

# SHELL 요소

## 비틀림 해석 (closed section/spot weld flange)

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



한양대학교  
HANYANG UNIVERSITY



CDL

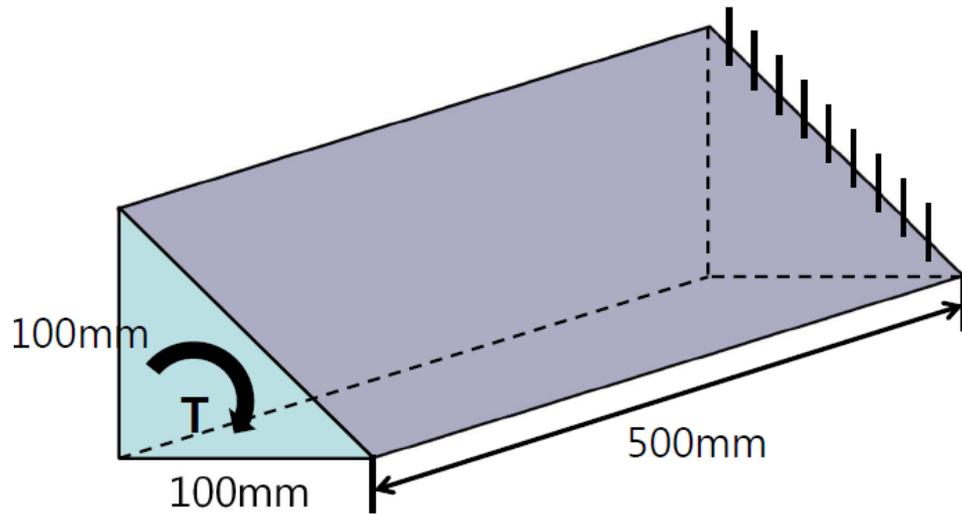
Computational  
Design  
Lab

# 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 계산하십시오



재료 물성

-  $E = 207 \text{ GPa}$

-  $\nu = 0.327$

입력 하중

-  $T = 250 \text{ kNmm}$

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

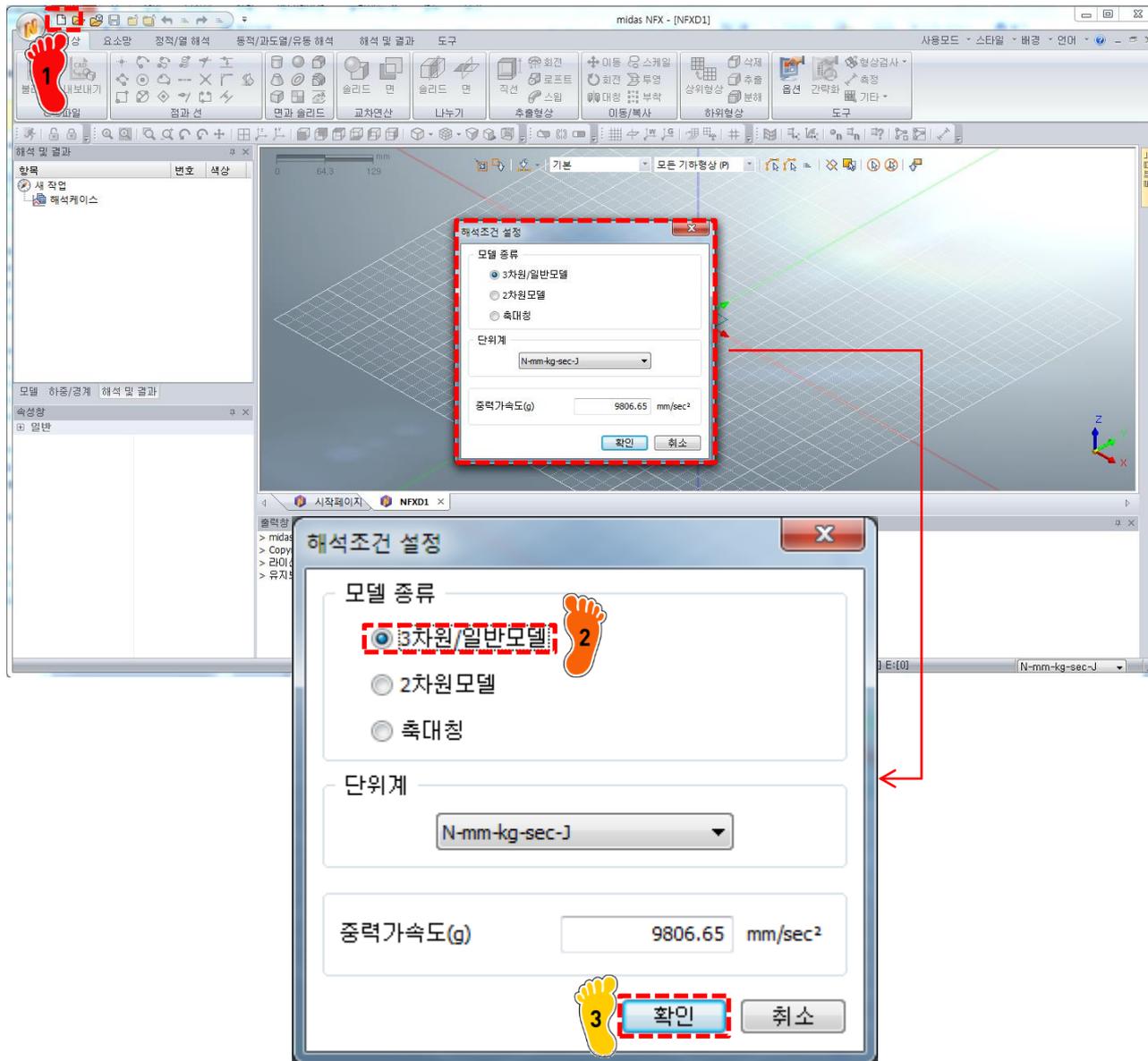
$$K = \frac{T}{\theta} = \frac{25 \times 10^4 \text{ Nmm}}{5.47 \times 10^{-3} \text{ rad}} = 45.704 \text{ Nm/rad}$$

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

# CLOSED SECTION

## 셸 요소

# 기하형상 생성 (1)

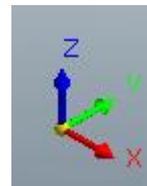
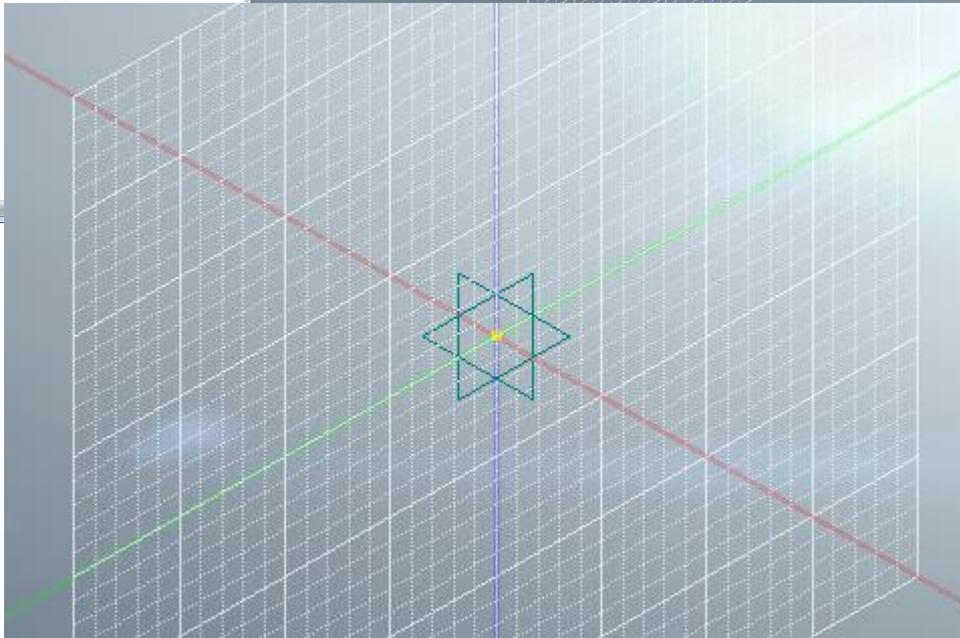
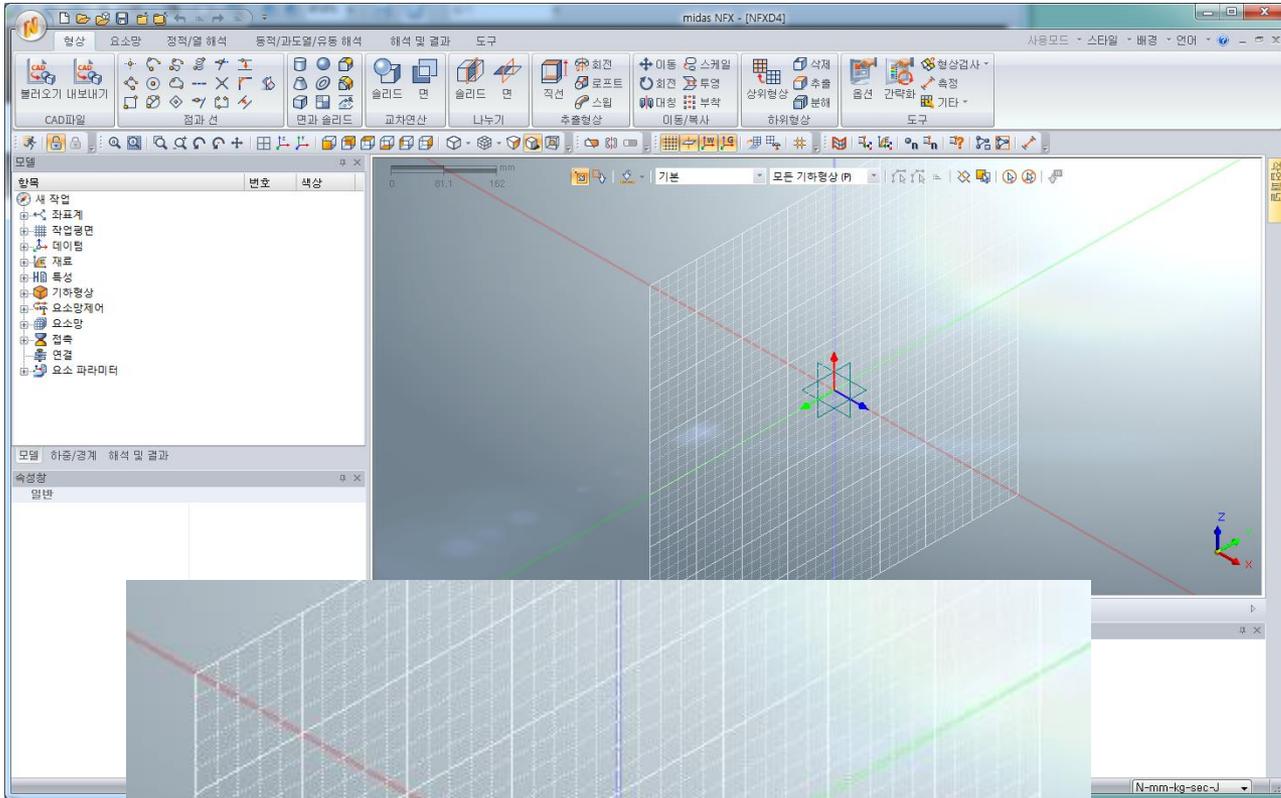


1 새로 만들기 클릭

2 3차원/일반모델 선택

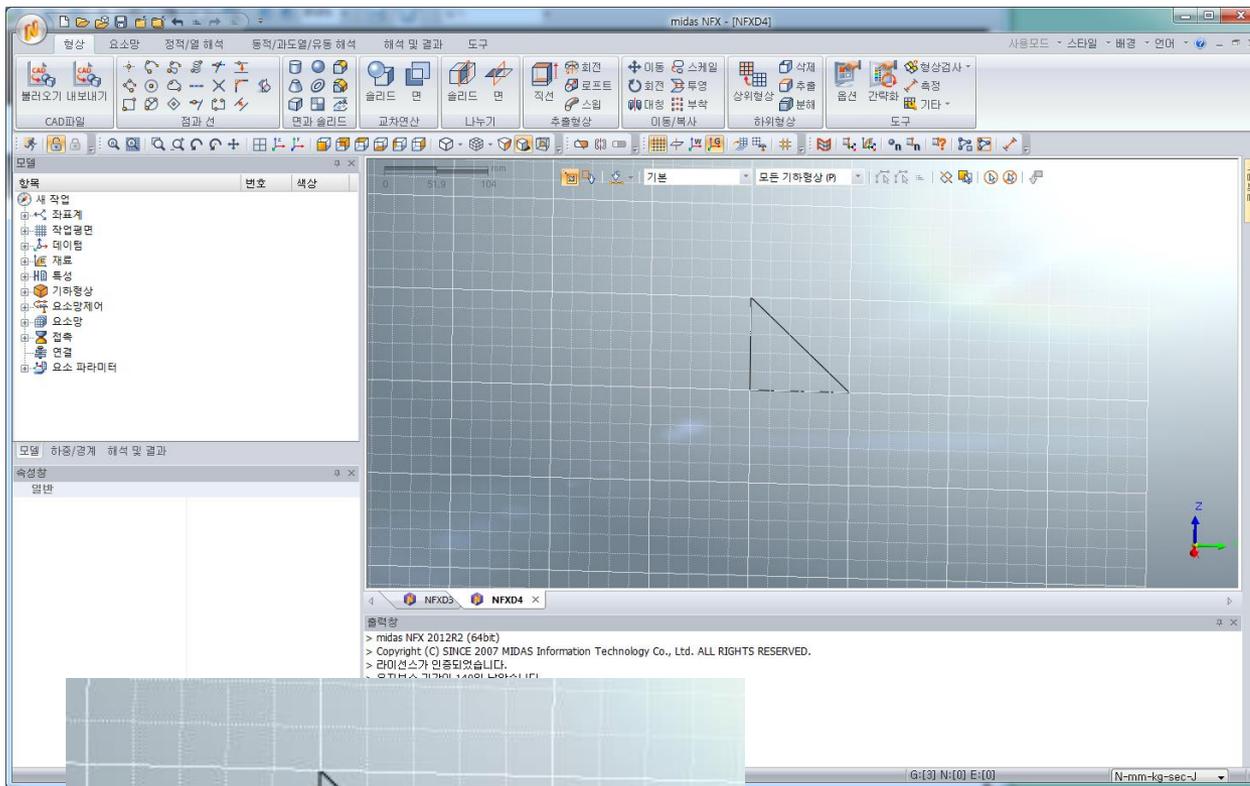
3 확인

# 기하형상 생성 (2)

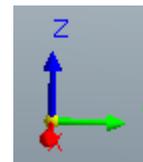
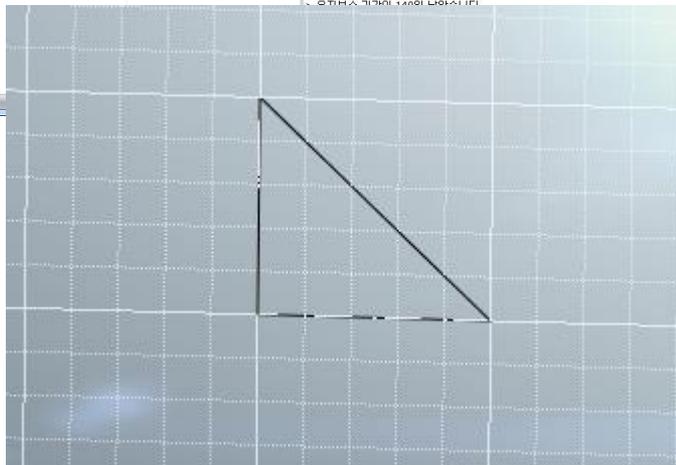


작업 평면 옮기기를 통해 전체 좌표계에서 YZ 평면으로 작업평면 이동

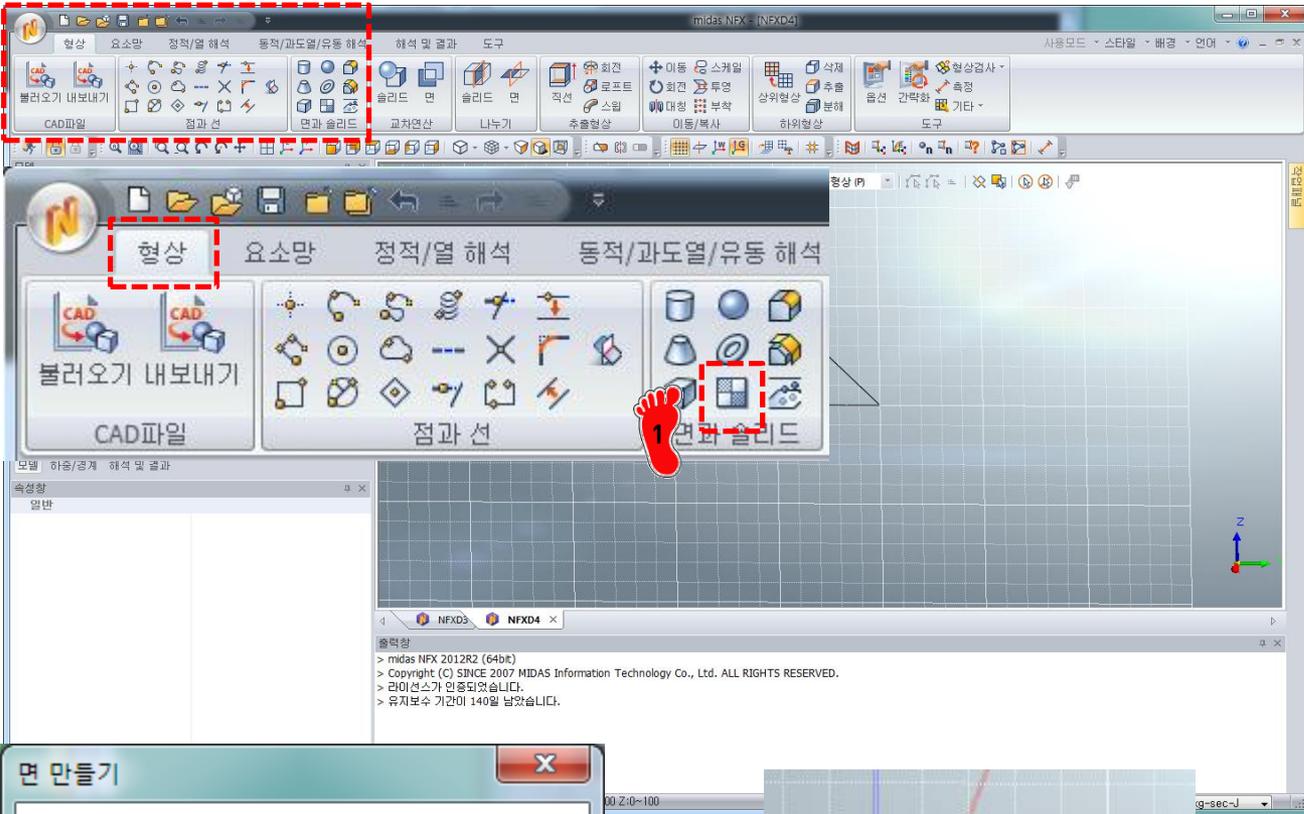
# 기하형상 생성 (3)



연결선 생성메뉴를 통해 가로, 세로 100 mm 인 직각삼각형 생성



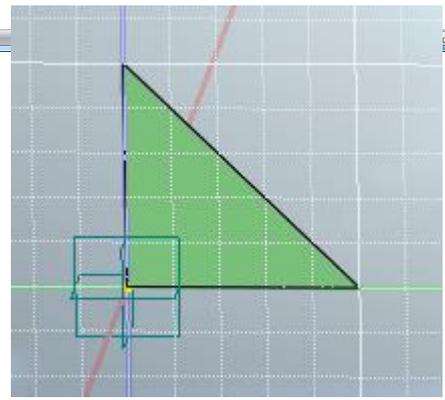
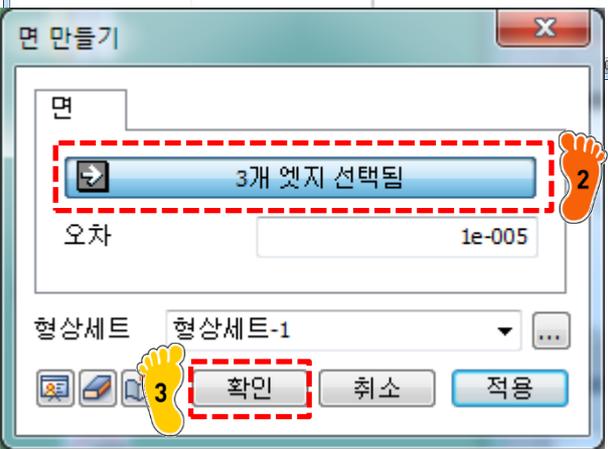
# 기하형상 생성 (4)



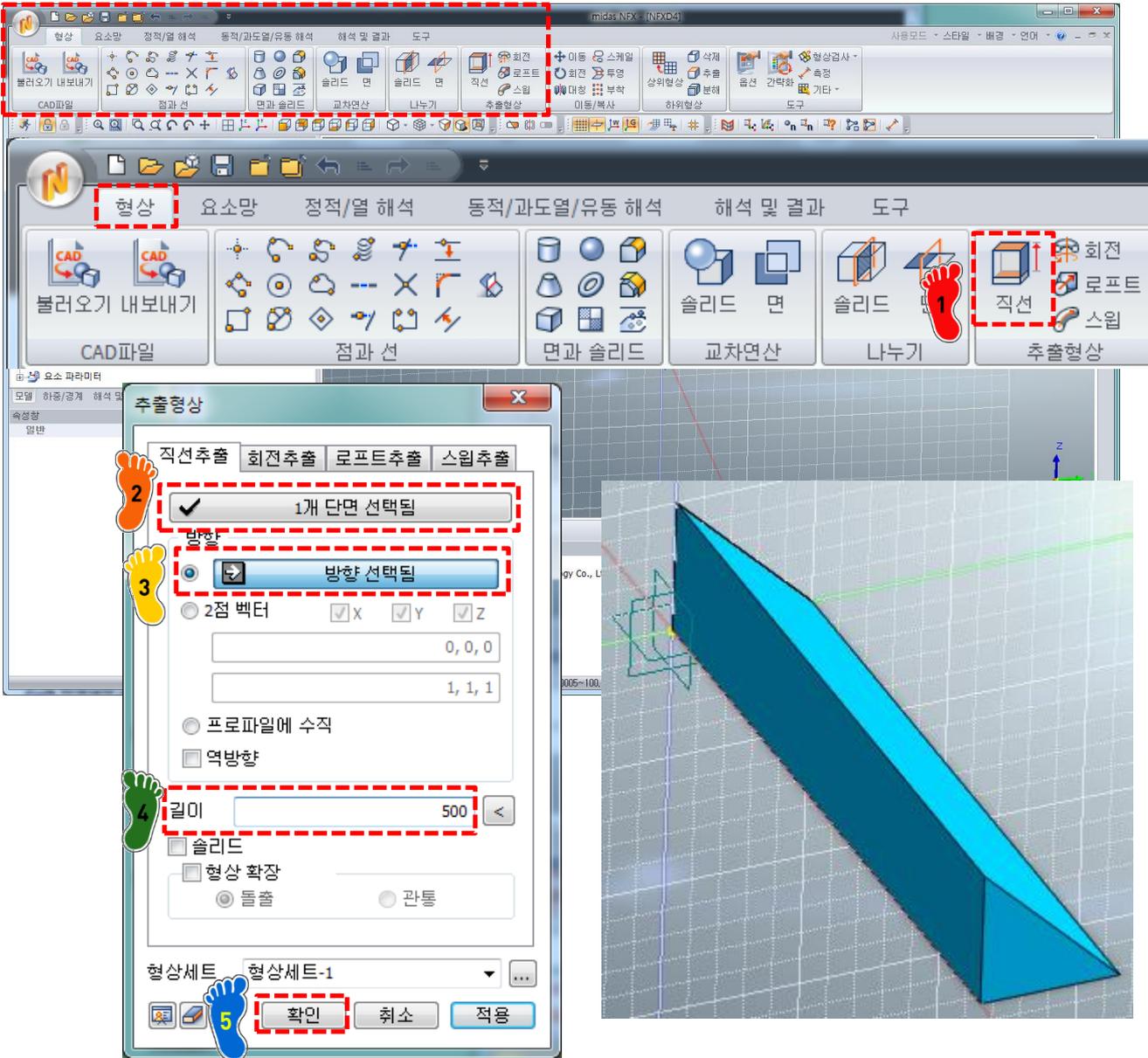
1 형상 탭 메뉴에서  
면 만들기  
클릭

2 3개의 변 선택

3 확인



# 기하형상 생성 (5)



1 형상 탭 메뉴에서 추출형상 세부메뉴 안의 직선 클릭

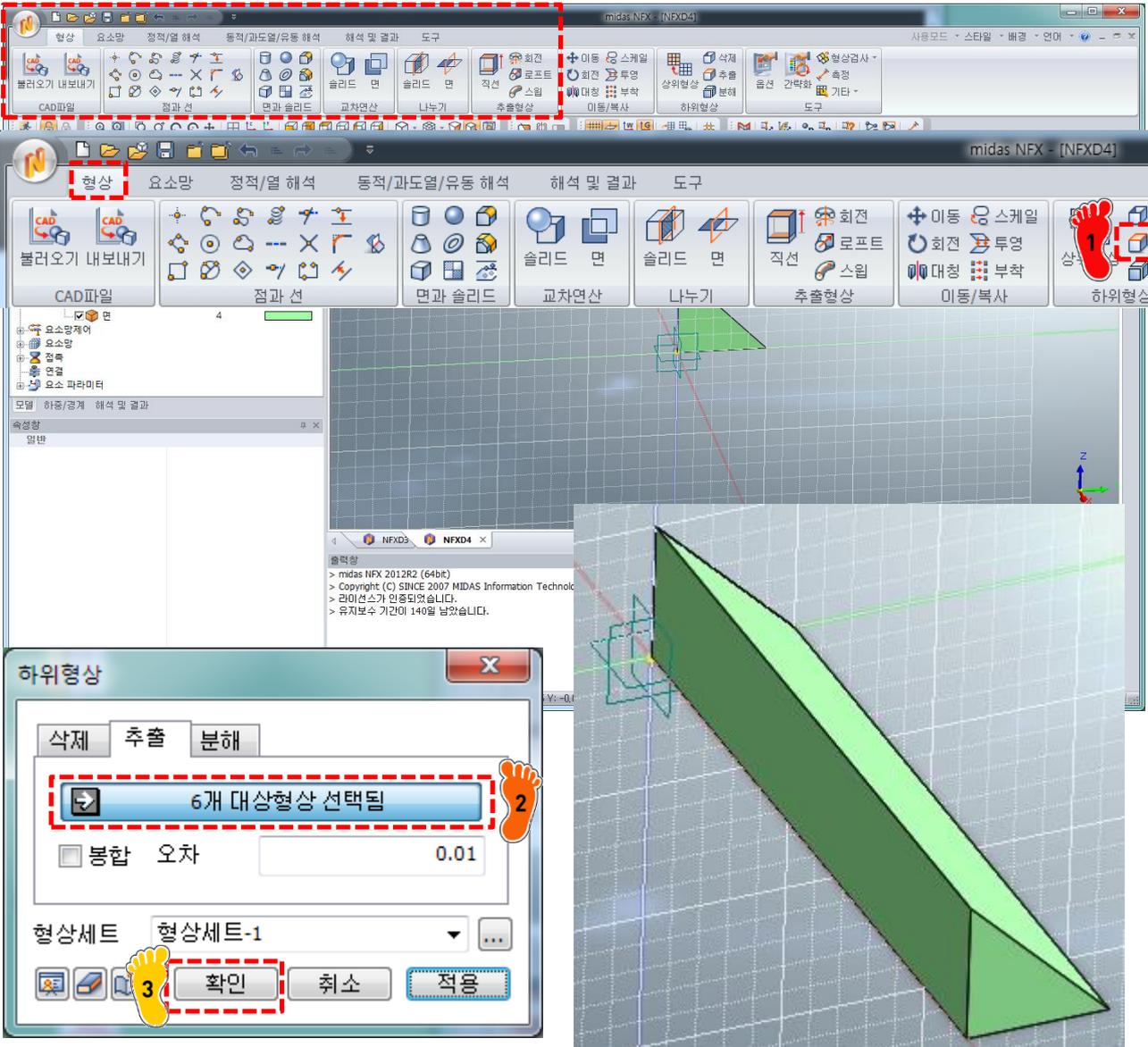
2 생성한 면 선택

3 방향 X방향 축 선택

4 길이 500 입력

5 확인

# 기하형상 생성 (6)

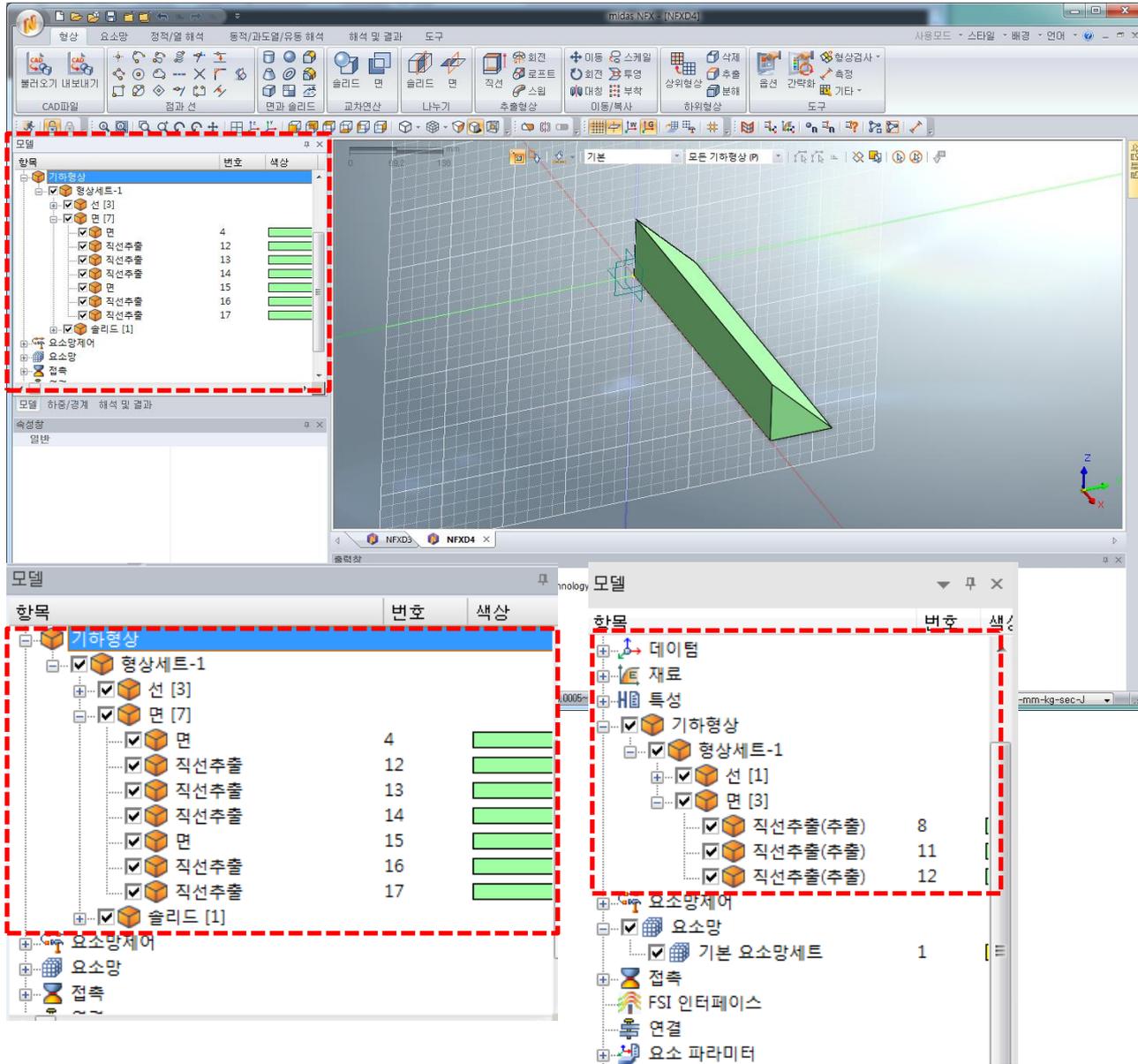


**1** 형상 탭 메뉴에서 하위형상 세부메뉴 안의 추출 클릭

**2** Ctrl + A 로 전체 형상 선택

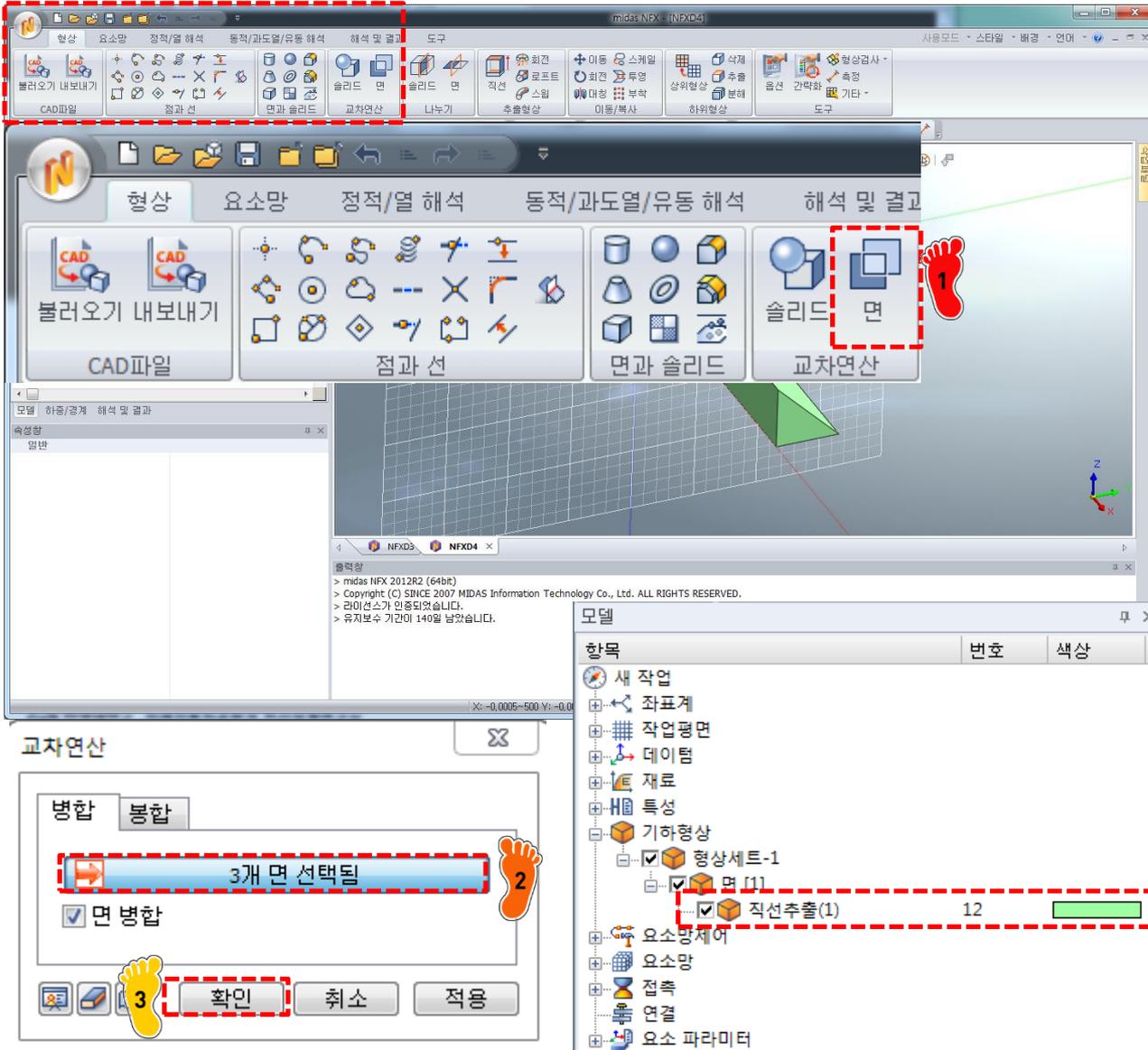
**3** 확인

# 기하형상 생성 (7)



모델 창 안의 기하형상 트리에서 해석에 필요한 3개의 면을 제외한 나머지 기하형상은 제거

# 기하형상 생성 (8)



1 형상 탭 메뉴 교차연산 세부 메뉴에서 면 클릭

2 3개 면 선택

3 확인

4 한 개의 병합된 면 확인

# 재료 물성 및 특성 입력 (1)

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 온도의존

구조

탄성계수 207000 N/mm<sup>2</sup>

포아송비 0.327

질량밀도 0 kg/mm<sup>3</sup>

열응력

열팽창계수 0

참조온도 0 [T]

열전도

전도율 0 W/(mm·[T])

비열 0 J/(kg·[T])

발열계수 1

안전율계산방법

파손이론 Von Mises 응력(Ductile)

인장 0 N/mm<sup>2</sup>    압축 0 N/mm<sup>2</sup>

감쇠 지수

질량 비례 감쇠 계수 0 1/sec

강성 비례 감쇠 계수 0 sec

구조 감쇠 계수 0

불러오기...    편집...    확인    취소    적용



탄성계수 207 GPa  
 포아송비 0.327  
 재료 생성

# 재료 물성 및 특성 입력 (2)

1 정적/열 해석 탭메뉴의 특성 클릭

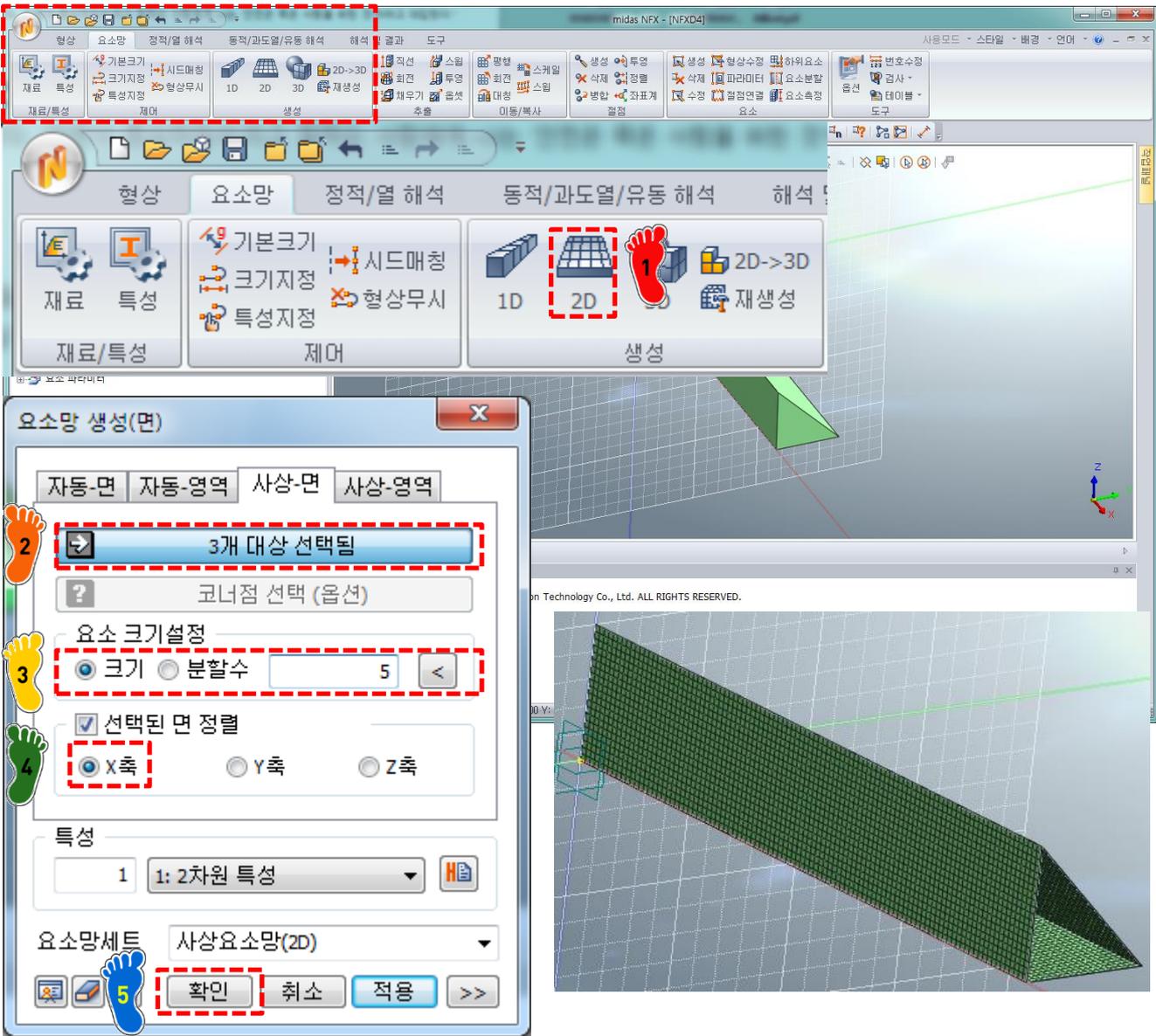
2 생성, 2D 클릭

3 판 탭메뉴 선택 후 재료 변경 두께 1 mm T/T1 칸에 입력

4 확인

The screenshot shows the software interface with several dialog boxes. The '특성 추가/수정' dialog is open, showing a table with columns '번호', '이름', '종류', and '하위종류'. A dropdown menu is open next to the '생성' button, showing options '1D...', '2D...', '3D...', and '기타...'. The '2D...' option is highlighted. Below this, the '2차원 특성 생성/변경' dialog is open, showing a table with columns '번호', '이름', '종류', and '하위종류'. The '번호' is '1', '이름' is '2차원 특성', '종류' is '2D', and '하위종류' is '판'. The '재료' field is set to '2: 재료'. The '재료좌표계' section has '좌표계' selected and '전체직교좌표계' chosen. The '두께' section has '균일두께' checked and '기준함수' set to '없음'. The 'T/T1' field is set to '1 mm'. The '비구조질량' field is set to '0 kg/mm²'. The '확인' button is highlighted at the bottom.

# 요소망 생성



1 요소망 탭메뉴의 2D 클릭

2 양 끝 면 제외하고 3개 면 선택

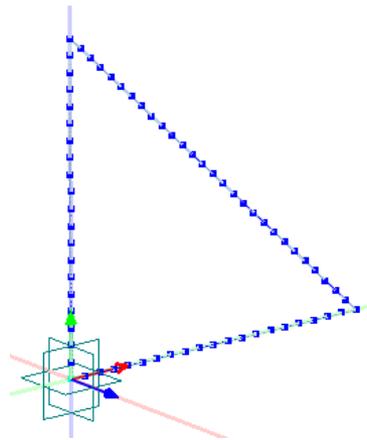
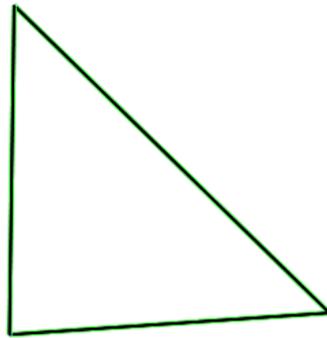
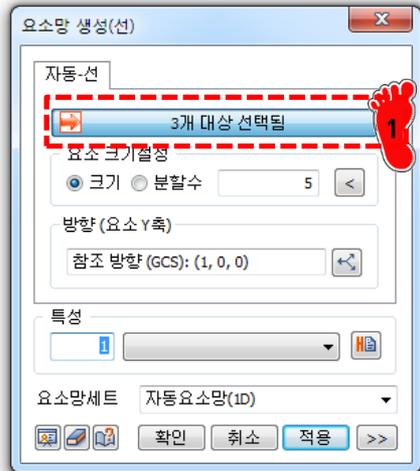
3 크기 5 입력

4 X축 선택

5 확인



# 요소망 생성 (방법 2)

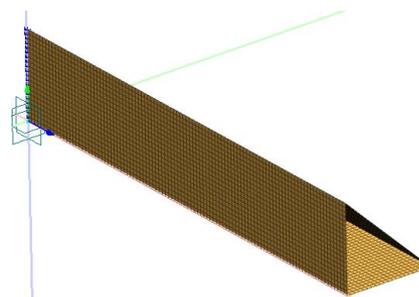
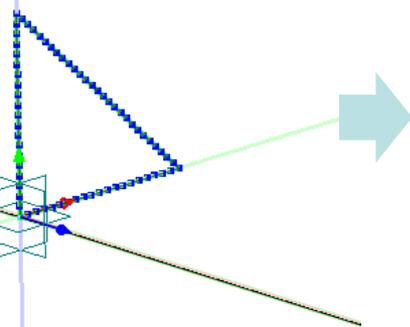
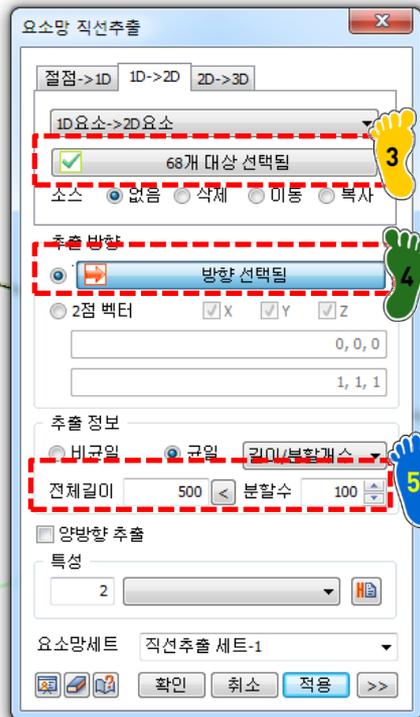


1 단면 생성을 위해 만든 선을 선택 후 요소 생성

2 요소망 탭에서 '직선' 선택

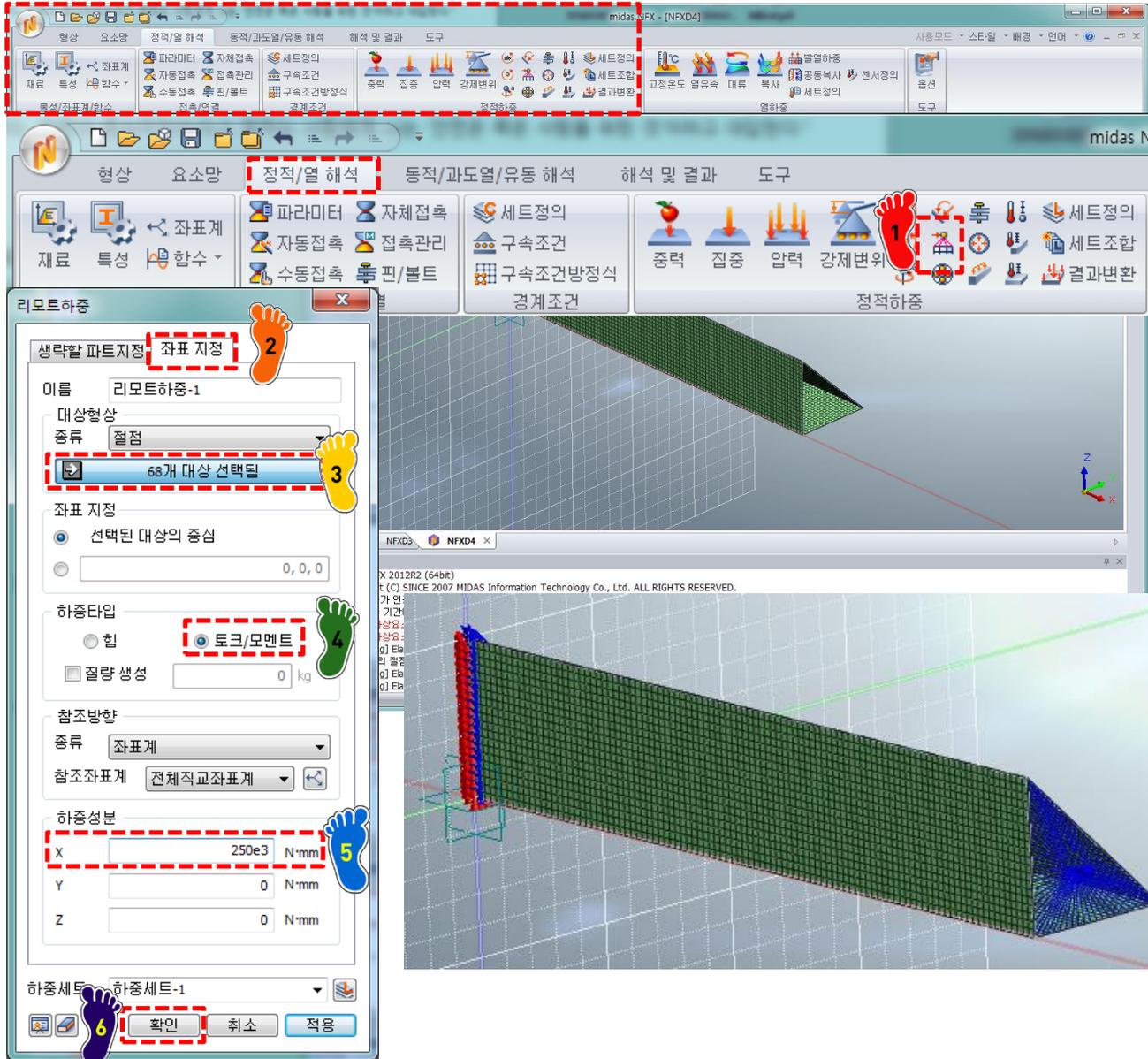
3 생성한 1D 요소를 선택

4 확인 2D 요소를 생성할 방향 선택



5 전체길이 및 분할수를 입력하고 확인

# 하중조건 및 구속조건 설정



1 정적/열 해석 탭 메뉴에서 리모트 하중 클릭

2 좌표 지정 탭 메뉴 선택

3 끝단의 절점 선택

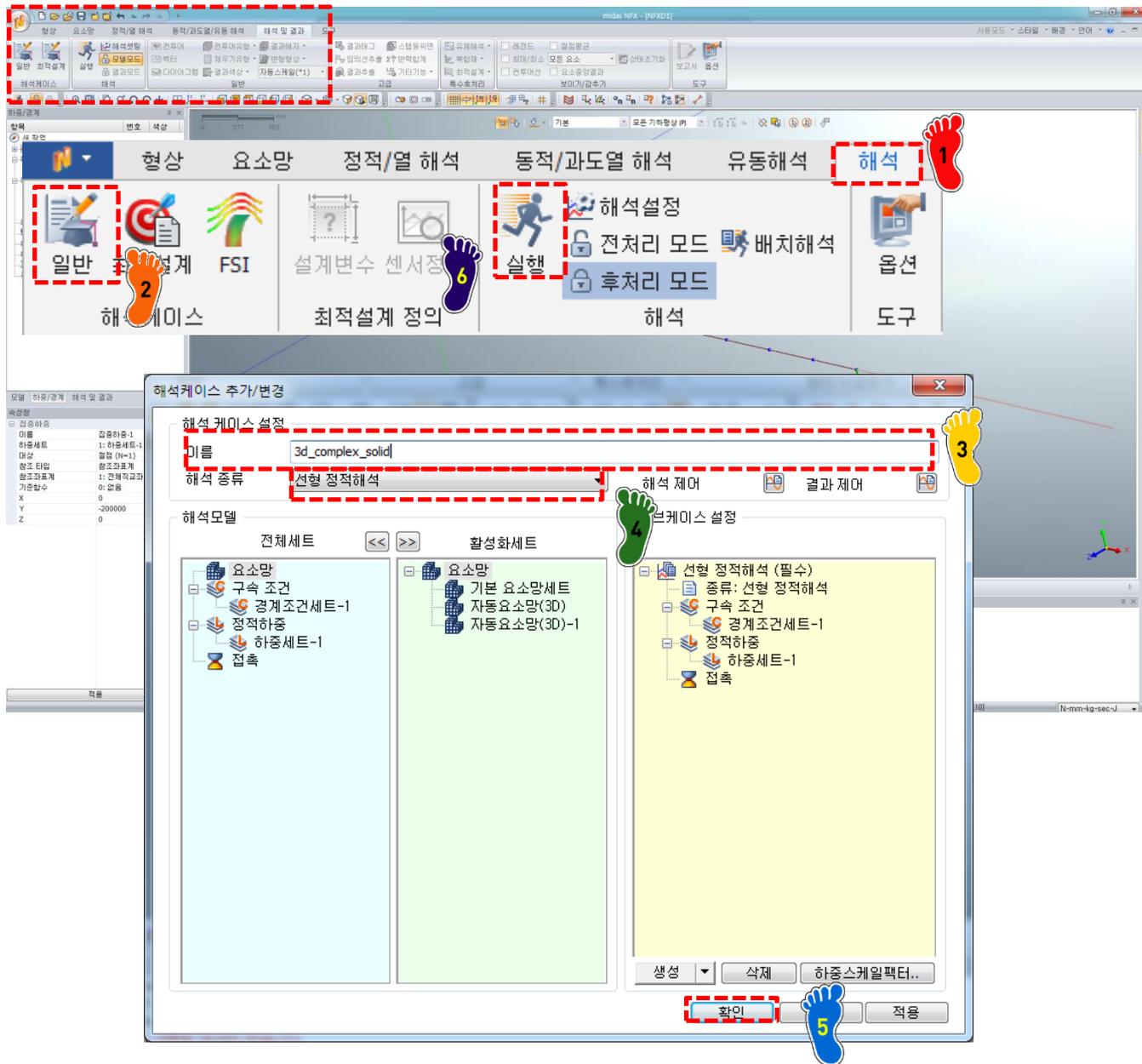
4 토크/모멘트 선택

5 X 방향 250e3 입력

6 확인

고정시킬 절점 선택 후 고정 구속으로 절점 구속

# 해석 케이스 정의 및 해석 실행



1 주 메뉴 창에서 해석 및 결과 탭메뉴 클릭

2 일반 클릭

3 임의의 이름 입력

4 해석 종류 선형 정적해석 확인

5 확인

6 실행 클릭

# 후처리 (1)



해석 및 결과 창에서  
-셀요소 상단 최대 전단응력  
-X방향 회전변위

결과 추가

midas NFX - [torsion\_shell\_2016.nfx]

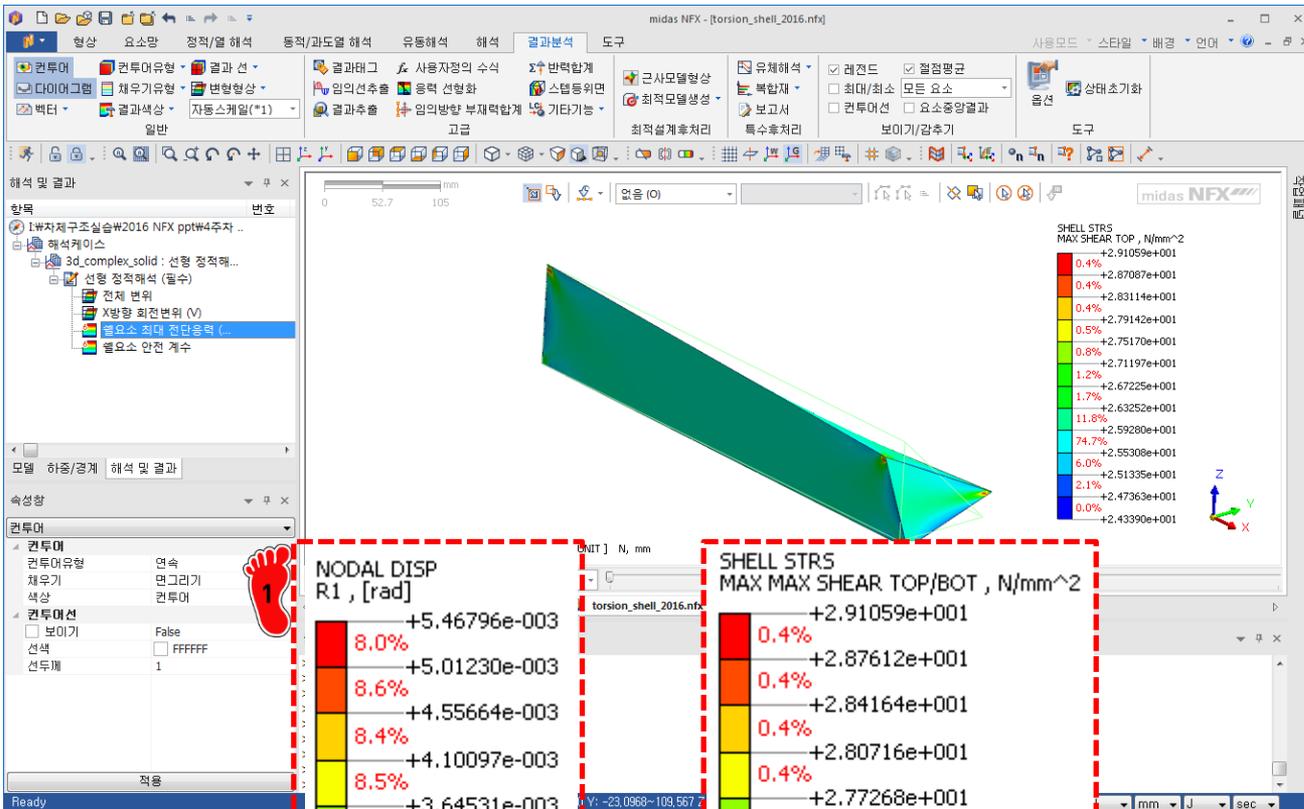
NOODAL DISP RI, [rad]

- 8.0% +5.46796e-003
- 8.6% +5.01230e-003
- 8.4% +4.55664e-003
- 8.4% +4.10097e-003
- 8.5% +3.64531e-003
- 8.0% +3.18965e-003
- 8.0% +2.73398e-003
- 9.0% +2.27832e-003
- 8.0% +1.82265e-003
- 8.5% +1.36699e-003
- 8.4% +9.11327e-004
- 8.6% +4.55664e-004
- 8.0% +0.00000e+000

해석 및 결과

항목	번호	색상
C:\Users\sean\Desktop\#2012 차체구조 ...		
해석케이스		
asd : 선형 정적해석		
선형 정적해석 (필수)		
전체 변위 (V)		
X방향 회전변위 (V)		
셀요소 상단 최대 전단응력		
셀요소 안전율		

# 후처리 (2)



**1** 회전변위는 5.467963e-3 으로 오차 0.056% 확인

**2** 셸 최대 응력은 29.11 MPa 로 오차 16.44% 확인  
(이 값은 구속조건과 하중조건이 작용하는 부분에 응력 집중 현상이 발생하여 도출된 결과임)

**1**

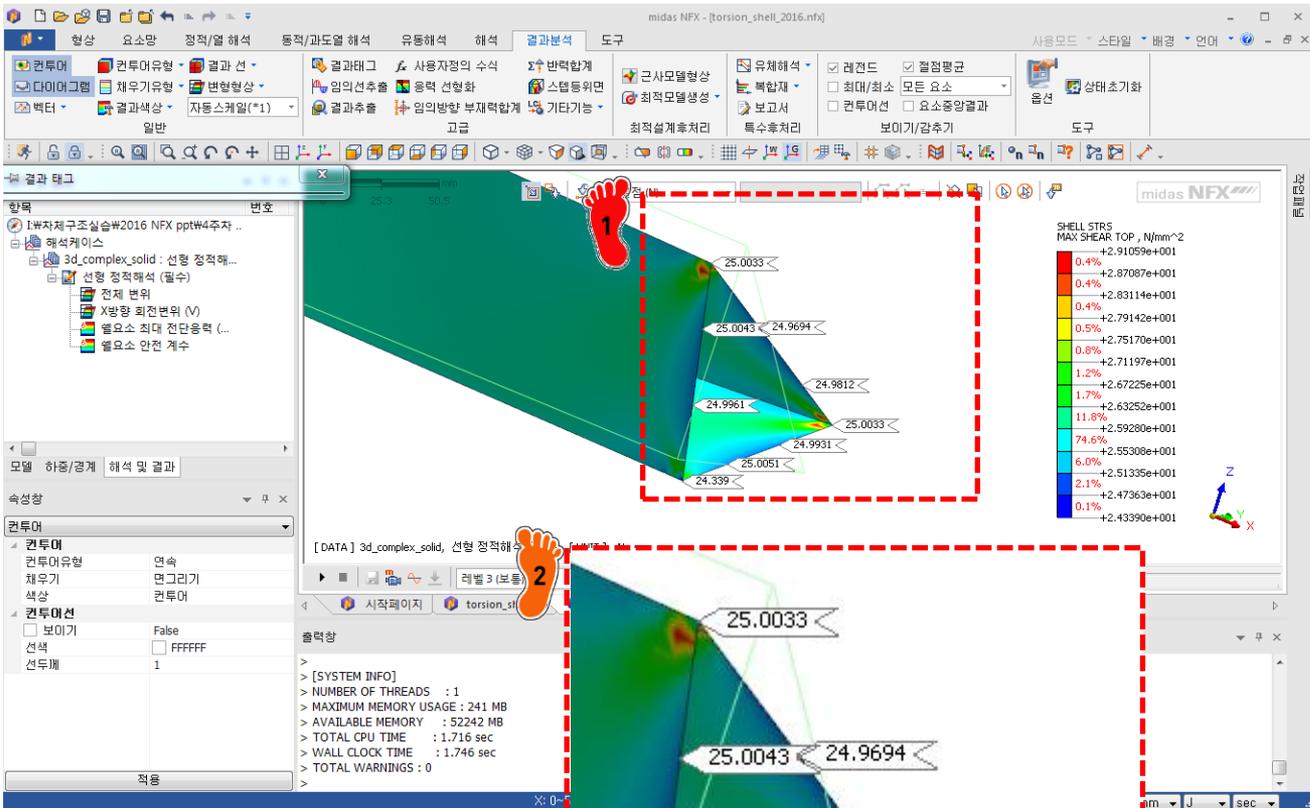
NODAL DISP  
R1, [rad]

	+5.46796e-003
8.0%	
	+5.01230e-003
8.6%	
	+4.55664e-003
8.4%	
	+4.10097e-003
8.5%	
	+3.64531e-003
8.0%	
	+3.18965e-003
8.0%	
	+2.73398e-003
9.0%	
	+2.27832e-003
8.0%	
	+1.82265e-003
8.5%	
	+1.36699e-003
8.4%	
	+9.11327e-004
8.6%	
	+4.55664e-004
8.0%	
	+0.00000e+000

SHELL STRS  
MAX MAX SHEAR TOP/BOT, N/mm<sup>2</sup>

	+2.91059e+001
0.4%	
	+2.87612e+001
0.4%	
	+2.84164e+001
0.4%	
	+2.80716e+001
0.4%	
	+2.77268e+001
0.5%	
	+2.73820e+001
0.8%	
	+2.70372e+001
1.2%	
	+2.66925e+001
1.6%	
	+2.63477e+001
5.4%	
	+2.60029e+001
77.1%	
	+2.56581e+001
8.5%	
	+2.53133e+001
3.2%	
	+2.49686e+001

# 후처리 (3)

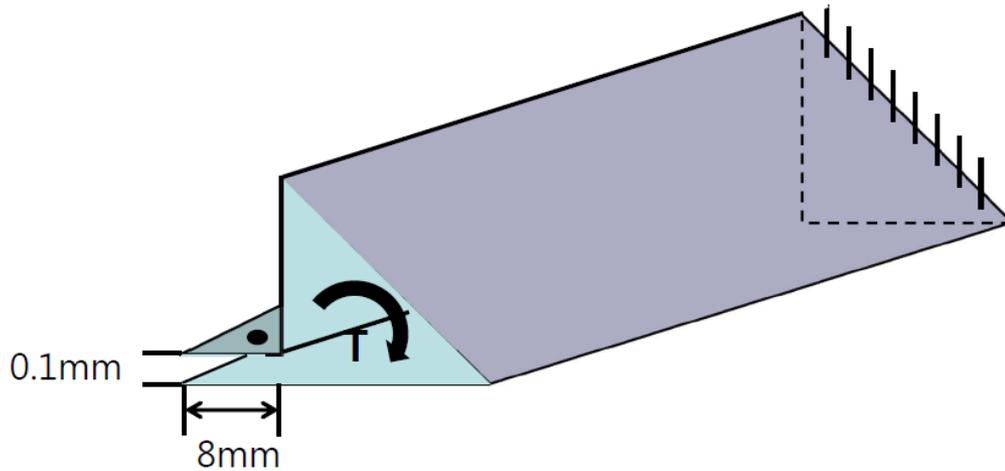


1 응력 집중이 발생하지 않는 지점(축방향 250mm 단면)의 응력 확인

2 응력은 대략 25 MPa로 이론값과 동일한 값 확인

# 예제: SPOT WELD FLANGE

비틀림 강성을 계산하시오



- 재료 물성
- E = 207 GPa
  - ν = 0.327
- 입력 하중
- T = 250 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  $p = 80\text{mm}$

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

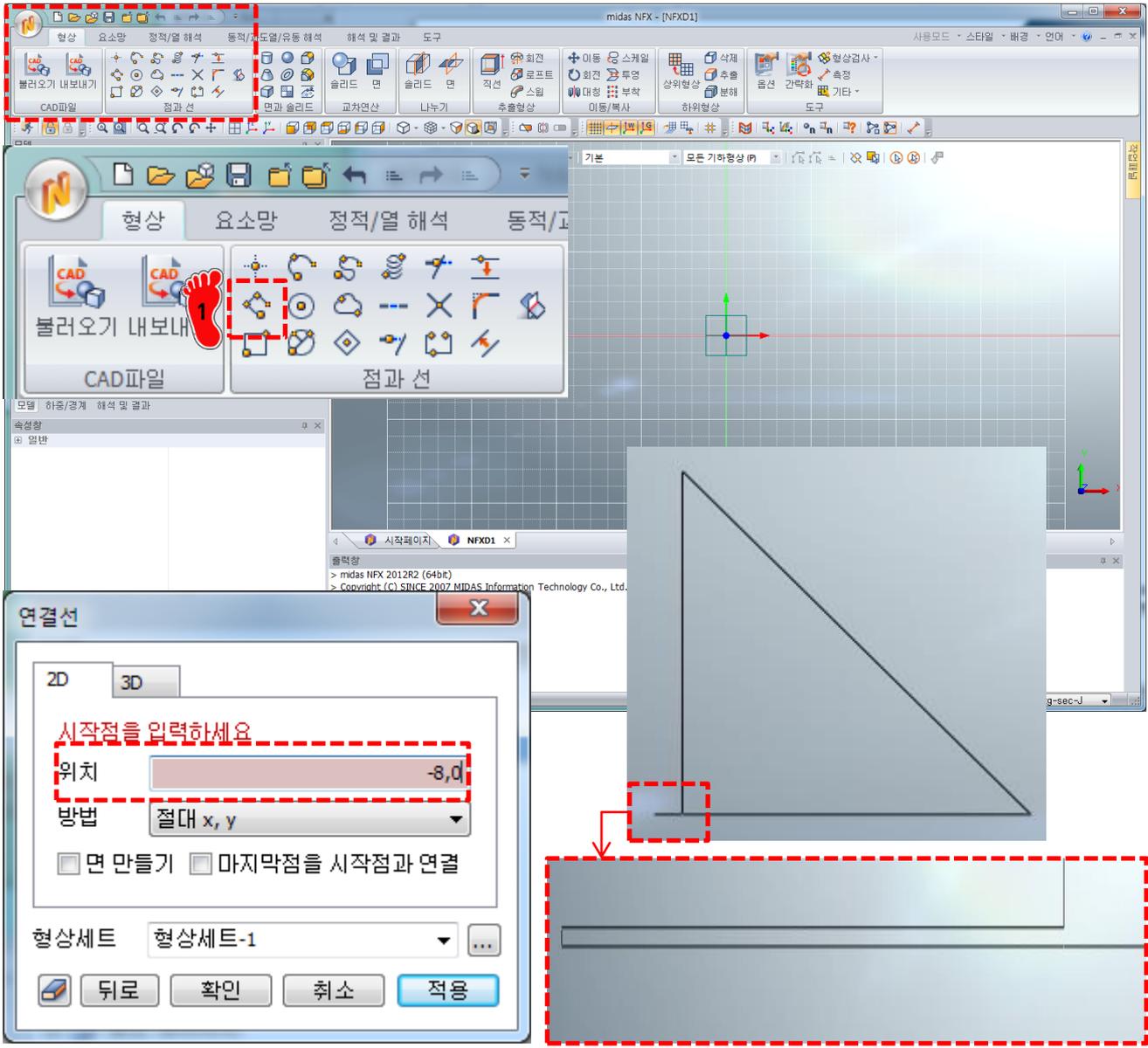
$$\theta_{p=80} = \theta \times \frac{1}{\psi} = 5.471 \times 10^{-3} \times \frac{1}{0.882} = 6.205 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

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

# SPOT WELD FLANGE

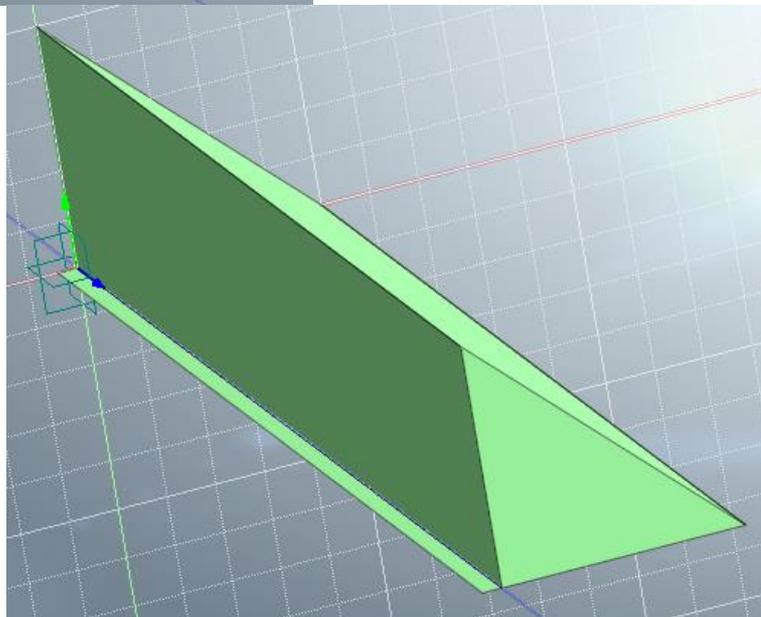
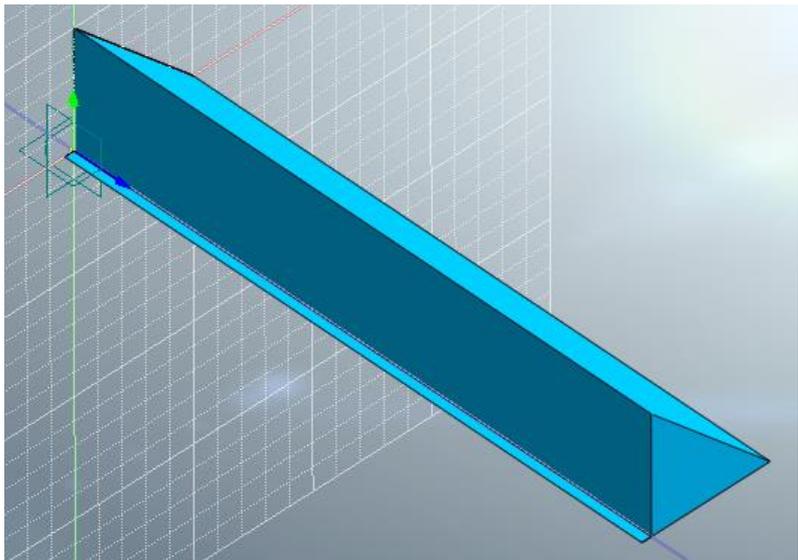
## 웰 요소

# 단면형상 생성



1 연결선을 클릭한 후 위치 (-8,0) 부터 예제에서 주어진 치수대로 닫힌 단면 생성

# 솔리드 형상 생성 후 단면 추출



1 앞의 예제와 동일하게 솔리드를 생성한 후 평면 추출

# 재료 물성 및 특성 입력 (1)

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 온도의존

구조

탄성계수 207000 N/mm<sup>2</sup>

포아송비 0.327

질량밀도 0 kg/mm<sup>3</sup>

열응력

열팽창계수 0

참조온도 0 [T]

열전도

전도율 0 W/(mm·[T])

비열 0 J/(kg·[T])

발열계수 1

안전율계산방법

파손이론 Von Mises 응력(Ductile)

인장 0 N/mm<sup>2</sup>    압축 0 N/mm<sup>2</sup>

감쇠 지수

질량 비례 감쇠 계수 0 1/sec

강성 비례 감쇠 계수 0 sec

구조 감쇠 계수 0

불러오기...    편집...    확인    취소    적용



탄성계수 207 GPa  
 포아송비 0.327  
 재료 생성

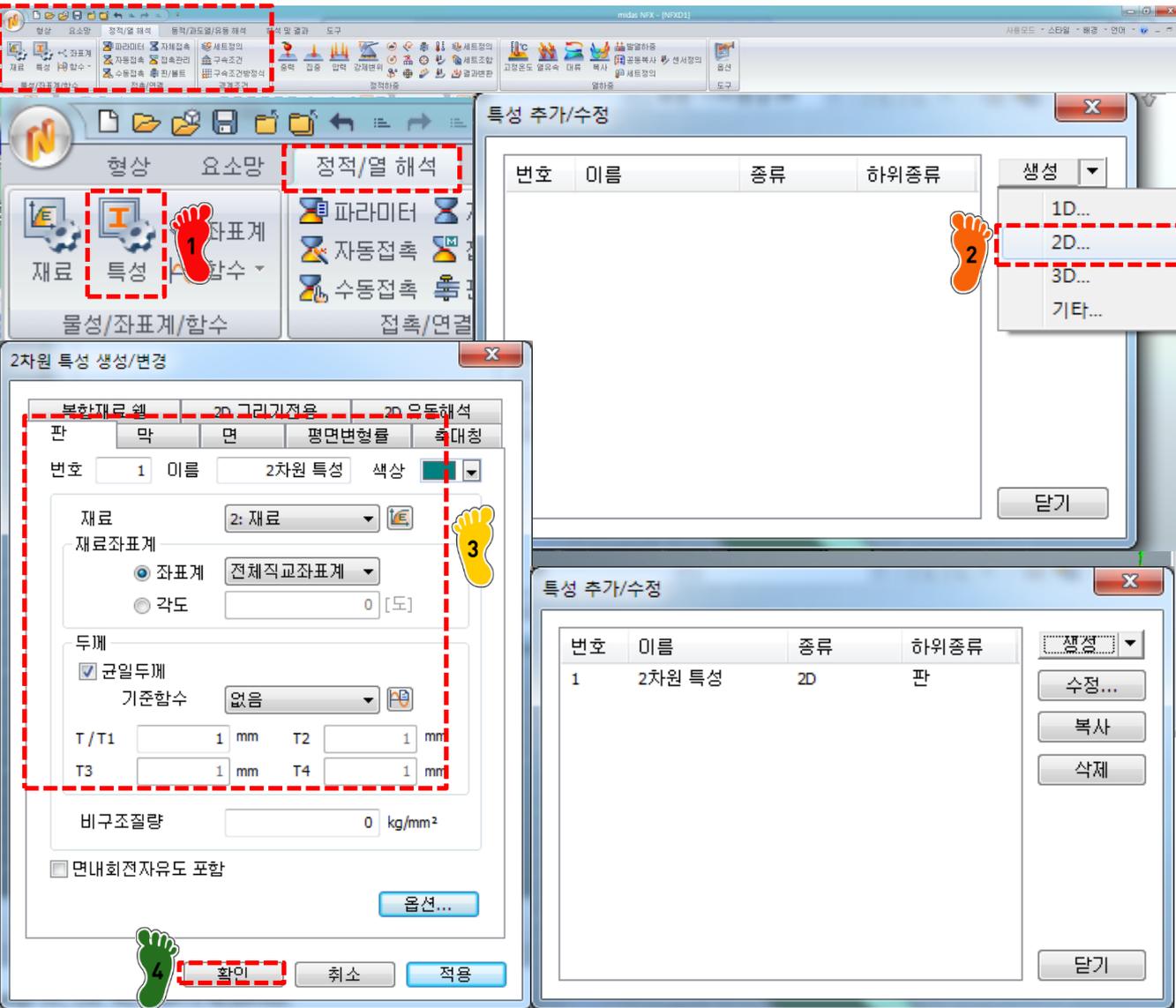
# 재료 물성 및 특성 입력 (2)

1 정적/열 해석 탭메뉴의 특성 클릭

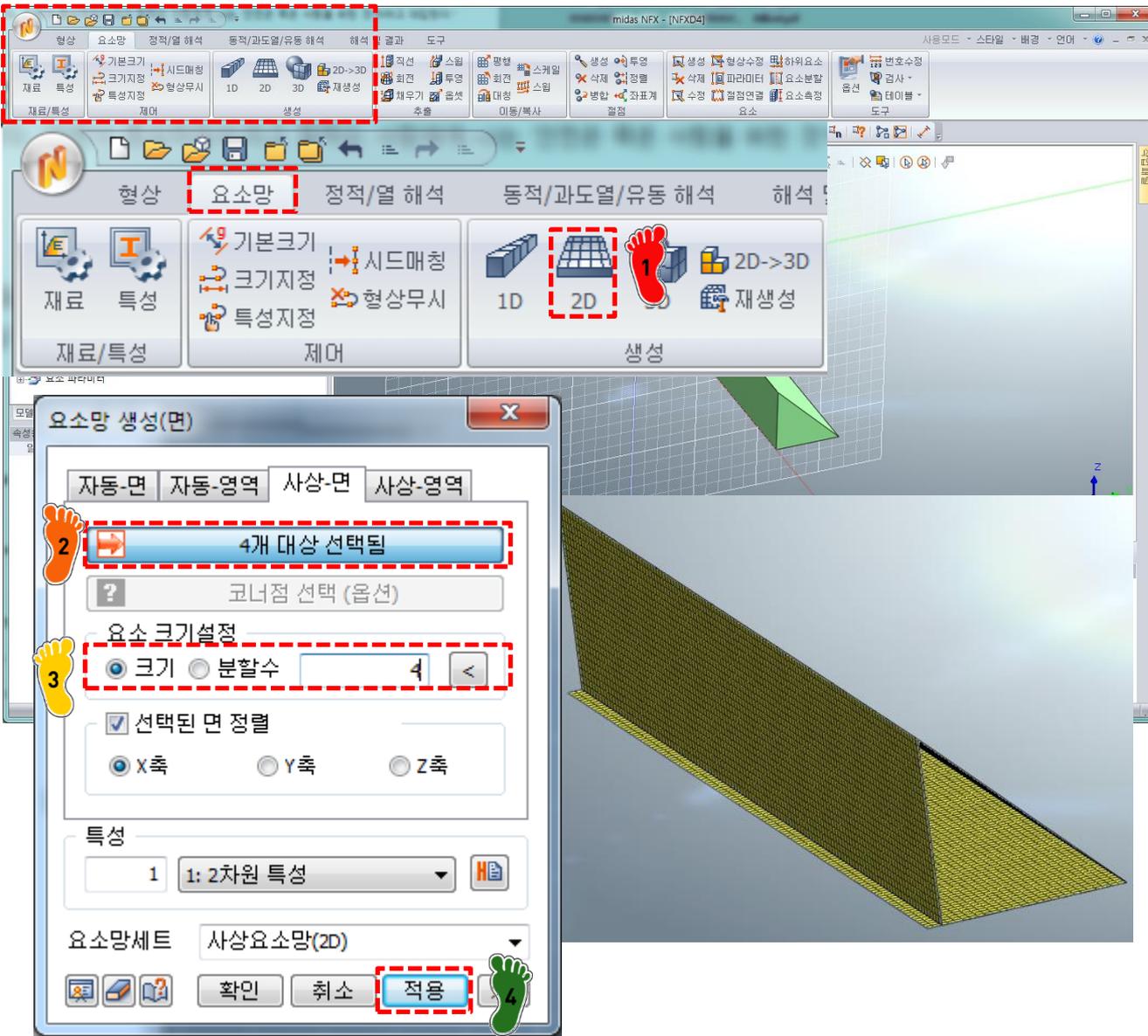
2 생성, 2D 클릭

3 판 탭메뉴 선택 후 재료 변경 두께 1 mm T/T1 칸에 입력

4 확인

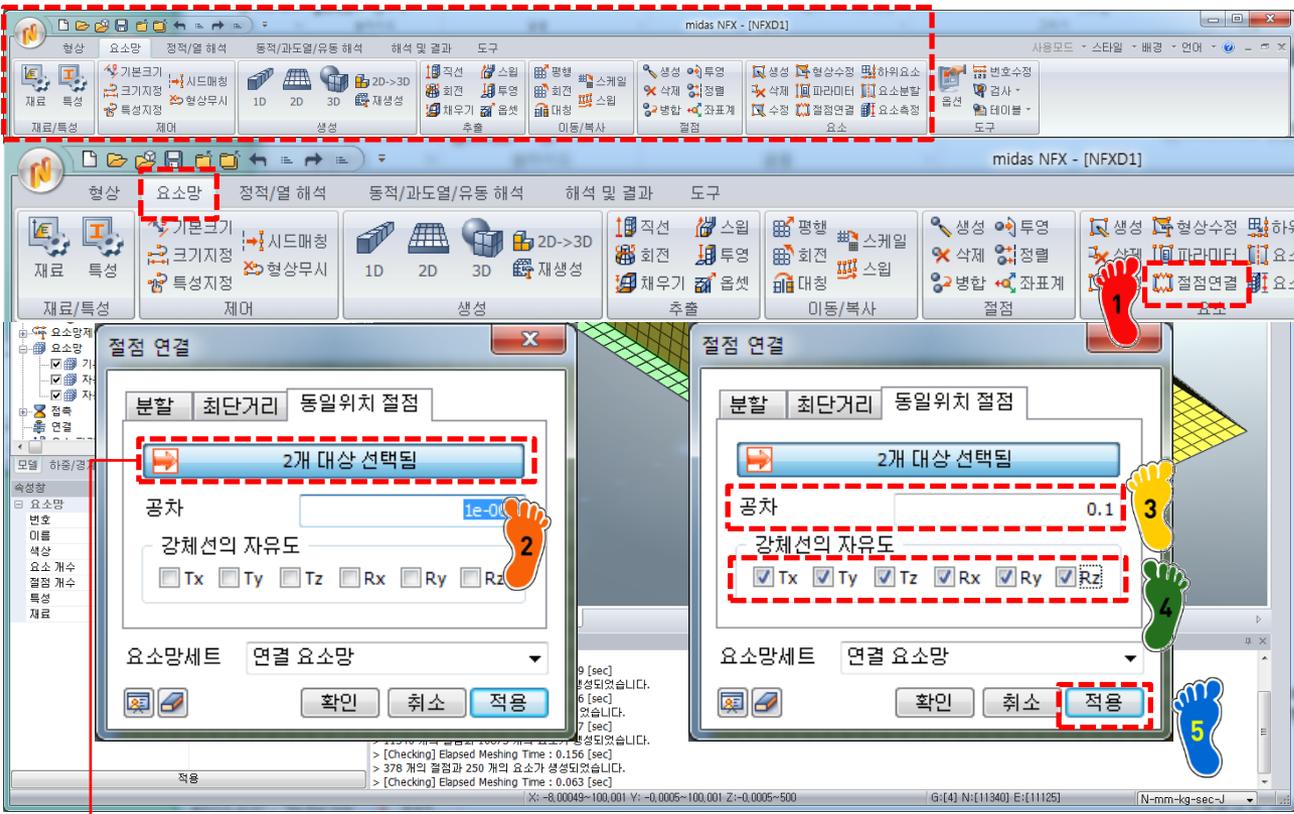


# 요소망 생성 (1)



- 1 요소망 톱메뉴의 2D 클릭
- 2 4개의 면 선택
- 3 크기 4 입력
- 4 적용

# 요소망 생성 (3)-2



1 요소망 탭의 절점연결 클릭

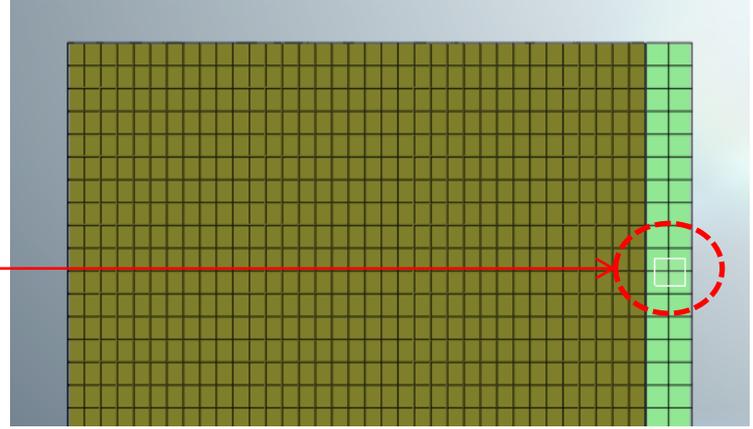
2 동일위치 절점 탭 클릭 후 용접하려는 2면이 겹치게 보이도록 시점을 이동한 뒤, 모델창을 이용하여 용접점을 1쌍씩 선택

3 용접면 사이의 거리 (0.1 mm)를 공차로 입력

4 자유도 전부 선택

5 적용

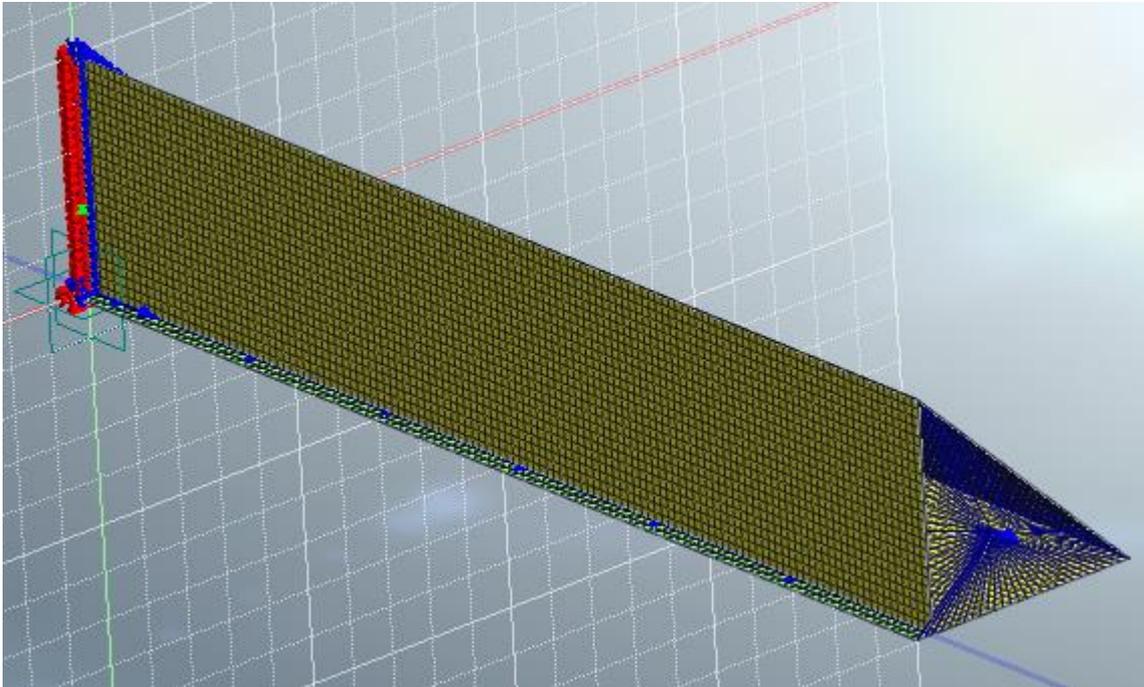
80 mm 단위로 나머지 뒷부분에도 절점 연결



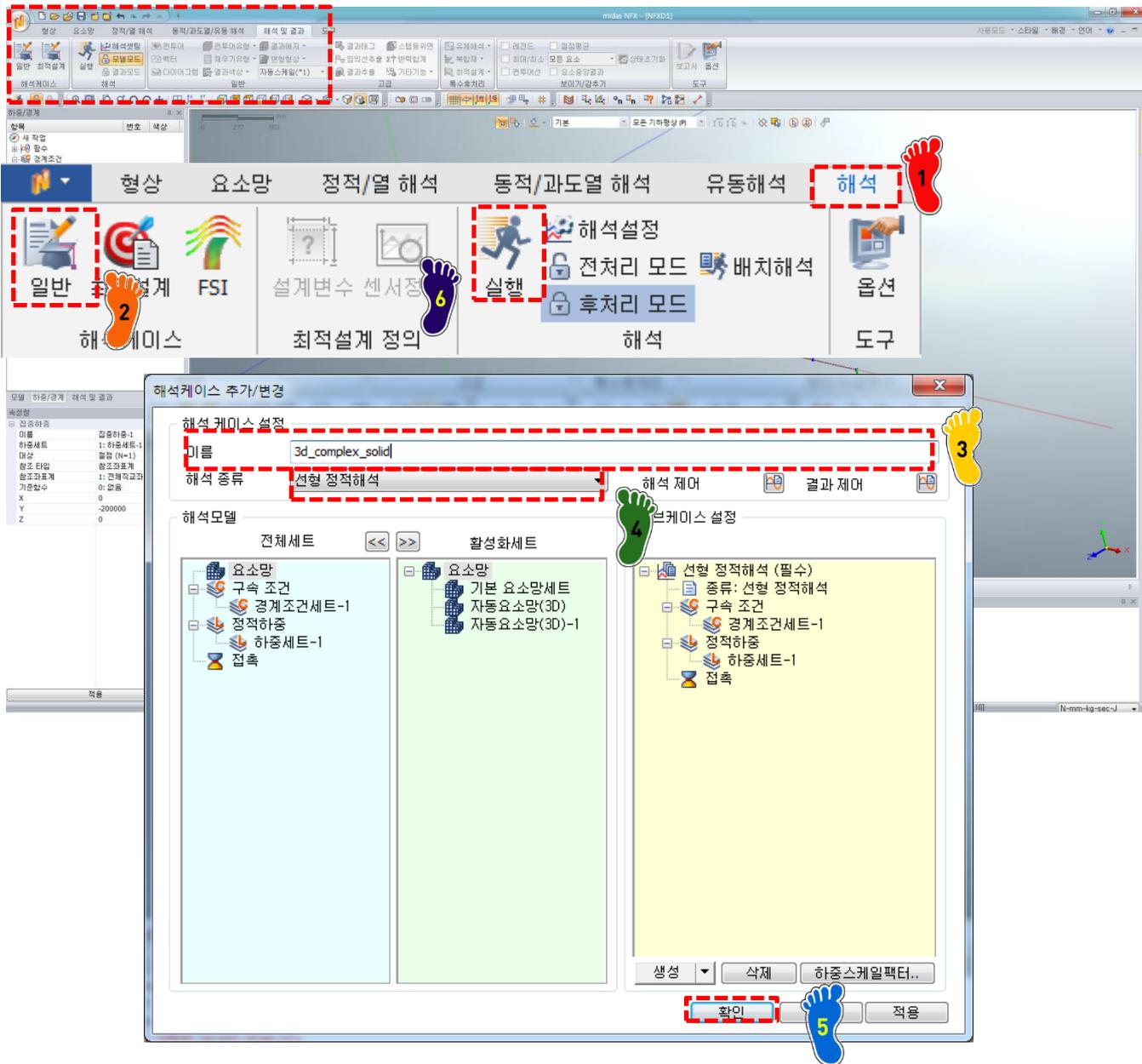
# 구속조건 및 하중조건 설정



전 예제와 동일한 방식으로  
구속조건 및 하중조건 설정



# 해석 케이스 정의 및 해석 실행



1 주 메뉴 창에서 해석 및 결과 탭메뉴 클릭

2 일반 클릭

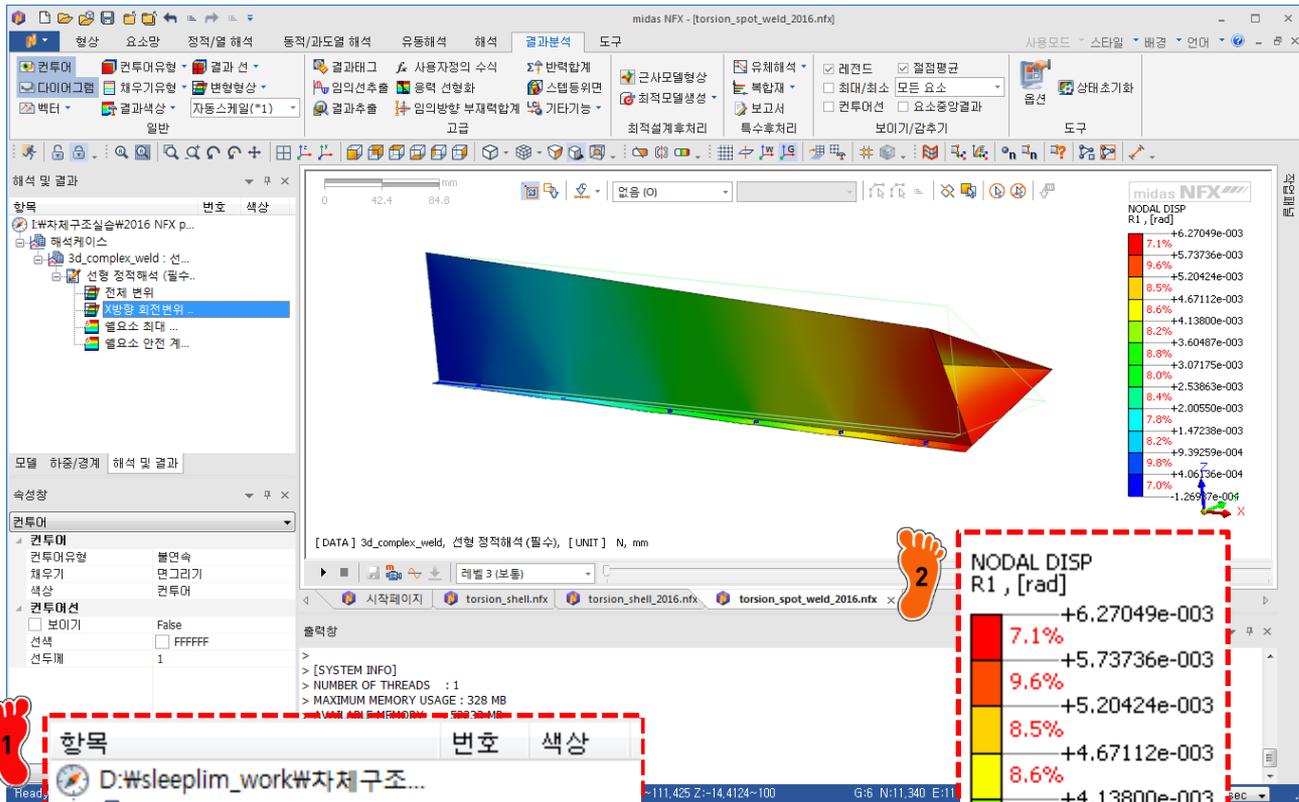
3 임의의 이름 입력

4 해석 종류 선형 정적해석 확인

5 확인

6 실행 클릭

# 후처리



1 해석 및 결과 창에서 'X방향 회전변위' 결과 추가

2 결과는 6.207e-3 으로 해석적인 해와 오차 0.032% 확인

1

항목 번호 색상

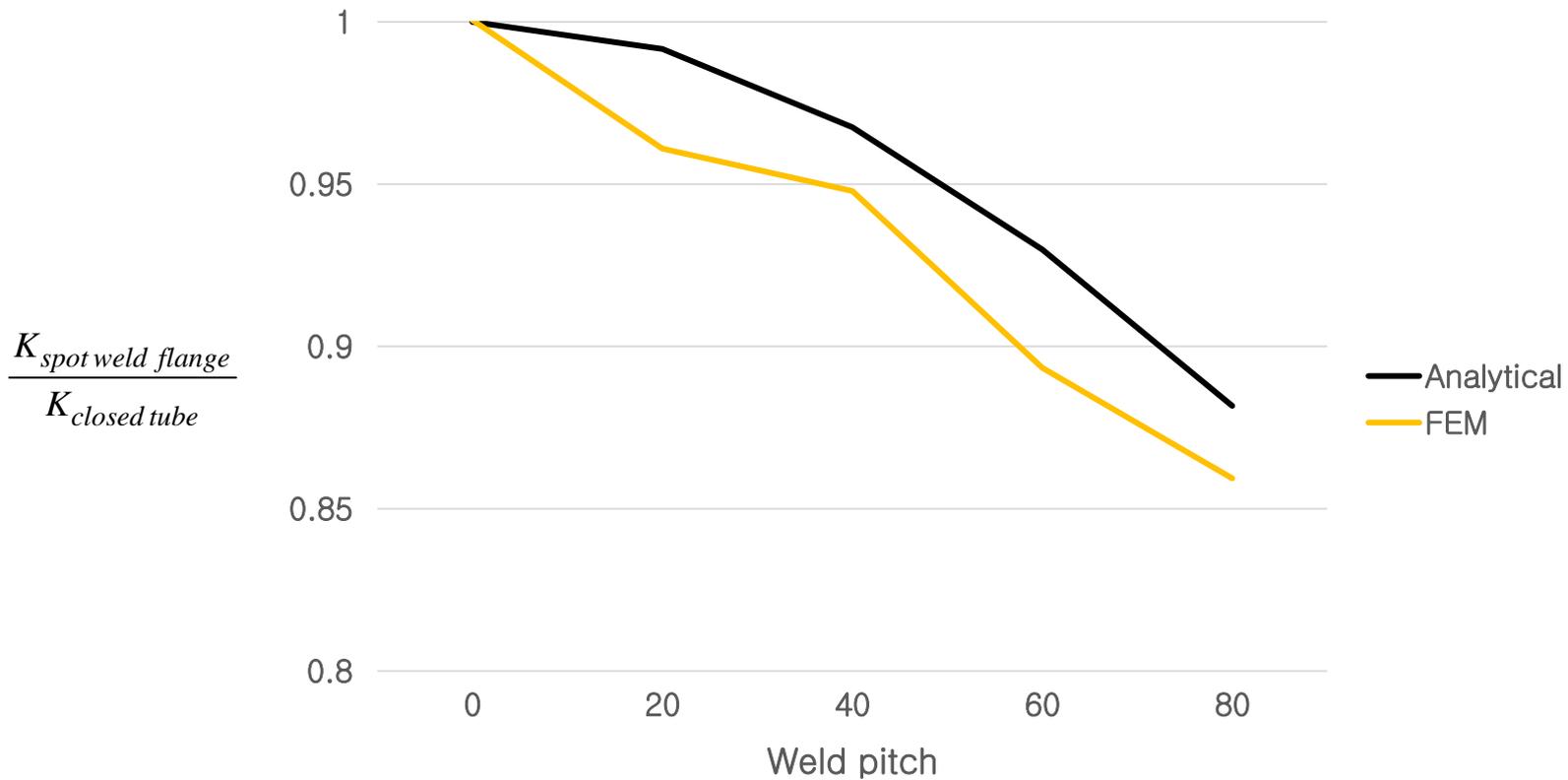
- D:\#차체구조실습#2016 NFX p...
- 해석케이스
  - asf : 선형 정적해석
    - 선형 정적해석 (필...
    - 전체 변위
    - X방향 회전변위..
    - 요소 최대 vo...
    - 요소 안전 계...

2

NODAL DISP R1, [rad]

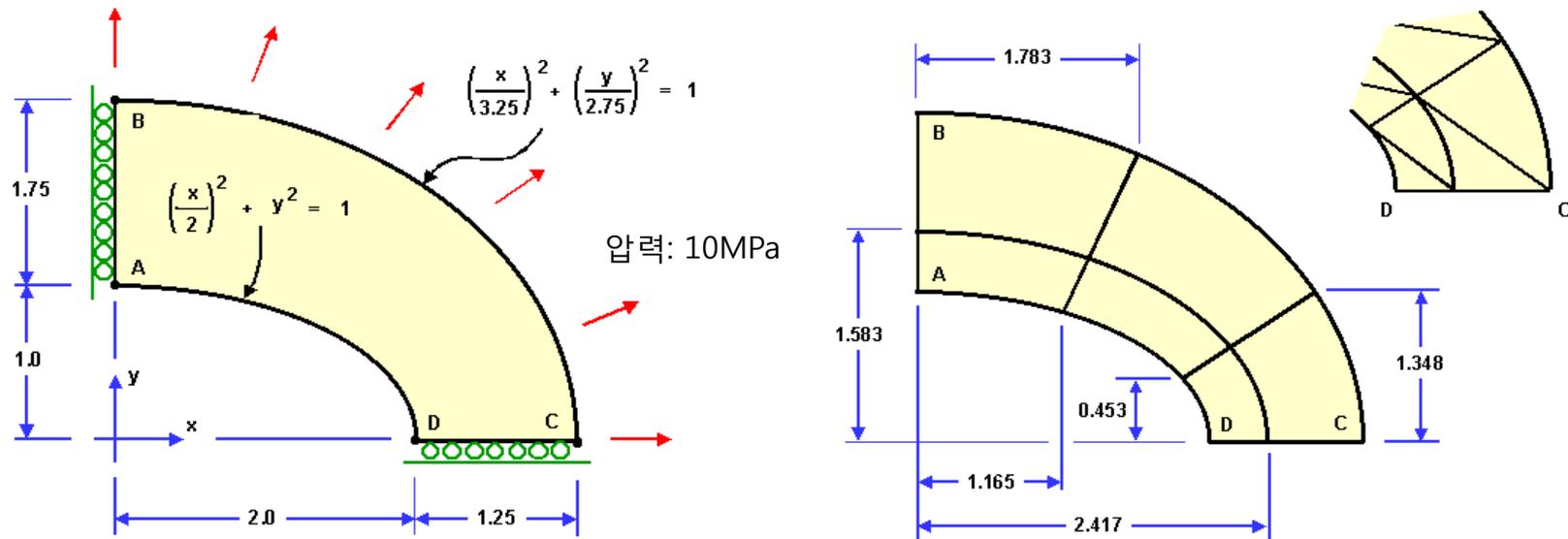
7.1%	+6.27049e-003
9.6%	+5.73736e-003
8.5%	+5.20424e-003
8.6%	+4.67112e-003
8.2%	+4.13800e-003
8.8%	+3.60487e-003
8.0%	+3.07175e-003
8.4%	+2.53863e-003
7.8%	+2.00550e-003
8.2%	+1.47238e-003
9.8%	+9.39259e-004
7.0%	+4.06136e-004
	-1.26987e-004

# 연습문제 1: 용접 거리에 따른 영향



# 연습문제 2

- NAFEMS benchmark test: LE1 elliptic membrane



Geometry: meters, thickness 0.1

Boundary conditions

- Edge AB: symmetry about y axis
- Edge CD: symmetry about x axis

Material properties

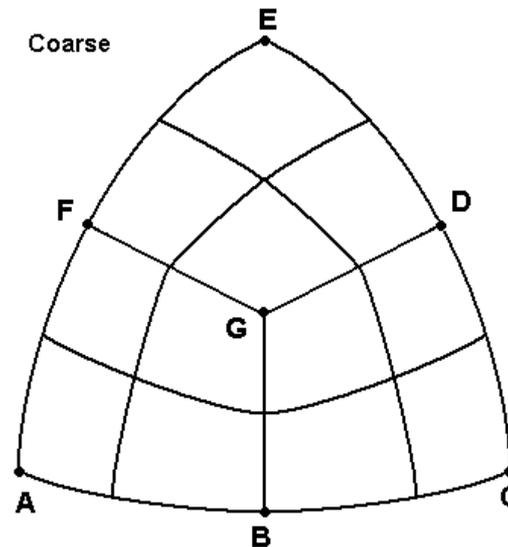
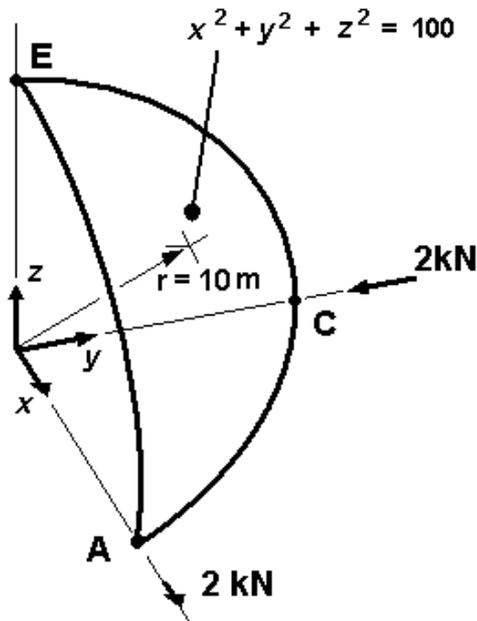
- Isotropic:  $E = 210 \cdot 10^3$  MPa,  $\nu = 0.3$

Output

- Tangential edge stress ( $\sigma_{yy}$ ) at point D: 92.7 MPa

# 연습문제 3

- NAFEMS benchmark test: LE3 hemisphere-point loads



Geometry: meters, thickness 0.04

Boundary conditions

- Edge  $AE$ , symmetry about  $zx$  plane, i.e. zero  $y$  displacement, zero normal rotation
- Edge  $CE$ , symmetry about  $yz$  plane, i.e. zero  $x$  displacement, zero normal rotation
- All other displacements on edge  $AC$  are free.

Material properties

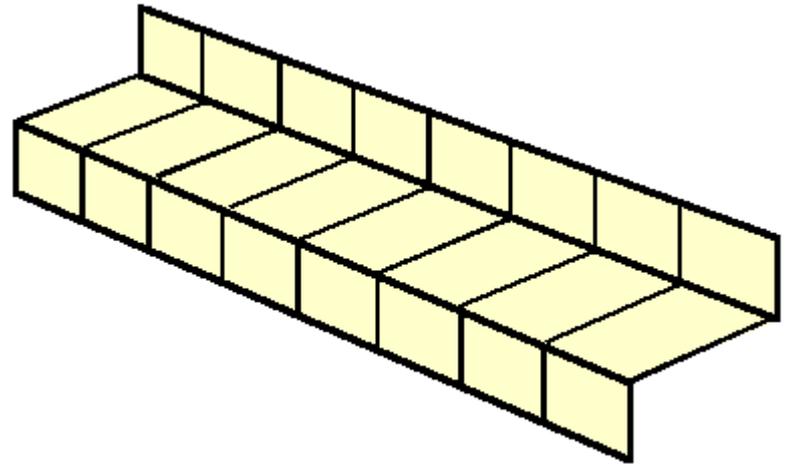
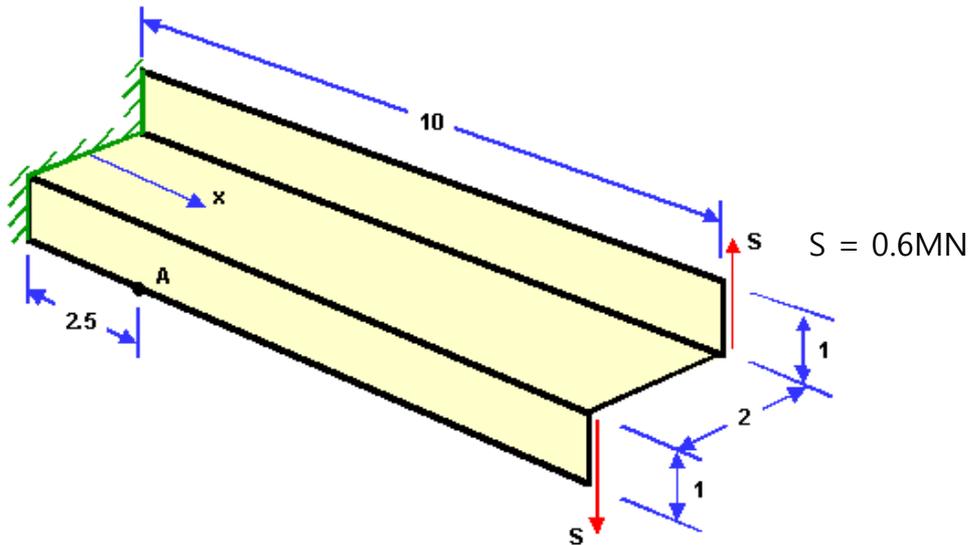
- Isotropic:  $E = 68.25 \cdot 10^3\text{ MPa}$ ,  $\nu = 0.3$

Output

- $x$  displacement at point  $A$ : 0.185 m

# 연습문제 4

- NAFEMS benchmark test: LE5 z-section cantilever



Geometry: meters, thickness 0.1

Boundary conditions

- At edge  $x = 0$ , all displacements zero

Material properties

- Isotropic:  $E = 210 \cdot 10^3$  MPa,  $\nu = 0.3$

Output

- axial (x-x) stress at mid-surface, point A: -108 MPa

# 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

