

# Nonlinear Static Analysis

(비선형 정적 해석)

## 선형 거동이란?

➤ 유한요소 해석에서 가장 기본이 되는 식은 다음과 같다.

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

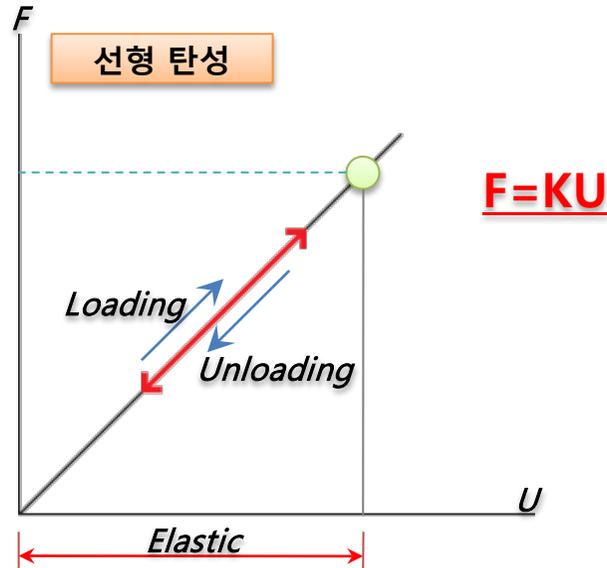
{F} : 하중 벡터

{U} : 변위 벡터

[K] : 강성 행렬(Stiffness Matrix)

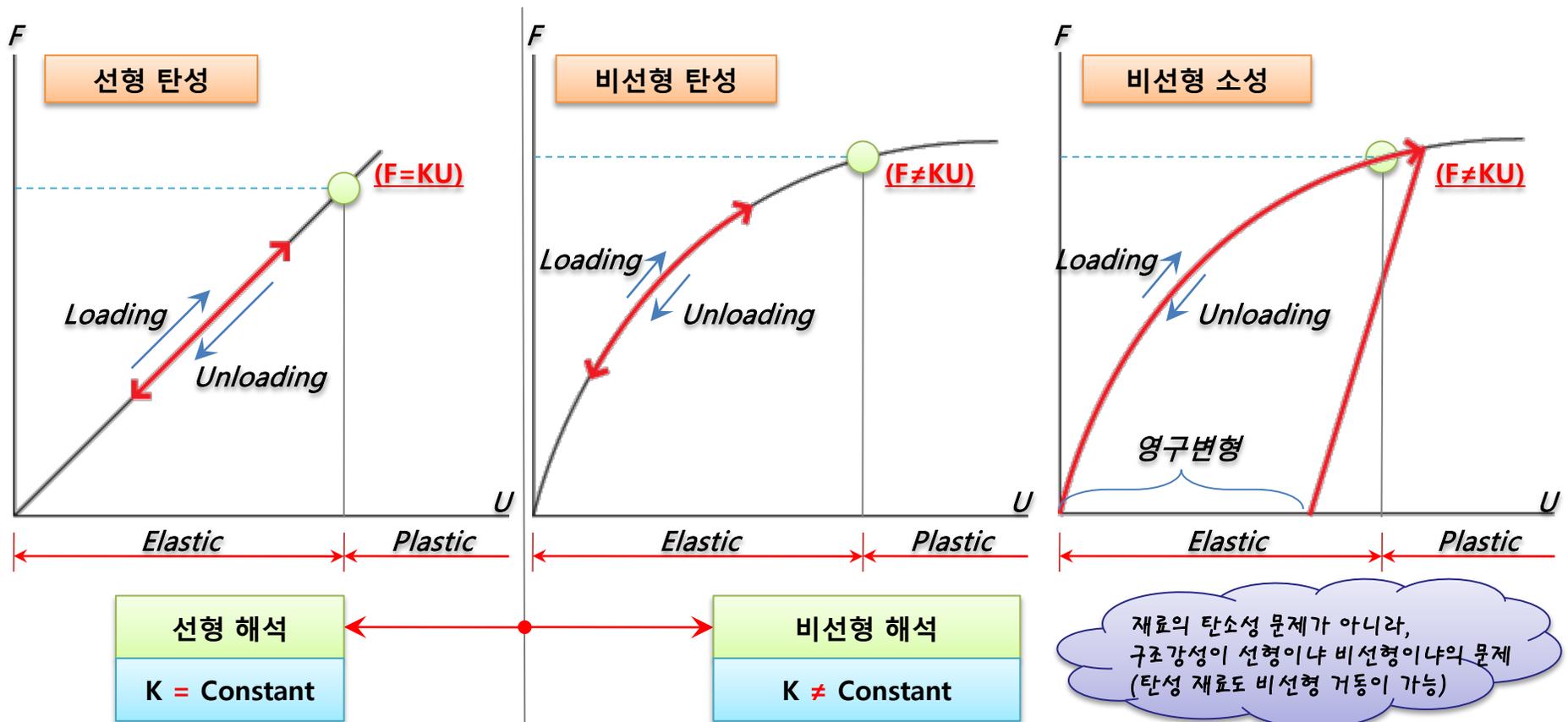
➤ **강성행렬이 일정한 값**을 가지는 경우 하중과 변위는 선형 관계에 있다고 한다.

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



## 비선형 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.



## 구조 강성이 변하는 주요 요인

### 1. 기하 비선형 (Geometric Nonlinearities)

변위 또는 회전량이 커짐으로써 하중의 작용방향과 분포, 크기가 달라지는 문제

### 2. 재료 비선형 (Material Nonlinearities)

하중이 가해짐에 따라 재료의 특성이 비선형성을 나타내는 문제

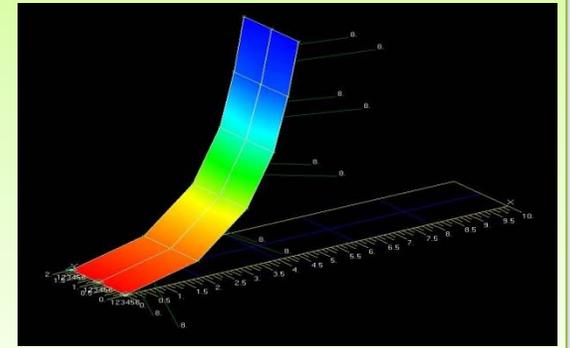
### 3. 경계 비선형 (Change Status) or 접촉 비선형

요소간 경계부분의 비선형이나 경계조건의 변화로 인해 생기는 접촉

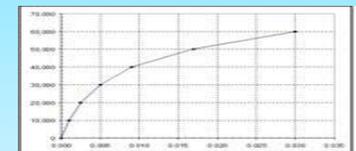
## 비선형 정적 해석의 종류

비선형  
정적 해석기하  
비선형

- 대변형률(Large Strain)
- 대변형(Large Deformation)
- 대회전(Large Rotation)

재료  
비선형

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



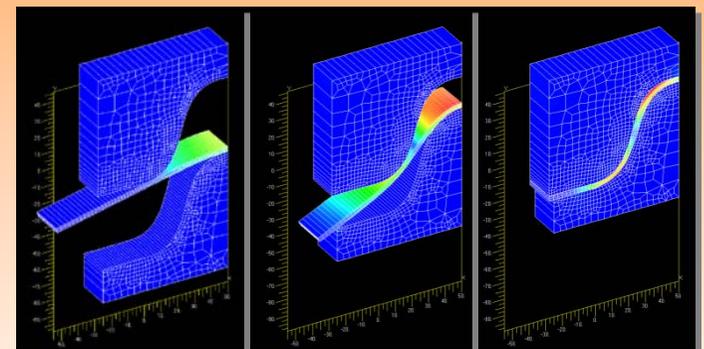
비선형 탄성(Nonlinear Elastic)



탄소성(Elasto-plastic)

접촉  
비선형

- 접촉(Contact)



## 선형 거동과 비선형 거동

## &lt;선형 거동&gt;

Small Displacement, Small Rotation  
(미소변위, 미소회전)

변형

## &lt;비선형 거동&gt;

Large Displacement, Large Rotation  
(대변형, 대화전)

Elastic Material  
(Stress-Strain 관계식이 선형적)

재료

Plastic Material, Non Linear Elastic  
(소성재료, 비선형 )

Support do not change  
(연속성 확보)

경계  
변화

Gap which open or close  
(인근 파트사이에 갭 발생 또는 접촉)

Loads maintain the original direction  
(변형에 따른 하중 방향 변화가 없음)

하중

Loads change the original direction  
(대변형에 의해 하중 방향 변화)

## 비선형 해석 옵션 정의

해석 케이스 추가/변경

해석 케이스 설정

이름 비선형

해석 종류 비선형 정적해석

해석 제어

해석모형

전체세트 << >> 활성화세트

기하형상  
구속 조건  
Support  
정적하중  
Force  
연결  
접촉

기하형상  
바디  
연결

서브케이스 설정

서브케이스 제어 서브케이스 결과

비선형 정적 해석 (필수)  
종류: 비선형 정적해석  
구속 조건  
Support  
정적하중  
Force  
접촉

생성 삭제 하중스케일팩터...

확인 취소 적용

해석 제어

비선형 접촉

자동접속 정의

하중증분 정의

수렴기준 정의

기하 비선형 정의

증분개수	10
초기 온도	0 [T]
수렴기준 / 오류오차	
변위 (U)	0.001
하중 (P)	0.001
일량 (W)	1e-006

중간 결과 출력 방법

모든 증분(2등분된증분 제외) N 1

기하 비선형성

기하 비선형

확인 취소

## 개요

## ➤ 비선형 정적 해석

- 단위: N, mm
- 기하모델: Spring.x\_t

## ➤ 재료 비선형 설정

- 응력-변형률 곡선 입력

## ➤ 구속조건과 하중조건

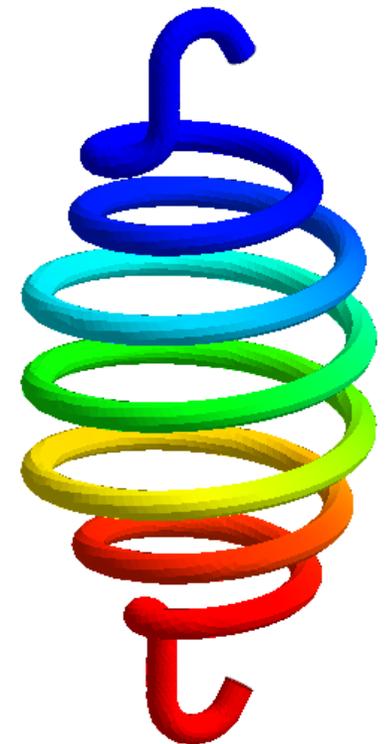
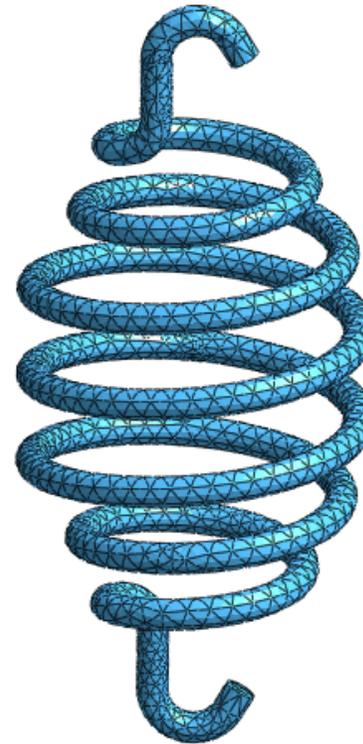
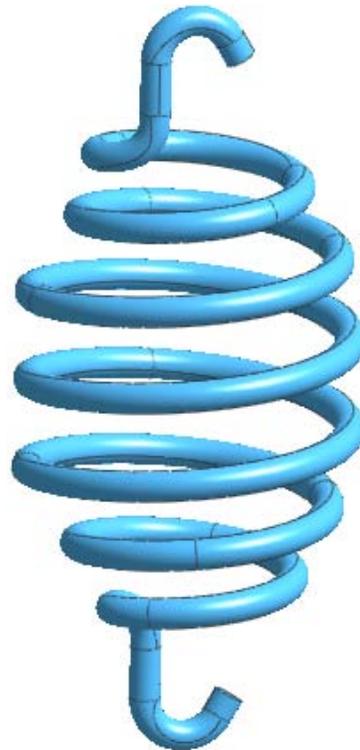
- 핀구속
- 집중하중

## ➤ 결과 확인

- 전체 변위
- 애니메이션 결과 보기

# Spring

## (재료, 기하 비선형)



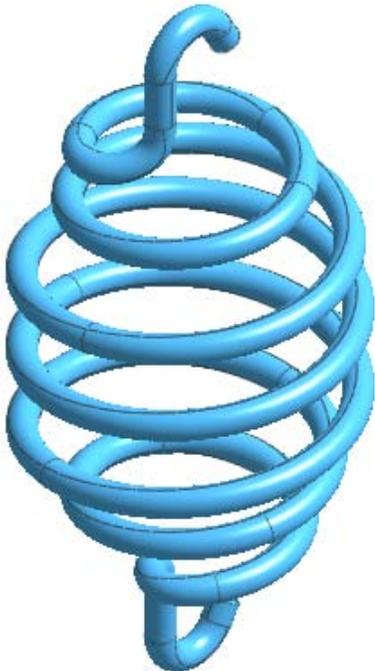
## 따라하기 목적

▶ 재료 비선형 설정하기 (응력-변형률 곡선 입력)

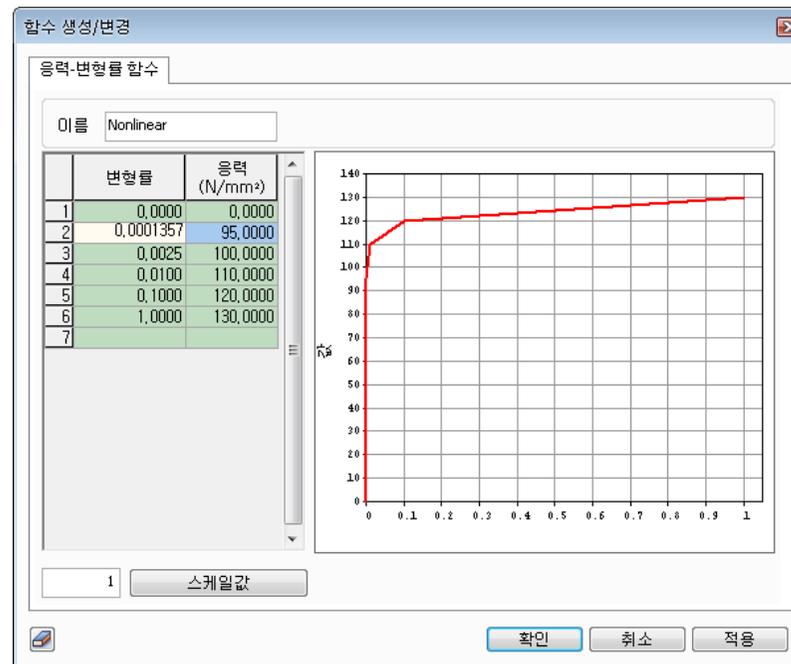
- 응력vs변형률 곡선 입력하고, 재료 비선형을 설정합니다.
- 해석 제어 창에서 비선형 옵션을 설정합니다.
- 해석 후, 모델의 실제 움직임을 애니메이션 기능을 이용해 볼 수 있습니다.

## 해석 개요

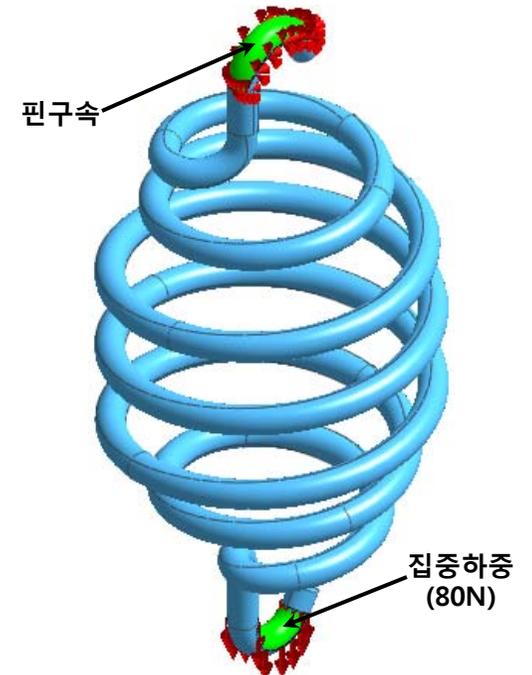
▶ 대상 모델



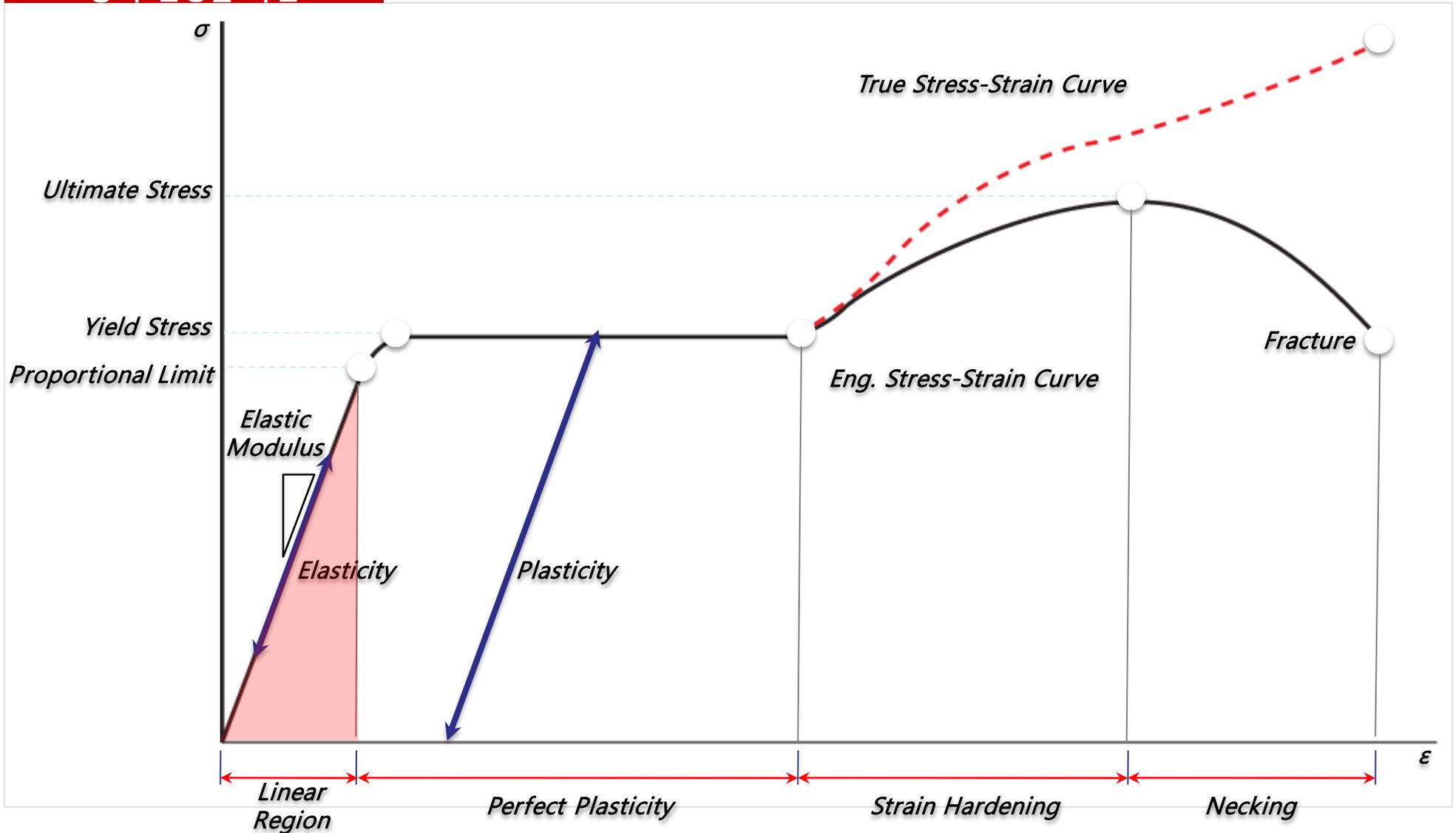
▶ 응력-변형률 곡선 입력



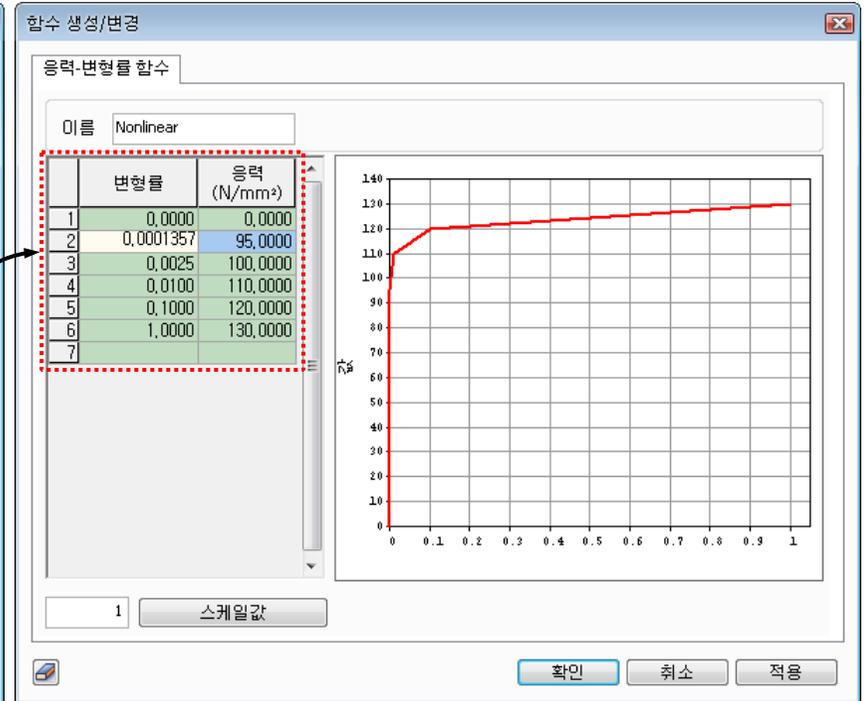
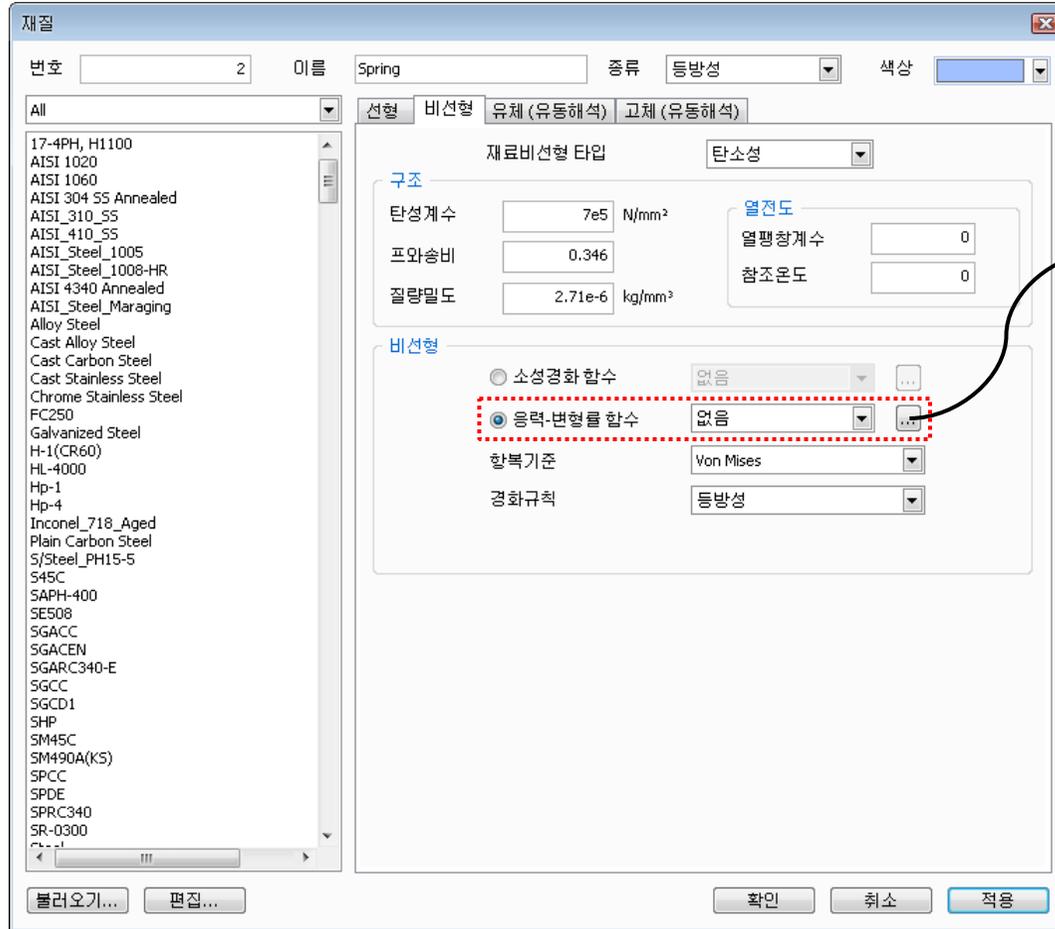
▶ 구속조건 (핀구속) ▶ 하중조건 (집중하중)



## 응력-변형률 곡선



## 응력-변형률 곡선



## ▶ 탄소성 모델

## • 응력-변형률 곡선

탄성구간 곡선은 입력하는 탄성계수와 동일한 값을 가져야 하며 응력-변형률 곡선은 탄젠트 모듈러스(Tangent Modulus)를 정의하여 생성합니다.

첫 번째 시작 행에서 변형률과 응력에는 0값이 입력되어야 하고, 두 번째 행에 탄성 변형률과 응력을 입력합니다. (탄성 변형구간의 마지막 점이며, 초기 항복응력으로 계산됩니다.)

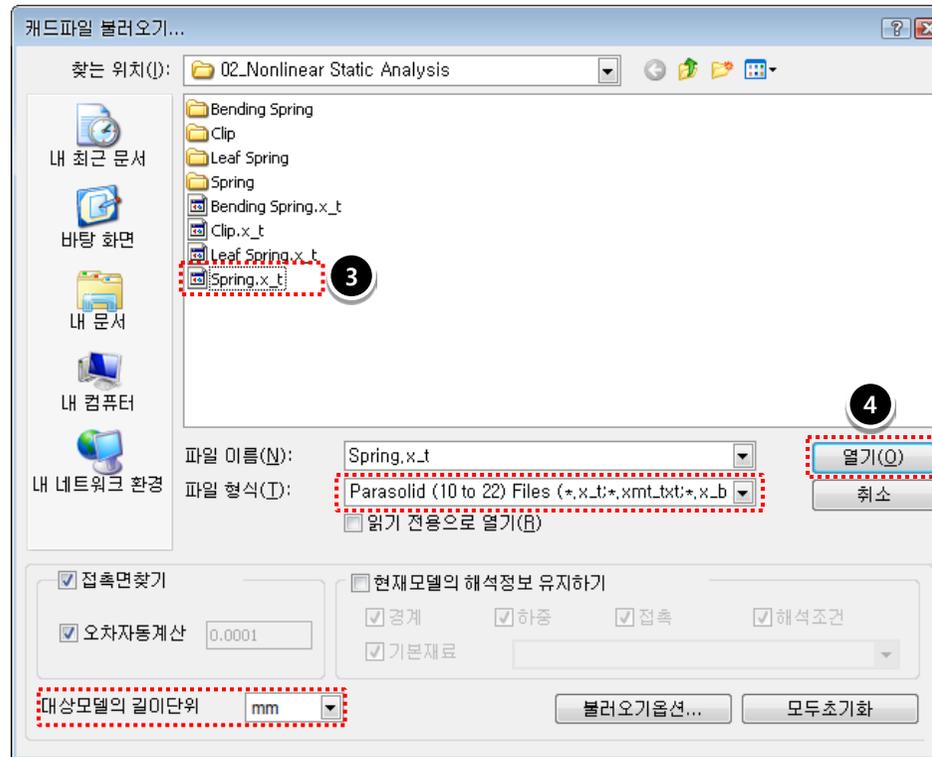
다음 행부터 소성 변형률과 응력을 입력합니다.

## 작업 순서

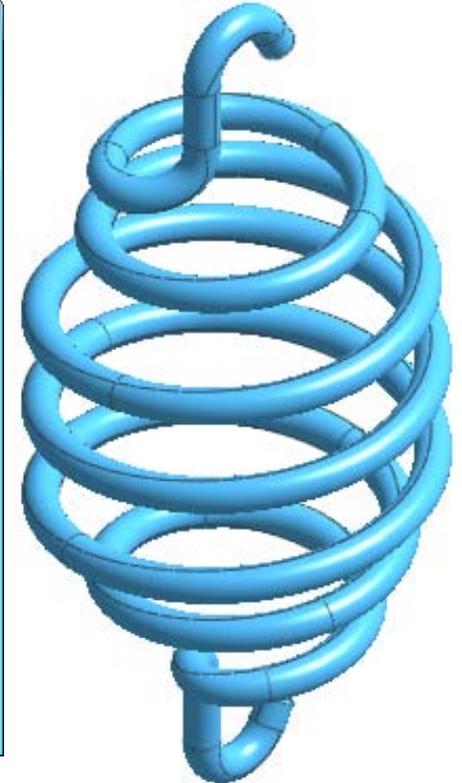
- ① [  ] (새로 만들기) 아이콘 클릭 
- ② [형상] - [불러오기] 아이콘 클릭.
- ③ 모델 선택: **Spring.x\_t** 선택.
- ④ [열기] 버튼 클릭.

※ 프로그램이 설치된 하위 폴더의  
ManualsWTutorialsWFiles 폴더 안에  
따라하기의 모델들이 있습니다.

 프로그램을 실행시킨 후 [새로 만들기]  
아이콘을 클릭하면 모든 메뉴가 활성화  
됩니다.



• 파일 형식 및 길이단위 확인!!





## 작업 순서

- 1 이름: "Nonlinear" 입력.
- 2 변형률: "(0)",            응력: "(0)"  
변형률: "(0.0001357)",    응력: "(95)"  
변형률: "(0.0025)",        응력: "(100)"  
변형률: "(0.01)",          응력: "(110)"  
변형률: "(0.1)",            응력: "(120)"  
변형률: "(1)",              응력: "(130)"
- 3 [확인] 버튼 클릭.
- 4 응력-변형률 함수: "Nonlinear" 선택.
- 5 [확인] 버튼 클릭.

합수 생성/변경

응력-변형률 함수

이름 Nonlinear 1

	변형률	응력 (N/mm <sup>2</sup> )
1	0.0000	0.0000
2	0.0001357	95.0000
3	0.0025	100.0000
4	0.0100	110.0000
5	0.1000	120.0000
6	1.0000	130.0000
7		

1 스케일값

확인 취소 적용

종류 등방성 색상

유체 (유동해석) 고체 (유동해석)

재료비선형 타입 탄소성

7e5 N/mm<sup>2</sup> 열전도

0.346 유효평창계수 0

2.71e6 kg/mm<sup>3</sup> 참조온도 0

소성경화 함수 없음

응력-변형률 함수 Nonlinear 4

항복기준 Von Mises

경화규칙 등방성

5

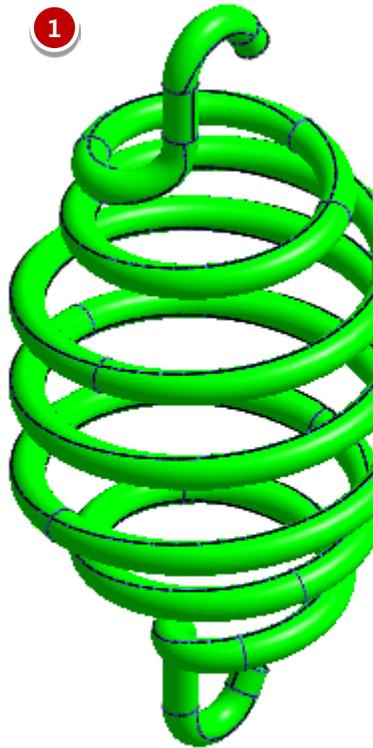
확인 취소 적용

💡 소성타입의 응력-변형률 곡선은 원점에서 시작합니다.

💡 변형률 두 번째 열의 "0.0001357"은 탄성변형구간의 마지막 점이며, 초기 항복응력으로 계산됩니다.

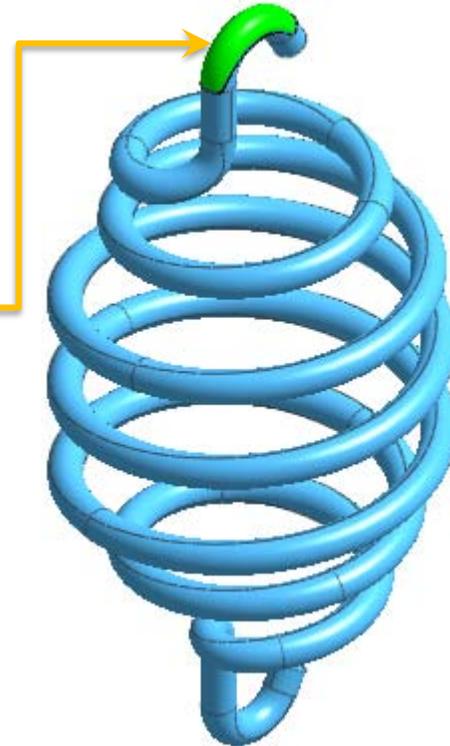
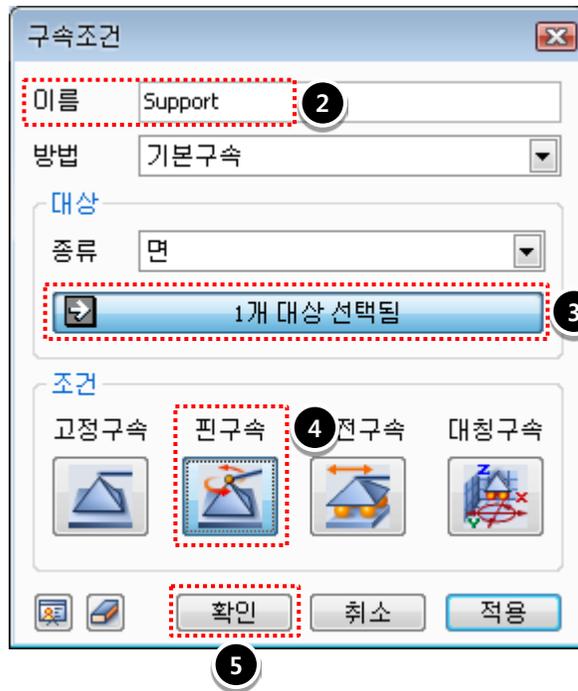
## 작업 순서

- ① 작업창의 모델 선택 후 마우스 오른쪽 버튼 클릭.
- ② [재질 정의] > [Spring] 선택.



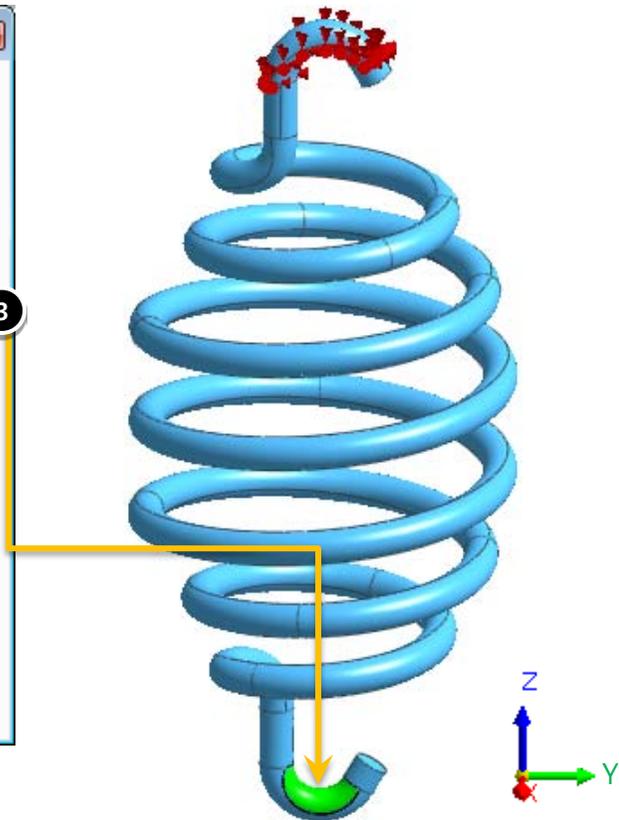
## 작업 순서

- ① [구속조건] - [정의] 아이콘 클릭.
- ② 이름: "Support" 입력.
- ③ 대상: 면 1개 선택. (그림 참조)
- ④ 조건: [핀구속] 선택.
- ⑤ [확인] 버튼 클릭.



## 작업 순서

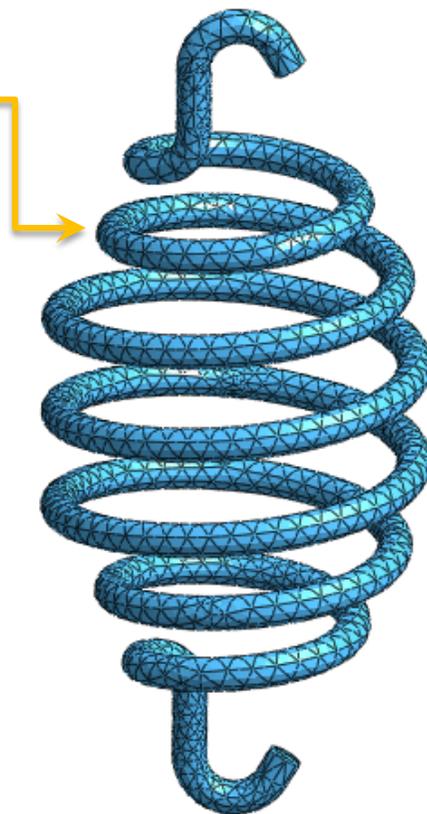
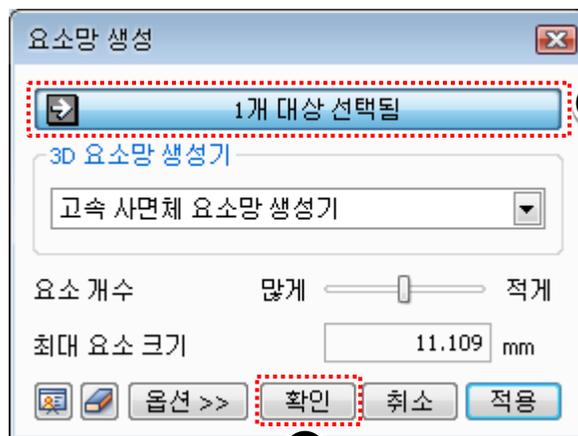
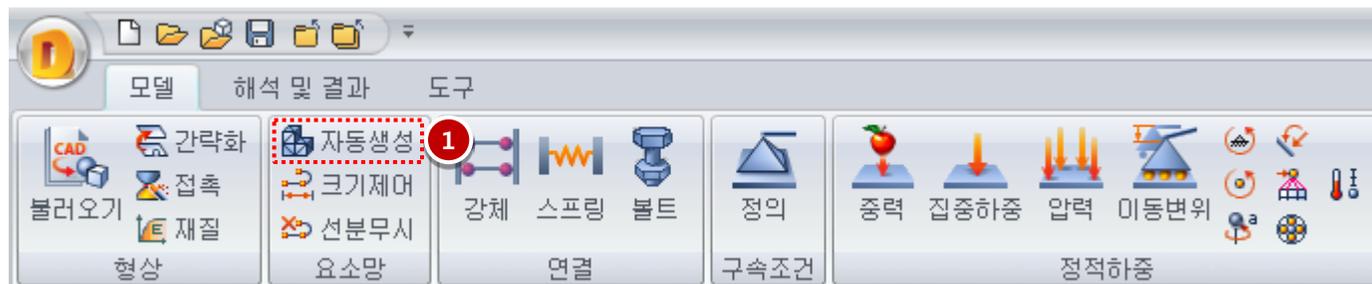
- 1 [정적하중] - [집중하중] 아이콘 클릭.
- 2 이름: "Force" 입력.
- 3 대상: 면 1개 선택. (그림 참조)
- 4 [총합력] 선택.
- 5 성분: [Z축] "-80" 입력. 💡
- 6 [확인] 버튼 클릭.



💡 -Z방향(수직 아래방향)으로 집중하중 조건이 설정됩니다.

## 작업 순서

- ① [요소망] - [자동생성] 아이콘 클릭.
- ② 대상 선택: 모델(1개) 선택.
- ③ [확인] 버튼 클릭.

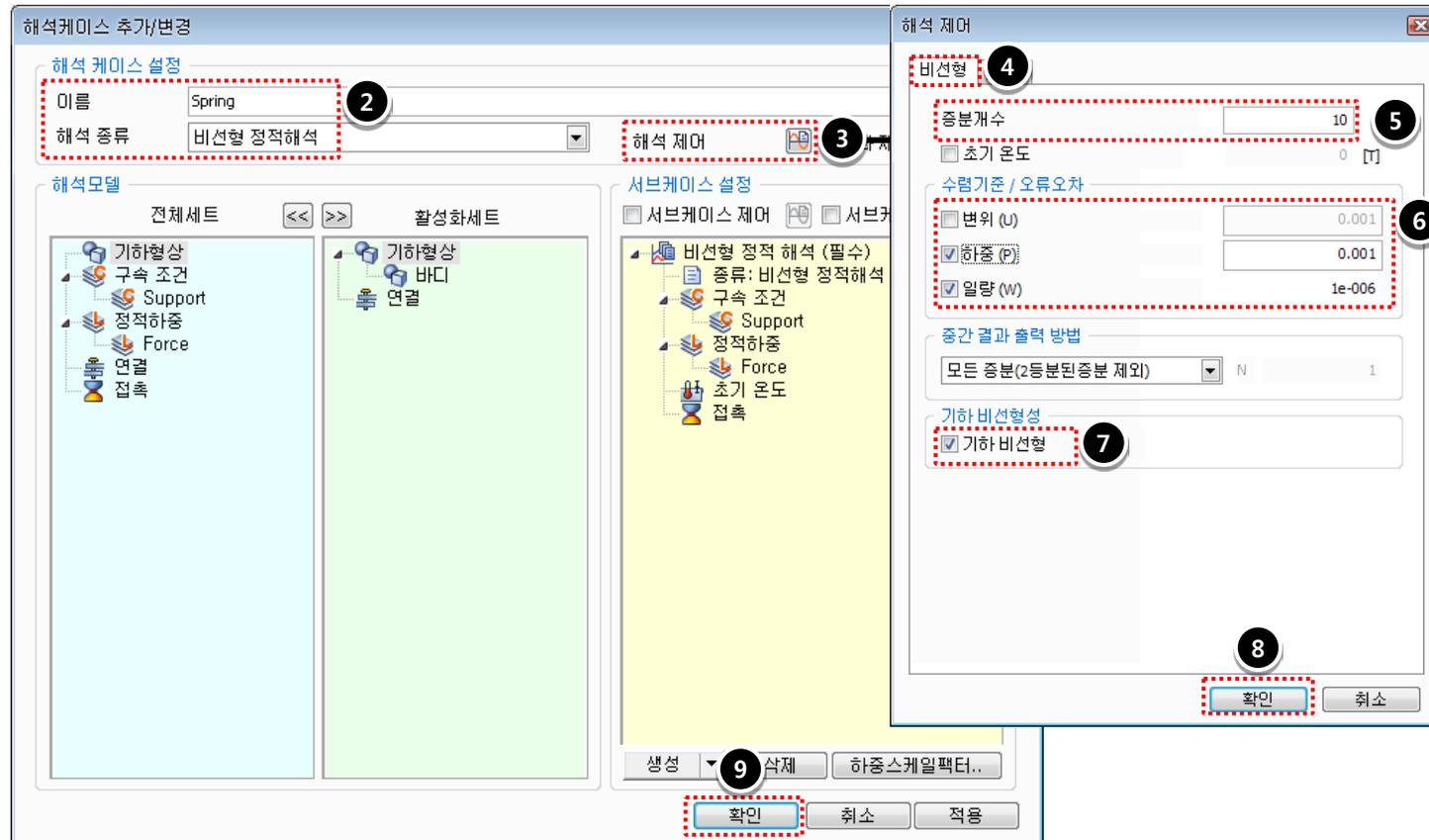
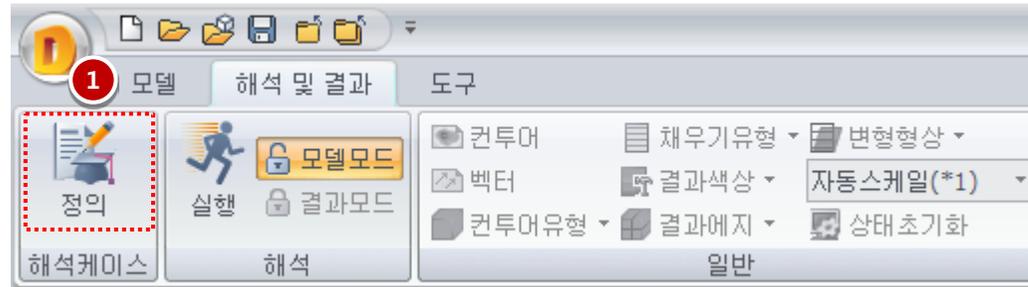


## 작업 순서

- 1 [해석케이스] - [정의] 아이콘 클릭.
- 2 이름: "Spring" 입력.  
해석 종류: [비선형 정적해석] 선택.
- 3 [해석 제어] 아이콘 클릭.
- 4 [비선형] 탭 선택.
- 5 증분개수: "10" 입력.💡
- 6 [변위] 체크 해제, [하중] 체크,  
[일량] 체크.
- 7 [기하 비선형] 체크💡
- 8 [확인] 버튼 클릭.
- 9 [확인] 버튼 클릭.

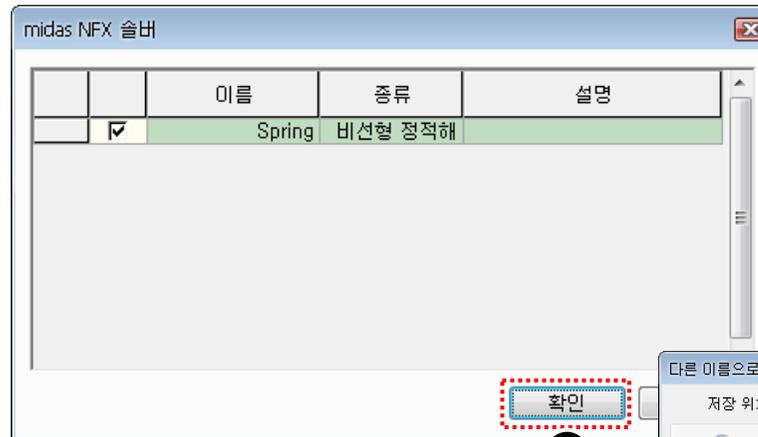
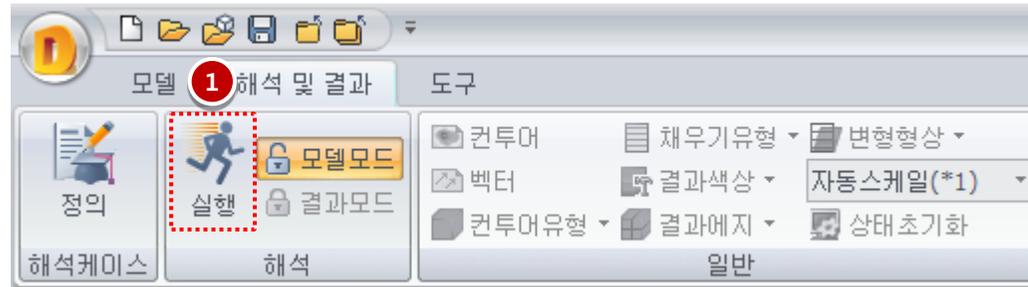
💡 집중하중(80N)을 10등분하여 해석하도록 설정합니다.

💡 기하 비선형 해석을 위해 체크 온합니다.

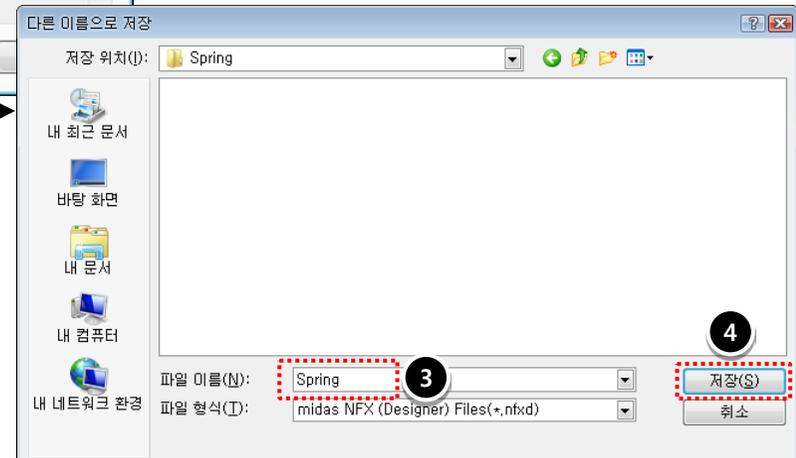
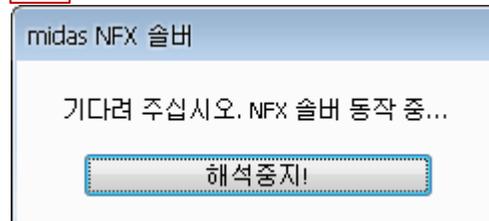


## 작업 순서

- ① [해석] - [실행] 아이콘 클릭.
- ② [확인] 버튼 클릭.
- ③ 다른 이름으로 저장: "Spring" 입력.
- ④ [저장(S)] 버튼 클릭.



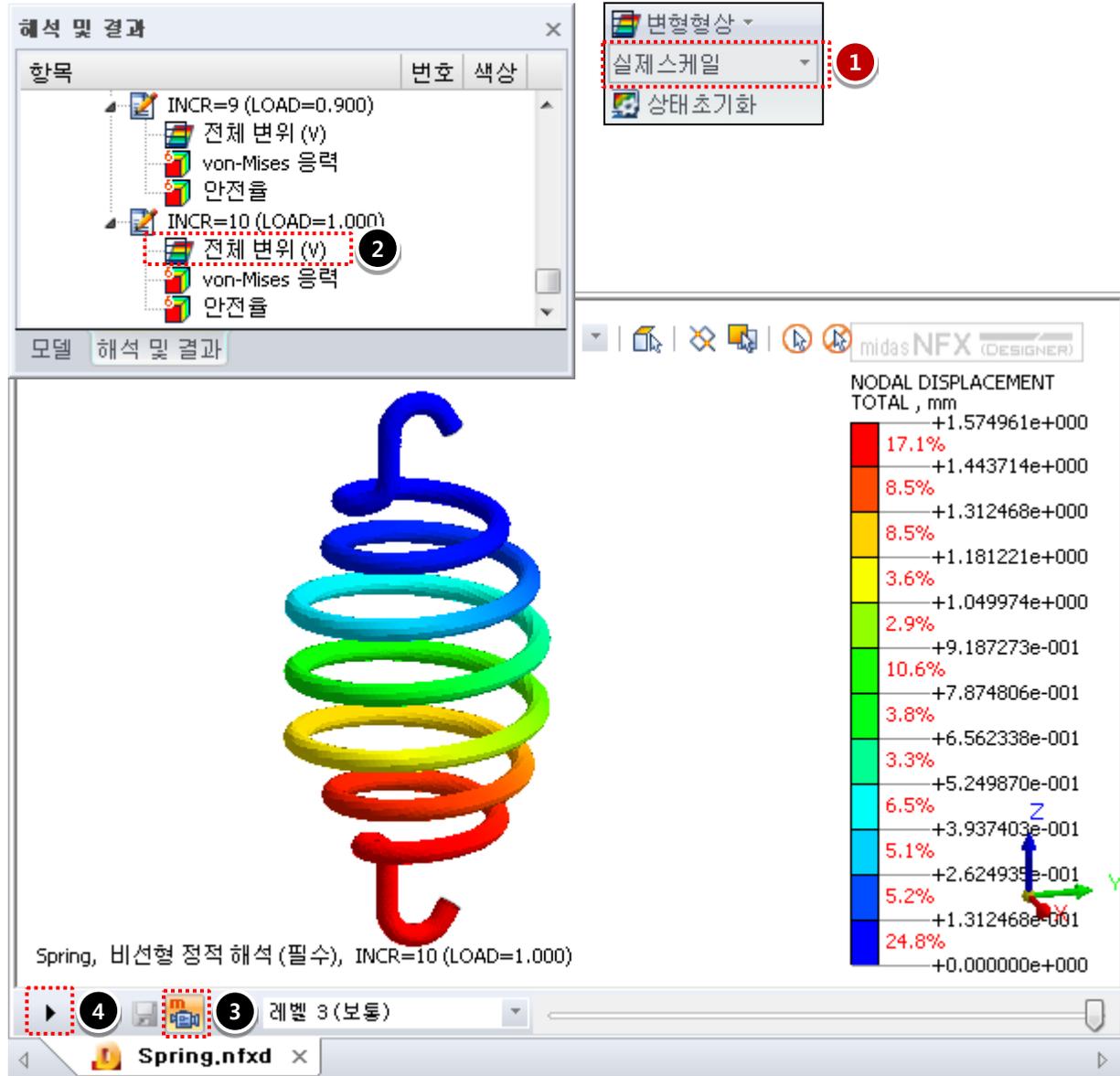
💡 해석을 실행하면 midas NFX 슬버가 작동됩니다. **해석중지!** 버튼을 클릭하면 해석이 중지됩니다.



## 작업 순서

- ① 실제스케일 선택.
- ② 해석 및 결과 작업트리에서 INCR=10, 전체 변위 더블 클릭.
- ③ [  ] (멀티-스텝 애니메이션 녹화) 아이콘 클릭.
- ④ [  ] (재생) 아이콘 클릭. 💡

💡 1~10단계까지의 실제 움직임을 애니메이션으로 볼 수 있습니다.



해석 및 결과

항목	번호	색상
INCR=9 (LOAD=0.900)		
전체 변위 (v)		
von-Mises 응력		
안전율		
INCR=10 (LOAD=1.000)		
전체 변위 (v)	2	
von-Mises 응력		
안전율		

모델 해석 및 결과

midas NFX (DESIGNER)

NODAL DISPLACEMENT  
TOTAL, mm

17.1%	+1.574961e+000
8.5%	+1.443714e+000
8.5%	+1.312468e+000
3.6%	+1.181221e+000
2.9%	+1.049974e+000
10.6%	+9.187273e-001
3.8%	+7.874806e-001
3.3%	+6.562338e-001
6.5%	+5.249870e-001
5.1%	+3.937403e-001
5.2%	+2.624935e-001
24.8%	+1.312468e-001
	+0.000000e+000

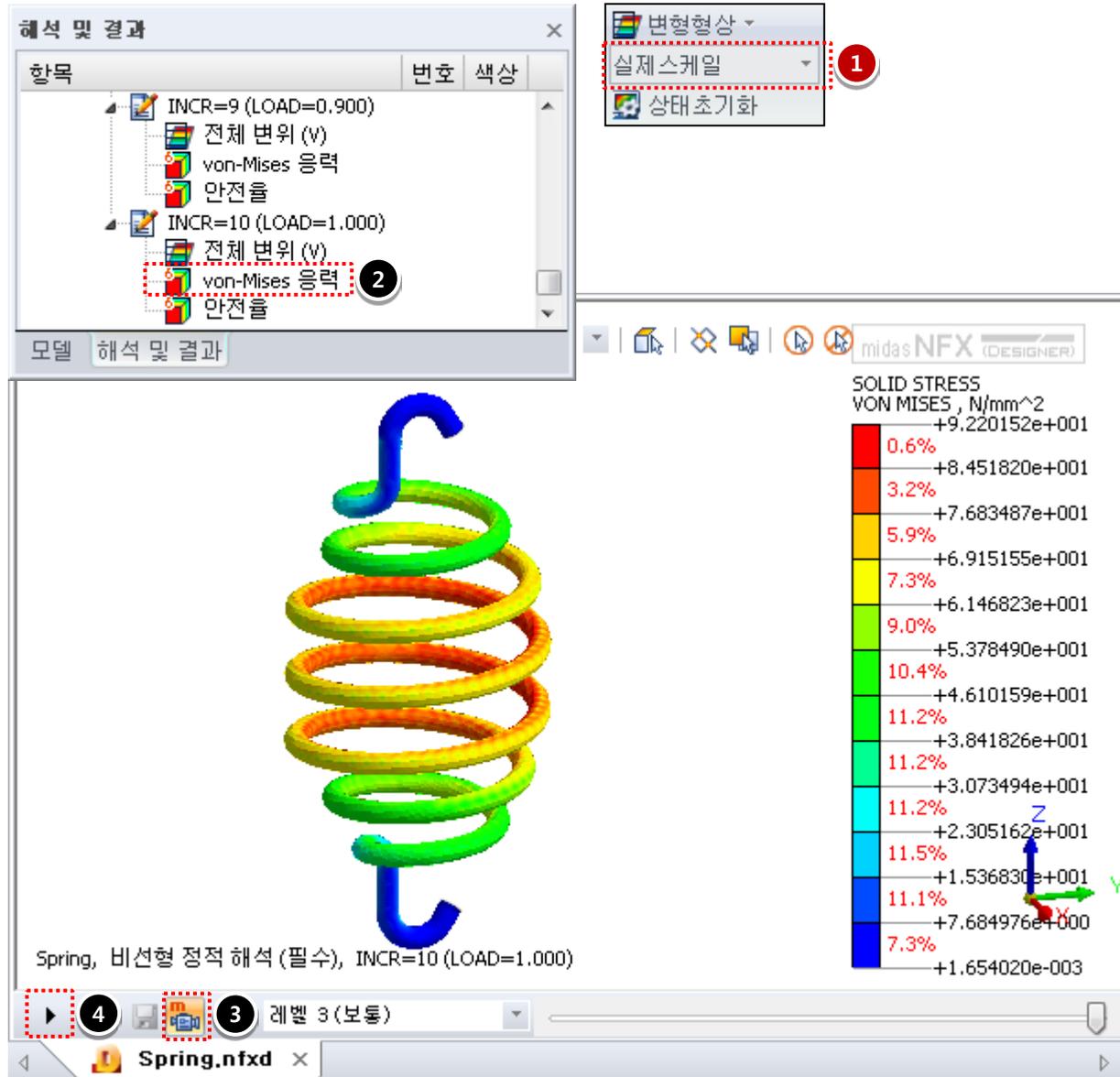
Spring, 비선형 정적 해석 (필수), INCR=10 (LOAD=1.000)

4 3 레벨 3 (보통)

Spring.nfxd

## 작업 순서

- ① 실제스케일 선택.
- ② 해석 및 결과 작업트리에서 INCR=10, Von-Mises 응력 더블 클릭.
- ③ [  ] (멀티-스텝 애니메이션 녹화) 아이콘 클릭.
- ④ [  ] (재생) 아이콘 클릭. 💡



해석 및 결과

항목 번호 색상

- INCR=9 (LOAD=0.900)
  - 전체 변위 (v)
  - von-Mises 응력
  - 안전율
- INCR=10 (LOAD=1.000)
  - 전체 변위 (v)
  - von-Mises 응력
  - 안전율

모델 해석 및 결과

midas NFX (DESIGNER)

SOLID STRESS  
VON MISES, N/mm<sup>2</sup>

0.6%	+9.220152e+001
3.2%	+8.451820e+001
5.9%	+7.683487e+001
7.3%	+6.915155e+001
9.0%	+6.146823e+001
10.4%	+5.378490e+001
11.2%	+4.610159e+001
11.2%	+3.841826e+001
11.2%	+3.073494e+001
11.5%	+2.305162e+001
11.1%	+1.536830e+001
7.3%	+7.684976e+000
	+1.654020e-003

Spring, 비선형 정적 해석 (필수), INCR=10 (LOAD=1.000)

레벨 3 (보통)

Spring.nfxd

💡 1~10단계까지의 실제 움직임을 애니메이션으로 볼 수 있습니다.

## 개요

## ➤ 비선형 정적 해석

- 단위: N, mm
- 기하모델: Leaf Spring.x\_t

## ➤ 재료 비선형 설정

- 응력-변형률 곡선 입력

## ➤ 접촉조건 설정

- 일반접촉 (마찰 고려)

## ➤ 구속조건과 하중조건

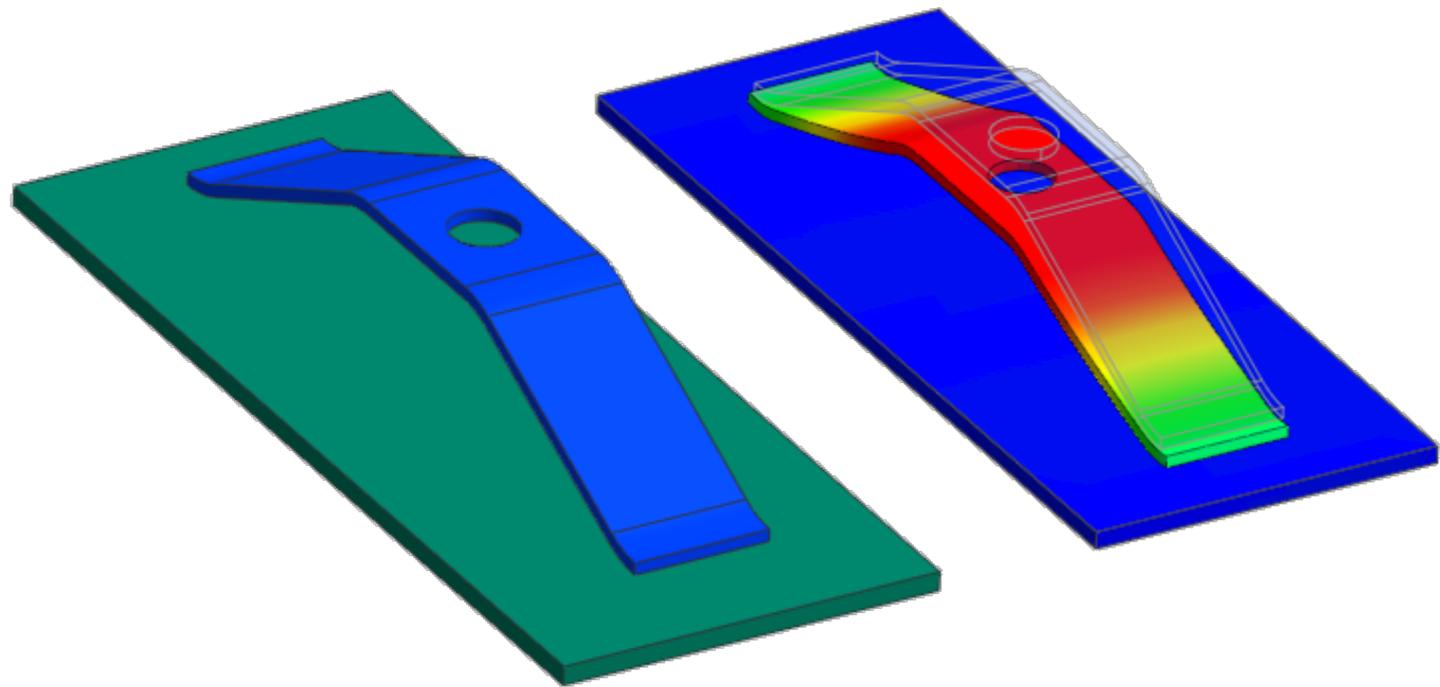
- 핀구속, 자유도 구속
- 이동변위

## ➤ 결과 확인

- 전체 변위
- 애니메이션 결과 보기

# Leaf Spring

## (재료, 접촉, 기하 비선형)



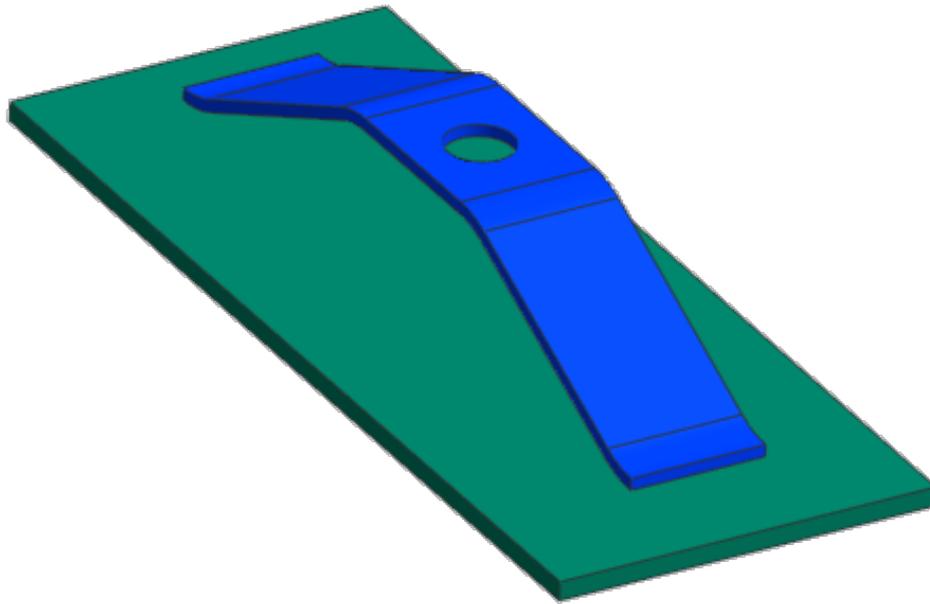
## 따라하기 목적

### 접촉 비선형 설정하기

- 자동 접촉이 아닌 수동 접촉을 이용하여 접촉 조건을 설정합니다.
- 해석 전에는 접촉이 발생하지 않지만, 해석 중에 접촉이 발생하는 면을 찾아서 설정합니다.
- 서브케이스를 설정하여 모델을 이동시킨 후 다시 처음위치로 되돌립니다.

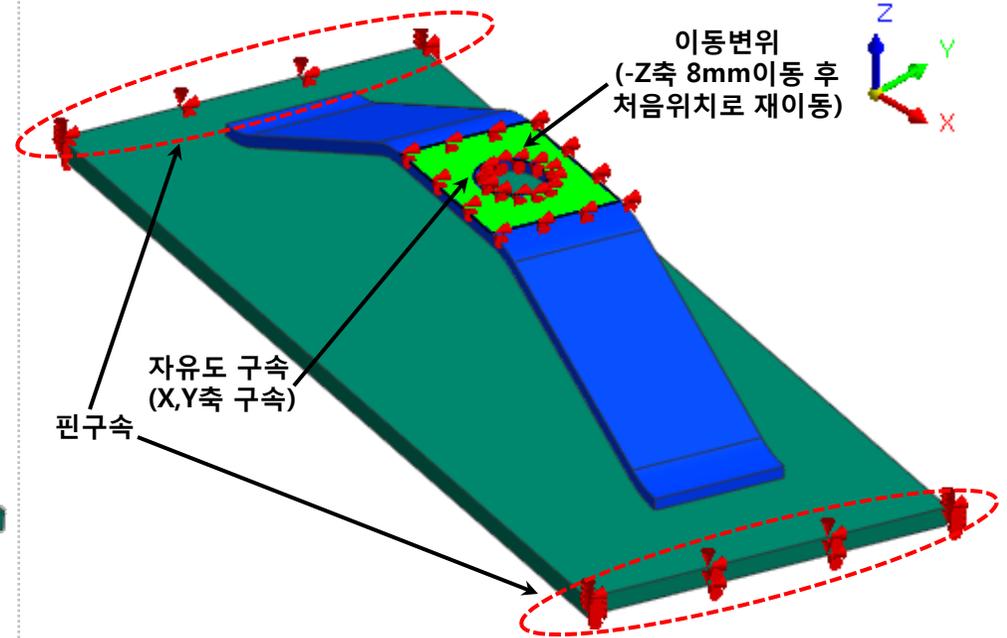
## 해석 개요

### 대상 모델

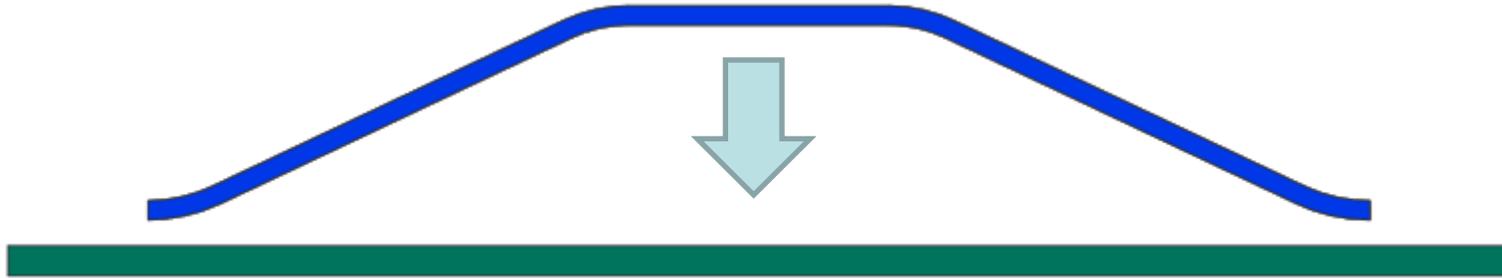


### 구속조건 (핀구속, 자유도 구속)

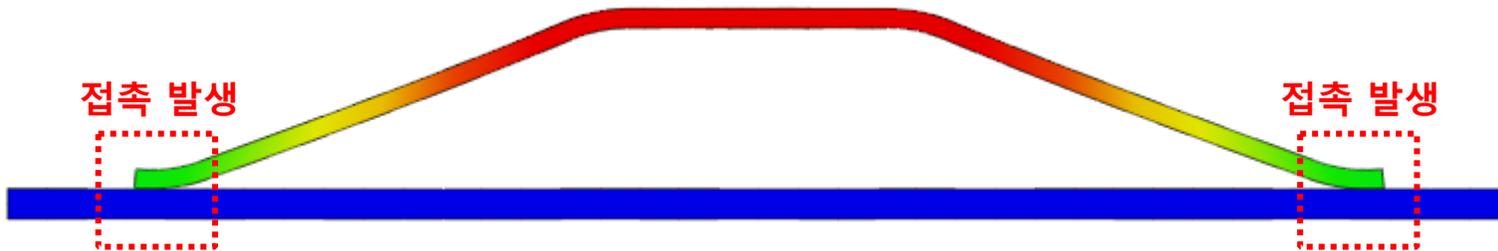
### 하중조건 (이동변위)



## 유저설정 접촉



- 해석 전에는 접촉되지 않음.
- 수직 아래 방향으로 변위 이동 후에 접촉 발생.



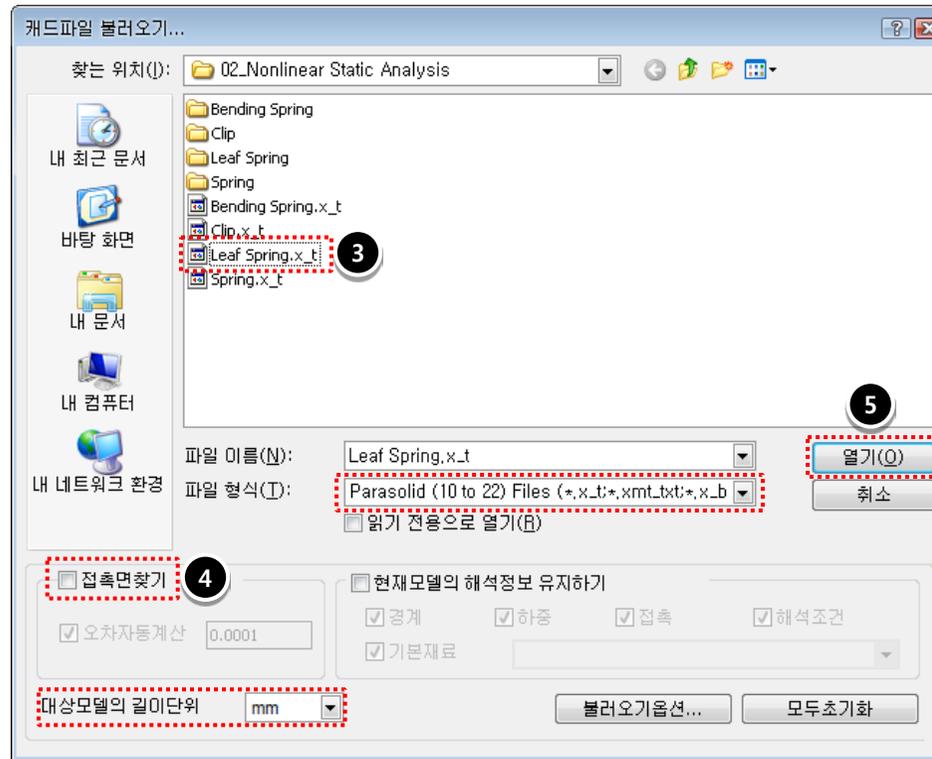
- 초기에 접촉되지 않은 상태에서는 자동 접촉 설정이 어려움.
- 사용자가 직접 접촉 되는 면을 선택해서 설정 해야함.
- Step 07에서 유저설정 접촉을 따라해봅니다.

## 작업 순서

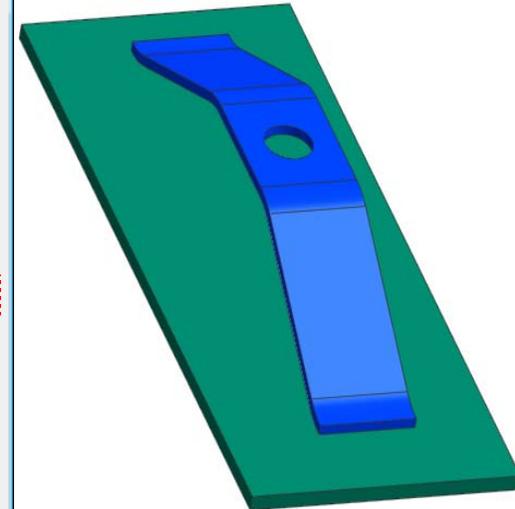
- ① [  ] (새로 만들기) 아이콘 클릭.
- ② [형상] - [불러오기] 아이콘 클릭.
- ③ 모델 선택: Leaf Spring.x\_t 선택.
- ④ [접촉면찾기] 체크 해제. 
- ⑤ [열기] 버튼 클릭.

※ 프로그램이 설치된 하위 폴더의  
ManualsWTutorialsWFiles 폴더 안에  
따라하기의 모델들이 있습니다.

 [접촉면찾기] 옵션은 기본 설정이며,  
자동으로 접촉면을 찾아줍니다.  
이번 따라하기에서는 접촉 설정방법을  
습득하기 위해 자동 옵션을 사용하지  
않습니다.



• 파일 형식 및 길이단위 확인!!

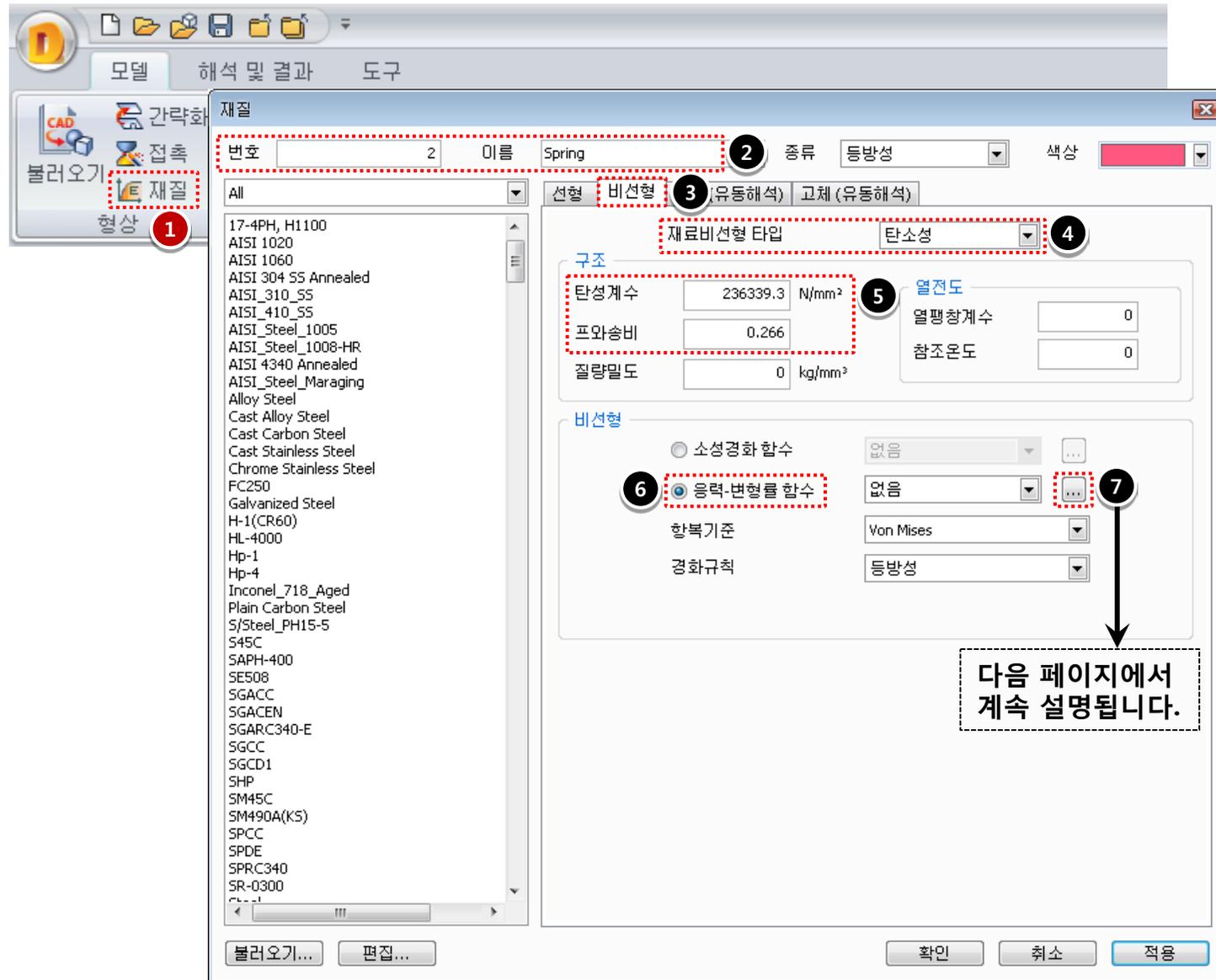


## 작업 순서

- ① [형상] - [재질] 아이콘 클릭.
- ② 번호: "2", 이름: "Spring" 입력.
- ③ [비선형] 탭 선택.💡
- ④ 재료비선형 타입: "탄소성" 선택.
- ⑤ 탄성계수: "236339.3" 입력.  
프와송비: "0.266" 입력.
- ⑥ "응력-변형을 함수" 체크.💡
- ⑦ "함수 생성" 아이콘 클릭.

💡 재료 비선형 조건을 설정합니다.

💡 응력-변형을 곡선을 입력합니다.



다음 페이지에서  
계속 설명됩니다.

## 작업 순서

- 1 이름: "재료비선형" 입력.
- 2 변형률: "(0)",            응력: "(0)"  
 변형률: "(0.00112)",    응력: "(264.70)"  
 변형률: "(0.00400)",    응력: "(264.70)"  
 변형률: "(0.00837)",    응력: "(276.14)"  
 변형률: "(0.01811)",    응력: "(332.96)"  
 변형률: "(0.03170)",    응력: "(383.16)"  
 변형률: "(0.04574)",    응력: "(414.51)"  
 변형률: "(0.06505)",    응력: "(439.14)"  
 변형률: "(0.08273)",    응력: "(451.17)"  
 변형률: "(0.10447)",    응력: "(458.31)"  
 변형률: "(0.12521)",    응력: "(460.50)"
- 3 [확인] 버튼 클릭.
- 4 응력-변형률 함수: "재료비선형" 선택.
- 5 [확인] 버튼 클릭.

💡 소성타입의 응력-변형률 곡선은 원점에서 시작합니다.

💡 변형률 두 번째 열의 "0.00112"는 탄성변형구간의 마지막 점이며, 초기 항복응력으로 계산됩니다.

합수 생성/변경

응력-변형률 함수

이름: 재료비선형

변형률	응력 (N/mm <sup>2</sup> )	
1	0.0000	0.0000
2	0.0011	264.7000
3	0.0040	264.7000
4	0.00837	276.1400
5	0.0181	332.9600
6	0.0317	383.1600
7	0.0457	414.5100
8	0.0650	439.1400
9	0.0827	451.1700
10	0.1045	458.3100
11	0.1252	460.5000
12		

1

2

확인 취소 적용

3

- Hp-1
- Hp-4
- Inconel\_718\_Age
- Plain Carbon Steel
- 5/Steel\_PH15-5
- 545C
- SAPH-400
- SE508
- SGACC
- SGACEN
- SGARC340-E
- SGCC
- SGCD1
- SHP
- SM45C
- SM490A(K5)
- SPCC
- SPDE
- SPRC340
- SR-0300

불러오기... 편집...

종류: 등방성    색상: [Red]

유체 (유동해석)    고체 (유동해석)

재료비선형 타입: 탄소성

236339.3 N/mm<sup>2</sup>    열전도

0.266    열팽창계수: 0

0 kg/mm<sup>3</sup>    참조온도: 0

소성경화 함수: 없음

응력-변형률 함수: 재료비선형

항복기준: Von Mises

경화규칙: 등방성

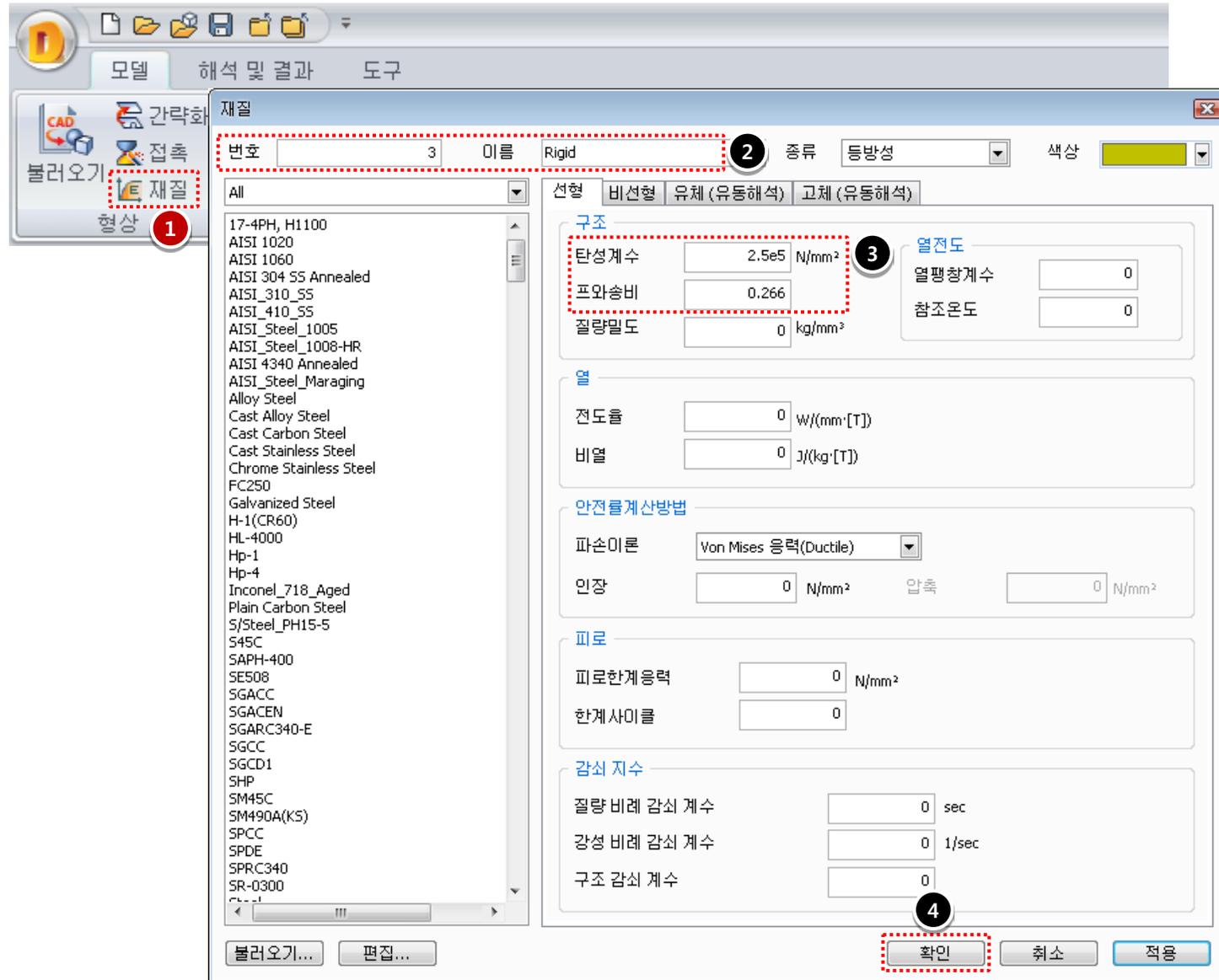
4

5

확인 취소 적용

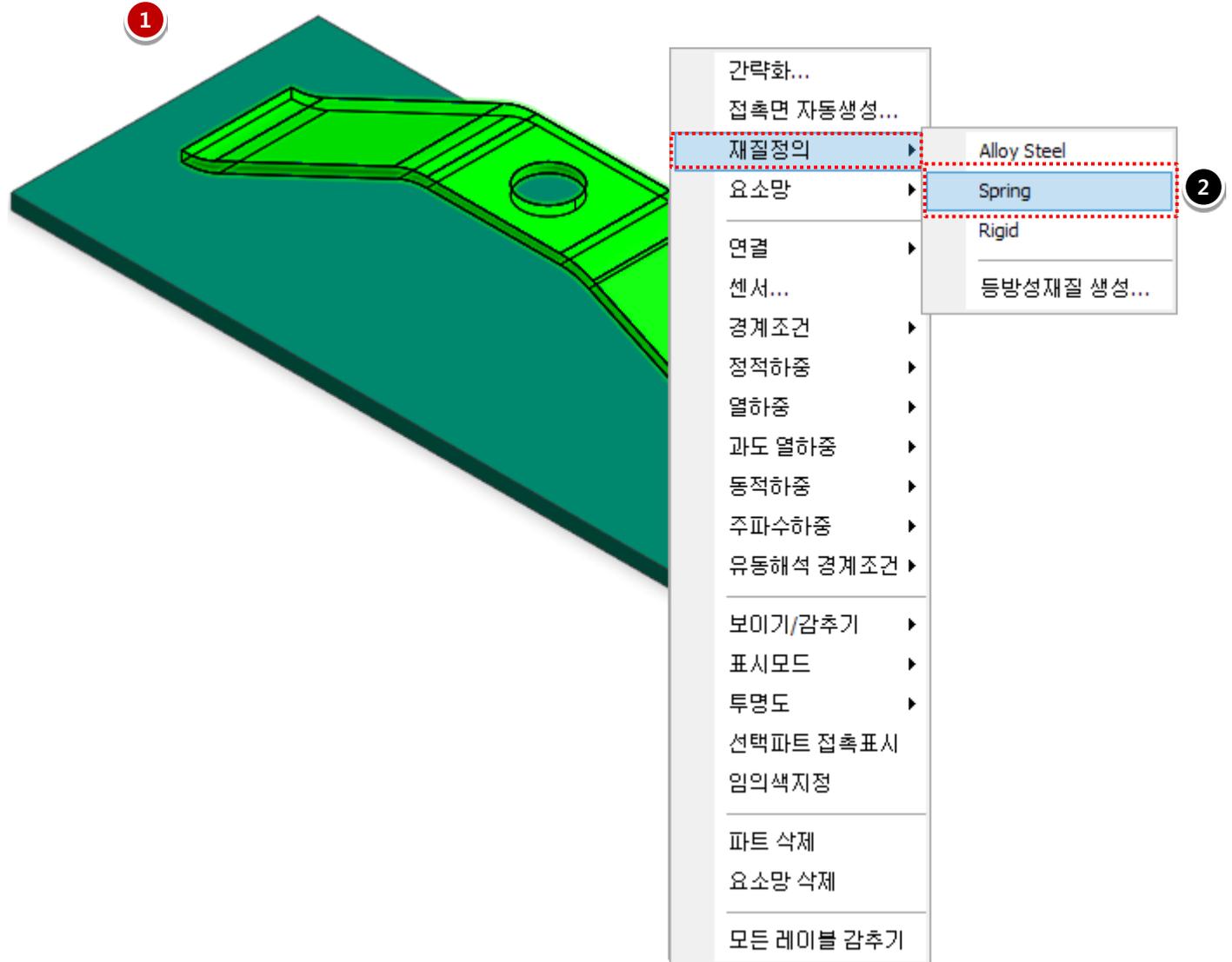
## 작업 순서

- ① [형상] - [재질] 아이콘 클릭.
- ② 번호: "3", 이름: "Rigid" 입력.
- ③ 탄성계수: "2.5e5" 입력.  
프와송비: "0.266" 입력.
- ④ [확인] 버튼 클릭.



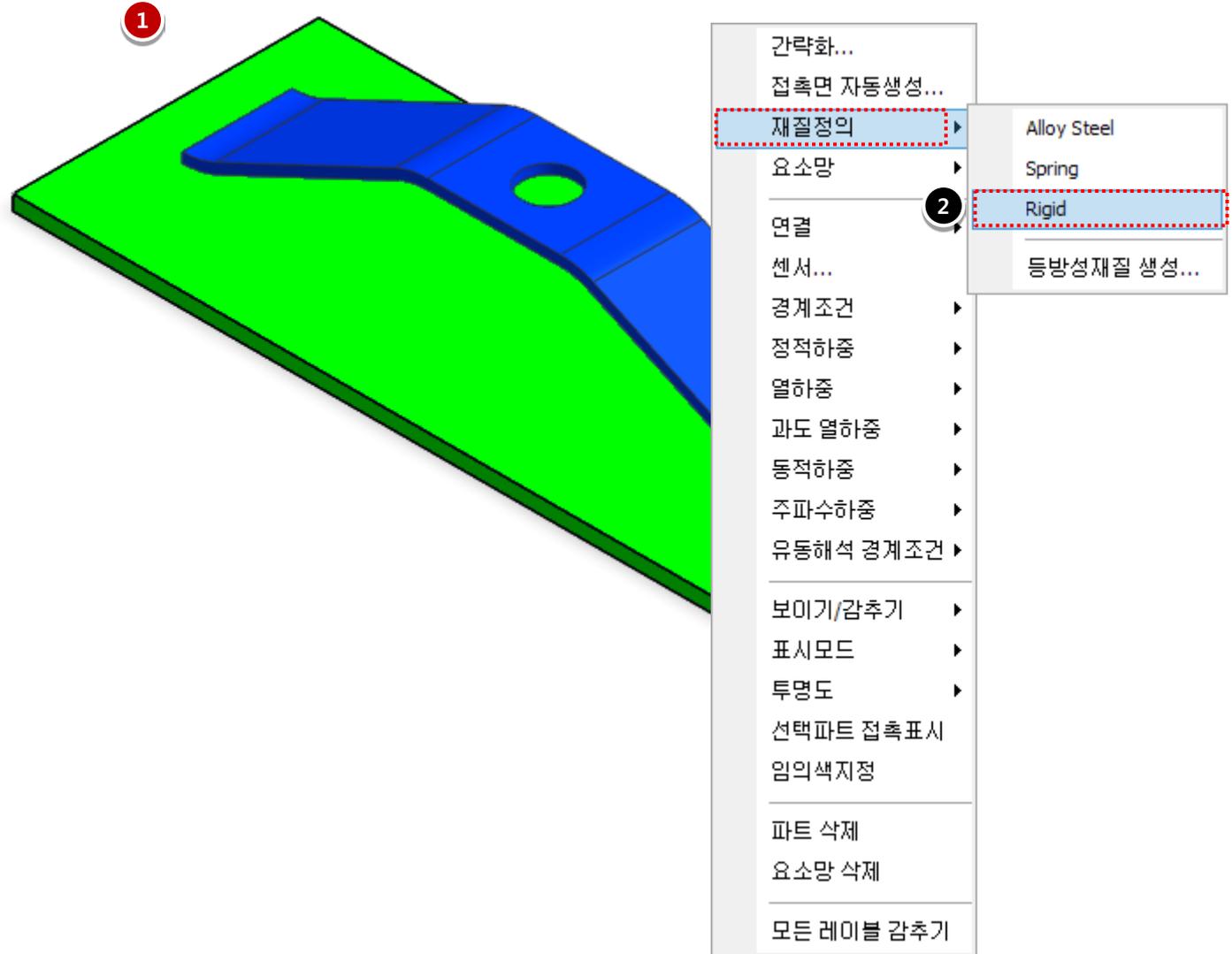
## 작업 순서

- ① 작업창의 모델 선택 후 마우스 오른쪽 버튼 클릭. (위쪽 모델의 재질 정의)
- ② [재질 정의] > [Spring] 선택.



## 작업 순서

- ① 작업창의 모델 선택 후 마우스 오른쪽 버튼 클릭. (아래쪽 모델의 재질 정의)
- ② [재질 정의] > [Rigid] 선택.

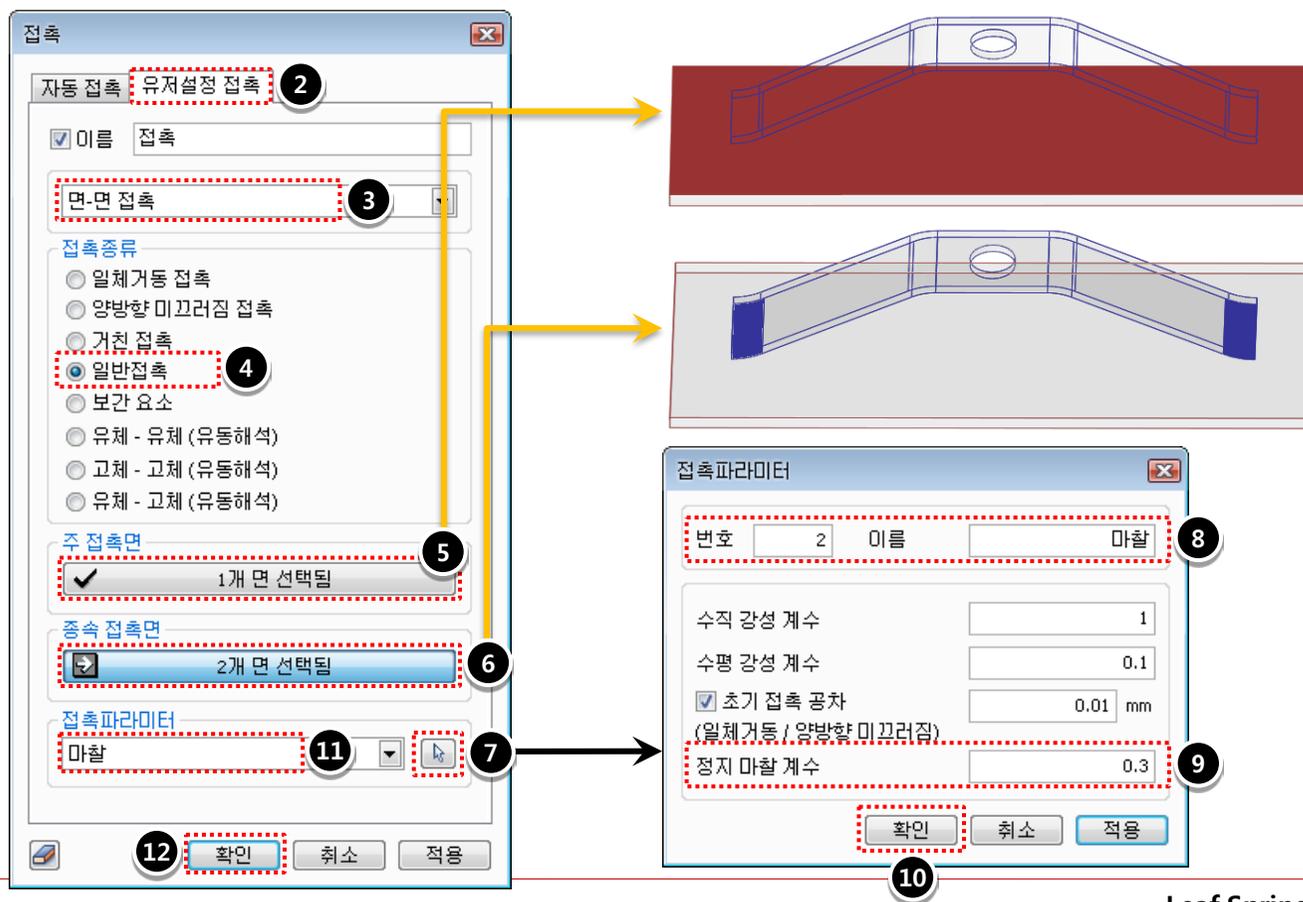
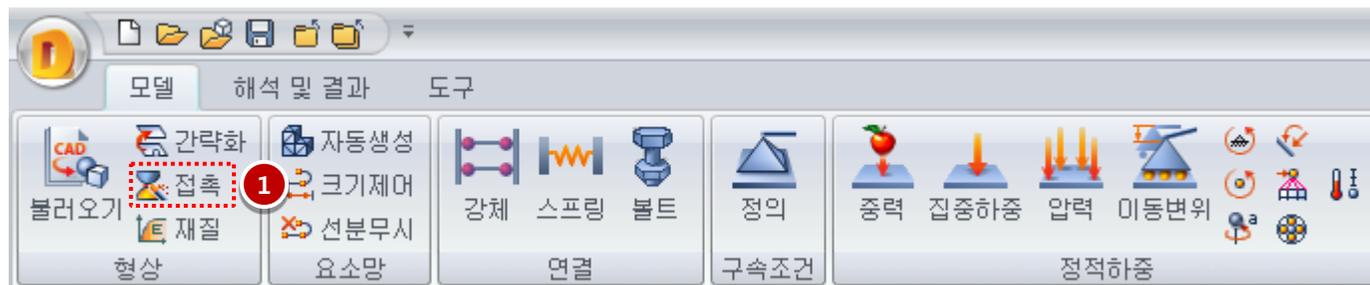


## 작업 순서

- ① [형상] - [접촉] 아이콘 클릭.
- ② [유저설정 접촉] 탭 선택.
- ③ “면-면 접촉” 선택.
- ④ 접촉종류: “일반접촉” 선택. 
- ⑤ 주 접촉면: 1개 면 선택.  
(판 모델의 윗면 선택.)
- ⑥ 종속 접촉면: 2개 면 선택.  
(스프링 모델의 양쪽 아랫면 선택.)
- ⑦ 접촉 파라미터의  아이콘 클릭.
- ⑧ 번호: “2”, 이름: “마찰” 입력.
- ⑨ 정지 마찰 계수: “0.3” 입력.
- ⑩ [확인] 버튼 클릭.
- ⑪ 접촉 파라미터: 마찰 선택
- ⑫ [확인] 버튼 클릭.

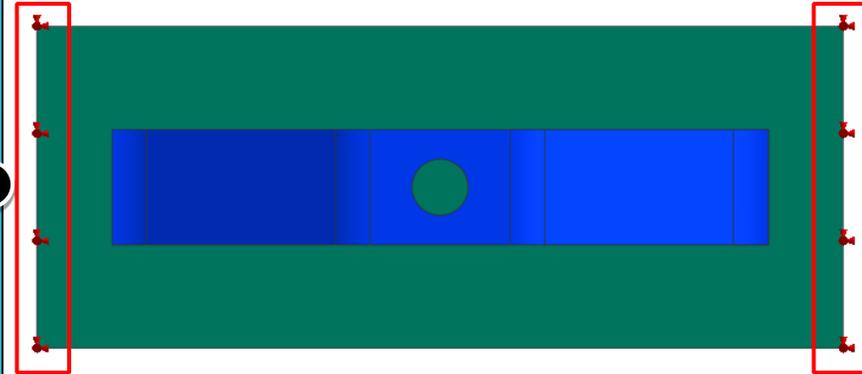
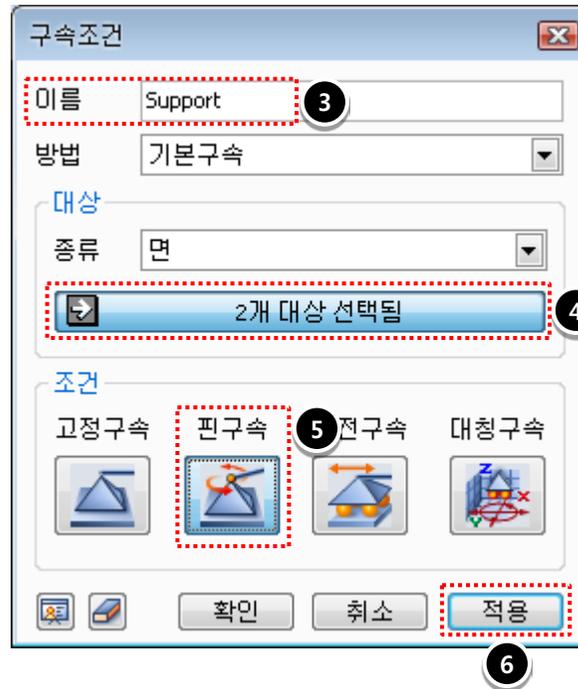
 **일반접촉:** 면과 면이 일반적인 접촉을 할 경우에 사용, 두 면이 해석 중에 접촉과 분리를 반복해도 해석 가능.

 주 접촉면은 빨간색, 종속 접촉면은 파란색으로 표시됩니다.



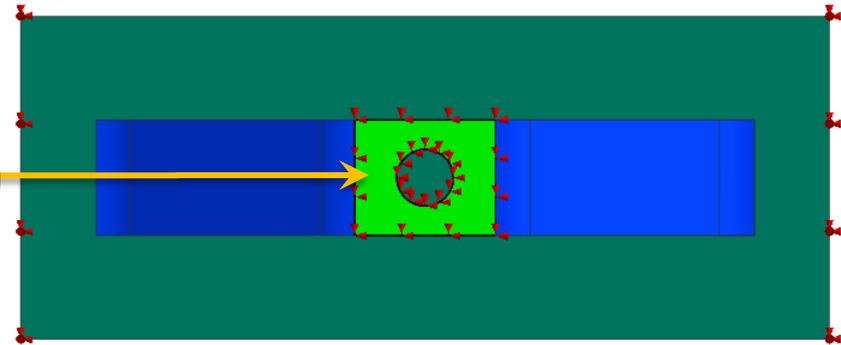
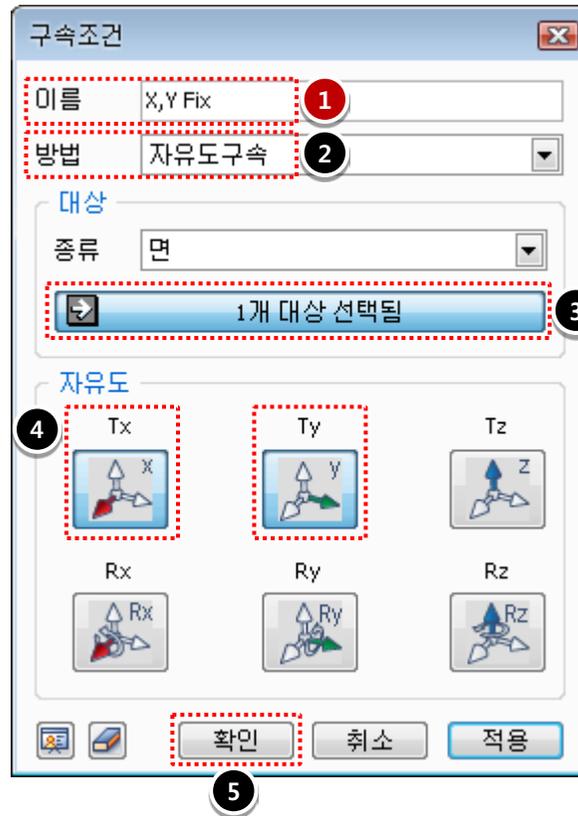
## 작업 순서

- ① [구속조건] - [정의] 아이콘 클릭.
- ② [ ] (윗면) 아이콘 클릭.
- ③ 이름: "Support" 입력.
- ④ 대상: 면 2개 선택. (그림 참조)
- ⑤ 조건: [핀구속] 선택.
- ⑥ [적용] 버튼 클릭.



## 작업 순서

- ① 이름: "X,Y Fix" 입력.
- ② 방법: [자유도구속] 선택.
- ③ 대상: 면 1개 선택. (그림 참조)
- ④ 자유도: [Tx], [Ty] 선택.
- ⑤ [확인] 버튼 클릭.



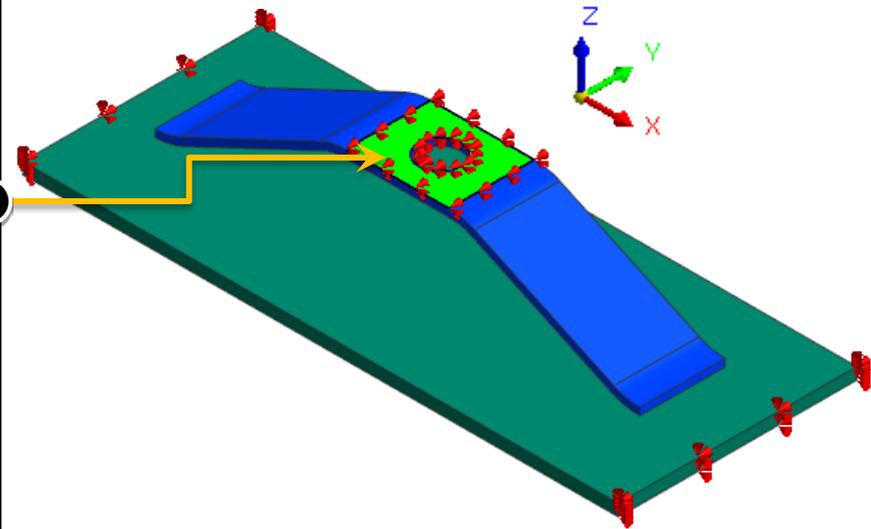
💡 스프링 모델을 Z축 방향으로 움직이기 위해 X,Y축을 고정시킵니다.

## 작업 순서

- ① [정적하중] - [이동변위] 아이콘 클릭.
- ② [  ] (등각보기1) 아이콘 클릭.
- ③ 이름: "8mm이동" 입력.
- ④ 대상: 면 1개 선택. (그림 참조)
- ⑤ 성분: [Z축] 체크, "-8" 입력. 
- ⑥ [적용] 버튼 클릭.

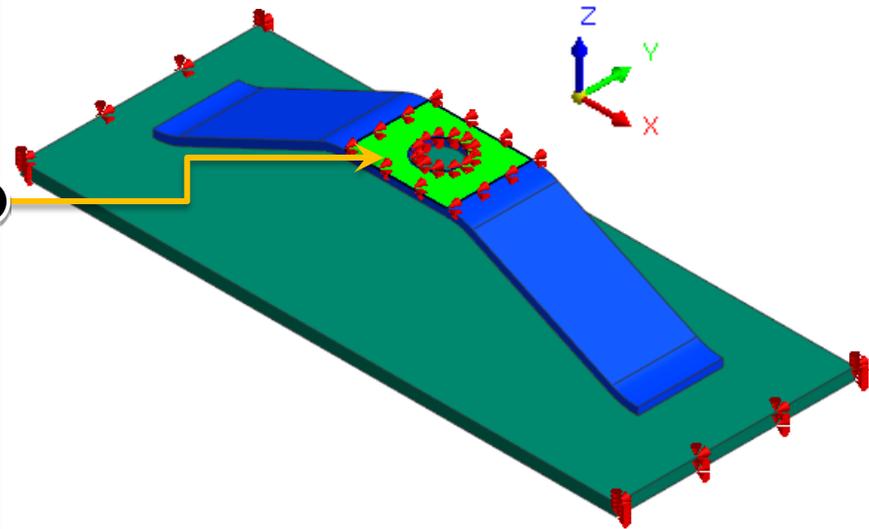
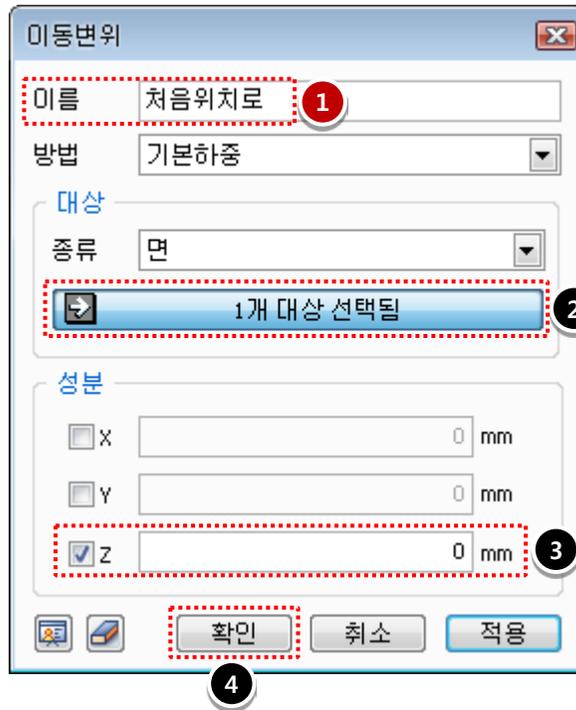
 스프링 모델을 -Z축(수직 아랫방향)으로 8mm만큼 이동시킵니다.

 스프링 모델을 아래로 이동시킨 후 다시 처음 위치로 돌아오도록 설정합니다. (다음페이지)



## 작업 순서

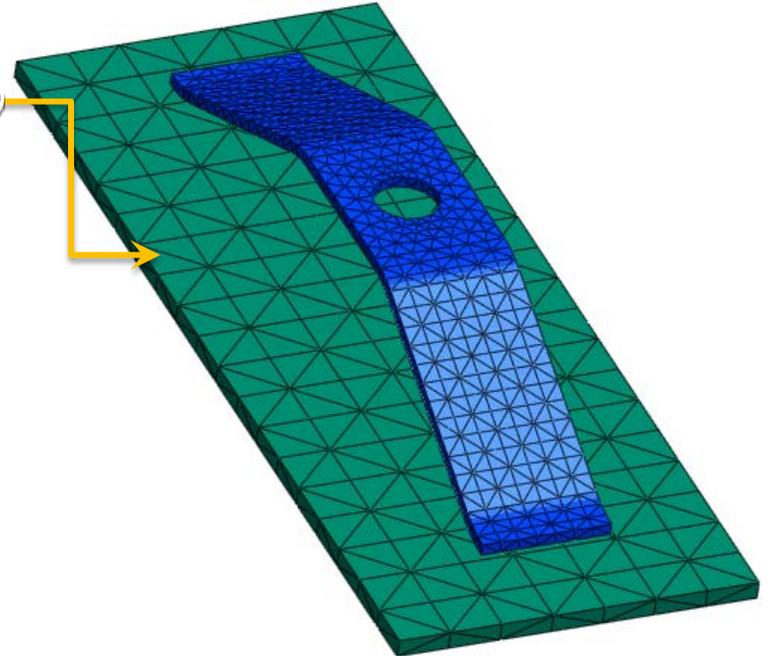
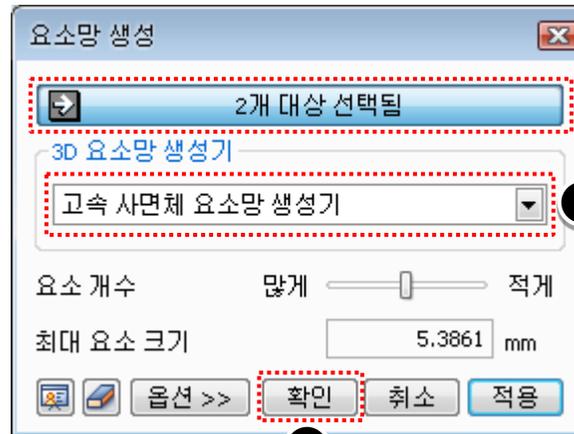
- ① 이름: "처음위치로" 입력.
- ② 대상: 면 1개 선택. (그림 참조)
- ③ 성분: [Z축] 체크, "0" 입력 
- ④ [확인] 버튼 클릭.



 스프링 모델이 처음 위치로 되돌아옵니다. 해석케이스에서 서브케이스 설정으로 이동변위를 선택해줍니다.

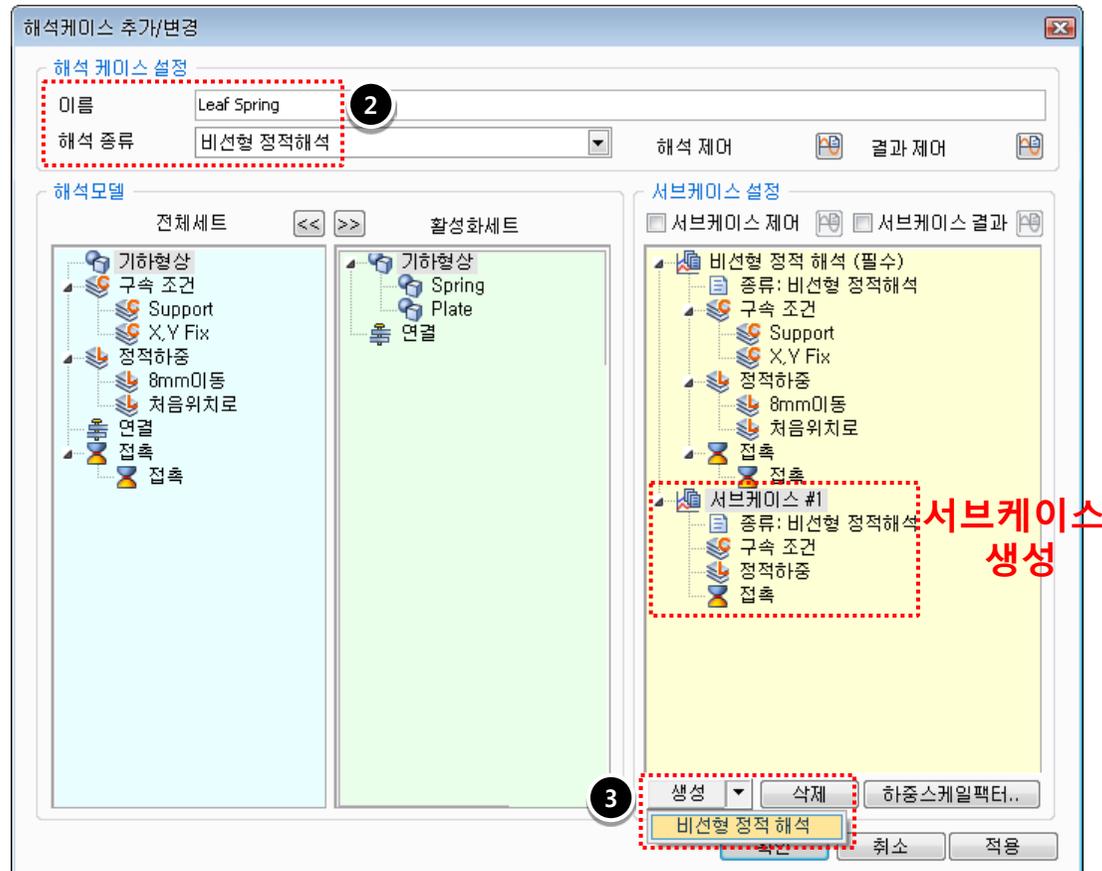
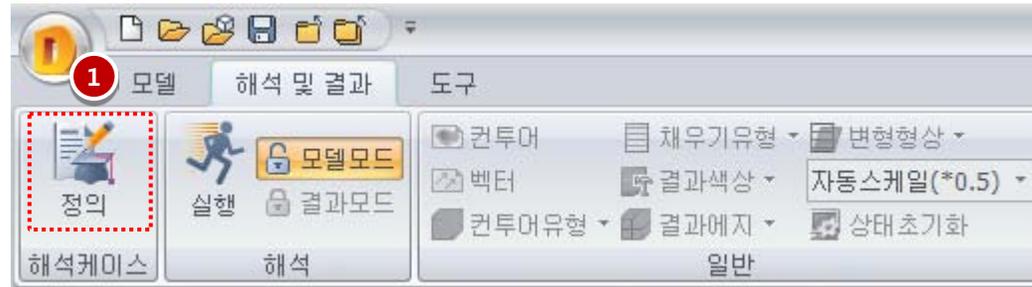
## 작업 순서

- ① [요소망] - [자동생성] 아이콘 클릭.
- ② 대상 선택: 전체 모델(2개) 선택.
- ③ [확인] 버튼 클릭.



## 작업 순서

- 1 [해석케이스] - [정의] 아이콘 클릭.
- 2 이름: "Leaf Spring" 입력.  
해석 종류: [비선형 정적해석] 선택.
- 3 [서브케이스 설정] 창 아래쪽에서 [생성] 버튼 옆의 화살표 클릭 후, [비선형 정적 해석] 선택하여 서브케이스 생성.



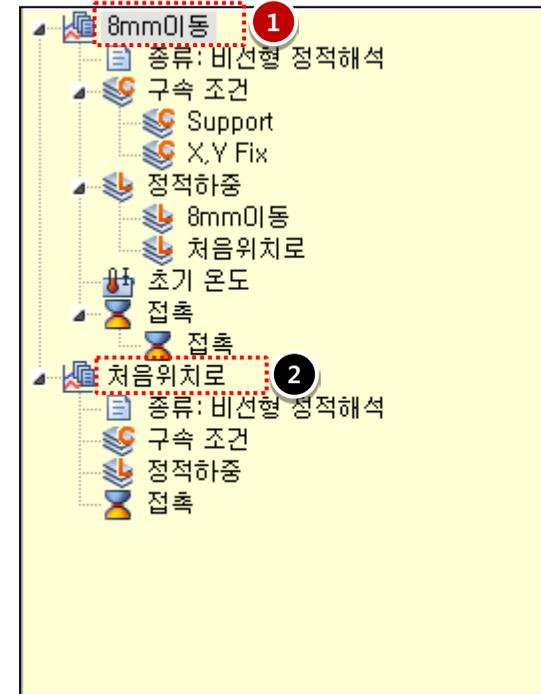
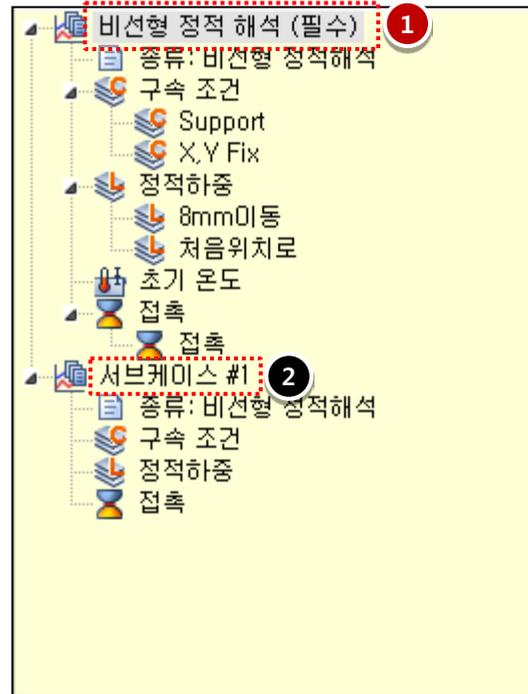
### 작업 순서

#### <서브케이스 이름 변경>

- 1 비선형 정적 해석 (필수) 선택 후, 키보드의 F2를 눌러서, "8mm이동" 입력.
- 2 서브케이스 #1 선택 후, 키보드의 F2를 눌러서, "처음위치로" 입력.

#### <해석조건 활성화>

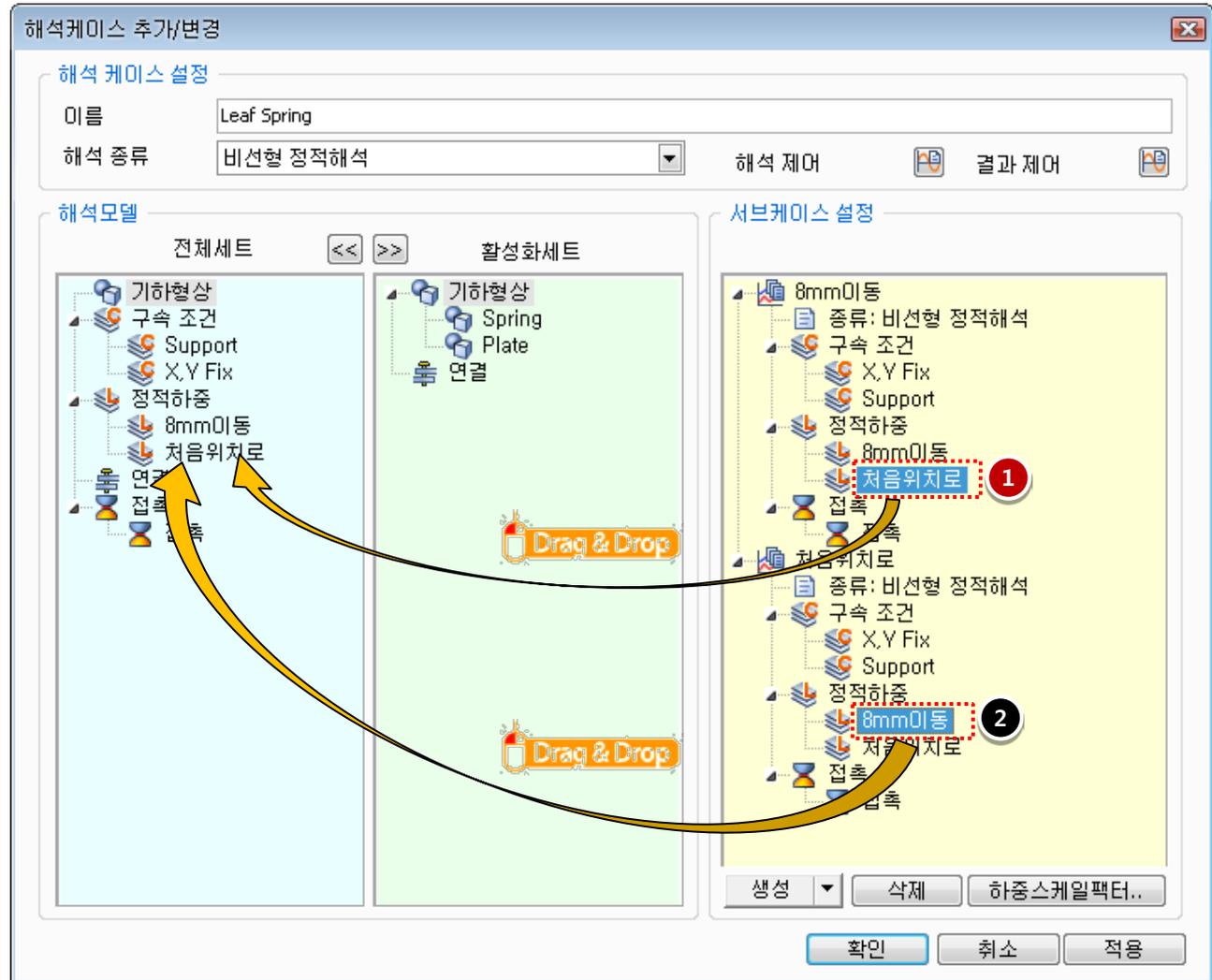
- 3 활성화세트 왼쪽 옆의 [ >> ]아이콘을 클릭하여, 새로 생성된 서브케이스에 해석 조건들을 추가시킵니다.



## 작업 순서

- ① “8mm이동” 서브케이스에 있는 정적하중의 “처음위치로”를 전체세트 창으로 Drag & Drop하여 해석조건에서 제외시킵니다.
- ② “처음위치로” 서브케이스에 있는 정적하중의 “8mm이동”을 전체세트 창으로 Drag & Drop하여 해석조건에서 제외시킵니다.

💡 첫 번째 서브케이스에서는 스프링 모델을 8mm 아래로 이동시키고, 두 번째 서브케이스에서는 8mm 아래로 이동한 스프링 모델을 처음위치로 이동시킵니다.

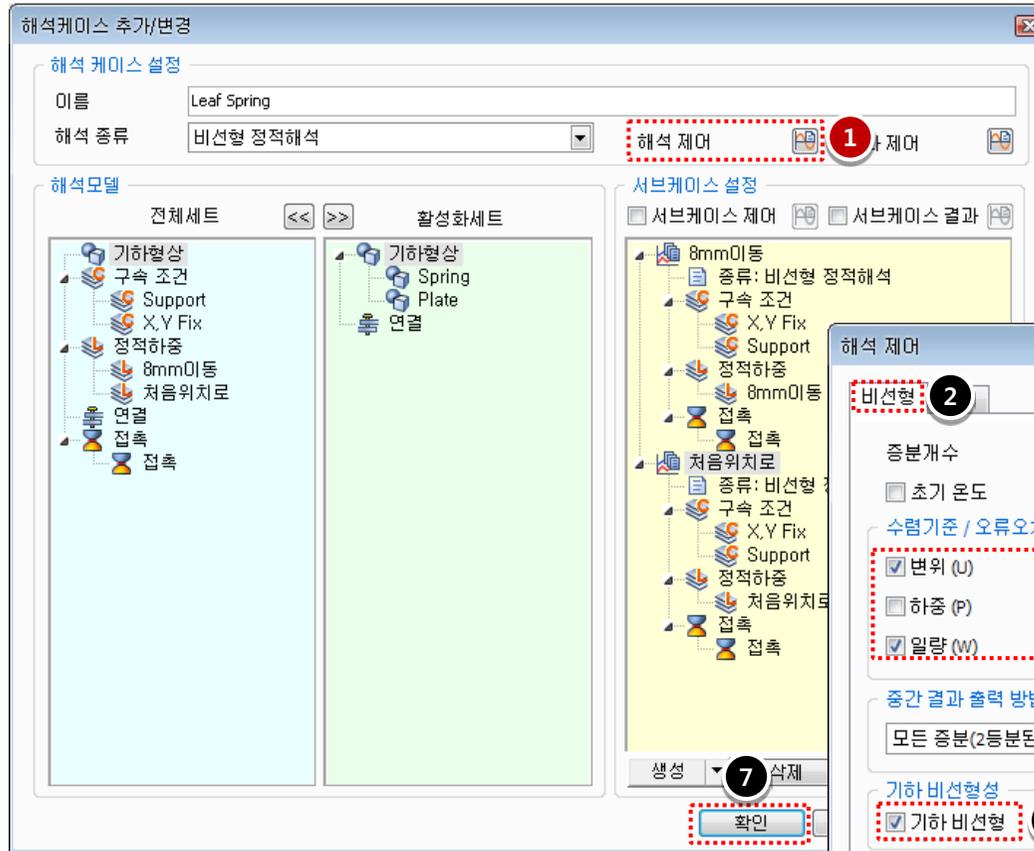


## 작업 순서

- 1 [  ] (해석 제어) 아이콘 클릭.
- 2 [비선형] 탭 선택.
- 3 증분개수: "20" 입력. 
- 4 [변위] 체크, [하중] 체크 해제, [일량] 체크.
- 5 [기하 비선형] 체크 
- 6 [확인] 버튼 클릭.
- 7 [확인] 버튼 클릭.

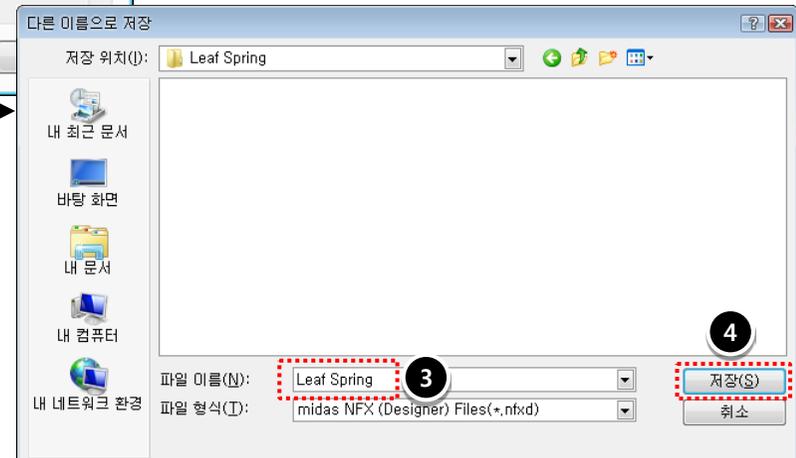
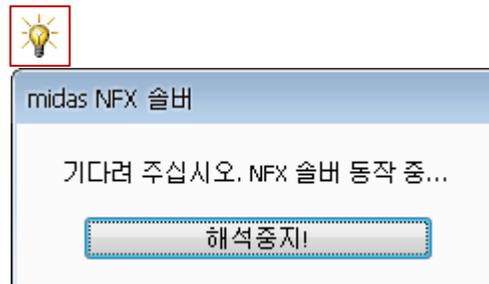
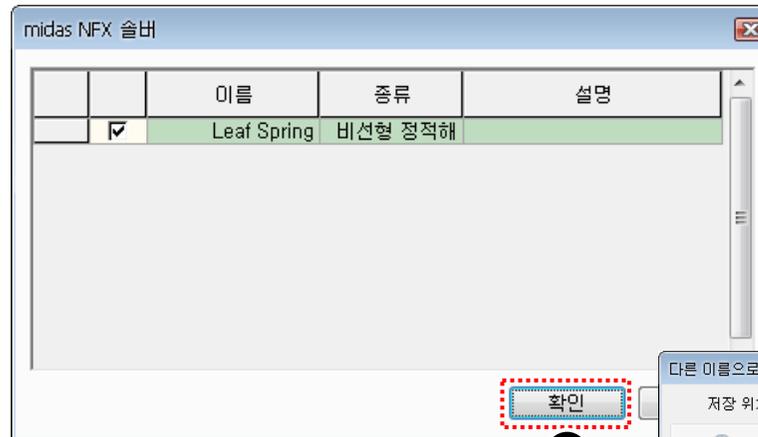
 전체 변위(8mm)를 20등분하여 해석하도록 설정합니다.

 대변형을 고려하기 위해 기하 비선형을 체크 온 합니다.



## 작업 순서

- ① [해석] - [실행] 아이콘 클릭.
- ② [확인] 버튼 클릭.
- ③ 다른 이름으로 저장: "Leaf Spring" 입력.
- ④ [저장(S)] 버튼 클릭.



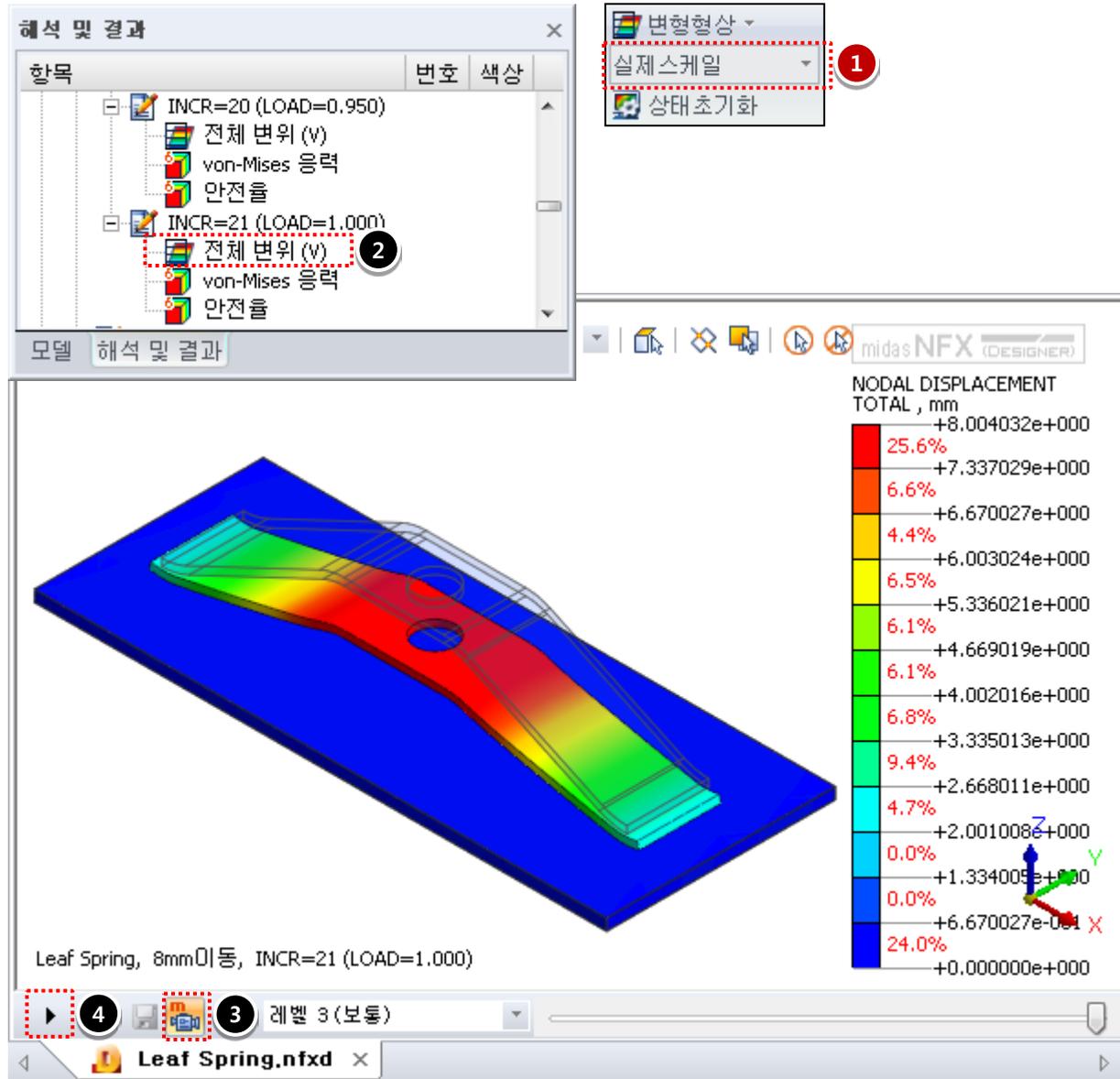
💡 해석을 실행하면 midas NFX 슬버가 작동됩니다. **해석중지!** 버튼을 클릭하면 해석이 중지됩니다.

## 작업 순서

- ① 실제스케일 선택.
- ② 해석 및 결과 작업트리에서  
"8mm이동"의 INCR=21, 전체 변위  
더블 클릭. 💡
- ③ [  ] (멀티-스텝 애니메이션 녹화)  
아이콘 클릭.
- ④ [  ] (재생) 아이콘 클릭. 💡

💡 처음위치에서 8mm 아래로 이동시킨  
해석결과 입니다.

💡 1~21단계까지의 실제 움직임을  
애니메이션으로 볼 수 있습니다.



해석 및 결과

항목	번호	색상
INCR=20 (LOAD=0.950)		
전체 변위 (v)		
von-Mises 응력		
안전율		
INCR=21 (LOAD=1.000)		
전체 변위 (v)	2	
von-Mises 응력		
안전율		

변형형상  
실제스케일 1  
상태초기화

NODAL DISPLACEMENT  
TOTAL, mm

25.6%	+8.004032e+000
6.6%	+7.337029e+000
	+6.670027e+000
4.4%	+6.003024e+000
6.5%	+5.336021e+000
6.1%	+4.669019e+000
6.1%	+4.002016e+000
6.8%	+3.335013e+000
9.4%	+2.668011e+000
4.7%	+2.001008e+000
0.0%	+1.334005e+000
0.0%	+6.670027e-001
24.0%	+0.000000e+000

Leaf Spring, 8mm이동, INCR=21 (LOAD=1.000)

4 3 레벨 3 (보통)

Leaf Spring.nfxd

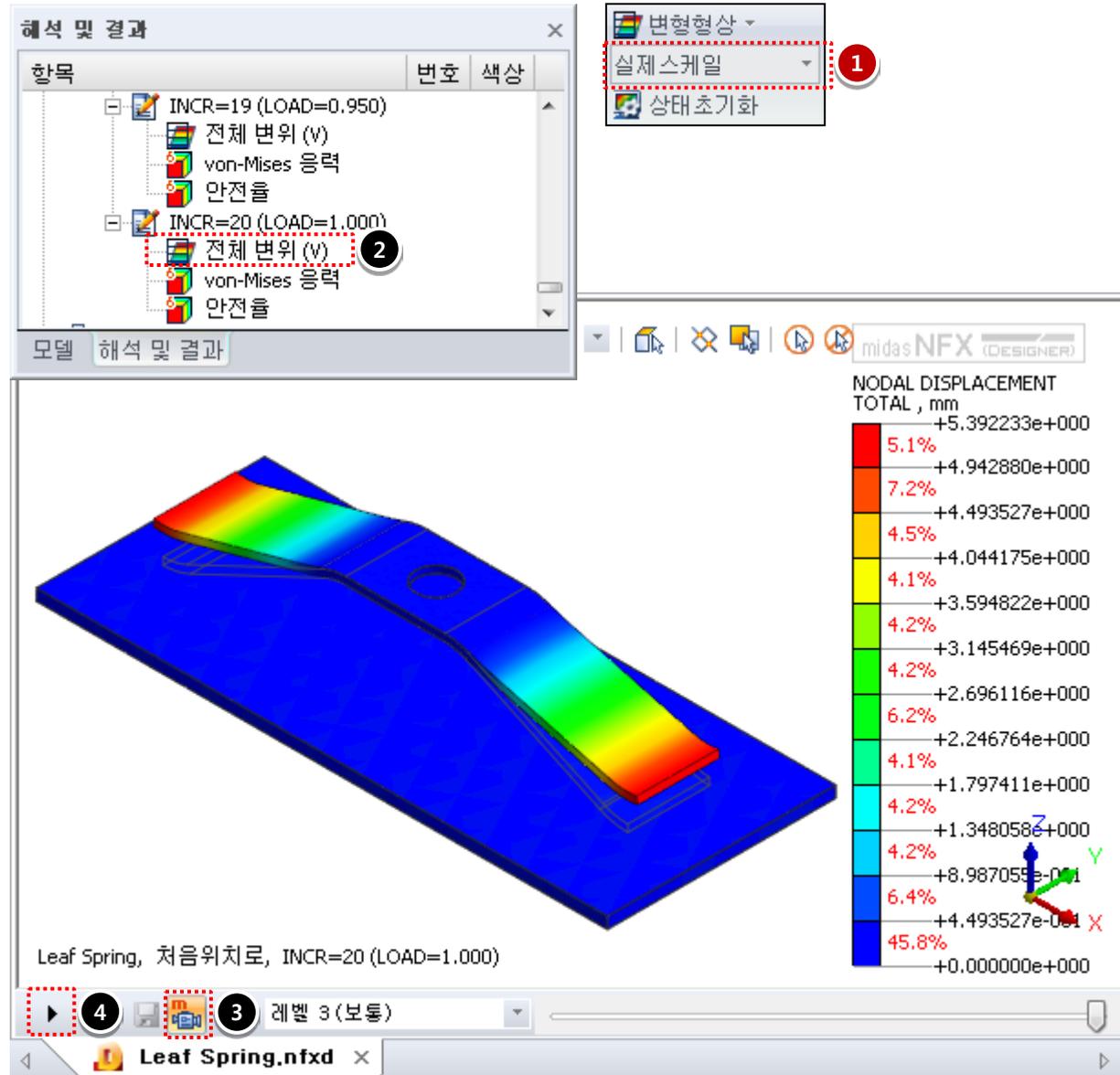
## 작업 순서

- ① 실제스케일 선택.
- ② 해석 및 결과 작업트리에서  
“처음위치로”의 INCR=20, 전체 변위  
더블 클릭.💡
- ③ [  ] (멀티-스텝 애니메이션 녹화)  
아이콘 클릭.
- ④ [  ] (재생) 아이콘 클릭.💡

※ 탄성영역을 넘어 소성영역에 해당하는 변위가 발생하여서 모델의 형태가 원래대로 되돌아오지 못함을 볼 수 있습니다.

💡 8mm 아래로 이동시킨 후 다시 처음 위치로 이동한 해석결과입니다.

💡 1~20단계까지의 실제 움직임을 애니메이션으로 볼 수 있습니다.



해석 및 결과

항목	번호	색상
INCR=19 (LOAD=0.950)		
전체 변위 (v)		
von-Mises 응력		
안전율		
INCR=20 (LOAD=1.000)		
전체 변위 (v)	2	
von-Mises 응력		
안전율		

변형형상  
실제스케일 1  
상태초기화

midas NFX (DESIGNER)

NODAL DISPLACEMENT  
TOTAL, mm

5.1%	+5.392233e+000
7.2%	+4.942880e+000
4.5%	+4.493527e+000
4.1%	+4.044175e+000
4.2%	+3.594822e+000
4.2%	+3.145469e+000
6.2%	+2.696116e+000
4.1%	+2.246764e+000
4.2%	+1.797411e+000
4.2%	+1.348058e+000
6.4%	+8.987055e-001
45.8%	+4.493527e-001
	+0.000000e+000

Leaf Spring, 처음위치로, INCR=20 (LOAD=1.000)

4 3 레벨 3 (보통)

Leaf Spring.nfxd

## 개요

## ➤ 비선형 정적 해석

- 단위: N, mm
- 기하모델: Bending Spring.x\_t

## ➤ 접촉조건 설정

- 일반접촉

## ➤ 구속조건과 하중조건

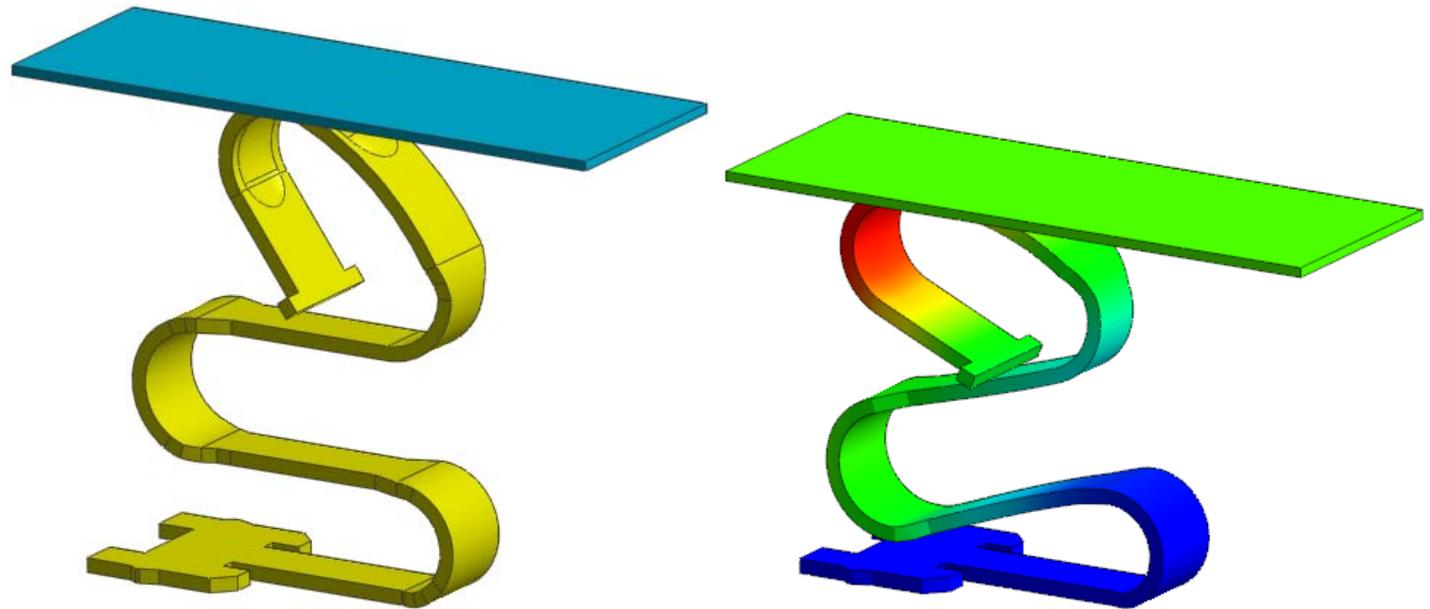
- 핀구속
- 이동변위

## ➤ 결과 확인

- 전체 변위
- von-Mises 응력
- 애니메이션 결과 보기

# Bending Spring

## (접촉, 기하 비선형)

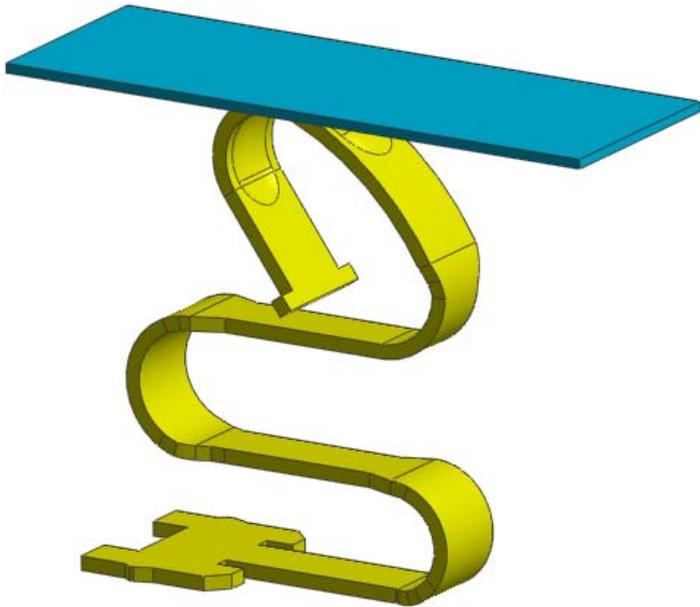


## 따라하기 목적

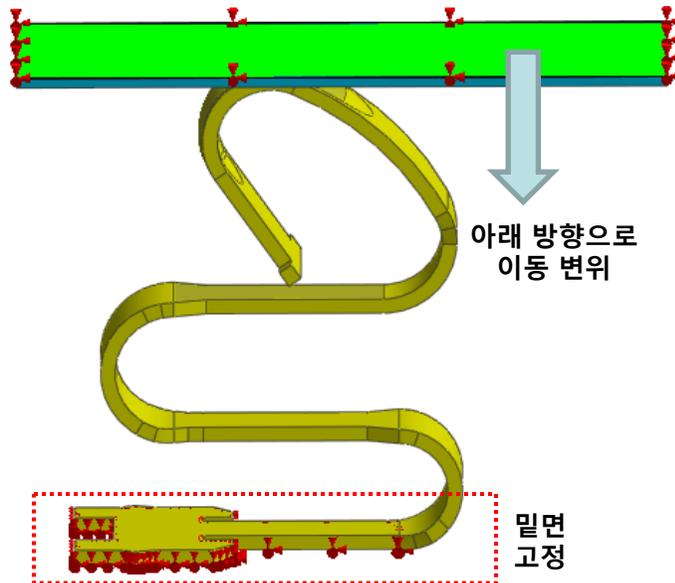
- 두 번의 연속적인 접촉이 발생하는 대변형(기하 비선형) 모델의 비선형 해석
  - 대변형(기하 비선형) 모델의 비선형 해석을 수행합니다.
  - 변형이 큰 거동을 구현하기 위해 요소망 생성을 조밀하게 합니다.
  - 해석 과정 중 두 번의 연속적인 접촉이 발생하면서 대변형 거동을 합니다.

## 해석 개요

### ➢ 대상 모델

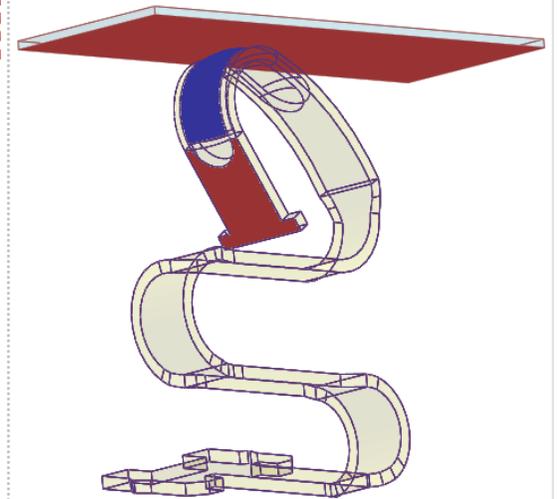


### ➢ 구속조건 (핀구속)



### ➢ 하중조건 (이동변위)

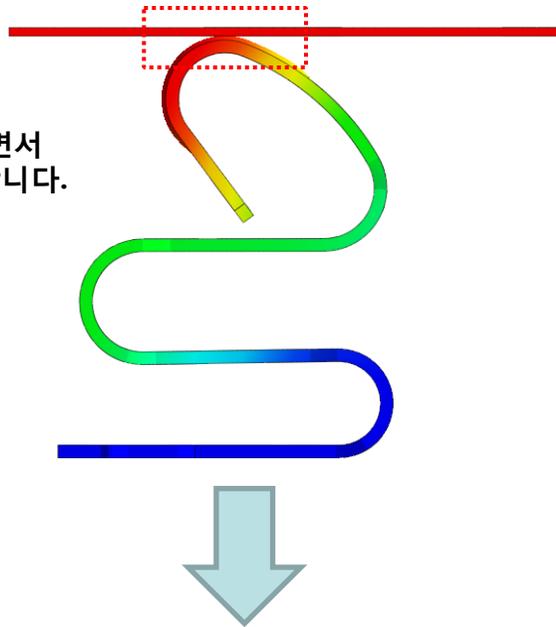
### ➢ 접촉조건 (일반접촉)



## 유저설정 접촉

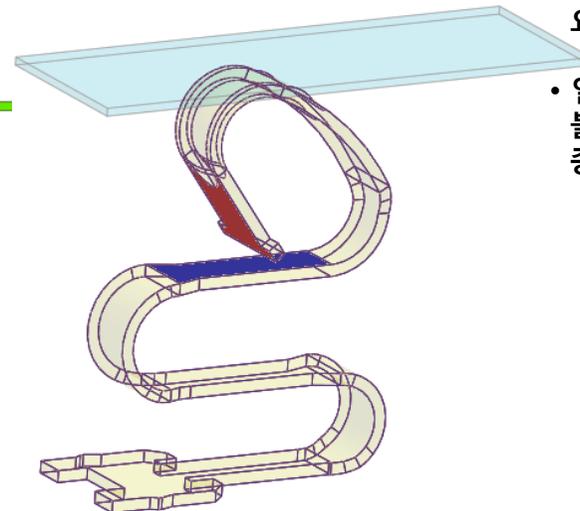
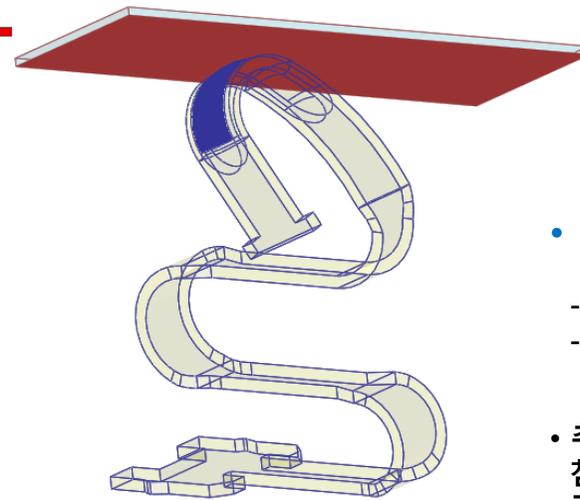
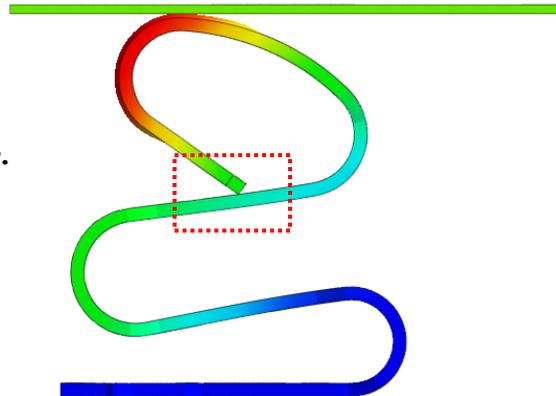
## • 1차 접촉 발생

- 윗 판이 아래로 내려오면서 스프링과 접촉이 발생합니다.



## • 2차 접촉 발생

- 스프링이 구부러지면서 서로 접촉이 발생합니다.



## • 일반 접촉 설정

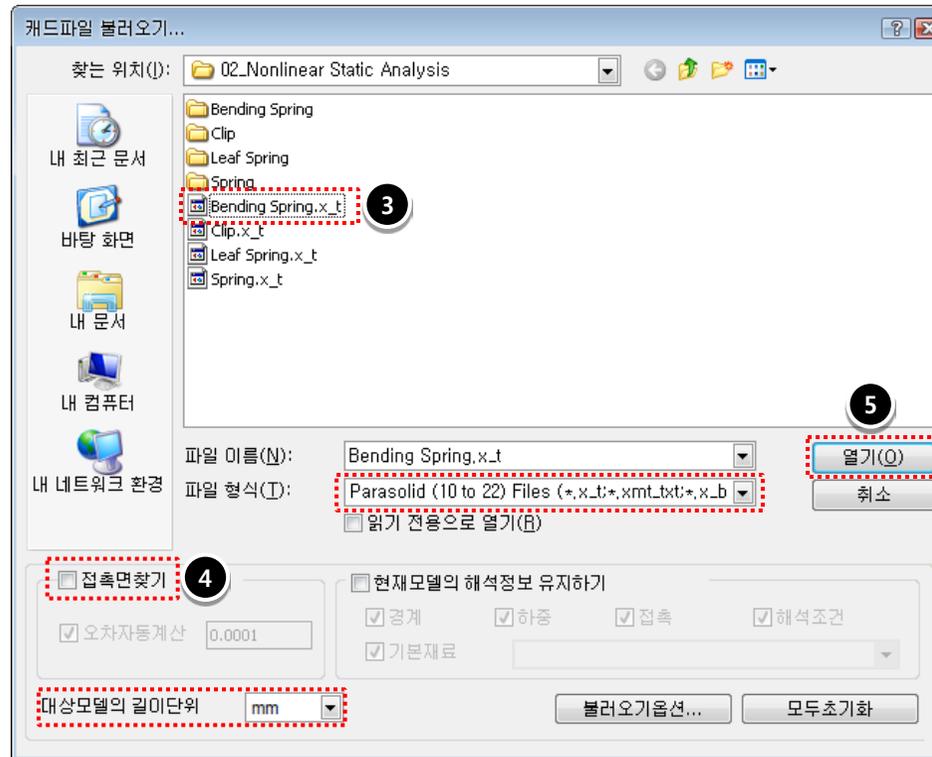
- 주 접촉면: 빨간색
- 종속 접촉면: 파란색
- 주 접촉면은 종속 접촉면에 침투할 수 있고, 종속 접촉면은 주 접촉면에 침투할 수 없다는 제한 조건이 있지만, 조밀한 요소망에서는 큰 차이가 없다.
- 일반적으로 강제면을 주 접촉면, 볼록한 면과 조밀한 요소망을 종속 접촉면으로 설정한다.

## 작업 순서

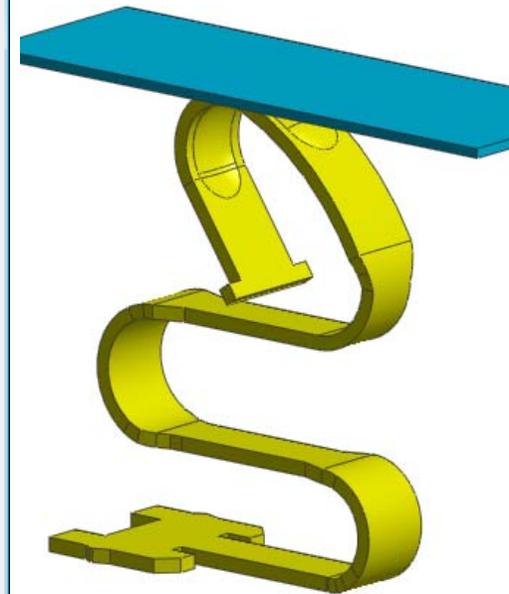
- ① [ ] (새로 만들기) 아이콘 클릭.
- ② [형상] - [불러오기] 아이콘 클릭.
- ③ 모델 선택: **Bending Spring.x\_t** 선택.
- ④ [접촉면찾기] 체크 해제.💡
- ⑤ [열기] 버튼 클릭.

💡 [접촉면찾기] 옵션은 기본 설정이며, 자동으로 접촉면을 찾아줍니다. 이번 따라하기에서는 접촉 설정방법을 습득하기 위해 자동 옵션을 사용하지 않습니다.

💡 재질은 기본으로 설정되는 **Alloy Steel**을 사용합니다. 자동으로 재질이 지정되므로 따로 지정할 필요가 없습니다. **재질 지정하기** 단계를 넘어가서 바로 접촉조건을 부여하면 됩니다.



• 파일 형식 및 길이단위 확인!!

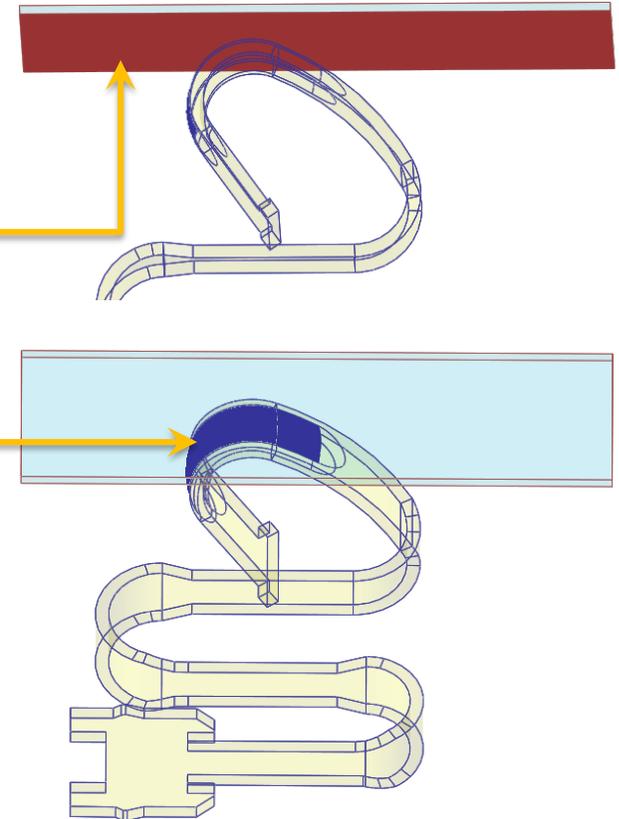
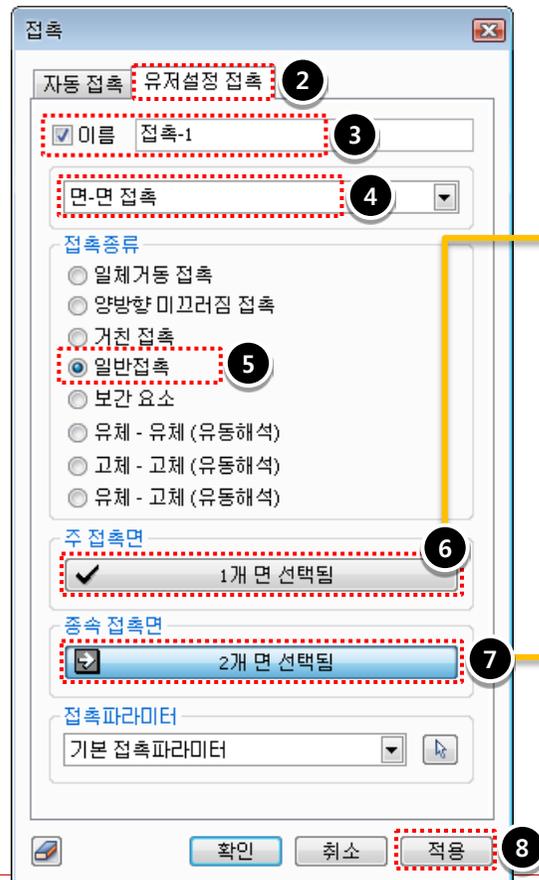


## 작업 순서

- ① [형상] - [접촉] 아이콘 클릭.
- ② [유저설정 접촉] 탭 선택.
- ③ 이름: "접촉-1" 입력.
- ④ "면-면 접촉" 선택.
- ⑤ 접촉종류: "일반접촉" 선택. 💡
- ⑥ 주 접촉면: 1개 면 선택.  
(위에 있는 평판의 아랫면 선택.)
- ⑦ 종속 접촉면: 2개 면 선택.  
(평판을 아래로 이동시켰을 때 접촉되는 스프링 위쪽의 두면 선택.)
- ⑧ [적용] 버튼 클릭.

💡 **일반접촉:** 면과 면이 일반적인 접촉을 할 경우에 사용, 두 면이 해석 중에 접촉과 분리를 반복해도 해석 가능.

💡 주 접촉면은 빨간색, 종속 접촉면은 파란색으로 표시됩니다.



## 작업 순서

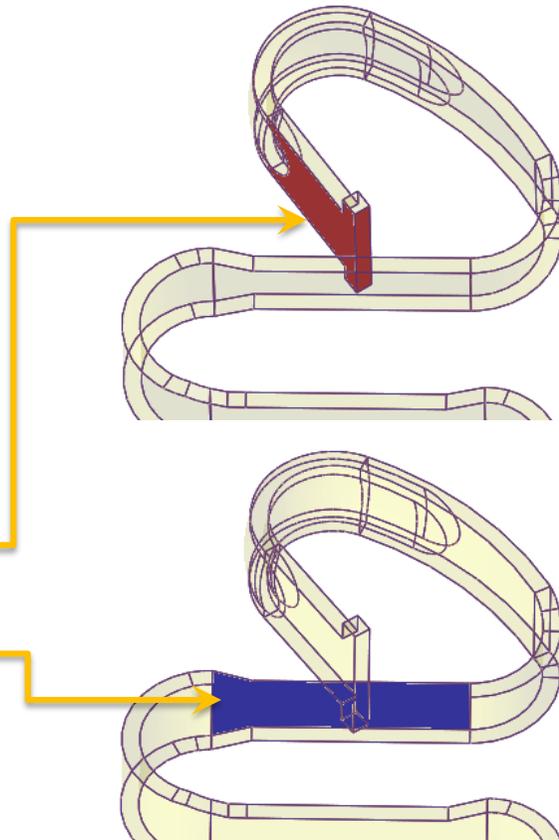
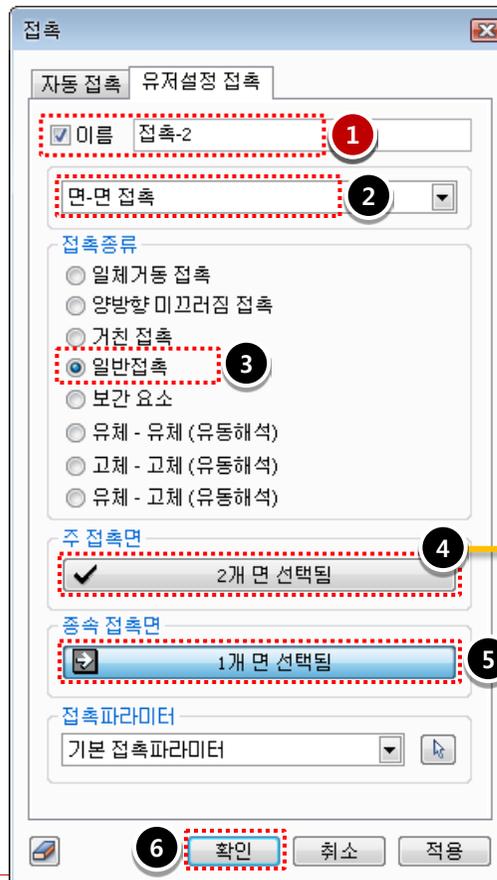
- ① 이름: "접촉-2" 입력.
- ② "면-면 접촉" 선택.
- ③ 접촉종류: "일반접촉" 선택.
- ④ 주 접촉면: 2개 면 선택.

(스프링이 접히면서 접촉이 발생하는  
윗부분의 두면 선택.)

- ⑤ 종속 접촉면: 1개 면 선택.

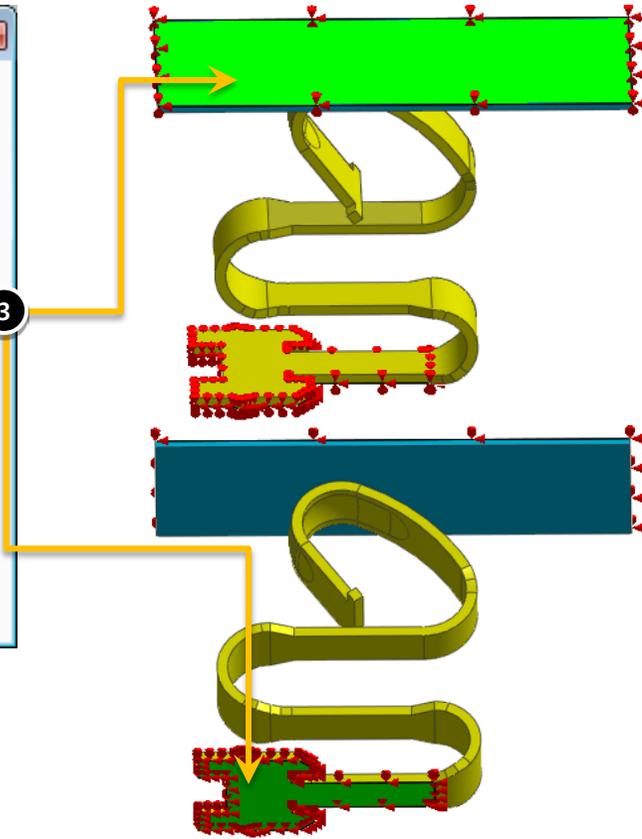
(스프링이 접히면서 접촉이 발생하는  
아랫면 선택.)

- ⑥ [확인] 버튼 클릭.



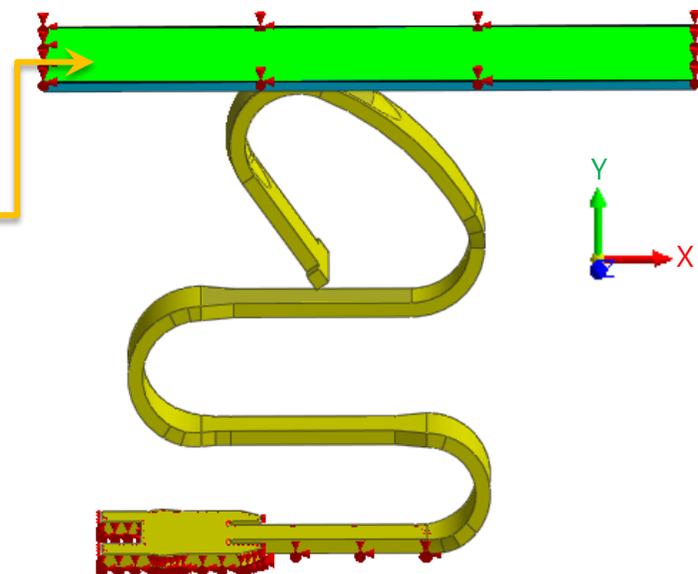
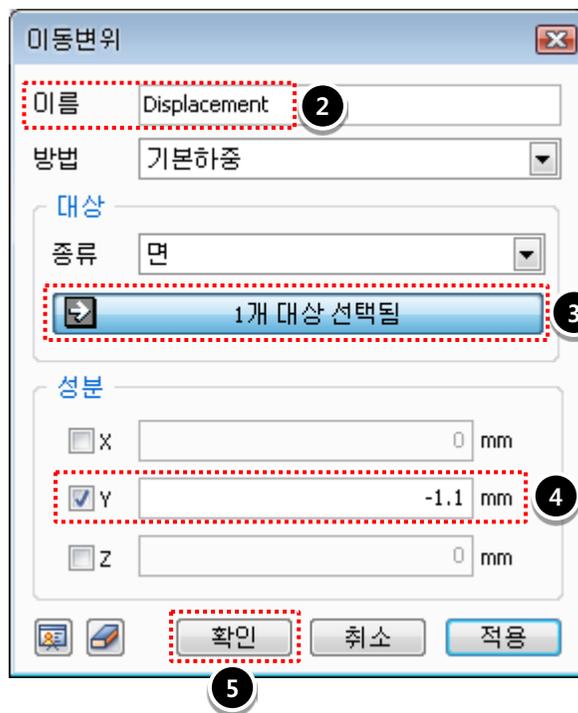
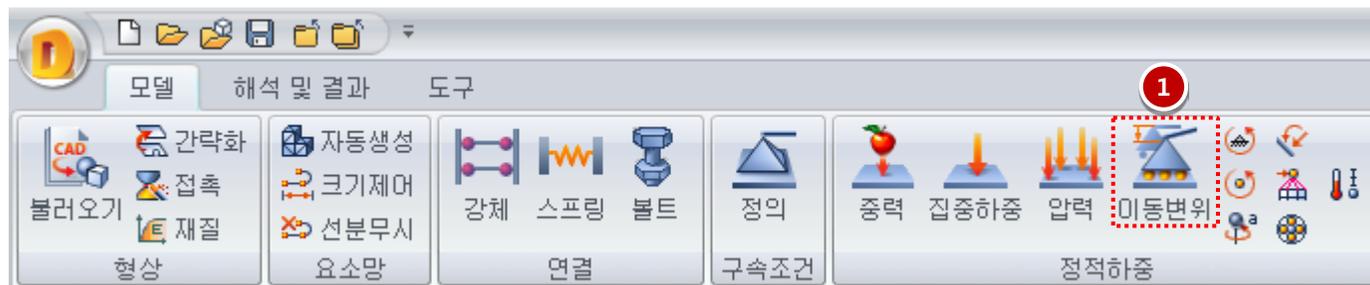
## 작업 순서

- ① [구속조건] - [정의] 아이콘 클릭.
- ② 이름: "Fix" 입력.
- ③ 대상: 면 2개 선택. (그림 참조)
- ④ 조건: [핀구속] 선택.
- ⑤ [확인] 버튼 클릭.



## 작업 순서

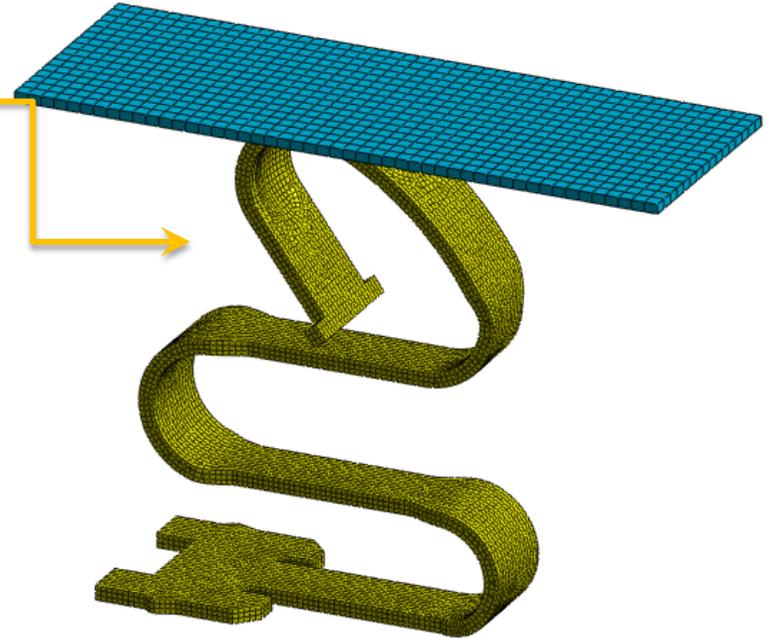
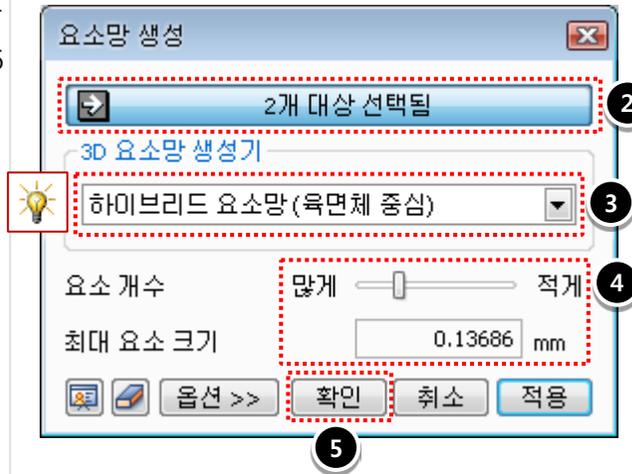
- ① [정적하중] - [이동변위] 아이콘 클릭.
- ② 이름: "Displacement" 입력.
- ③ 대상: 면 1개 선택. (그림 참조)
- ④ 성분: [Y축] 체크, "-1.1" 입력. 💡
- ⑤ [확인] 버튼 클릭.



💡 평판 모델을 -Y축(수직 아랫방향)으로 1.1mm만큼 이동시킵니다.

## 작업 순서

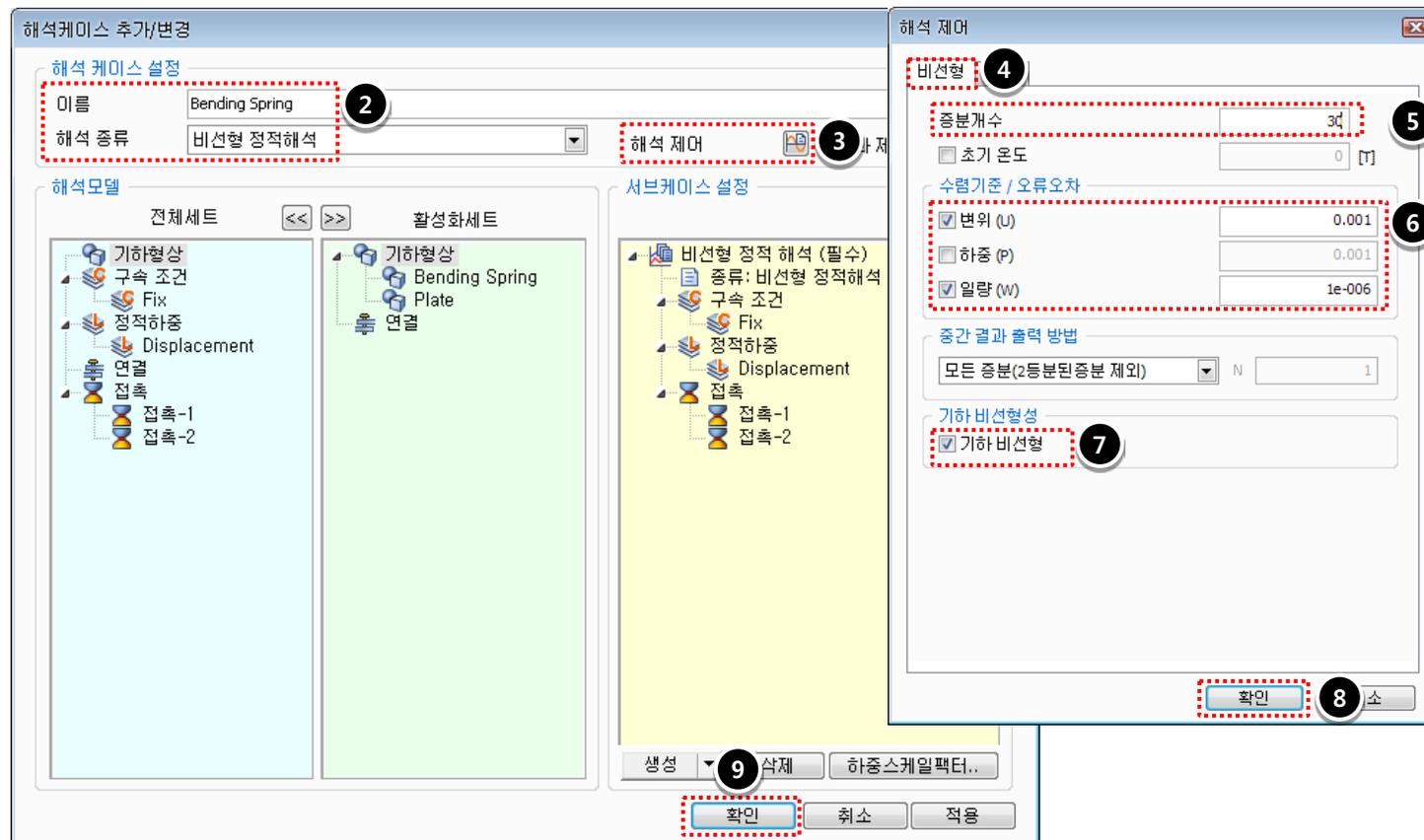
- ① [요소망] - [자동생성] 아이콘 클릭.
- ② 대상 선택: 전체 모델(2개) 선택.
- ③ 3D 요소망 생성기: 하이브리드 요소망 (육면체 중심) 선택.
- ④ 요소 개수의 스크롤 바를 많게 쪽으로 이동 시킴. (최대 요소 크기가 0.13686 mm로 될 때까지)💡
- ⑤ [확인] 버튼 클릭.



💡 모델의 변형이 큰 기하 비선형 해석을 하기 위해서는 요소망 생성을 조밀하게 할 필요가 있습니다. 요소망이 조밀해야 변형 형상의 움직임이 잘 표현됩니다. (요소망 생성의 시간이 오래 걸리니 기다려 주십시오.)

## 작업 순서

- 1 [해석케이스] - [정의] 아이콘 클릭.
- 2 이름: "Bending Spring" 입력.  
해석 종류: [비선형 정적해석] 선택.
- 3 [해석 제어] 아이콘 클릭.
- 4 [비선형] 탭 선택.
- 5 증분개수: "30" 입력.
- 6 [변위] 체크, [하중] 체크 해제,  
[일량] 체크.
- 7 [기하 비선형] 체크.
- 8 [확인] 버튼 클릭.
- 9 [확인] 버튼 클릭.

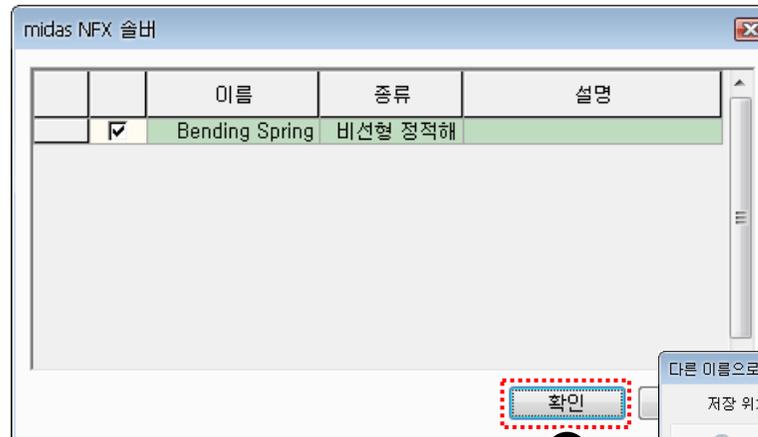


💡 모델의 변형이 큰 기하 비선형 해석을 할 때는 증분개수를 많이 나누어서 한 번에 입력되는 변위를 작게 해줄 필요가 있습니다.(1.1mm의 변위를 30등분하여 해석하는 것입니다.)

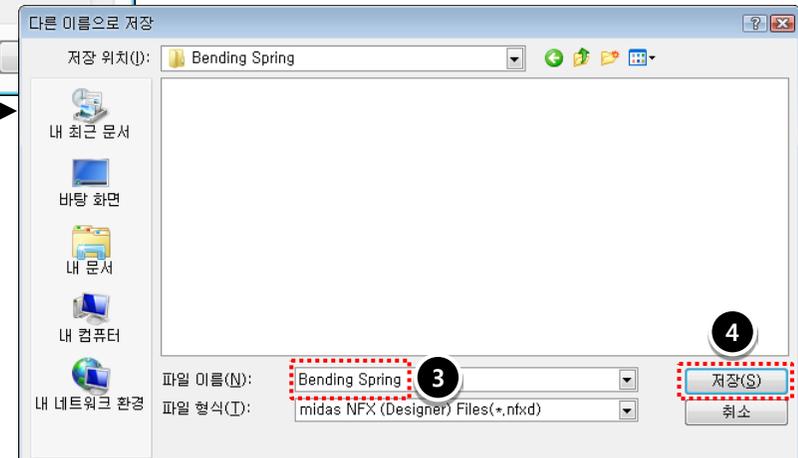
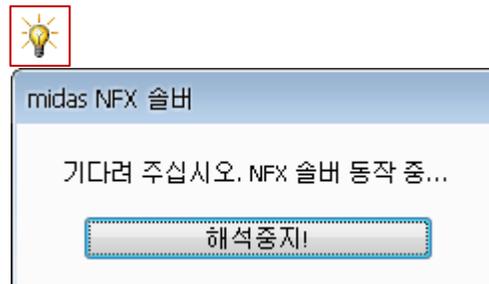
## 작업 순서

- ① [해석] - [실행] 아이콘 클릭.
- ② [확인] 버튼 클릭.
- ③ 다른 이름으로 저장: "Bending Spring" 입력.
- ④ [저장(S)] 버튼 클릭.

(해석시간이 약 40~50분 정도 걸립니다. 기다려 주십시오.)



💡 해석을 실행하면 midas NFX 슬버가 작동됩니다. **해석중지!** 버튼을 클릭하면 해석이 중지됩니다.



## 작업 순서

- ① 실제스케일 선택.
- ② 해석 및 결과 작업트리에서 INCR=30, 전체 변위 더블 클릭.
- ③ [  ] (멀티-스텝 애니메이션 녹화) 아이콘 클릭.
- ④ [  ] (재생) 아이콘 클릭. 💡

💡 1~30단계까지의 실제 움직임을 애니메이션으로 볼 수 있습니다.

해석 및 결과

항목	번호	색상
INCR=29 (LOAD=0.967)		
전체 변위 (v)		
von-Mises 응력		
안전율		
INCR=30 (LOAD=1.000)		
전체 변위 (v)	2	
von-Mises 응력		
안전율		

변형현상

- 실제스케일 1
- 상태초기화

NODAL DISPLACEMENT TOTAL, mm

6.5%	+1.901353e+000
5.5%	+1.742907e+000
	+1.584461e+000
6.7%	+1.426015e+000
6.5%	+1.267569e+000
3.8%	+1.109123e+000
16.8%	+9.506765e-001
10.2%	+7.922304e-001
6.3%	+6.337844e-001
4.6%	+4.753383e-001
1.8%	+3.168922e-001
3.1%	+1.584461e-001
28.2%	+0.000000e+000

Bending Spring, 비선형 정적 해석 (필수), INCR=30 (LOAD=1.000)

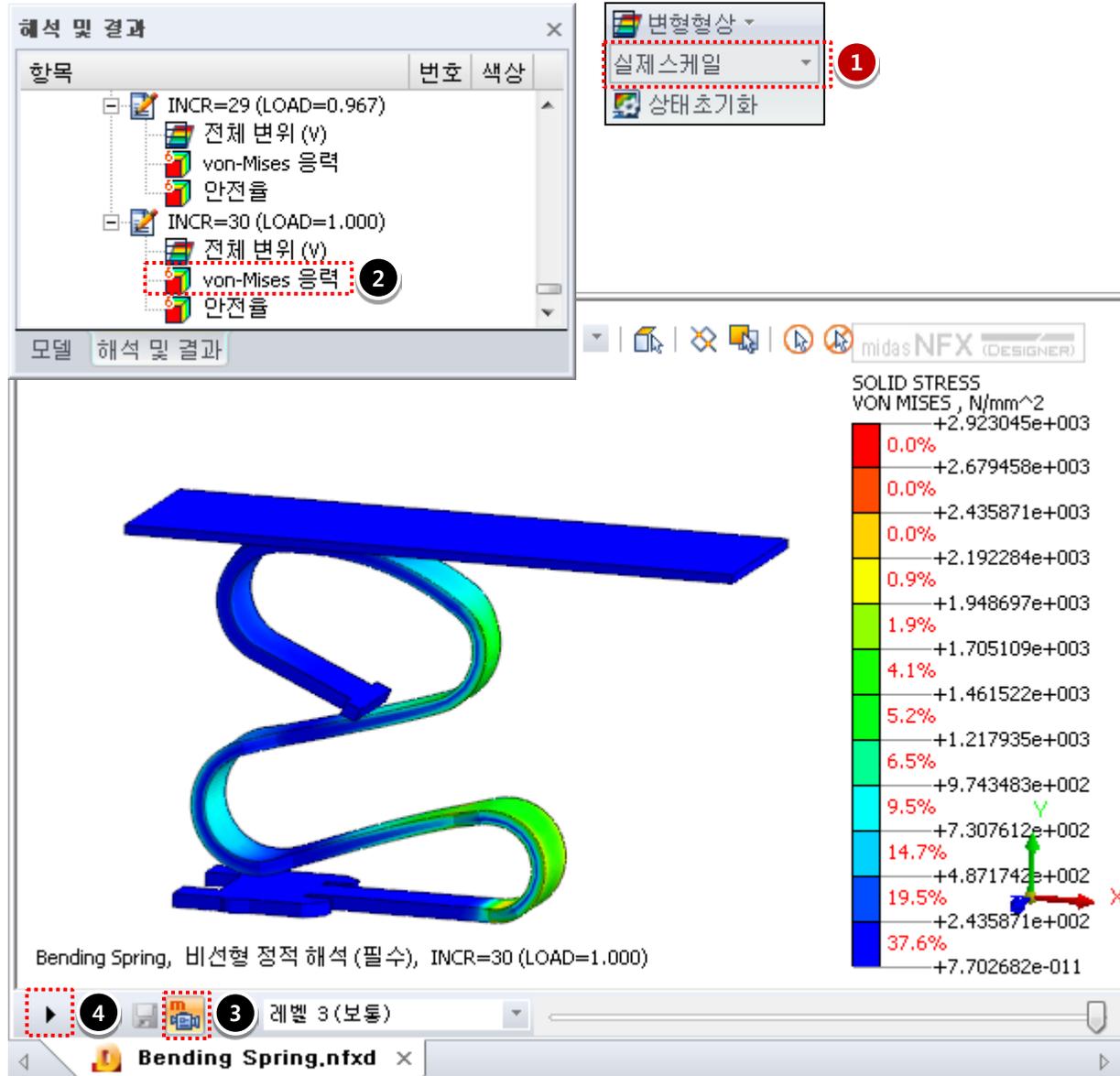
4 3 레벨 3 (보통)

Bending Spring.nfxd

## 작업 순서

- ① 실제스케일 선택.
- ② 해석 및 결과 작업트리에서 INCR=30, Von-Mises 응력 더블 클릭.
- ③ [  ] (멀티-스텝 애니메이션 녹화) 아이콘 클릭.
- ④ [  ] (재생) 아이콘 클릭. 💡

💡 1~30단계까지의 실제 움직임을 애니메이션으로 볼 수 있습니다.



해석 및 결과

항목	번호	색상
INCR=29 (LOAD=0.967)		
전체 변위 (v)		
von-Mises 응력		
안전율		
INCR=30 (LOAD=1.000)		
전체 변위 (v)		
von-Mises 응력	2	
안전율		

변형현상

- 실제스케일 1
- 상태초기화

SOLID STRESS  
VON MISES, N/mm<sup>2</sup>

0.0%	+2.923045e+003
0.0%	+2.679458e+003
0.0%	+2.435871e+003
0.0%	+2.192284e+003
0.9%	+1.948697e+003
1.9%	+1.705109e+003
4.1%	+1.461522e+003
5.2%	+1.217935e+003
6.5%	+9.743483e+002
9.5%	+7.307612e+002
14.7%	+4.871742e+002
19.5%	+2.435871e+002
37.6%	+7.702682e-011

Bending Spring, 비선형 정적 해석 (필수), INCR=30 (LOAD=1.000)

4 3 레벨 3 (보통)

Bending Spring.nfxd

## 개요

## ➤ 비선형 정적 해석

- 단위: N, mm
- 기하모델: Clip.x\_t

## ➤ 접촉조건 설정

- 일반접촉

## ➤ 경계조건과 하중조건

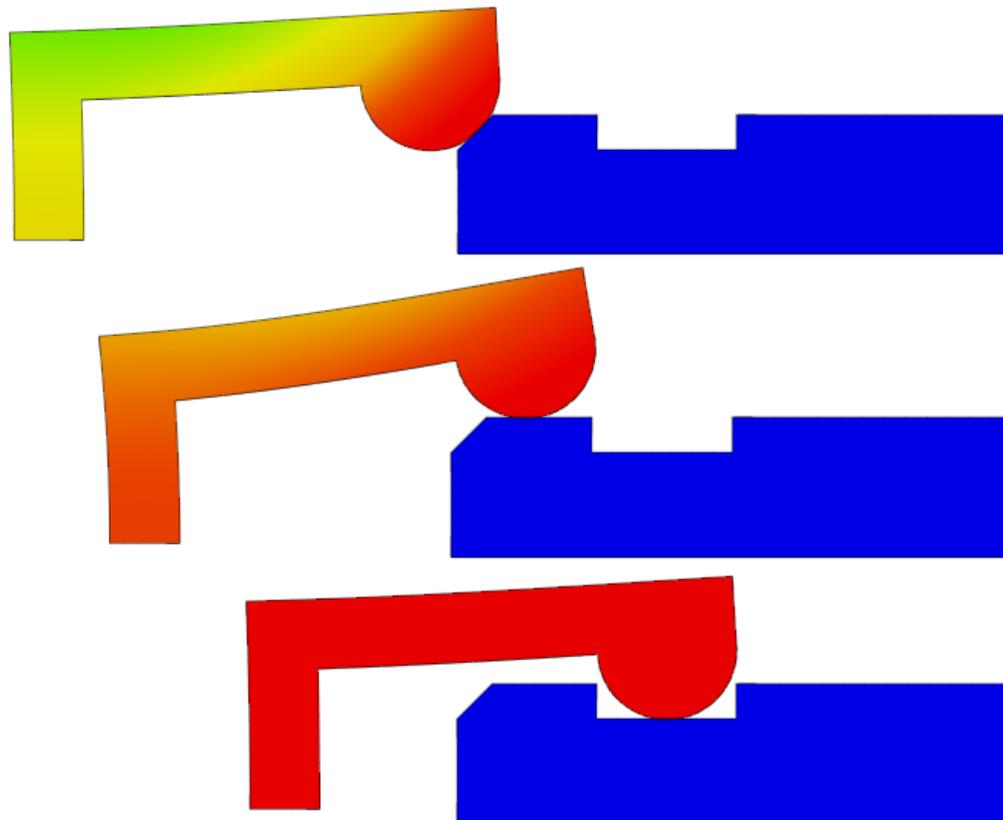
- 핀구속, 자유도 구속
- 이동변위

## ➤ 결과 확인

- 전체 변위
- von-Mises 응력
- 애니메이션 결과 보기

# Clip

## (접촉, 기하 비선형)

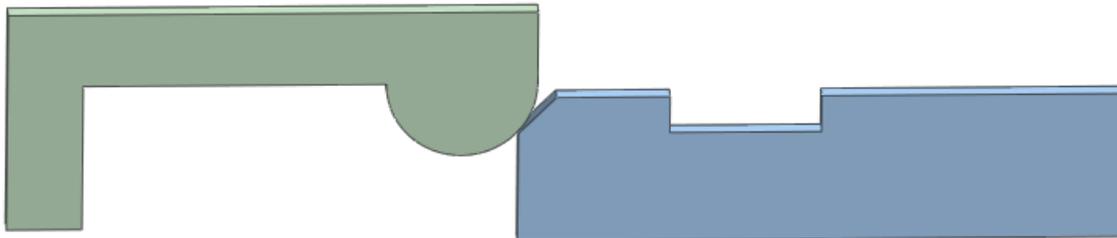


## 따라하기 목적

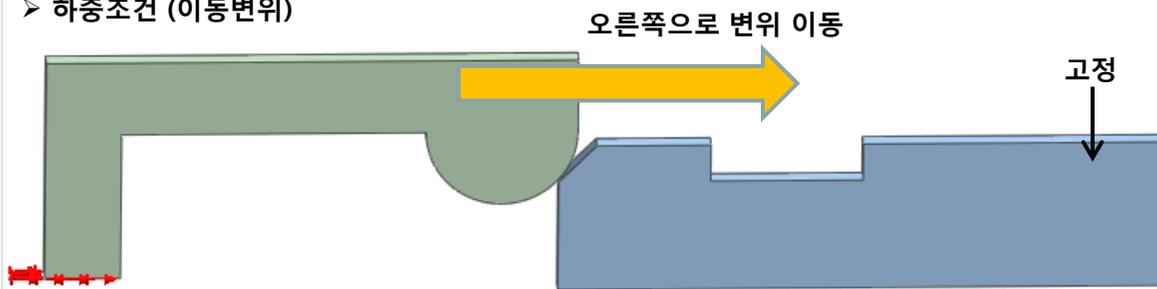
- 경사진 접촉이 발생하고, 이동변위가 큰 비선형 해석
  - 경사진 부분을 타고 올라가면서 접촉이 발생합니다.
  - 경사진 부분에서의 움직임이 원활하도록 수직, 수평 강성 계수를 낮춥니다.
  - 접촉이 발생하는 종속 접촉면에 수동으로 조밀한 요소망을 생성합니다.

## 해석 개요

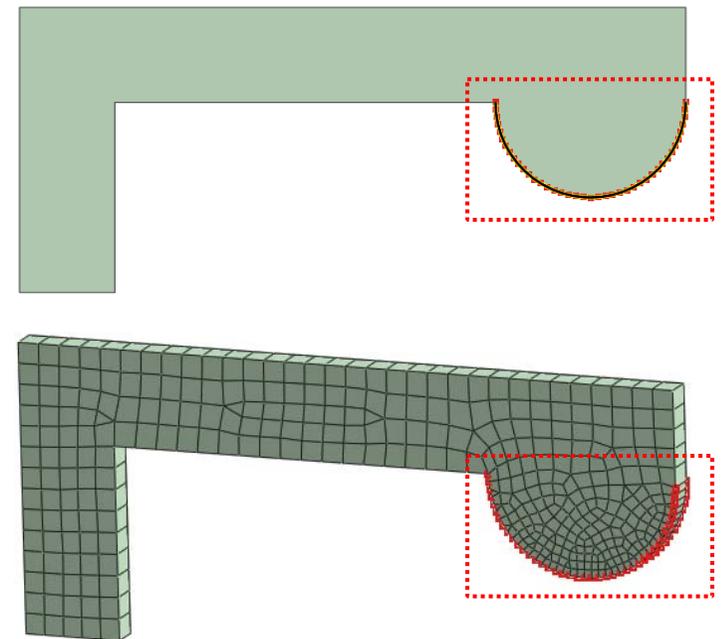
## ➢ 대상 모델



## ➢ 하중조건 (이동변위)

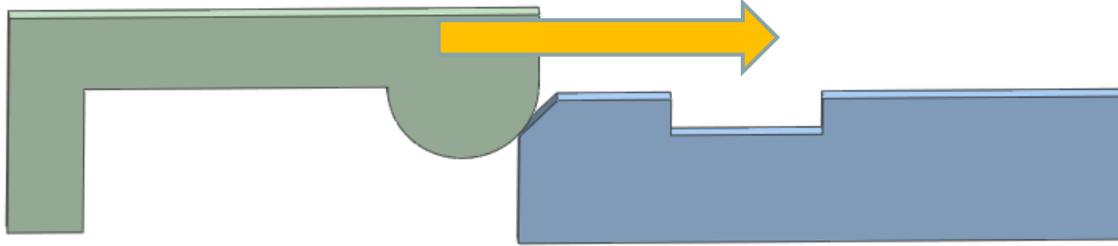
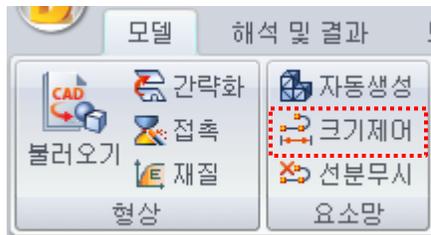
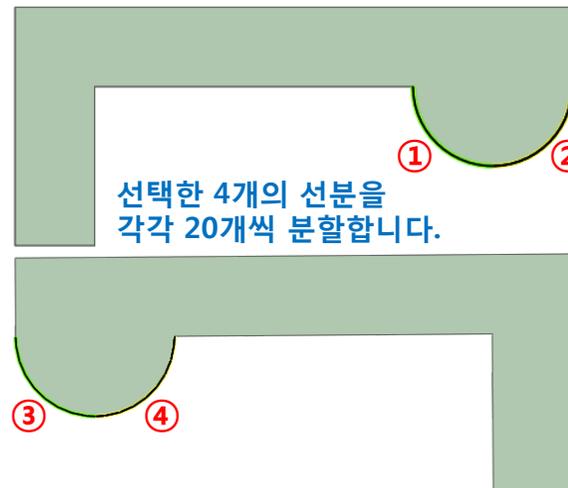
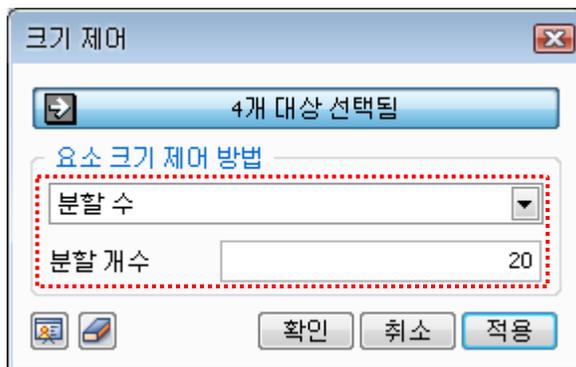
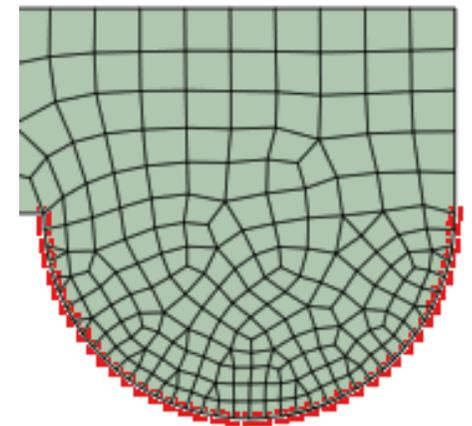


## ➢ 요소망 생성 (크기 제어 기능 활용)



## 요소망 생성 (크기 제어)

오른쪽으로 변위 이동

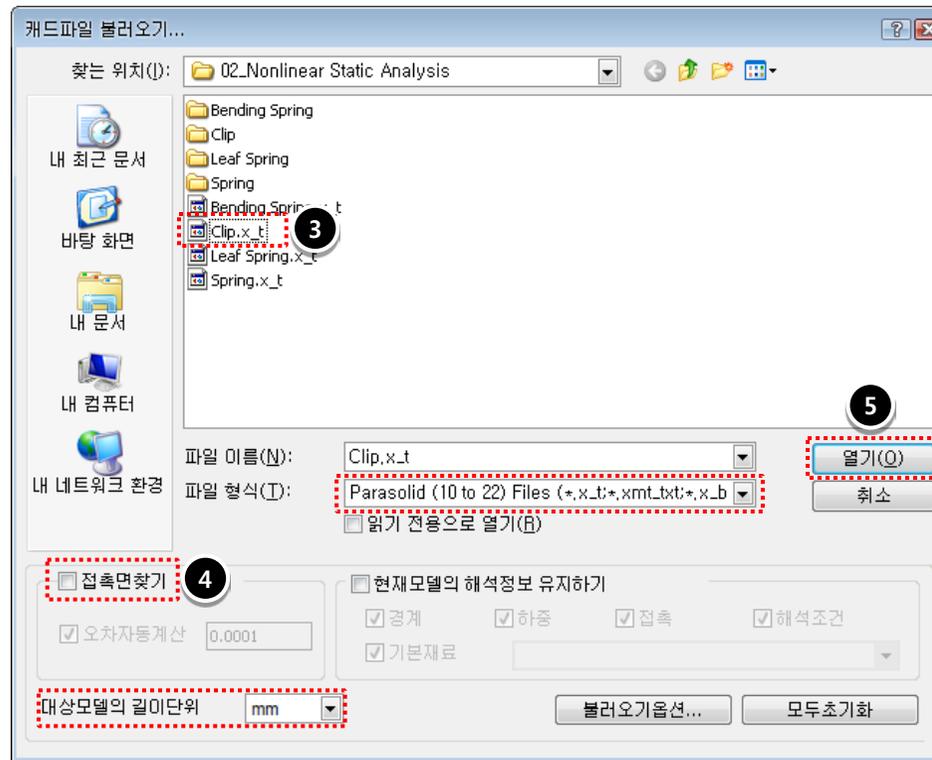
이동하면서 많은 접촉이 발생하므로  
조밀한 요소망 생성이 필요합니다.요소망 자동생성을 하기 전에  
크기 제어 기능을 이용하여  
선택적으로 요소 크기를 조절합니다.선택한 4개의 선분을  
각각 20개씩 분할합니다.요소망  
생성

## 작업 순서

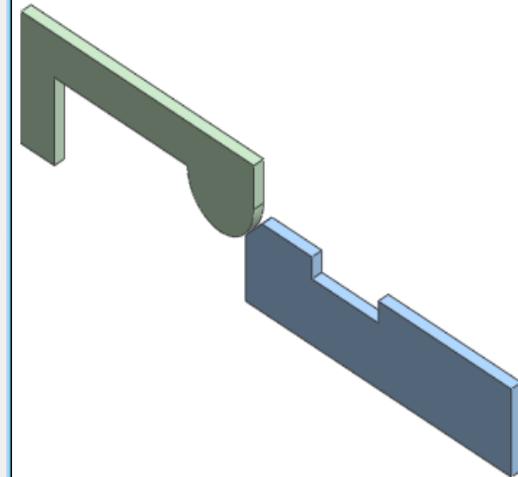
- ① [ ] (새로 만들기) 아이콘 클릭.
- ② [형상] - [불러오기] 아이콘 클릭.
- ③ 모델 선택: Clip.x\_t 선택.
- ④ [접촉면찾기] 체크 해제. 💡
- ⑤ [열기] 버튼 클릭.

💡 [접촉면찾기] 옵션은 기본 설정이며, 자동으로 접촉면을 찾아줍니다. 이번 따라하기에서는 접촉 설정방법을 습득하기 위해 자동 옵션을 사용하지 않습니다.

💡 재질은 기본으로 설정되는 Alloy Steel 을 사용합니다. 자동으로 재질이 지정 되므로 따로 지정할 필요가 없습니다. 재질 지정하기 단계를 넘어가서 바로 접촉조건을 부여하면 됩니다.



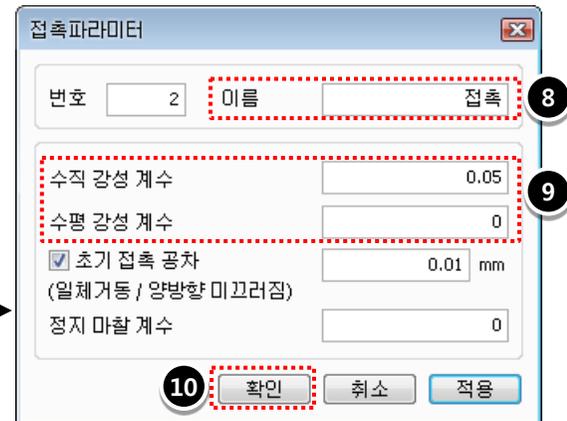
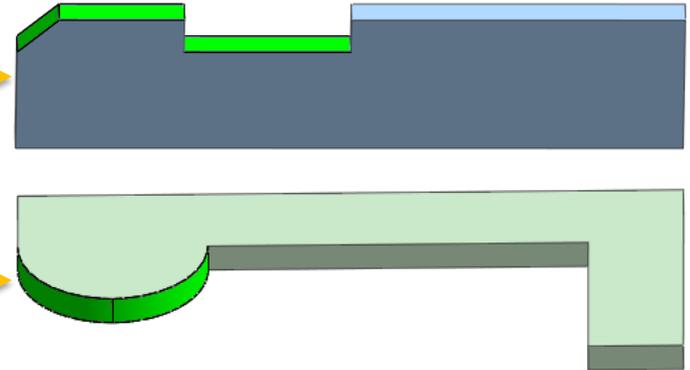
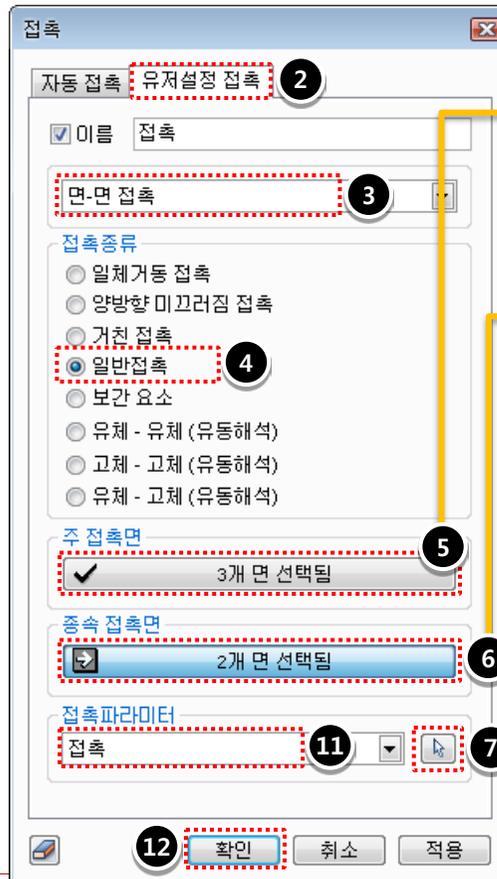
• 파일 형식 및 길이단위 확인!!



## 작업 순서

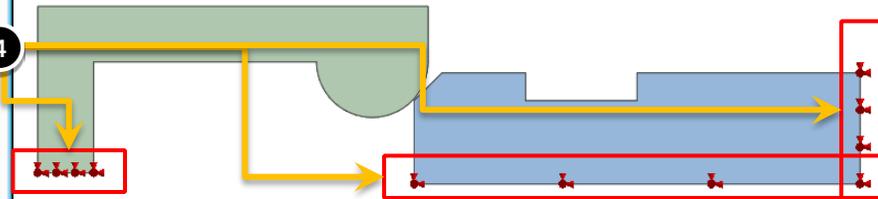
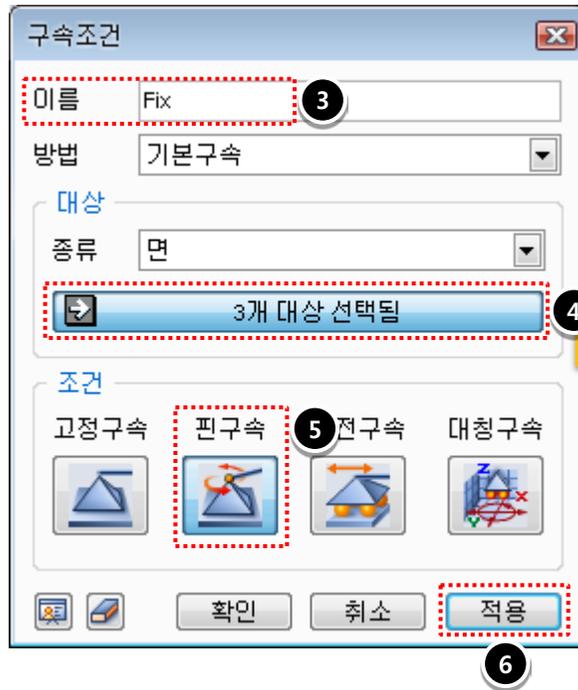
- ① [형상] - [접촉] 아이콘 클릭.
- ② [유저설정 접촉] 탭 선택.
- ③ “면-면 접촉” 선택.
- ④ 접촉종류: “일반접촉” 선택.
- ⑤ 주 접촉면: 3개 면 선택. (그림 참조)
- ⑥ 종속 접촉면: 2개 면 선택. (그림 참조)
- ⑦ 접촉파라미터의 화살표 아이콘 클릭.
- ⑧ 이름: “접촉” 입력.
- ⑨ 수직 강성 계수: “0.05” 입력.💡  
수평 강성 계수: “0” 입력.
- ⑩ [확인] 버튼 클릭.
- ⑪ 접촉파라미터: 접촉 선택.
- ⑫ [확인] 버튼 클릭.

💡 수직&수평 강성 계수를 줄임으로서 Clip의 접촉과 이동이 원활합니다.



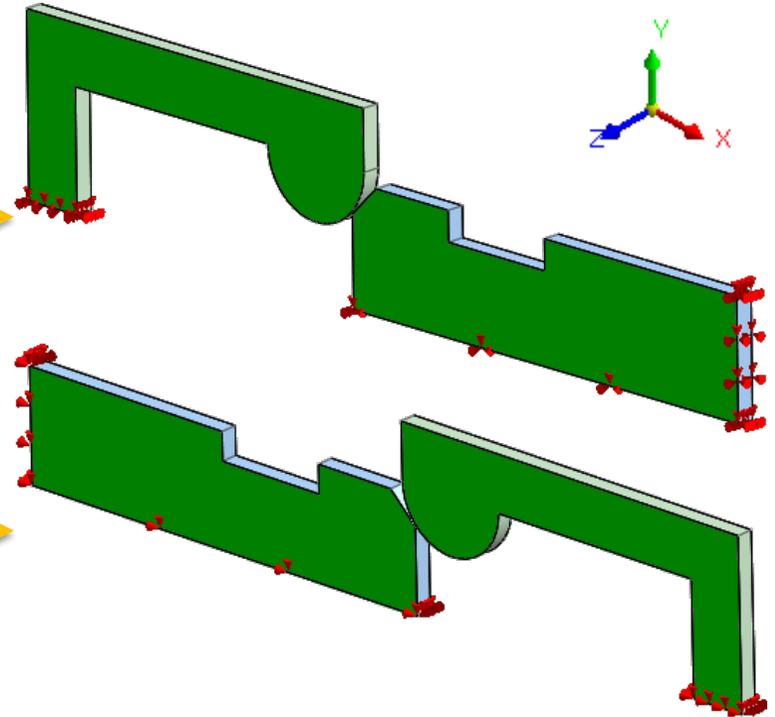
## 작업 순서

- ① [구속조건] - [정의] 아이콘 클릭.
- ② [ ] (윗면) 아이콘 클릭.
- ③ 이름: "Fix" 입력.
- ④ 대상: 면 3개 선택. (그림 참조)
- ⑤ 조건: [핀구속] 선택.
- ⑥ [적용] 버튼 클릭.



## 작업 순서

- 1 이름: "Z축 구속" 입력.
- 2 방법: 자유도구속 선택.
- 3 대상: 면 4개 선택. (그림 참조) 💡
- 4 자유도: [Tz] 선택 💡
- 5 [확인] 버튼 클릭.



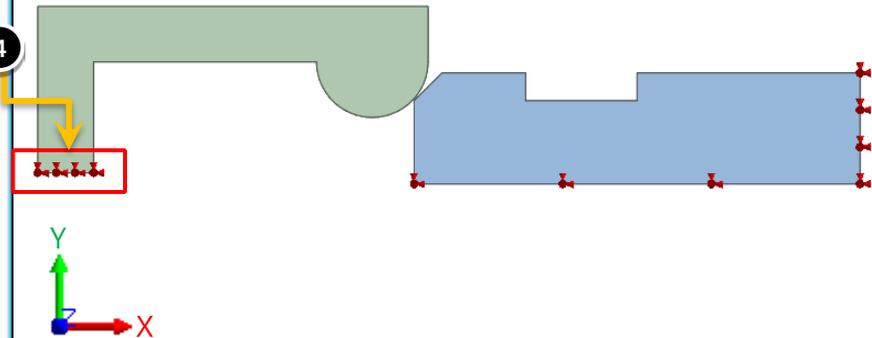
💡 두 모델의 양쪽 옆면(4면)을 모두 선택합니다.

💡 Clip 모델이 X축으로 이동하는 동안 Z축 방향으로 움직이지 못하도록 구속시켜 줍니다.

## 작업 순서

- ① [정적하중] - [이동변위] 아이콘 클릭.
- ② [ ] (윗면) 아이콘 클릭.
- ③ 이름: "X축 이동" 입력.
- ④ 대상: 면 1개 선택. (그림 참조 💡)
- ⑤ 성분: [X축] 체크, "48" 입력.
- ⑥ [확인] 버튼 클릭.

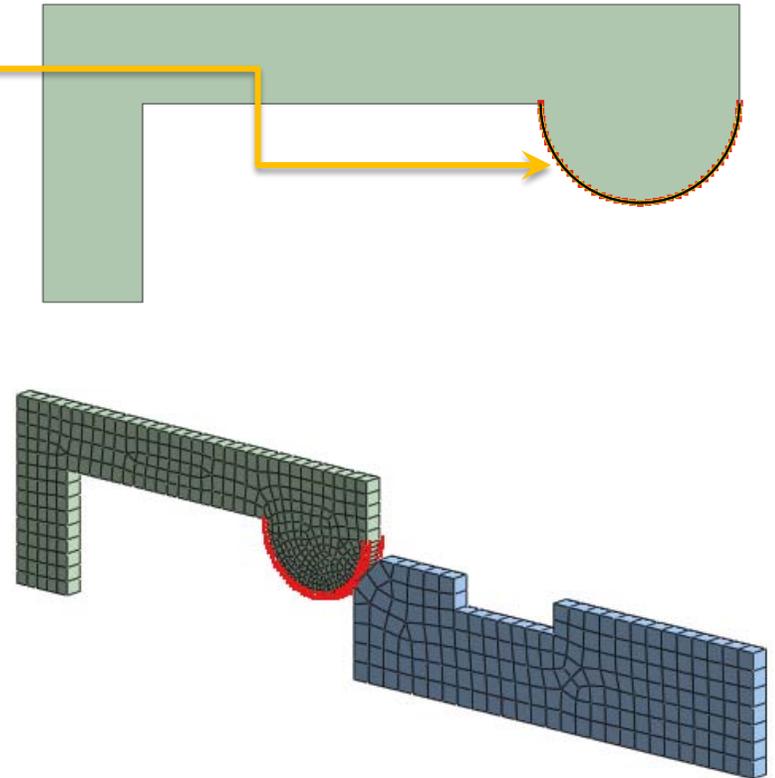
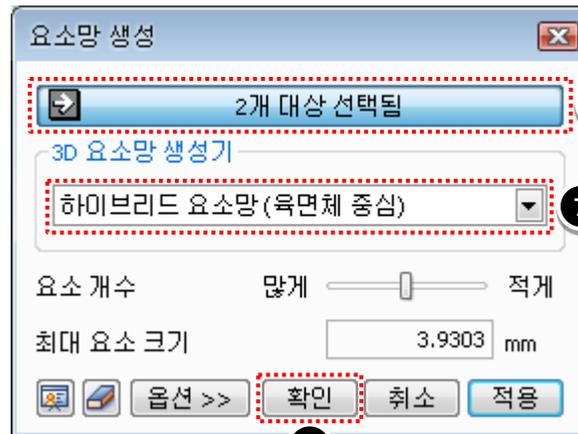
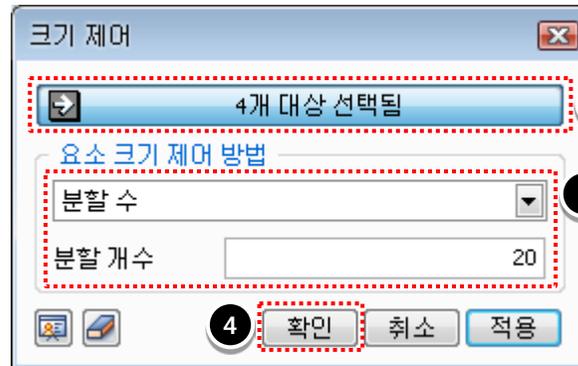
💡 Clip 모델을 X축(오른쪽)으로 48mm 만큼 이동 시킵니다.



## 작업 순서

- ① [요소망] - [크기제어] 아이콘 클릭.
- ② 대상 선택: 4개 변(모서리) 선택 
- ③ 요소 크기 제어 방법: 분할 수 선택.  
분할 개수: "20" 입력.
- ④ [확인] 버튼 클릭.
- ⑤ [요소망] - [자동생성] 아이콘 클릭.
- ⑥ 대상 선택: 전체 모델(2개) 선택.
- ⑦ 3D 요소망 생성기: 하이브리드 요소망 (육면체 중심) 선택.
- ⑧ [확인] 버튼 클릭.

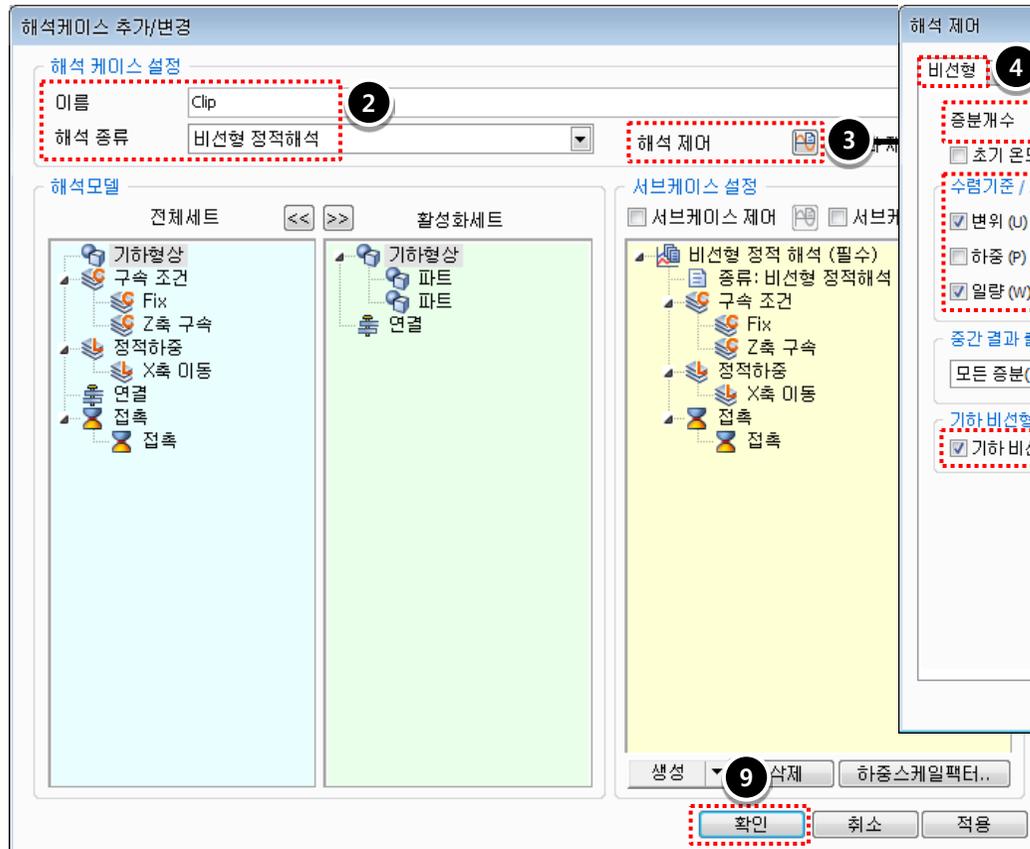
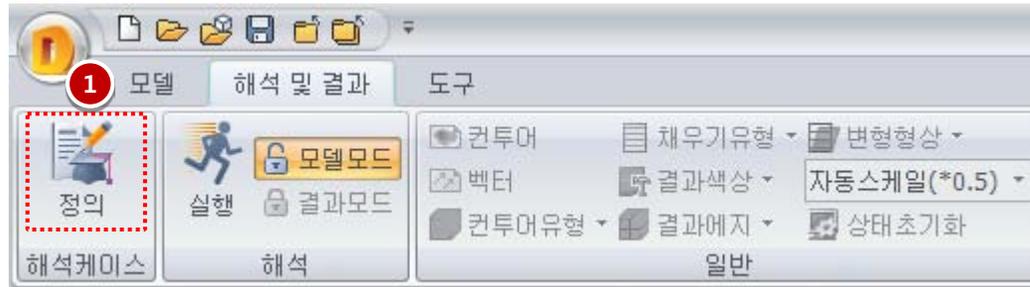
 반원 형태에서 2개의 선분을 선택하고, 반대편도 2개의 선분을 선택합니다.  
(총 4개의 선분 선택)



## 작업 순서

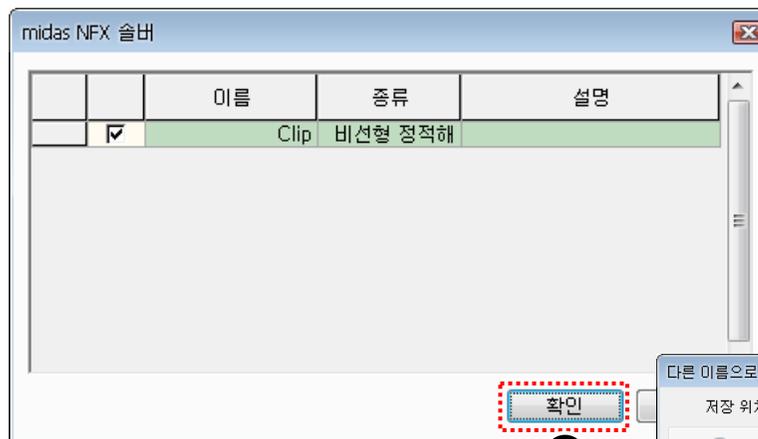
- 1 [해석케이스] - [정의] 아이콘 클릭.
- 2 이름: "Clip" 입력.  
해석 종류: [비선형 정적해석] 선택.
- 3 [해석 제어] 아이콘 클릭.
- 4 [비선형] 탭 선택.
- 5 증분개수: "30" 입력.
- 6 [변위] 체크, [하중] 체크 해제,  
[일량] 체크.
- 7 [기하 비선형] 체크 
- 8 [확인] 버튼 클릭.
- 9 [확인] 버튼 클릭.

 대변형을 고려하기 위해 기하 비선형을 체크 온 합니다.

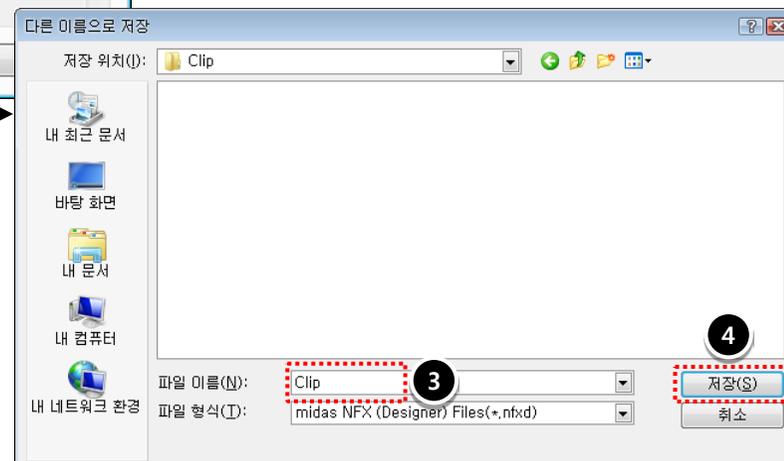
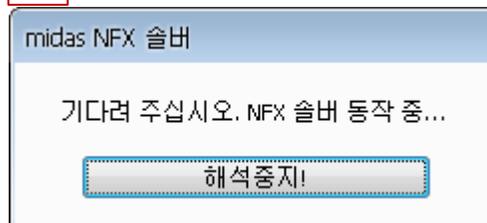


## 작업 순서

- ① [해석] - [실행] 아이콘 클릭.
- ② [확인] 버튼 클릭.
- ③ 다른 이름으로 저장: "Clip" 입력.
- ④ [저장(S)] 버튼 클릭.



💡 해석을 실행하면 midas NFX 슬버가 작동됩니다. **해석중지!** 버튼을 클릭하면 해석이 중지됩니다.



## 작업 순서

- ① 실제스케일 선택.
- ② 해석 및 결과 작업트리에서 INCR=34, 전체 변위 더블 클릭.
- ③ [  ] (멀티-스텝 애니메이션 녹화) 아이콘 클릭.
- ④ [  ] (재생) 아이콘 클릭.

해석 및 결과

항목

- INCR=33 (LOAD=0.967)
  - 전체 변위 (v)
  - von-Mises 응력
  - 안전율
- INCR=34 (LOAD=1.000)
  - 전체 변위 (v) ②
  - von-Mises 응력
  - 안전율

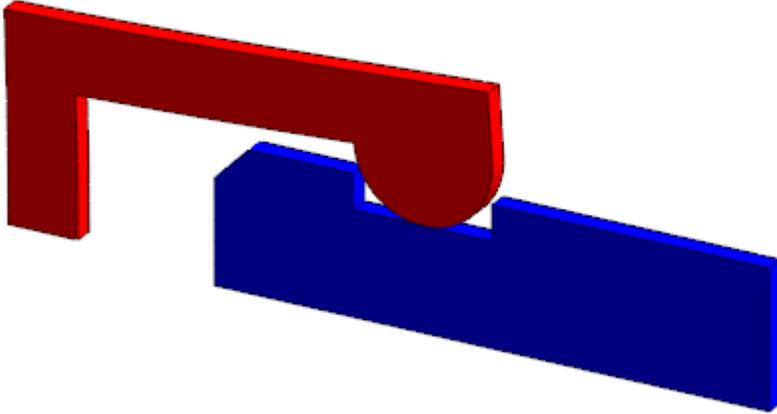
모델 해석 및 결과

변형형상 ▾

실제스케일 ①

상태초기화



Clip, 비선형 정적 해석 (필수), INCR=34 (LOAD=1.000)

midas NFX (DESIGNER)

NODAL DISPLACEMENT  
TOTAL, mm

93.3%	+4.871182e+001
0.0%	+4.465250e+001
0.0%	+4.059318e+001
0.0%	+3.653386e+001
0.0%	+3.247454e+001
0.0%	+2.841523e+001
0.0%	+2.435591e+001
0.0%	+2.029659e+001
0.0%	+1.623727e+001
0.0%	+1.217795e+001
0.0%	+8.118636e+000
0.0%	+4.059318e+000
6.7%	+0.000000e+000

④ ③ 레벨 3 (보통)

Clip.nfxd x

## 작업 순서

- ① 실제스케일 선택.
- ② 해석 및 결과 작업트리에서 INCR=34, Von-Mises 응력 더블 클릭.
- ③ [  ] (멀티-스텝 애니메이션 녹화) 아이콘 클릭.
- ④ [  ] (재생) 아이콘 클릭.

해석 및 결과

항목

- INCR=33 (LOAD=0.967)
  - 전체 변위 (v)
  - von-Mises 응력
  - 안전율
- INCR=34 (LOAD=1.000)
  - 전체 변위 (v)
  - von-Mises 응력 ②
  - 안전율

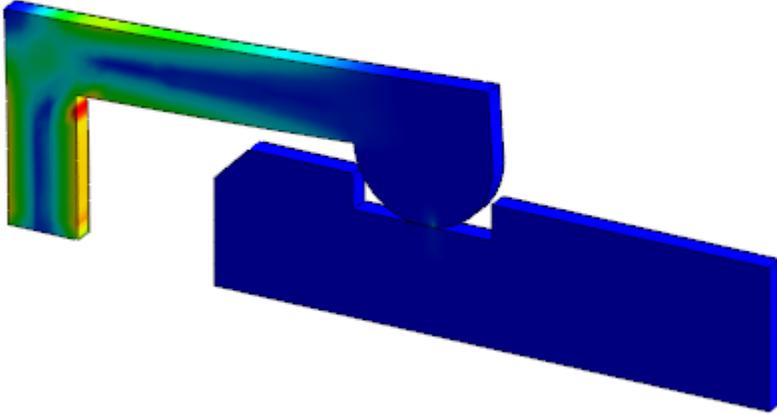
모델 해석 및 결과

변형형상 ▾

실제스케일 ①

상태초기화



Clip, 비선형 정적 해석 (필수), INCR=34 (LOAD=1.000)

SOLID STRESS  
VON MISES, N/mm<sup>2</sup>

0.1%	+1.741819e+003
0.1%	+1.596672e+003
0.5%	+1.451524e+003
0.6%	+1.306377e+003
0.8%	+1.161230e+003
1.1%	+1.016083e+003
1.7%	+8.709353e+002
2.0%	+7.257881e+002
2.5%	+5.806408e+002
2.7%	+4.354936e+002
7.2%	+2.903463e+002
81.0%	+1.451591e+002
	+5.186797e-002

④ ③ 레벨 3 (보통)

Clip.nfxd x