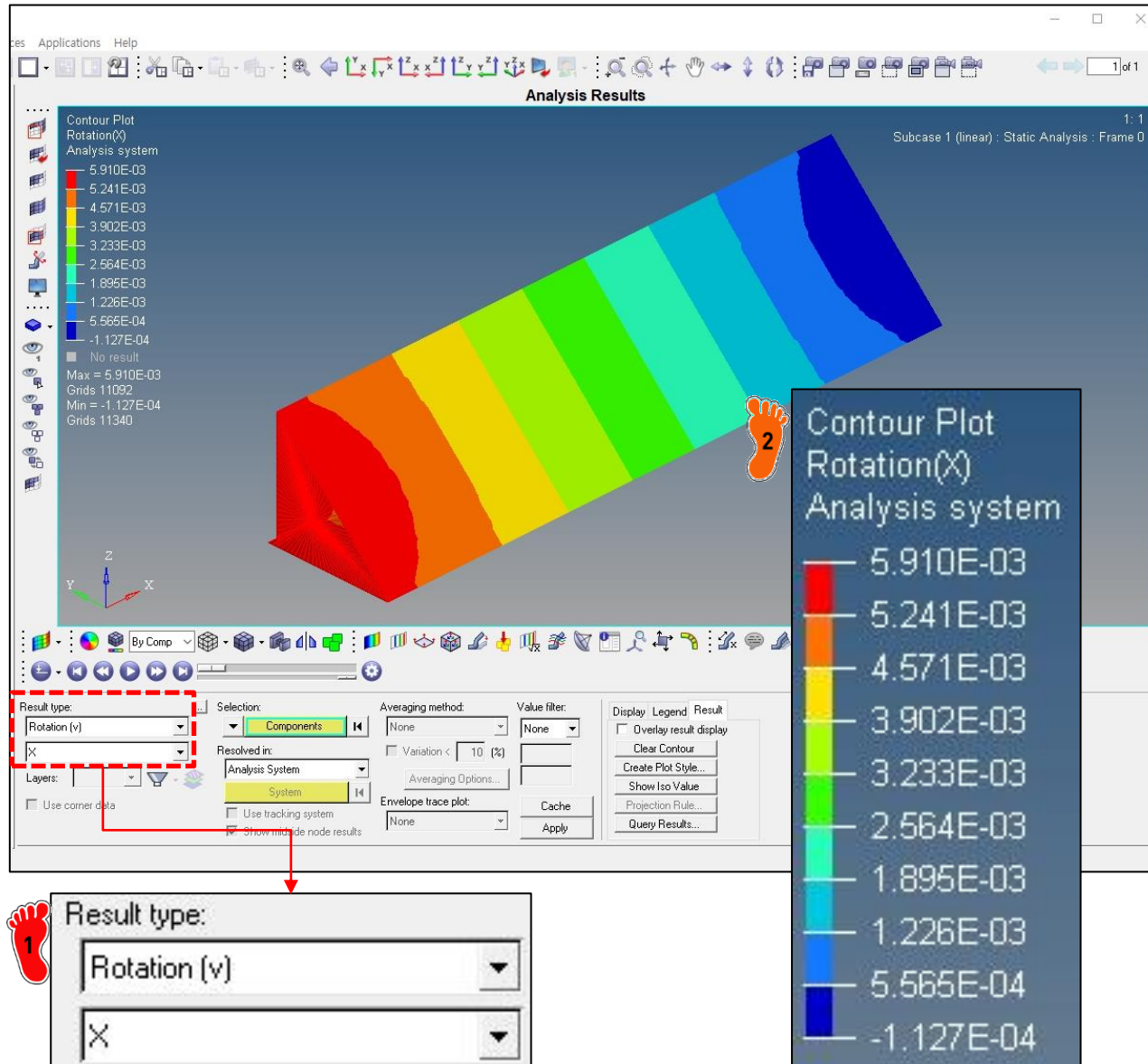
The 'Subcase Definition' dialog is expanded to show the 'Analysis type' section:

Name	Value
Analysis type	Linear Static
SPC	(1) spcs
LOAD	(2) moment
SUPPORT1	<Unspecified>
PRETENSION	
MPC	
DEFORM	
STATSUB (PRELOAD)	
STATSUB (PRETENS)	

The 'SUBCASE OPTIONS' dialog is also open, showing the following settings:

Name	Value
TEMP	☐
TEMP LOAD	☐
OUTPUT	☒
ACCELERATION	☐
CFailure	☐
CMDE	☐
CMKE	☐
CMSE	☐
CSTRAIN	☐
CSTRESS	☐
DAMAGE	☐
DISPLACEMENT	☒
DISPLACEMENTS_NUM	1
1	
SORTING	
FORMAT	H3D
FORM	
ROTATIONS	ROTA
RANDOM	
PEAK	
MODAL	
FOURIER	
ANALYSIS	
TYPE	
OPTION	ALL

후처리



1 x방향 회전변위를 보기 위해 result type 설정

2 contour plot 확인.
결과는 5.910e-3으로 이론
결과와 오차 4.75% 확인
(용접 위치에 따라 다를 수
있음)

(2) SPOT WELD 요소 적용법

SPOT WELD 요소 적용 절차 (1)



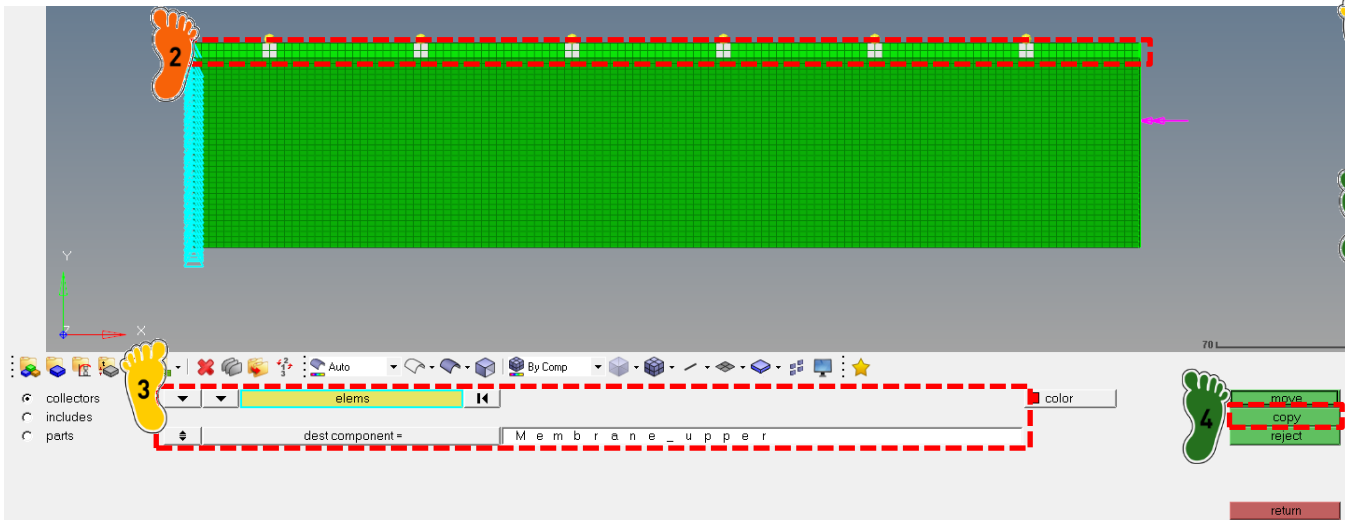
Entities	ID	Include
Assembly Hierarchy		
auto1	1	0
Membrane_upper	2	0
Components (2)		
auto1	1	0
Membrane_upper	2	0
Load Collectors (2)		
spc	1	0
Moment	2	0
Materials (1)		
material1	1	0
Properties (1)		
property1	1	0
Titles (1)		
Model Info	1	0

 1 컴포넌트 생성
(Membrane_upper)

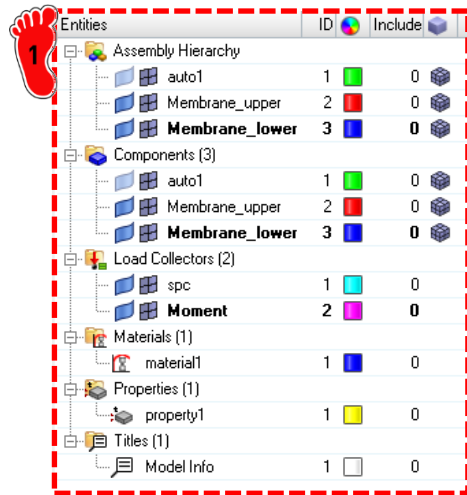
 2 Tool>organize 클릭 후
collectors 선택,
그림과 같이 용접면의 요소
선택 (윗면)

 3 Dest component:
Membrane_upper 선택

 4 Copy 클릭 후 return



SPOT WELD 요소 적용 절차 (2)

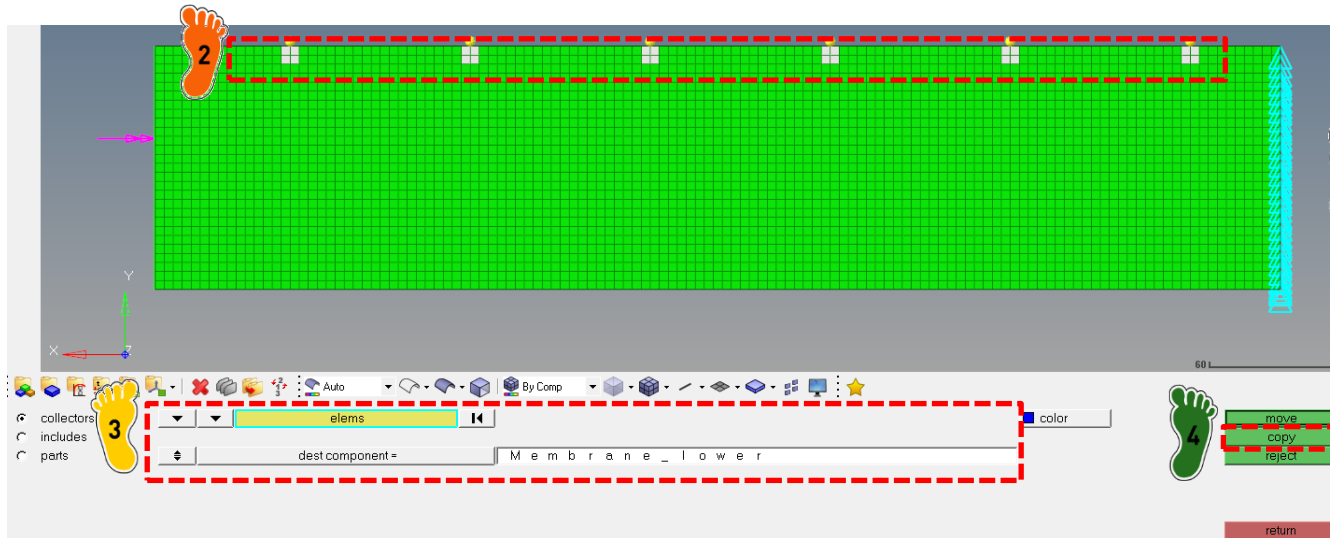


1 아랫면에 동일 작업 수행
컴포넌트 생성
(Membrane_lower)

2 Tools>Organize 클릭 후
그림과 같이 용접면의 요소
선택 (아랫면)

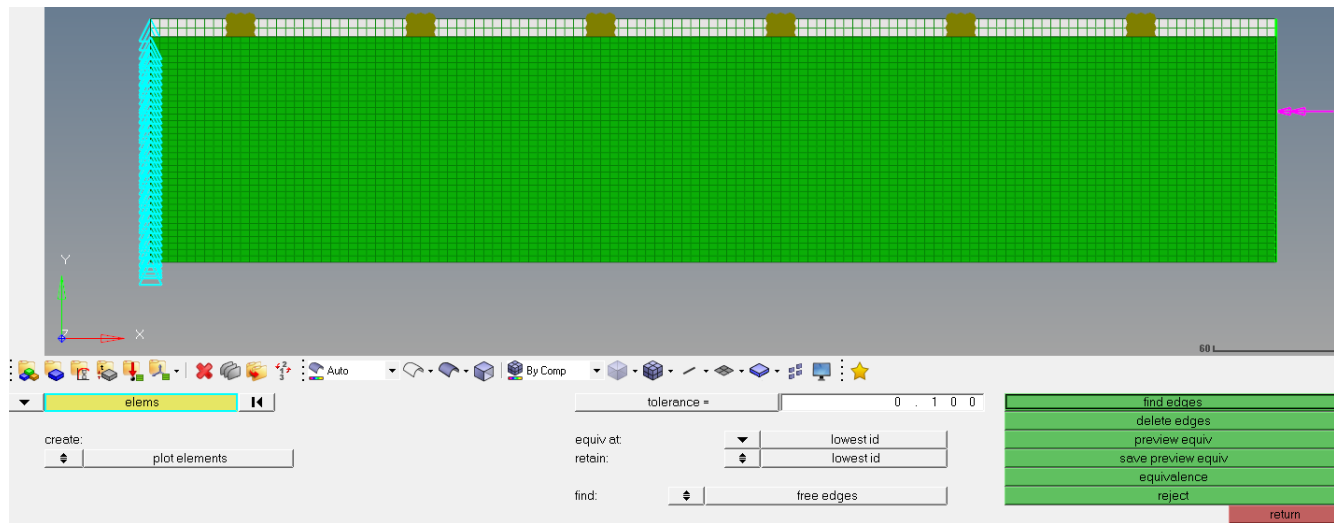
3 Dest component:
Membraen_lower 선택

4 Copy 클릭 후 return



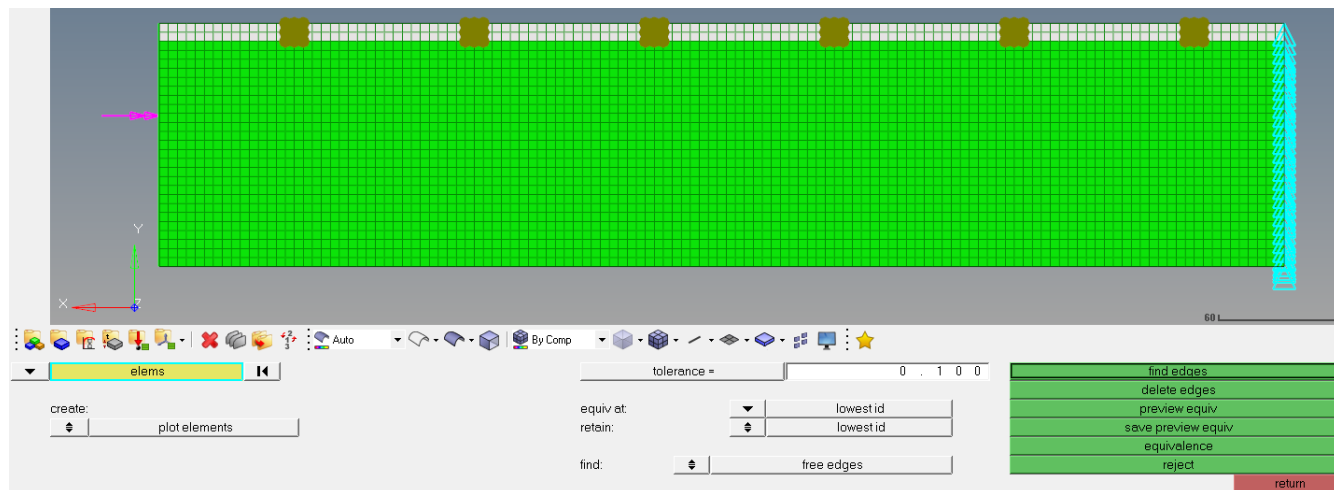
SPOT WELD 요소 적용 절차 (3)

윗면



Tools>Edges>Equivalence
기능 이용하여 새로 생성한
컴포넌트와 기존 셸 구조물
과의 동일 지점 노드 공유

아랫면



SPOT WELD 요소 적용 절차 (4)

Properties [4]

property1	1		0
Membrane_upper	2		0
Membrane_lower	3		0
PwELD	4		0

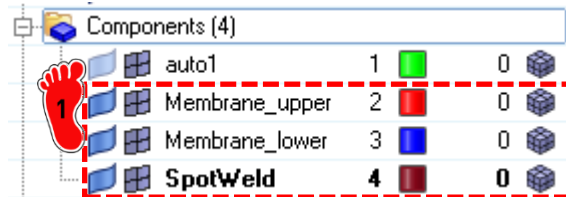
1 Property 생성:
Membrane_upper,
Membrane_lower,
PWELD

2 Property 설정

Name	Value	
Solver Keyword	PSHELL	
Name	Membrane_upper	
ID	2	
Color		
Include	[Master Model]	
Defined	☒	
Card Image	PSHELL	
Material	(1) material1	
User Comments	Hide In Menu/Export	
T	1e-006	
MID2_opts	☒	
Options	BLANK	: Pure membrane in plane stress
I12_T3		
MID3_opts	☒	
Options	BLANK	: No transverse shear deformation is considered.
TS_T		
NSM	0.0	

Name	Value
Solver Keyword	PWELD
Name	PWELD
ID	4
Color	
Include	[Master Model]
Defined	☒
Card Image	PWELD
Material	(1) material1
User Comments	Hide In Menu/Export
beamsec	<Unspecified>
D	0.1
MSET	
TYPE	
DTAB	☐

SPOT WELD 요소 적용 절차 (5)



2

Name	Value
Name	Membrane_upper
ID	2
Color	
Include	[Master Model]
Property	(2) Membrane_upper
Material	(1) material1

Name	Value
Name	Membrane_lower
ID	3
Color	
Include	[Master Model]
Property	(3) Membrane_lower
Material	(1) material1

Name	Value
Name	SpotWeld
ID	4
Color	
Include	[Master Model]
Property	(4) PWELD
Material	(1) material1

1 SpotWeld 컴포넌트 생성

2 각 컴포넌트 별 property 선택

SPOT WELD 요소 적용 절차 (6)



1D>spotweld 클릭



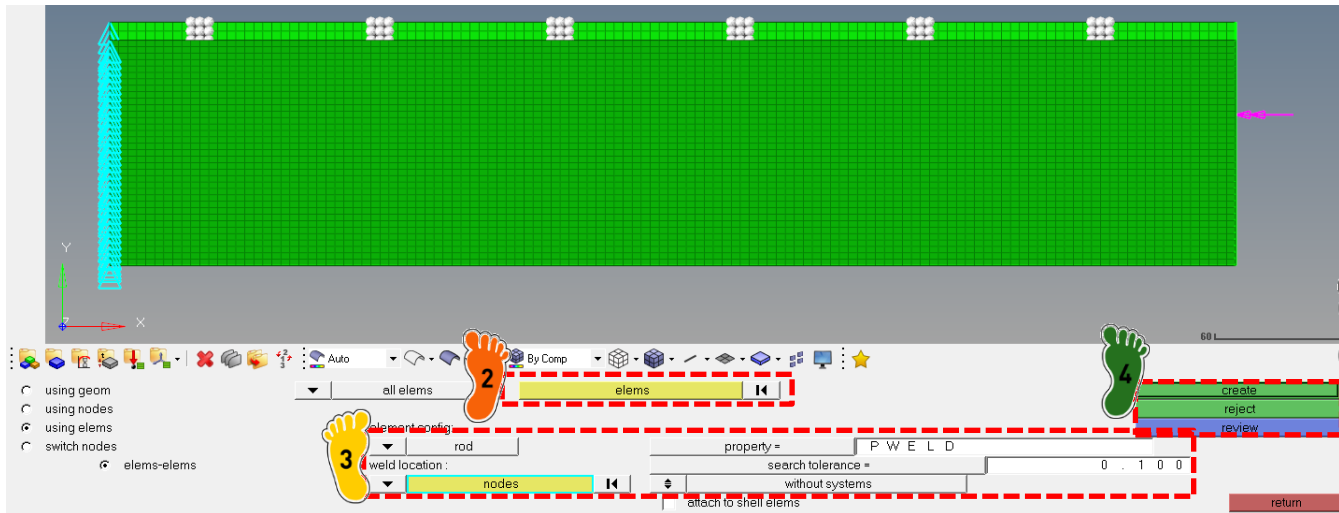
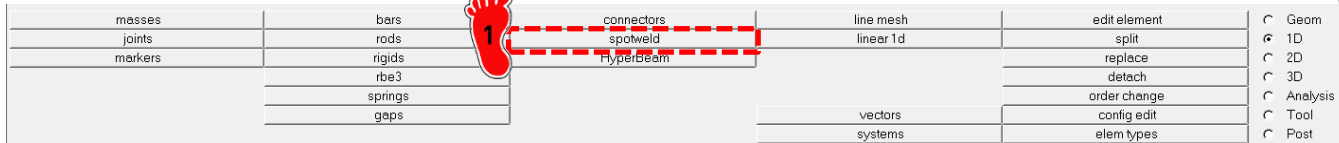
Using elems 선택 후,
Membrane_upper와
Membrane_lower 요소
선택



Element config: rod,
property: PWELD,
Weld location:
membrane upper와
membrane lower,
search tolerance: 0.1

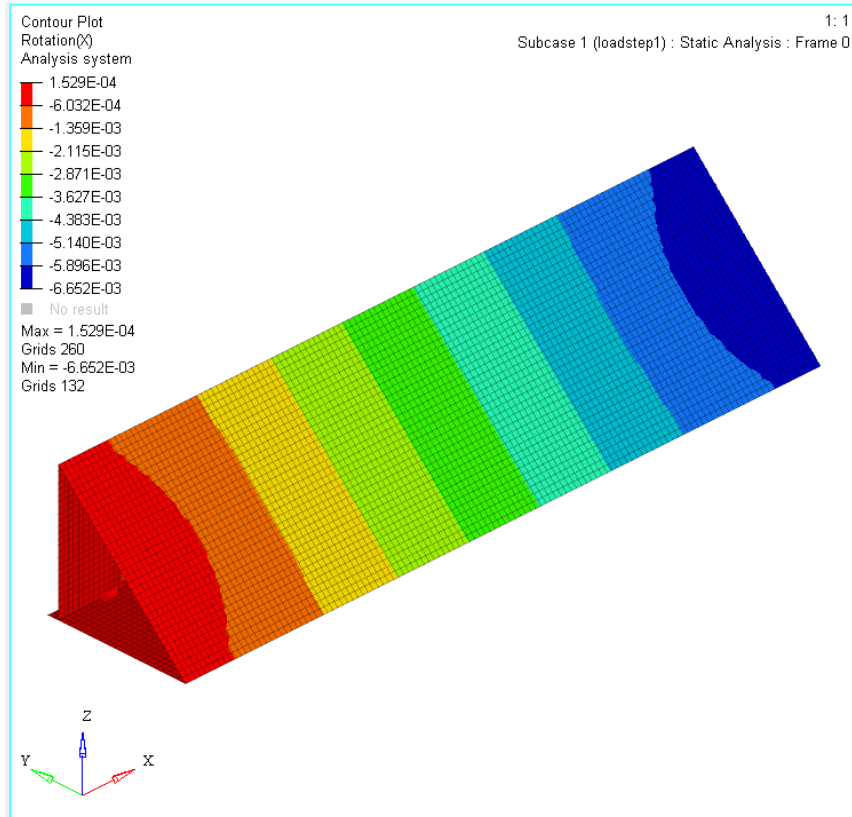


Create 클릭 후 return

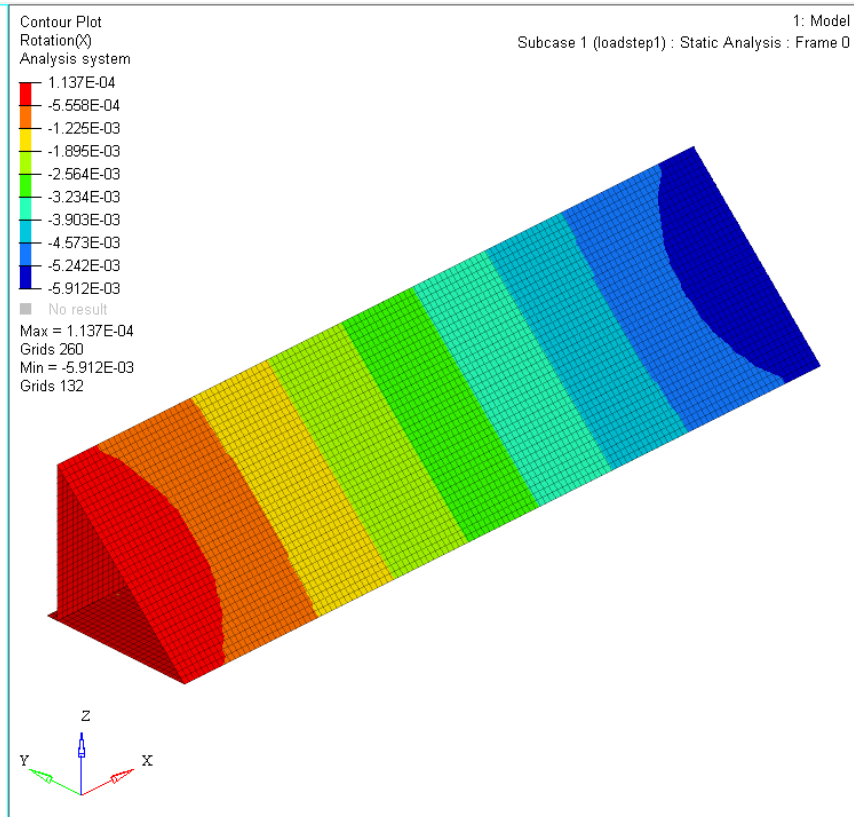


SPOT WELD 요소 적용 결과

Spot weld

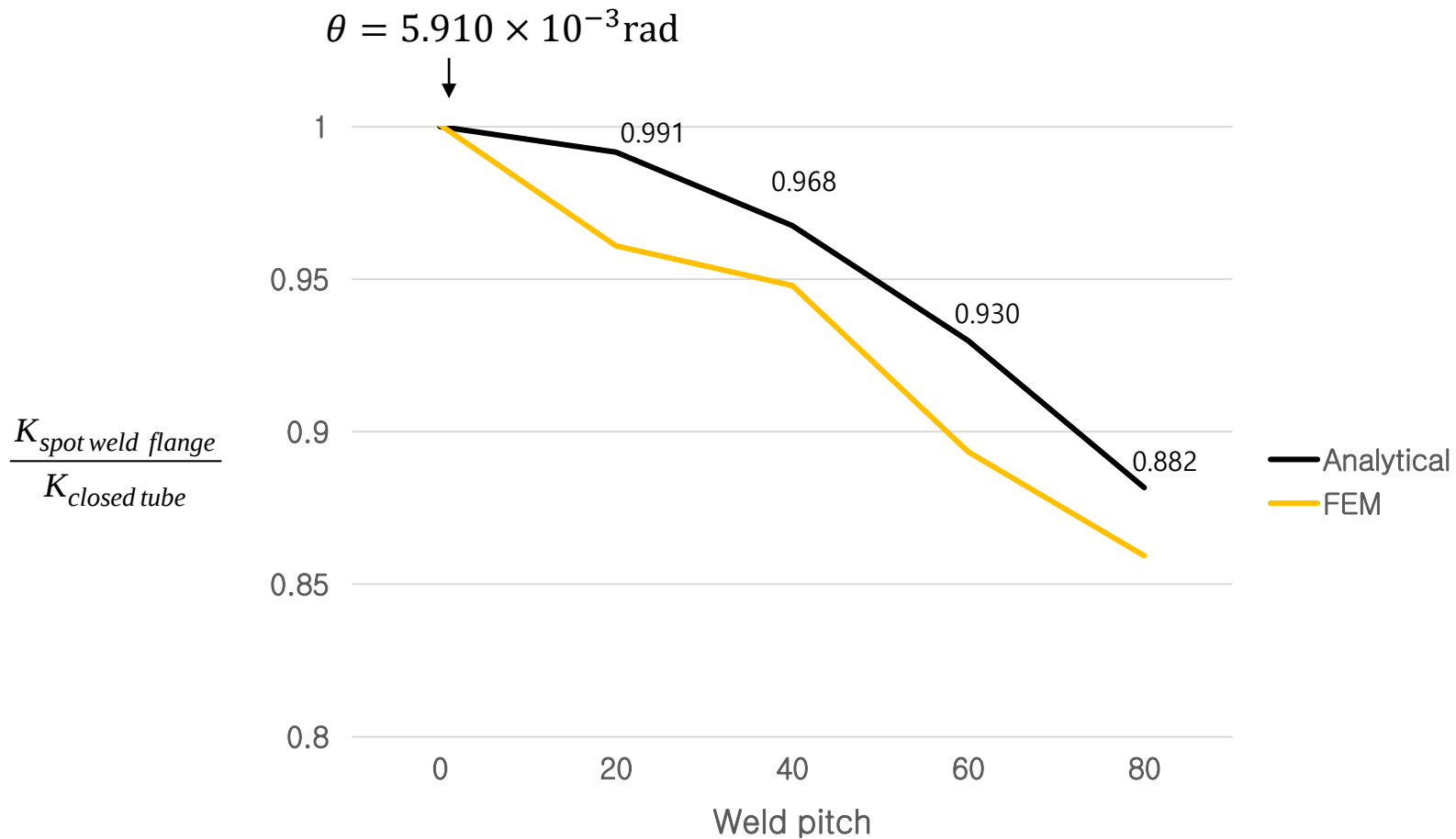


노드 공유



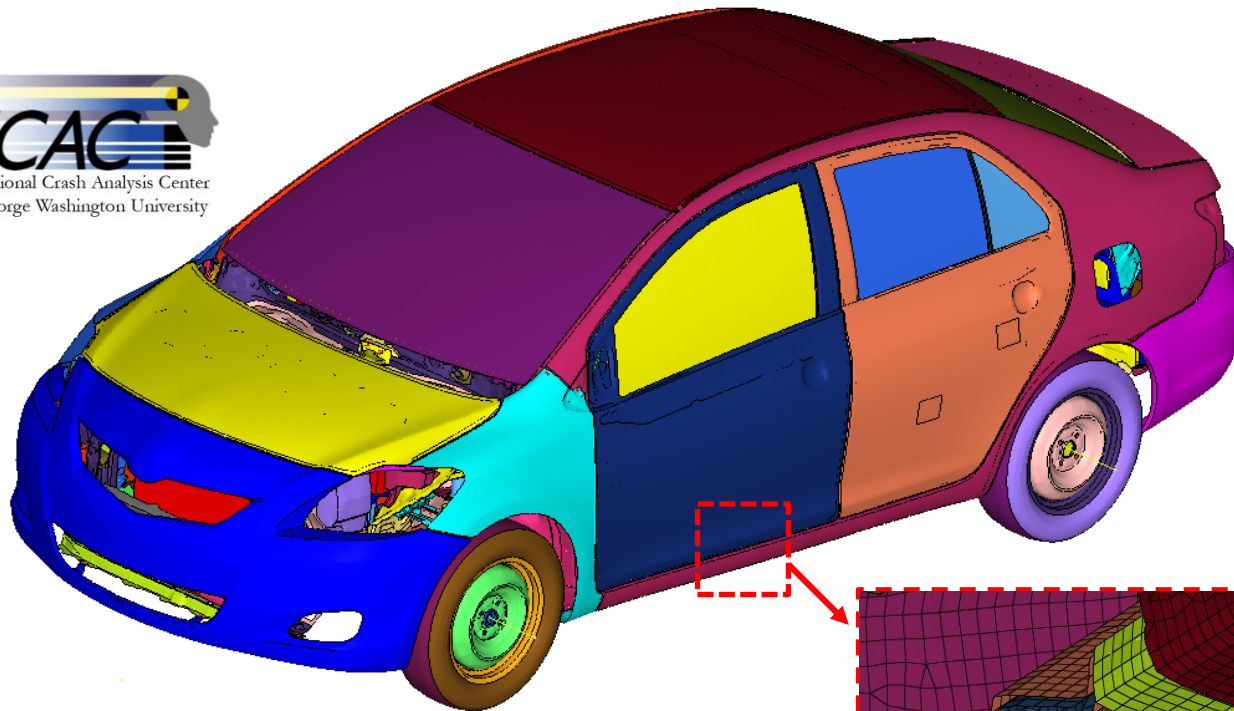
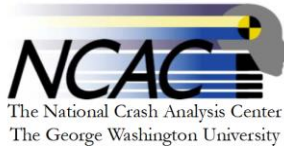
	이론해	Spot weld 적용	노드 공유 적용
최대 회전 각도 (10^{-3} rad)	-6.205	-6.652 (7.2% 오차)	-5.912 (4.7% 오차)

연습문제 1: 용접 거리에 따른 영향

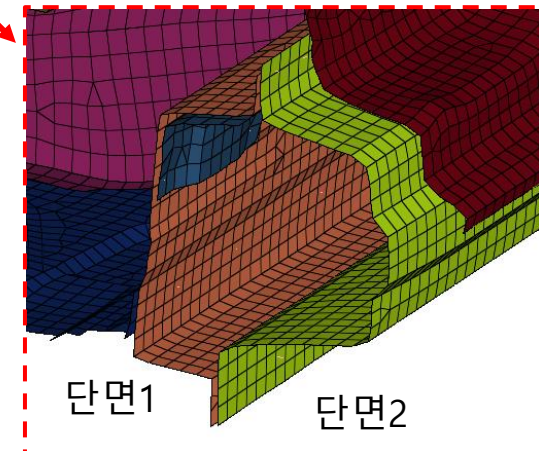


연습문제 2

Toyota Yaris 모델의 rocker 단면 해석 (용접 거리에 따른 굽힘/비틀림 영향 확인)
(빔의 길이는 800 mm, 요소 크기는 8 mm 로 적용)



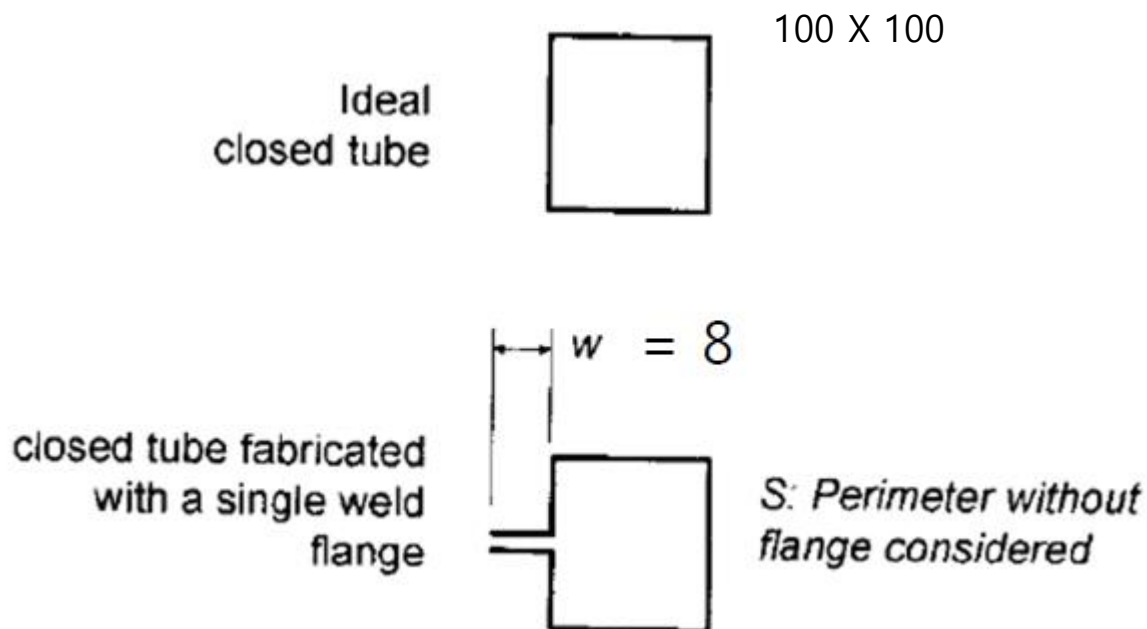
	두께	Young's modulus
단면1	1.412 mm	200GPa
단면2	1.432 mm	



숙제

해석적인 방법과 유한요소 프로그램으로 다음 문제의 비틀림 강성을 계산하시오
용접 거리에 따른 비틀림 강성을 구하고 해석적인 결과와 비교 분석하시오

재료 물성 및 하중은 예제와 동일



비선형 정적 해석

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



한양대학교
HANYANG UNIVERSITY

CDL Computational
Design
Lab

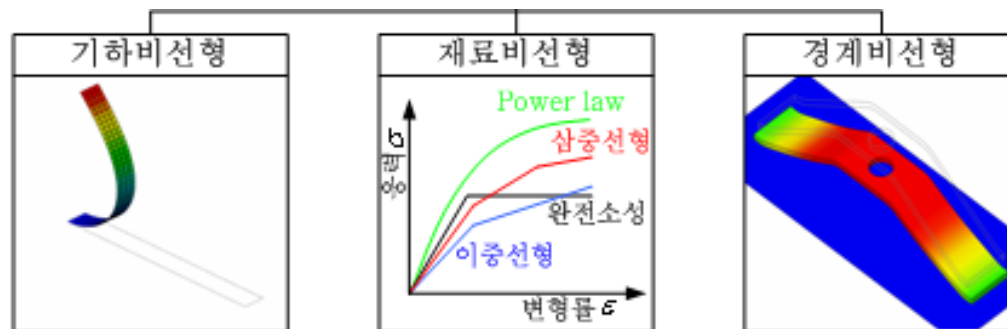
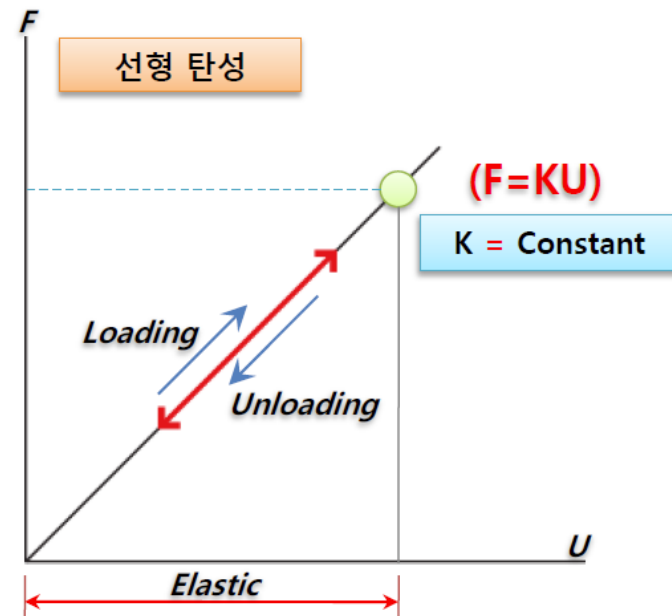
선형과 비선형

✓ 선형 문제

- 미소변형
- 선형의 응력-변형률 관계
- 해석과정 중 일정한 변위 경계조건
- 해석과정 중 일정한 작용 하중

✓ 비선형 문제

- 선형문제를 제외한 모든 문제는 비선형문제!
- 기하비선형: 비선형의 변형률-변위 관계
- 재료비선형: 비선형의 재료 구성방정식
- 경계비선형(접촉): 해석과정 중에 변하는 변위 경계조건, 접촉
- 하중의 비선형성: 종동력 (follow-up loads)



비선형 문제의 종류



비선형 해석의 계산 방법

하중을 분할하여 각 증분 구간에 대해 평형 조건을 만족하는 해를 계산

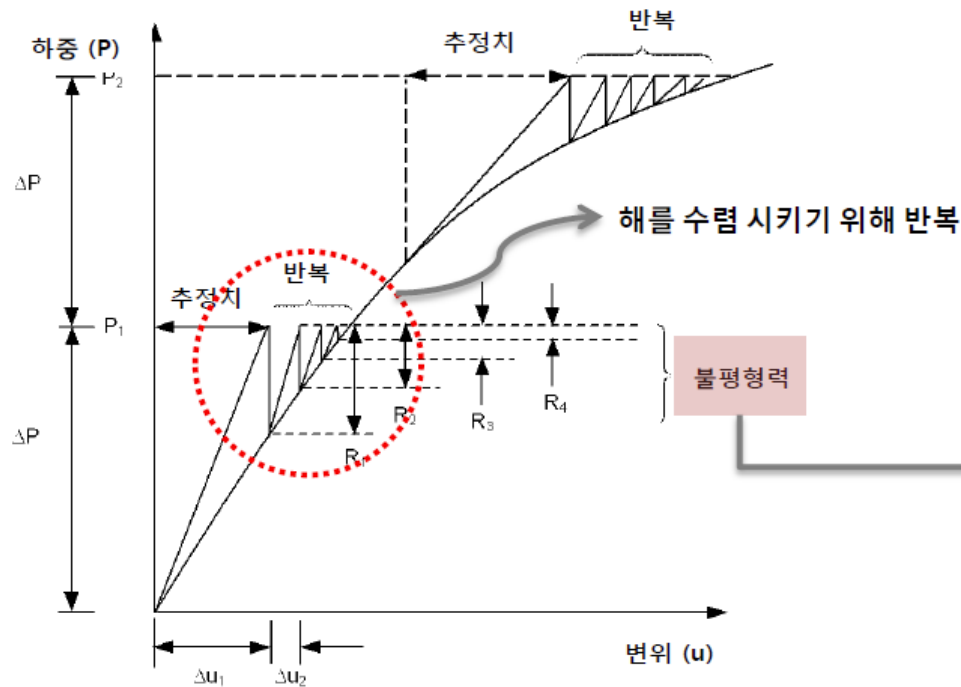
평형조건식

$$[K_T]\{\Delta U\} = \{\Delta P\}$$

K_T : 구조물의 접선 강성행렬

ΔU : 증분 변위

ΔP : 증분 하중



• Newton-Raphson Method

• 하중 증분

• 반복 해석

$$[K_T]\{\Delta U\} = \{P_I\} - \{R_{NI}\}$$

수렴성 판단

빔 모델의 해석 비교 (선형/기하비선형/종동력)

빔 해석 예제

외팔보 예제



기하형상

- L = 5000 mm
- 재료 : alloy steel
- E = 210 GPa
- ν = 0.28
- 하중(F): 3000 kN

이론 해 (선형)

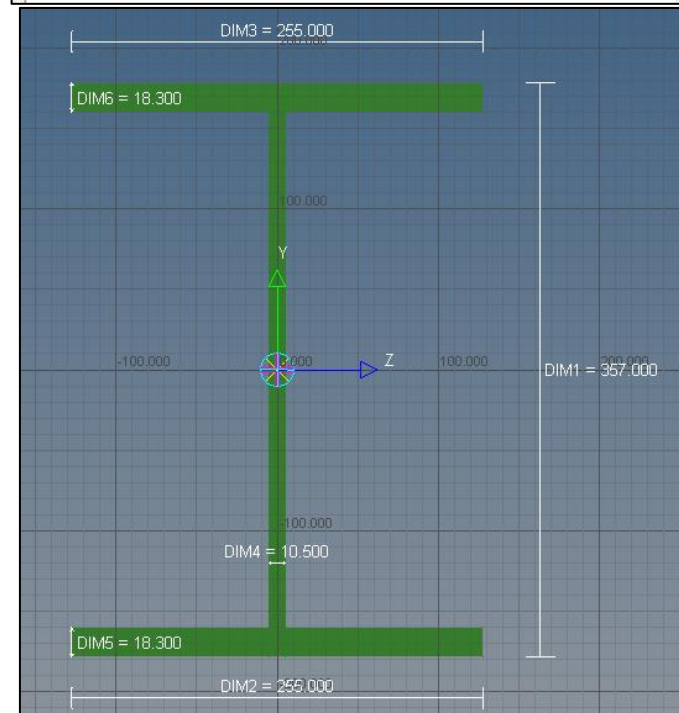
$$\sigma = \frac{My}{I} = 9020 \text{ MPa}$$

$$y_{\max} = \frac{PL^3}{3EI} + \frac{PL}{GA_s} = -2059 \text{ mm}$$

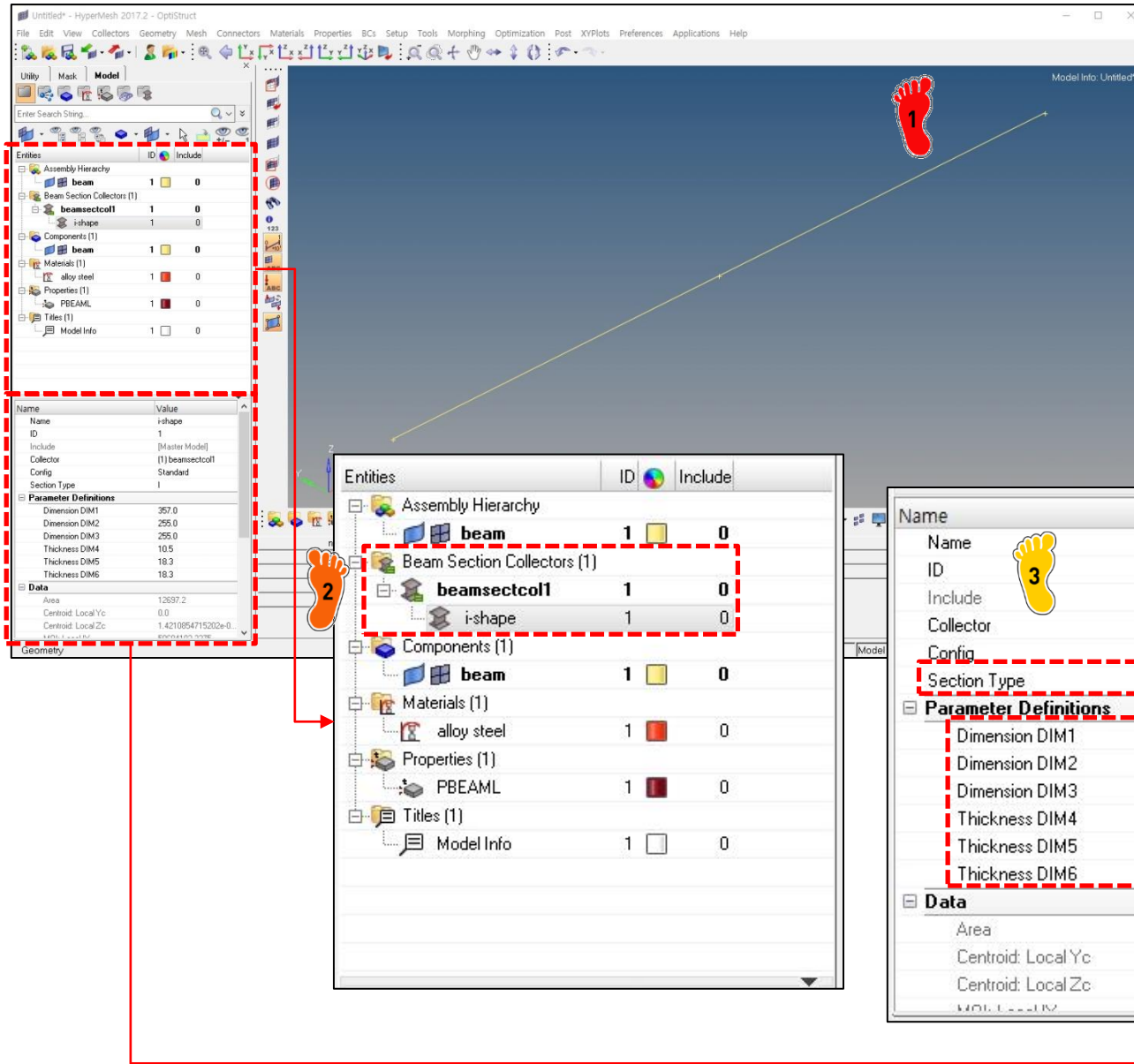
$A_s = kA$: 유효전단면적

빔 단면 정보 : W360 X 101

Parameter Definition	Value
Dimension (DIM1)	357.000
Dimension (DIM2)	255.000
Dimension (DIM3)	255.000
Thickness (DIM4)	10.500
Thickness (DIM5)	18.300
Thickness (DIM6)	18.300



1D 빔 모델 생성



1 Geom → lines 을 클릭해 $(0,0,0)$ 과 $(5000,0,0)$ 을 끝점으로 하는 선 생성

2 모델 창에서 우클릭 후 creat를 통해 Beamsection 생성

3 Section Type을 I 로 변경후 수치 입력

1D 빔 모델 생성

HyperMesh 2017.2 - OptiStruct

File Edit View Collectors Geometry Mesh Connectors Materials Properties BCs Setup Tools Morphing Optimization Post XYPlots Preferences Applications Help

Utility Mask Model

Enter Search String...

Entities

Name	ID	Include
beam	1	0
Beam Section Collectors (1)		
beamsectcol1	1	0
i-shape	1	0
Components (1)		
beam	1	0
Materials (1)		
alloy steel	1	0
Properties (1)		
PBEAML	1	0
Titles (1)		
Model Info	1	0

Name Value

Name	beam
ID	1
Color	
Include	[Master Model]
Property	(1) PBEAML
Material	(1) alloy steel

Name Value

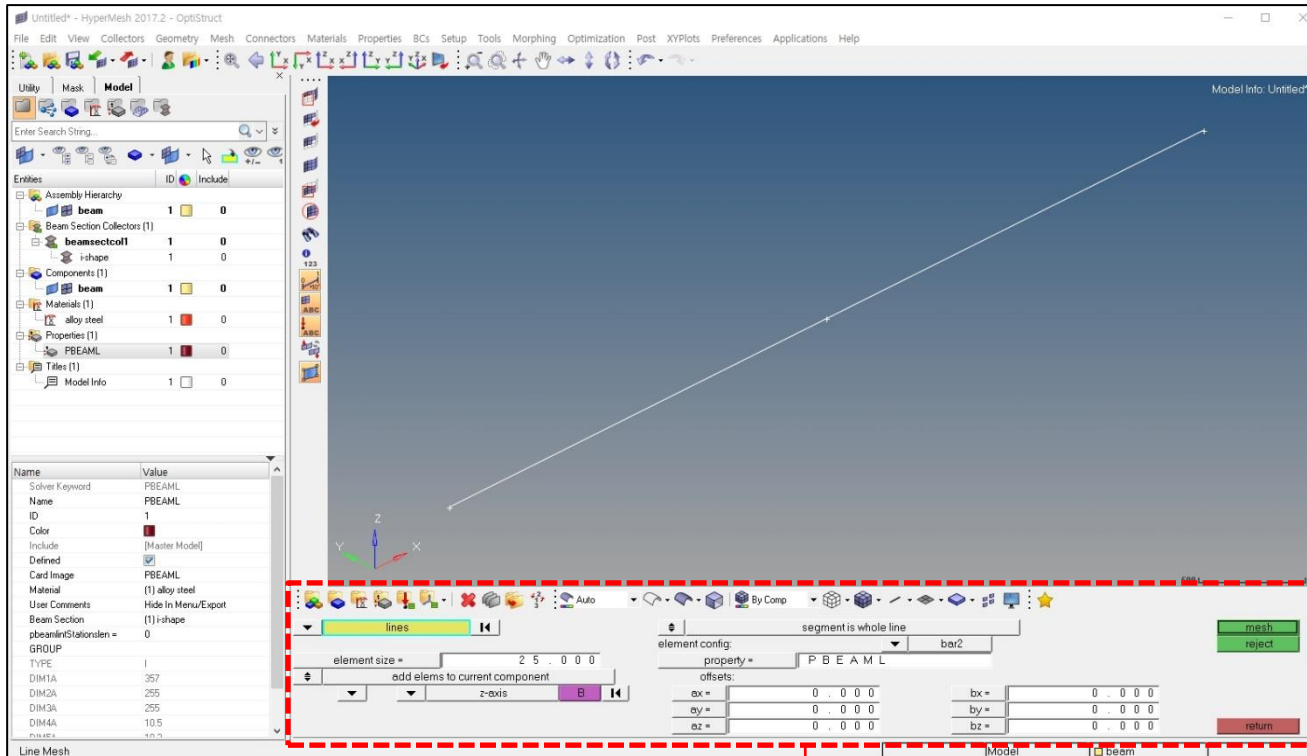
Solver Keyword	PBEAML
Name	PBEAML
ID	1
Color	
Include	[Master Model]
Defined	☒
Card Image	PBEAML
Material	(1) alloy steel
User Comments	Hide In Menu/Export
Beam Section	(1) i-shape
pbeamIntStationsLen =	0
GROUP	
TYPE	I
DIM1A	357
DIM2A	255
DIM3A	255
DIM4A	10.5
DIM5A	10.5

1 material 생성 후 물성치 입력.
($E = 210000$, $NU = 0.28$)

2 property 생성. Card image
PBEAML로 변경 후 단면정보
와 재료정보 입력

3 component 에 property
입력

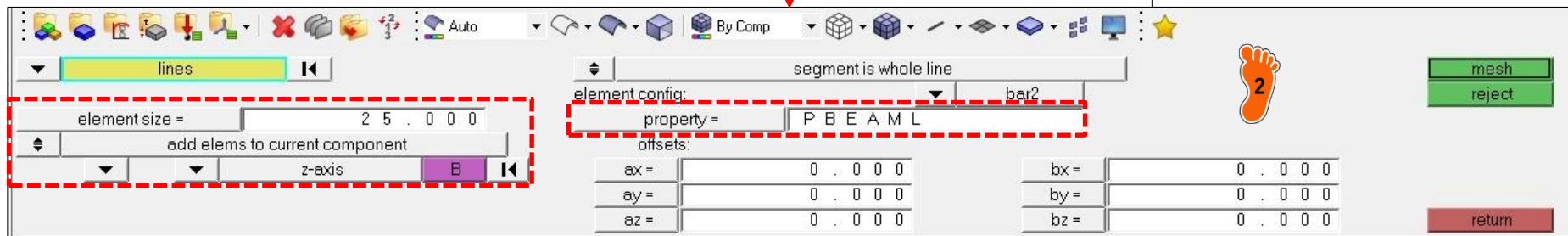
요소망 생성



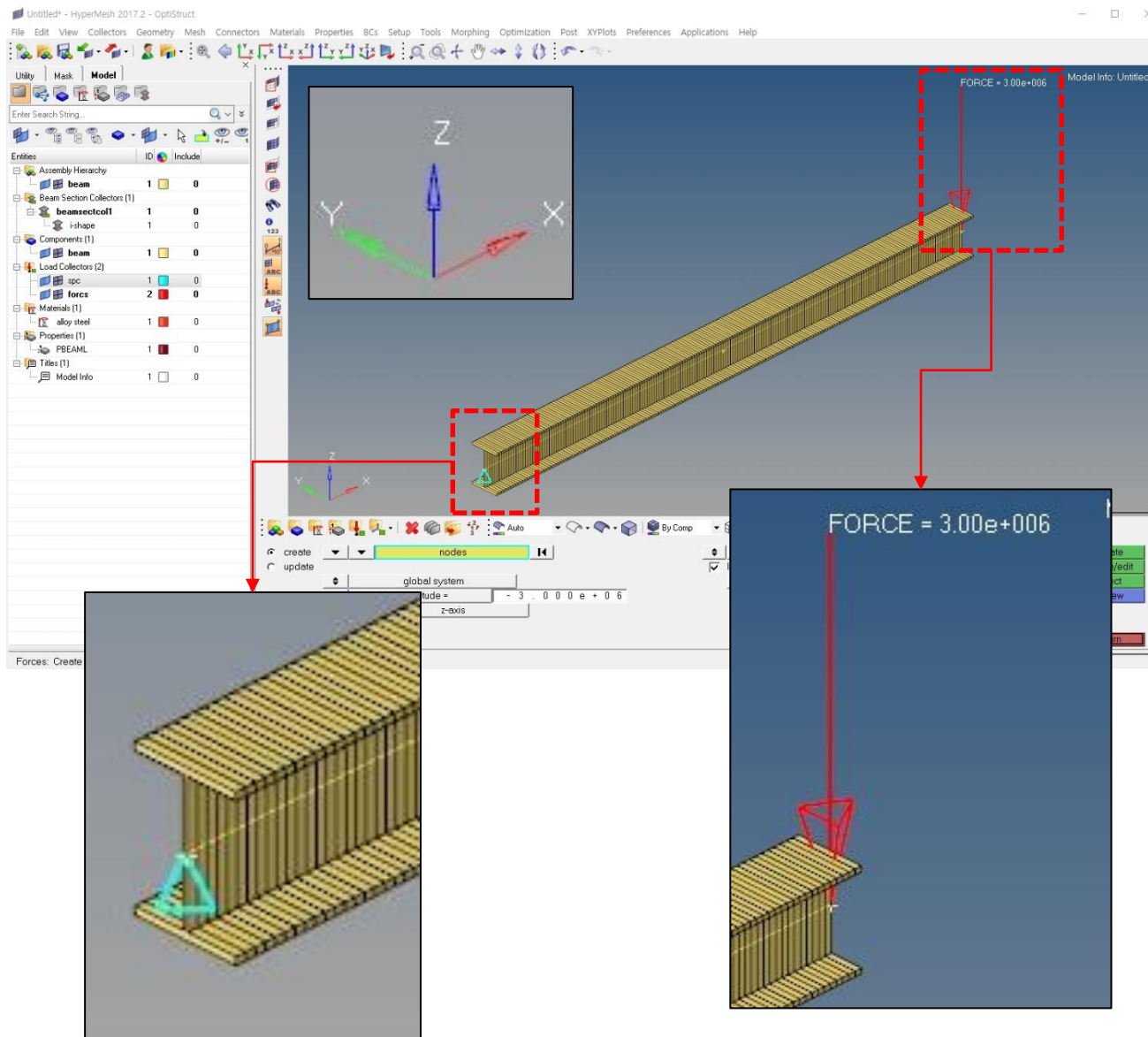
1d → line mesh 클릭



element size = 25,
단면의 y방향 ⇒ z-axis
로 설정 후 생성한 property
입력



구속조건과 힘 생성



Model 창에서 load collector 두개 생성 후 각각 구속조건과 힘 조건 부여. ($F_z = -3e6$)

비선형 해석 케이스 설정 (1)

1 Ctrl + F 를 누르고 param 을 입력 후 PARAM 카드 생성

2 Card 에서 PARAM이 생성 된 것을 확인

3 LGDISP를 찾아 체크 후 LGDISP_V1을 1로 설정 (LGDISP is activated)

Name	Value
KGRGD	
KISSOFT	
LFREQ	
LFREQFL	
LGDISP	☒
LGDISP_V1	1
LMSOUT	
LOWRANK	
MBDREC	
MASSDMIG	
MAXDAMP	
MAXRATIO	
MBDH3D	
MDK4OPT	
MEMTRIM	
MFILTER	
MODETRAK	

LGDISP는 Large displacement 를 의미

비선형 해석 케이스 설정 (2)

The screenshot shows the HyperMesh 2017.2 - OptiStruct interface. The 'Load Collectors (4)' panel is active, showing a list of collectors: spc, force, NLPARM, and NLOUT. A red dashed box and a red foot icon labeled '1' highlight the selection of NLPARM and NLOUT. The 'Solver Keyword' table is also visible, with a red dashed box and a red foot icon labeled '2' highlighting the setting of DT=0.1. Another red dashed box and a red foot icon labeled '3' highlight the settings for NINT=10 and SVNONCNV=YES.

1 Ctrl + F 를 누르고
NLPARM, NLOUT 생성
(흔동하지 않도록 이름 설정)

2 Load Collectors 에 생성된
것을 확인 후 그림과 같이
입력

3 입력한 값들에 대한 설명
참고

DT

Initial load increment. [7] * 하중이 증분 되는 초기 값
No default (Real ≥ 0.0)

NINT

Number of intervals specified to output intermediate results. [2]
Default = 10 (Integer > 0) * Results에 저장되는 중간 결과 값의 증분

SVNONCNV

Output the non-convergent solution flag, if nonlinear iterations does not converge.
Default = YES (YES, NO, or blank) * 수렴되지 않았을 때 마지막 중간 결과 표시

비선형 해석 케이스 설정 (3)

1 Load step 생성

2 Analysis type 을 Non-linear quasi-static 선택

3 생성했던 모든 load collector 를 그림과 같이 부여
(NLPARM이 아닌 NLPARM(LGDISP) 에 입력)

4 해석 진행

The screenshot displays the OptiStruct software interface for setting up a non-linear quasi-static analysis. The Entities list on the left shows various components like beamsectcol1, i-shape, PARAM, Components (1), beam, Load Collectors (4), and Load Steps (1). The Subcase Definition dialog box is open, showing the Analysis type set to Non-linear quasi-static. The Load step is defined with SPC, LOAD, NLPARM, NLPARM(LGDISP), SUPORT1, DEFORM, PRETENSION, MPC, STATSUB (PRETENS), NLADAPT, NLOUT, CNTSTB, DLOAD, and MOTNIG. The SUBCASE OPTIONS section is also visible.

Name	Value
Analysis type	Non-linear quasi-st...
SPC	(1) spc
LOAD	(2) forc
NLPARM	<Unspecified>
NLPARM(LGDISP)	(3) NLPARM
SUPORT1	<Unspecified>
DEFORM	<Unspecified>
PRETENSION	<Unspecified>
MPC	<Unspecified>
STATSUB (PRETENS)	<Unspecified>
NLADAPT	<Unspecified>
NLOUT	(4) NLOUT
CNTSTB	<Unspecified>
DLOAD	<Unspecified>
MOTNIG	<Unspecified>

SUBCASE OPTIONS

비선형 해석 결과

gnl.fem - HyperWorks Solver View

Solver: optistruct_2017.2_win64.exe

Input file: gnl.fem Job completed

Run command: .../hwsolver.tcl -solver OS -screen .../gnl.fem -analysis -optskip

Message log:

Messages for the job:

ANALYSIS COMPLETED.

Optimization summary:

Iteration	Objective	Value
0	-20 Err_EPI_st	1 0.601052
0	-20 Meas_EWI_st	1 5.810025E-02
0	-21 Nonl_EUI_st	2 1.660683E-03
0	-21 Err_EPI_st	2 1.046558E-03
0	-21 Meas_EWI_st	2 1.662924E-06
0	-22 Nonl_EUI_st	3 5.030565E-04
0	-22 Err_EPI_st	3 1.262446E-04
0	-22 Meas_EWI_st	3 7.315594E-08
0	1 MaxDisp	201_Z -1791.19

Run summary:

The amount of memory allocated for the run is 830 MB.
This run will use in-core processing in the solver.
MUMPS solver will allocate memory separately and may
run in different core (in/out) mode.

ANALYSIS COMPLETED.

==== End of solver screen output ====

==== Job completed ====

Find:

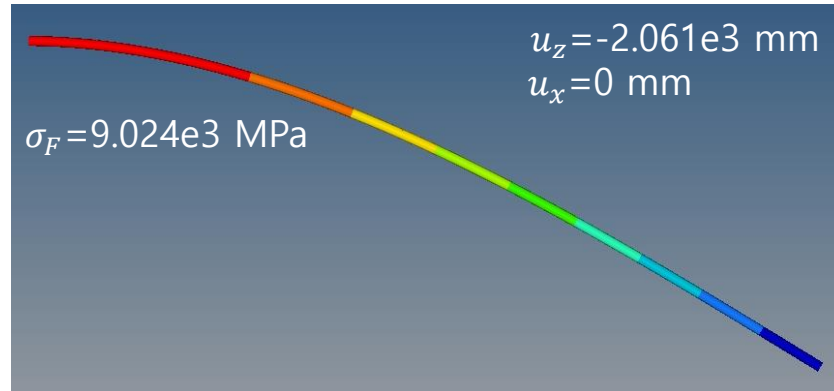
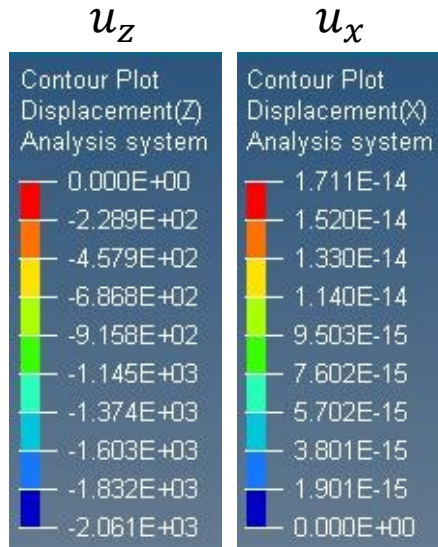
Results View Close

1 Summary 에서 해석 진행
상황 확인 가능

2 Results 클릭

선형/비선형 해석 비교

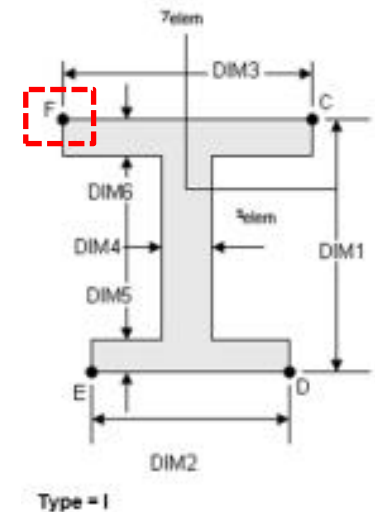
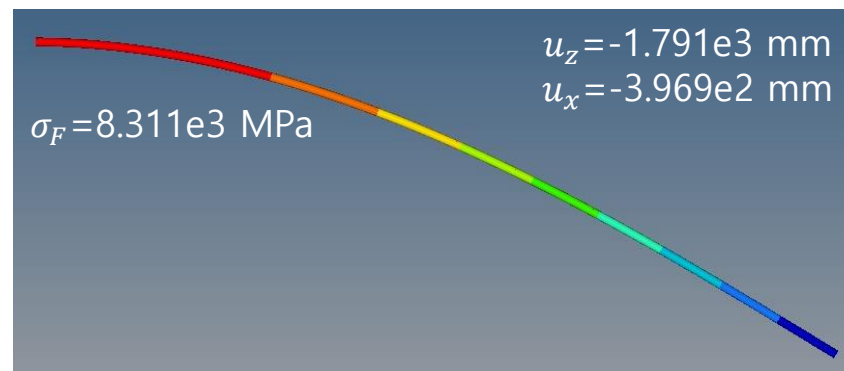
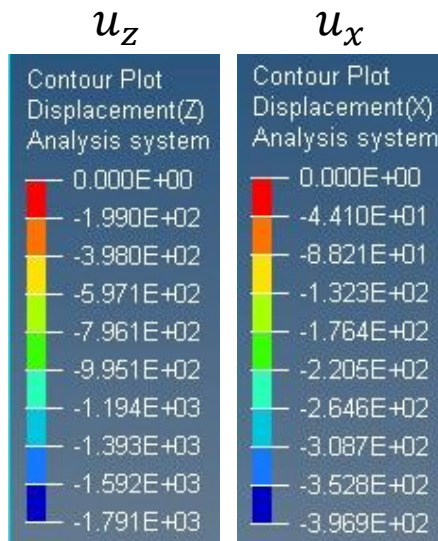
선형 해석 결과



1 비선형 해석의 경우 하중이 가해지지 않은 x방향에도 변형이 나타난 것을 확인

2 비선형 해석의 경우 선형 해석 대비 y방향의 변위, 고정점의 응력이 낮게 나타남

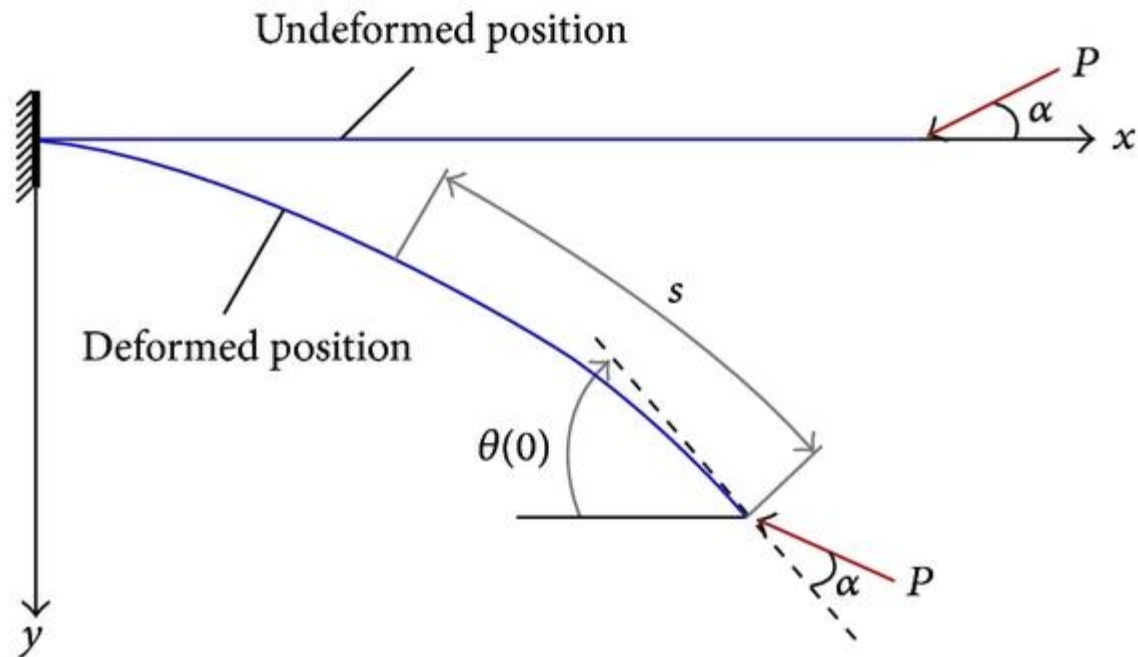
기하 비선형 해석 결과



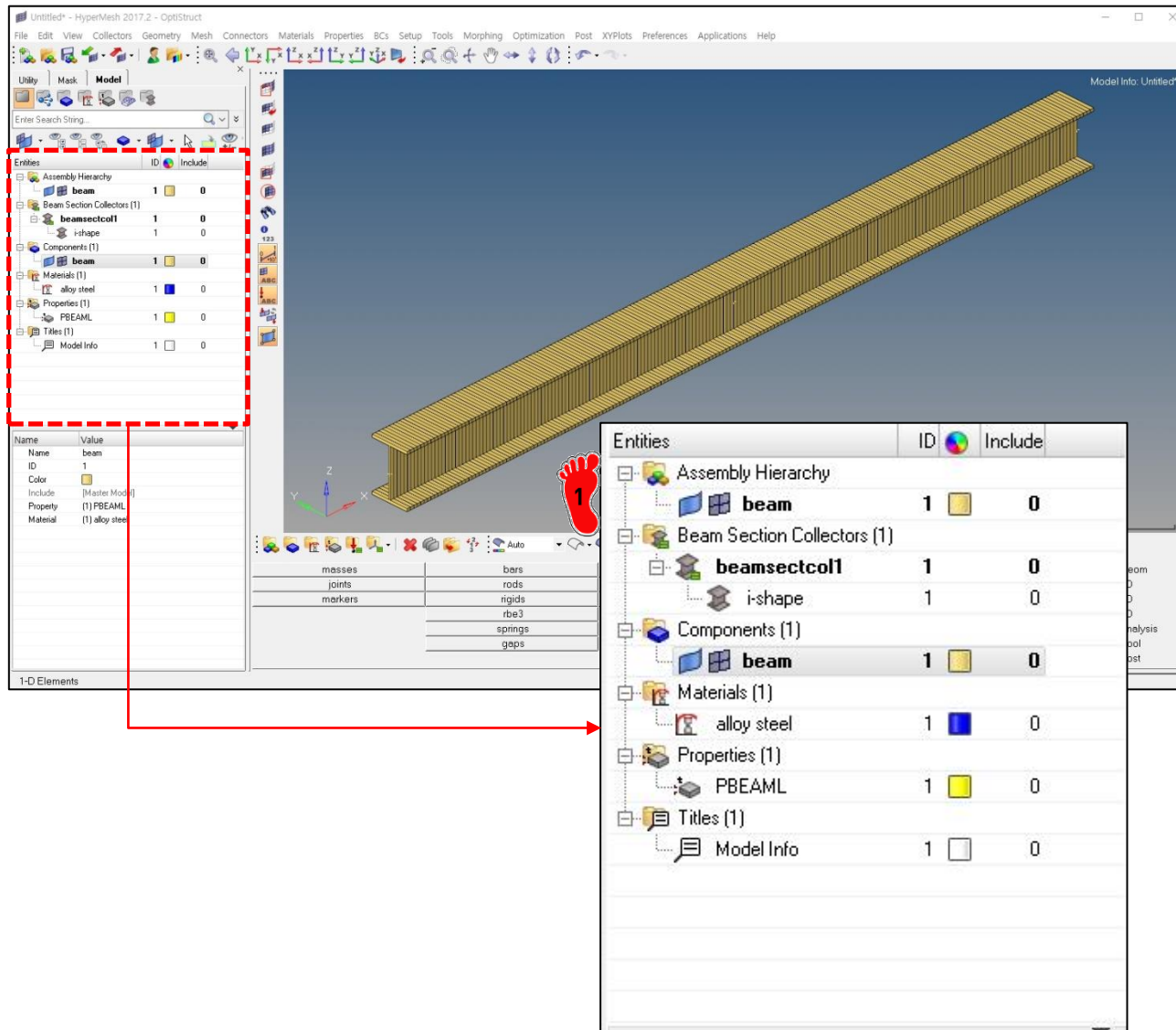
※ σ_F 는 I-beam의 F점에서 응력을 나타냄

FOLLOWER LOAD (종동력)

변형이 큰 경우, 하중의 방향이 변화하는 것도 고려가 필요함 → 종동력



1D 모델 생성

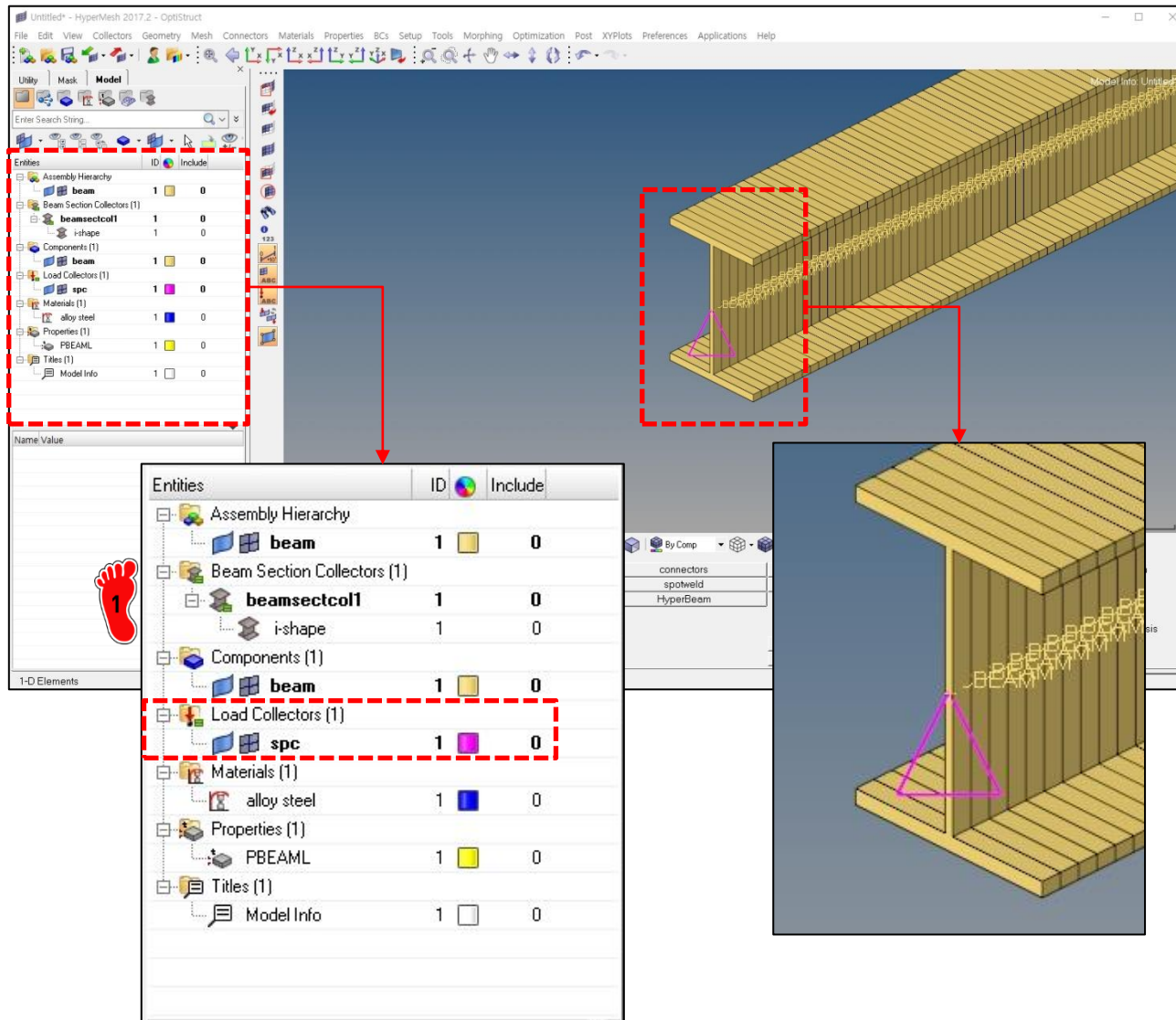


단면정보 입력, 재료와 특성
생성, 요소망 생성까지 이전
단계와 동일

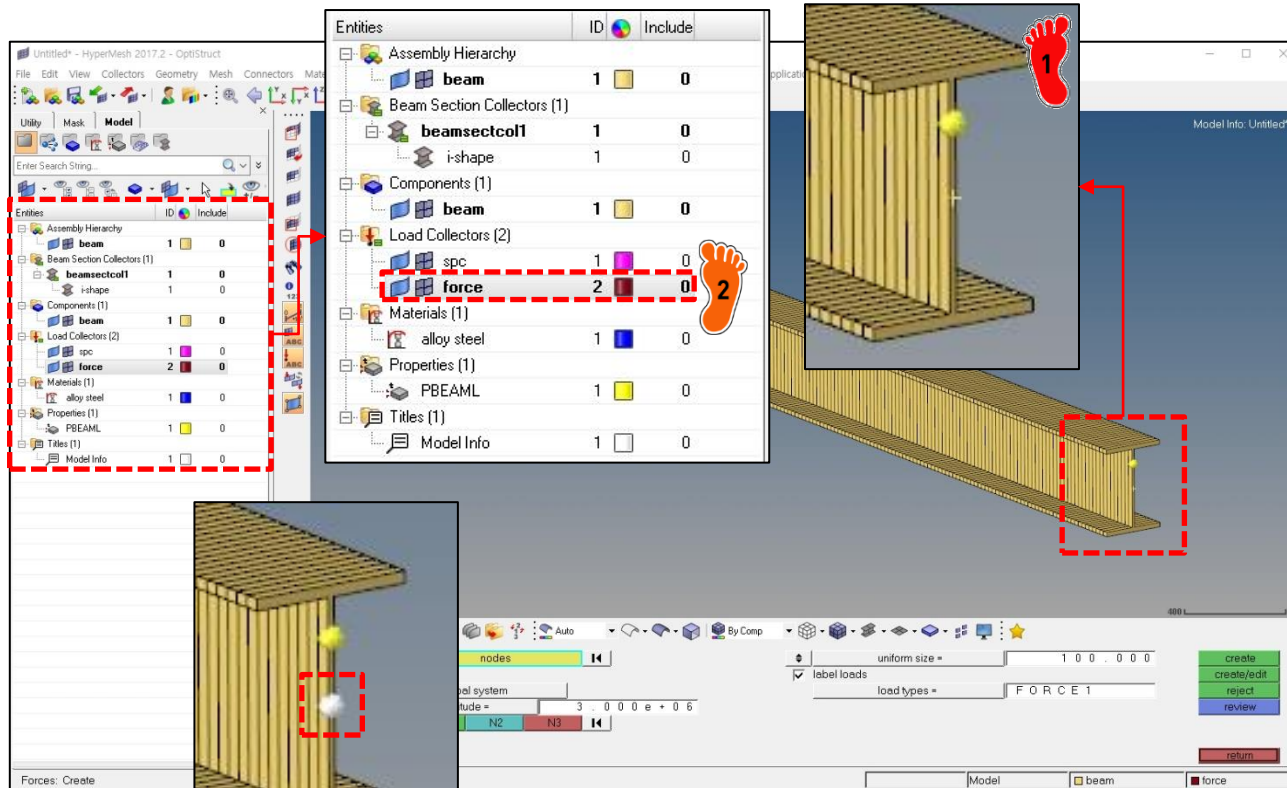
구속조건 적용



Load collector 생성 후 구속조건 부여



중동력 적용 (1)

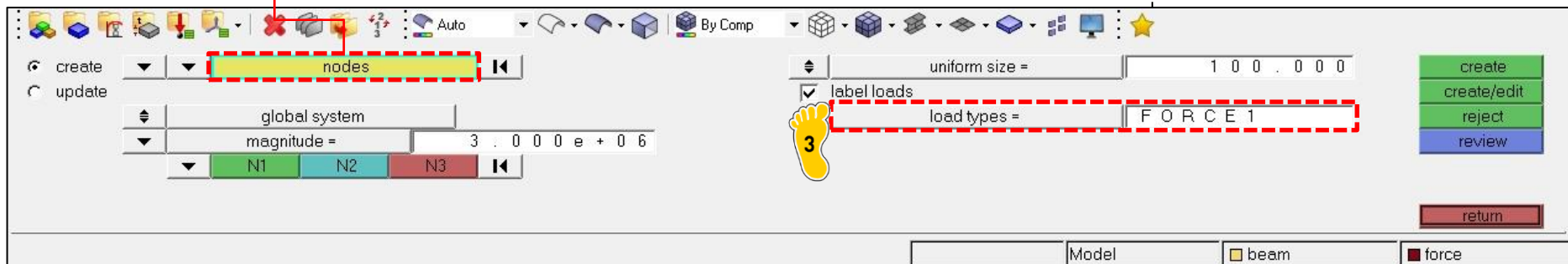


1 Geom → nodes 로
(5000,0,100) 에 node 생성

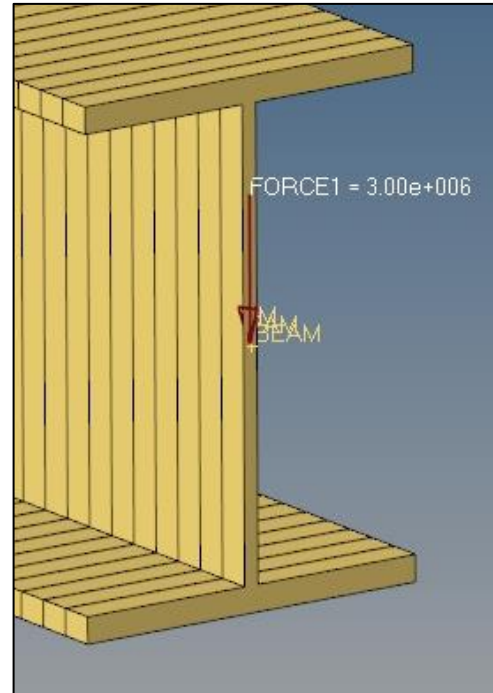
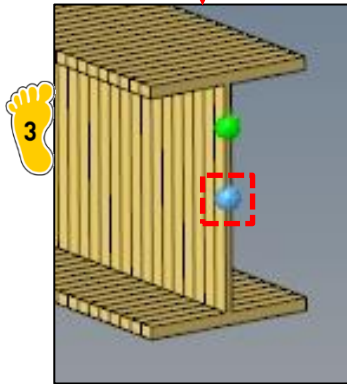
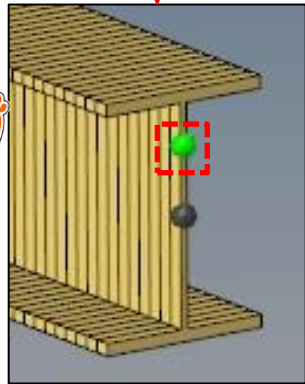
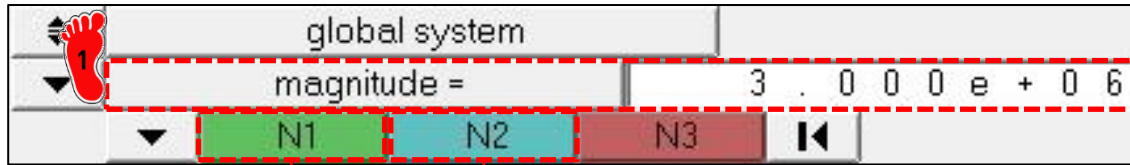
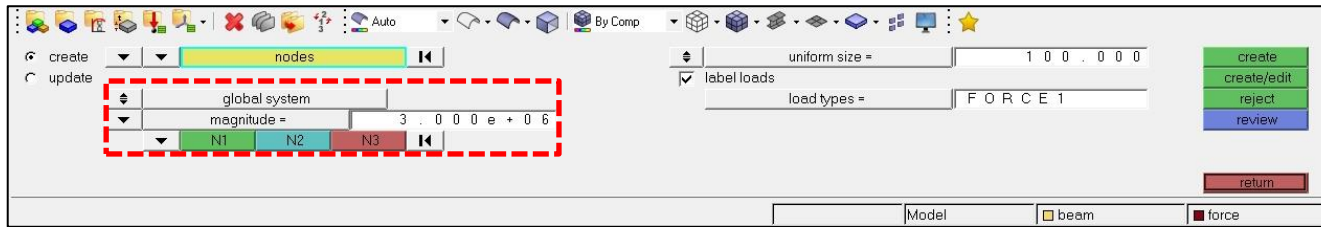
2 Load collector 생성

3 Load types = FORCE1 선택
(방향을 나타내는 두 점)
FORCE는 중동력 적용 불가

4 힘이 가해질 빔의 끝 절점
선택 (생성한 노드 아님)



종동력 적용 (2)



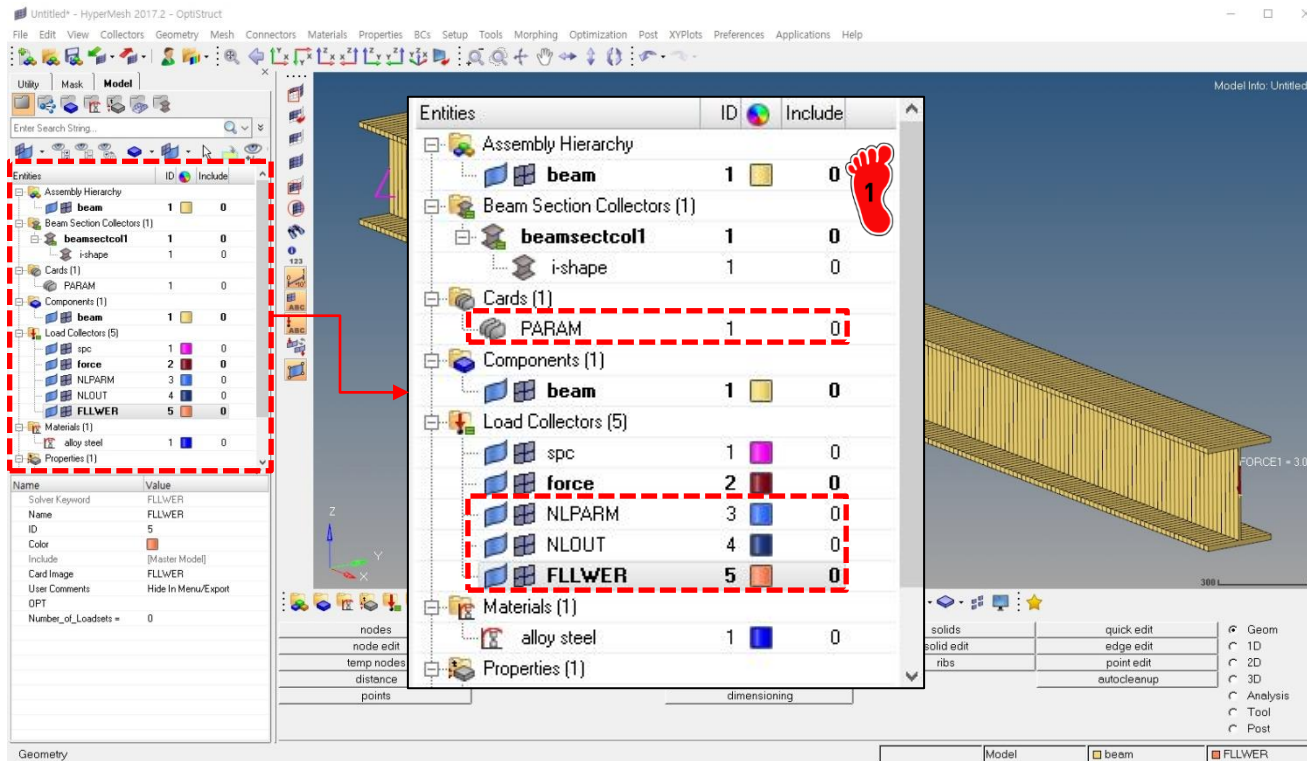
1 magnitude = $3e6$ 입력

2 하단의 N1 클릭 후 생성한 (5000,0,100) 노드 선택

3 N2를 클릭하고 빔의 끝 절점 선택 후 create

4 Geom → temp nodes 클릭 후 clear all

비선형 해석 케이스 설정 (1)



1 Ctrl + F 클릭 후 PARAM, NLPARM, NLOUT, FLLWER 생성

2 PARAM card 에서 그림과 같이 값들 설정

2

☒ FLLWER	☒
VALUE	1
☒ HASHASSM	☒
HASHASSM	YES
☒ LGDISP	☒
LGDISP_V1	1
☒ UNSYMSLV	☒
VALUE	YES

→ 종동력 활성화

→ Hash-table based assembly method 사용 (메모리 절약)

→ Large displacement 활성화

→ tangent stiffness matrix에서 non-symmetry term 계산

비선형 해석 케이스 설정 (2)



Name	Value
Solver Keyword	NLPARM
Name	NLPARM
ID	3
Color	
Include	[Master Model]
Card Image	NLPARM
User Comments	Hide In Menu/Export
NINC	
DT	0.1
KSTEP	
MAXITER	
CONV	
EPSU	
EPSP	
EPSW	
MAXLS	
LSTOL	

Name	Value
Solver Keyword	NLOUT
Name	NLOUT
ID	4
Color	
Include	[Master Model]
Card Image	NLOUT
User Comments	Hide In Menu/Export
NINT	☒
VALUE	10
SVNONCNV	☒
VALUE	YES

Name	Value
Solver Keyword	FLLWER
Name	FLLWER
ID	5
Color	
Include	[Master Model]
Card Image	FLLWER
User Comments	Hide In Menu/Export
OPT	1
Number_of_Loadsets =	0



NLPARM, NLOUT, FLLWER
를 그림과 같이 설정



Load step 생성 후 analysis
type과 생성했던 구속조건,
하중조건, NLPARM, NLOUT
입력



Load step 의 subcase
option 에서 FLLWER 체크
후 생성했던 FLLWER load
collector 입력 후 해석



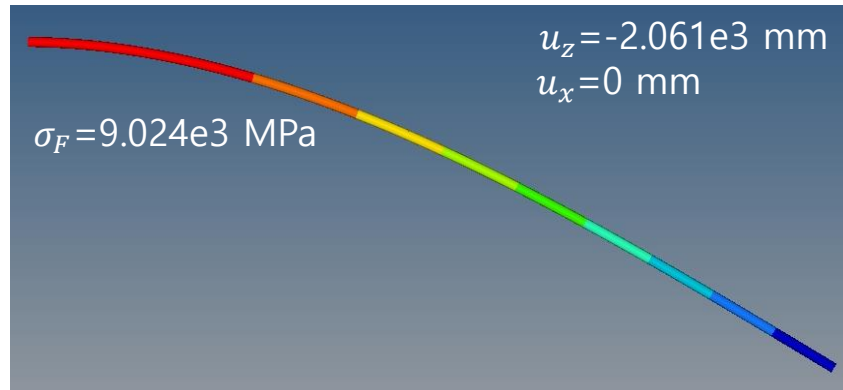
Name	Value
Subcase Definition	
Analysis type	Non-linear quasi-s...
SPC	(1) spc
LOAD	(2) force
NLPARM	<Unspecified>
NLPARM(LGDISP)	(3) NLPARM
SUPPORT1	<Unspecified>
DEFORM	<Unspecified>
PRETENSION	<Unspecified>
MPC	<Unspecified>
STATSUB (PRETENS)	<Unspecified>
NLADAPT	<Unspecified>
NLOUT	(4) NLOUT
CNTSTB	<Unspecified>
DLOAD	<Unspecified>
MOTNUG	<Unspecified>



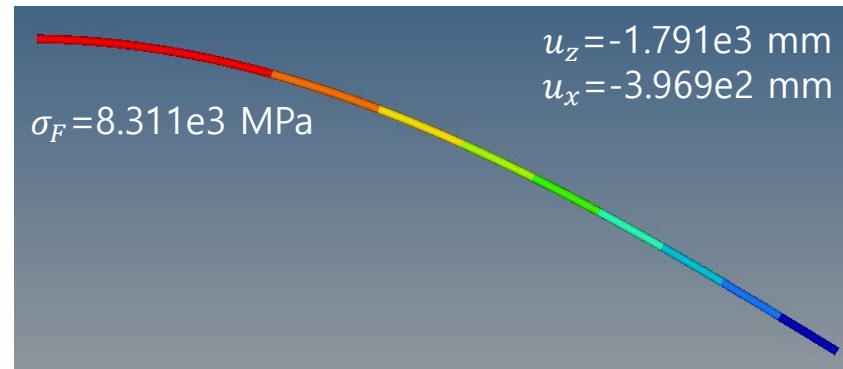
Name	Value
TYPE	NLSTAT
CNTNLSUB	☐
EIGVRETRIEVE	☐
EIGVSAVE	☐
ENDLOAD	☐
FLLWER	☒
ID	(5) FLLWER
MODCHG	☐
NLMON	☐
POST	☐
RADSND	☐
RESVEC	☐
SOLVTYP	☐
TEMP	☐
TEMP_LOAD	☐
OUTPUT	☐
SUBCASE_UNSUPPORTED	☐

선형/비선형 해석 비교

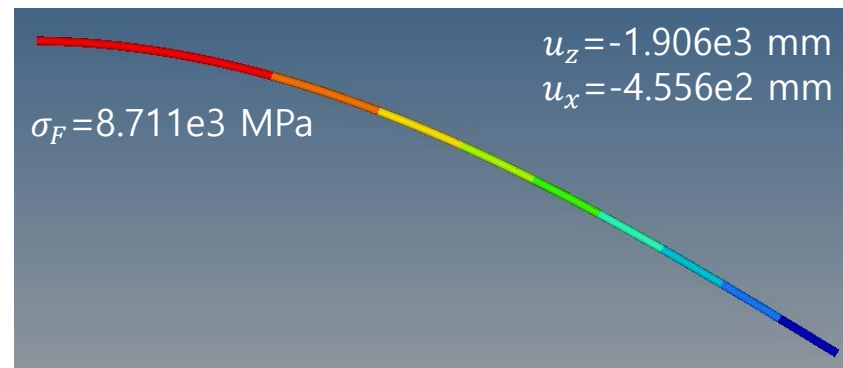
선형 해석 결과



기하 비선형 해석 결과



종동력 해석 결과



종동력 해석의 경우 하중의 방향이 변화한 것을 확인. 기존 비선형 해석 대비 X,Z의 변위, 응력도 모두 증가함.

해석 결과

변형 정도에 따라 기하비선형/종동력을 적절히 적용하는 것이 필요함

		선형	기하비선형	기하비선형 (종동력)
수직 응력 (MPa)		9.024e3	8.311e3	8.711e3
변위 (mm)	X방향	0	-3.969e2	-4.556e2
	Z방향	-2.061e3	-1.791e3	-1.906e3