Joint Stiffness 해석

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

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

목차

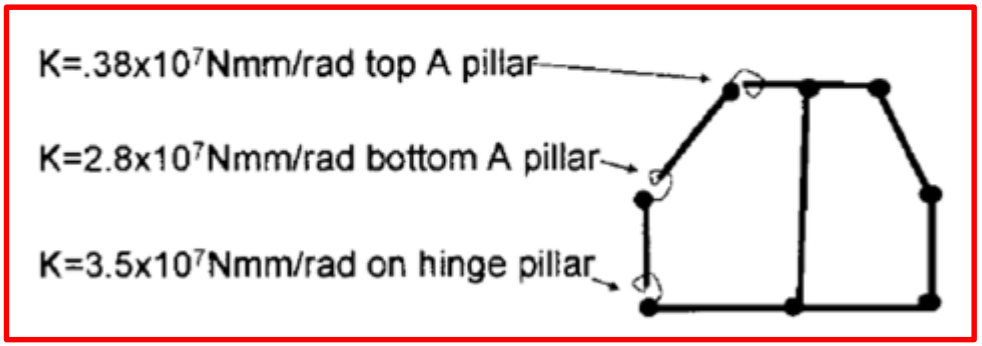
- 예제 문제
  - Joint stiffness analysis
- 해석 프로세스
  - 기하형상 생성
  - 재료 물성 및 특성 입력
  - 요소망 생성
  - 구속조건 설정
  - 하중조건 설정
  - 해석케이스 정의 및 해석 실행
  - 후처리

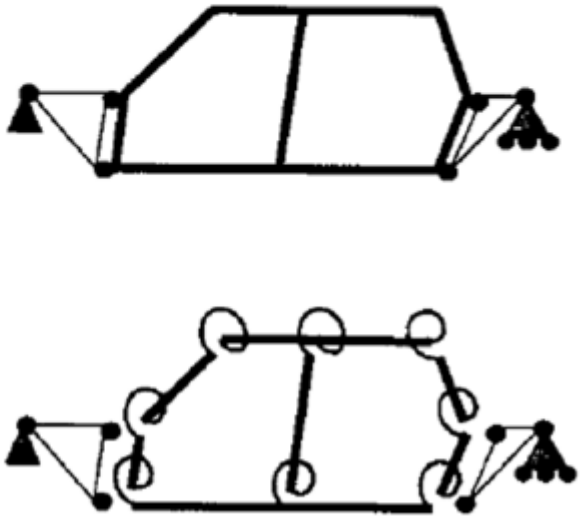
Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

예제: JOINT STIFFNESS (1)

How to calculate rotational joint stiffness?

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





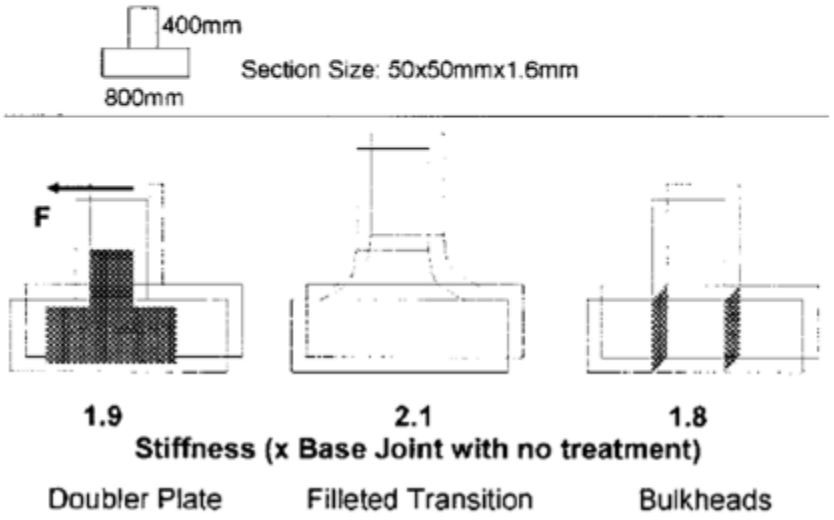
- F = 6680 N → δ = 7.7 mm
  - K = 1735 N/mm bending stiffness

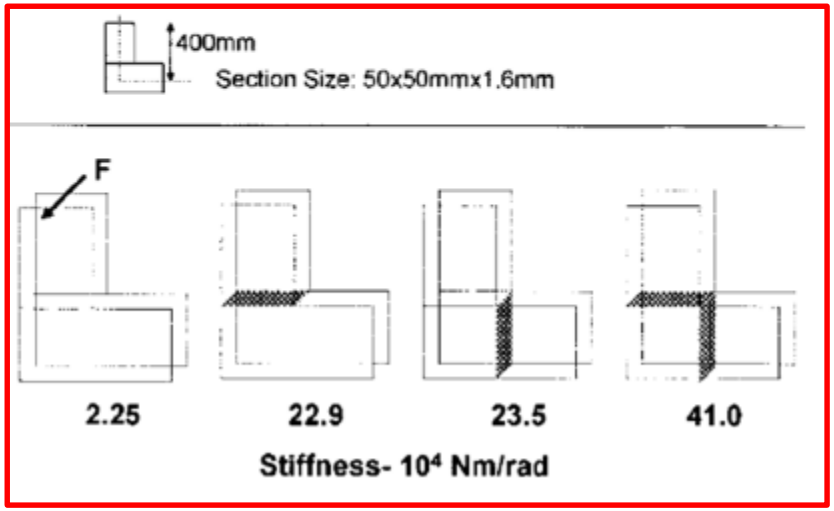
Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

예제: JOINT STIFFNESS (2)

- Joint rigidity in-plane bending
  - Mass penalty
  - Additional load path

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



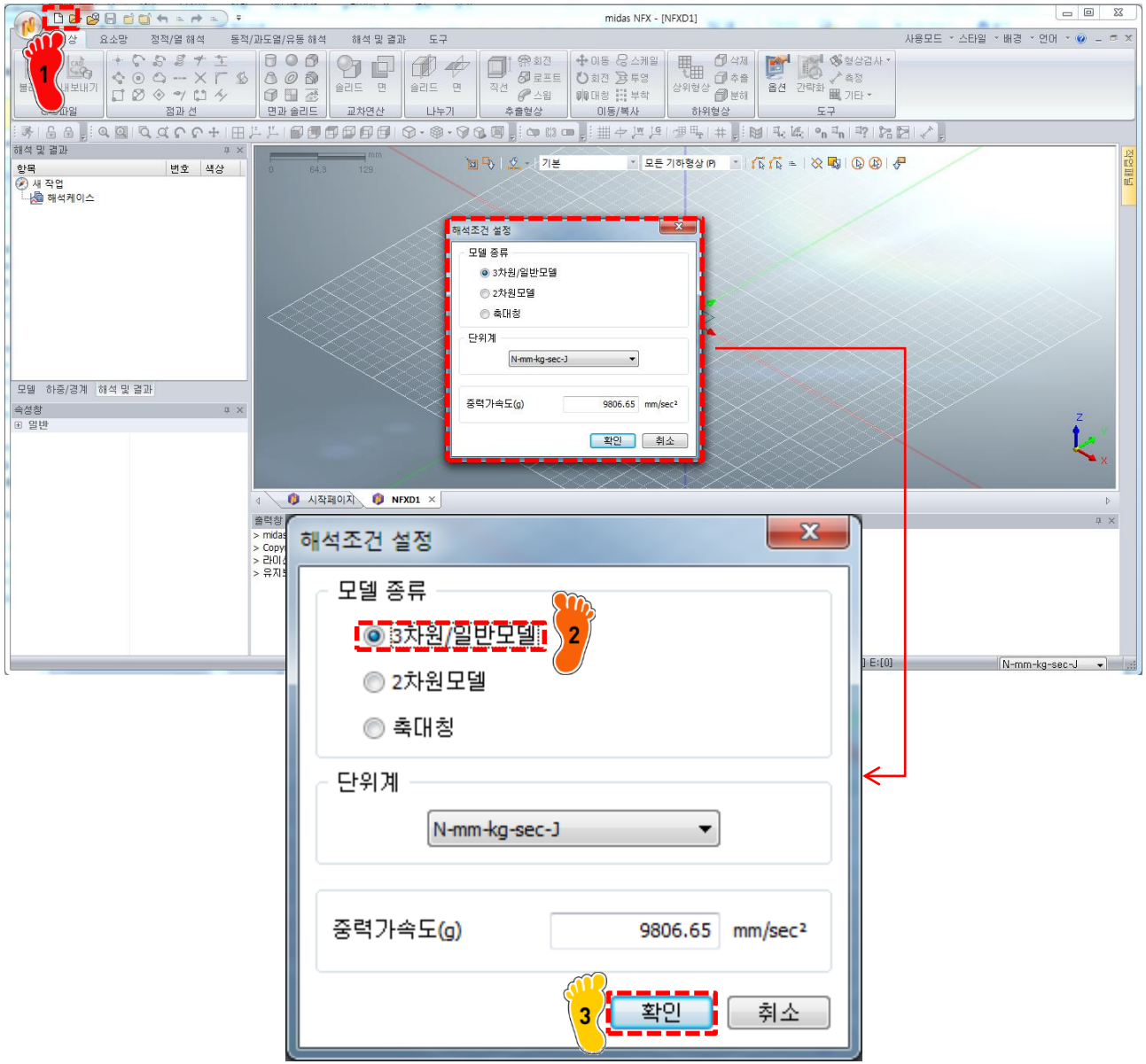


Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

JOINT STIFFNESS
쉘 요소

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

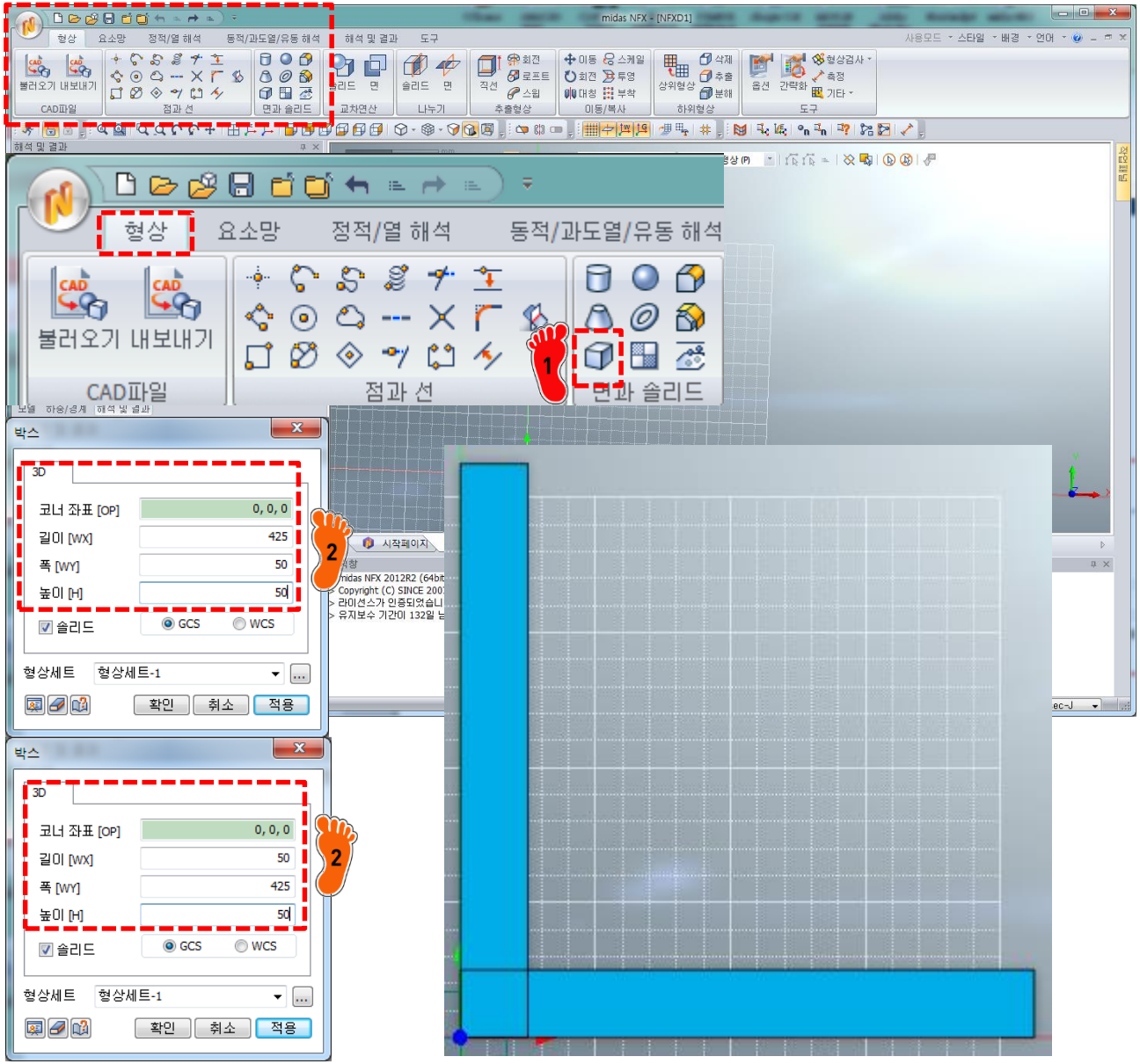
기하형상 생성 (1)



1. 새로 만들기 클릭
2. 3차원/일반모델 선택
3. 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

기하형상 생성 (2)



1. 형상 탭 메뉴에서 면과 솔리드 메뉴의 박스 클릭

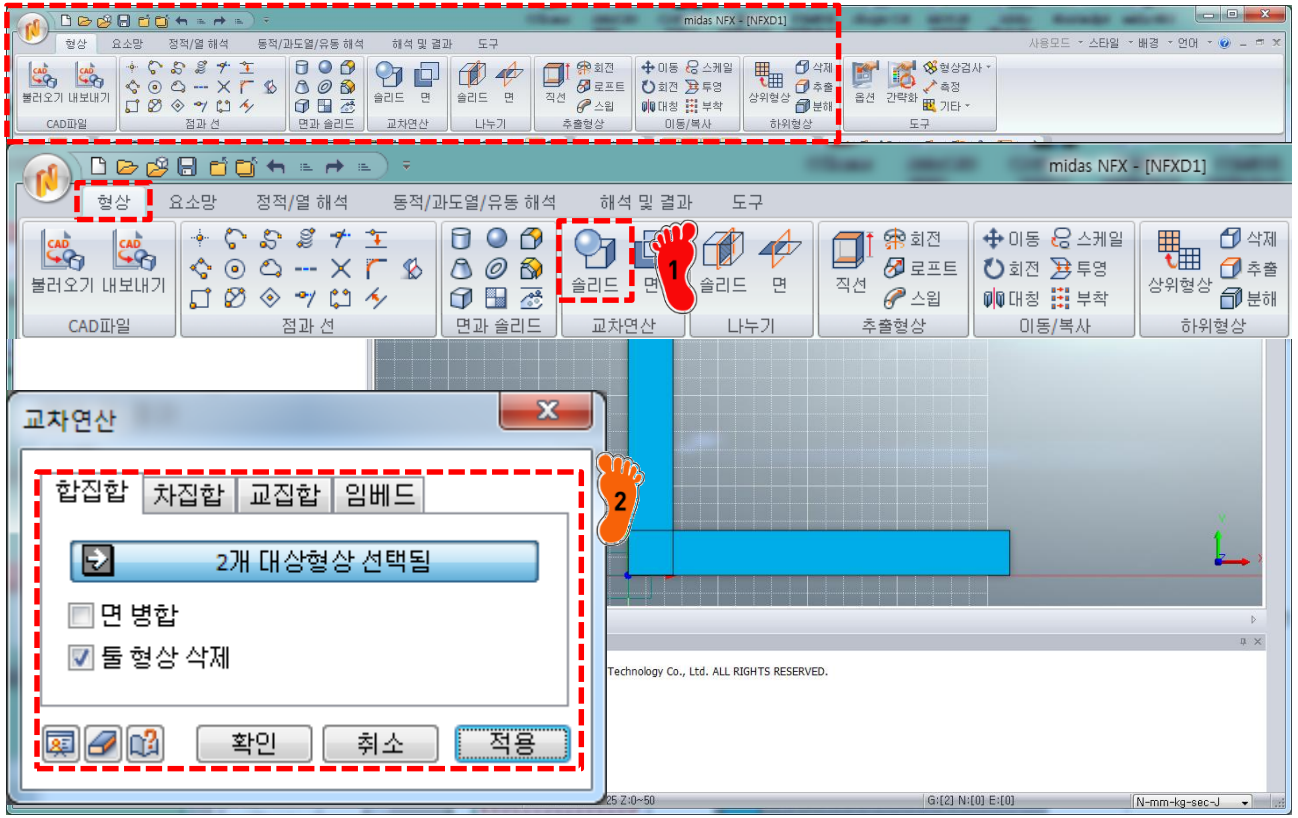
2. 코너좌표 (0,0,0)
   WX: 425
   WY: 50
   WZ: 50

   코너좌표 (0,0,0)
   WX: 50
   WY: 425
   WZ: 50

   인 두 개의 박스 생성

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

기하형상 생성 (3)



1. 형상 탭 메뉴에서 교차연산 메뉴의 솔리드 클릭

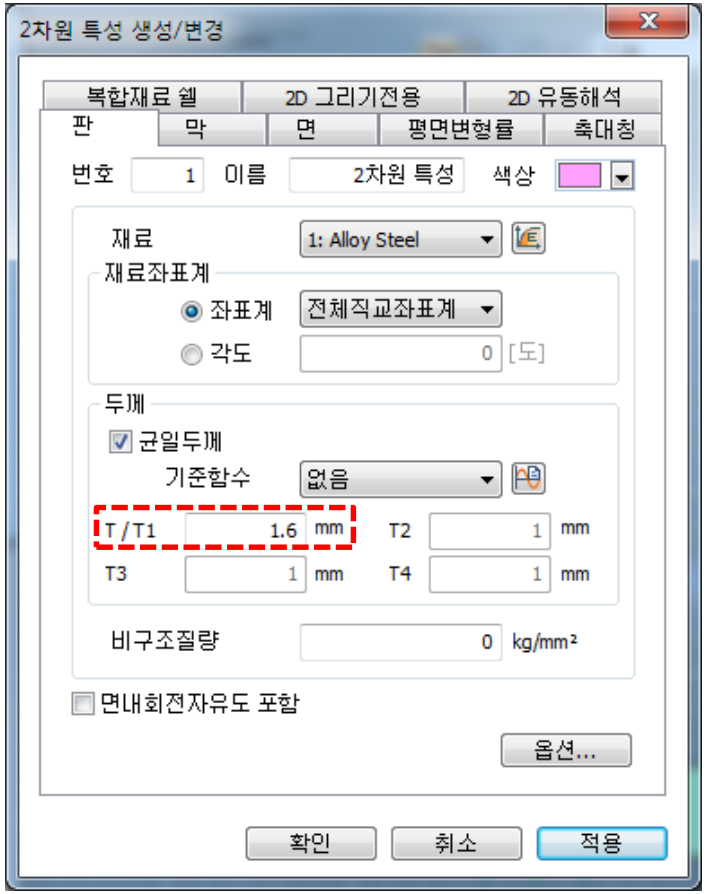
2. 합집합으로 면 병합 체크 해제상태에서 적용

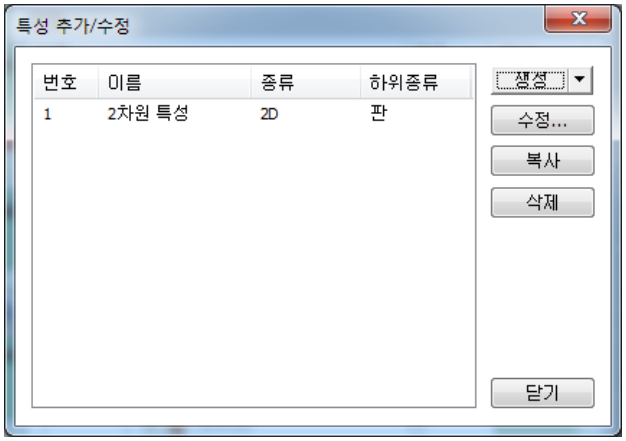
Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

재료 물성 및 특성 입력

1 두께 1.6 mm 인 판 특성 생성

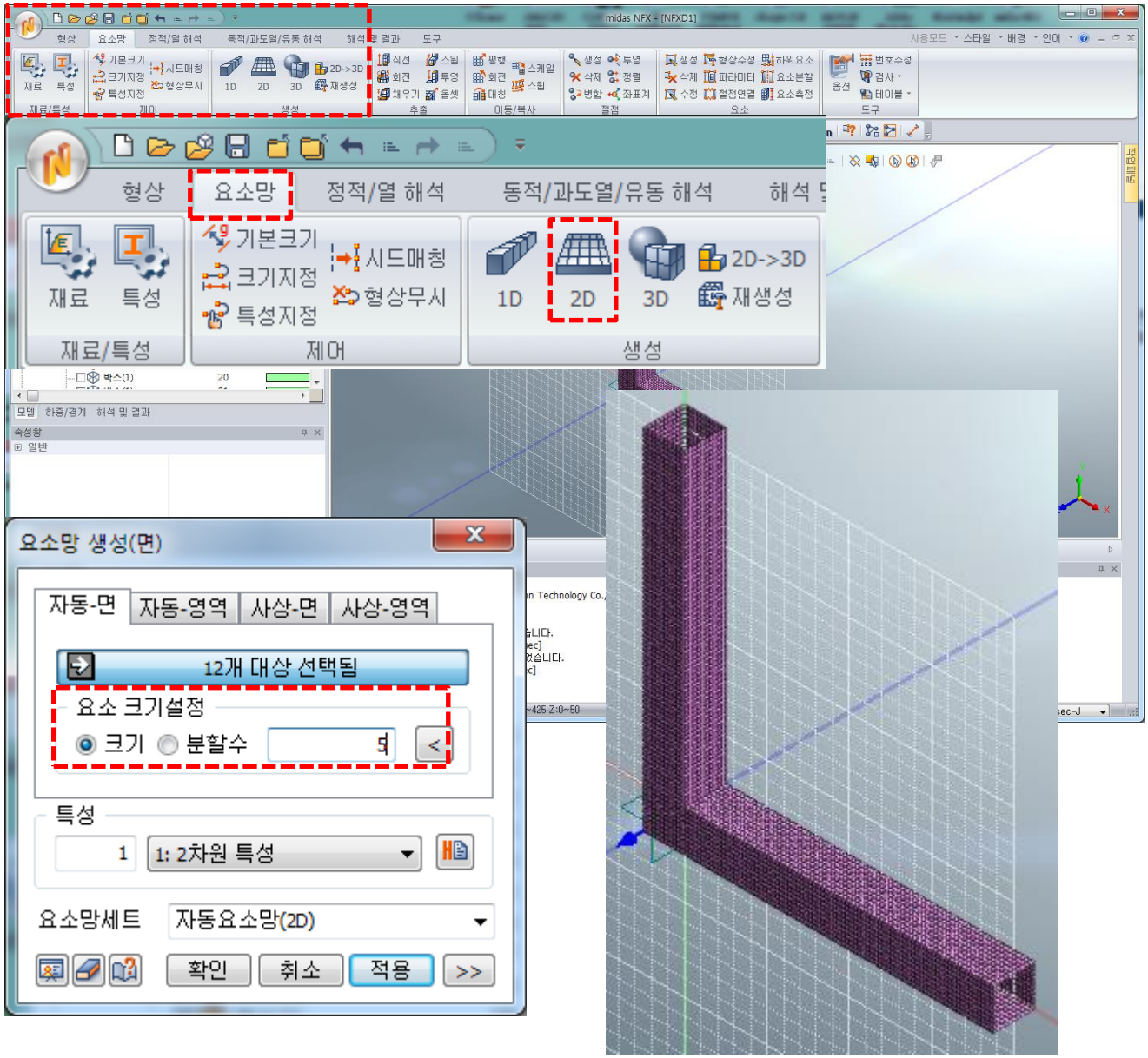
재료는 Alloy Steel 로 입력





Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

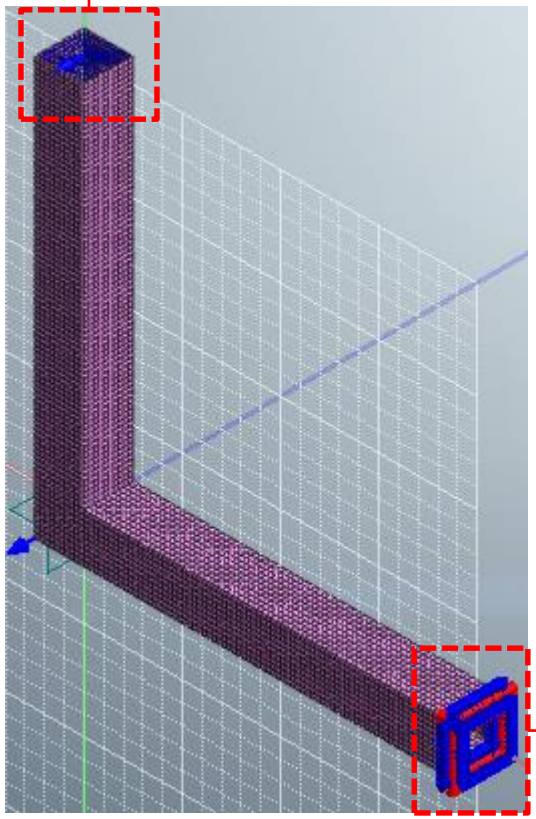
요소망 생성

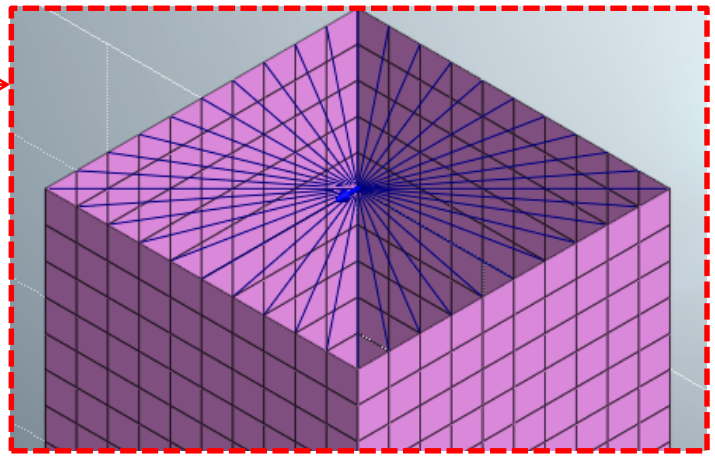


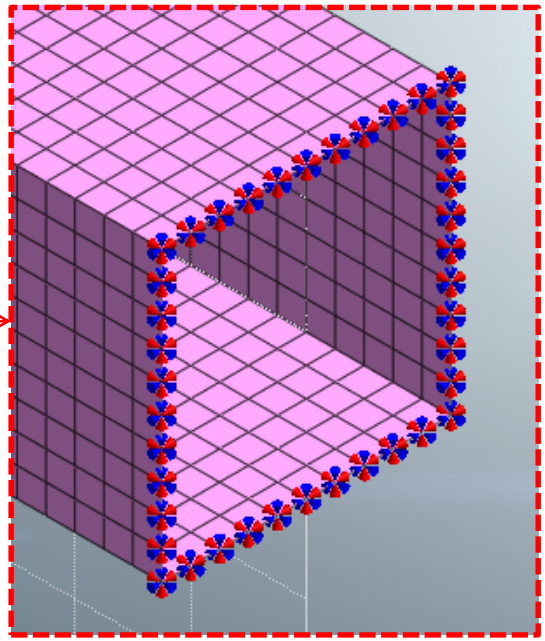
1 최 외곽 면들을 이용하여 요소 크기 5인 요소망 생성

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

구속조건 및 하중조건 설정







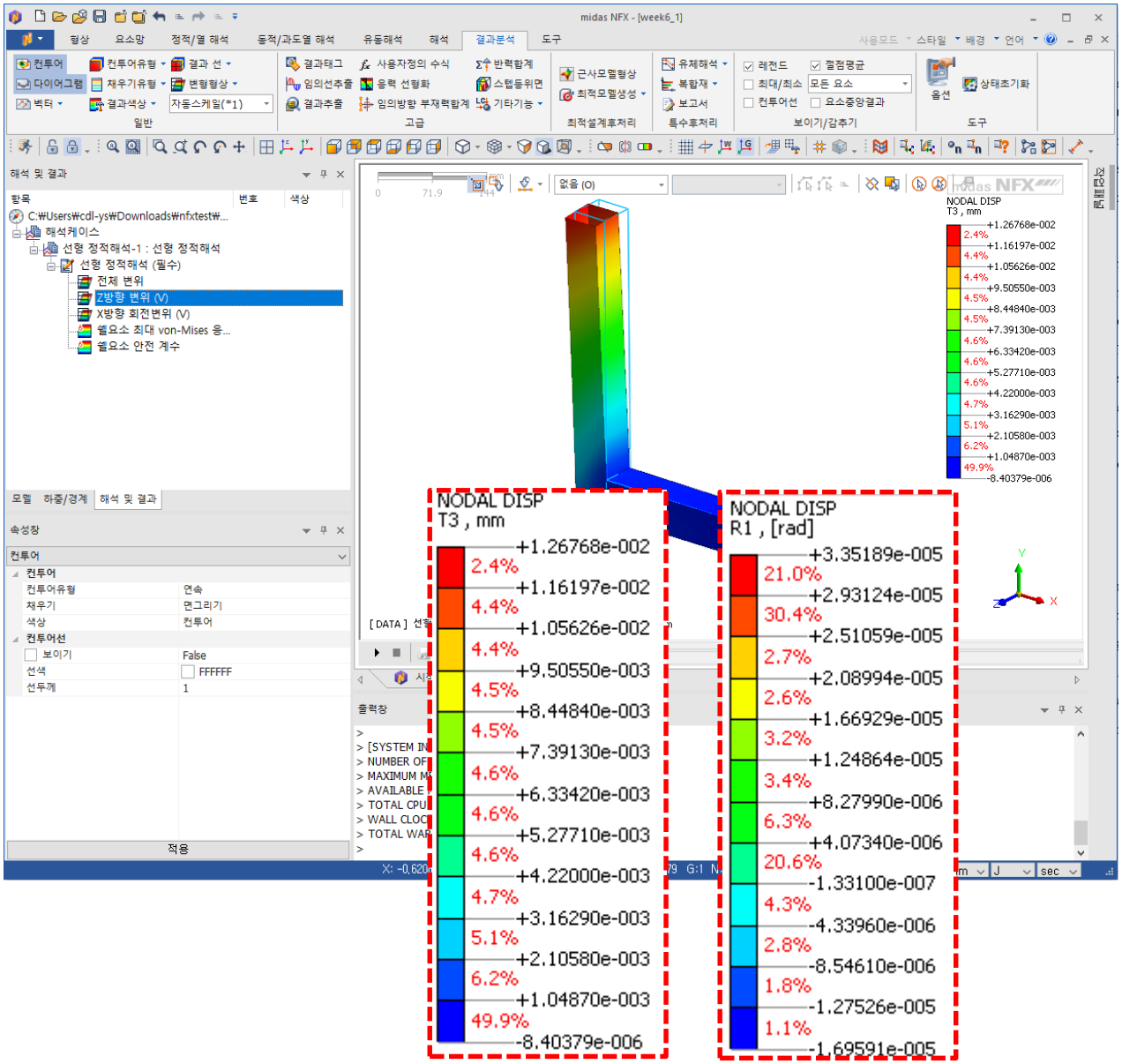
1 리모트 하중을 이용하여 (좌표지정) 평면에 수직한 방향으로 단위하중(1N) 입력

2 고정구속으로 구속조건 설정

3 선형 정적해석 수행

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

해석 결과



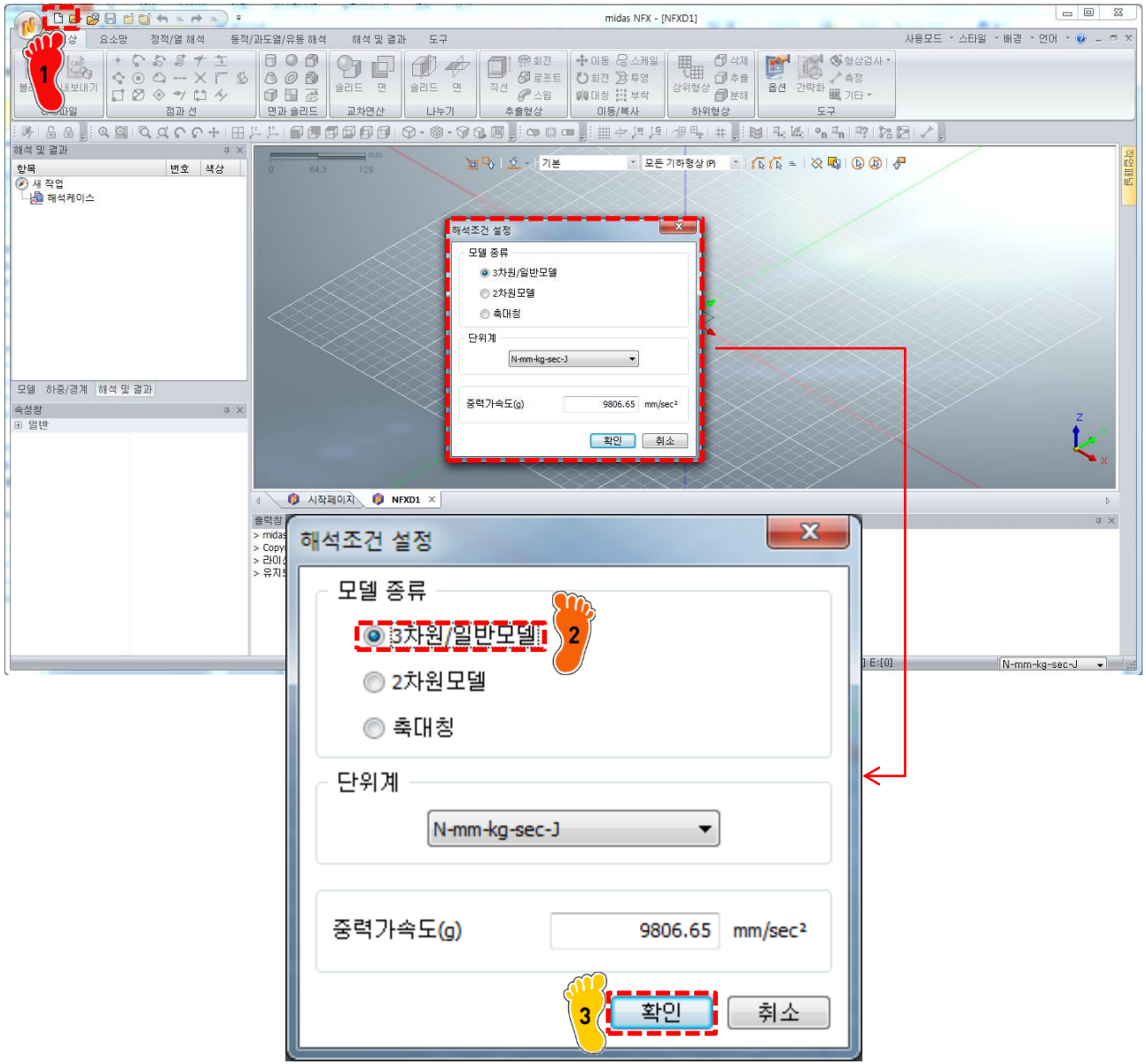
1 하중 방향 최대 변위는 1.27e-2 mm, 최대 회전은 3.35e-5 rad 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

JOINT STIFFNESS
빔 요소

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

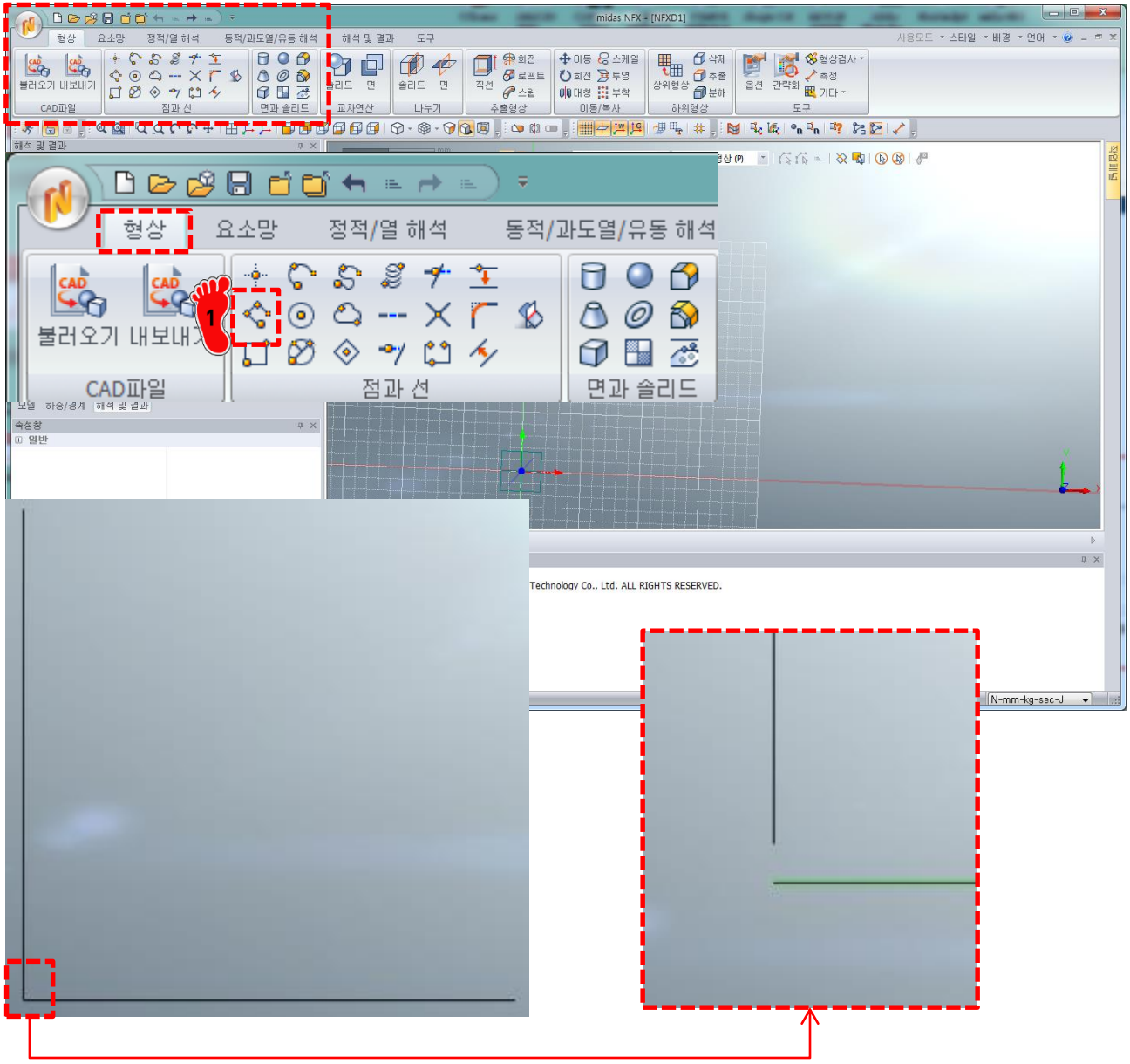
기하형상 생성 (1)



1. 새로 만들기 클릭
2. 3차원/일반모델 선택
3. 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

기하형상 생성 (2)

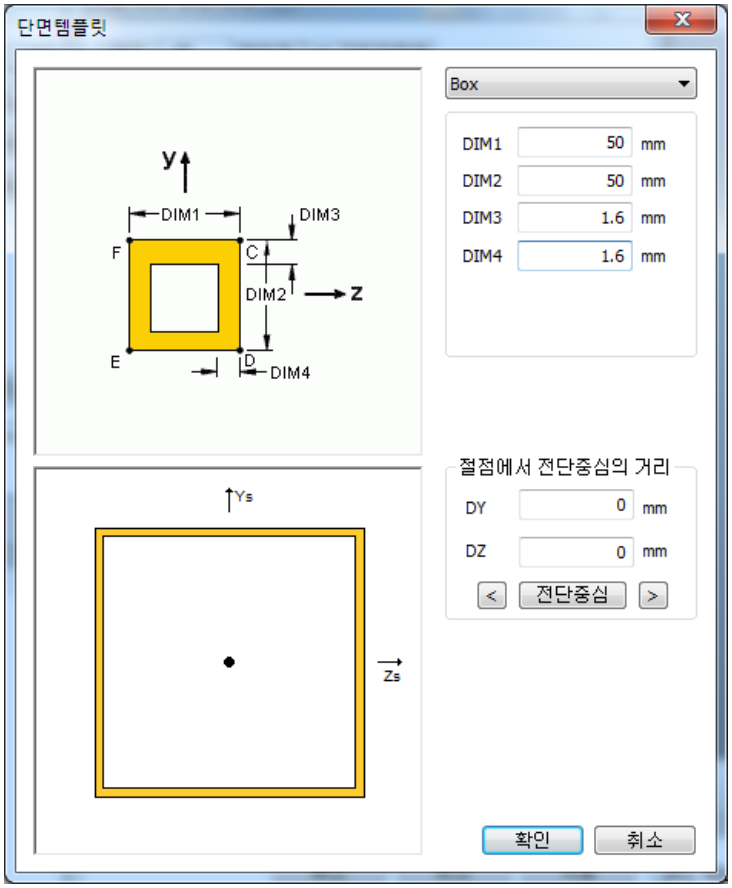


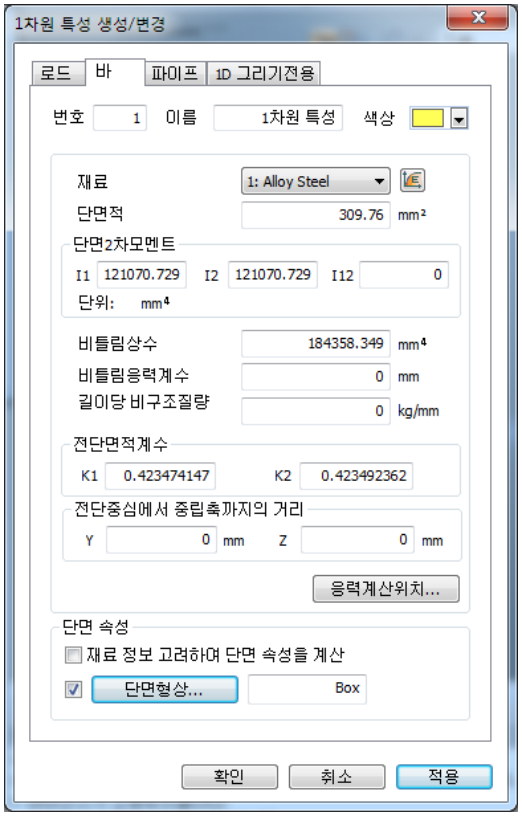
1 형상 탭 메뉴에서 점과 선 메뉴의 연결선을 이용하여 가로 세로 400 mm 인 ㄴ 자 형상을 생성

스프링을 부착할 부분을 0.5 mm 정도로 떨어트림

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

재료 물성 및 특성 입력



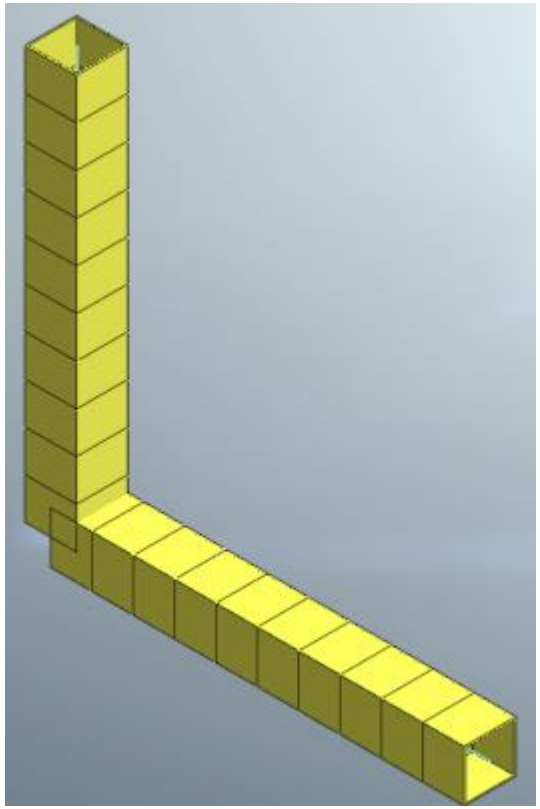


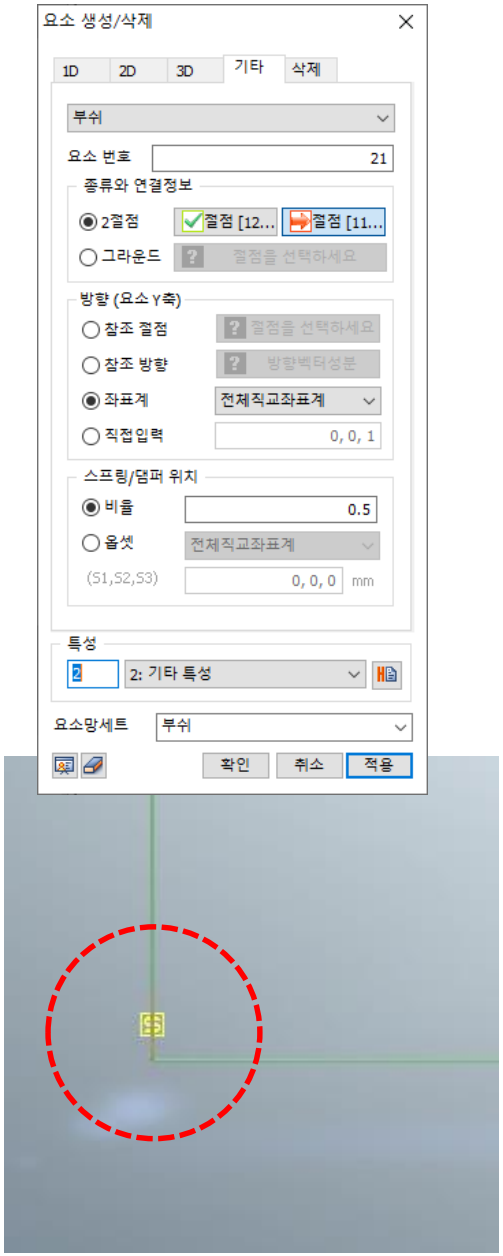
1 예제에서 주어진 단면 특성을 갖는 1차원 특성 생성

재료는 Alloy Steel 로 지정

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

요소망 생성





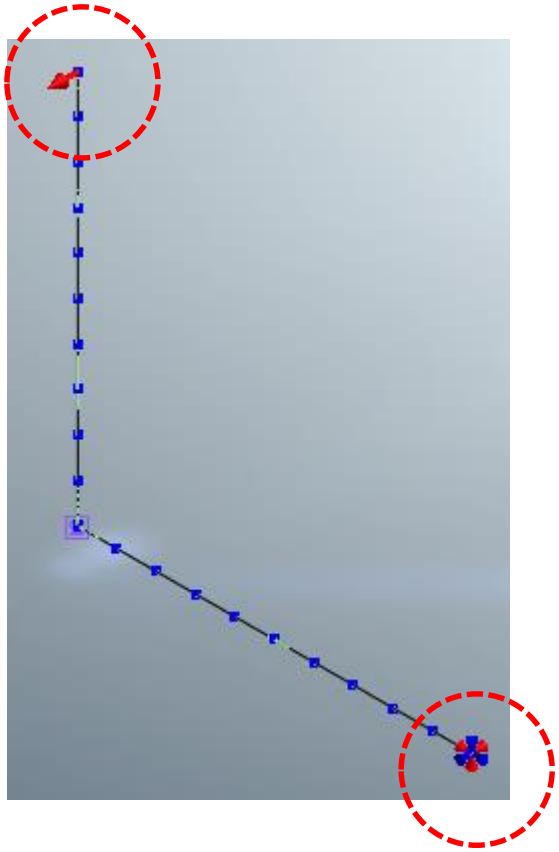
1. 1D 요소망 생성

2. 연결부위에 각 자유도에 맞는 스프링 6개 생성 또는 부쉬 요소 1개 생성

   강성 값은 1e10 으로 입력

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

구속조건 및 하중조건 설정



1 예제와 동일하게 구속 조건 및 하중 조건 설정

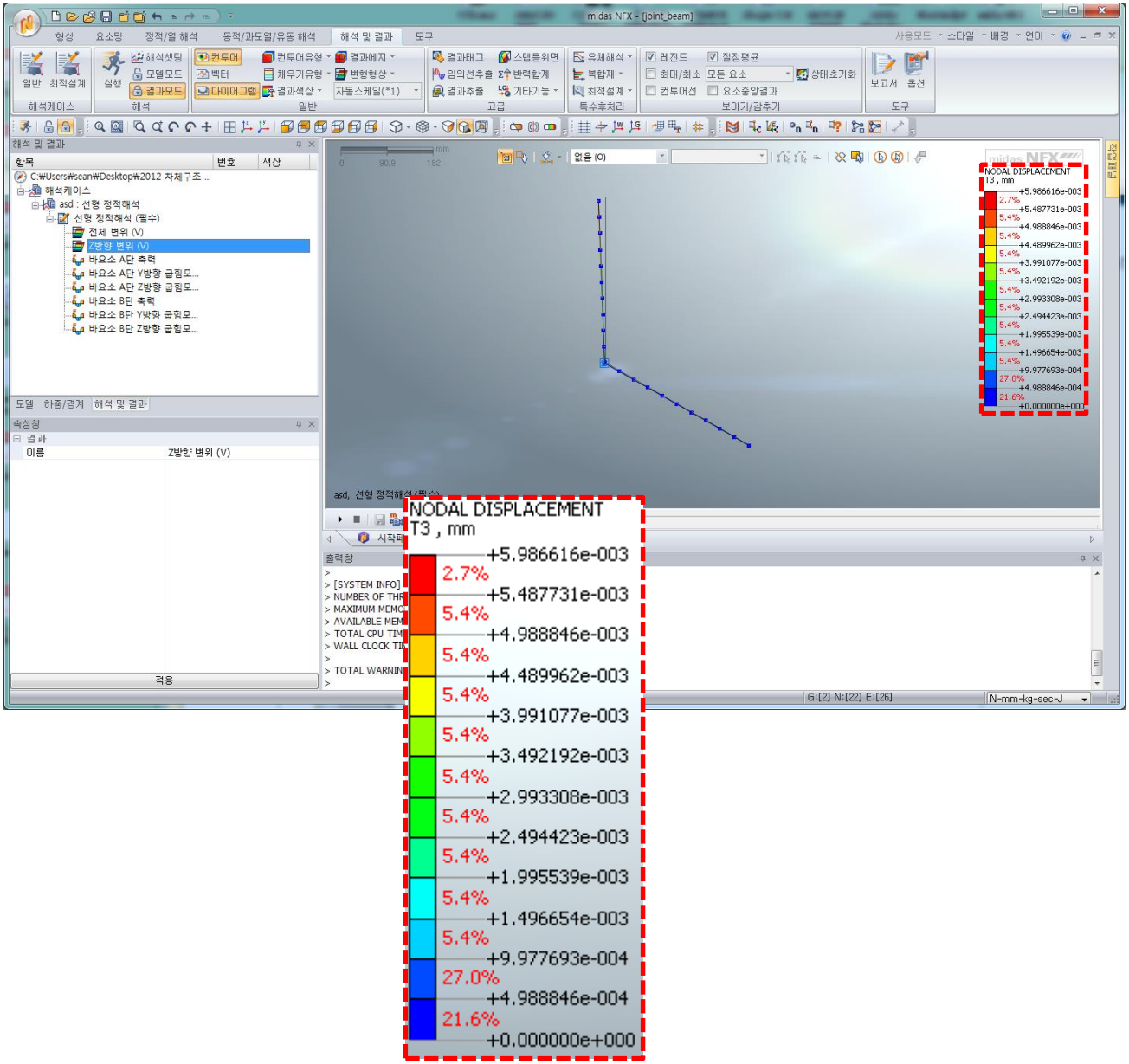
구속 조건은 고정 구속
하중 조건은 면외 방향으로 단위하중

입력

2 선형정적해석 수행

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

해석 결과



1

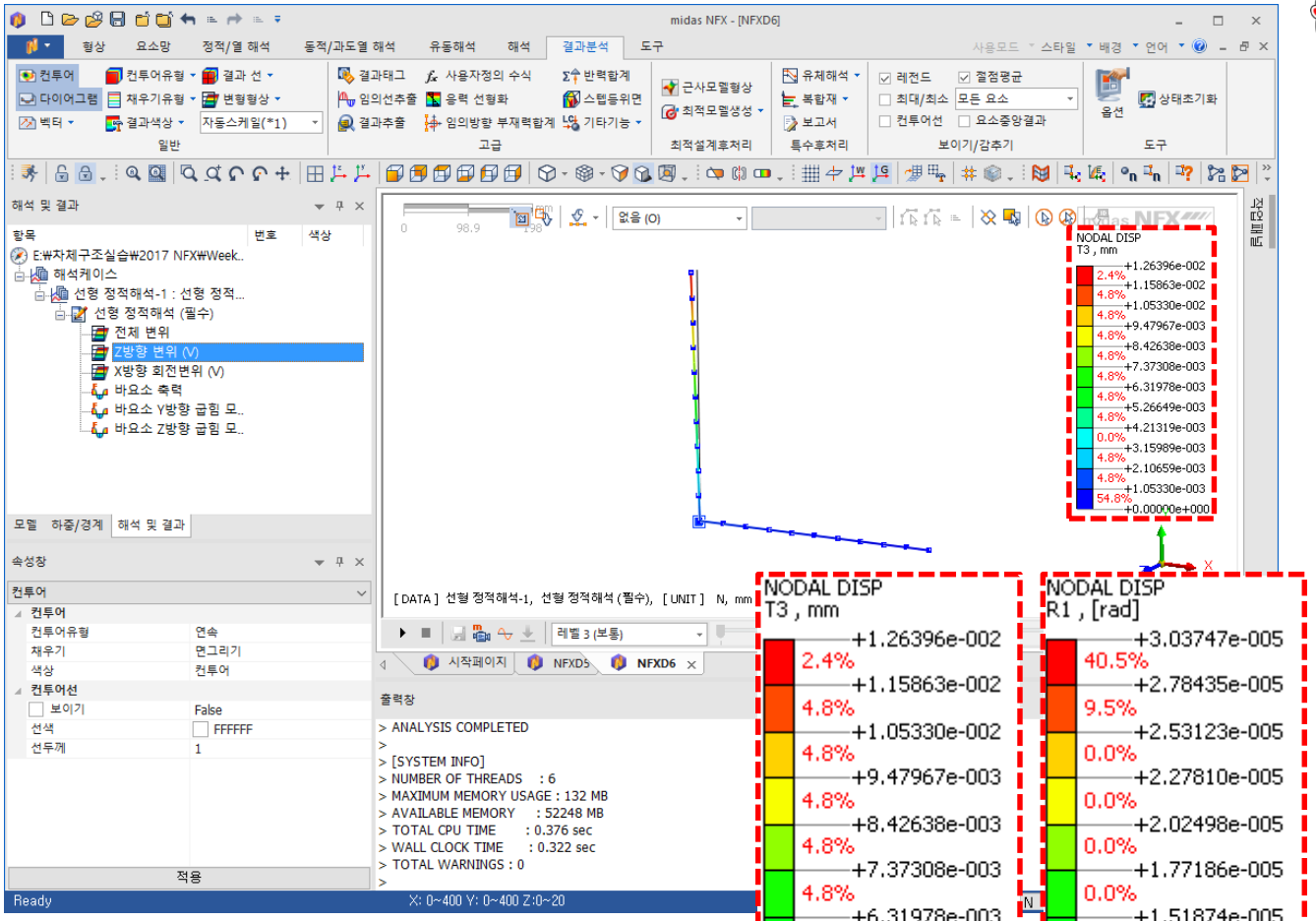
최대 변위는 5.986e-3 mm 로 기존 쉘 요소의1.269e-2 mm 보다 강성이 높은 것으로 확인

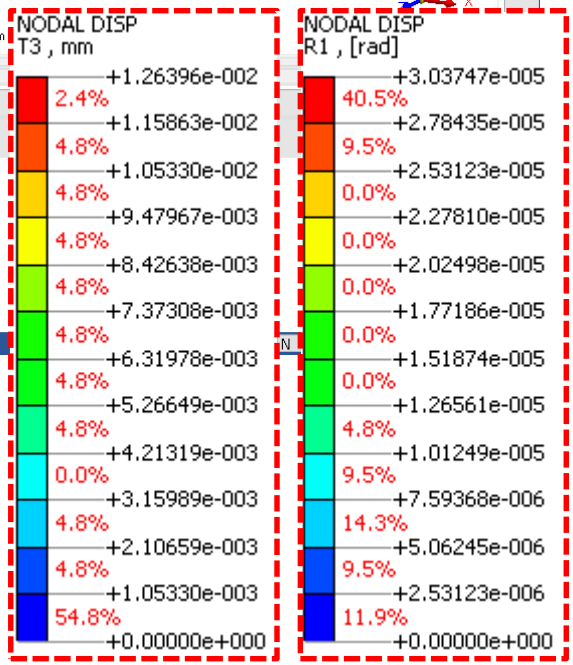
따라서 스프링 강성을 변화시키면서 기존 쉘 요소의 변위를 갖는 강성을 시행착오법으로 구함
(Rx 스프링 강성 변경)

찾은 스프링 강성 값은 2.4e7 N/rad

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

해석 결과: 스프링 상수 변경





1 스프링 상수 변경 후 최대 변위는 1.26e-2 mm 로 기존 쉘 요소의 1.27e-2 mm 과 유사한 것을 확인

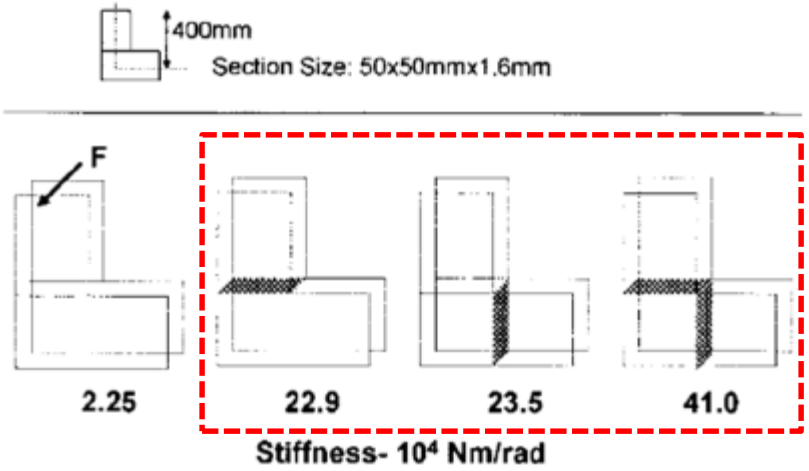
스프링 상수 변경 후 회전변위는 3.04e-5 rad로 쉘 요소의 3.35e-5 rad과 10% 정도의 오차를 가짐

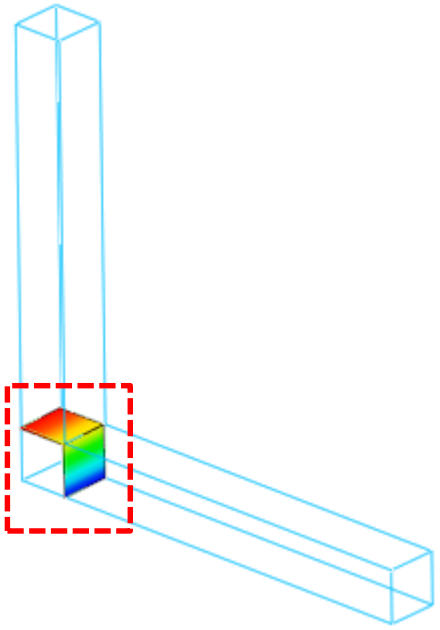
Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

연습문제: BULKHEAD 효과

- Bulkhead 를 모델링하여 해석 수행 후 강성 비교

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





해석 결과 (T/θ)	1.36	2.95	3.03	3.25

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

비선형 거동을 고려한 조인트 설계

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

비선형 정적 해석 개요

선형 거동이란?

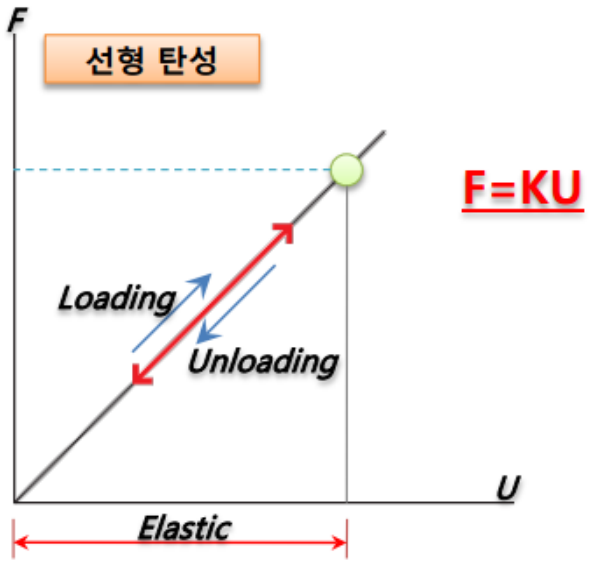
➢ 유한요소 해석에서 가장 기본이 되는 식은 다음과 같다.

{F} = [K]{U}

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

➢ 강성행렬이 일정한 값을 가지는 경우 하중과 변위는 선형 관계에 있다고 한다.

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

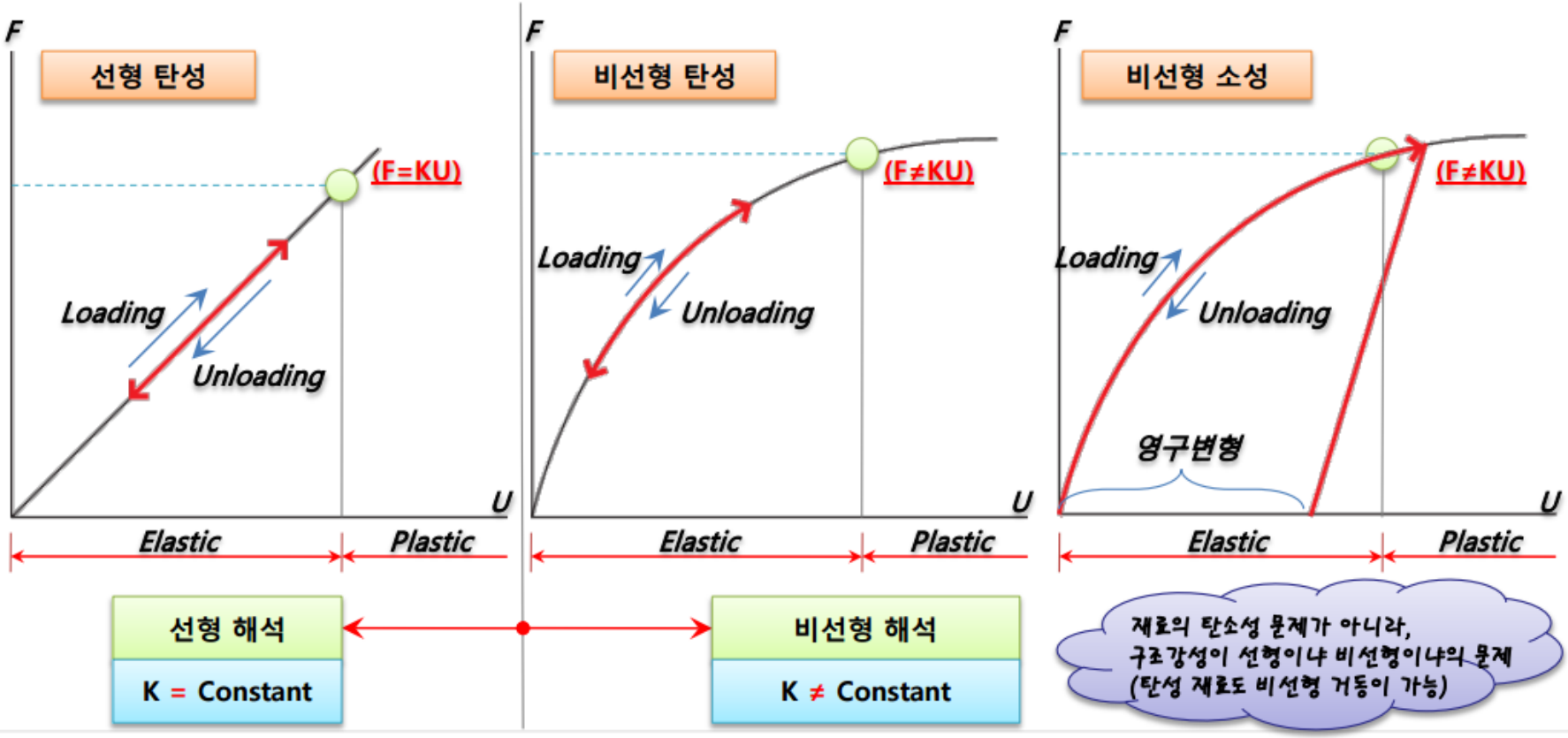


Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

비선형 정적 해석 개요

비선형 거동이란?

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



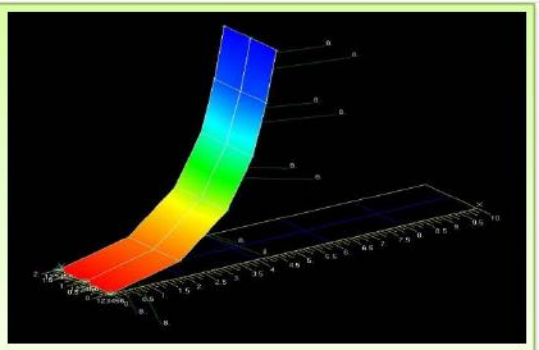
Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

비선형 정적 해석 개요

비선형 정적 해석의 종류

비선형 정적 해석

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

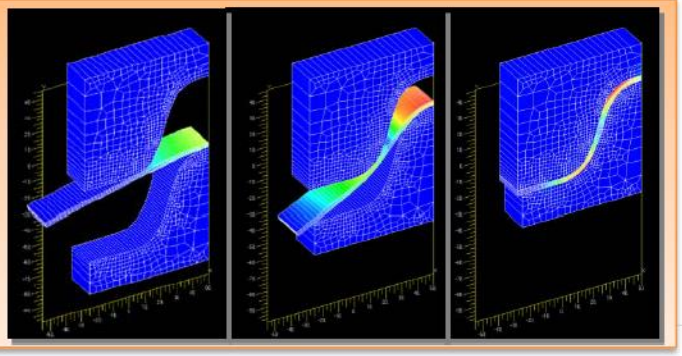


- 재료 비선형
  - ➢ 비선형 탄성재료(Nonlinear Elastic)
  - ➢ 소성재료(Plasticity)
  - ➢ 초탄성재료(Hyperelasticity)

비선형 탄성(Nonlinear Elastic)

탄소성(Elasto-plastic)

- 접촉 비선형
  - ➢ 접촉(Contact)



Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

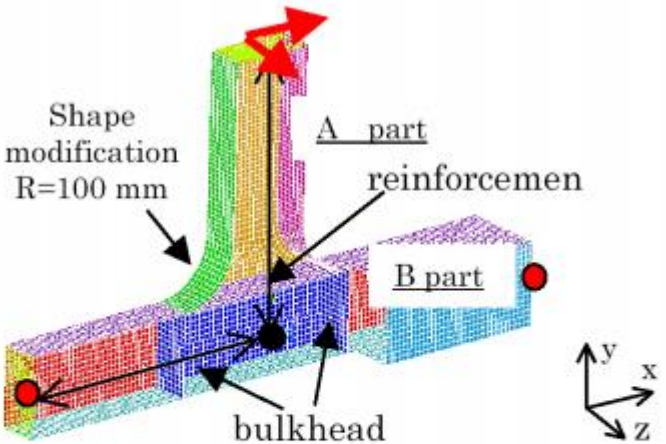
예제: JOINT ANALYSIS

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

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

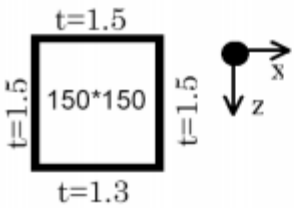
Noboru Kikuchi
The department of Mechanical Engineering at the University of Michigan

Copyright © 2003 SAE International

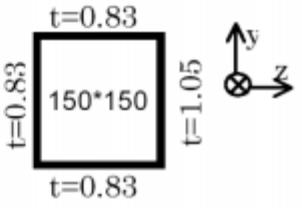


E(young modulus) $= 203000\left(N/mm^2\right)$

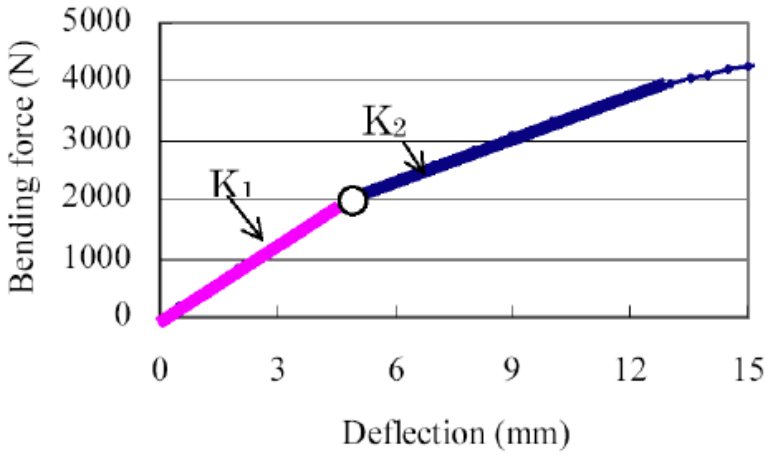
υ(poisson ratio) $= 0.3$



Cross section of A part

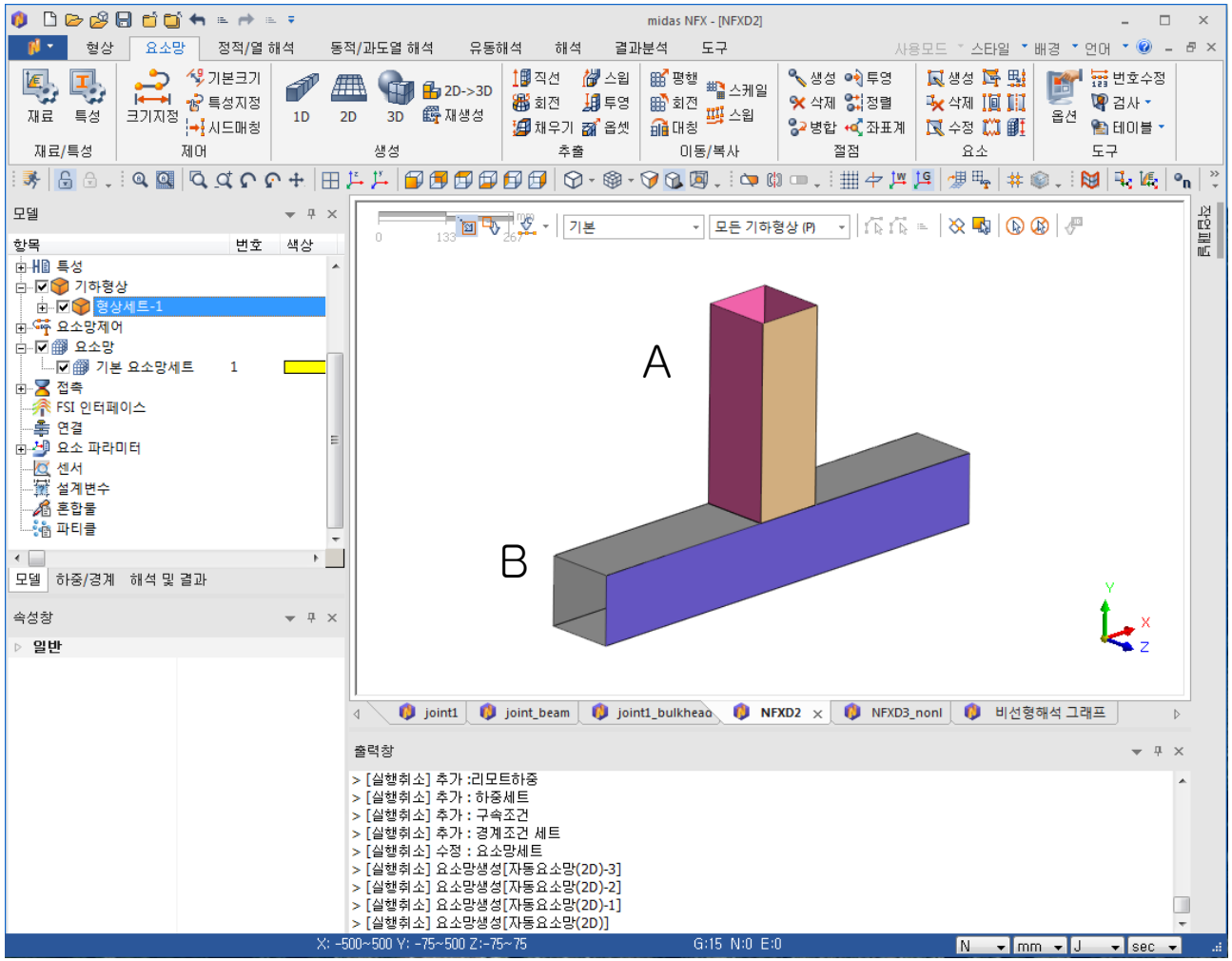


Cross section of B part



Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

기하형상 생성

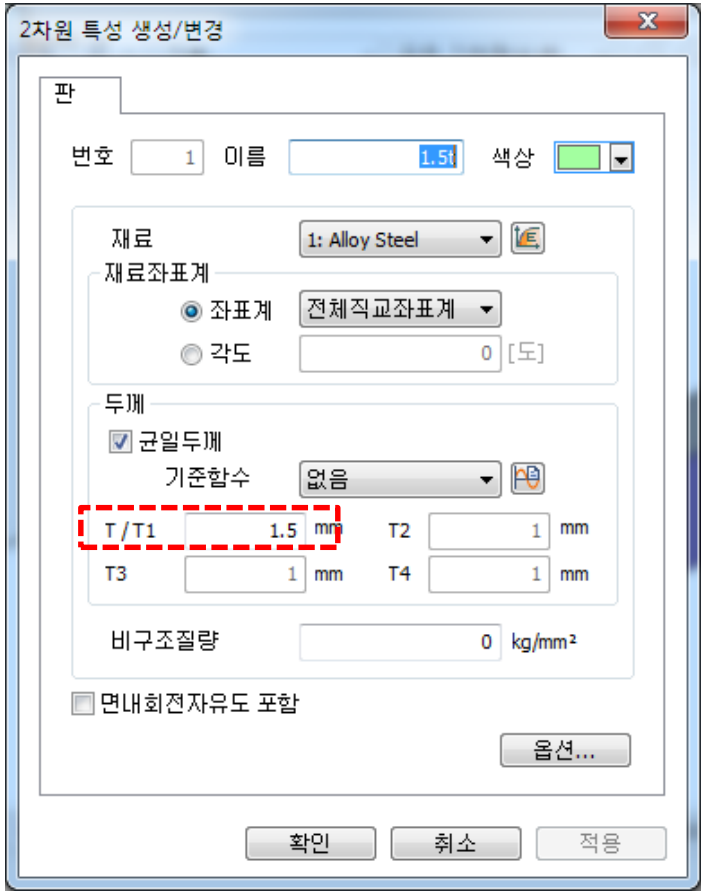


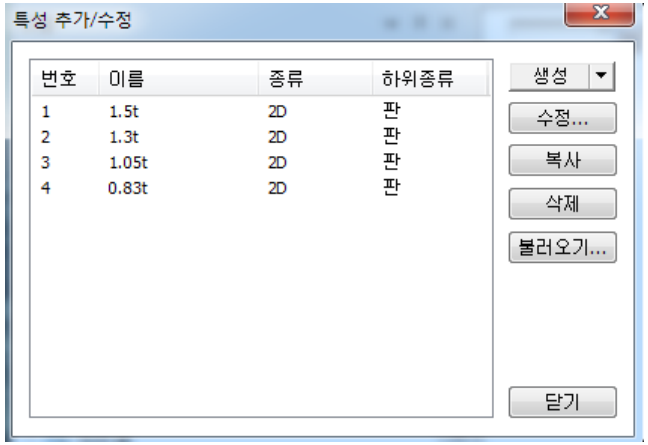
1 예제의 형상을 바탕으로 A, B 파트 생성

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

재료 물성 및 특성 입력

1 재료 물성치 및 특성 생성



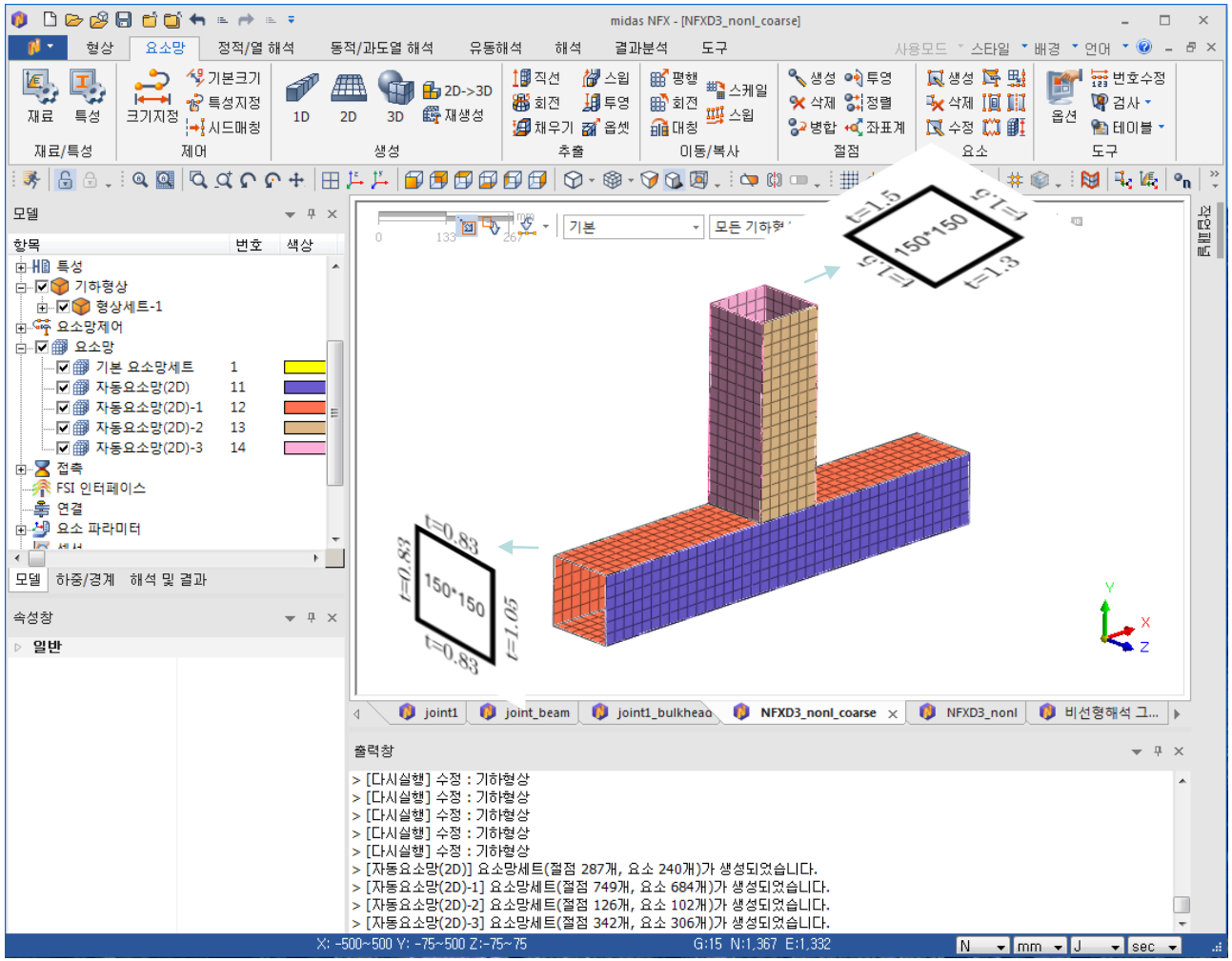


$$E(\text{young modulus}) = 203000\left(N/mm^2\right)$$

$$\upsilon(\text{poisson ratio}) = 0.3$$

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

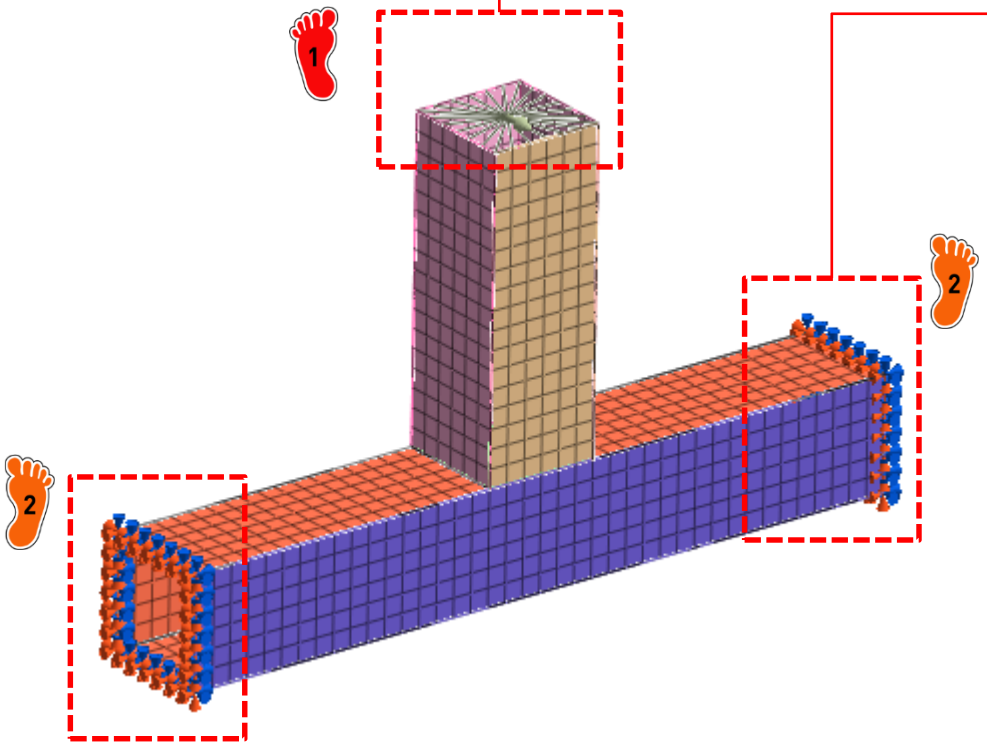
요소망 생성



1 두께를 고려한 특성을 적용하여 요소 크기 25인 요소망 생성

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

구속조건 및 하중조건 설정

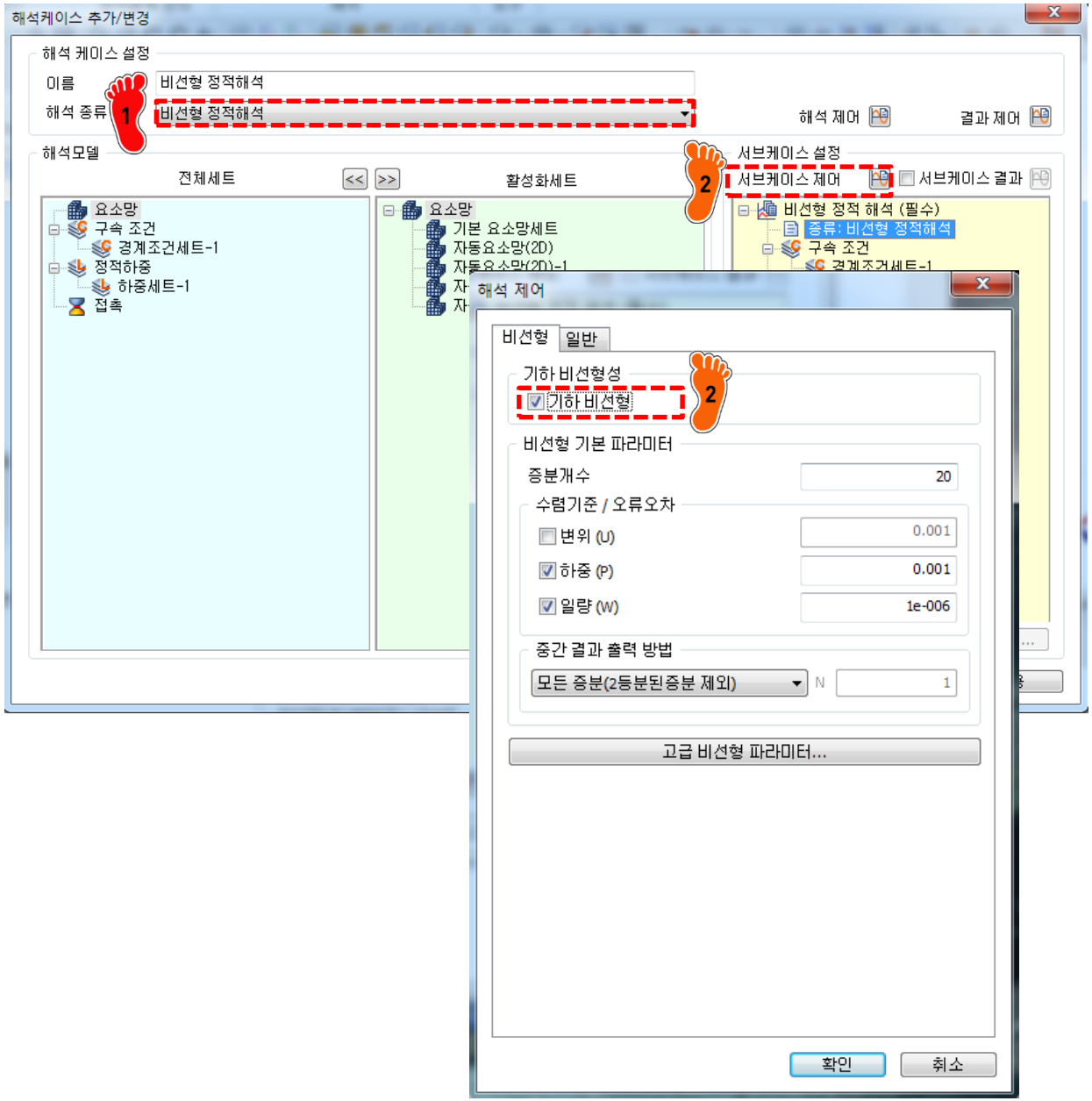


1 리모트 하중을 이용하여 평면에 수직한 방향(z)으로 6000N 입력

2 고정구속으로 구속조건 설정

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

해석 케이스 정의 및 해석 실행

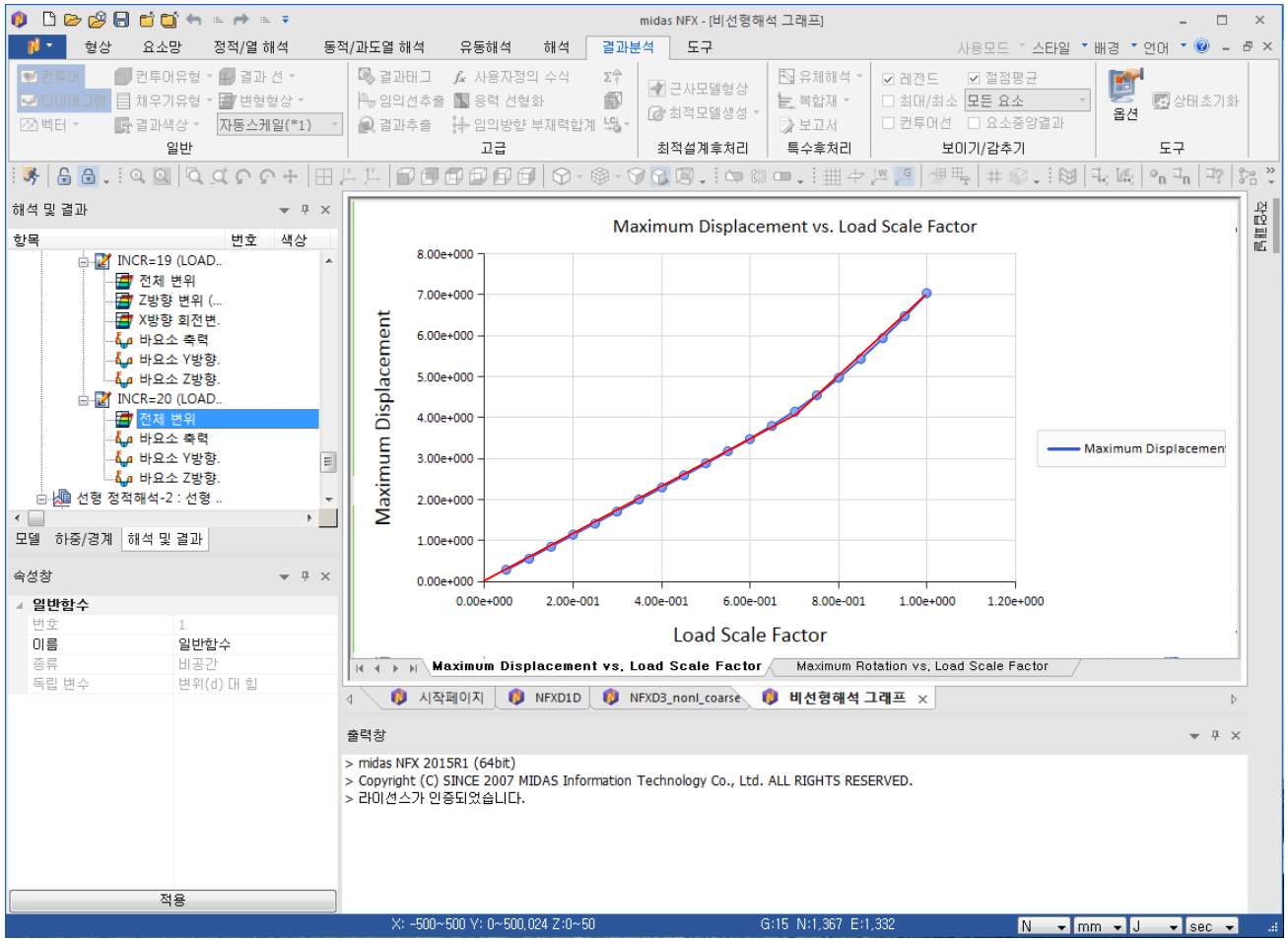


1 비선형 정적해석으로 해석 수행

2 서브케이스 제어에서 '기하 비선형' 선택

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

해석 결과

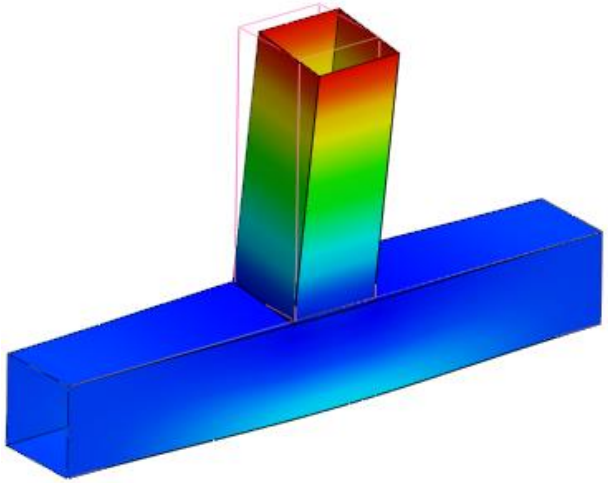


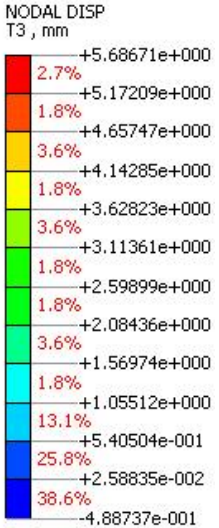
1 하중에 따라 최대 변위결과가 비선형성을 보임

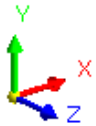
Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

해석 결과

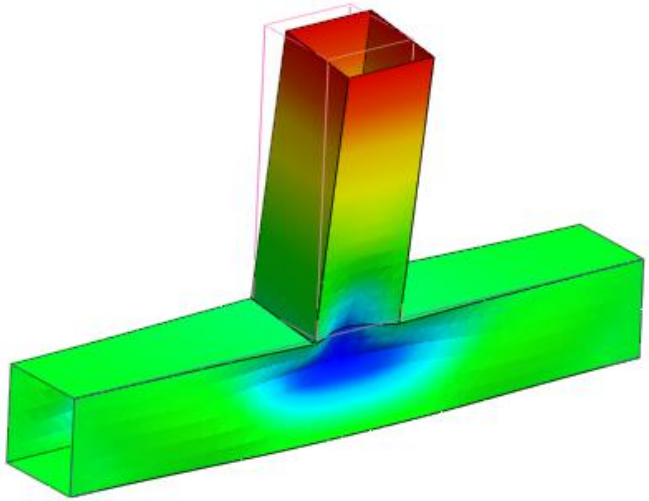
선형 해석
변형 결과

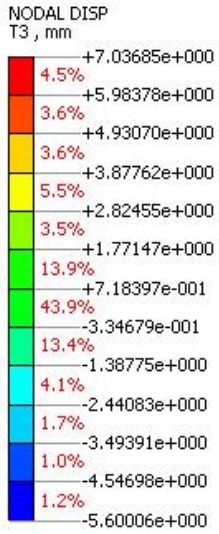






비선형 해석
변형 결과





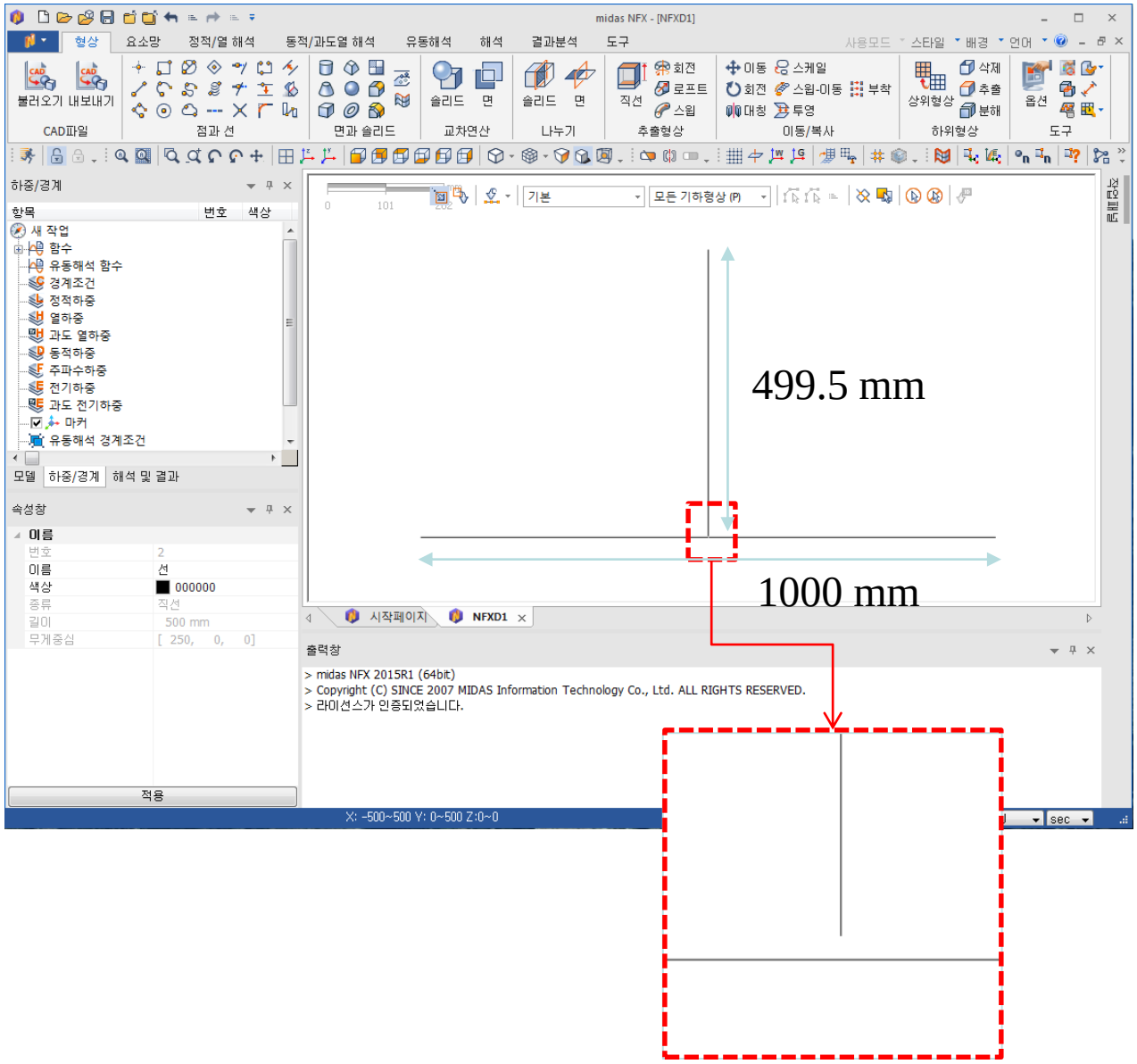
1 선형 해석의 경우 5.69 mm, 비선형 해석의 경우 7.04 mm 의 변형 결과를 보임

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

비선형 거동을 고려한 조인트 설계 : 1D 모델링

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

기하형상 생성

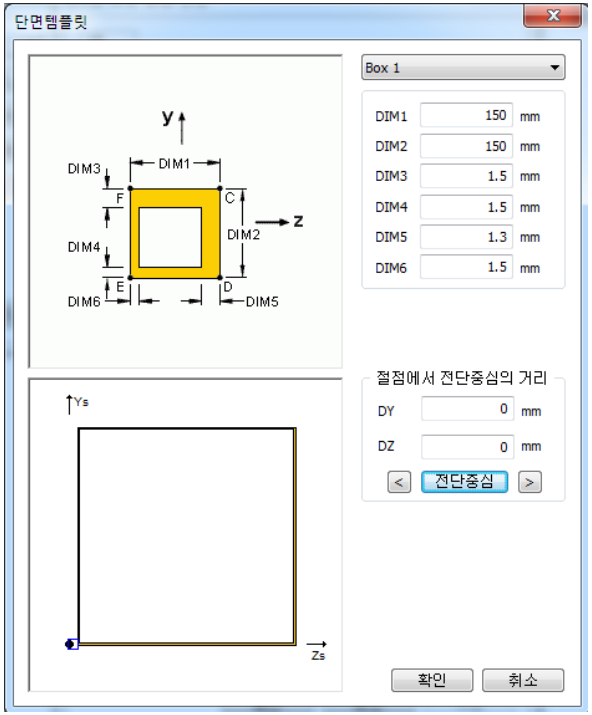


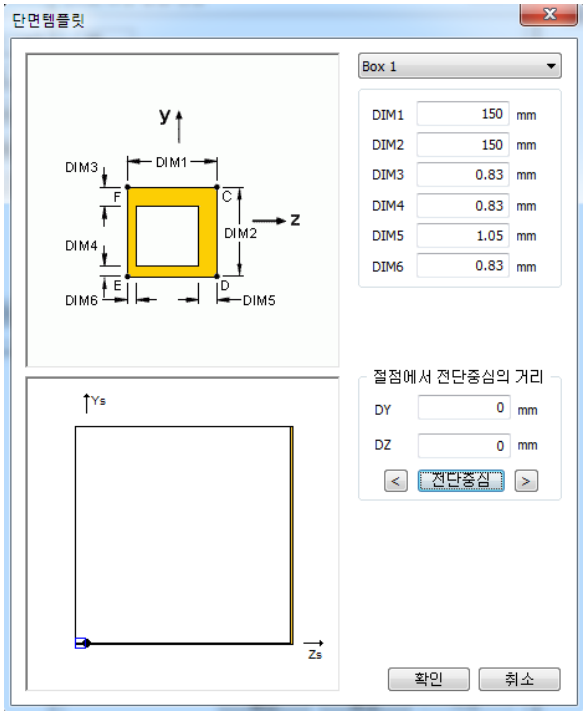
1 형상 탭 메뉴에서 점과 선 메뉴의 연결선을 이용하여 라인 생성
(하단 라인은 한번에 생성)

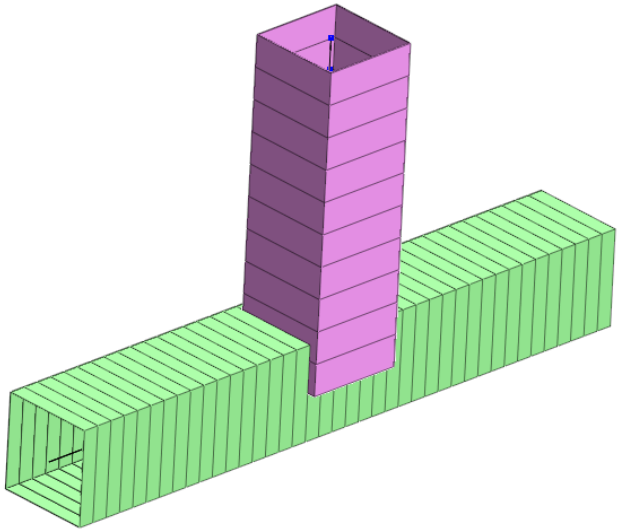
스프링을 부착할 부분을 0.5 mm 정도로 떨어트림

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

재료 물성/특성 입력 및 요소망 생성







1. 예제에서 주어진 단면 특성을 갖는 1차원 특성 생성

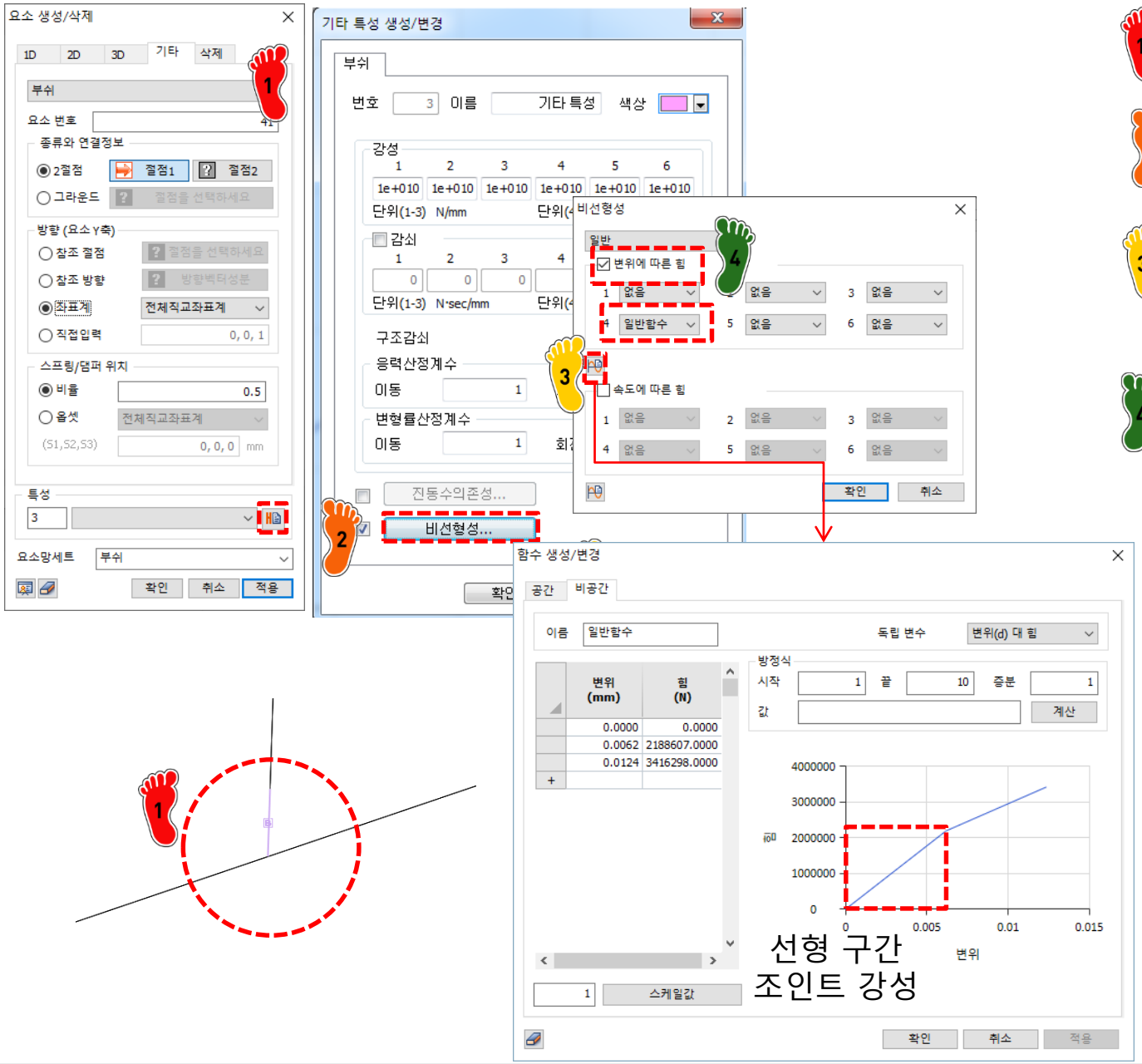
2. 각 특성에 맞도록 요소망 생성
(상단 10개, 하단 20개)

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

$$\upsilon(\text{poisson ratio}) = 0.3$$

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

비선형 부쉬 특성 생성

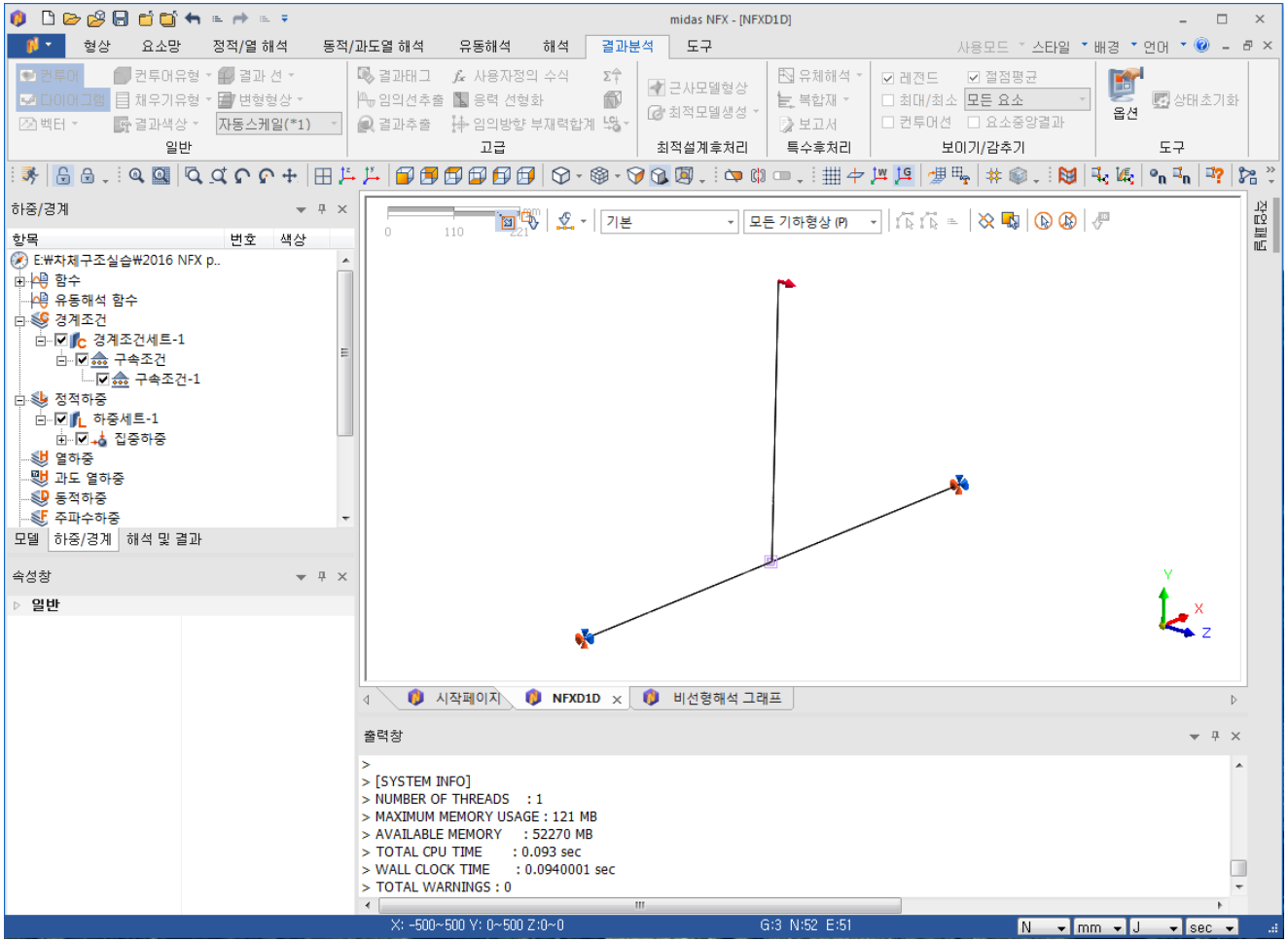


1. 부쉬 생성
2. 특성에서 비선형성 선택
3. 함수 기능을 이용하여 강성 입력
4. '변위에 따른힘 ' 을 선택하고 생성한 함수를 선택

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

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

구속조건 및 하중조건 설정

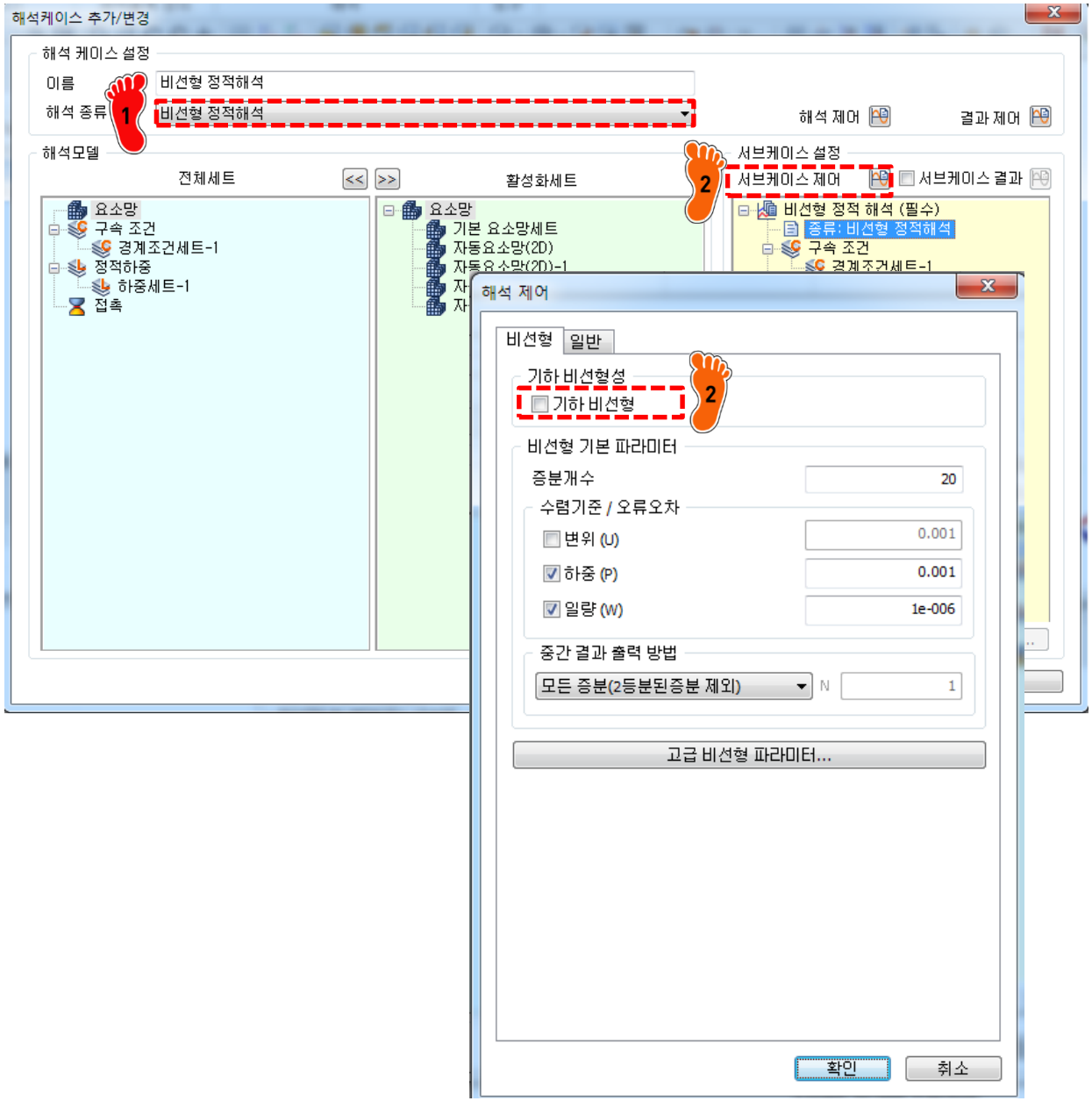


1 예제와 동일하게 구속 조건 및 하중 조건 설정

구속 조건은 고정 구속
하중 조건은 면외 방향으로 6000N 하중입력

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

해석 케이스 정의 및 해석 실행

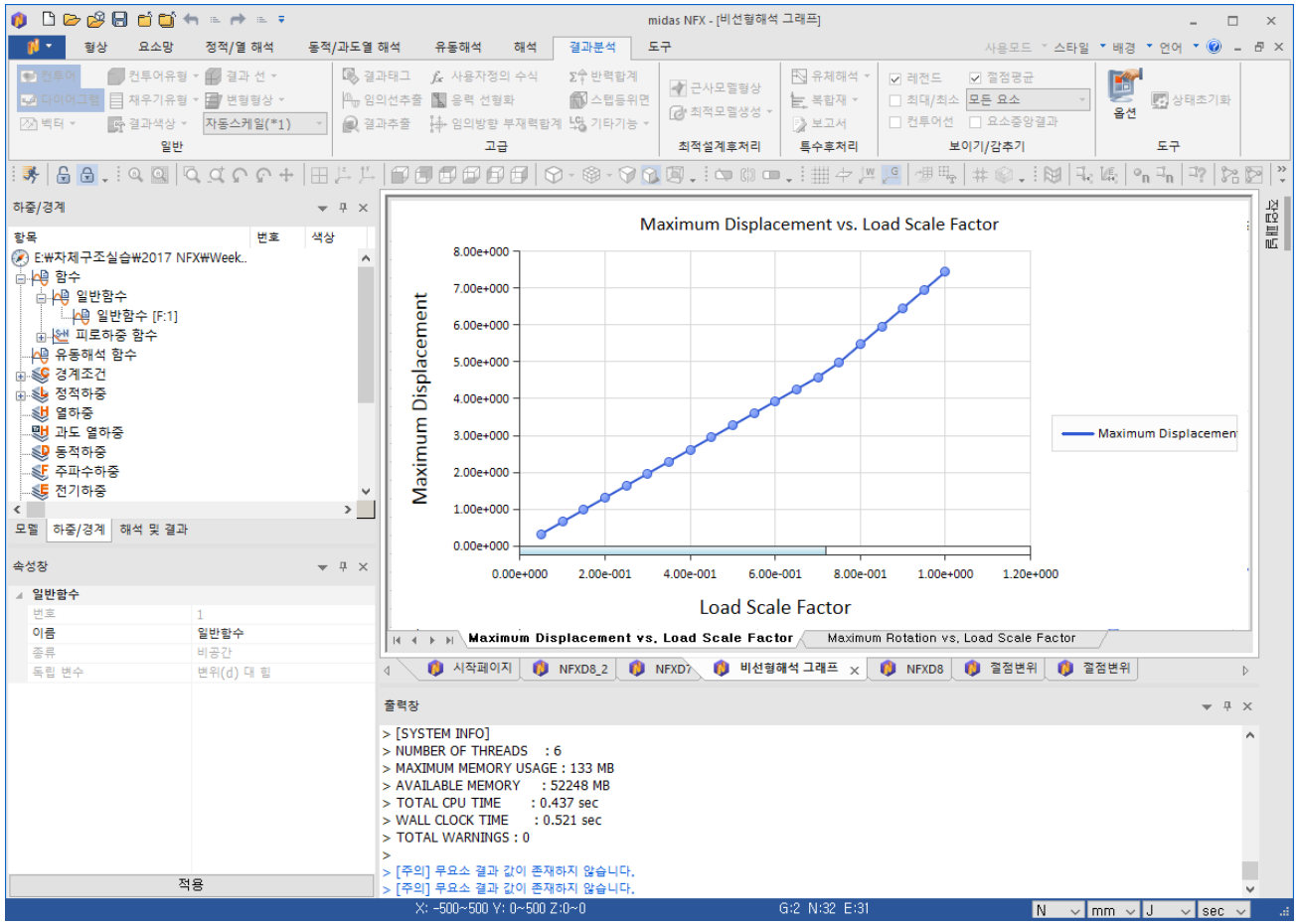


1 비선형 정적해석으로 해석 수행

2 서브케이스 제어에서 '기하 비선형' 선택 x

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

후처리

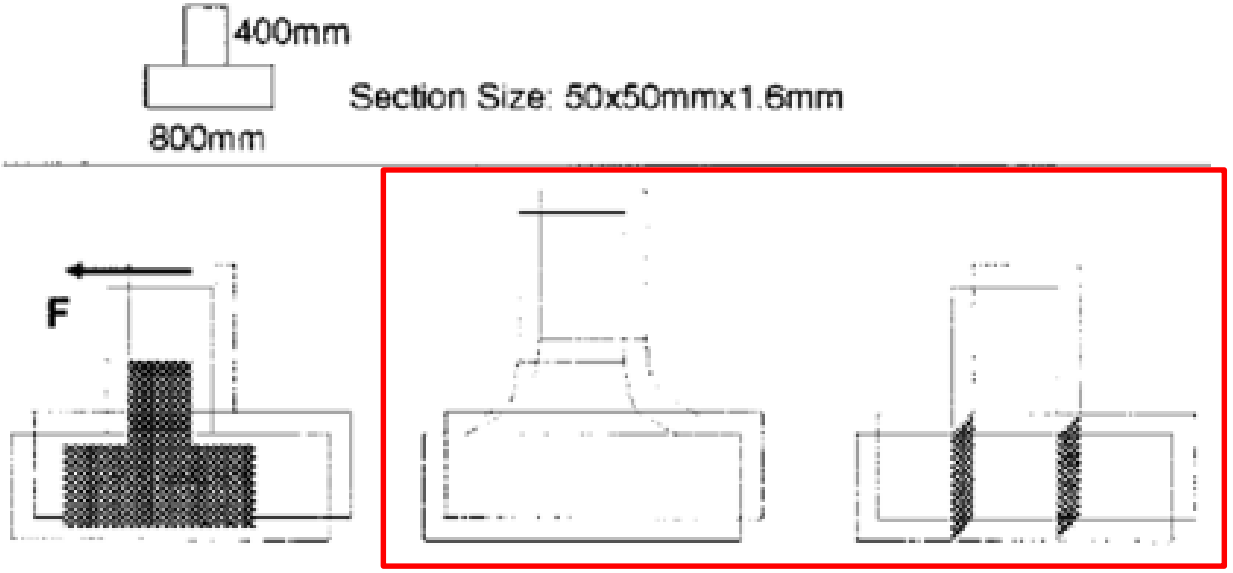


1 기존 쉘 모델과 유사한 거동을 하는지 확인

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

숙제

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



Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.