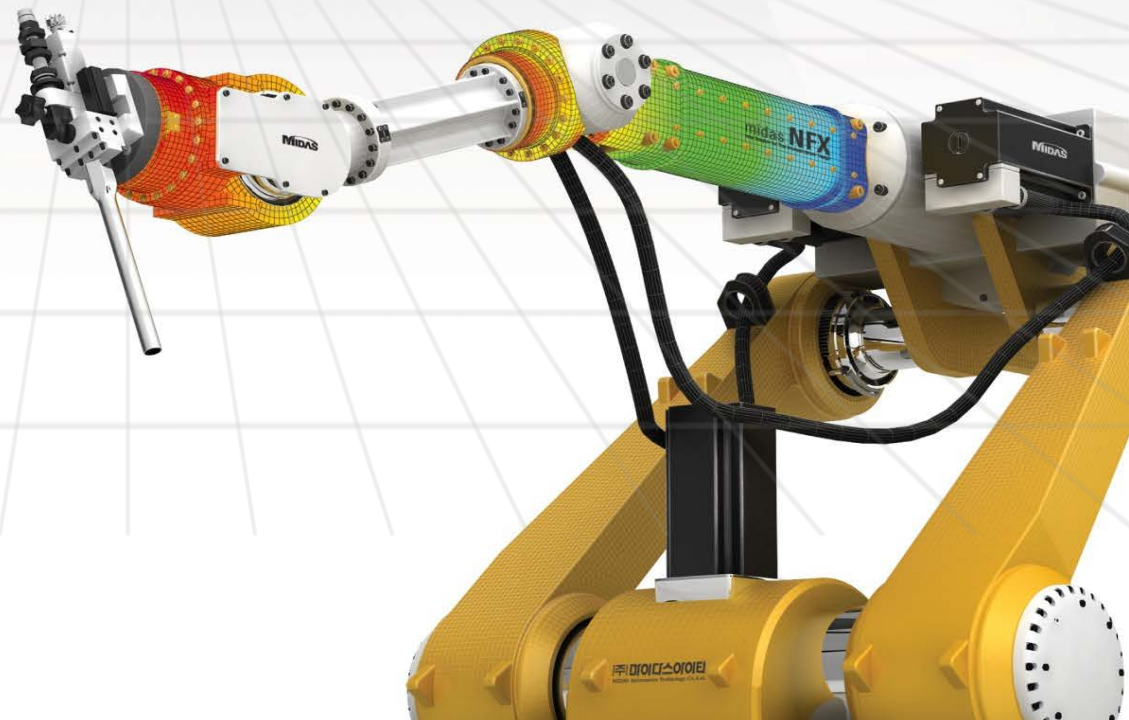
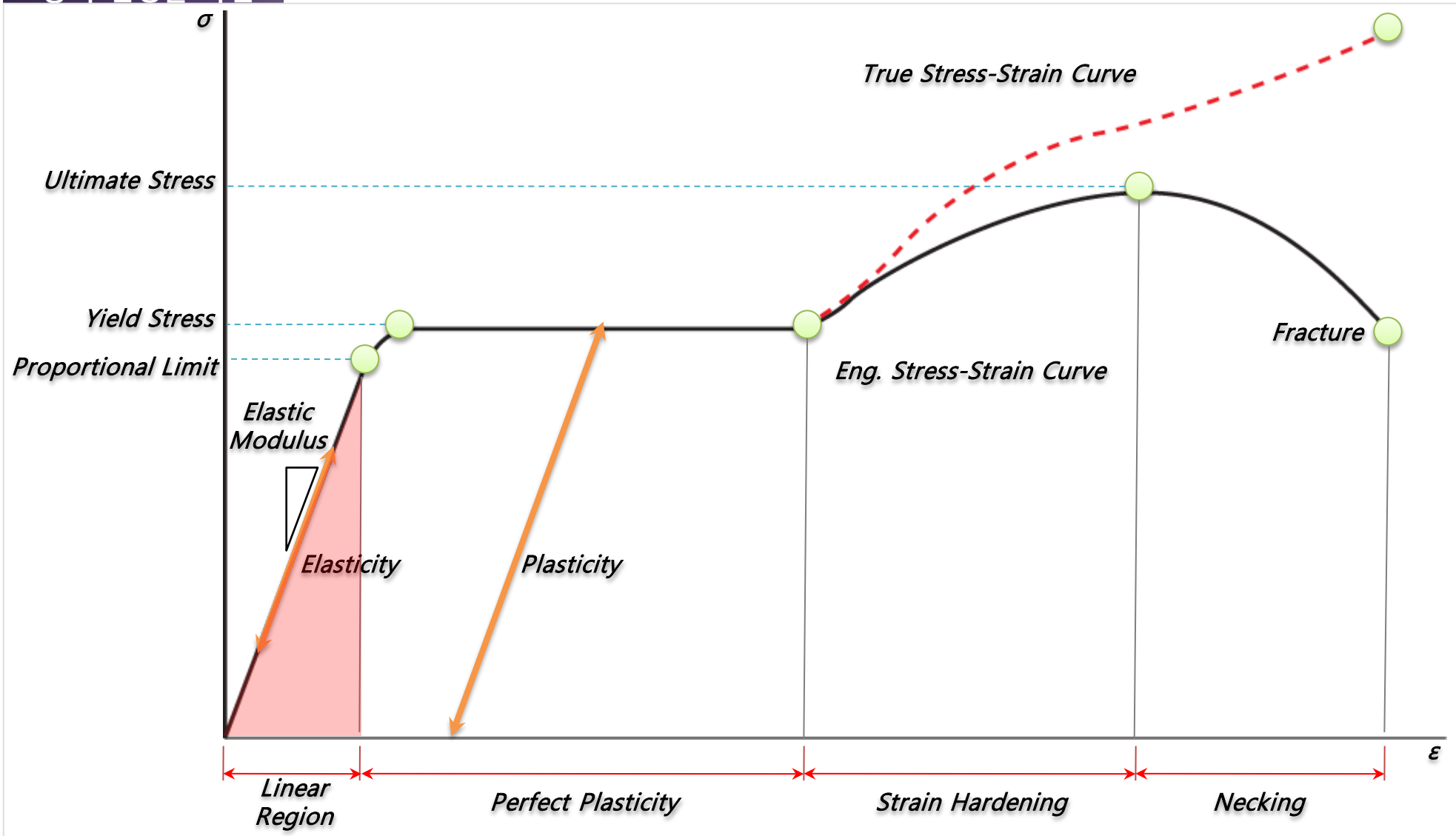


Nonlinear Static Analysis (비선형 정적해석)

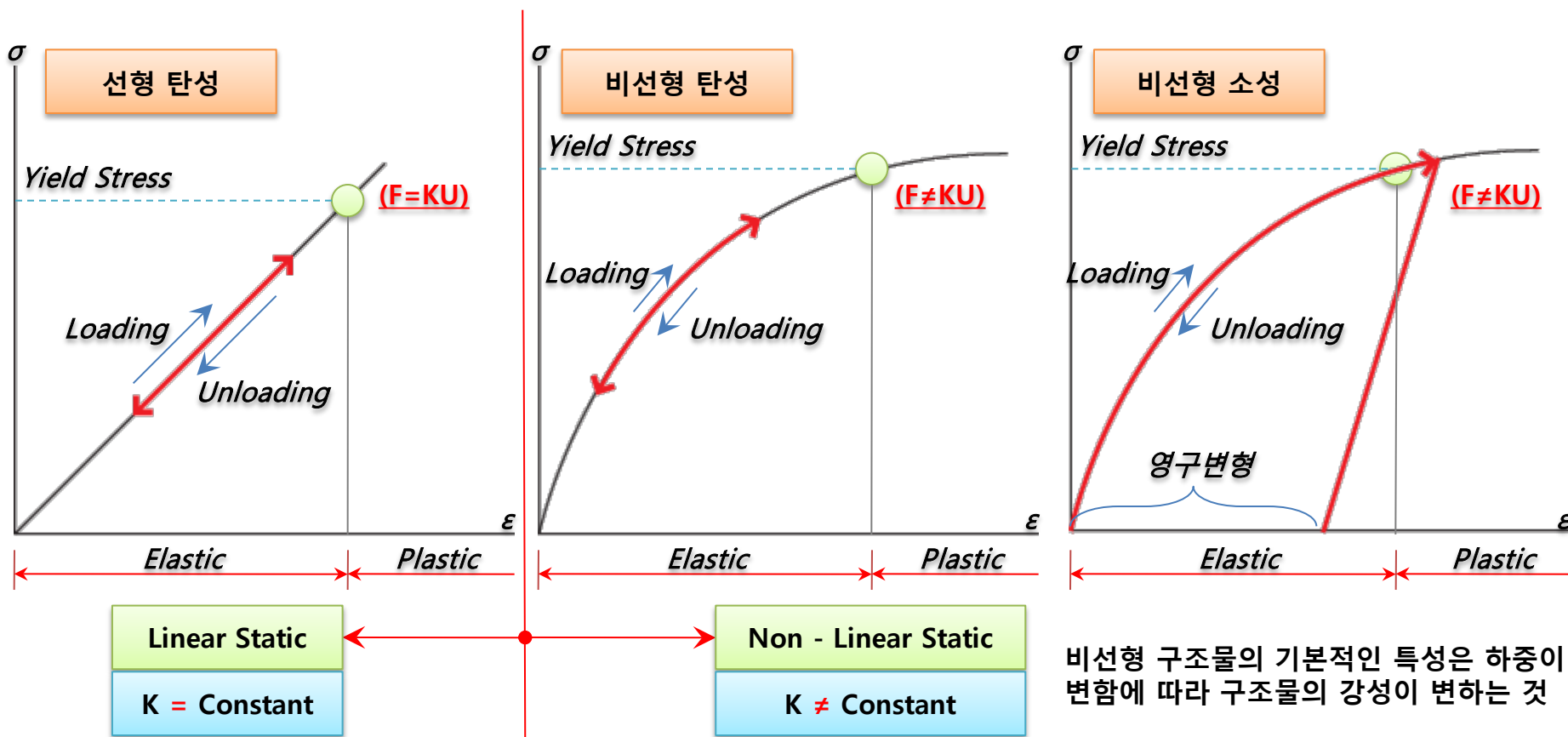


응력-변형률 곡선



선형과 비선형

- ✓ 선형정적해석에서 사용하는 재료는 모두 선형 탄성 구간이라 가정합니다.
- ✓ 응력과 변형률의 상관 관계에 따라 선형과 비선형을 구분하고 항복 응력을 기준으로 하여 탄성과 소성 구간으로 구분할 수 있습니다.
- ✓ 구조물의 응력이 항복 응력을 넘어서 소성이 진행되면, 하중을 제거하더라도 원래의 상태로 되돌아 가지 못하고 변형이 발생하게 되며, 이를 영구변형이라 합니다.



비선형 구조물의 기본적인 특성은 하중이 변함에 따라 구조물의 강성이 변하는 것

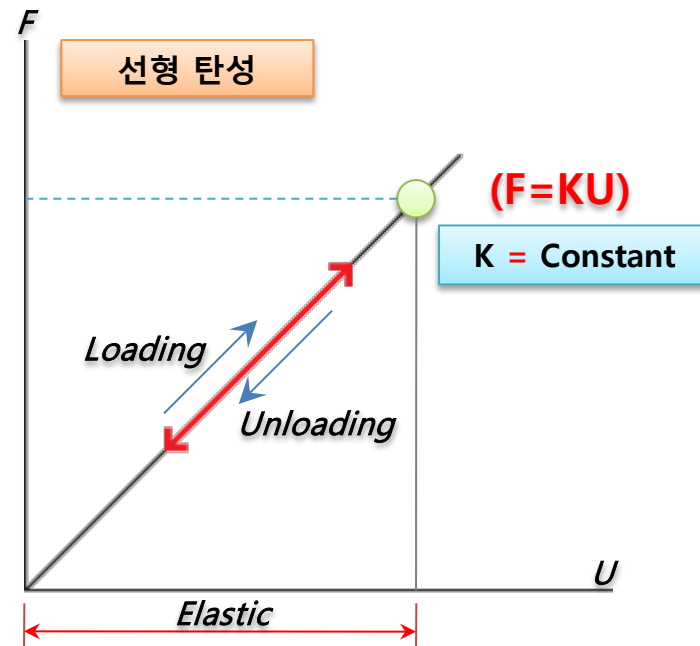
선형과 비선형

✓ 선형 문제

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

✓ 비선형 문제

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



기본 이론

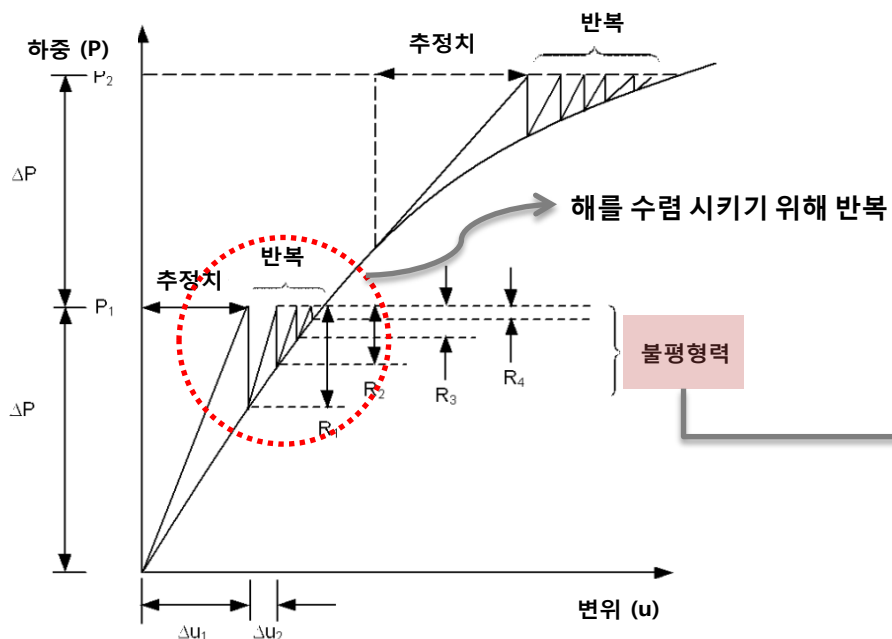
- ✓ 하중-변위 관계가 비선형적인 구조물의 응답은 주어진 하중을 여러 개의 증분 구간으로 분할하고, 각 증분 구간에 대하여 평형조건을 만족하는지를 결정함으로써 해를 구할 수 있습니다.
- ✓ 각 증분 구간에서의 평형조건식은 다음과 같습니다.

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

K_T : 구조물의 접선 강성행렬

ΔU : 증분 변위

ΔP : 증분 하중



• Newton-Raphson Method

• 하중 증분

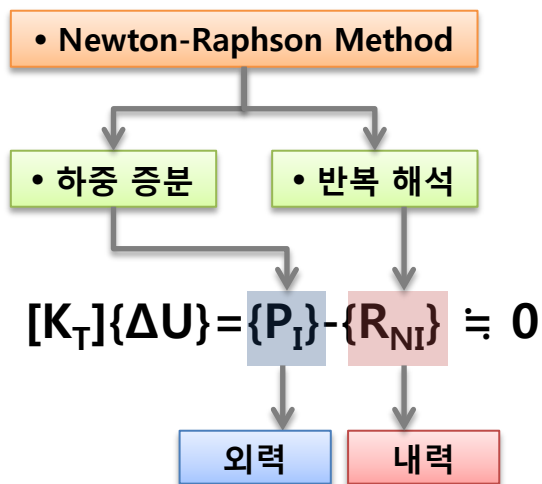
• 반복 해석

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

수렴성 판단

수렴 기준 (Convergence Criteria)

- ✓ 가해진 외력과 평형상태에 있는 구조물에 대해서 내력이 동일한 경우를 의미합니다.
- ✓ 두 힘의 오차는 정확하게 0이 될 수 없으므로 허용오차 범위 내에 도달하였을 때, 수렴했다고 보고 반복계산을 종료합니다.



- 수렴기준은 2개의 조건을 사용하는 것이 일반적입니다.
- 전통적으로 많이 사용되는 수렴조건은 하중이지만, 경우에 따라서 변위를 사용하기도 합니다.

기하비선형 정의

하중증분 정의

수렴기준 정의

해석 제어

비선형 일반

기하비선형성

☐ 기하비선형

비선형 기본 파라미터

증분개수

수렴기준 / 오류오차

☐ 변위 (U)

☒ 하중 (P)

☒ 일량 (W)

중간 결과 출력 방법

모든 증분(2등분된증분 제외) N

고급 비선형 파라미터...

확인 취소

비선형 문제의 종류



개요

➤ 비선형 정적해석

- 단위 : N, mm
- 기하모델: Spring.x_t

➤ 재질

- 응력-변형률 곡선

➤ 경계조건과 하중조건

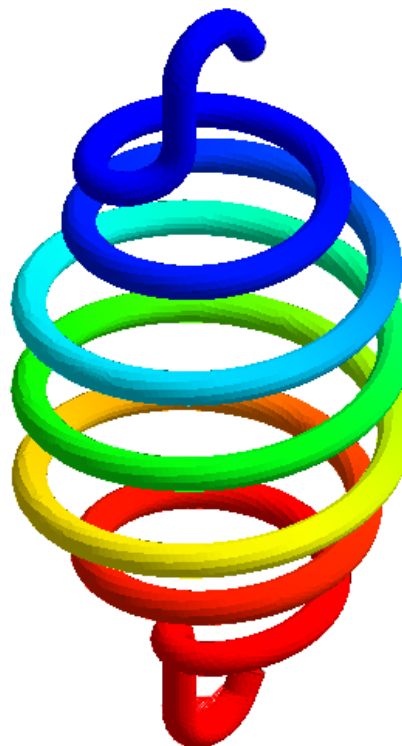
- 고정구속
- 집중하중

➤ 결과확인

- 전체 변위
- 등가응력
- 애니메이션

Spring

(재료, 기하비선형)



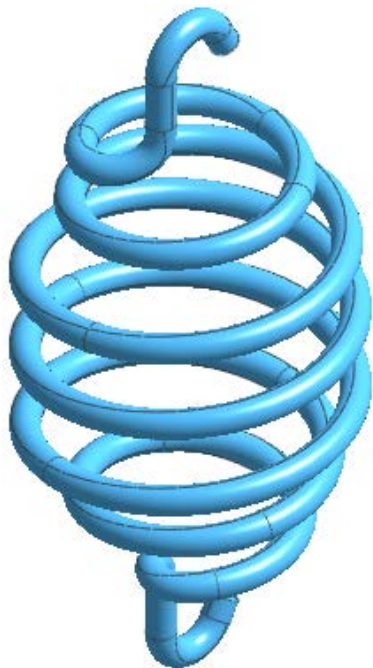
따라하기 목적

➤ midas NFX를 이용한 재료비선형 해석의 수행 및 기능 이해

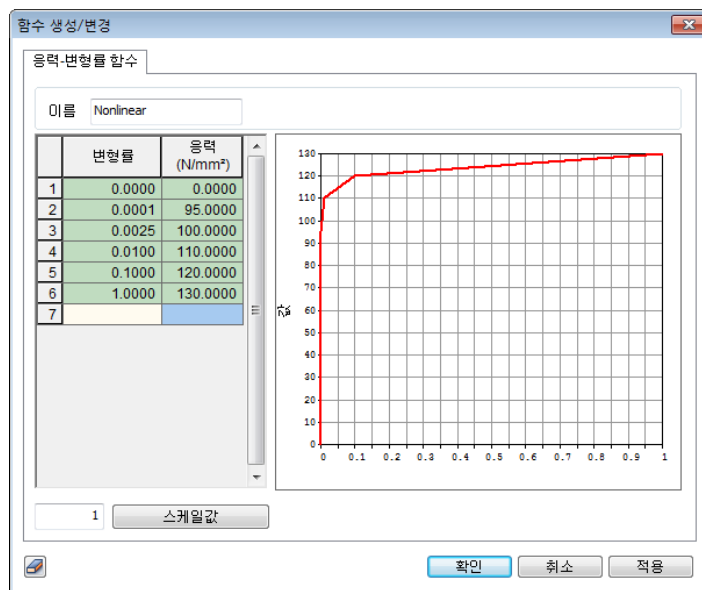
- 응력-변형률 곡선을 이용하여 비선형 재료를 정의합니다.
- 증분 개수와 수렴 기준 등의 비선형해석 옵션을 설정하는 방법을 습득합니다.
- 해석 결과를 애니메이션을 기능을 사용하여 확인합니다.

해석 개요

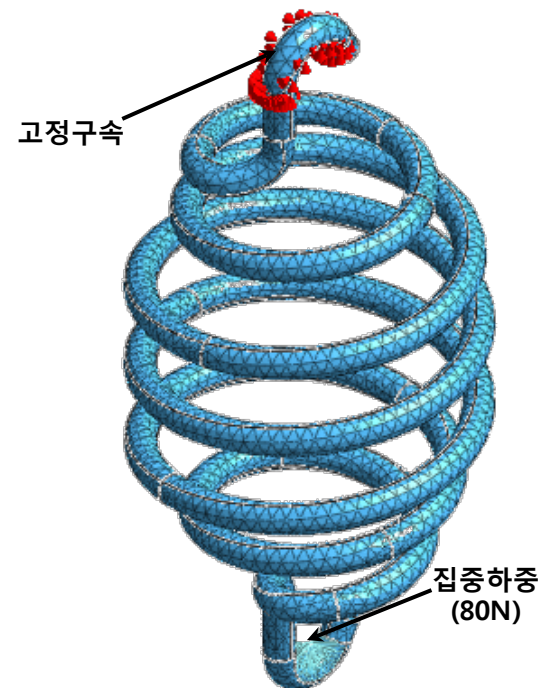
➤ 대상 모델





➤ 응력-변형률 함수





➤ 경계조건 (고정구속) ➤ 하중조건 (집중하중)

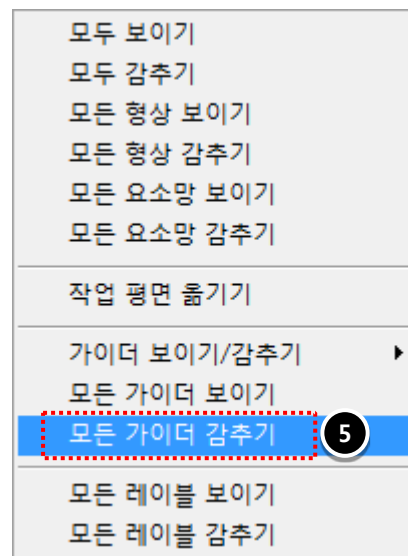
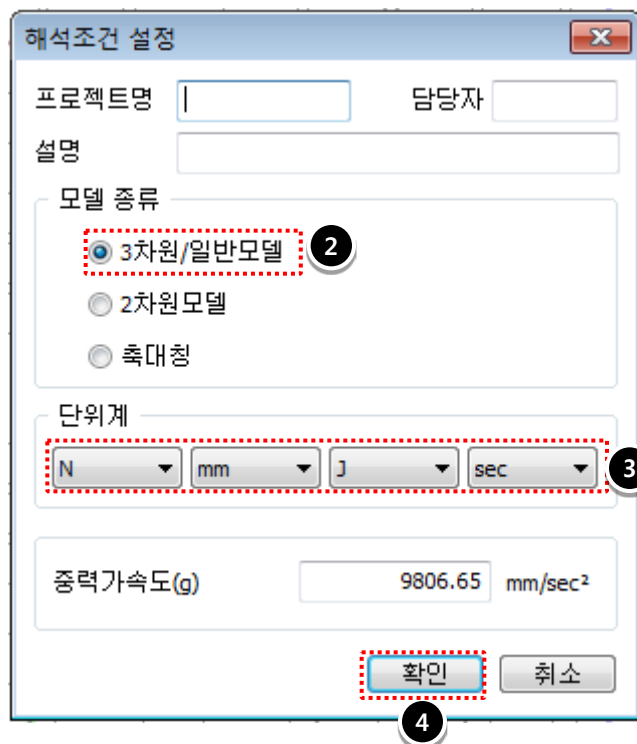
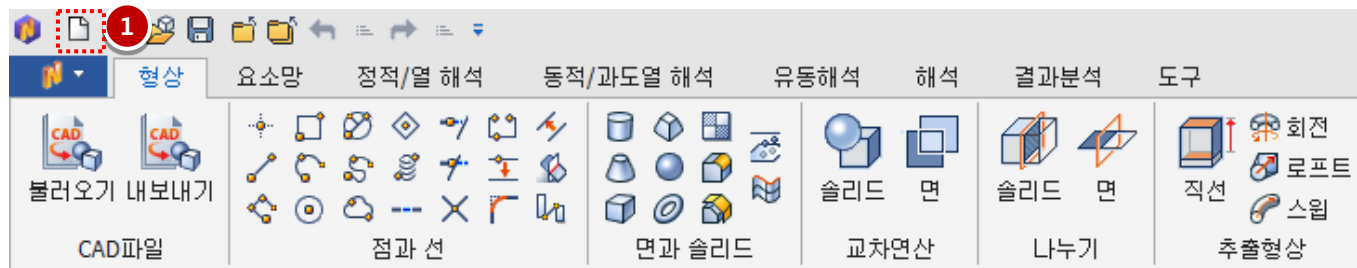


작업순서

1. [] (새로 만들기) 클릭.. 
2. [3차원/일반모델] 선택.
3. 단위계 [N-mm-J-sec] 선택.
4. [확인] 버튼 클릭.
5. 작업원도우에서 마우스 오른쪽 버튼 클릭 후, [모든 가이드 감추기] 선택.

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

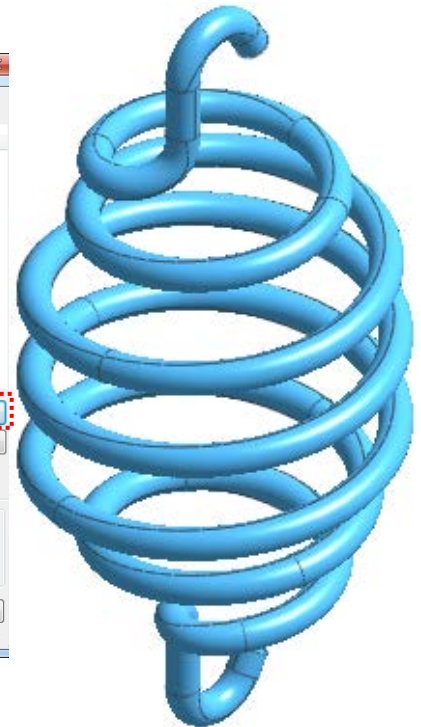
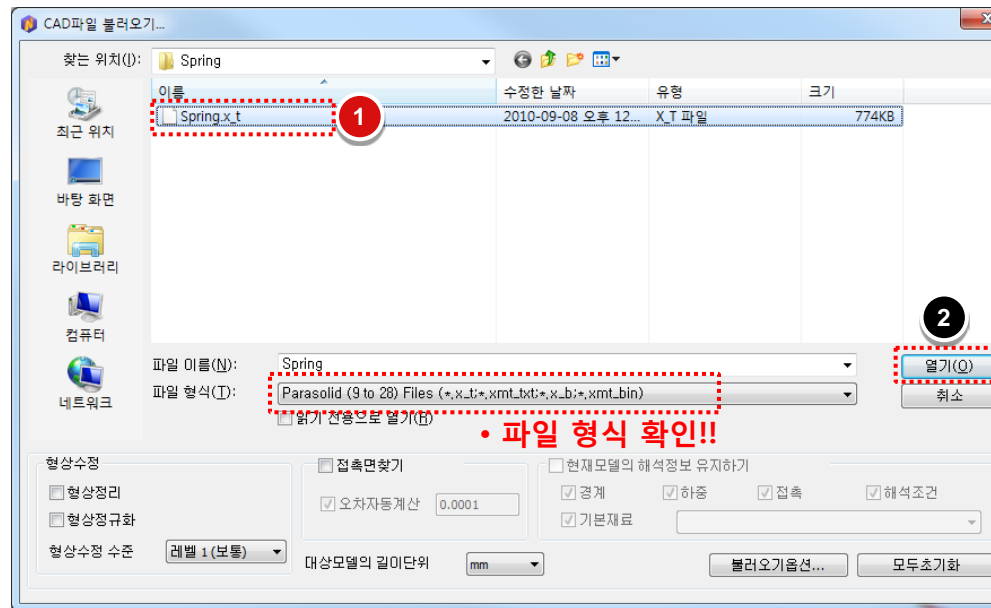
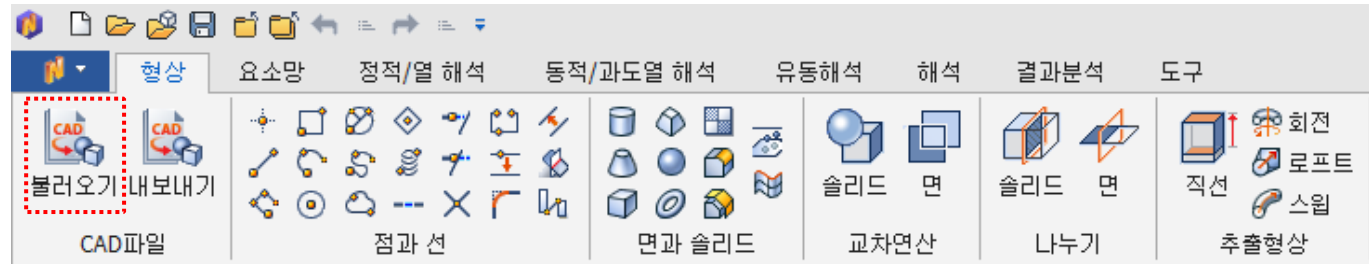
 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.



작업순서

1. 모델 선택: **Spring.x_t** 선택
2. [열기] 버튼 클릭.

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




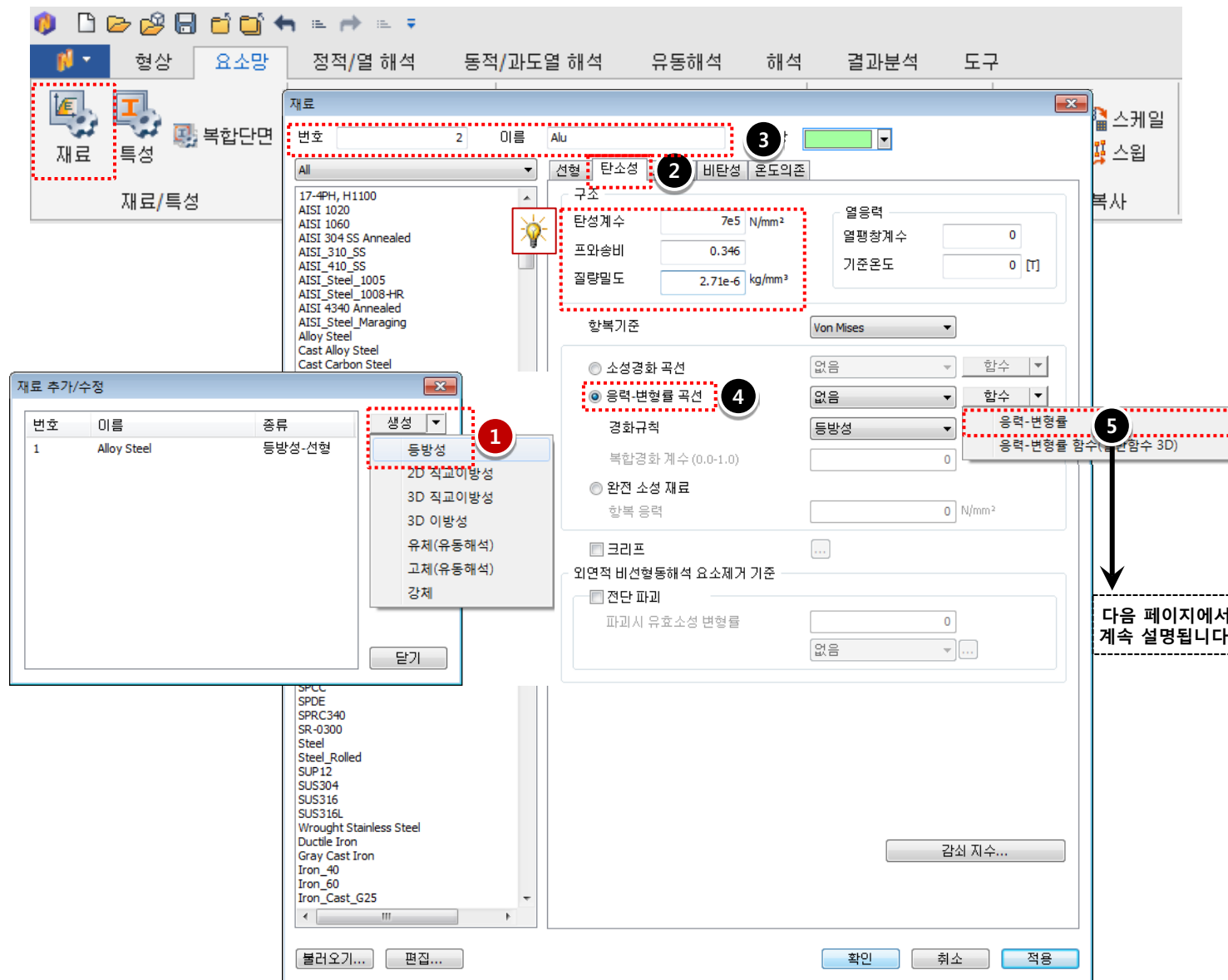
작업순서

1. 생성 >> 등방성 클릭
2. [탄소성] 탭 선택.
3. 재질 입력

번호	2
이름	Alu
탄성계수	7e5 (N/mm ²)
프와송비	0.346
질량밀도	2.71e-6 (kg/mm ³)

4. 응력-변형률 곡선 체크.
5. 함수 생성 아이콘 클릭.


 기본적인 선형 탄성 물성치는 반드시 입력해 주어야 합니다.



작업순서

1. 이름: "Nonlinear" 입력.

2. 응력-변형률 함수 입력


변형률	응력
0	0
0.0001357	95 (N/mm ²) 
0.0025	100 (N/mm ²)
0.01	110 (N/mm ²)
0.1	120 (N/mm ²)
1	130 (N/mm ²)

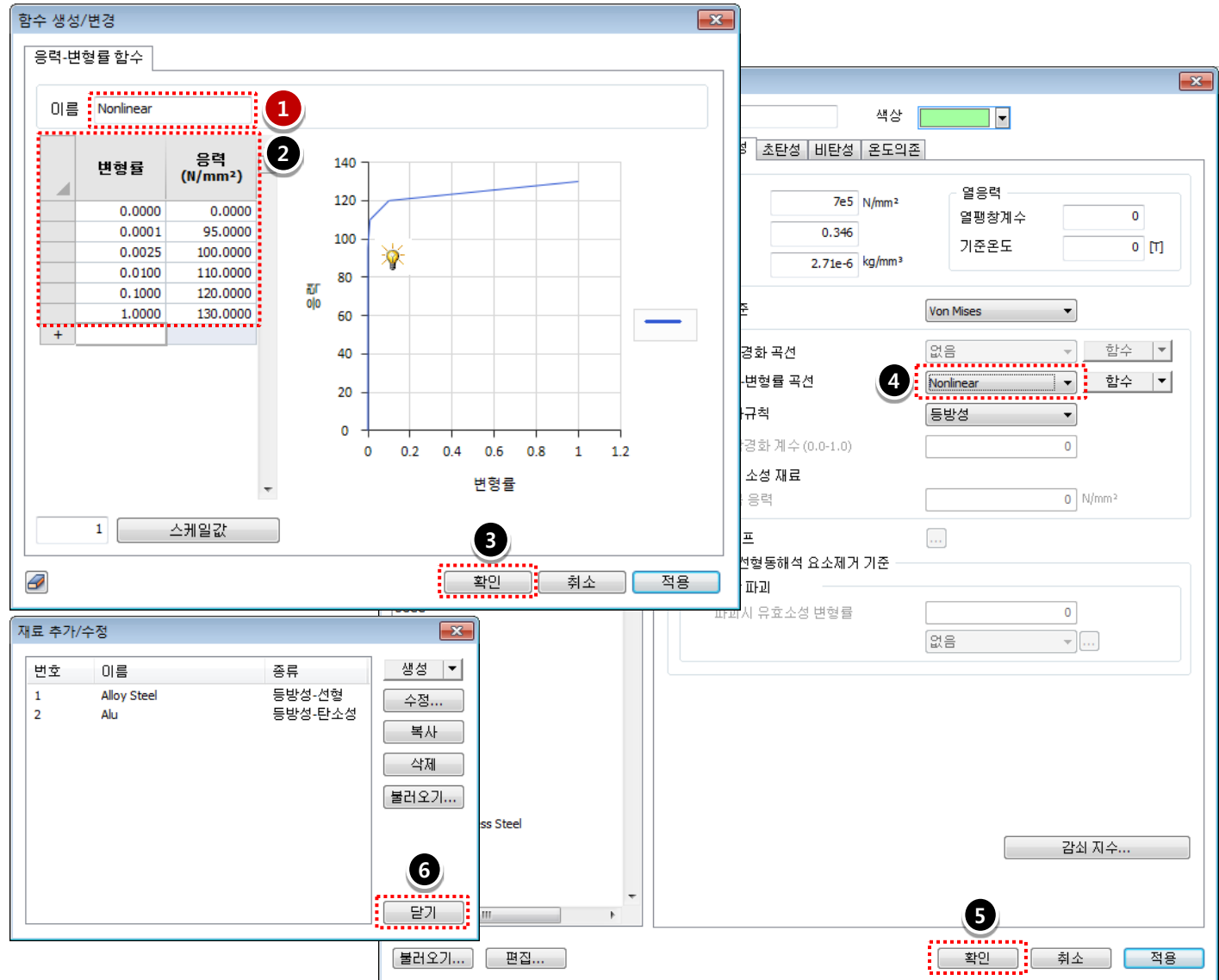
3. [확인] 버튼 클릭.

4. 응력-변형률 함수: "Nonlinear" 선택.

5. [확인] 버튼 클릭.

6. [닫기] 버튼 클릭.

 첫 기울기는 앞서 입력한 탄성계수와 동일한 값이어야 합니다.
기울기가 다를 경우 테이블에서 입력한 기울기로 입력됩니다.



함수 생성/변경

이름: Nonlinear

변형률	응력 (N/mm ²)
0.0000	0.0000
0.0001	95.0000
0.0025	100.0000
0.0100	110.0000
0.1000	120.0000
1.0000	130.0000

확인

재료 추가/수정

번호	이름	종류
1	Alloy Steel	등방성-선형
2	Alu	등방성-탄소성

닫기

변형률 곡선: Nonlinear

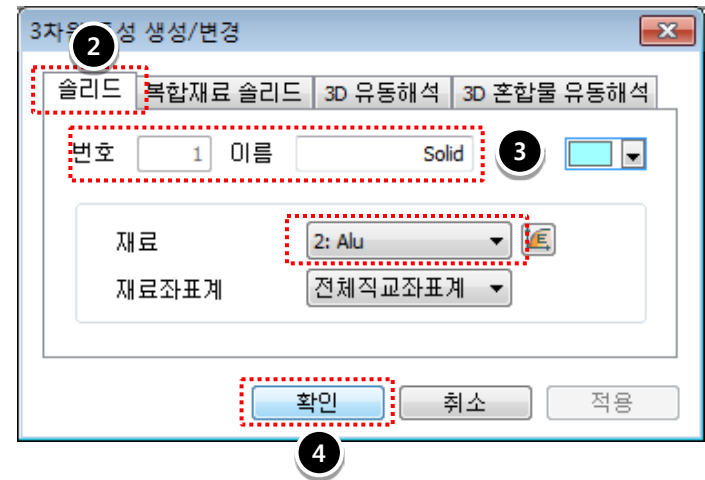
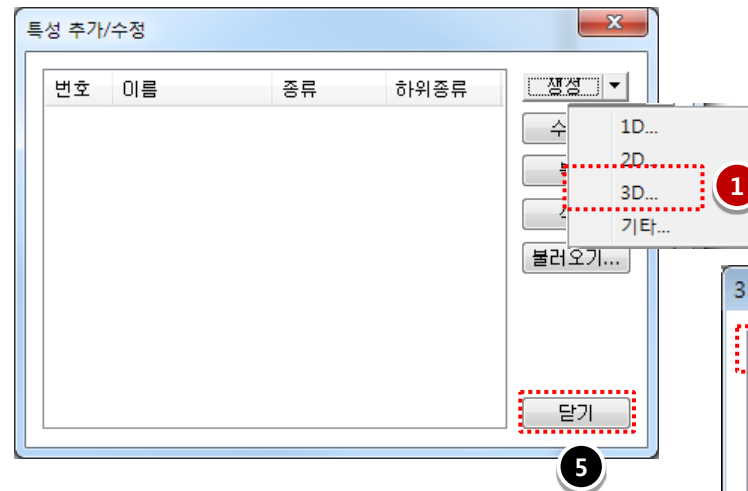
확인

작업순서

1. 생성 클릭 후 3D... 클릭
2. [솔리드] 탭 확인.
3. 특성 생성

번호	1
이름	Solid
재질	2: Alu

4. [확인] 버튼 클릭.
5. [닫기] 버튼 클릭



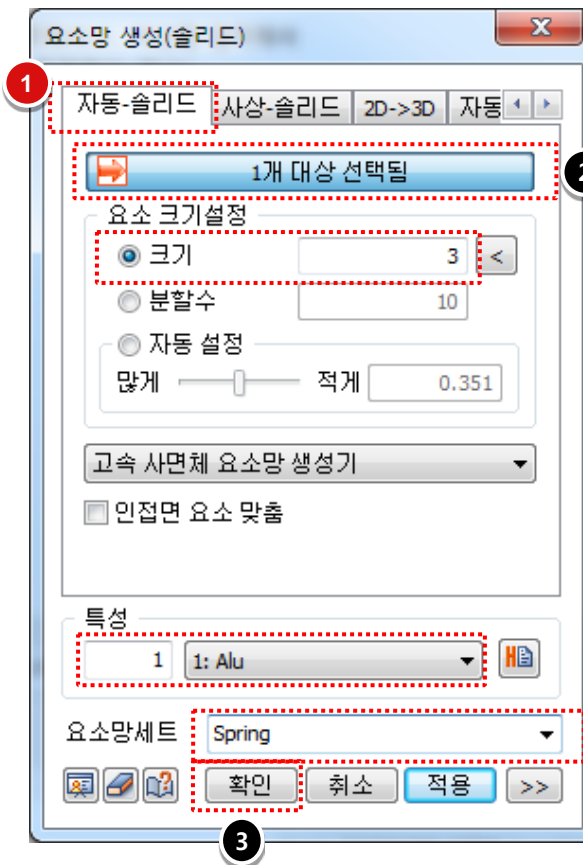
작업순서


1. [자동-솔리드] 탭 선택

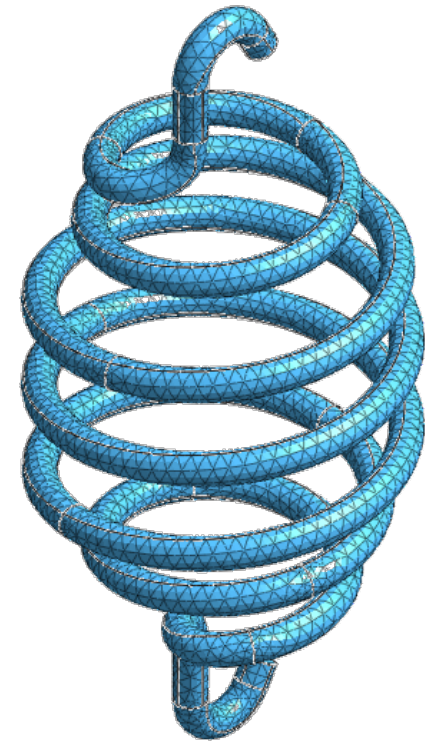
2. 요소망 생성 입력

대상선택	솔리드 1개 선택
요소크기	3
특성번호	1 
이름	Spring

3. [확인] 버튼 클릭.



 요소 특성의 ID 번호만을 입력하여 요소망을 생성한 후에 해당 ID의 특성을 정의할 수 있습니다.



작업순서

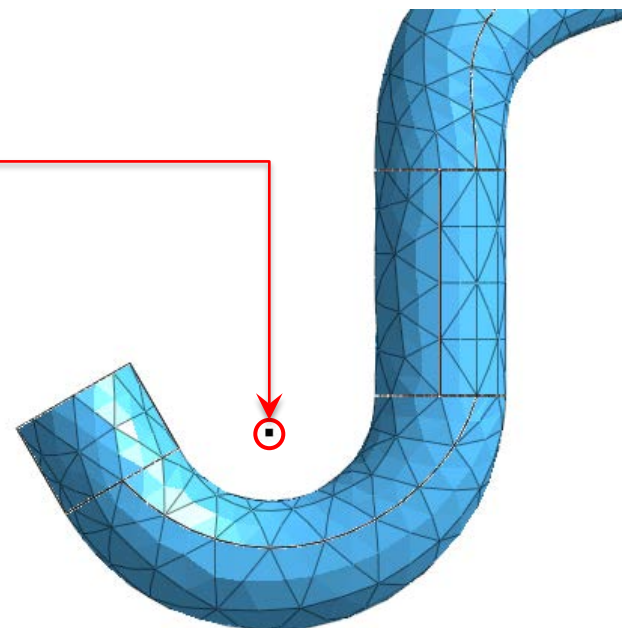
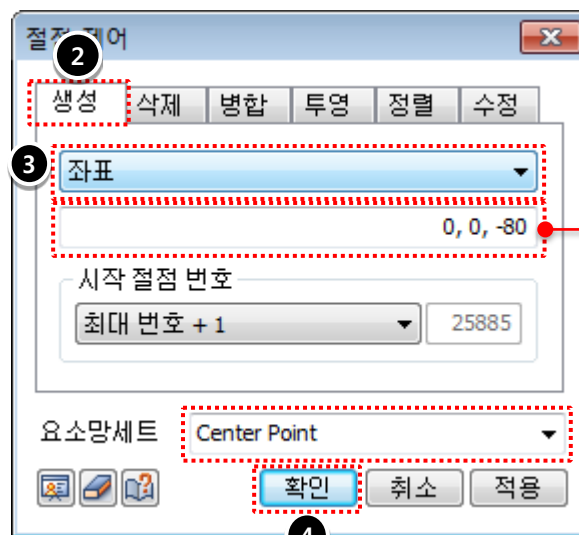
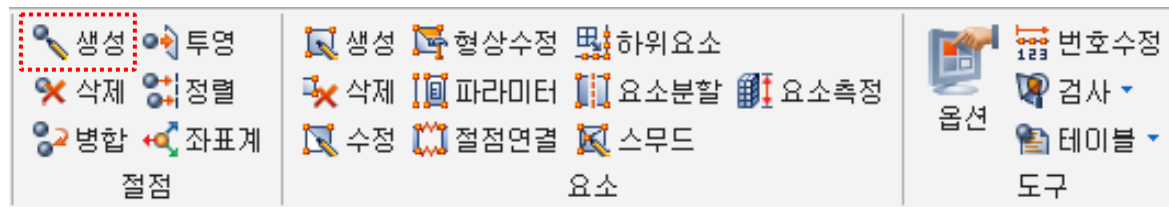
1. [] (좌측면 보기) 버튼 클릭.

2. [생성] 탭 선택.

3. 절점 생성

생성	좌표
좌표 위치	0, 0, -80
이름	Center Point

4. [확인] 버튼 클릭.



💡 강제 요소의 마스터절점으로 사용할 절점을 미리 생성합니다.


작업순서

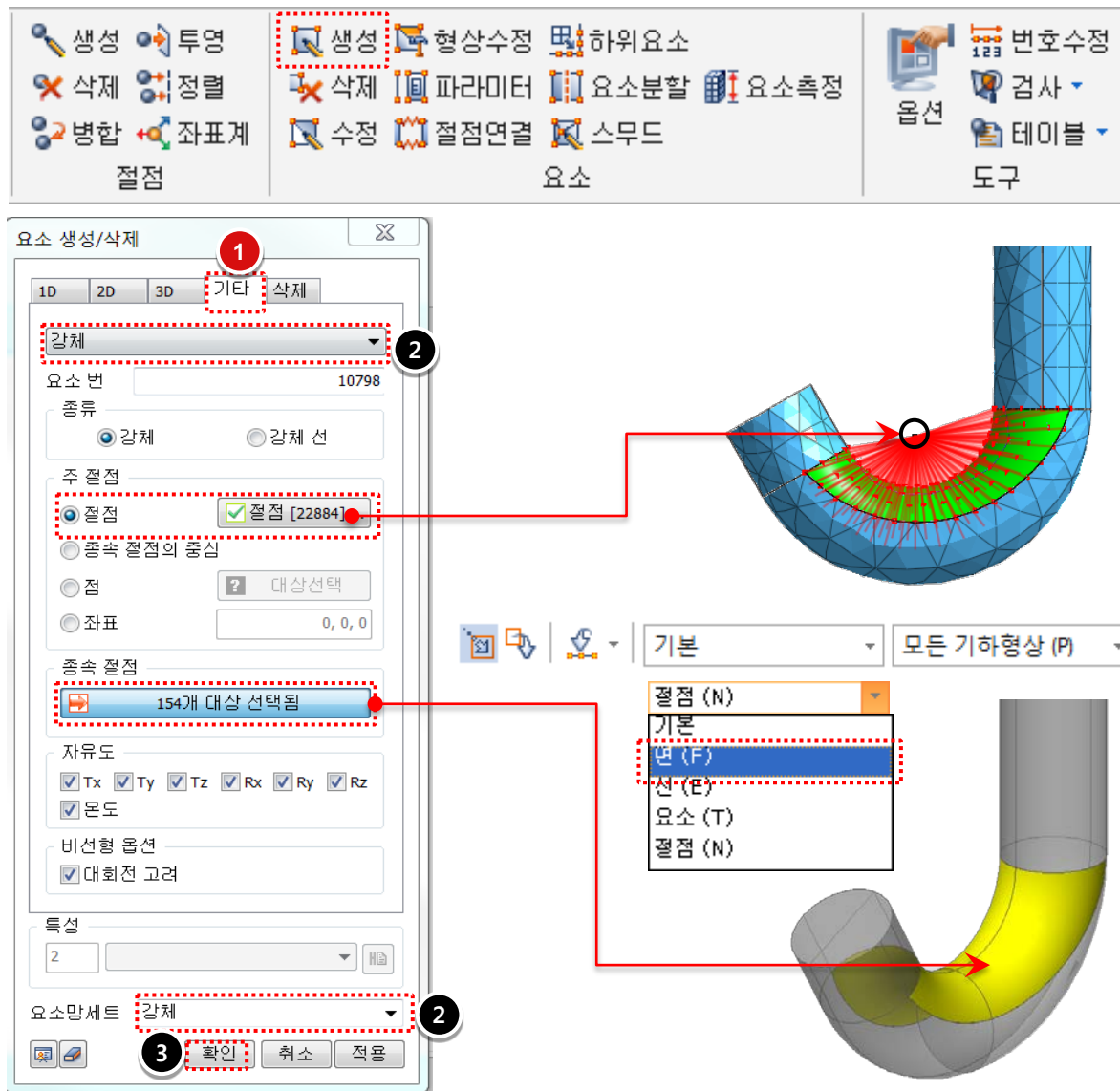
1. [기타] 탭 선택.

2. 강제 생성

생성	강제
마스터 절점	(0, 0, -80) 선택 
종속 절점 (선택필터 : 면)	면 1개 선택
이름	Rigid Link

3. [확인] 버튼 클릭.

 스텝 4에서 생성한 절점을 마스터절점으로 선택합니다.



요소 생성/삭제

1D 2D 3D 기타 삭제

강제

요소 번 10798

종류

☒ 강제 ☐ 강제 선

주 절점

☒ 절점 ☒ 절점 [22884]

☐ 종속 절점의 중심

☐ 점 ? 대상선택

☐ 좌표 0, 0, 0

종속 절점

154개 대상 선택됨

자유도

☒ Tx ☒ Ty ☒ Tz ☒ Rx ☒ Ry ☒ Rz

☒ 온도

비선형 옵션

☒ 대화전 고려

특성

2

요소망세트 강제

3 확인 취소 적용

절점 (N)

기본

면 (F)


선 (E)

요소 (T)


절점 (N)

작업순서

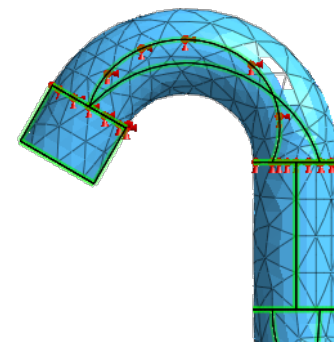
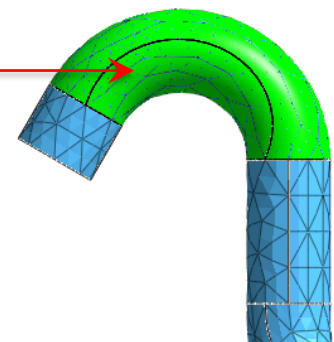
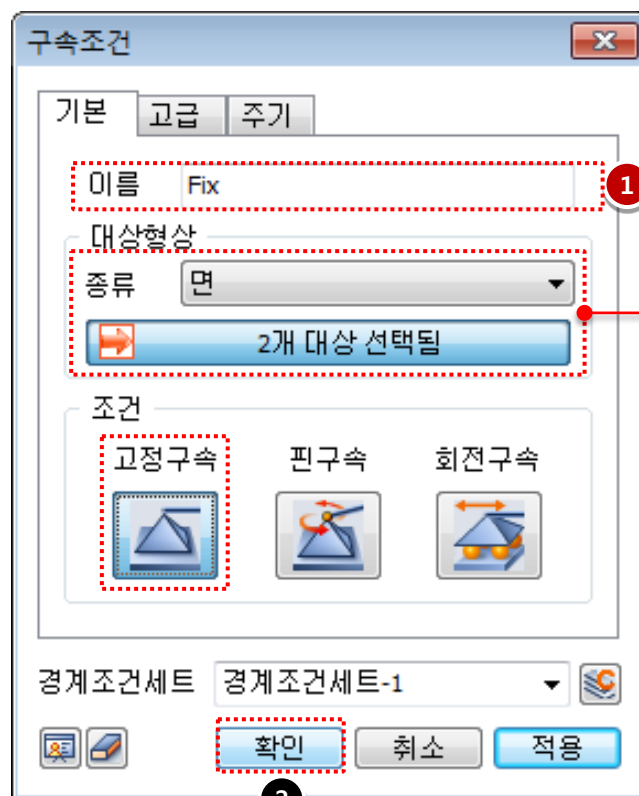
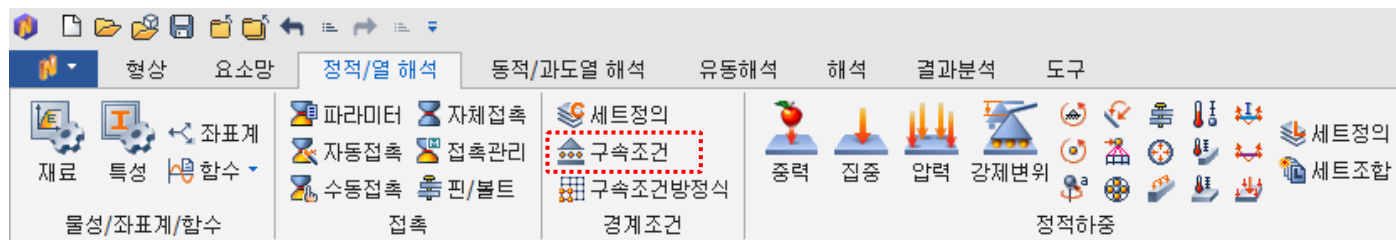
1. 구속조건 입력

이름	Fix
대상종류	면
대상선택	2개 선택
조건	고정구속 

2. [확인] 버튼 클릭


 **고정구속:** X, Y, Z 병진자유도 및 회전 자유도 구속
핀구속: X, Y, Z 병진자유도만 구속

※솔리드 모델에서는 회전자유도가 없기 때문에 **핀구속** 조건으로도 모든 자유도가 구속됩니다.

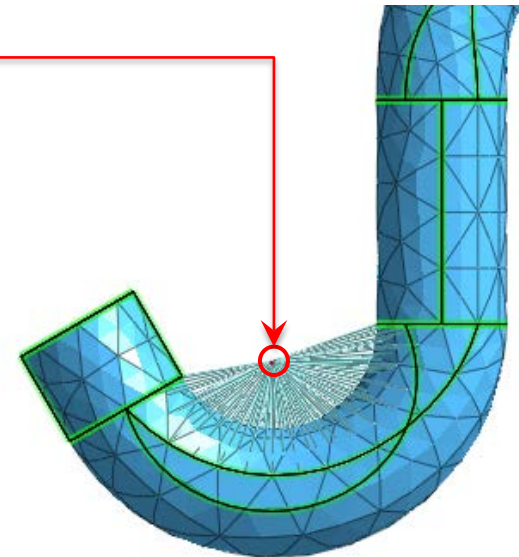
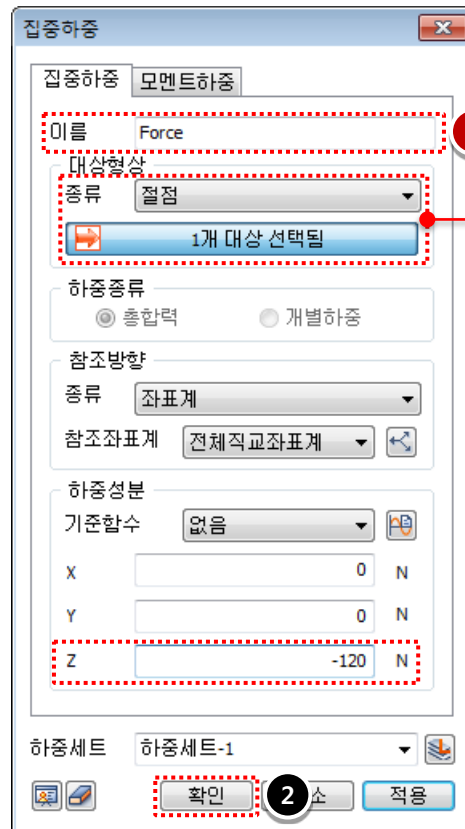
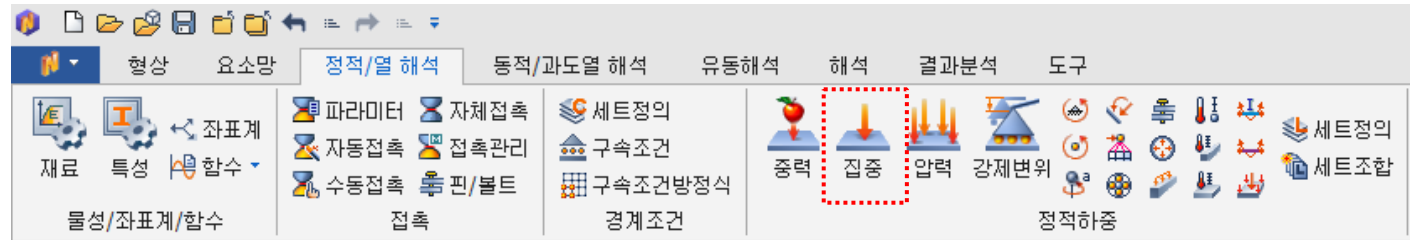



작업순서

1. 집중하중조건 입력

이름	Force
대상종류	절점
대상선택	1개 선택 
하중성분	Z: -120 (N)

2. [확인] 버튼 클릭




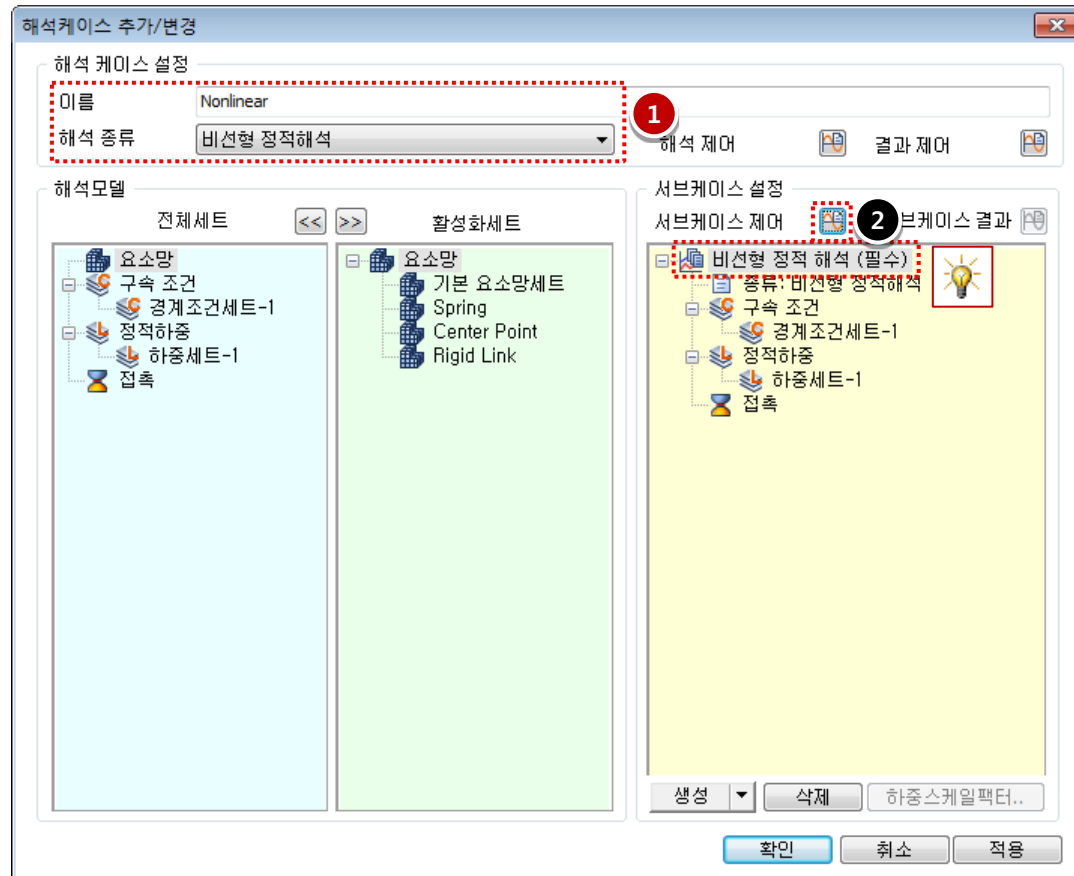
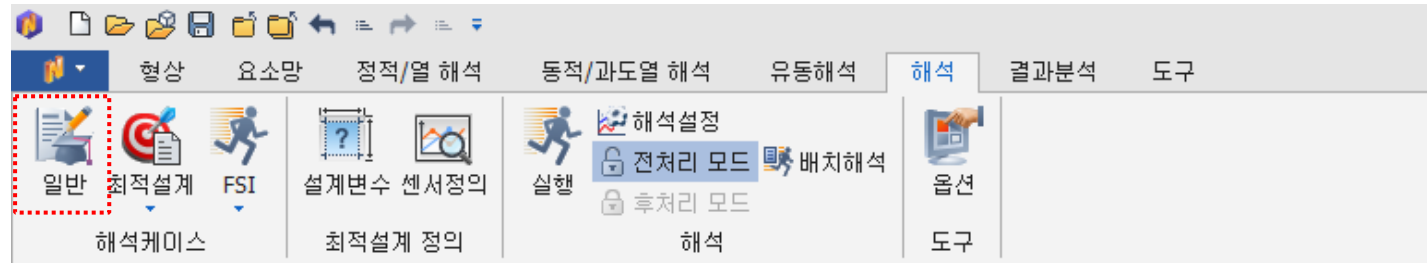
 강체 요소의 주 절점을 선택합니다.

작업순서

1. 해석케이스 설정

이름	Nonlinear
해석 종류	비선형 정적해석

2. [] (서브케이스 제어) 버튼 클릭.
 (“비선형 정적 해석 (필수)” 서브케이스를 클릭해야 활성화됩니다.)



💡 기본적으로 현재 작업된 요소망세트, 경계조건, 하중조건 등이 모두 활성화됩니다.

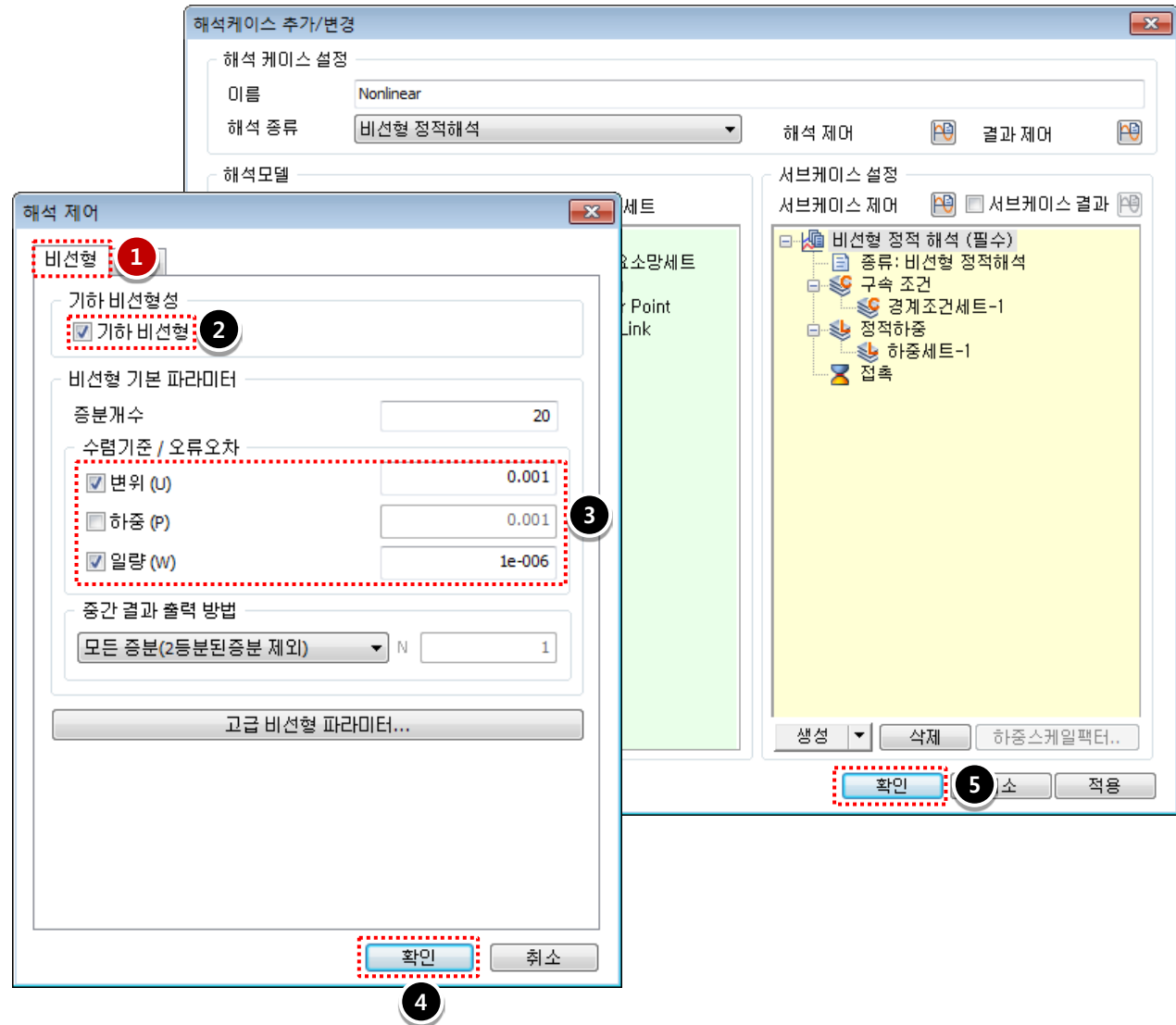
작업순서

1. [비선형] 탭 선택.
2. [기하비선형] 체크.
3. 수렴기준/오류오차 설정

변위 체크	0.001
하중 체크 해제	
일량 체크	1e-6

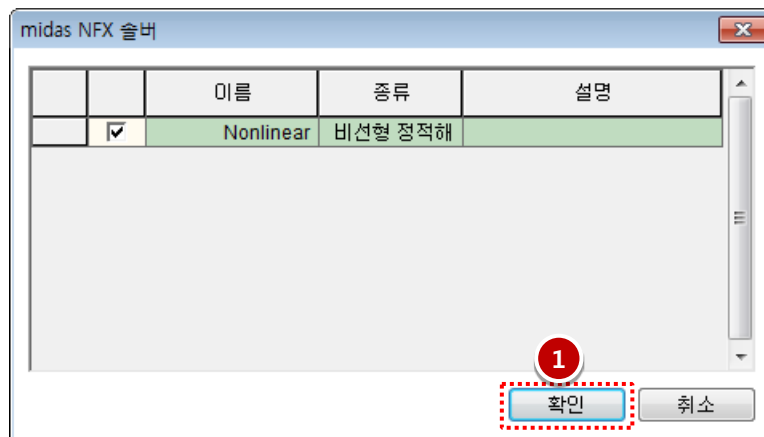
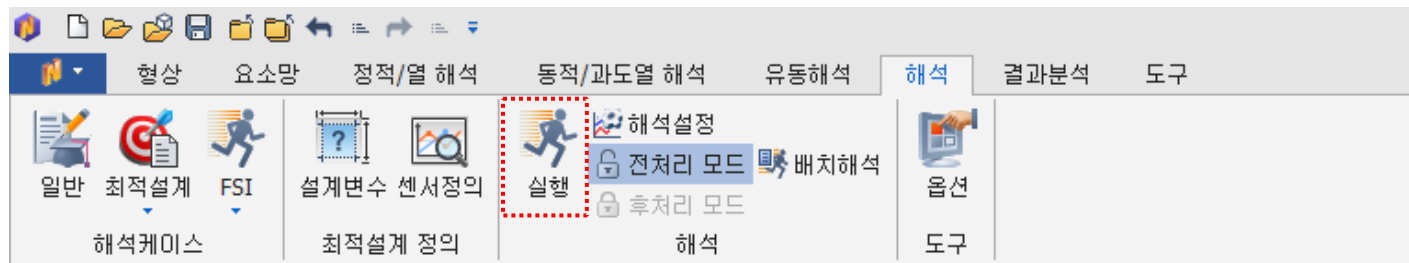
4. [확인] 버튼 클릭.
5. [확인] 버튼 클릭.

💡 일량을 기본으로 하여 변위와 하중 중에서 추가로 1개를 선택합니다.

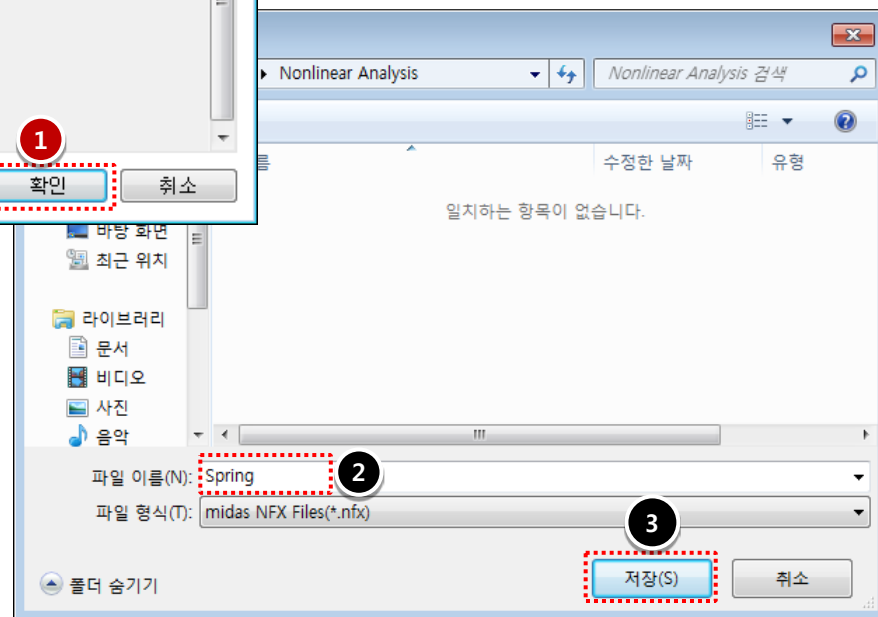
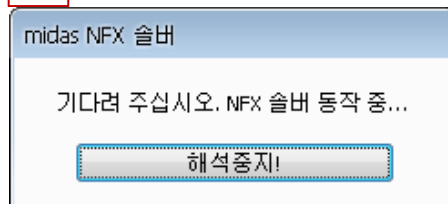


작업순서



1. [확인] 버튼 클릭.
2. 다른 이름으로 저장: "Spring" 입력.
3. [저장(S)] 버튼 클릭.

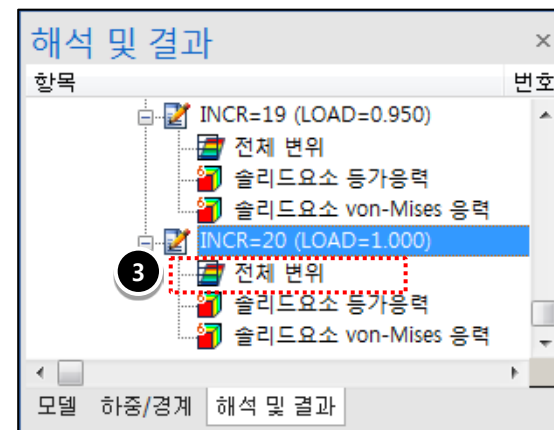
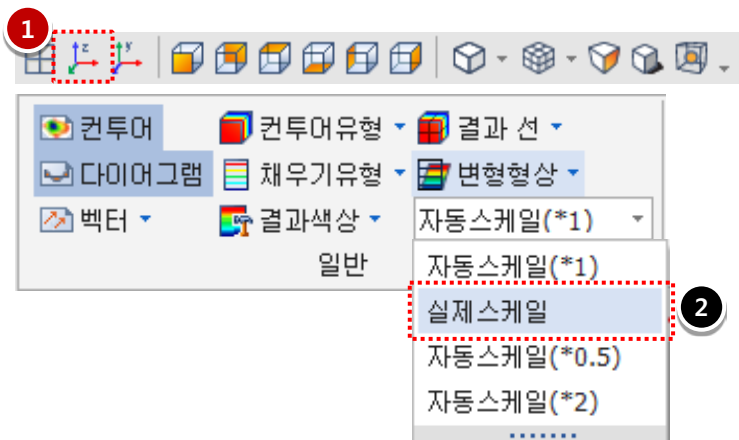



💡 해석을 실행하면 midas NFX 솔버가 작동됩니다. [해석중지!] 버튼을 클릭하면 해석이 중지됩니다.

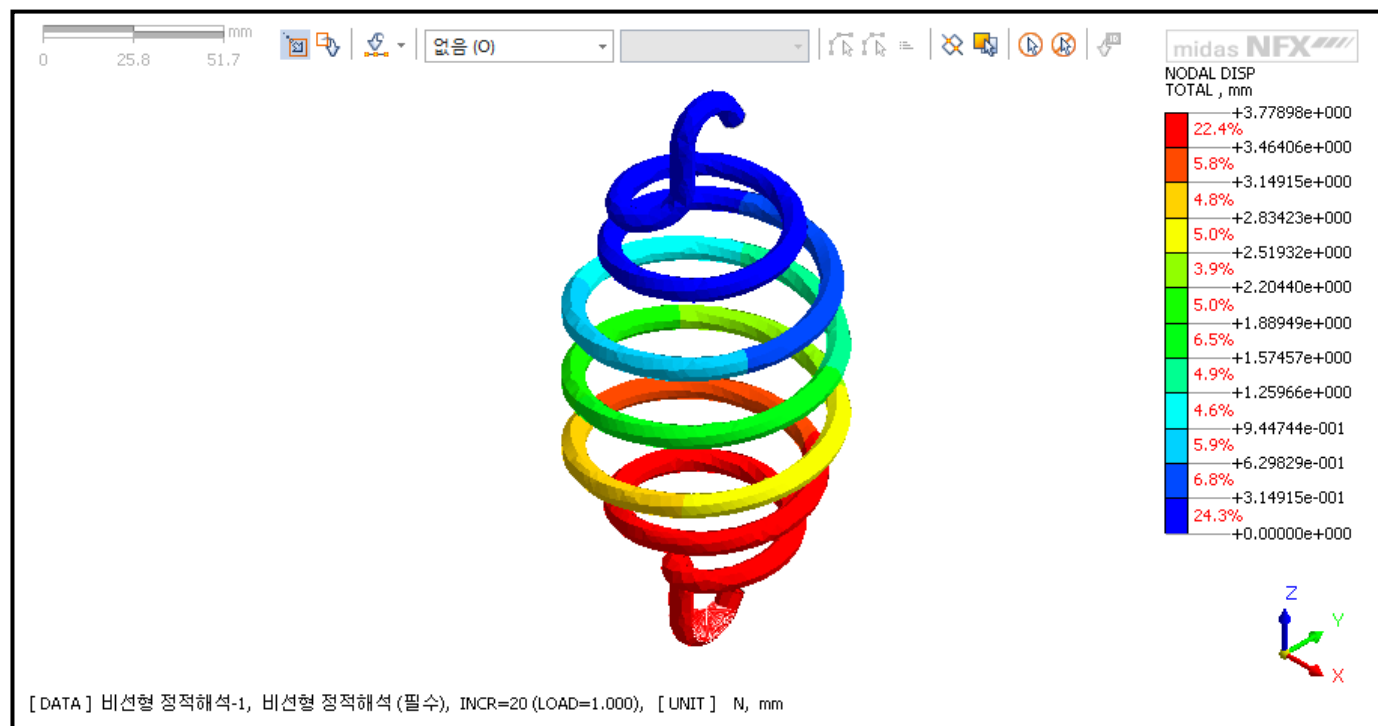


작업순서

1. [] (등각보기1) 클릭.
2. 결과분석 >> 일반 >>
[실제스케일] 선택. 
3. 해석 및 결과 작업트리에서
전체 변위 더블 클릭.



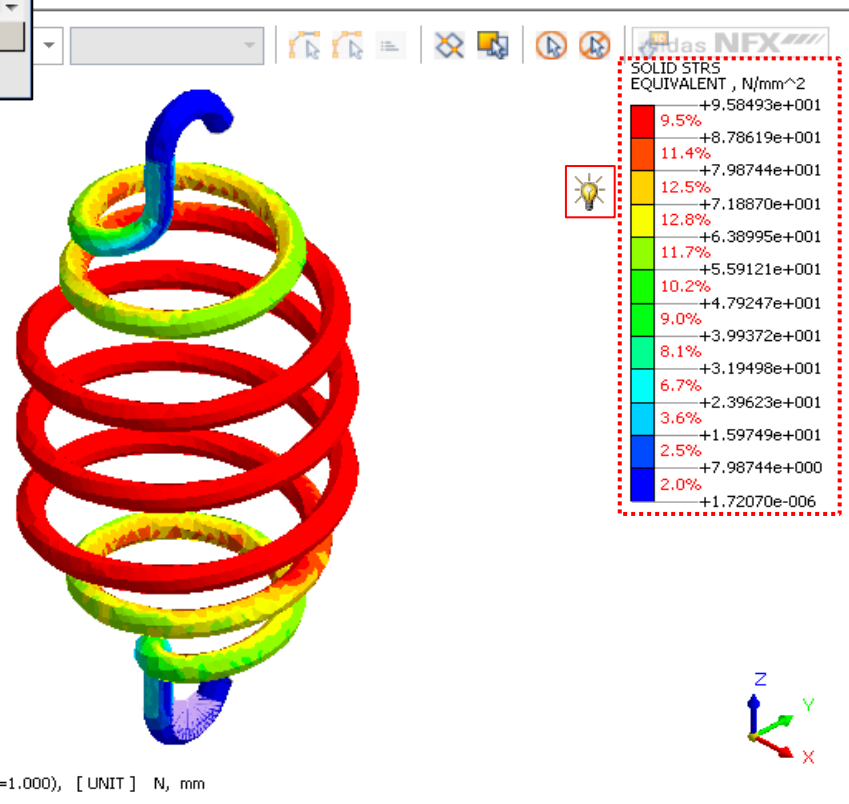
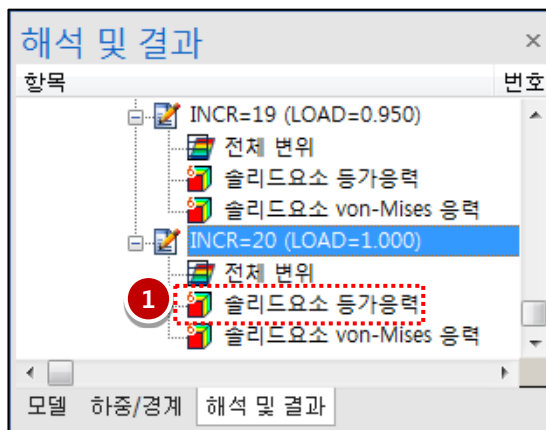
 비선형해석 결과는 변형형상을 실제 스케일로 설정하여 확인합니다.



작업순서

1. 해석 및 결과 작업트리에서

솔리드요소 등가응력 더블 클릭.





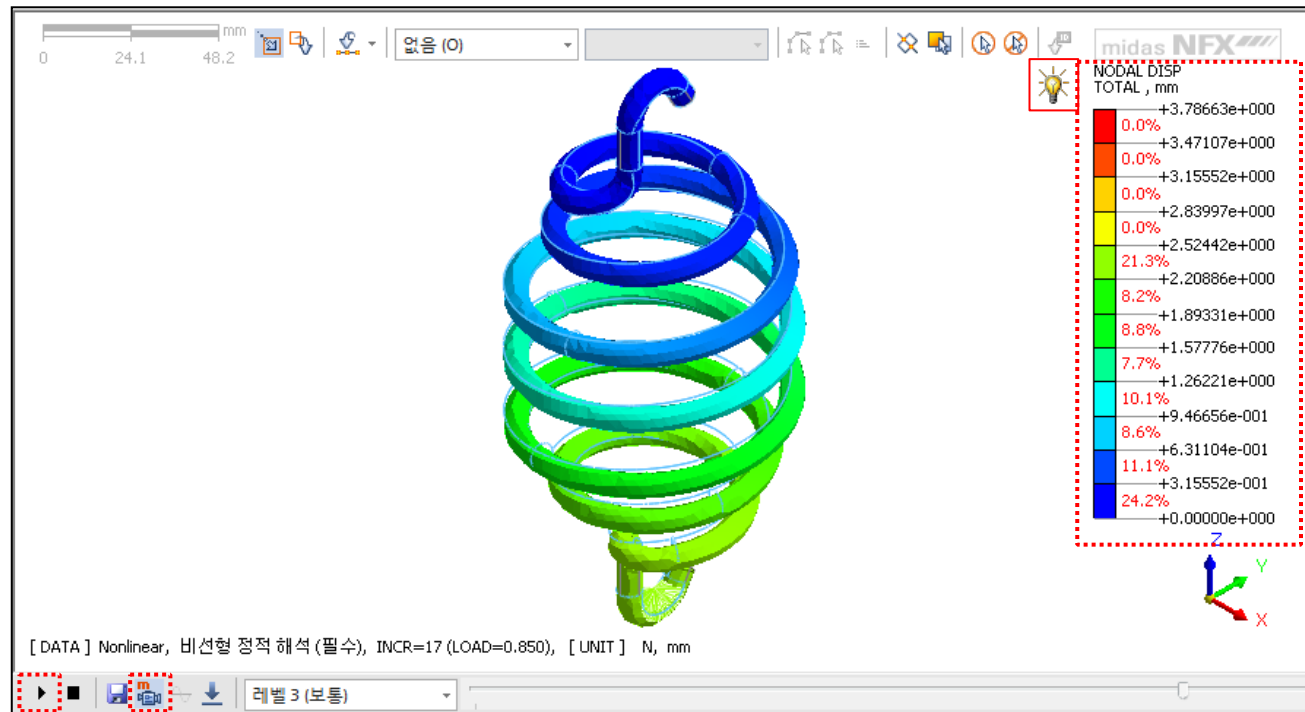
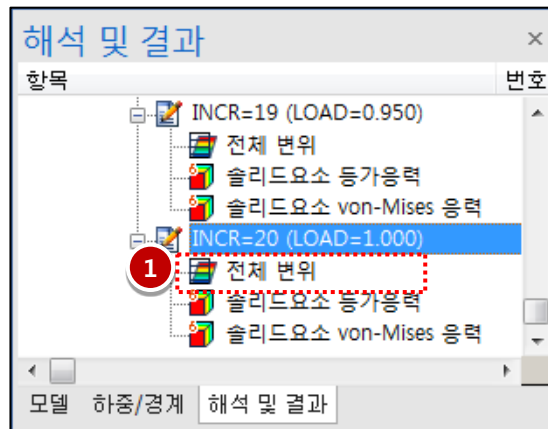
[DATA] nonlinear, 비선형 정적 해석 (필수), INCR=20 (LOAD=1.000), [UNIT] N, mm


💡 **재료비선형** 해석의 경우에는 반드시 등가응력을 확인해야 합니다.

일부 부분에서 항복응력을 넘어서 소성구간에 들어선 것을 확인할 수 있습니다.

작업순서

1. 해석 및 결과 작업트리에서 전체 변위 더블 클릭.
2. [] (멀티-스텝 애니메이션 녹화) 클릭.
3. [] (재생) 클릭.



💡 멀티-스텝 애니메이션 녹화를 이용하면 스텝별 결과를 애니메이션으로 확인할 수 있습니다. (자동으로 전체 스텝 결과에 체크되어 있습니다.) 애니메이션 결과 확인이 끝나면 [] 버튼을 클릭하여 애니메이션 재생을 종료해 주어야 합니다. 이는 다른 후처리 작업 시 발생할 수 있는 조작의 불편함을 최소화하기 위한 작업입니다.

개요

➤ 비선형 정적해석

- 단위 : N, mm
- 기하모델: Leaf Spring.x_t

➤ 재질

- 응력-변형률 곡선

➤ 접촉조건 설정

- 일반접촉 (마찰 고려)

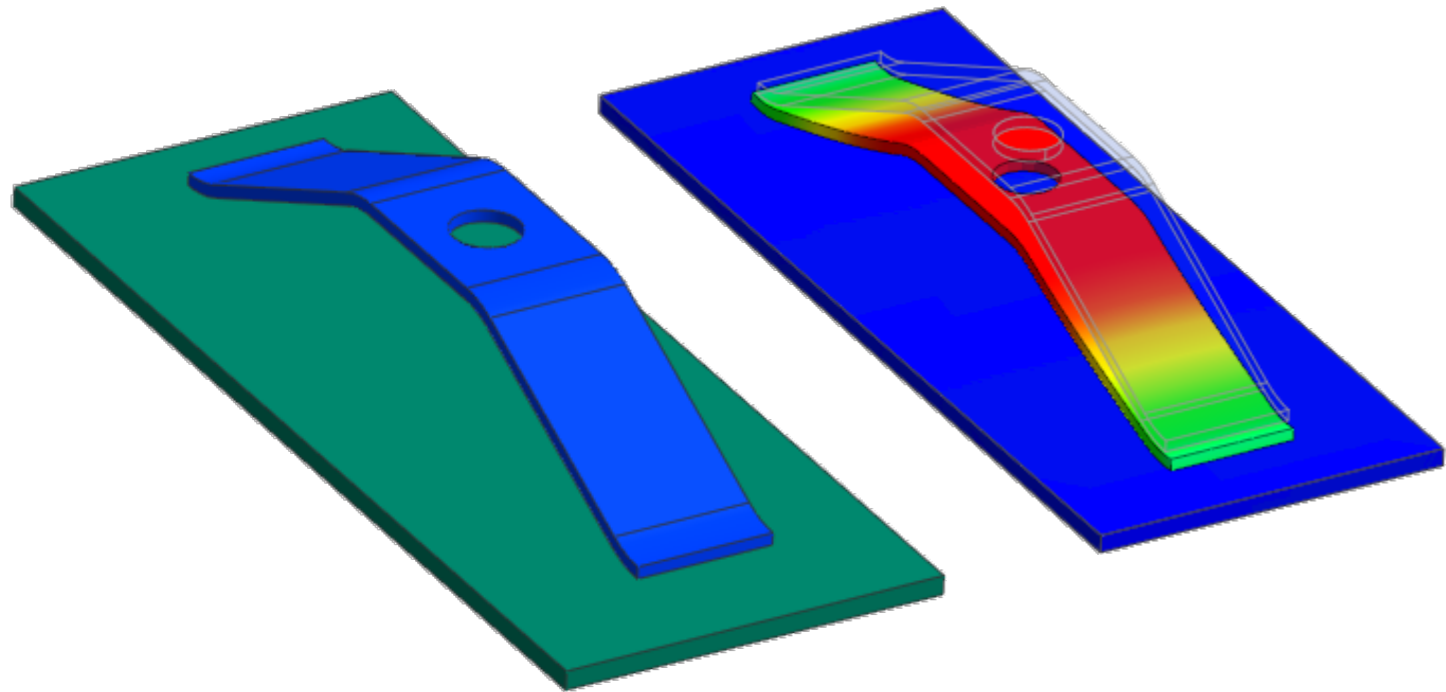
➤ 경계조건과 하중조건

- 고정구속, 자유도 구속
- 이동변위

➤ 결과확인

- 전체 변위
- 애니메이션
- 등가응력

Leaf Spring (재료, 기하, 접촉비선형)



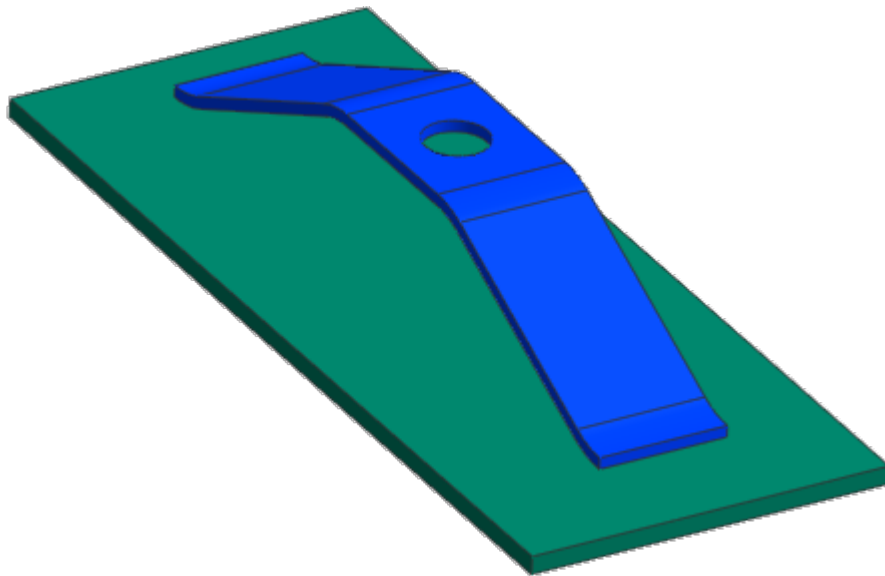
따라하기 목적

➤ midas NFX를 이용한 재료/기하/접촉 비선형 해석의 수행 및 기능 이해

- 응력-변형률 곡선을 이용하여 비선형 재료를 정의합니다.
- 해석 전에는 접촉이 발생하지 않지만, 해석 중에 접촉이 발생하는 면을 찾아서 수동접촉조건을 설정합니다.
- 증분 개수와 수렴 기준 등의 비선형해석 옵션을 설정하는 방법을 습득합니다.

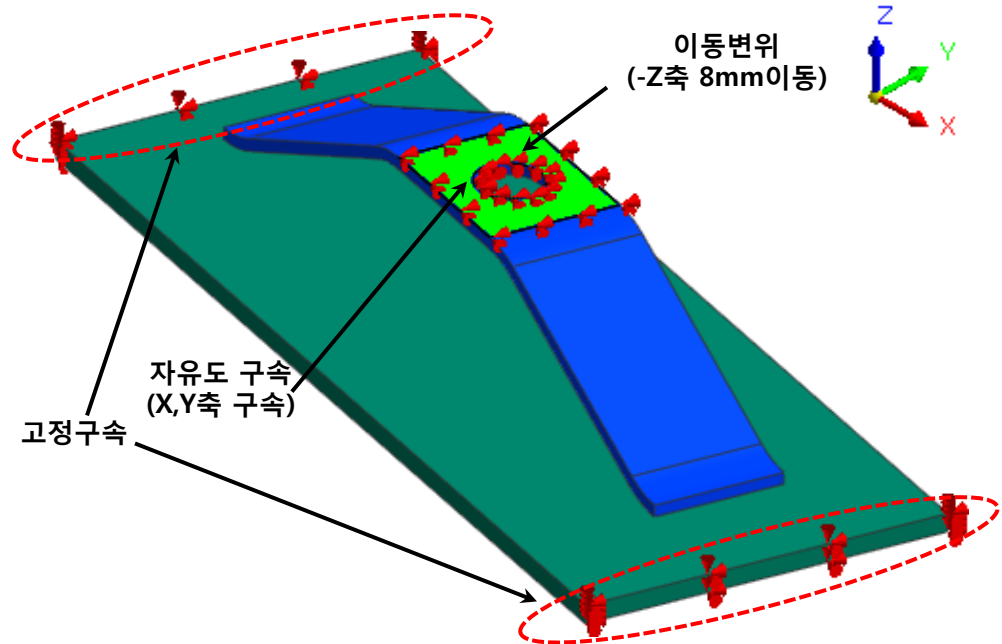
해석 개요

➤ 대상 모델

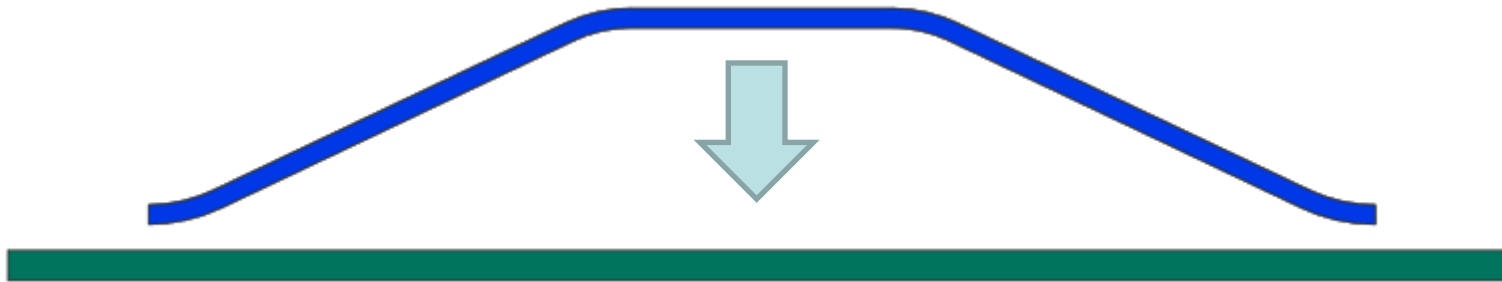


➤ 경계조건 (고정구속, 자유도 구속)

➤ 하중조건 (이동변위)



유저설정 접촉






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




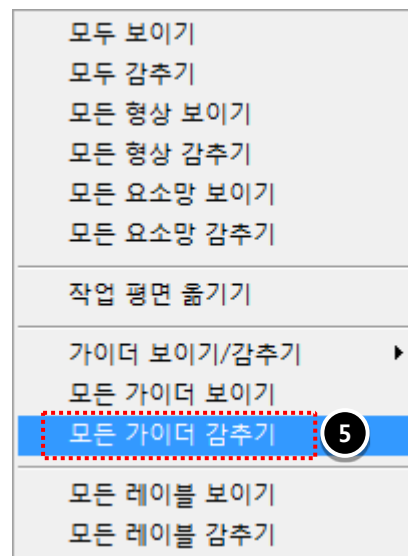
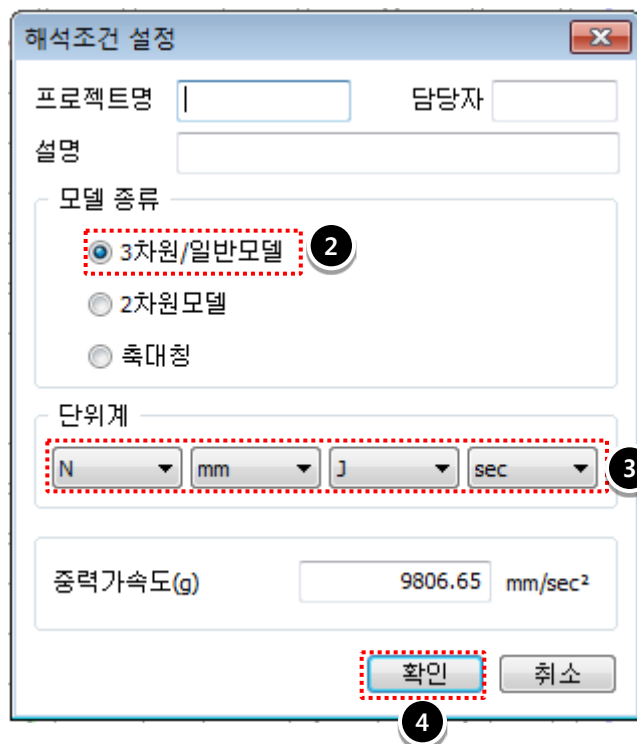
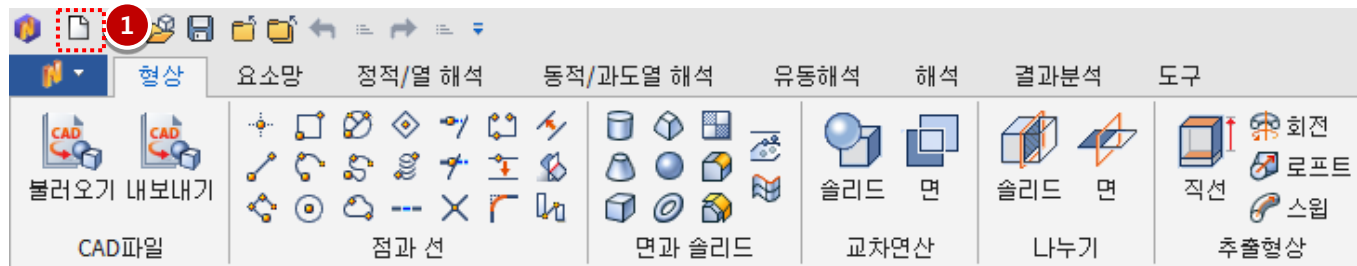
- 초기에 접촉되지 않은 상태에서는 자동 접촉 설정이 어려움.
 - 사용자가 직접 접촉 되는 면을 선택해서 설정해야 함.
 - Step 10에서 수동접촉 설정을 따라해봅니다.

작업순서

1. [] (새로 만들기) 클릭.. 
2. [3차원/일반모델] 선택.
3. 단위계 [N-mm-J-sec] 선택.
4. [확인] 버튼 클릭.
5. 작업원도우에서 마우스 오른쪽 버튼 클릭 후, [모든 가이드 감추기] 선택.

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

 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.

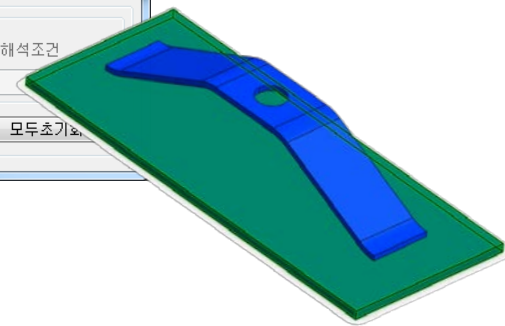
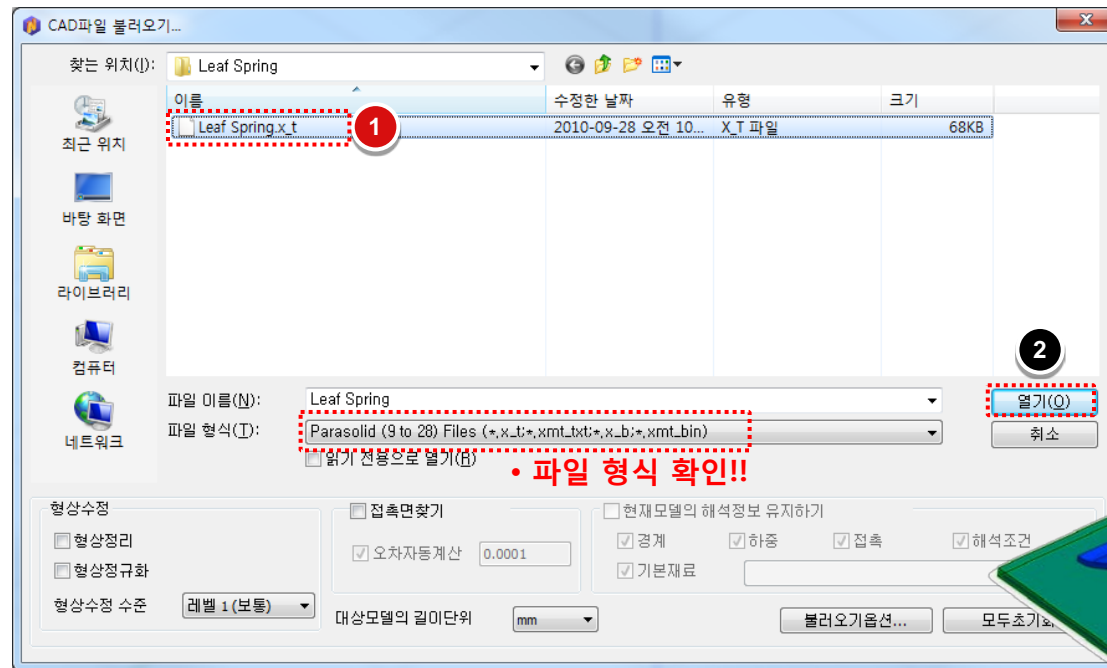
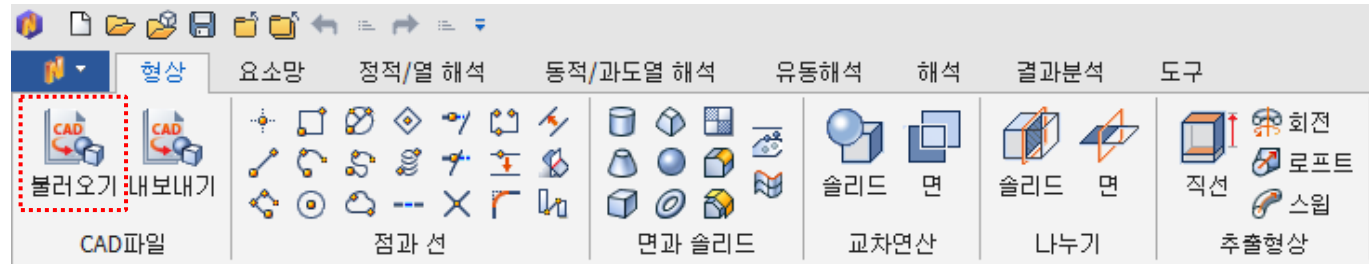


작업순서

1. 모델 선택: **Leaf Spring.x_t** 선택.
2. [열기] 버튼 클릭.

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

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

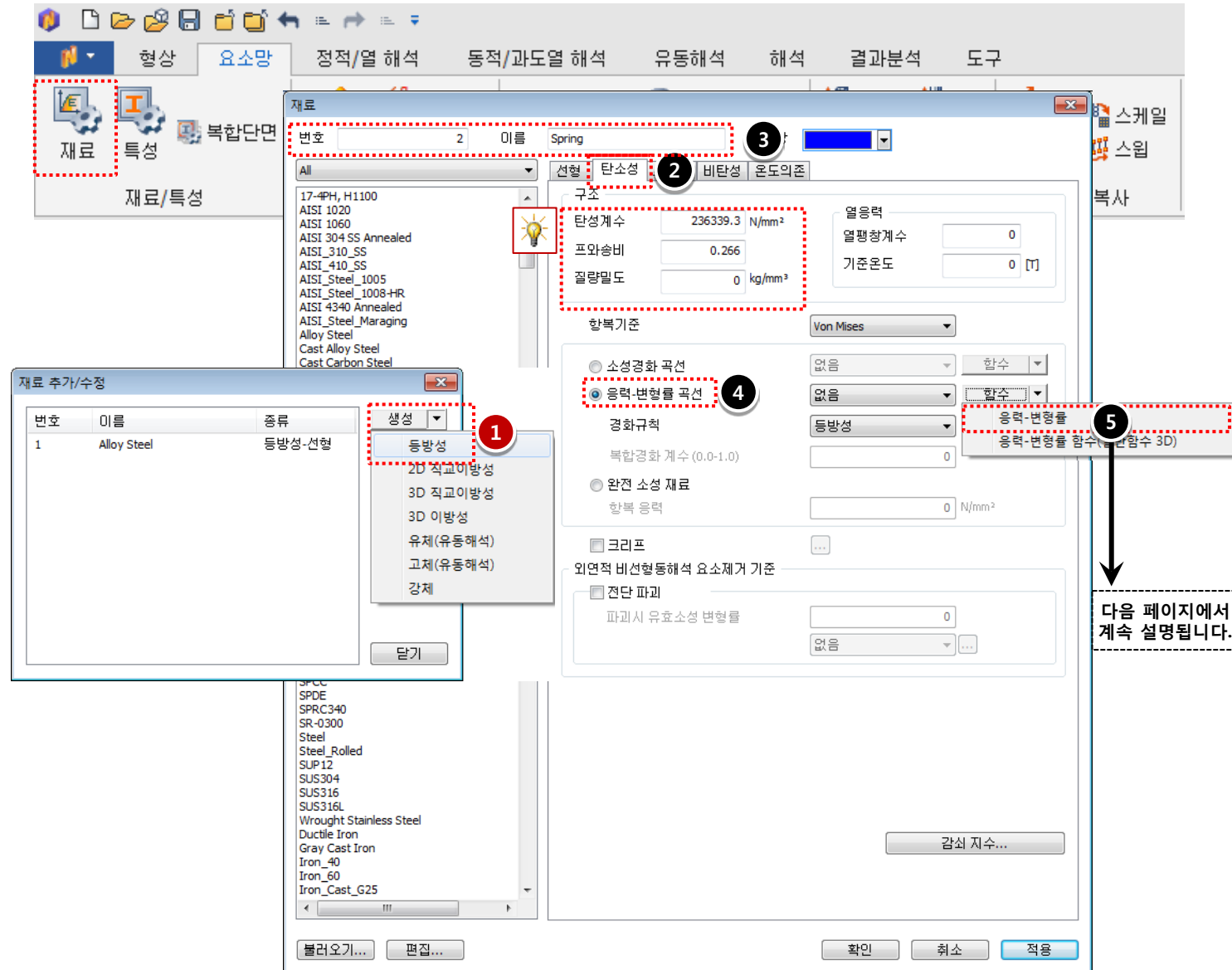


작업순서

1. 생성 >> 등방성 클릭
2. [탄소성] 탭 선택.
3. 재질 입력

번호	2
이름	Spring
탄성계수	236339.3 (N/mm ²)
프와송비	0.266

4. 응력-변형률 곡선 체크.
5. 함수 생성 아이콘 클릭.



다음 페이지에서 계속 설명됩니다.

💡 기본적인 선형 탄성 물성치는 반드시 입력해 주어야 합니다.

작업순서

1. 이름: "Nonlinear" 입력.

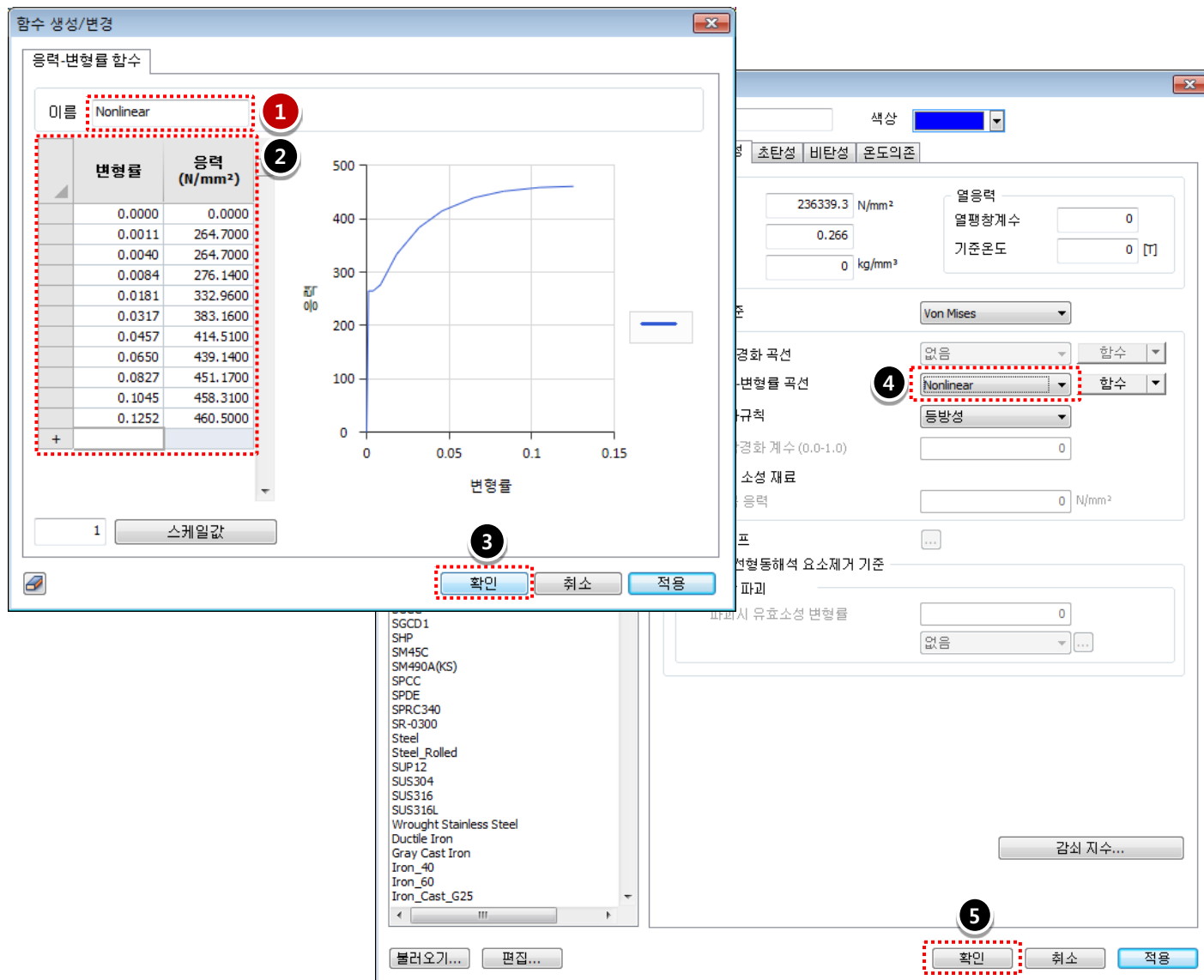
2. 응력-변형률 함수 입력

변형률	응력
0	0
0.0011	264.7
0.004	264.7
0.0084	276.14
0.0181	332.96
0.0317	383.16
0.0457	414.51
0.065	439.14
0.0827	451.17
0.1045	458.31
0.1252	460.5

3. [확인] 버튼 클릭.

4. 응력-변형률 함수: "Nonlinear" 선택.

5. [확인] 버튼 클릭.



함수 생성/변경

응력-변형률 함수

이름: Nonlinear

변형률	응력 (N/mm ²)
0.0000	0.0000
0.0011	264.7000
0.0040	264.7000
0.0084	276.1400
0.0181	332.9600
0.0317	383.1600
0.0457	414.5100
0.0650	439.1400
0.0827	451.1700
0.1045	458.3100
0.1252	460.5000

그래프: 변형률 (0 to 0.15) vs. 응력 (0 to 500 N/mm²)

1: 이름 입력

2: 데이터 입력

3: 확인 버튼

4: Nonlinear 함수 선택

5: 확인 버튼

소재 목록: SGCD1, SHP, SM45C, SM490A(KS), SPCC, SPDE, SPRC340, SR-0300, Steel, Steel_Rolled, SUP12, SUS304, SUS316, SUS316L, Wrought Stainless Steel, Ductile Iron, Gray Cast Iron, Iron_40, Iron_60, Iron_Cast_G25

작업순서

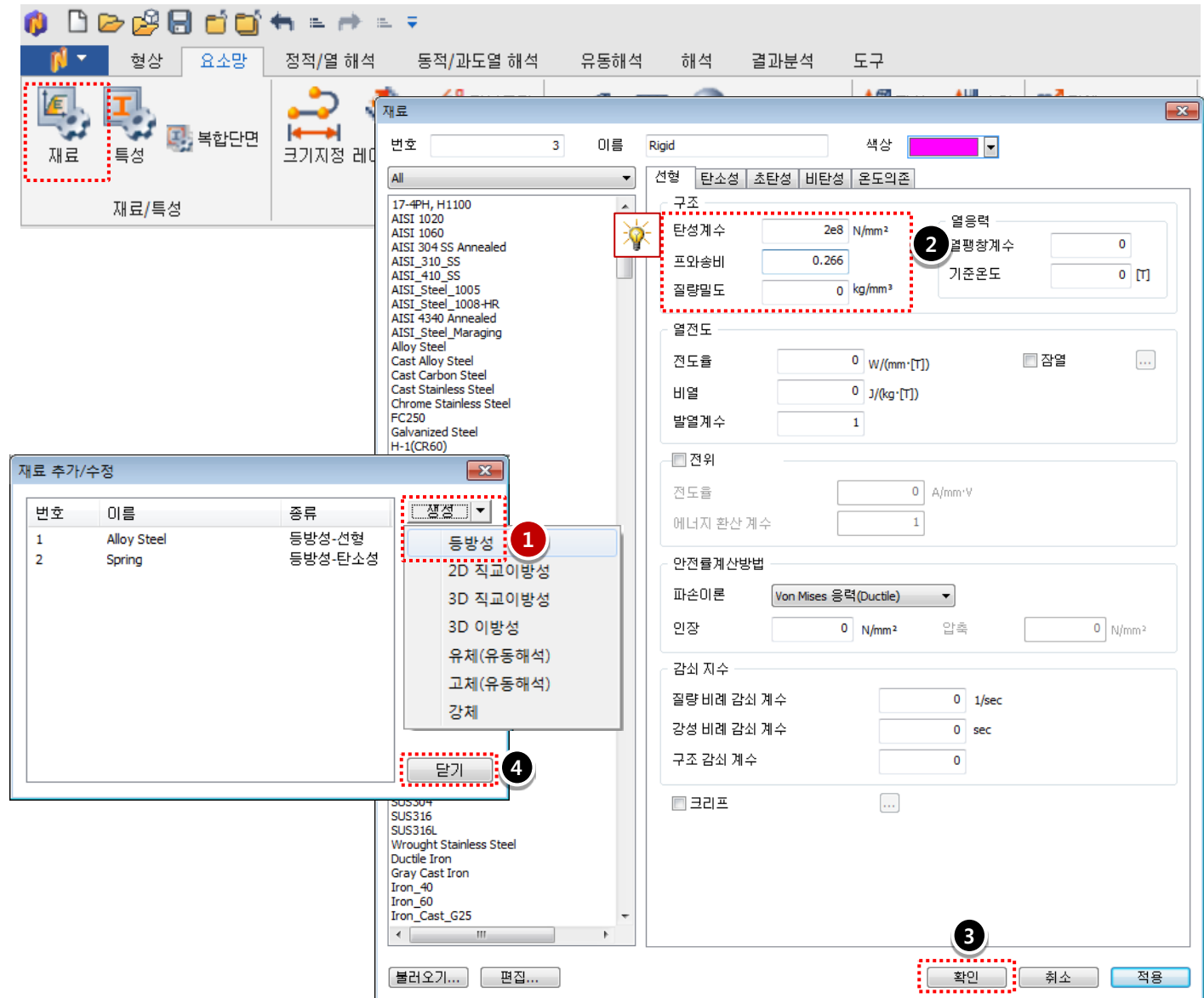
1. 생성->등방성 클릭

2. 재질 입력

번호	3
이름	Rigid
탄성계수	2e8 (N/mm ²)
프와송비	0.266

3. [확인] 버튼 클릭.

4. [닫기] 버튼 클릭.



💡 Spring 파트에 비해 충분히 큰 강성을 갖도록 설정합니다.

작업순서

1. 생성 >> 3D 클릭
2. [솔리드] 탭 선택
3. 특성입력

번호	1
이름	Spring
재질	2: Spring

4. [적용] 버튼 클릭.

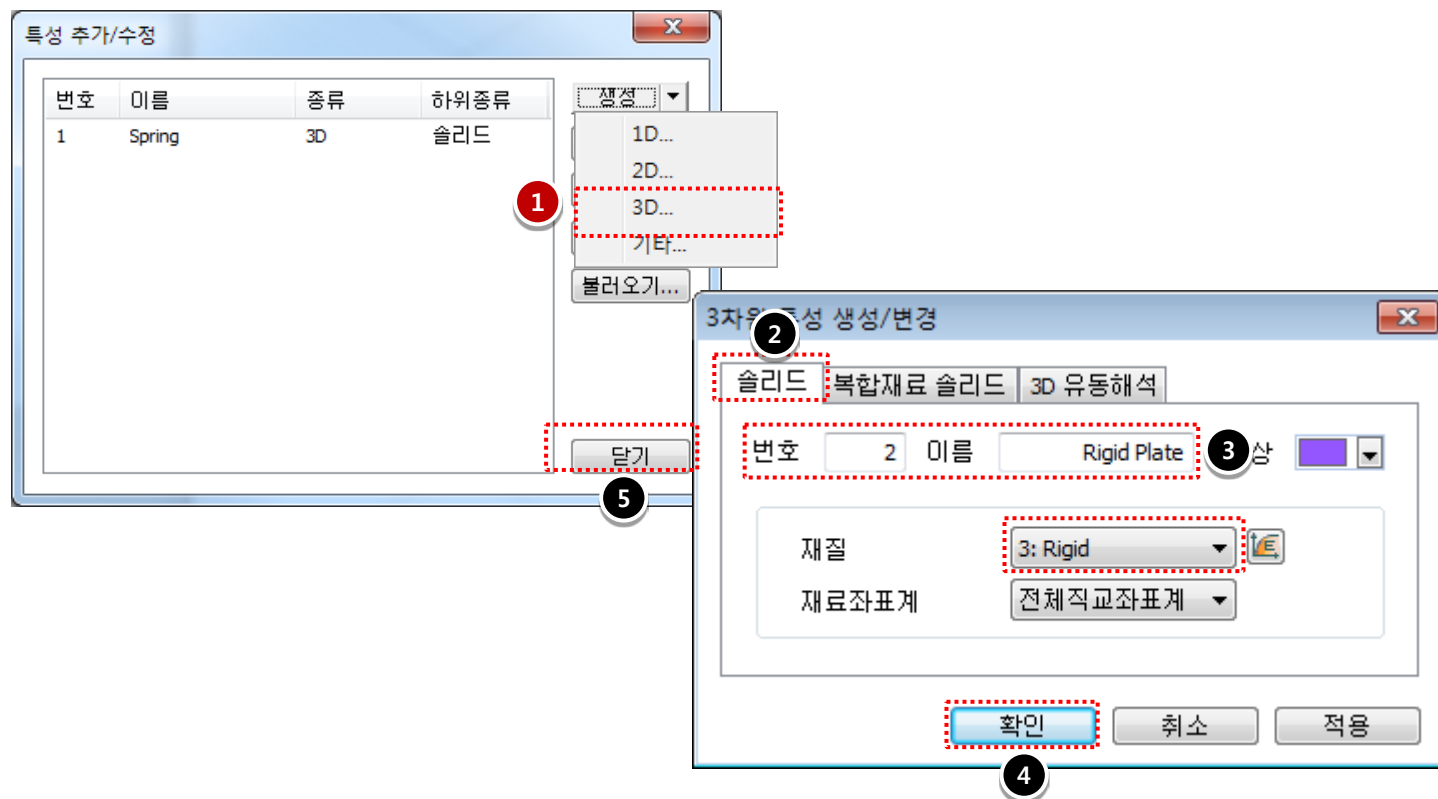


작업순서

1. 생성 >> 3D 클릭
2. [솔리드] 탭 선택
3. 특성입력

번호	2
이름	Rigid Plate
재질	3: Rigid


4. [확인] 버튼 클릭.
5. [닫기] 버튼 클릭.



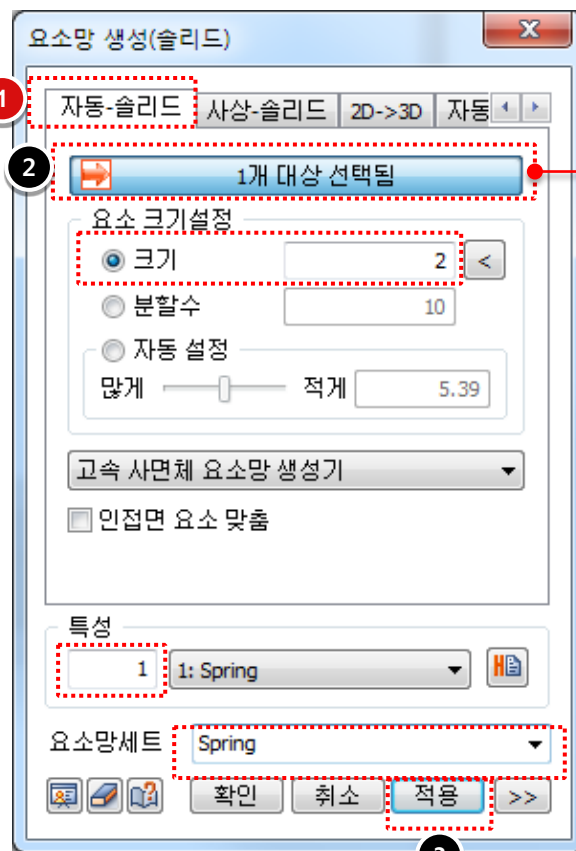
작업순서


1. [자동-슬리드] 탭 선택.

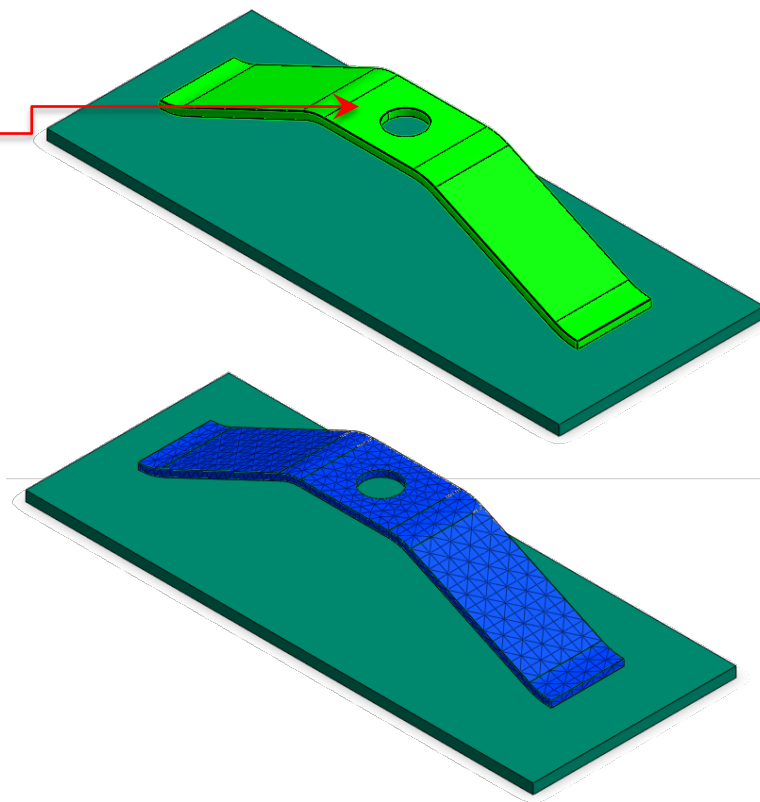
2. 요소망 생성 입력

대상선택	슬리드 1개 선택
요소크기	2
특성번호	1 
이름	Spring

3. [적용] 버튼 클릭.



 요소 특성의 ID 번호만을 입력하여 요소망을 생성한 후에 해당 ID의 특성을 정의할 수 있습니다.



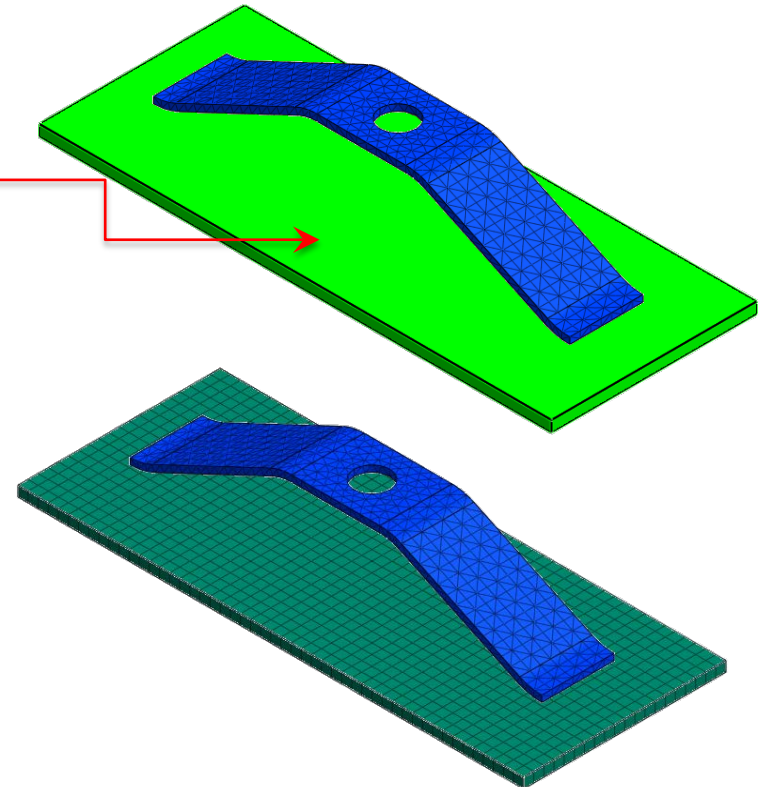
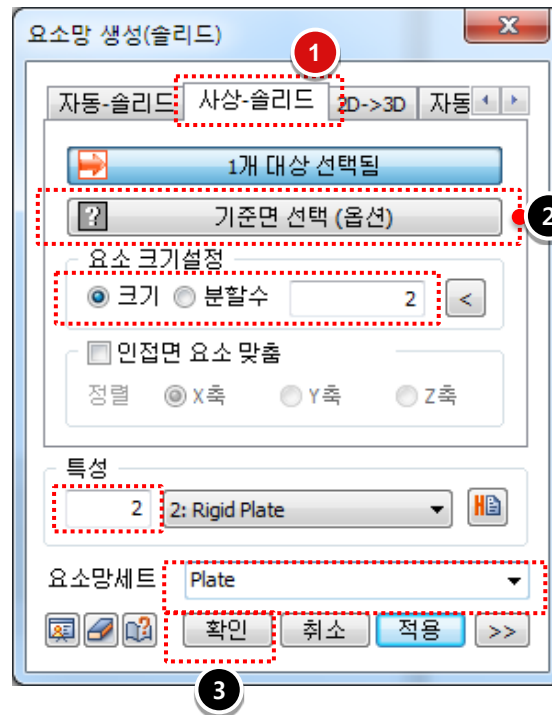
작업순서

1. [사상-솔리드] 탭 선택.

2. 요소망 생성 입력

대상선택	솔리드 1개 선택
요소크기	2
특성번호	2
이름	Plate

3. [확인] 버튼 클릭.



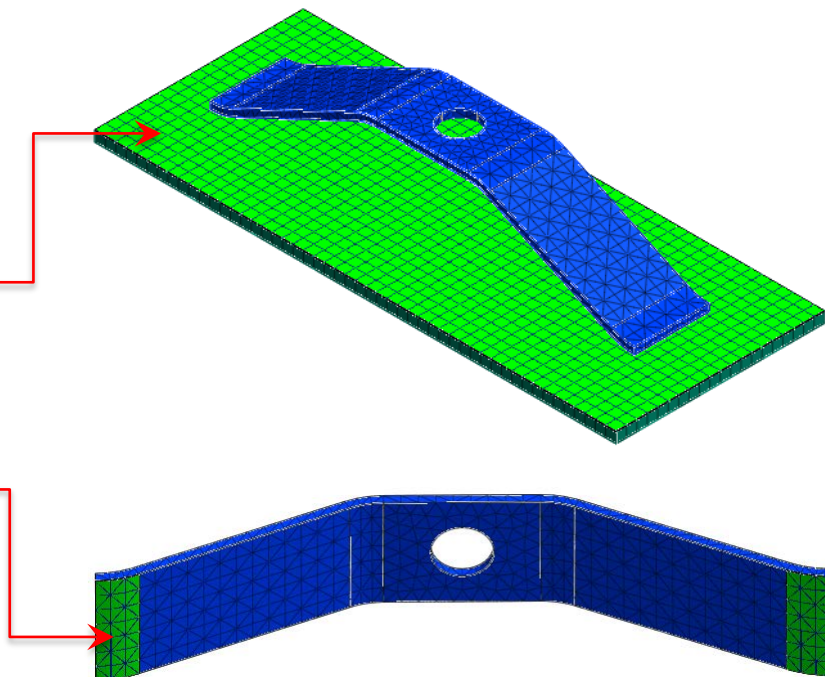
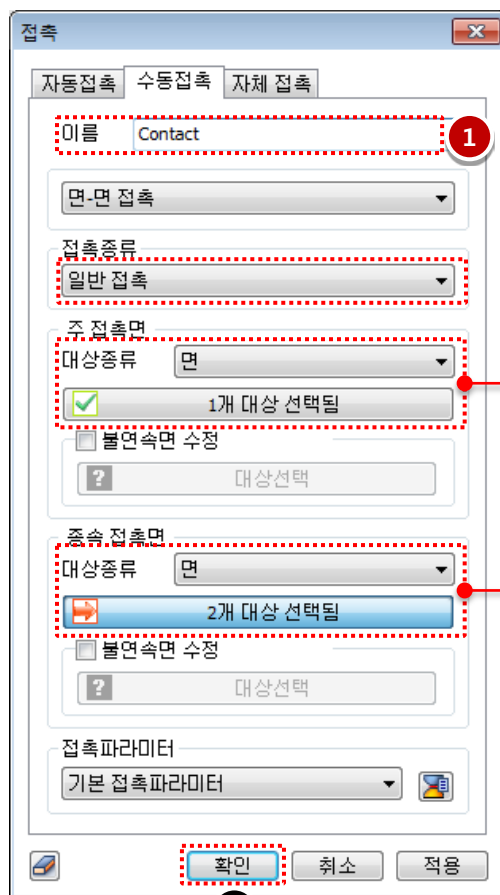
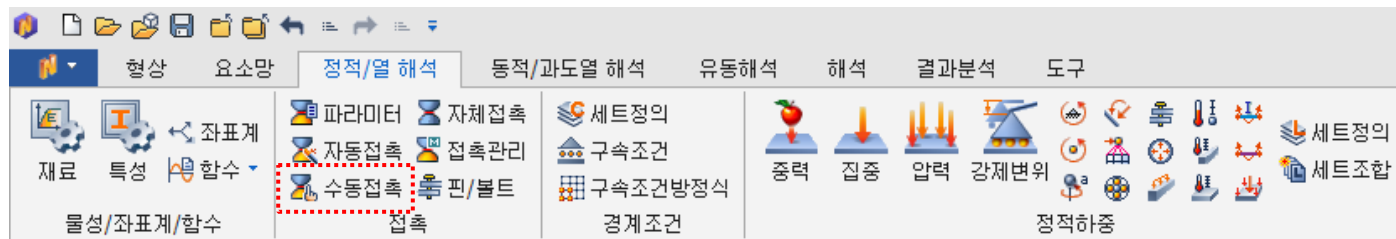
작업순서

1. 수동접촉조건 입력


이름	Contact
접촉종류	일반접촉
주 접촉면 대상 종류	면
주 접촉면 대상 선택	1개 선택
종속 접촉면 대상 종류	면
종속 접촉면 대상 종류	2개 선택

2. [확인] 버튼 클릭.

💡 수동접촉조건은 접촉의 발생이 예상되는 부분만을 수동으로 지정해주므로 요소망 세트 전체로 지정하는 자동접촉조건보다 해석시간을 줄일 수 있습니다.
일반적으로 주 접촉면은 종속 접촉면에 비해 강성이 큰 파트로 선택하는 것이 좋습니다.




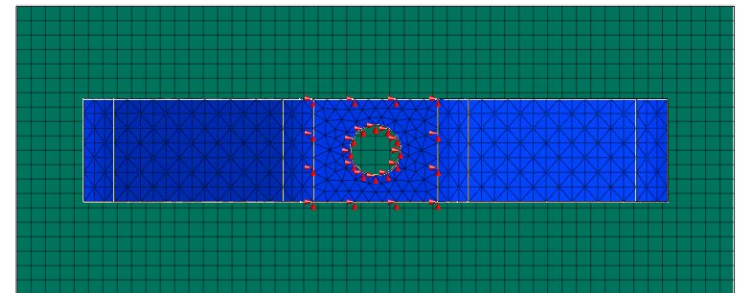
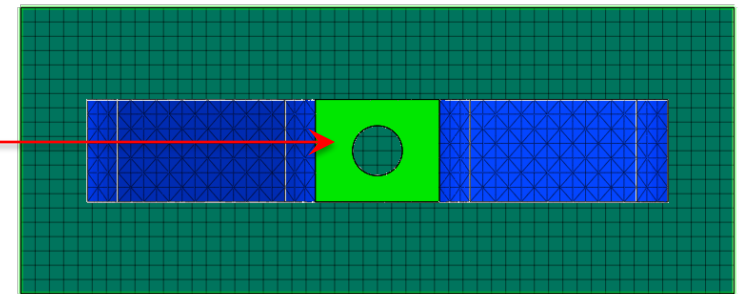
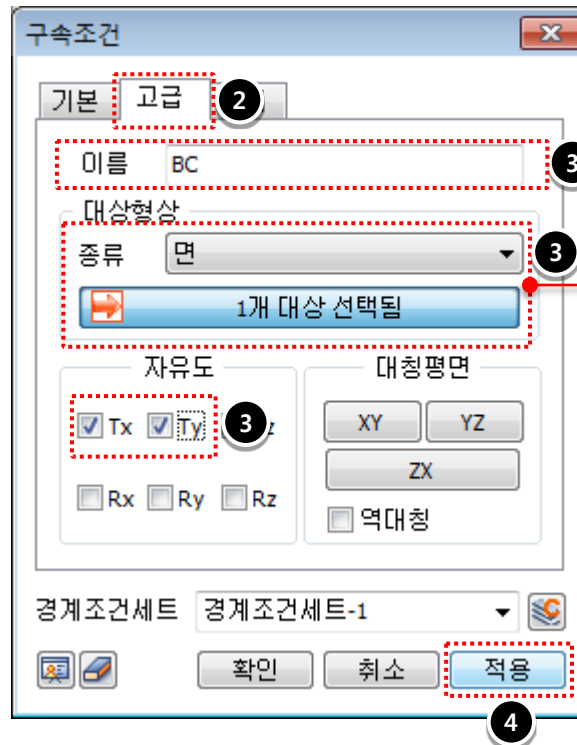
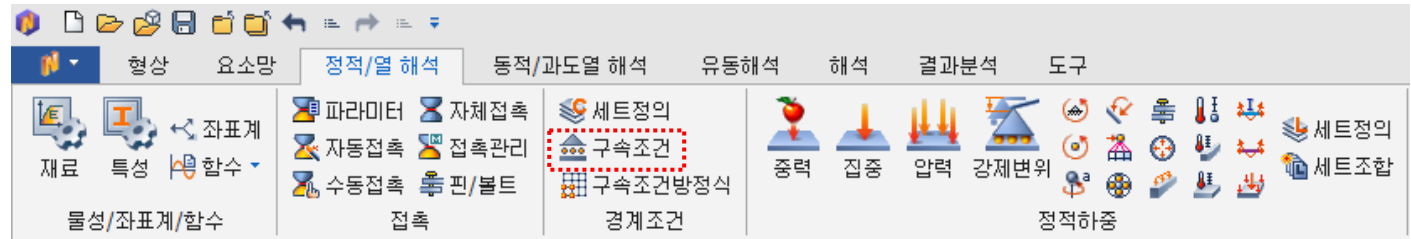
작업순서

1. [] (위면 보기) 버튼 클릭.
2. [고급] 탭 선택.
3. 구속조건 입력

이름	BC
대상종류	면
대상선택	1개 선택
조건	Tx, Ty 선택 

4. [적용] 버튼 클릭.

 변위하중의 방향을 제외한 나머지 자유도를 구속해 줍니다.



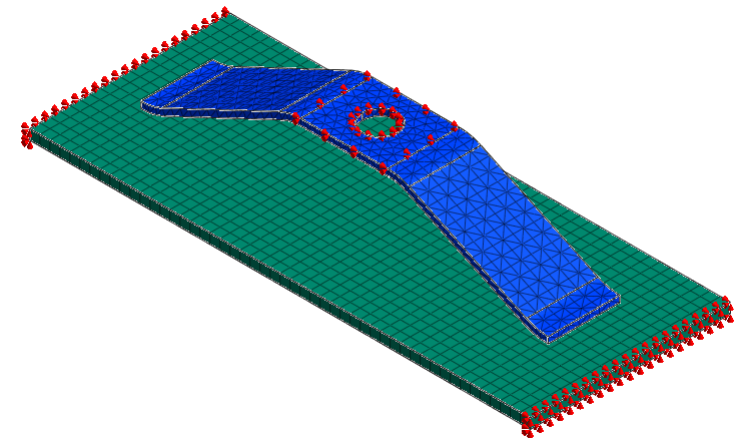
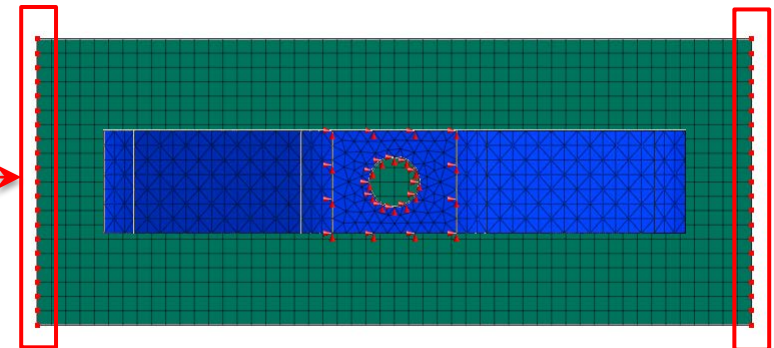
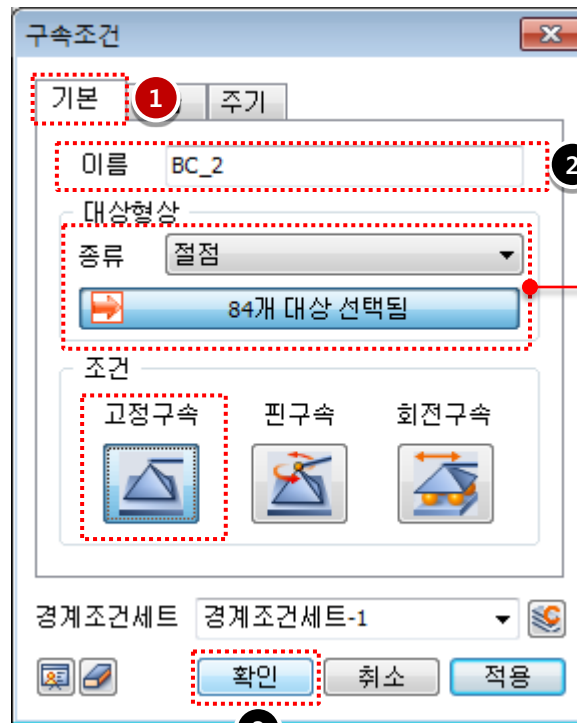
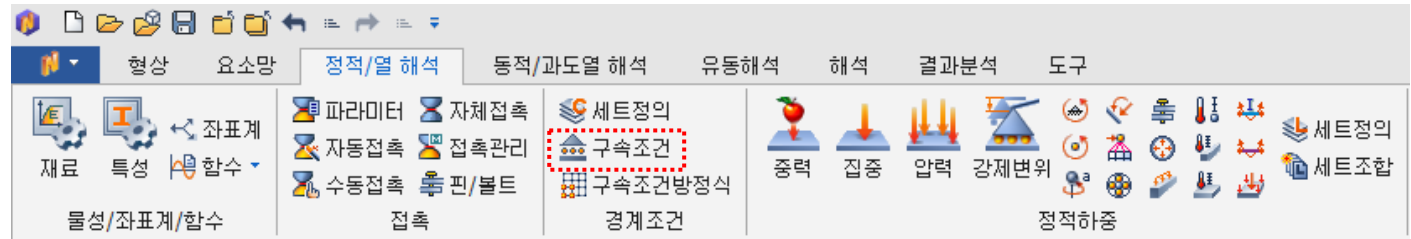
작업순서

1. [기본]탭 선택.

2. 구속조건 입력

이름	BC_2
대상종류	절점
대상선택	84개 선택
조건	고정구속

3. [확인] 버튼 클릭.



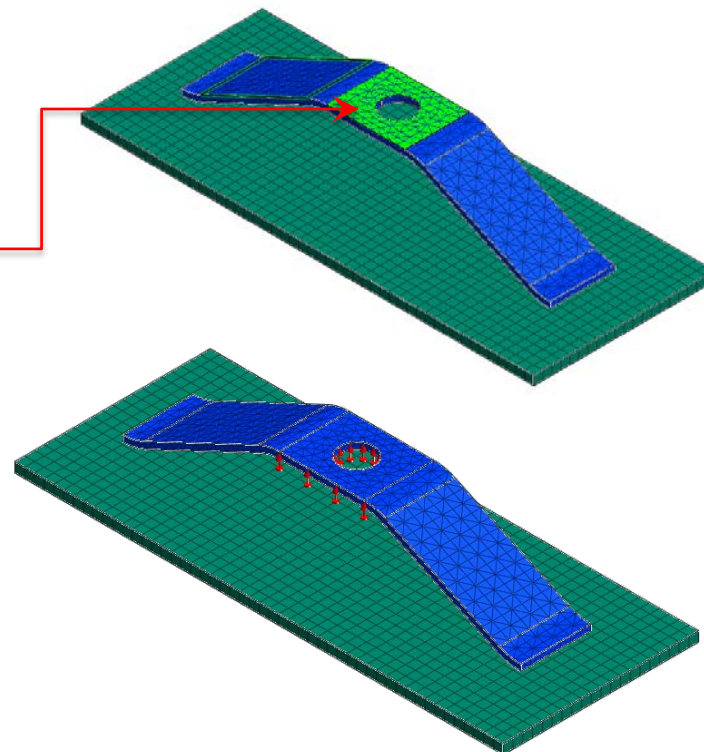
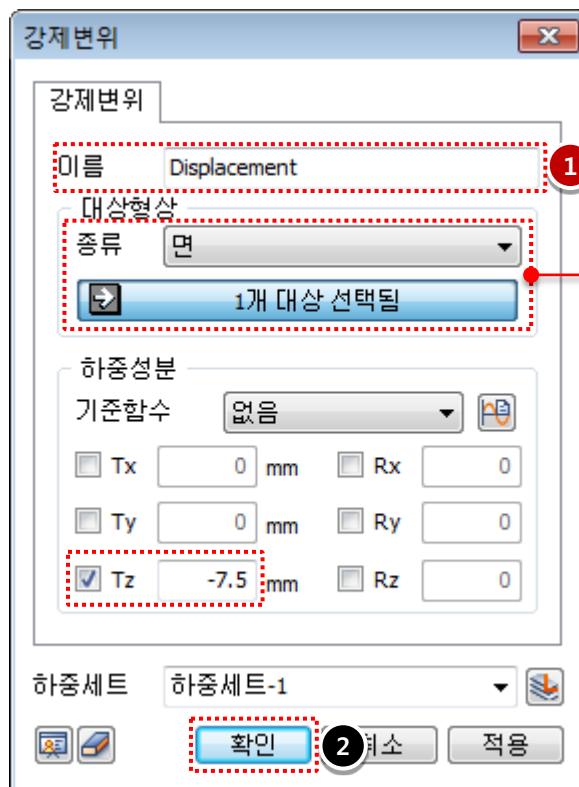
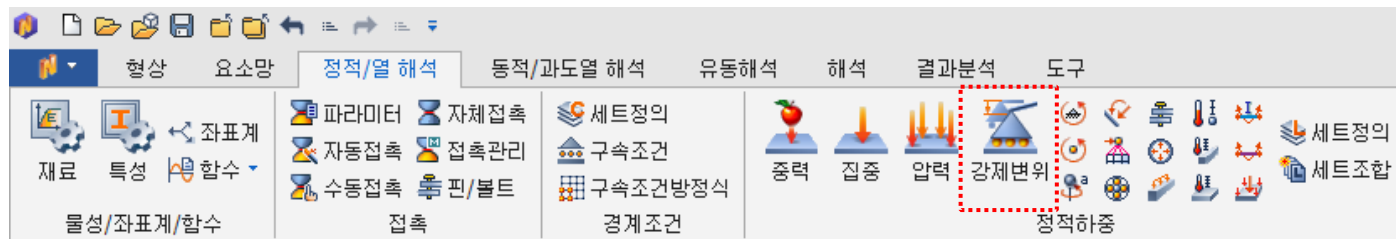
💡 고정구속: X, Y, Z 병진자유도 및 회전 자유도 구속
 핀구속: X, Y, Z 병진자유도만 구속

작업순서

1. 강제변위조건 입력

이름	Displacement
대상종류	면
대상선택	1개 선택
하중성분	Tz : -7.5 (mm)


2. [확인] 버튼 클릭.

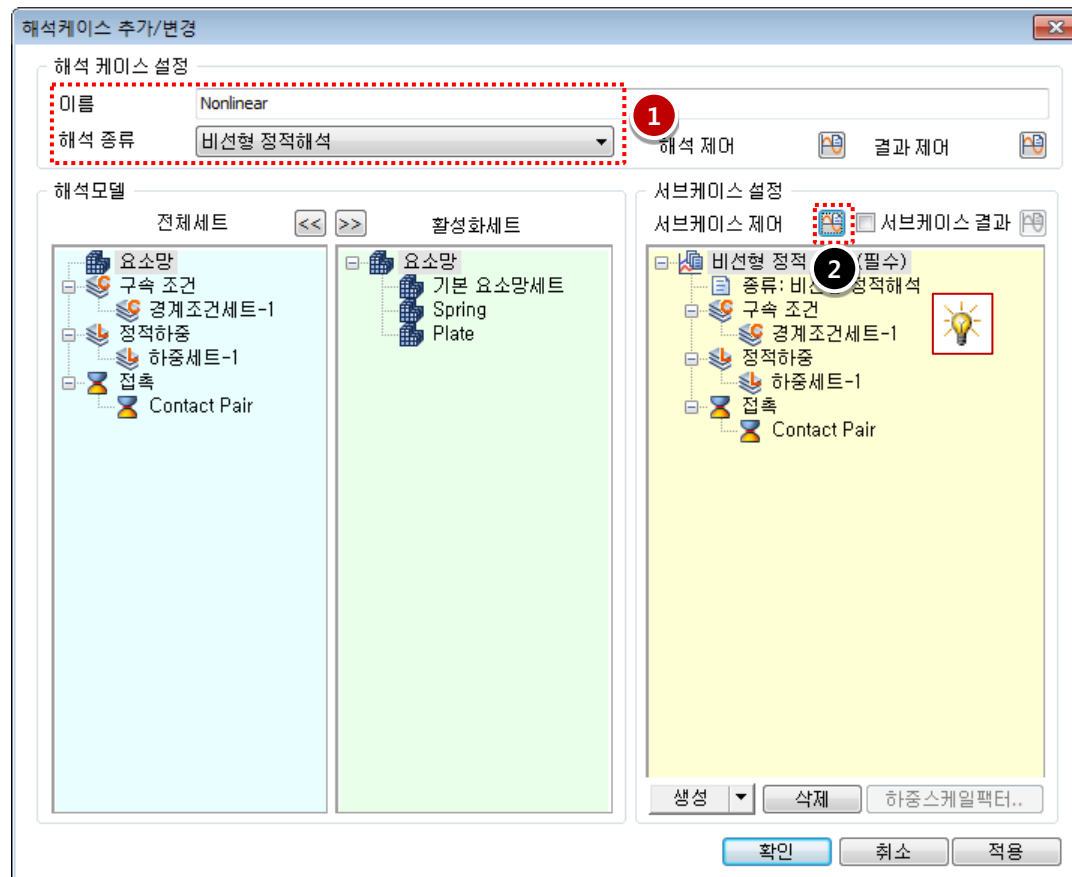
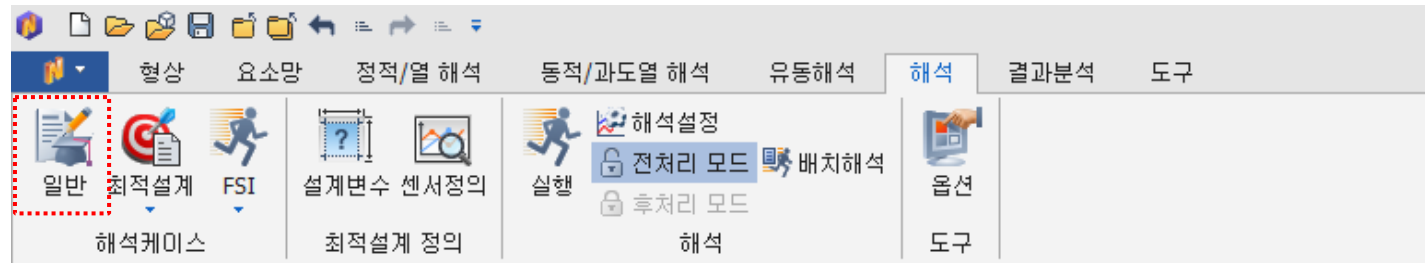


작업순서

1. 해석케이스 설정

이름	Nonlinear
해석 종류	비선형 정적해석

2. [] (서브케이스 제어) 버튼 클릭.
 (“비선형 정적 해석 (필수)” 서브케이
 스를 클릭해야 활성화됩니다.)



💡 기본적으로 현재 작업된 요소망세트, 경계조건, 하중조건 등이 모두 활성화됩니다.

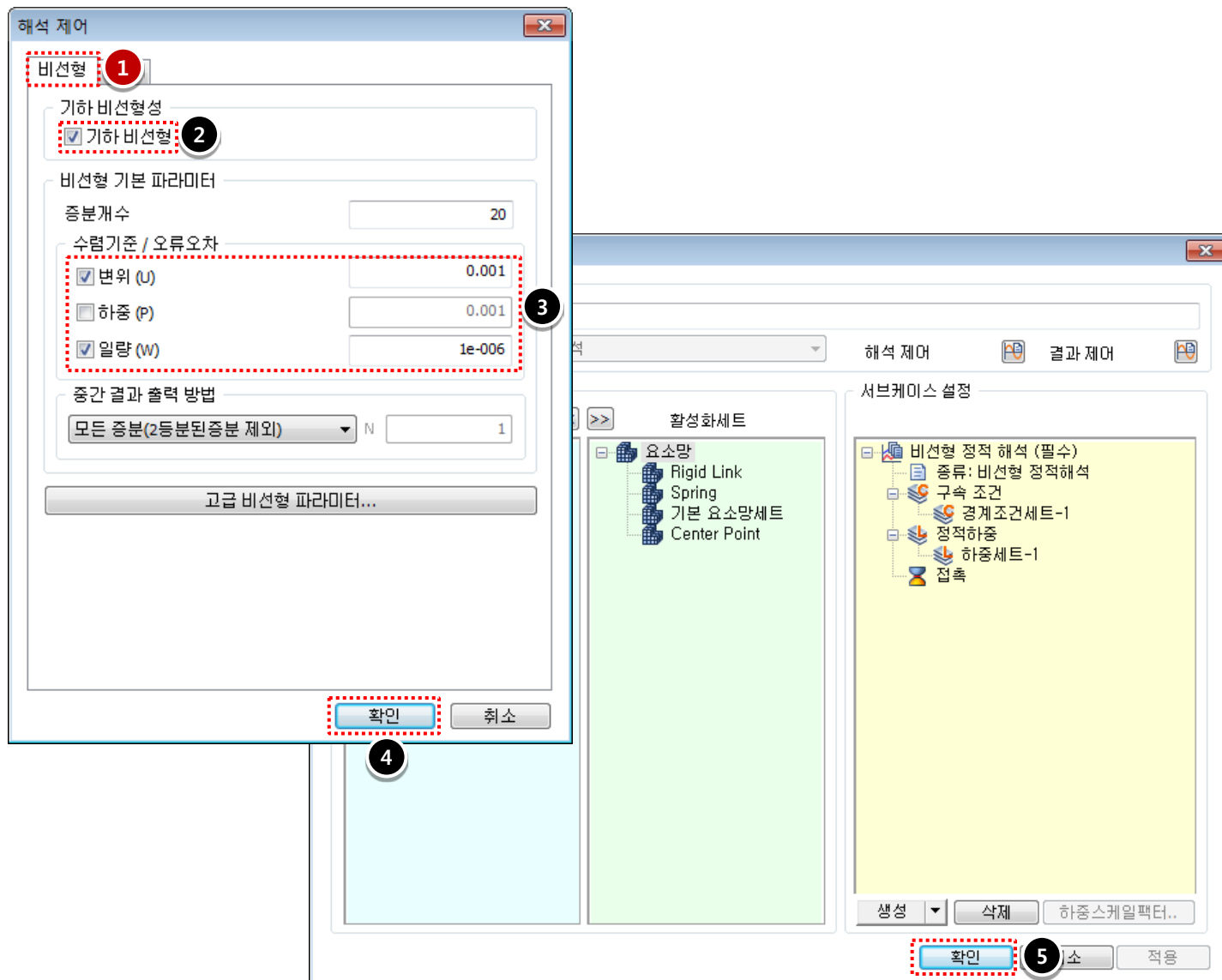
작업순서

1. [비선형] 탭 선택.
2. [기하비선형] 체크.
3. 수렴기준/오류오차 설정

변위 체크	0.001
하중 체크 해제	
일량 체크	1e-6

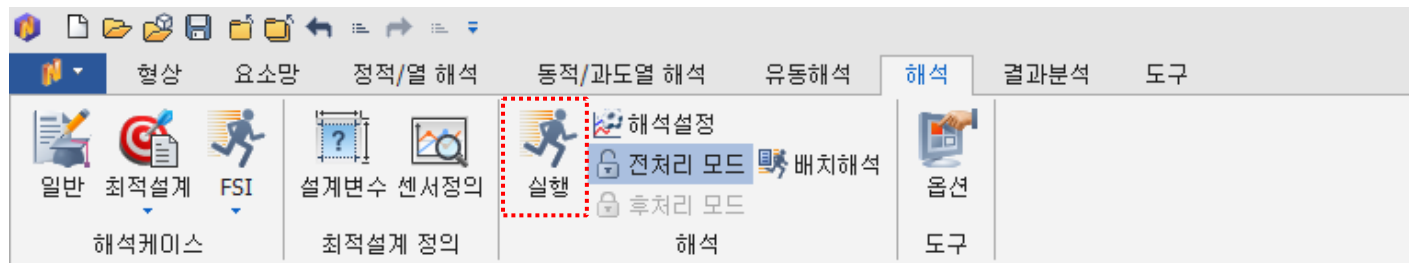
4. [확인] 버튼 클릭.
5. [확인] 버튼 클릭.

💡 일량을 기본으로 하여 변위와 하중 중에서 추가로 1개를 더 선택합니다.

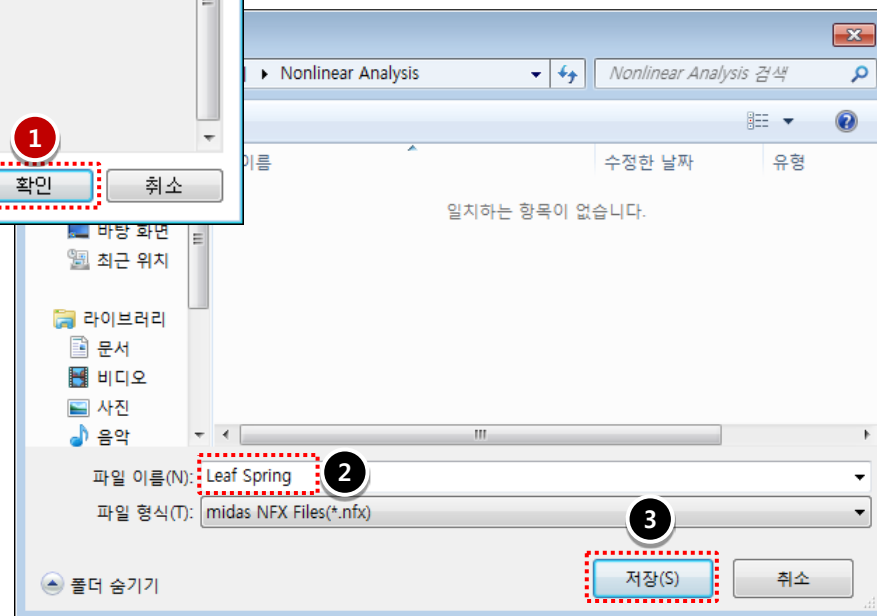
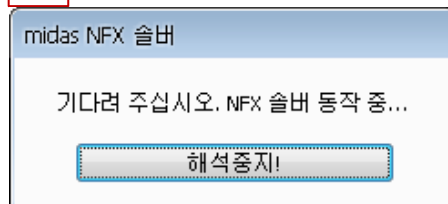


작업순서


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



💡 해석을 실행하면 midas NFX 솔버가 작동됩니다. [해석중지!] 버튼을 클릭하면 해석이 중지됩니다.

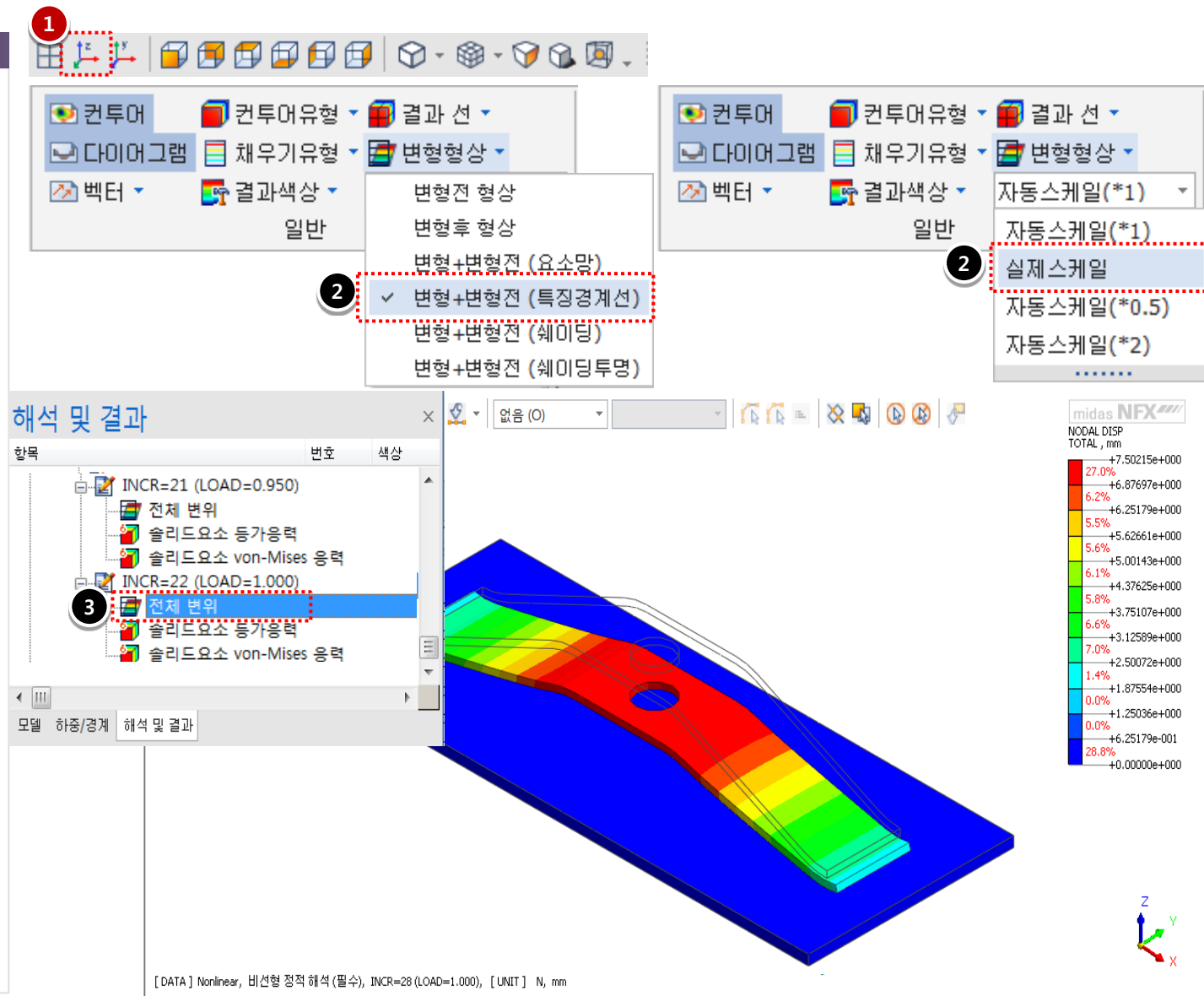


작업순서




1.  (등각보기1) 클릭.
2. 결과분석 >> 일반 >> 변형형상
>> 변형+변형전 (특징경계선) 선택.
3. 결과분석 >> 일반 >>
>> [실제스케일] 선택
4. 해석 및 결과 작업트리에서
전체 변위 더블 클릭.

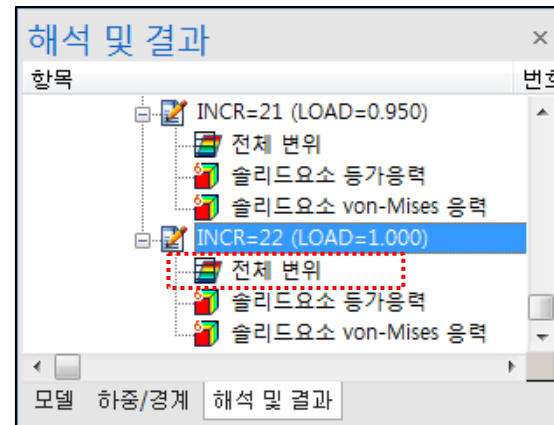
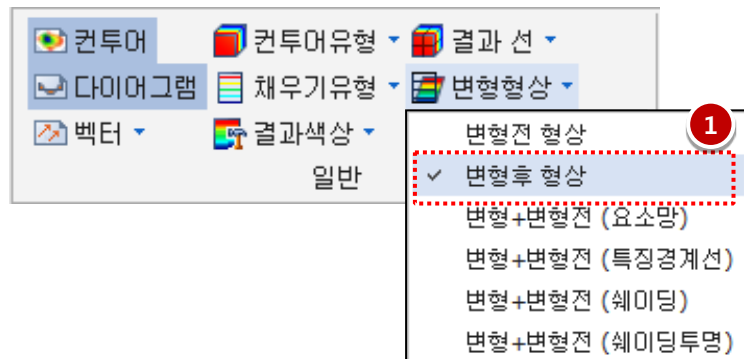




접촉이 시작되는 하중증분에서 수렴이 여의치 않아 자동으로 하중을 재분할(Bisecting)하여 해석이 진행됩니다. 때문에 정의한 증분개수와 해석 결과의 실제 증분은 다를 수 있습니다.

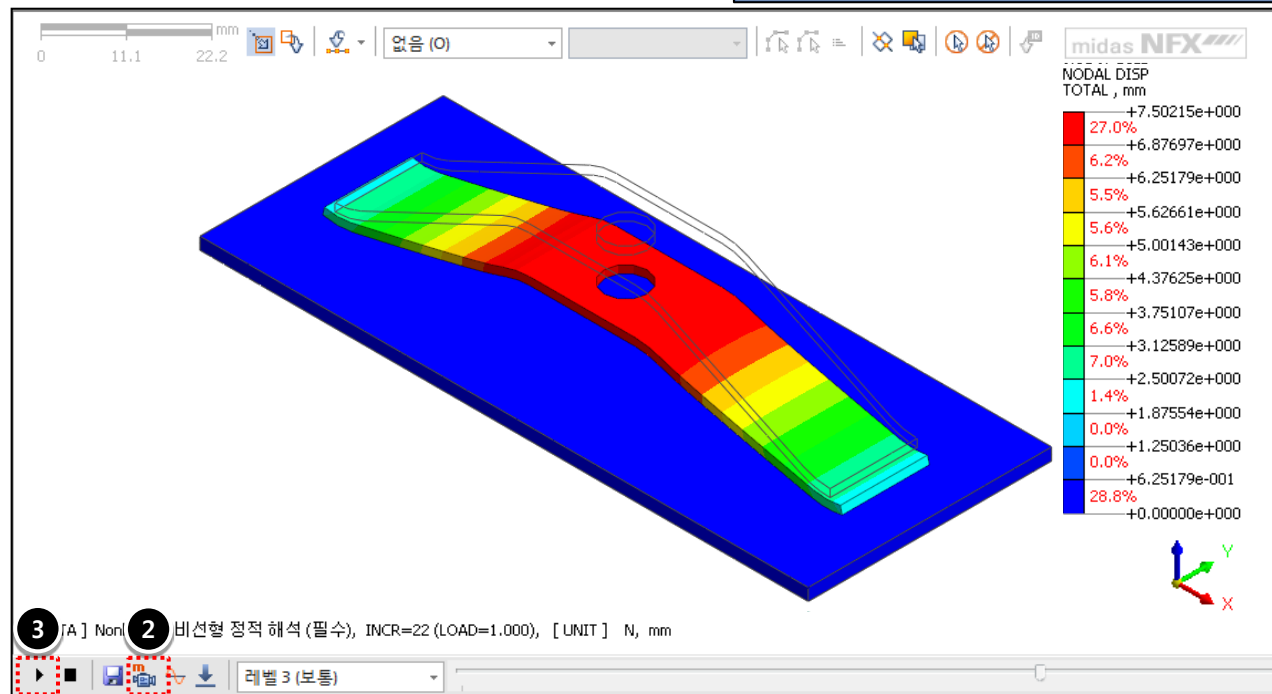


작업순서

1. 결과분석 >> 일반 >> 변형형상 >> 변형후 형상 선택.
2. [] (멀티-스텝 애니메이션 녹화) 클릭.
3. [] (재생) 클릭. 

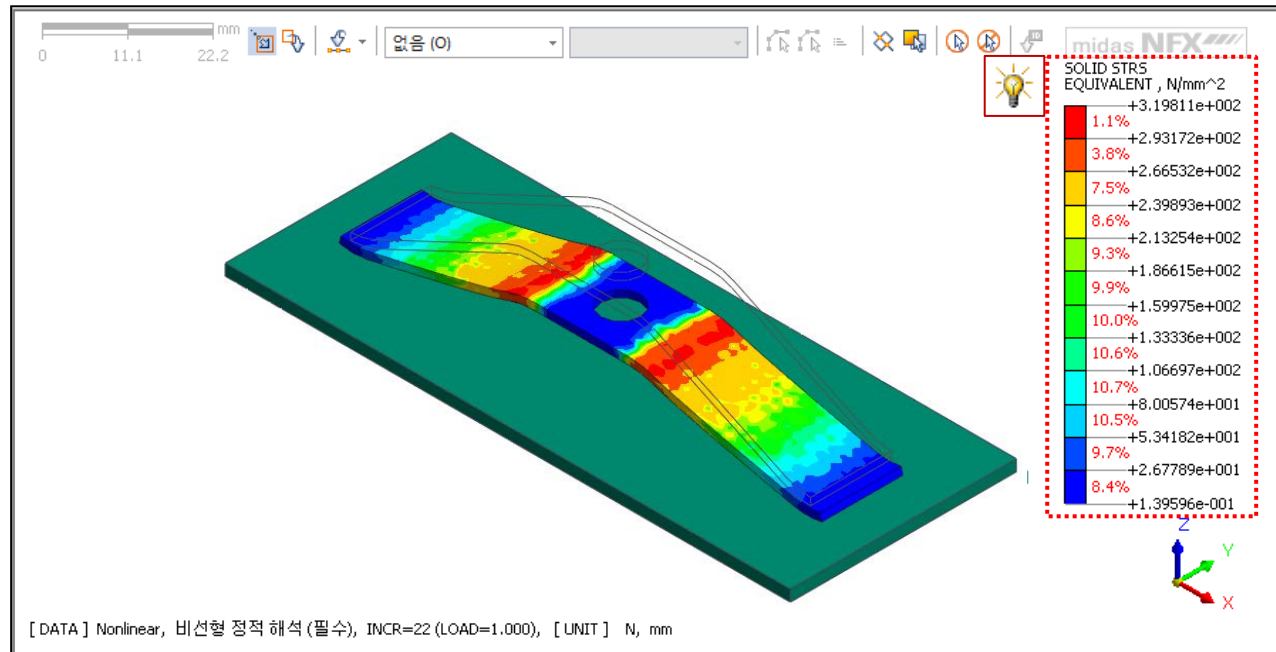
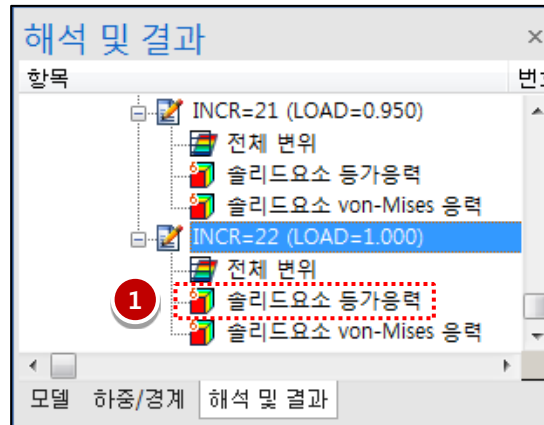


 멀티-스텝 애니메이션 녹화를 이용하면 스텝별 결과를 애니메이션으로 확인할 수 있습니다. (자동으로 전체 스텝 결과에 체크되어 있습니다.) 애니메이션 결과 확인이 끝나면 [] 버튼을 클릭하여 애니메이션 재생을 종료해 주어야 합니다. 이는 다른 후처리 작업 시 발생할 수 있는 조작의 불편함을 최소화하기 위한 작업입니다.



작업순서

1. 해석 및 결과 작업 트리에서 INCR=22
의 솔리드요소 등가응력 더블 클릭.



💡 재료비선형 해석의 경우에는 반드시 등가응력을 확인해야 합니다. 일부 부분에서 항복응력을 넘어서 소성구간에 들어선 것을 확인할 수 있습니다.

개요

➤ 비선형 정적해석

- 단위 : N, mm
- 기하모델: Bending Spring.x_t

➤ 접촉조건 설정

- 일반접촉

➤ 경계조건과 하중조건

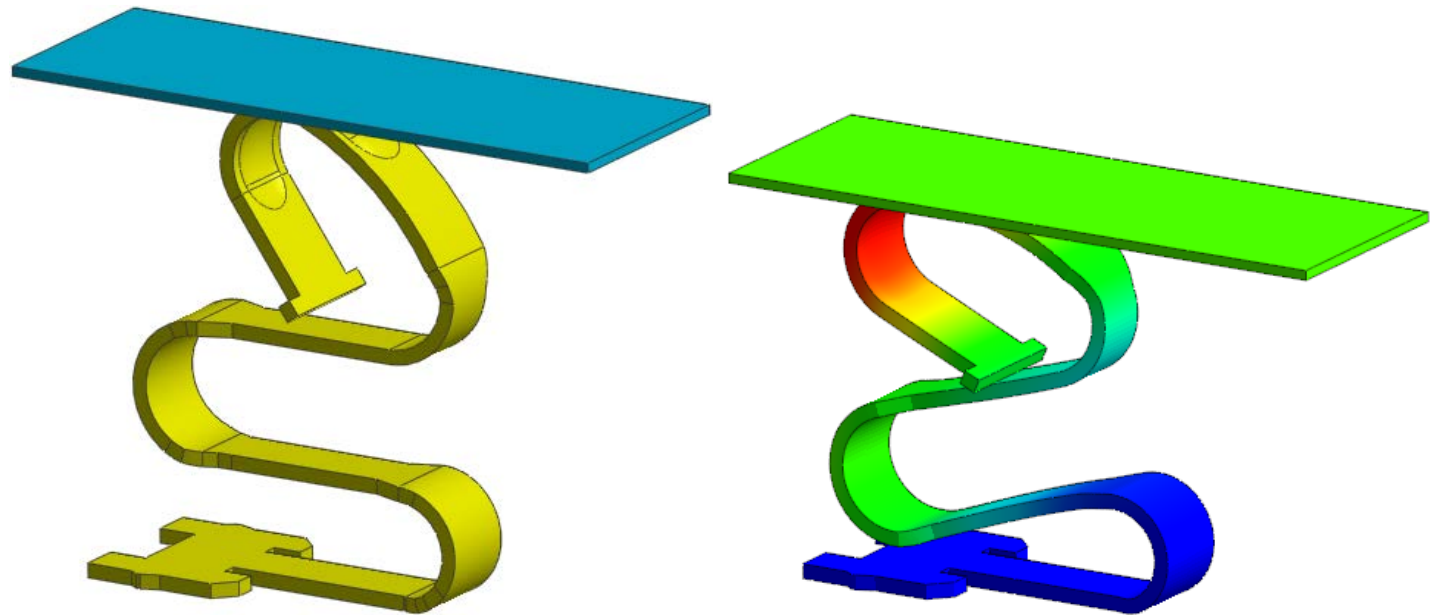
- 고정구속
- 이동변위

➤ 결과확인

- 전체 변위
- von-Mises 응력
- 애니메이션

Bending Spring

(접촉, 기하 비선형)

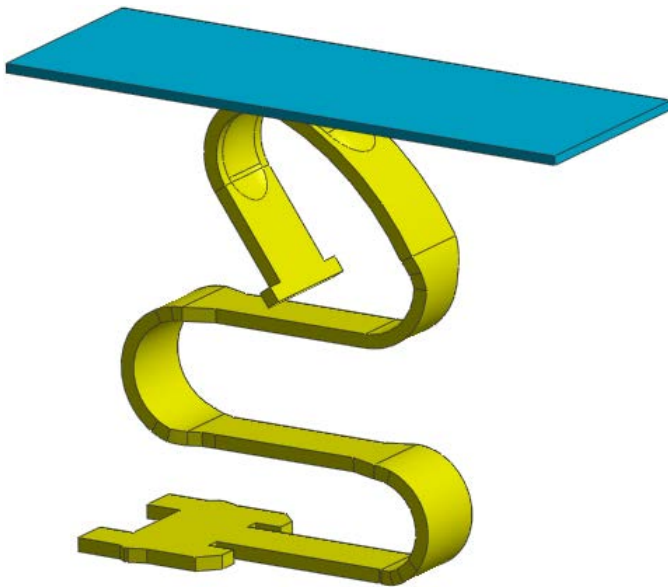


따라하기 목적

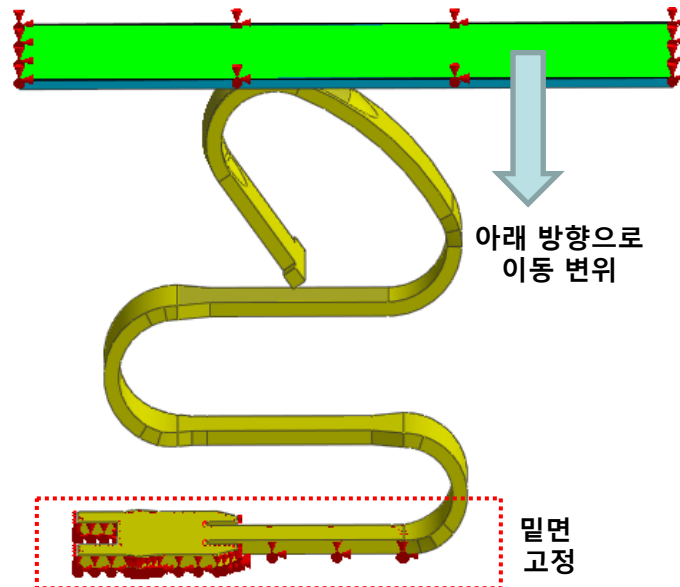
- 두 번의 연속적인 접촉이 발생하는 대변형 모델의 기하/접촉 비선형 해석
 - 대변형(기하 비선형) 모델의 비선형 해석을 수행합니다.
 - 수동접촉 조건을 이용하여 해석 과정 중에 발생하는 접촉을 설정합니다.
 - 증분 개수와 수렴 기준 등의 비선형해석 옵션을 설정하는 방법을 습득합니다.

해석 개요

➤ 대상 모델

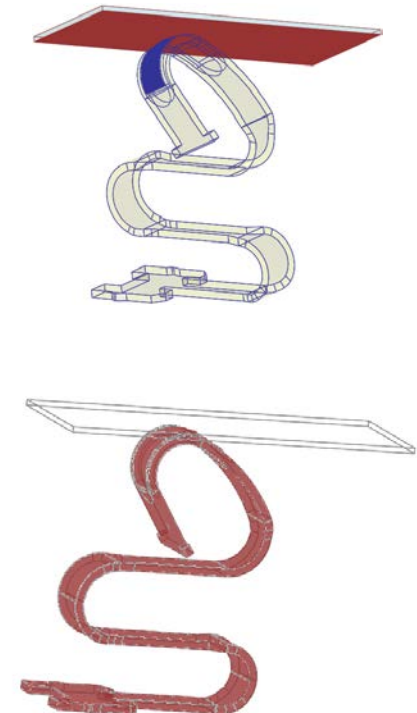


➤ 경계조건 (고정구속)



➤ 하중조건 (이동변위)

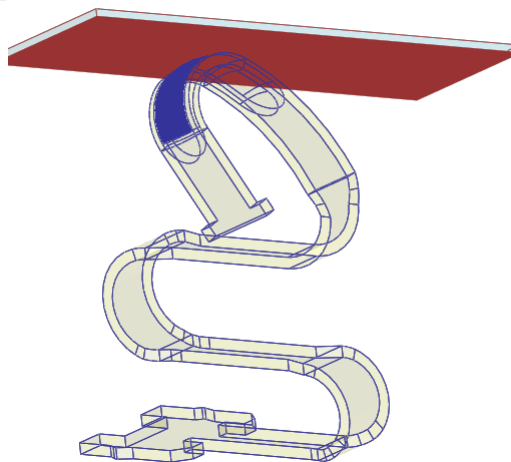
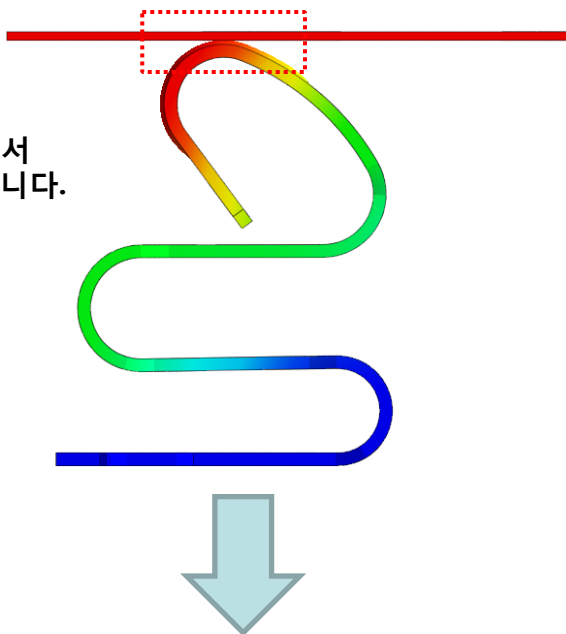
➤ 접촉조건 (일반접촉/자체접촉)



수동접촉 조건 설정

• 1차 접촉 발생

- 위판이 아래로 내려오면서 스프링과 접촉이 발생합니다.



• 일반 접촉 설정

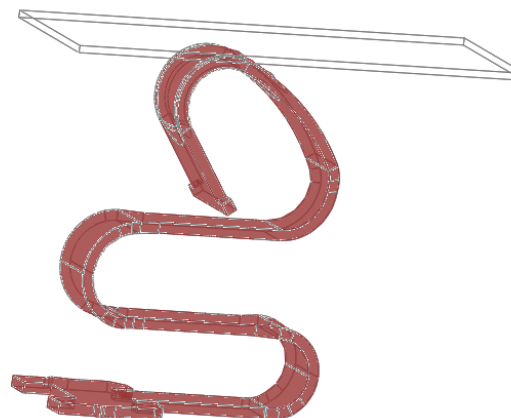
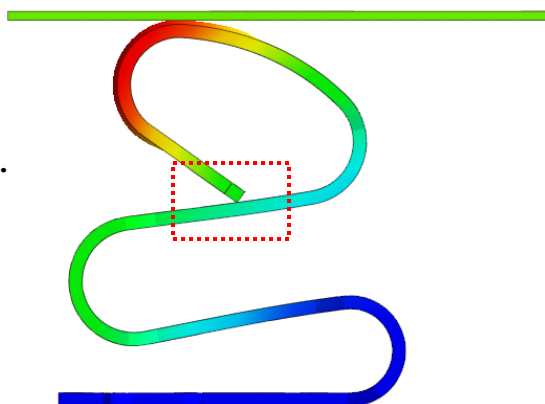
- 주 접촉면: 빨간색
- 종속접촉면: 파란색

• 주 접촉면은 종속접촉면에 침투할 수 있고, 종속접촉면은 주 접촉면에 침투할 수 없다는 제한 조건이 있습니다.

• 일반적으로 강성이 큰 파트를 주 접촉면, 볼록한 면과 조밀한 요소망을 종속접촉면으로 설정합니다.

• 2차 접촉 발생



- 스프링이 구부러지면서 서로 접촉이 발생합니다.





• 자체 접촉 설정

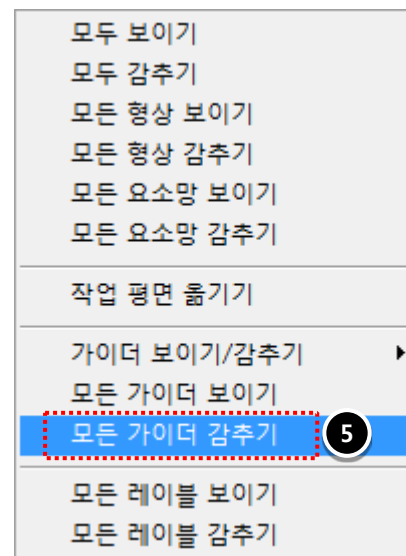
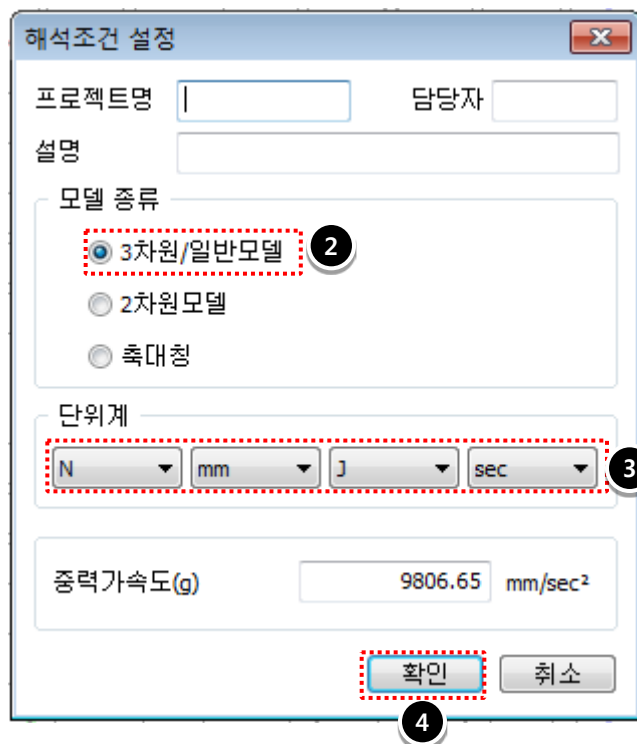
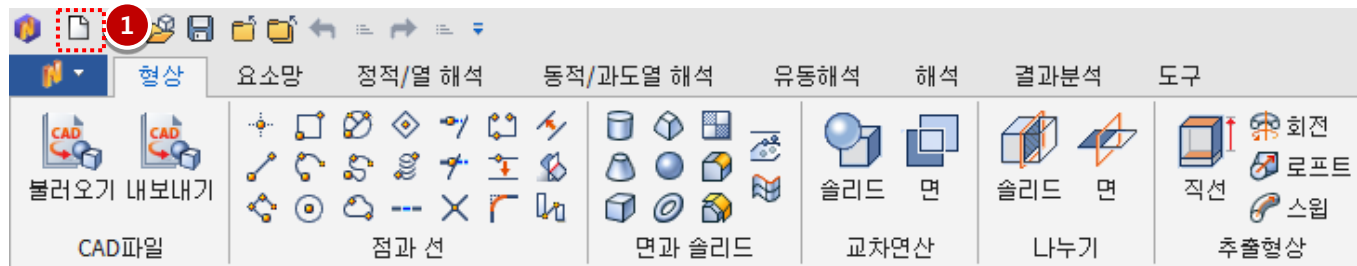
- 단일파트내에서 자체적으로 접촉이 생길 경우 자체접촉을 설정합니다.

작업순서

1. [] (새로 만들기) 클릭.. 
2. [3차원/일반모델] 선택.
3. 단위계 [N-mm-J-sec] 선택.
4. [확인] 버튼 클릭.
5. 작업원도우에서 마우스 오른쪽 버튼 클릭 후, [모든 가이드 감추기] 선택.

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


 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.

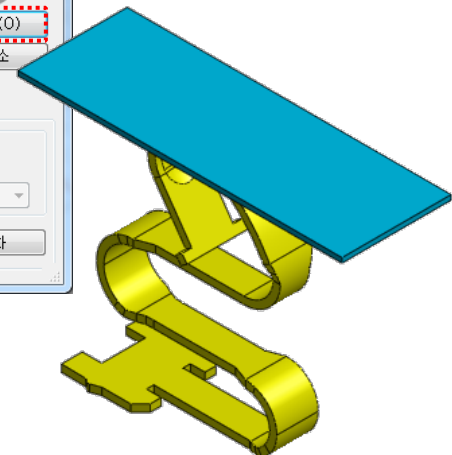
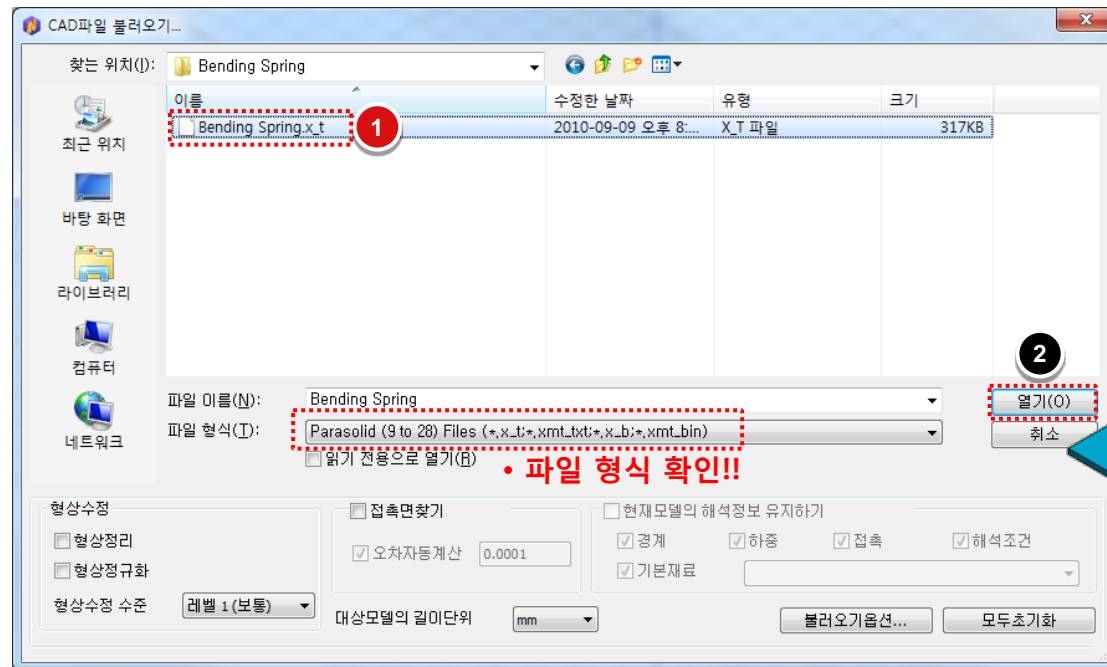
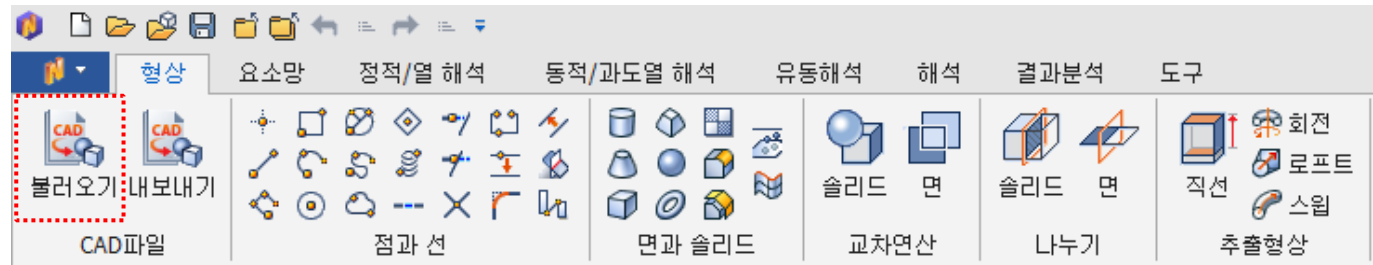


작업순서

1. 모델 선택: **Bending Spring.x_t** 선택
2. [열기] 버튼 클릭.

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

 **[접촉면 찾기]** 옵션은 기본 설정이며, 자동으로 접촉면을 찾아줍니다. 이번 따라하기에서는 수동접촉 설정 방법을 습득하기 위해 자동 옵션을 사용하지 않습니다.



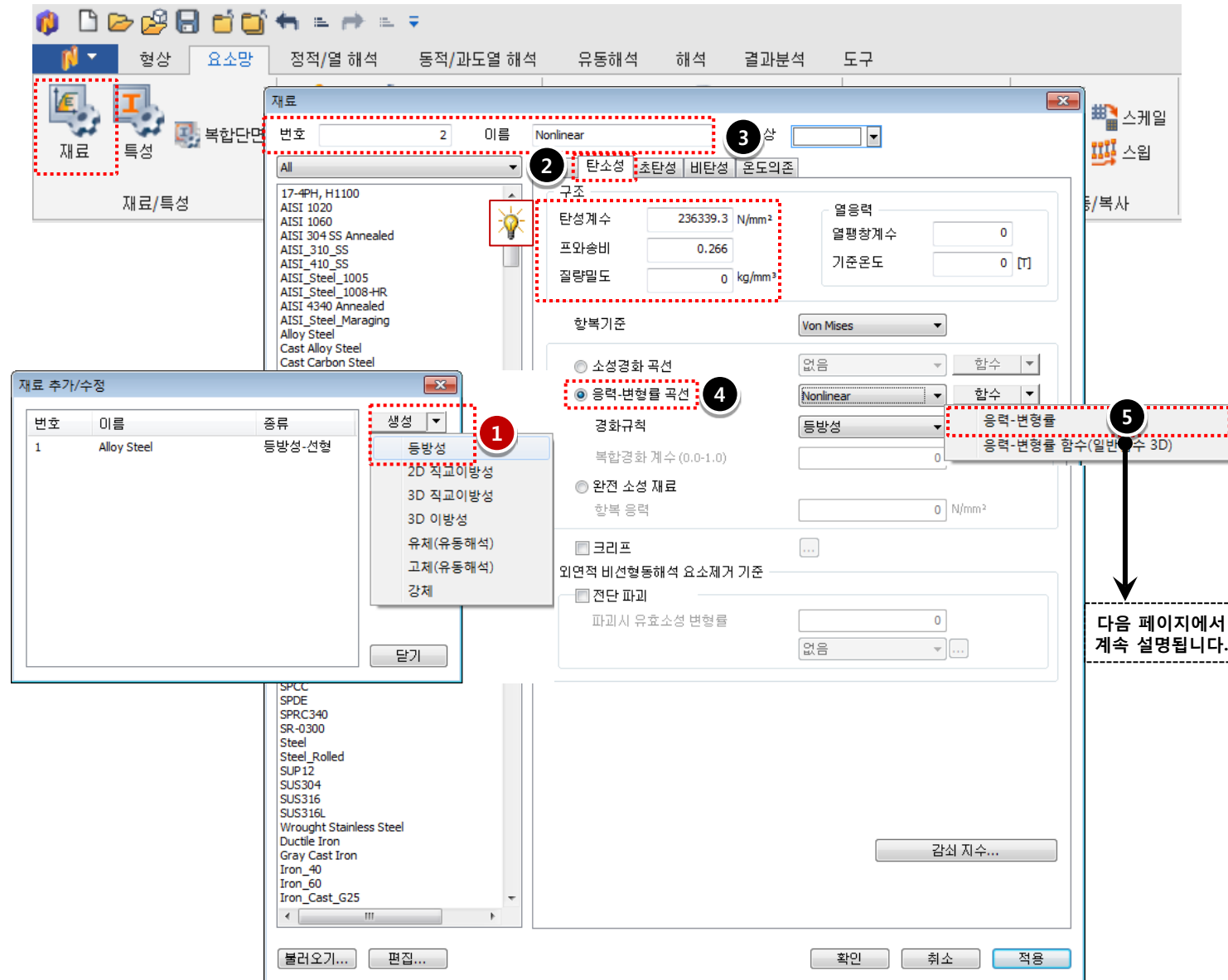
작업순서

1. 생성 >> 등방성 클릭
2. [탄소성] 탭 선택.
3. 재질 입력

번호	2
이름	Nonlinear
탄성계수	236339.3 (N/mm ²)
프와송비	0.266

4. 응력-변형률 곡선 체크.
5. 함수 생성 아이콘 클릭.

💡 기본적인 선형 탄성 물성치는 반드시 입력해 주어야 합니다.




다음 페이지에서 계속 설명됩니다.

작업순서

1. 이름: "Nonlinear" 입력.

2. 응력-변형률 함수 입력


변형률	응력(N/mm ²)
0	0
0.0001357	95 
0.0025	100
0.01	110
0.1	120
1	130

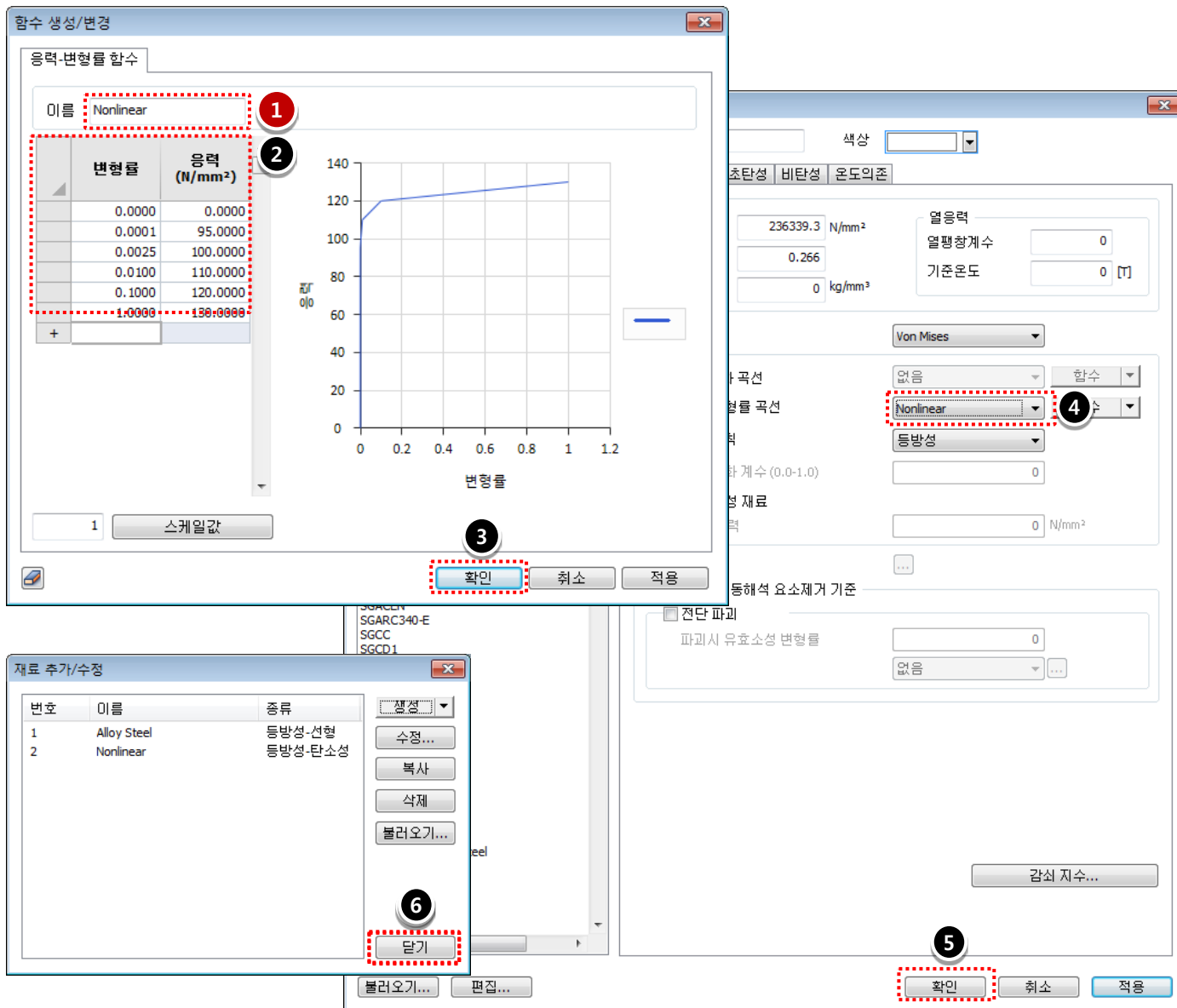
3. [확인] 버튼 클릭.

4. 응력-변형률 함수: "Nonlinear" 선택.

5. [확인] 버튼 클릭.

6. [닫기] 버튼 클릭.

 첫 기울기는 앞서 입력한 탄성계수와 동일한 값이어야 합니다.



함수 생성/변경

응력-변형률 함수

이름: Nonlinear

변형률	응력 (N/mm ²)
0.0000	0.0000
0.0001	95.0000
0.0025	100.0000
0.0100	110.0000
0.1000	120.0000
1.0000	130.0000

스케일값

확인 취소 적용

재료 추가/수정

번호	이름	종류
1	Alloy Steel	등방성-선형
2	Nonlinear	등방성-탄소성

생성 수정... 복사 삭제 불러오기...

닫기

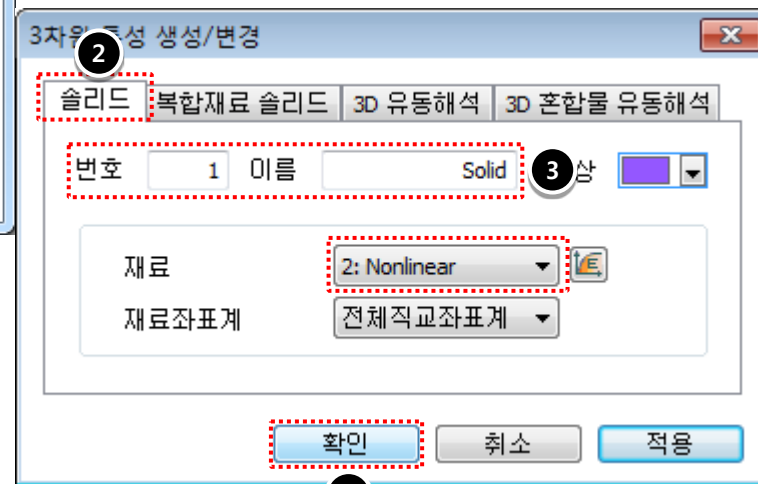
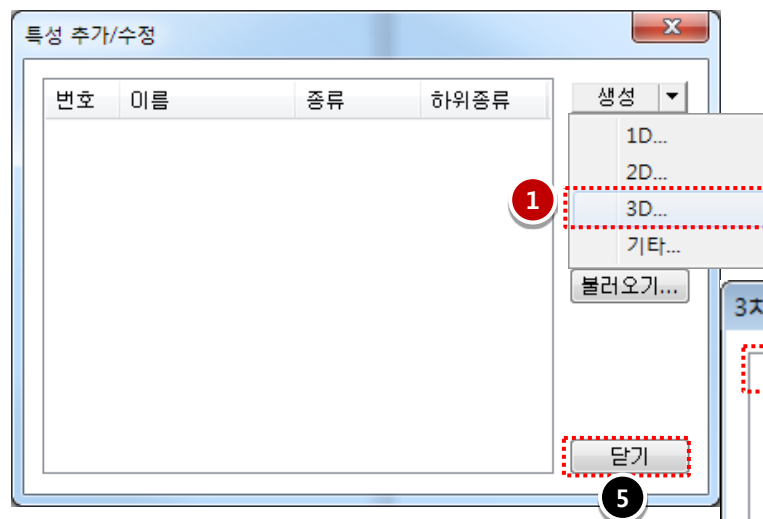
확인 취소 적용

작업순서

1. 생성 >> 3D 클릭.
2. [솔리드] 탭 선택.
3. 특성 입력

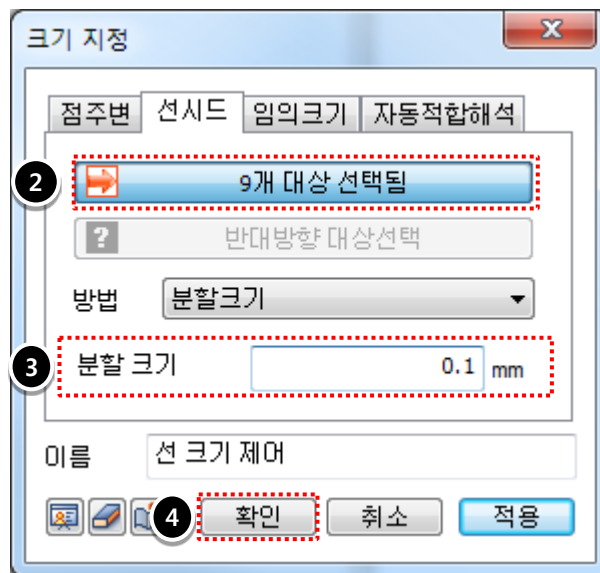
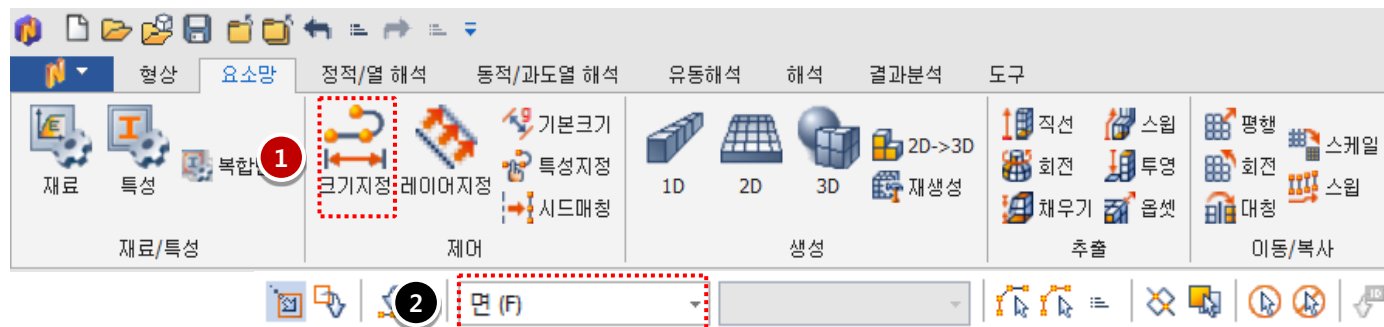
번호	1
이름	Solid
재질	2: Nonlinear

4. [확인] 버튼 클릭.
5. [닫기] 버튼 클릭.

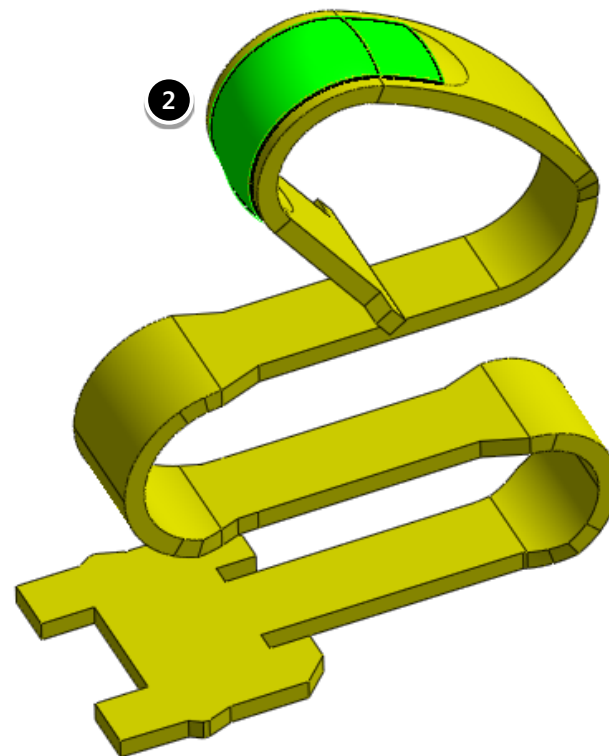


작업순서


1. 크기지정 클릭
2. 면 클릭 후 그림을 참고하여 면 선택
3. 분할크기 0.1mm 입력
4. [확인] 버튼 클릭.

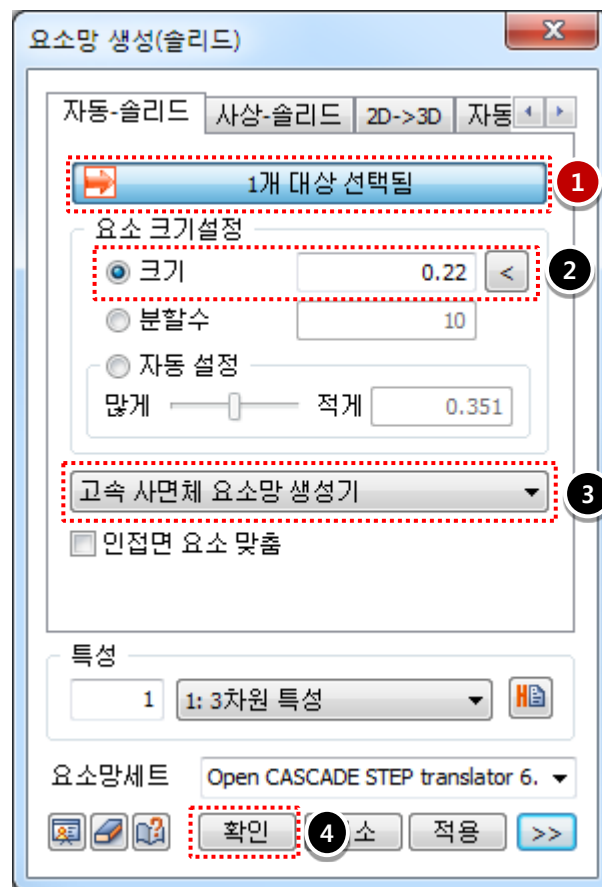


💡 크기지정을 통해 전체가 아닌 일부 형상에 대해 조밀한 요소망 작성이 가능합니다.

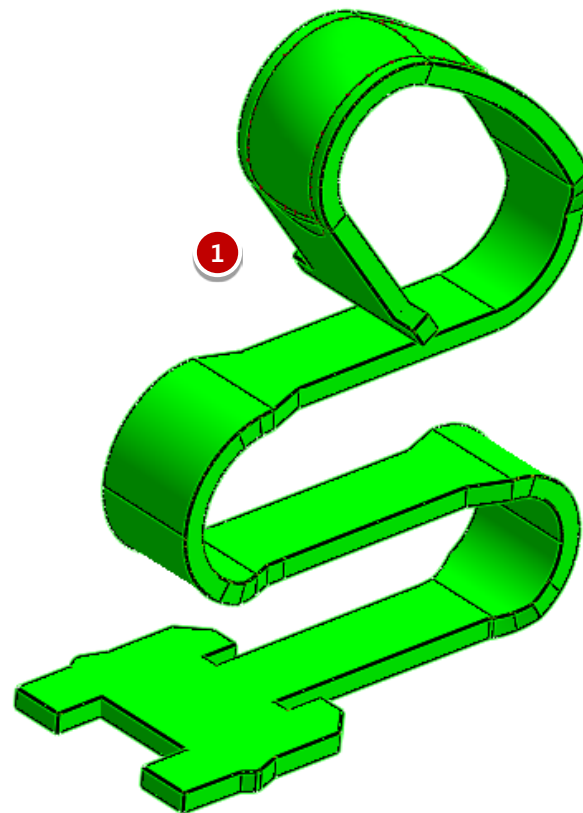


작업순서


1. 스프링 모델 선택.
2. 요소 크기설정: 크기 0.22입력 
3. 고속 사면체 요소망 생성기 선택
4. [확인] 버튼 클릭.

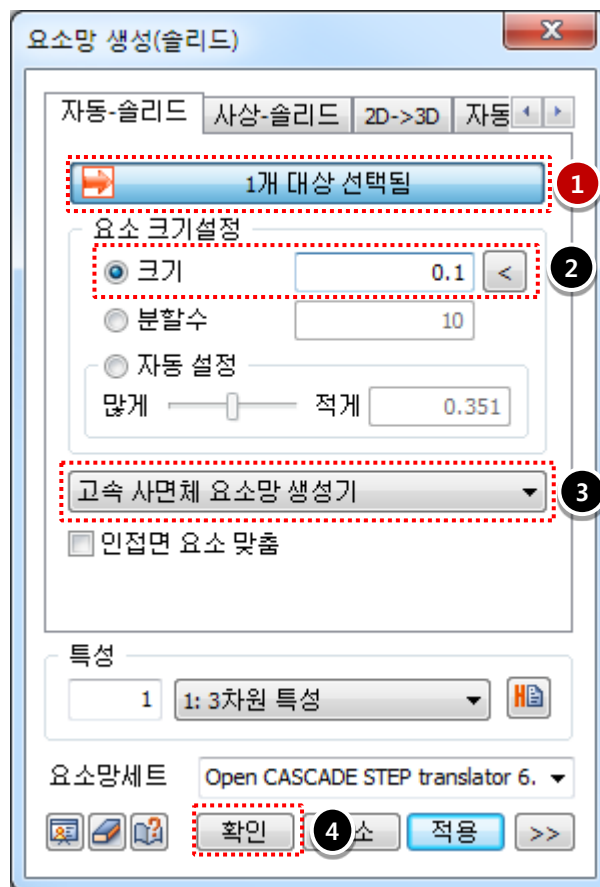



육면체 중심의 요소망을 사용하면 모델 규모를 작게 하면서도 합리적인 결과를 얻을 수 있습니다. 단, 복잡한 기하형상의 경우에는 하이브리드 요소망보다는 사면체 요소망을 사용하는 것이 요소 품질을 확보하는데 더 유리합니다.

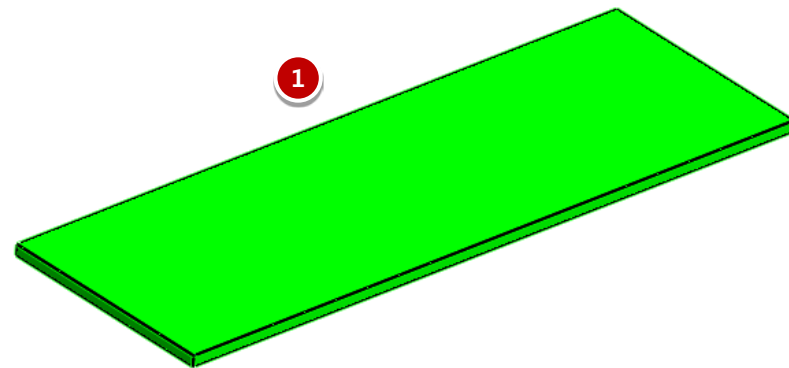


작업순서

1. Rigid 모델 선택.
2. 요소 크기설정: 크기 0.22입력 
3. 고속 사면체 요소망 생성기 선택.
4. [확인] 버튼 클릭.



 육면체 중심의 요소망을 사용하면 모델 규모를 작게 하면서도 합리적인 결과를 얻을 수 있습니다. 단, 복잡한 기하형상의 경우에는 하이브리드 요소망보다는 사면체 요소망을 사용하는 것이 요소 품질을 확보하는데 더 유리합니다.



작업순서

1. [수동접촉] 탭 선택.

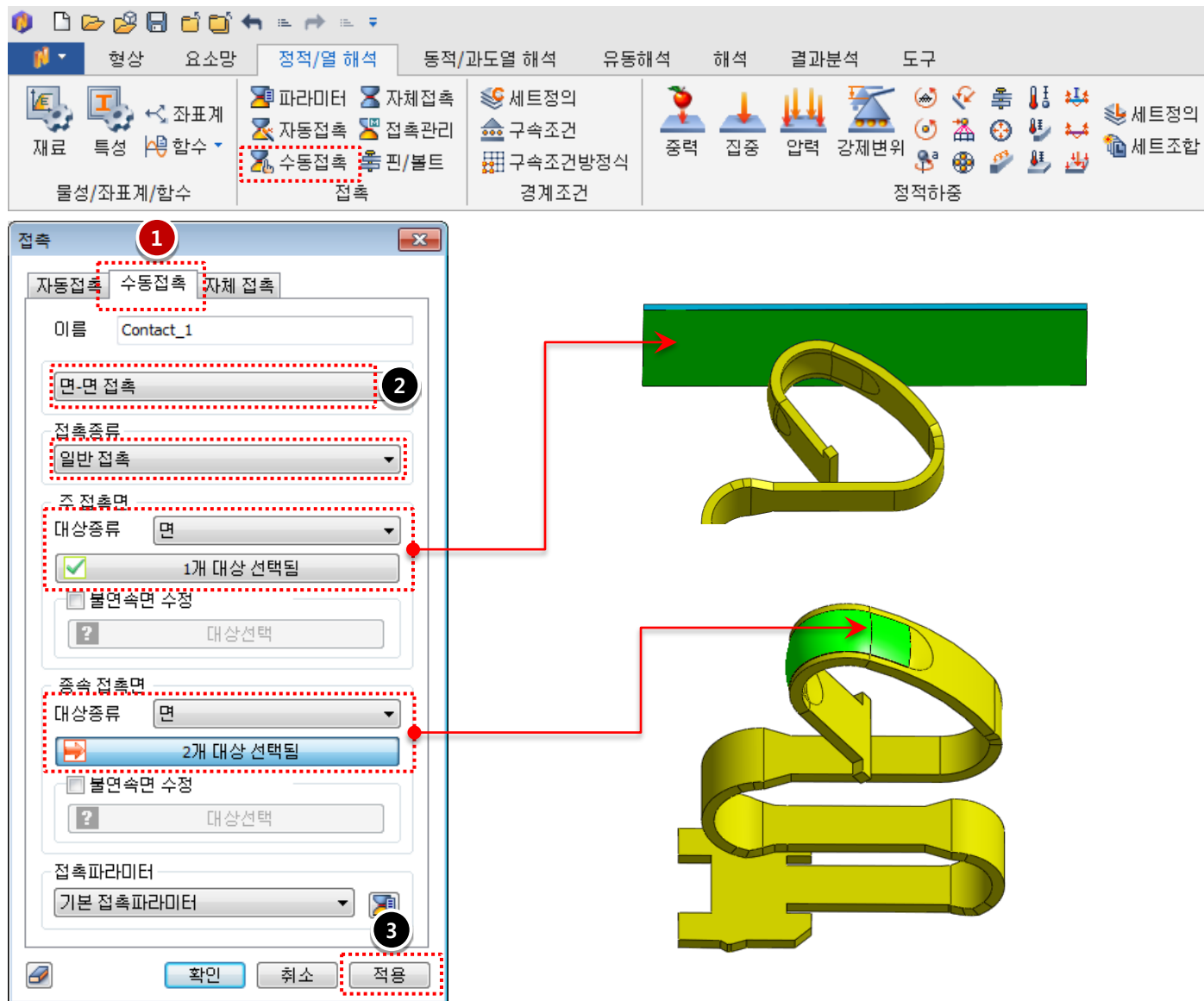
2. 수동접촉조건 입력

이름	Contact_1
접촉종류	일반접촉
주 접촉면 대상 종류	면
주 접촉면 대상 선택	1개 선택 (평판의 아랫면)
종속 접촉면 대상 종류	면 (스프링 윗면)
종속 접촉면 대상 종류	2개 선택

3. [적용] 버튼 클릭

💡 **일반접촉:** 두 면이 해석 중에 접촉과 분리, 미끄러짐이 가능하도록 조건이 설정됩니다.

💡 주 접촉면은 빨간색, 종속 접촉면은 파란색으로 표시됩니다.



작업순서

1. [자체접촉] 탭 선택.

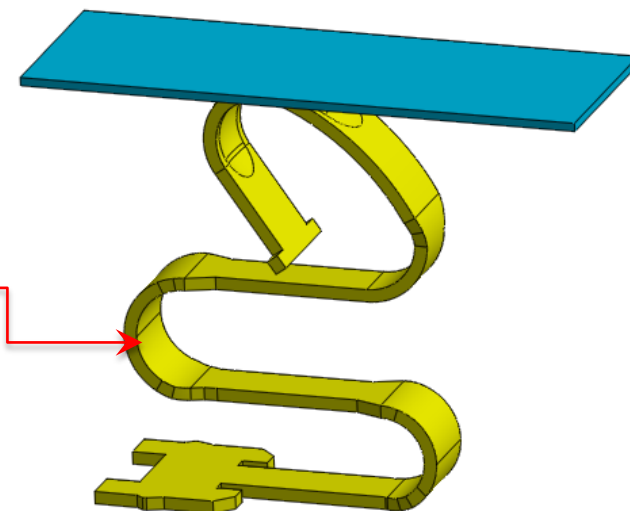
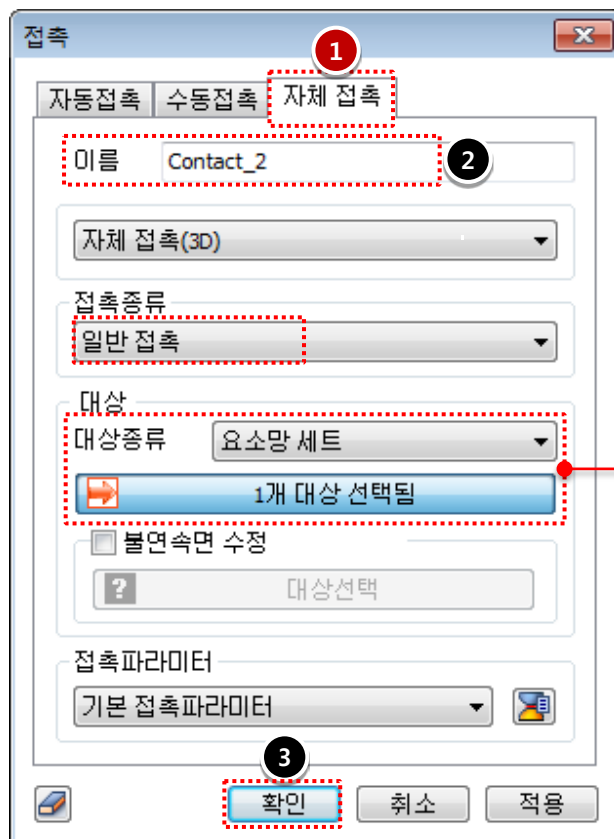
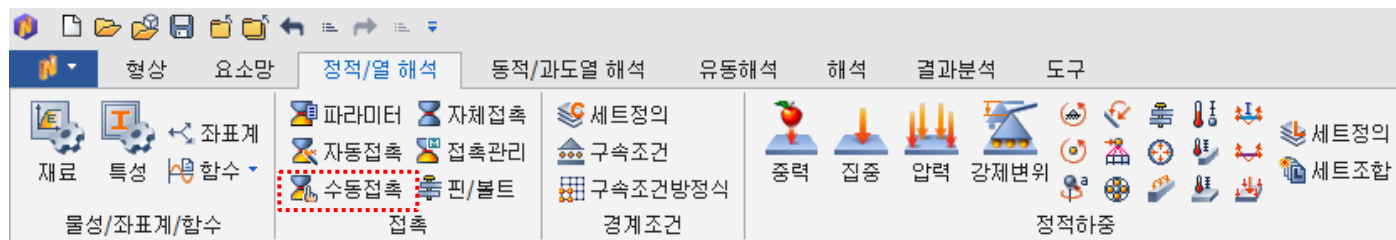
2. 수동접촉조건 입력

이름	Contact_2
접촉종류	일반접촉
대상	요소망 세트
대상 선택	스프링 선택

3. [확인] 버튼 클릭


💡 **일반접촉:** 두 면이 해석 중에 접촉과 분리, 미끄러짐이 가능하도록 조건이 설정됩니다.

💡 주 접촉면은 빨간색, 종속 접촉면은 파란색으로 표시됩니다.

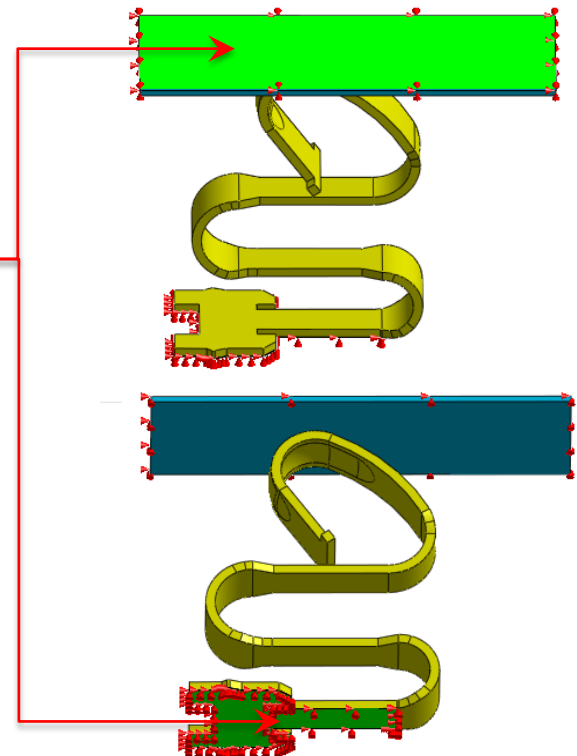
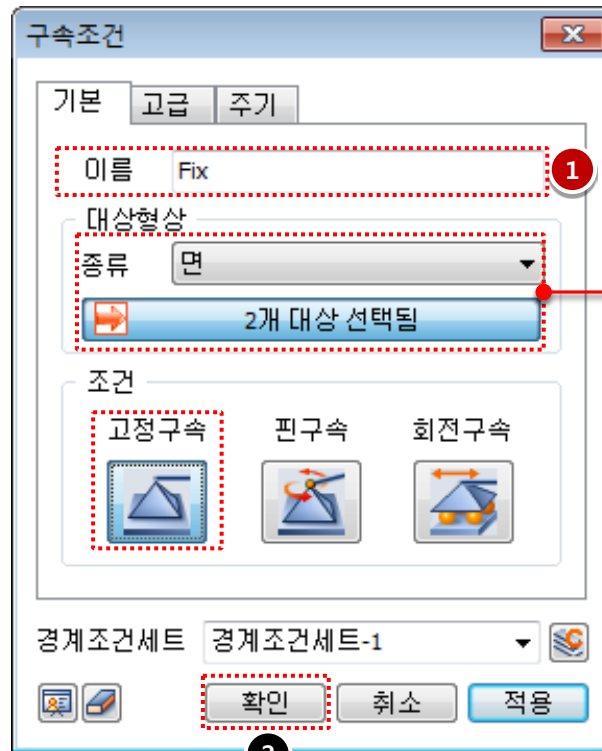
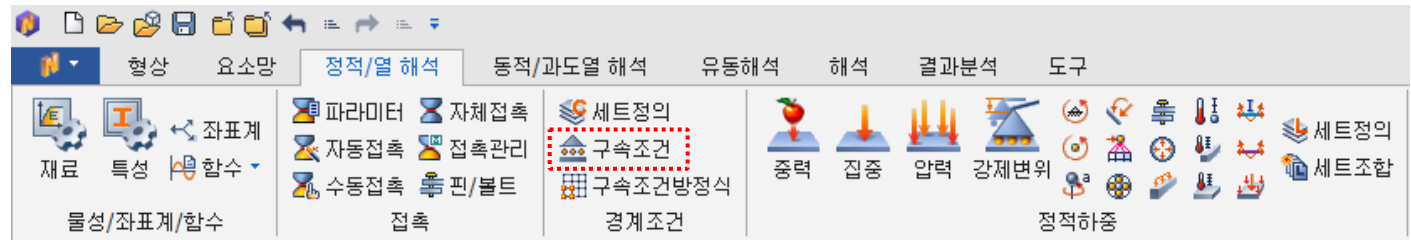



작업순서

1. 구속조건 입력

이름	Fix
대상종류	면
대상선택	2개 선택
조건	고정구속 

2. [확인] 버튼 클릭.



-  **고정구속:** X, Y, Z 병진자유도 및 회전 자유도 구속
핀구속: X, Y, Z 병진자유도만 구속

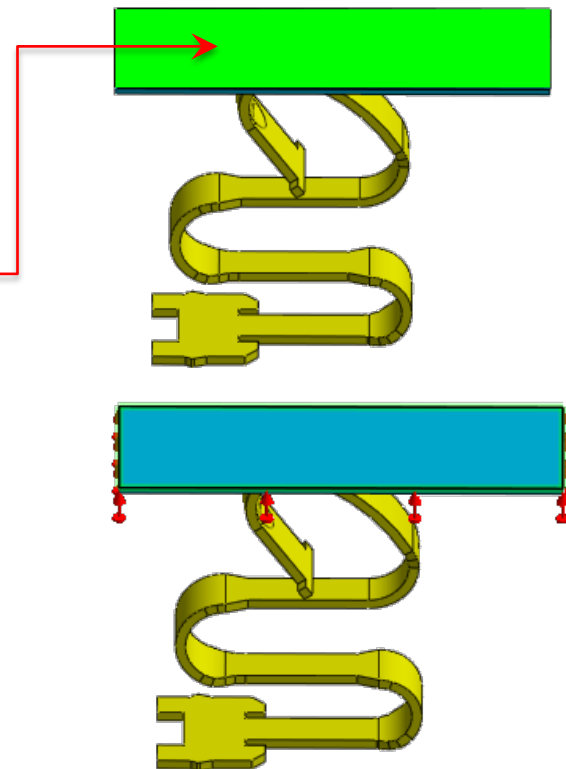
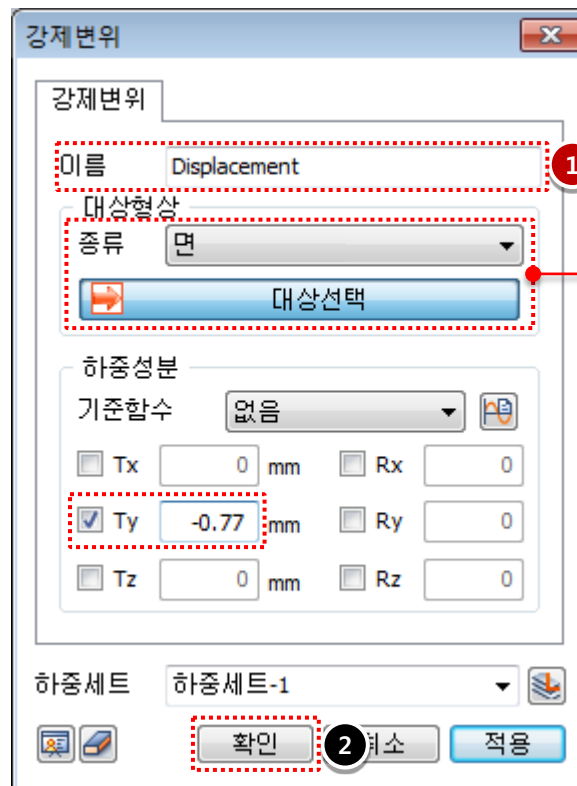
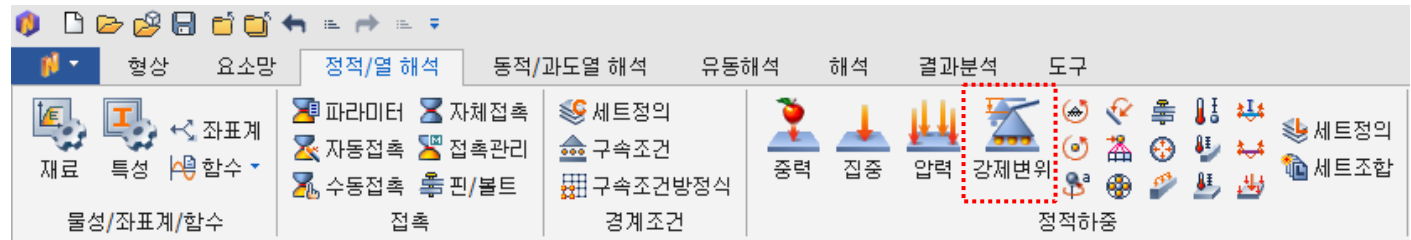
※솔리드 모델에서는 회전자유도가 없기 때문에 **핀구속** 조건으로도 모든 자유도가 구속됩니다.

작업순서

1. 강제변위조건 입력

이름	Displacement
대상종류	면
대상선택	1개 선택
변위방향 및 크기	Ty : -0.77 (mm)

2. [확인] 버튼 클릭.




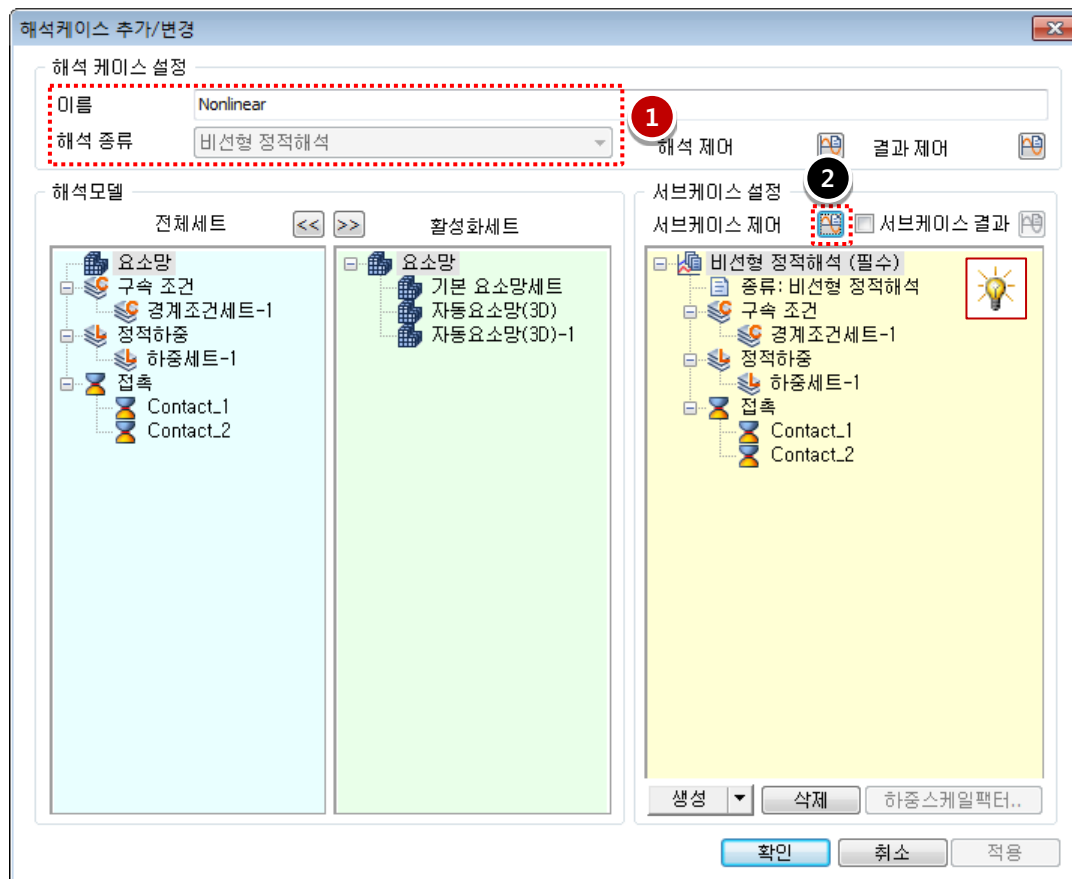
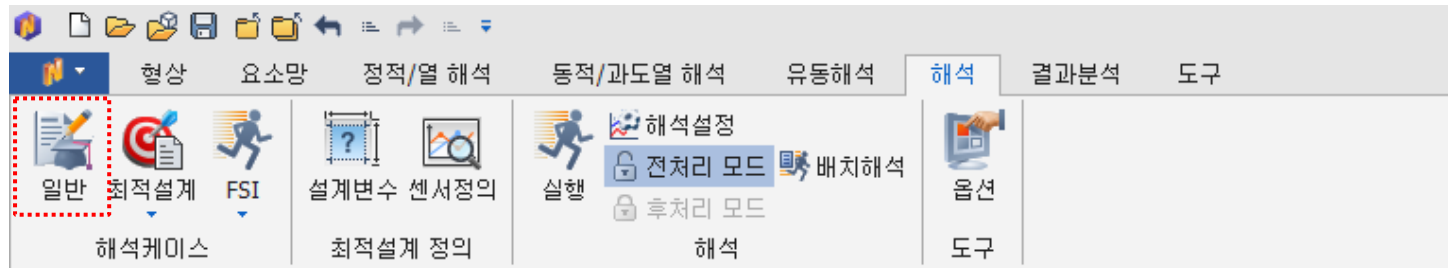
💡 강제변위가 재하되는 면에 이미 고정 구속조건이 정의되어 있습니다. 이 경우에는 강제변위 방향의 자유도는 자동으로 구속이 해제됩니다.

작업순서

1. 해석케이스 설정

이름	Nonlinear
해석 종류	비선형 정적해석

2. [] (서브케이스 제어) 버튼 클릭.
 (“비선형 정적 해석 (필수)” 서브케이스를 클릭해야 활성화됩니다.)



💡 기본적으로 현재 작업된 요소망세트, 경계조건, 하중조건 등이 모두 활성화됩니다.

작업순서

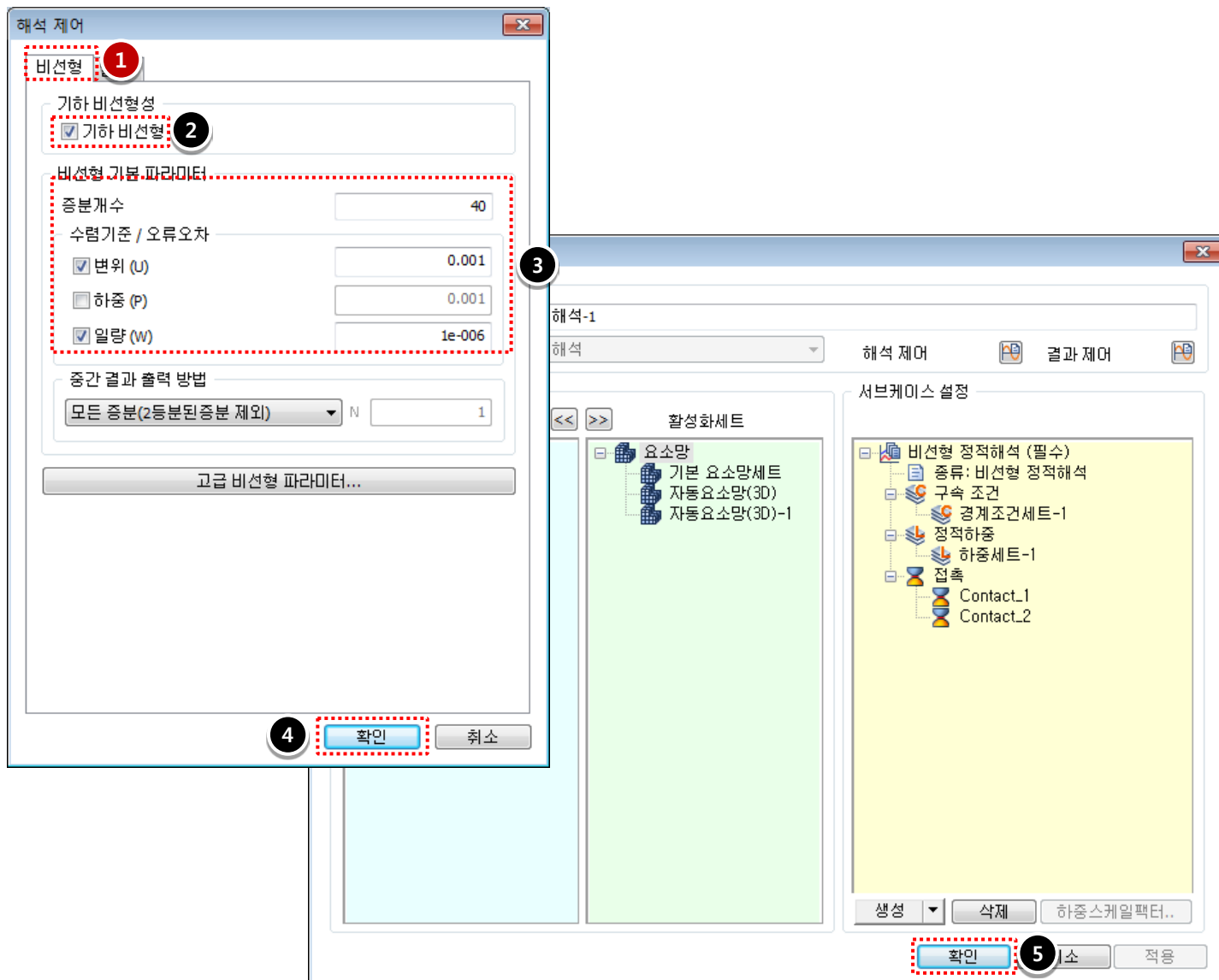
1. [비선형] 탭 선택.
2. [기하비선형] 체크.
3. 비선형 기본 파라미터 설정

증분개수	40
변위 체크	0.001
하중 체크 해제	
일량 체크	1e-6

4. [확인] 버튼 클릭.
5. [확인] 버튼 클릭.

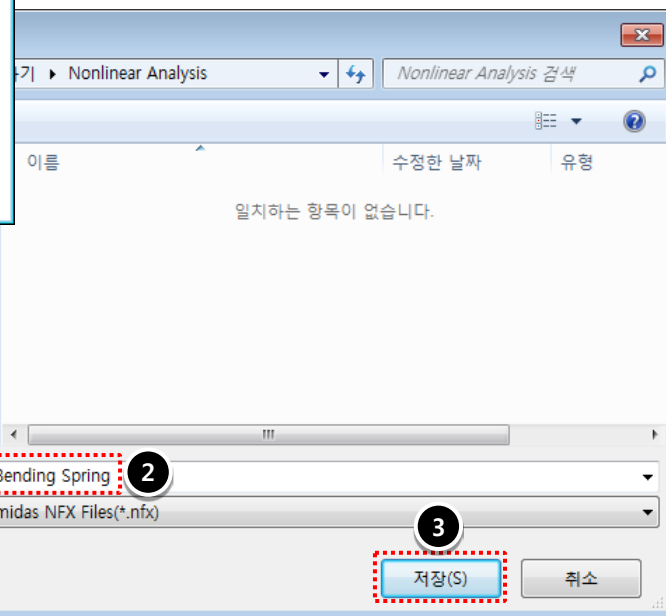
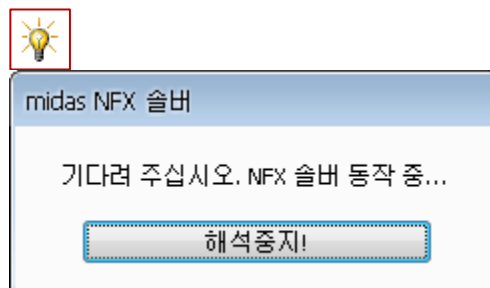
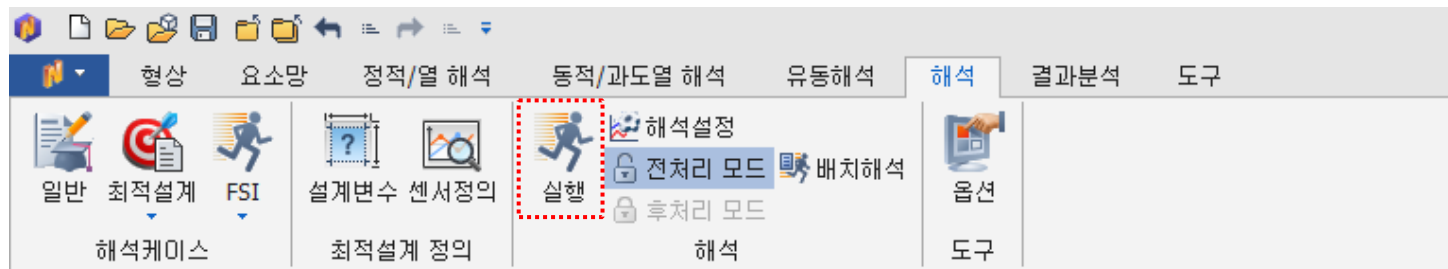
💡 원활한 수렴을 위하여 증분개수를 초기값보다 큰 값으로 설정합니다.

일량을 기본으로 하여 변위와 하중 중에서 추가로 1개를 더 선택합니다.
일반적으로 변위 기준은 하중에 비해 수렴에 유리한 편입니다.







작업순서

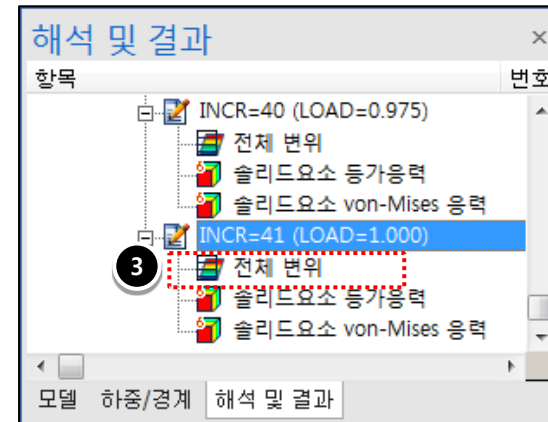
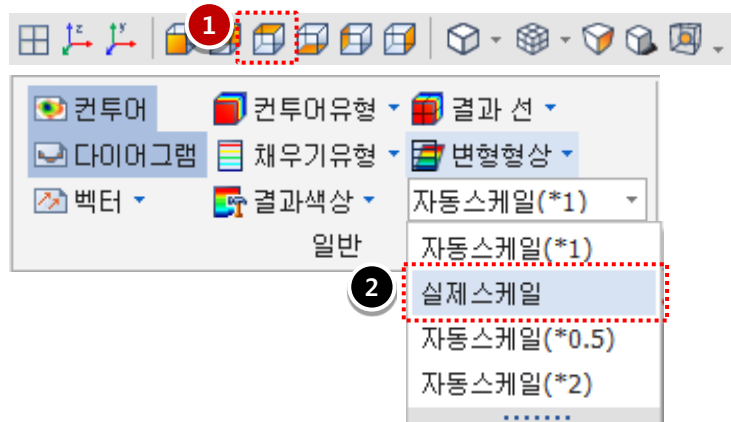
1. [확인] 버튼 클릭.
2. 다른 이름으로 저장: "Bending Spring" 입력.
3. [저장(S)] 버튼 클릭.





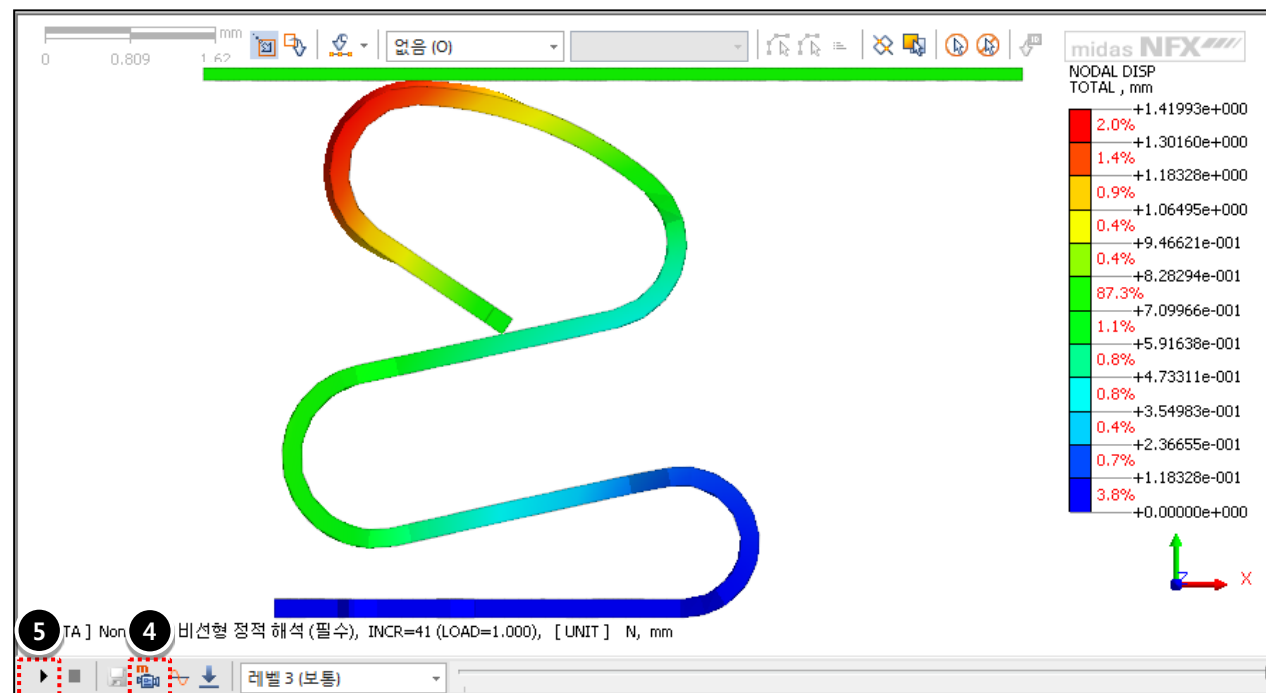
💡 해석을 실행하면 midas NFX 솔버가 작동됩니다. [해석중지!] 버튼을 클릭하면 해석이 중지됩니다.

작업순서

1. [] (윗면 보기) 버튼 클릭.
2. 해석 및 결과 >> 일반 >> [실제스케일] 선택
3. 해석 및 결과 작업트리에서 전체 변위 더블 클릭.
4. [] (멀티-스텝 애니메이션 녹화) 클릭.
5. [] (재생) 클릭. 



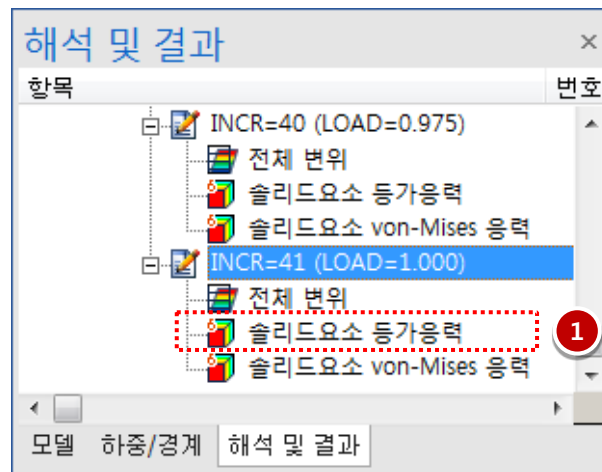
 멀티-스텝 애니메이션 녹화를 이용하면 스텝별 결과를 애니메이션으로 확인할 수 있습니다. (자동으로 전체 스텝 결과에 체크되어 있습니다.) 애니메이션 결과 확인이 끝나면 [] 버튼을 클릭하여 애니메이션 재생을 종료해 주어야 합니다. 이는 다른 후처리 작업 시 발생할 수 있는 조작의 불편함을 최소화하기 위한 작업입니다.



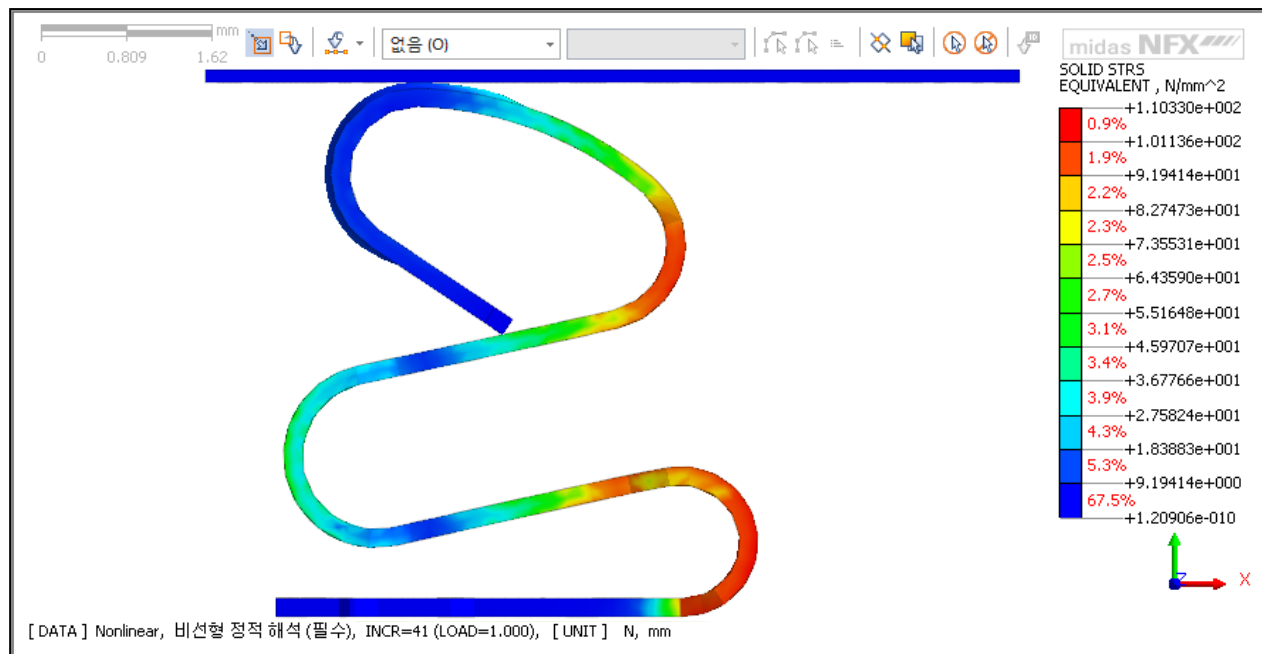
작업순서

1. 해석 및 결과 작업트리에서

솔리드요소 등가응력 더블 클릭.



멀티-스텝 애니메이션이 재생되는 동안에 다른 결과 항목을 선택하게 되면 자동으로 해당 결과를 애니메이션으로 녹화하여 재생합니다. 애니메이션 결과 확인이 끝나면 [■] 버튼을 클릭하여 애니메이션 재생을 종료해 주어야 합니다. 이는 다른 후처리 작업 시 발생할 수 있는 조작의 불편함을 최소화하기 위한 작업입니다.



개요

➤ 비선형 정적해석

- 단위 : N, mm
- 기하모델: Clip.x_t

➤ 접촉조건 설정

- 일반접촉

➤ 경계조건과 하중조건

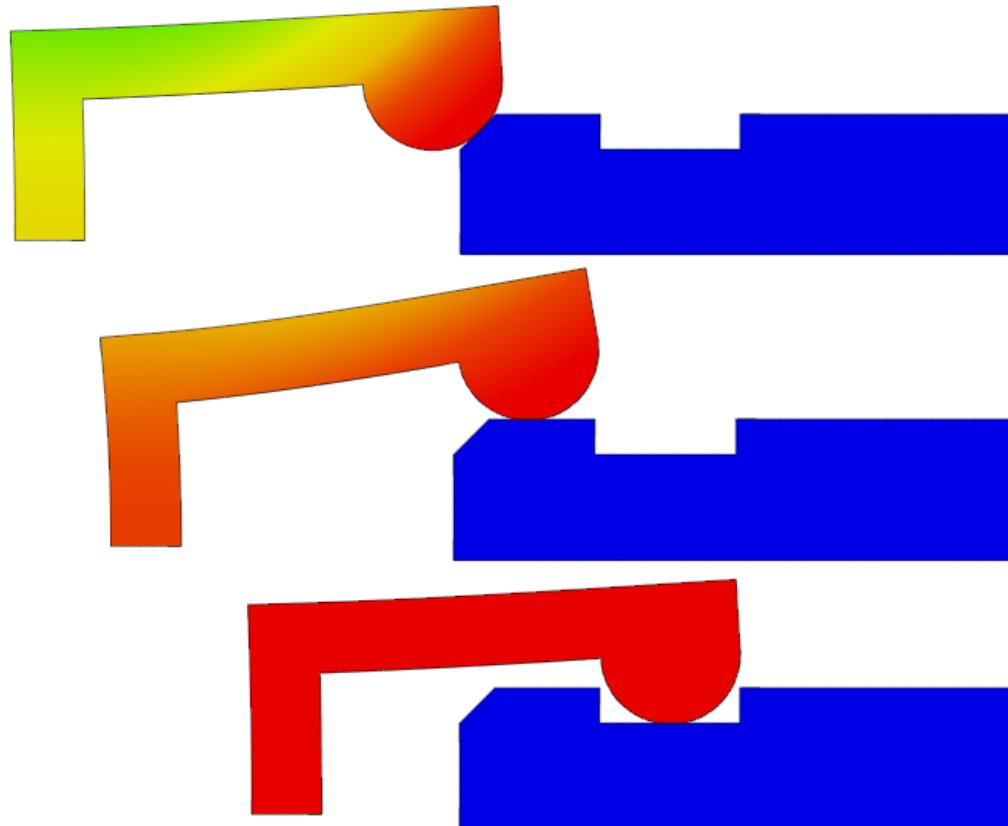
- 고정구속, 자유도 구속
- 강제 변위

➤ 결과확인

- 전체 변위
- 애니메이션

Clip

(접촉, 기하 비선형)



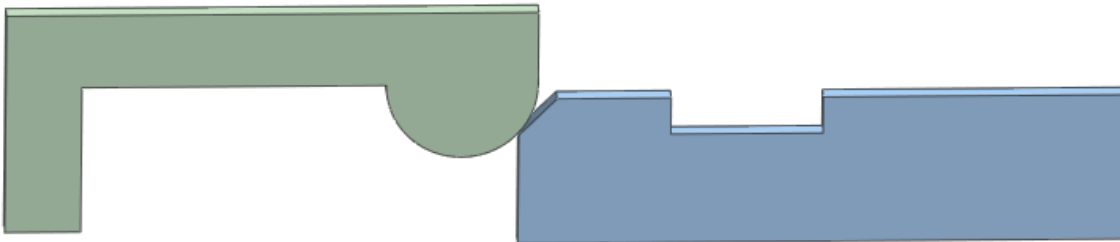
따라하기 목적

➤ 경사진 면에서 접촉이 발생하고, 이동변위가 큰 비선형 해석

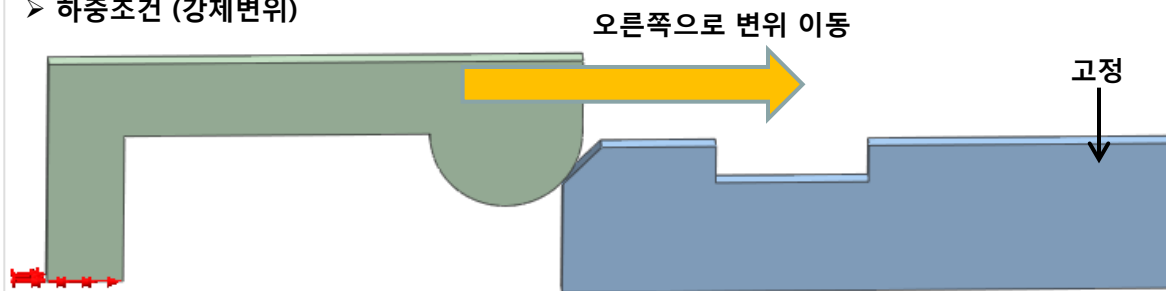
- 경사진 부분을 타고 올라가면서 접촉이 발생합니다.
- 경사진 부분에서의 움직임이 원활하도록 수직, 수평 강성 계수를 조절해 줍니다.
- 접촉이 발생하는 종속 접촉면에 시드를 이용하여 조밀한 요소망을 생성합니다.

해석 개요

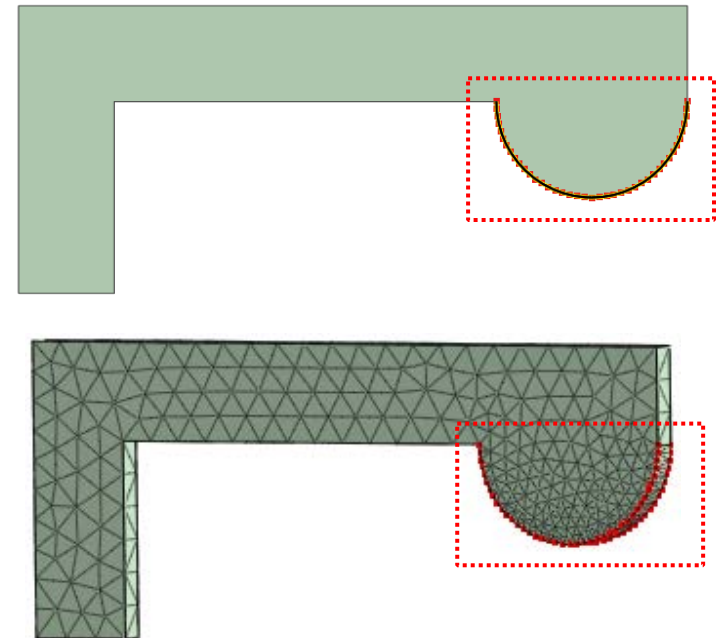
➤ 대상 모델



➤ 하중조건 (강제변위)

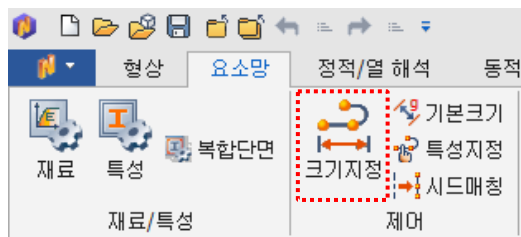
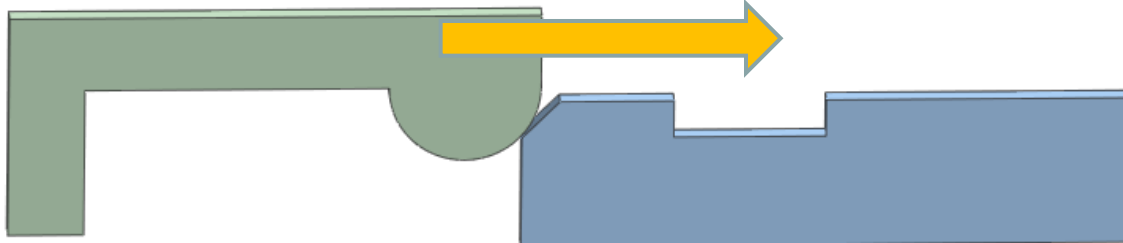


➤ 요소망 생성 (크기 제어 기능 활용)

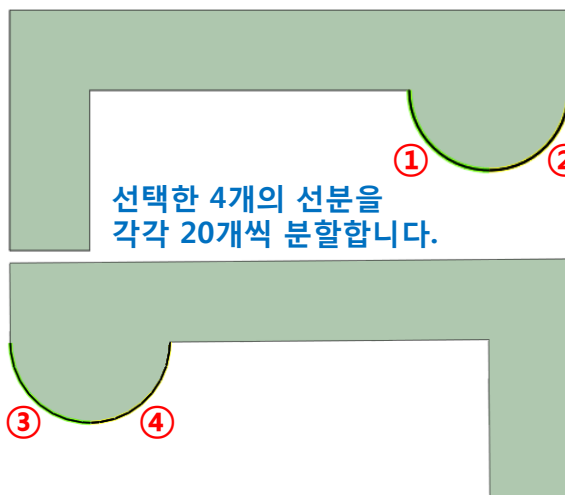
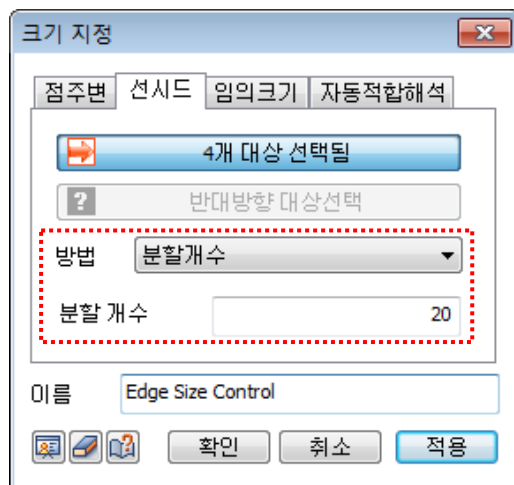


요소망 생성 (크기 제어)

오른쪽으로 변위 이동



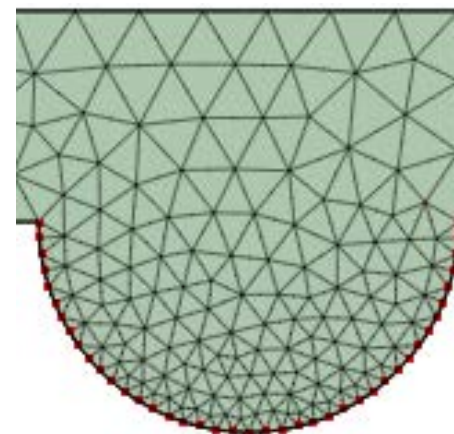
요소망 자동생성을 하기 전에
크기 지정 기능을 이용하여
선택적으로 요소 크기를 조절합니다.





선택한 4개의 선분을
각각 20개씩 분할합니다.





이동하면서 많은 접촉이 발생하므로
조밀한 요소망 생성이 필요합니다.

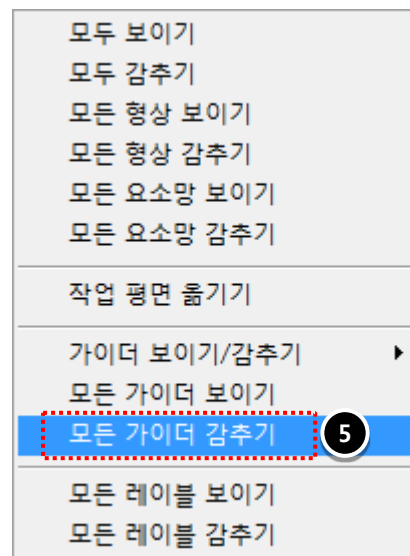
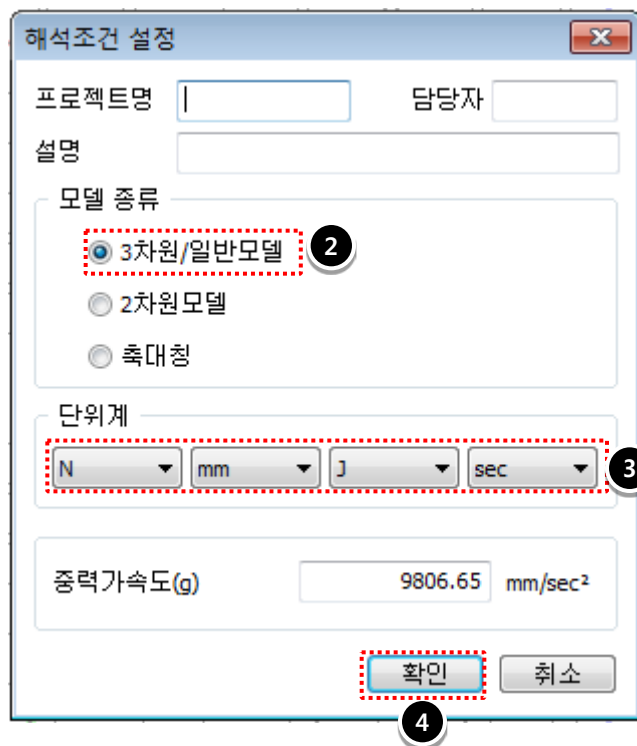
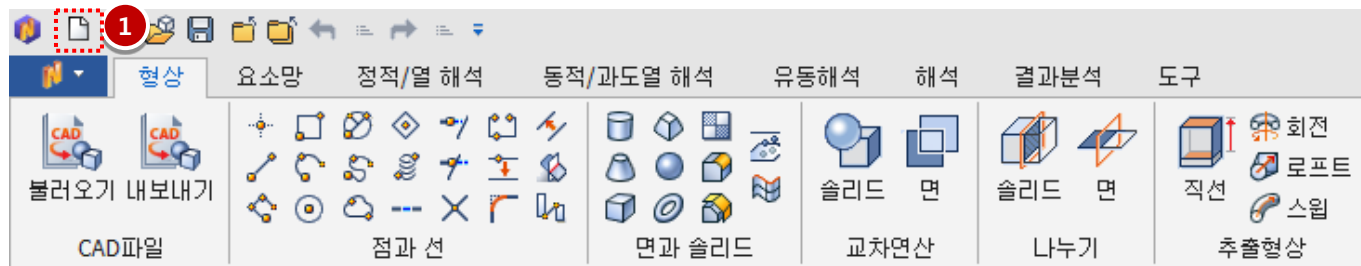


작업순서

1. [] (새로 만들기) 클릭.. 
2. [3차원/일반모델] 선택.
3. 단위계 [N-mm-J-sec] 선택.
4. [확인] 버튼 클릭.
5. 작업원도우에서 마우스 오른쪽 버튼 클릭 후, [모든 가이드 감추기] 선택.

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

 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.

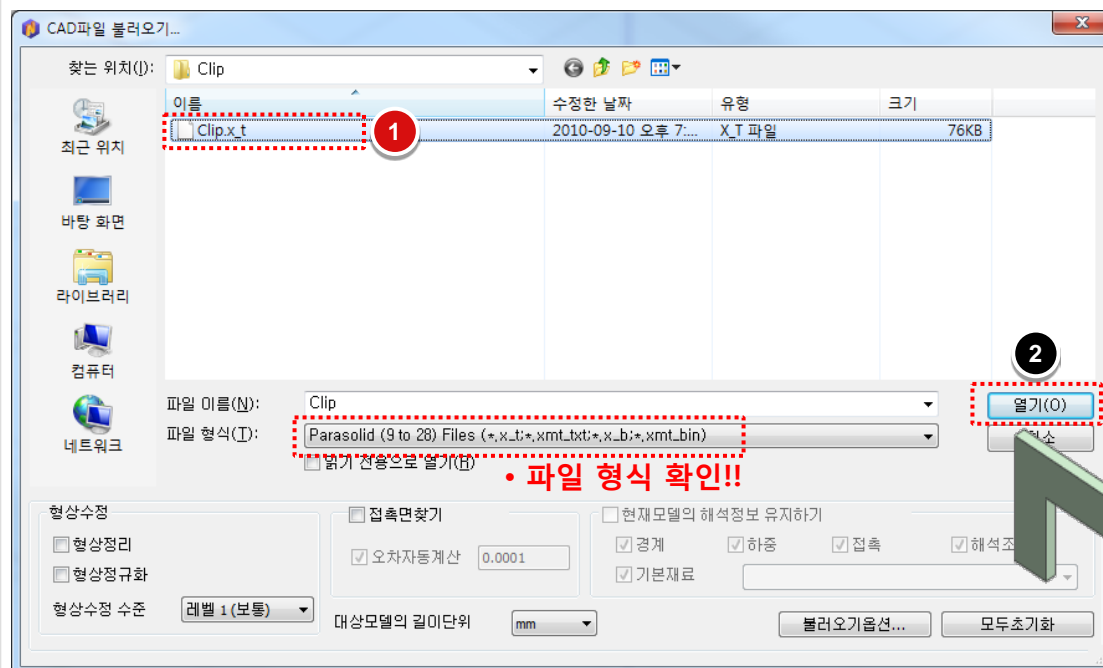
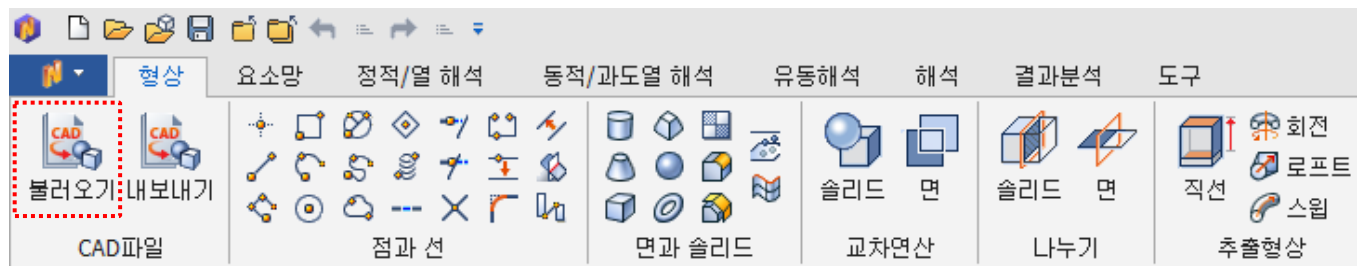


작업순서

1. 모델 선택: **Clip.x_t** 선택.
2. **[열기]** 버튼 클릭.

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

💡 **[접촉면찾기]** 옵션은 기본 설정이며,
자동으로 접촉면을 찾아줍니다.
이번 따라하기에서는 접촉 설정방법
을 습득하기 위해 자동 옵션을 사용
하지 않습니다.



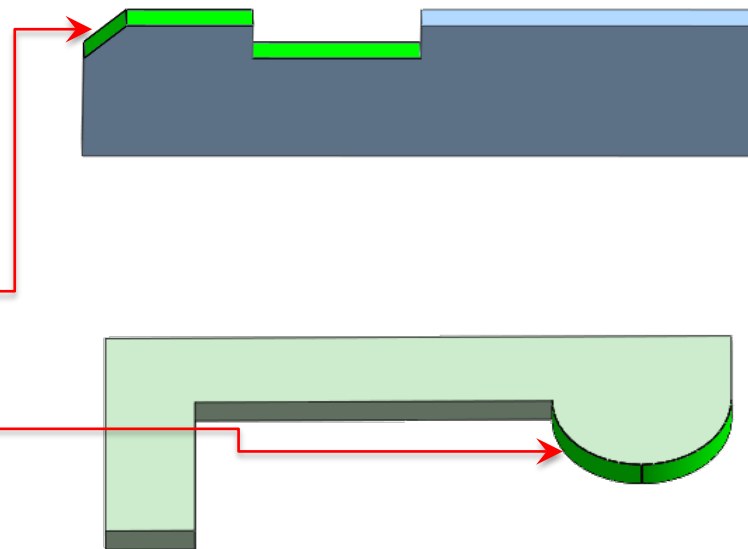
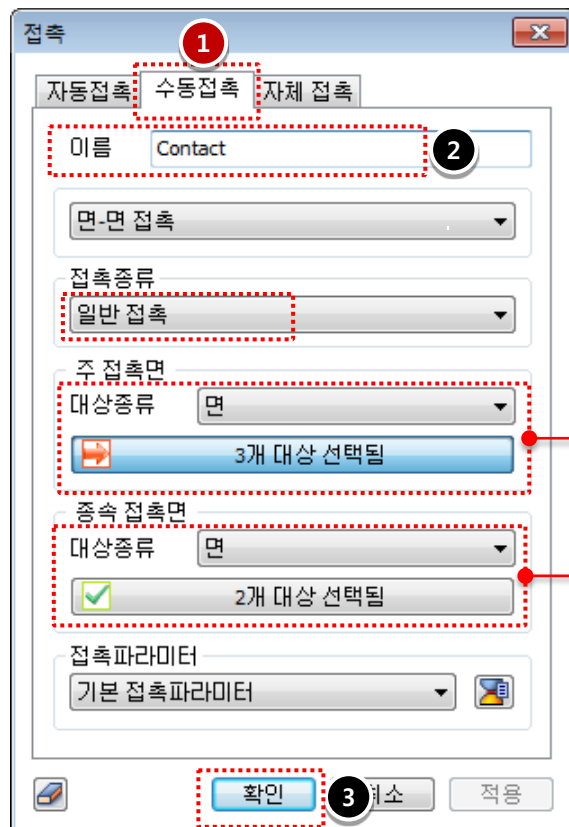
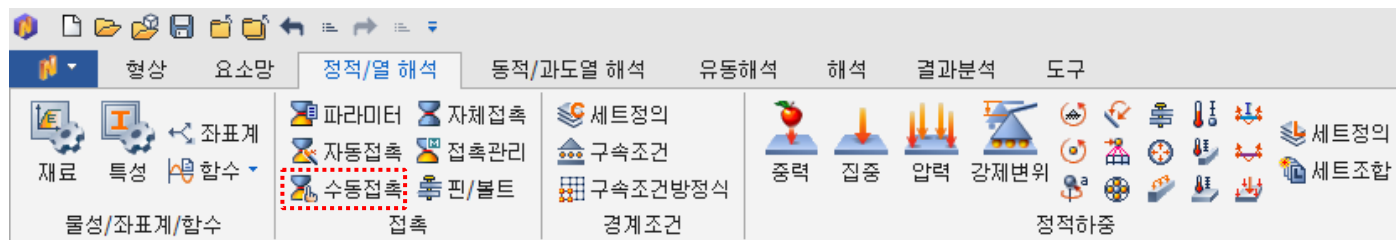
작업순서

1. [수동접촉] 탭 선택.

2. 수동접촉조건 입력

이름	Contact
접촉종류	일반접촉
주 접촉면 대상 종류	면
주 접촉면 대상 선택	3개 선택
종속 접촉면 대상 종류	면
종속 접촉면 대상 종류	2개 선택

3. [확인] 버튼 클릭.




작업순서

1. [] (윗면) 클릭.

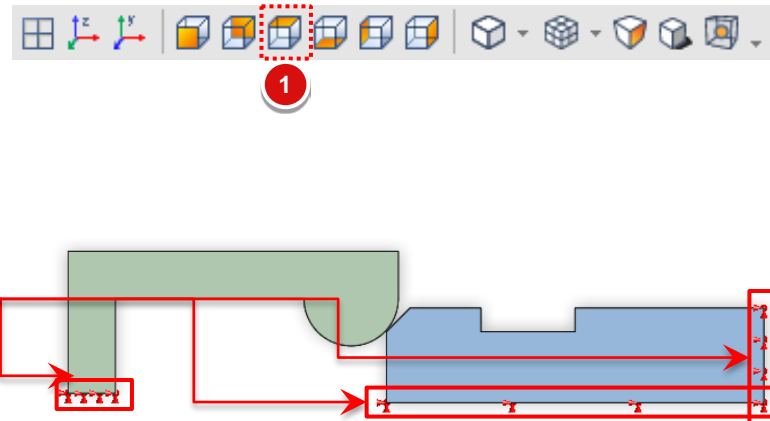
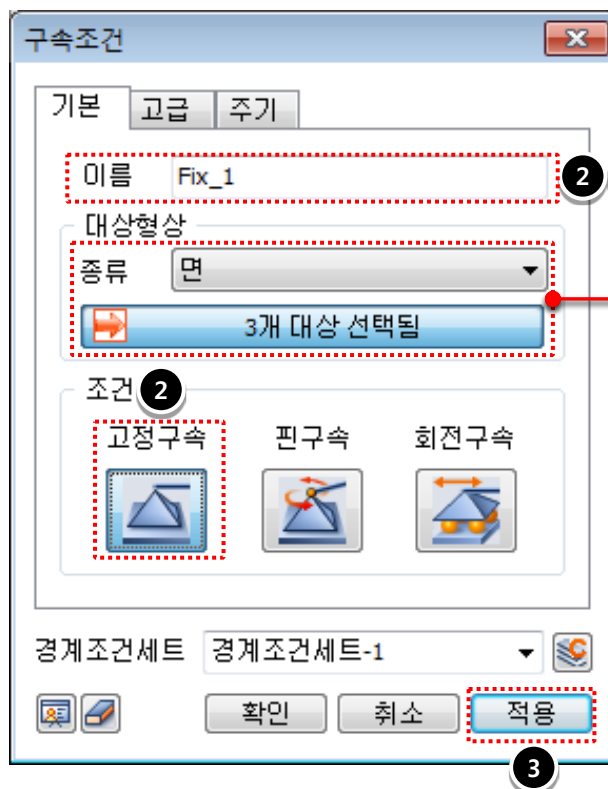
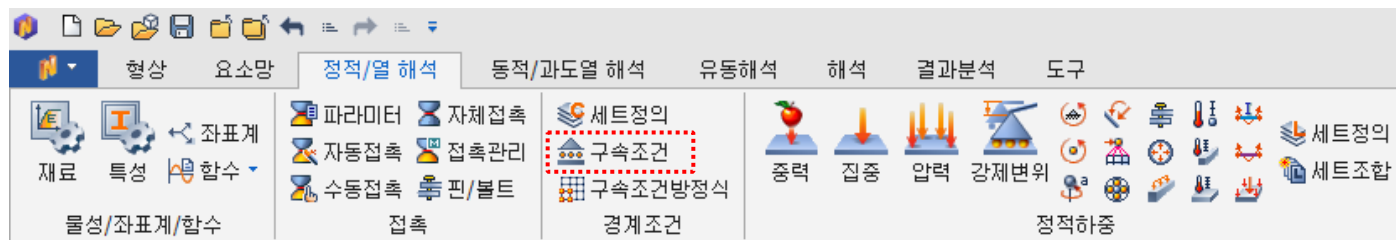
2. 구속조건 입력

이름	Fix_1
대상종류	면
대상선택	3개 선택
조건	고정구속 

3. [적용] 버튼 클릭.

 **고정구속:** X, Y, Z 병진자유도 및 회전 자유도 구속
핀구속: X, Y, Z 병진자유도만 구속


※솔리드 모델에서는 회전자유도가 없기 때문에 **핀구속** 조건으로도 모든 자유도가 구속됩니다.



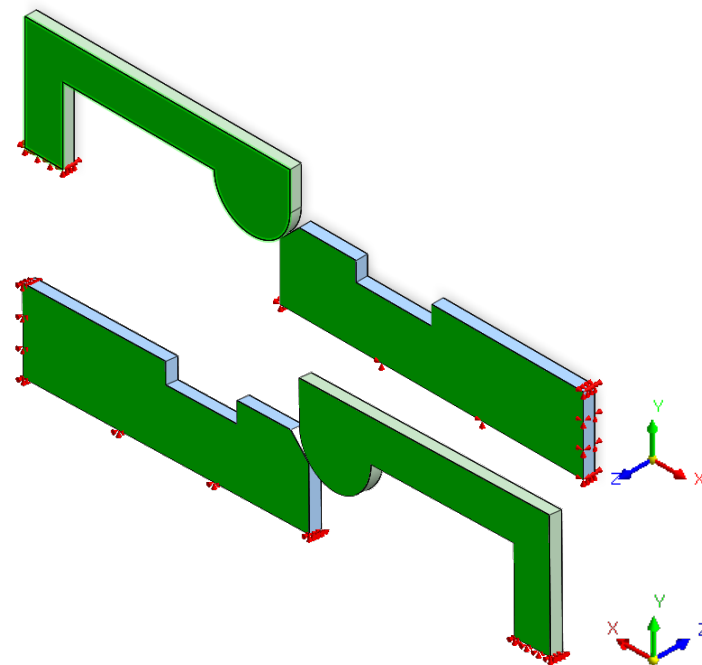
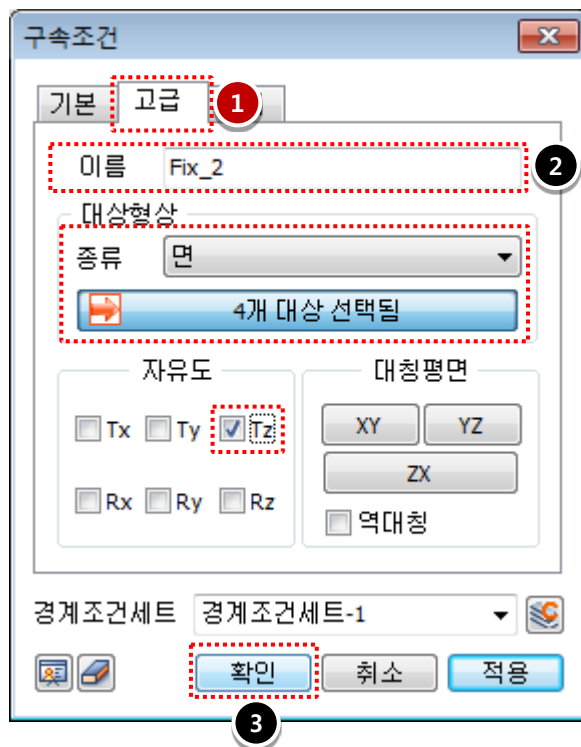
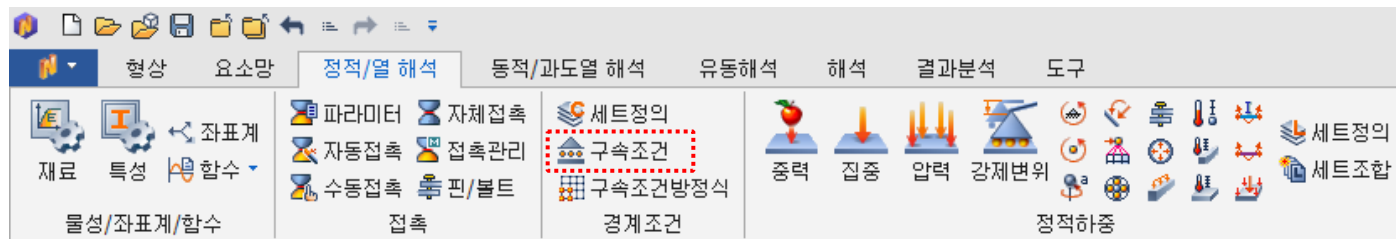
작업순서


1. [고급] 탭 선택.

2. 구속조건 입력


이름	Fix_2
대상종류	면
대상선택	4개 선택
조건	Tz 구속 

3. [확인] 버튼 클릭.



 XY평면에 대한 대칭조건을 부여합니다. 솔리드 모델에서는 회전자유도가 없기 때문에 Tz 구속만으로도 대칭조건이 만족됩니다.

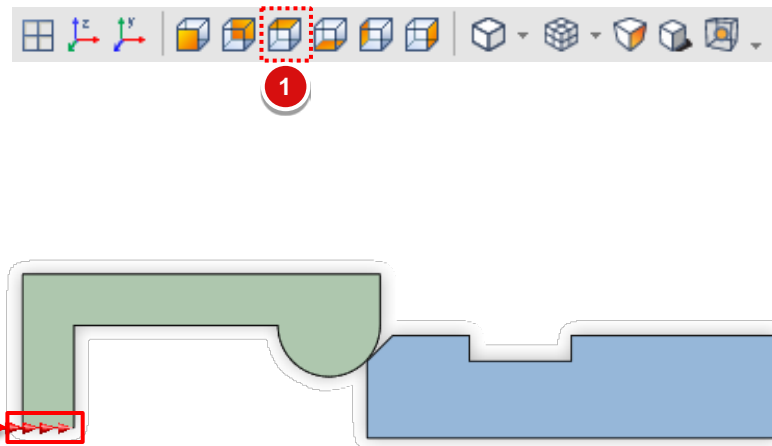
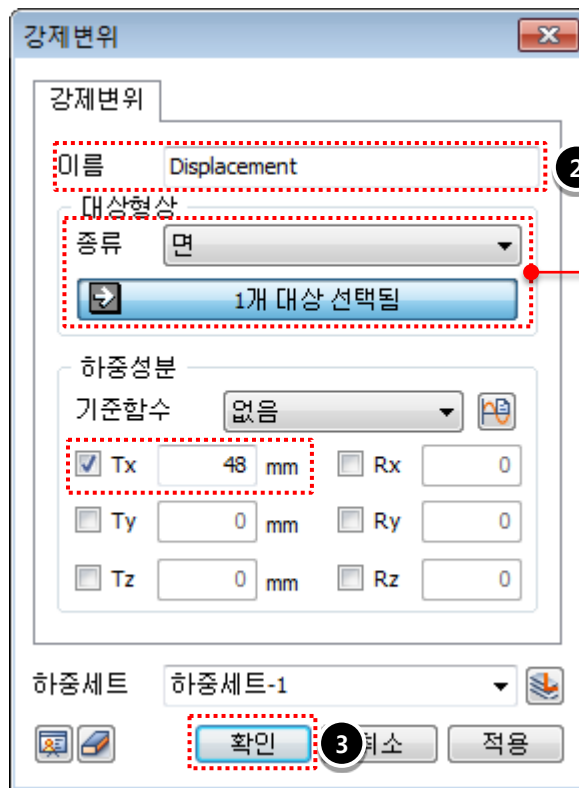
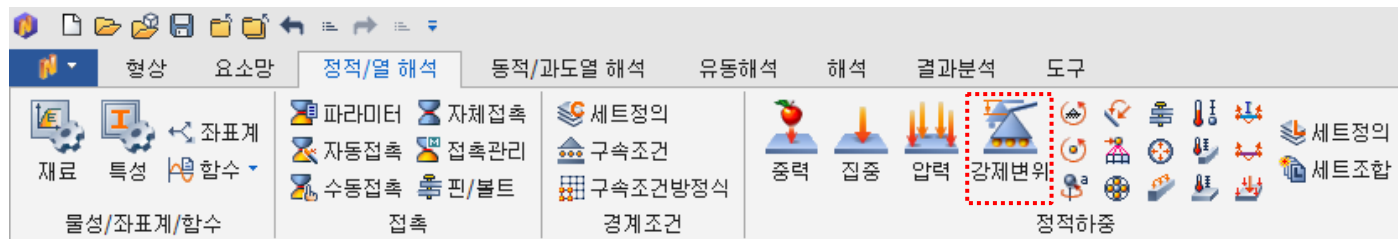
작업순서

1. [] (윗면) 클릭.

2. 강제변위조건 입력

이름	Displacement
대상종류	면
대상선택	1개 선택
조건	Tx : 48 (mm)

3. [확인] 버튼 클릭.



작업순서

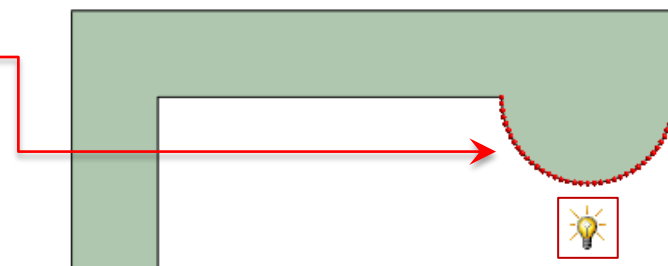
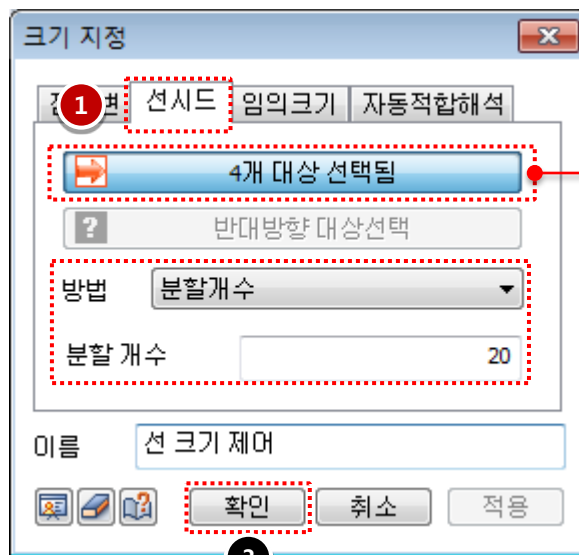
1. [선시드] 탭 선택.

2. 요소망 제어

대상종류	선
대상선택	4개 선택
방법	분할개수 : 20개
이름	Edge Size Control


3. [확인] 버튼 클릭.

💡 반원 형태에서 2개의 선분을 선택하고, 반대편도 2개의 선분을 선택합니다. (총 4개의 선분 선택)
선시드는 요소망 생성 시에 우선 적용되기 때문에 파트의 특정 부위에 조밀한 요소망을 작성하는 경우에 사용합니다.




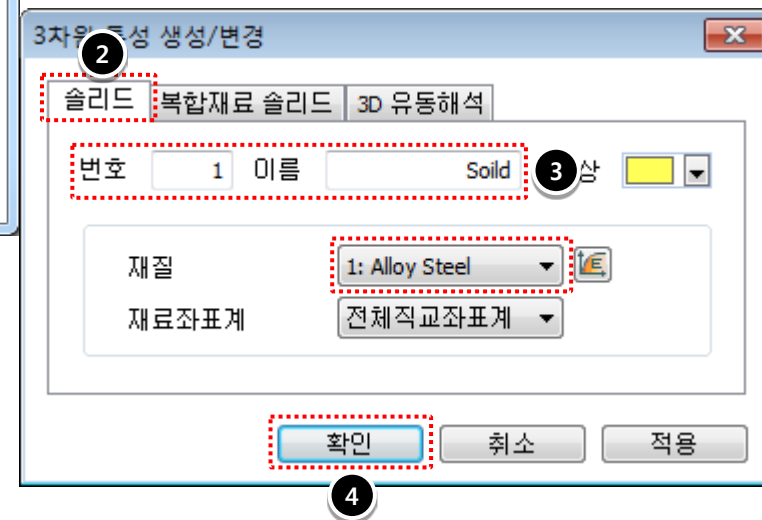
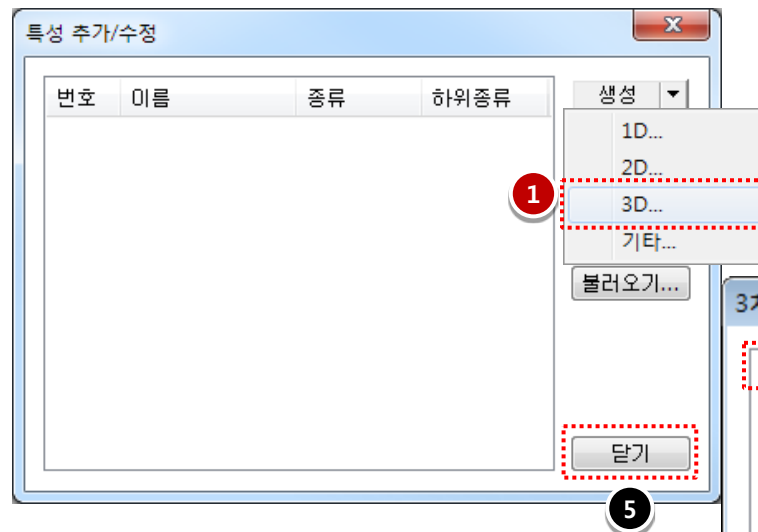
작업순서

1. 생성 >> 3D 클릭
2. [솔리드] 탭 선택.
3. 특성 입력



번호	1
이름	Solid
재질	1: Alloy Steel 


4. [확인] 버튼 클릭.
5. [닫기] 버튼 클릭.

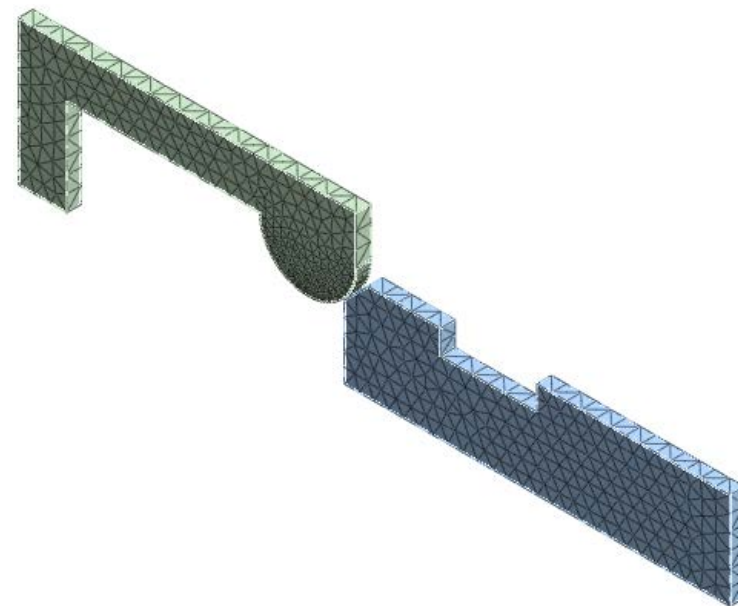
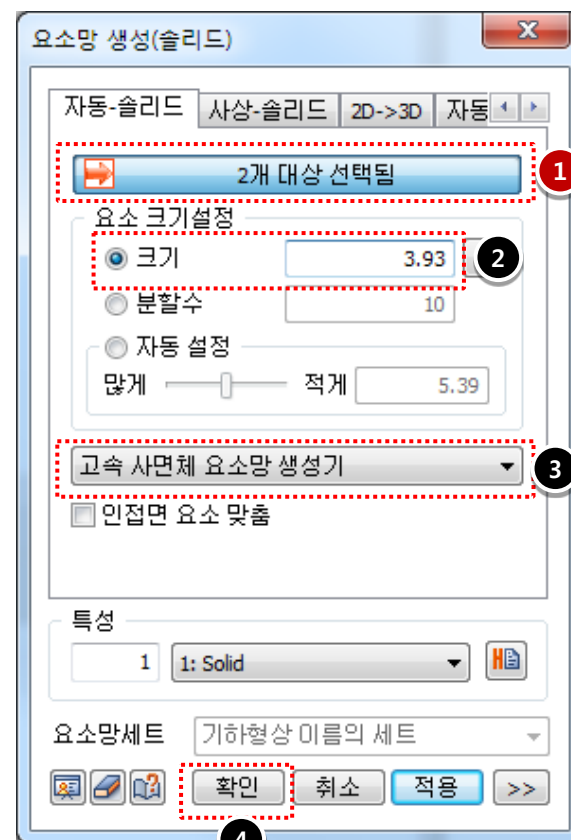
 기본 재질을 사용하여 특성을 정의합니다.



작업순서

1. [] (전체 선택) 클릭.
2. 요소 크기설정: 3.93 입력. 
3. 고속 사면체 요소망 생성기 선택.
4. [확인] 버튼 클릭.

 요소의 최대 크기를 의미합니다.



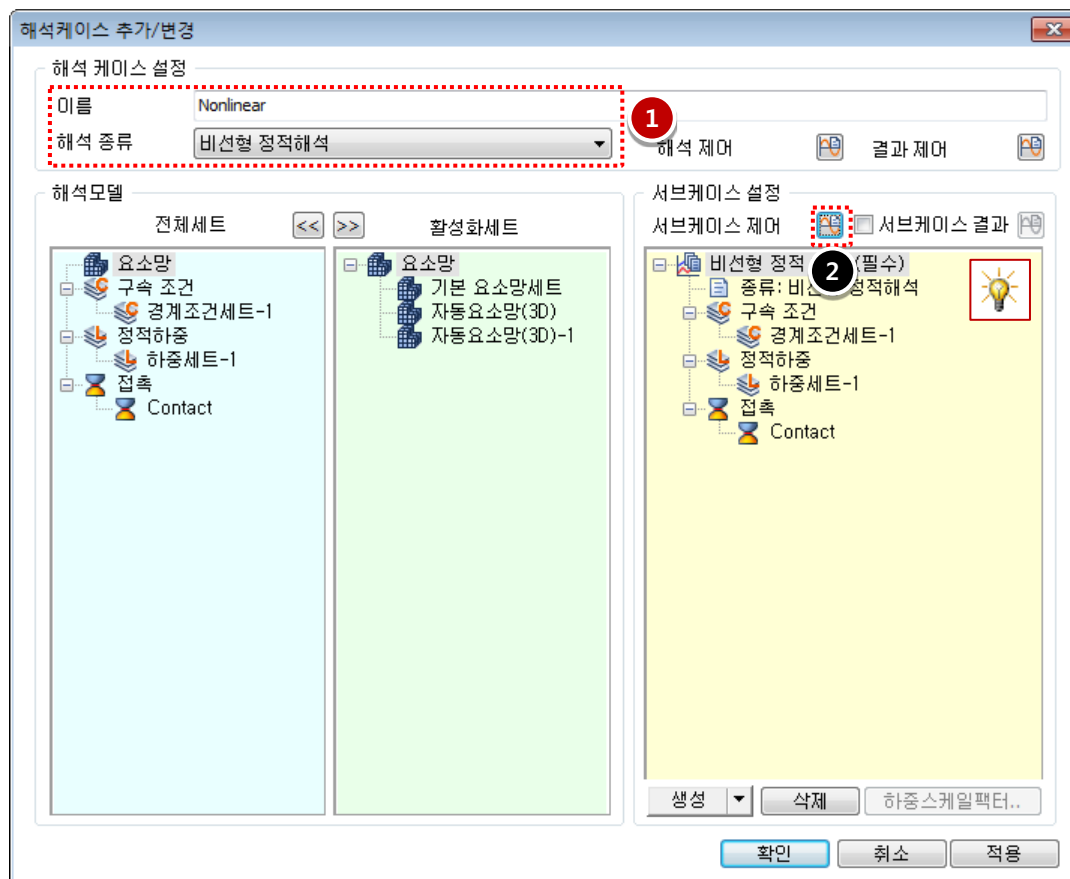
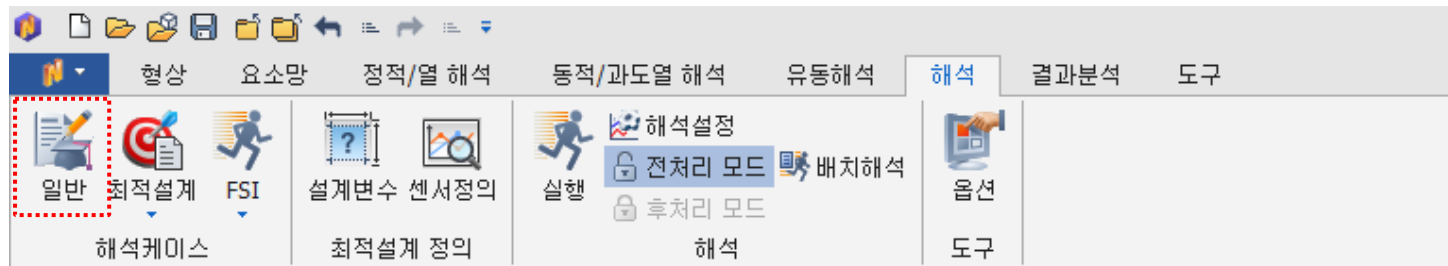
작업순서

1. 해석케이스 설정

이름	Nonlinear
해석 종류	비선형 정적해석

2. [] (서브케이스 제어) 버튼 클릭.

(“비선형 정적 해석 (필수)” 서브케이스를 클릭해야 활성화됩니다.)



💡 기본적으로 현재 작업된 요소망세트, 경계조건, 하중조건 등이 모두 활성화됩니다.

작업순서

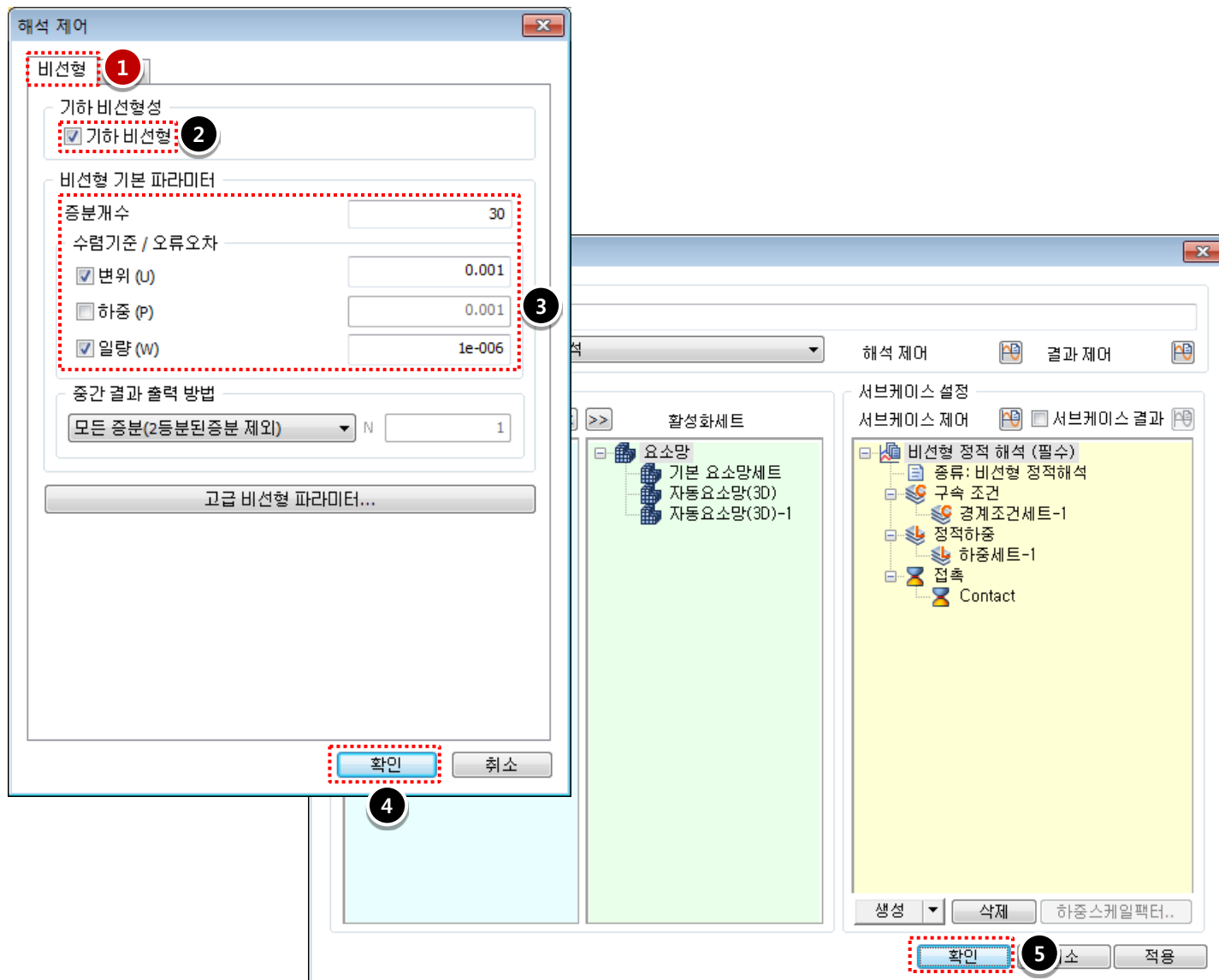
1. [비선형] 탭 선택.
2. [기하비선형] 체크.
3. 비선형 기본 파라미터 설정

증분개수	30
변위 체크	0.001
하중 체크 해제	
일량 체크	1e-6

4. [확인] 버튼 클릭.
5. [확인] 버튼 클릭.

💡 원활한 수렴을 위하여 증분개수와 일량 기준의 오차를 초기값보다 큰 값으로 설정합니다.
오류오차는 수렴이 여의치 않은 경우에 한해서만 조정하고 다른 조건들을 우선 수정한 후, 차선택으로만 사용하도록 합니다.

💡 일량을 기본으로 하여 변위와 하중 중에서 추가로 1개를 더 선택합니다. 일반적으로 변위 기준은 하중에 비해 수렴에 유리한 편입니다.



해석 제어

비선형 1

기하비선형성

☒ 기하비선형성 2

비선형 기본 파라미터

증분개수 30

수렴기준 / 오류오차

☒ 변위 (U) 0.001

☐ 하중 (P) 0.001

☒ 일량 (W) 1e-006 3

중간 결과 출력 방법

모든 증분(2등분된증분 제외) N 1

고급 비선형 파라미터...

확인 4 취소

서브케이스 제어

서브케이스 설정

서브케이스 제어

서브케이스 결과

활성화세트

요소망

기본 요소망세트

자동요소망(3D)

자동요소망(3D)-1

비선형 정적 해석 (필수)

종류: 비선형 정적해석

구속 조건

경계조건세트-1

정적하중

하중세트-1

접촉

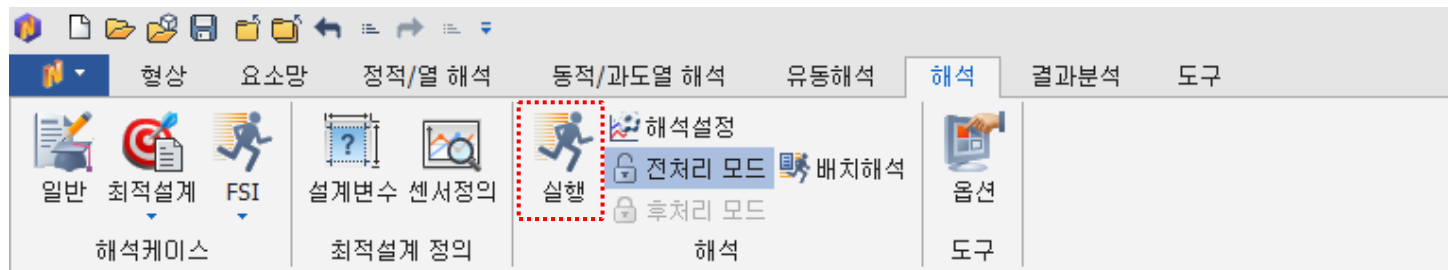
Contact

생성 삭제 하중스케일팩터..

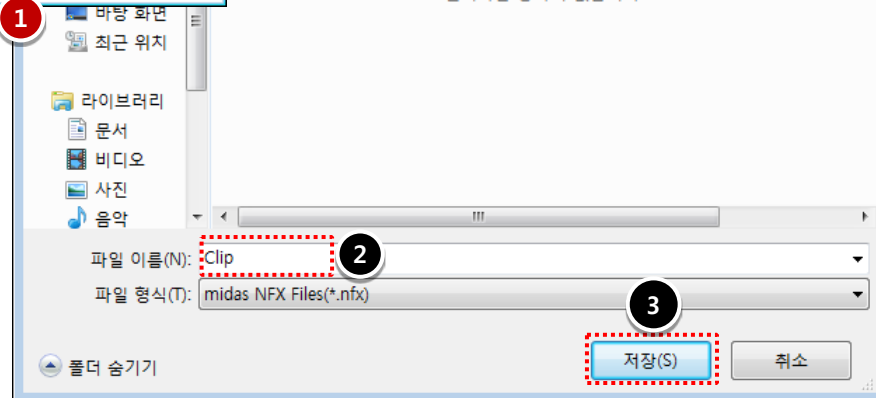
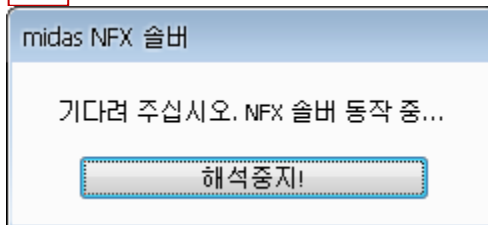
확인 5 소 적용

작업순서

1. [확인] 버튼 클릭.
2. 다른 이름으로 저장: "Clip" 입력.
3. [저장(S)] 버튼 클릭.







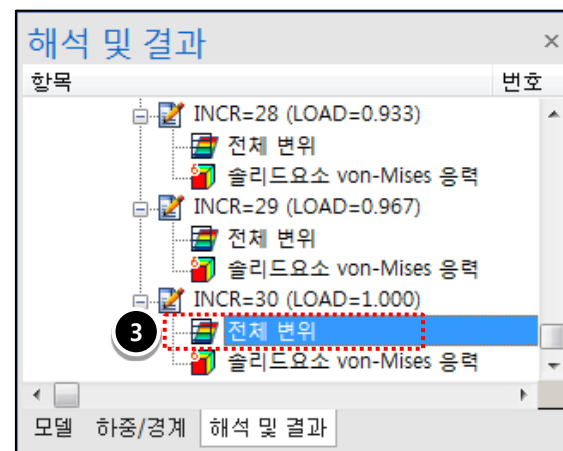
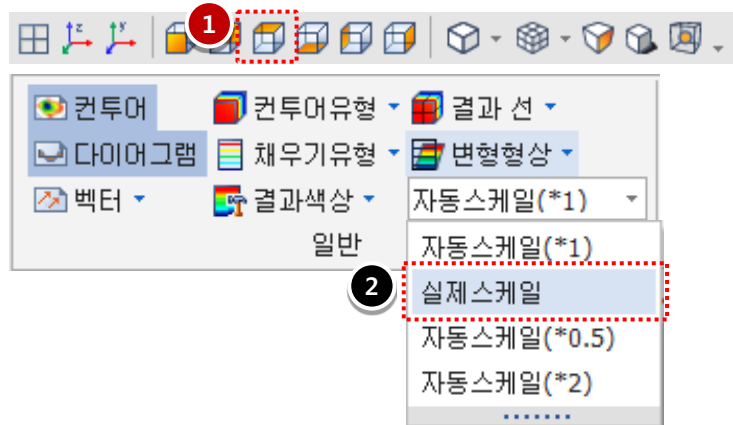
💡 해석을 실행하면 midas NFX 솔버가 작동됩니다. [해석중지!] 버튼을 클릭하면 해석이 중지됩니다.





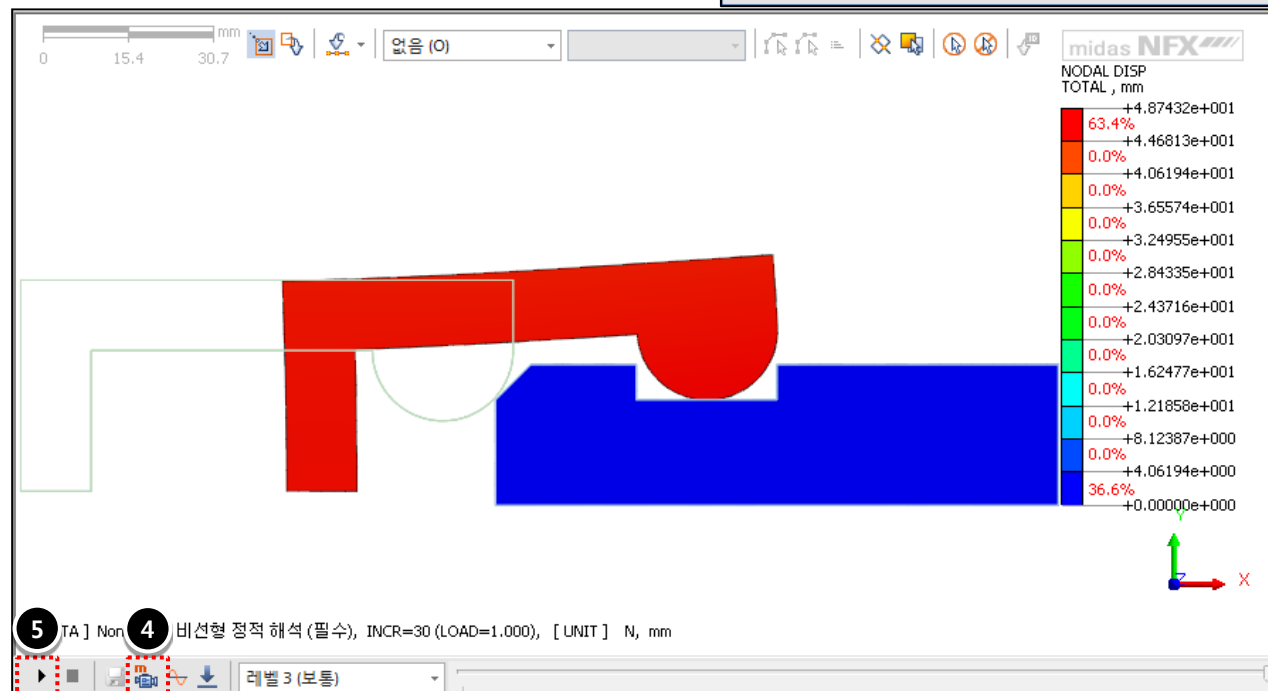
>> INCR=30 (LOAD=1.000)

작업순서

1. [] (윗면) 클릭.
2. 해석 및 결과 >> 일반 >> [실제스케일] 선택
3. 해석 및 결과 작업트리에서 전체 변위 더블 클릭.
4. [] (멀티-스텝 애니메이션 녹화) 클릭.
5. [] (재생) 클릭. 



 멀티-스텝 애니메이션 녹화를 이용하면 스텝별 결과를 애니메이션으로 확인할 수 있습니다. (자동으로 전체 스텝 결과에 체크되어 있습니다.) 애니메이션 결과 확인이 끝나면 [] 버튼을 클릭하여 애니메이션 재생을 종료해 주어야 합니다. 이는 다른 후처리 작업 시 발생할 수 있는 조작의 불편함을 최소화하기 위한 작업입니다.



개요

➤ 비선형 정적해석

- 단위 : N, mm
- 기하모델 : Probe.x_t

➤ 접촉조건 설정

- 일반접촉

➤ 경계조건과 하중조건

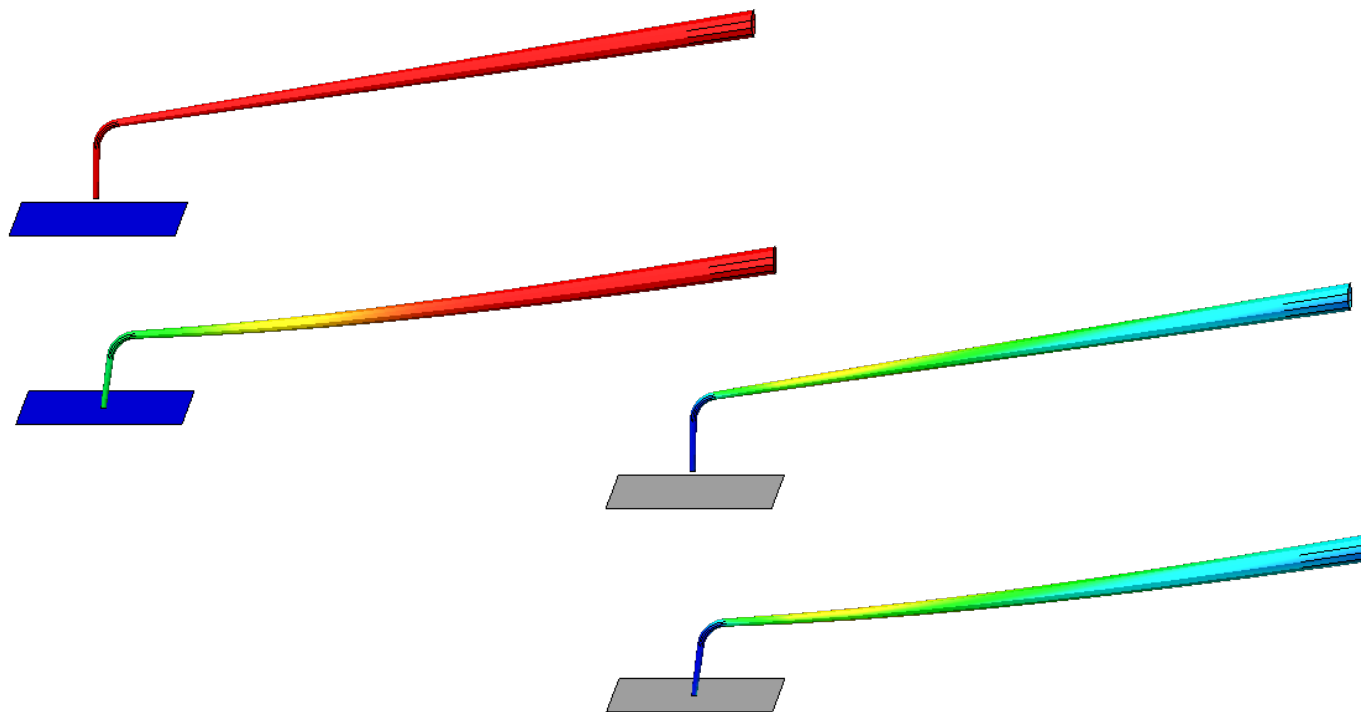
- 자유도 구속
- 스프링 조건
- 강제변위

➤ 결과확인

- 변형 형상

Probe

(접촉, 기하비선형)



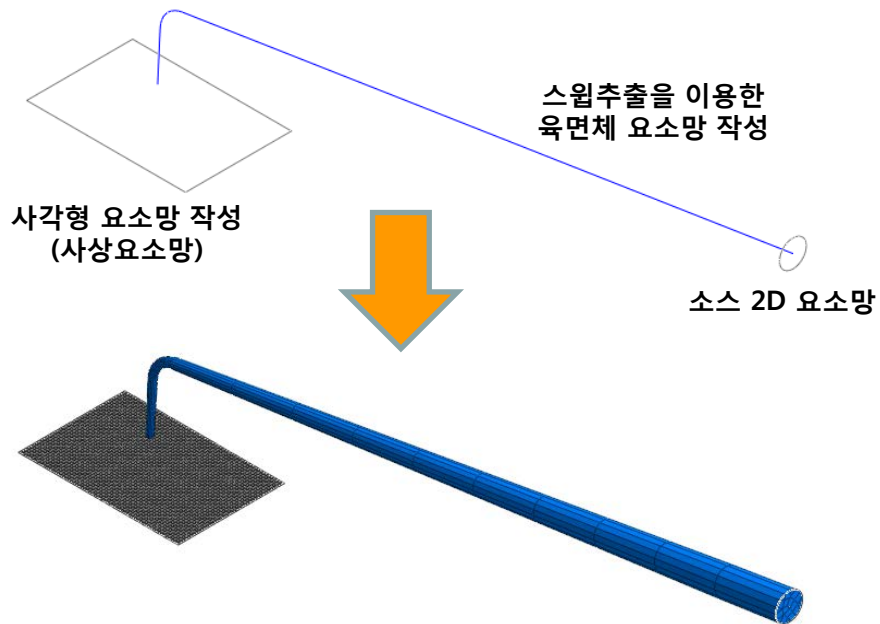
따라하기 목적

➤ 사상요소망을 이용한 요소망 작성과 절점/요소 기반의 해석 조건 입력

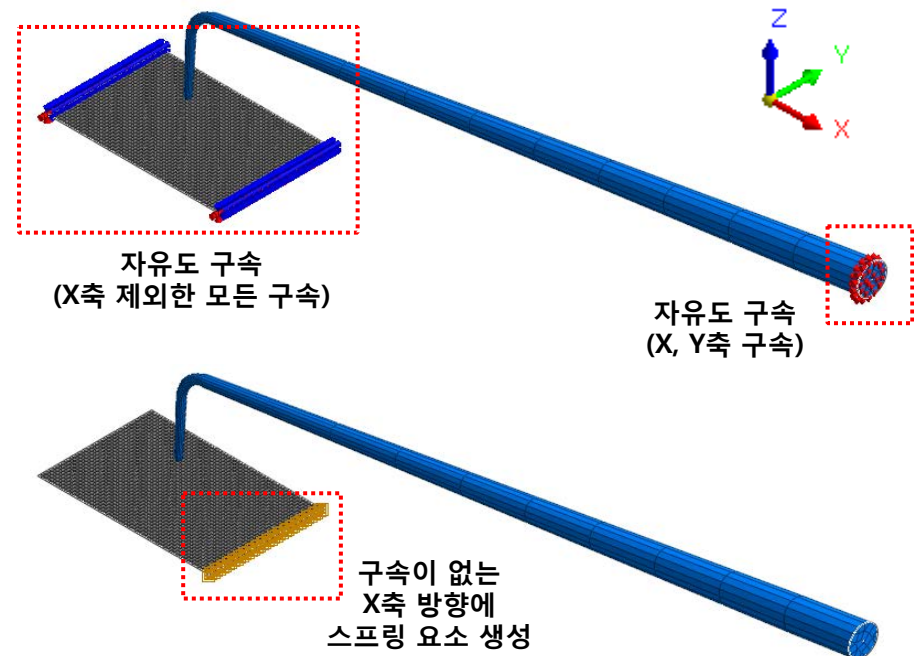
- 가이드 라인을 토대로 요소망 추출 기법을 이용하여 전체 모델을 생성하는 방법에 대하여 습득합니다.
- 기하형상이 아닌, 절점/요소를 기반으로 하여 해석조건을 설정합니다.
- 해석 중에 접촉이 발생하는 면을 찾아서 수동접촉조건을 설정합니다.

해석 개요



➤ 대상 모델





➤ 경계조건 (자유도 구속, 스프링 조건)

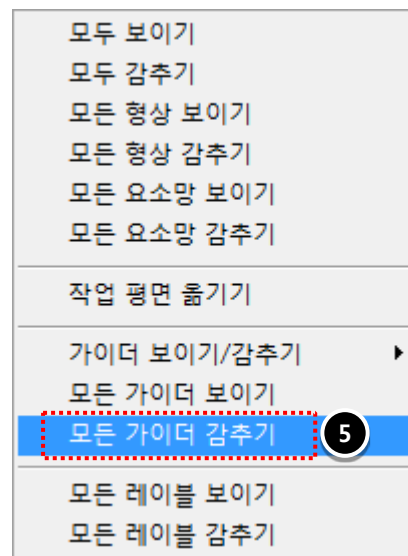
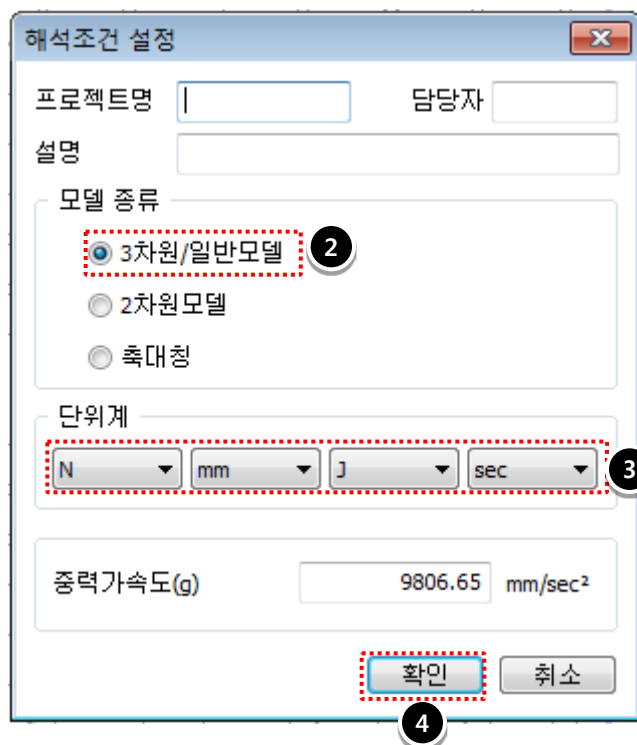
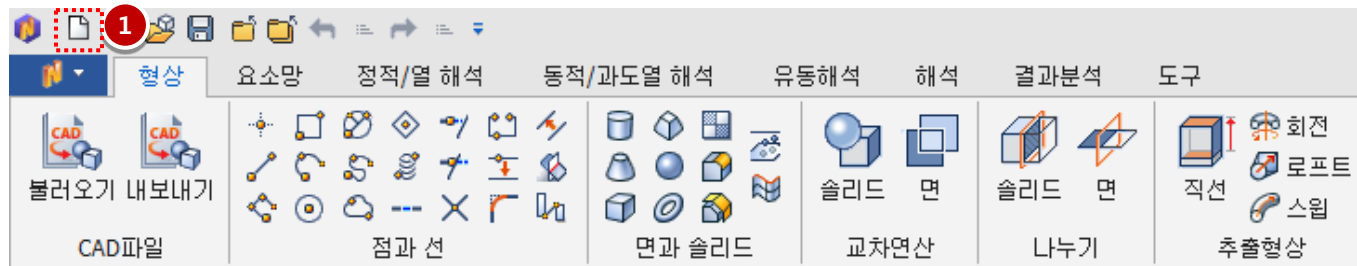


작업순서

1. [] (새로 만들기) 클릭.. 
2. [3차원/일반모델] 선택.
3. 단위계 [N-mm-J-sec] 선택.
4. [확인] 버튼 클릭.
5. 작업원도우에서 마우스 오른쪽 버튼 클릭 후, [모든 가이드 감추기] 선택.

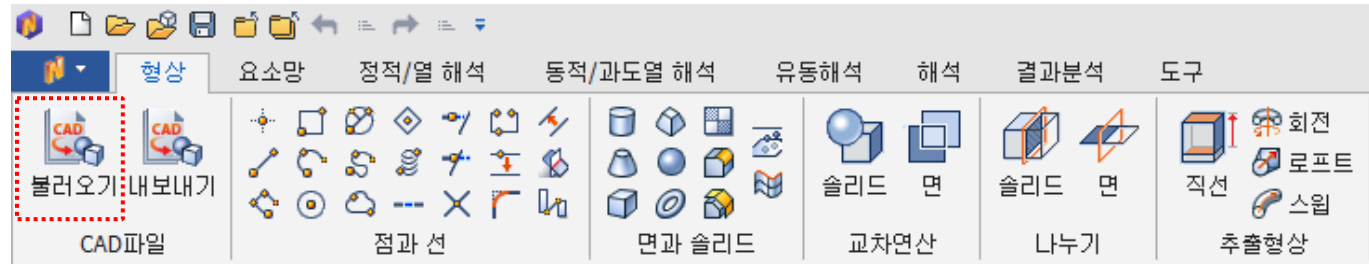
 프로그램을 실행시킨 후 [새로 만들기]를 클릭하면 모든 메뉴가 활성화 됩니다.

 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.

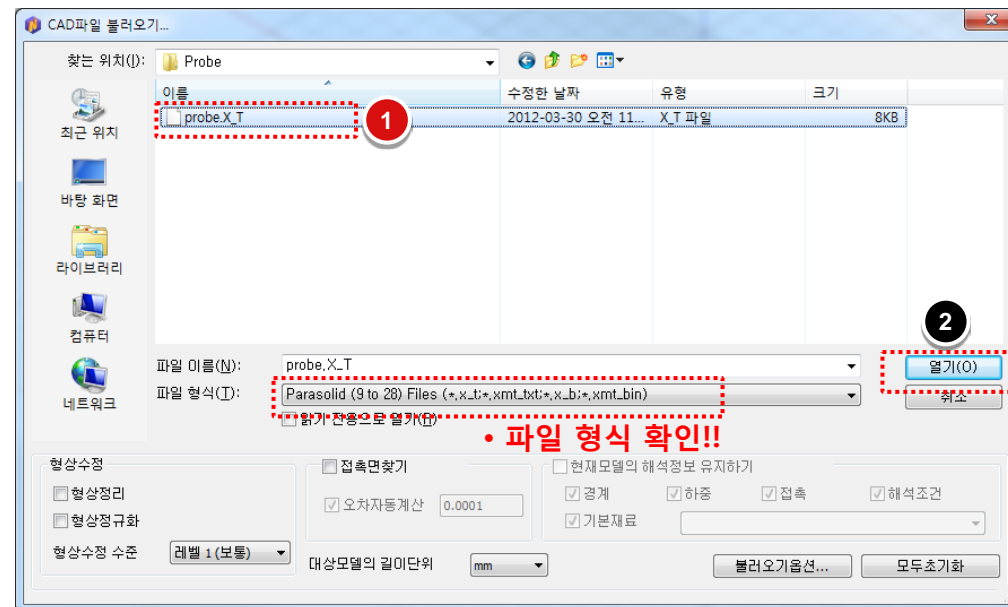


작업순서

1. 모델 선택: **Probe.x_t** 선택.
2. [열기(O)] 버튼 클릭.

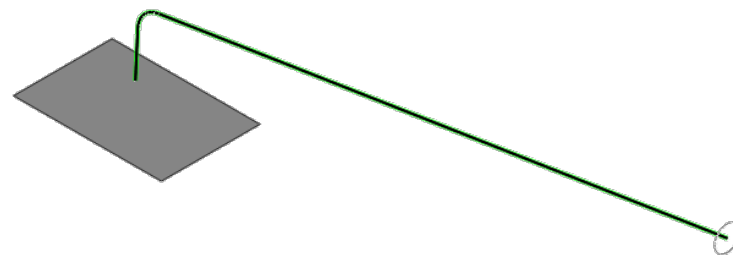
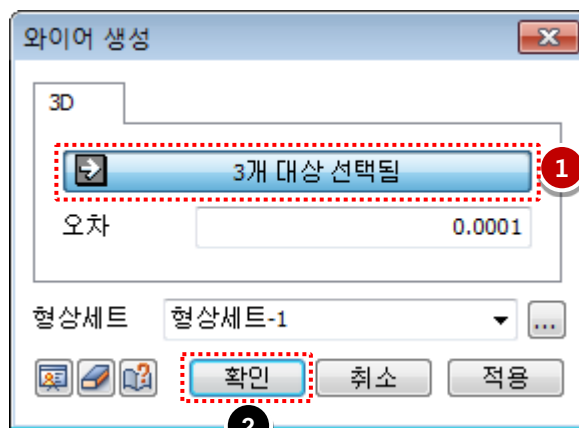
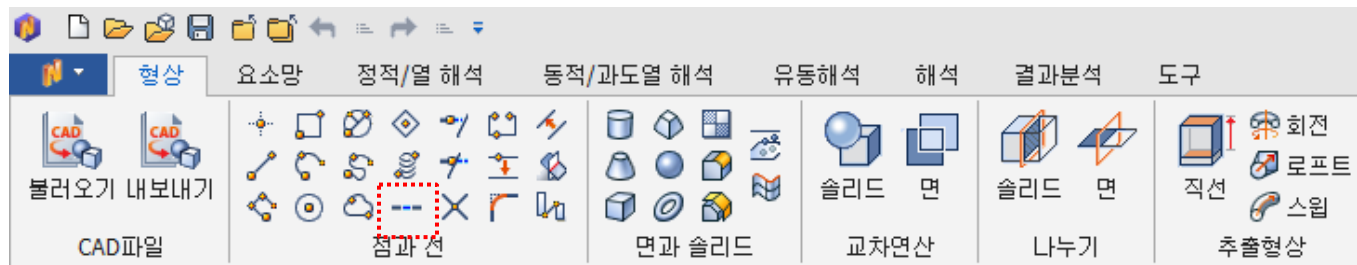


※ 프로그램이 설치된 하위 폴더의
ManualsWTutorialsWFiles 폴더 안에
따라하기의 모델들이 있습니다.



작업순서

1. 선 3개 선택. (그림참조)
2. [확인] 버튼 클릭.



💡 스웝 추출의 가이드 라인으로 사용하기 위하여 3개의 분리된 선을 하나의 와이어로 생성합니다.

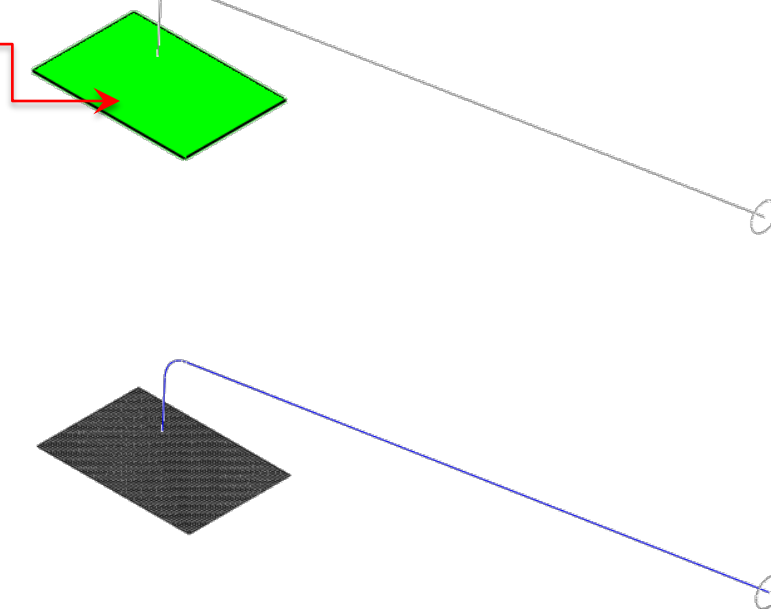
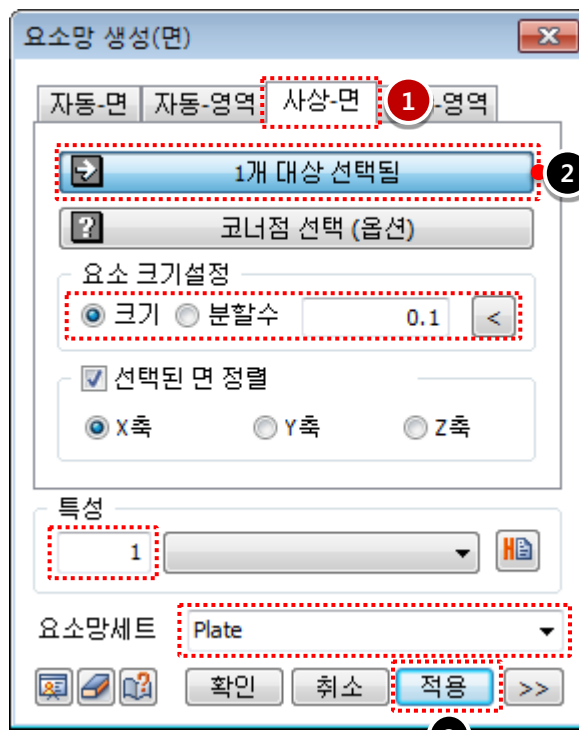
작업순서

1. [사상-면] 탭 선택

2. 요소망 생성 입력

대상선택	면 1개 선택
요소크기	0.1
특성번호	1
이름	Plate

3. [적용] 버튼 클릭.



작업순서

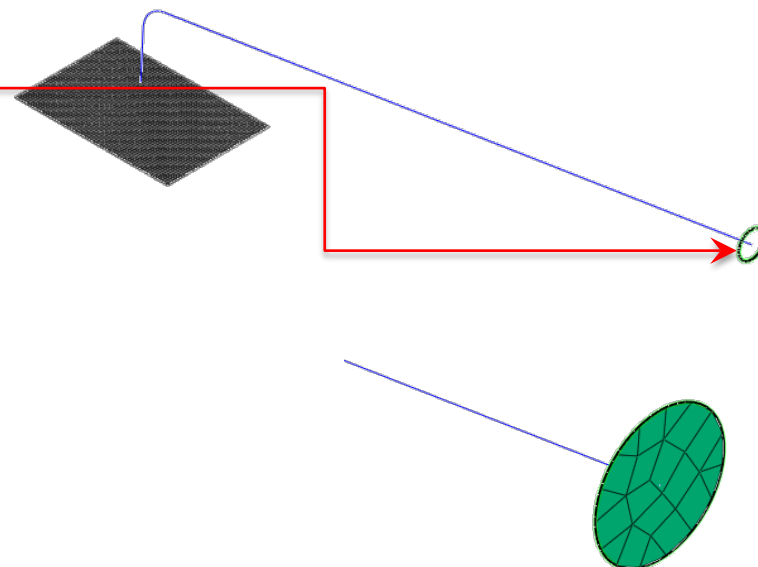
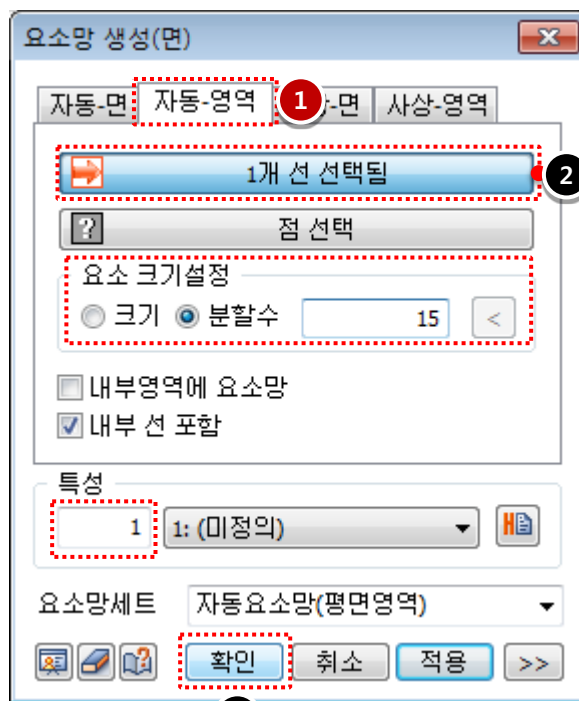
1. [자동-영역] 탭 선택

2. 요소망 생성 입력

대상선택	선 1개 선택
분할수	15
특성번호	1

3. [확인] 버튼 클릭.

💡 닫혀진 영역 내에 삼각형과 사각형이 혼합된 요소망을 생성합니다.

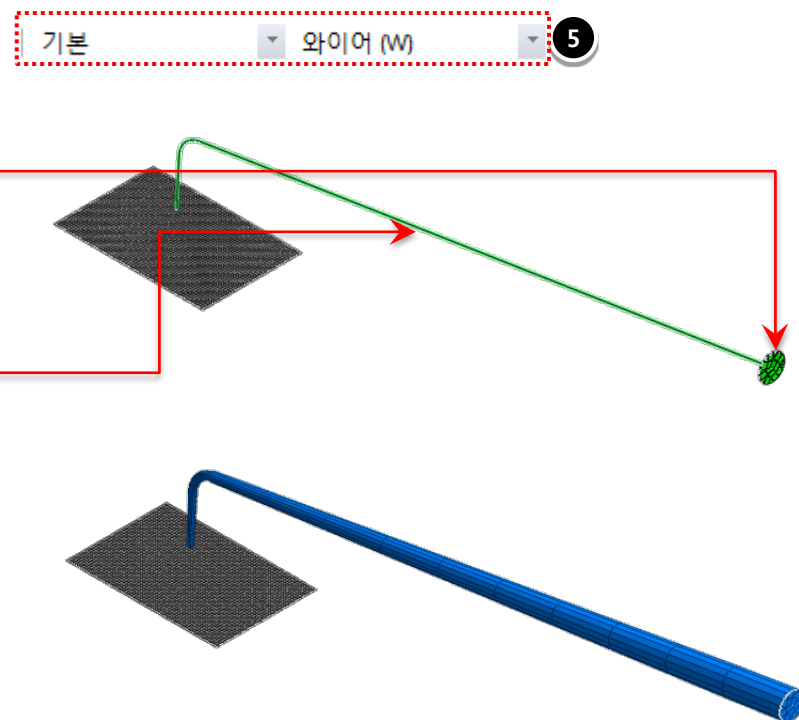
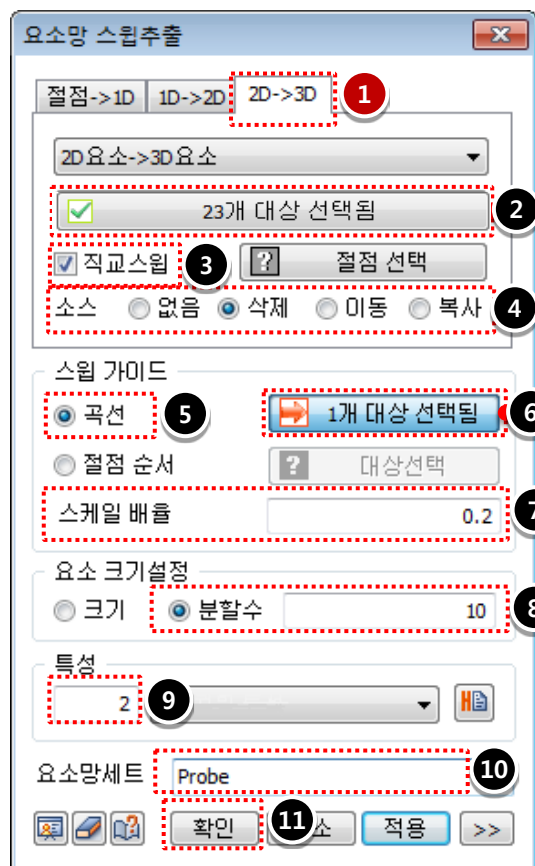


작업순서


1. [2D->3D] 탭 선택
2. 20개의 요소 선택. (그림 참조)
3. 직교스윙 체크. 💡
4. 소스 요소망 처리 : [삭제] 선택.
5. 곡선 선택을 누른 후,
선택 필터 : [기본] - [와이어] 선택.
6. 1개의 와이어를 선택.
7. 스케일 배율: 0.2 입력. 💡
8. 분할개수 : 10 입력.
9. 특성 : 2 입력.
10. 이름 : **Probe** 입력.
11. [확인] 버튼 클릭.


💡 꺾이는 구간에서 가이드 곡선에 수직이 되도록 요소망을 추출합니다.

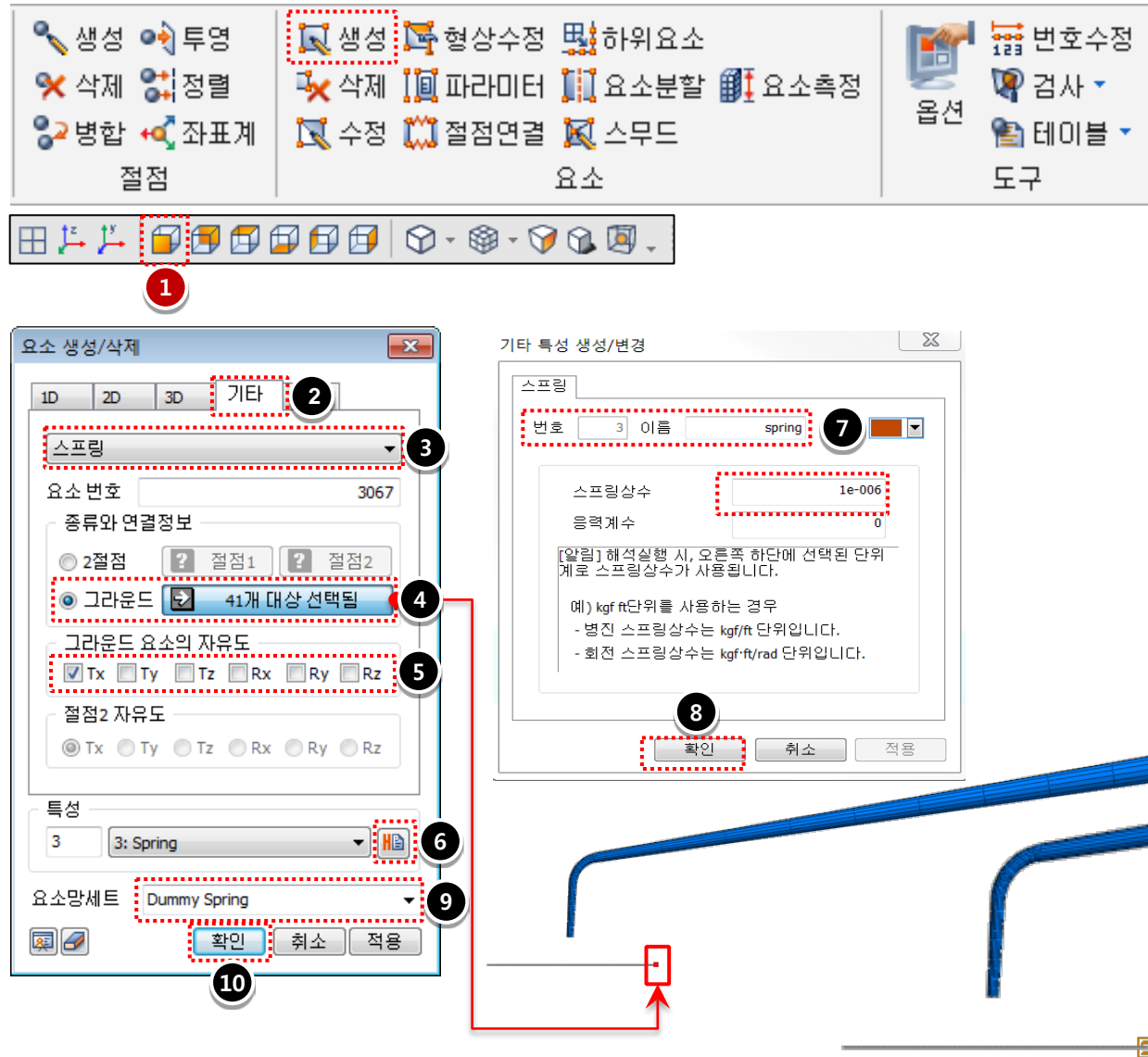
💡 시작부의 요소 크기와 끝의 요소 크기의 비율입니다.



작업순서

1. [] (정면) 클릭.
 2. [기타] 탭 선택
 3. [스프링] 선택.
 4. 그라운드 체크 후, 41개의 절점 선택.
(그림 참조)
 5. 그라운드 요소의 자유도 : Tx 선택.
 6. [] (기타 특성) 아이콘 클릭..
 7. 기타 특성 입력
- | | |
|-------|--|
| 번호 | 3 |
| 이름 | Spring |
| 스프링상수 | 1e-6  |
8. [확인] 버튼 클릭.
 9. 이름 : Dummy Spring 입력.
 10. [확인] 버튼 클릭.

 자유도를 구속하는 것처럼 해석 결과에 영향을 미치지 않도록 매우 약한 스프링을 생성합니다.



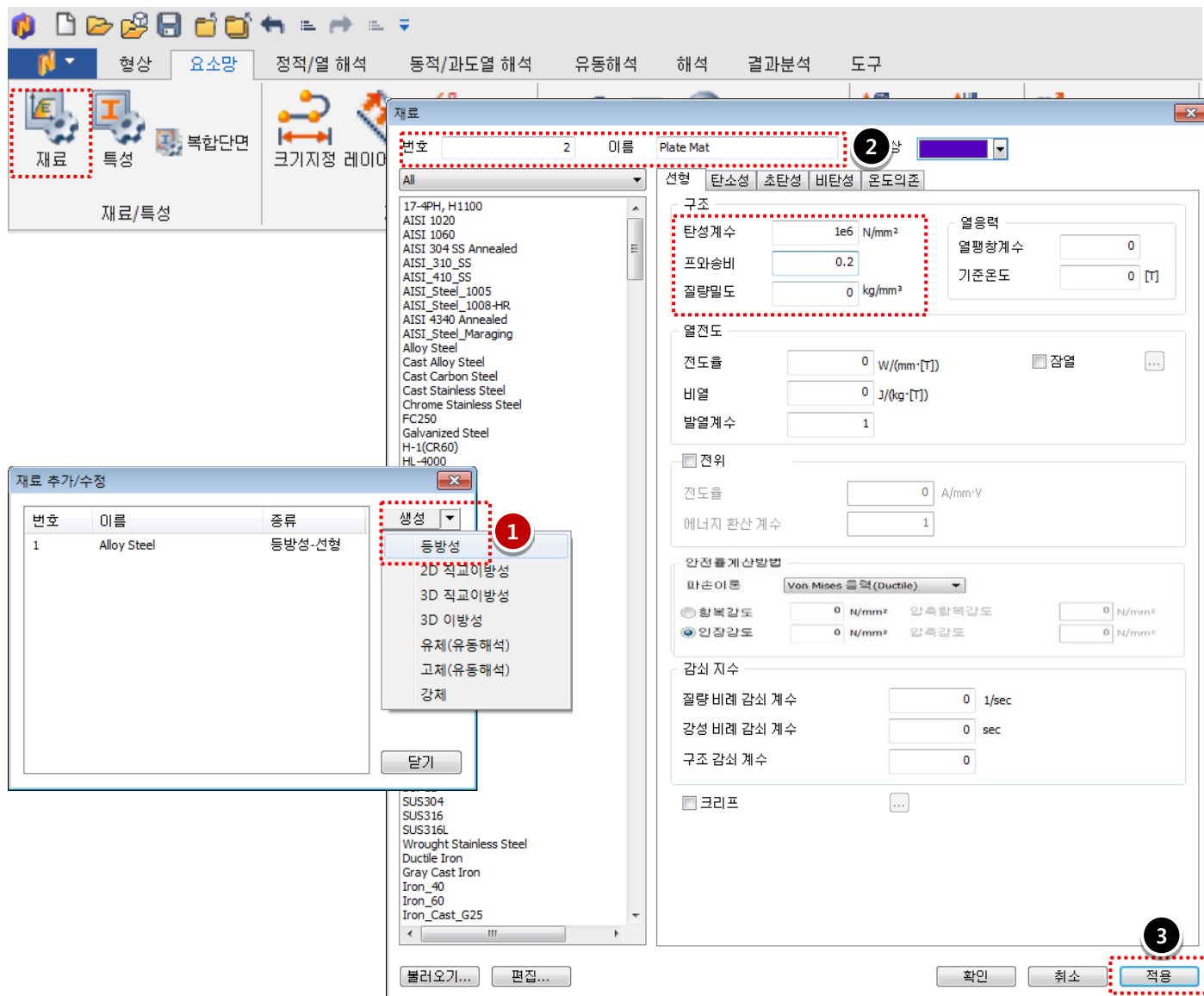
작업순서

1. 생성 >> 등방성 클릭

2. 재질 입력

번호	2
이름	Plate Mat
탄성계수	1e6 (N/mm ²)
프와송비	0.2

3. [적용] 버튼 클릭.



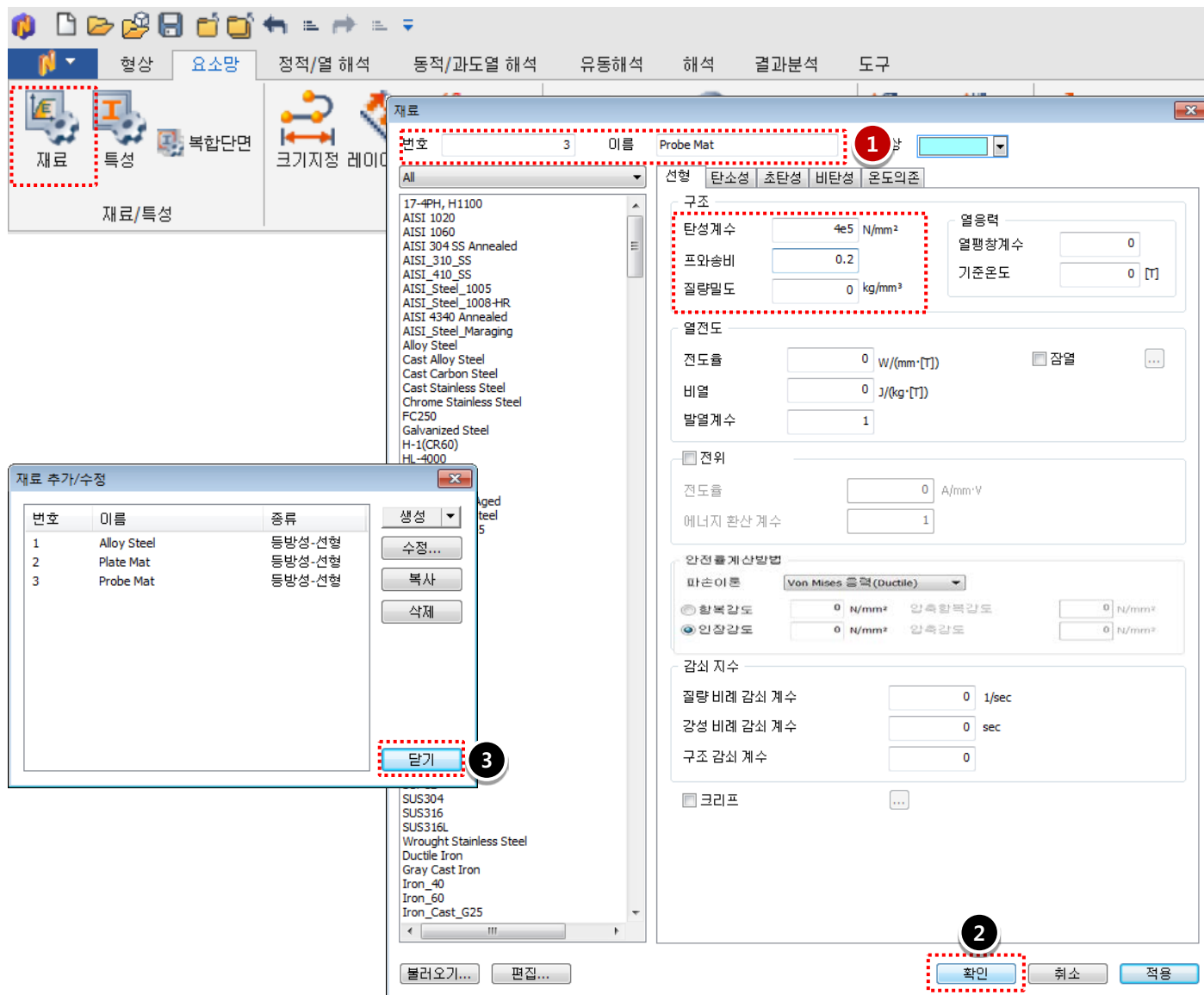
작업순서

1. 재질 입력

번호	3
이름	Probe Mat
탄성계수	4e5 (N/mm ²)
프와송비	0.2

2. [확인] 버튼 클릭.

3. [닫기] 버튼 클릭.

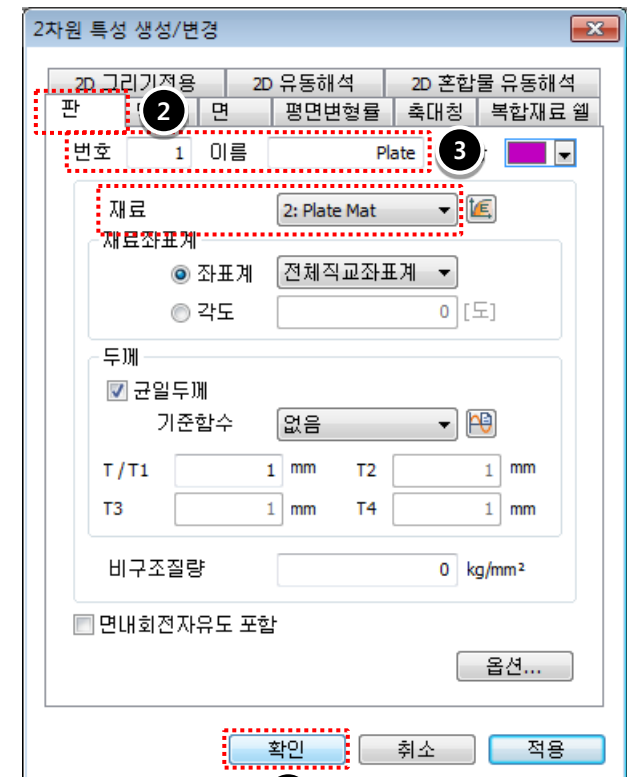
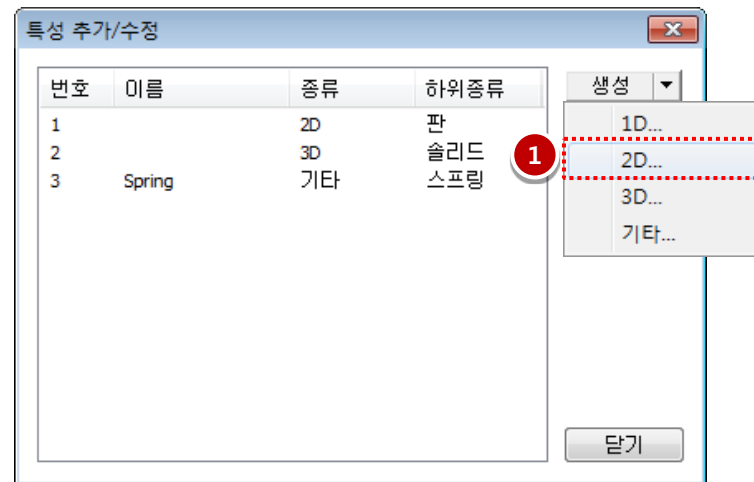


작업순서

1. 생성 >> 2D 클릭
2. [판] 탭 선택.
3. 특성 입력

번호	1
이름	Plate
재질	2: Plate Mat

4. [확인] 버튼 클릭.



작업순서

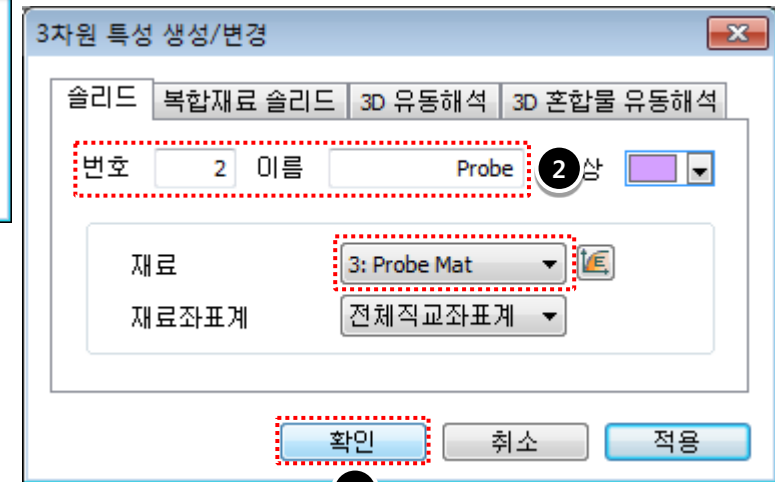
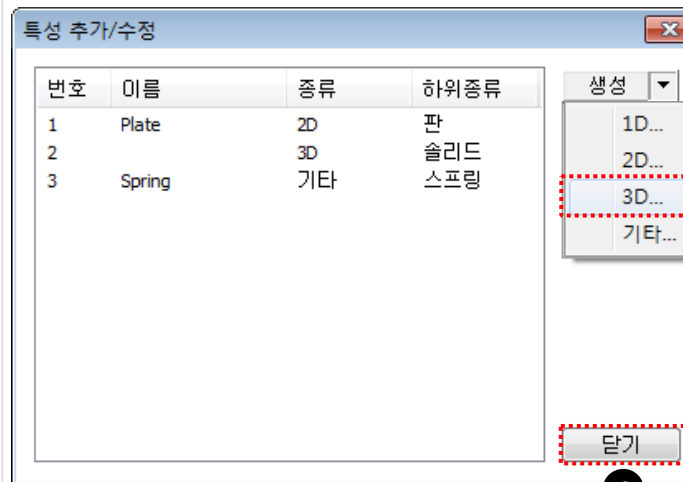
1. 생성 >> 3D 클릭

2. 특성 입력

번호	2
이름	Probe
재질	3: Probe Mat


3. [확인] 버튼 클릭.

4. [닫기] 버튼 클릭.

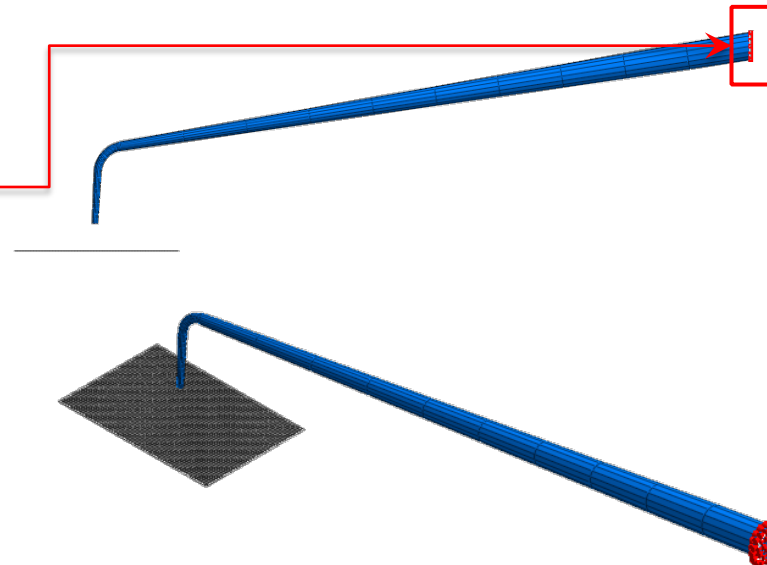
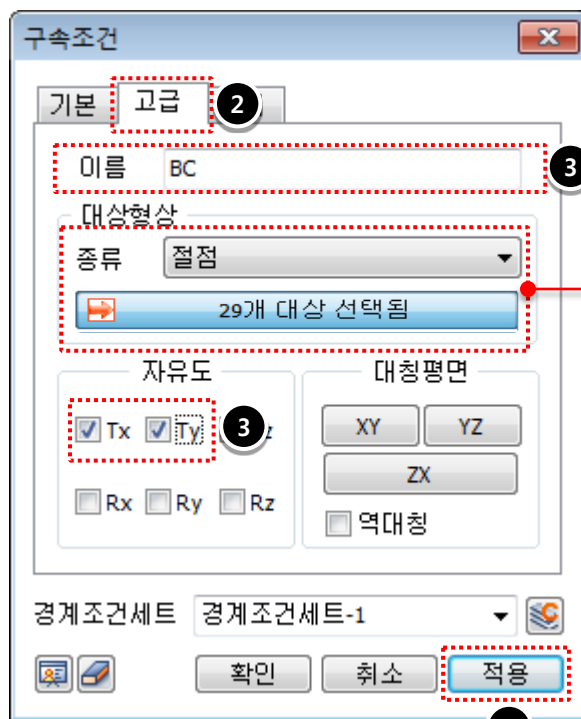
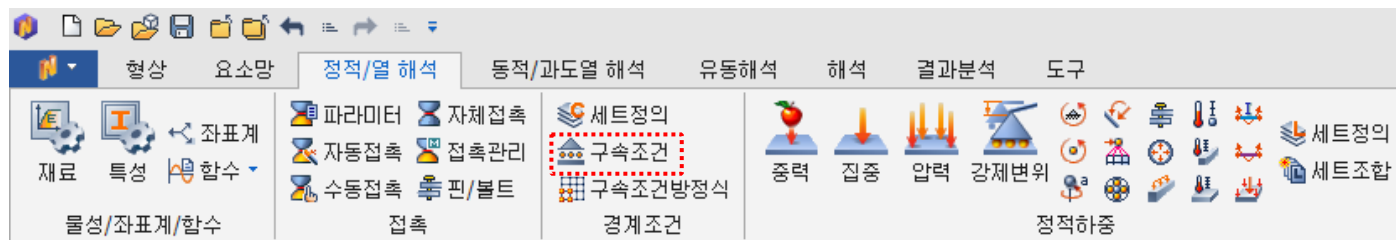


작업순서

1. [] (정면) 버튼 클릭.
2. [고급] 탭 선택.
3. 구속조건 입력

이름	BC
대상종류	절점
대상선택	27개 선택
조건	Tx, Ty 

4. [적용] 버튼 클릭.

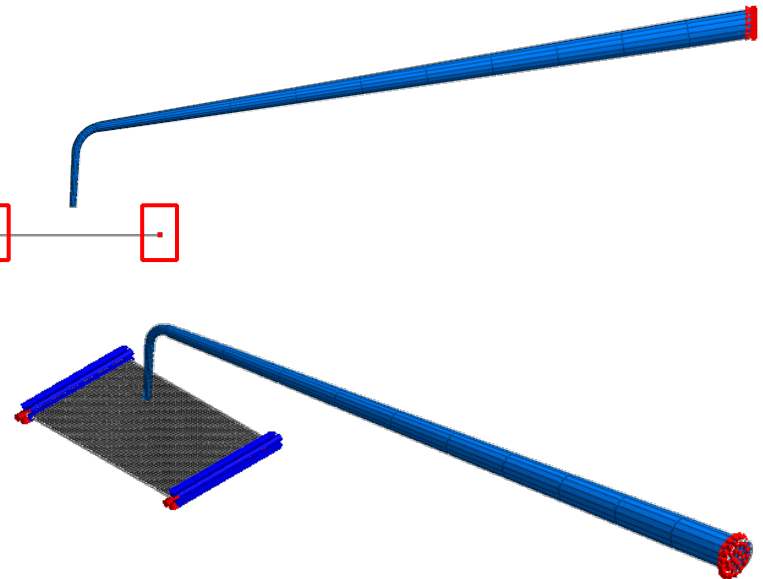
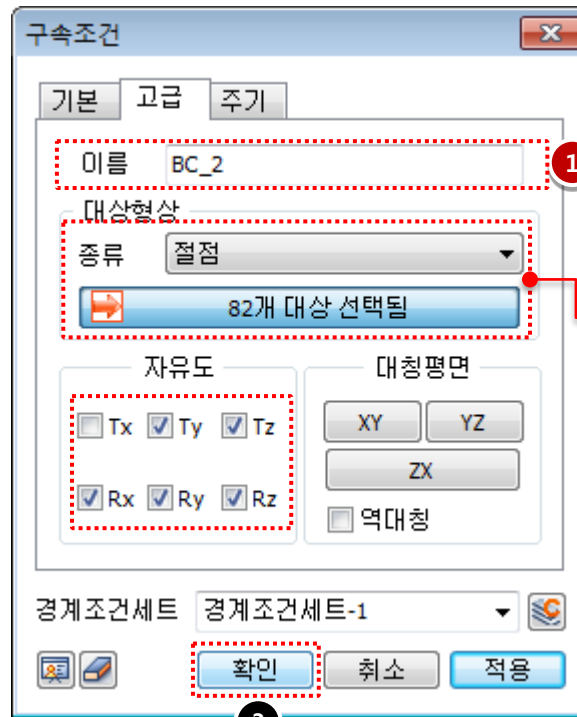
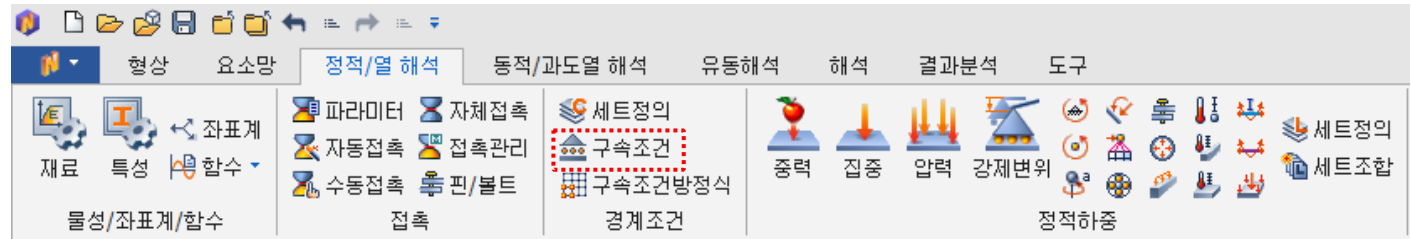


작업순서

1. 구속조건 입력

이름	BC_2
대상종류	절점
대상선택	82개 선택
조건	Ty, Tz, Rx, Ry, Rz

2. [확인] 버튼 클릭.

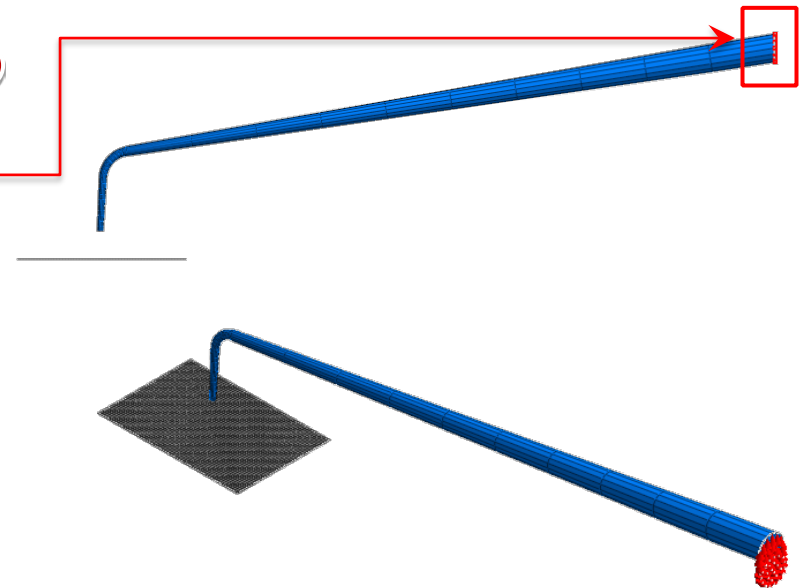
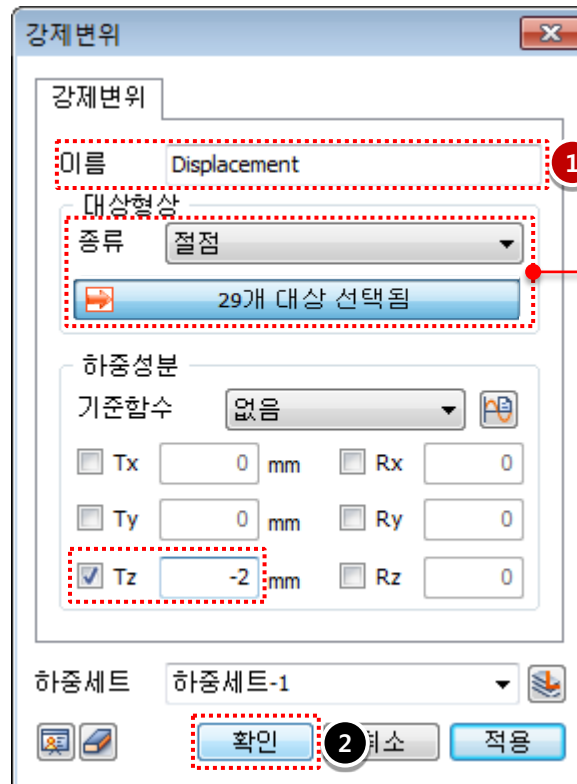
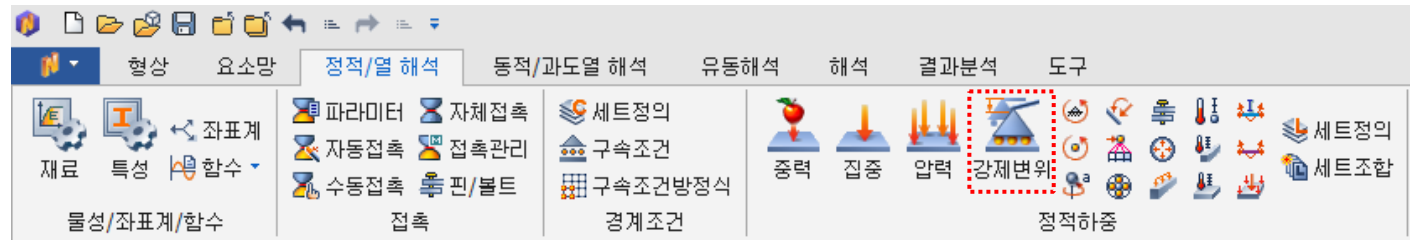


작업순서

1. 강제변위조건 입력

이름	Displacement
대상종류	절점
대상선택	27개 선택
조건	Tz : -2 (mm)

2. [확인] 버튼 클릭.

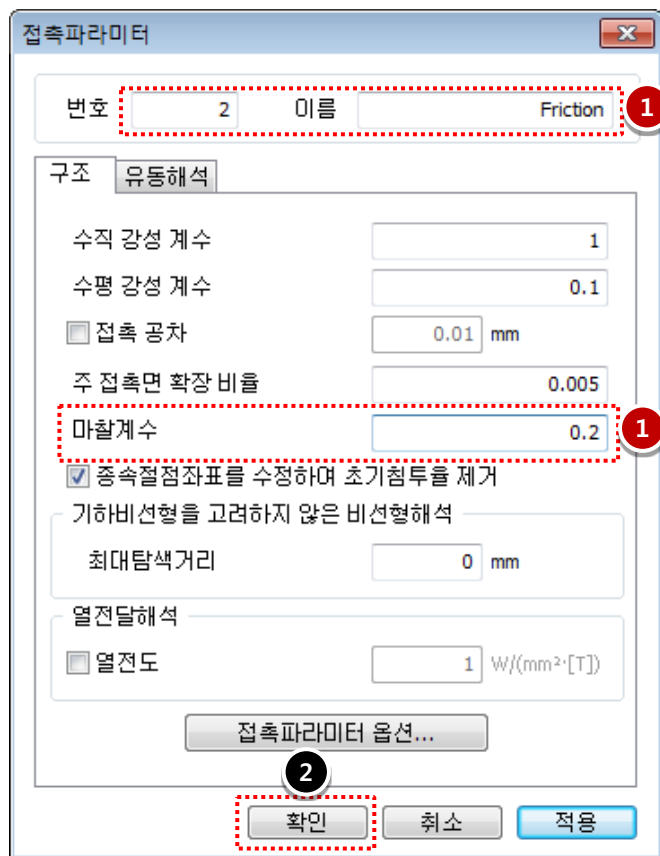
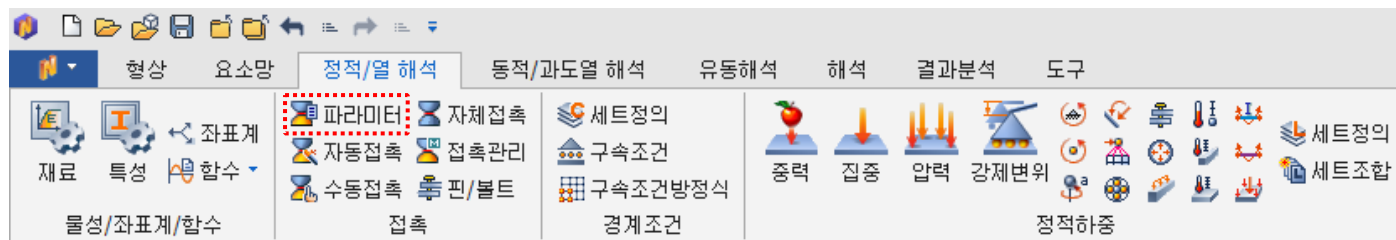


작업순서

1. 접촉파라미터 입력

번호	2
이름	Friction
마찰계수	0.2

2. [확인] 버튼 클릭.



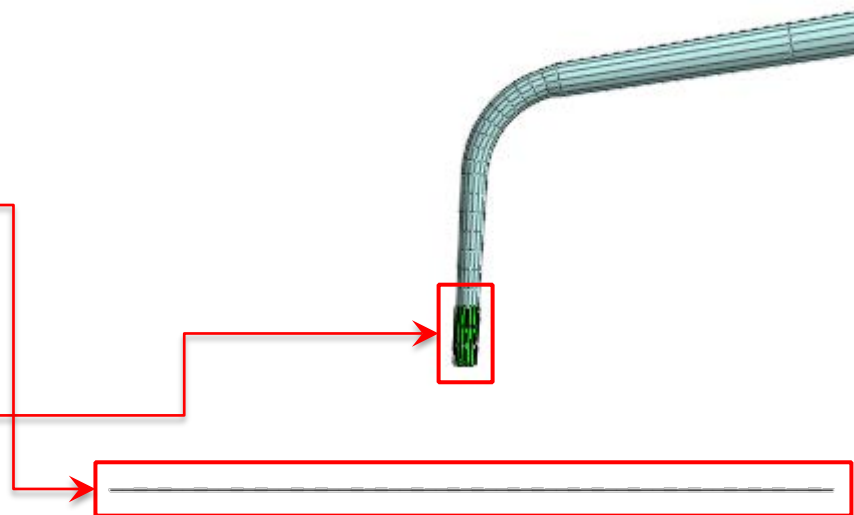
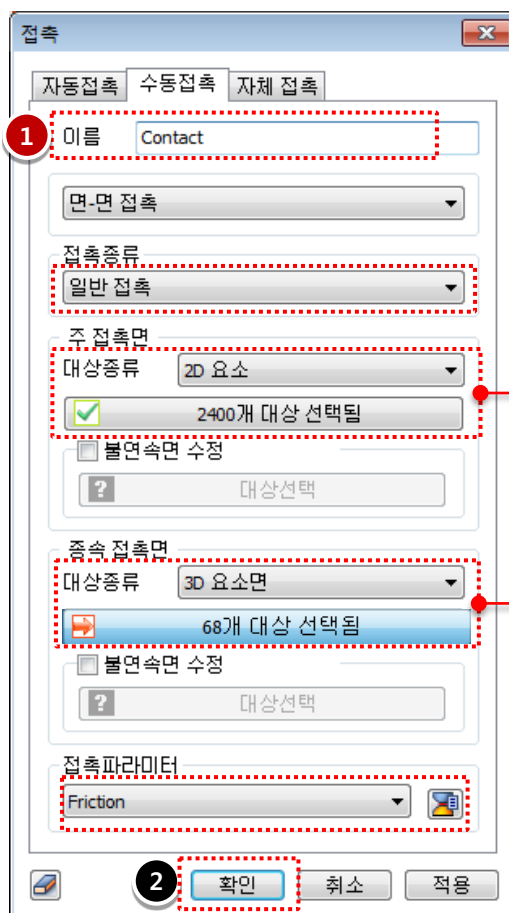
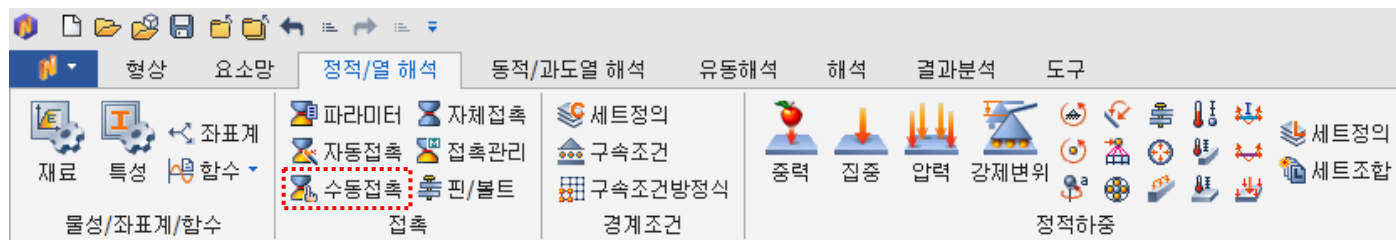
💡 마찰계수는 일반접촉조건이 적용된 비선형해석에서만 사용할 수 있습니다.

작업순서

1. 수동접촉조건 입력

이름	Contact
접촉종류	일반접촉
주 접촉면 대상 종류	2D 요소
주 접촉면 대상 선택	2400개 선택
종속 접촉면 대상 종류	3D 요소면
종속 접촉면 대상 종류	65개 선택
접촉파라미터	Friction


2. [확인] 버튼 클릭.

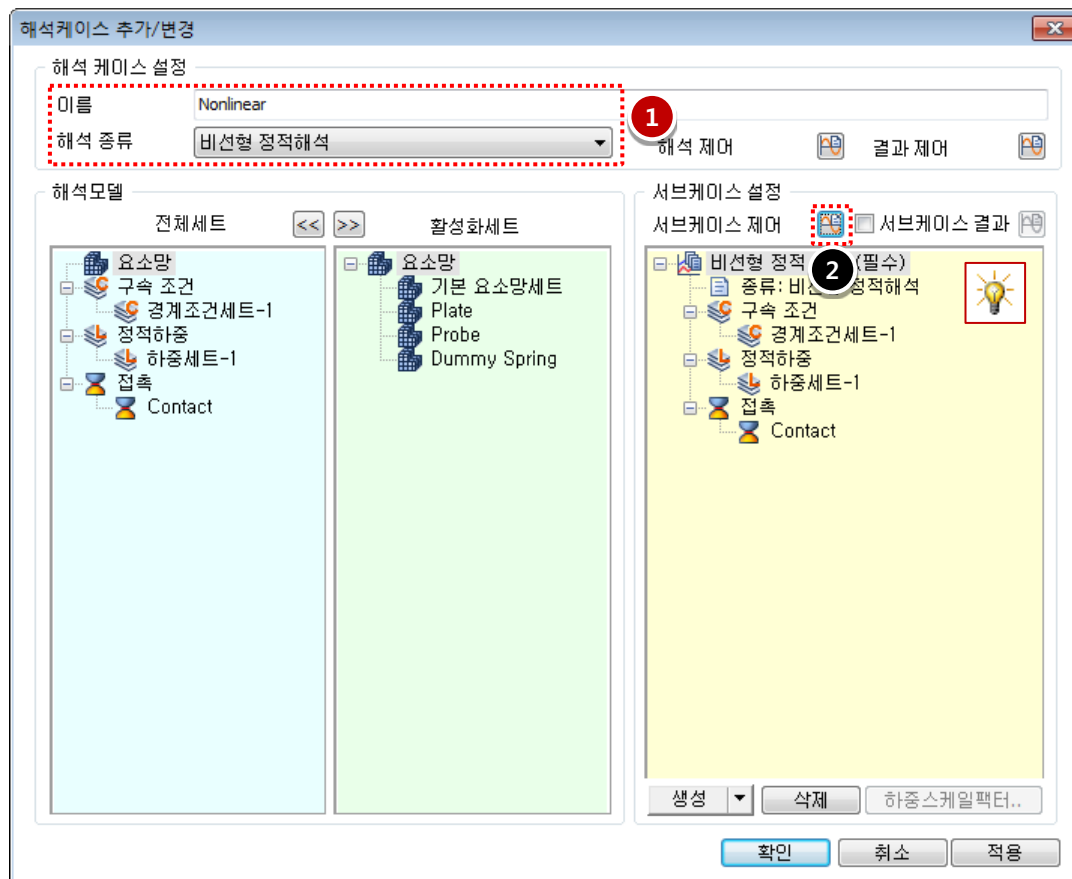
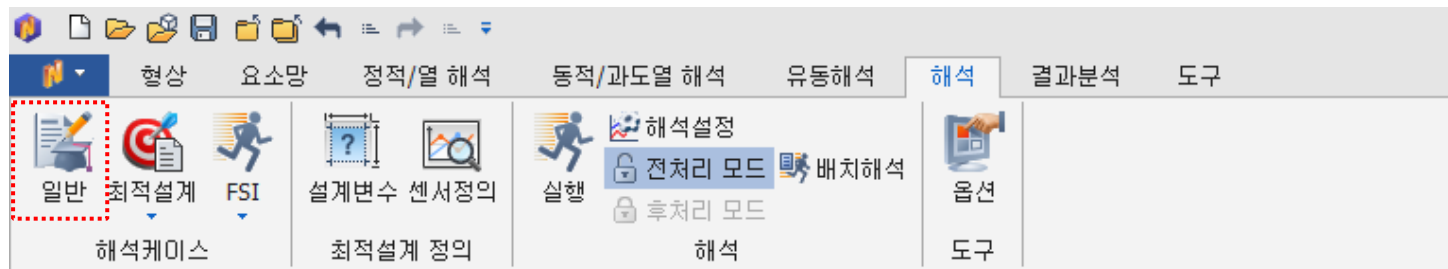


작업순서

1. 해석케이스 설정

이름	Nonlinear
해석 종류	비선형 정적해석

2. [] (서브케이스 제어) 버튼 클릭.
 (“비선형 정적 해석 (필수)” 서브케이스를 클릭해야 활성화됩니다.)



💡 기본적으로 현재 작업된 요소망세트, 경계조건, 하중조건 등이 모두 활성화됩니다.

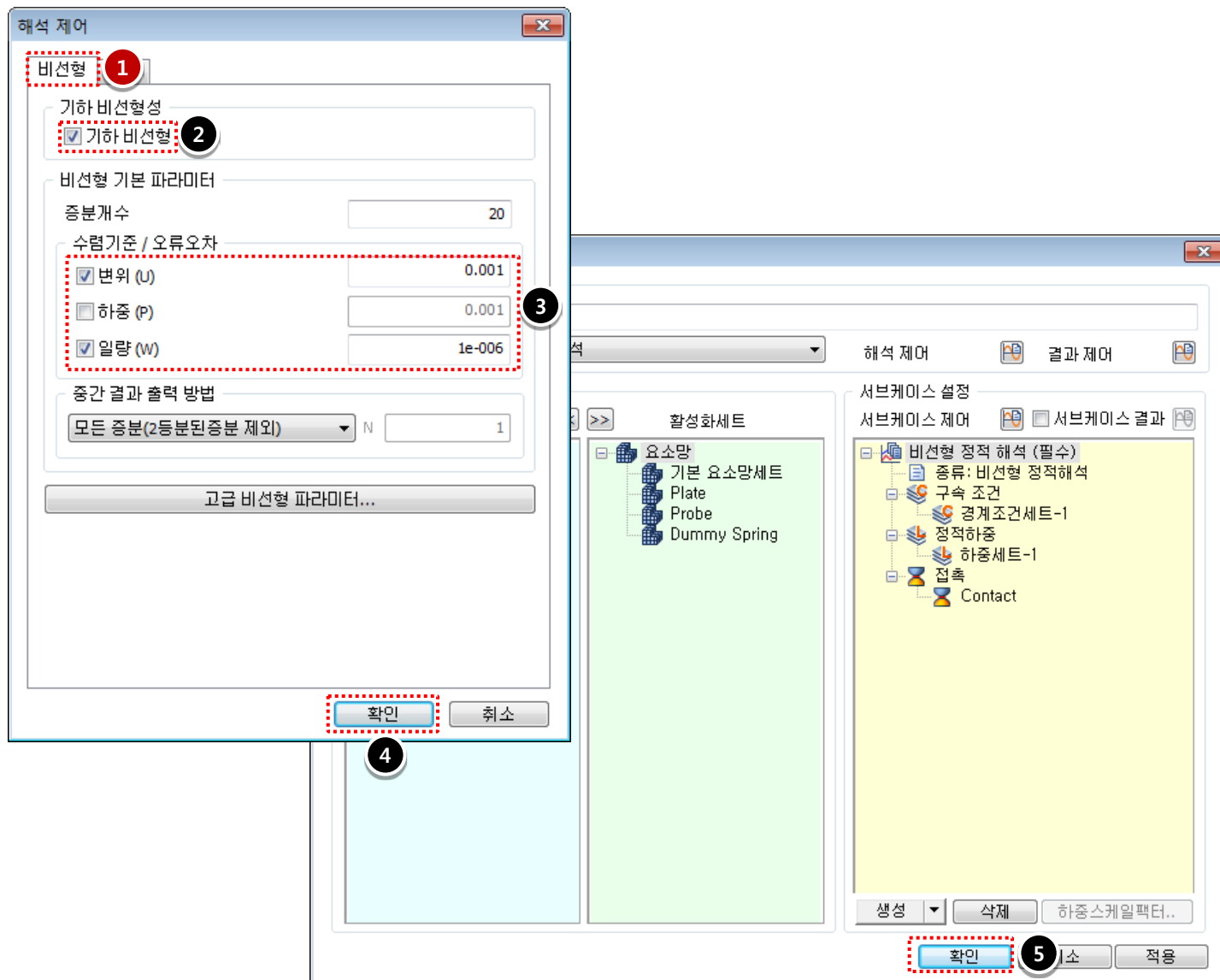
작업순서

1. [비선형] 탭 선택.
2. [기하비선형] 체크.
3. 비선형 기본 파라미터 설정

변위 체크	0.001
하중 체크 해제	
일량 체크	1e-6

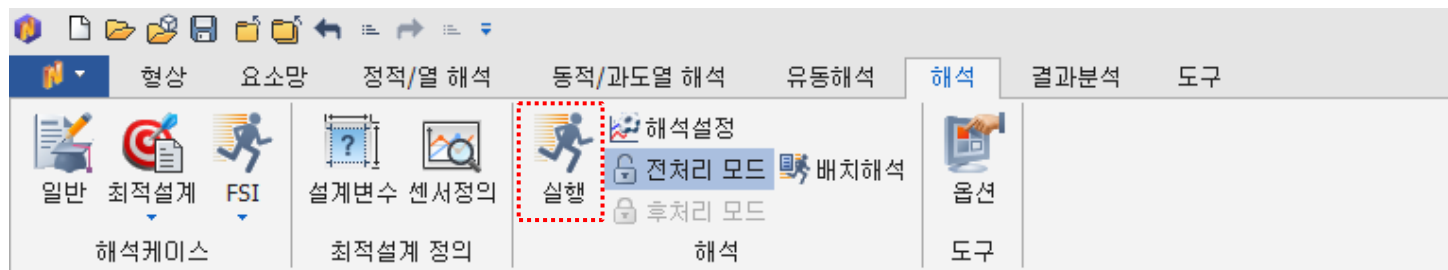
4. [확인] 버튼 클릭.
5. [확인] 버튼 클릭.

💡 일량을 기본으로 하여 변위와 하중 중에서 추가로 1개를 더 선택합니다. 일반적으로 변위 기준은 하중에 비해 수렴에 유리한 편입니다.

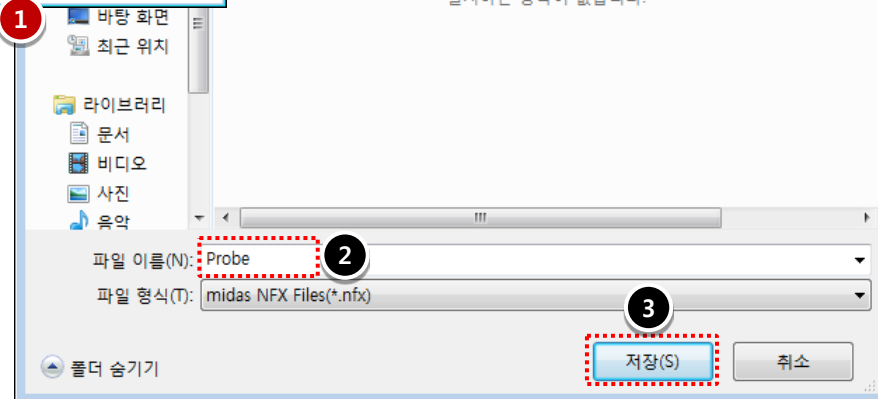
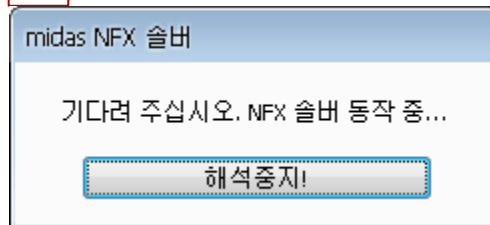


작업순서

1. [확인] 버튼 클릭.
2. 다른 이름으로 저장: **Probe** 입력.
3. [저장(S)] 버튼 클릭.



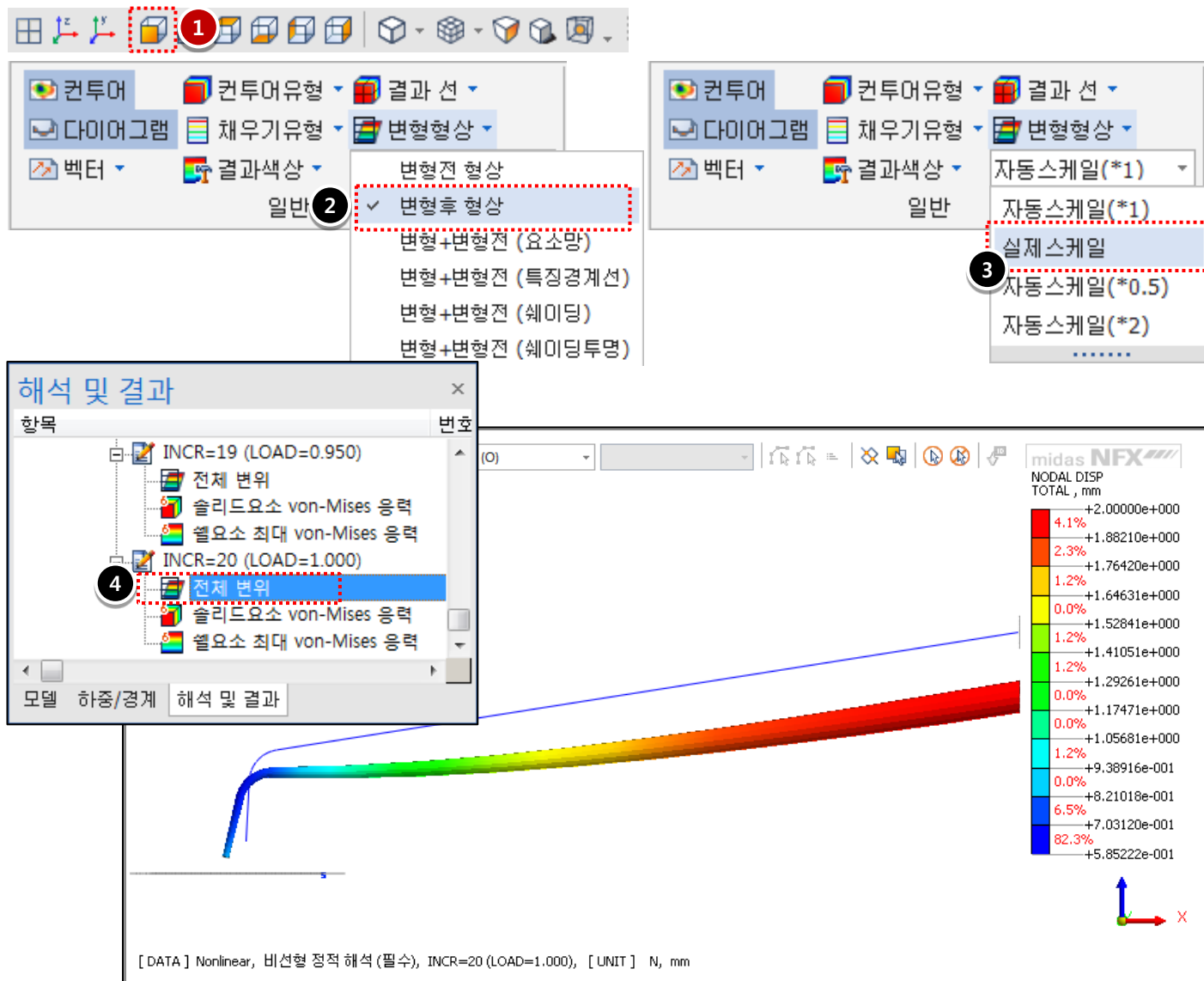
💡 해석을 실행하면 midas NFX 솔버가 작동됩니다. [해석중지!] 버튼을 클릭하면 해석이 중지됩니다.





작업순서

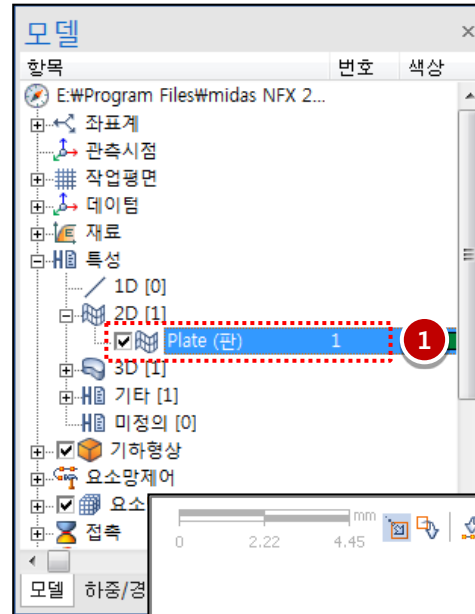
1. [] (정면) 클릭.
2. 결과분석 >> 일반 >> 변형형상 >> 변형후 형상 선택.
3. 결과분석 >> 일반 >> [실제스케일] 선택
4. 해석 및 결과 작업트리에서 전체 변위 더블 클릭.





작업순서

1. 모델 작업트리 >> 특성 >> 2D 에서
[Plate (판)] 에 체크.



💡 판 요소의 두께를 고려하여 접촉이 적용되었음을 확인할 수 있습니다.

