Beam vs. Solid

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

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

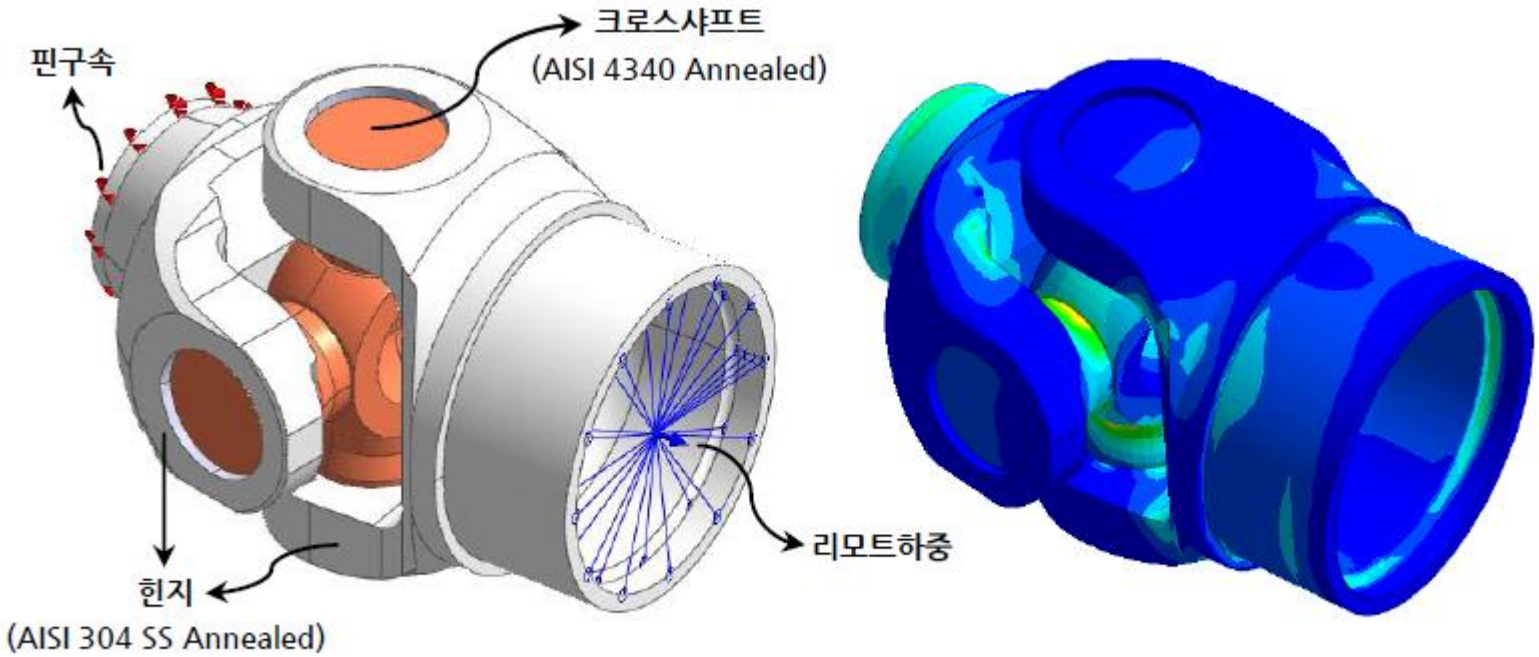
목차

- 솔리드 모델 소개
- 예제 문제
- 해석 프로세스 (빔, 솔리드 요소)
  - 기하형상 생성
  - 재료 물성 및 특성 입력
  - 요소망 생성
  - 구속조건 설정
  - 하중조건 설정
  - 해석케이스 정의 및 해석 실행
  - 후처리

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

솔리드 모델

기계 부품의 경우 기하학적인 특성으로 인하여 3차원 해석인 경우가 대부분



<그림 1> 유니버셜조인트 해석모델과 von Mises 응력결과

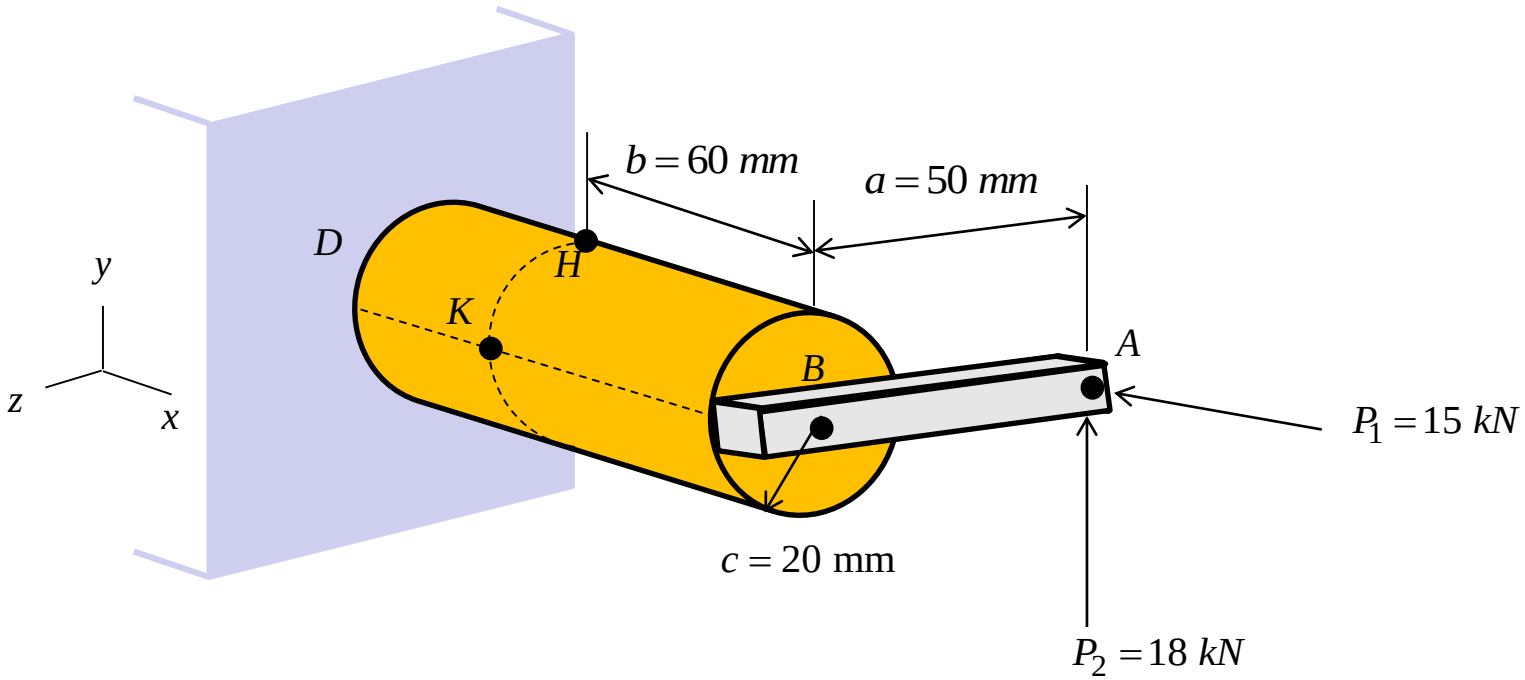
장점: 실제 물리적인 모델에 가깝게 표현 가능
단점: 해석 시간, 모델링 시간

→ 사용자의 경험이 중요

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

예제: 복합하중 구조물

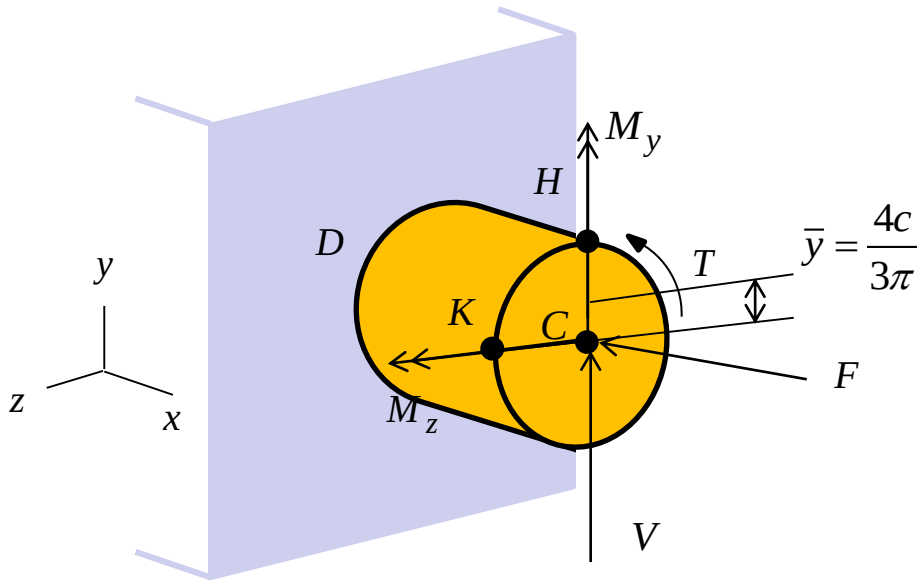
재료의 거동이 탄성 범위에 있다는 가정 하에 K 점에 작용하는 응력을 구하시오.



Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

예제: 이론해 (1)

자유물체도



힘

$$F = P_1 = 15\ kN$$

$$V = P_2 = 18\ kN$$

$$T = P_2 a = (18\ kN)(50\ \text{mm}) = 900\ N \cdot m$$

$$M_y = P_1 a = (15\ kN)(50\ \text{mm}) = 750\ N \cdot m$$

$$M_z = P_2 b = (18\ kN)(60\ \text{mm}) = 1080\ N \cdot m$$

기하형상 정보

$$A = \pi c^2 = 1.257 \times 10^{-3}\ m^2$$

$$I_y = I_z = \frac{1}{4}\pi c^4 = 125.7 \times 10^{-9}\ m^4$$

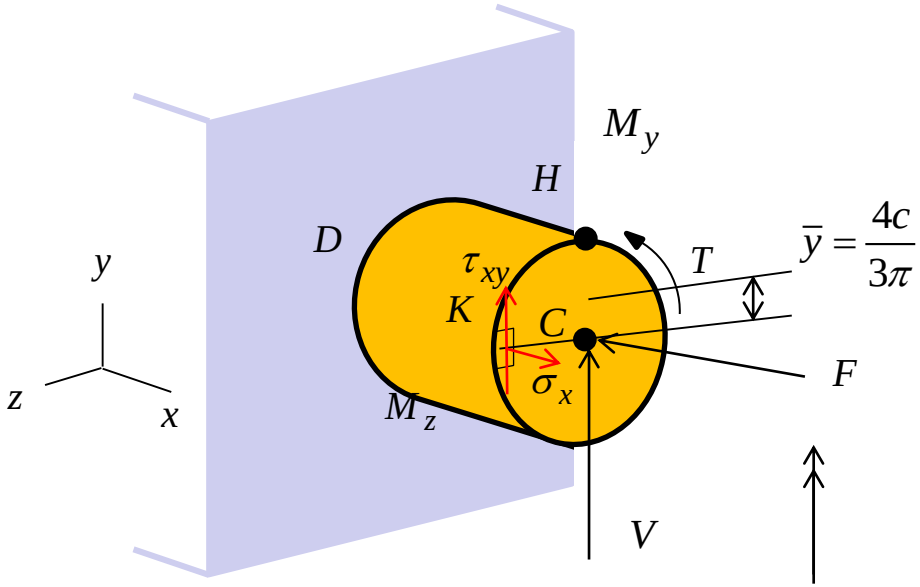
$$J_C = \frac{1}{2}\pi c^4 = 251.3 \times 10^{-9}\ m^4$$

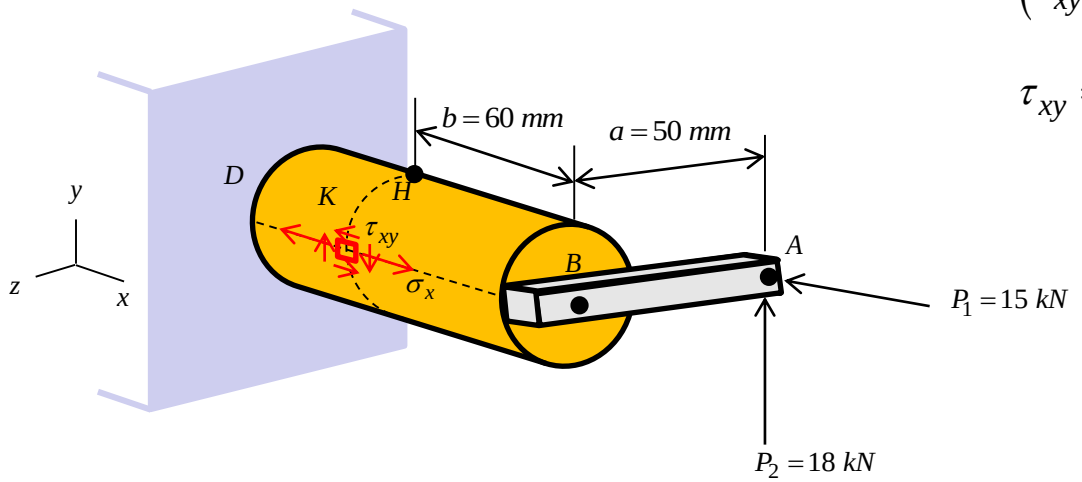
$$Q = A'\bar{y} = \left(\frac{1}{2}\pi c^2\right)\left(\frac{4c}{3\pi}\right) = 5.33 \times 10^{-6}\ m^3$$

$$t = 2c = 0.040\ m$$

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

예제: 이론해 (2)





수직 응력

$$\sigma_x = -\frac{F}{A} + \frac{M_y c}{I_y} = 107.430 \text{ MPa}$$

전단 응력

$$\left(\tau_{xy}\right)_{V,\max} = \frac{VQ}{I_z t} = 19.0986 \text{ MPa}$$

$$\left(\tau_{xy}\right)_{twist} = -\frac{Tc}{J_C} = -71.6197 \text{ MPa}$$

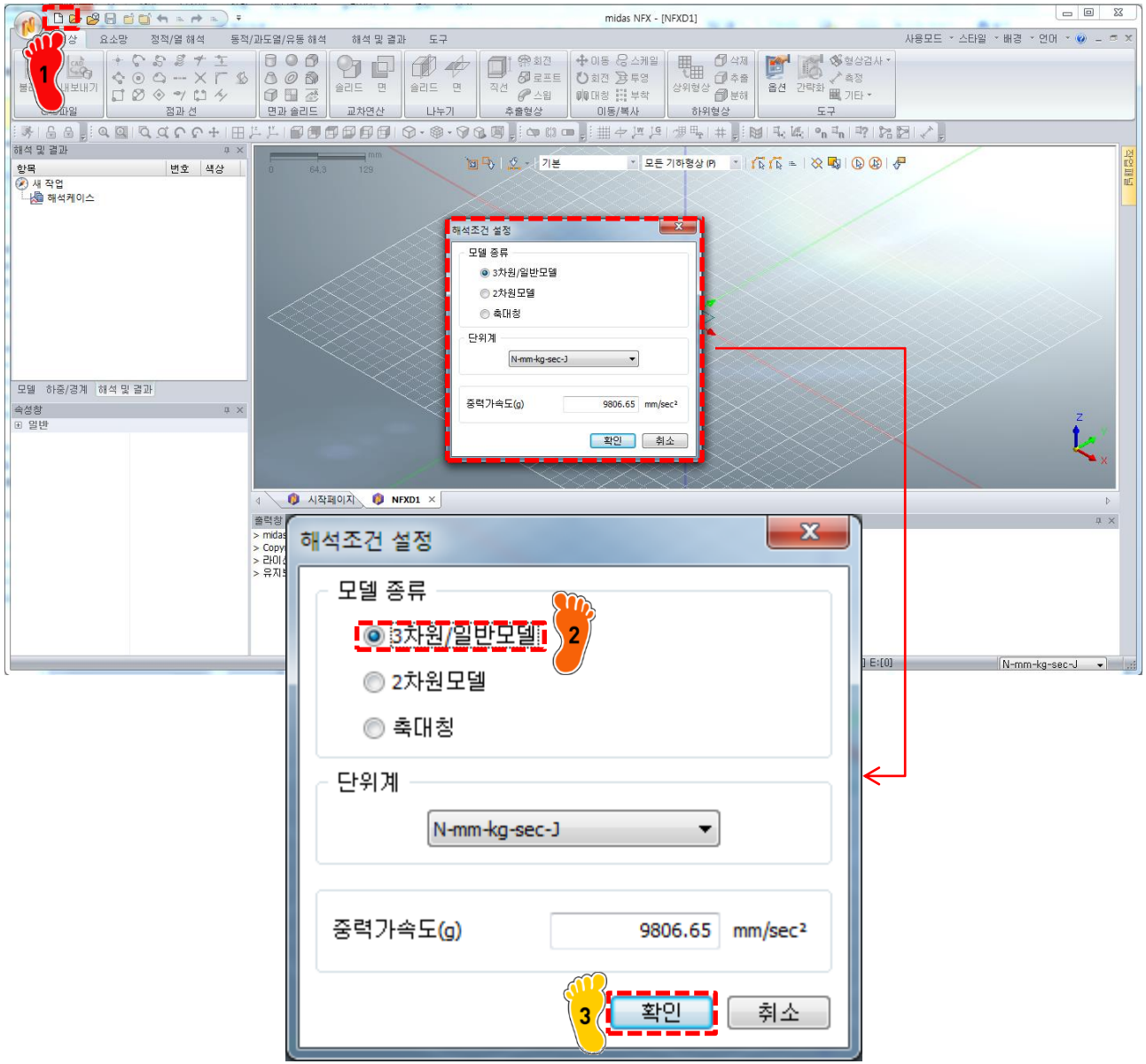
$$\tau_{xy} = \left(\tau_{xy}\right)_V + \left(\tau_{xy}\right)_{twist} = -52.5211 \text{ MPa}$$

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

복합하중 문제
솔리드 요소

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

기하형상 생성 (1)



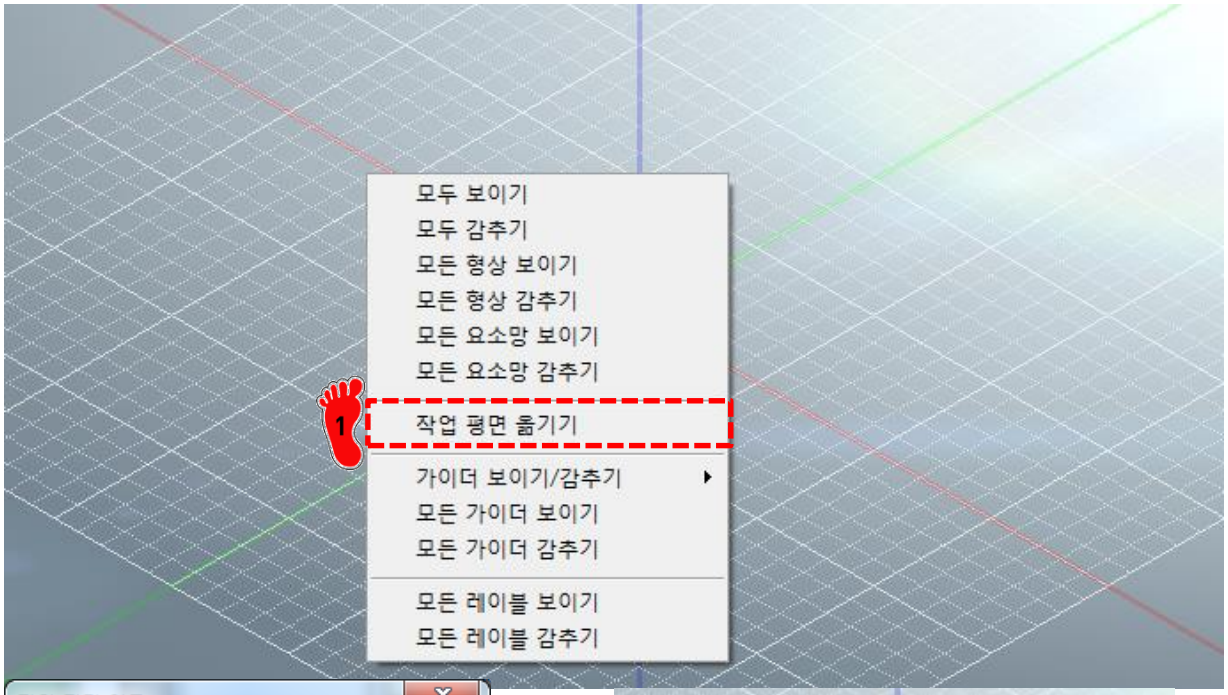
1 새로 만들기 클릭

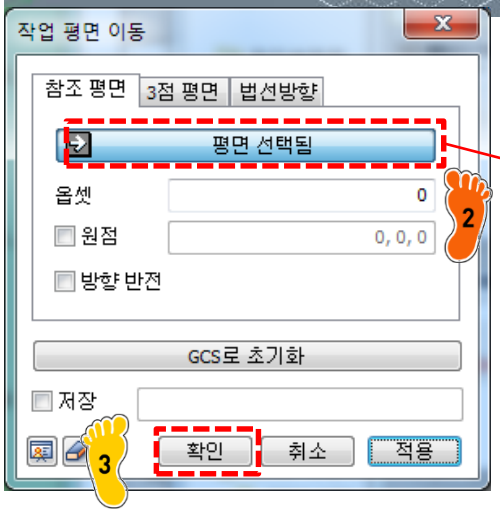
2 3차원/일반모델 선택

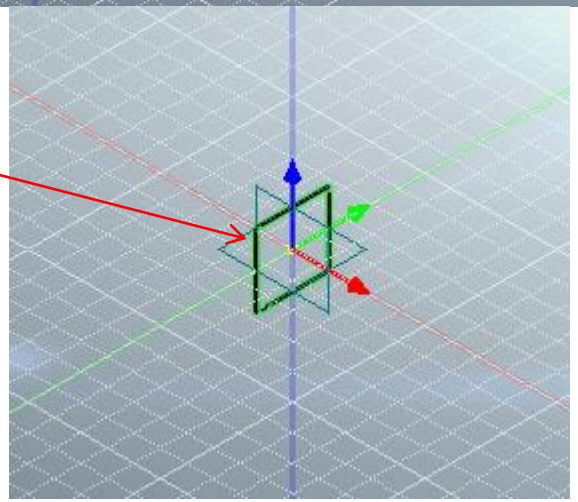
3 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

기하형상 생성 (2)



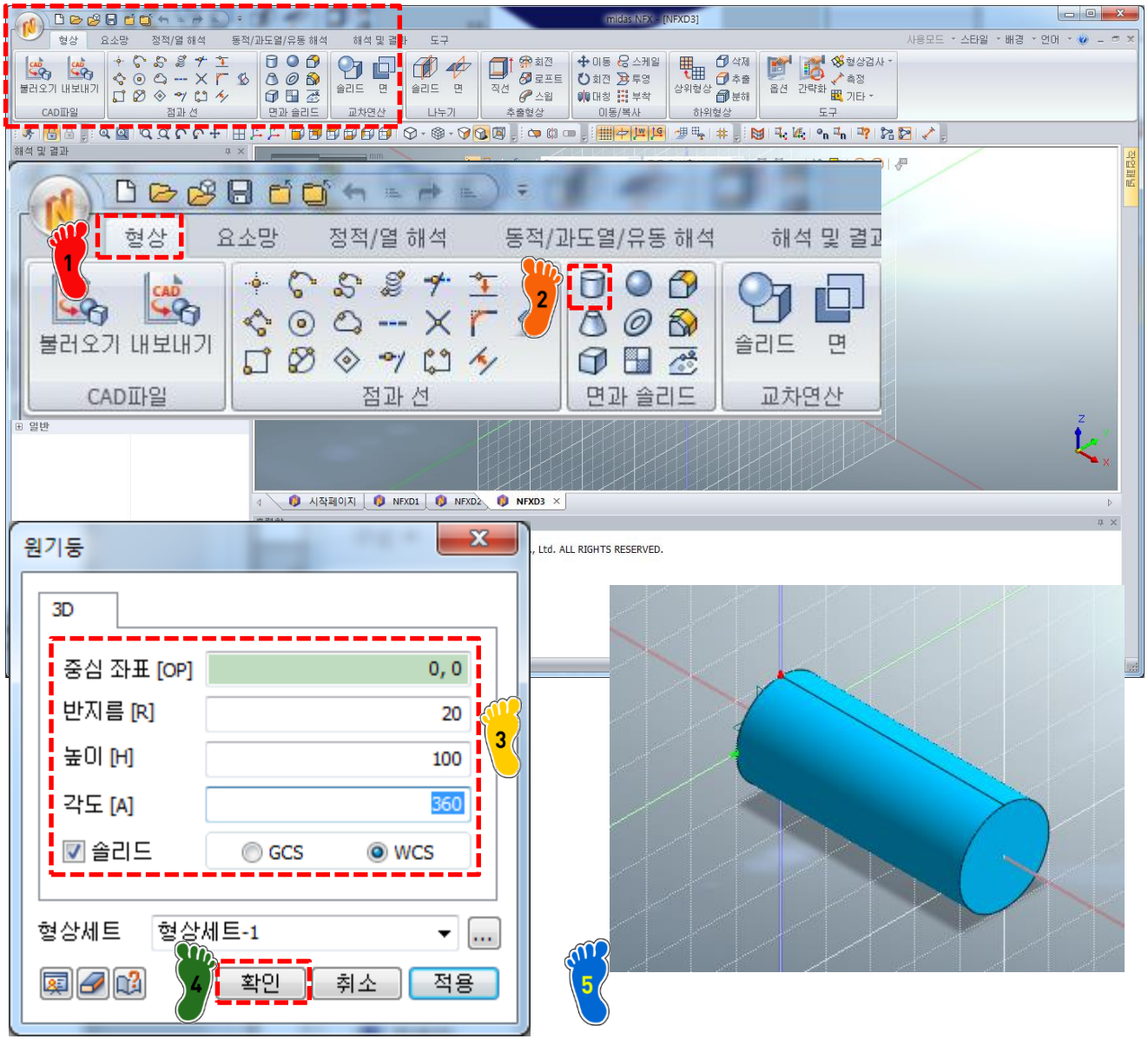




1. 작업 창에서 마우스 우클릭 후 작업 평면 옮기기 클릭
2. 작업 평면 yz 평면 선택
3. 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

기하형상 생성 (3)



1 주 메뉴 창에서 형상 탭메뉴 클릭

2 원기둥 아이콘 클릭

3 반지름 20, 높이 100, WCS 선택

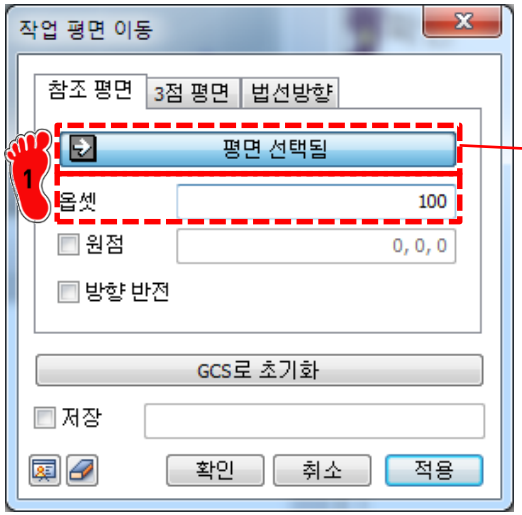
4 확인

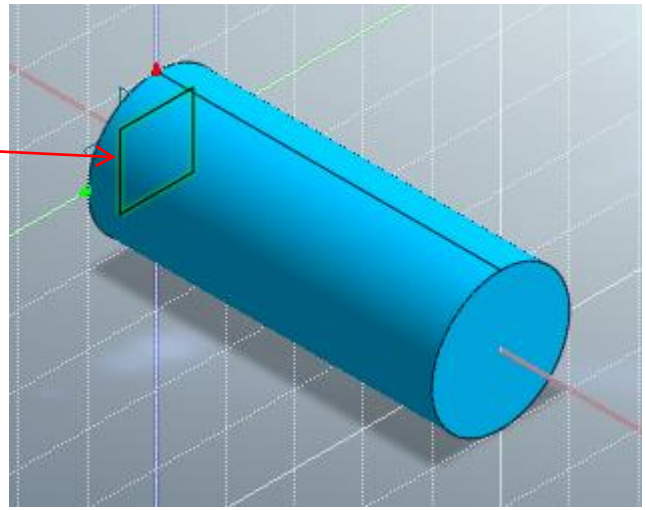
5 생성된 솔리드 형상 확인

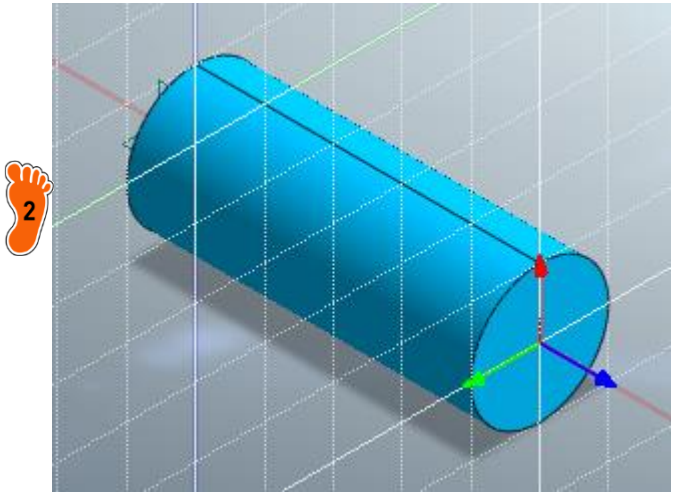
GCS: 전체 좌표계
WCS: 작업평면 좌표계

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

기하형상 생성 (4)







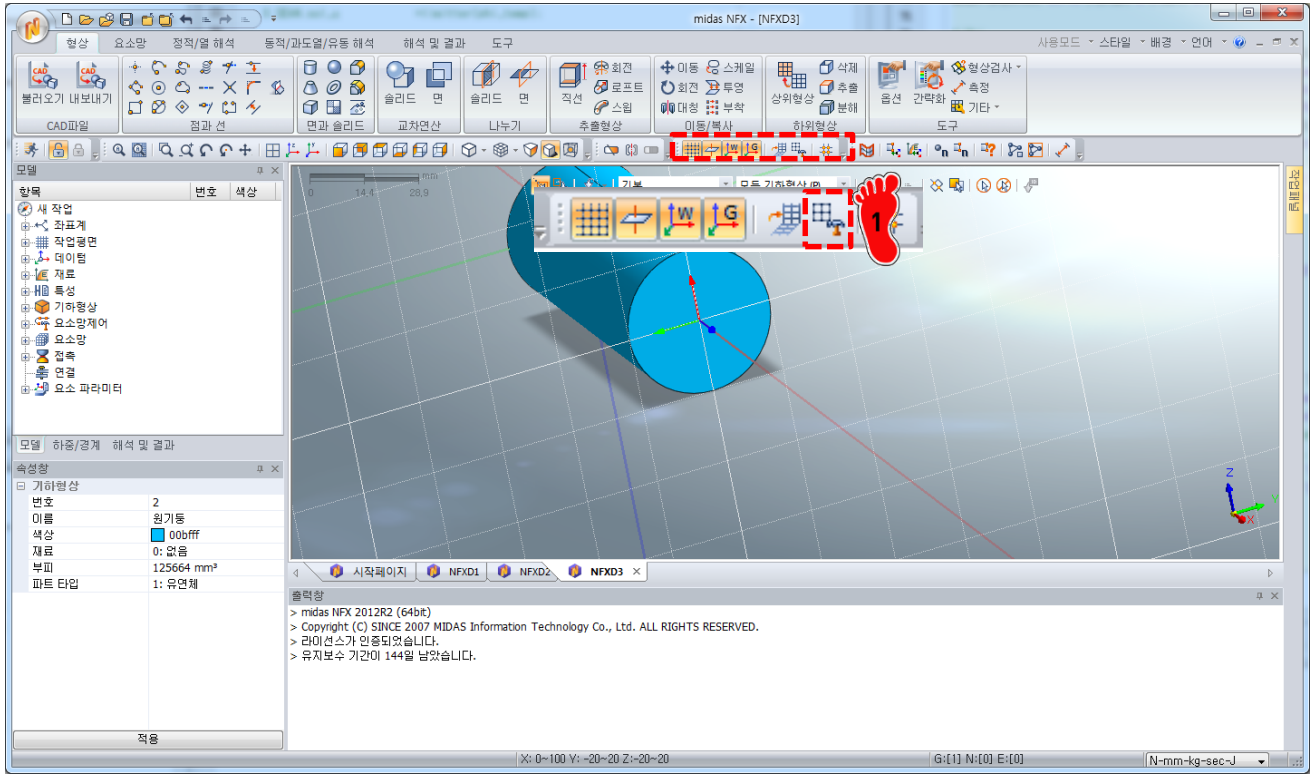
작업 창에서 마우스 오른쪽 버튼 클릭 후 작업 평면 옮기기 클릭

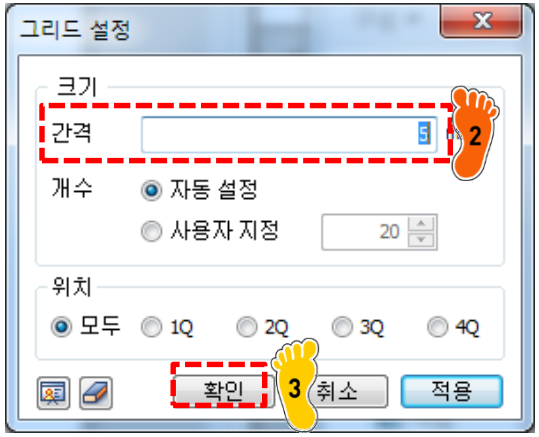
1 yz 평면 선택 후 옵셋 100 입력

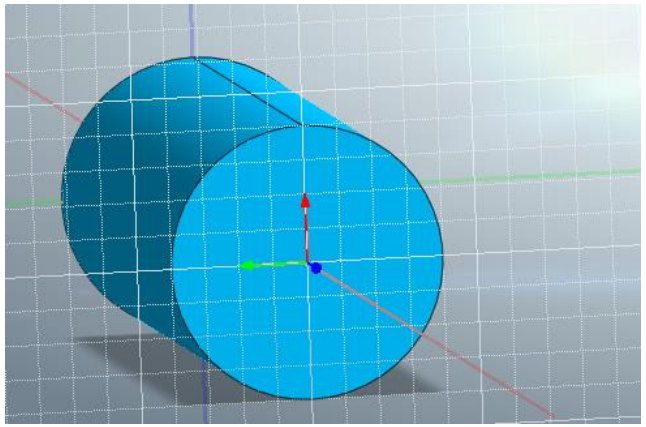
2 100 mm 이동된 작업 평면 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

기하형상 생성 (5)







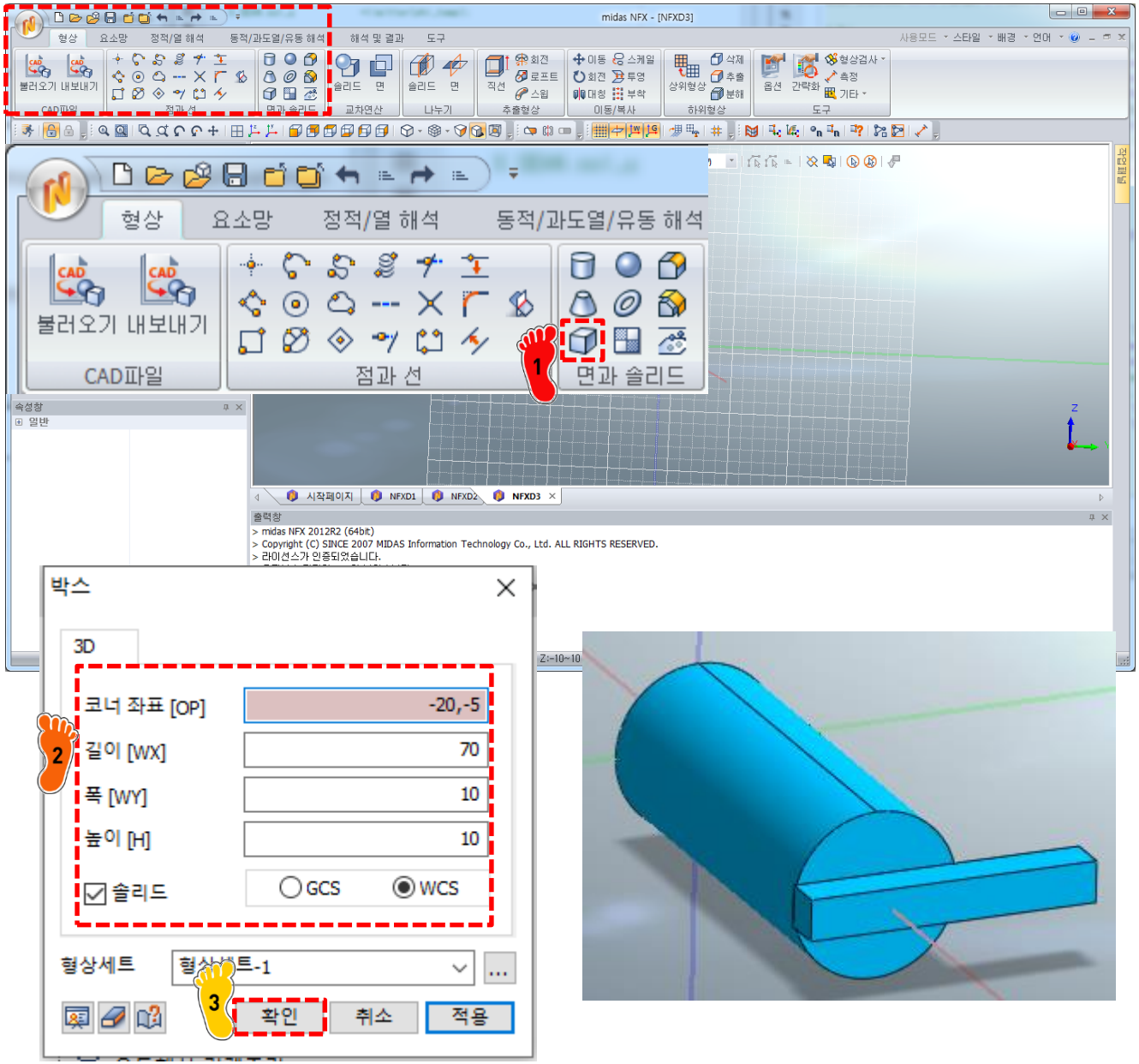
1 작업 아이콘 중 그리드 정의 클릭

2 간격 5 mm 입력

3 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

기하형상 생성 (6)



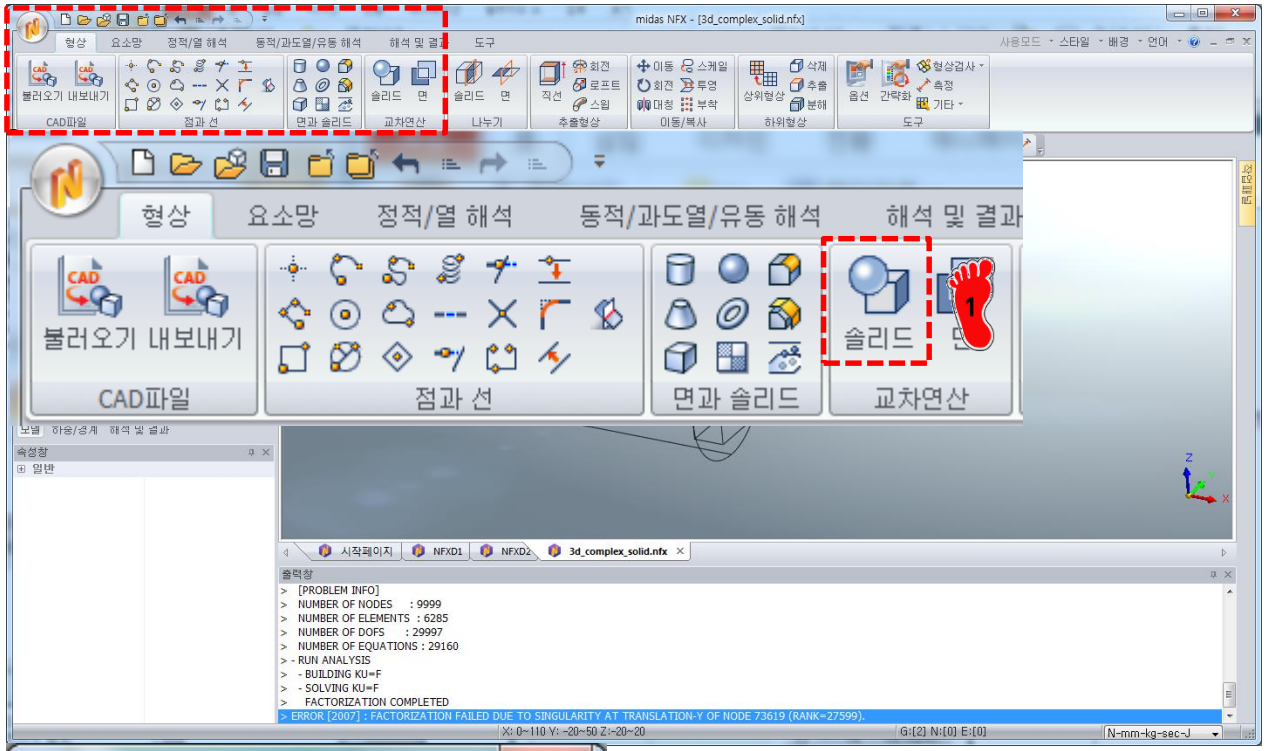
1 면과 솔리드 세부 메뉴에서 박스 클릭

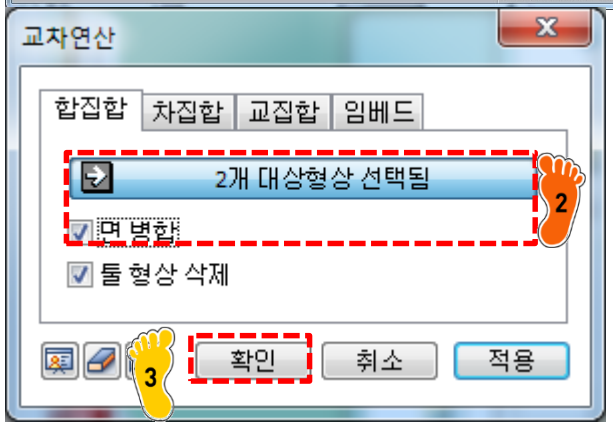
2 코너 좌표 (-20,-5) (WCS기준)
길이 70
폭 10
높이 10 입력

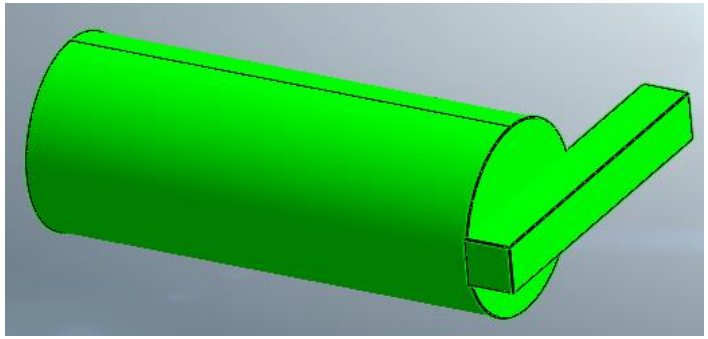
3 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

기하형상 생성 (7)







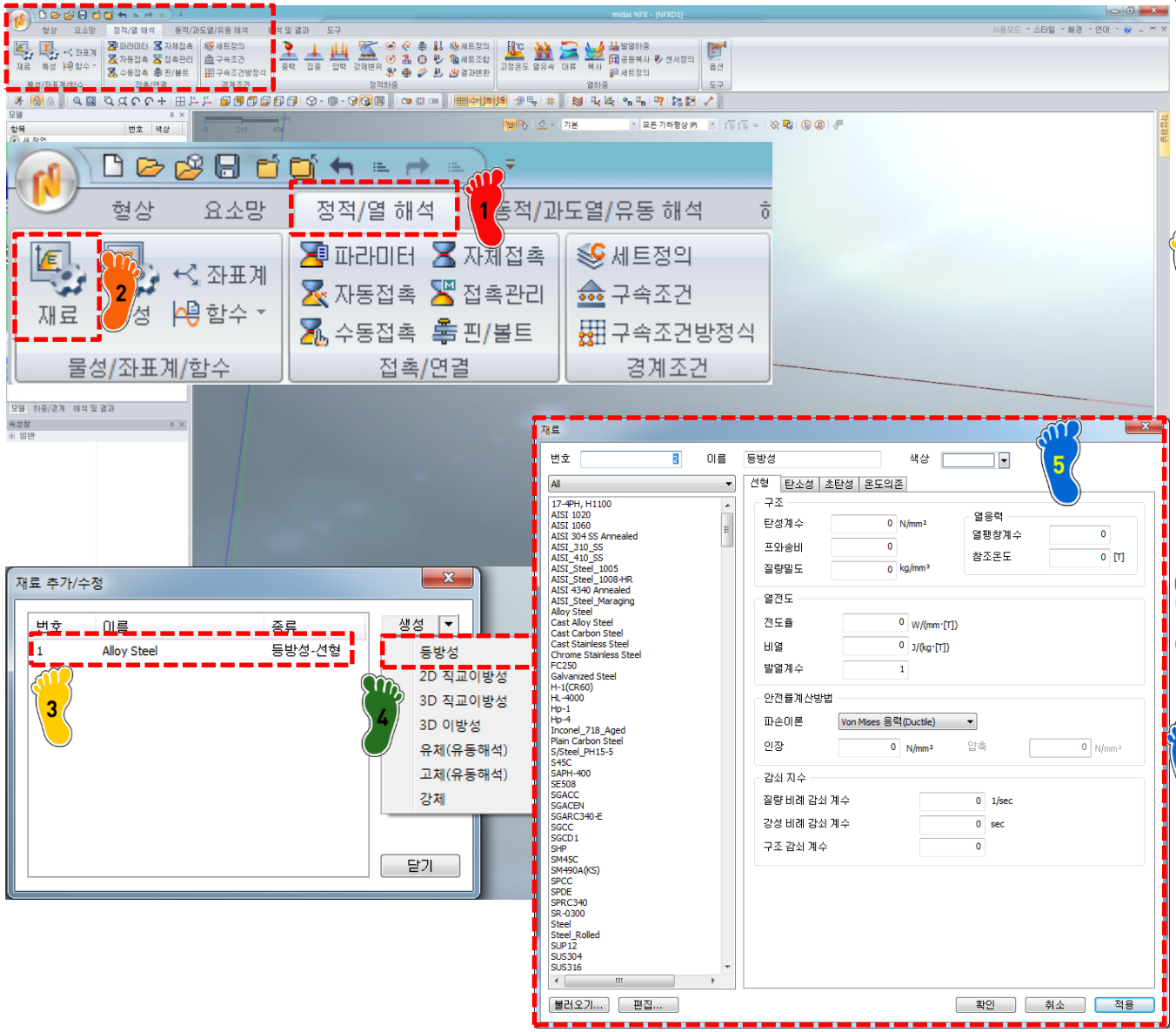
1 교차연산 세부 메뉴에서 솔리드 클릭

2 두 개의 형상 선택 후 면 병합 체크

3 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

재료 물성 및 특성 입력 (1)



1. 주 메뉴 창에서 정적/열 해석 탭 메뉴 클릭
2. 재료 클릭
3. 재료 추가/수정 창에서 Alloy Steel 재료가 입력된 것을 확인

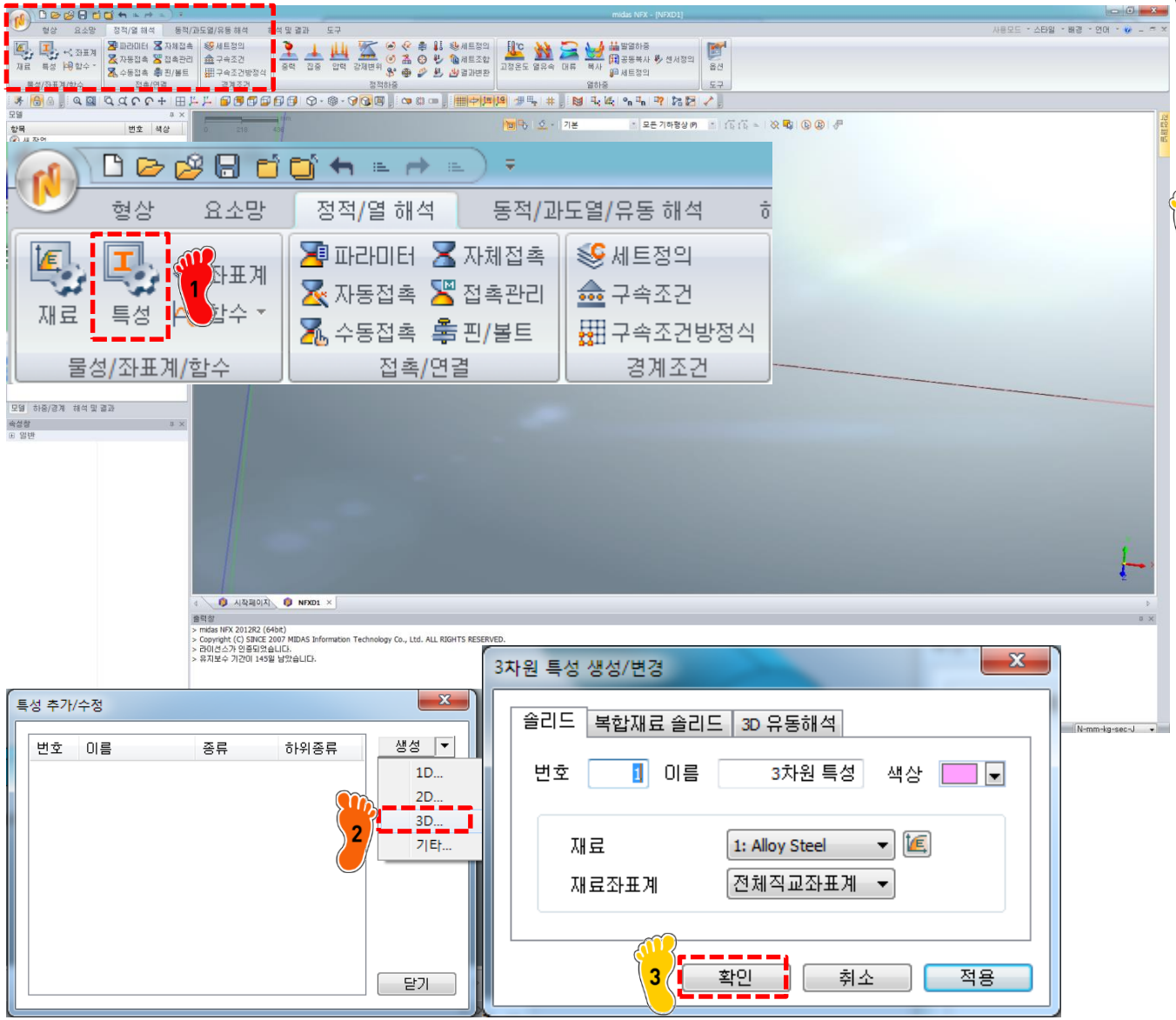
추가적으로 사용자가 새로운 재료를 정의할 때는

4. 생성, 등방성 클릭
5. 이름과 탄성계수 및 푸아송비 등을 입력한 후 사용가능

현재 예제는 Alloy Steel 과 동일하 물성치를 가지므로 Alloy Steel을 재료로 사용

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

재료 물성 및 특성 입력 (2)



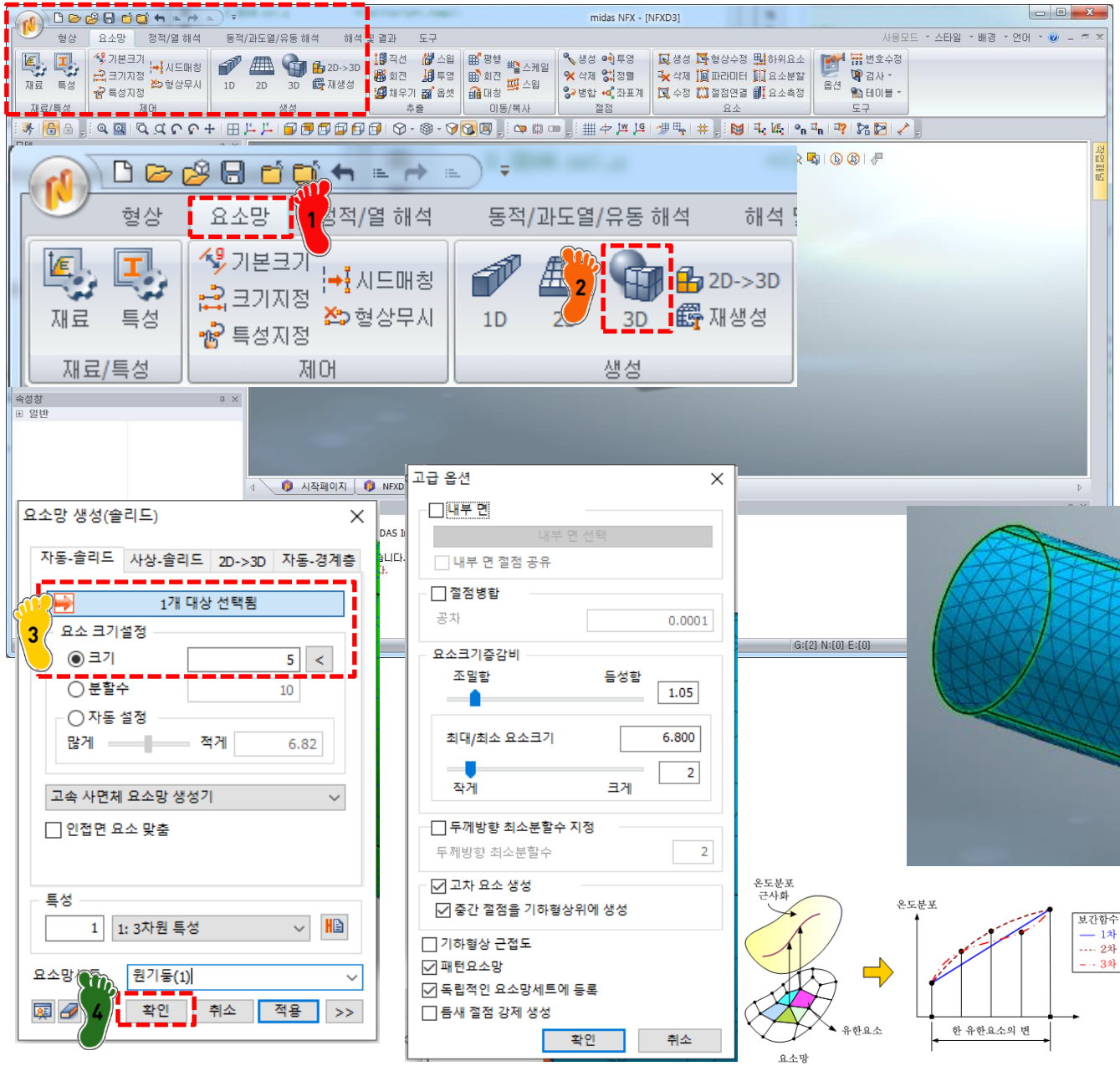
1 특성 클릭

2 생성, 3D 클릭

3 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

요소망 생성

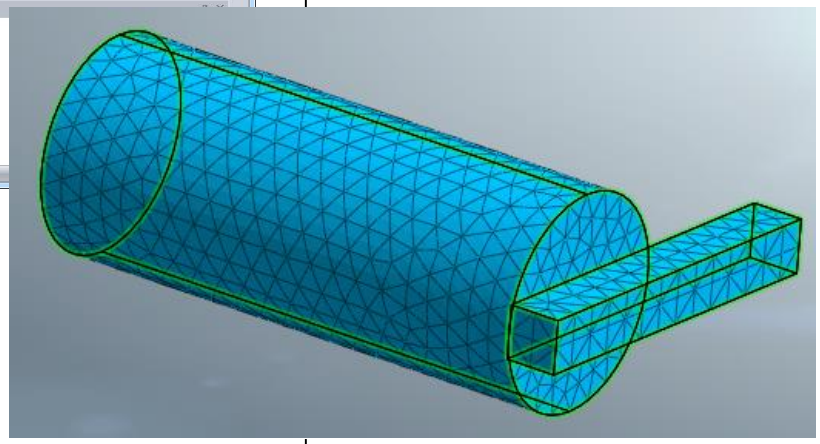


1 주 메뉴 창에서 요소망 탭메뉴 클릭

2 3D 클릭

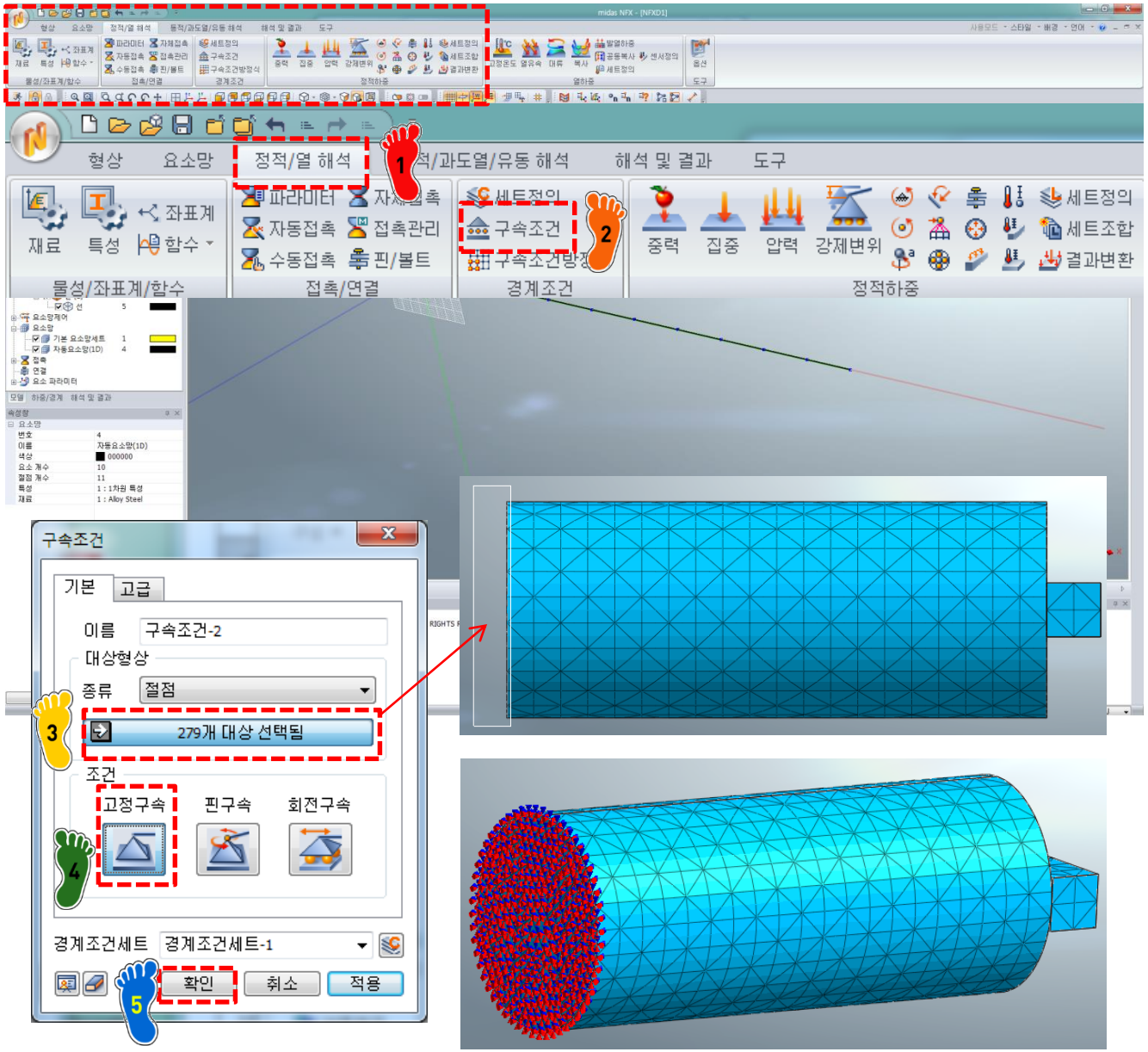
3 요소를 생성할 솔리드 선택 후 크기 5 입력

4 확인



Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

구속조건 설정



1 주 메뉴 창에서 정적/열 해석 탭메뉴 클릭

2 구속조건 클릭

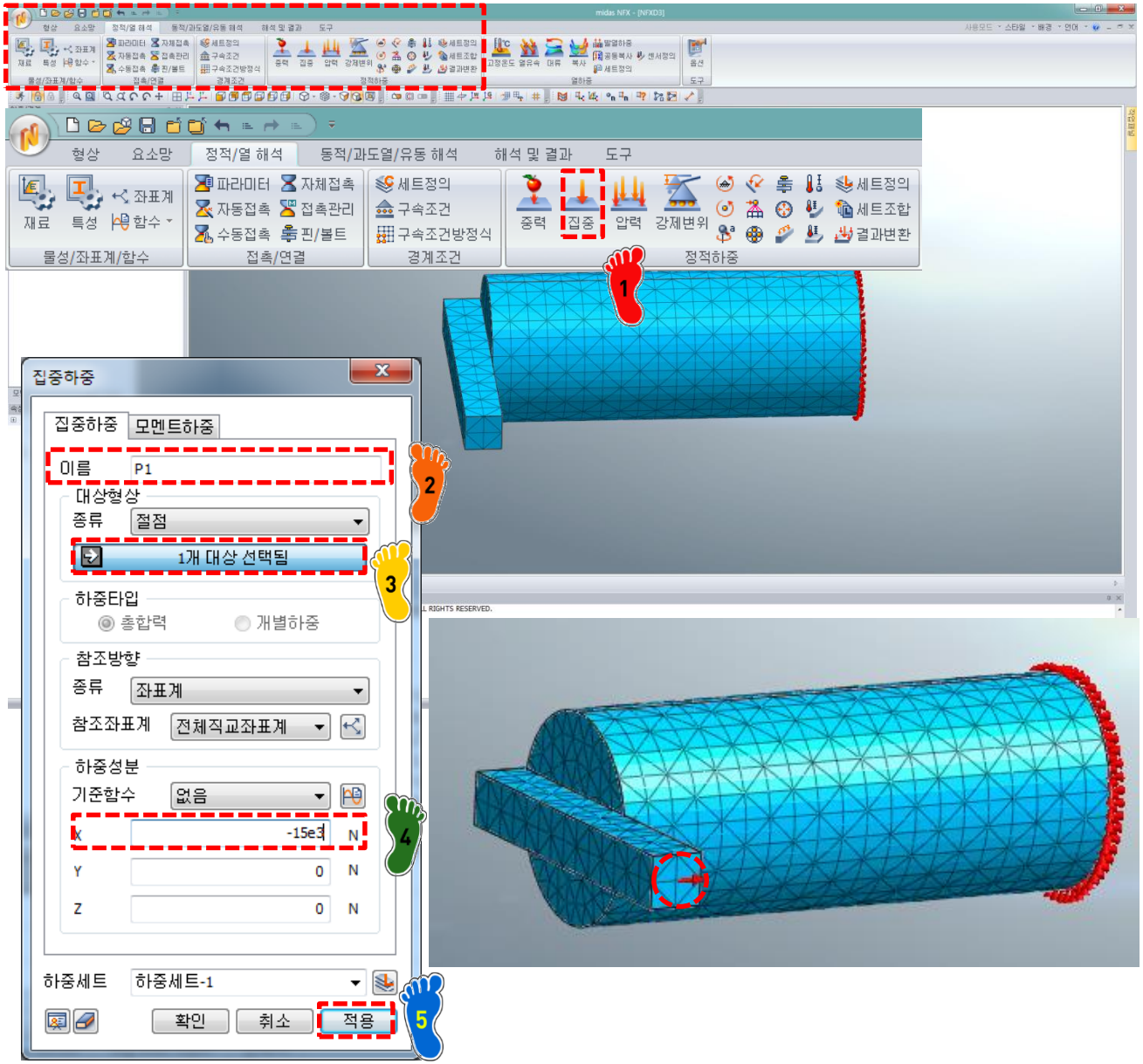
3 완전 구속시킬 절점을 드래그 해서 선택
(기하형상 기반 모델의 경우 '면' 이용 가능)

4 고정구속 클릭

5 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

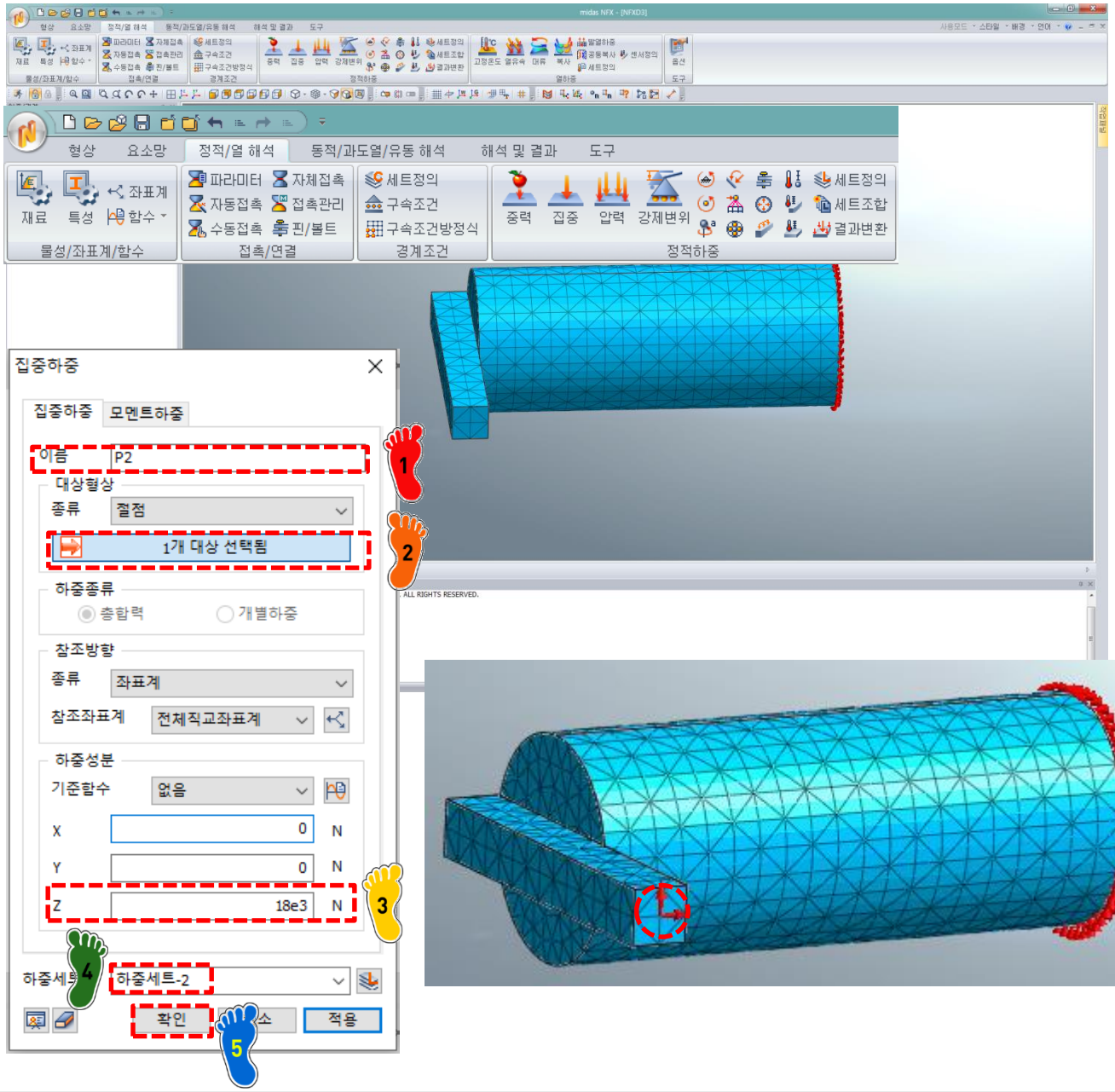
하중조건 설정 (1)



1. 집중 아이콘 클릭
2. 이름 P1 입력
3. 막대의 가운데 절점 선택
4. X 방향으로 -15e3 입력
5. 적용

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

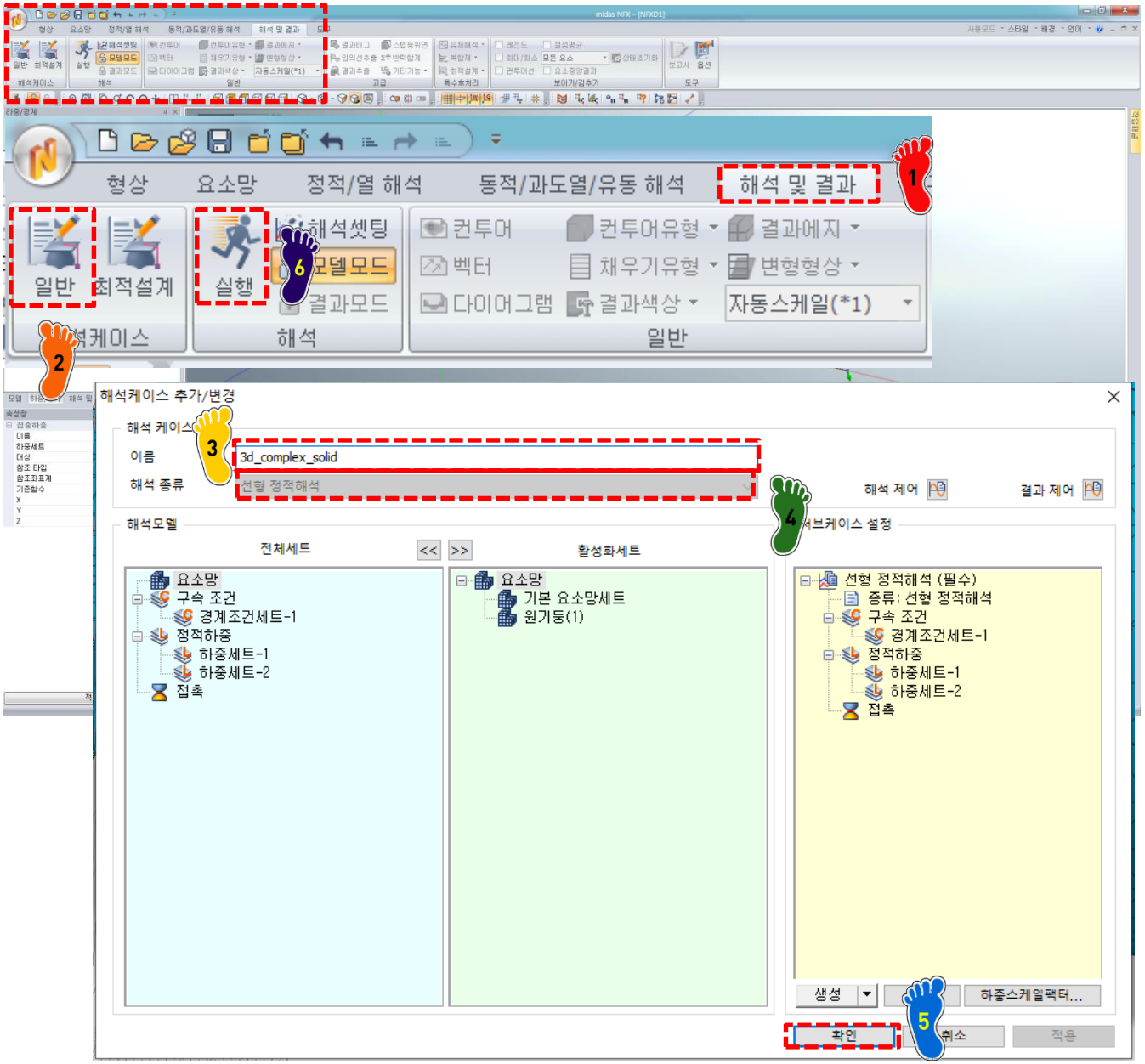
하중조건 설정 (2)



1. 이름 P2 입력
2. 동일한 절점 선택
3. Z 방향으로 18e3 입력
4. 하중세트-2로 변경
5. 적용

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

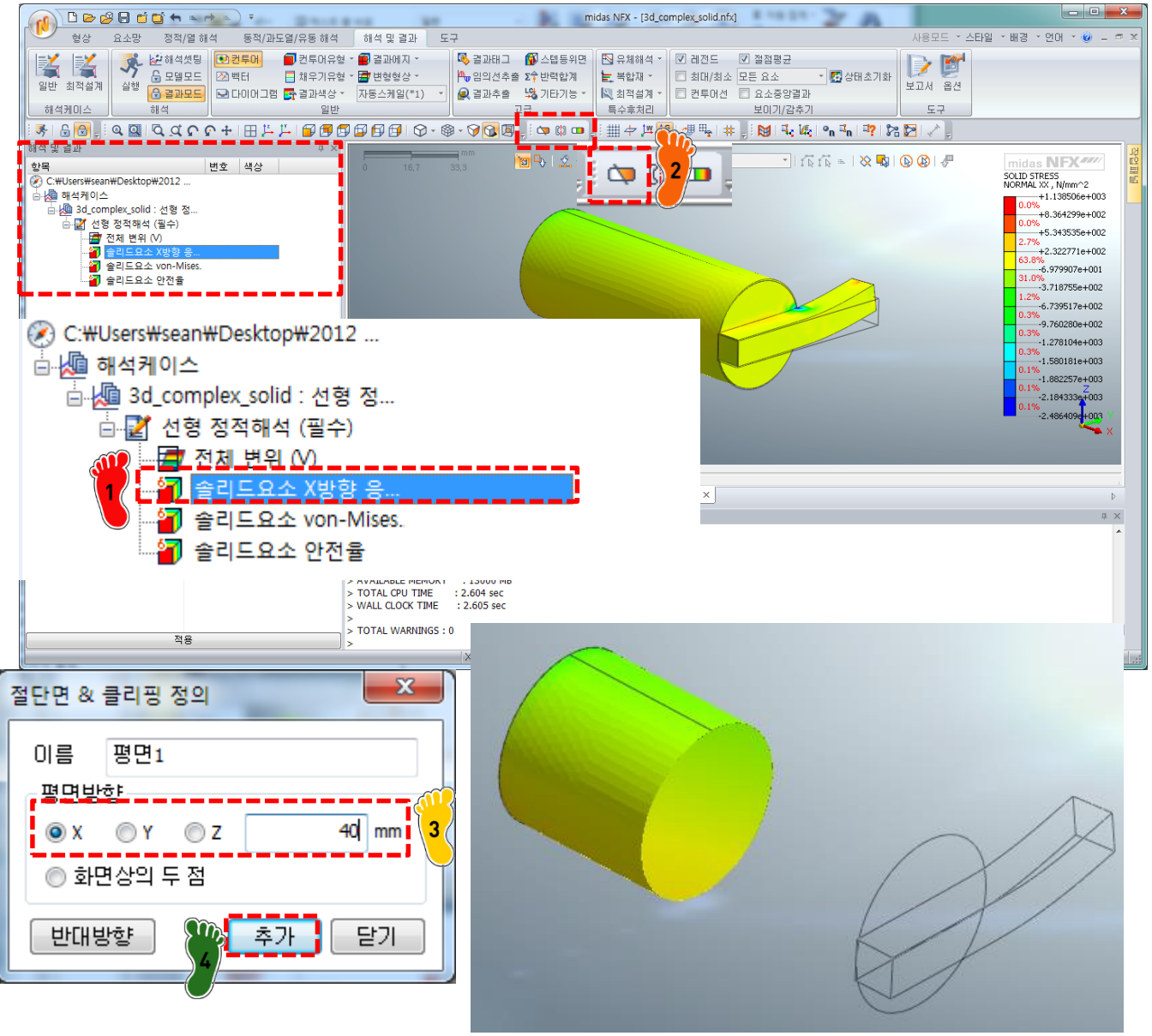
해석 케이스 정의 및 해석 실행



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

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

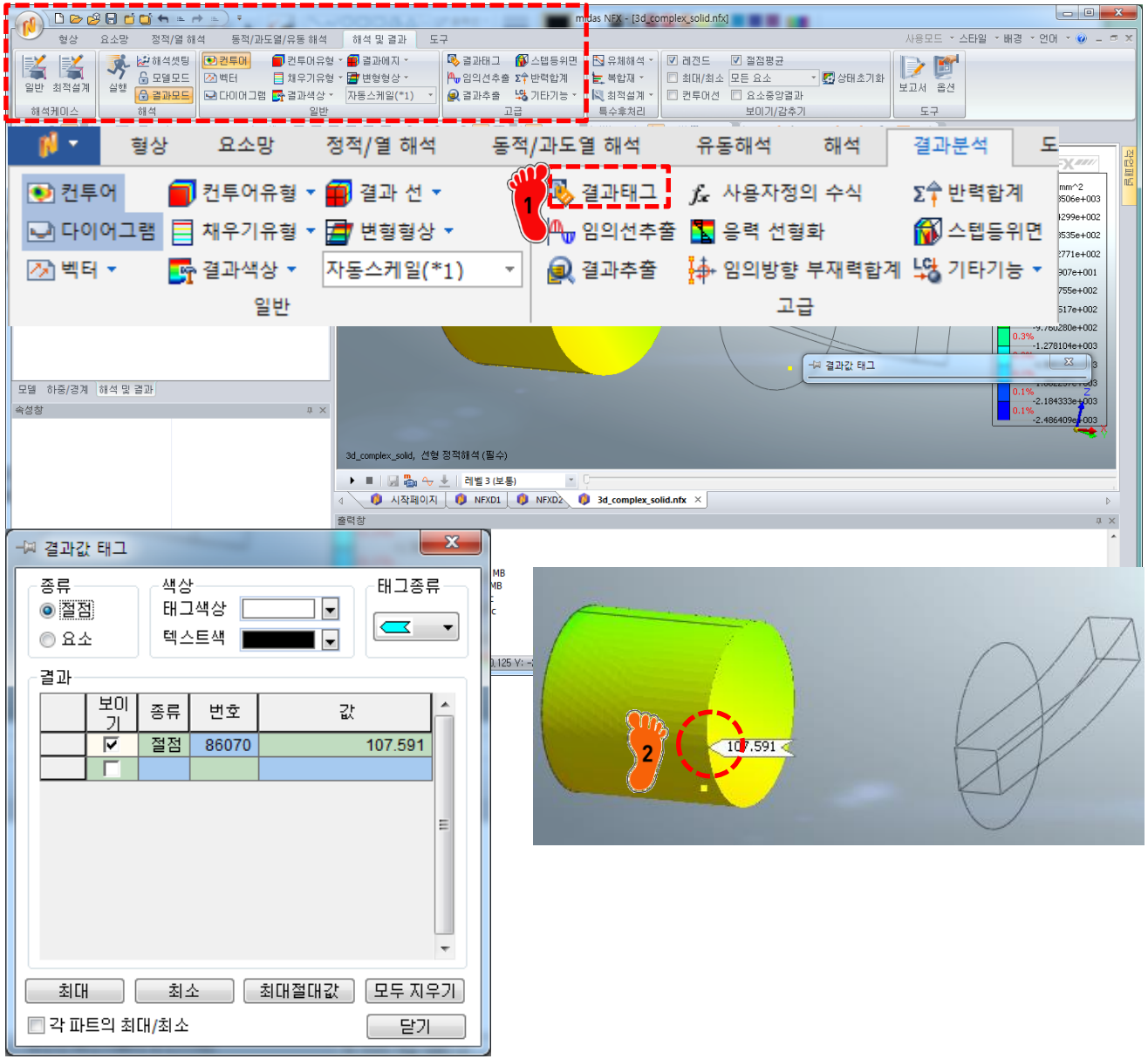
후처리 (1)



1. 해석 결과창에서 솔리드요소 X방향 응력 결과 추가
2. 절단모델 보이기 클릭
3. X 방향으로 40 mm 평면 정의
4. 추가

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

후처리 (2)



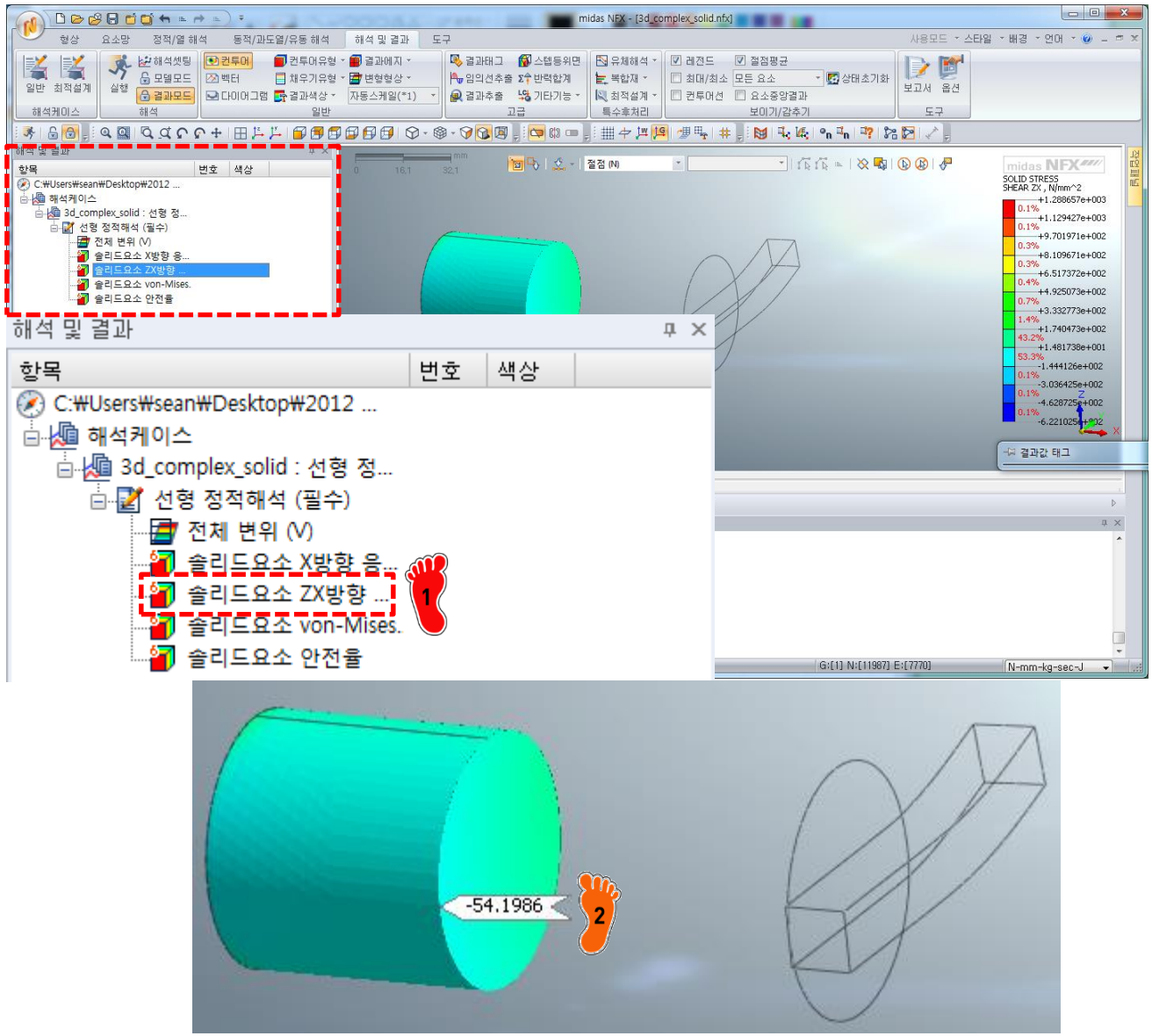
1 해석 및 결과 탭 메뉴에서 결과태그 클릭

2 원하는 위치의 절점 클릭

3 값 107.59 MPa 로 오차 0.16% 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

후처리 (3)



1 솔리드요소 ZX방향 전단응력 결과 추가

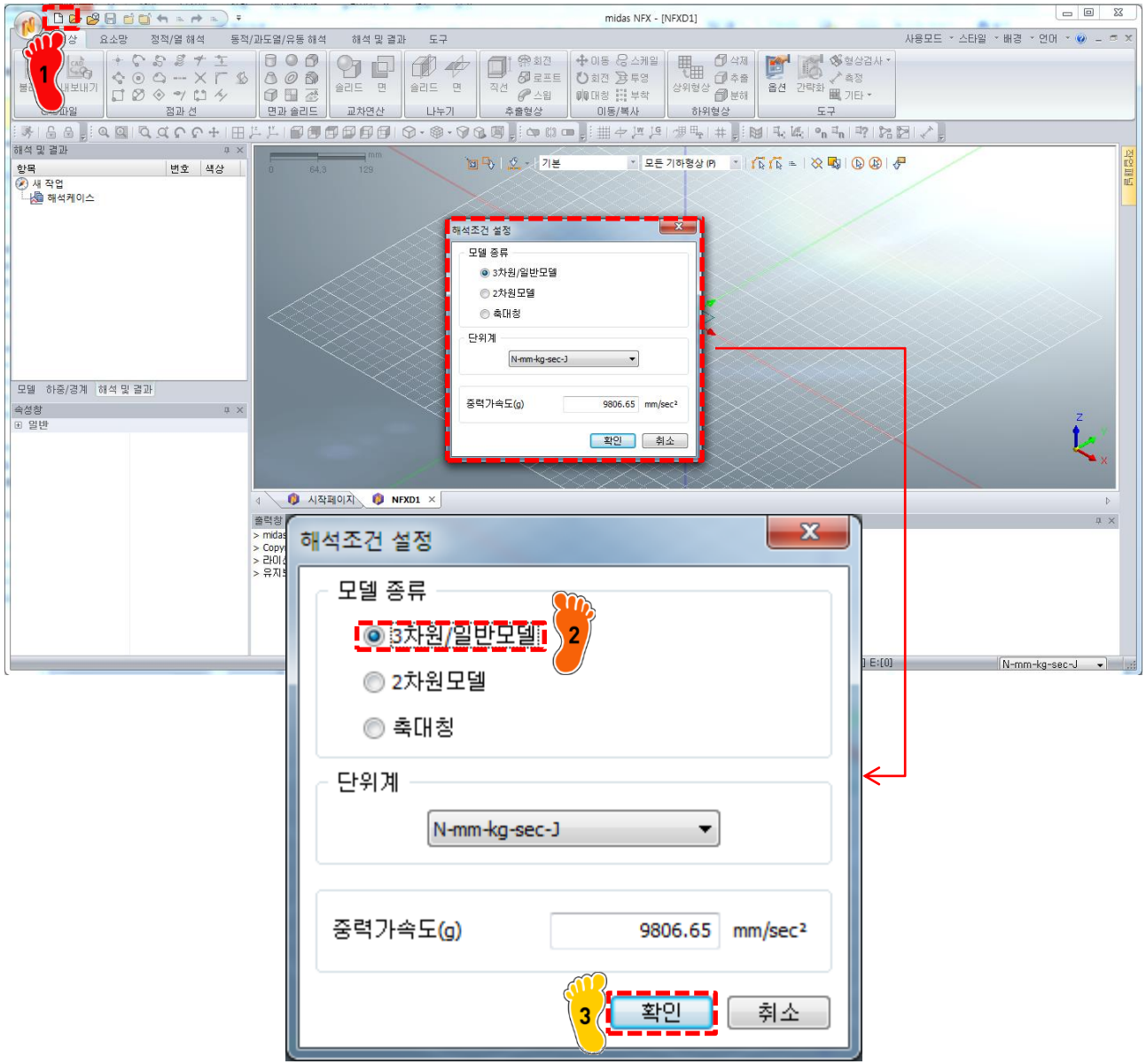
2 값 -54.216 MPa 로 오차 3.18% 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

복합하중 문제
빔 요소

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

기하형상 생성 (1)



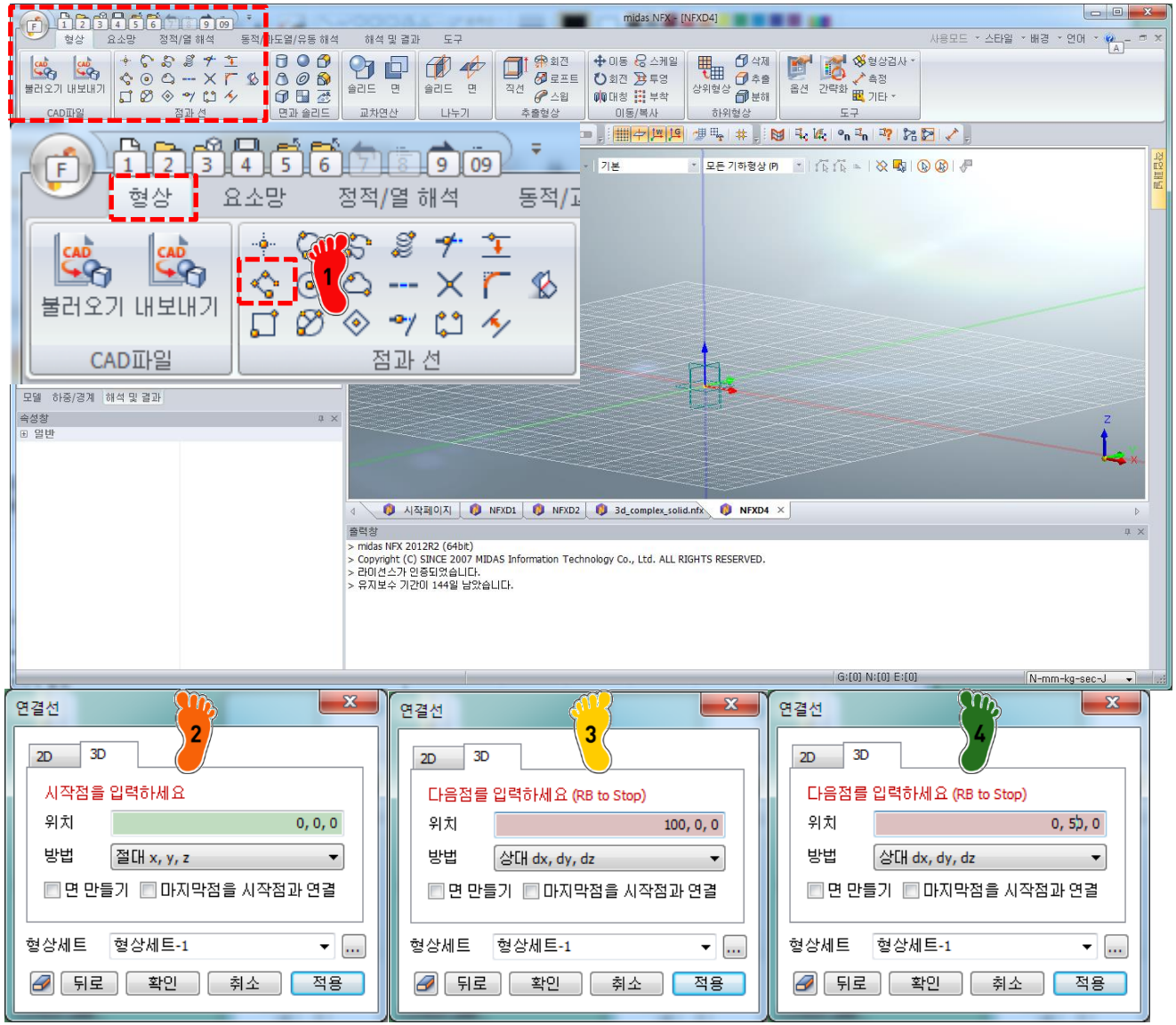
1 새로 만들기 클릭

2 3차원/일반모델 선택

3 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

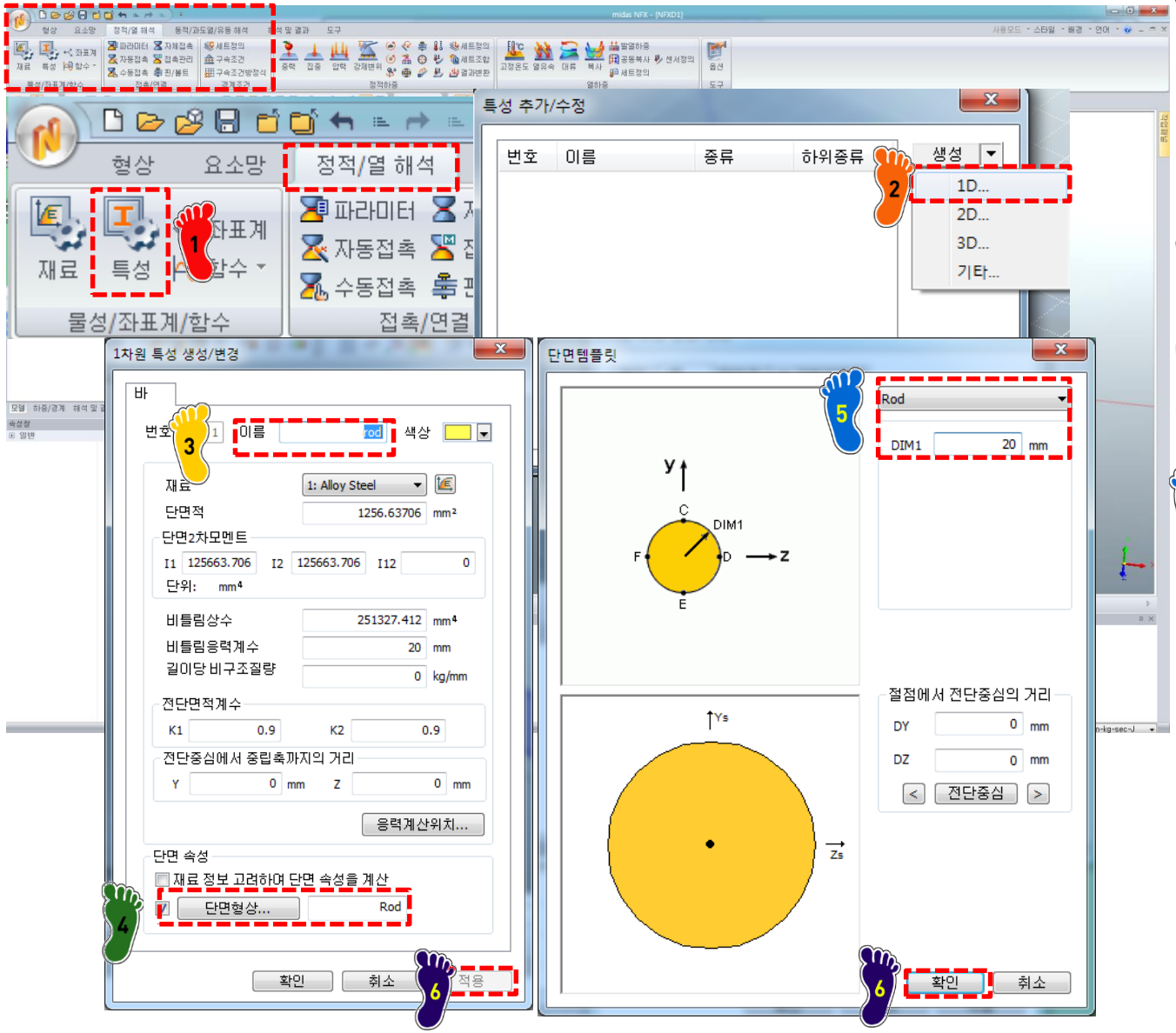
기하형상 생성 (2)



1. 형상 탭 메뉴에서 연결선 클릭
2. 3D 탭 클릭 후 위치 (0,0,0) 입력, 적용
3. 위치(100,0,0) 입력 후 적용
4. 위치 (0,50,0) 입력 후 적용, 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

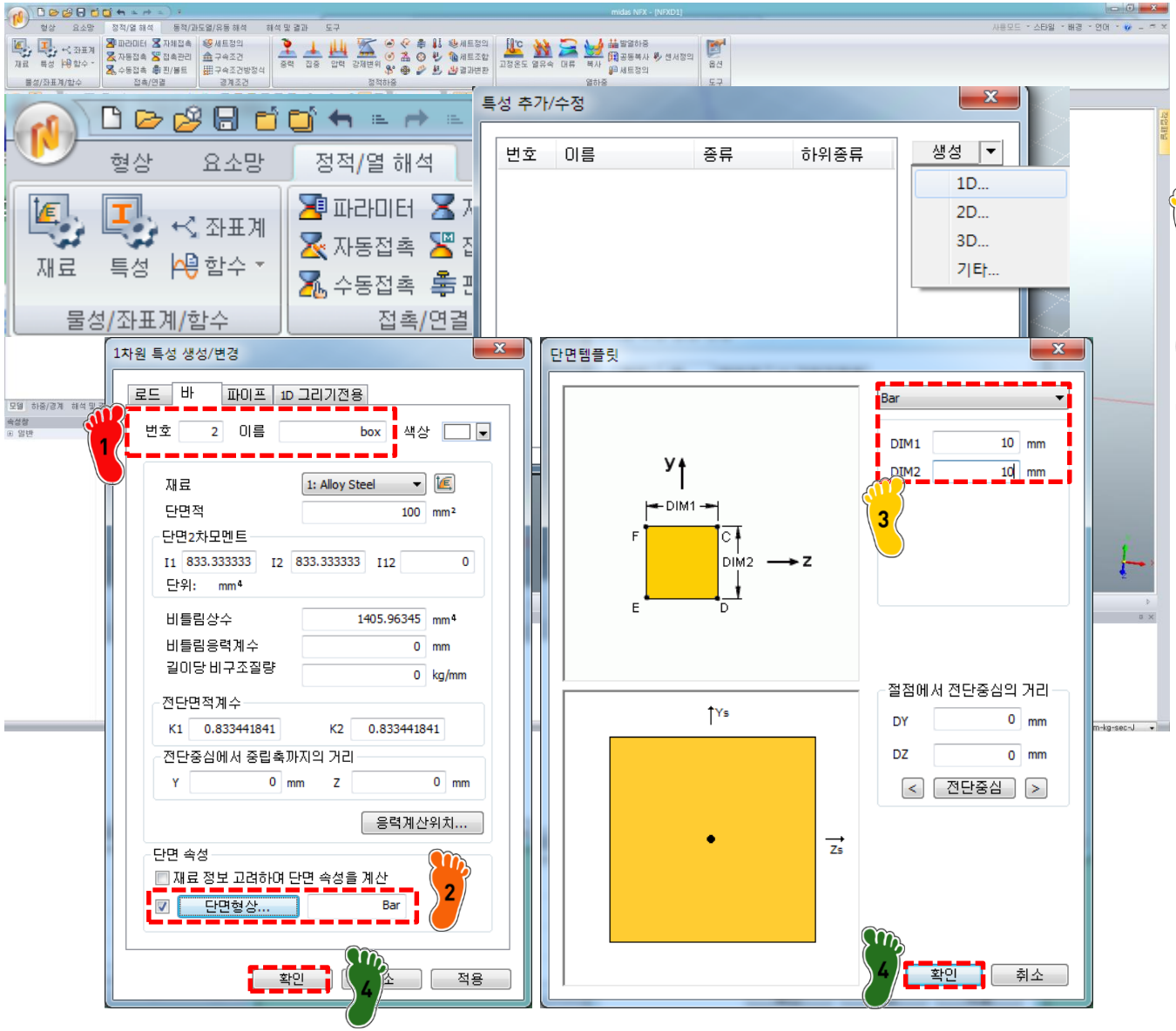
재료 물성 및 특성 입력 (1)



1. 정적/열 해석 탭메뉴의 특성 클릭
2. 생성, 1D 클릭 ('바' 탭 선택)
3. 이름 rod 입력
4. 단면형상 체크한 뒤 클릭
5. Rod 선택 후 반지름 20 입력
6. 확인 및 적용

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

재료 물성 및 특성 입력 (2)



1 이름 box 입력

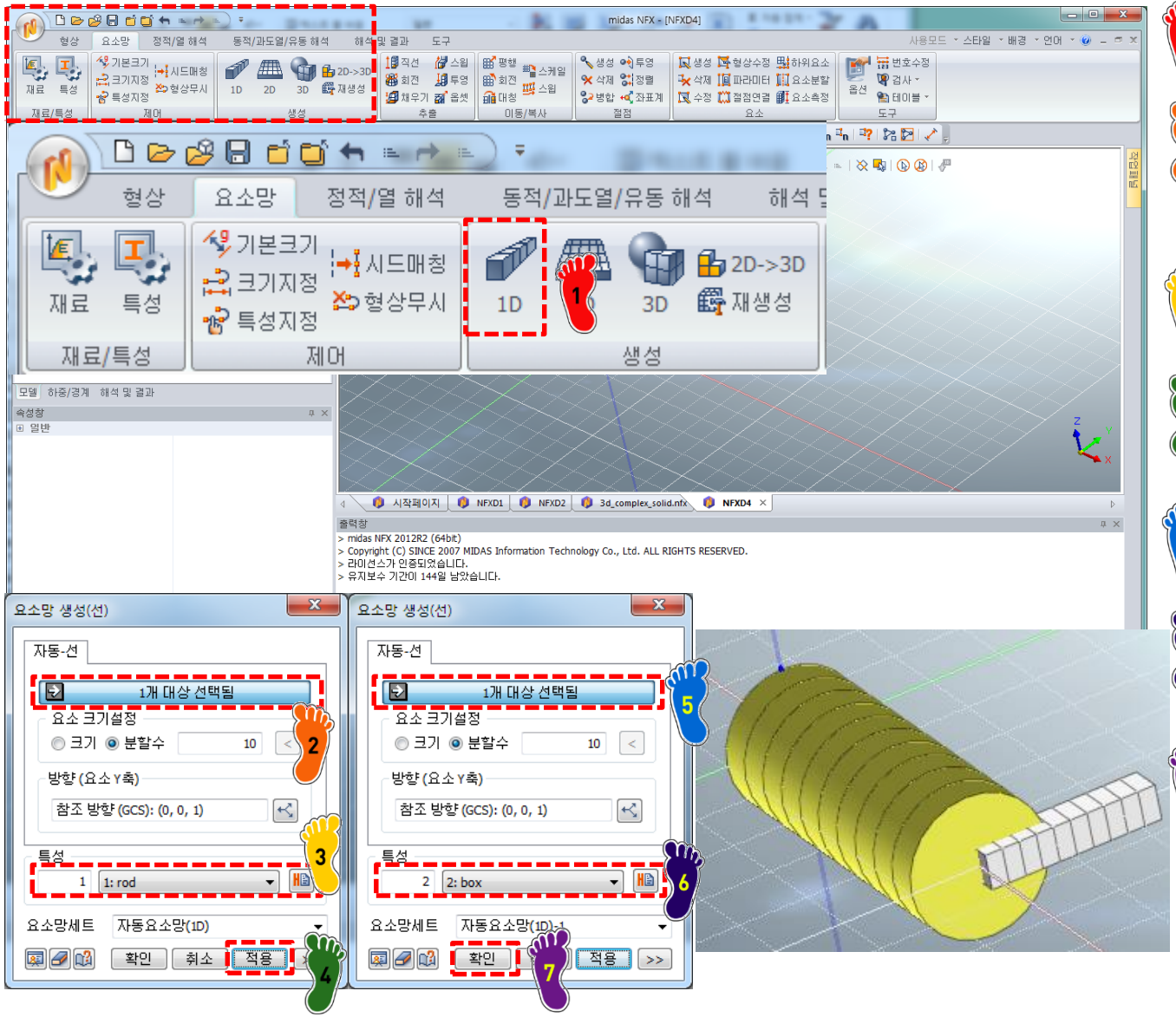
2 단면형상 체크 후 클릭

3 Bar 선택 후 가로 세로 10 입력

4 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

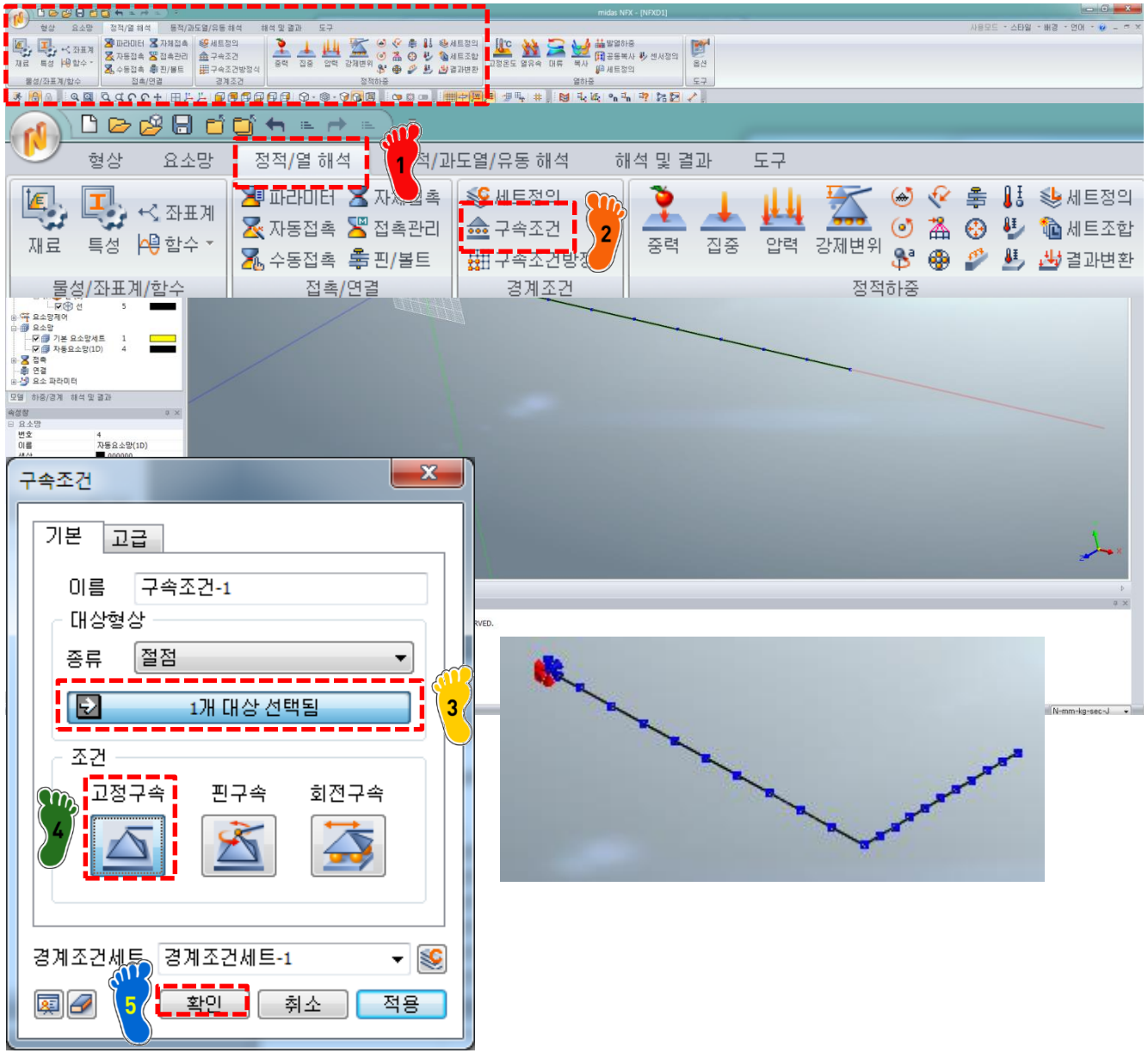
요소망 생성



1. 요소망 탭메뉴의 1D 클릭
2. 원통형으로 특성 입력할 선 선택
3. 특성 rod 선택
4. 적용
5. 박스로 특성 입력할 선 선택
6. box 특성 선택
7. 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

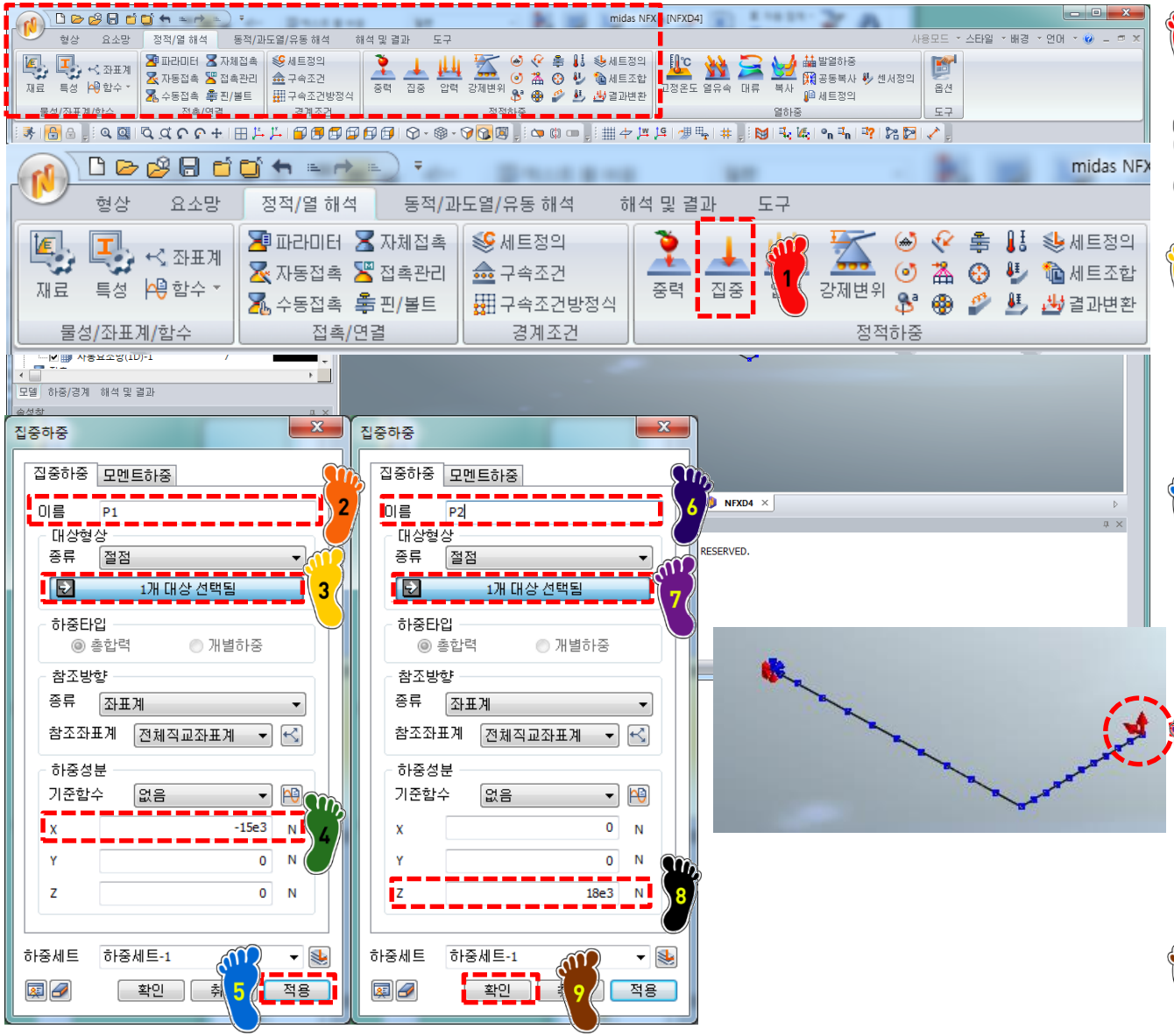
구속조건 설정



1. 주 메뉴 창에서 정적/열 해석 탭메뉴 클릭
2. 구속조건 클릭
3. 완전 구속시킬 절점 선택
4. 고정구속 클릭
5. 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

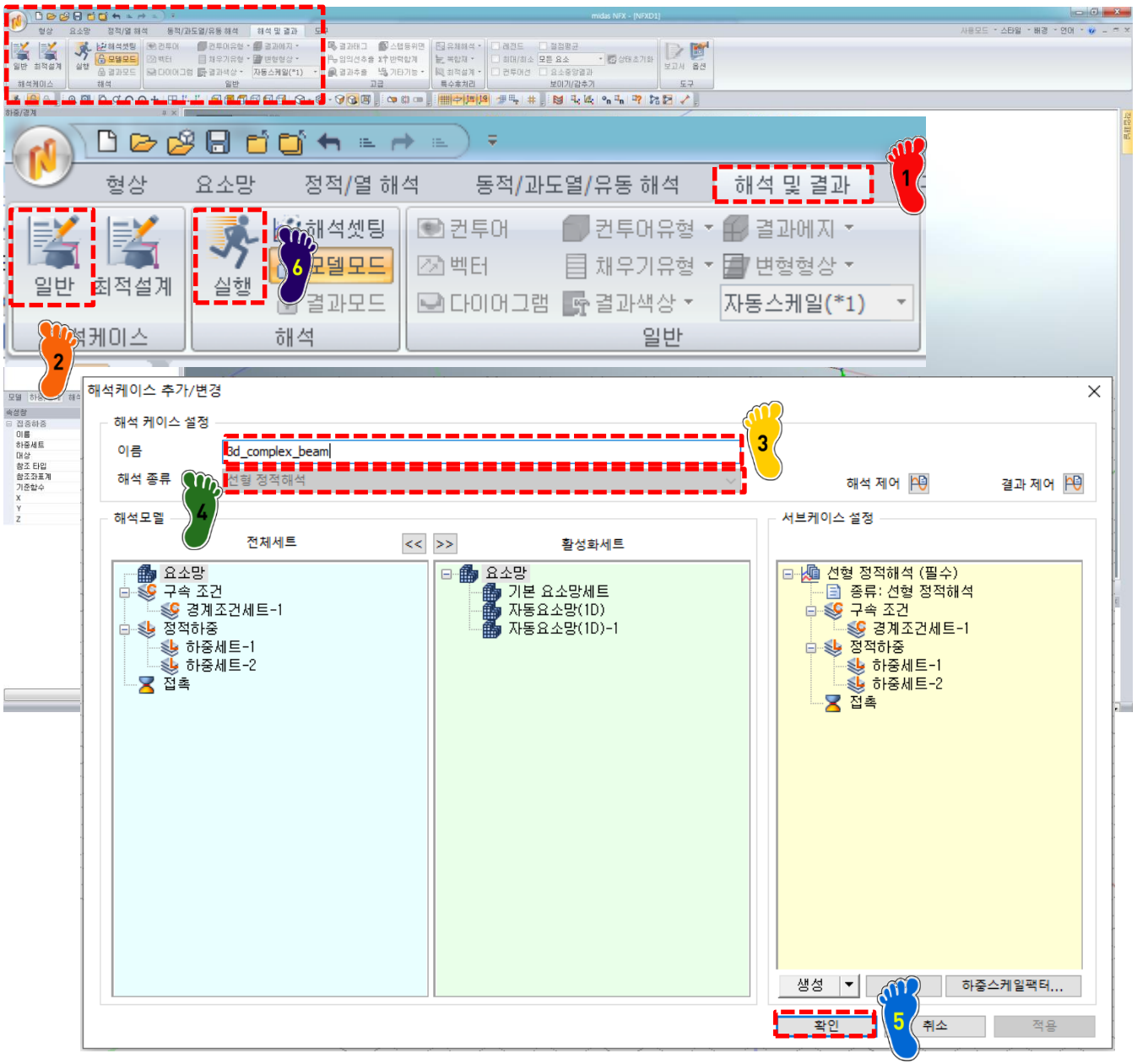
하중조건 설정



1. 집중 아이콘 클릭
2. 이름 P1 입력
3. 막대 끝부분 절점 선택
4. X 방향으로 -15e3 입력
5. 적용
6. 이름 P2 입력
7. 동일한 절점 선택
8. Z 방향으로 18e3 입력
9. 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

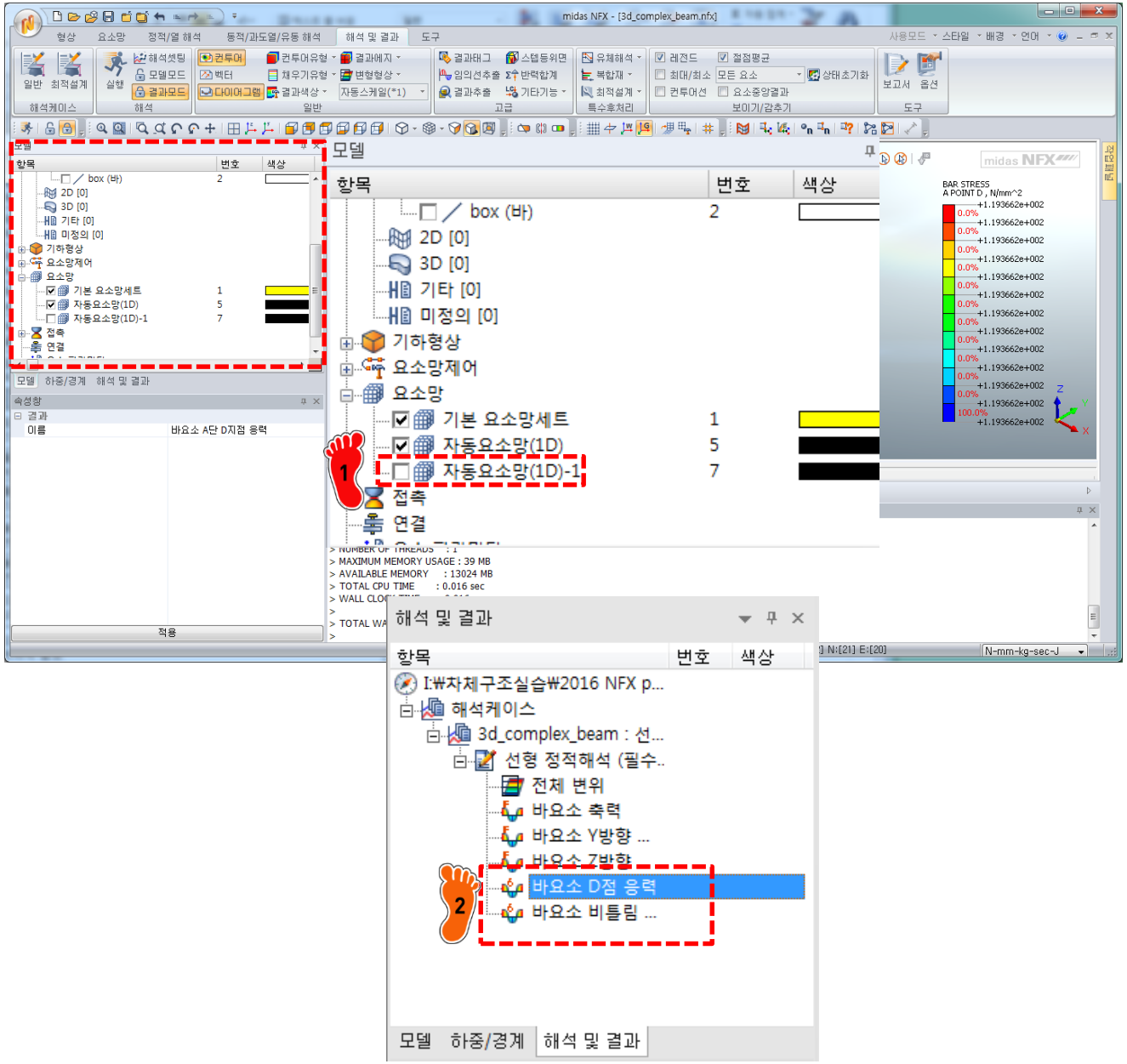
해석 케이스 정의 및 해석 실행



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

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

후처리 (1)



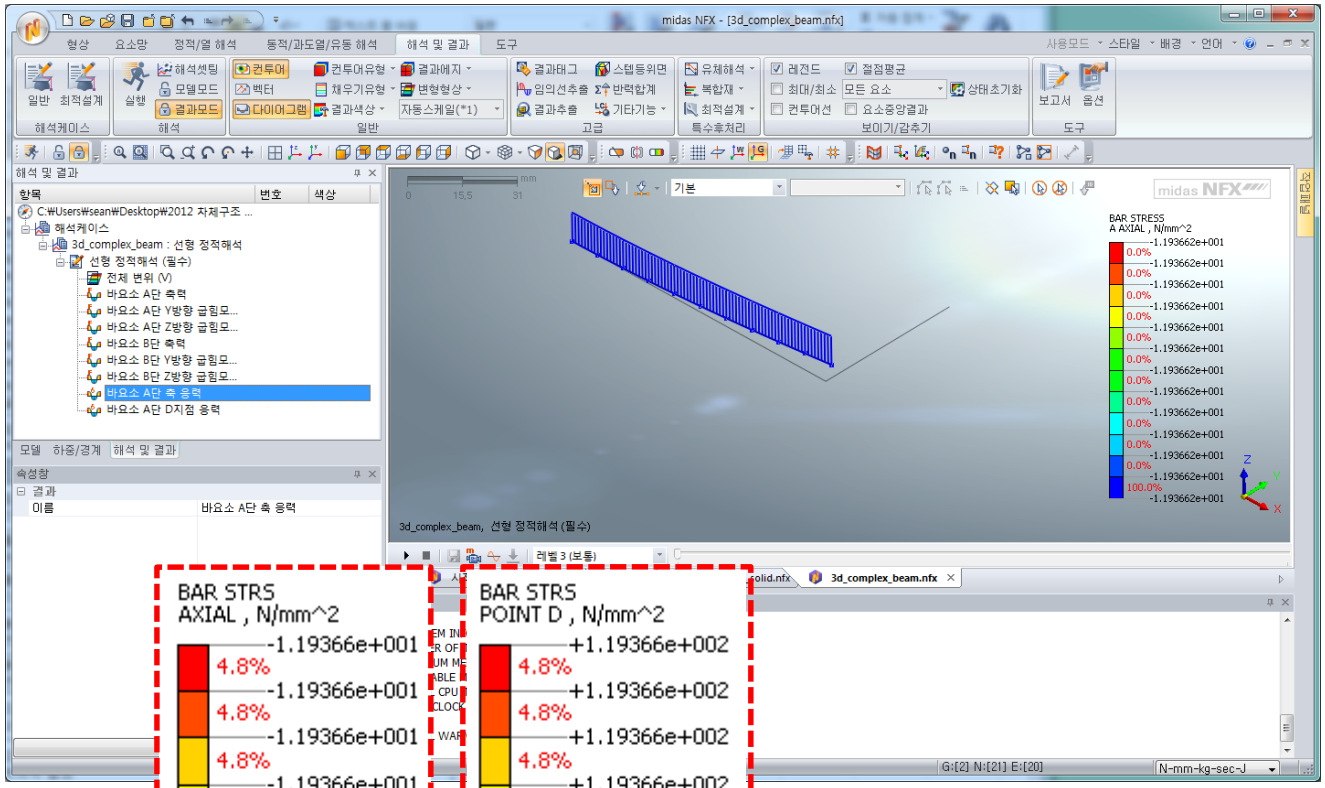
1. 모델 창에서 박스 특성을 갖는 요소 체크 해제

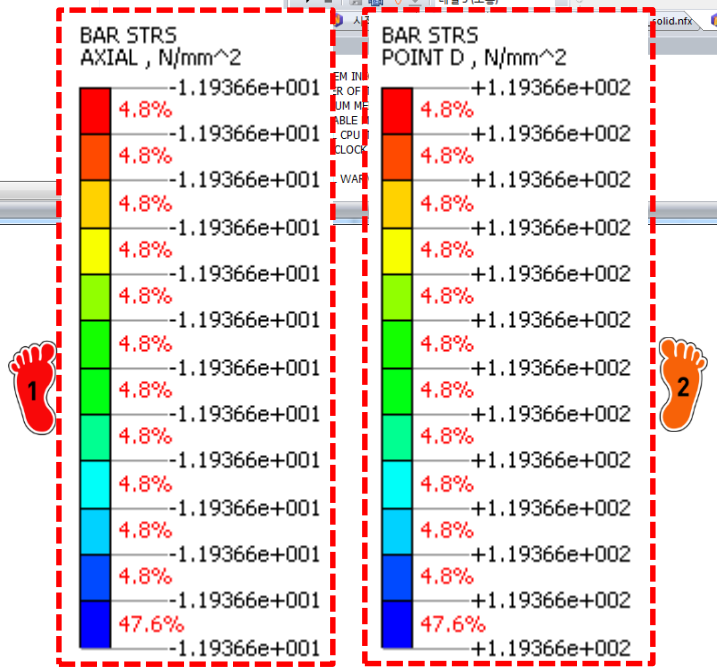
2. 해석 및 결과 창에서
바요소 축 응력
바요소 D지점 응력
바요소 비틀림 응력

결과 추가

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

후처리 (2)





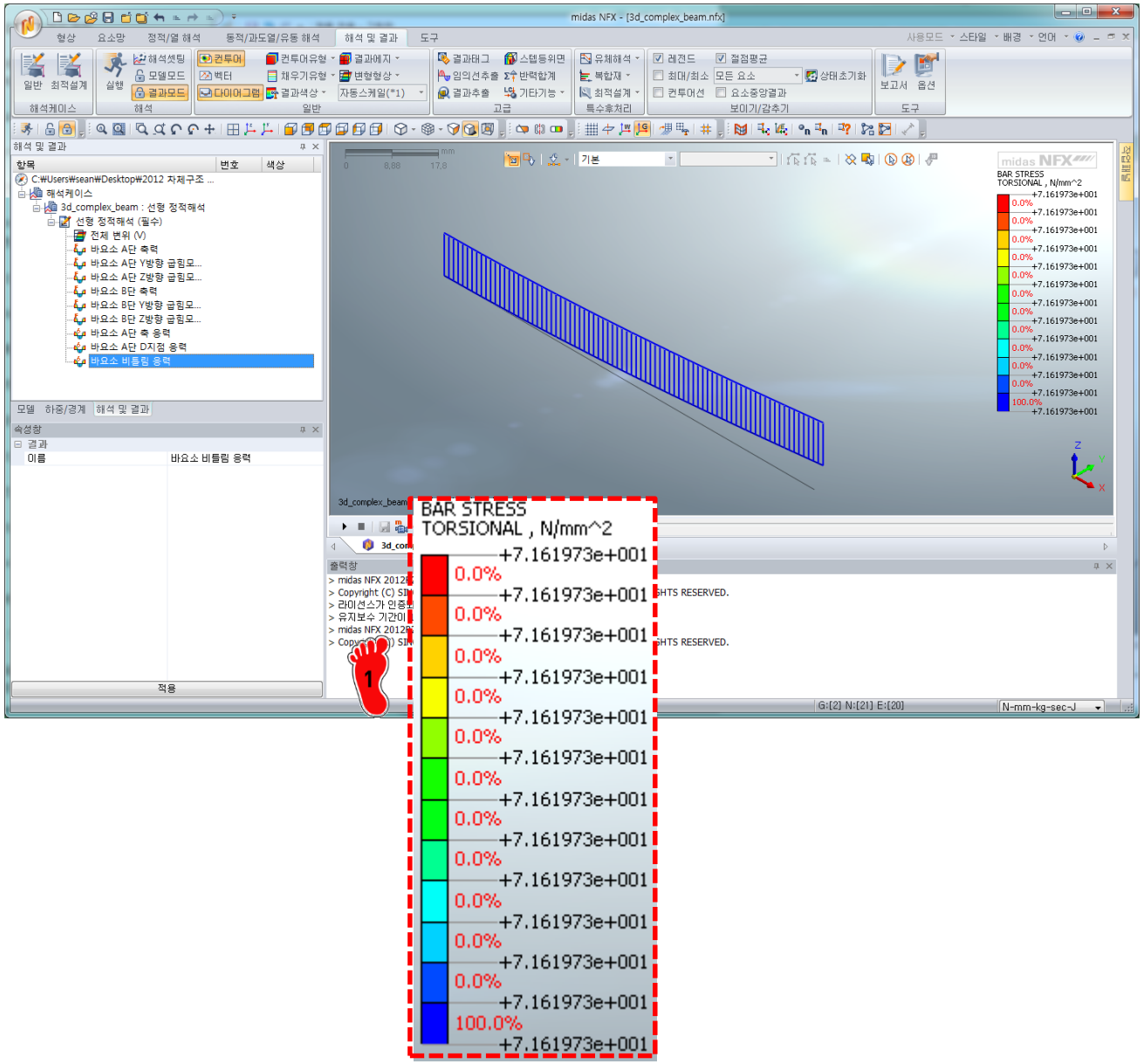
1 바 요소 축응력 결과는 -11.967 MPa

2 바 요소 D지점 응력 결과는 119.367 MPa 로 두 응력을 더하면 107.429 MPa

오차는 0.001%

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

후처리 (3)



1 비틀림 응력 결과는 71.6197 MPa

오차는 0%

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

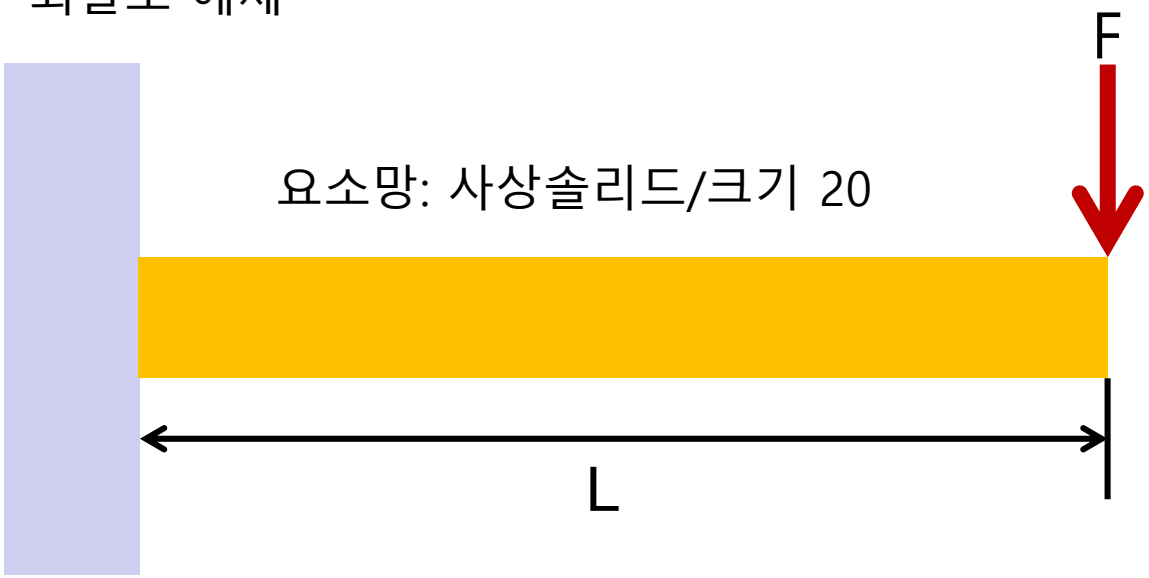
결과 비교 및 고찰

	이론해	SOLID	BEAM
수직 응력 (MPa)	107.430	107.591 (0.15%)	107.429 (0.00%)
전단 응력 (MPa)	-52.521	-54.216 (3.23%)	-

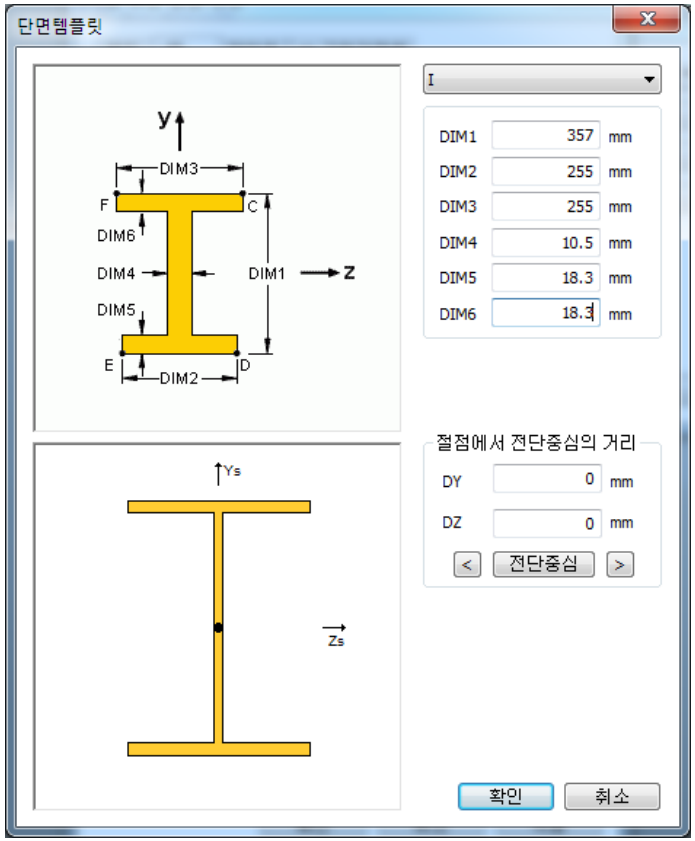
Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

연습문제

외팔보 예제



빔 단면 정보
: W360 X 101



기하형상
- L = 5000 mm

재료 : alloy steel
- E = 210 GPa
- v = 0.28

굽힘 하중: 200 kN

이론 해

$$\sigma = \frac{My}{I} = 601.607\ MPa$$

$$y_{\max} = \frac{PL^3}{3EI} + \frac{PL}{GA_s} = -137.26\ mm$$

$A_s = kA$: 유효전단면적

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

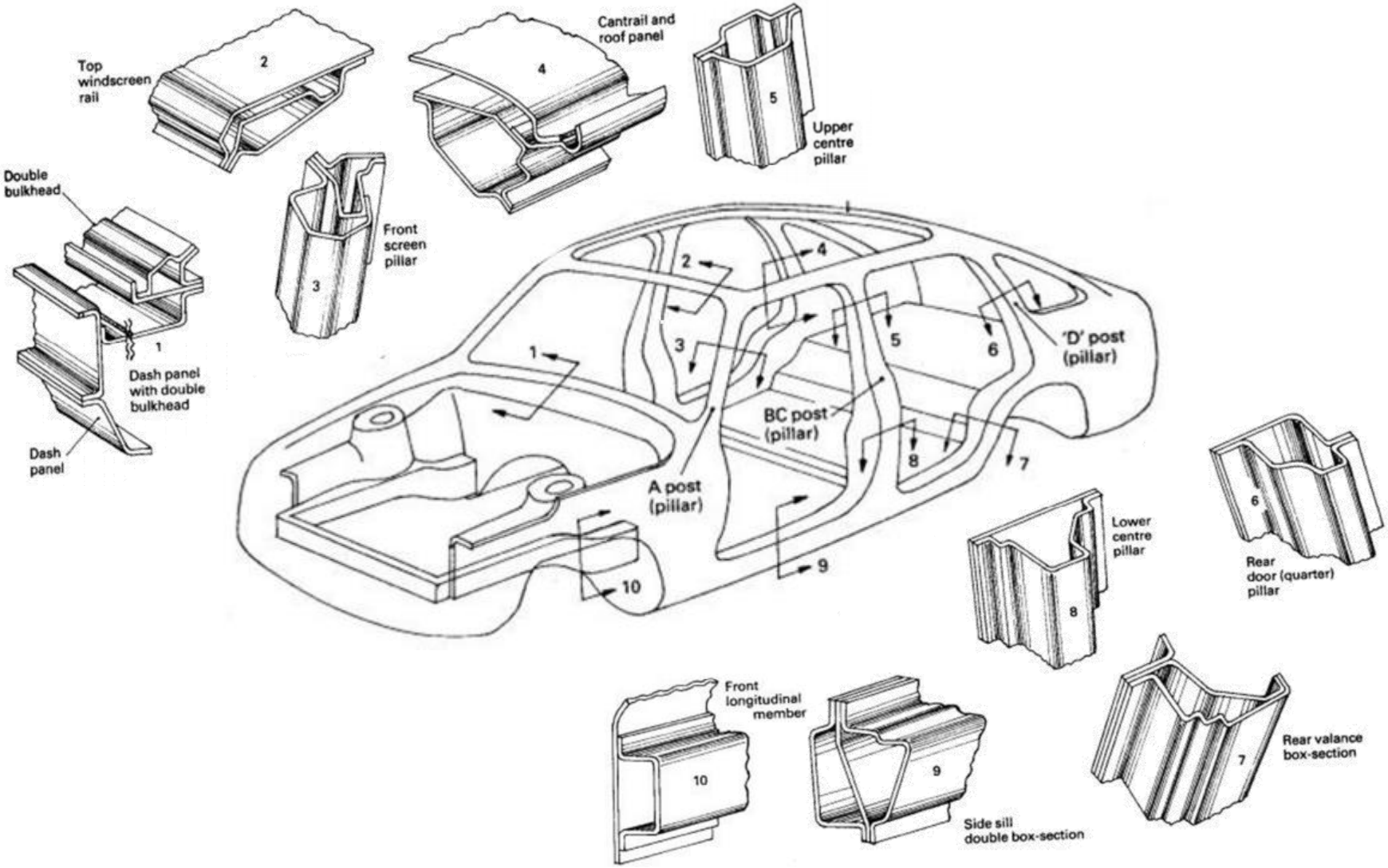
복합단면을 이용한 빔 모델링

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

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

복합단면

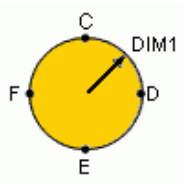
실제 차량의 경우 복잡한 단면 형태를 갖음



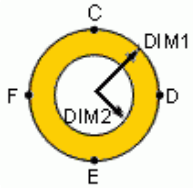
Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

NFX에서 지원하는 단면 종류 [1]

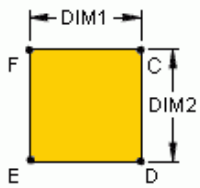
Rod



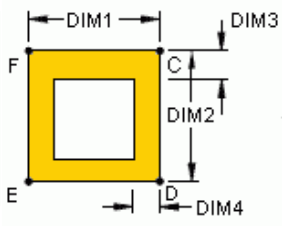
Tube



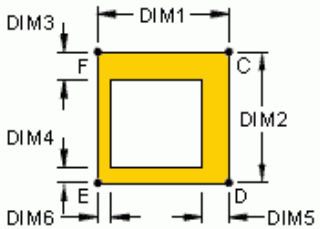
Bar



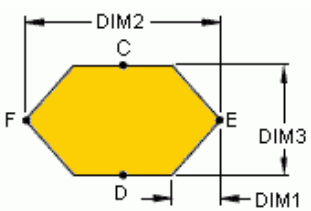
Box



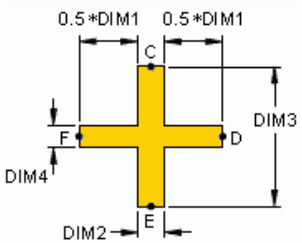
Box1



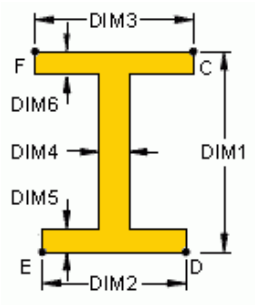
Hexa



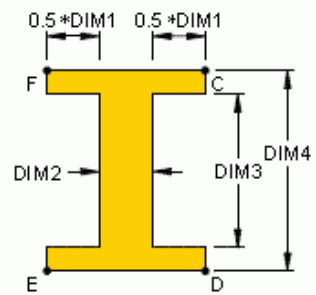
Cross



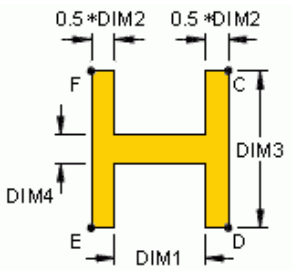
I



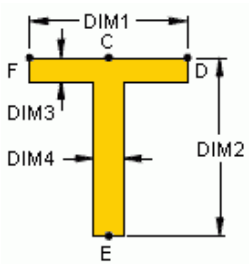
I1



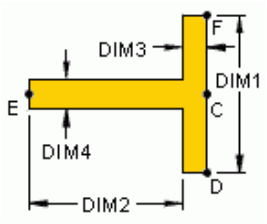
H



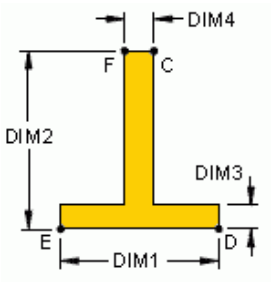
T



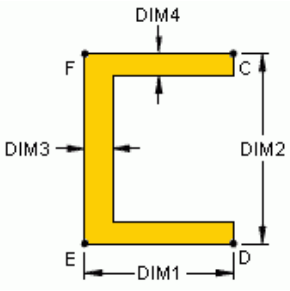
T1



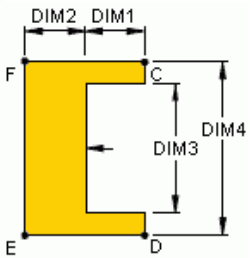
T2



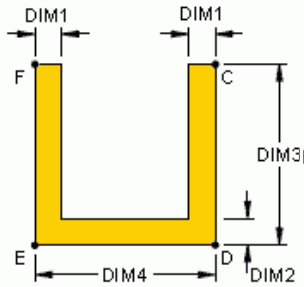
Channel



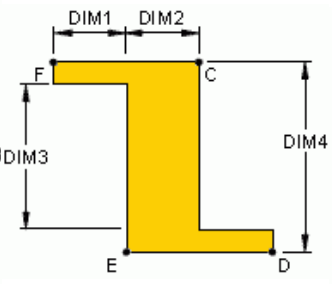
Channel1



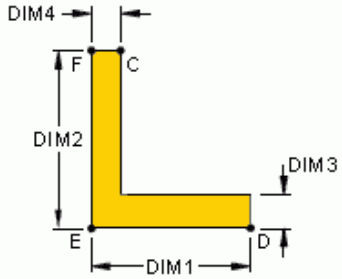
Channel2



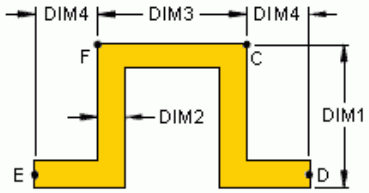
Z



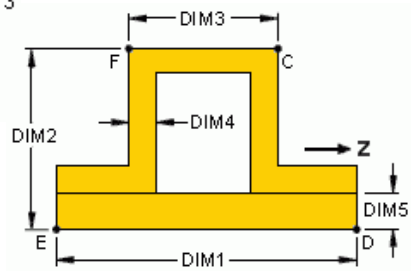
L



Hat



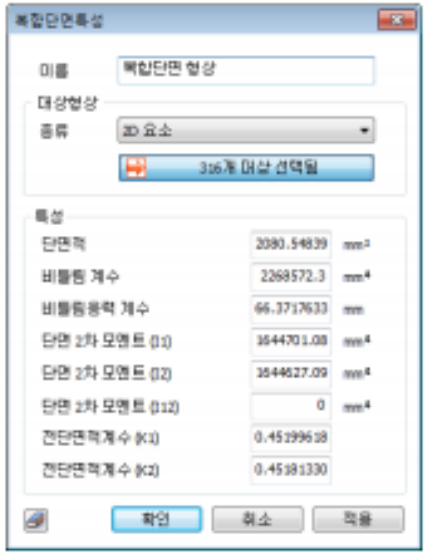
Hat1



Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

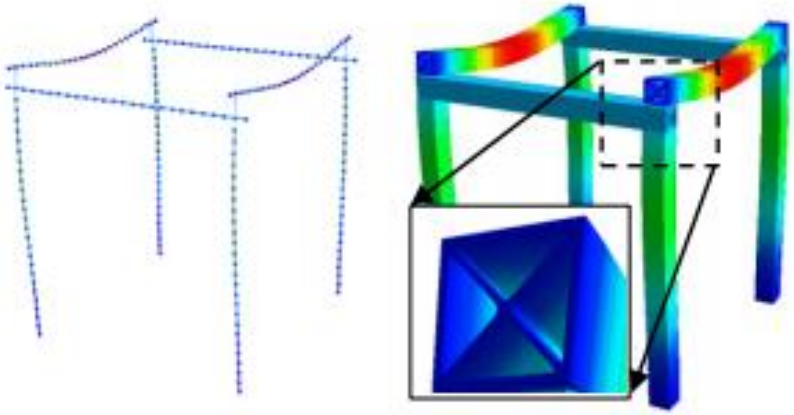
NFX에서 지원하는 단면 종류 [2]

복합단면 기능: 1D 요소 사용시 단면을 자유롭게 지정하는 기능



복합단면 정의 창

2D요소망을 활용한
복합단면 지정



[단면형상 그래픽 미적용] [단면형상 그래픽 적용]

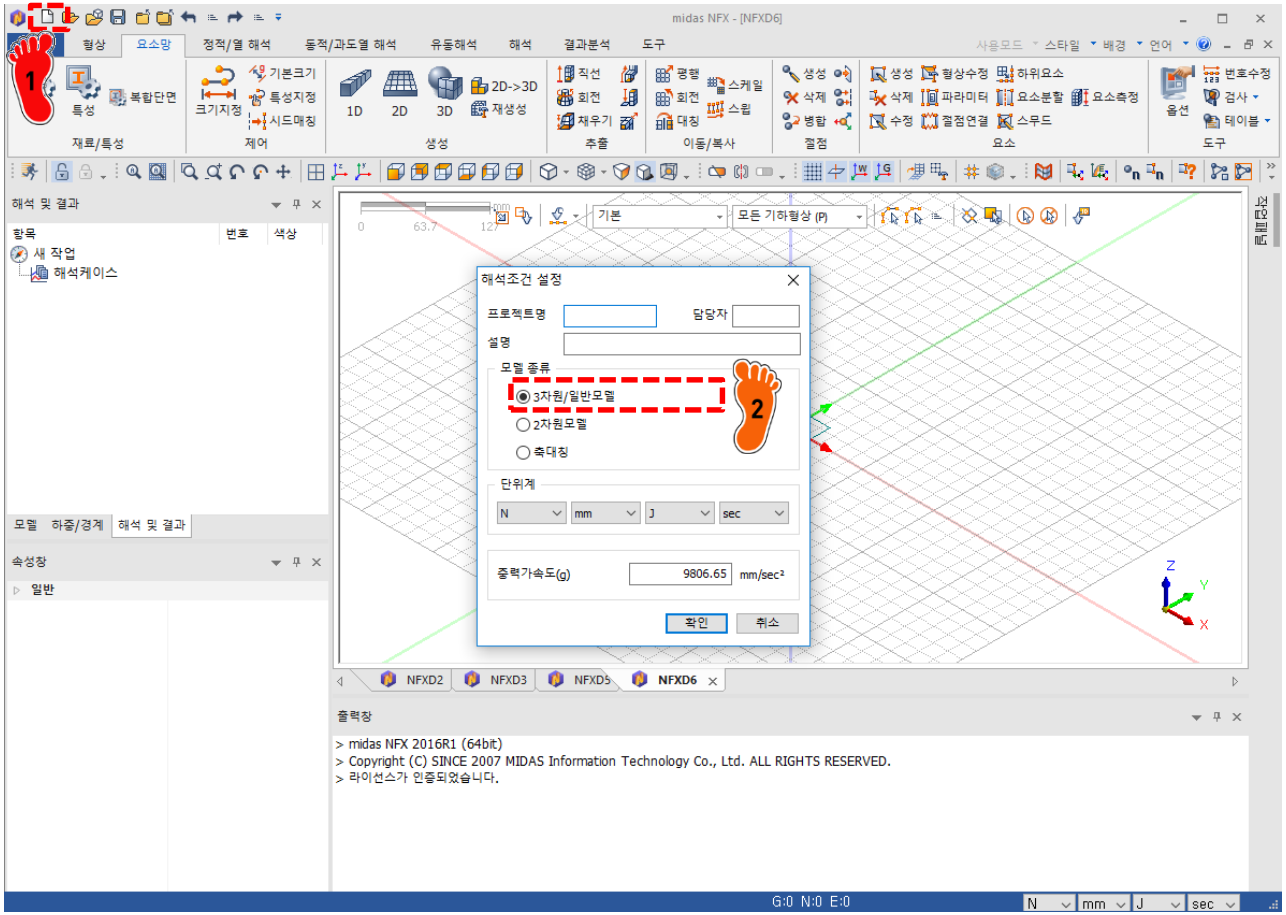
복합단면을 활용한 1D 요소 모델링

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

복합단면 생성 및 해석

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

기하형상 생성 (1)

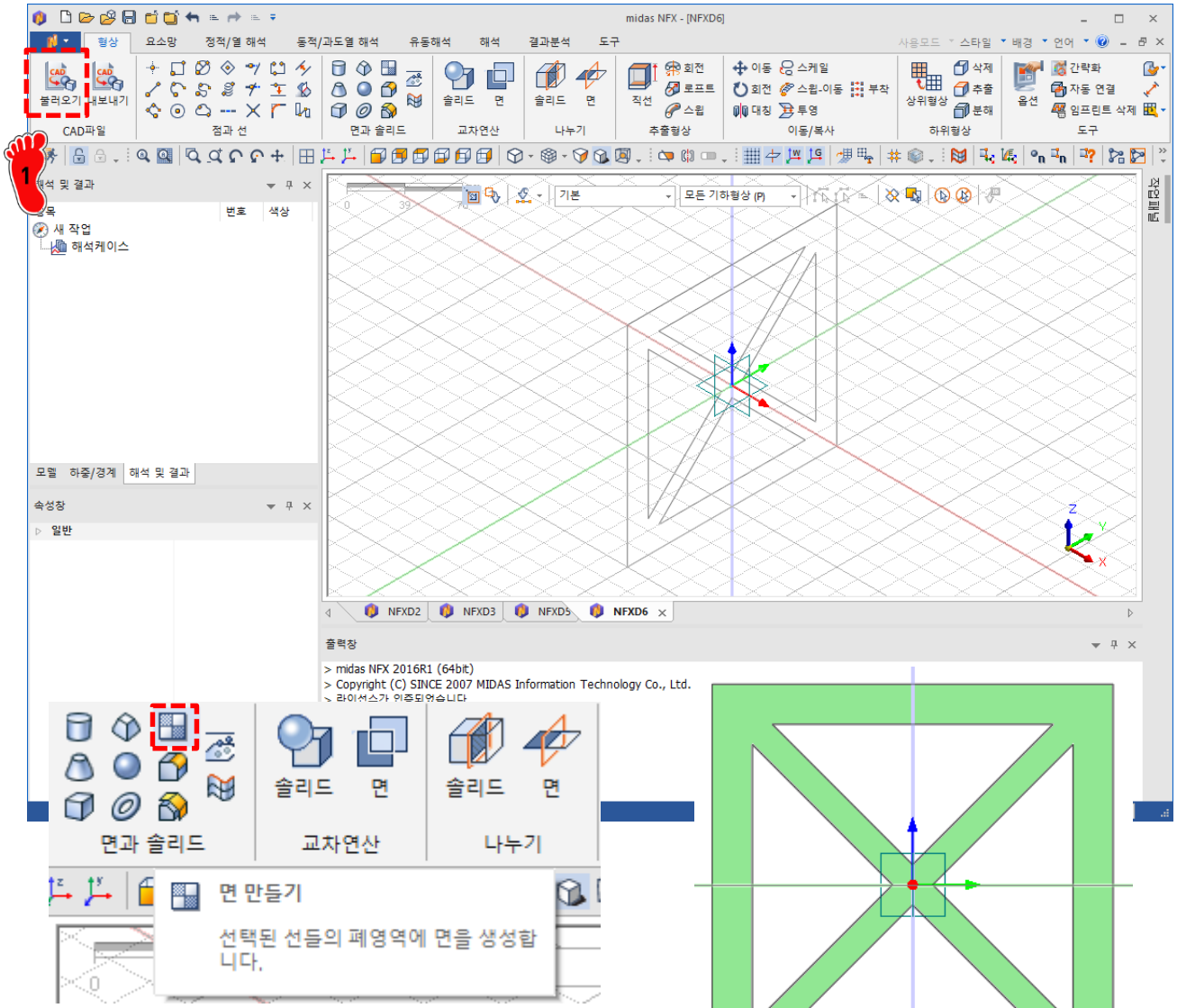


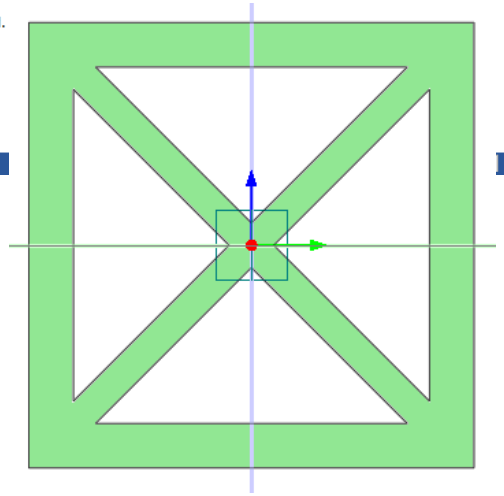
1 새로 만들기 클릭

2 3차원/일반모델 선택

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

기하형상 생성 (2)

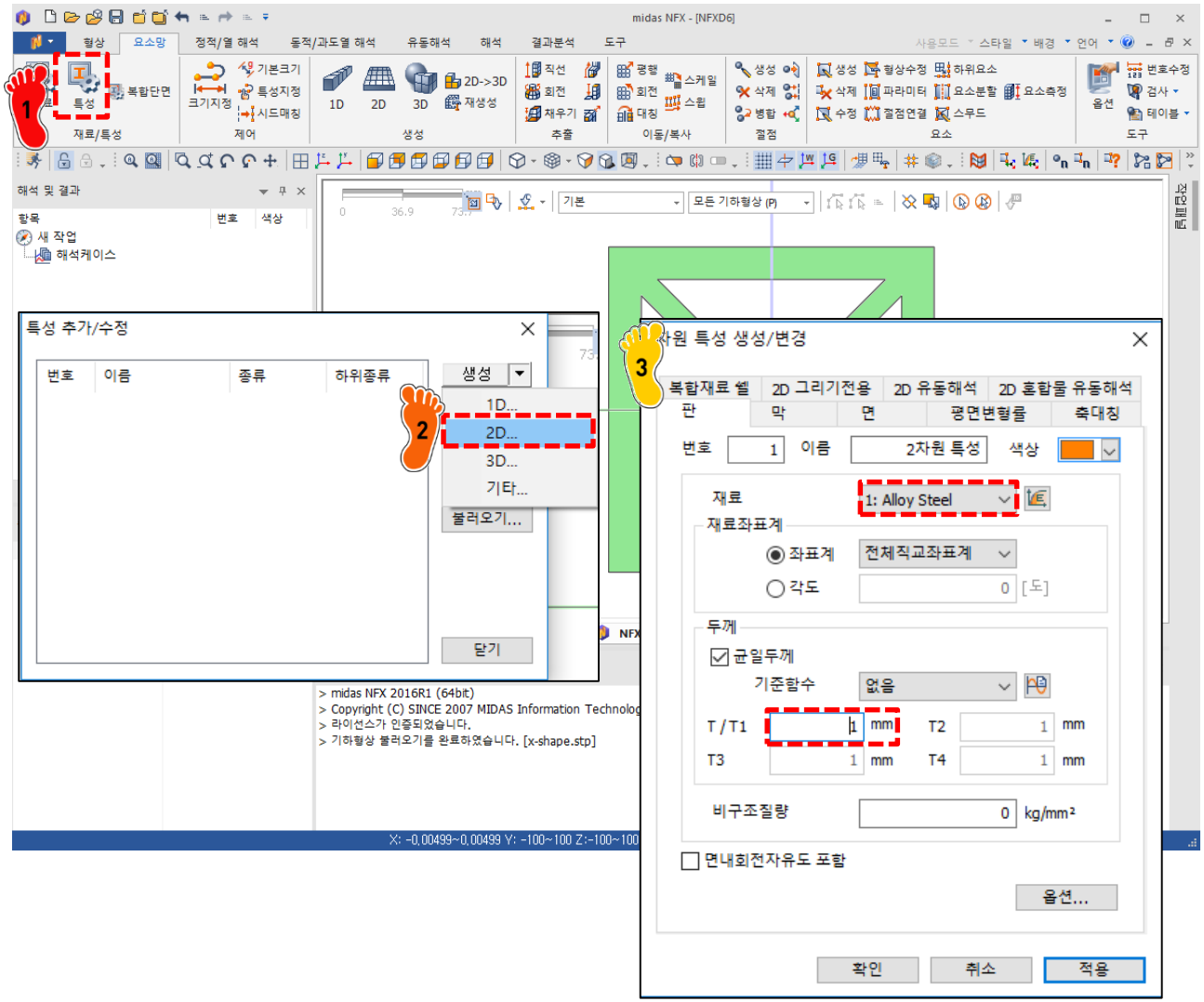




1. '불러오기' 이용하여 단면 파일 불러오기 (x-shape.stp)
2. '면 만들기' 기능을 이용하여 면 생성

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

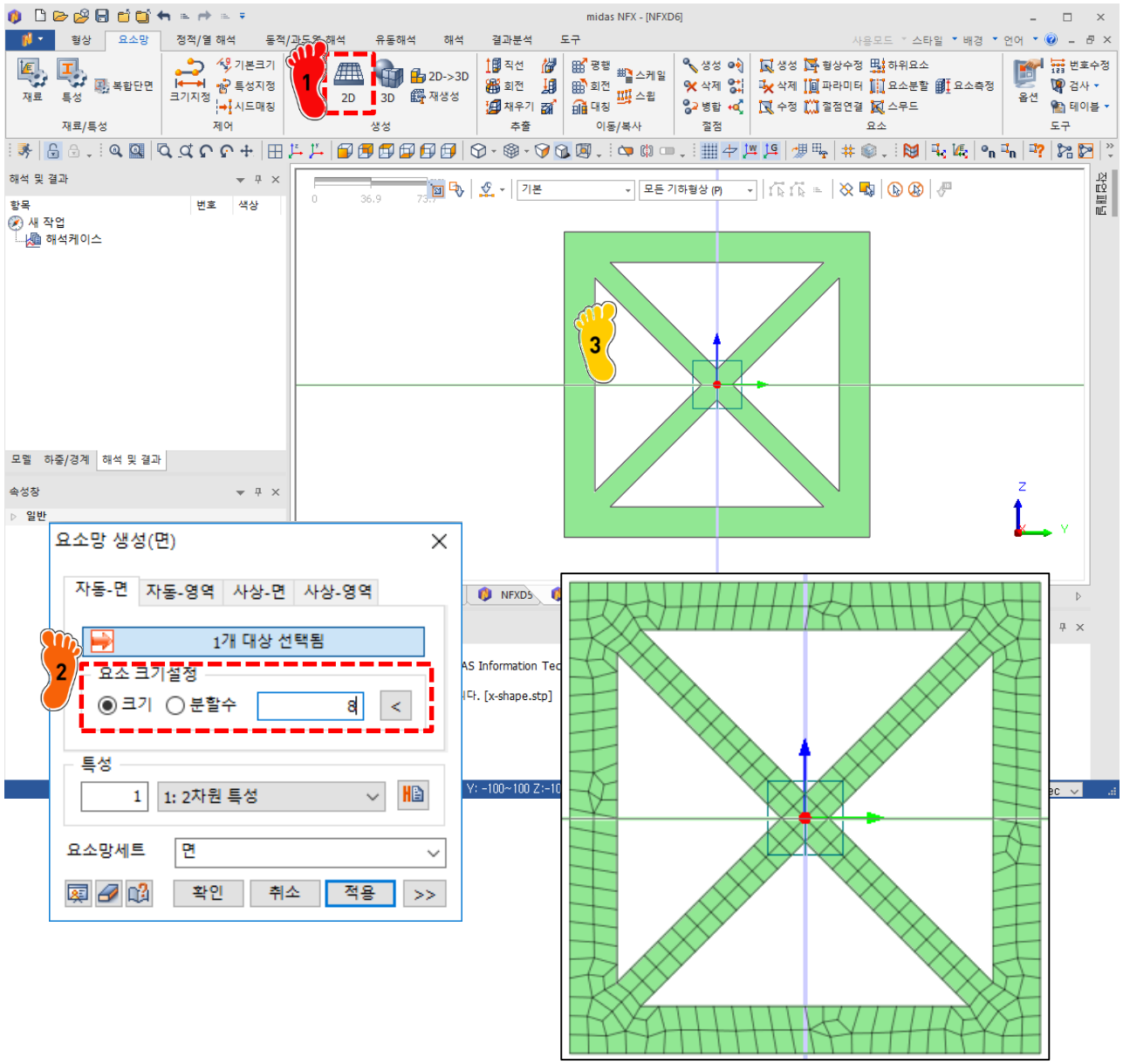
재료 물성 및 특성 입력



1. 재료는 기본 재료인 'Alloy Steel' 사용
2. 특성 클릭 후 2D 생성
3. 'Alloy Steel'을 재료로 선택하고 두께 1mm로 선택하여 특성 생성

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

요소망 생성



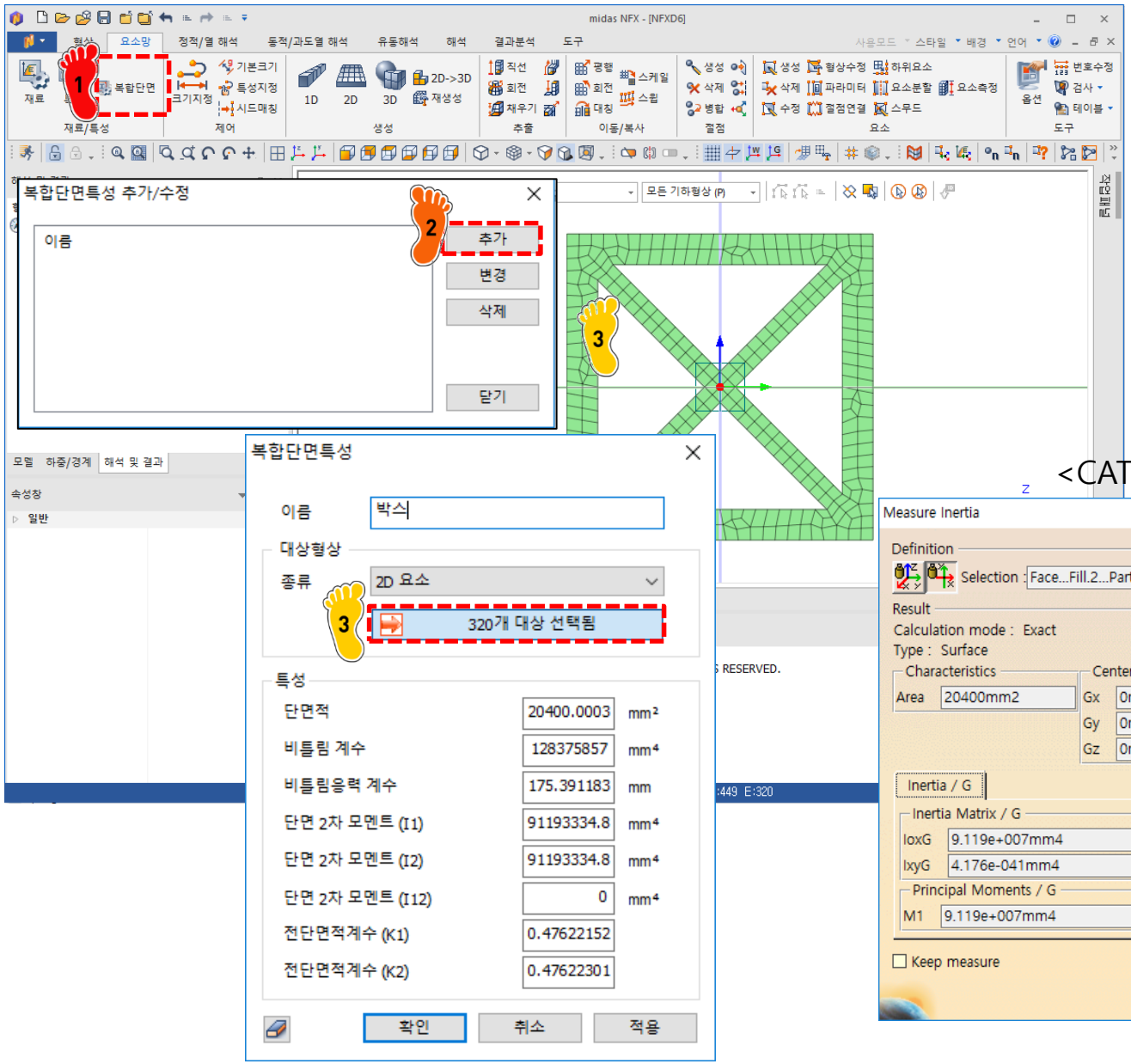
1 주 메뉴 창에서 요소망 탭 메뉴에서 2D 클릭

2 요소를 생성할 면 선택 후 크기 8 입력

3 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

복합단면 특성 계산

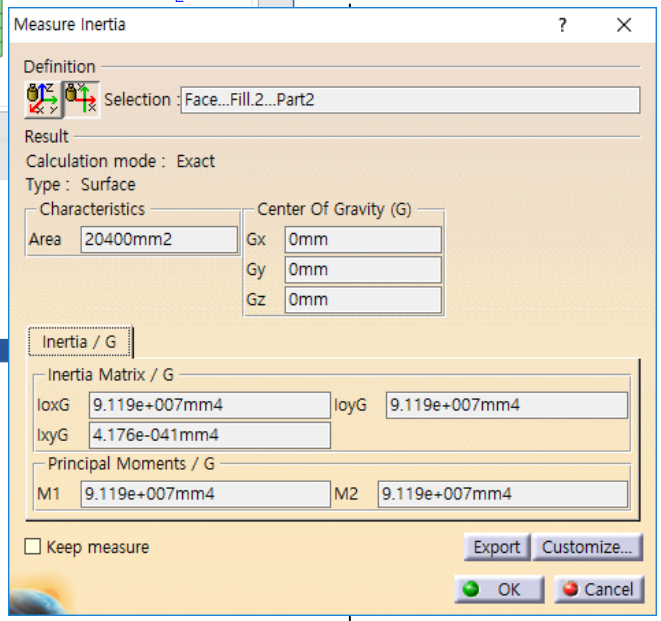


1 주 메뉴 창에서 요소망 탭 메뉴에서 '복합단면' 클릭

2 추가 클릭

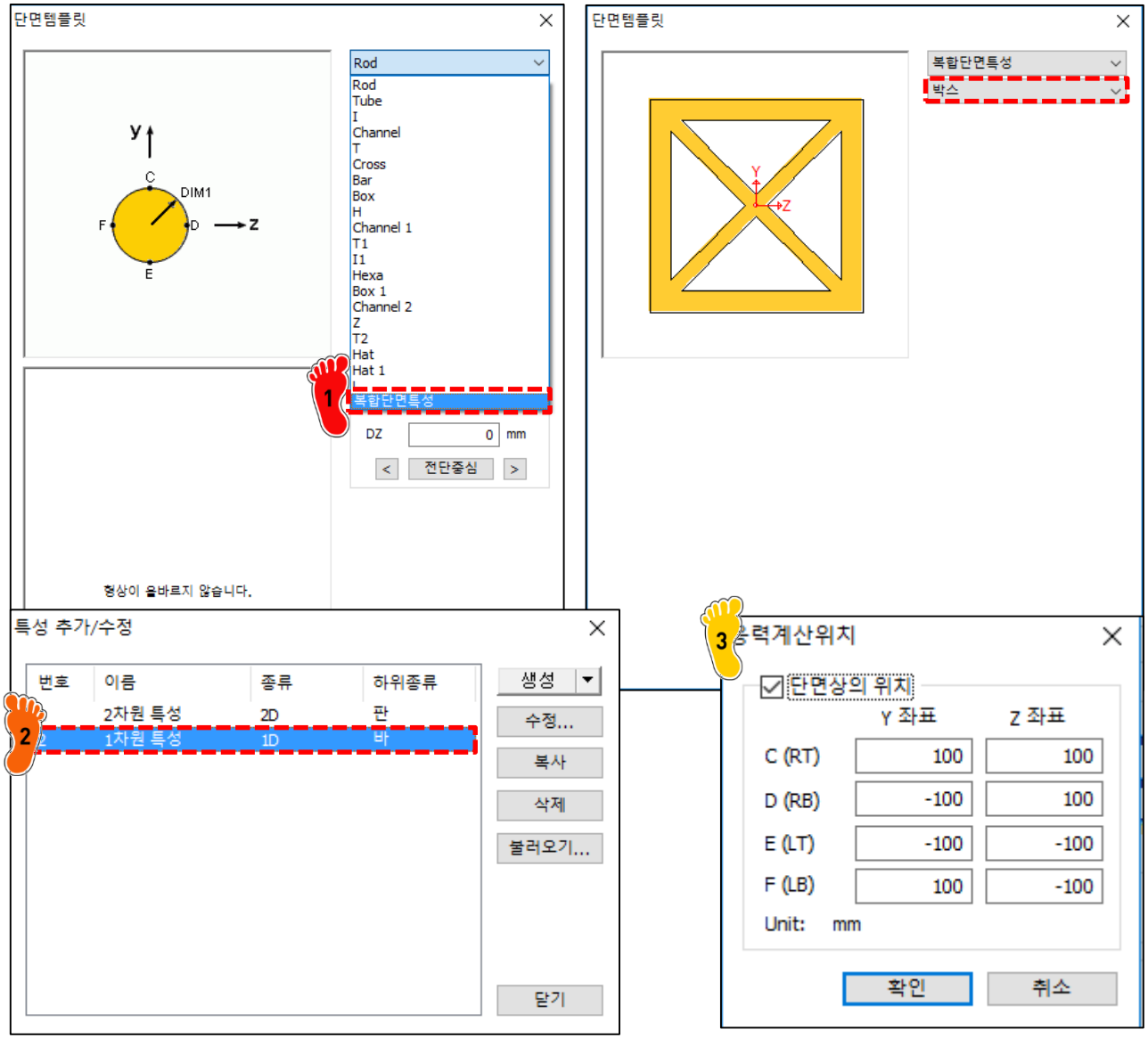
3 단면 특성을 계산할 요소 선택

<CATIA 계산>



Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

복합단면 특성



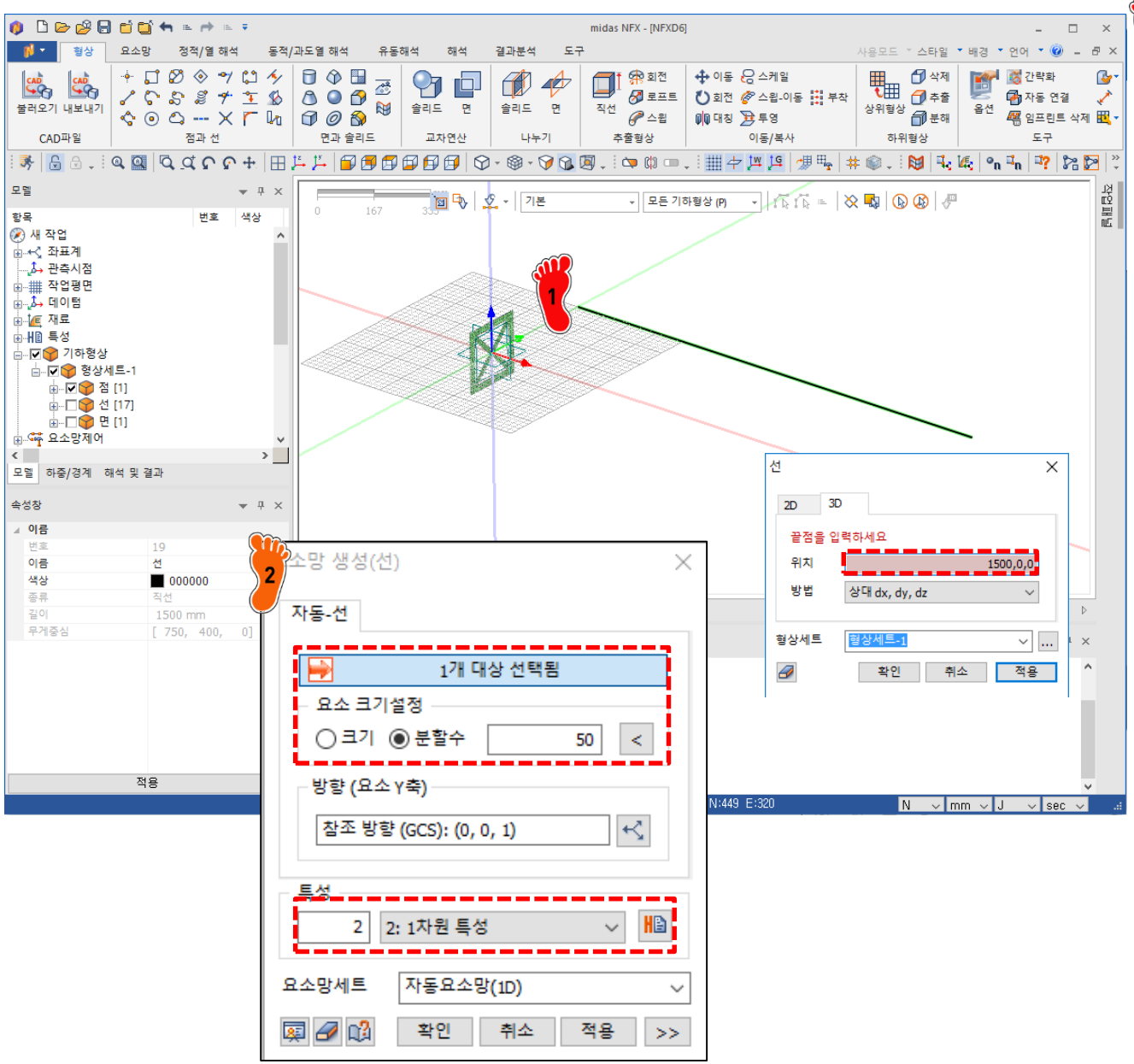
1 1D 특성에서 단면템플릿을 보면 '복합단면특성'에 생성한 복합 단면이 나타나는 것을 알 수 있음

2 이후 1D 해석을 위해 단면 특성 생성

3 복합단면의 경우 응력계산 위치가 자동으로 정해지지 않으므로 직접 입력

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

1D 빔 모델링

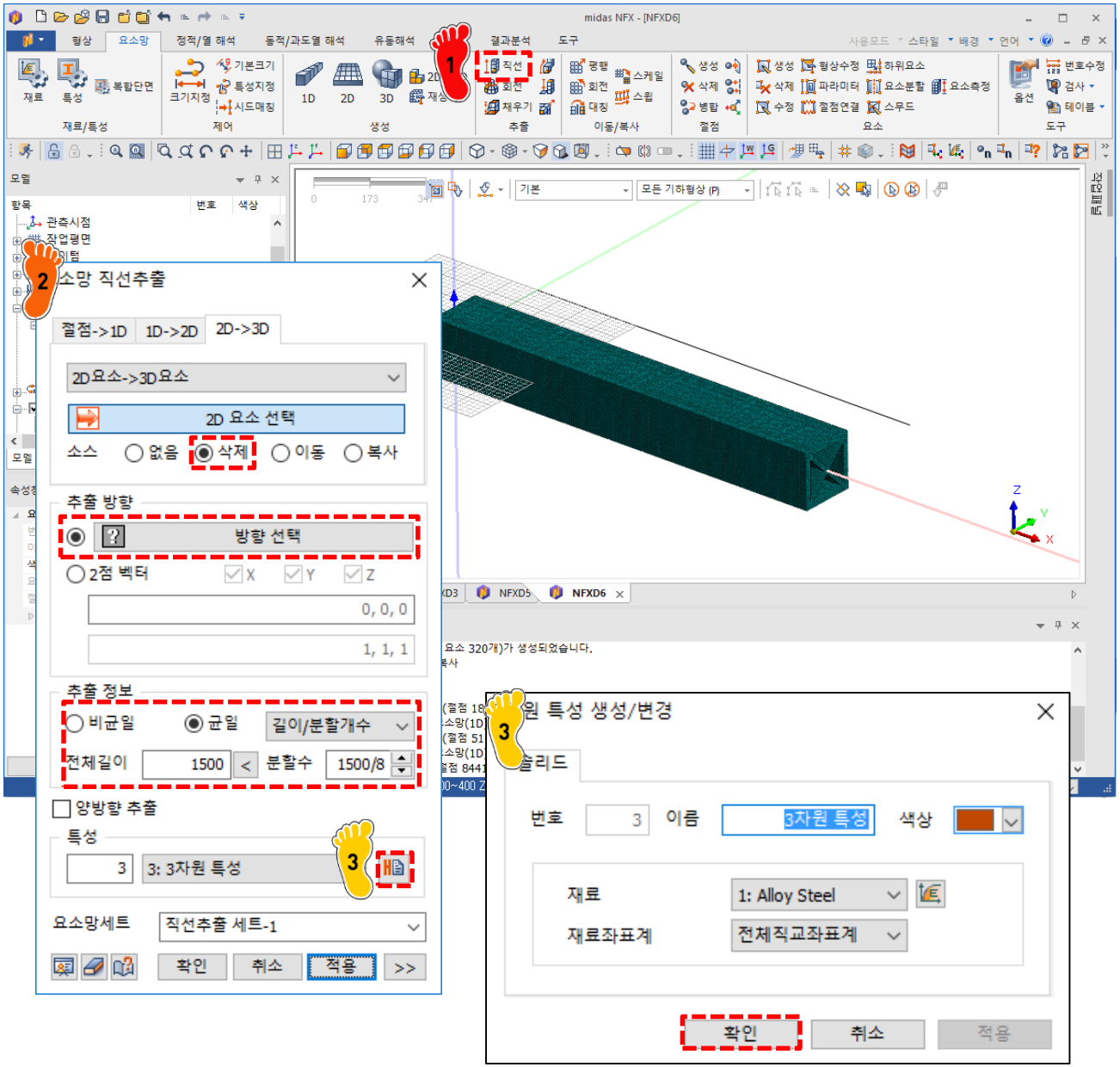


1 2D 요소에서 약간 떨어진 위치에 길이 1500mm의 선 생성

2 분할 수 50개로 입력 후, 복합단면으로 생성한 특성 선택하여 요소 생성

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

3D 빔 모델링



1 비교 해석을 위해 2D 요소로부터 3D 요소 생성 필요

요소망 탭에서 '직선' 기능을 이용하여 3D 요소망 추출

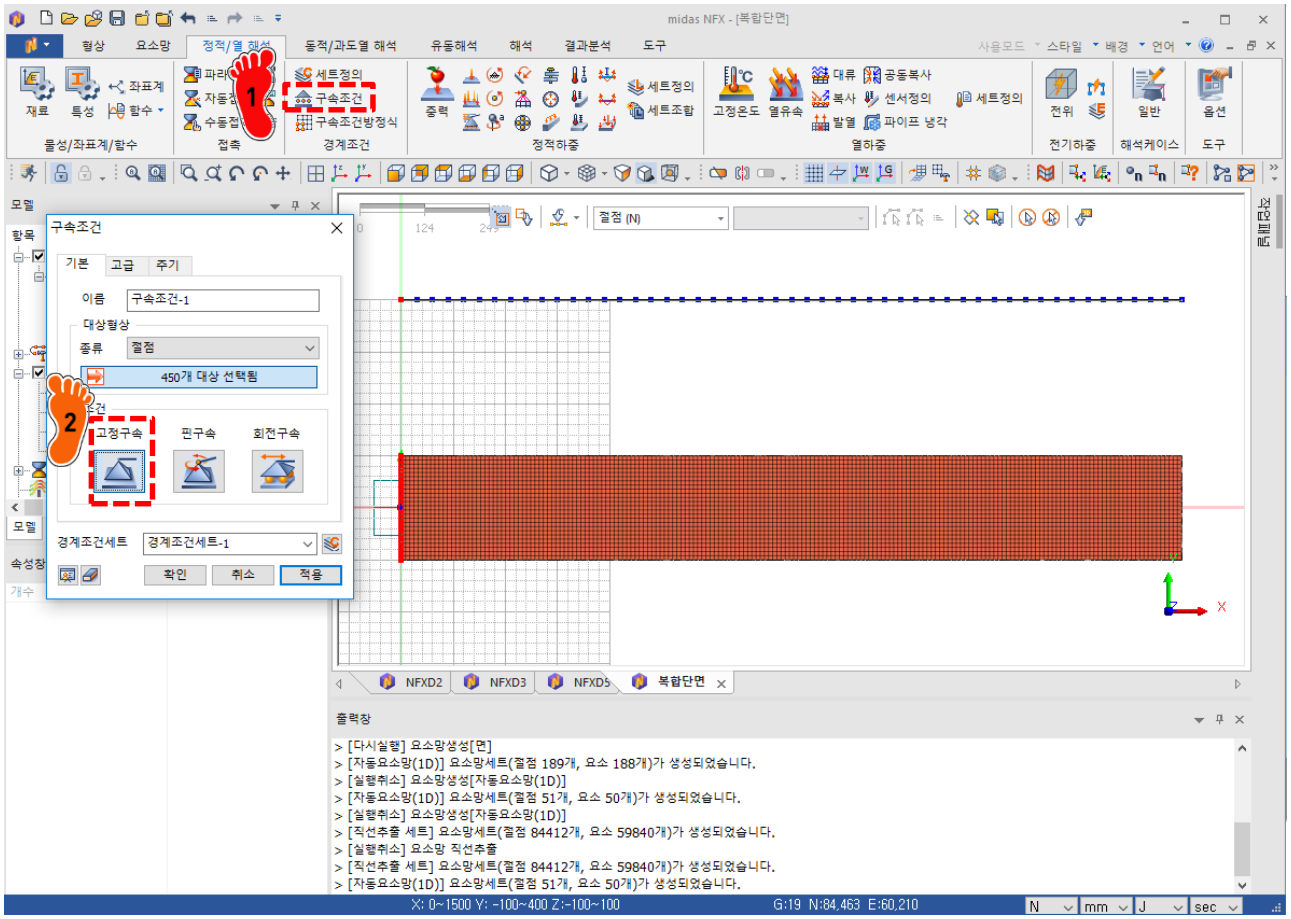
2 2D 요소 선택 후 옵션 선택
- 소스: 삭제 (없음도 가능)
- 방향: 1D 빔 길이 방향
- 길이: 1500
- 분할수: 1500/8

3 3차원 특성 생성을 위해 클릭

4 요소망 직선추출 수행

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

구속조건 설정

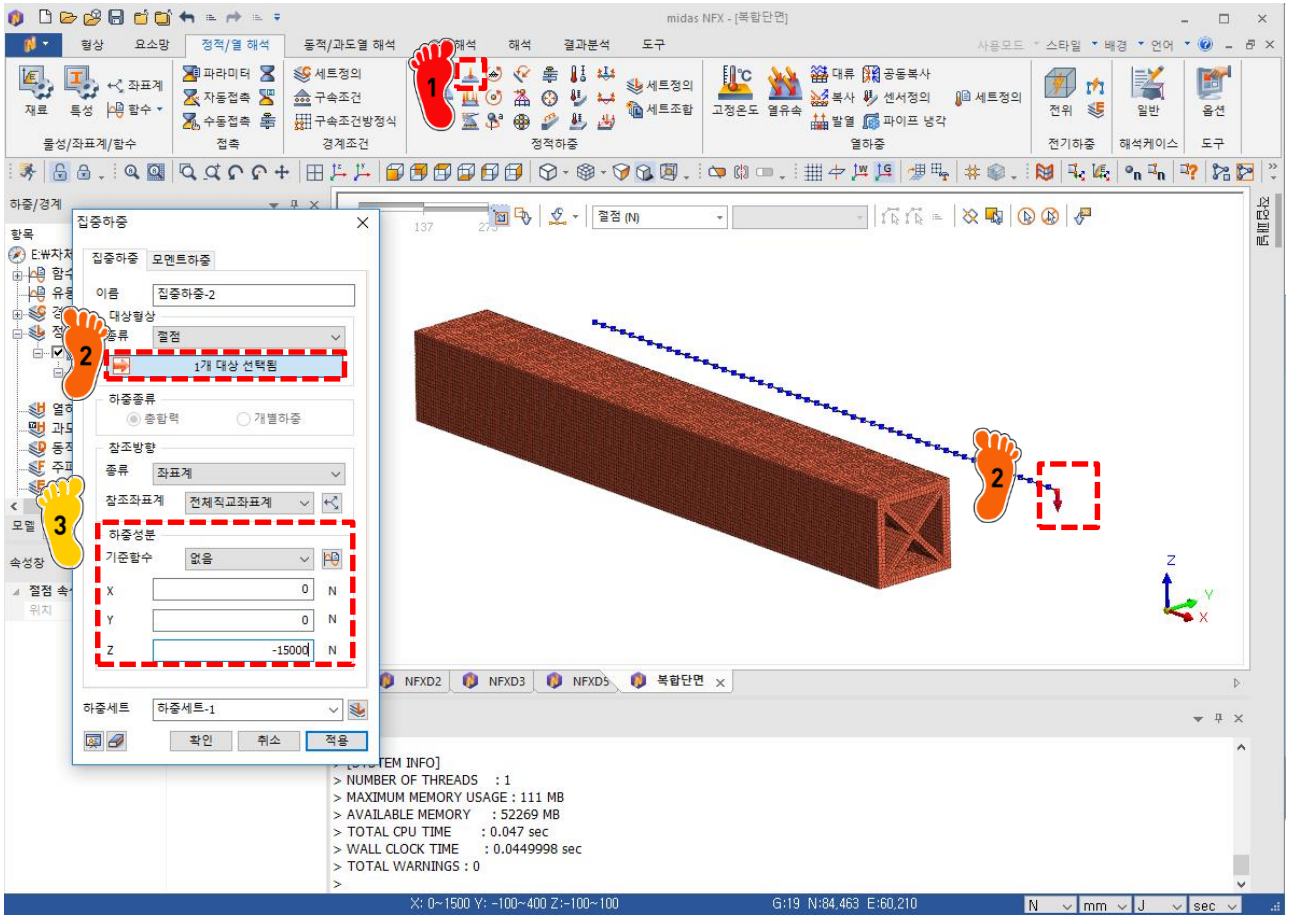


1 정적/열 해석 탭메뉴에서 '구속조건' 클릭

2 고정구속으로 1D와 3D 모델의 한쪽 측면 구속

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

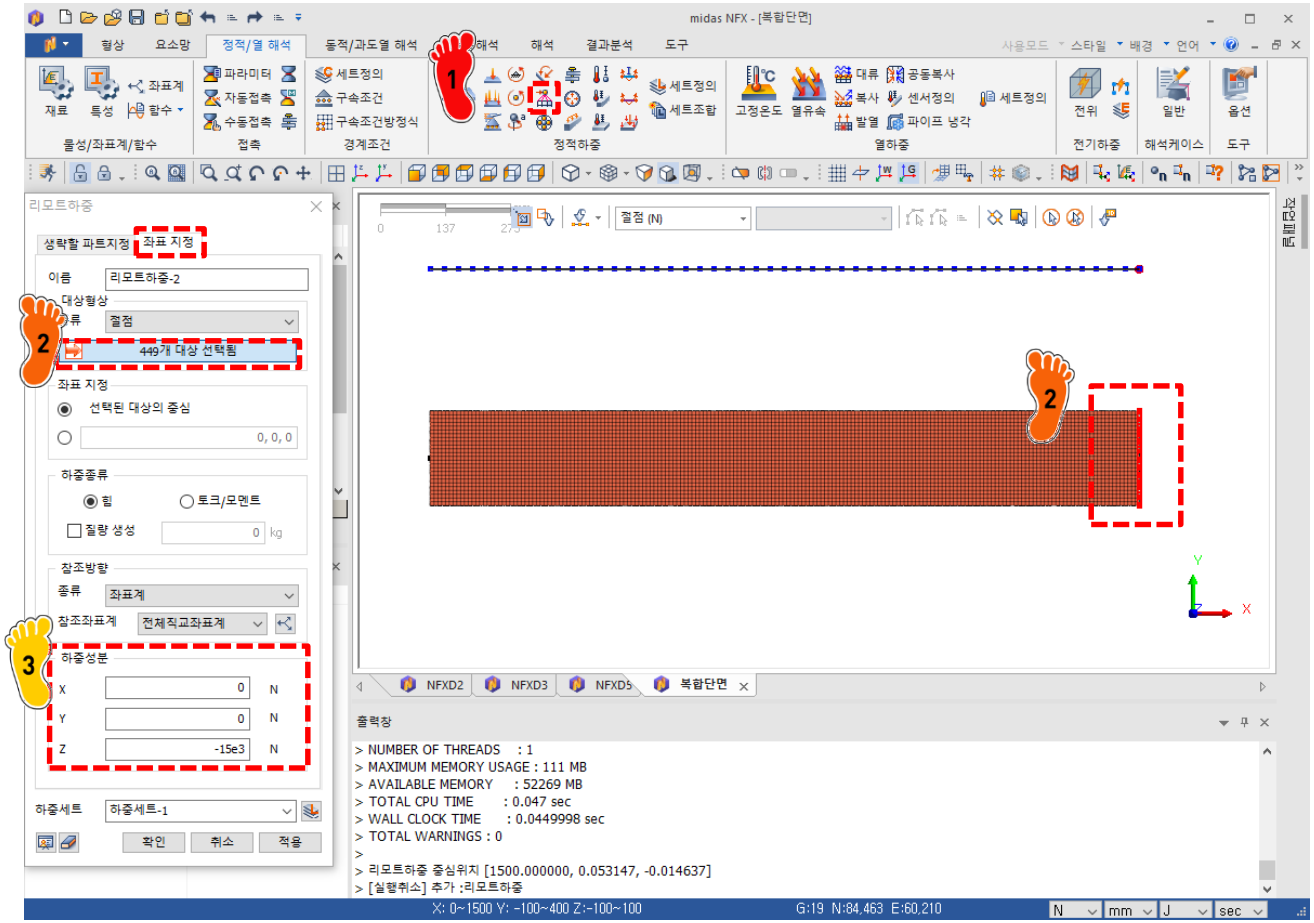
하중조건 설정: 1D 빔모델



1. 집중 아이콘 클릭
2. 1D 빔의 끝 절점 선택
3. Z 방향으로 -15e3 입력

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

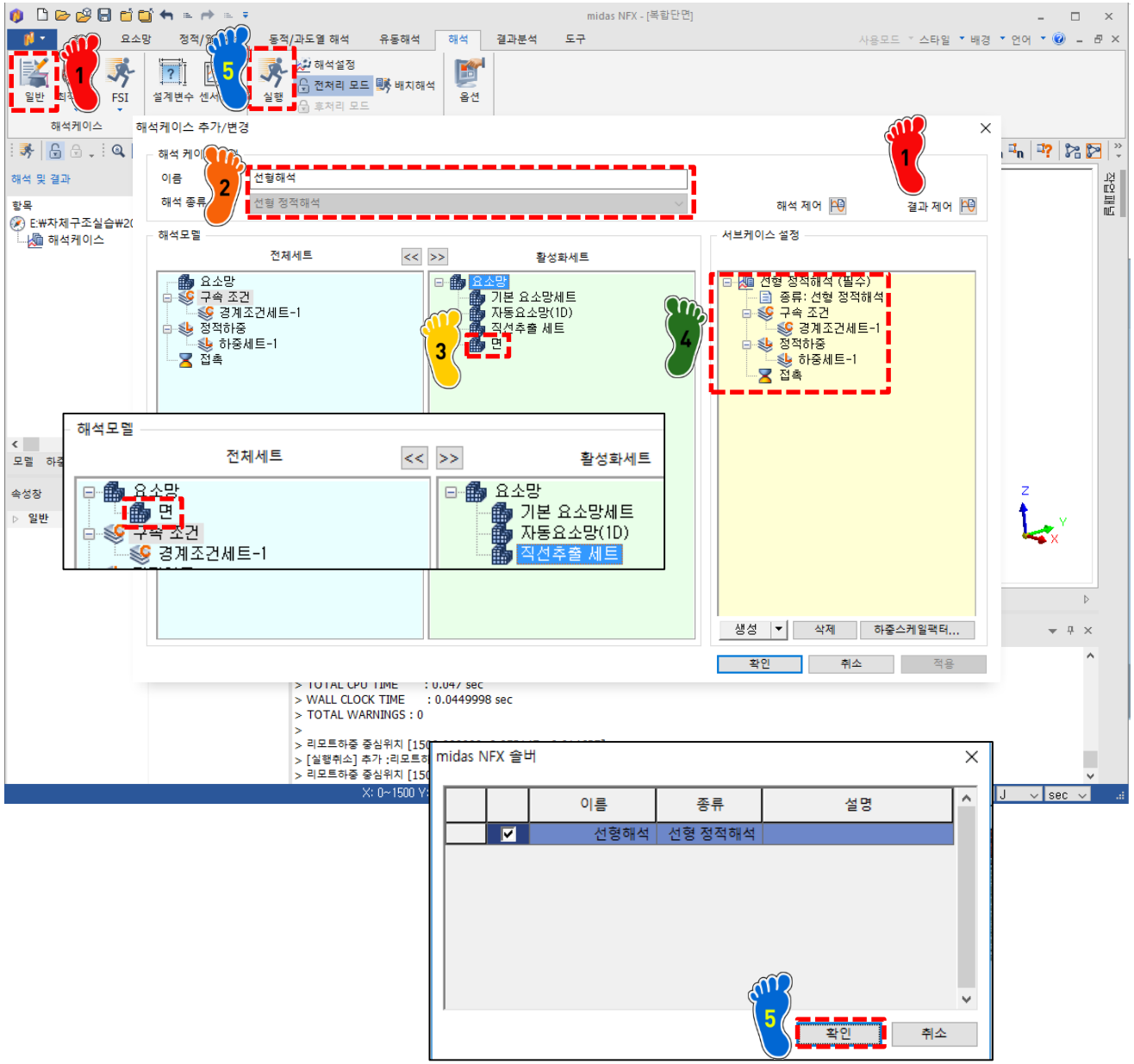
하중조건 설정: 3D 빔모델



1. 리모트하중 아이콘 클릭 후 좌표지정 탭 선택
2. 3D 빔의 끝 절점 선택
3. Z 방향으로 -15e3 입력

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

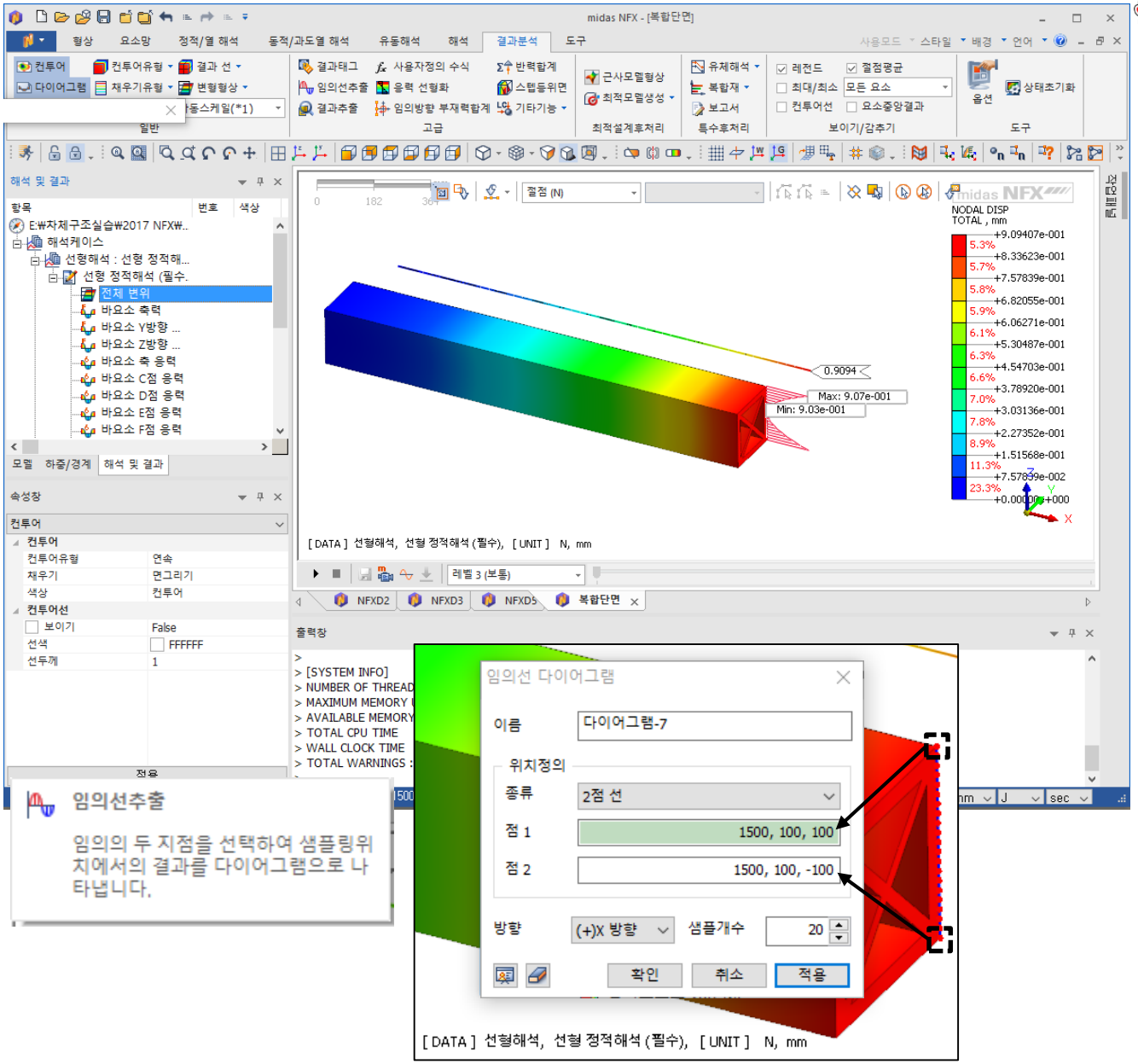
해석 케이스 정의 및 해석 실행



1. 해석 탭 메뉴에서 '일반' 클릭
2. 임의의 이름 입력 후 해석 종류 '선형 정적해석' 선택
3. '직선추출' 기능 사용시 소스를 제거하지 않으면 2D요소 정보가 해석에 포함됨 '면' → 마우스 드래그 하여 왼쪽으로 이동
4. 구속 조건 및 하중세트가 제대로 생성되었는지 체크 후 확인
5. 실행 클릭 후 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

후처리 (1)

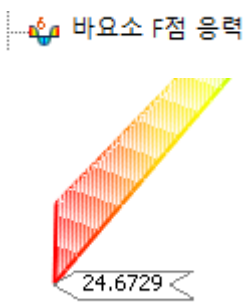


1. 변위 결과 확인
2. 솔리드 모델의 경우 위치 별로 변위가 다르기 때문에 '임의선 추출' 기능 사용
3. 1D 모델의 변위는 0.909mm, 3D 모델의 변위는 0.903 ~ 0.907mm 수준으로 유사한 것 확인

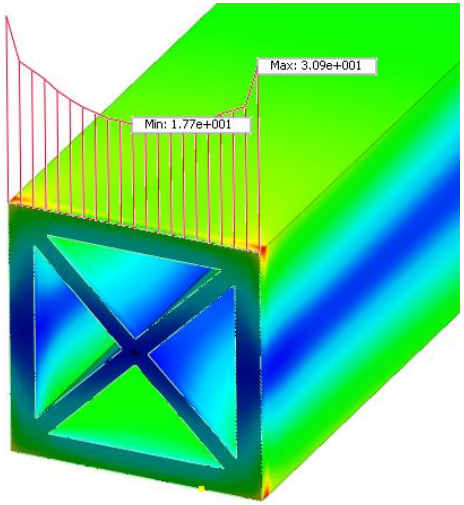
Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

후처리 (2)

1D 빔 모델의 응력



3D 빔 모델의 응력



1 응력 결과 확인

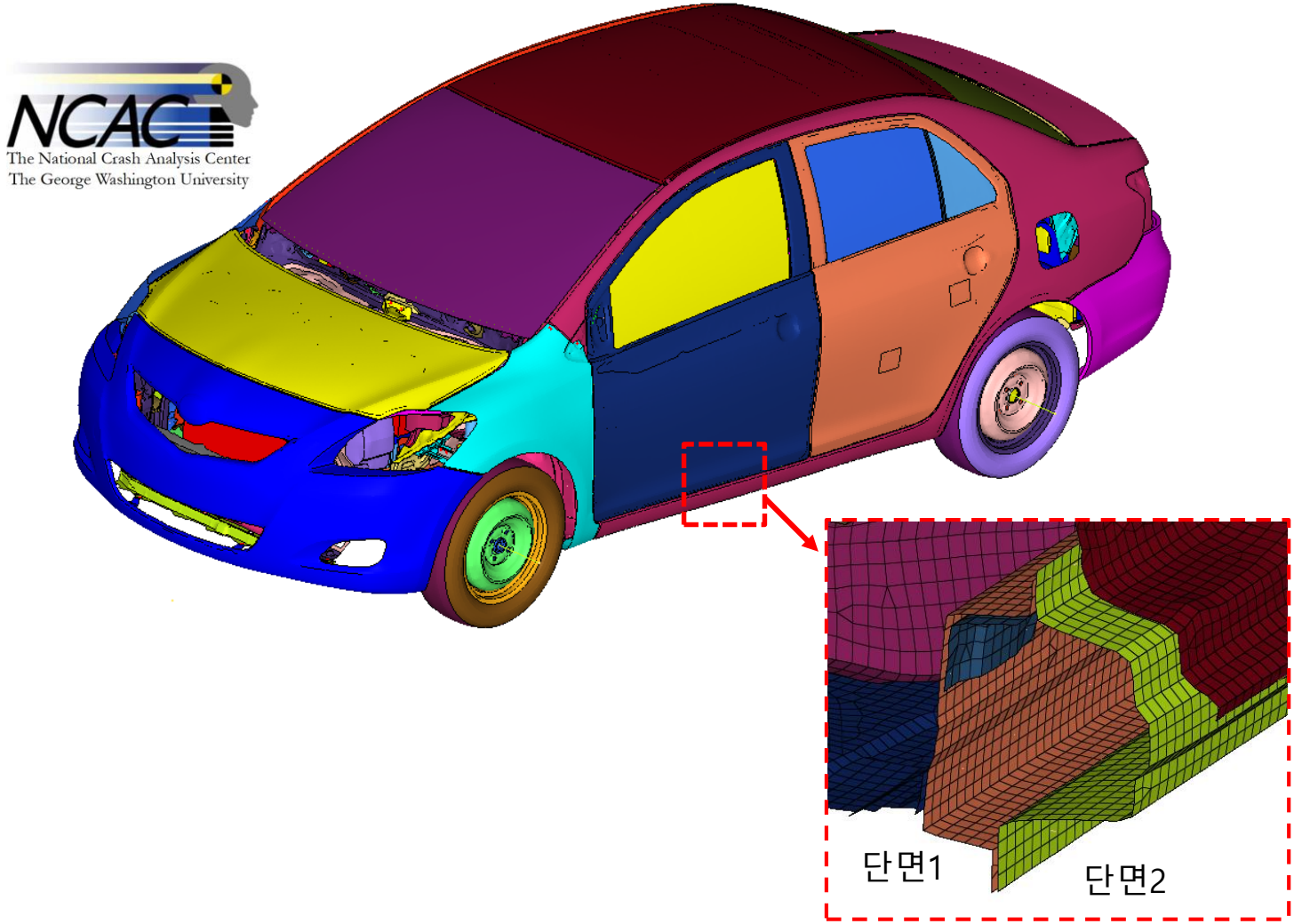
2 F 지점의 1D 모델 응력은 24.7MPa, 3D 모델의 응력은 17.7~30.9MPa 로 큰 차이 발생 (중간값의 경우 유사)

1D 빔 모델의 경우 복합 단면의 국부적인 부분을 모두 고려하지는 못함

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

연습문제 [2] : YARIS MODEL

- Yaris 모델의 단면에 대해 1D/3D 해석 비교

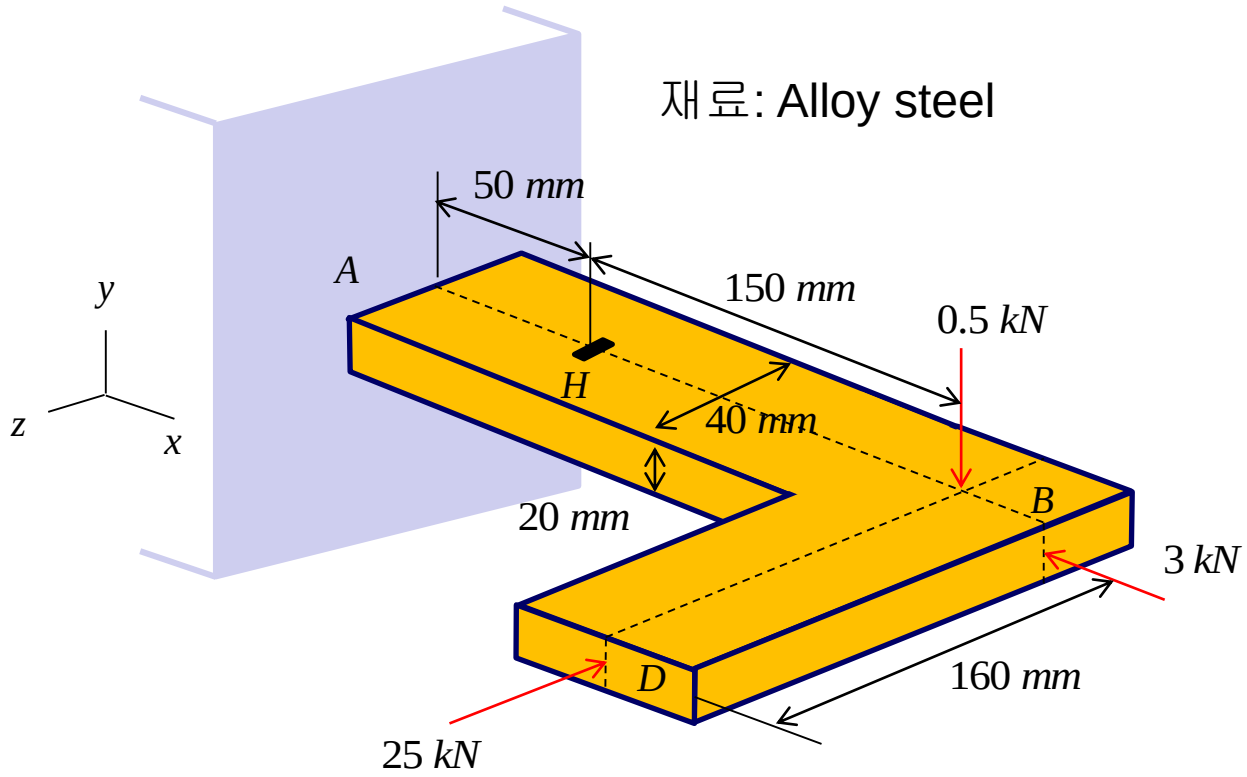


Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

숙제

재료의 거동이 탄성 범위에 있다는 가정 하에 H 점의 응력을 구하시오.

Analytic solution, beam solution, solid model solution을 비교하고 오차의 원인에 대하여 기술하시오.



Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.