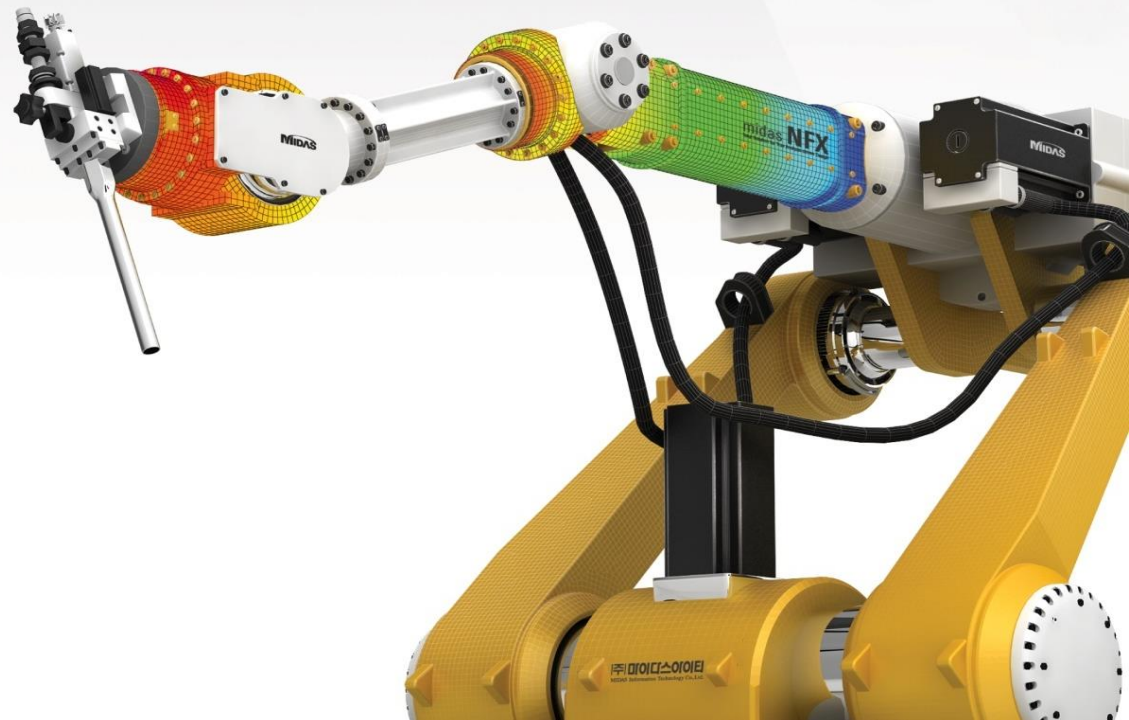


구조해석 기본 교육



1. CAE 개요

1.1 CAE란?

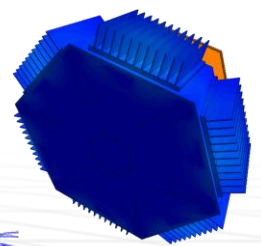
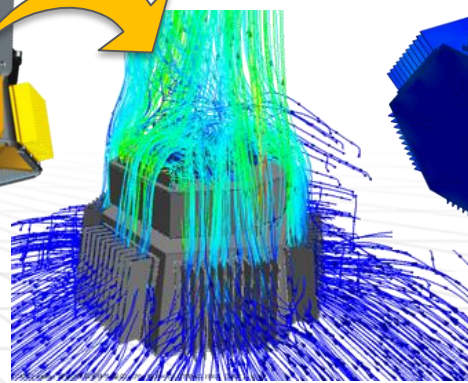
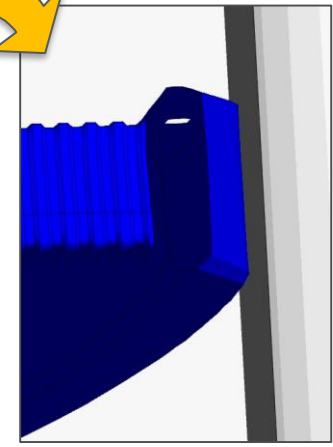
1.2 다양한 분야의 유한요소해석

1.3 수치해석법

컴퓨터 시뮬레이션 기술은 모든 공학 및 산업분야의 핵심 기반기술



실제 시험의 대체



설계 단계에서 시뮬레이션을 활용한 성능 평가 및 최적설계

모든 산업분야에서 기술경쟁력의 핵심

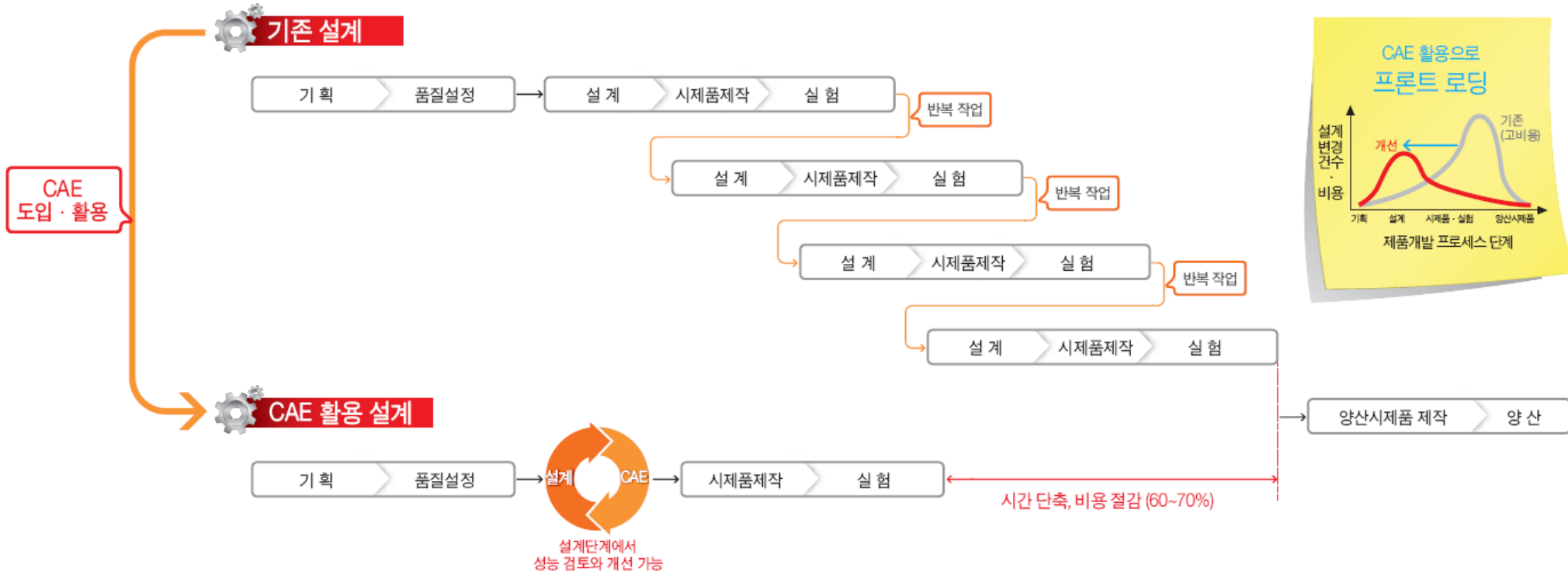
시장 현황과 CAE를 통한 기대 효과

✓ 시장 현황

1) 경쟁강화, 고객 기대치 상승, 소비자 기호 다양화, 수익기간 단축, 원자재 가격 상승, 우수한 품질 요구, 제품 주기 단기화

✓ CAE를 통한 기대 효과

1) 개발기간 단축, 비용 절감, 품질 향상, 환경보호, 정보공유 프리젠테이션, 안정성 기준 만족, 설계 효율화, 설계가치 향상

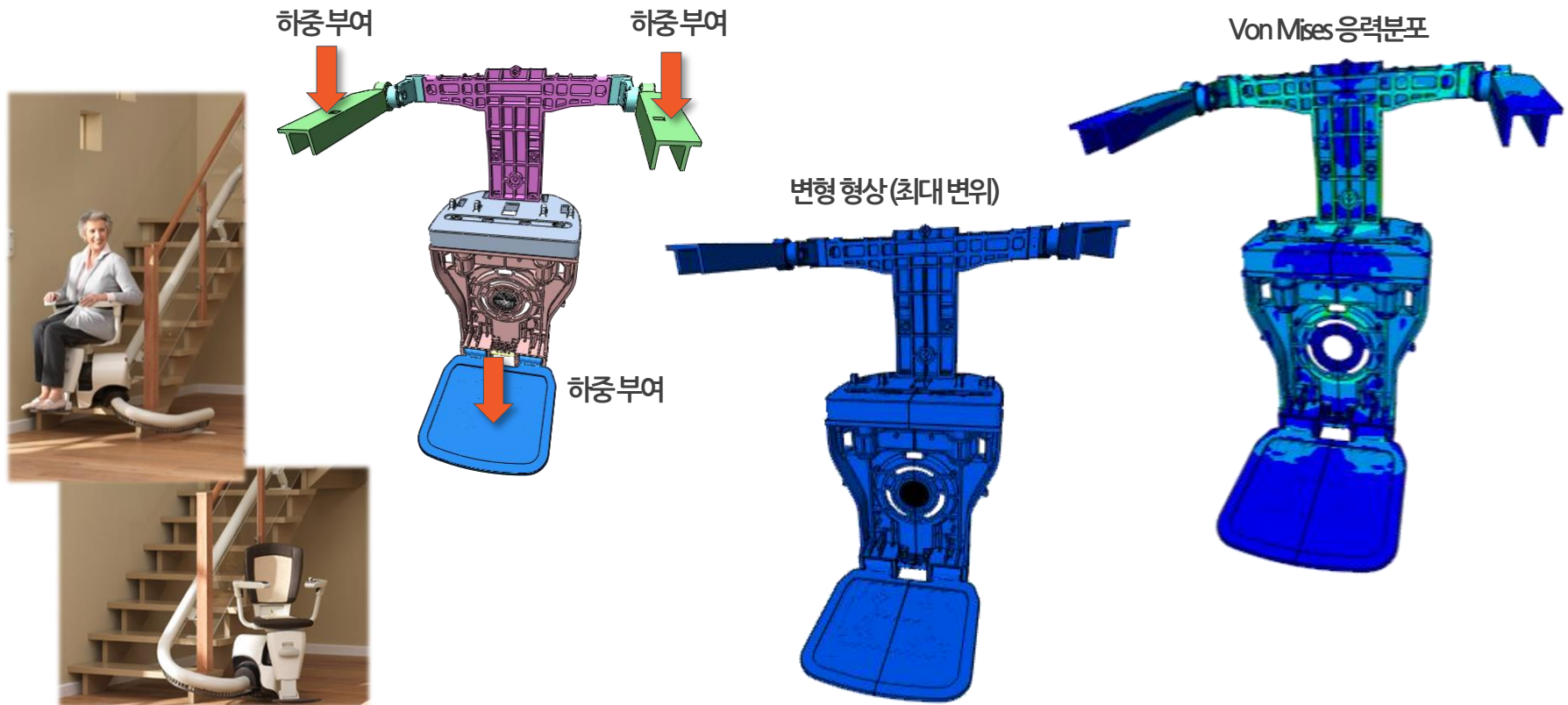


다양한 물리적 현상에 대한 유한요소해석 가능



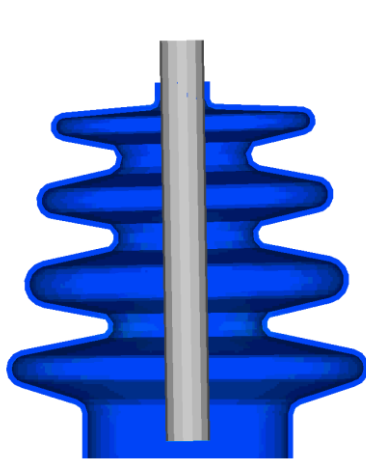
선형정적해석

- ✓ 외부하중에 대해 구조물의 변형을 검토하는 해석
- ✓ 재료가 Hooke's Law에 따라 탄성범위에 있고, 미소변형이 있고, 정적 하중이 작용하는 경우에 적용

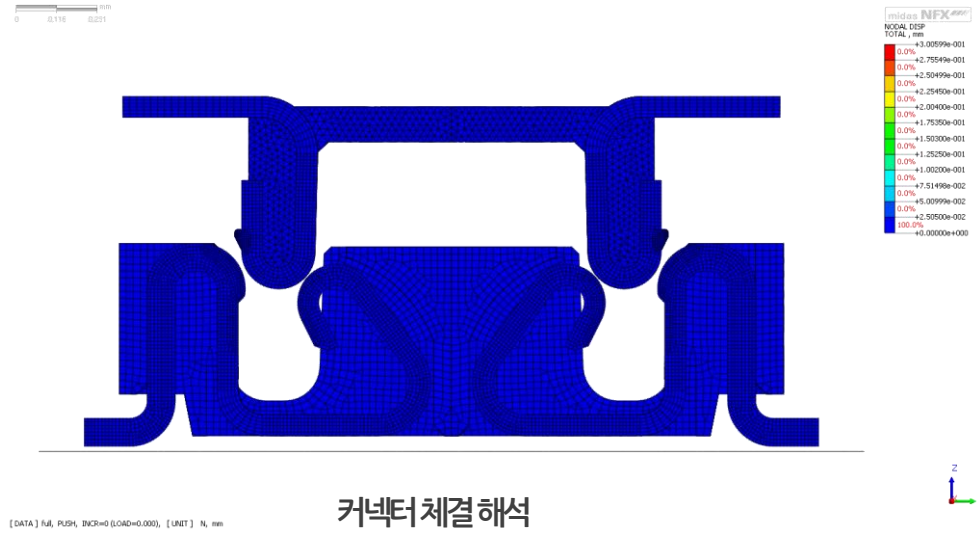


비선형 정적해석

✓ 재료 비선형, 접촉 비선형, 기하학적 비선형을 고려하는 경우에 수행하는 해석



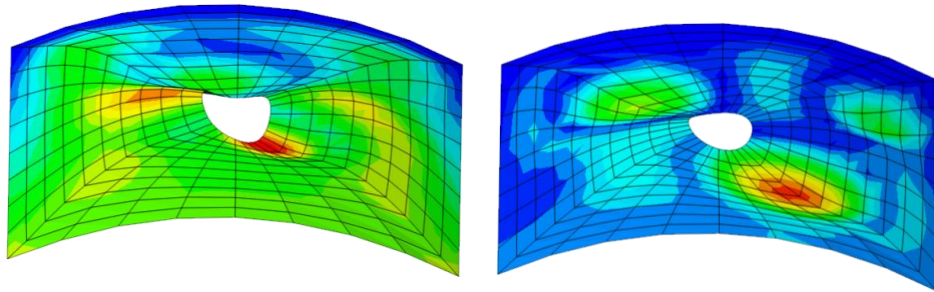
부트실의 비선형 접촉해석
(단일면 접촉)



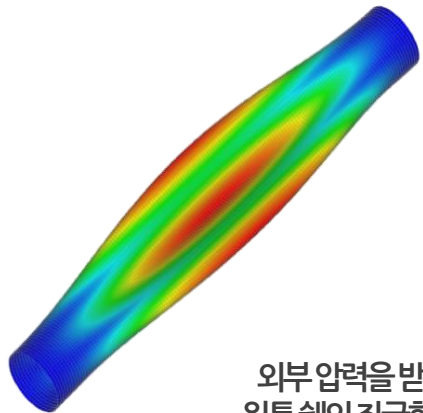
커넥터 체결 해석

좌굴 해석

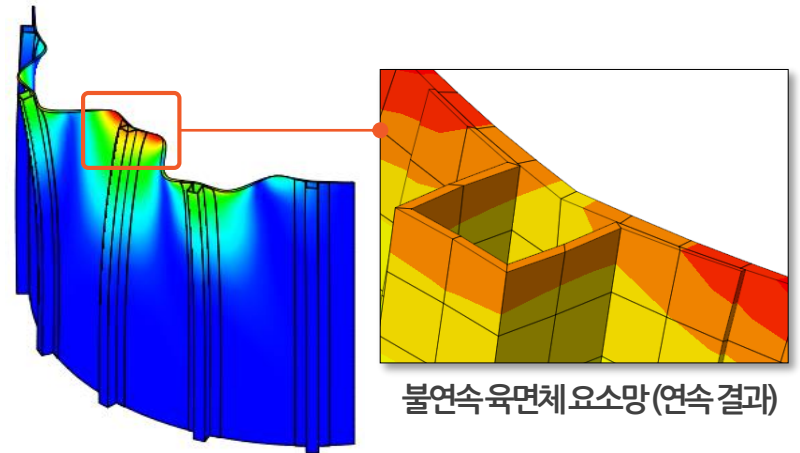
✓ 압축력이 작용하는 구조물에 대하여 좌굴하중 및 좌굴형상을 분석하는 해석



내부 구멍이 있는 복합재 패널의 좌굴형상
(복합재 쉘 요소 사용)



외부 압력을 받는
원통 쉘의 좌굴형상



불연속 육면체 요소망 (연속 결과)

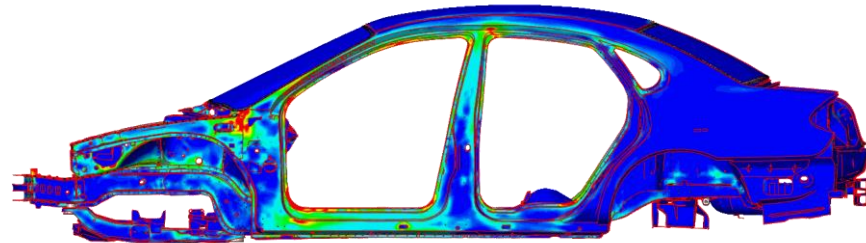
일체거동 접촉조건을 적용한 좌굴해석과 좌굴형상

모드 해석

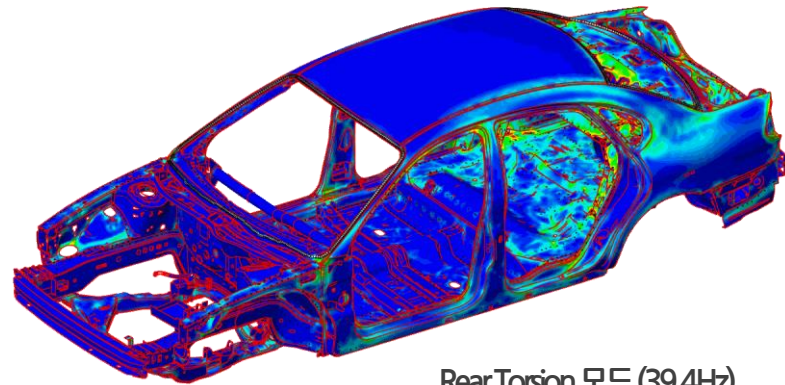
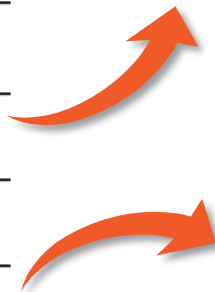
✓ 구조물의 고유진동수를 평가하고, 각 고유진동수에서의 모드 형상을 파악하여 구조물의 공진 여부와 진동 특성을 분석하는 해석

< 1st Front Bending과 Rear Torsion 모드 >

모드	주파수	모드 형상
1차	26.4 Hz	Front Upper
2차	30.9 Hz	Front Lateral
3차	32.9 Hz	Front Upper
4차	36.7 Hz	1st Front Bending
5차	37.8 Hz	2nd Rear Bending
6차	39.4 Hz	Rear Torsion



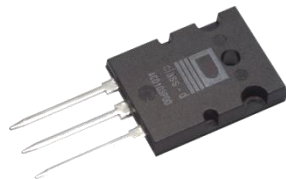
1st Front Bending 모드 (36.7Hz)



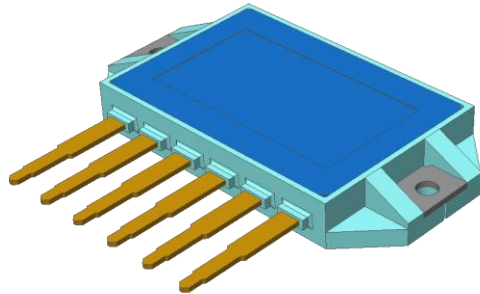
Rear Torsion 모드 (39.4Hz)

열전달 해석

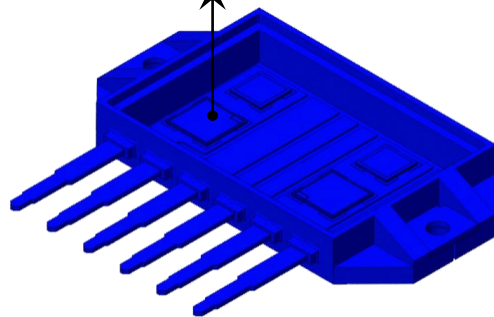
✓ 온도차에 의해 열흐름과 이에 따른 온도분포, 변화를 해석



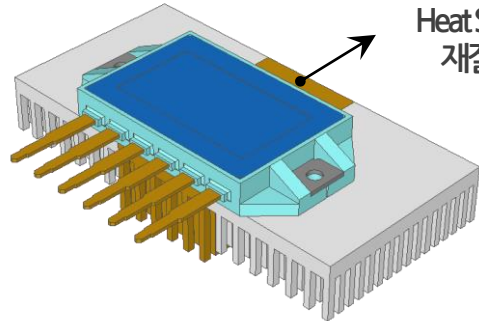
기존 설계안



최대온도 310°C

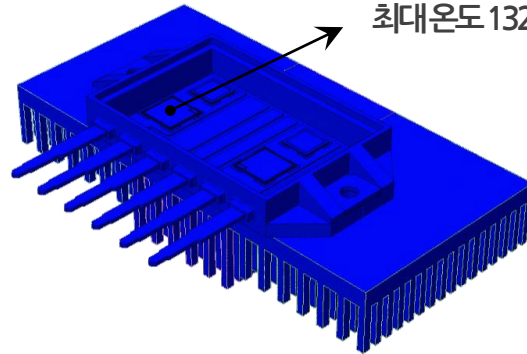


설계 개선안



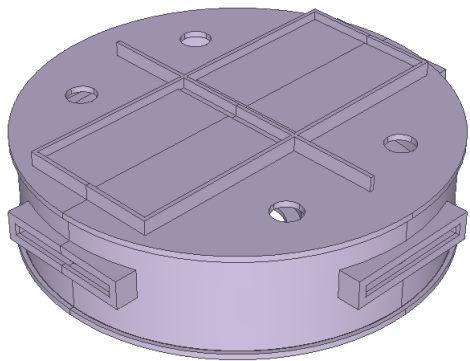
HeatSink 장착 재질 변경

최대온도 132°C



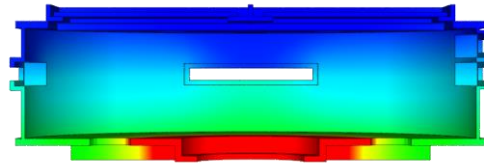
열응력 해석

✓ 온도변화에 따른 물체의 열변형 그리고 열응력을 해석

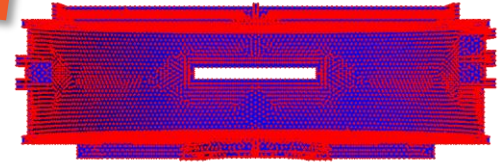


진공 챔버 모델

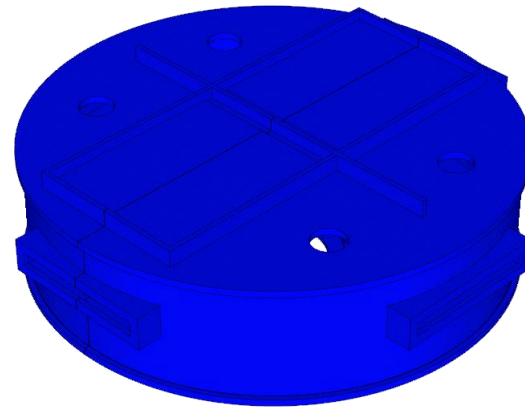
선형정적해석의 온도하중으로 자동 변환 및 부여



열전달 해석으로 온도분포 계산



선형정적해석
(진공 및 자중 추가부여)

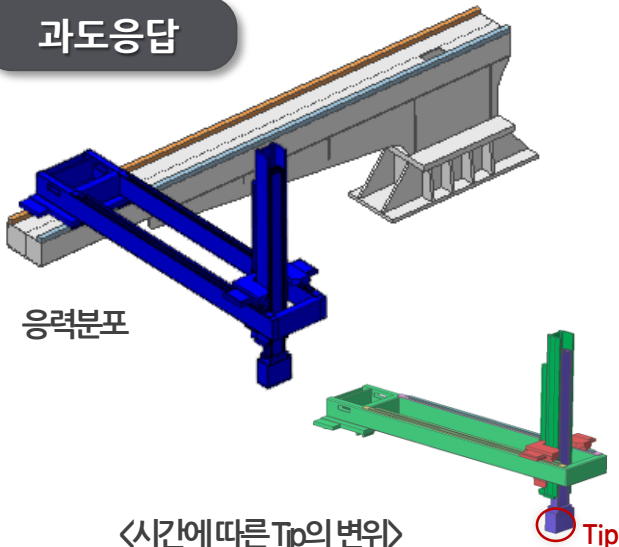


진공, 자중 및 열하중에 따른 변형 확인

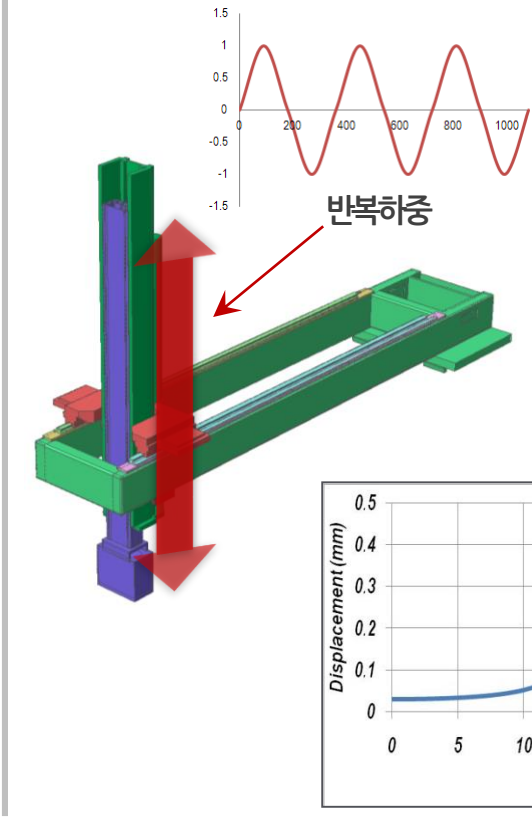
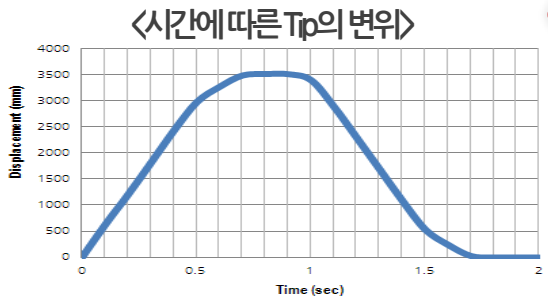
선형 동해석

✓ 시간에 따른 변동을 포함한 물체의 거동을 분석, 입력되는 하중의 형태에 따라 과도응답, 주파수응답, 랜덤진동, 응답스펙트럼 해석으로 구분

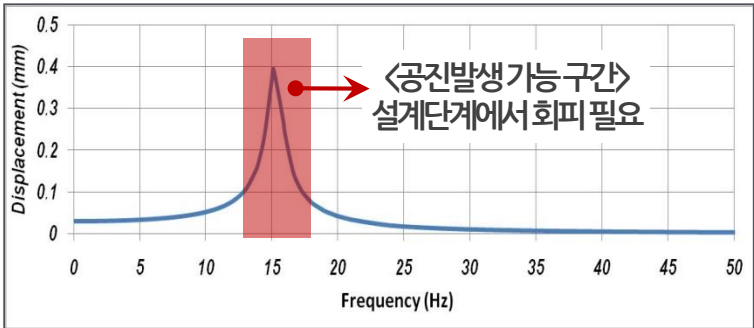
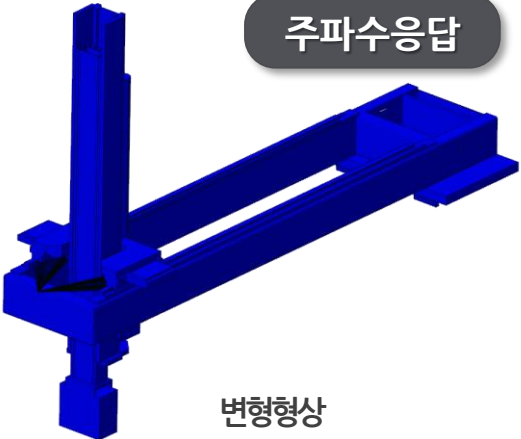
과도응답



응력분포



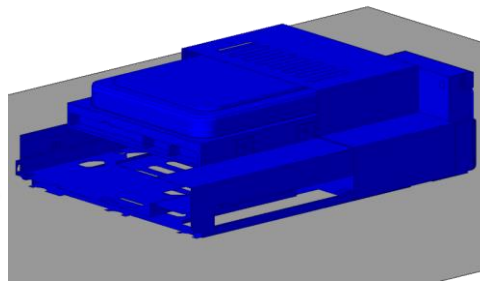
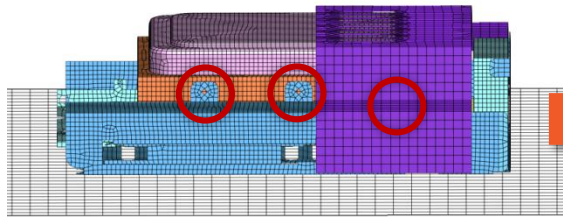
주파수응답



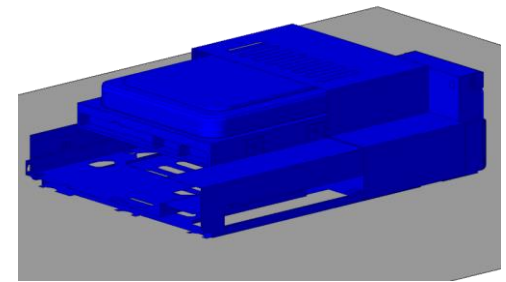
비선형 동해석

✓ 미소시간에 발생하는 충돌해석, 낙하해석에 효율적인 해석 방법

1m 높이에서 0° 자유낙하



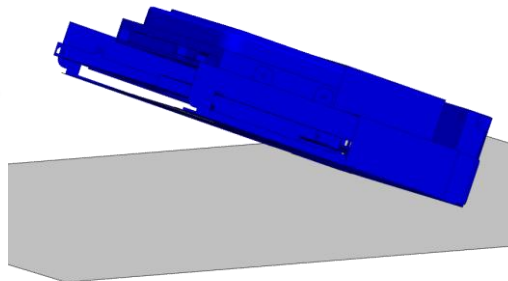
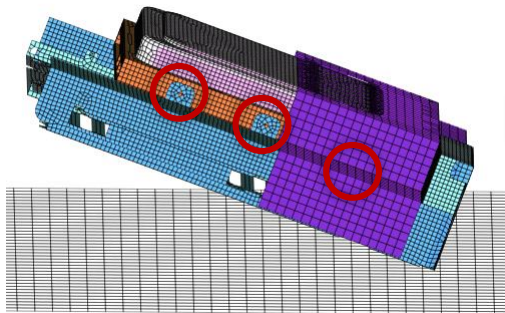
거동 및 변위분포



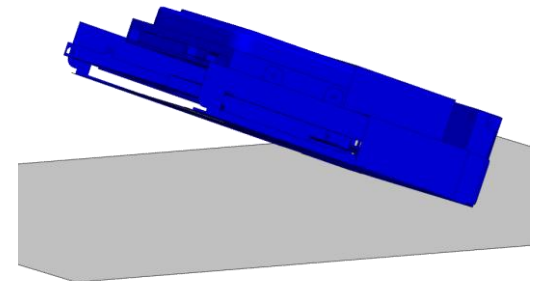
응력분포

- 최대 변위가 허용범위를 초과하지 않음을 확인
- 관심부의 최대 응력이 허용응력을 초과하지 않음을 확인

1m 높이에서 30° 자유낙하



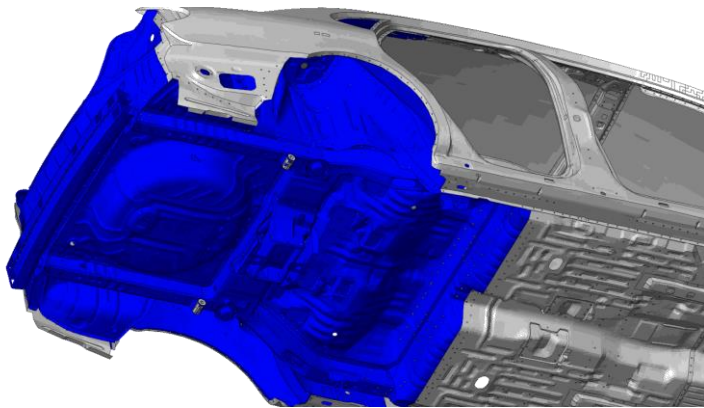
거동 및 변위분포



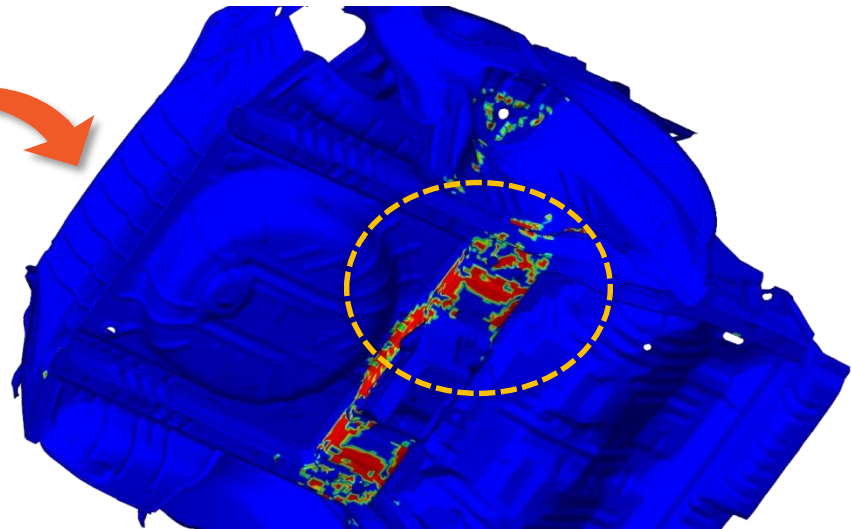
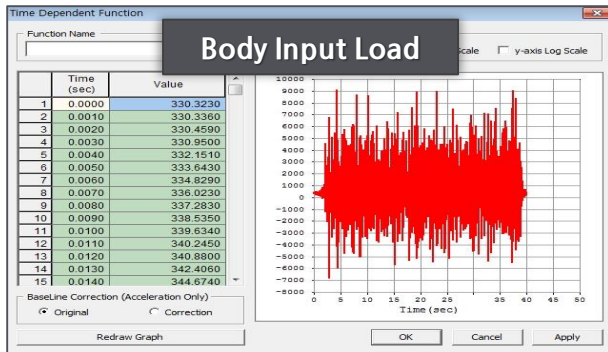
응력분포

피로 해석

✓ 반복하중을 받는 물체의 피로수명을 예측하는 해석



과도응답해석 결과



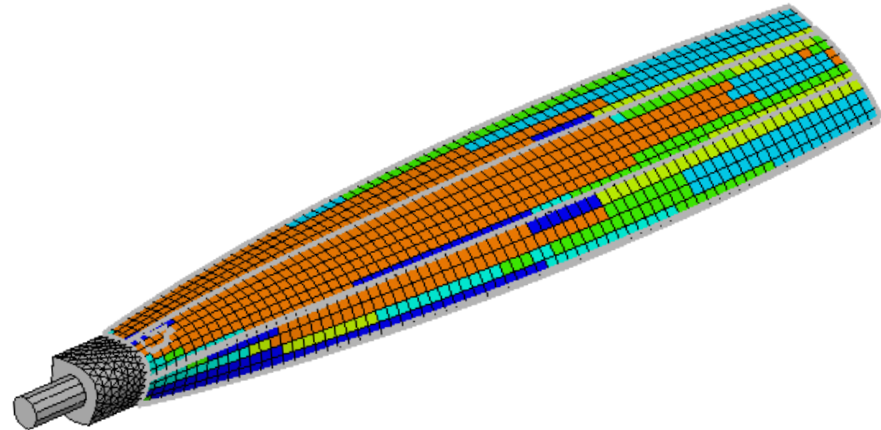
SWT 방법과 e-N (변형률 수명) 방법을 사용한 피로해석 결과

복합재료 해석

✓ 적층형 복합재 구조물의 거동을 분석하는 해석

이름	두께 (mm)	부호	오리엔테이션 각도	섬유 유형
	10.0000	+	0	No
	20.0000	+	45	No
	30.0000	+	90	No
	30.0000	+	90	No
	20.0000	+	45	No
	10.0000	+	0	No

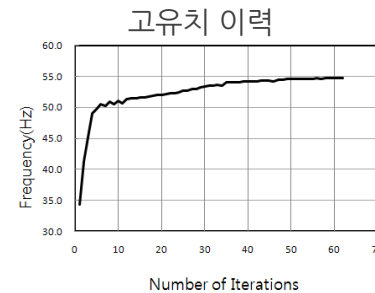
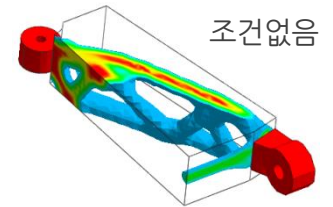
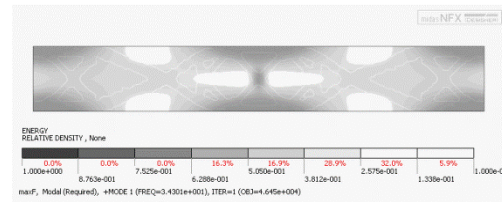
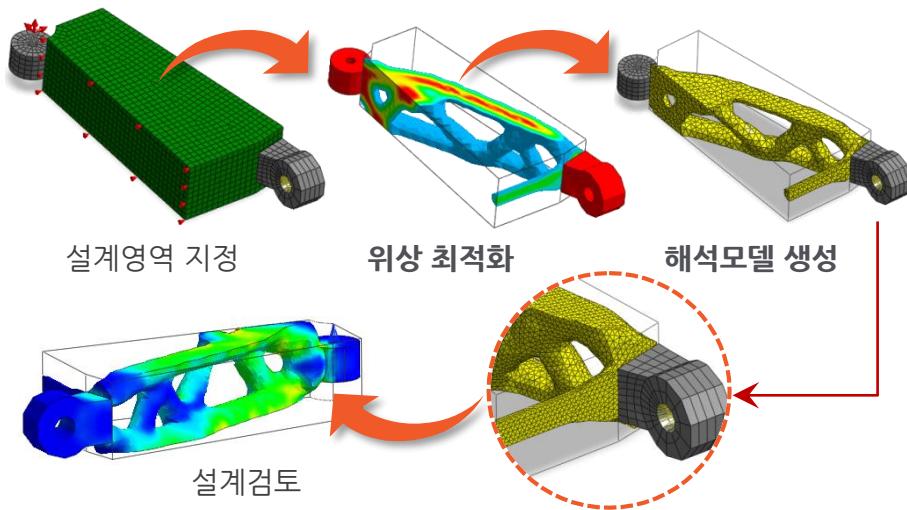
복합재 적층구조 정의 대화상자



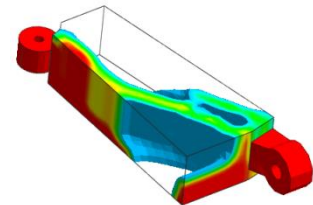
풍력발전기의 복합재 블레이드

위상최적화 해석

✓ 제품이나 시스템에 대해 향상시키고자 하는 목적함수와 목표에 수반되는 제약조건으로 구성되며 또한 성능을 향상시키기 위하여 설계하고자 하는 각종 변수인 설계변수를 정의하여, 최적의 설계안을 찾아가기 위해 물체의 구조를 최적화하는 해석



<제작조건 (성형방향)>



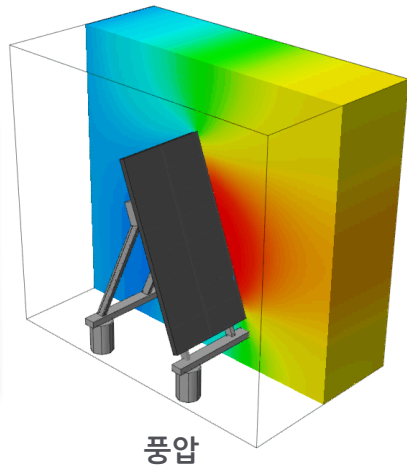
최대고유치를 가지는 최적설계

제작공정을 고려한 위상최적설계

유동 해석

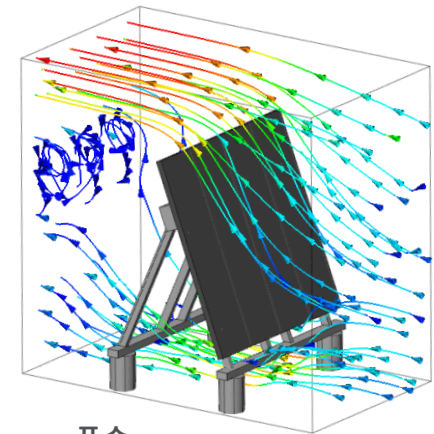
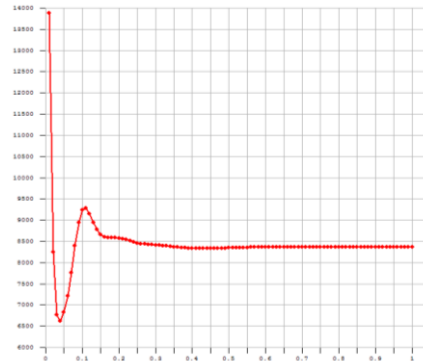
✓ 액체와 기체의 속도, 압력, 온도 등과 같은 특성치를 해석

유동해석



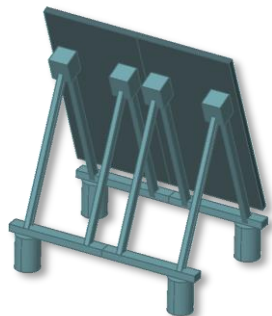
풍압

<판넬 전면의 풍압>

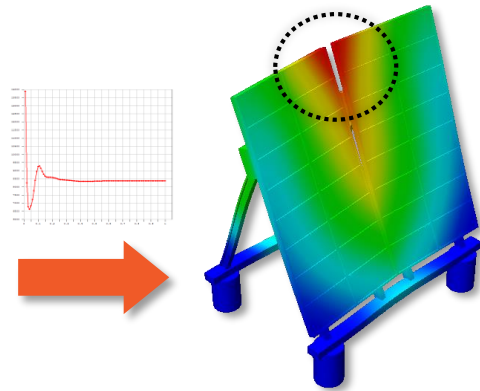


풍속

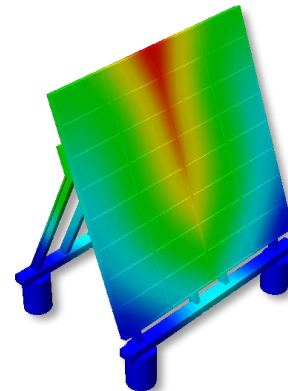
구조해석



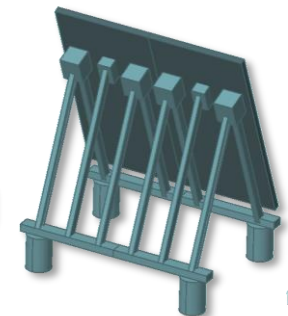
초기안



기판 변형 (최대응력 2.88×10^7)

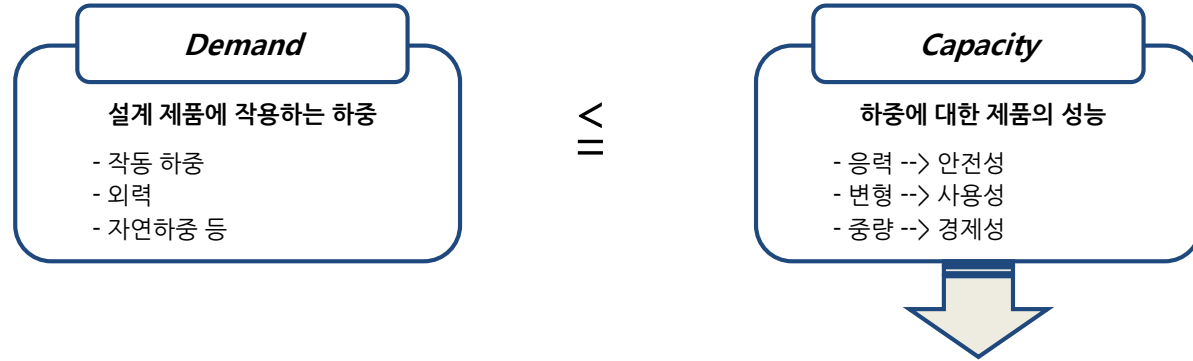


기판 변형 (최대응력 2.47×10^7)



지지부 보강

공학적 문제 (Engineering Problem) 해결 방법



구조해석법

을 이용하여 제품의 성능 확보

**실험
(Experiment)**

실물(축소)모형 + 실험장치를 이용하여 재현

- ✓ 고가의 실험장치
- ✓ 실험의 장기화
- ✓ 구현의 한계성



**고전적 이론
(Classical Method)**

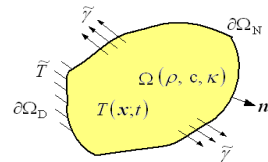
자연현상에 대한 수학적 표현의 해를 구함

- ✓ 자연현상을 미분방정식으로 표현
- ✓ 형상의 복잡성으로 실무 문제 거의 적용 불가

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-k \nabla T) = \dot{q} \text{ in } \Omega \times (0, t] \text{ 지배방정식}$$

$$T = T_0 \text{ at } t = 0 \text{ 초기조건}$$

$$\left. \begin{aligned} T = \tilde{T} \text{ on } \partial\Omega_D \\ -k \nabla T \cdot \mathbf{n} = \tilde{\gamma} \text{ on } \partial\Omega_N \end{aligned} \right\} \text{ 경계조건}$$

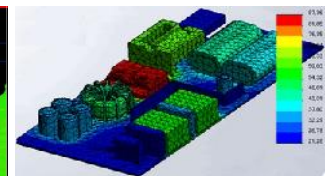
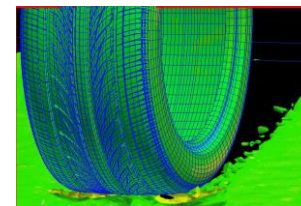
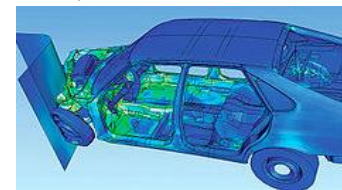


$\partial\Omega_D$ ~ 변위 경계영역
 $\partial\Omega_N$ ~ 하중 경계영역
 $\tilde{\gamma}$ ~ 열유동

**수치해석
(Numerical Analysis)**

수학적 표현을 행렬식으로 전환 근사해 산정

- ✓ 실험과 이론이 안고 있는 문제 해결 가능
- ✓ 공학, 자연과학을 넘어 학문 전 분야로 확산



2. 유한요소해석

2.1 유한요소해석이란?

2.2 해석 프로세스

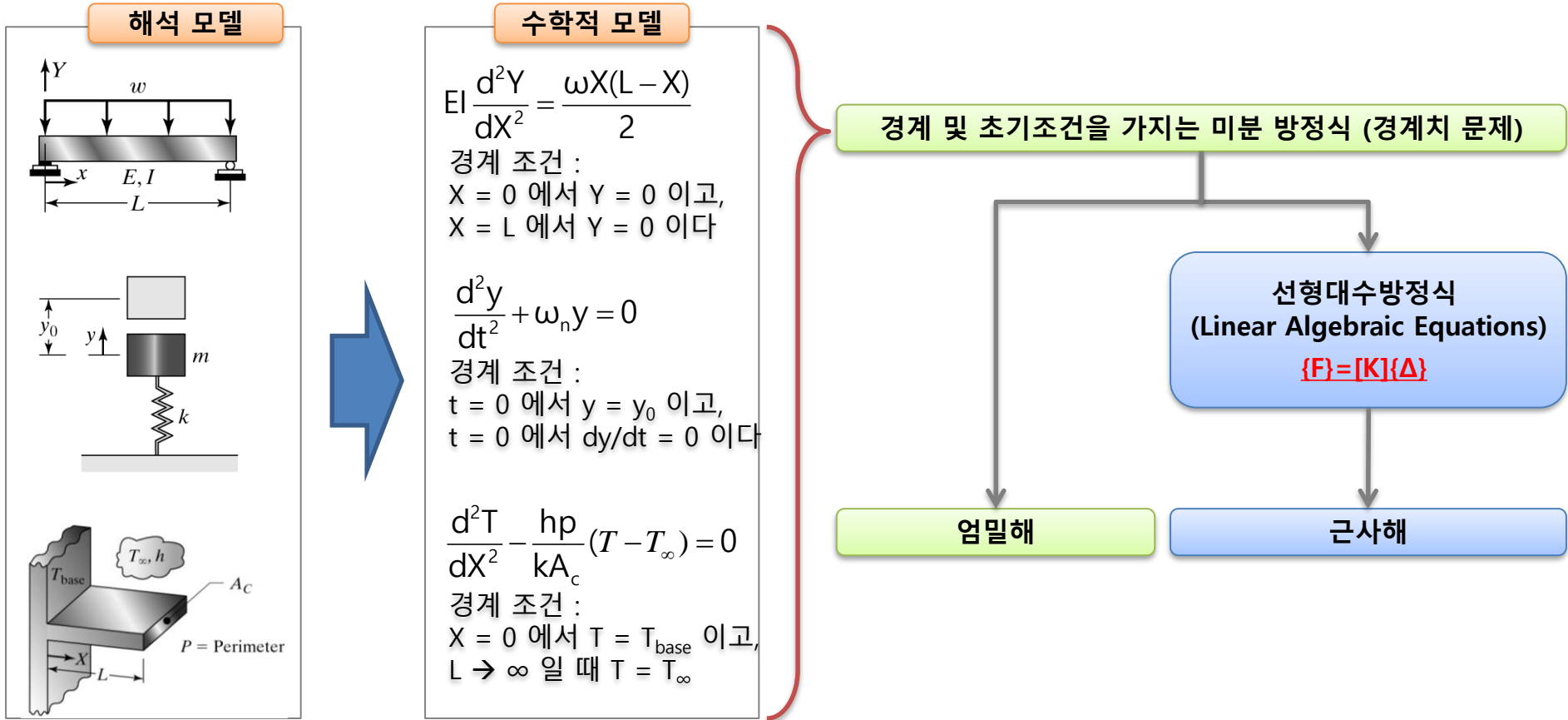
2.3 요소망

2.4 요소

2.5 유한요소 해석의 특징

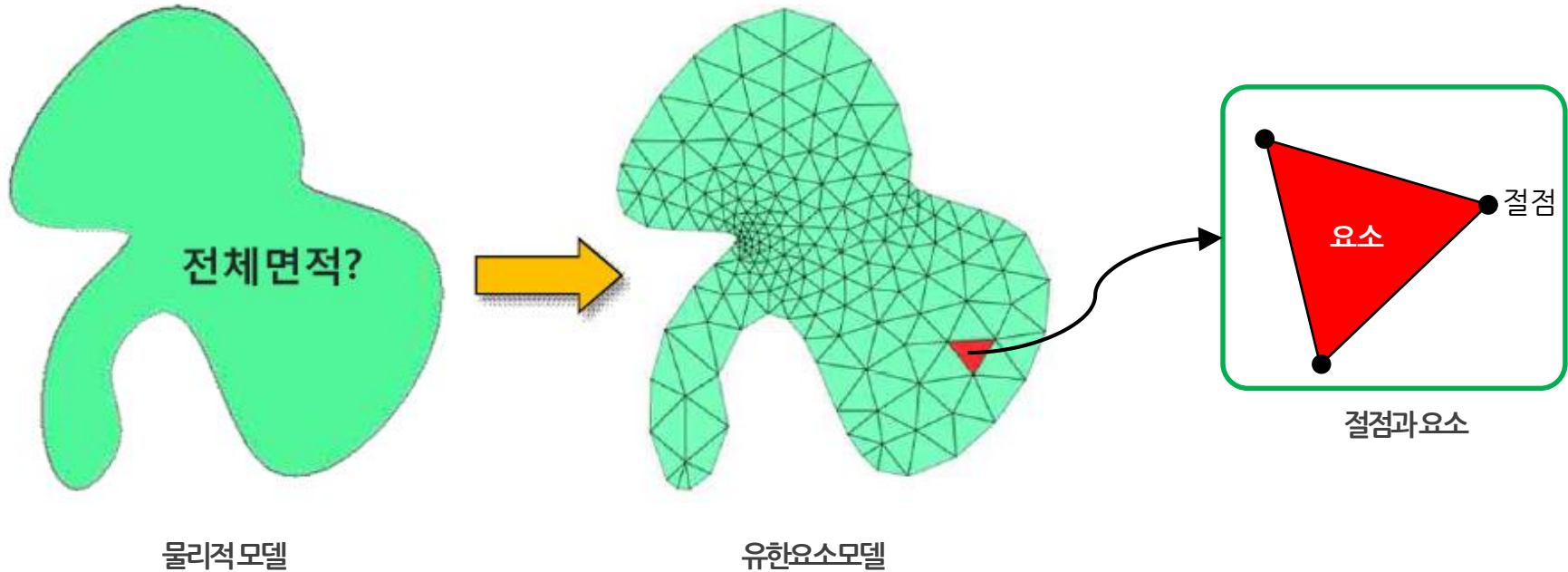
고체역학 → 유한요소법

✓ 간단한 형상의 문제일 경우 고체역학으로 엄밀해를 구할 수 있지만, 복잡한 형상일 경우 엄밀해를 구할 수 없기 때문에 유한요소법과 같은 수치 기법을 이용하여 근사해를 구한다.



유한요소법이란?

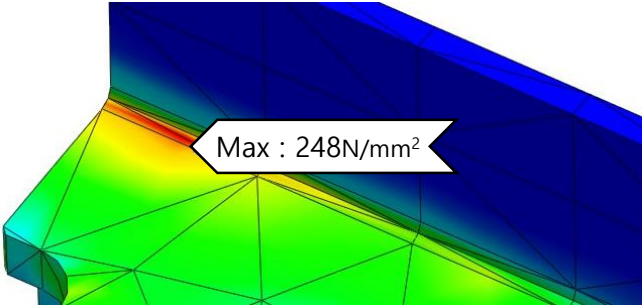
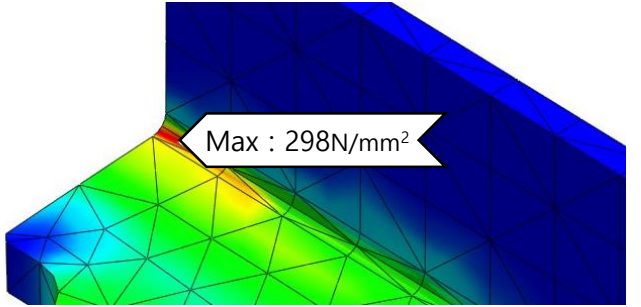
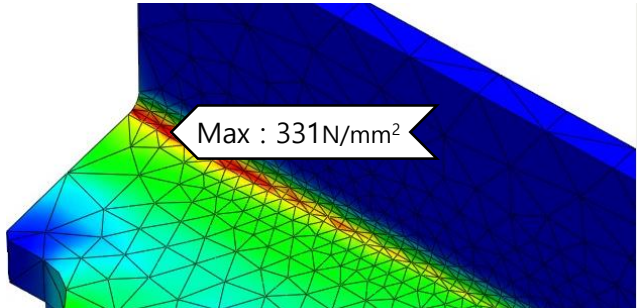
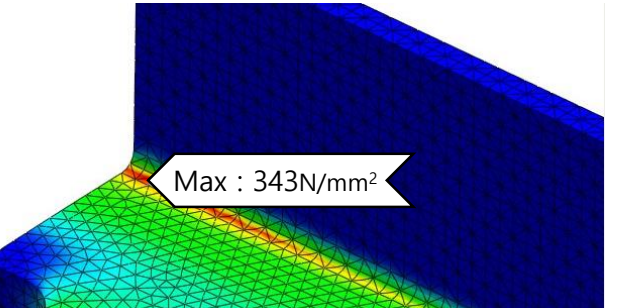
- ✓ 이론해를 직접 구하기 어려운 복잡한 모델을 우리가 조작할 수 있는 유한개의 요소(element)로 분할한 다음 개별 요소의 특성을 계산한 뒤 전체 요소의 특성을 모두 조합하여 근사적으로 계산하는 방법이다.
 - 1) 미분방정식을 직접 풀지 않고, 이를 선형대수방정식(Linear Algebraic Equations)로 근사화하여 해를 구한다.



- 💡 위의 그림 왼쪽과 같은 임의 모양의 영역의 면적을 구하고자 할 경우?
 - ▷ 오른쪽 그림과 같이 여러 개의 삼각형으로 분할하면 삼각형 하나의 면적은 간단하게 계산할 수 있다.
 - ▷ 영역의 전체 면적은 삼각형 면적의 총합으로 근사적으로 구할 수 있다.

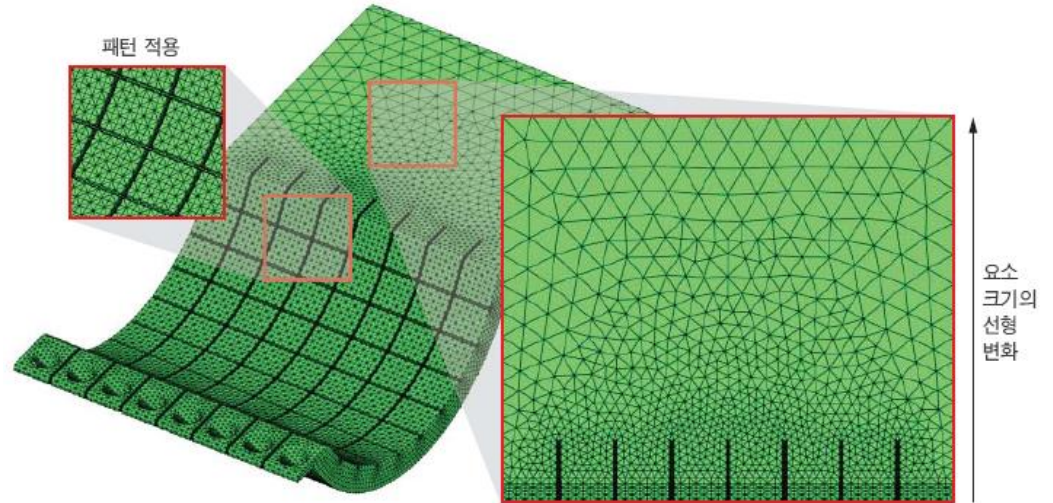
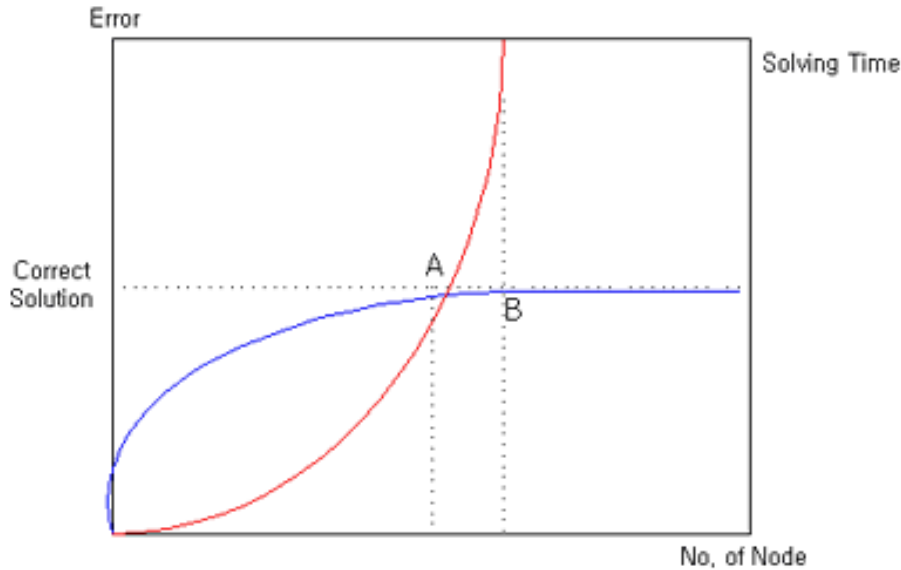
요소망의 조밀도 차이에 따른 해석 결과 비교

- ✓ 동일 모델, 하중 조건, 경계 조건, 재질을 이용한 선형 정적 해석 시 응력 결과 비교
 - 1) Case 3 : 중요한 해석 결과 부분으로 예상되는 영역의 요소망 조밀도를 높여서 생성
- ✓ Case 4 결과 대비 절점 수는 94% 작으나 해석 결과 차이는 4% 내의 차이를 나타낸다.

분류	Case 1		Case 2	
응력 결과	 <p>Max : 248N/mm²</p>	절점수 : 1775개	 <p>Max : 298N/mm²</p>	절점수 : 4002개
		해석시간 : 0.17s		해석시간 : 0.39s
분류	Case 3		Case 4	
응력 결과	 <p>Max : 331N/mm²</p>	절점수 : 6754개	 <p>Max : 343N/mm²</p>	절점수 : 114580개
		해석시간 : 1.25s		해석시간 : 51.96s

요소망의 조밀도

- ✓ 근사해의 정확도를 향상시키기 위해 요소의 개수를 증가시키는 것이다.
 - 1) 요소망의 조밀도는 해석 결과의 정확도와 해석의 경제성을 모두 고려하여 선택한다.
 - 2) 요소망이 조밀해질수록 해석 결과의 정확도는 향상되지만, (절점/요소의 증가로 인해) 해석 시간과 메모리 사용량은 증가한다.
- 💡 형상의 변화가 심한 부분, 응력 집중이 예상되는 부분과 재질 및 하중이 변하는 부분에는 보다 조밀한 요소망을 작성한다.
 결과가 중요하지 않은 부분, 기하 형상의 변화가 거의 없는 부분에는 상대적으로 큰 요소를 사용한다.
 인접한 요소간의 크기 차이가 지나치게 크지 않도록 해야 한다. 가급적 요소 크기가 선형으로 매끄럽게 변할 수 있도록 요소망을 작성한다.



적절한 요소망 조밀도에

💡 B지점은 A지점에 비해 요소의 수가 많지만 결과의 정확도는 크게 증가 되지 않는다.
 해석시간은 약 2배 정도 더 소요된다.
 엔지니어 입장에서 B 지점보다 A지점이 유용하지만 A점의 상태를 찾기란 매우 어렵다.

요소의 종류

✓ 요소는 하위 절점(좌표 정보)이 정의하는 기하학적 차원(특성)에 따라 분류할 수 있다.

✓ 요소별 특성(추가 요구사항)을 반드시 입력해야 한다.

1) 요소의 역학적 거동은 고려하지 않고 순수하게 기하학적 측면에서 요구되는 추가적인 입력 사항

1D 요소에서는 두 개의 양끝 절점이 길이만 정의할 수 있으므로, 실제 3차원 모델의 부피를 계산하기 위해 추가적으로 단면적(단면형상) 정보가 필요
유한요소법을 올바르게 활용하기 위해 가장 중요한 핵심사항은 올바른 요소의 선택과 사용이며, 이를 위해서는 각 요소의 거동 특성(활용, 제약사항)과 하위 절점의 자유도(종류)에 관한 이해가 필요

분류	실제 모델	유한요소 표현 (절점으로 정의되는 기하특성)	추가 요구사항 (실제부피 계산)
1D	 봉(트러스) 보	 길이 (L)	면적 (A, 단면형상) → $V = L \times A$
2D	 셸, 평면응력, 평면변형률, 축대칭 등	 면적 (A)	두께 (t) → $V = A \times t$
3D	 솔리드	 부피 (V)	없음 (부피계산 가능)
기타	스프링, 질량, 강체연결 등	-	

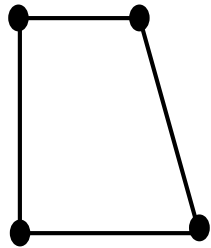
저차 요소와 고차 요소

✓ 저차 요소(1차 요소)

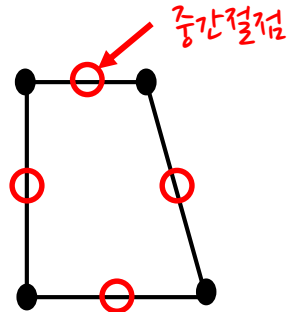
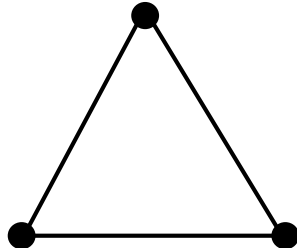
1) 요소의 한 변의 형상이 직선이고 요소변위는 1차의 보간함수(interpolation function)로 나타냄

✓ 고차 요소(2차 요소)

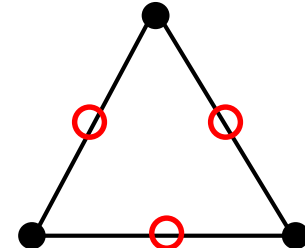
- 1) 요소의 한 변의 형상이 직선 또는 2차 곡선이고, 요소변위를 2차의 보간함수로 나타냄.
- 2) 요소의 한 변을 2차 곡선으로 형상정도가 가능하기 때문에 곡선이 많은 모델에 효과적.
- 3) 같은 크기의 1차 요소와 비교하여 할 때, 좀 더 정확한 해석 결과를 얻을 수 있음.



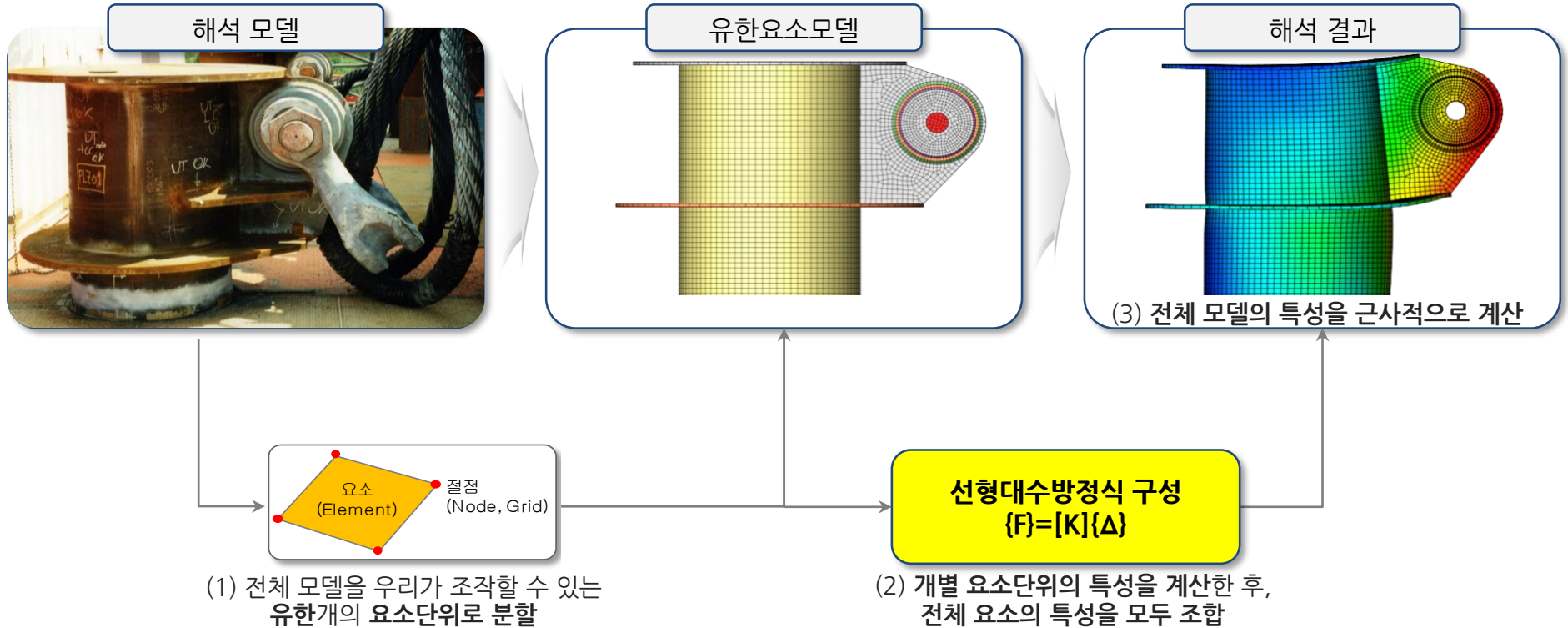
1 차 요소



2 차 요소



유한요소법 개요



행렬 방정식

$$[K]\{\Delta\} = \{f\}$$

	특성(characteristic)	거동(behavior)	작용(action)
행렬방정식	[K]	{ Δ }	{ f }
	행렬 (N*N)	벡터 (N*1)	벡터 (N*1)
응력 해석	강성(stiffness)	변위(displacement)	힘(force)
온도 해석	열전도(conduction)	온도(temperature)	열속(heat flux)

✓ 특성 : 해석 종류에 따라 요구되는 대상 구조물의 재료 물성치 / 형상

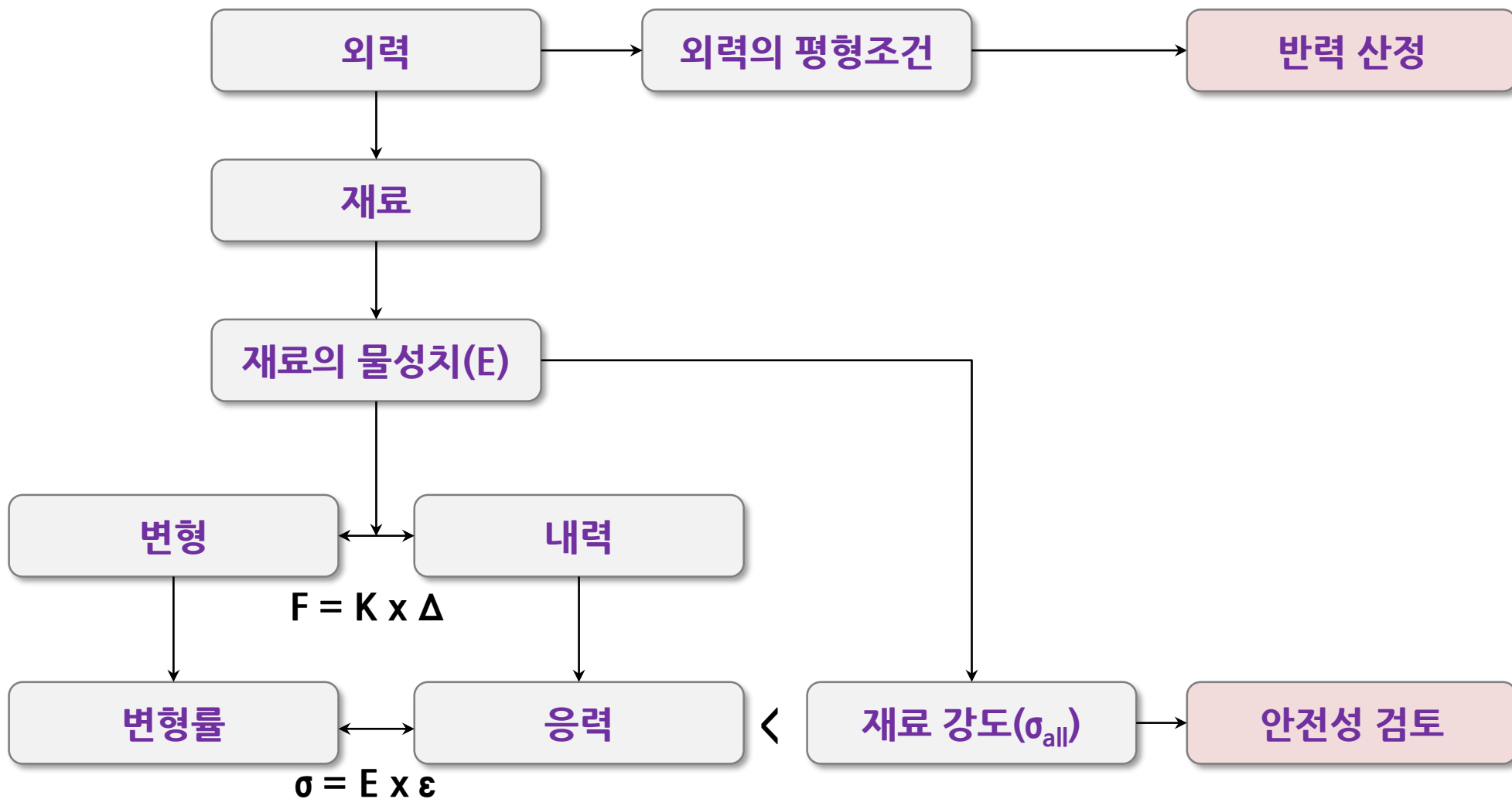
1) 강성(stiffness)

- ① 응력해석에서 특성은 구조물의 강성이다
- ② $K \cdot \Delta = f$ 의 식에서 변위 Δ 를 1로 놓으면 $K \cdot 1 = f$ 가 되고, 강성의 의미는 단위변형($\Delta=1$)을 발생시키는데 필요한 힘의 크기를 의미한다.

💡 강성이 크다는 것은 단위변형을 발생시키는데 더 큰 힘이 필요하다는 것, 구조물이 그만큼 강하다는 것을 의미한다.
 강성이 작다는 것은 작은 힘으로도 쉽게 단위 변형을 발생시킬 수 있다는 것, 구조물이 그만큼 약하다 또는 유연하다는 의미이다.

✓ 거동 : 구하고자 하는 계산 대상인 미지수, 즉 ‘자유도’

구조해석 (Structural Analysis)



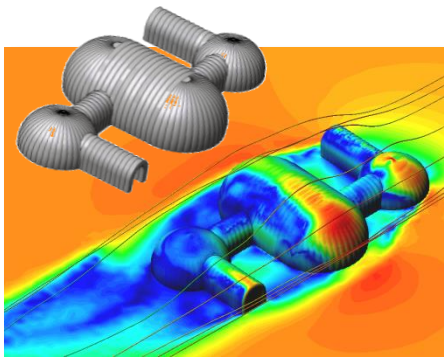
유한요소해석의 장/단점

✓ 장점

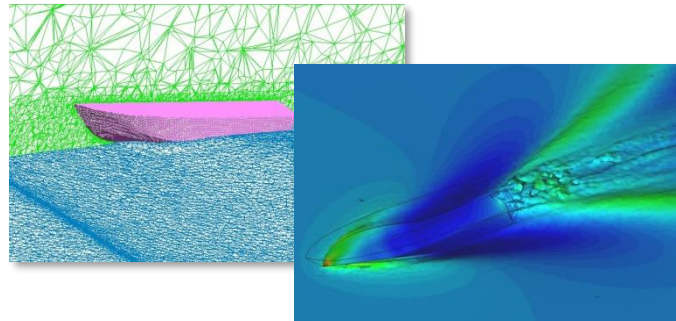
- 1) 기하학적 형상, 하중 및 경계조건에 제한이 없다.
- 2) 여러 가지 복합재의 연속체에서도 해석이 가능하다.
- 3) 물성치 및 거동의 비선형도 적용이 가능하다.
- 4) 응력, 좌굴, 진동, 열, 유동 해석 등 공학의 모든 분야에 활용이 가능하다.

✓ 단점

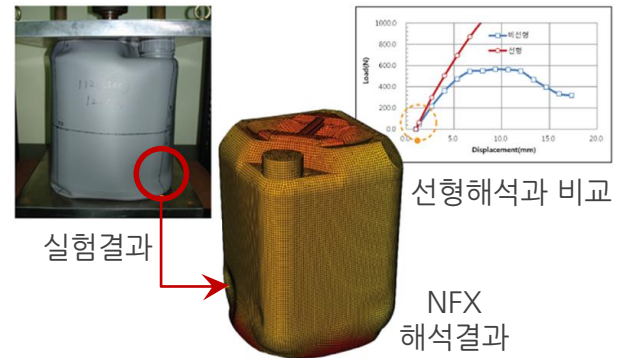
- 1) 초보자가 사용하기 쉽지만, 결과의 신뢰성 평가는 경험이 필요하다.
- 2) 국부 응력 해석 시 일반적인 모델링이 어렵다.
- 3) 실제 구조물을 유한 요소 모델로 이상화 시키기 위해서는 많은 경험과 지식이 필요하다.
- 4) 대형 구조물인 경우 컴퓨터의 성능에 많은 영향을 받는다.



건물 풍동 난류 해석



선박 안정성 검토



실험결과

선형해석과 비교

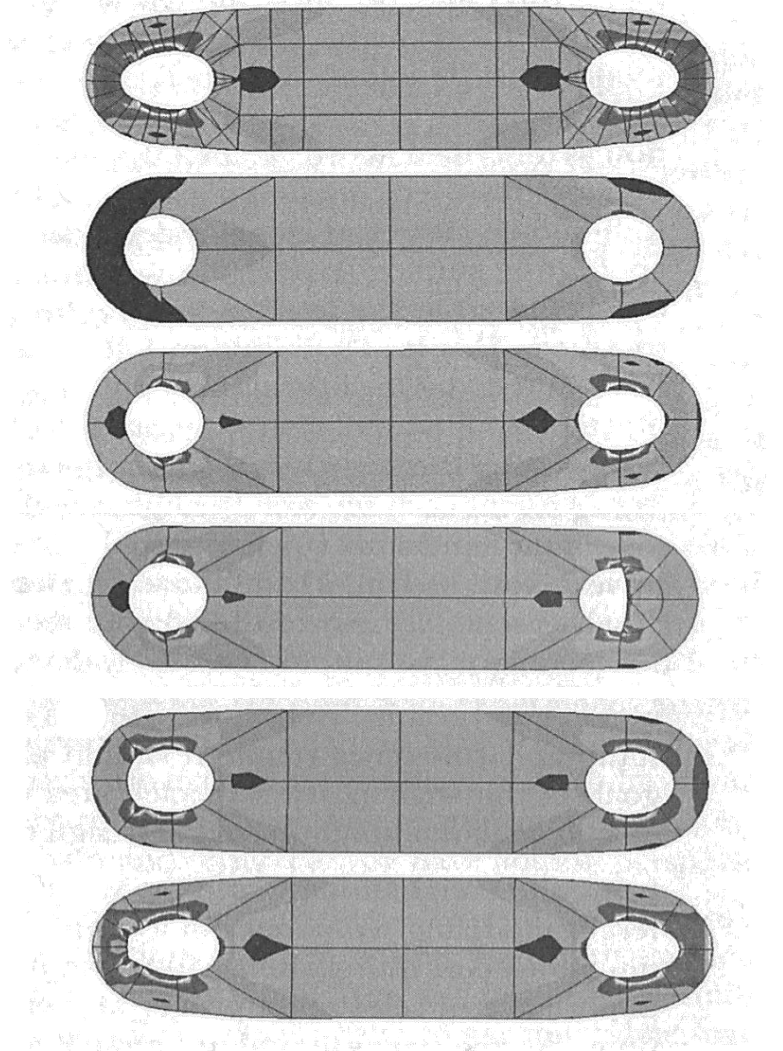
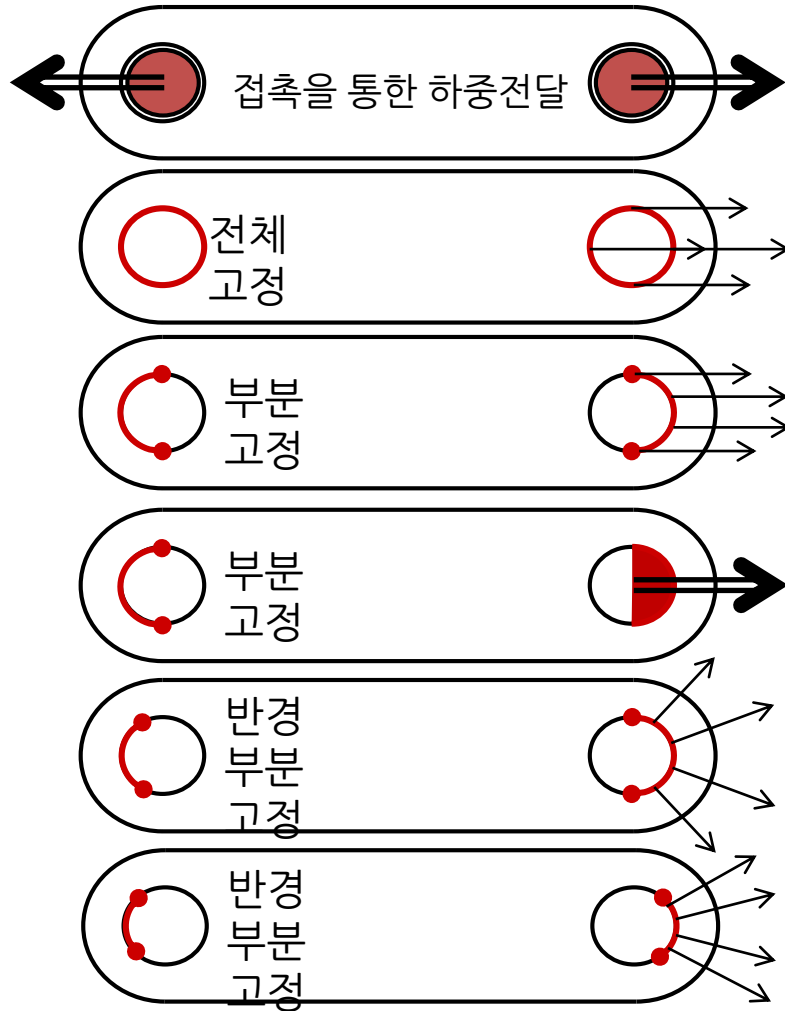
NFX
해석결과

폴리에틸렌 용기의 좌굴해석 (기하 비선형)

공학의 모든 분야에서 활용 가능하나 해석 결과의 평가는 많은 경험/지식이 필요

경계 조건에 따른 해석 결과 차이

: 경계조건 부위의 응력이 중요한 경우



유한요소해석에 대한 오해

✓ 요소망 생성이 해석의 모든 것이다?

- 1) 요소망은 해석 수행을 위해 필요한 하나의 입력 데이터
- 2) 해석 결과의 정확성은 경계 조건/ 재료 물성치/ 실제 부품 형상의 충실도 등에 영향을 받는다.

✓ 유한요소해석은 구조 실험과 재료 시험을 대체할 수 있다?

- 1) 새로운 해석 문제의 수행 초기 단계에서는 구조 실험과 재료 시험의 횟수가 오히려 증가할 수 있다.
- 2) why) 새로운 해석 과정에 대한 확신을 얻어야 하기 때문, 다양한 종류의 실험을 통하여 예상치 못한 문제를 찾을 수 있기 때문에 유한요소해석은 구조 실험 또는 재료 시험과 상호 보완적이다.

✓ 유한요소해석은 쉽다? or 어렵다?

- 1) 많은 설계자들이 모델링된 실제 해석 문제의 다양성과 입력 값에 따른 결과의 복잡한 변화를 간과하고 성급하게 결론을 내리거나 설계를 결정한다.
- 2) 해석 결과의 의미를 제대로 이해하고 정확성을 제대로 검증하기 위해서는 다양한 매개변수들의 의미와 유한요소해석 실행 방법에 대한 충분한 이해가 있어야 한다.
- 3) 해석 결과를 구하는 것은 전체 해석 과정의 절반에 불과할 뿐이다. 재료와 파괴 모드에 대한 공학적 지식과 모델에 적용한 가정에 대한 충분한 이해가 있어야 해석 결과를 제대로 분석할 수 있다.

✓ 인터페이스를 배우는 것은 유한요소해석을 배우는 것과 같다?

- 1) 해석 프로그램의 인터페이스를 빨리 익히고, 쉽게 프로그램을 다룰 수 있기 때문에 정확한 결과를 얻는 것이 아니라 해석에 대한 많은 경험이 필요하며 해석 결과를 제대로 이해/분석할 수 있어야 설계에 적절히 반영할 수 있다.

3. 해석의 기초

3.1 선형정적해석

3.2 재료 물성치 이해

3.3 해석 프로세스 및 기능

선형정적해석(Linear Static Analysis)

- ✓ 모든 해석의 기본, 출발이 되는 해석
- ✓ 외부하중의 작용에 대해 구조물의 변형과 강도적 안정성을 검토하는 해석

“선형 정적 해석”

- ✓ 물체에 작용하는 하중과 물체의 응답(변위, 응력 등)의 관계가 선형(직선)임을 의미
- ✓ 다음의 조건을 만족
 - 1) 재료가 탄성영역 내에서 **후크의 법칙**(Hooke's Law)을 따라 거동함. (↔ 재료비선형)
 - 2) 발생변형에 의한 구조물의 강성변화를 무시할 수 있을 만큼 **변형이 작아야 함**.(↔ 기하비선형)
 - 3) 하중이 작용하고, 이로 인한 구조물의 변형이 발생하는 동안 **경계조건이 변하지 않아야 함**.
(↔ 경계비선형 전처)

- ✓ 관성력과 감쇠력(동적거동을 표현하는 특성들)을 무시하고, **작용하중이 시간에 따라 변하지 않은** 근사조건인 해석
- ✓ 정적해석의 목적은
 - 1) 정적 해석의 목적은 **응력 집중이 되는 것을 방지**하여 파손이 일어나지 않도록 하는 것
 - 2) 균일한 응력 분포를 갖도록 불필요한 부분은 없애고 필요한 부분은 더욱 보강하는 **최적설계를 유도**하는 것

중첩의 원리

✓ 선형(linearity)의 가장 큰 특징은 중첩(superposition)의 원리가 적용 가능하다는 점

원리 1) $f(x + y) = f(x) + f(y)$

여러 개의 하중조건에 대해 개별적인 해석을 수행하고, 그 결과를 조합하여 전체하중 또는 다양한 하중조합에 대한 결과를 계산할 수 있음

EX) 자중(중량, weight)과 온도, 압력, 세 개의 하중이 작용하는 구조물에 대한 선형 정적 해석을 수행할 경우

- : 세 개의 하중 전체를 한번에 적용, 해석하여 전체하중에 대한 결과를 확인할 수 있음
- : 세 개의 하중에 대해 개별적으로 해석하고, 중첩(조합)으로 전체 하중이 작용했을 때의 결과와 각각의 결과 등 다양한 부분하중의 조합결과를 확인할 수도 있음

원리 2) $f(a \cdot x) = a \cdot f(x)$

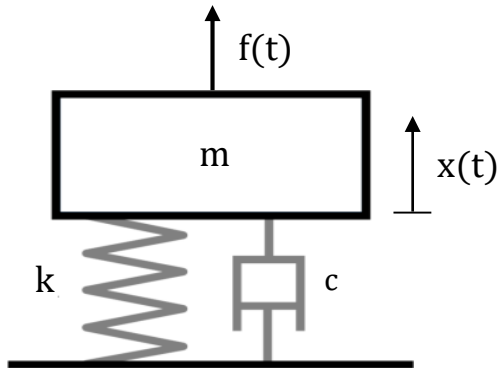
하중의 크기 변화에 대해 재해석 또는 반복해석을 수행할 필요 없이 비례관계로 결과를 계산할 수 있음

EX) 선형 정적 해석에서는 입력인 하중의 크기가 N배 증가하면, 변위 등 출력결과도 N배 비례 증가



선형정적해석 - 지배 방정식

✓ 일반적으로 구조해석에서 사용하는 지배방정식은 다음과 같이 정의 (단자유도계 기준)



- m 질량
- c 감쇠계수 (damping coefficient)
- k 스프링상수 (spring constant)
- x(t) 변위
- f(t) 외력

$$\underline{m\ddot{x}} + \underline{c\dot{x}} + \underline{kx} = f(t)$$

→ 복원력(Elastic force)
 → 감쇠력(Damping force)
 → 관성력(Internal force)

단자유도계(single DOF system)의 운동방정식

주요한 재료 물성치

- ✓ 탄성계수(modulus of elasticity, Young's modulus)
 - 1) 물체의 늘어난 량에 대한 외부 힘의 상대적인 비
 - 2) 응력-변형률 선도(stress-strain diagram)의 탄성 범위 내에서의 기울기
 - 3) 후크의 법칙 : 탄성영역에서 변형량(변형률)은 하중(응력)의 크기에 비례한다.

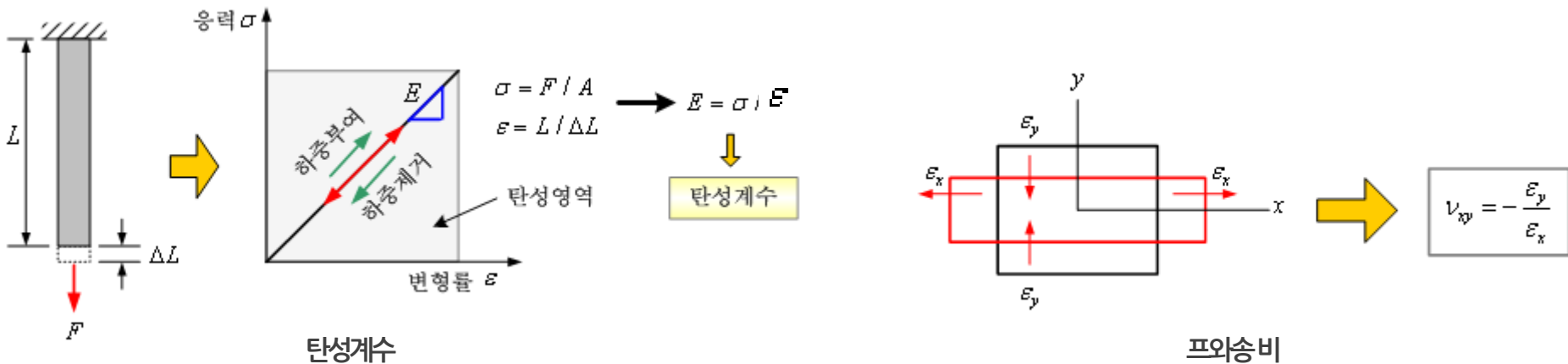
$$\sigma = E \varepsilon \quad (\sigma : \text{응력}, E : \text{탄성계수}, \varepsilon : \text{변형률})$$

💡 탄성영역에서는 변위를 구하면 변형량과 변형률을 계산할 수 있고, 탄성계수와 변형률의 곱으로 응력을 계산할 수 있다.

- ✓ 프와송 비(Poisson's ratio)

- 1) 힘을 가하는 방향으로의 물체의 길이 변화량에 대한 다른 두 방향으로의 길이 변화량의 상대적인 비율

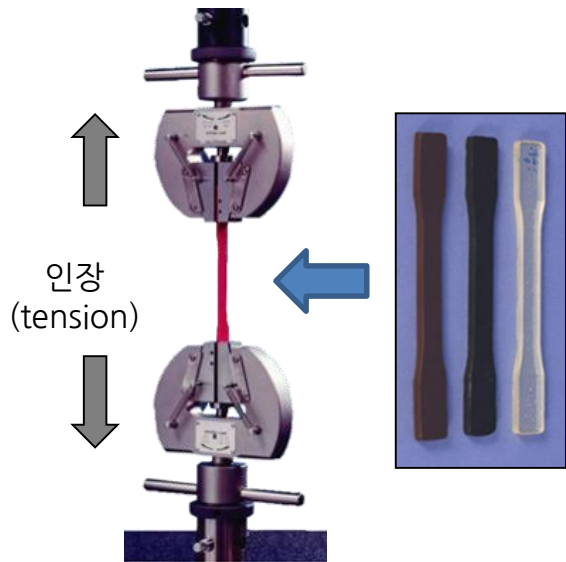
💡 대부분의 금속은 보통 0.3 근처의 값을 가지며 암석이나 콘크리트는 0.15~0.25범위의 값을 가진다. 대표적인 비압축성 재료인 고무는 0.5의 값을 가진다. 프와송 비가 높다 : 물체가 압축이나 인장에 대한 저항력이 낮음을 의미한다.



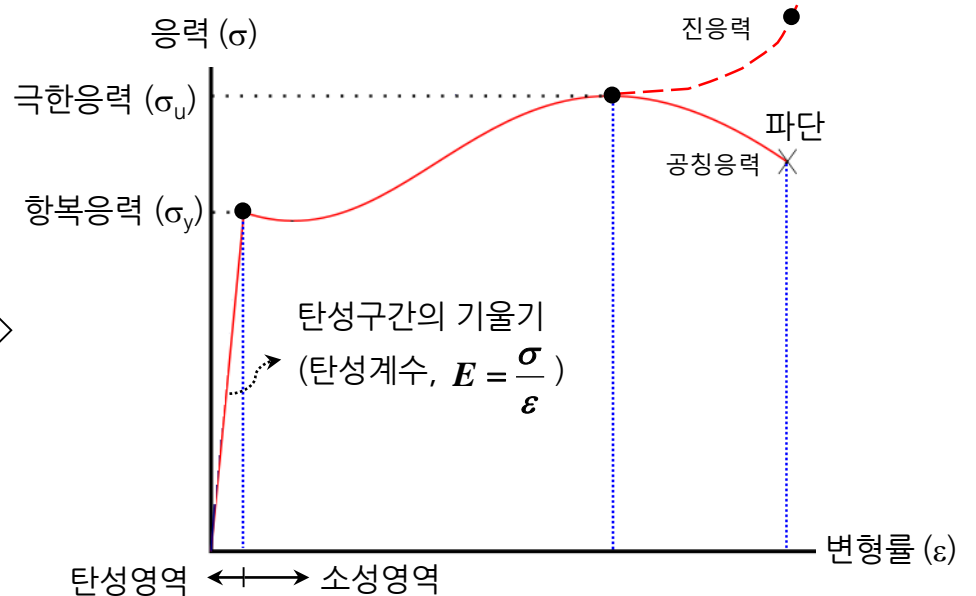
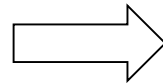
응력-변형률

✓ 재료의 역학적 거동을 정의하는 가장 중요한 특성, 재료의 인장시험을 통해 얻어짐

- 1) 탄성영역(Elastic zone)
 - ① 작용하중을 제거했을 때, 재료가 초기의 모양(상태)으로 되돌아가는 영역
- 2) 소성영역(Plastic zone)
 - ② 탄성영역과 반대로 작용하중을 제거해도 재료가 초기의 모양(상태)으로 되돌아가지 못하는 영역(영구변형)
- 3) 항복점
 - ③ 탄성영역과 소성영역의 경계, 이때의 응력이 항복응력(yield stress, σ_y)



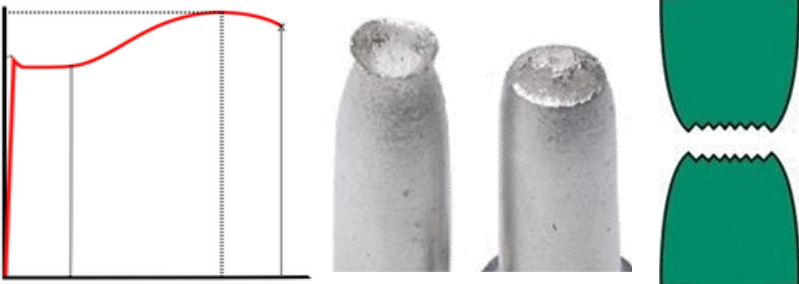

1축인장시험 (uniaxial test)



응력변형률선도의예

재료의 분류

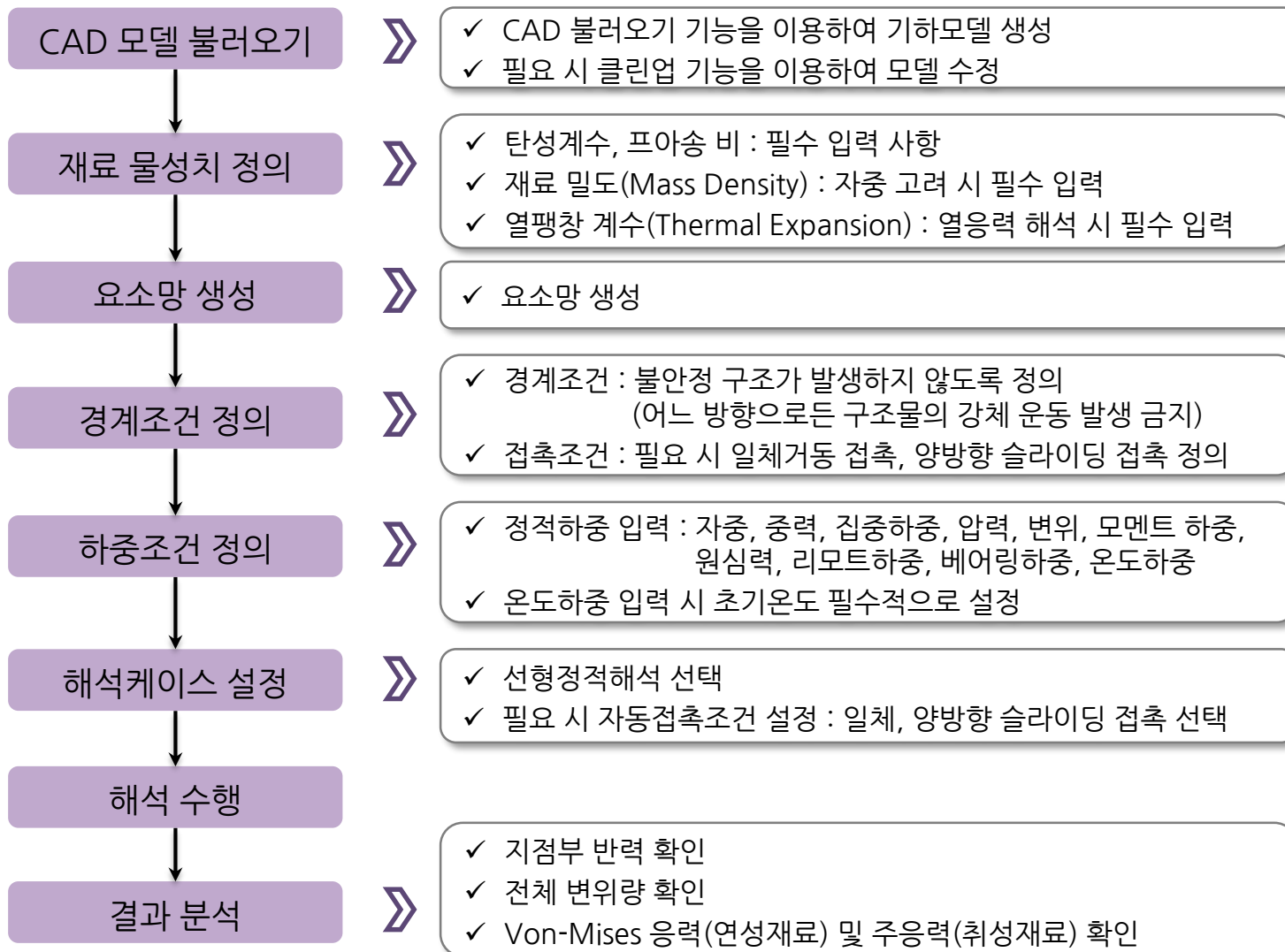
✓ 재료는 역학적(기계적) 특성에 따라 연성재료(ductile)와 취성재료(brittle)로 구분된다.

분류	연성재료(ductile)	취성재료 (brittle)
특성	구부리면 굽혀지는 재료 (→ 호박엿) 파단에 앞서 상당한 양의 항복(소성변형)이 발생	구부리면 부러지는 재료 (→ 가락엿) 파단에 앞서 아주 짧게 항복(소성변형)이 발생
응력-변형률 곡선 & 파단 형상		
적용 재질	연강(mild steel), 알루미늄, 알루미늄 합금, 구리, 마그네슘, 납, 테프론(teflon) 등 일반 구조용 강재	주철(cast iron), 콘크리트, 돌, 유리, 세라믹 금속(ceramic metal), 금속합금(metallic alloy) 등
파괴 이론	Von-mises 파괴이론	주응력 이론

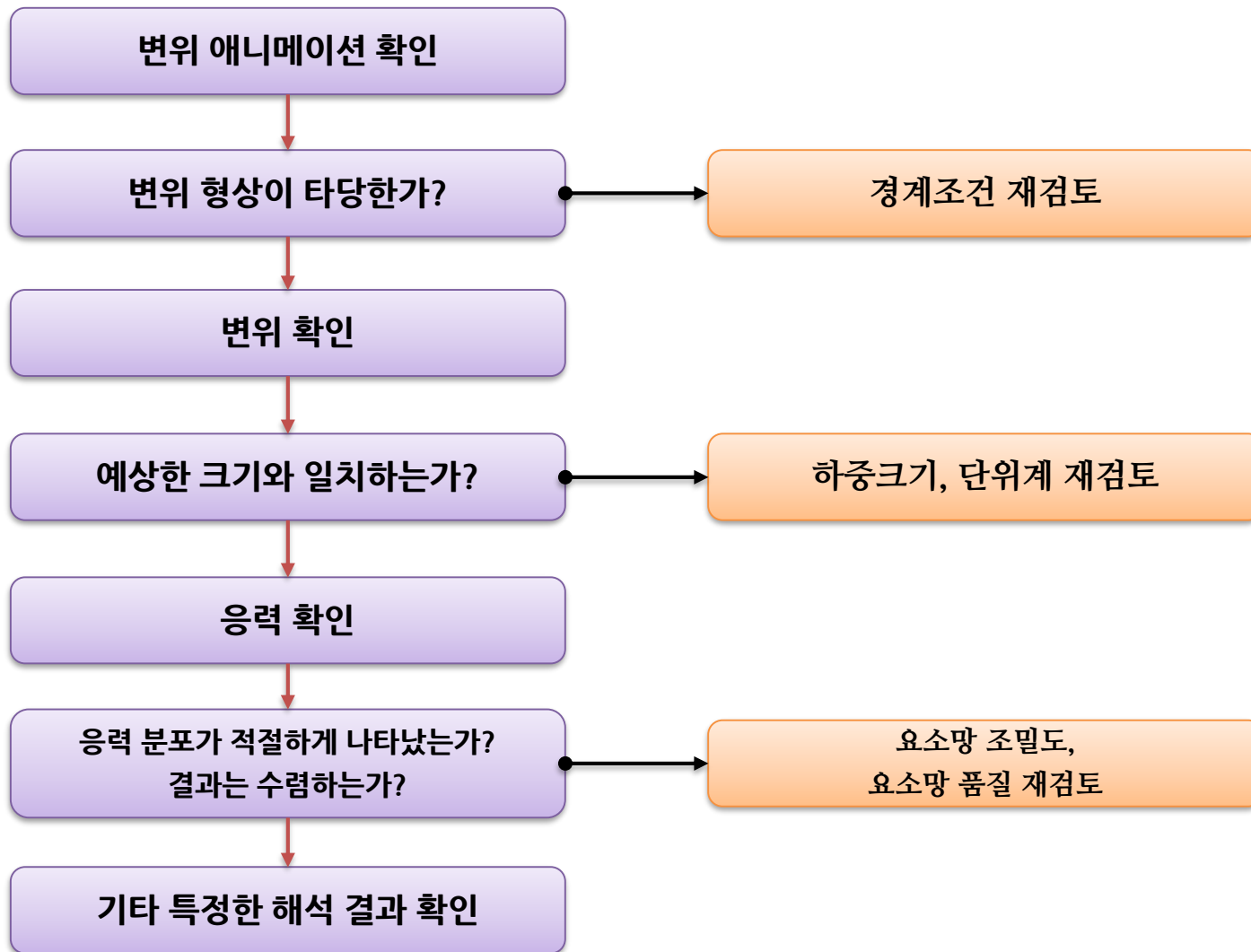


재료가 연성인가, 취성인가에 따라 파괴이론의 적용과 안전율 계산방법이 달라진다.
취성재료는 탄성영역과 소성영역을 명확하게 구분하는 것이 어렵기 때문에 항복점과 항복응력을 정확하게 규정하기 어렵다.

선형정적해석 프로세스



해석 결과 확인 프로세스



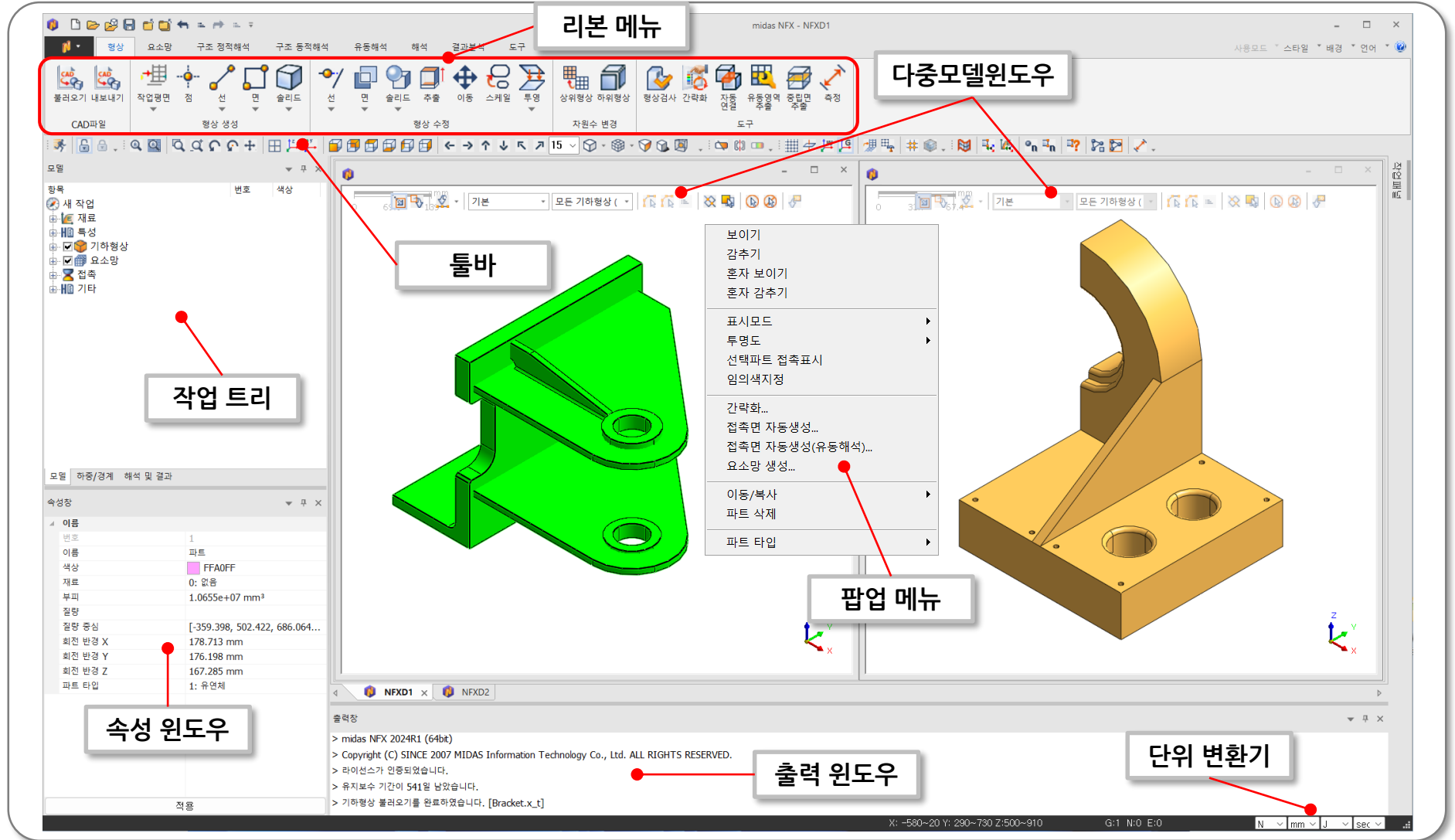
4. midas NFX 구성

4.1 midas NFX 소개

4.2 midas NFX 작업 환경

4.3 기본 조작법

GUI (Graphic user interface)



GUI 상세: 작업 트리

모델	하중/경계	해석 및 결과
<p>항목 번호 색상</p> <ul style="list-style-type: none"> 새 작업 재료 특성 <input checked="" type="checkbox"/> 기하형상 <input checked="" type="checkbox"/> 요소망 접촉 기타 	<p>항목 번호 색상</p> <ul style="list-style-type: none"> 새 작업 구조해석 함수 유동해석 함수 구조해석 조건 열해석 조건 유동해석 조건 <input checked="" type="checkbox"/> 마커 	<p>항목 번호 색상</p> <ul style="list-style-type: none"> C:\Users\Wkkb0720\Desktop\W240206. 해석케이스 <ul style="list-style-type: none"> 선형 정적해석-1 : 선형 정적해... 선형 정적해석 (필수) <ul style="list-style-type: none"> 전체 변위 슬리드요소 von-Mises ...
<p>해석 모델, 재료, 요소망, 접촉 등 표시</p>	<p>다양한 하중 조건, 경계 조건, 함수 표시</p>	<p>해석 케이스 셋팅, 해석 결과 표시</p>

GUI 상세: 도구 모음(Tool bar)



도구 모음 구성	아이콘
해석수행 도구모음	
뷰 도구모음	
절점/요소 도구모음	
추가 뷰 조작 도구모음	
선택 도구모음	
애니메이션 도구모음	

마우스 컨트롤

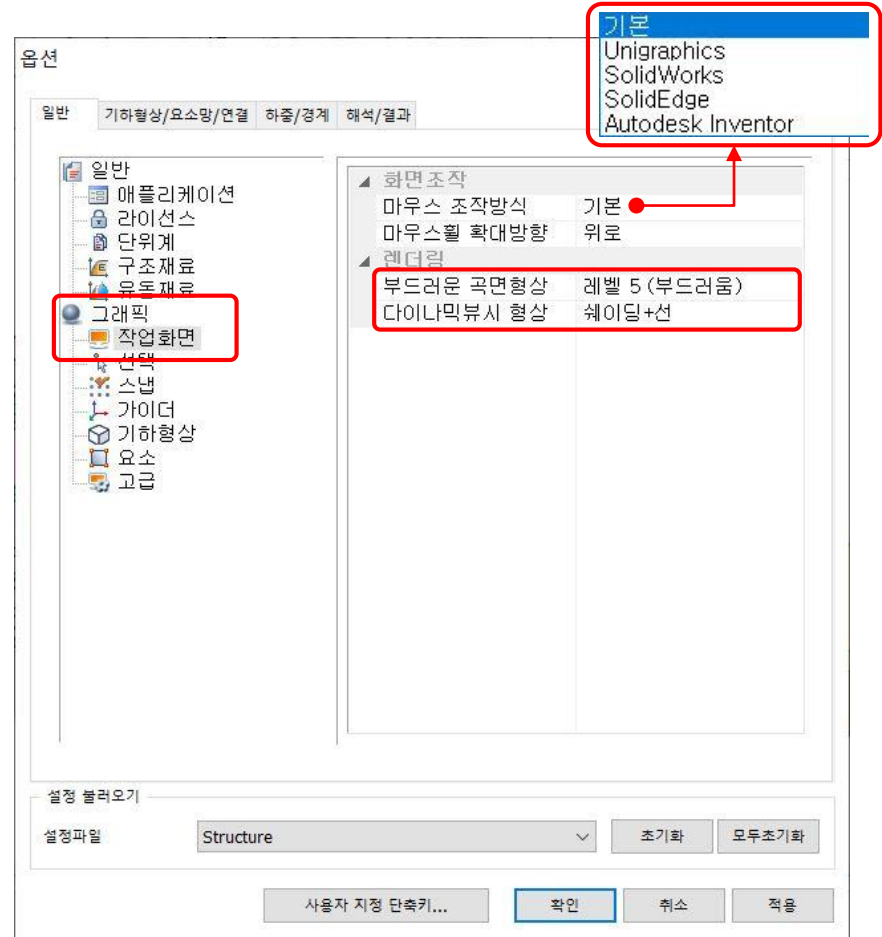
✓ 기하형상을 이동 시키거나, Zoom in-out, 회전 시킬 경우 조작법

- 1) 동적 확대/축소
 - ① Ctrl + LB
 - ② 휠 스크롤
- 2) 동적 이동
 - ① Ctrl + 휠
- 3) 동적 회전
 - ① Ctrl + RB



✓ CAD 기반의 마우스 휠 확대 방향 선택

- 1) 옵션→그래픽→작업화면→화면 조작→마우스 휠 확대 방향
 - ① Unigraphics
 - ② SolidWorks
 - ③ SolidEdge
 - ④ Autodesk Inventor



보이기/감추기

The screenshot displays the midas NFX software interface. At the top, the '도구' (Tools) menu is open, and the '보이기/감추기' (Show/Hide) sub-menu is highlighted with a red box. This sub-menu contains the following options:

- 모델 (Model)
- 하중/경계 (Load/Boundary)
- 해석 및 결과 (Analysis and Results)
- 속성창 (Property Window)
- 작업패널 (Work Panel)
- 스케일바 (Scale Bar)
- 출력창 (Output Window)
- GCS 심볼 (GCS Symbol)
- 선택 도구모음 (Selection Toolbar)

Below the menu, the main 3D workspace shows a pink mechanical part. Several annotations with red arrows point to specific features:

- 스케일바** (Scale Bar): Points to the scale bar at the top left of the 3D view.
- 선택 도구모음** (Selection Toolbar): Points to the toolbar at the top right of the 3D view.
- GCS 심볼** (GCS Symbol): Points to the Global Coordinate System (GCS) symbol at the bottom right of the 3D view.
- 출력창** (Output Window): Points to the output window at the bottom right of the software interface.

On the left side, the '속성창' (Property Window) is visible, showing details for the selected part (이름: 1, 파트, 색상: FFA0FF, 재료: 0: 없음, 출력창: 1: 유연체). The '작업패널' (Work Panel) is also visible on the right side.

도구

✓ 색상변경

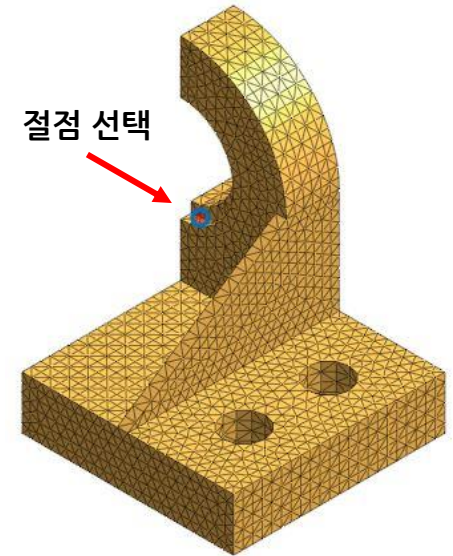
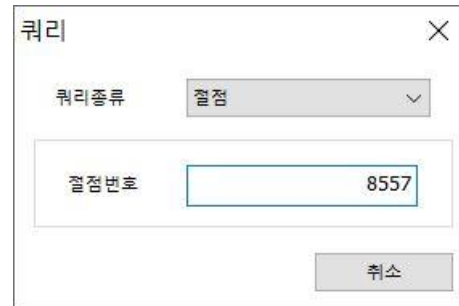
- 1) 모델의 파트 또는 면의 색상을 사용자가 지정하는 색으로 변경.
- 2) 해석조건 반복하여 사용하기 기능에서 사용됨.

✓ 임의색상

- 1) 형상 : 기하형상들의 색상을 임의로 변경.
- 2) 메쉬 : 요소망들의 색상을 임의로 변경.

✓ 쿼리

- 1) 선택한 절점 또는 요소를 지정하여 절점의 좌표 및 관련 요소 정보를 확인.
- 2) 직접 번호를 입력하여 확인 가능.



```

출력창
> [절점] 8557
> 좌표: (8.68240929, 60, 100.759613) [mm]
> 절점[8691]와의 거리: 19.7382513 [mm] (dX: -6.47663879, dY: 10, dZ: 15.7369537)
> 소유하는 요소 개수: 23개 요소
> 44584(사면체요소), 44587(사면체요소), 46166(사면체요소), 46821(사면체요소), 48355(사면체요소),
> 53582(사면체요소), 57757(사면체요소), 57761(사면체요소), 58759(사면체요소), 59999(사면체요소),
> 60000(사면체요소), 60003(사면체요소), 60004(사면체요소), 60007(사면체요소), 60008(사면체요소),
> 61180(사면체요소), 61181(사면체요소), 61182(사면체요소), 61184(사면체요소), 61185(사면체요소),
> 61186(사면체요소), 61187(사면체요소), 61188(사면체요소)
    
```

옵션: 일반

✓ 일반

- 1) 라이선스, 기본 단위계 지정, 기본 재료 등의 설정을 조절
- 2) 작업화면, 가이드, 선택, 스냅기능, 기하형상, 요소 색상 등의 그래픽적인 화면 설정을 조절

✓ 기하형상/요소망/연결

- 1) 기하형상관련 기능과 요소망 제어의 기본적인 설정 및 각종 연결요소 들의 심볼 색상을 조절

✓ 하중/경계

- 1) 좌표계/하중/경계 심볼의 색상을 조절

✓ 해석/결과

- 1) 해석 결과 추가 및 결과 확인 기능 옵션의 설정을 조절



옵션: 라이선스 인증 방법

✓ 독립형 라이선스 (보안장치)

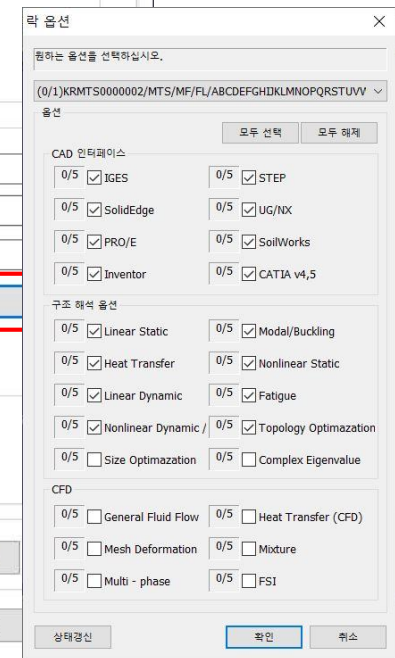
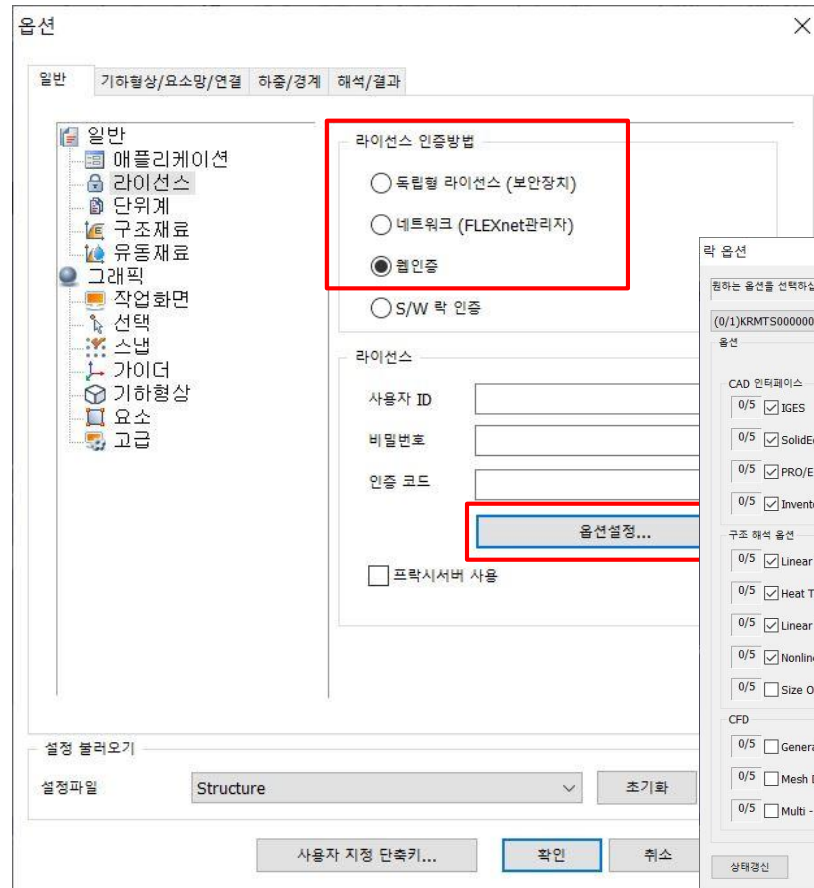
- 1) USB Lock과 키 번호를 이용하여 프로그램 인증
- 2) 보안 USB 드라이버 설치 필요. 최초 설치 시 선택하면 자동적으로 드라이버가 설치됨.
- 3) 드라이버 미 설치 시 드라이버 파일 위치
- 4) C:\ProgramFiles\midas NFX\Protection Drivers

✓ 네트워크 (FLEXnet 관리자)

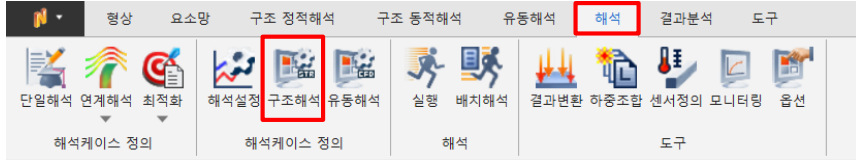
- 1) FLEXnet 프로그램과 라이선스 파일을 이용하여 프로그램 인증
- 2) 라이선스 서버에만 FLEXnet 프로그램을 설치하게 되며, 타 컴퓨터는 프로그램을 설치할 필요가 없음

✓ 웹 인증

- 1) midas NFX 인증 서버를 통하여 프로그램 인증
- 2) 홈페이지 아이디 및 인증코드 필요. 사용시에는 반드시 인터넷에 연결되어 있어야 함.
- 3) 옵션설정 : 라이선스가 여러개 있을 경우 옵션 설정을 통해 변경 및 선택 가능하며, 기하형상 라이선스의 선택 및 활성화할 수 있음.



해석옵션



✓ 프로세서 개수

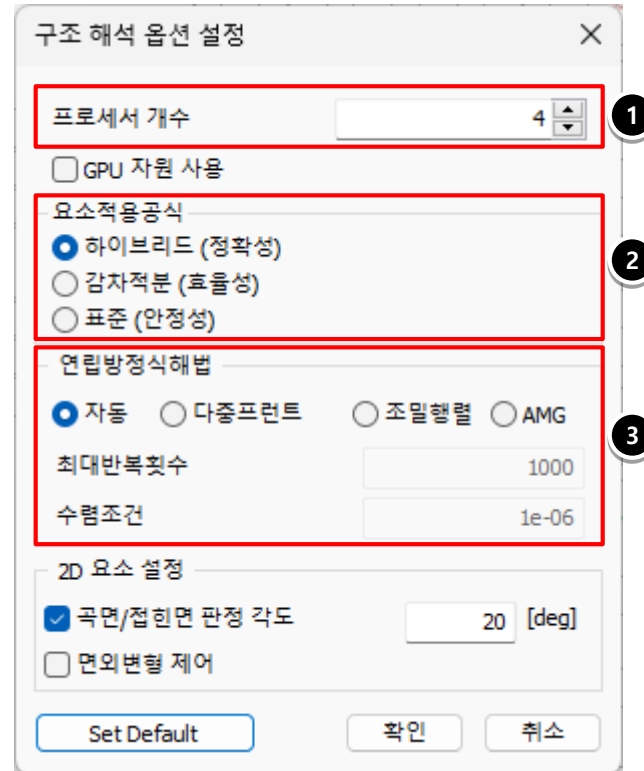
- 1) 솔버에서 사용할 CPU 개수를 입력
- 2) 프로세서의 개수는 2의 배수로 입력
예) 1, 2, 4, 8, 16, 32 ...

✓ 요소적용공식

- 1) 해석시 사용할 공식의 종류를 선택
- 2) 하이브리드를 선택시 정확성을 먼저 보기
때문에 감차적분보다 해석 시간이 더 걸리게 됨


✓ 연립방정식해법

- 1) 해석케이스 종류 및 시스템 메모리에 따라 프로그램에서 자동으로 솔버를 선택하여 해석을 실행. 사용자가 일반적으로 선택할 필요가 없음
- 2) 최대반복회수 및 수렴조건은 AMG 솔버에서 사용하게 되는 조건이며, 일반적으로 입력값을 바꿀 필요가 없음



midas NFX에서 지원하는 단위계

하중	길이	에너지	시간
kgf	mm	cal	Sec
tonf	cm	kcal	min
N	m	J	hr
kN	in	Btu	day
lbf	ft	kJ	
kips	um		

 English와 SI 단위계와 구분되는 점은 질량 대신 무게를 자주 사용한다는 점이다.

중력 가속도에 의한 질량-무게 관계($mass = weight / g$)를 적용하는데, midas NFX에서는 중력 가속도에 의한 질량-무게 관계를 자동으로 해석에 적용하여 시간 단위가 포함된 결과(예 : Hz)에 있어서 적절한 결과값을 얻을 수 있게 한다.

물리량	English	SI
질량	lbf-sec ² /inch	Kilogram

✓ 주요 파일

파일이름	형식	내용
ModelName.nfx	Binary	모델 데이터 파일
ModelName_AnalysisName.mec	ASCII	해석기 입력 파일
ModelName_AnalysisName.log	ASCII	해석 실행 기록 파일
ModelName_AnalysisName.out	ASCII	해석 결과 데이터 파일
ModelName_AnalysisName.nfxp	Binary	해석 결과 데이터 파일(후처리용)

✓ 해석 중 생성되는 파일

파일이름	생성 시점 / 내용
InputName.DASM#.bin	모든 해석에서 생성, 유한요소 관련 정보
InputName.FACT#.bin#	다중프린트 해법 선택 시 생성, 행렬 정보
InputName.EIGS#.bin#	고유치 해석 시 생성, Lanczos 반복계산 정보

5. 해석 프로세스 학습

5.1 해석 프로세스 학습 : Pillow Box

5.2 간략화 기능의 이해 : Bracket

5.3 다양한 정적 하중 설정 : Knuckle

5.4 2D 요소를 이용한 해석 : Plate with a Hole

5.5 1D 요소를 이용한 해석 : Frame

개요

▶ 선형정적해석

- 단위 : N, mm
- 기하모델: Pillow box.x_t

▶ 간략화 기능

- 미소한 구멍/필렛 삭제

▶ 경계조건과 하중조건

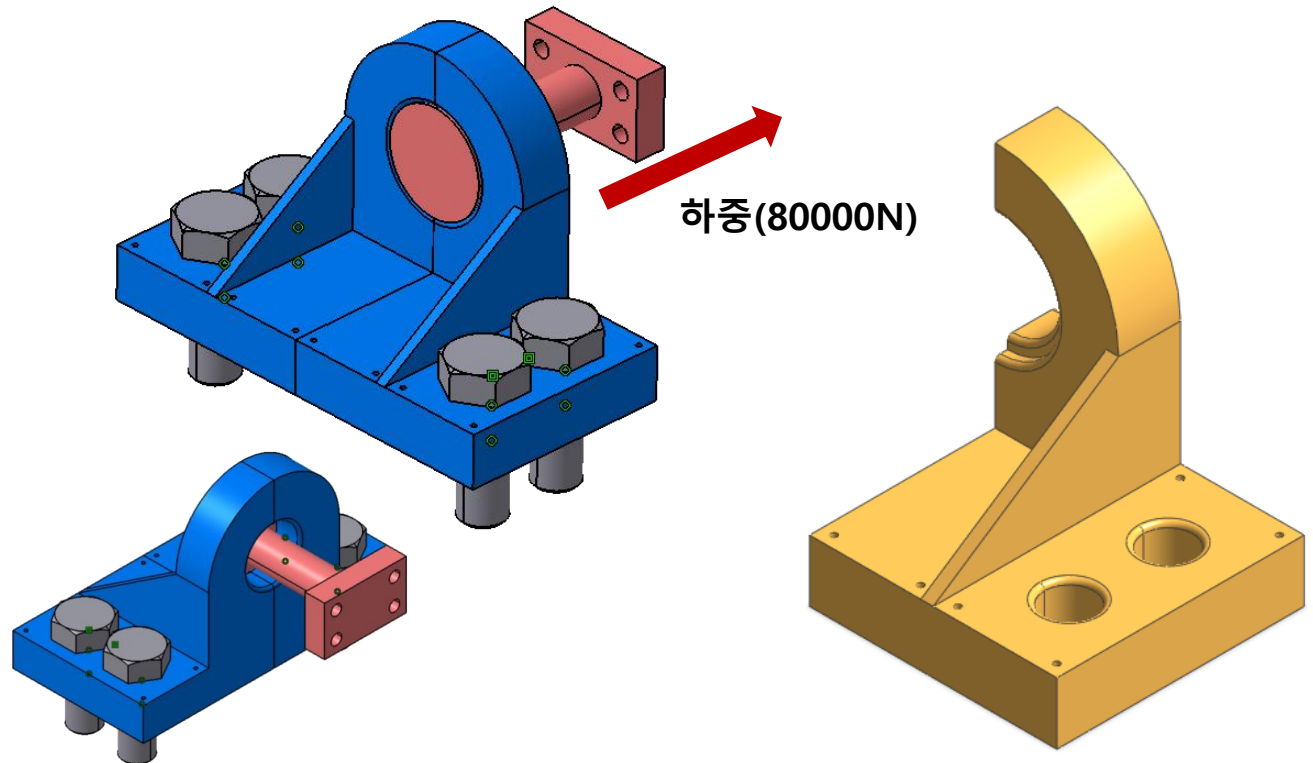
- 경계조건(핀구속)
- 대칭 조건 적용

▶ 사면체 요소망 생성

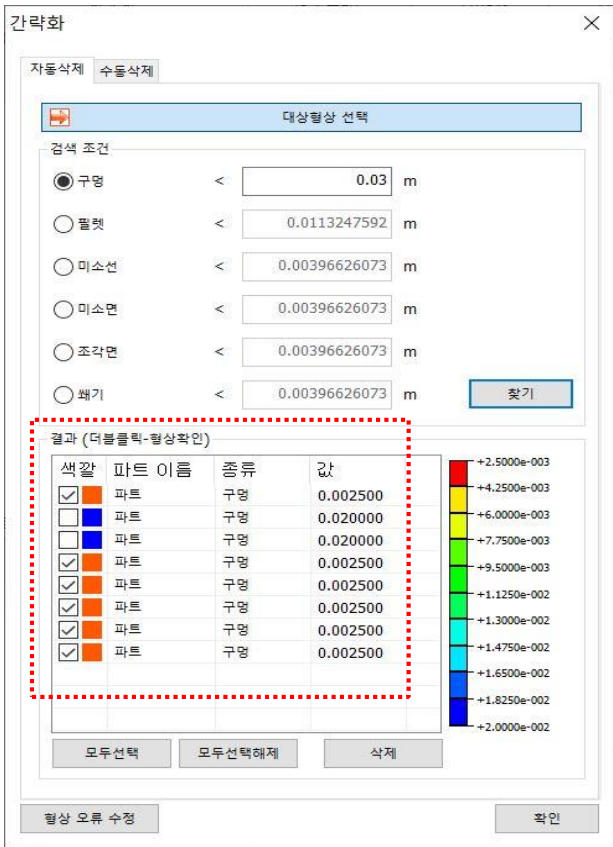
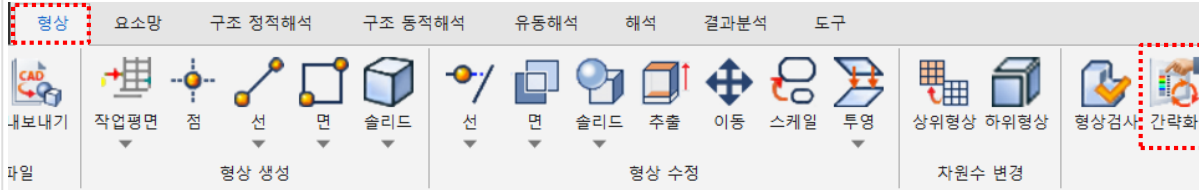
▶ 결과확인

- 전체 변위
- von-Mises 응력
- 결과값 비교

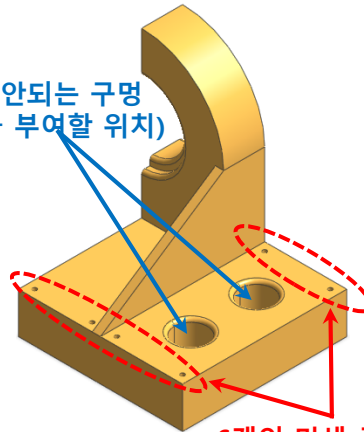
Pillow box (해석 프로세스 학습)



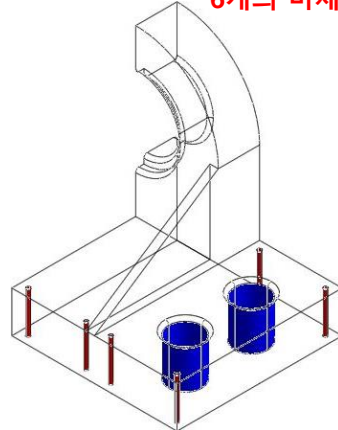
모델 간략화 기능



삭제하면 안되는 구멍
(구속조건을 부여할 위치)

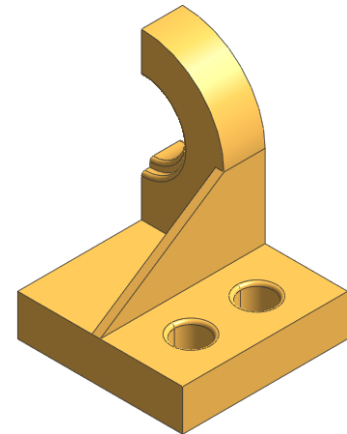


6개의 미세 구멍 삭제





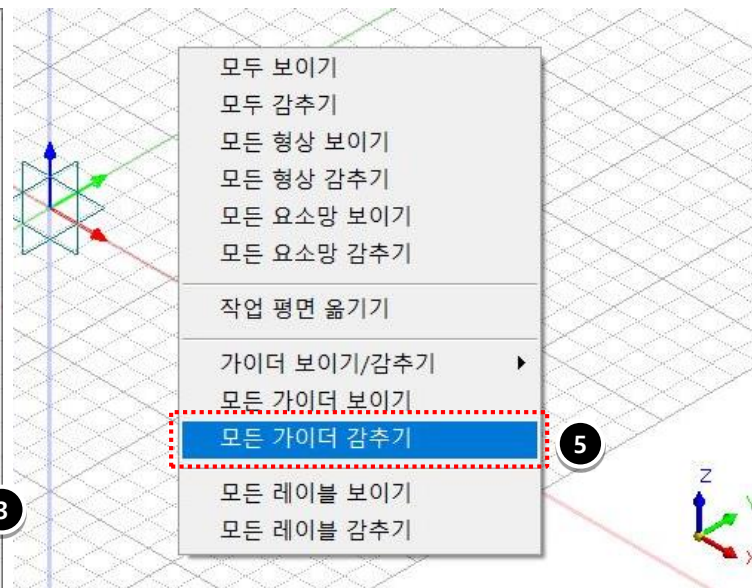
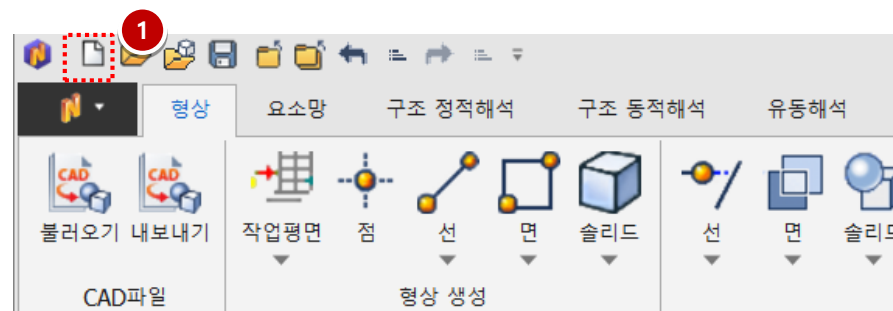
➤ 모델 간략화 기능


- 해석에 불필요한 구멍이나 필렛을 삭제할 수 있습니다. 반경의 크기만 입력하면 자동으로 찾아주고, 원하는 부분을 선택적으로 삭제할 수 있습니다.
 - 구멍이나 필렛을 무분별하게 삭제하게 되면 해석결과에 영향을 줄 수 있으므로, 경계&하중 조건과 관계없고 해석의 관심 부분이 아닌 경우에만 삭제하도록 합니다.
 - 예제에서는 반경 2.5mm(6개)와 20mm(2개)의 구멍이 검색 되었으며, 반경 2.5mm의 구멍만 삭제하였습니다.
- ※ 반경 20mm의 구멍 2개는 구속조건을 부여할 위치이며, 해석결과에 영향을 미치므로 삭제하지 않습니다.




작업순서

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

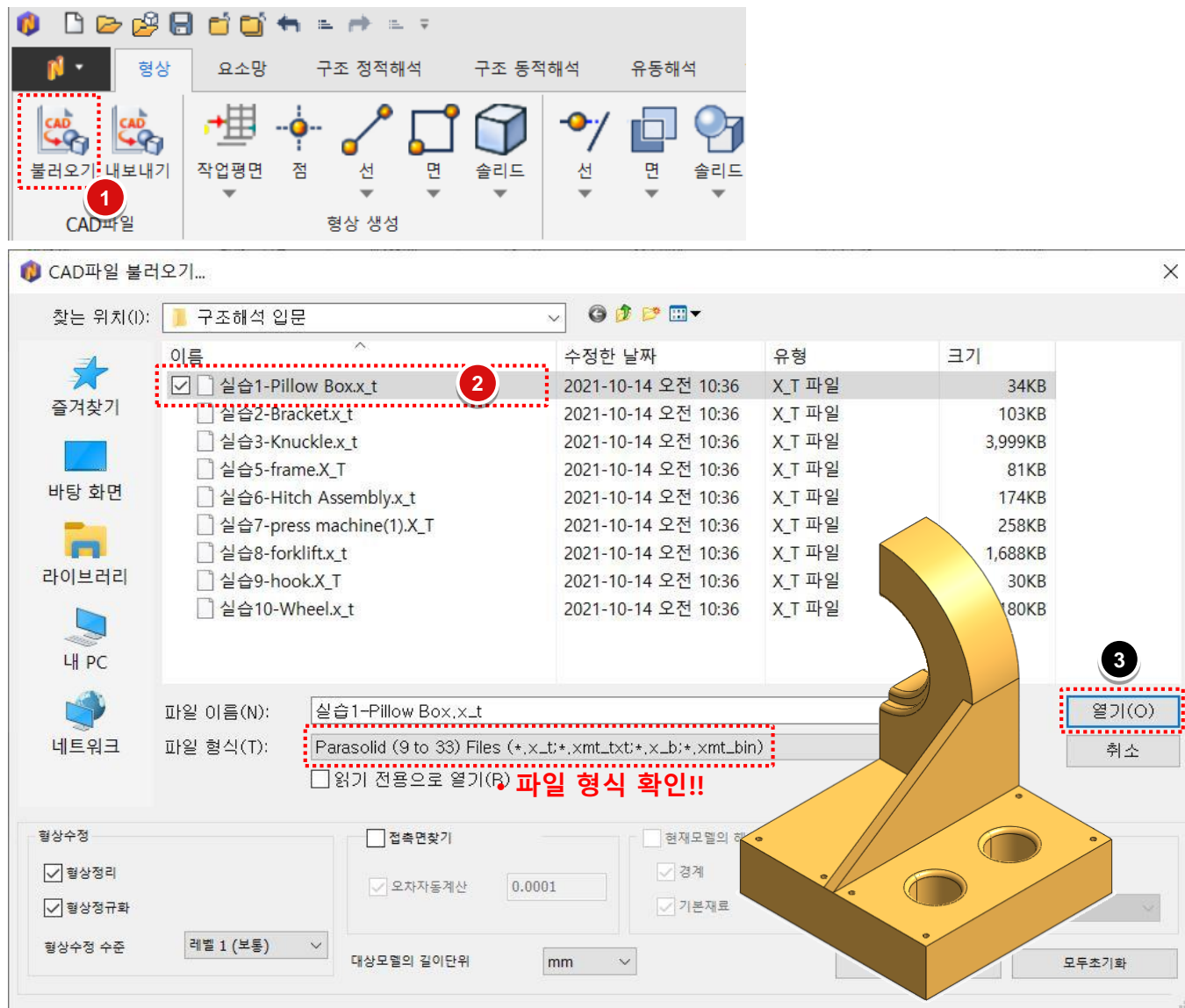


 프로그램을 실행시킨 후 [새로 만들기]를 클릭하면 모든 메뉴가 활성화됩니다.


 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.

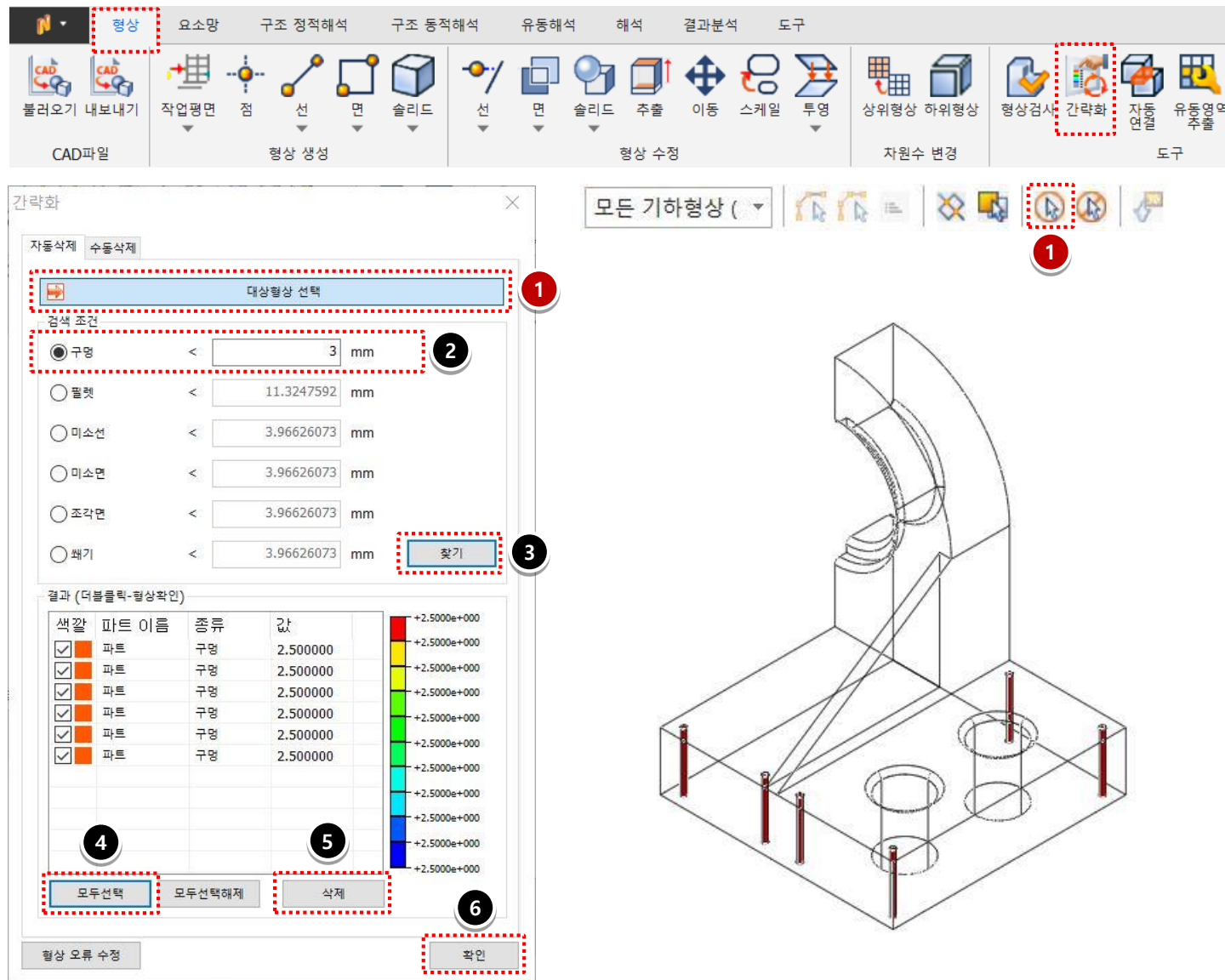
작업순서

1. 모델 선택: "Pillow Box.x_t" 선택
2. [열기] 버튼 클릭.



작업순서


1. 대상 선택: 전체 모델(1개) 선택. 
2. 구멍(반경): "3" 입력.
3. [찾기] 버튼 클릭.
4. [모두선택] 버튼 클릭.
5. [삭제] 버튼 클릭.
6. [확인] 버튼 클릭.




The screenshot shows the '간략화' (Simplify) dialog box in the midas NFX software. The dialog is divided into several sections:


- 대상형상 선택 (Target Shape Selection):** A red dashed box highlights this section, with a circled '1' next to it.
- 검색 조건 (Search Conditions):** A red dashed box highlights the '구멍' (Hole) option, which is selected. The radius is set to '3 mm'. A circled '2' is next to this section.
- 결과 (더블클릭-형상확인) (Results (Double-click to confirm shape)):** A table lists the results of the search. A red dashed box highlights the '찾기' (Find) button, with a circled '3' next to it.
- 색깔 (Color):** A color scale legend is shown, ranging from +2.5000e+000 (red) to -2.5000e+000 (blue).
- 모두선택 (Select All):** A red dashed box highlights this button, with a circled '4' next to it.
- 삭제 (Delete):** A red dashed box highlights this button, with a circled '5' next to it.
- 확인 (OK):** A red dashed box highlights this button, with a circled '6' next to it.

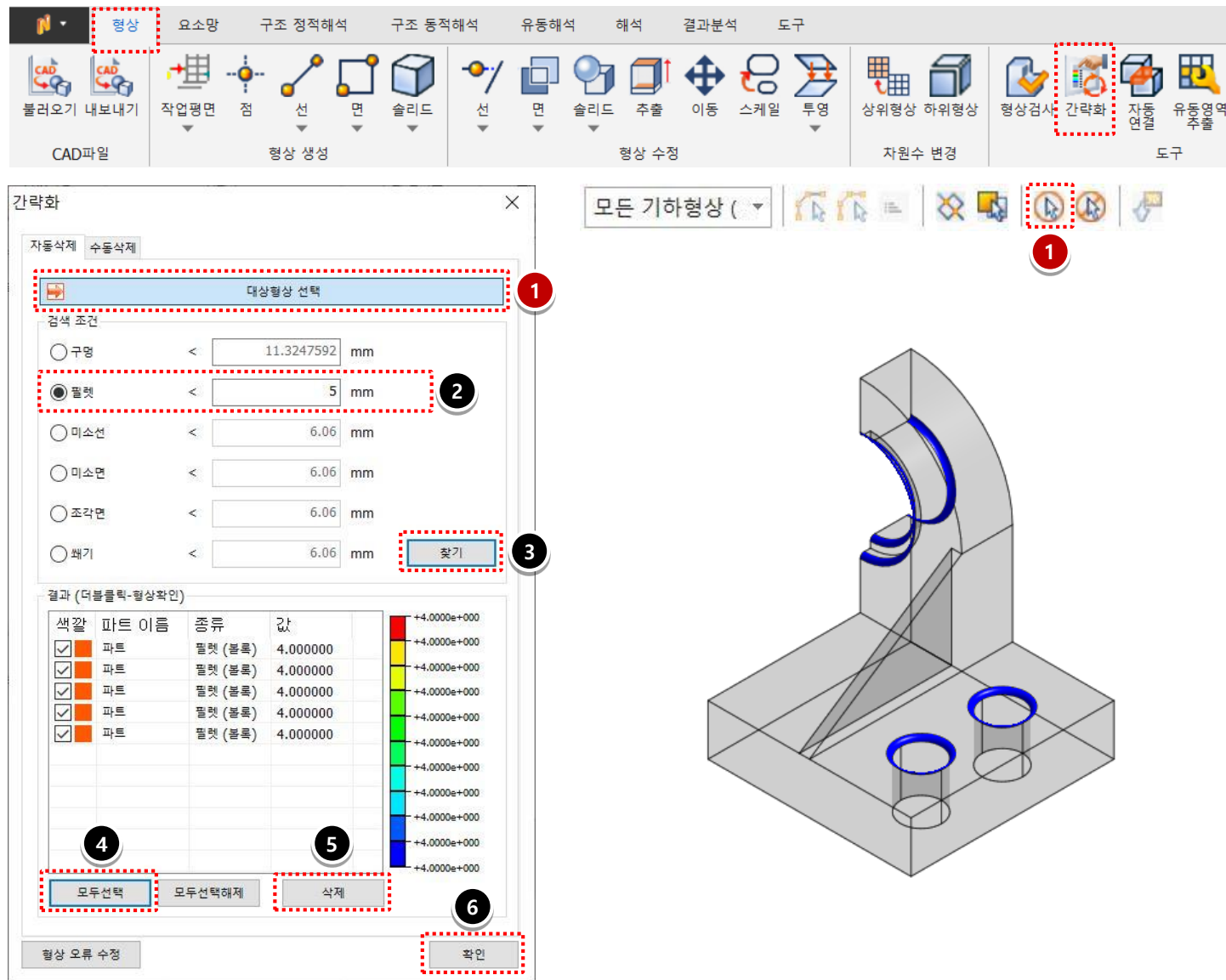
The 3D model on the right shows a mechanical part with a hole. A red dashed box highlights the '모든 기하형상' (All Geometric Shapes) dropdown menu, with a circled '1' next to it.

 해석상 불필요한 작은 구멍이나 필릿을 삭제합니다.

 값을 입력하고 [찾기] 버튼을 클릭하면 크기에 따라 색상 별로 표시됩니다.

작업순서


1. 대상 선택: 전체 모델(1개) 선택. 
2. 필렛(반경): "5" 입력.
3. [찾기] 버튼 클릭.
4. [모두선택] 버튼 클릭.
5. [삭제] 버튼 클릭.
6. [닫기] 버튼 클릭.




The screenshot shows the '간략화' (Simplify) dialog box in the midas NFX software. The dialog is divided into several sections:

- 대상형상 선택 (Target Selection):** A red dashed box highlights the selection area, labeled with a circled '1'.
- 검색 조건 (Search Conditions):** A red dashed box highlights the '필렛' (Fillet) option and its value '5 mm', labeled with a circled '2'.
- 찾기 (Find):** A red dashed box highlights the '찾기' button, labeled with a circled '3'.
- 결과 (더블클릭-필선택인) (Results):** A table showing the results of the search, labeled with a circled '4'.
- 모두선택 (Select All):** A red dashed box highlights the '모두선택' button, labeled with a circled '5'.
- 삭제 (Delete):** A red dashed box highlights the '삭제' button, labeled with a circled '6'.
- 확인 (OK):** A red dashed box highlights the '확인' button at the bottom right, labeled with a circled '6'.

On the right side of the screenshot, a 3D model of a mechanical part is shown with blue fillets applied to its edges. A red dashed box highlights the '간략화' button in the top toolbar, labeled with a circled '1'.

 해석상 불필요한 작은 구멍이나 필렛을 삭제합니다.

 값을 입력하고 [찾기] 버튼을 클릭하면 크기에 따라 색상 별로 표시됩니다.

작업순서

1. 생성 >> 등방성 클릭.

2. 재질 입력

번호	2
이름	Steel
탄성계수	2.1e5 (N/mm ²)
프와송비	0.3
파손이론	Von Mises 응력 (Ductile)
인장	250 (N/mm ²)

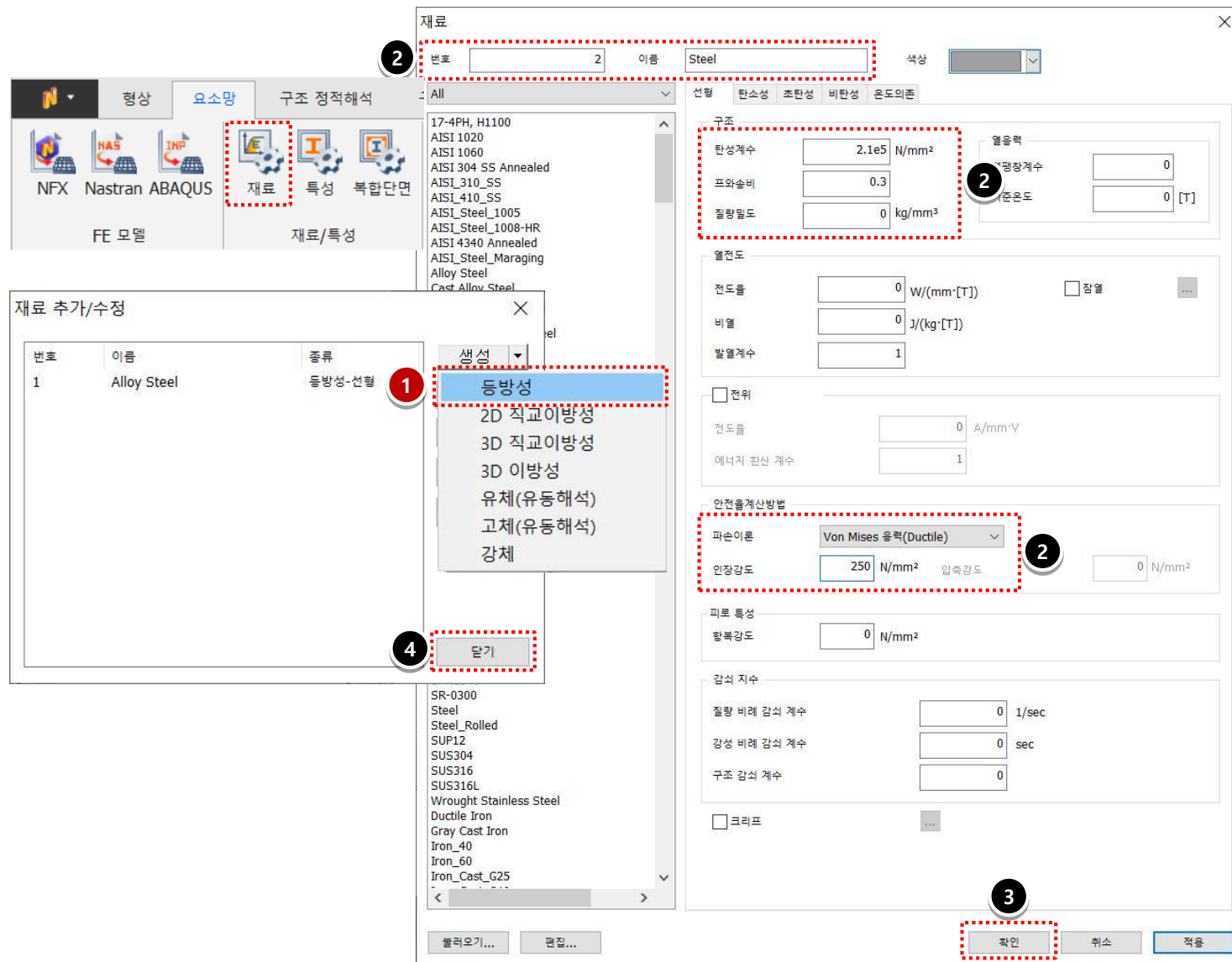
3. [확인] 버튼 클릭.

4. [닫기] 버튼 클릭.

💡 안전율을 계산하기 위해서는 반드시 파손이론과 인장강도를 입력해야 합니다.

(안전율) = (인장강도) / (응력값)

안전율은 위의 식과 같이 계산되며, 안전율이 1보다 작은 경우, 응력이 인장강도를 넘어섰기 때문에 이에 대한 보강이 필요하다는 의미입니다.



재료

번호: 2 이름: Steel 색상: [선택]

구조: 탄성계수: 2.1e5 N/mm², 프와송비: 0.3, 질량밀도: 0 kg/mm³

안전율: [0], 평장계수: [0], 준온도: [0] [T]

열전도: [0] W/(mm·[T]), 비열: [0] J/(kg·[T]), 발열계수: [1]

전위: [0] A/mm·V, 에너지 확산 계수: [1]

안전율계산방법: 파손이론: Von Mises 응력(Ductile), 인장강도: 250 N/mm², 압축강도: [0] N/mm²

피로 특성: 광복강도: [0] N/mm²

감쇠 지수: 질량 비례 감쇠 계수: [0] 1/sec, 강성 비례 감쇠 계수: [0] sec, 구조 감쇠 계수: [0]

크리프

재료 추가/수정

번호: 1 이름: Alloy Steel 종류: 등방성-선형

생성: 등방성, 2D 직교이방성, 3D 직교이방성, 3D 이방성, 유체(유동해석), 고체(유동해석), 강체

닫기

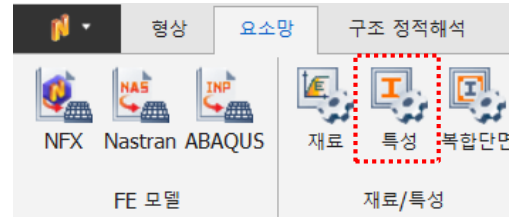
확인 취소 적용

작업순서

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

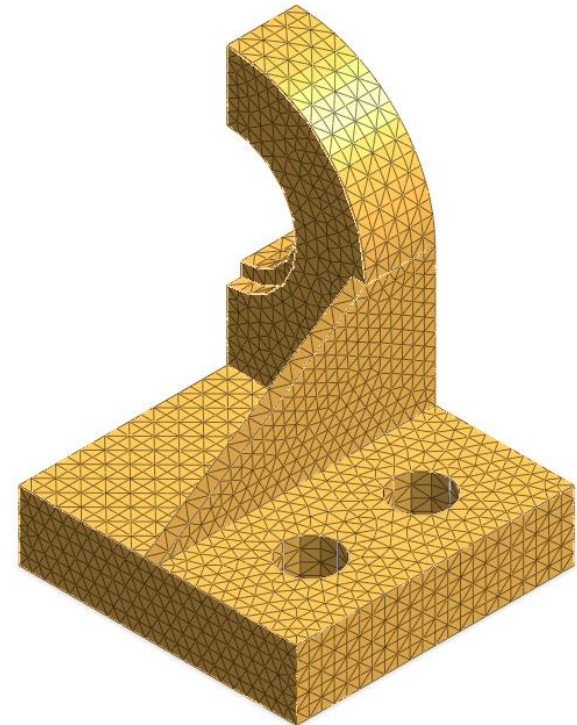
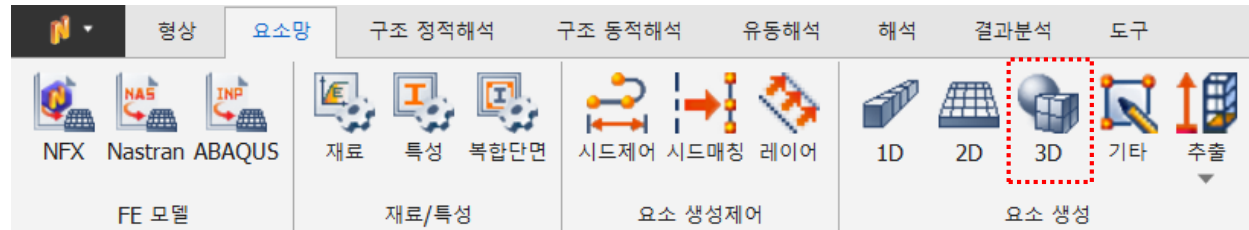
번호	1
이름	Pillow Box
재질	2:Steel

4. [확인] 버튼 클릭.
5. [닫기] 버튼 클릭



작업순서

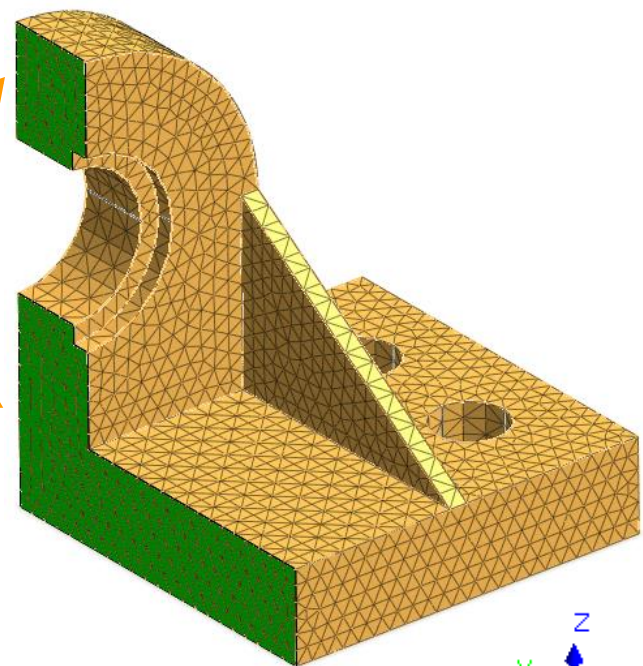
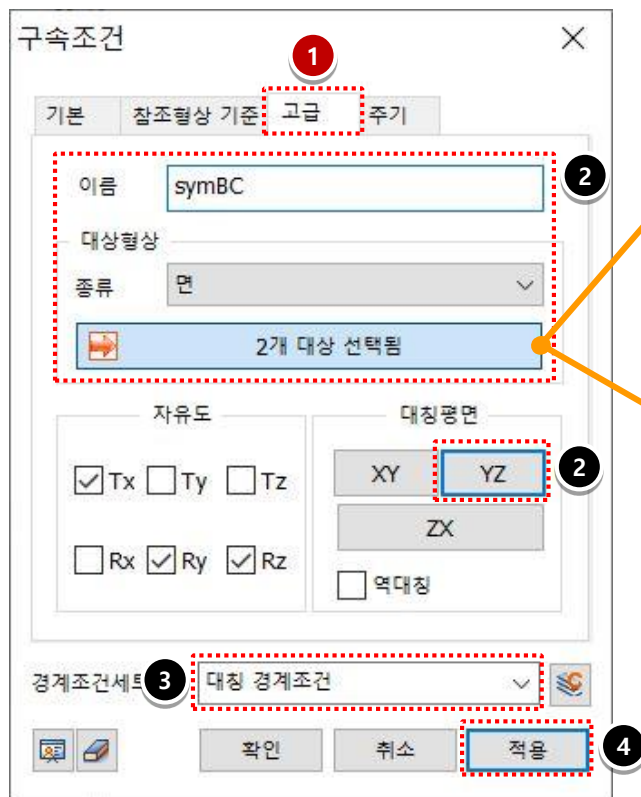
1. 대상선택: “모델 1개” 선택
요소 크기는 9를 입력한다.
2. [확인] 버튼 클릭.



작업순서

1. [고급] 탭 클릭.
2. 대칭조건 입력

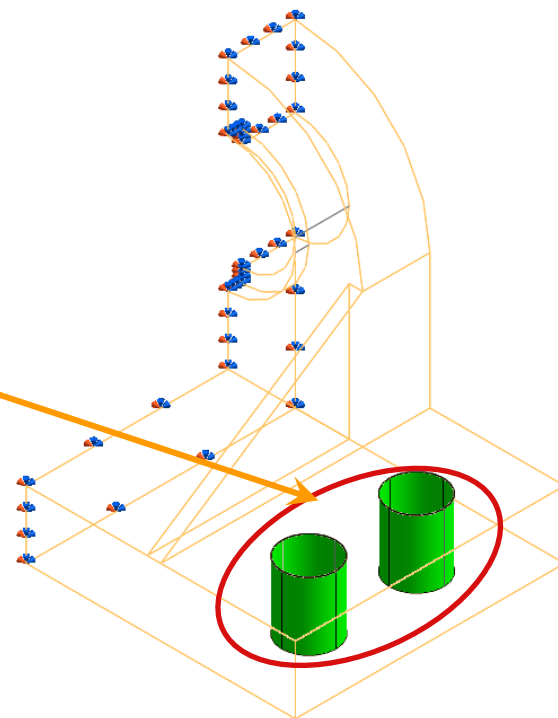
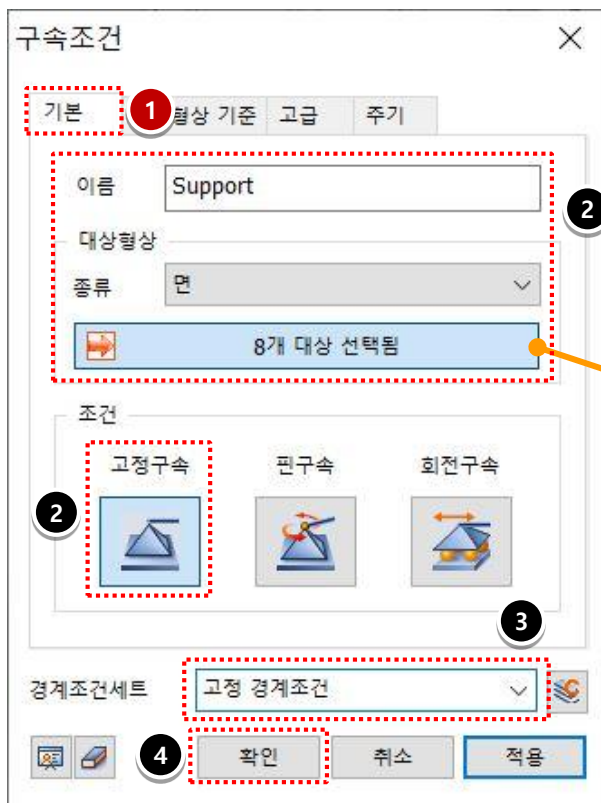
이름	symBC
대상종류	면
대상선택	2개 선택(그림참조)
대칭평면	YZ
3. 경계조건세트 이름을 입력한다.
4. [적용] 버튼 클릭.



💡 선택한 면의 수직방향으로 대칭조건이 설정됩니다.

작업순서

1. [기본] 탭 클릭.
 2. 구속조건 입력
- | | |
|------|-------------|
| 이름 | Support |
| 대상종류 | 면 |
| 대상선택 | 8개 선택(그림참조) |
| 조건 | 고정구속 |
3. 경계조건세트 이름을 입력한다.
 4. [확인] 버튼 클릭.



작업순서

1. 집중하중 입력

이름	Force
대상종류	면
대상선택	1개 선택(그림참조)
하중타입	총합력
크기[Y]	40000(N)

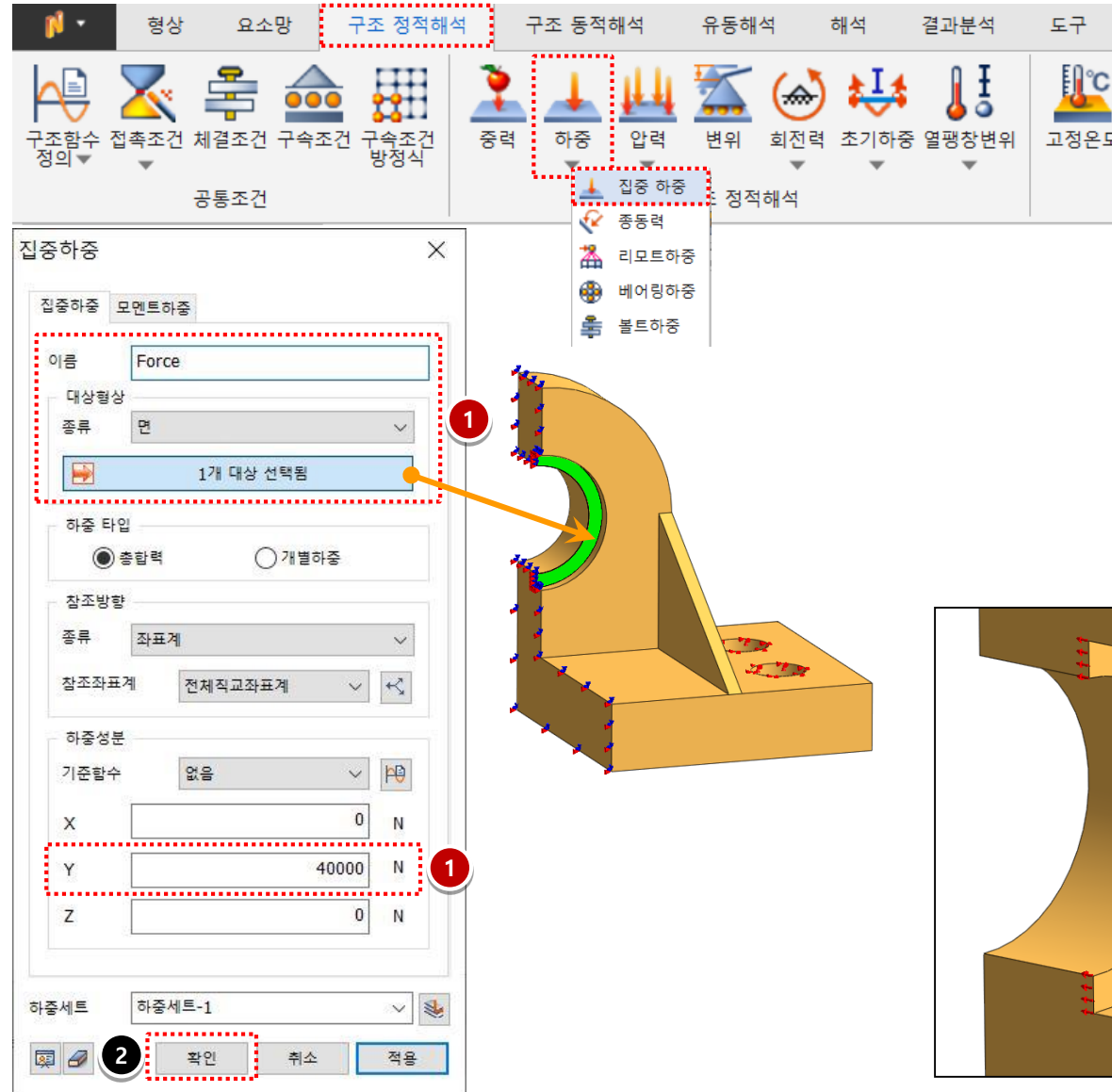
2. [확인] 버튼 클릭.

총합력: 선택한 면들에 적용되는 힘의 합계가 입력값이 되도록 합니다.

개별하중: 선택한 면 각각에 입력한 하중값이 적용됩니다.

※ 대상종류가 선, 면과 같은 기하형상인 경우에만 하중타입을 선택할 수 있습니다.

절점에 직접 하중을 적용하는 경우에는 각 절점당 하중성분을 입력해야 합니다.



중력 하중 압력 변위 회전력 초기하중 열팽창변위 고정온도

집중하중 모멘트하중

이름 Force

대상형상

종류 면

1개 대상 선택됨

하중 타입

총합력 개별하중

참조방향

종류 좌표계

참조좌표계 전체직교좌표계

하중성분

기준할수 없음

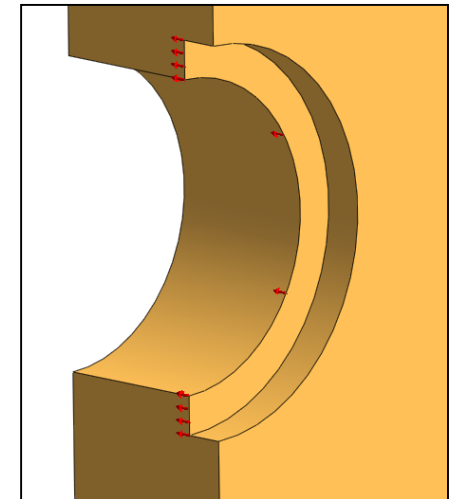
X 0 N

Y 40000 N

Z 0 N

하중세트 하중세트-1

확인 취소 적용

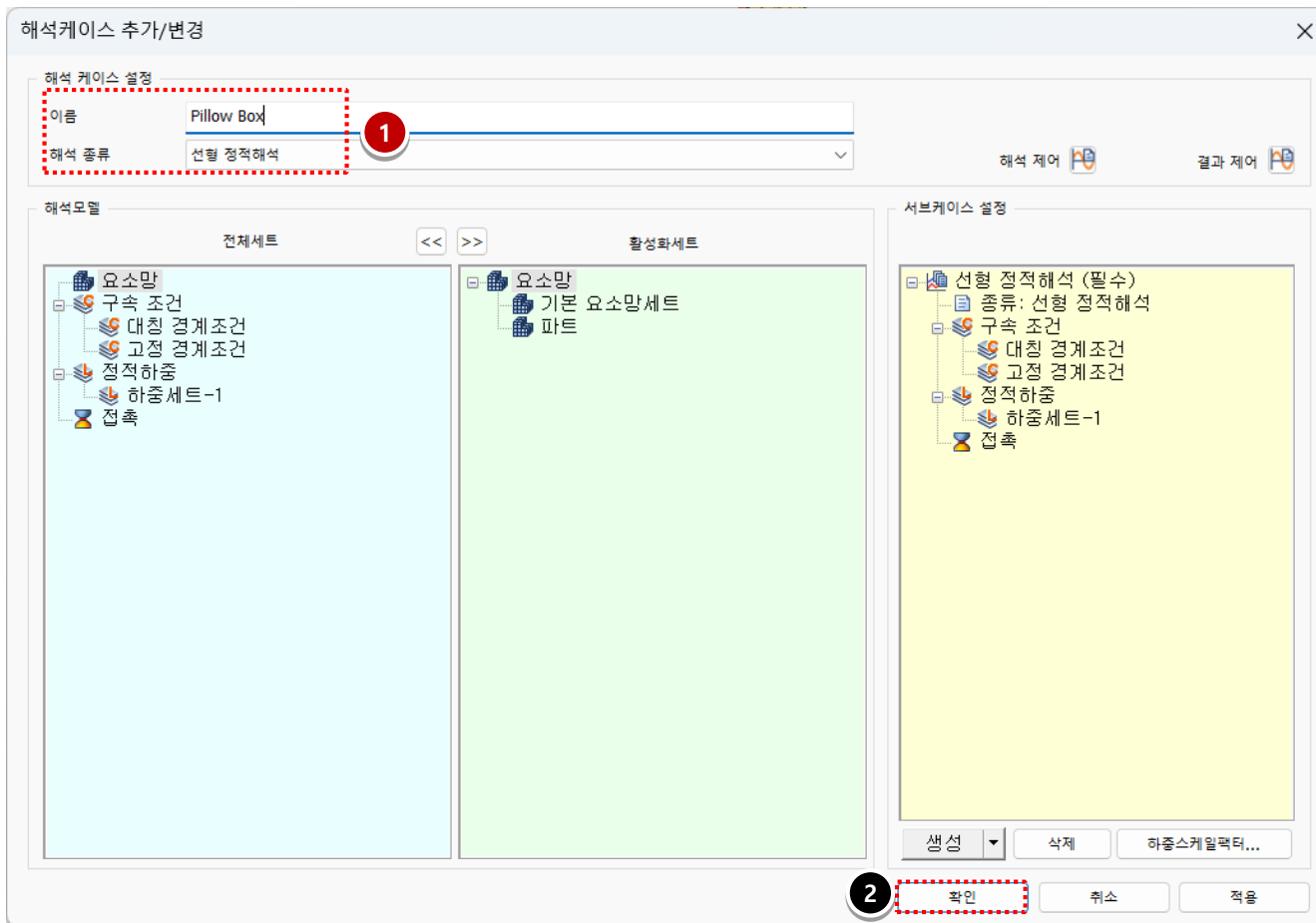
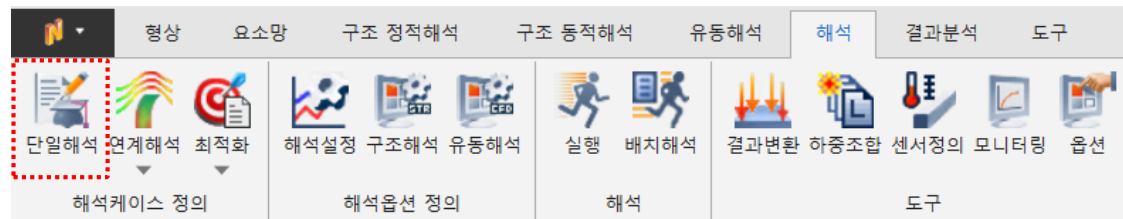


작업순서

1. 이름: "Pillow Box" 입력.

해석 종류: [선형 정적해석] 선택.

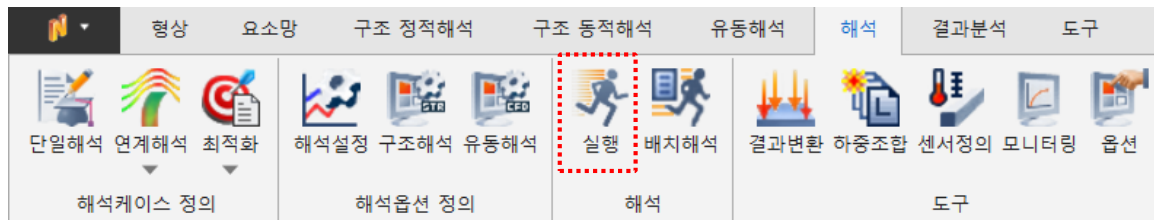
2. [확인] 버튼 클릭.



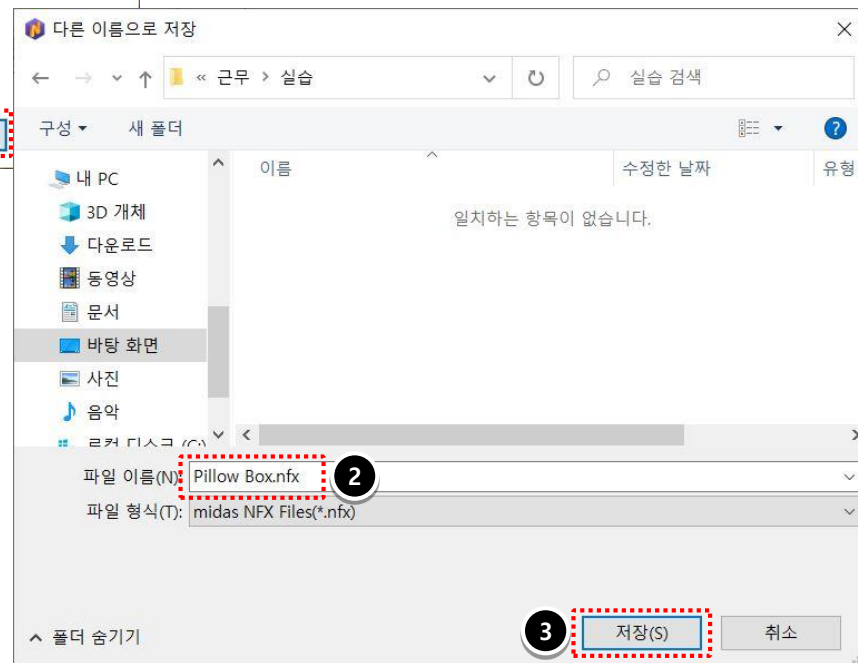
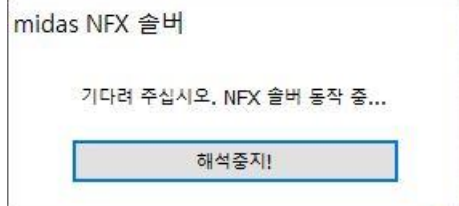
💡 기본적으로 현재 작업된 기하형상, 구속조건, 하중조건 등이 모두 활성화됩니다.

작업순서


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

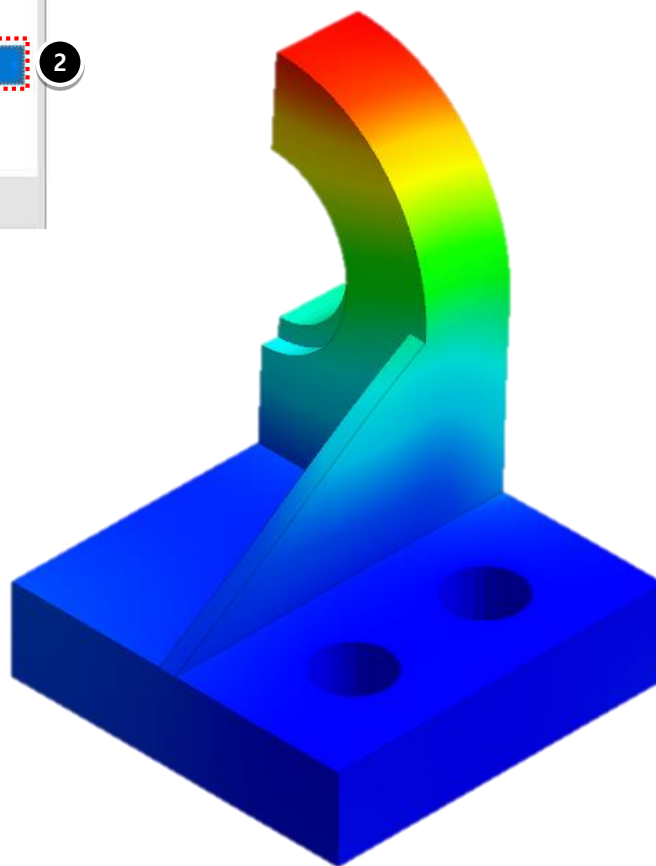
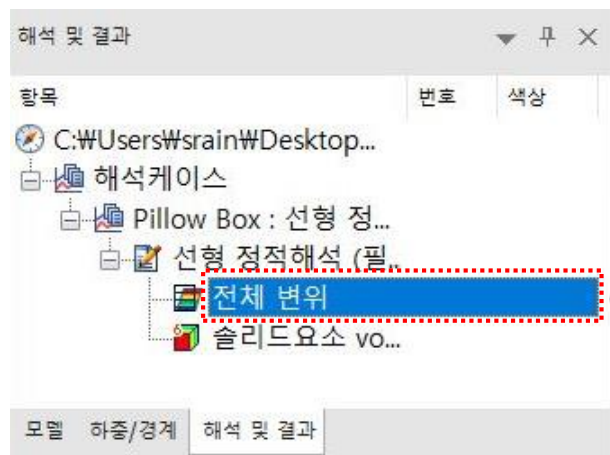


💡 해석을 실행하면 midas NFX 슬버가 작동됩니다. **해석중지!** 버튼을 클릭하면 해석이 중지됩니다.



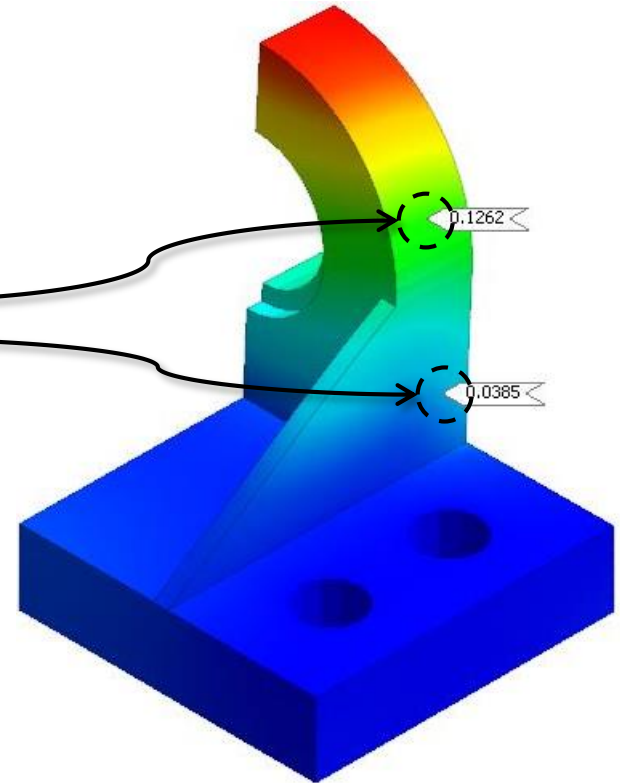
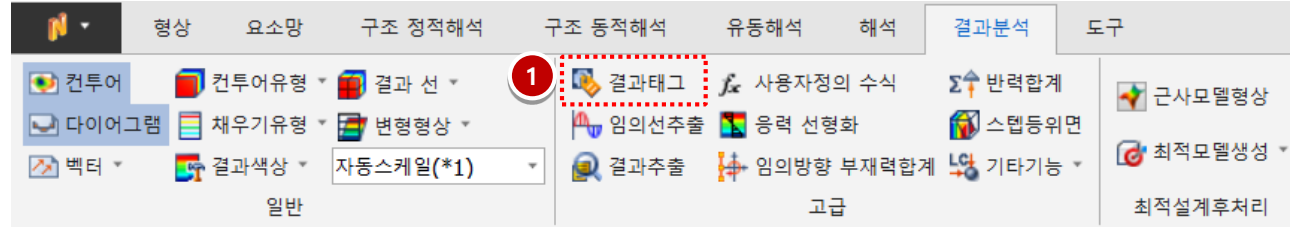
작업순서

1. [] (등각보기1) 클릭.
2. 해석 및 결과 작업트리에서 전체 변위 더블 클릭.




작업순서

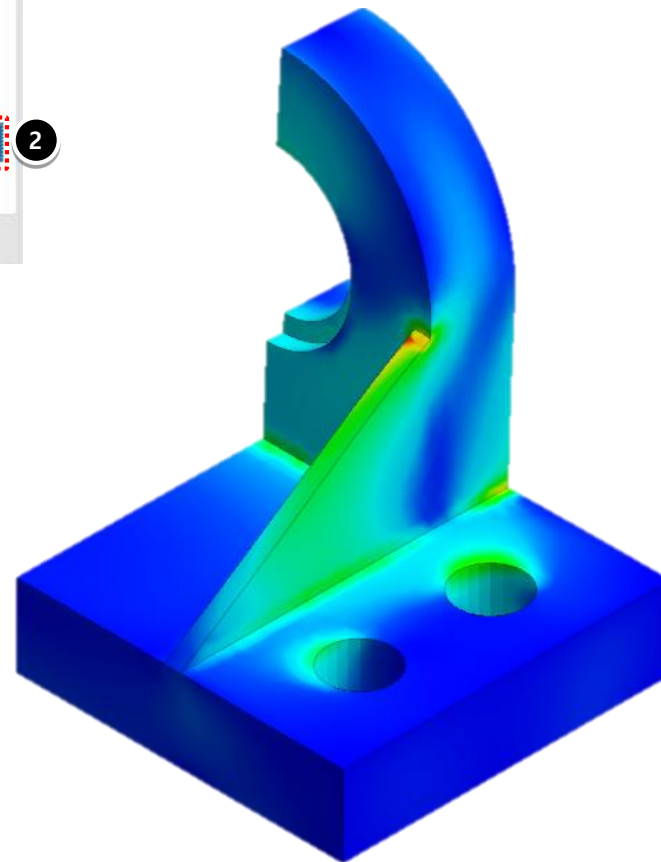
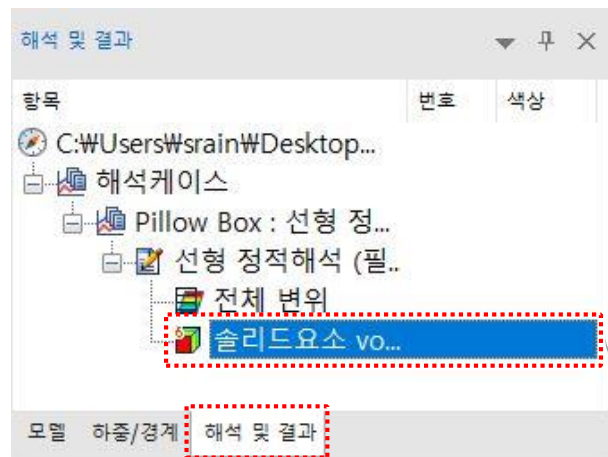
1. 결과분석 >> 고급 >> 결과태그클릭.
2. 보고자 하는 위치 선택
3. [닫기] 버튼 클릭.



💡 해석 결과 중에서 가장 많이 확인하는 최대/최소값 혹은 특정 절점/요소에서의 결과를 태그로 표시해 주는 기능입니다. 해석 후, 보고서 등을 작성하는 경우에 사용하면 좋습니다.

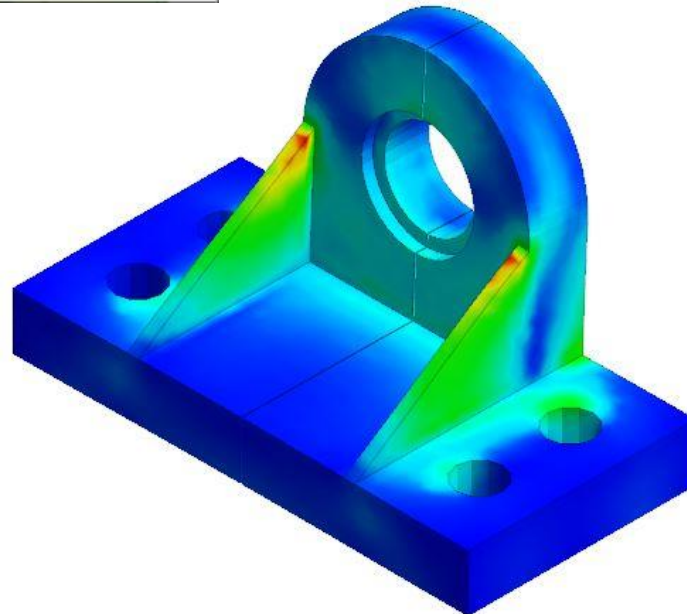
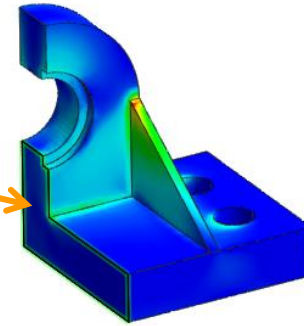
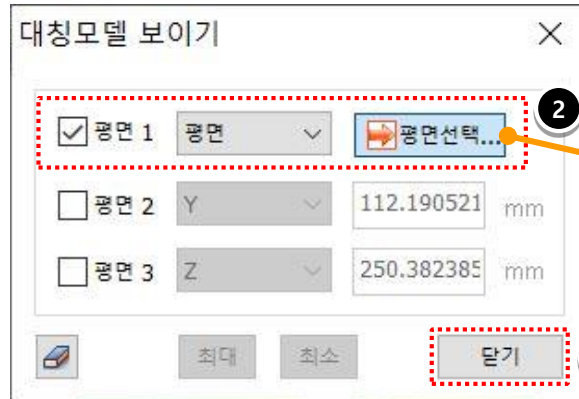
작업순서

1. [] (등각보기1) 클릭.
2. 해석 및 결과 작업트리>>슬리드요소
von-Mises 응력 더블 클릭.




작업순서

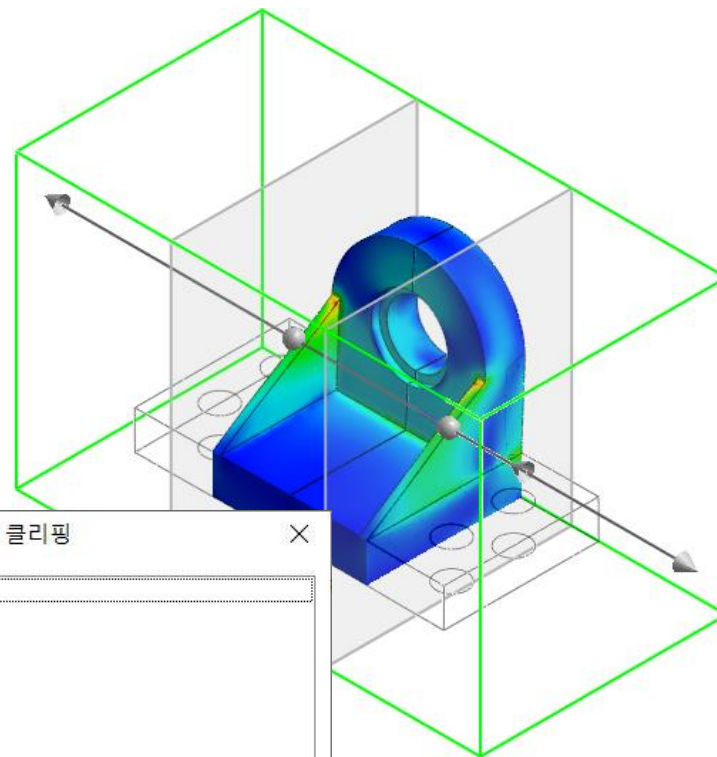
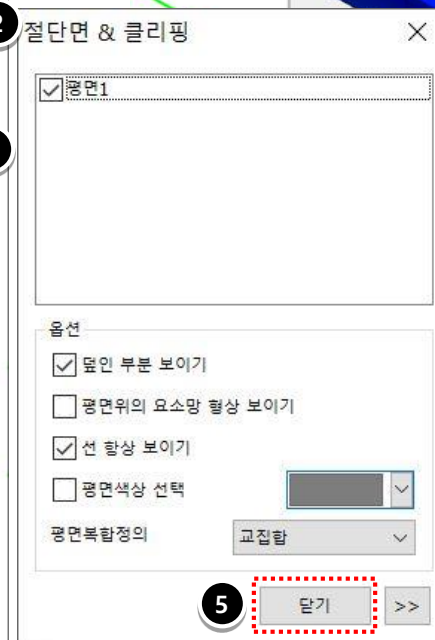
1. [대칭모델 보이기] (대칭모델 보이기) 클릭.
2. 평면 1 선택 >> 평면 선택 >> 대칭조건을 부여했던 면을 선택. (그림참조)
3. [닫기] 버튼 클릭.



💡 1/2 모델을 해석한 후에 [대칭모델 보이기] 기능을 사용하여 전체모델일 때의 결과를 확인할 수 있습니다.


작업순서

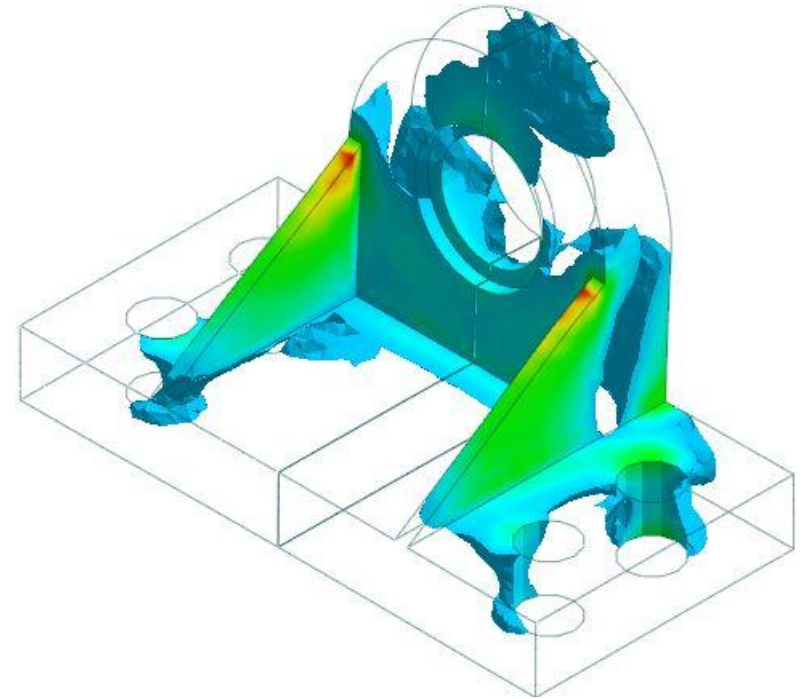
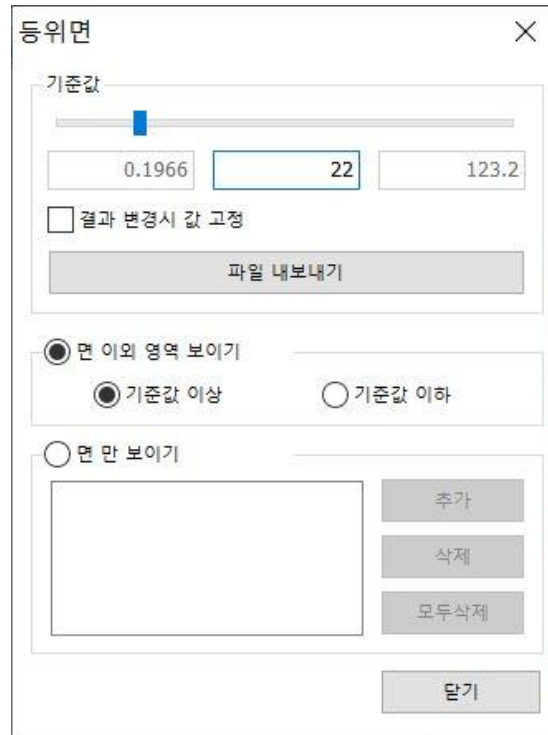
1. [] {절단모델 보이기} 클릭.
2. 평면방향: X,Y,Z축을 선택하여 해당 축을 중심으로 절단 모델이 보임.
3. 거리에 100 입력
4. [추가] 버튼 클릭.
5. [닫기] 버튼 클릭.



💡 정의한 면을 기준으로 절단하여 결과를 확인할 수 있습니다.
화면 상의 화살표의 양끝을 클릭하고 드래그하여 기준면을 회전하거나 화살표 중앙의 볼을 클릭하고 드래그하여 평행 이동할 수 있습니다.


작업순서

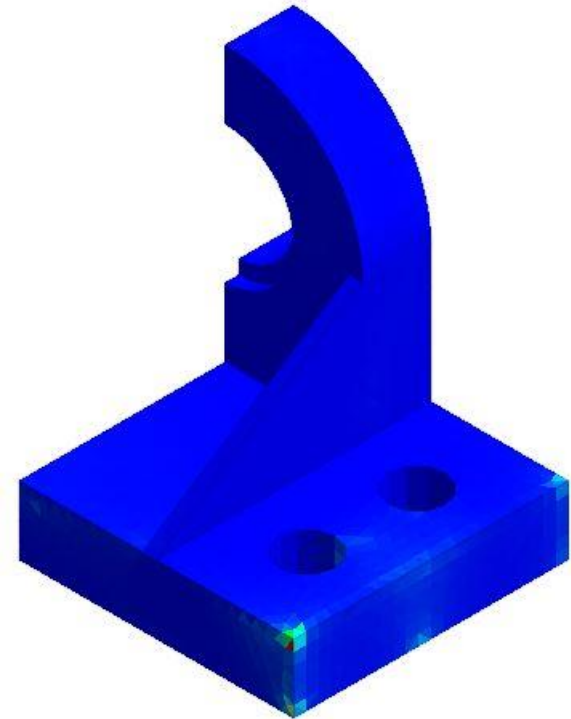
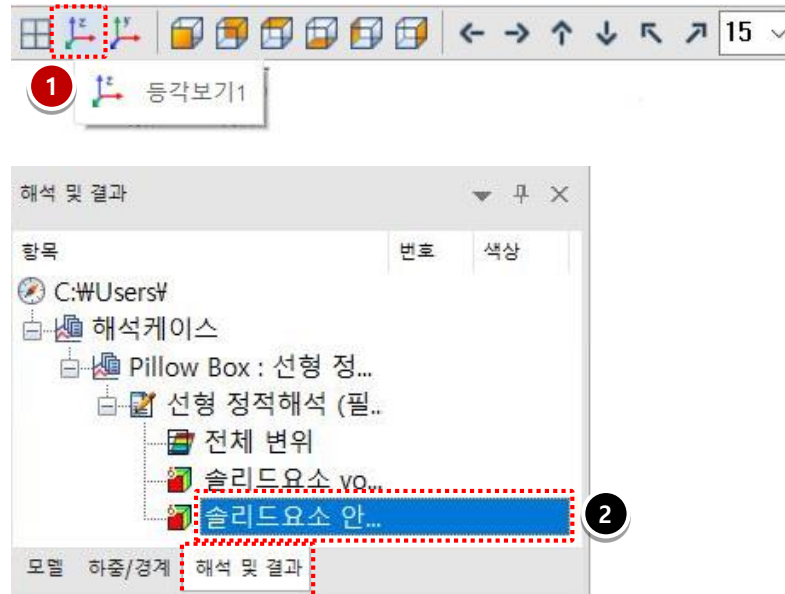
1. [] {특정결과평면 보이기} 클릭.
2. [등위면] 창에서 기준 아래의 스크롤 바를 이동시켜 결과를 확인합니다.
(기준값 이상 or 기준값 이하를 선택하여 표시되는 영역을 조절할 수 있습니다.)
3. [닫기] 버튼 클릭.



💡 기준값에 해당되는 면을 기준으로 기준값 이상 혹은 기준값 이하의 결과값인 부분만을 출력할 수 있습니다.
또는 기준값에 해당되는 면만 볼 수도 있습니다.

작업순서

1. [] (등각보기1) 클릭.
2. 해석 및 결과 작업트리 >> 솔리드요소 안전율을 더블 클릭.



💡 안전율을 계산하기 위해서는 재료 정의 시, 반드시 파손이론과 인장강도를 입력해야 합니다.

$$(\text{안전율}) = (\text{인장강도}) / (\text{응력값})$$

안전율은 위의 식과 같이 계산되며, 안전율이 1보다 작은 경우, 응력이 인장강도를 넘어섰기 때문에 이에 대한 보강이 필요하다는 의미입니다.

개요

➤ 선형정적해석

- 단위 : N, mm
- 기하모델: Bracket.x_t

➤ 간략화 기능

- 필렛 삭제
- 잘못된 필렛 삭제의 예

➤ 경계조건과 하중조건

- 경계조건(핀구속)
- 집중하중

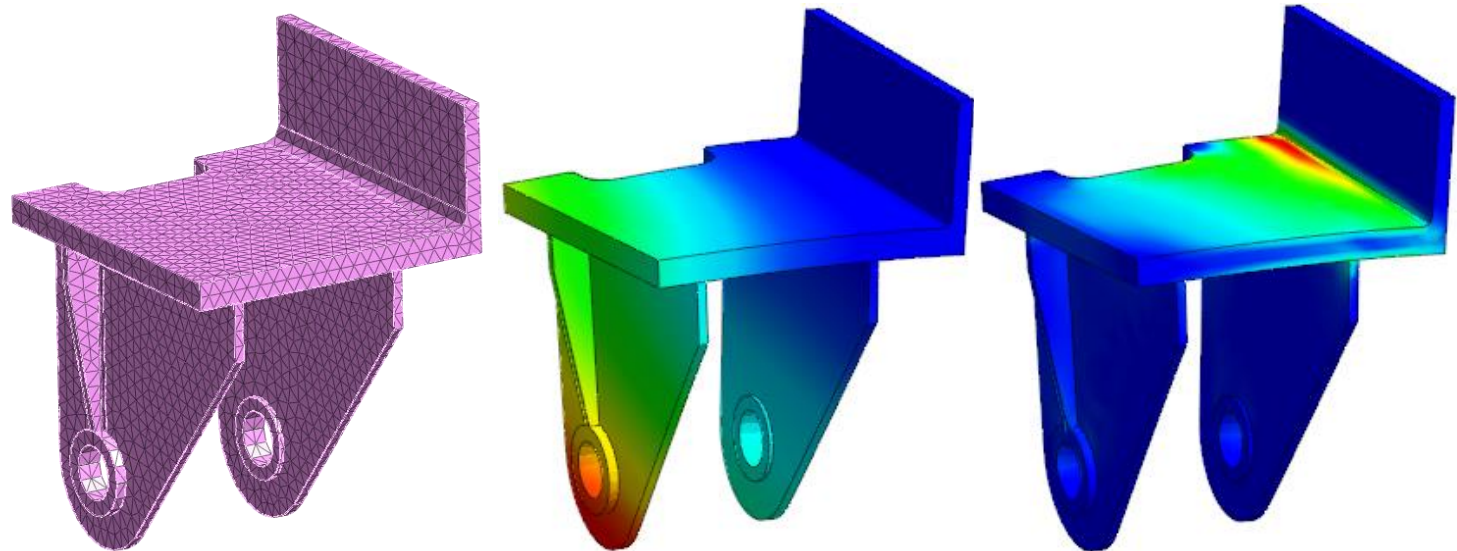
➤ 하이브리드 요소망 생성

➤ 결과확인

- 전체 변위
- von-Mises 응력
- 결과값 비교

Bracket

(간략화 기능의 이해)



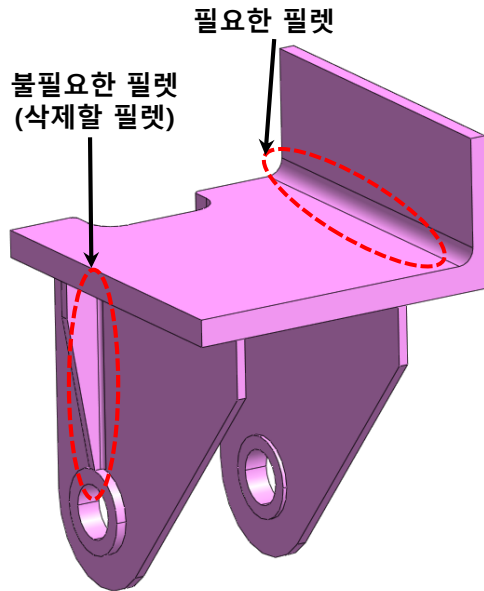
따라하기 목적

➤ 모델 간략화 기능 올바르게 사용하기

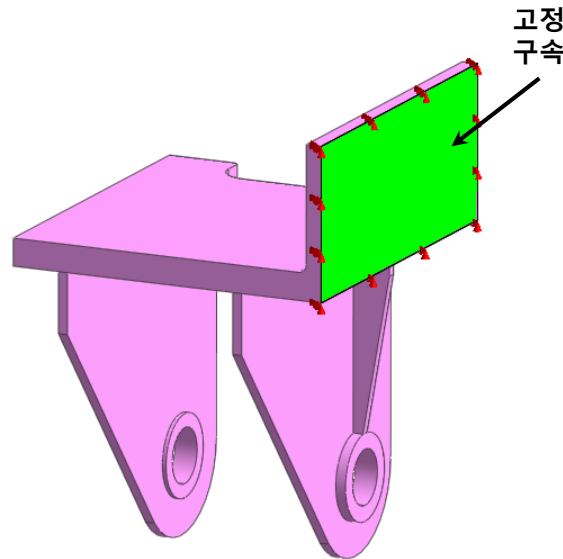
- 모델 간략화를 이용할 때에는 모든 구멍과 필릿을 무조건 삭제해서는 안됩니다.
역학적 거동을 고려하여 해석에 불필요한 필릿만 삭제하고, 해석에 영향을 미치는 필릿은 삭제하지 않도록 합니다.
- 필요한 필릿의 삭제 전/후의 결과를 비교해보고 타당성을 논의해봅니다.

해석 개요

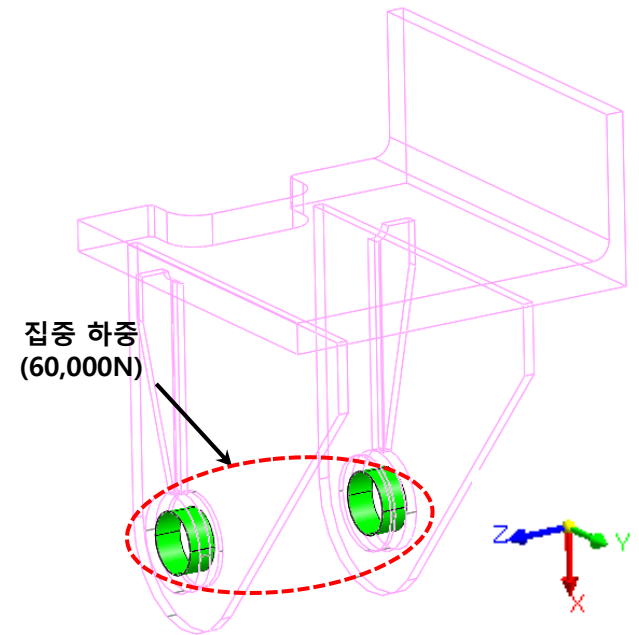
➤ 대상 모델



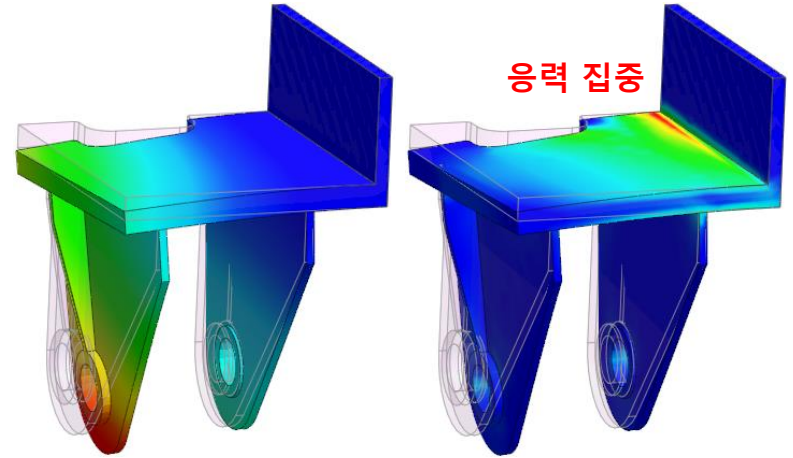
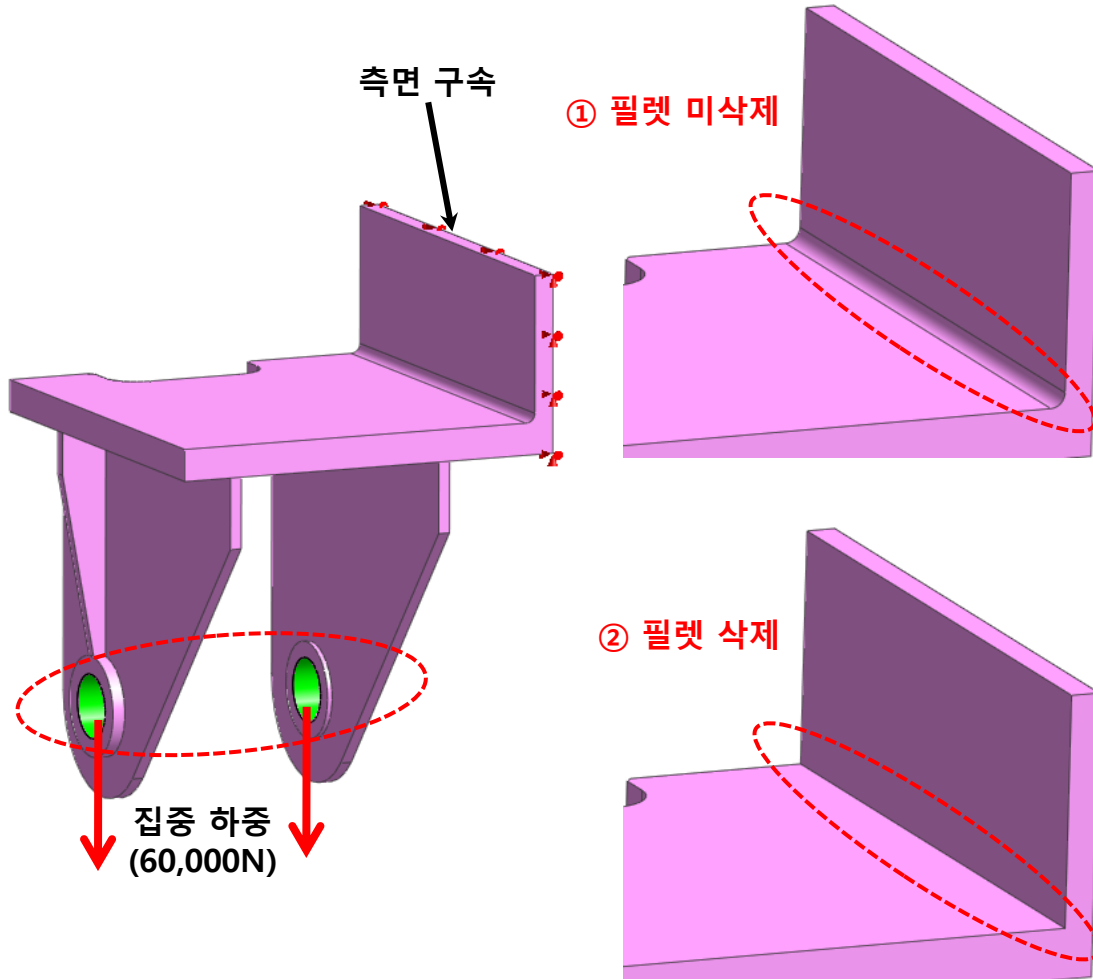
➤ 경계조건 (핀구속)



➤ 하중조건 (압력)





간략화 기능의 이해





필렛의 필요성 (역학적 거동 고려)

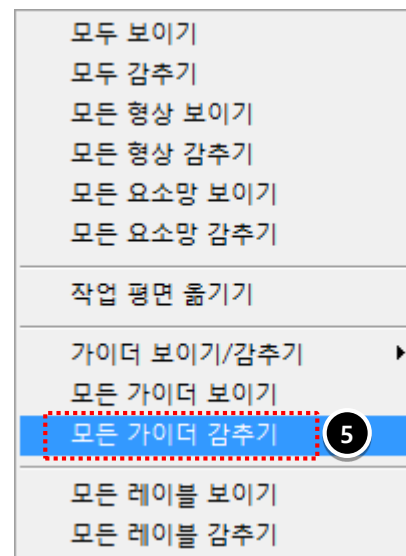
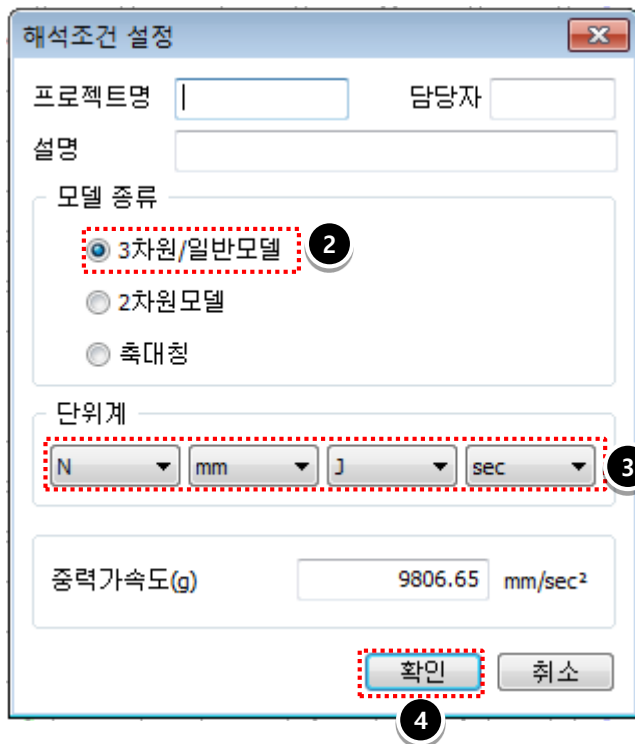
- 측면을 구속한 상태에서 수직 아래 방향으로 베어링 하중조건을 설정하면, 모델(Bracket)은 전체적으로 아래 방향으로 처지게 되고, 측면 구속된 부분에서 큰 하중이 걸리게 됩니다. 그렇기 때문에 강성 보강을 위해 설계된 필렛을 삭제하게 되면, 큰 하중에 의해 응력이 집중되고 최대 응력값도 커지게 됩니다.
- 모델 간략화를 할 때에는 하고자 하는 해석의 역학적 거동을 고려하여 주의 깊게 구멍이나 필렛을 삭제해야 합니다.

작업순서

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

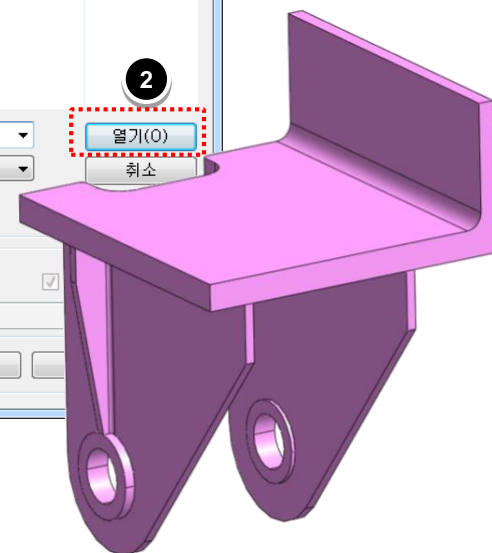
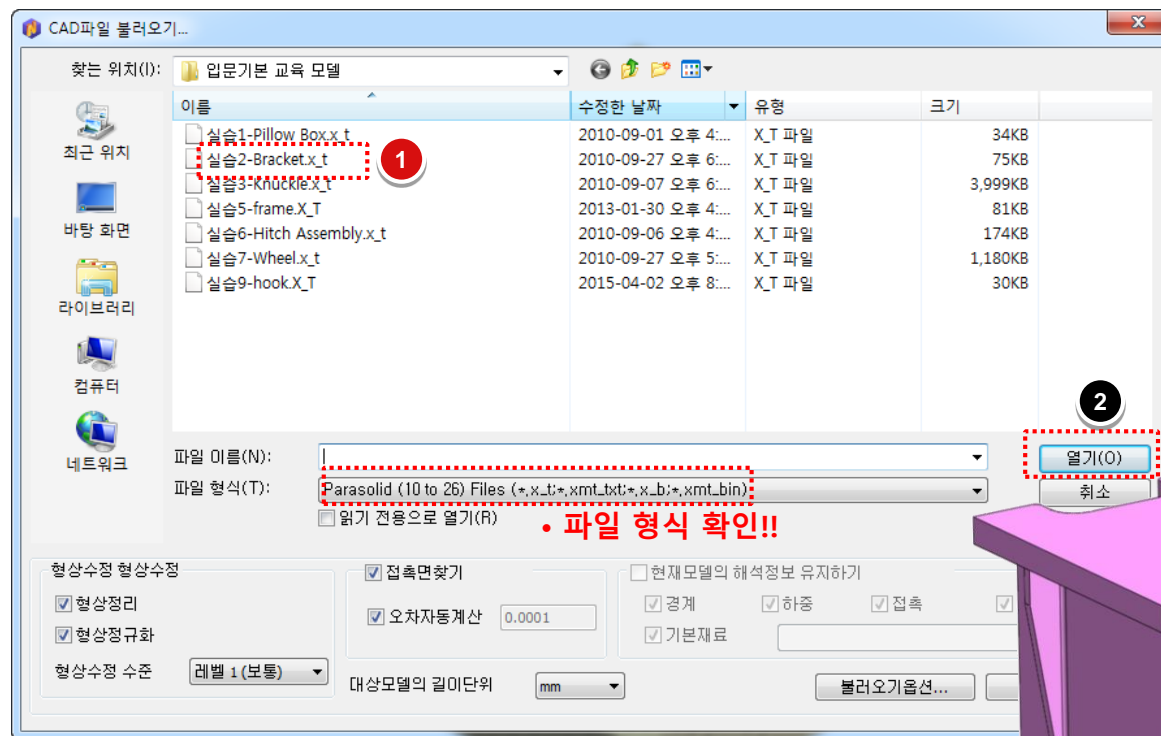
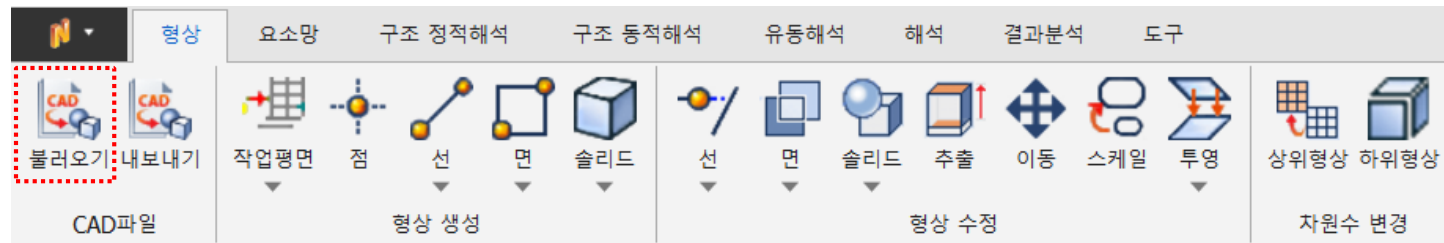
 프로그램을 실행시킨 후 [새로 만들기]를 클릭하면 모든 메뉴가 활성화 됩니다.

 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.




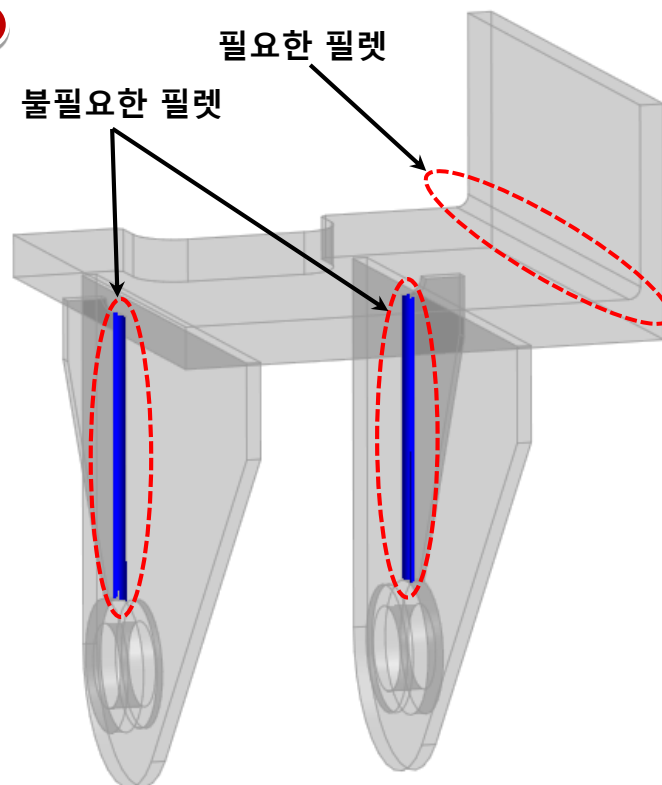
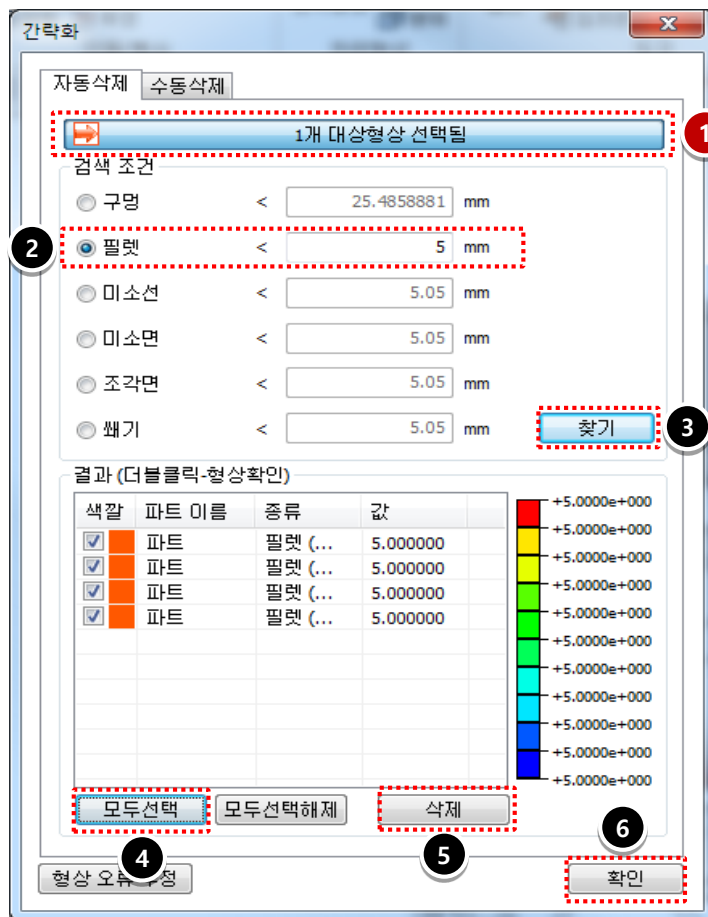
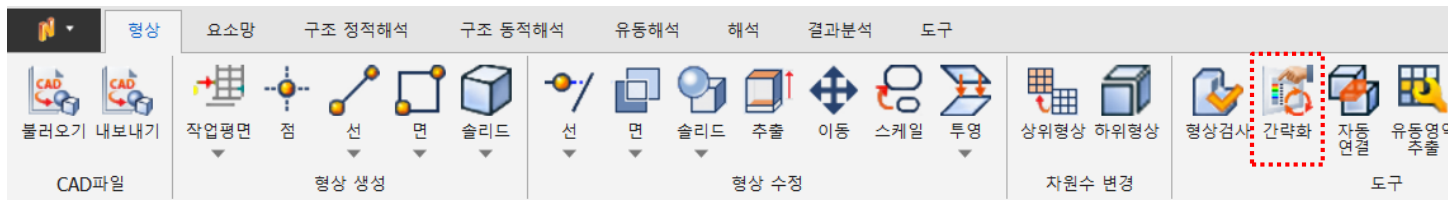
작업순서


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



작업순서

1. 대상 선택: 전체 모델(1개) 선택.
2. 필렛(반경): "5" 입력. 
3. [찾기] 버튼 클릭.
4. [모두선택] 버튼 클릭.
5. [삭제] 버튼 클릭.
6. [닫기] 버튼 클릭.



 해석상 불필요한 필렛을 삭제합니다.
불필요한 필렛 4면을 삭제하고 해석상
필요한 필렛은 삭제하지 않습니다.

작업순서

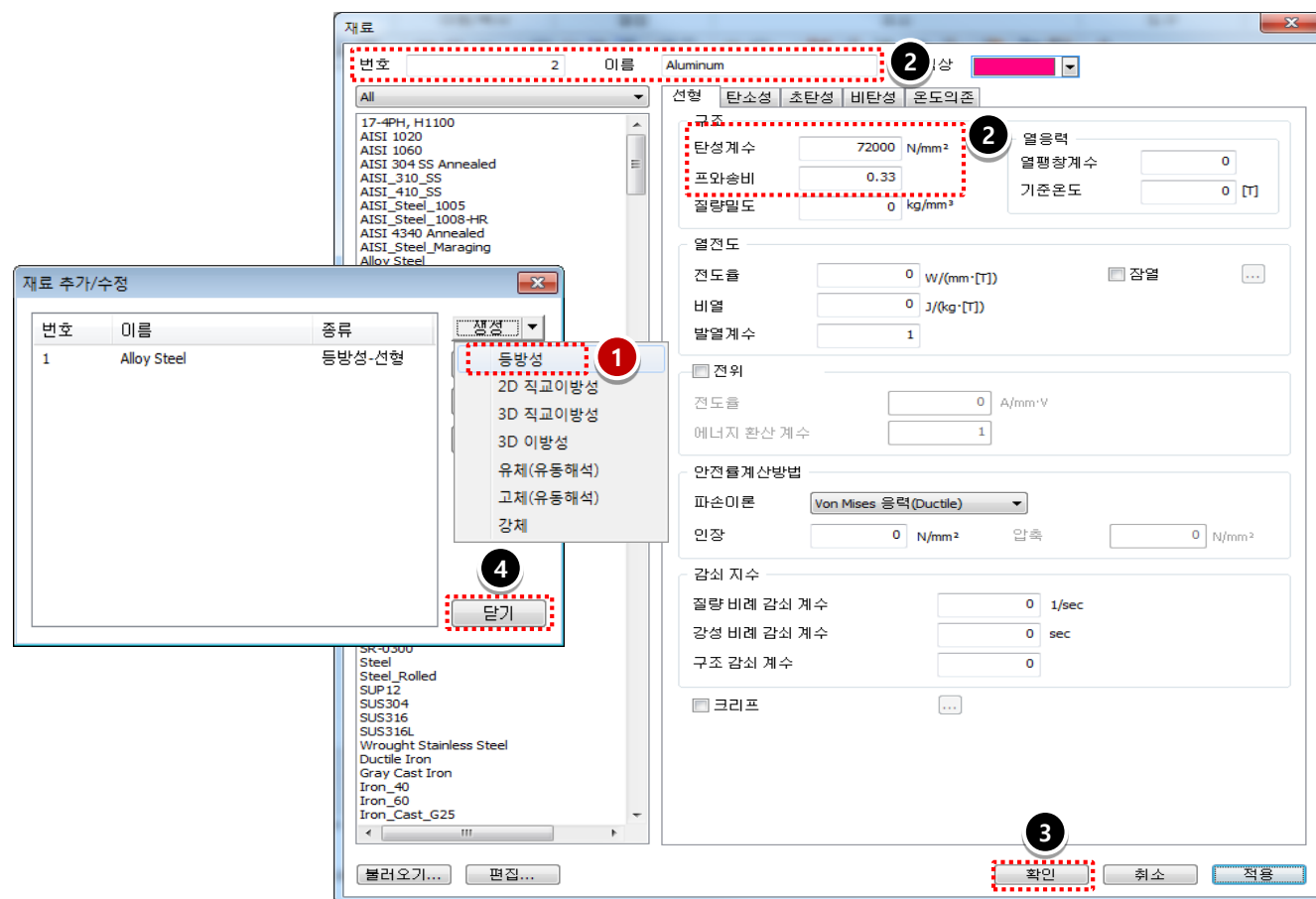
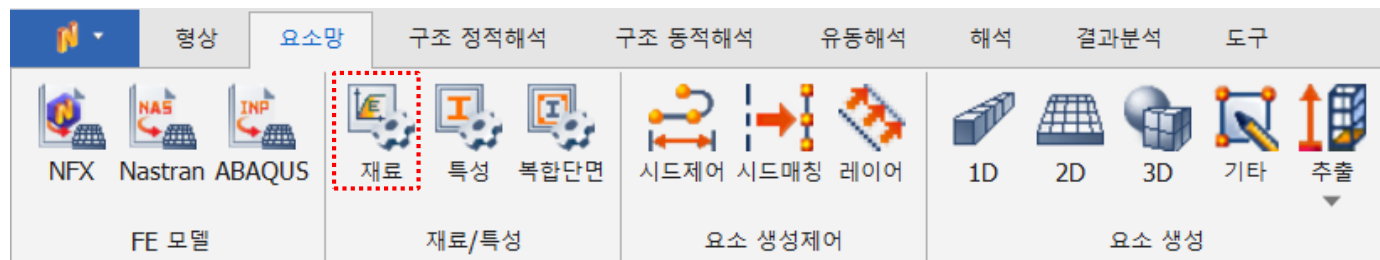
1. 생성 >> 등방성 클릭

2. 재질입력

번호	2
이름	Aluminum
탄성계수	72000 (N/mm ²)
프와송비	0.33

3. [확인] 버튼 클릭.

4. [닫기] 버튼 클릭

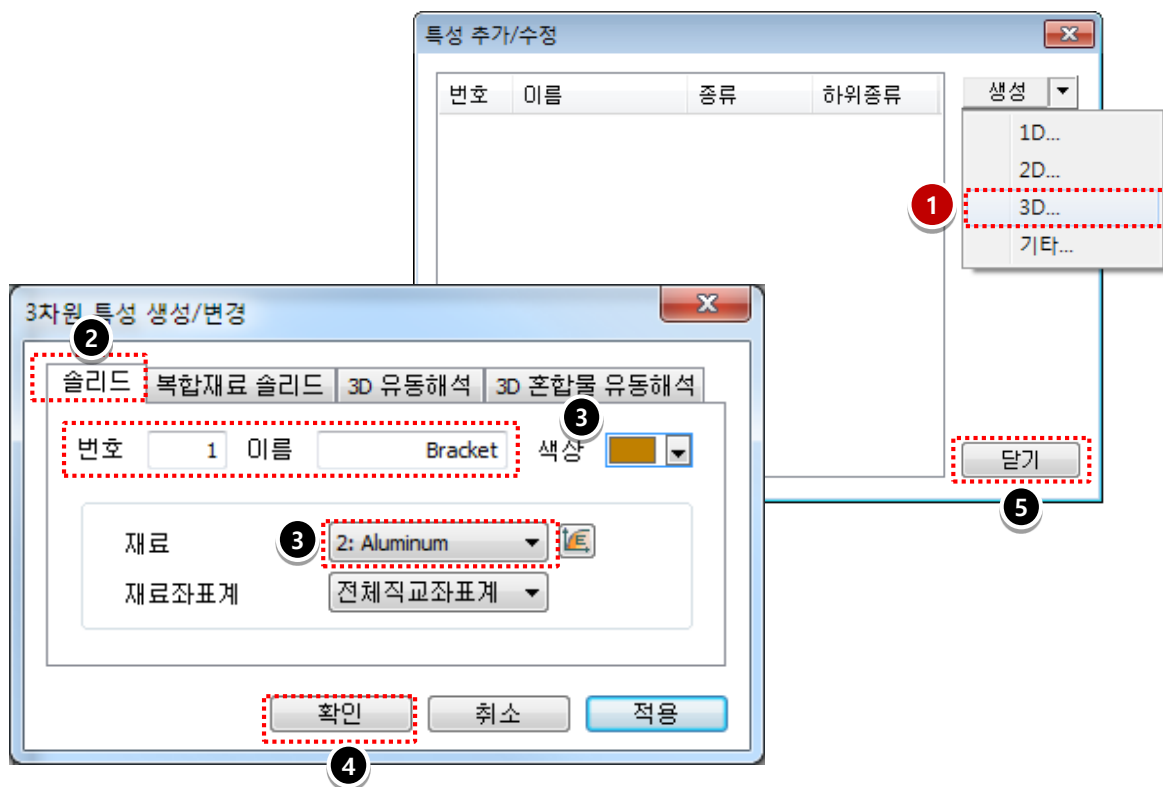
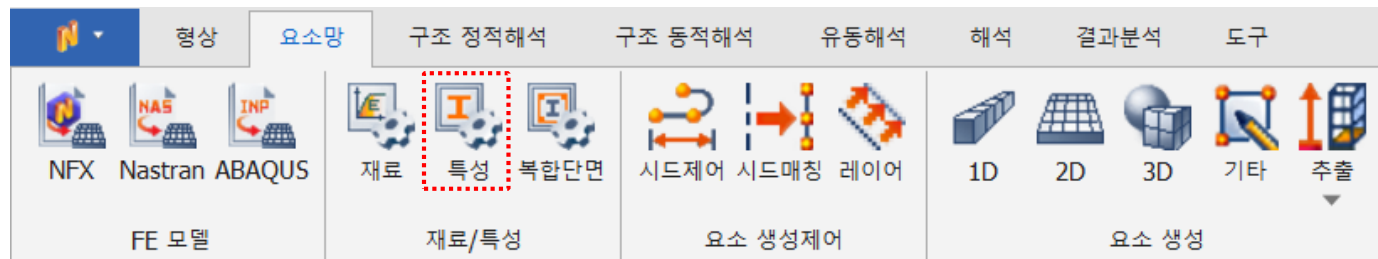


작업순서

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

번호	1
이름	Bracket
재질	2: Aluminum

4. [확인] 버튼 클릭.
5. [닫기] 버튼 클릭



작업순서

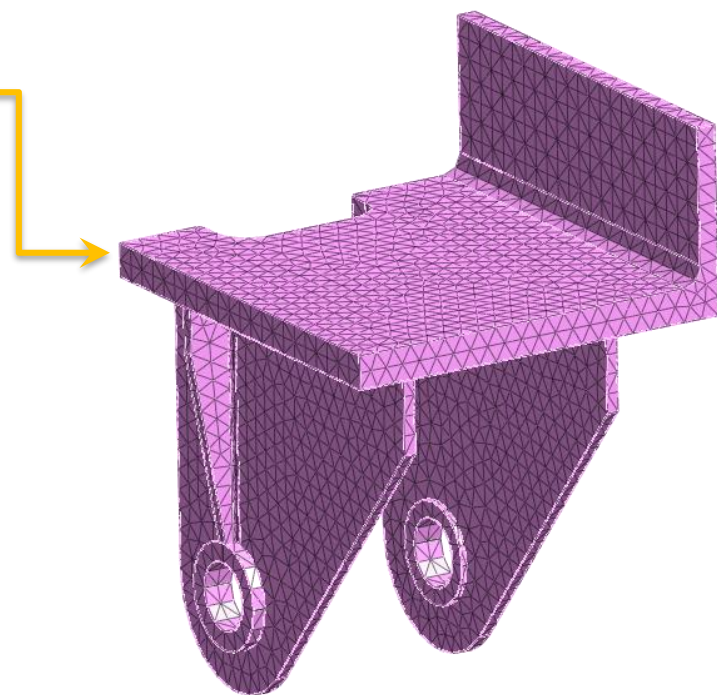
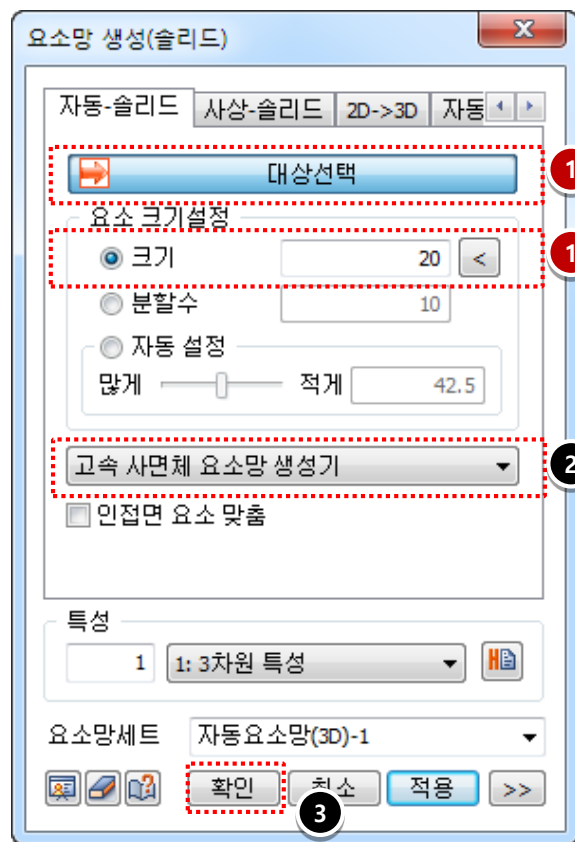
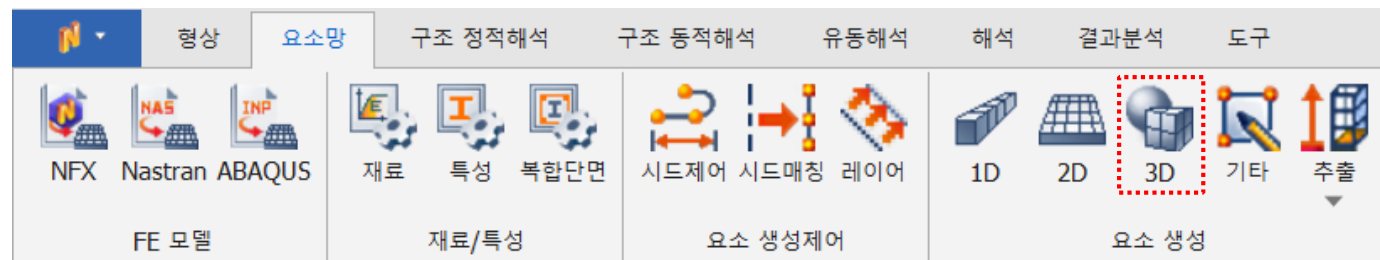
1. 대상 선택: 모델(1개) 선택.

요소 크기 : 20 입력

2. 3D 요소망 생성기:


고속사면체 요소망 생성기 선택.

3. [확인] 버튼 클릭.

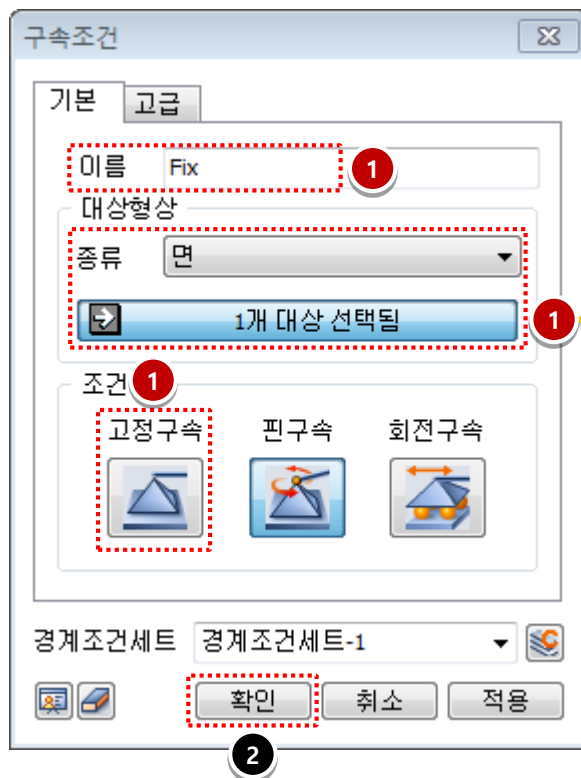
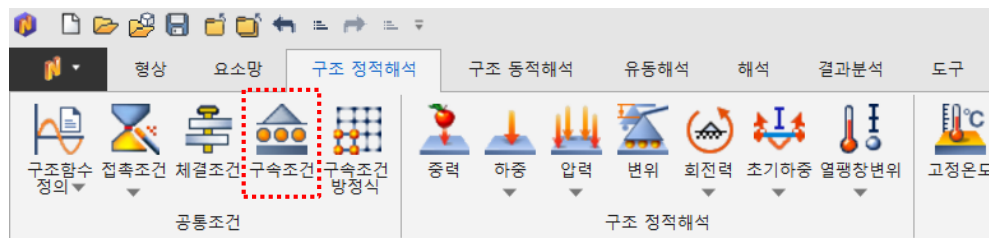



작업순서

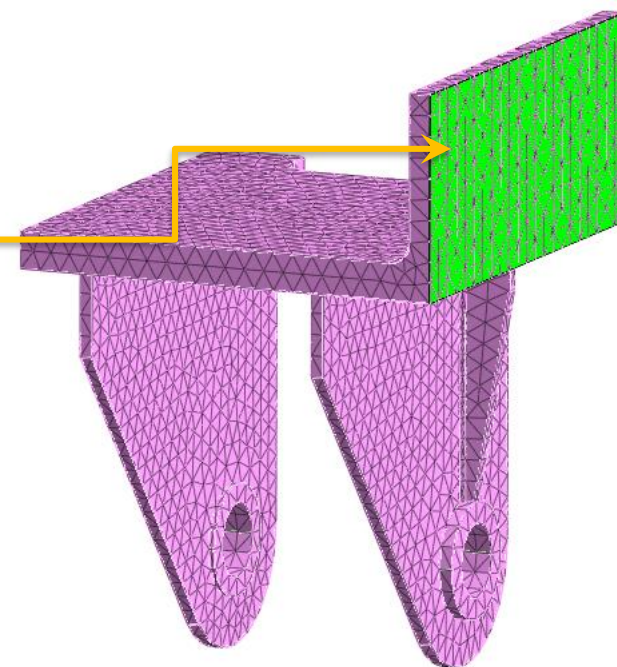
1. 구속조건 입력

이름	Fix
대상종류	면
대상선택	1개 선택(그림참조)
조건	고정구속 

2. [확인] 버튼 클릭



 고정구속: X,Y,Z 병진자유도 및 회전 자유도 구속

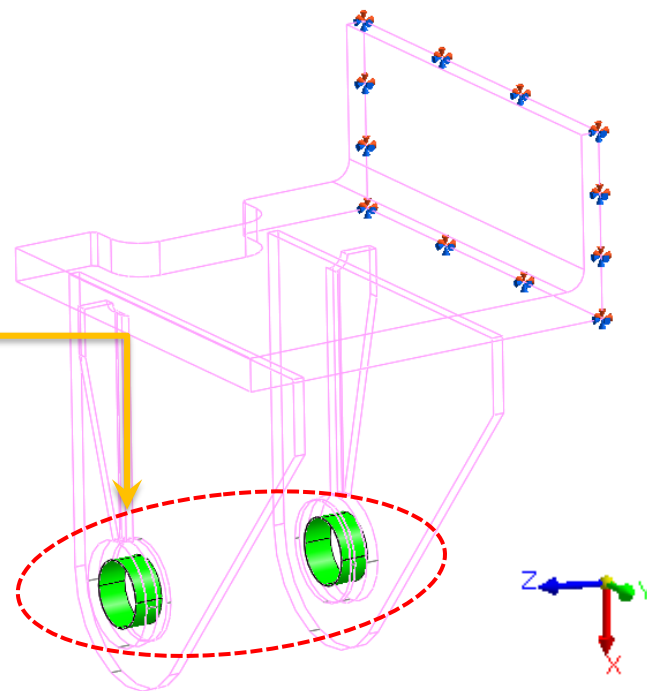
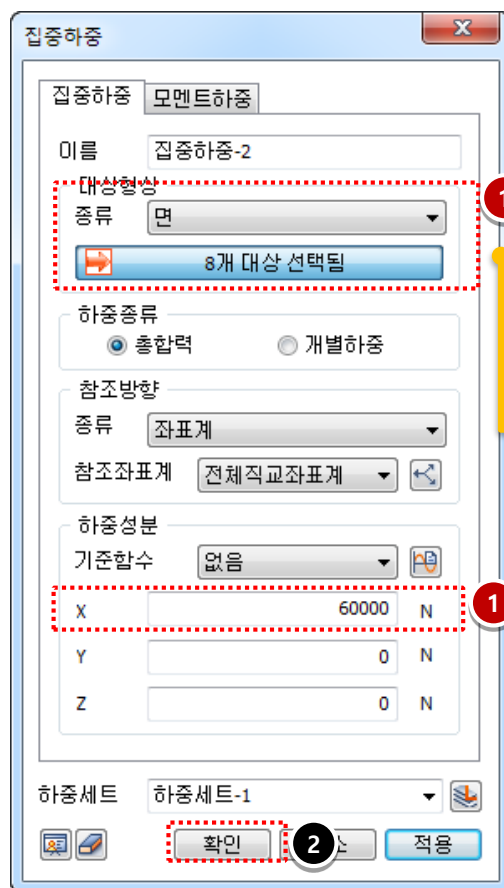


작업순서

1. 집중하중 입력

이름	집중하중
대상종류	면
대상선택	8개 선택(그림참조)
크기(X축)	60000 (N)

2. [확인] 버튼 클릭.

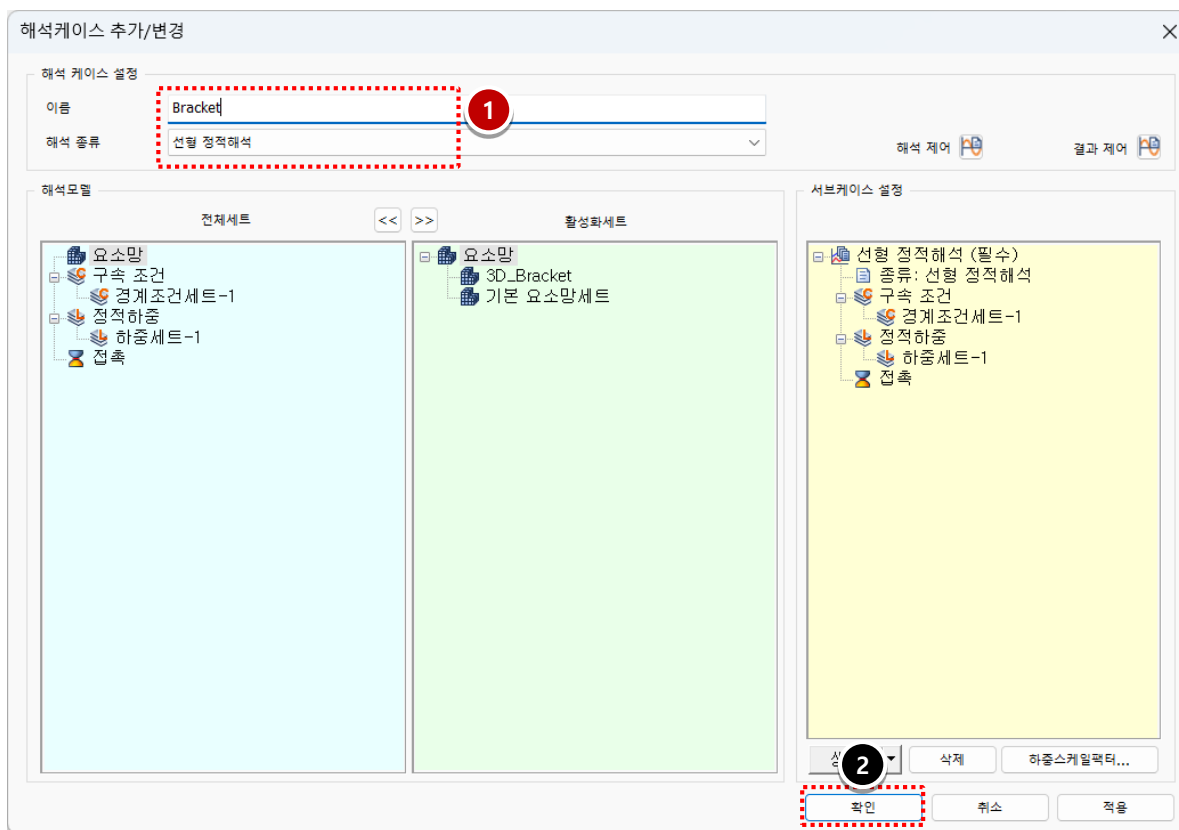


작업순서

1. 이름: "Bracket" 입력.

해석 종류: [선형 정적해석] 선택.

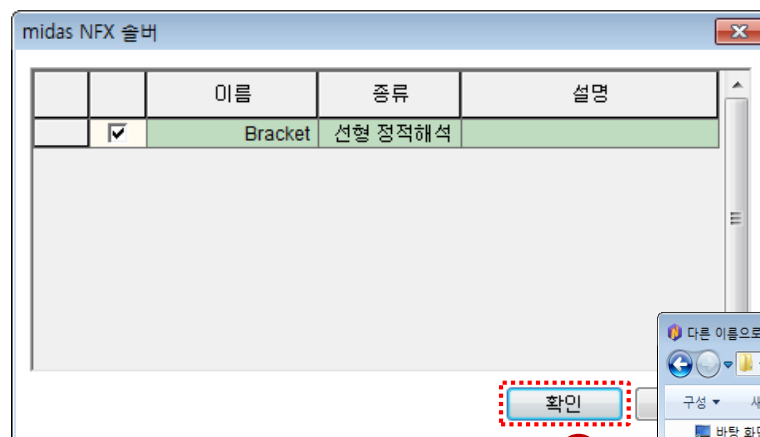
2. [확인] 버튼 클릭.



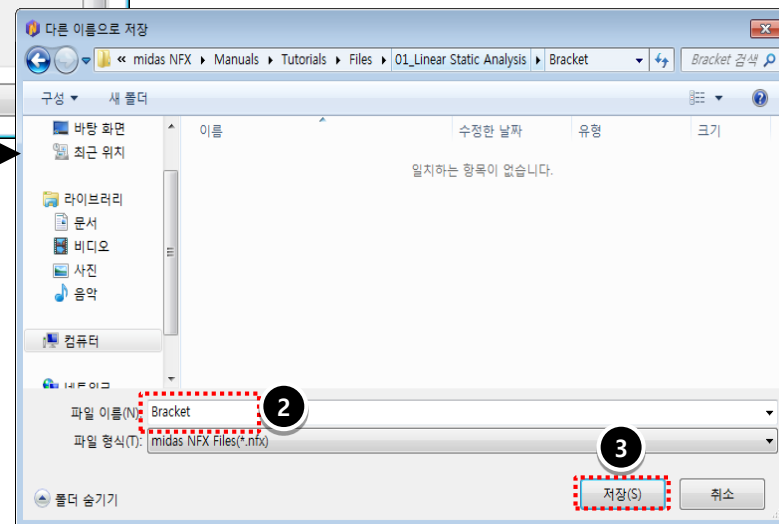
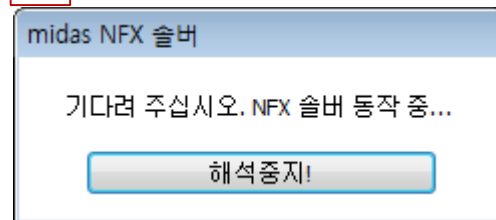
기본적으로 현재 작업된 기하형상, 구속조건, 하중조건 등이 모두 활성화됩니다.

작업순서

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



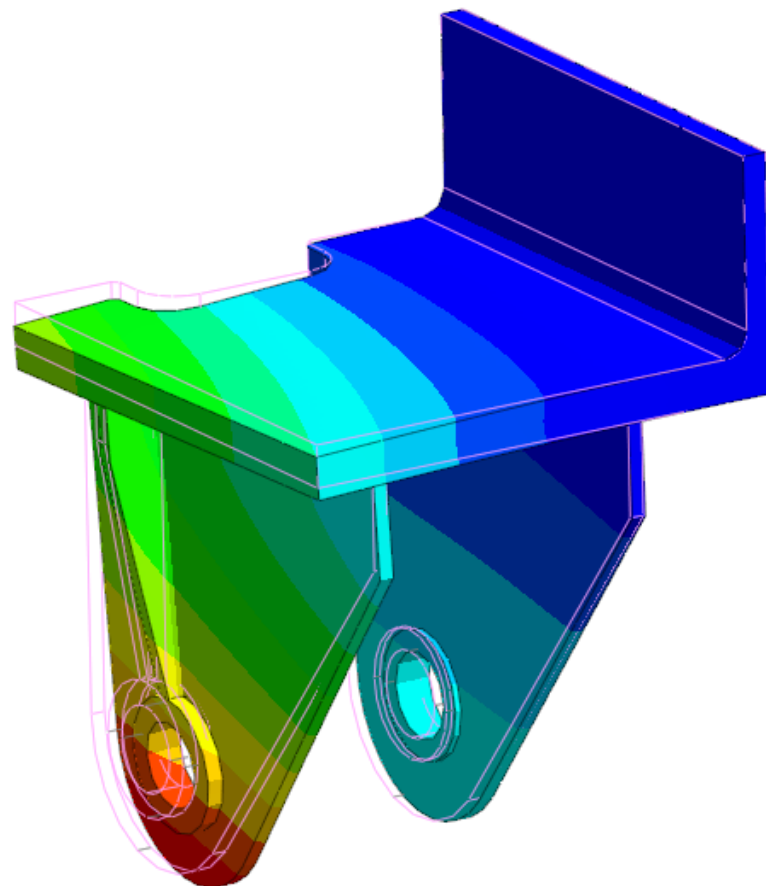
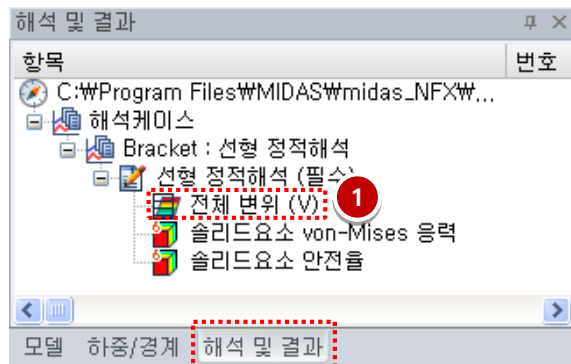
💡 해석을 실행하면 midas NFX 슬버가 작동됩니다. [해석중지!] 버튼을 클릭하면 해석이 중지됩니다.



작업순서

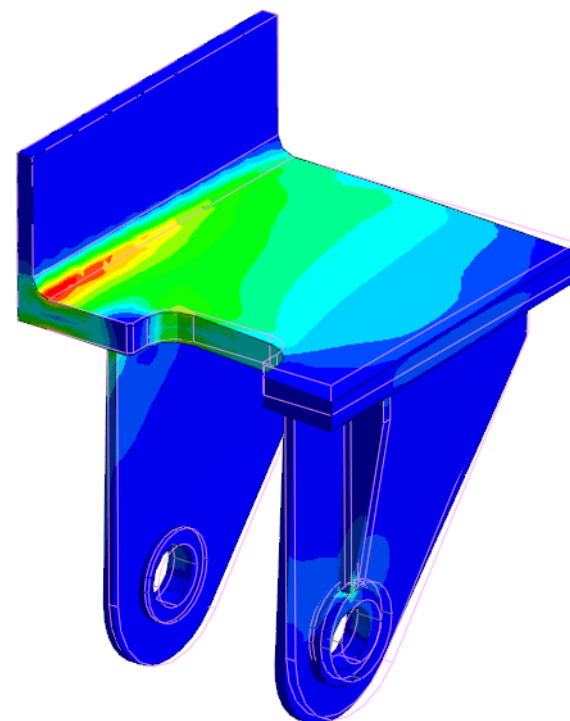
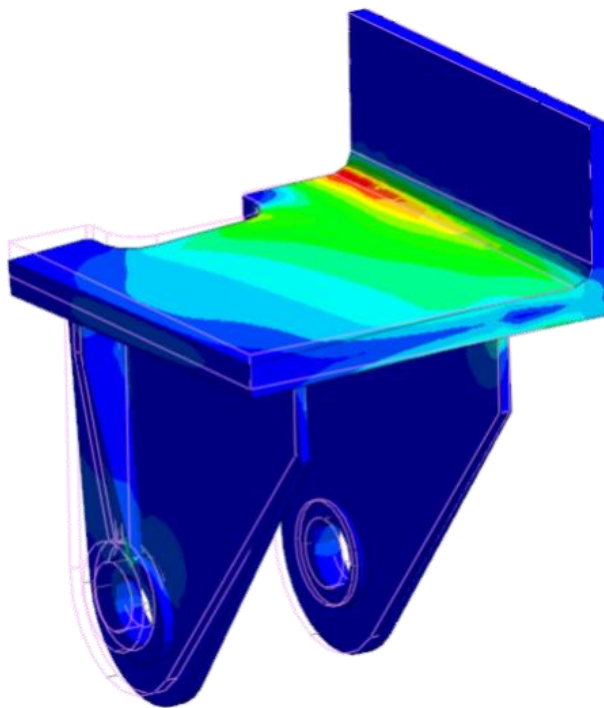
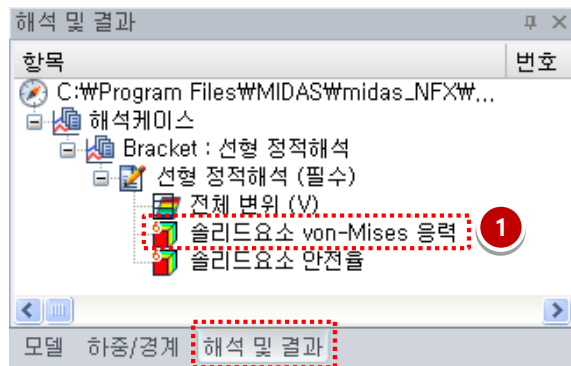
1. 해석 및 결과 작업트리에서

전체 변위 더블 클릭.



작업순서

1. 해석 및 결과 작업트리에서
Von-Mises 응력 더블 클릭.



개요

➤ 선형정적해석

- 단위 : N, mm
- 기하모델: Knuckle.x_t

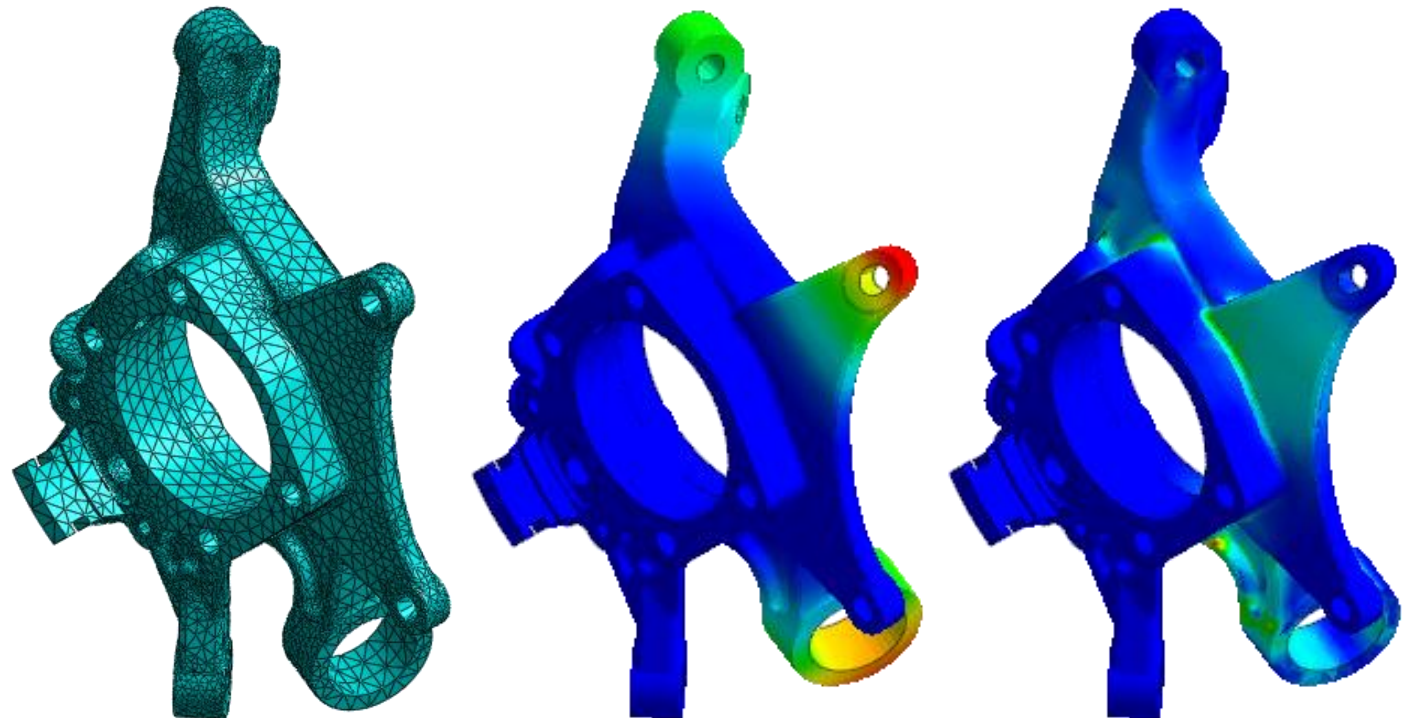
➤ 경계조건과 하중조건

- 경계조건(핀구속)
- 베어링 하중
- 리모트 하중
- 토크 하중

➤ 결과확인

- 전체 변위
- von-Mises 응력

Knuckle (다양한 정적 하중 설정)



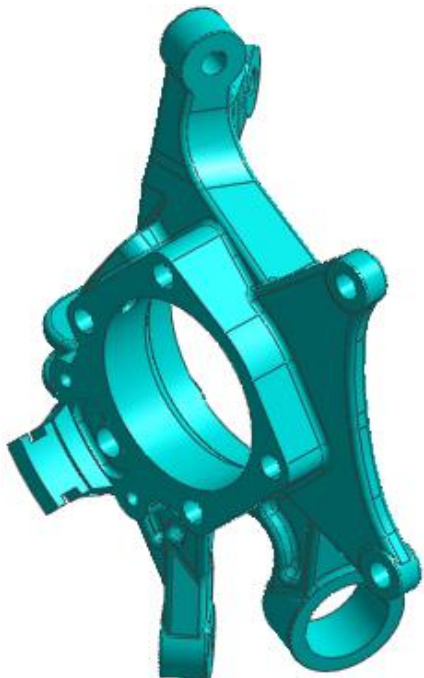
따라하기 목적

▶ 다양한 정적 하중을 입력하여 선형정적해석 실행하기

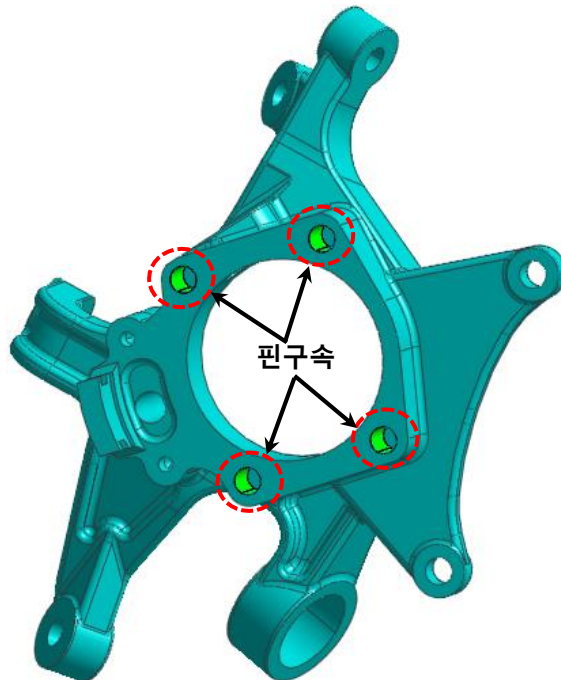
- 프로그램에서 제공하는 재료DB의 재질을 사용하여 해석합니다.
- 별도의 재료 지정을 하지 않더라도 기본값으로 사용하는 재료가 적용되어 요소 특성만 정의하면 됩니다.
- 베어링, 리모트, 토크 하중을 입력하여 선형정적해석을 수행합니다.

해석 개요

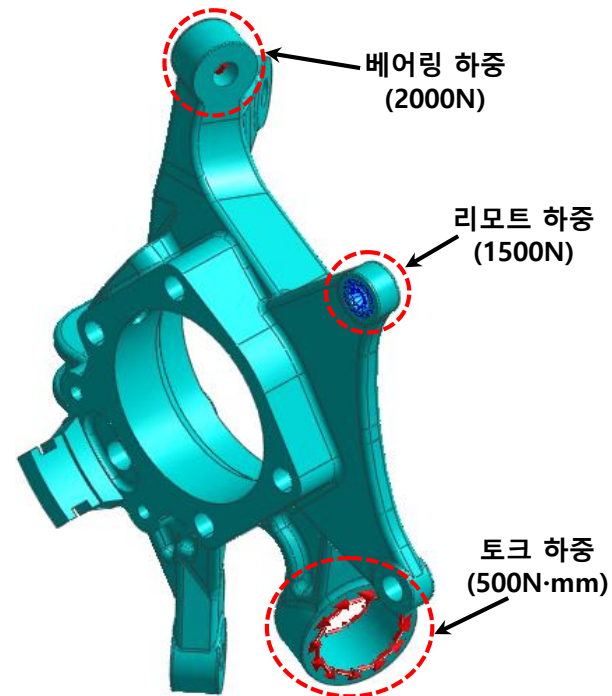
▶ 대상 모델



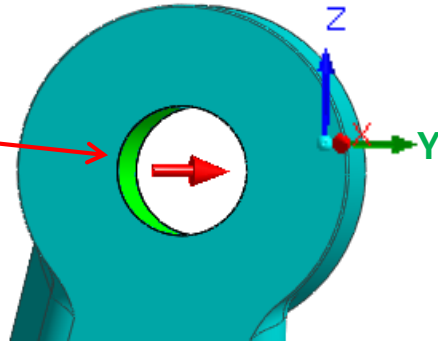
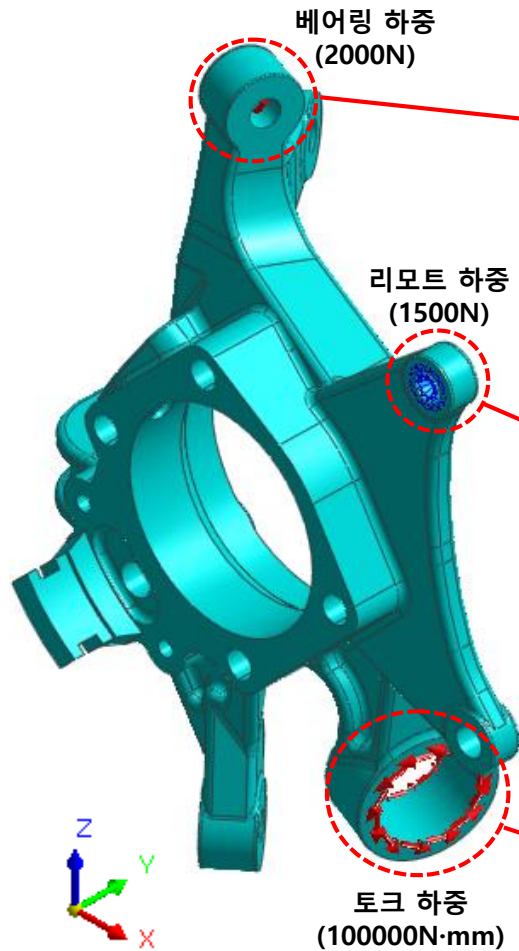
▶ 경계조건 (핀구속)



▶ 하중조건 (베어링 하중, 리모트 하중, 토크)

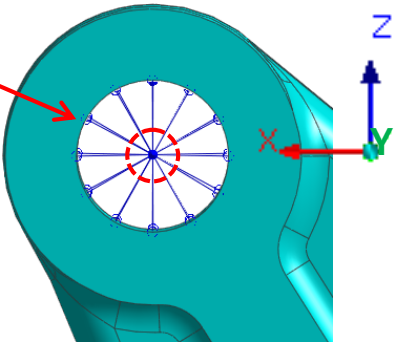


베어링, 리모트, 토크



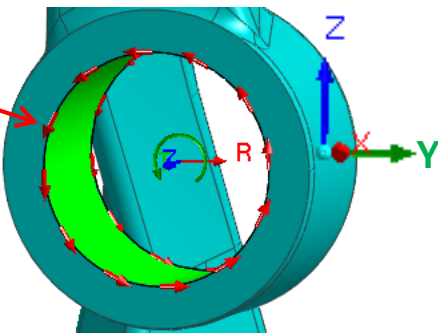
▶ 베어링 하중

- 베어링이 지지하고 있는 물체에 의해 발생하는 하중을 편리하게 입력할 수 있습니다.
- 모델의 원하는 면(원통면)에 베어링 하중을 입력할 수 있으며, X, Y, Z축 방향을 선택하면 됩니다.
- 예제에서는 원통면을 선택하고, Y축 방향으로 2000N의 베어링 하중을 입력합니다.



▶ 리모트 하중



- 모델에서 하중의 작용 위치가 실제 하중대상과 떨어진 경우에 간편하게 하중을 입력할 수 있다.
- 모델의 원하는 부분(점, 선, 면)을 선택하고, 하중의 작용 위치를 정할 수 있습니다. (선택된 대상의 중심에 하중을 작용시키거나 원하는 좌표를 입력할 수 있습니다.)
- 예제에서는 원통면을 선택하고, 하중의 작용 위치는 원통면의 중심이며, Y축 방향으로 1500N의 리모트 하중을 입력합니다.





▶ 토크 하중

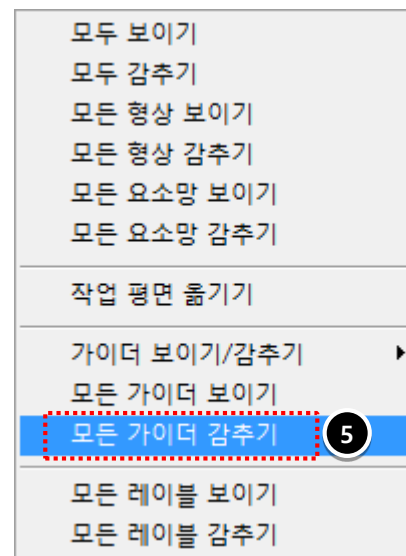
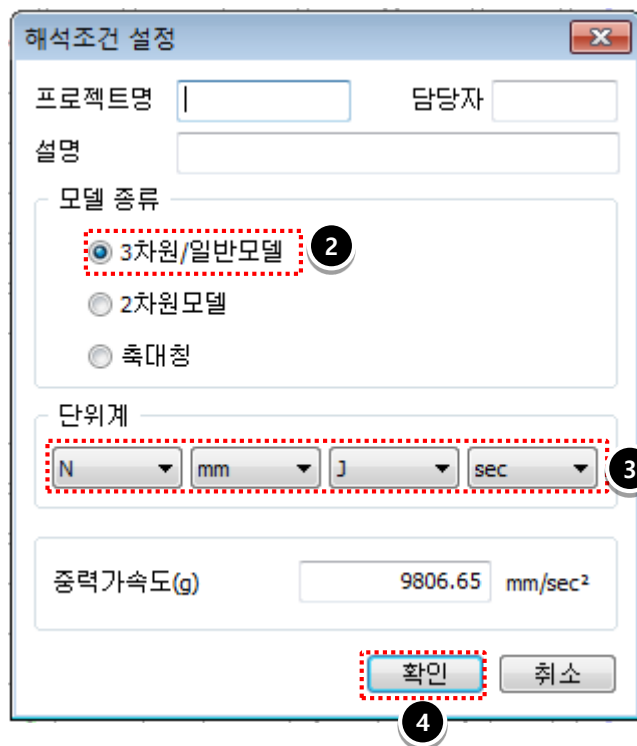
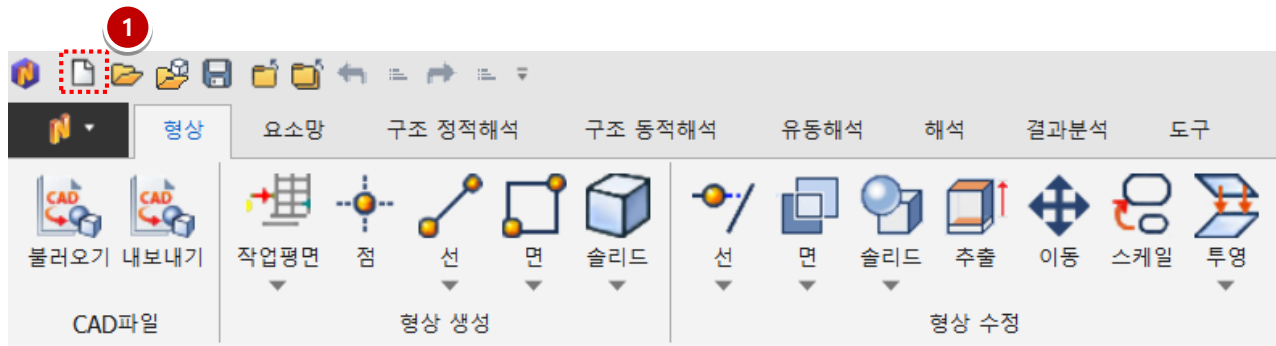
- 선택한 축을 중심으로 회전시키는 모멘트를 의미합니다. 이 때, 회전 방향은 오른손 법칙이 적용됩니다.
- 모델의 원하는 부분(점, 선, 면)을 선택하고, 회전축이 되는 면을 선택합니다.
- 예제에서는 원통면을 선택하고, 원통면의 중심을 회전축으로 하여, 시계방향으로 100000N·mm의 토크 하중을 입력합니다.

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.

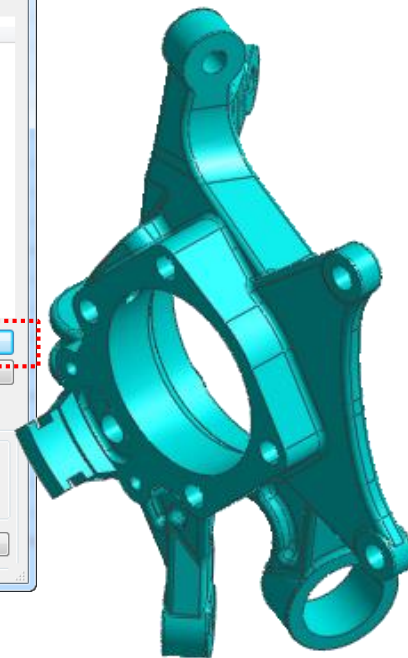
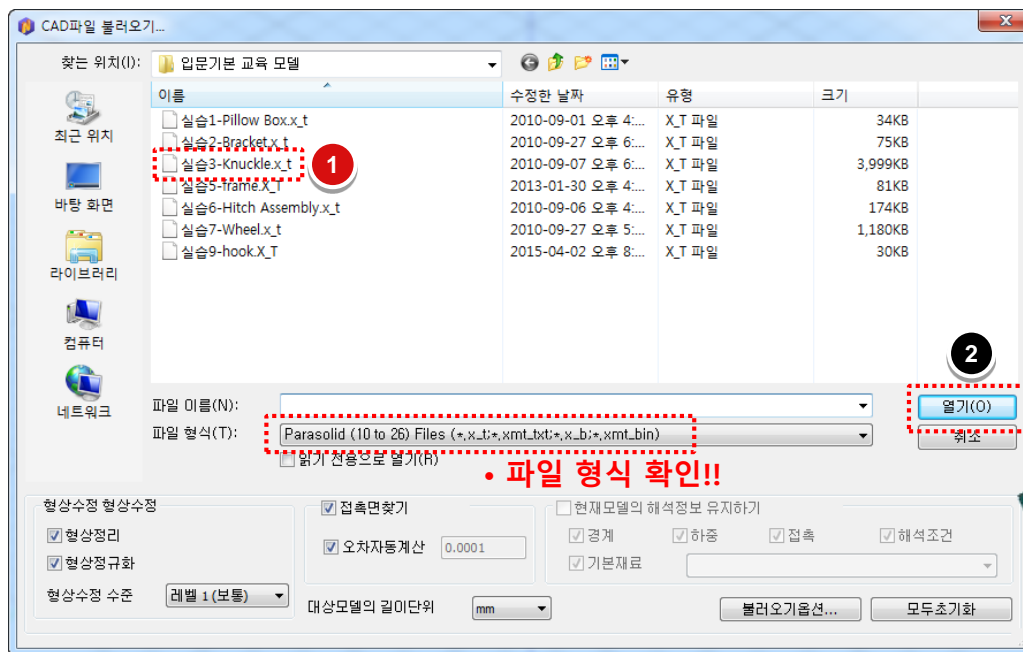
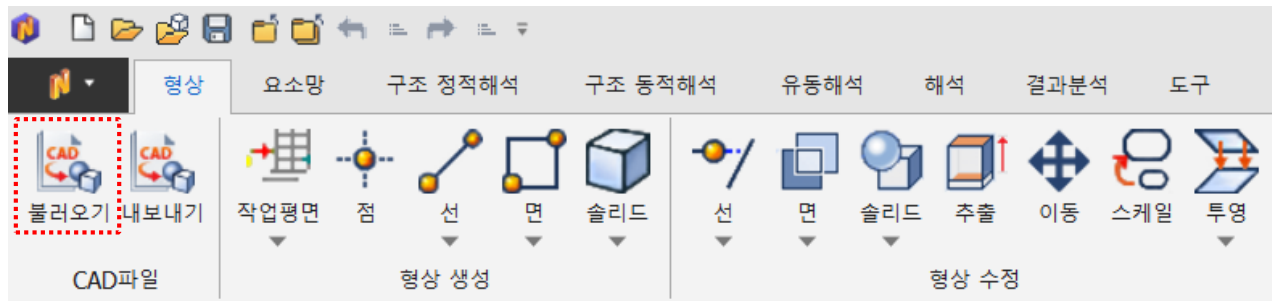
 프로그램을 실행시킨 후 [새로 만들기]를 클릭하면 모든 메뉴가 활성화 됩니다.

 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.



작업순서

1. 모델 선택: "Knuckle.x_t" 선택
2. [열기] 버튼 클릭.



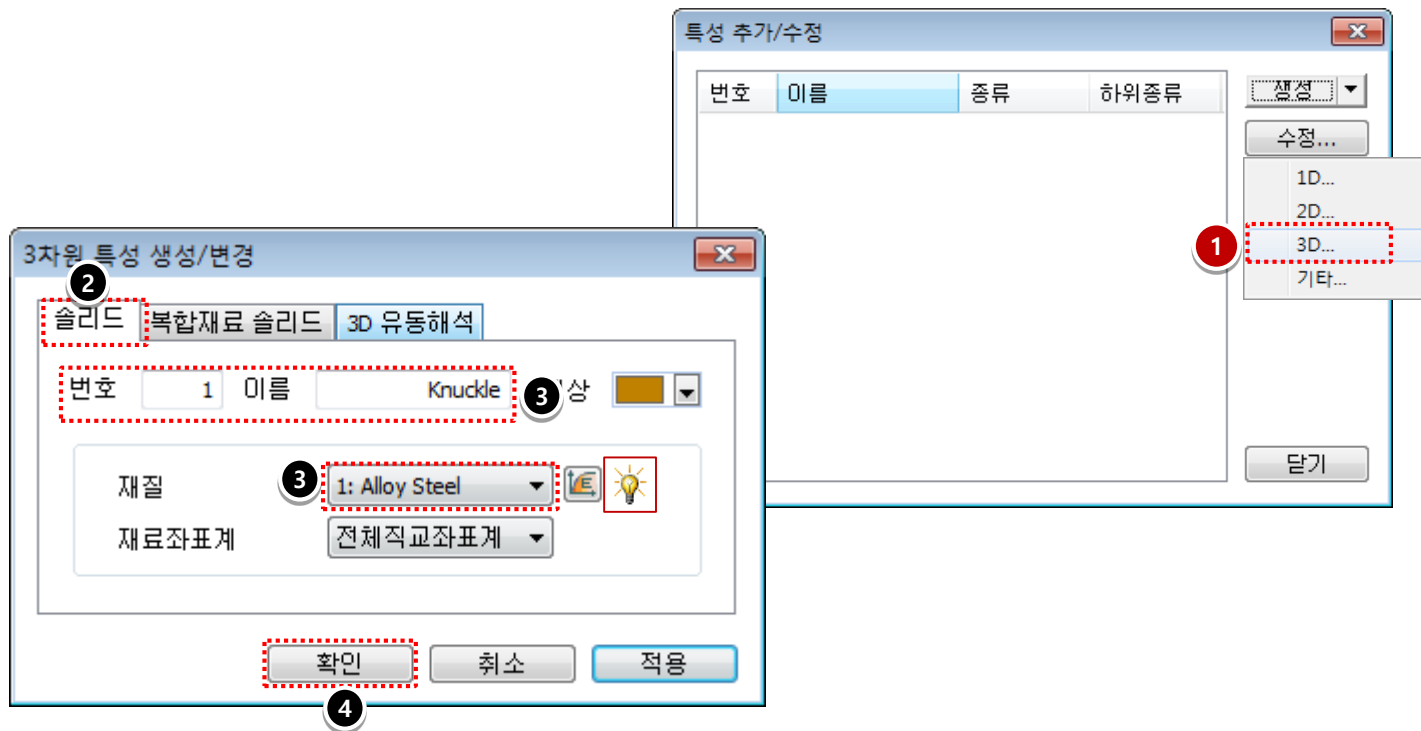
💡 재질은 기본으로 설정되는 **Alloy Steel** 을 사용합니다. 재료 지정하기 단계 없이 바로 요소 특성을 부여하면 됩니다.

작업순서

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

번호	1
이름	Knuckle
재질	1: Alloy Steel

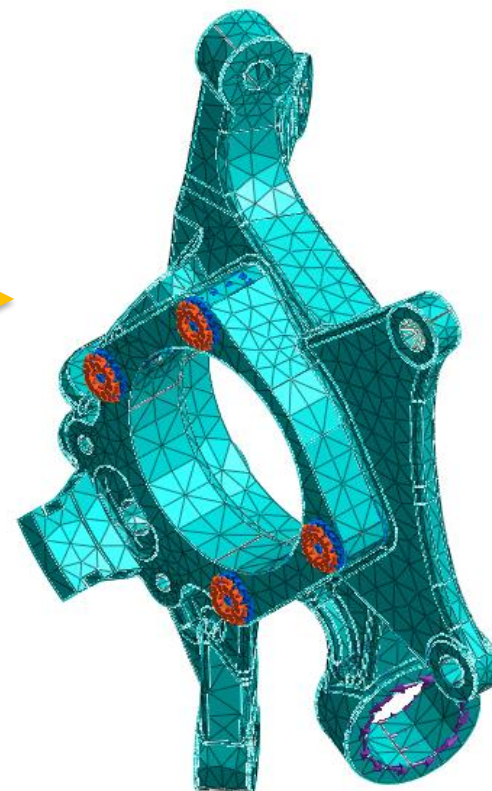
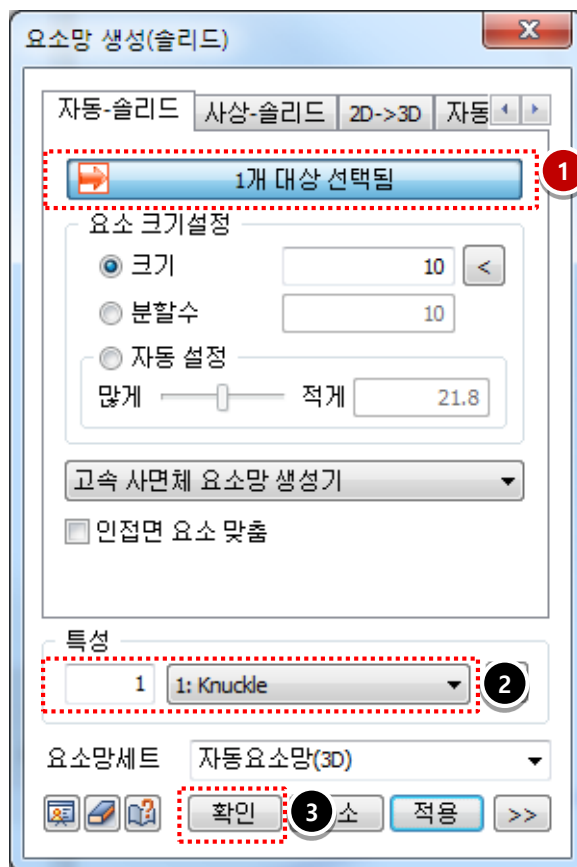
4. [확인] 버튼 클릭.



💡 기본값으로 설정되는 “Alloy Steel”을 재질로 사용합니다.

작업순서

1. 대상 선택: 모델(1개) 선택
요소크기 : "10" 입력.
2. 앞서 생성한 특성치를 선택한다.
3. [확인] 버튼 클릭.



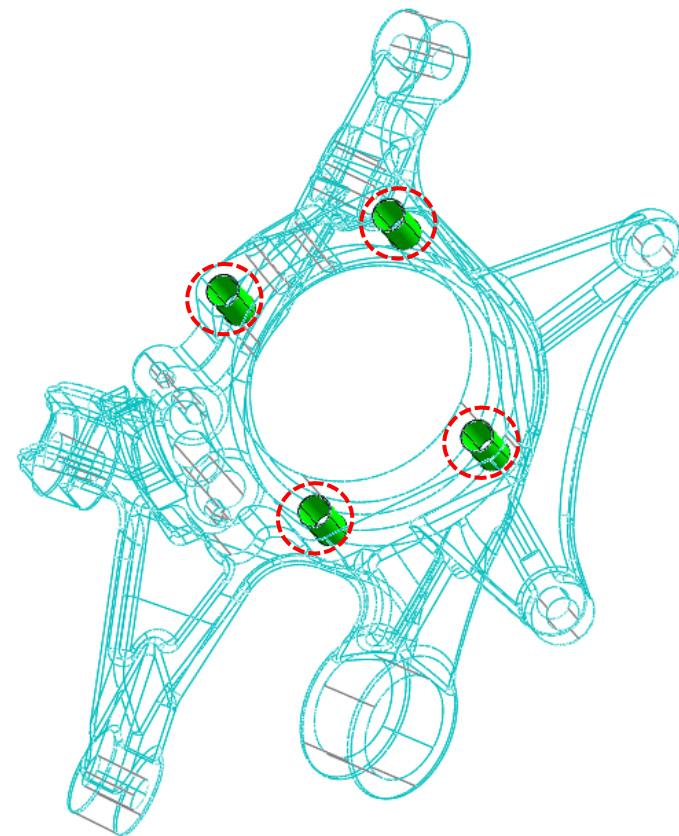
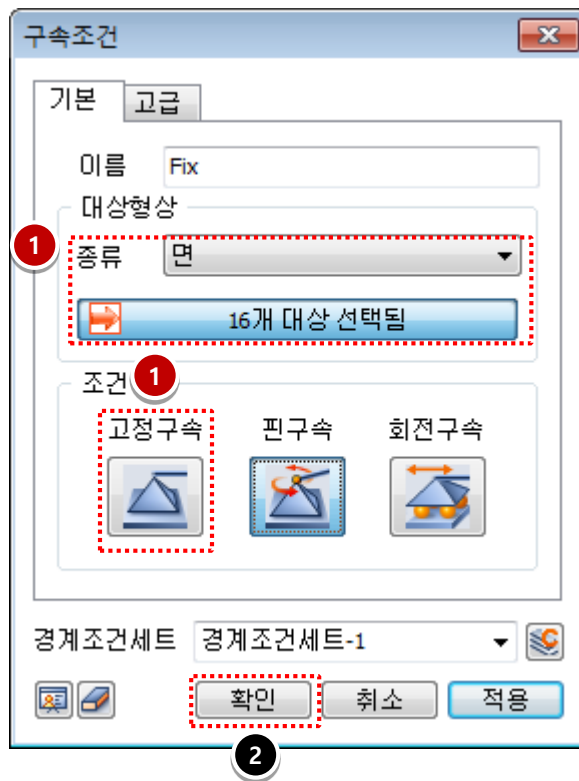
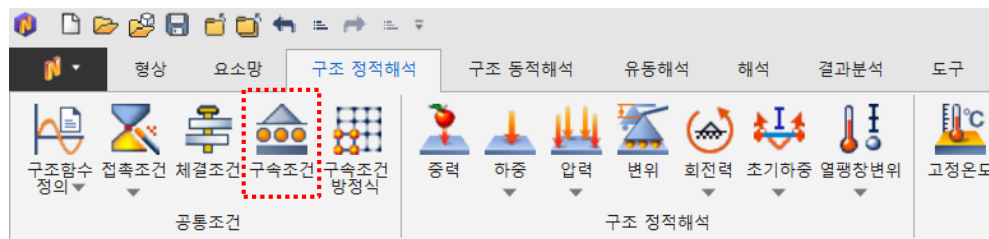
작업순서

1. 구속조건 입력

이름	Fix
대상종류	면
대상선택	16개 선택
조건	고정구속

2. [확인] 버튼 클릭

💡 홀 내부의 16개의 면을 선택합니다.



작업순서

1. [] (등각보기1) 클릭.

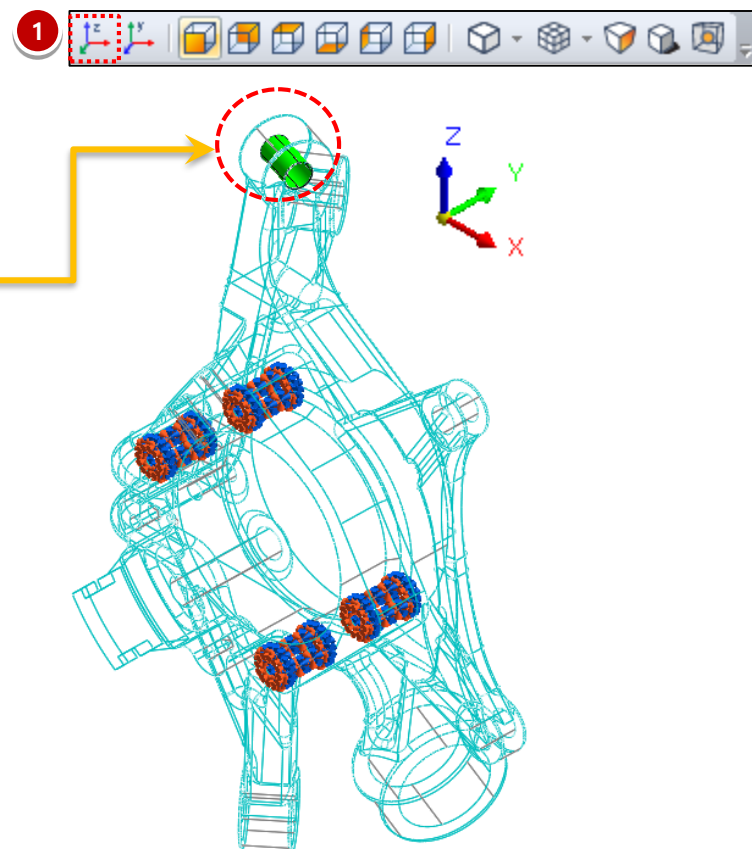
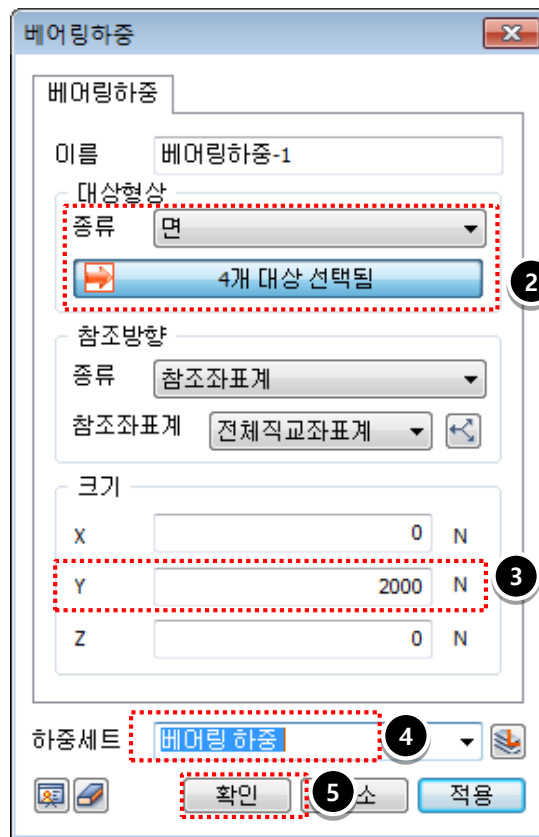
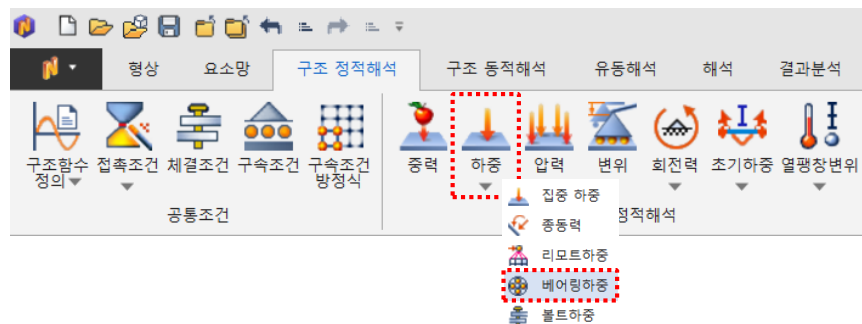
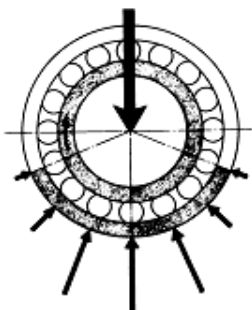
2. 베어링하중 입력

이름	베어링
대상종류	면
대상선택	4개 선택(그림참조)
크기(Y축)	2000 (N)


3. [확인] 버튼 클릭.

💡 베어링 하중

: 하중방향에 수직인 면에 1, 하중방향과 평행인 면에는 0이 되도록 sine함수에 따라 하중이 입력됩니다.




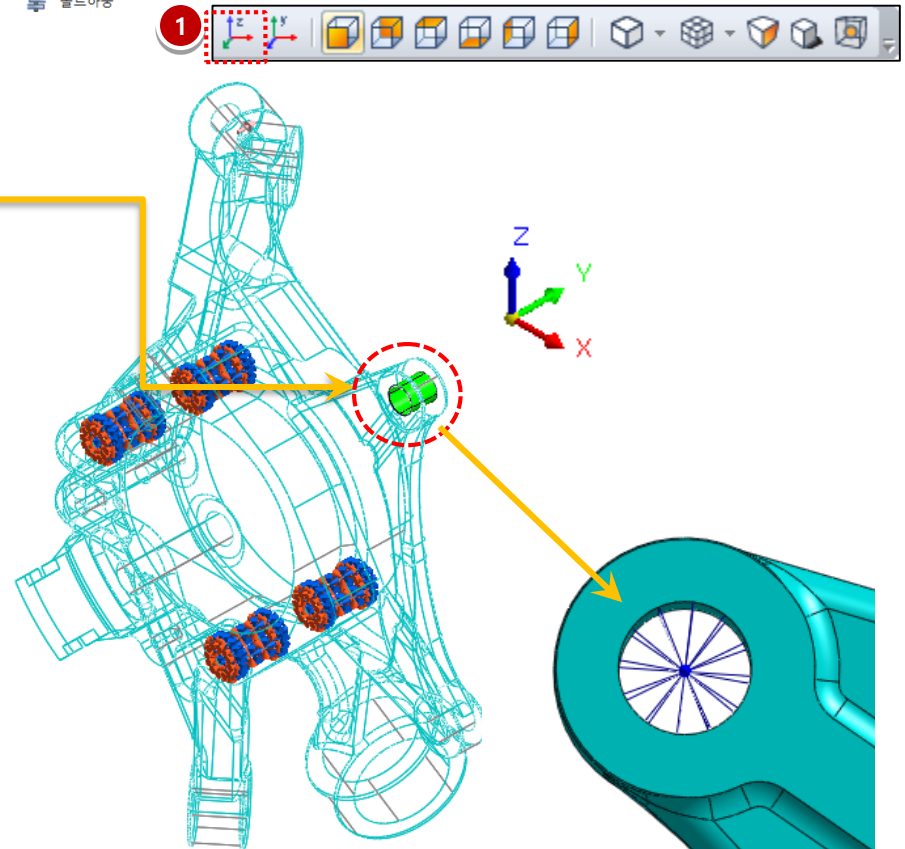
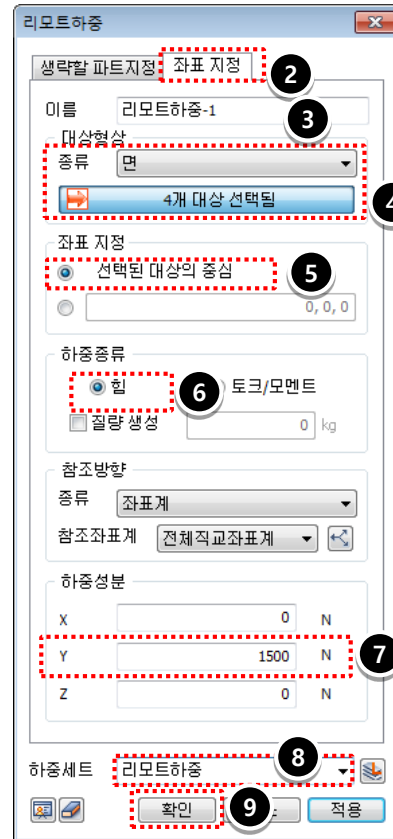
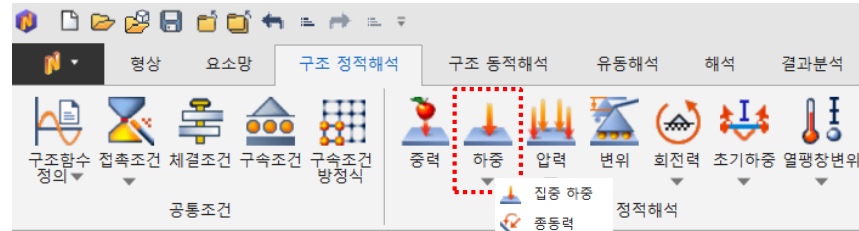
작업순서

1. [] (등각보기1) 클릭.
2. [좌표지정] 탭 클릭
3. 리모트하중 입력

이름	리모트
대상종류	면
대상선택	4개 선택(그림참조)
좌표지정	선택된 대상의 중심
하중타입	힘
하중성분(Y축)	1500 (N)

4. [확인] 버튼 클릭.


 선택한 원통의 중심에서 Y축 방향으로 하중이 설정된 것을 확인할 수 있습니다.



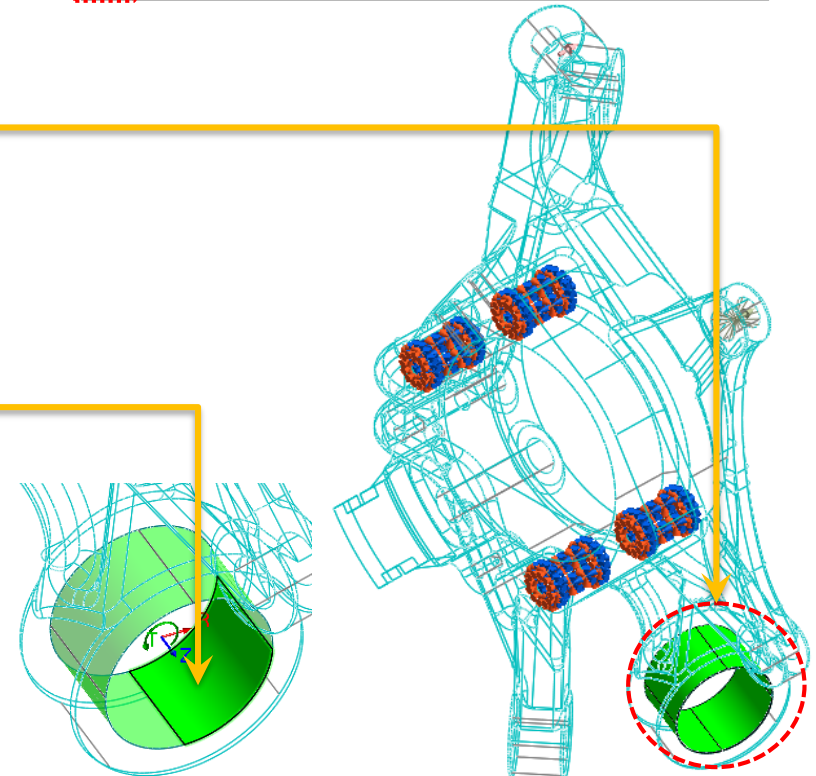
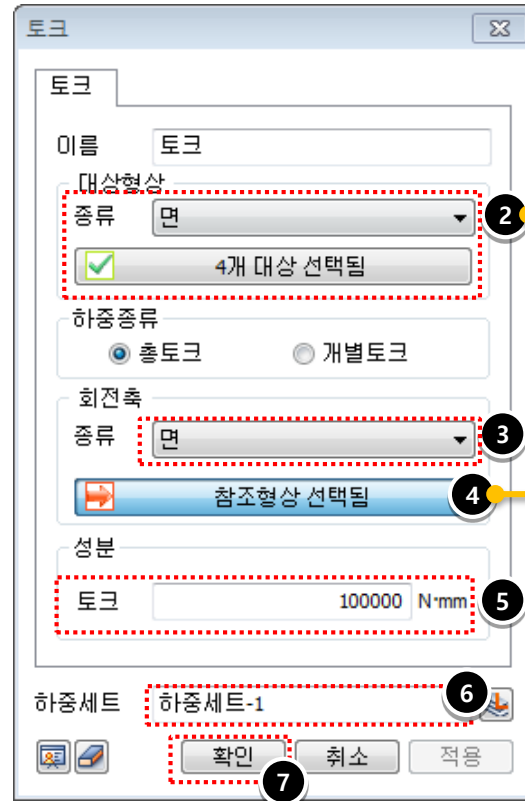
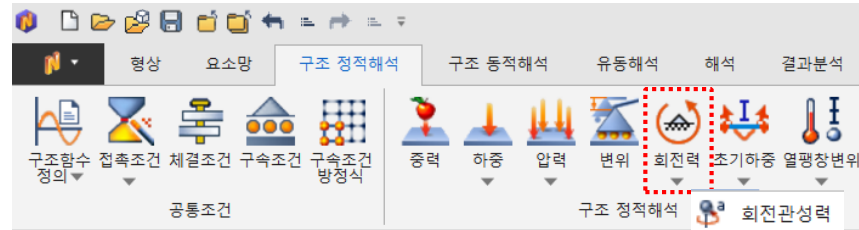
작업순서


1. [] (등각보기1) 클릭.

2. 토크하중 입력

이름	토크
대상종류	면
대상선택	4개 선택(그림참조)
회전축종류	면
회전축선택	1개 선택(그림참조) 
토크	100000 (N·mm)

3. [확인] 버튼 클릭.



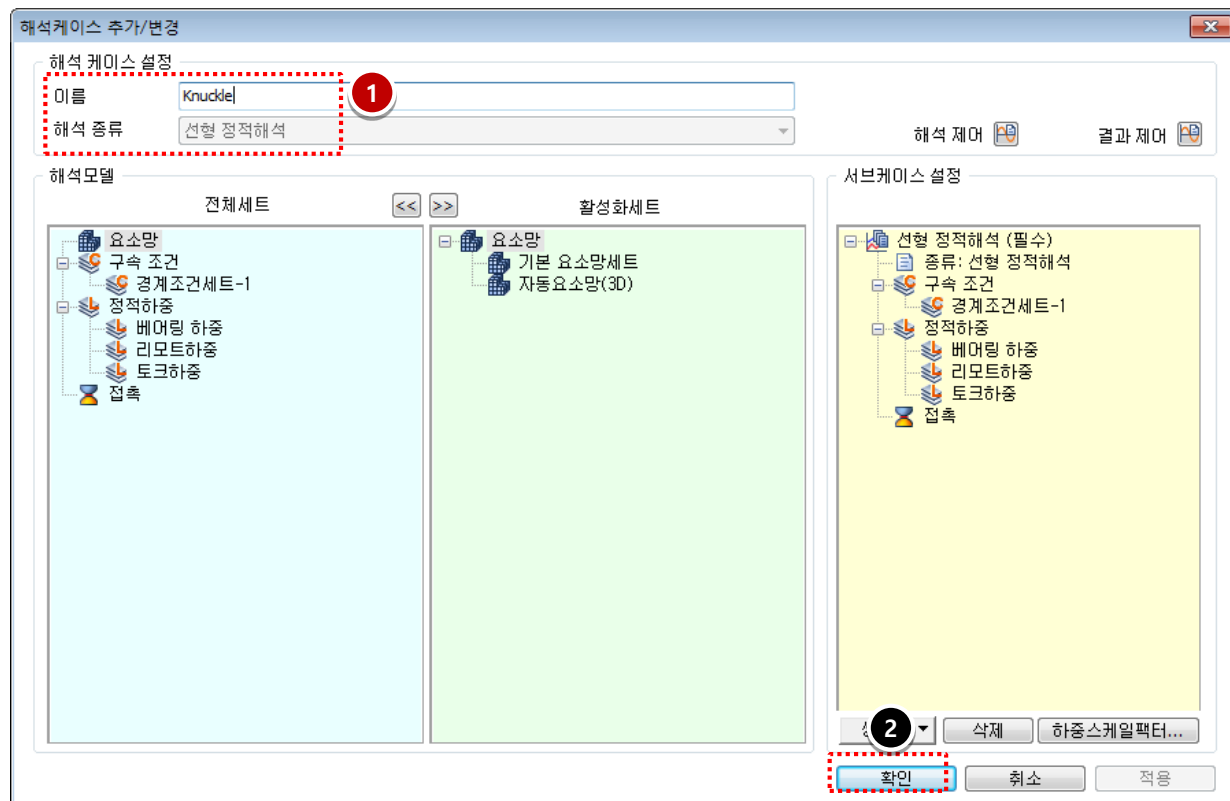
 선택한 대상면을 회전축의 참조형상으로 선택합니다. 원통면의 회전축으로 정의됩니다. 선택한 면을 중심으로 시계방향의 토크 하중이 적용된 것을 확인할 수 있습니다.

작업순서

1. 이름 : "Knuckle" 입력

해석 종류: [선형 정적해석] 선택

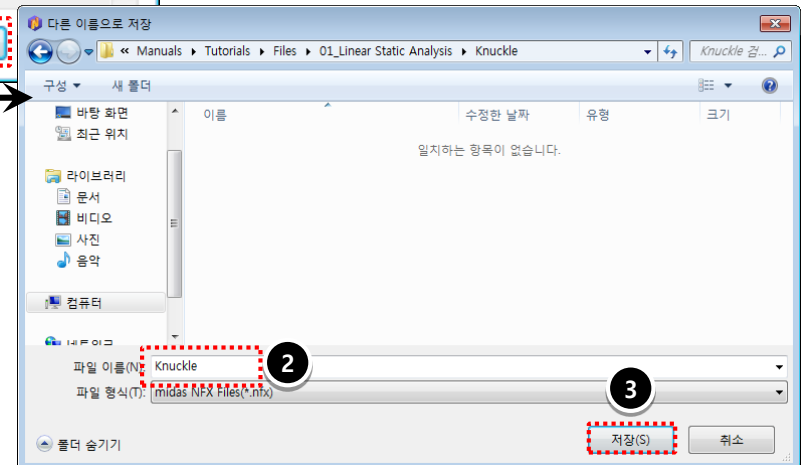
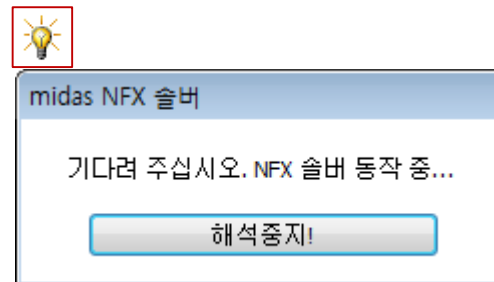
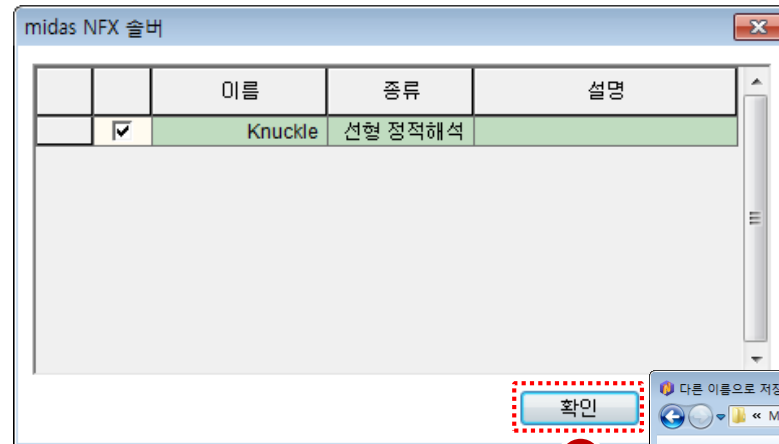
2. [확인] 버튼 선택



💡 기본적으로 현재 작업된 기하형상, 구속조건, 하중조건 등이 모두 활성화됩니다.


작업순서

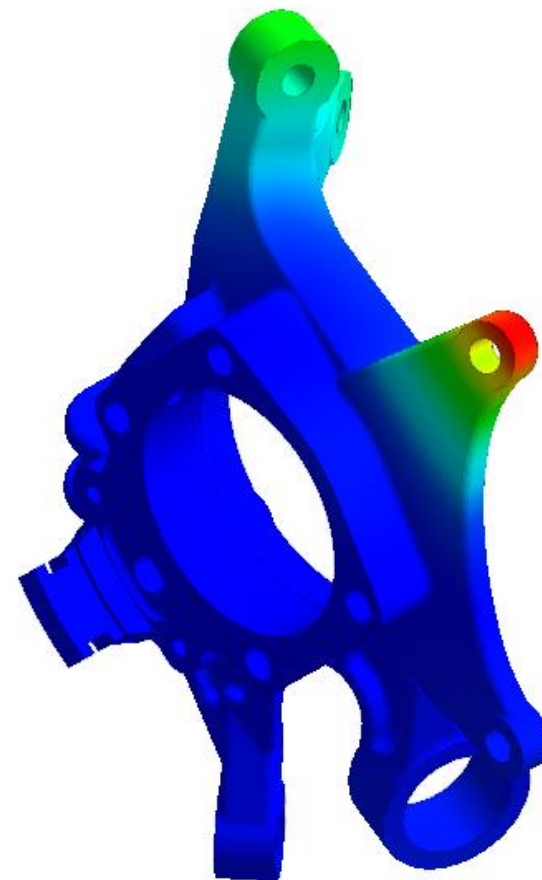
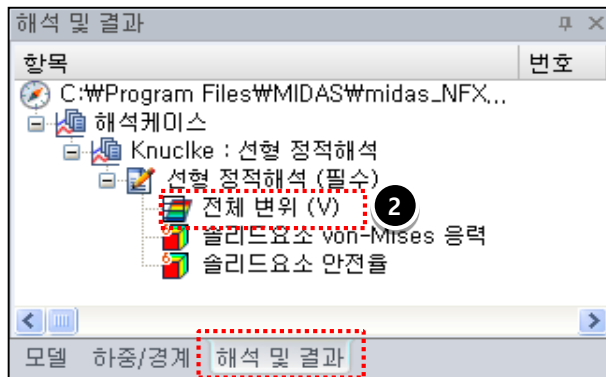
1. [확인] 버튼 클릭.
2. 다른 이름으로 저장: "Knuckle" 입력.
3. [저장(S)] 버튼 클릭.



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

작업순서

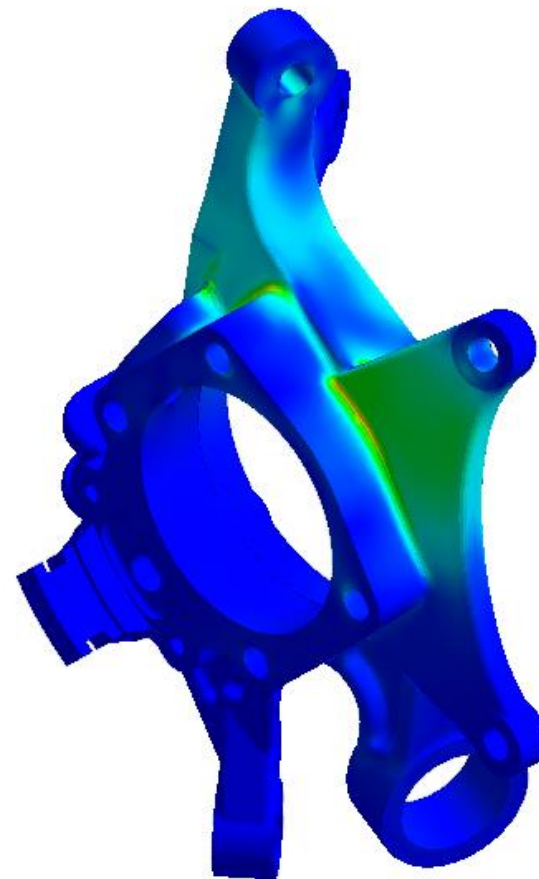
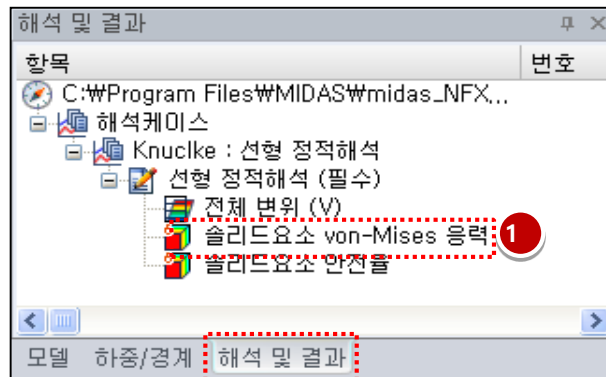
1. [] (등각보기1) 클릭.
2. 해석 및 결과 작업트리에서 전체 변위 더블 클릭.



작업순서

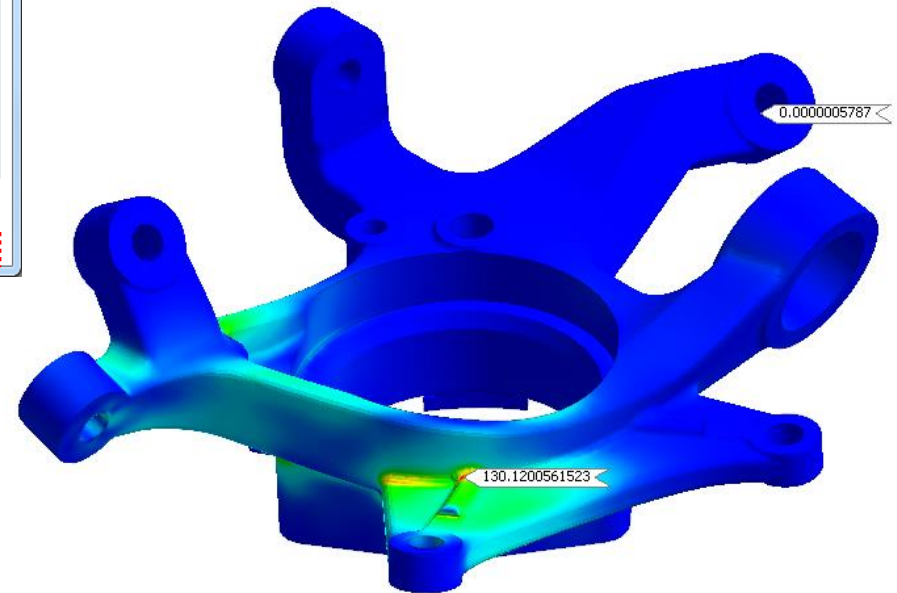
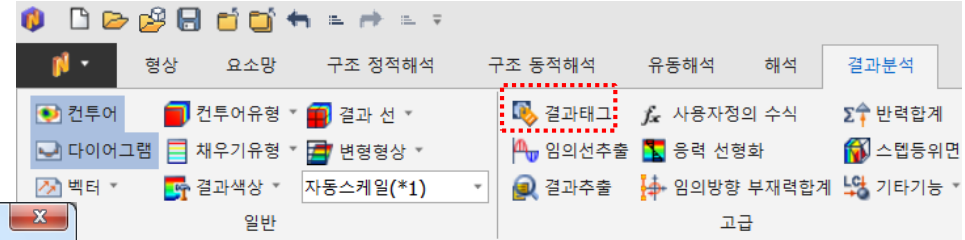
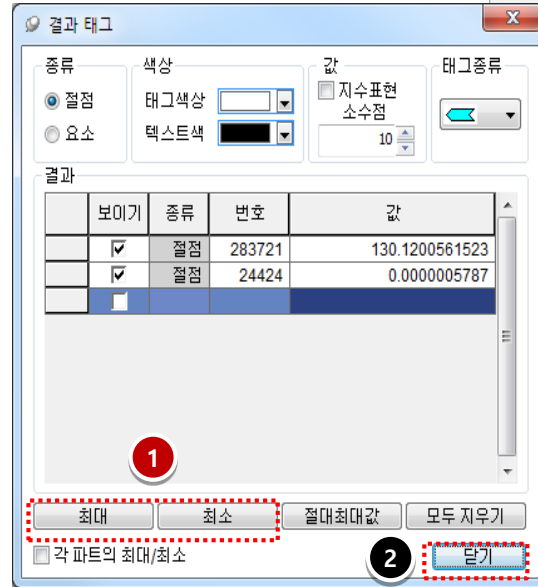
1. 해석 및 결과 작업트리에서

솔리드요소 Von-Mises 응력 더블 클
릭



작업순서

1. [최대] 버튼 클릭, [최소] 버튼 클릭.
2. 결과 확인 후, [닫기] 버튼 클릭.



💡 해석 후, 일반적으로 확인하는 최대값과 최소값을 검색하여 태그를 붙입니다.

6. 선형 접촉에 대한 이해

5.1 접촉 종류

5.2 접촉 정의 방식

5.3 접촉 정의 시 주의 사항

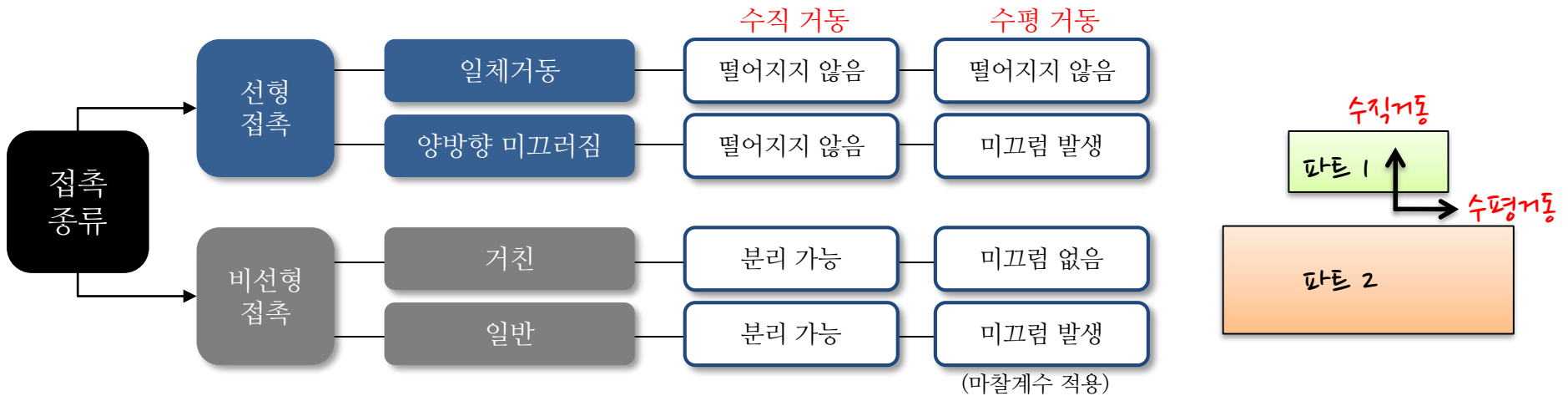
선형정적해석의 접촉

✓ 접촉이란?

- 1) 해석 모델이 다른 파트와 연결되어 있을 경우 두 파트는 접촉되었다고 정의함.
- 2) 한 파트의 여러 절점을 다른 파트의 절점에 연결하는 것

✓ 선형 접촉 종류

- 1) 일체 거동 접촉
 - ① 두 개의 파트가 초기부터 붙어 있는 경우에 사용하며, 해석이 진행되는 동안에 두 면이 분리되는 것이 허용되지 않음.
 - ② 두 면이 붙어있으나 파트간 접촉면의 절점들이 서로 일치하지 않는 경우에도 유용하게 사용할 수 있음
- 2) 양방향 미끄러짐 접촉
 - ① 두 면 사이에 분리되지 않으나 미끄러짐이 발생할 때 적용 (인장/압축에 대해서는 일체거동 접촉과 동일하게 거동)
 - ② 베어링, 미소한 미끄러짐이 발생하는 선형해석 수행에 적합.



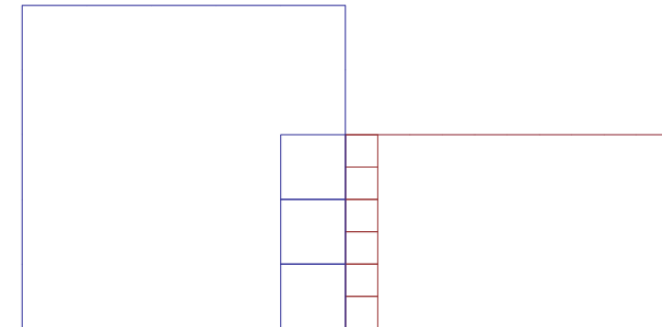
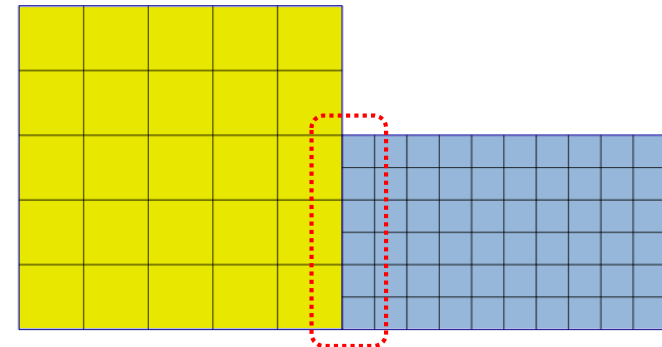
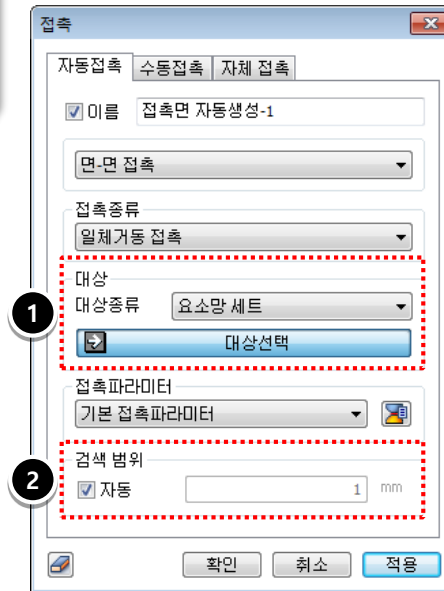
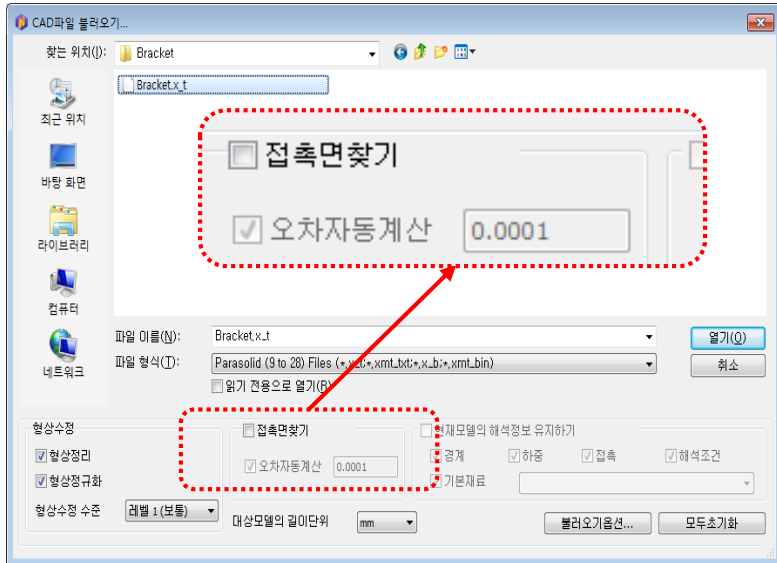
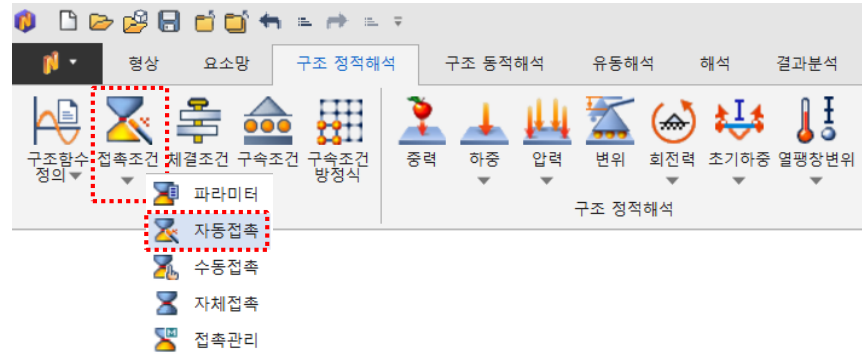
접촉조건설정방식: 자동 접촉 방식

✓ 대상 선택

- 1) 자동으로 접촉을 설정할 대상들을 선택. 요소망 또는 기하형상을 선택할 수 있음.

✓ 검색 범위

- 1) 자동으로 접촉을 설정할 때, 접촉을 검색할 거리를 입력. 자동으로 선택시 요소의 크기에 기반하여 접촉면을 검색함.



CAD 모델 불러올 때도 접촉 조건 설정 가능

자동 검색된 접촉면

접촉조건설정방식: 수동 접촉 방식

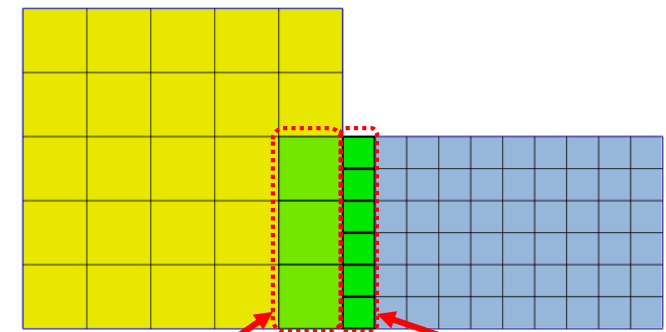
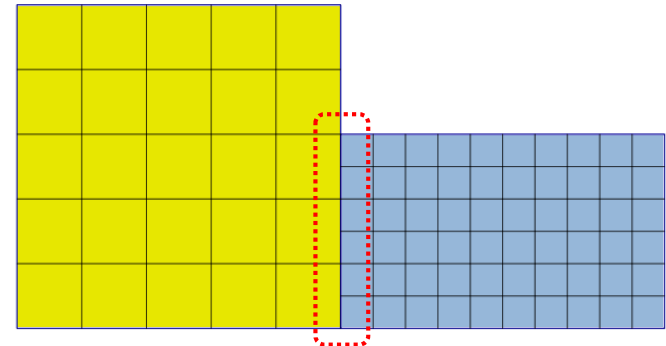
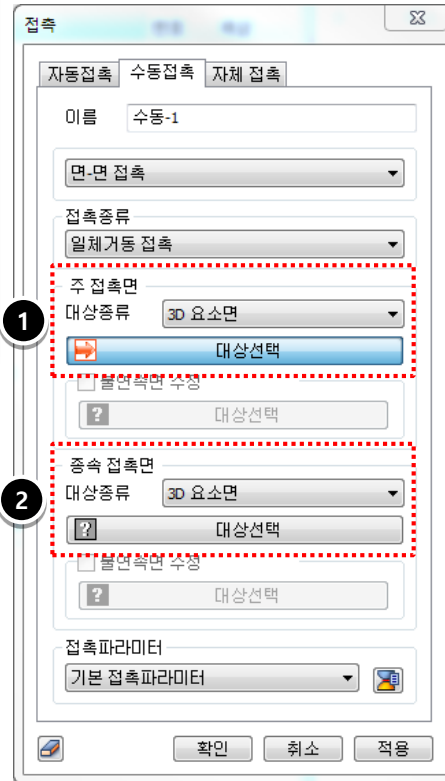
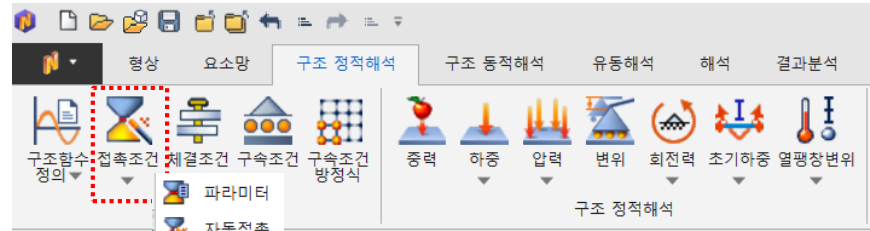
✓ 주 접촉면 (Master)

- 1) 기하형상의 면, 2D 및 3D 요소의 면을 선택.
- 2) 설정 조건 : 종속 접촉면에 비해 강성이 큰 대상, 요소의 수가 적은 대상, 평면 또는 볼록 한 면.

✓ 종속 접촉면 (Slave)

- 1) 기하형상의 면, 2D 및 3D 요소의 면을 선택.
- 2) 설정 조건 : 주 접촉면에 비해 강성이 작은 대상, 요소의 수가 많은 대상, 오목한 면.

사용자가 직접 접촉면을 선택하므로 자동접촉에 비해 더 정확한 접촉 설정이 가능하나, 설정한 두 접촉면이 떨어져 있는 경우 올바르게 접촉이 이루어지지 않습니다. 이때는 접촉 파라미터의 접촉 공차를 직접 입력하여 접촉이 이루어지도록 합니다.

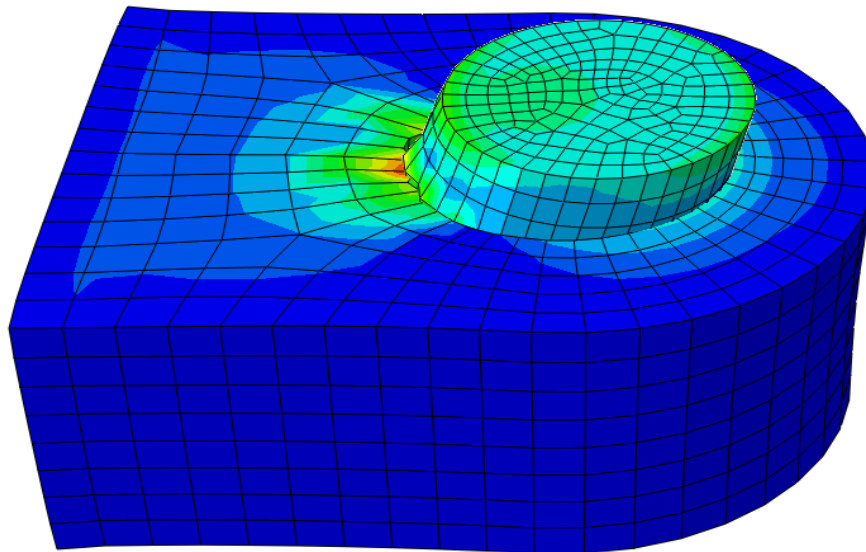


주 접촉면 종속 접촉면

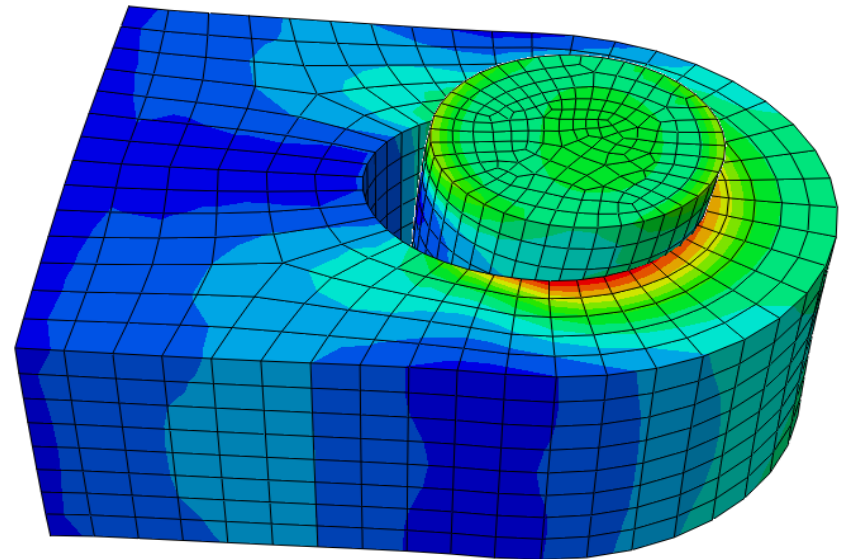
선형 접촉과 비선형 접촉의 차이

✓ 모델링 오차: 핀 조인트의 접촉해석

- 1) 선형 접촉: 수렴이 잘됨, 인장 발생
- 2) 비선형 접촉: 수렴이 어려움, 인장 발생하지 않음



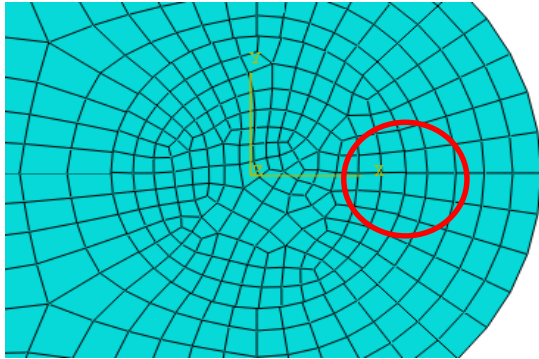
선형 접촉 조건



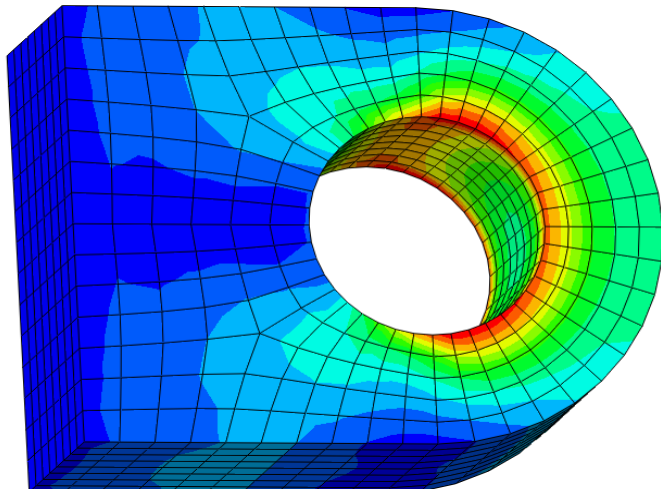
비선형 접촉 조건

요소망 정렬 효과

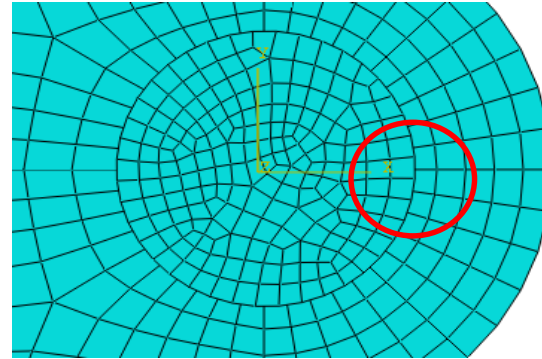
정렬된 요소망



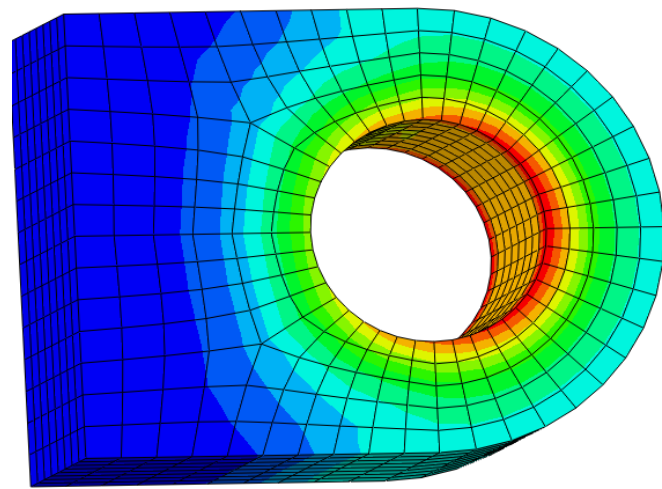
최대 응력 = 1.73MPa



비정렬된 요소망



최대 응력 = 7.86MPa



7. 선형 접촉 해석

7.1 접촉 기능의 이해 : Hitch Assembly

7.2 접촉 기능의 이해 : Press machine

7.3 접촉 기능 및 서브케이스 활용 : Wheel

7.4 접촉 기능의 이해 : Forklift

개요

➤ 선형정적해석

- 단위 : N, mm
- 기하모델: Hitch Assembly.x_t

➤ 경계조건과 하중조건

- 경계조건 (핀구속)
- 집중하중

➤ 선형 접촉 설정

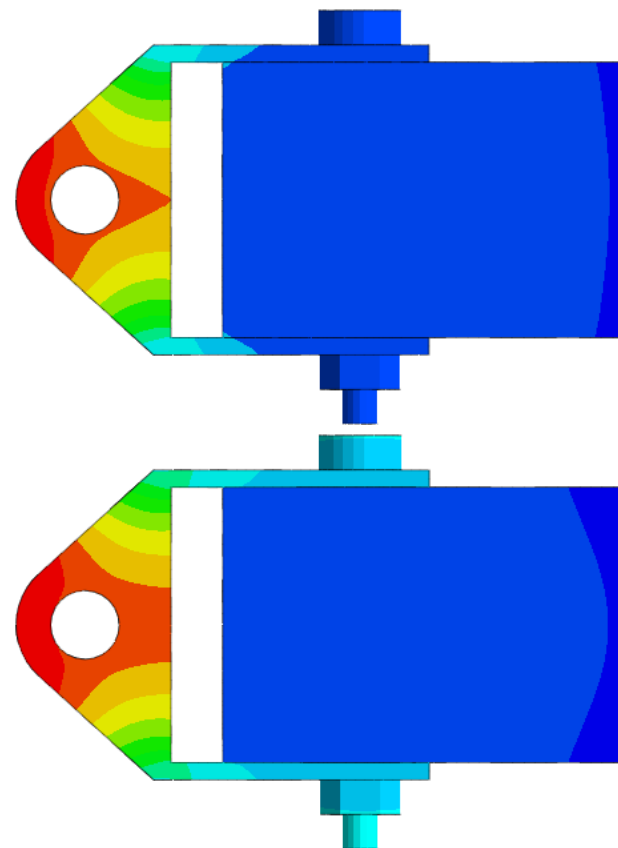
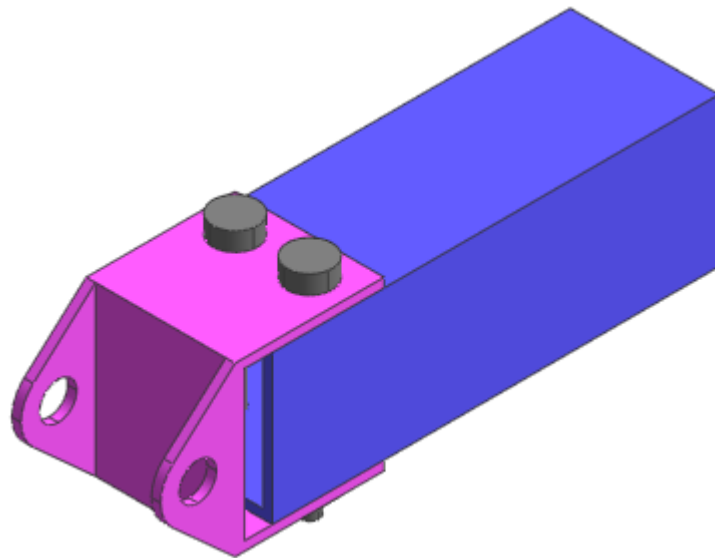
- 일체거동 접촉
- 양방향 미끄러짐 접촉

➤ 결과확인

- 전체 변위
- 접촉 조건에 따른 결과 비교

Hitch Assembly

(접촉 기능의 이해)



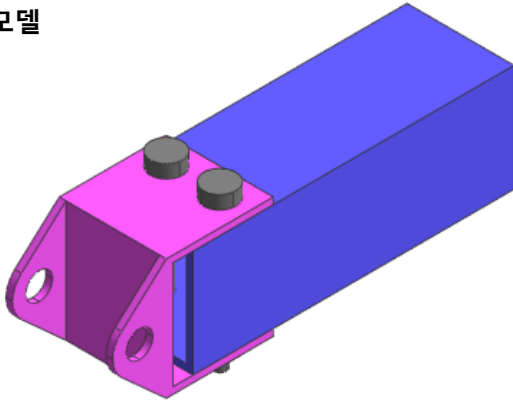
따라하기 목적

➤ 선형 접촉 사용법과 자동접촉 기능 활용

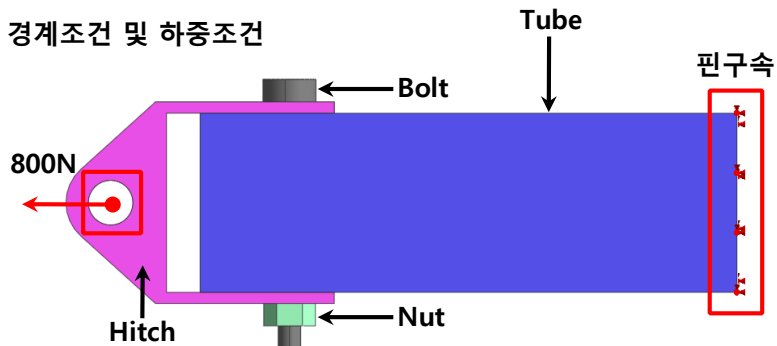
- 선형 접촉 해석 및 접촉 종류에 대해 이해합니다.
- 해석 케이스에서 자동 접촉을 설정하는 방법을 습득합니다.
- 접촉 종류에 따른 구조물의 거동을 검토합니다.

해석 개요

➤ 대상 모델

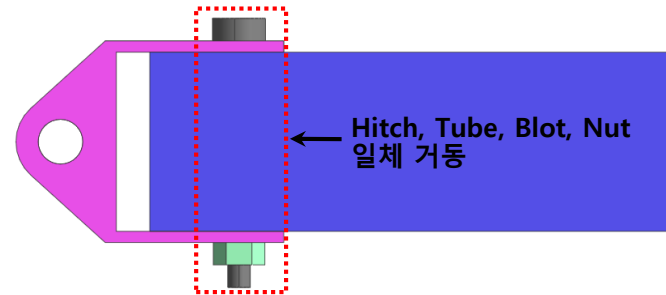


➤ 경계조건 및 하중조건

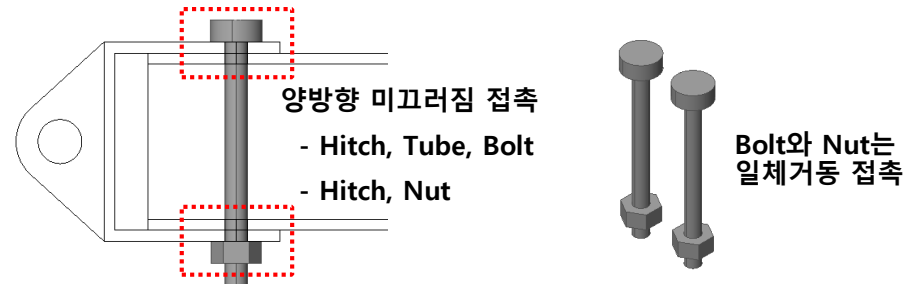


➤ 접촉조건



- 해석케이스-1 : 일체거동 접촉 (전체 파트가 하나로 일체 거동하는 조건)





- 해석케이스-2 : 일체거동 & 양방향 미끄러짐 접촉 (Bolt와 Nut는 일체거동, 나머지 파트는 양방향 미끄러짐 접촉)

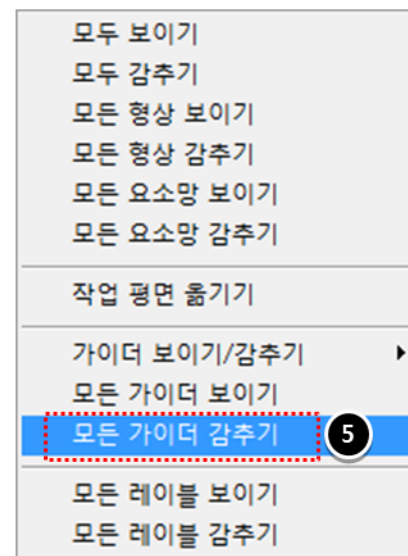
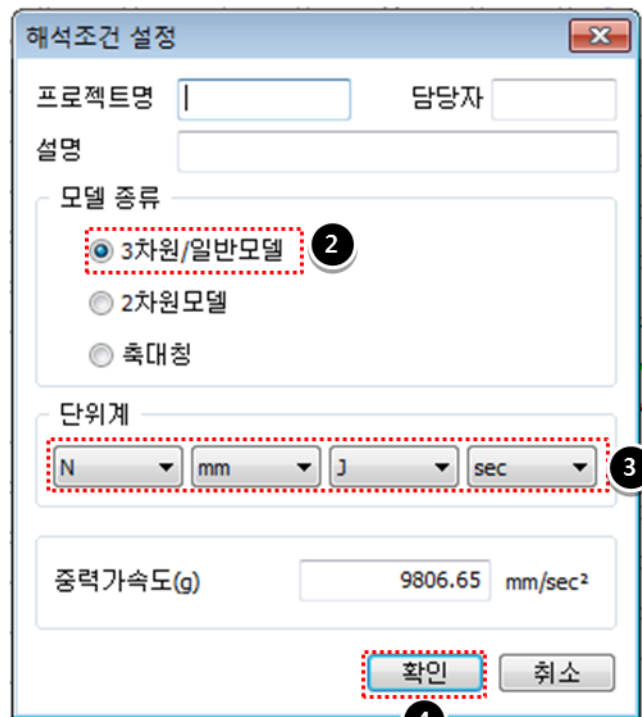
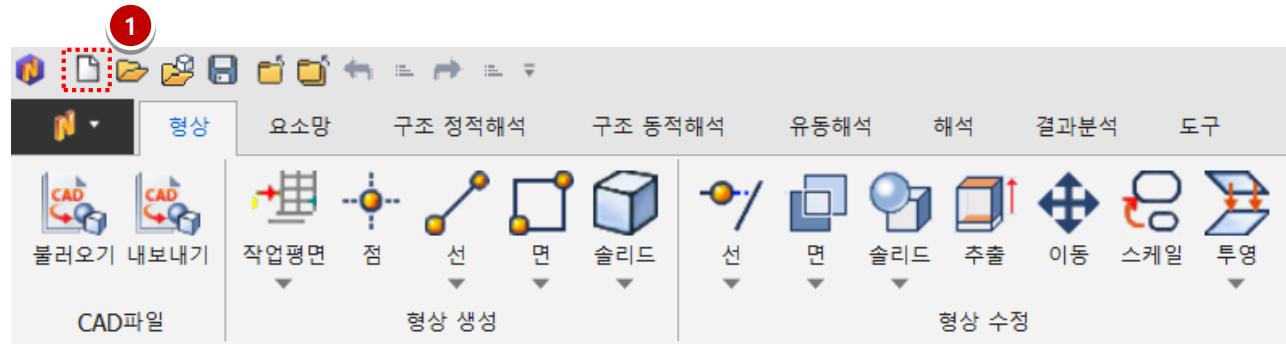


작업순서


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

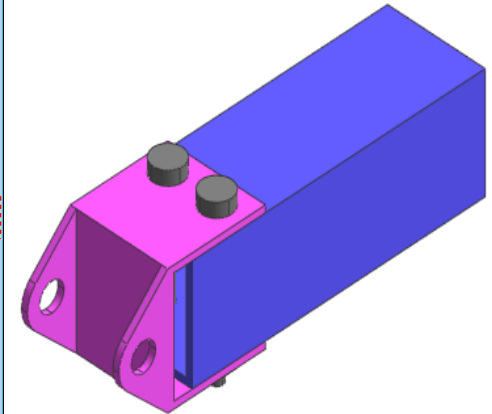
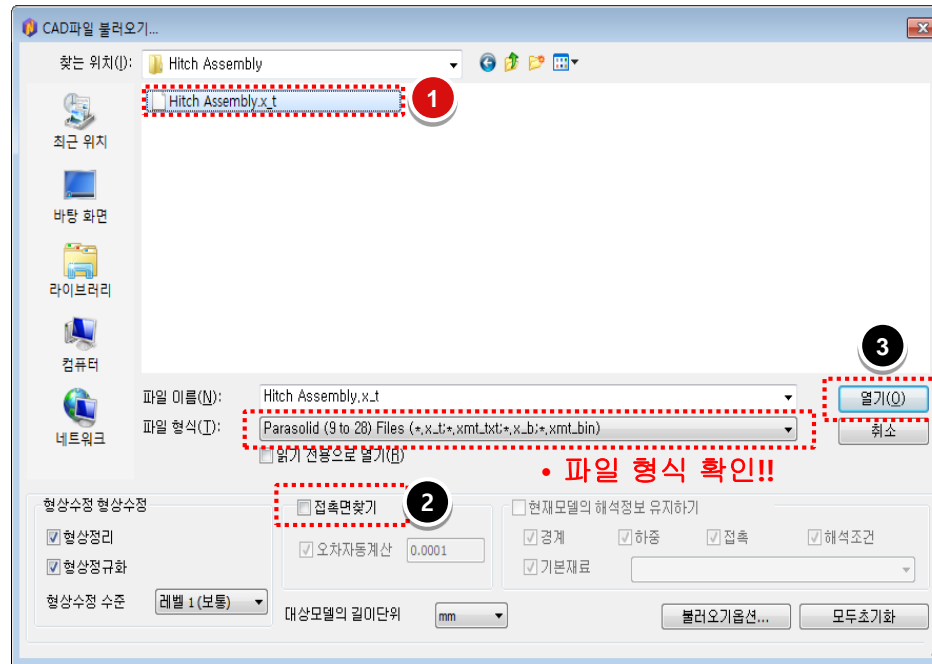
 프로그램을 실행시킨 후 [새로 만들기]를 클릭하면 모든 메뉴가 활성화 됩니다.


 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.



작업순서

1. 모델 선택: **Hitch Assembly.x_t** 선택
2. [접촉면찾기] 체크 해제 
3. [열기] 버튼 클릭.



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

작업순서

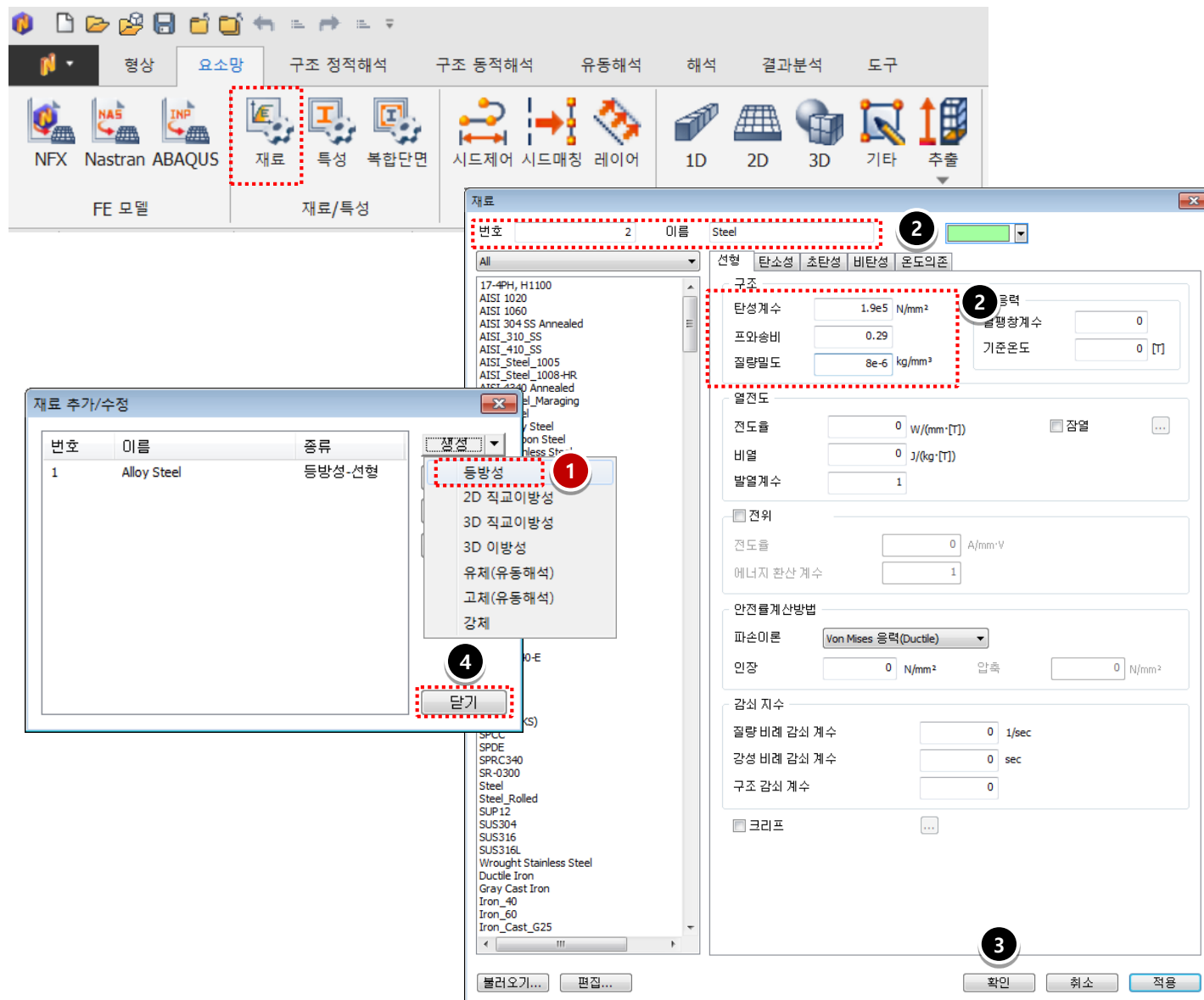
1. 생성 >> 등방성 클릭

2. 재질입력

번호	2
이름	Steel
탄성계수	1.9e5 (N/mm ²)
프와송비	0.29
질량밀도	8e-6 (kg/mm ³)

3. [확인] 버튼 클릭.

4. [닫기] 버튼 클릭



The screenshot shows the Midas NFX software interface. The main window displays the '재료' (Material) definition dialog. The '번호' (Number) is 2 and the '이름' (Name) is Steel. The material type is set to '등방성' (Isotropic). The material properties are defined as follows:

- 탄성계수 (Young's Modulus): 1.9e5 N/mm²
- 프와송비 (Poisson's Ratio): 0.29
- 질량밀도 (Density): 8e-6 kg/mm³

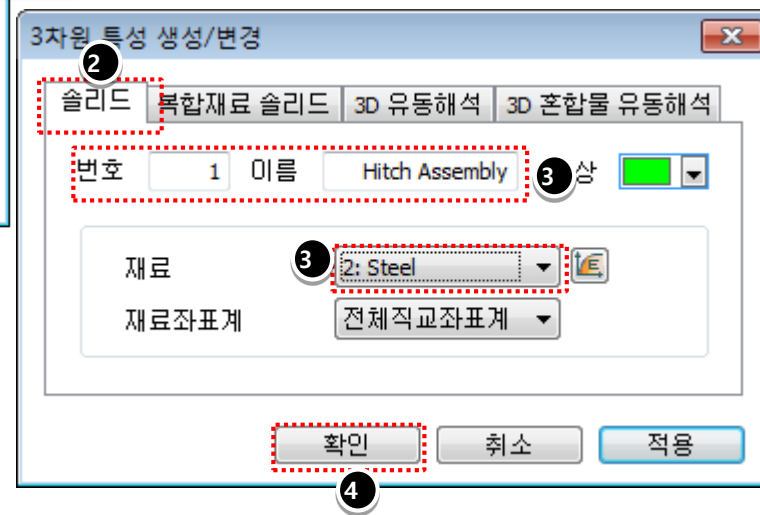
The '재료 추가/수정' (Material Add/Edit) dialog is also open, showing a list of materials. The '등방성' (Isotropic) option is selected in the dropdown menu. The '확인' (OK) and '닫기' (Close) buttons are highlighted with red dashed boxes and numbers 3 and 4, respectively.

작업순서

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

번호	1
이름	Hitch Assembly
재질	2: Steel

4. [확인] 버튼 클릭.
5. [닫기] 버튼 클릭.



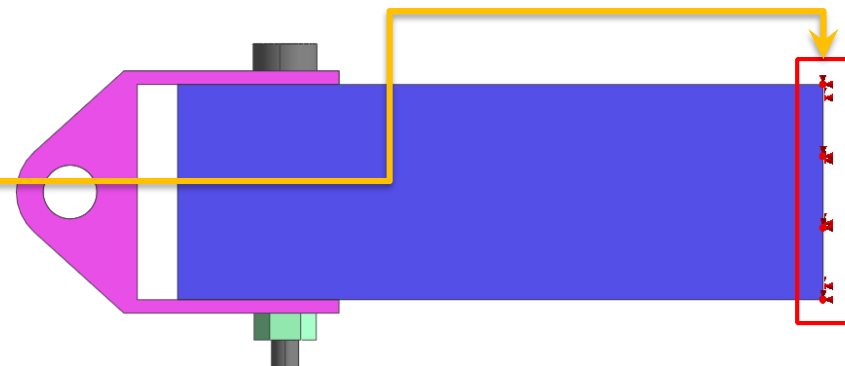
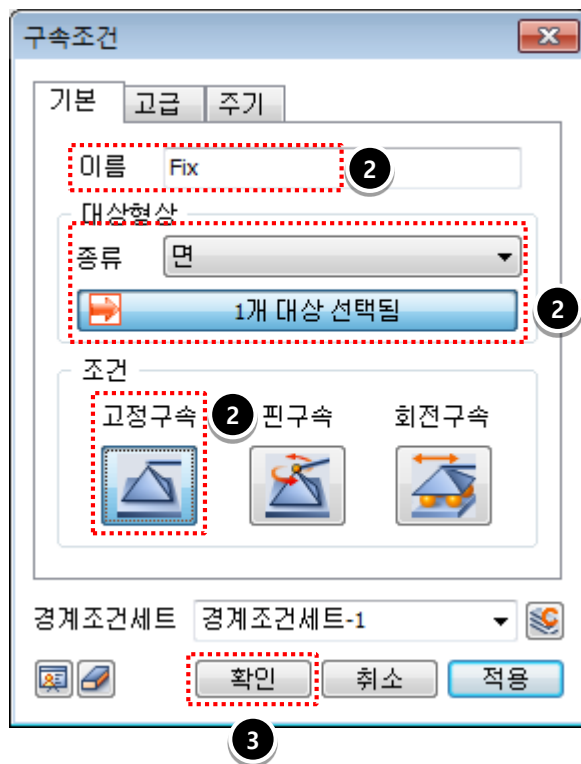
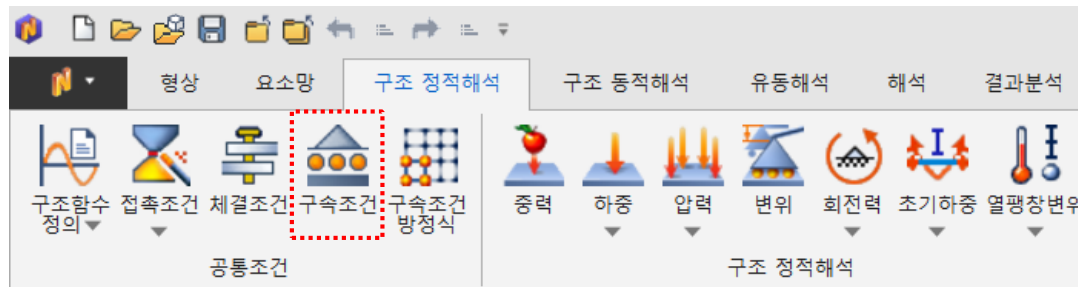
작업순서


1. [] (우측면 보기) 클릭.

2. 구속조건 입력

이름	Fix
대상종류	면
대상선택	1개 선택(그림참조)
조건	고정구속

3. [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

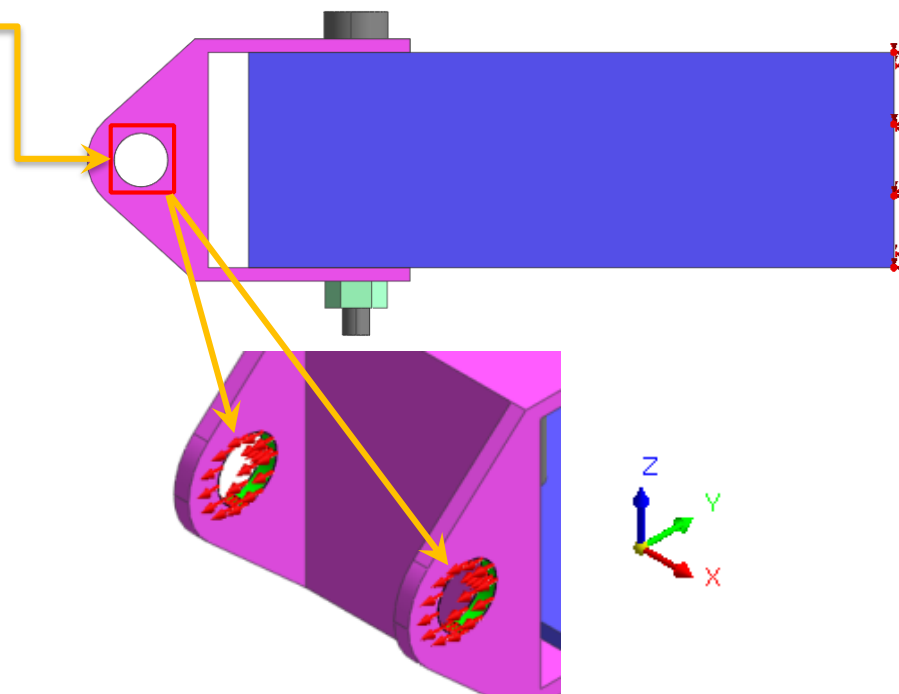
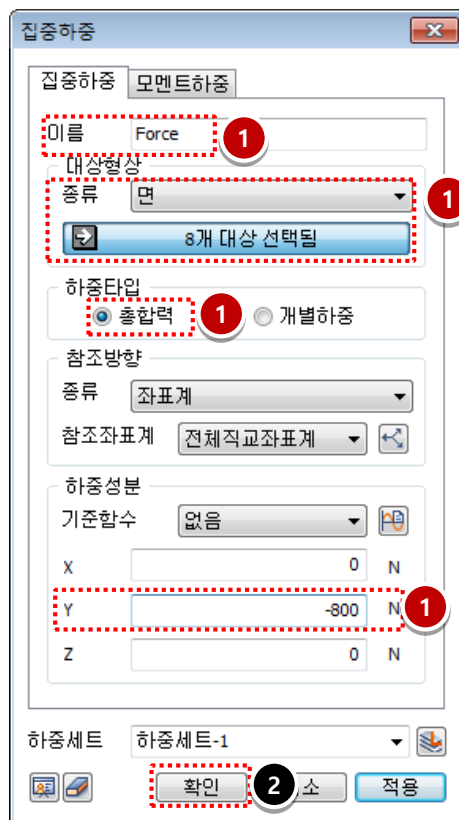
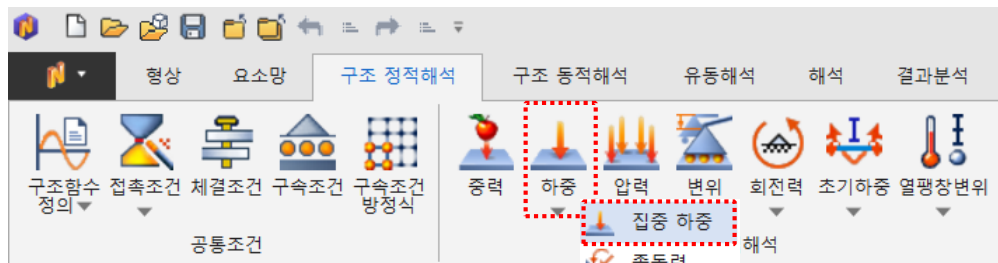
1. 집중하중 입력

이름	Force
대상종류	면
대상선택	8개 선택(그림참조)
하중타입	총합력 
하중(y축)	-800 (N)

2. [확인] 버튼 클릭.

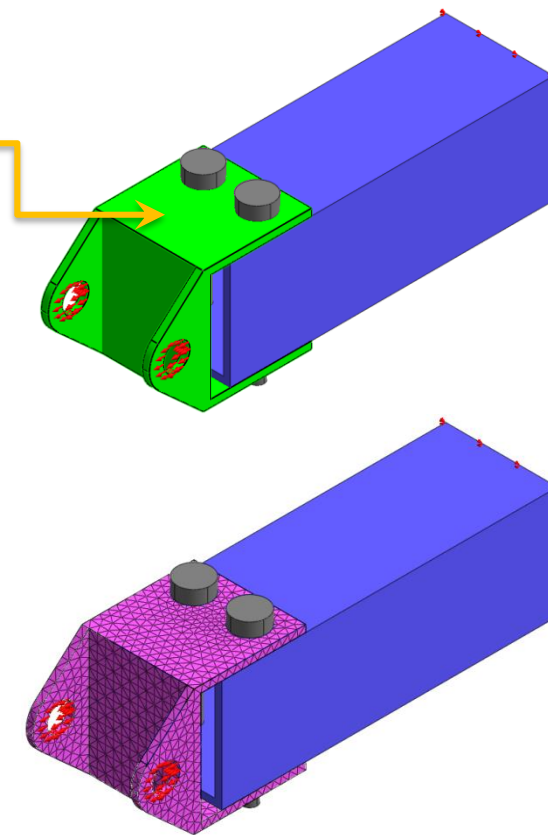
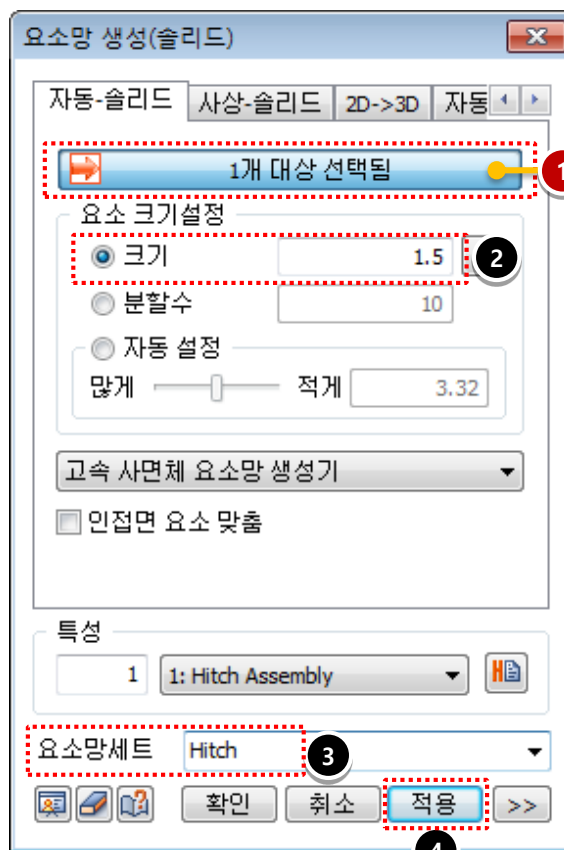
 왼쪽 끝의 원통면(8면)을 선택합니다.

 선택한 면에 -Y방향으로 총합력 800N의 집중하중이 설정됩니다.
(선택된 면이 8면 이므로 각각의 면에 100N씩의 집중하중이 설정됩니다.)



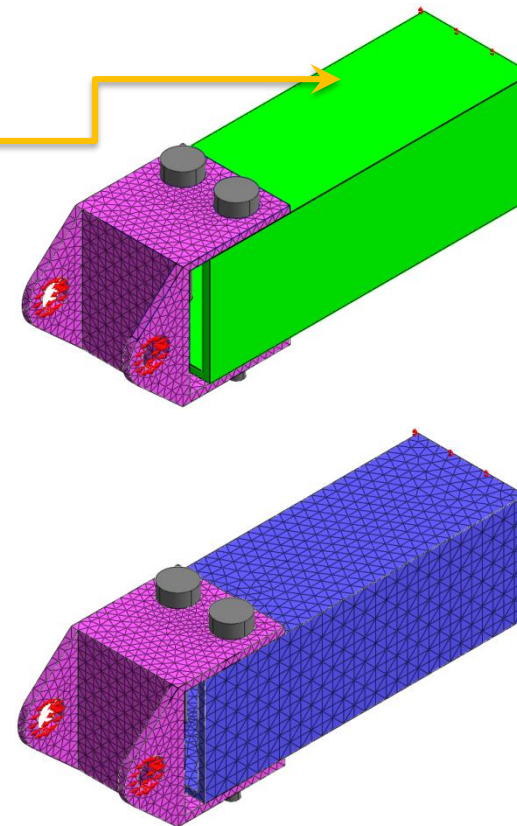
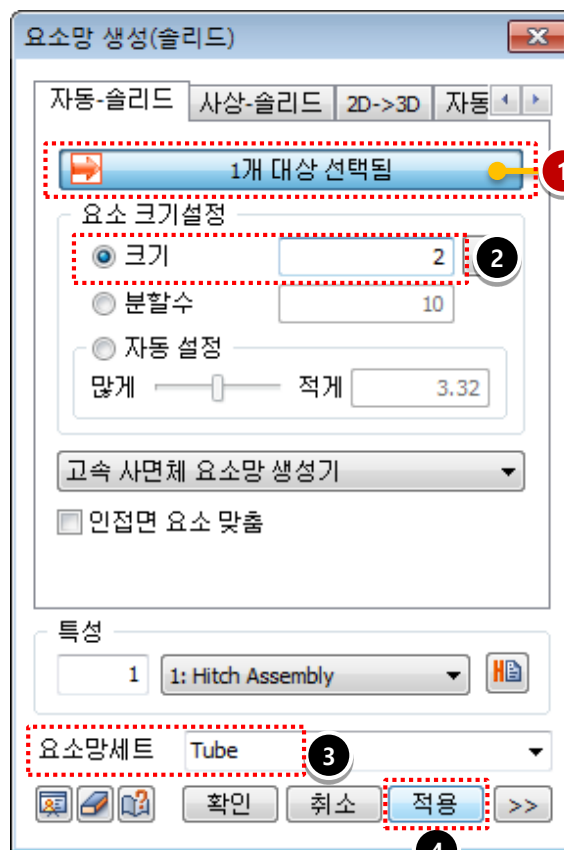
작업순서

1. 대상 선택: 모델(1개) 선택. (그림참조)
2. 요소 크기: "1.5" 입력.
3. 요소망세트: "Hitch" 입력.
4. [적용] 버튼 클릭.



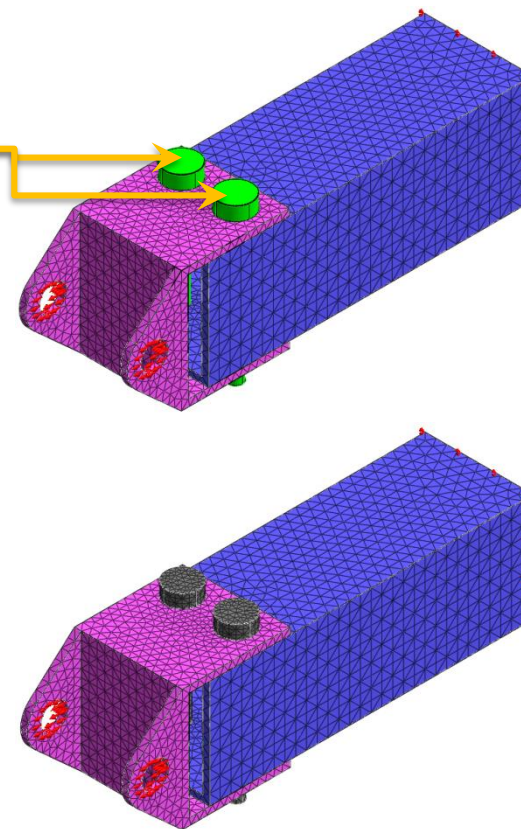
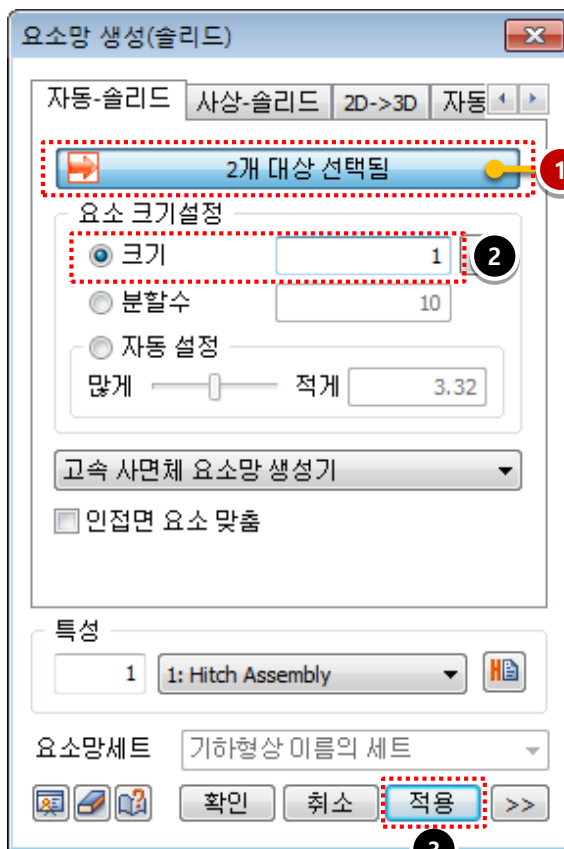
작업순서

1. 대상 선택: 모델(1개) 선택.(그림참조)
2. 요소 크기: "2" 입력.
3. 요소망세트: "Tube" 입력.
4. [적용] 버튼 클릭.



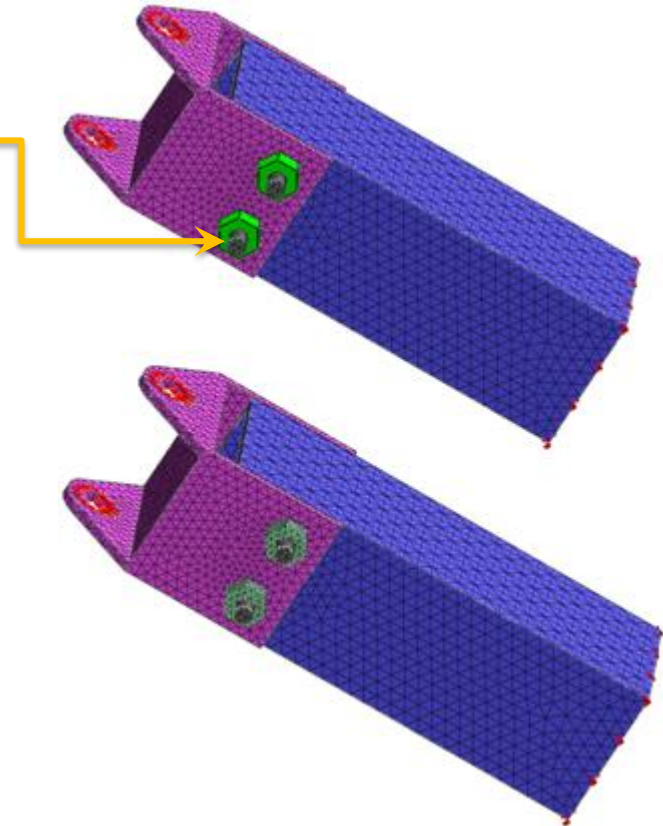
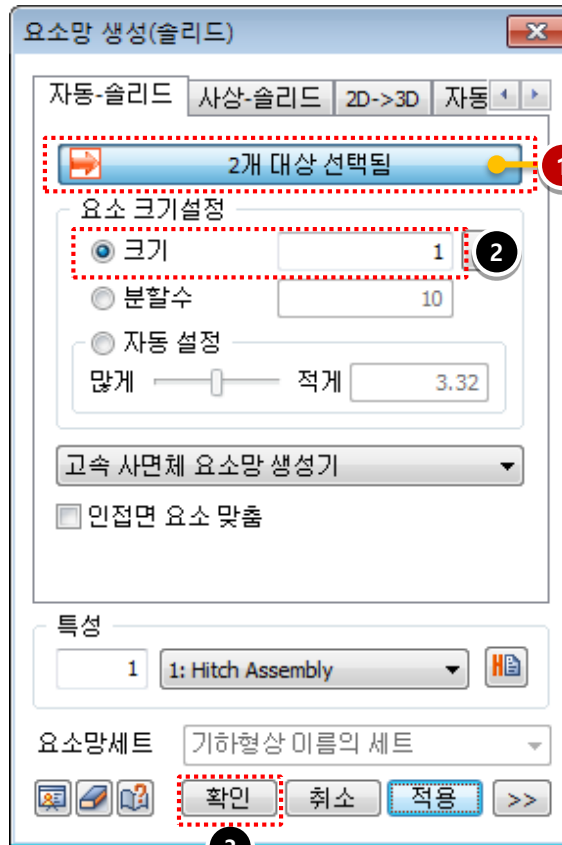
작업순서

1. 대상 선택: 모델(2개) 선택.(그림참조)
2. 요소 크기: "1" 입력.
3. [적용] 버튼 클릭.



작업순서

1. 대상 선택: **모델(2개)** 선택.(그림참조)
2. 요소 크기: "1" 입력.
3. **[확인]** 버튼 클릭.



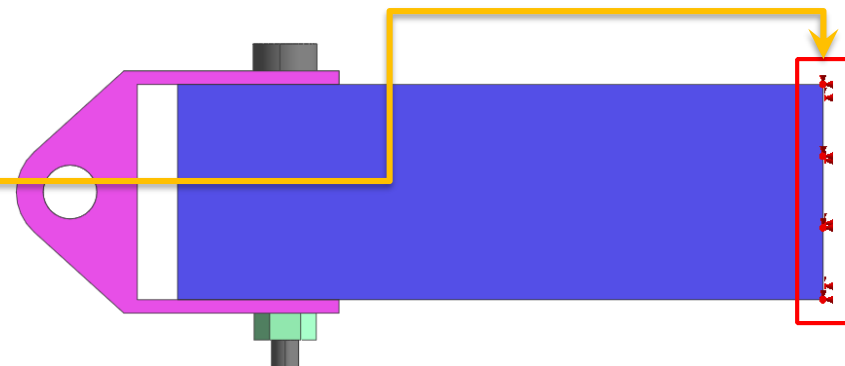
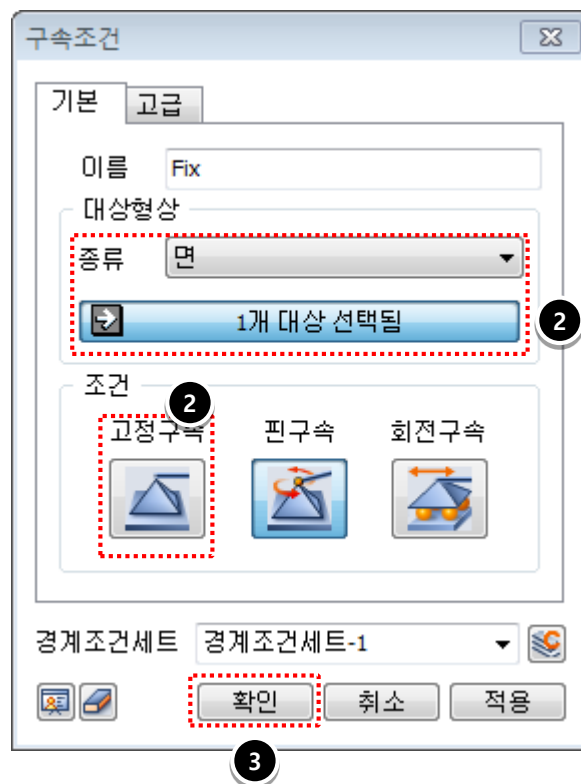
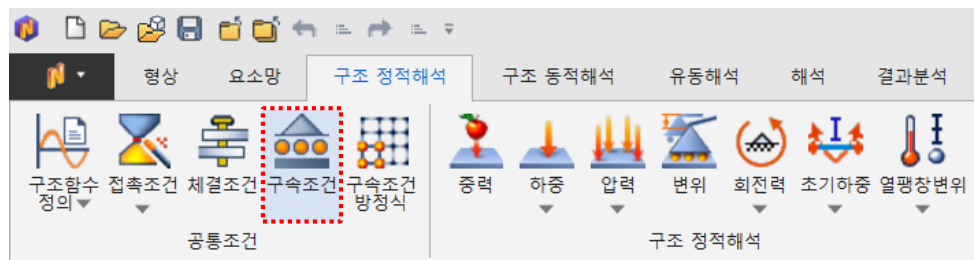
작업순서

1. [] (우측면 보기) 클릭.

2. 구속조건 입력

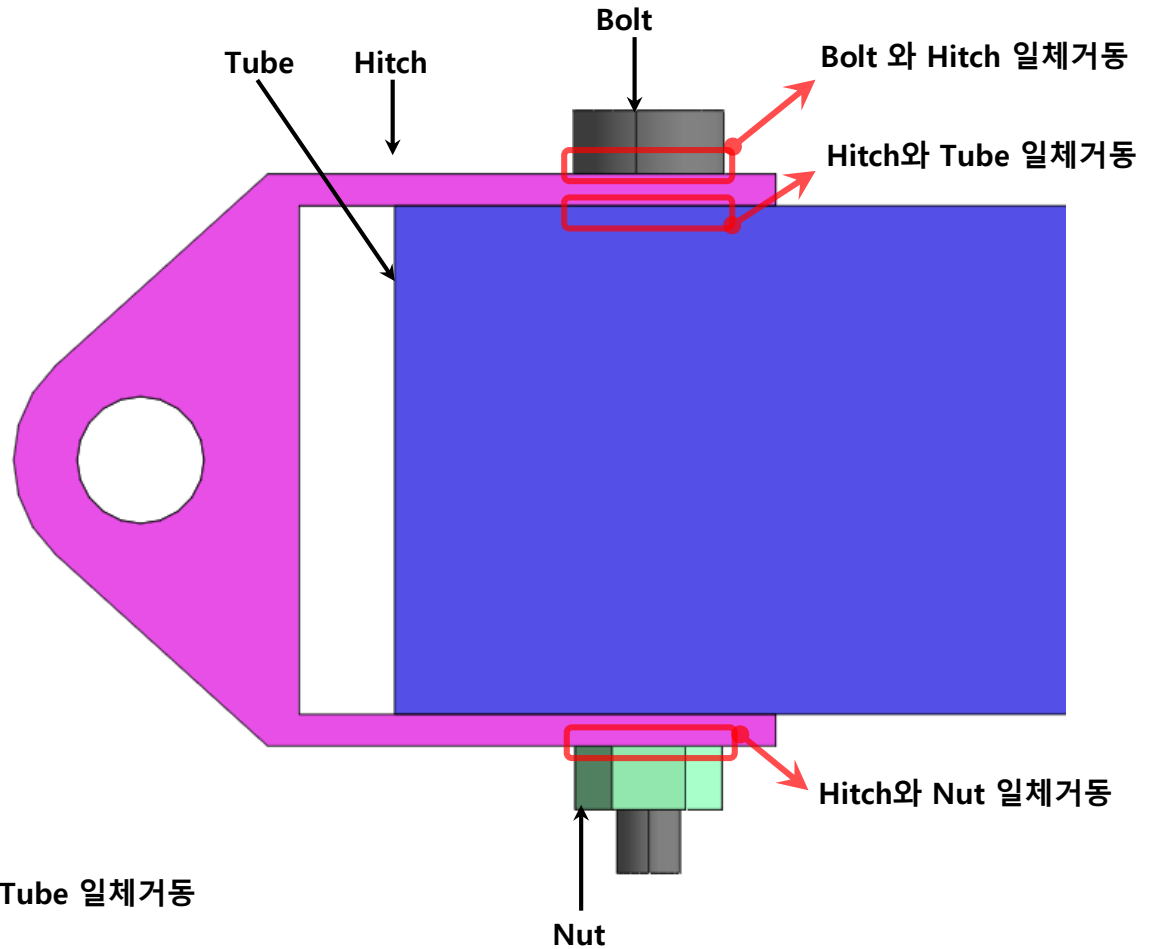
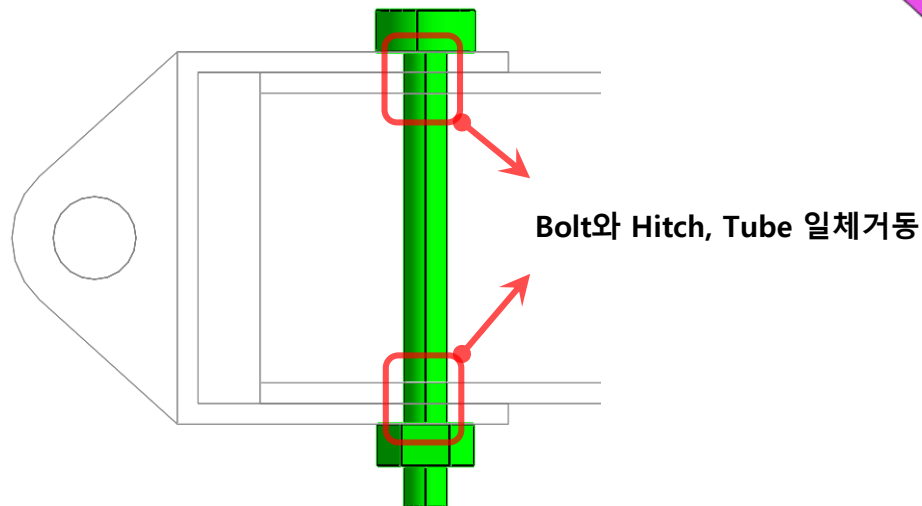
이름	Fix
대상종류	면
대상선택	1개 선택(그림참조)
조건	고정구속

3. [확인] 버튼 클릭.




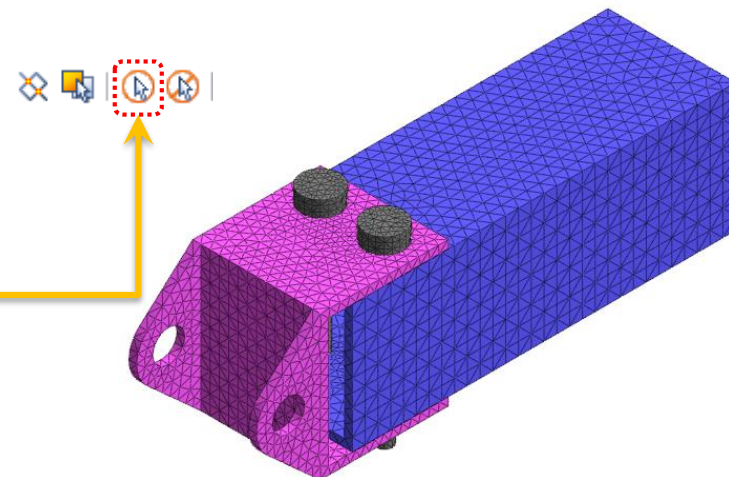
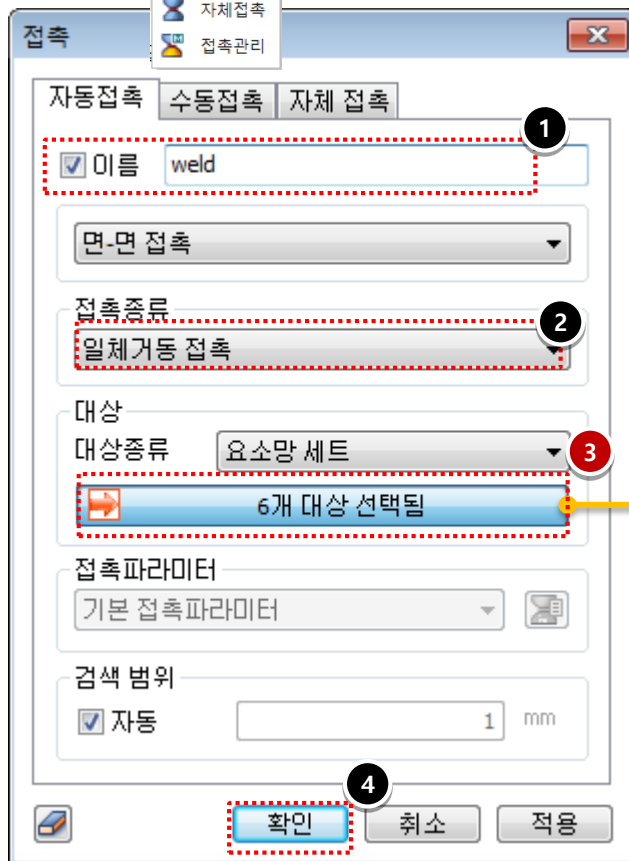
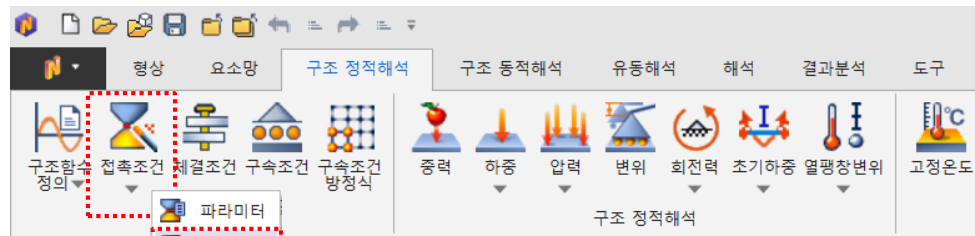
전체 파트가 하나로 일체 거동하는 조건

접촉 종류	일체거동 접촉
기하형상	Bolt, Hitch, Tube, Nut



작업순서

1. 이름 입력 : weld
2. 일체거동 접촉 선택.
3. 대상선택 : [] (전체선택) 클릭.
4. [확인] 버튼 클릭.

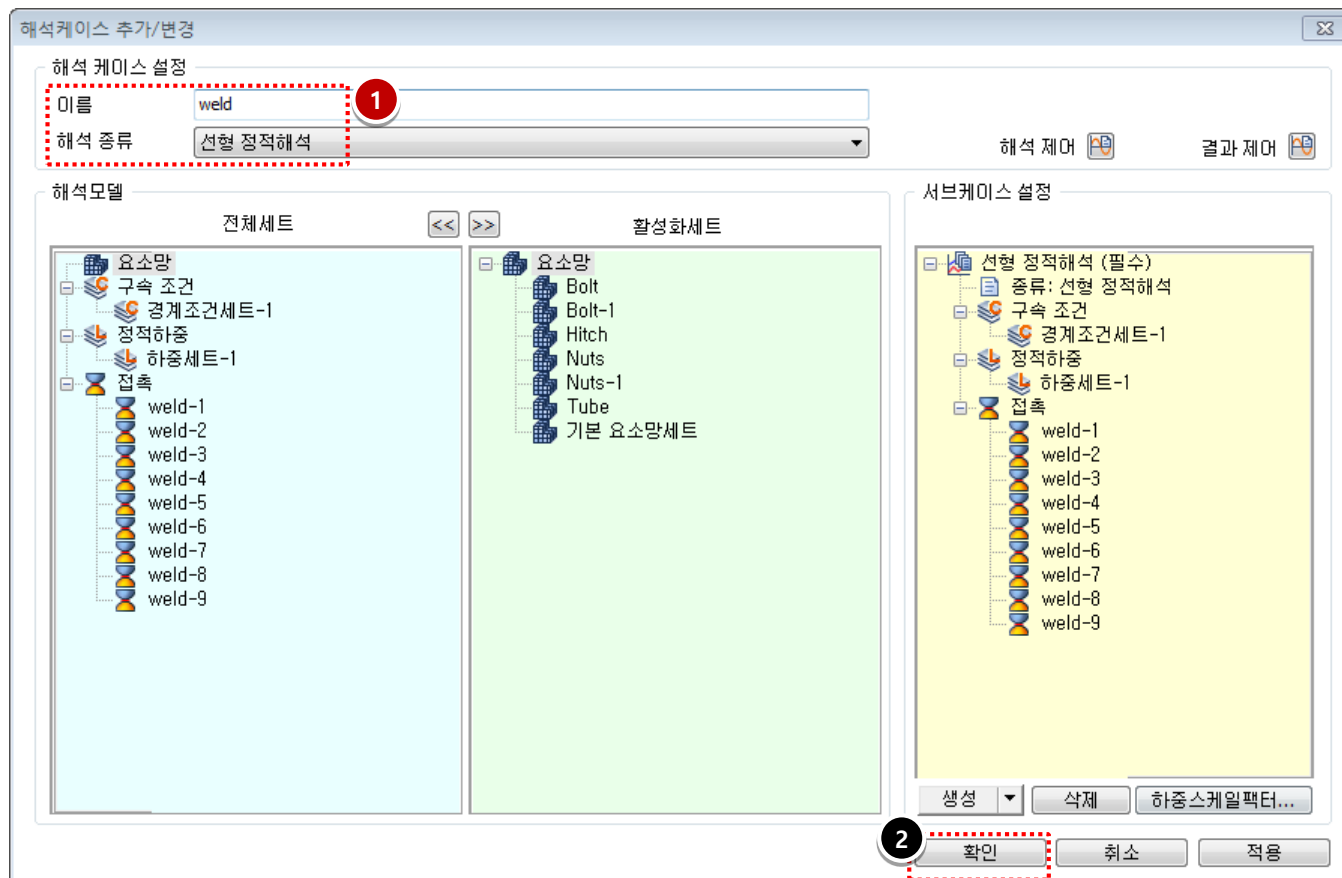
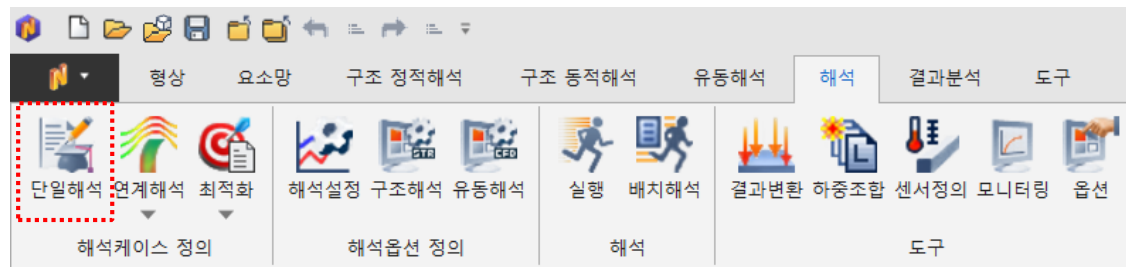


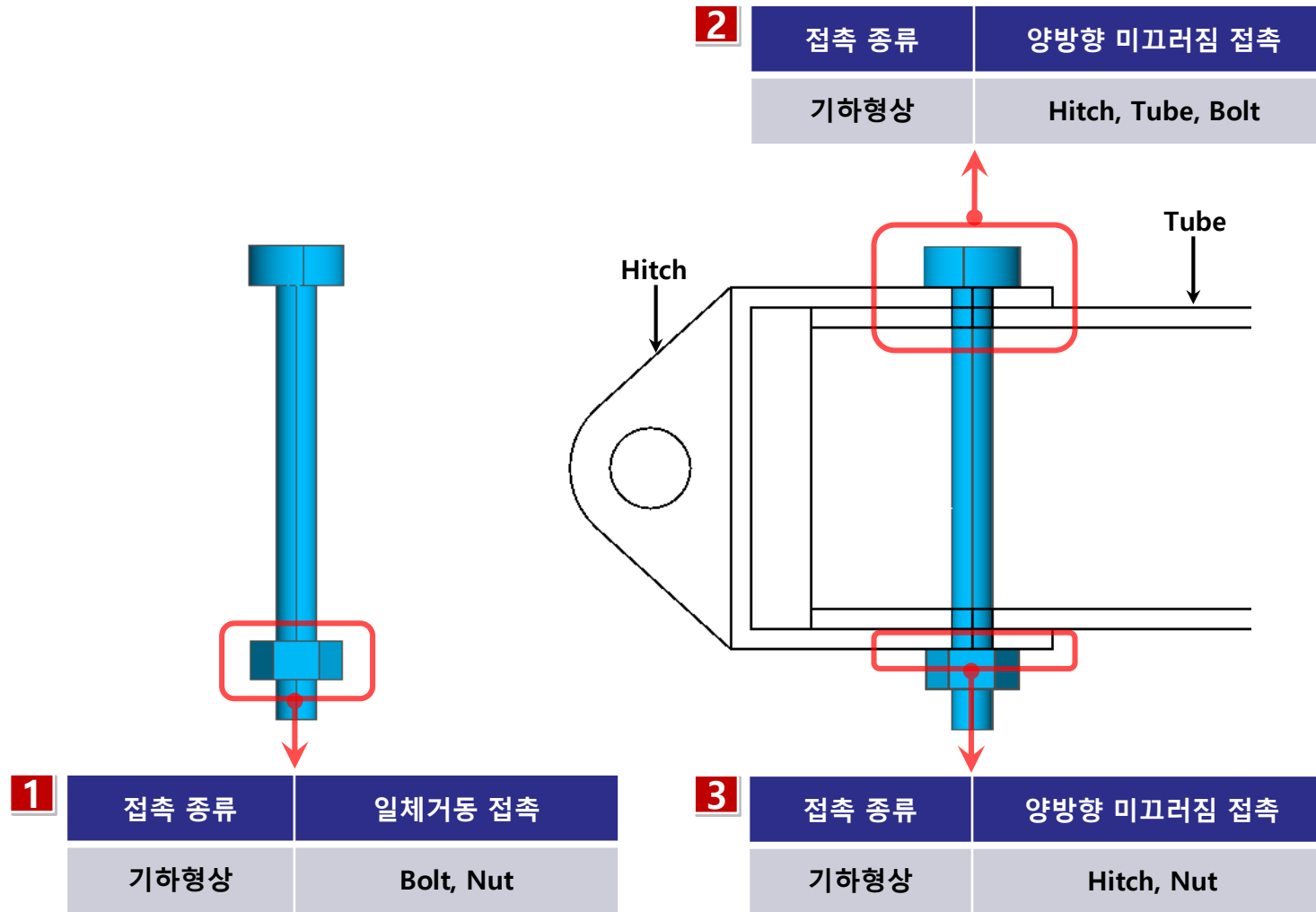
작업순서

1. 이름: "Weld" 입력.

해석 종류: [선형 정적해석] 선택.

2. [적용] 버튼 클릭

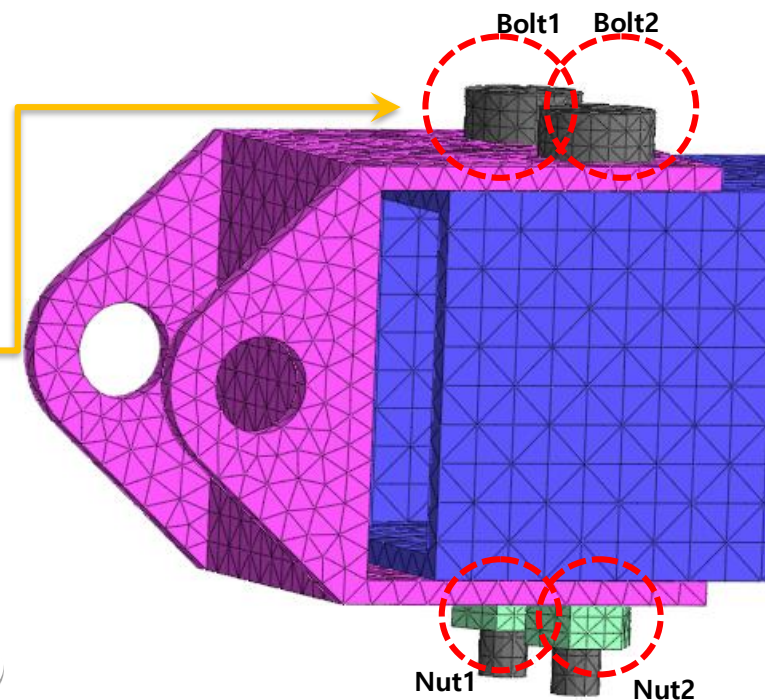
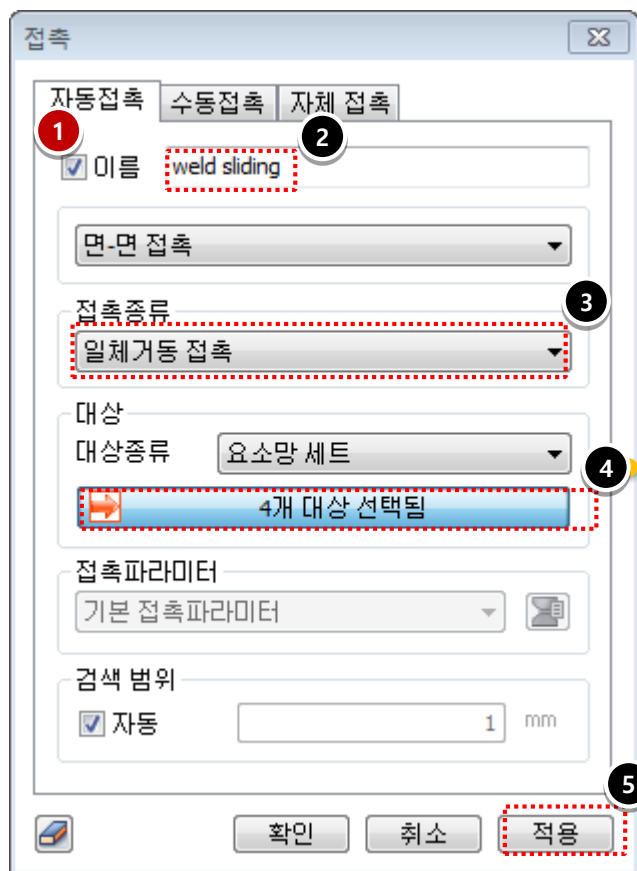




작업순서

1. [이름] 체크 선택
2. 이름 입력 : weld sliding
3. 일체거동 접촉 선택.
4. 대상선택 : 모델 4개 선택
5. [적용] 버튼 클릭.

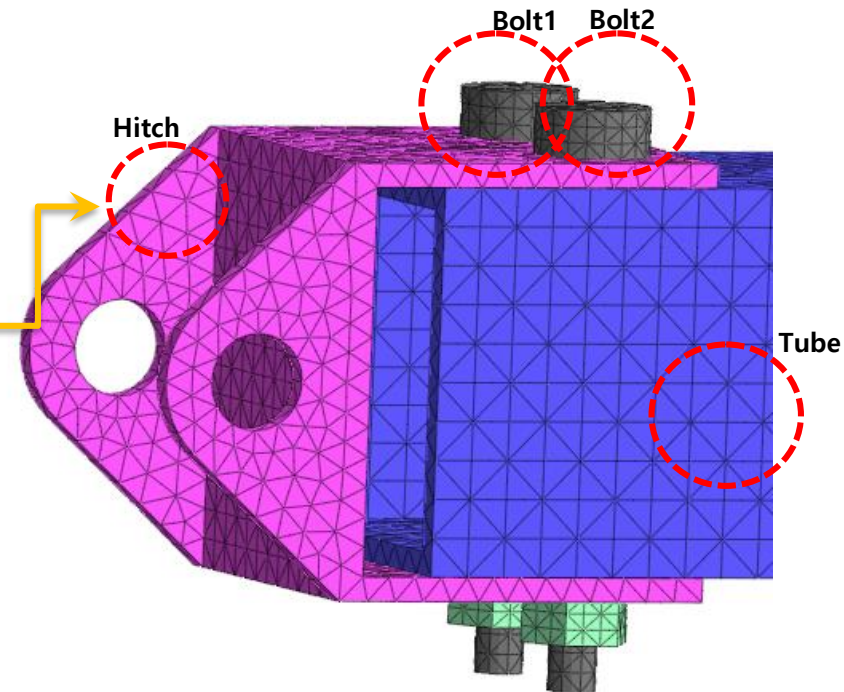
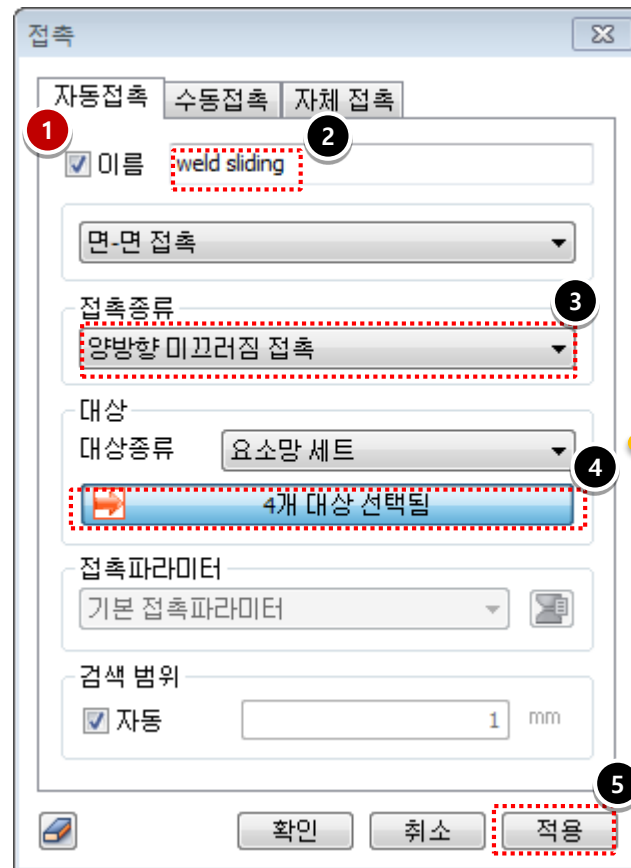
접촉 종류	일체거동 접촉	접촉 종류	양방향 미끄러짐 접촉	접촉 종류	양방향 미끄러짐 접촉
기하형상	Bolt, Nut	기하형상	Hitch, Tube, Bolt	기하형상	Hitch, Nut



작업순서

1. [이름] 체크 선택
2. 이름 입력 : weld sliding
3. 양방향 미끄러짐 접촉 선택.
4. 대상선택 : 모델 4개 선택
Tube, Hitch, Bolt1, Bolt2
5. [적용] 버튼 클릭.

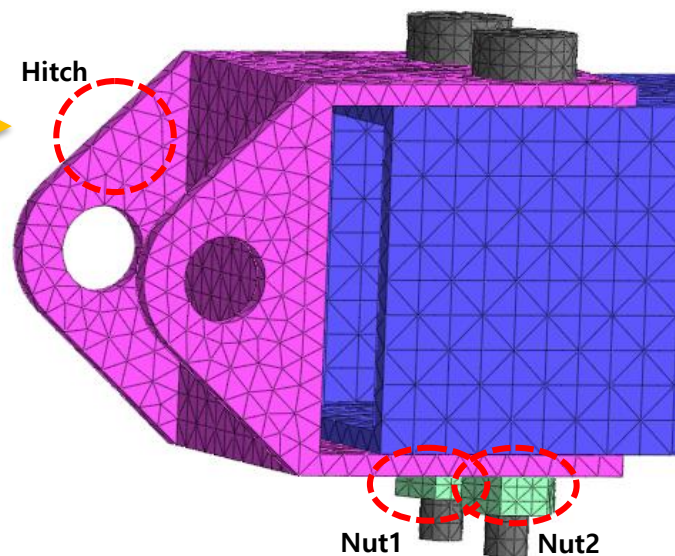
접촉 종류	일체거동 접촉	접촉 종류	양방향 미끄러짐 접촉	접촉 종류	양방향 미끄러짐 접촉
기하형상	Bolt, Nut	기하형상	Hitch, Tube, Bolt	기하형상	Hitch, Nut



작업순서

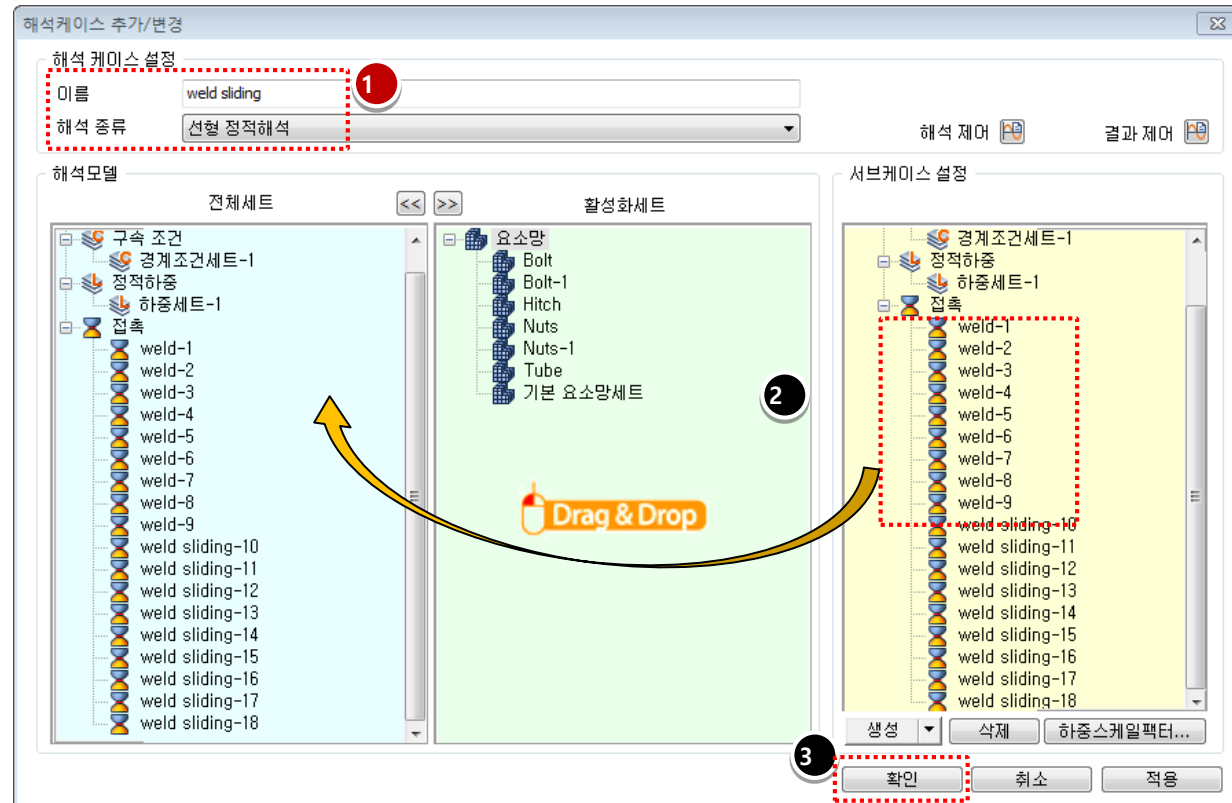
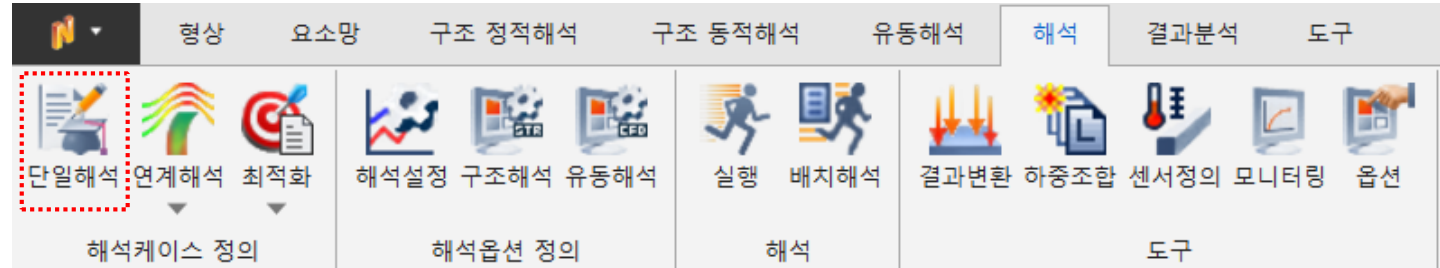
1. [이름] 체크 선택
2. 이름 입력 : weld sliding
3. 양방향 미끄러짐 접촉 선택
4. 대상선택 : 모델 3개 선택
Hitch, Nut1, Nut2
5. [확인] 버튼 클릭

접촉 종류	일체거동 접촉	접촉 종류	양방향 미끄러짐 접촉	접촉 종류	양방향 미끄러짐 접촉
기하형상	Bolt, Nut	기하형상	Hitch, Tube, Bolt	기하형상	Hitch, Nut



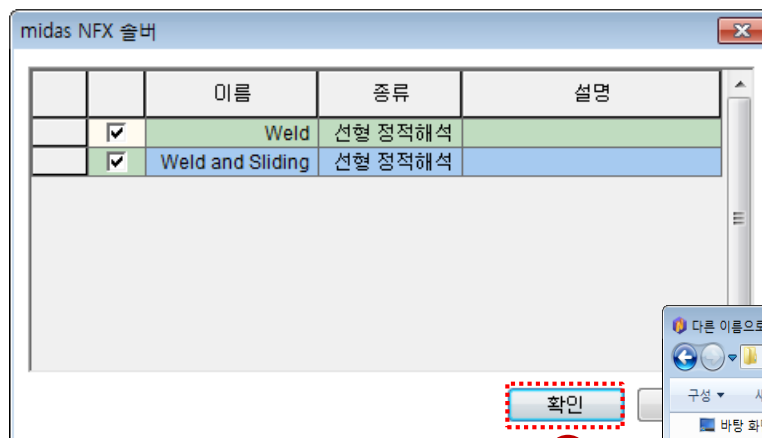
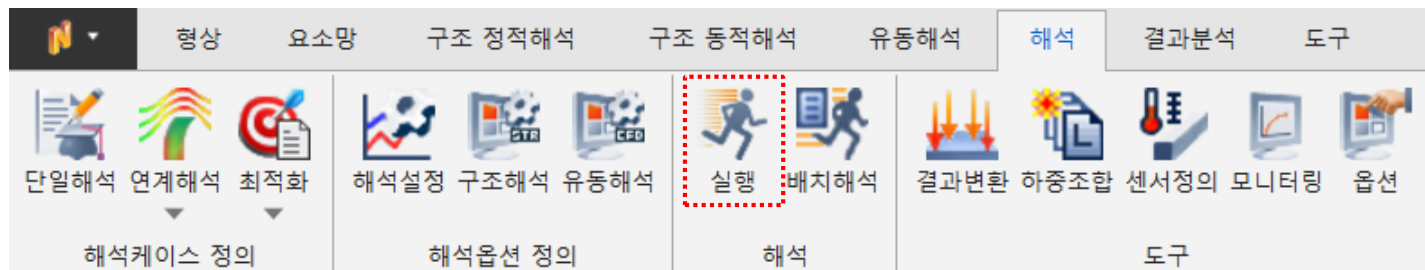
작업순서

- 이름: "Weld sliding" 입력.
해석 종류: [선형 정적해석] 선택.
- 전체세트에서 접촉의 weld sliding만 서브케이스 설정에 적용
- [확인] 버튼 클릭

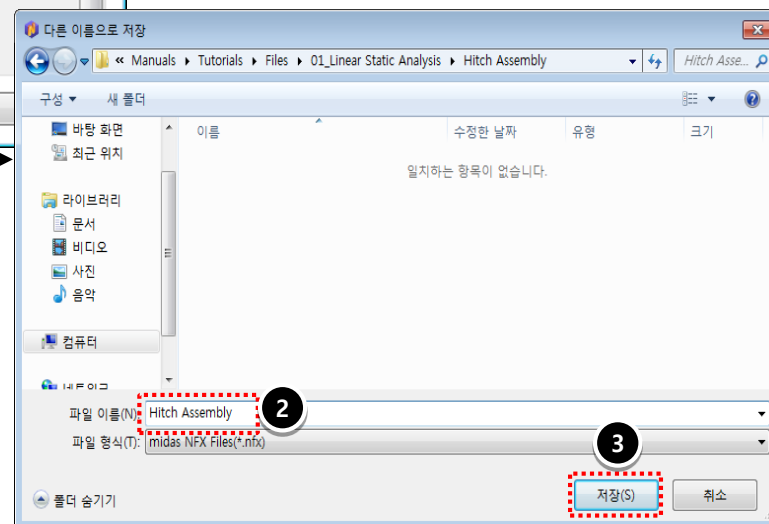
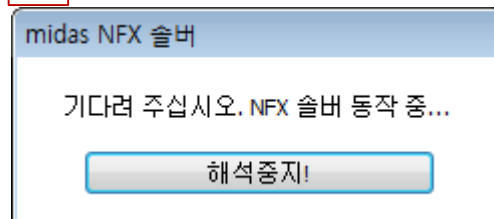


작업순서

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

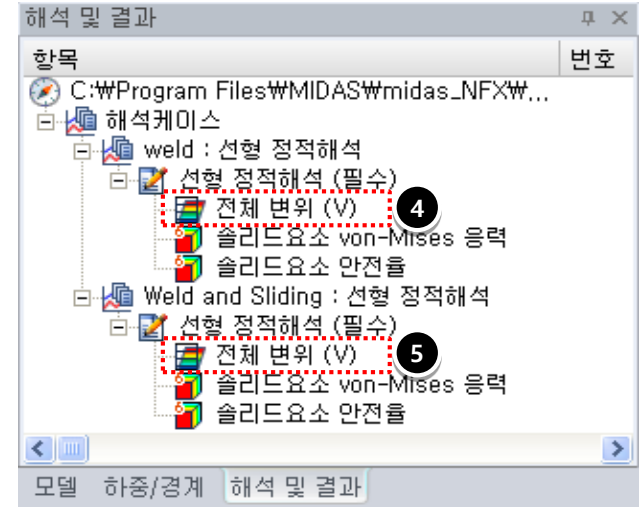
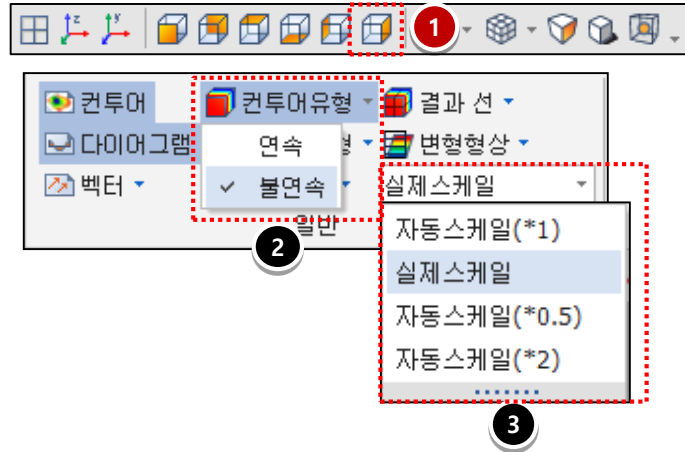


해석을 실행하면 midas NFX 슬버가 작동됩니다. [해석중지] 버튼을 클릭하면 해석이 중지됩니다.

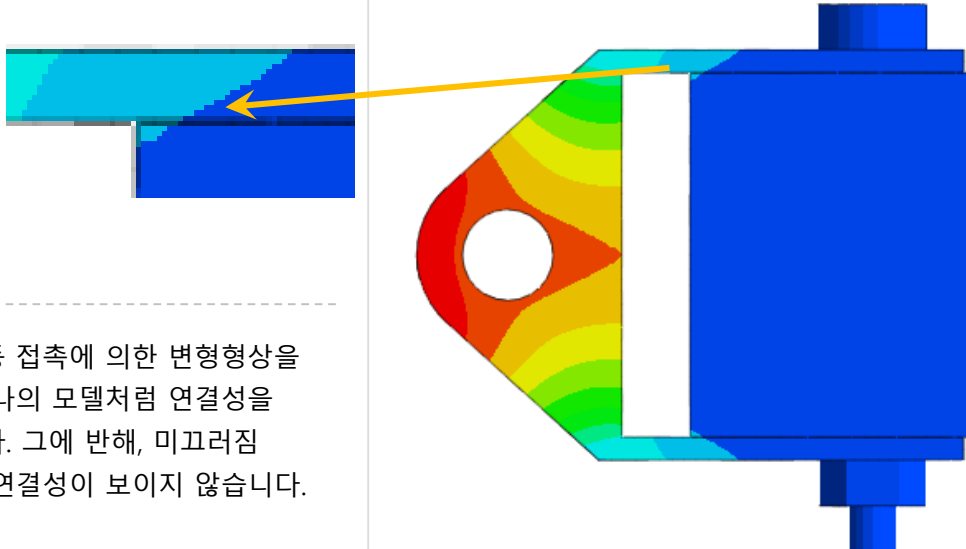


작업순서

1. [] (우측면 보기) 클릭.
2. 컨투어 유형: 불연속 선택.
3. 실제스케일 선택.
4. 해석 및 결과 작업트리에서 Weld의 전체 변위 더블 클릭.
5. 해석 및 결과 작업트리에서 Weld and Sliding의 전체 변위 더블 클릭.

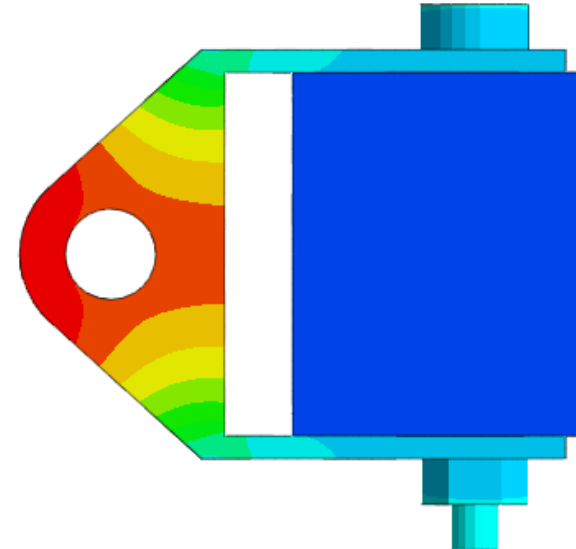


• 일체거동 접촉에 의한 변형형상



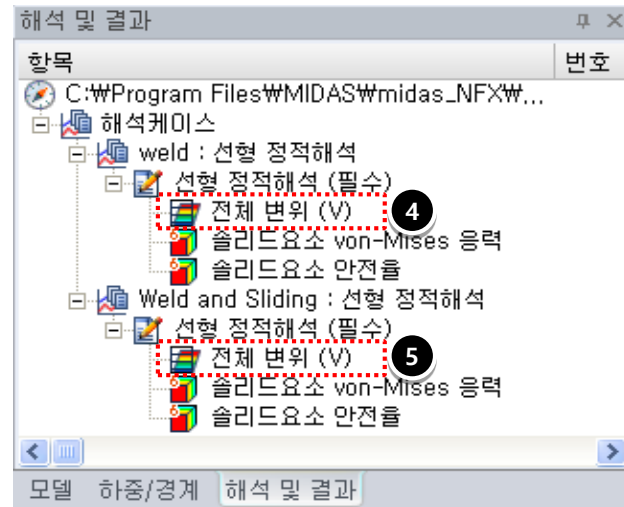
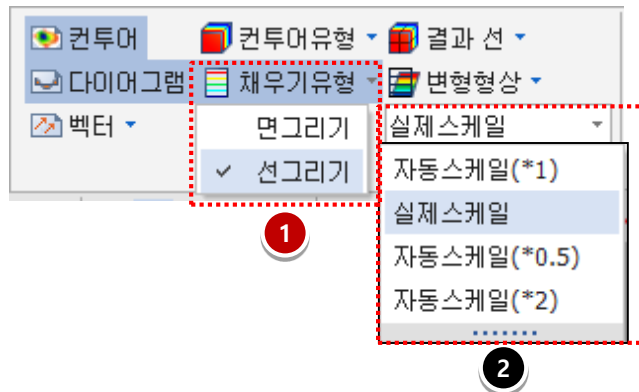
💡 일체거동 접촉에 의한 변형형상을 보면 하나의 모델처럼 연결성을 보입니다. 그에 반해, 미끄러짐 접촉은 연결성이 보이지 않습니다.

• 미끄러짐 접촉에 의한 변형형상

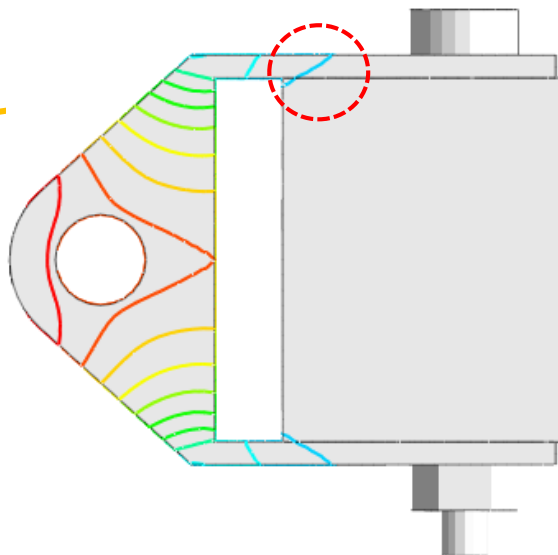
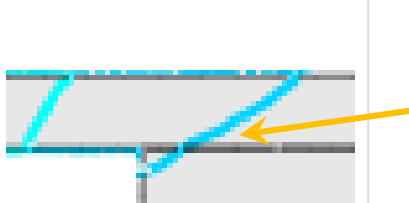


작업순서

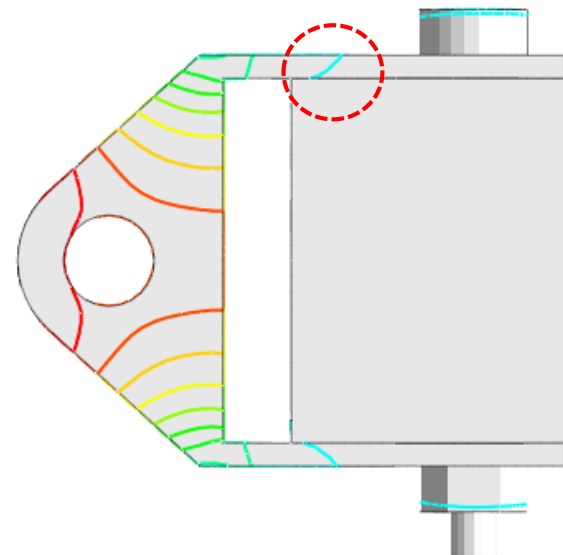
1. 채우기 유형: 선그리기 선택.
2. 실제스케일 선택.
3. 해석 및 결과 작업트리에서 Weld의 전체 변위 더블 클릭.
4. 해석 및 결과 작업트리에서 Weld and Sliding의 전체 변위 더블 클릭.



• 일체거동 접촉에 의한 변형형상



• 미끄러짐 접촉에 의한 변형형상



개요

➤ 선형정적해석

- 단위 : N, mm
- 등방성 탄성 재료
- 솔리드 요소

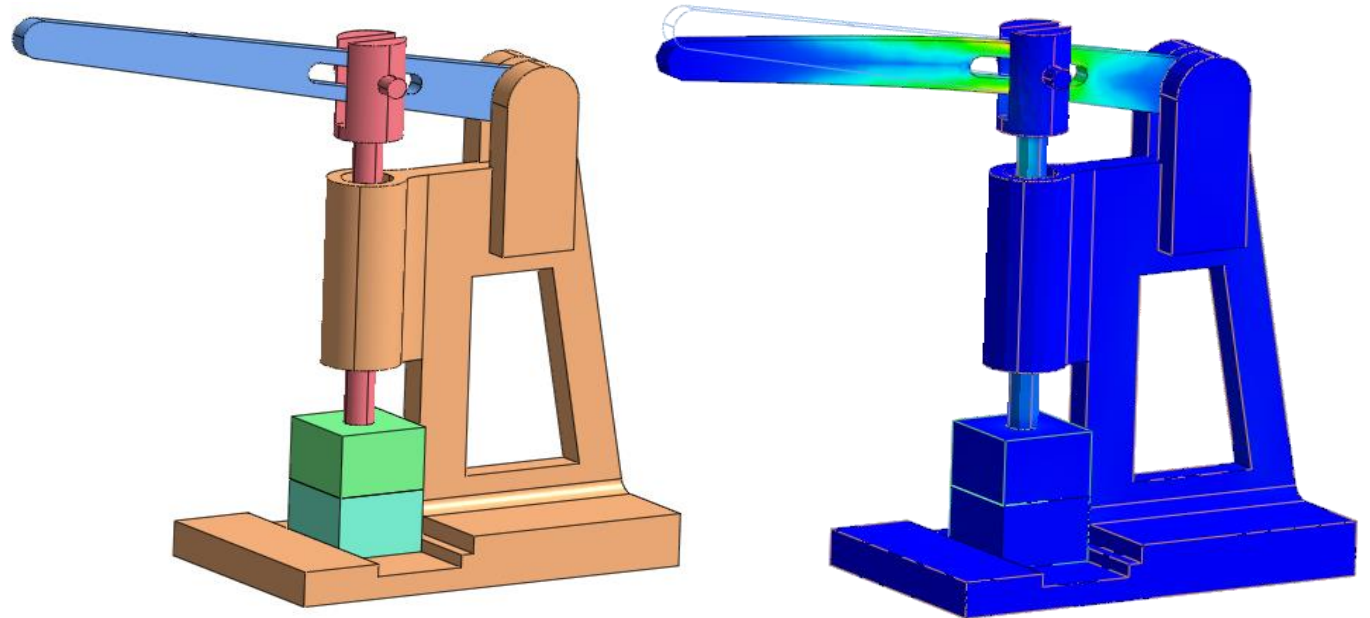
➤ 하중/접촉조건과 경계조건

- 집중하중
- 일체거동 / 양방향 미끄러짐
- 구속조건

➤ 결과확인

- 최대 변위
- 최대 응력
- 접촉종류에 따른 결과 확인

Press Machine

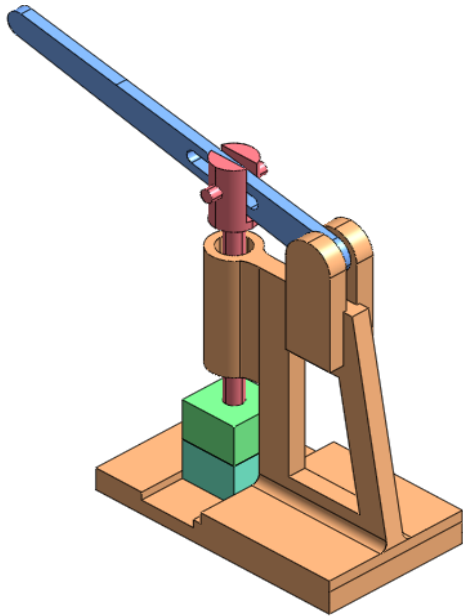


예제 목적

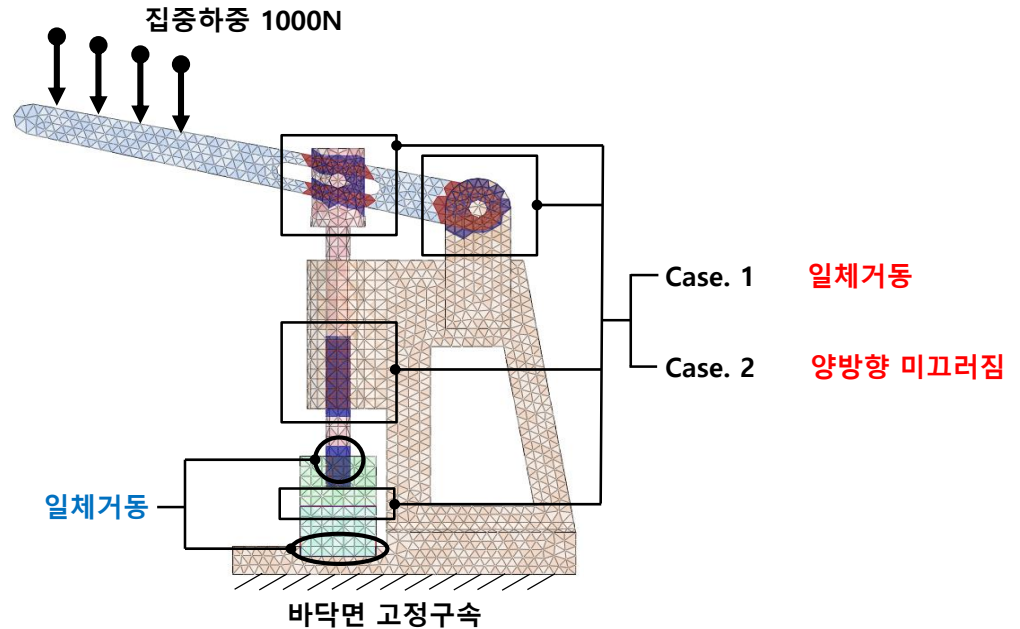
- midas NFX를 이용하여 Press machine 모델로 해석을 수행합니다.
 - Press machine의 레버를 당기는 힘을 집중하중으로 이상화하여 해석조건으로 입력합니다.
 - 각 파트별 접촉상태를 구분하여 일체거동 / 양방향 미끄러짐 접촉조건을 입력합니다.
 - 최대응력 및 최대변위 위치를 파악하고, 모든 접촉조건을 일체거동으로 변경했을 때와의 차이를 확인합니다.

실습 개요

➤ 대상 모델

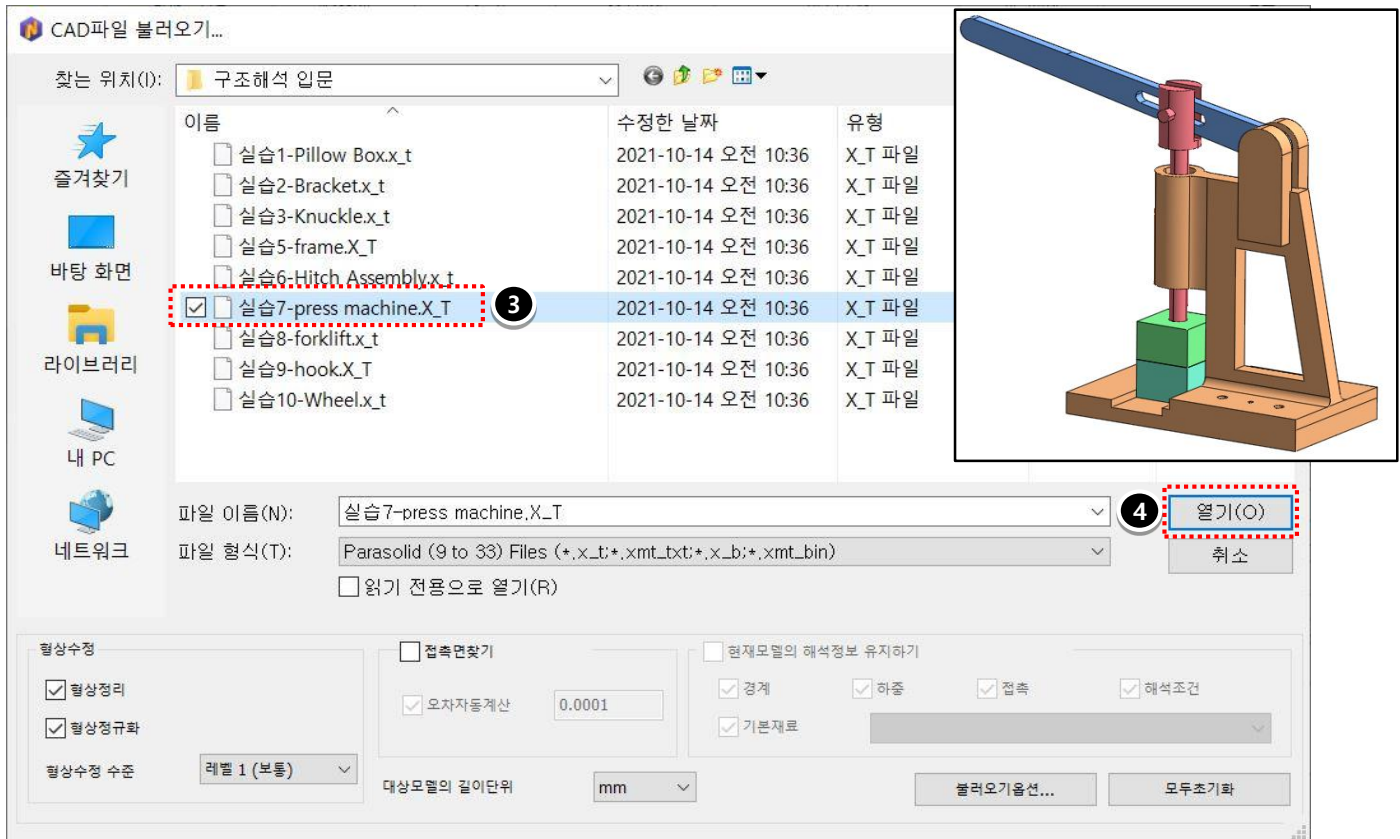


➤ 하중/접촉 및 경계조건(고정구속)




작업순서



1. [새로만들기] 버튼 클릭후 해석조건 설정창에서 [확인] 버튼 클릭.
2. 형상 >> CAD파일 >> 불러오기 버튼 클릭.
3. "press machine.X_T" 파일 클릭
4. [열기] 버튼 클릭.

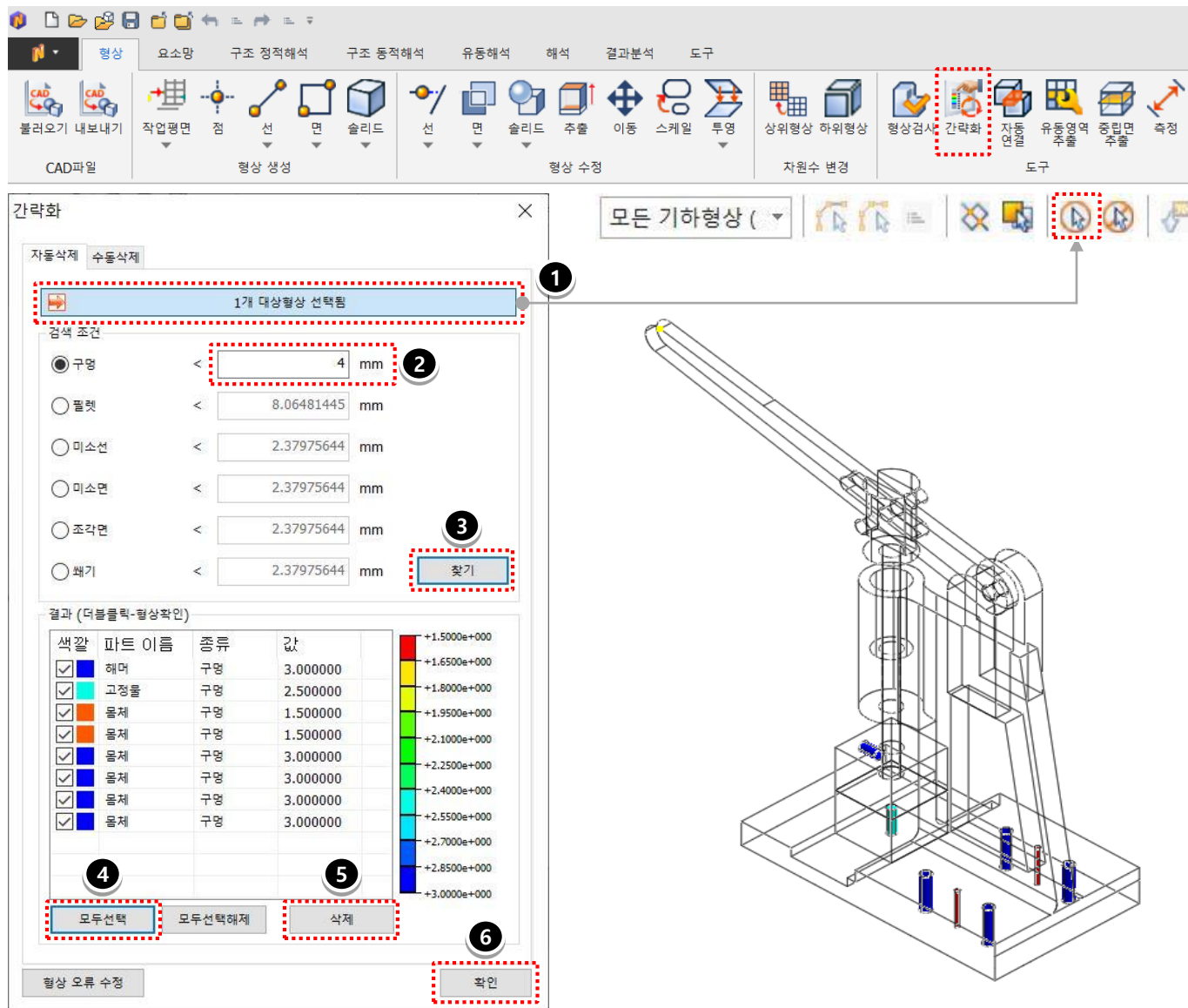


작업순서

1. 대상선택 : 전체모델 선택.
2. 검색조건에 구멍에 [4] 입력.
3. [찾기] 버튼 클릭.
4. 결과에서 [모두선택] 버튼 클릭.
5. [삭제] 버튼 클릭.
6. [확인] 버튼 클릭.

 불필요한 구멍을 삭제합니다.

 [] (전체 선택)을 클릭하면 화면상에 보이는 모델이 전부 선택 됩니다.



간략화

자동삭제 수동삭제

1개 대상형상 선택됨

검색 조건

- 구멍 < 4 mm
- 윗엿 < 8.06481445 mm
- 미소선 < 2.37975644 mm
- 미소면 < 2.37975644 mm
- 조각면 < 2.37975644 mm
- 뾰기 < 2.37975644 mm

3 찾기

결과 (더블클릭-필상확인)

색깔	파트 이름	종류	값
<input checked="" type="checkbox"/>	해머	구멍	3.000000
<input checked="" type="checkbox"/>	고정틀	구멍	2.500000
<input checked="" type="checkbox"/>	몸체	구멍	1.500000
<input checked="" type="checkbox"/>	몸체	구멍	1.500000
<input checked="" type="checkbox"/>	몸체	구멍	3.000000
<input checked="" type="checkbox"/>	몸체	구멍	3.000000
<input checked="" type="checkbox"/>	몸체	구멍	3.000000
<input checked="" type="checkbox"/>	몸체	구멍	3.000000


4 모두선택 5 삭제 6 확인

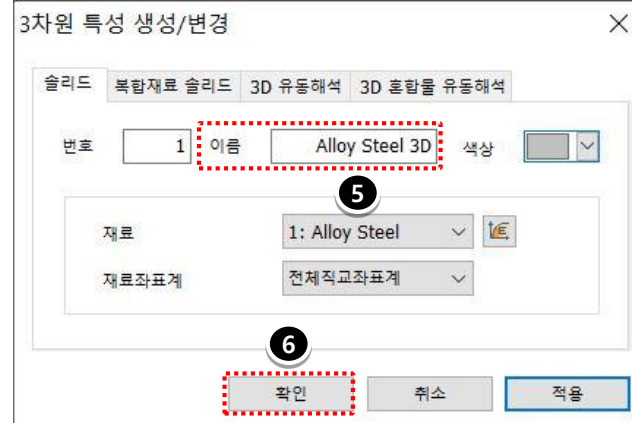
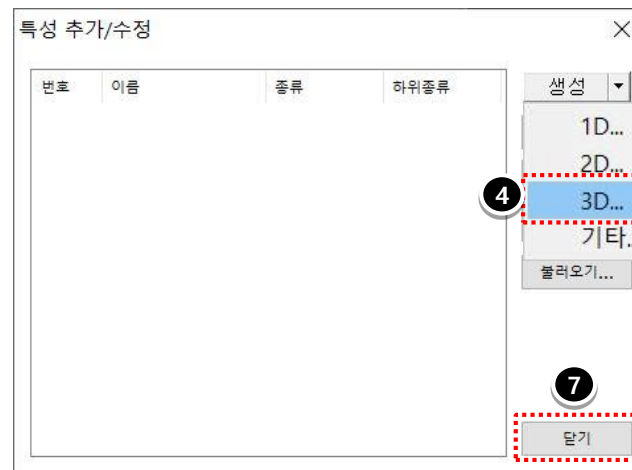
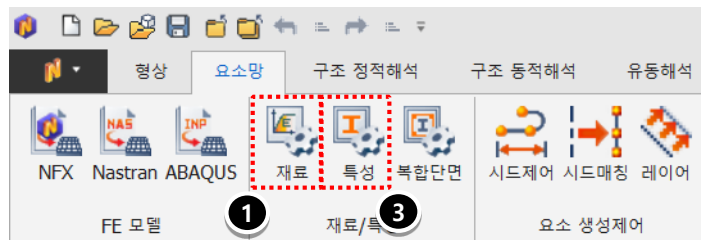
모든 기하형상 ()

형상 오류 수정

작업순서

1. [재료] 아이콘 클릭.
2. 입력된 재료 확인 후 [닫기] 클릭.
3. [특성] 아이콘 클릭.
4. 생성 >> 3D 클릭.
5. 특성 이름 재료 물성치 이름과 동일하게 [Alloy Steel 3D] 입력.
6. [확인] 클릭.
7. [닫기] 클릭.

 기본 재료로 설정된 Alloy steel을 이용한다.




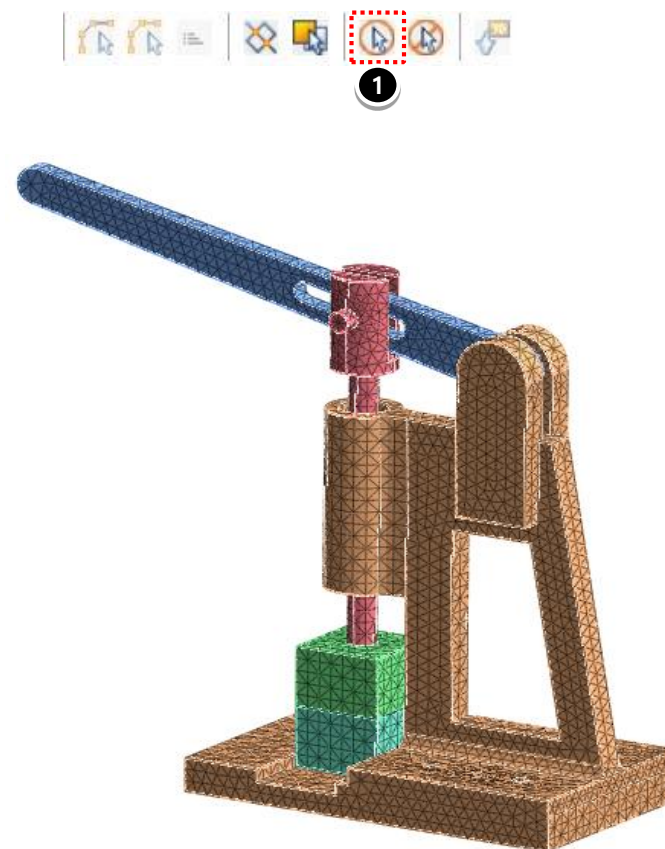
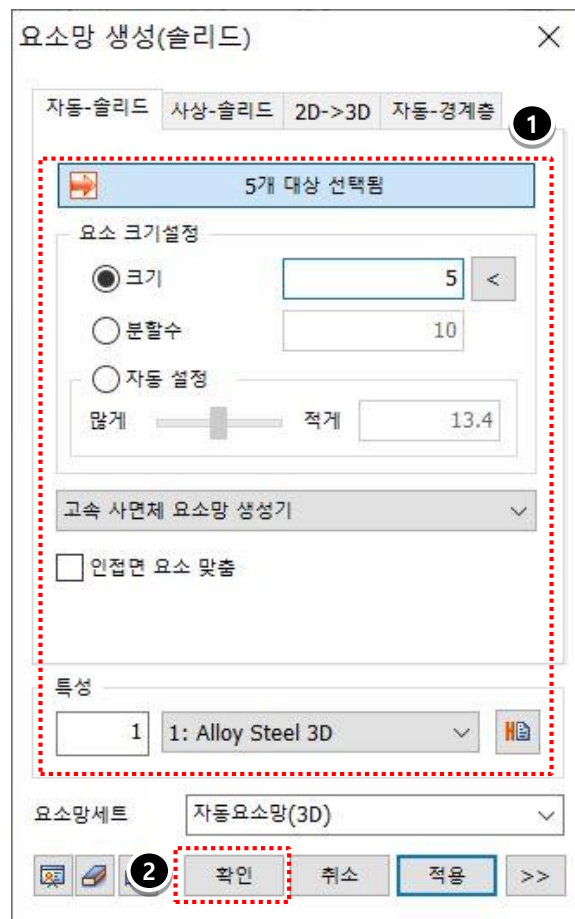
작업순서

1. 3D요소망 생성 입력

대상 선택	 전체선택
요소 크기	5
특성	Alloy Steel 3D

2. [확인] 클릭

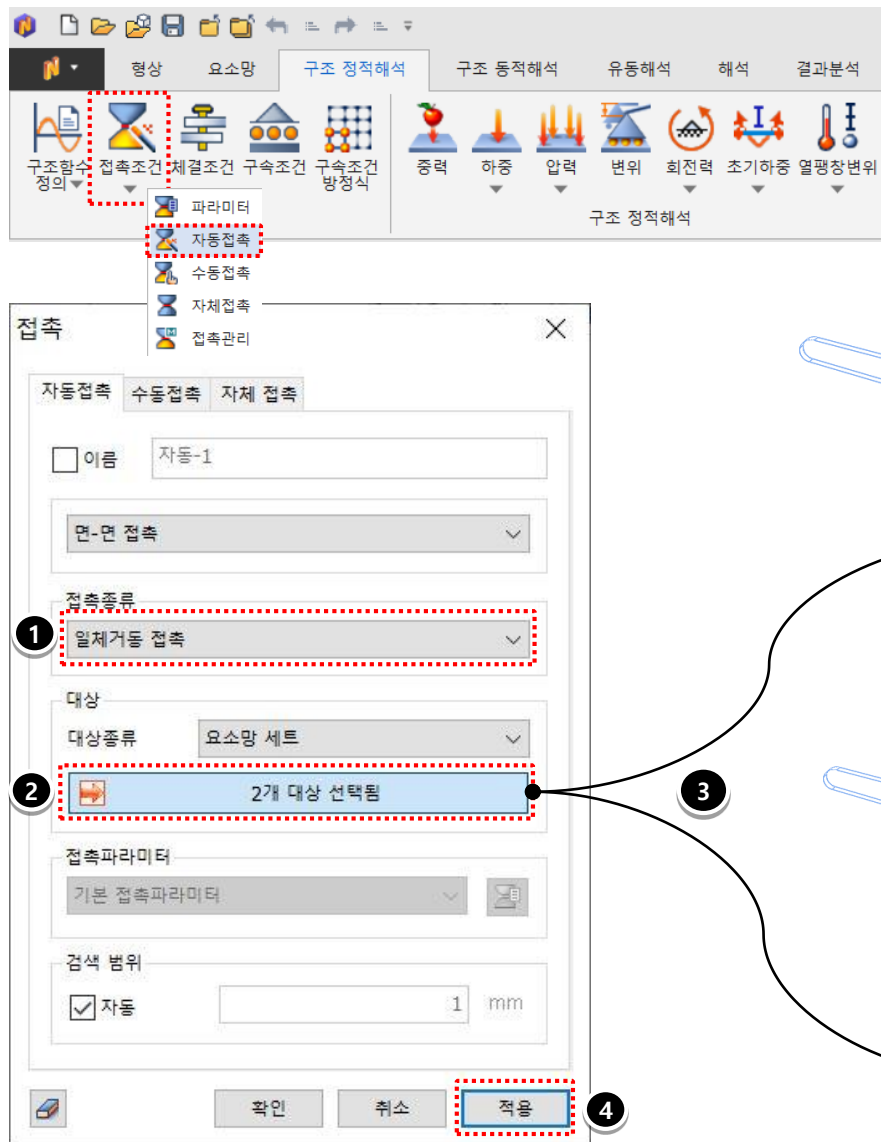
💡 [] (전체 선택) 을 클릭하면 화면 상에 보이는 모델이 전부 선택됩니다.



작업순서

1. 접촉종류 [일체거동 접촉] 선택.
2. [대상선택] 클릭.
3. [파트 2개] 선택.
4. [적용] 버튼 클릭.

💡 일체거동 접촉: 기하모델의 접촉이 발생하는 면들이 초기부터 붙어 있는 경우에 사용하며 해석하는 동안 접촉면이 분리되는 것을 허용하지 않습니다. 일체거동 접촉조건이 설정되면 각각의 파트들이 하나의 모델처럼 거동합니다.

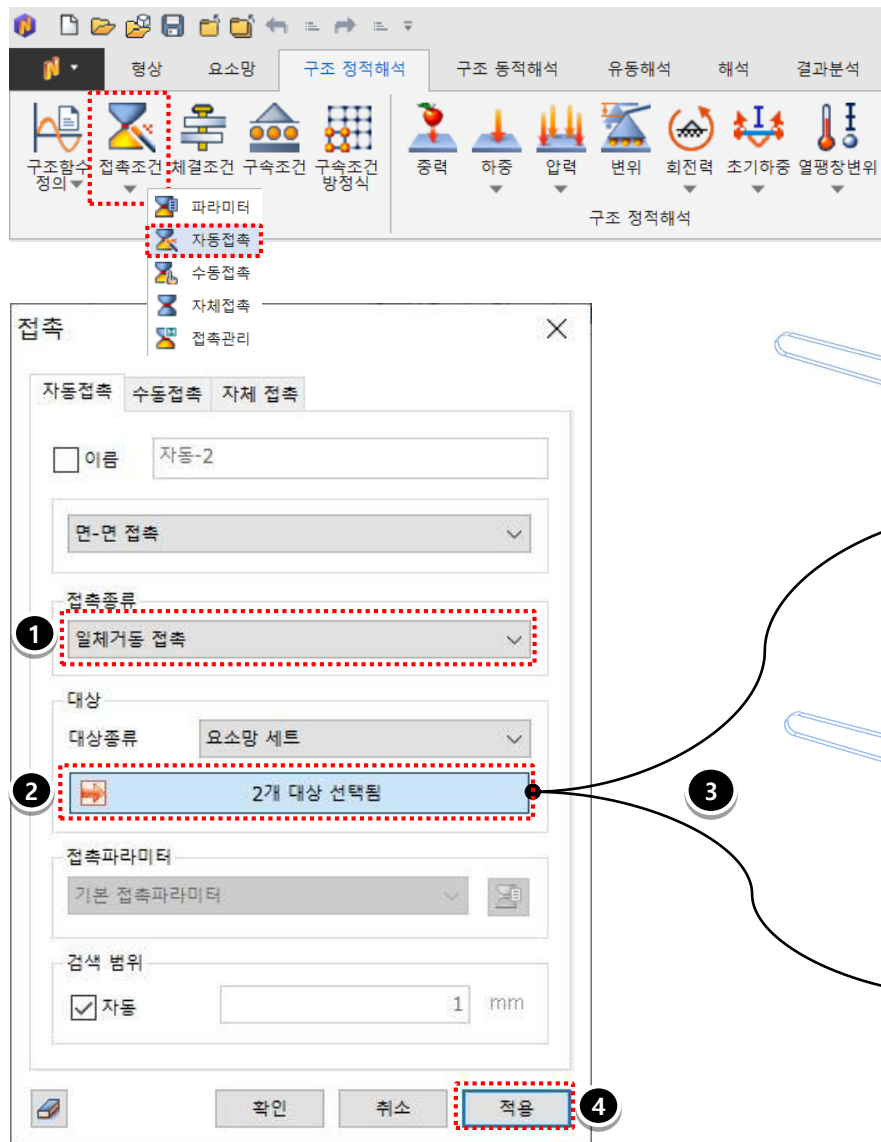


The screenshot displays the '접촉' (Contact) dialog box in the software. The '자동접촉' (Automatic Contact) tab is selected. The '접촉종류' (Contact Type) dropdown menu is set to '일체거동 접촉' (Rigid Contact), which is highlighted with a red dashed box and a circled '1'. The '대상' (Target) section shows '대상종류' (Target Type) set to '요소망 세트' (Element Set) and '대상' (Target) set to '2개 대상 선택됨' (2 targets selected), also highlighted with a red dashed box and a circled '2'. The '적용' (Apply) button at the bottom right is highlighted with a red dashed box and a circled '4'. To the right, a 3D model of a mechanical assembly is shown in two states: a solid green model and a wireframe model with red dashed lines indicating the contact area. A circled '3' points to the wireframe model.

작업순서


1. 접촉종류 [일체거동 접촉] 선택.
2. [대상선택] 클릭.
3. [파트 2개] 선택.
4. [적용] 버튼 클릭.

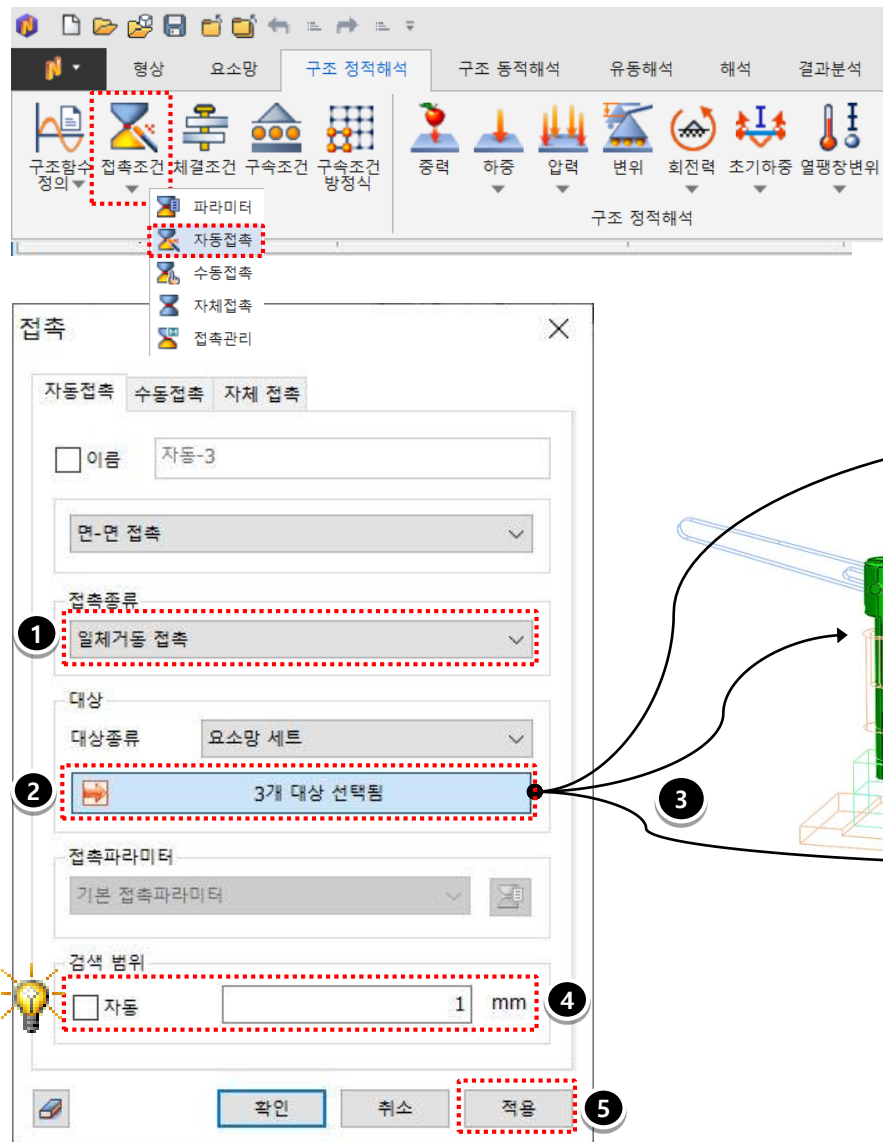
💡 일체거동 접촉: 기하모델의 접촉이 발생하는 면들이 초기부터 붙어 있는 경우에 사용하며 해석하는 동안 접촉면이 분리되는 것을 허용하지 않습니다. 일체거동 접촉조건이 설정되면 각각의 파트들이 하나의 모델처럼 거동합니다.



작업순서

1. 접촉종류 [일체거동 접촉] 선택.
2. [대상선택] 클릭.
3. [파트 3개] 선택.
4. 검색범위 자동 해제 후 [1] 입력.
5. [적용] 버튼 클릭.

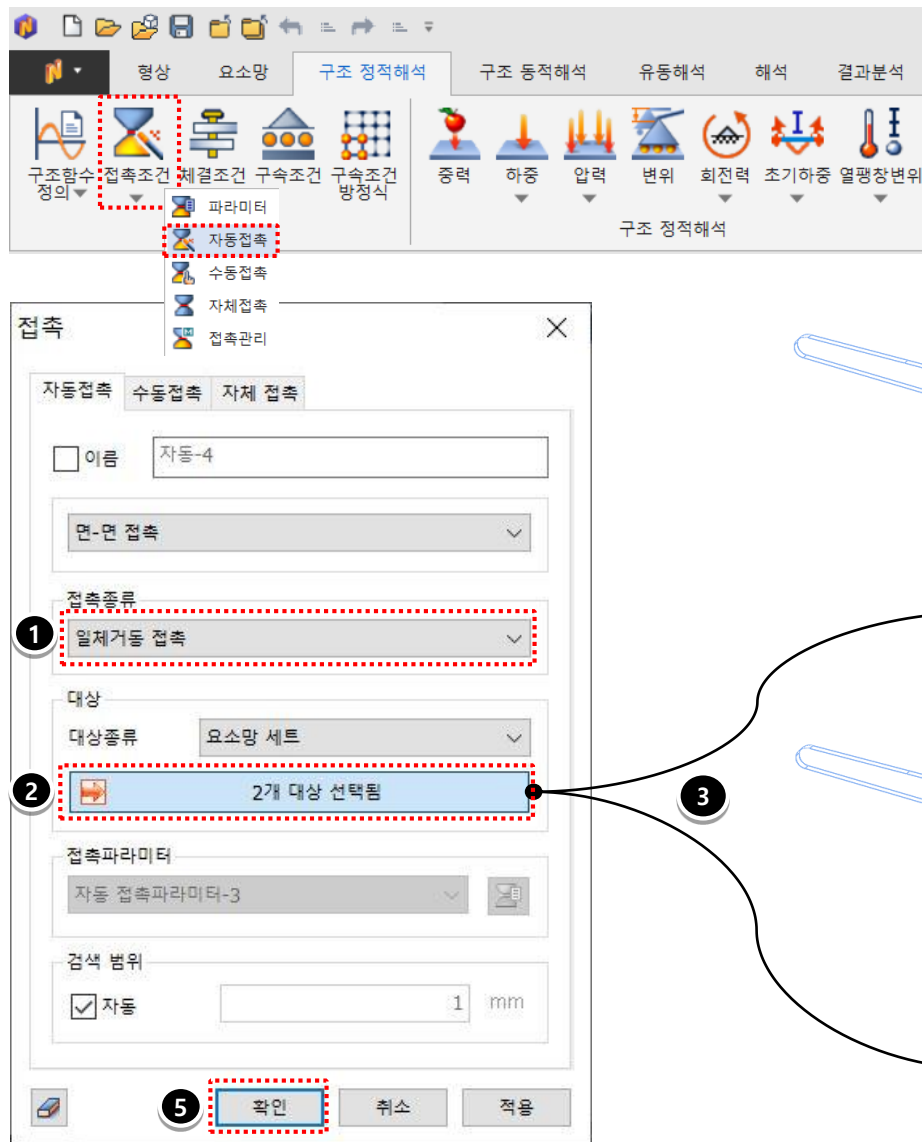
 **검색 범위:** 곡면과 평면이 접하는 경우는 접촉 정의 시 다소 보수적인 검색 범위를 지정하여 접촉을 설정하는 것이 효과적이다.



작업순서

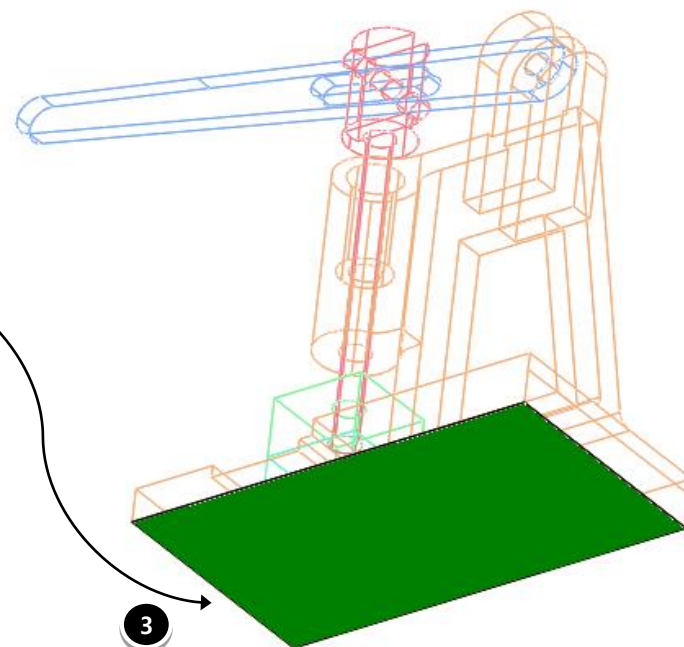
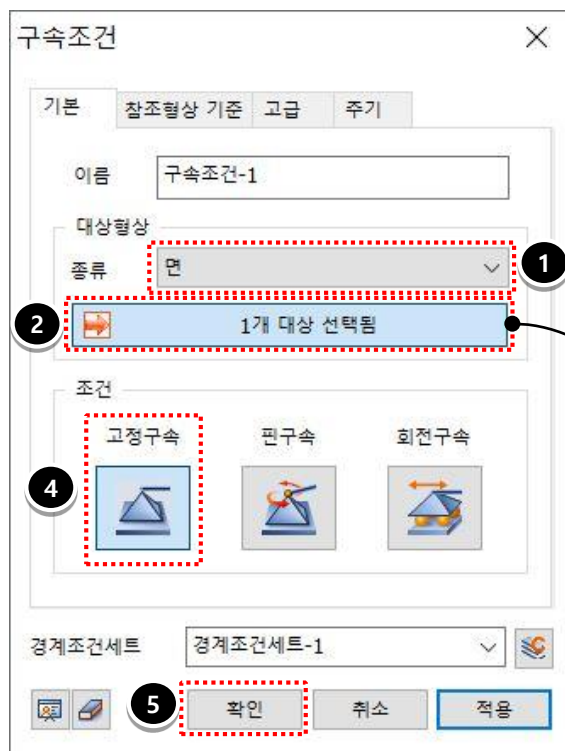
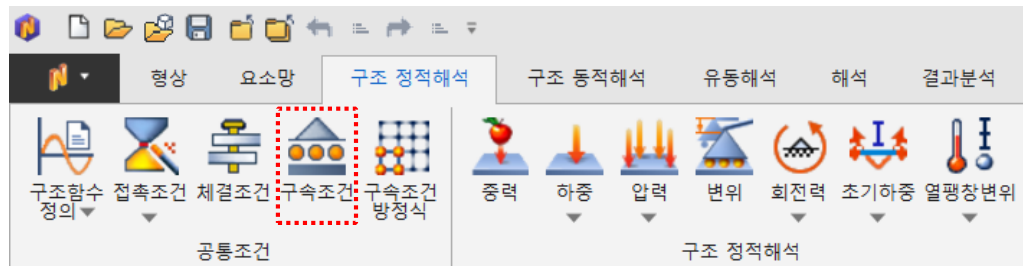
1. 접촉종류 [일체거동 접촉] 선택.
2. [대상선택] 클릭.
3. [파트 2개] 선택.
4. [확인] 버튼 클릭.

💡 일체거동 접촉: 기하모델의 접촉이 발생하는 면들이 초기부터 붙어 있는 경우에 사용하며 해석하는 동안 접촉면이 분리되는 것을 허용하지 않습니다. 일체거동 접촉조건이 설정되면 각각의 파트들이 하나의 모델처럼 거동합니다.



작업순서

1. 종류를 [면]으로 선택.
2. [대상선택] 버튼 클릭.
3. 하단 면 선택.
4. [고정구속] 버튼 클릭.
5. [확인] 버튼 클릭.



💡 고정구속: X,Y,Z 병진자유도 및 회전자유도 구속

핀구속: X,Y,Z 병진자유도만 구속

※ 솔리드 모델에서는 회전자유도가 없기 때문에 핀구속 조건으로 모든 자유도가 구속됩니다.

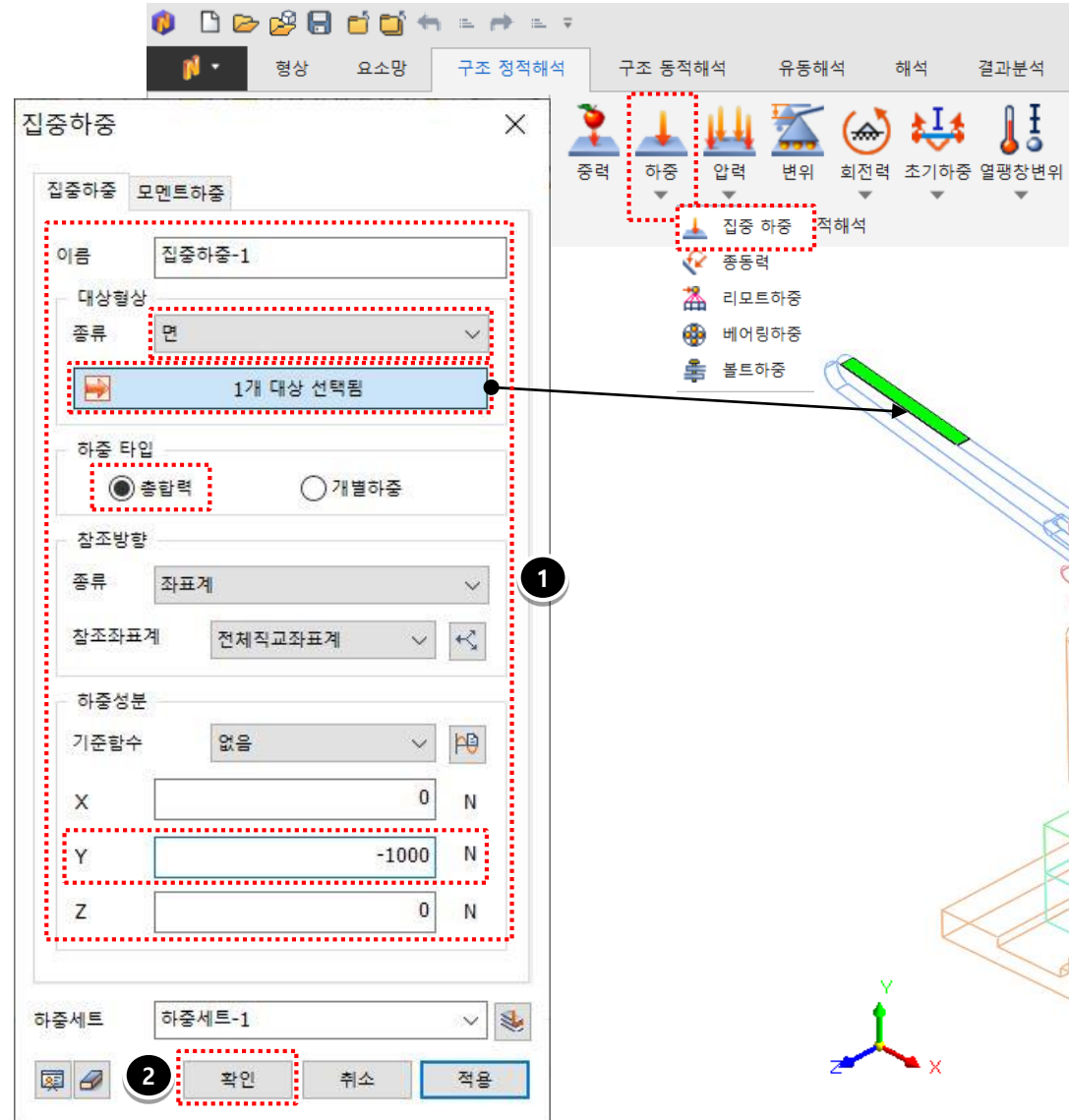
작업순서

1. 하중조건 입력

대상종류	면
대상선택	레버 상단
하중종류	총합력
하중성분	Y축 : -1000N

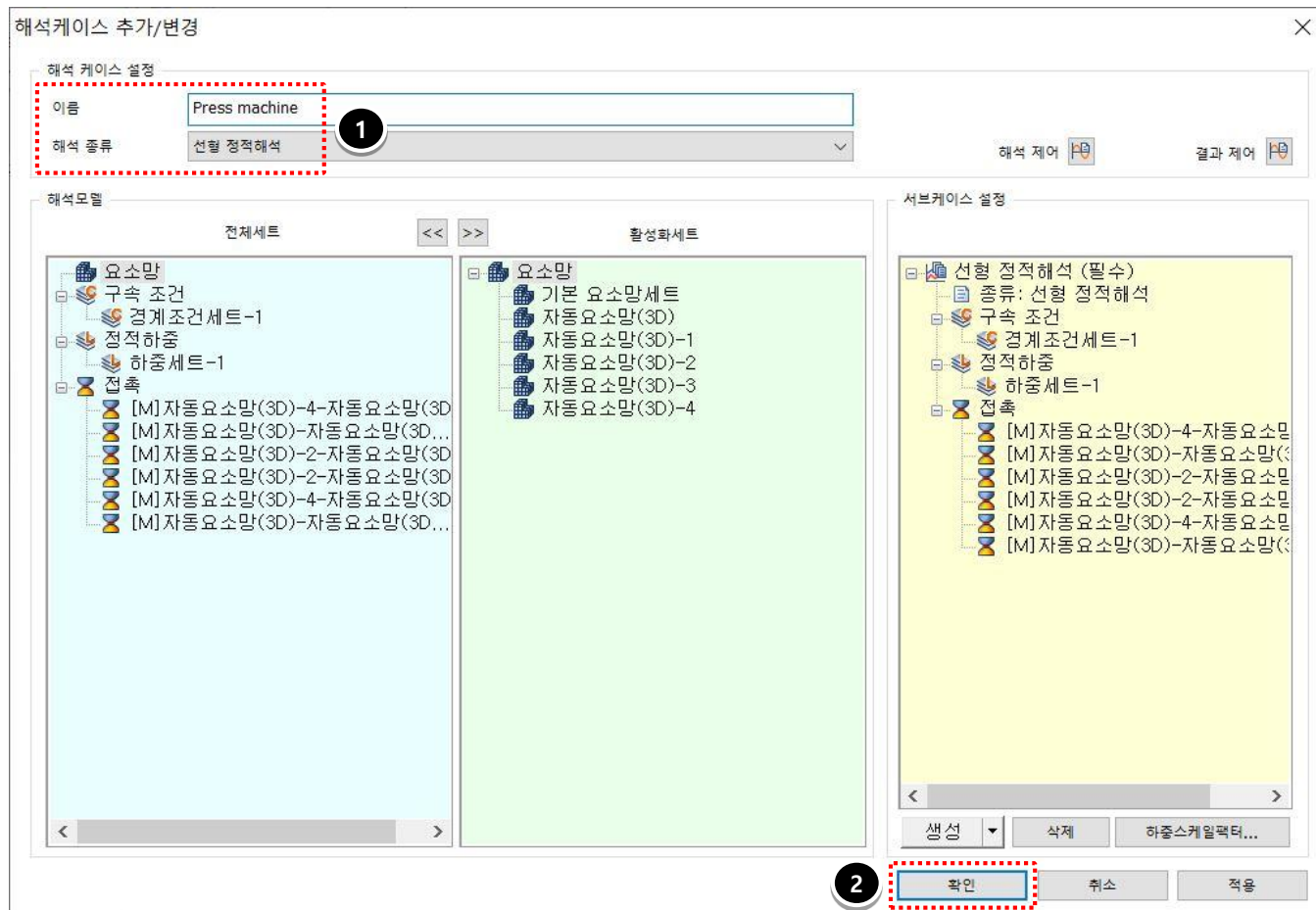
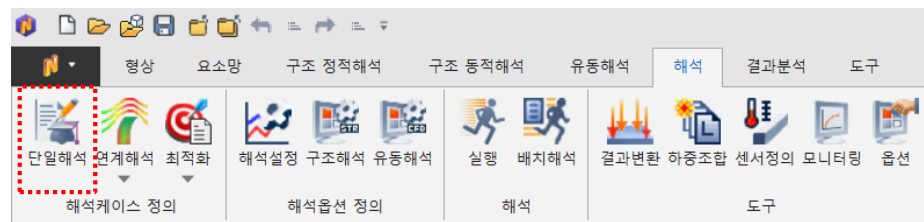
2. [확인] 버튼 클릭.

💡 선택한 면에 -Y방향으로 총합력 1000N의 집중하중이 설정됩니다.



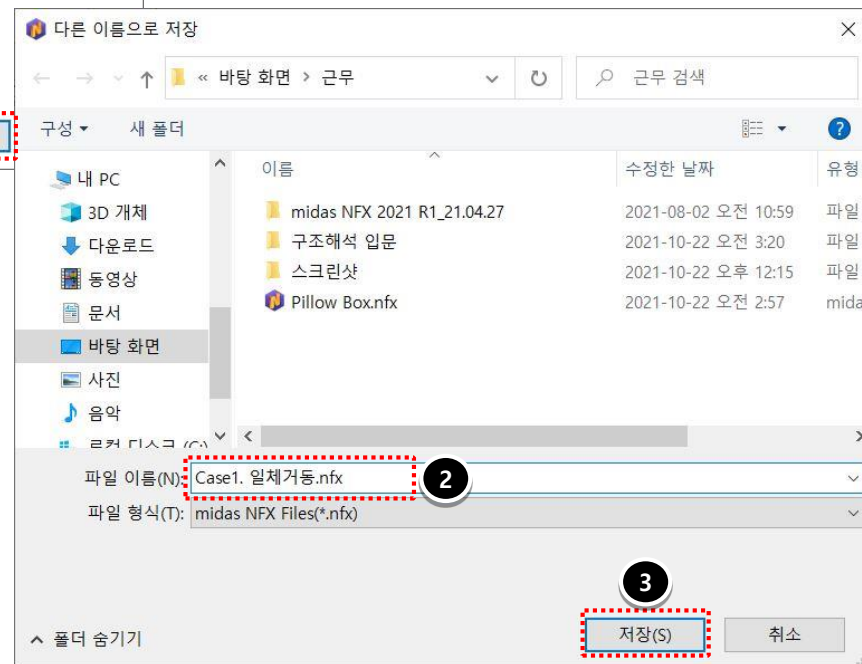
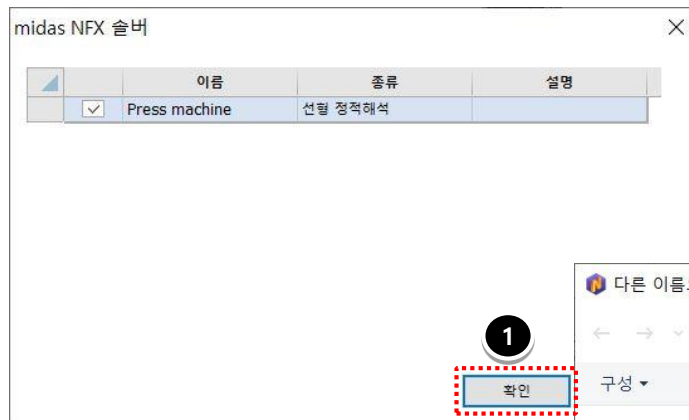
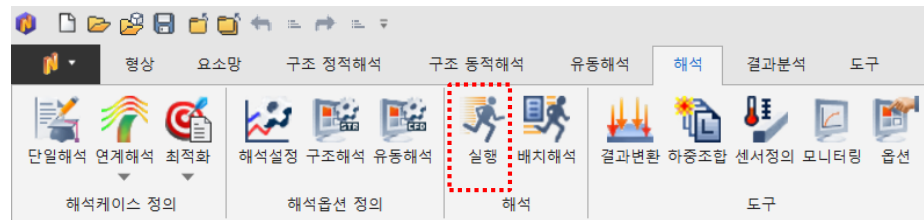
작업순서

- 이름: "Press Machine" 입력.
해석종류: [선형 정적해석] 선택.
- [확인] 버튼 클릭.

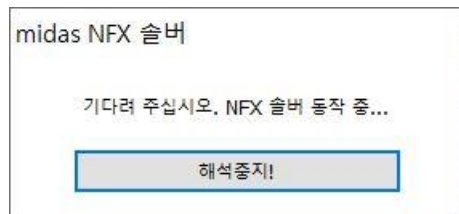


작업순서

1. [확인] 버튼 클릭.
2. 파일이름 : **case1. 일체거동** 입력.
3. [저장] 버튼 클릭.

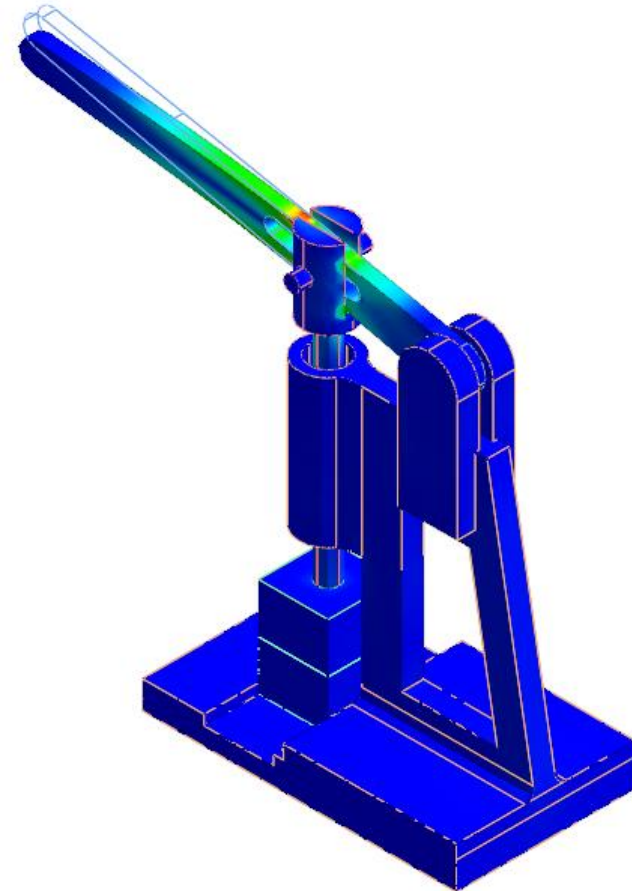
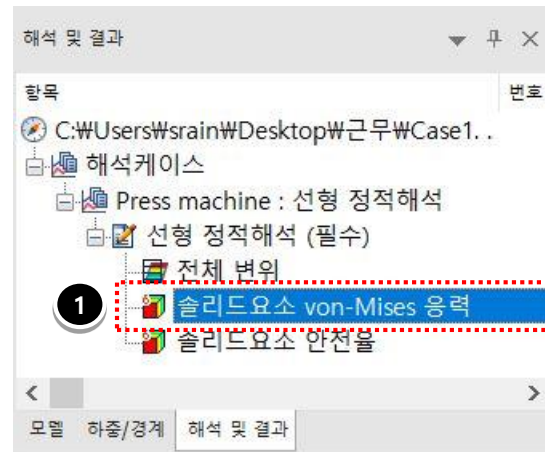


💡 해석을 실행하면 midas NFX 솔버가 작동됩니다. [해석중지!] 버튼을 클릭하면 해석이 중지됩니다.






작업순서

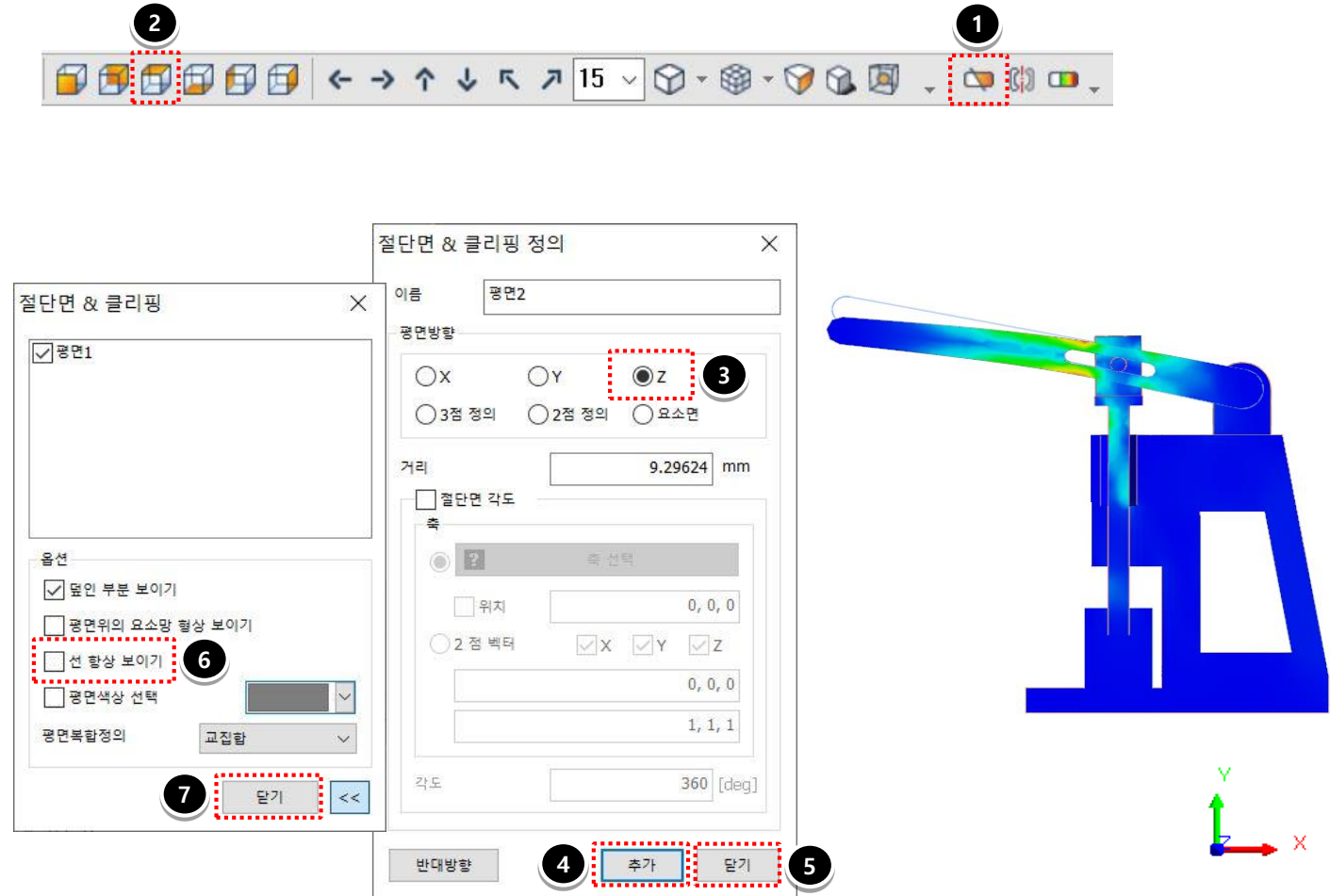
1. 해석 및 결과 작업트리에서 솔리드 요소 Von-Mises 선택
2. 응력값 확인



작업순서

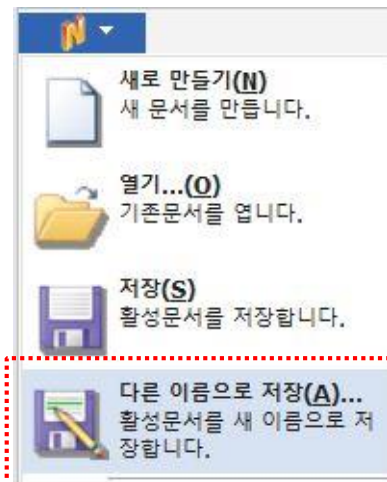
1. 절단모델 보이기 [] 클릭.
2. 윗면 [] 보기 클릭.
3. 평면방향 [Z] 선택.
4. [추가] 버튼 클릭.
5. [닫기] 버튼 클릭.
6. [선 항상 보이기] 체크 해제
7. [닫기] 버튼 클릭.

 정의한 면을 기준으로 절단하여 결과를 확인할 수 있습니다.
화면 상의 화살표의 양끝을 클릭하고 드래그하여 기준면을 회전하거나 화살표 중앙의 볼을 클릭하고 드래그하여 평행 이동할 수 있습니다.

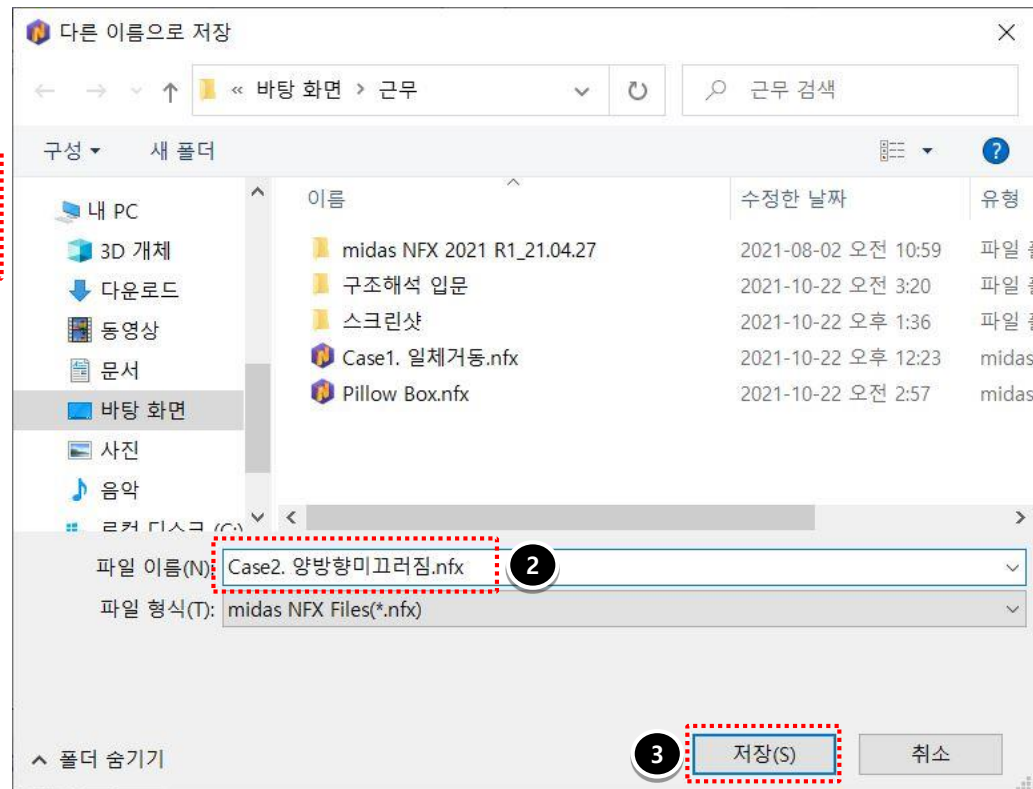


작업순서

1. 다른 이름으로 저장 선택.
2. 이름: [case2. 양방향미끄러짐] 입력.
3. [저장] 버튼 클릭.



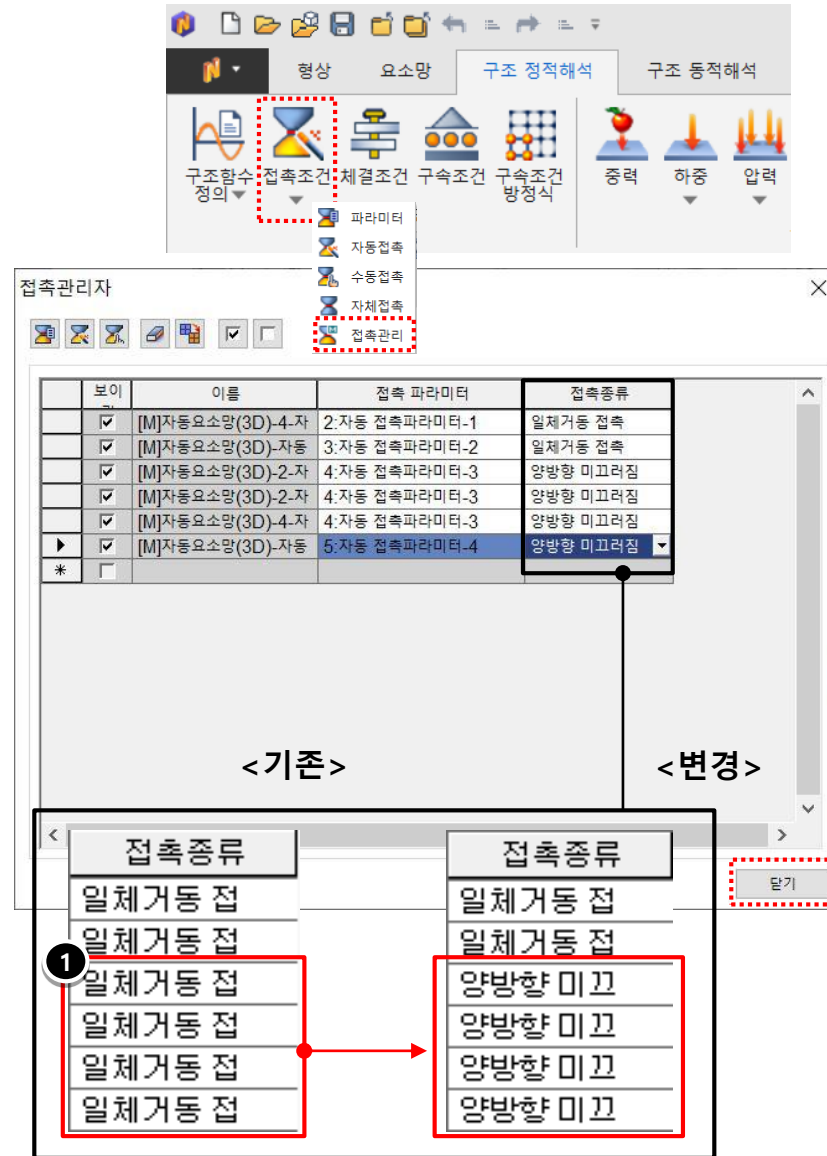
1



3

작업순서

1. 접촉종류 [일체거동 접촉]를
[양방향 미끄러짐 접촉]으로 변경.
2. [닫기] 버튼 클릭.



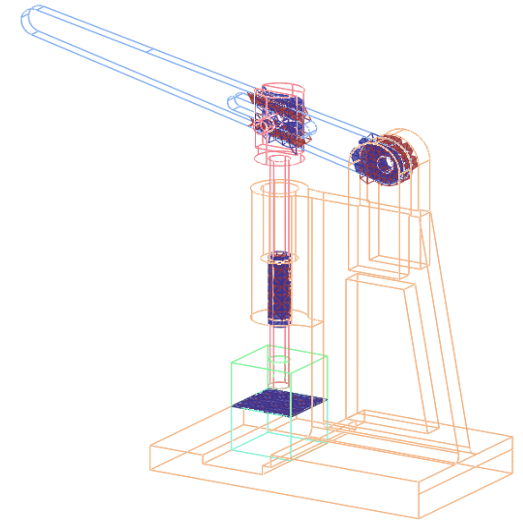
접촉관리자

보이	이름	접촉 파라미터	접촉종류
<input checked="" type="checkbox"/>	[M]자동요소망(3D)-4.자	2.자동 접촉파라미터-1	일체거동 접촉
<input checked="" type="checkbox"/>	[M]자동요소망(3D)-자동	3.자동 접촉파라미터-2	일체거동 접촉
<input checked="" type="checkbox"/>	[M]자동요소망(3D)-2.자	4.자동 접촉파라미터-3	양방향 미끄러짐
<input checked="" type="checkbox"/>	[M]자동요소망(3D)-2.자	4.자동 접촉파라미터-3	양방향 미끄러짐
<input checked="" type="checkbox"/>	[M]자동요소망(3D)-4.자	4.자동 접촉파라미터-3	양방향 미끄러짐
<input checked="" type="checkbox"/>	[M]자동요소망(3D)-자동	5.자동 접촉파라미터-4	양방향 미끄러짐
*	<input type="checkbox"/>		

<기본> <변경>

1

2

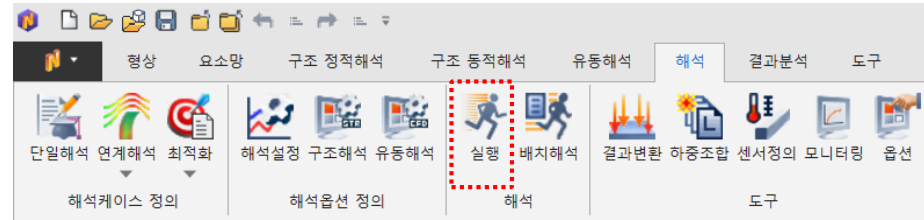


💡 접촉관리를 통해 정의했던 접촉설정을 볼 수 있으며, 접촉파라미터와 접촉종류를 쉽게 바꿀 수 있습니다.

💡 양방향 미끄러짐 접촉: 기하모델의 접촉이 발생하는 면들이 초기부터 붙어 있는 경우에 사용하며 해석하는 동안 접촉면이 분리되는 것을 허용하지 않습니다. 양방향 미끄러짐이 일체거동 접촉과 다른점은 두 면 사이에 미끄러짐이 적용된다는 것입니다.

작업순서

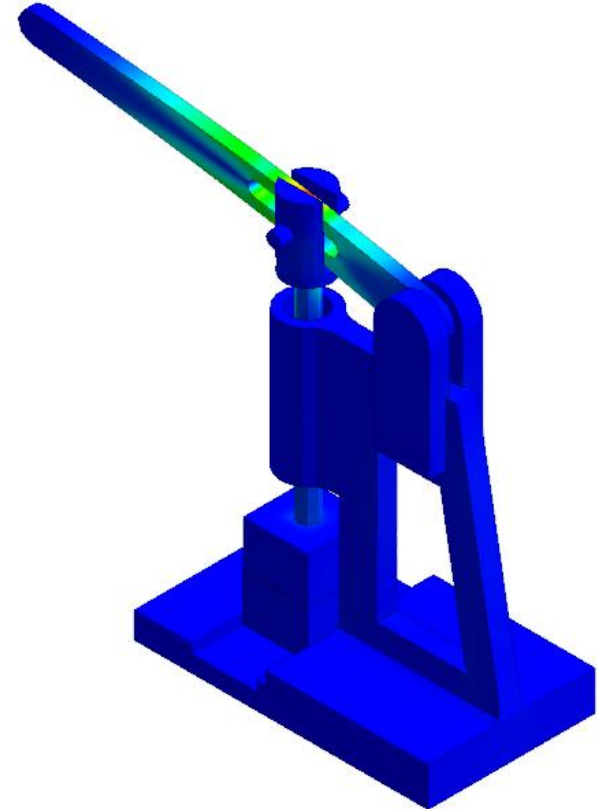
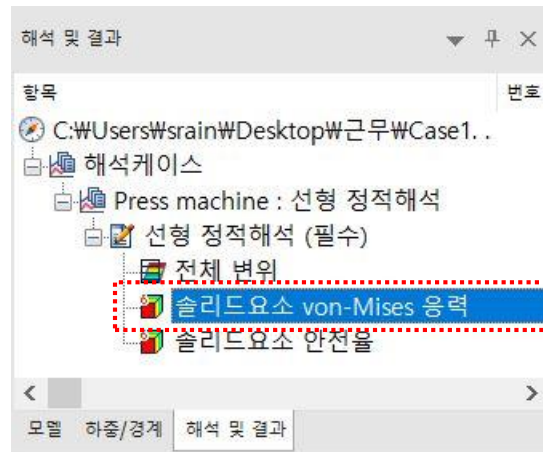
1. [확인] 버튼 클릭.



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

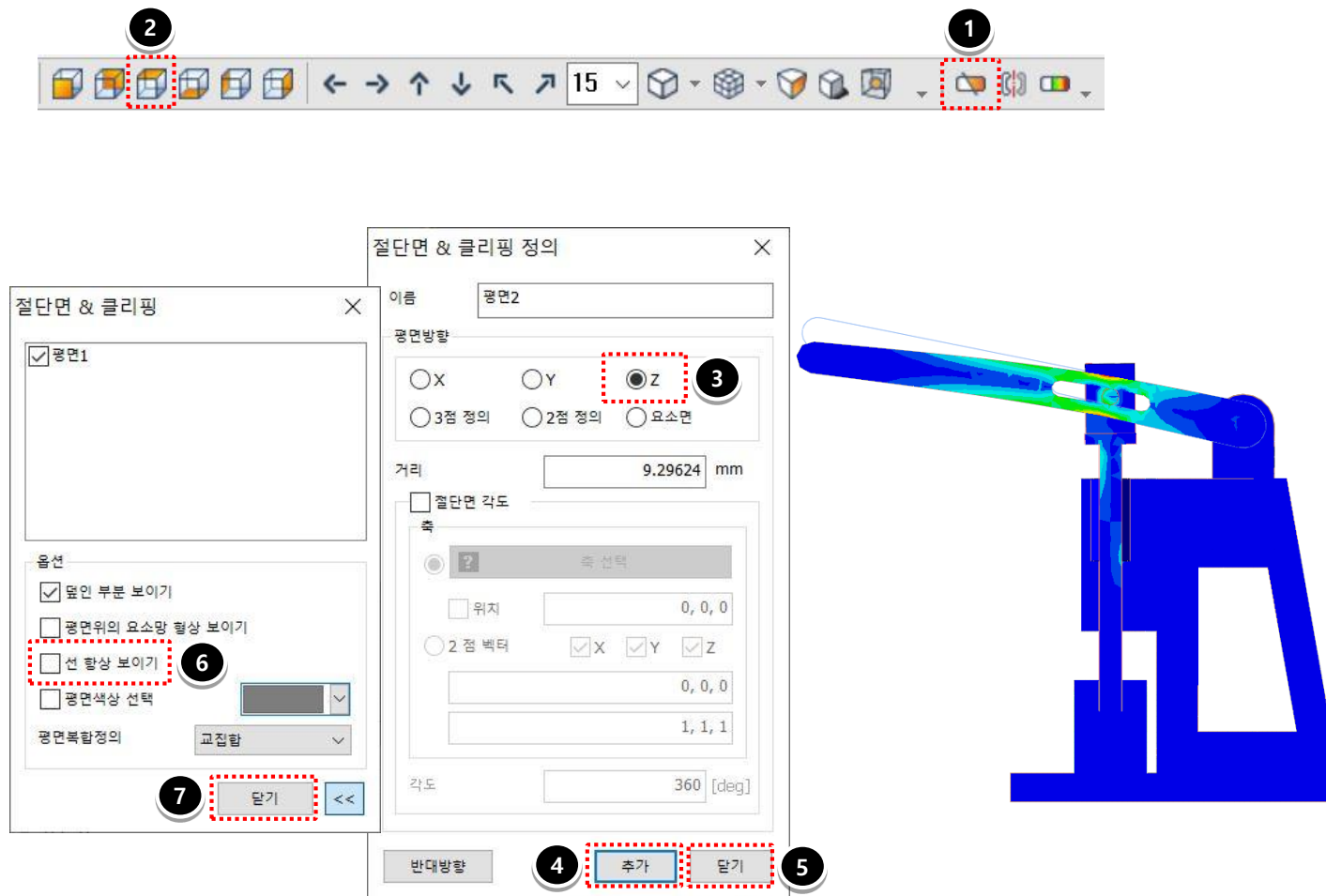
작업순서

1. 해석 및 결과 작업트리에서 솔리드 요소 Von-Mises 선택
2. 응력값 확인



작업순서

1. 절단모델 보이기 [] 클릭.
2. 윗면 [] 보기 클릭.
3. 평면방향 [Z] 선택.
4. [추가] 버튼 클릭.
5. [닫기] 버튼 클릭.
6. [선 항상 보이기] 체크 해제
7. [닫기] 버튼 클릭.



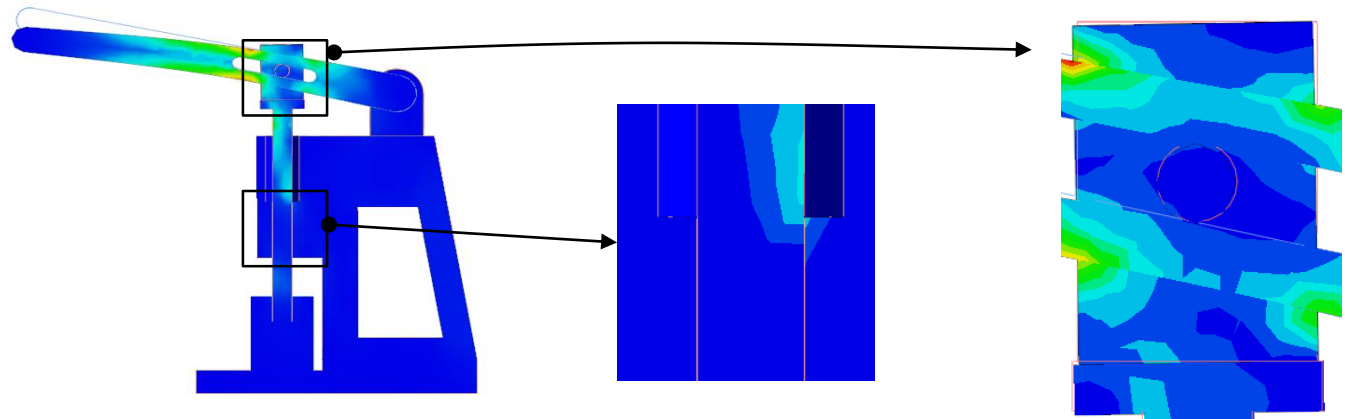
작업순서

1. 결과분석 >> 일반 >>

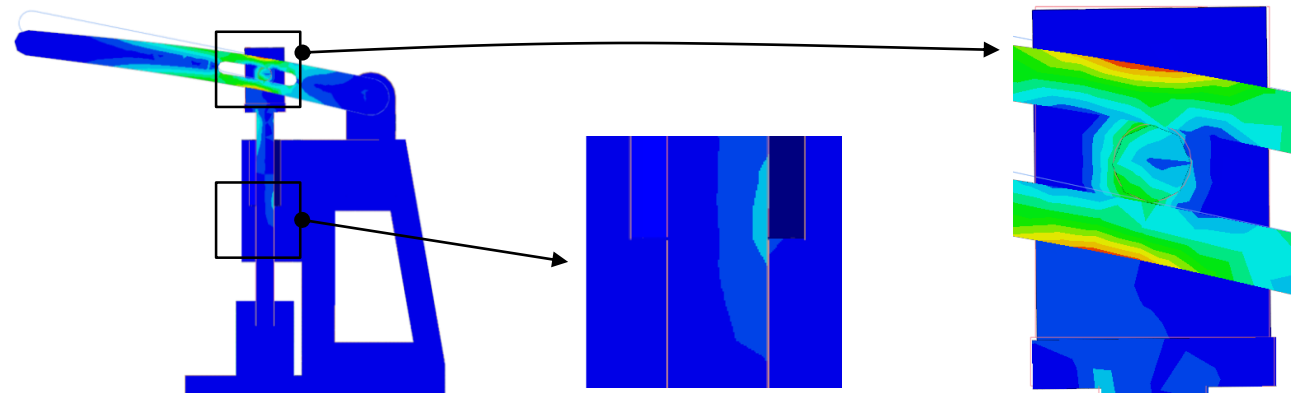
컨투어유형 >> 불연속 선택



• Case 1 : 일체거동 접촉에 의한 변형형상



• Case 2 : 양방향 미끄러짐 접촉에 의한 변형형상

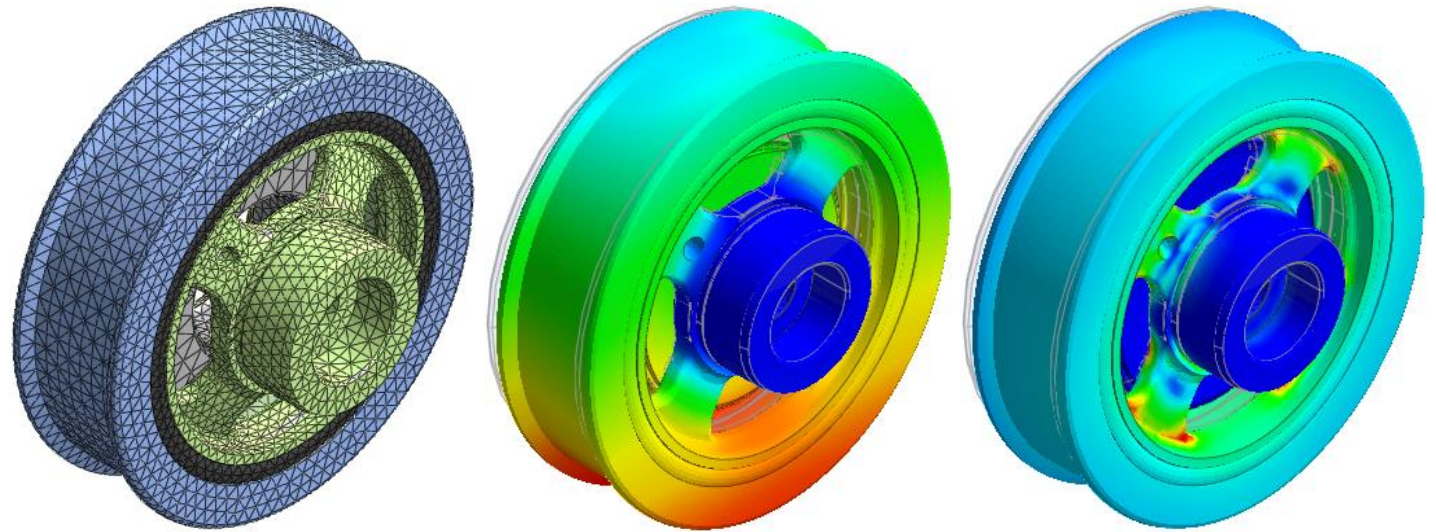


💡 일체거동 접촉에 의한 변형형상을 보면 하나의 모델처럼 연결성을 보입니다. 그에 반해, 양방향 미끄러짐 접촉은 연결성이 보이지 않습니다.

개요

- 선형정적해석
 - 단위 : N, mm
 - 기하모델: Wheel.x_t
- 경계조건과 하중조건
 - 경계조건(고정구속)
 - 압력, 회전력
- 서브케이스 설정
 - 압력, 회전력
 - 압력+회전력
- 결과확인
 - 전체 변위
 - von-Mises 응력

Wheel (서브케이스 설정)



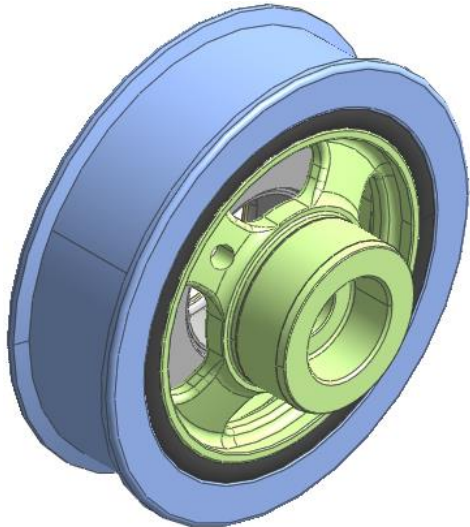
따라하기 목적

➤ 서브케이스를 이용한 두 가지 하중조건 설정

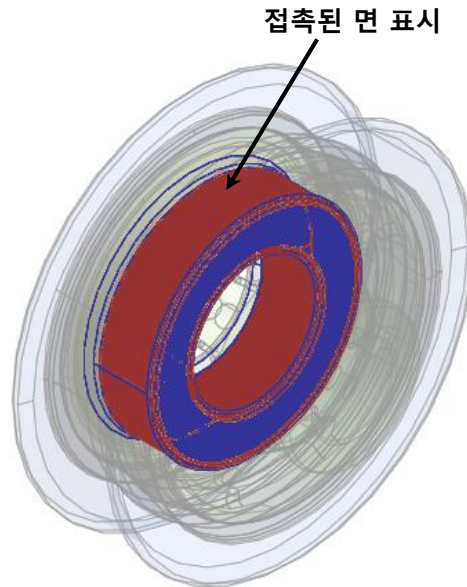
- 파트 별로 접촉되는 면들을 자동으로 검색하여 접촉조건을 설정합니다. (일체거동 접촉)
- 프로그램에서 제공하는 재료DB를 사용하여 해석을 진행합니다.
- 서브케이스를 이용하여 각 하중 별 해석 결과와 하중이 모두 적용되었을 경우의 결과를 검토합니다.

해석 개요

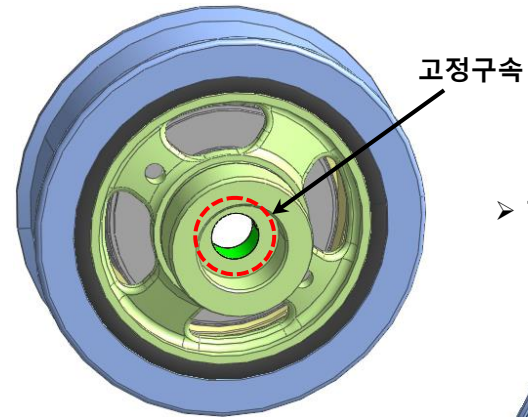
➤ 대상 모델



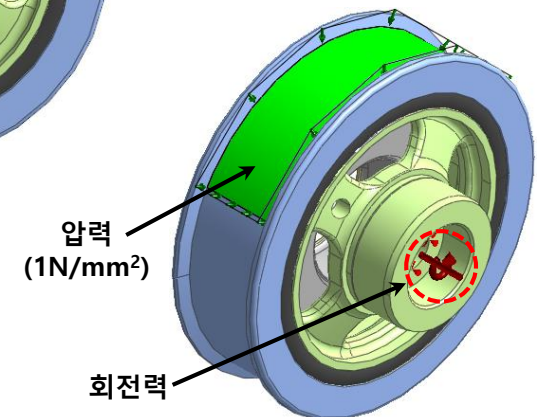
➤ 접촉조건 설정



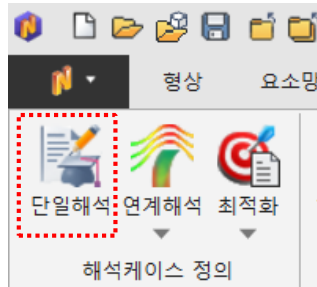
➤ 경계조건 (고정구속)



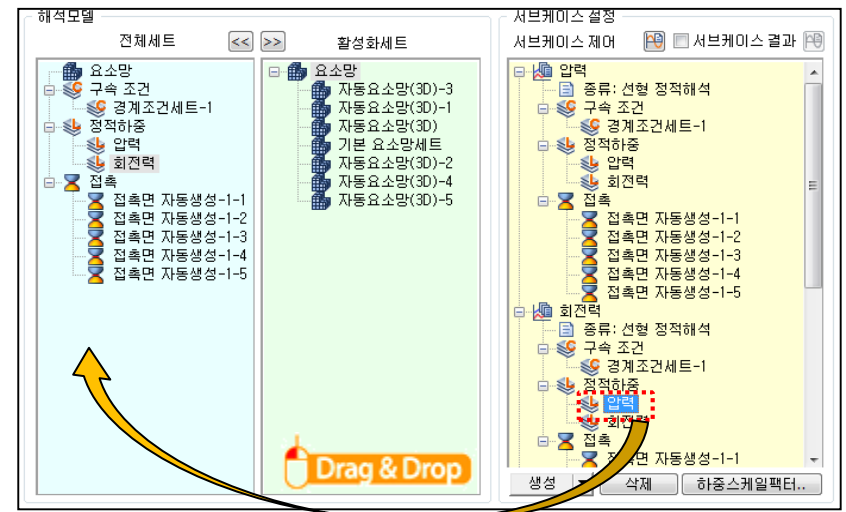
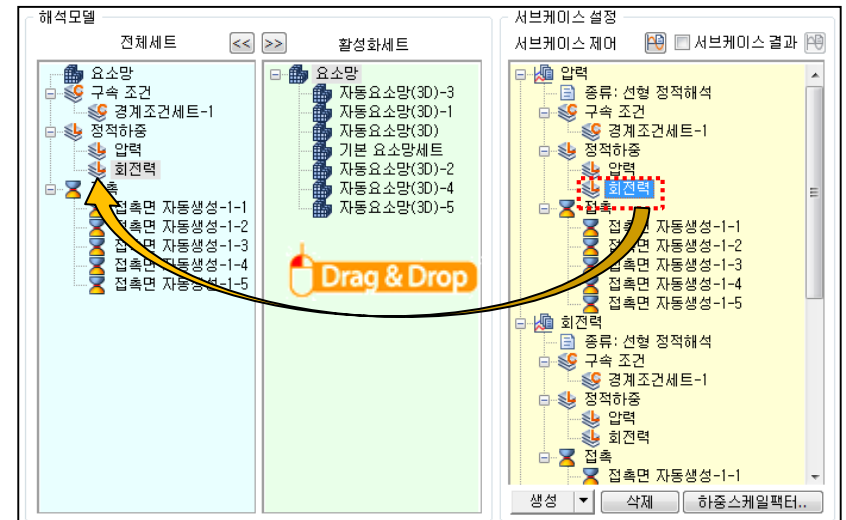
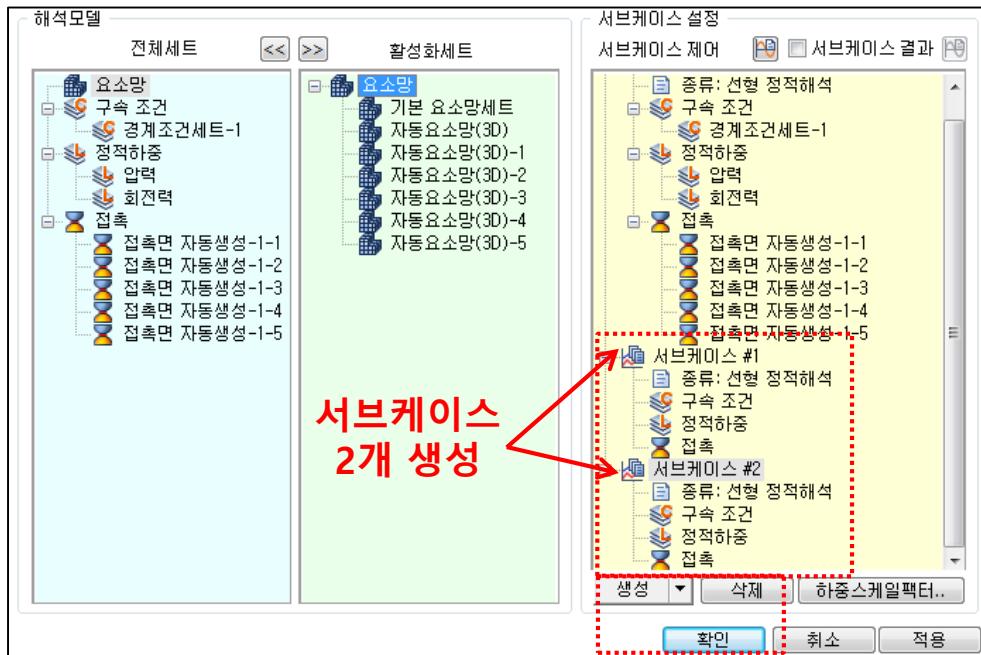
➤ 하중조건 (압력, 회전력)





서브케이스 설정





- 해석케이스 설정 창에서 새로운 서브케이스를 추가할 수 있습니다.
- 해석정보(기하형상, 구속조건, 하중조건, 접촉조건)를 추가하거나 제외할 수 있습니다.
- 마우스 **Drag & Drop**으로 손쉽게 가능합니다.
- 이 기능을 이용하여 사용자가 원하는 조건들만 선택해서 해석할 수 있으며, 다양한 서브케이스 설정이 가능합니다.

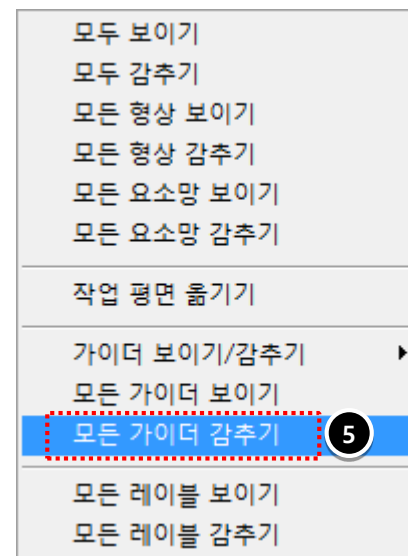
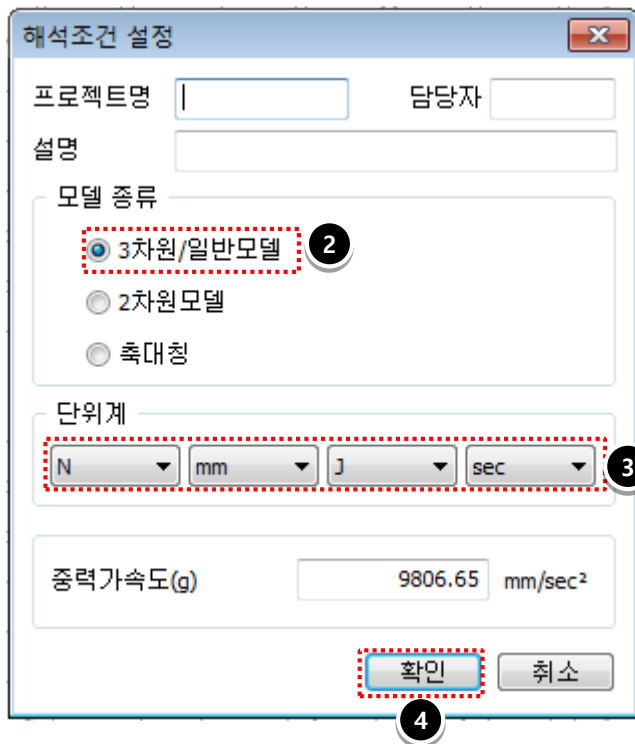


작업순서

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

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

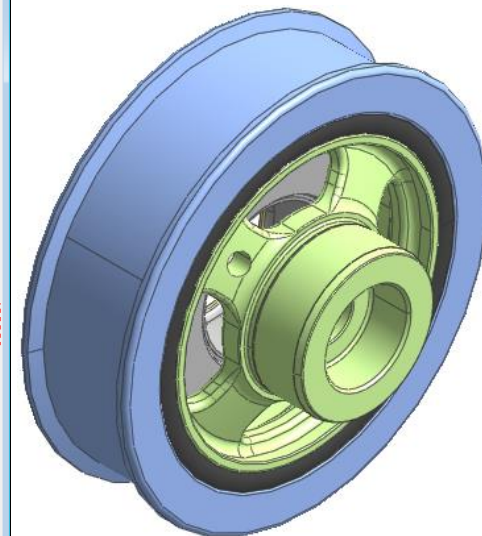
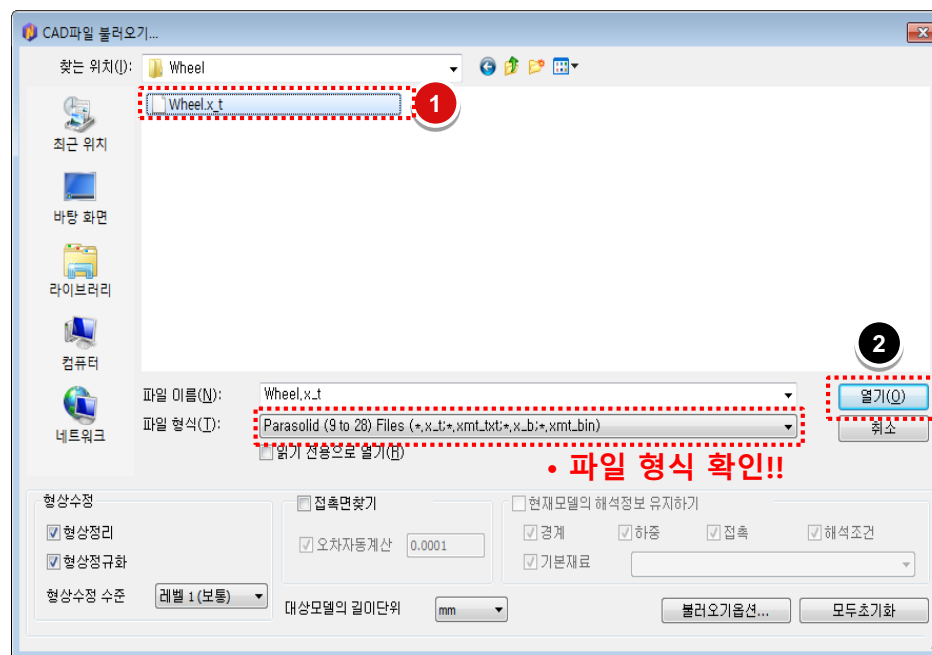
 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.




작업순서

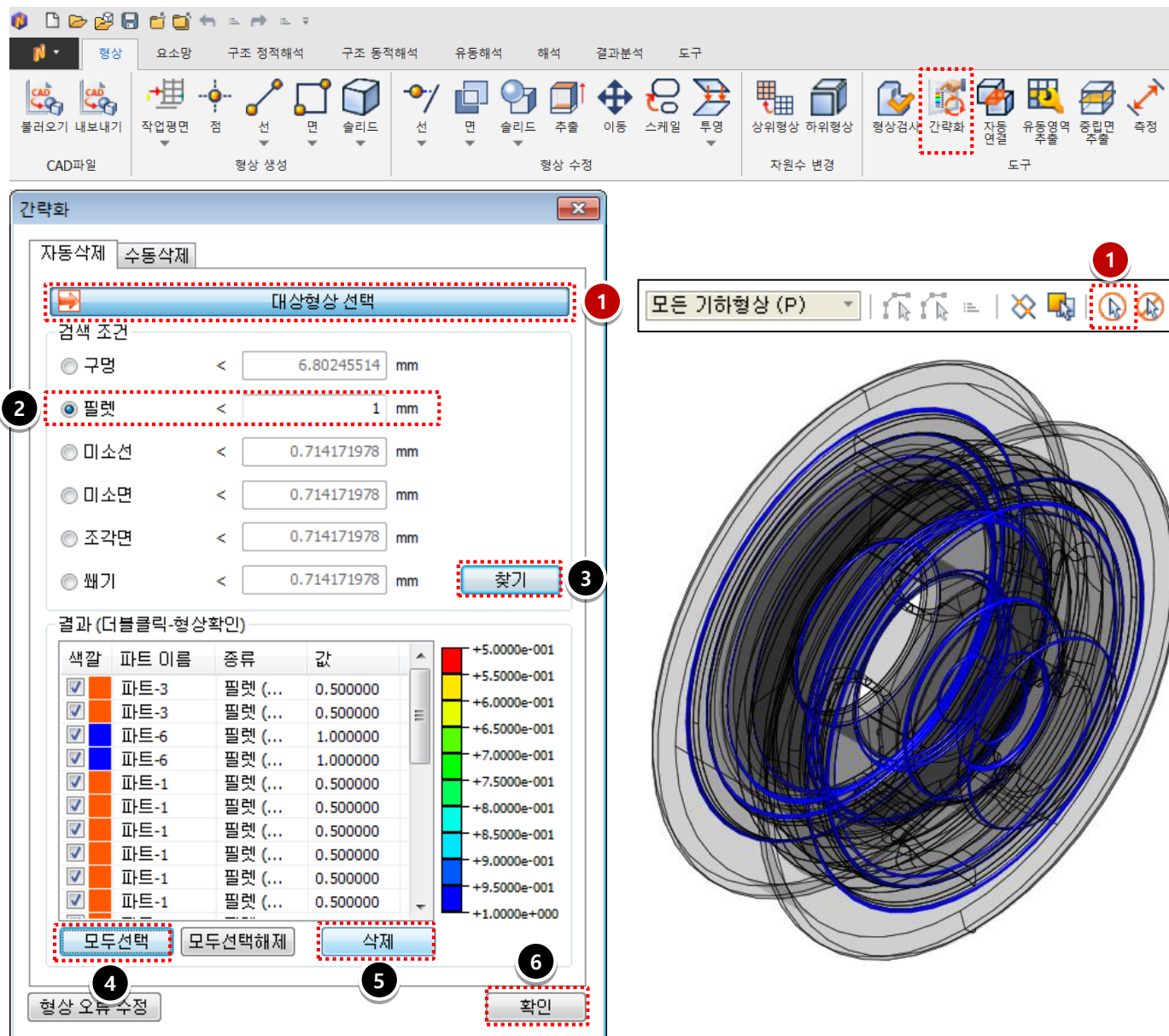
1. 모델 선택: **Wheel.x_t** 선택
2. [열기] 버튼 클릭.

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



작업순서

1. 대상 선택: 전체 모델(6개) 선택. 
2. 필렛(반경): "1" 입력.
3. [찾기] 버튼 클릭.
4. [모두선택] 버튼 클릭.
5. [삭제] 버튼 클릭.
6. [확인] 버튼 클릭.



간략화

자동삭제 수동삭제

대상형상 선택

검색 조건

구멍 < 6.80245514 mm

필렛 < 1 mm

미소선 < 0.714171978 mm

미소면 < 0.714171978 mm

조각면 < 0.714171978 mm

채기 < 0.714171978 mm

찾기

결과 (더블클릭-형상확인)


색깔	파트 이름	종류	값
<input checked="" type="checkbox"/>	파트-3	필렛 (...)	0.500000
<input checked="" type="checkbox"/>	파트-3	필렛 (...)	0.500000
<input checked="" type="checkbox"/>	파트-6	필렛 (...)	1.000000
<input checked="" type="checkbox"/>	파트-6	필렛 (...)	1.000000
<input checked="" type="checkbox"/>	파트-1	필렛 (...)	0.500000
<input checked="" type="checkbox"/>	파트-1	필렛 (...)	0.500000
<input checked="" type="checkbox"/>	파트-1	필렛 (...)	0.500000
<input checked="" type="checkbox"/>	파트-1	필렛 (...)	0.500000
<input checked="" type="checkbox"/>	파트-1	필렛 (...)	0.500000
<input checked="" type="checkbox"/>	파트-1	필렛 (...)	0.500000



모두선택 모두선택해제 삭제

형상 오류 수정


확인

모든 기하형상 (P)


 해석상 불필요한 필렛을 삭제합니다.

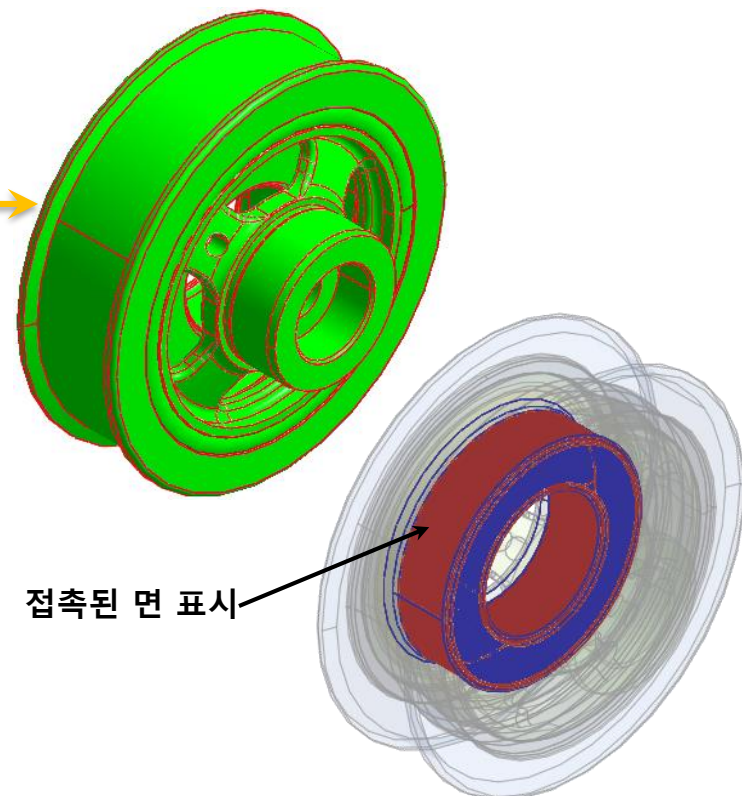
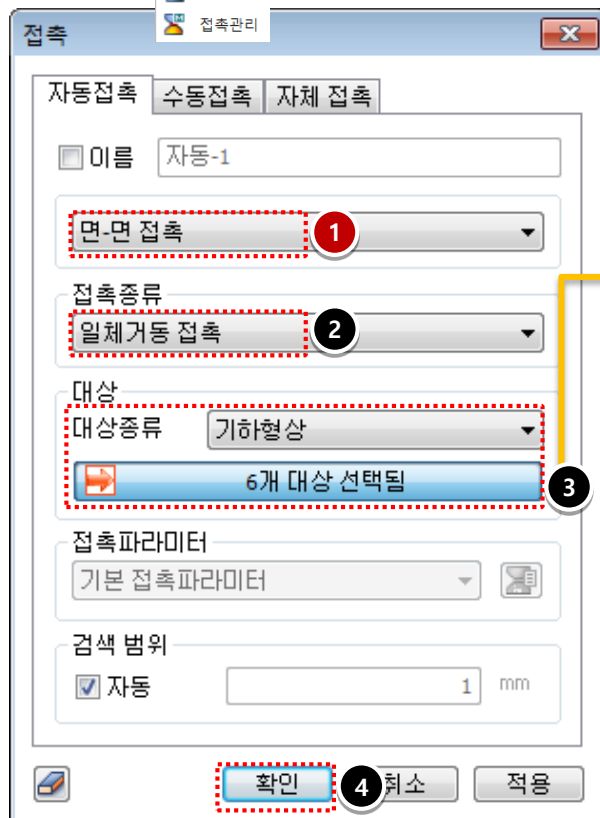
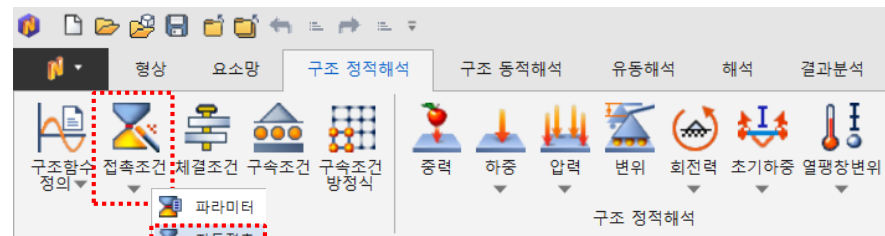
 [] (전체 선택)을 클릭하면 화면상에 보이는 모델이 전부 선택됩니다.

작업순서

1. “면-면 접촉” 선택.
2. 접촉종류: “일체거동 접촉” 선택. 
3. 대상종류: “기하형상” 선택.
대상 파트: 전체 모델(6개) 선택.
4. [확인] 버튼 클릭.

※ 작업트리의 접촉에서 [접촉 쌍] 항목을 체크하면 접촉된 면들을 볼 수 있습니다. 총 5개의 접촉 쌍이 생성됩니다. (빨간색과 파란색으로 접촉면이 표현됩니다.)

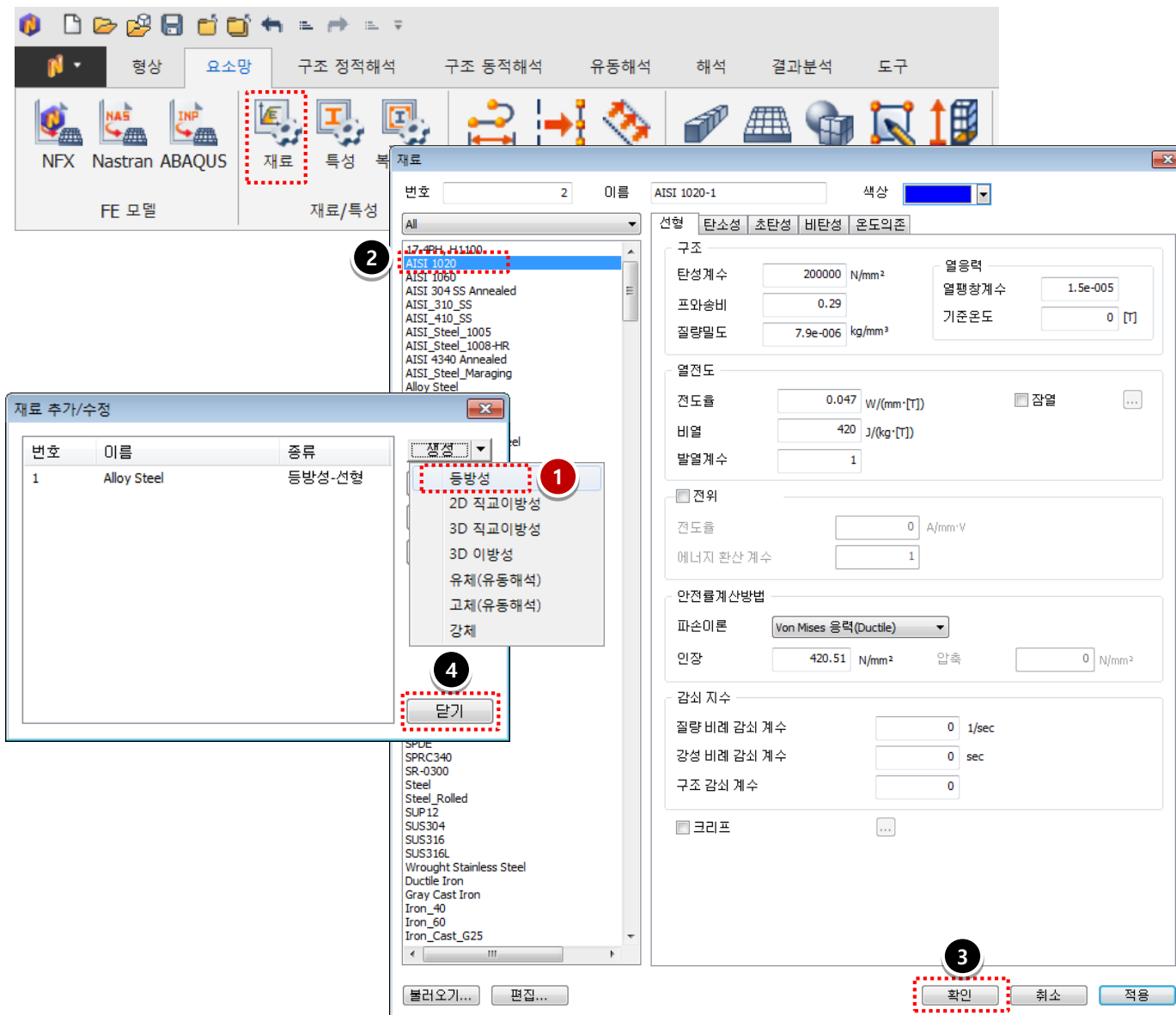
 **일체거동 접촉:** 기하모델의 접촉이 발생하는 면들이 초기부터 붙어 있는 경우에 사용하며 해석하는 동안 접촉면이 분리되는 것을 허용하지 않습니다. 일체거동 접촉조건이 설정되면 각각의 파트들이 하나의 모델처럼 거동합니다.



작업순서

1. 생성 >> 등방성 클릭
2. [AISI 1020] 선택. 💡
3. [확인] 버튼 클릭.
4. [닫기] 버튼 클릭.

💡 대화상자 좌측의 재료 DB에서 원하는 재질을 선택하면 해당 재료물성치가 자동으로 입력됩니다.

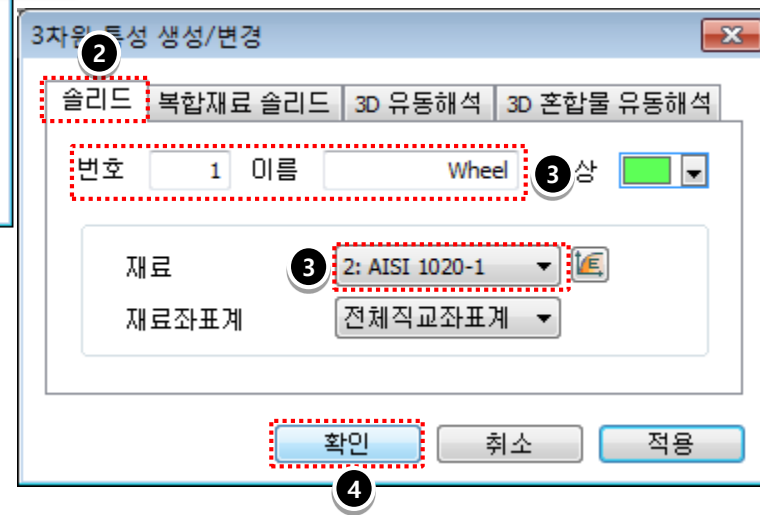
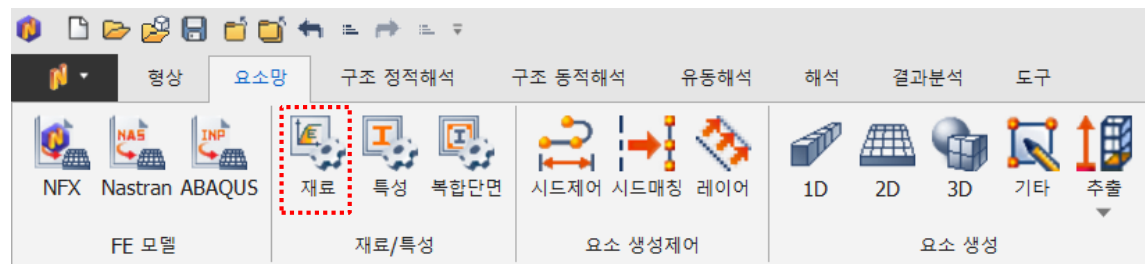


작업순서

1. 생성 >> 3D 클릭
2. [슬리드] 탭 선택..
3. 특성입력

번호	1
이름	Wheel
재질	2: AISI 1020

4. [확인] 버튼 클릭.
5. [닫기] 버튼 클릭

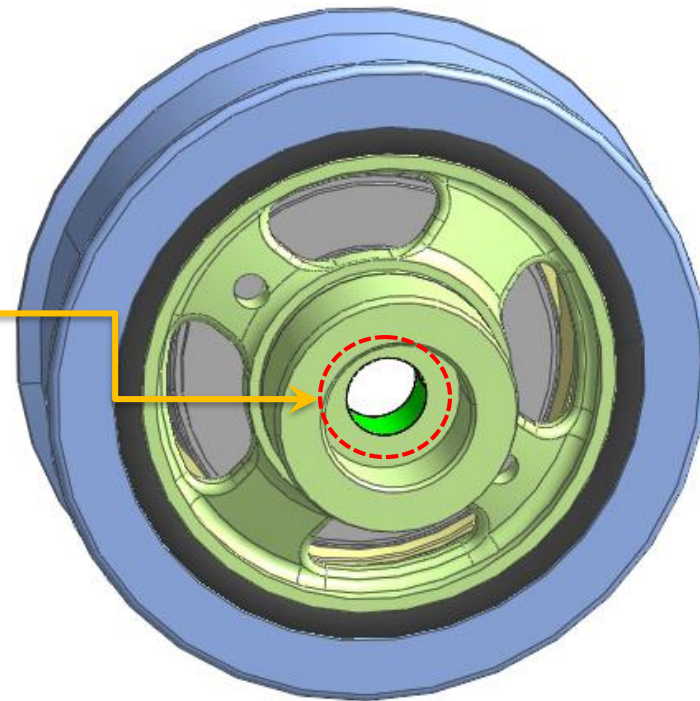
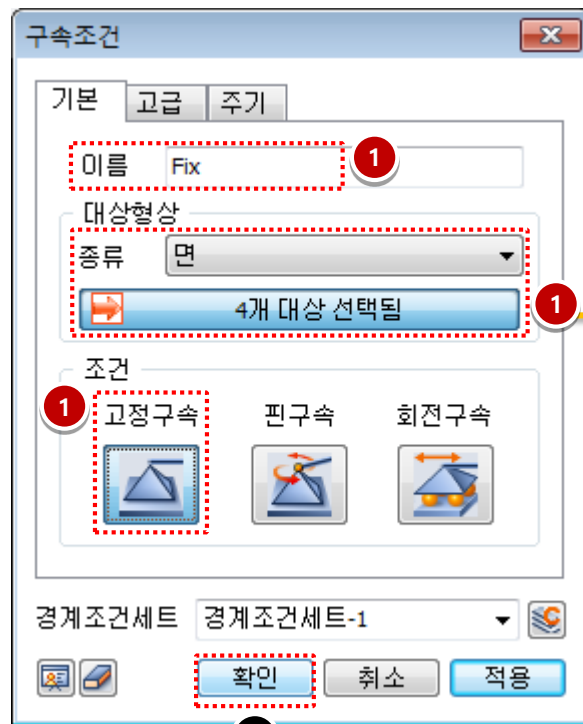
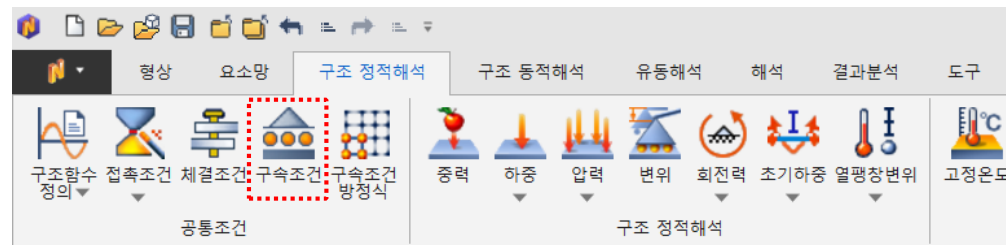


작업순서

1. 구속조건 입력.

이름	Fix
대상종류	면
대상선택	4개 선택(그림참조)
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.

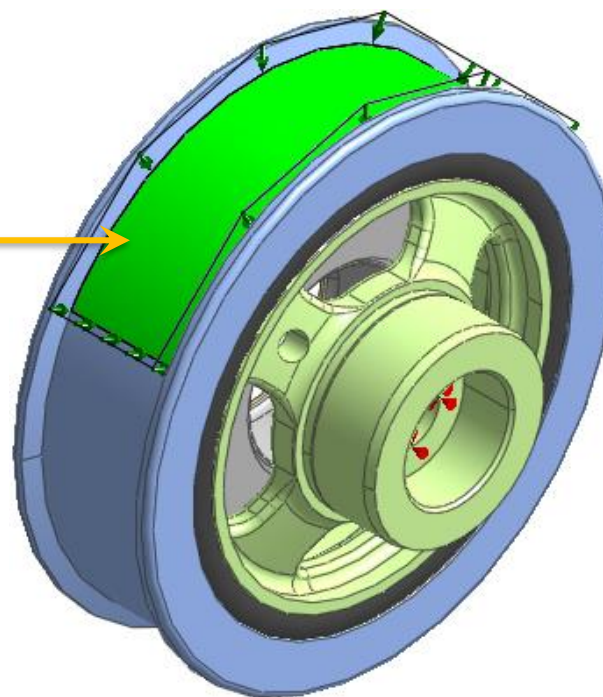
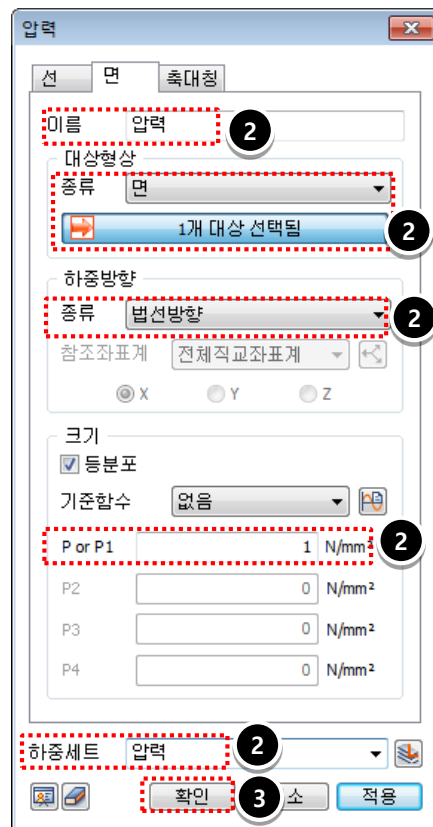
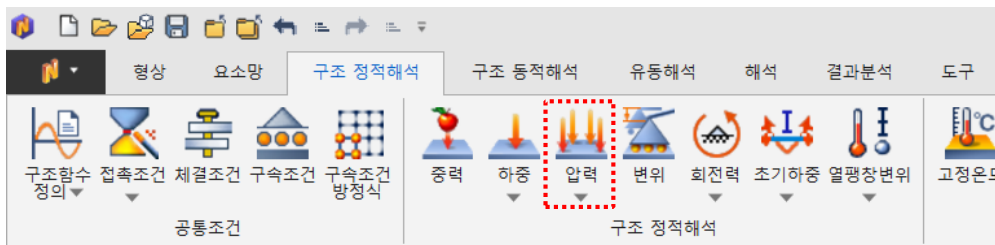
작업순서

1. [] (등각보기2) 클릭.

2. 압력 입력

이름	압력
대상종류	면
대상선택	1개 선택 (그림참조)
하중방향	법선 방향
P or P1	1 (N/mm ²)
하중세트	압력

3. [확인] 버튼 클릭.



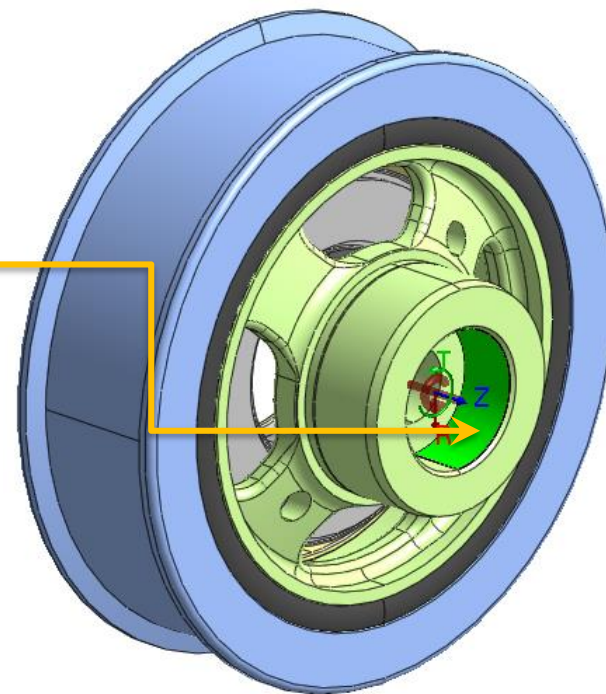
작업순서

1. 회전력 입력.

이름	회전력
단위	회전수
참조방향 종류	면
참조형상	내부 원통면
각속도	50 ([rev]/sec)
하중세트	회전력

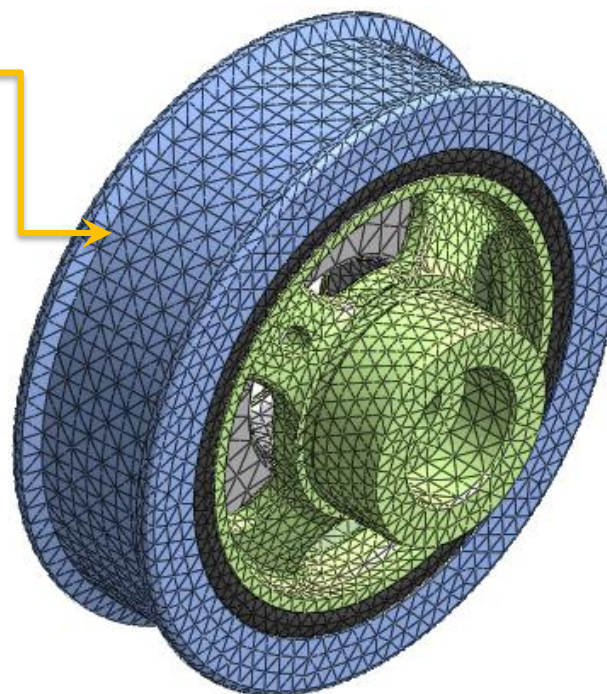
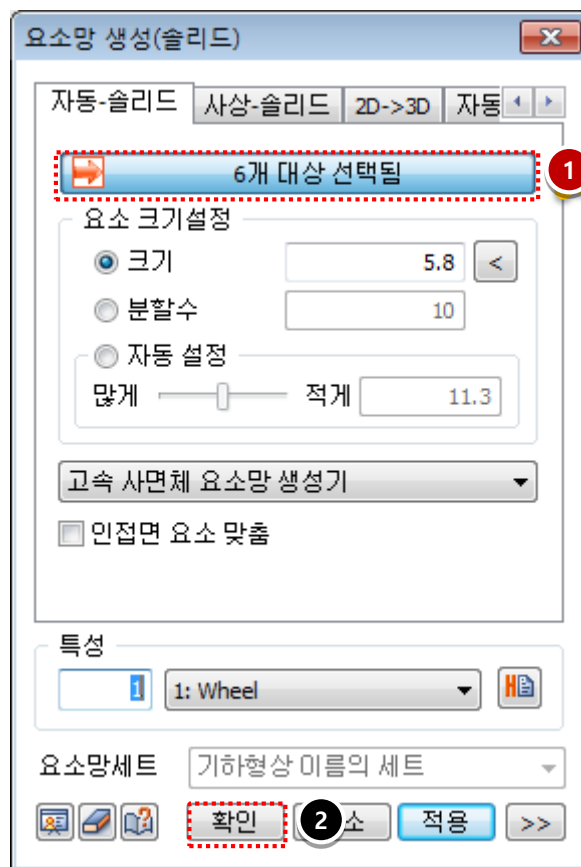
2. [확인] 버튼 클릭.

💡 참조형상으로 내부의 원통면을 선택하면 해당 면의 좌표계가 표시됩니다. 이를 참고하여 하중의 방향 등을 정의하면 좋습니다.



작업순서

1. 대상 선택: 전체모델(6개) 선택.
2. 크기: 5.8 입력.
3. [확인] 버튼 클릭.



💡 [모든 기하형상 (P)] (전체 선택) 을 클릭하면 화면 상에 보이는 모델이 전부 선택됩니다.

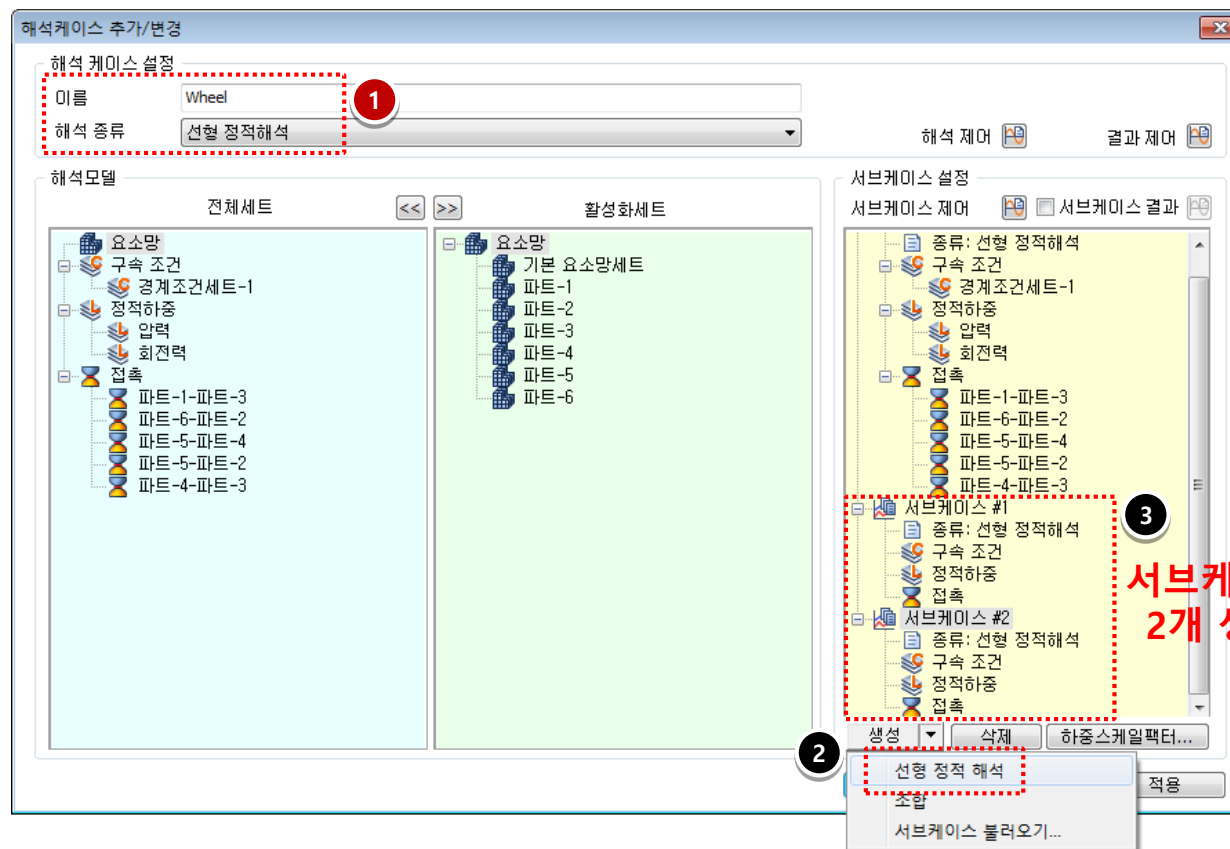
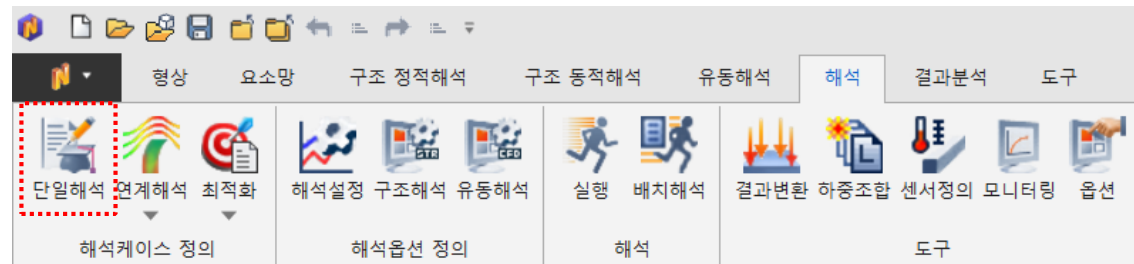
작업순서

1. 이름: "Wheel" 입력.

해석 종류: [선형 정적해석] 선택.

2. [서브케이스 설정] 하단에 있는 [생성] 버튼 옆의 화살표 클릭 후, [선형정적해석] 선택.

3. 2번 단계를 한번 더 반복하여 서브케이스를 2개 생성합니다.



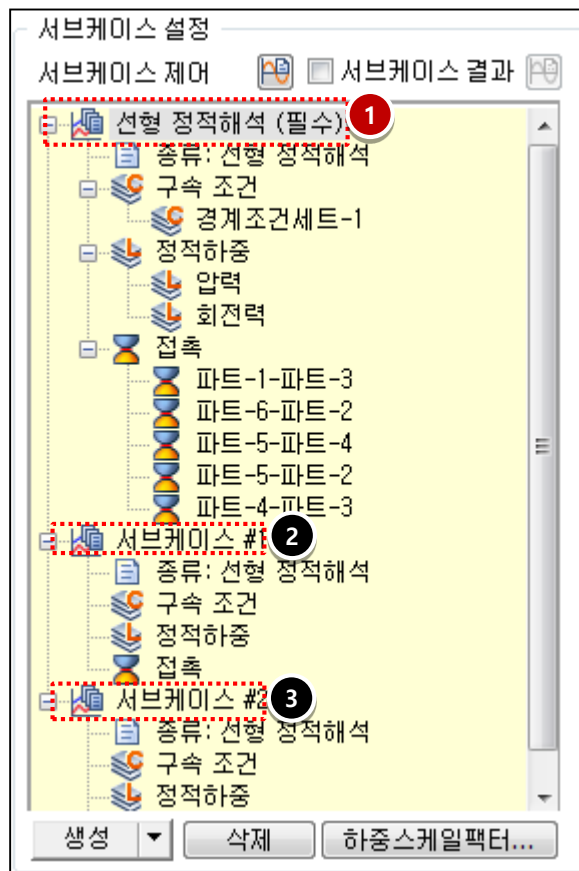
작업순서

<서브케이스 이름 변경>

1. 선형 정적해석 (필수) 선택 후, 키보드의 F2 를 눌러서, “압력” 입력.
2. 서브케이스 #1 선택 후, 키보드의 F2 를 눌러서, “회전력” 입력.
3. 서브케이스 #2 선택 후, 키보드의 F2 를 눌러서, “압력-회전력” 입력.

<해석조건 활성화>

4. 활성화세트 왼쪽의 [>>] 버튼을 클릭하여, 새로 생성된 서브케이스에 해석 조건들을 추가합니다.



작업순서

<압력, 회전력 설정>


“압력” 서브케이스 – 압력만 설정.

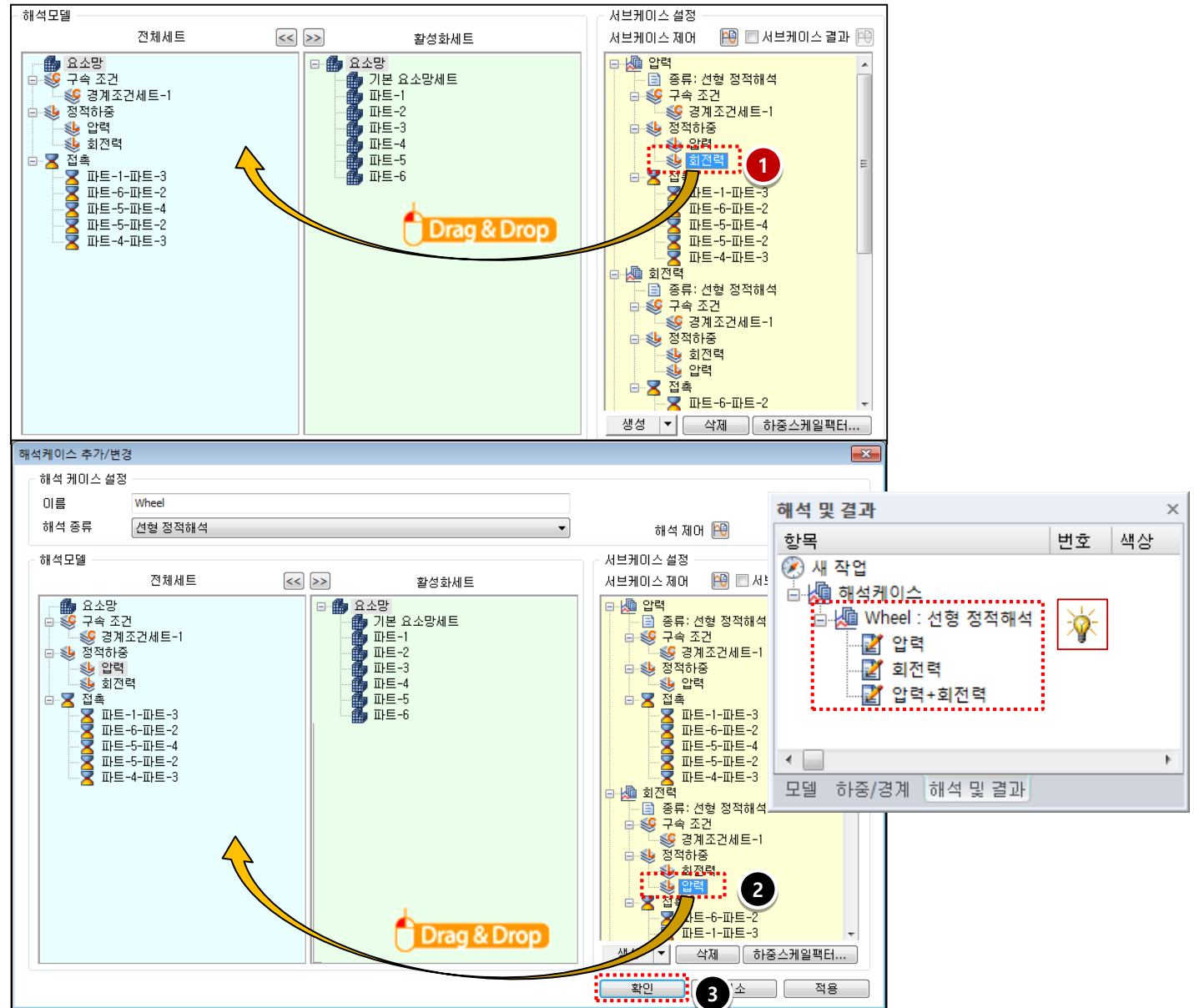
“회전력” 서브케이스 – 회전력만 설정.

“압력+회전력” 서브케이스 – 압력과
회전력 모두 설정.

(마우스 Drag & Drop으로 쉽게 해석
조건들을 추가, 제거할 수 있습니다.)

1. “압력” 서브케이스에 있는 회전력을
전체세트 창으로 Drag & Drop하여
해석조건에서 제외시킵니다.
2. “회전력” 서브케이스에 있는 압력을
전체세트 창으로 Drag & Drop하여
해석조건에서 제외시킵니다.
3. [확인] 버튼을 클릭하여, 서브케이스
설정을 마칩니다.

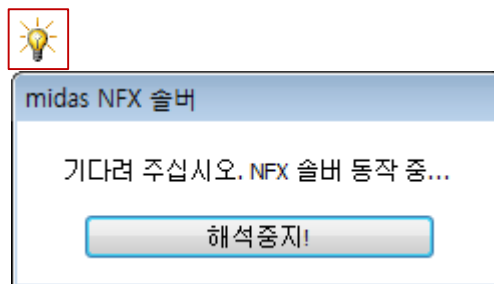
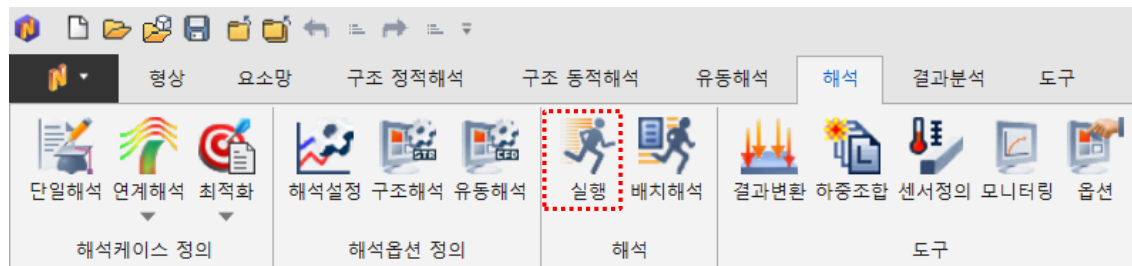
 해석 및 결과 창을 보면 Wheel 해석
케이스 아래에 3개의 서브케이스가
설정된 것을 볼 수 있습니다



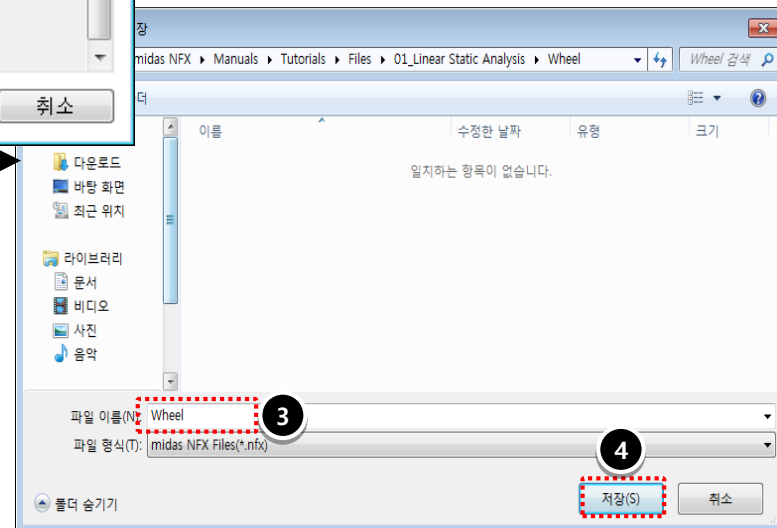
The screenshot illustrates the software's sub-case configuration process. It shows three main windows: '해석모델' (Analysis Model), '서브케이스 설정' (Sub-case Setting), and '해석 및 결과' (Analysis and Results). In the '해석모델' window, the '전체세트' (All Sets) pane on the left and the '활성화세트' (Activated Sets) pane on the right are visible. A 'Drag & Drop' label with an arrow points from the '회전력' (Rotation) sub-case in the '활성화세트' pane to the '전체세트' pane. In the '서브케이스 설정' window, the 'Wheel' case is selected, and three sub-cases are listed: '압력' (Pressure), '회전력' (Rotation), and '압력+회전력' (Pressure+Rotation). A '확인' (Confirm) button is highlighted in the bottom right corner. The '해석 및 결과' window shows the 'Wheel : 선형 정적해석' (Wheel : Linear Static Analysis) case with a lightbulb icon, and three sub-cases listed below it: '압력' (Pressure), '회전력' (Rotation), and '압력+회전력' (Pressure+Rotation).

작업순서

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



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

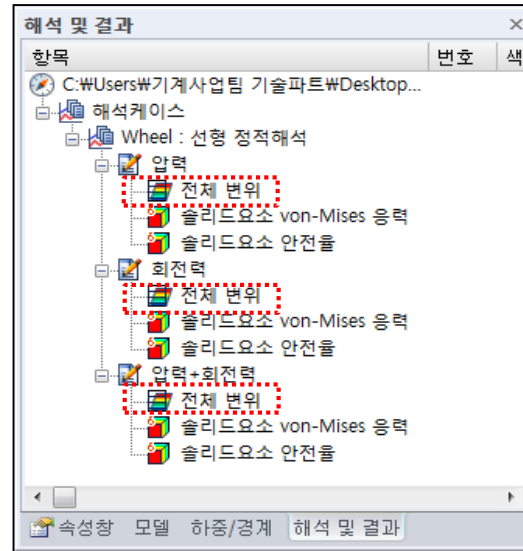


작업순서

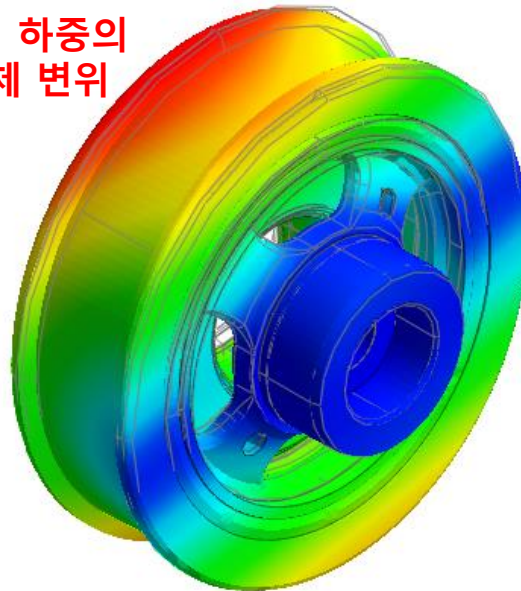
총 3가지의 해석 결과가 출력됩니다.

- ① "압력" - 압력 하중만 입력된 결과
- ② "회전력" - 원심력 하중만 입력된 결과
- ③ "압력+회전력" - 압력과 원심력 모두 입력된 결과

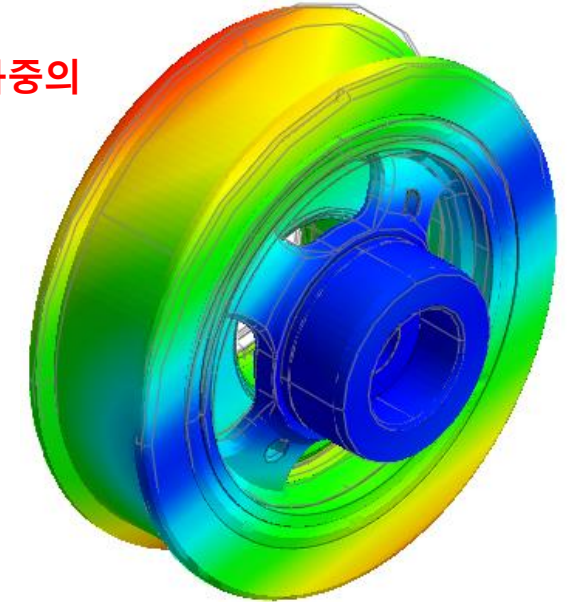
각각의 전체 변위를 더블 클릭하여, 해석결과를 확인할 수 있습니다.



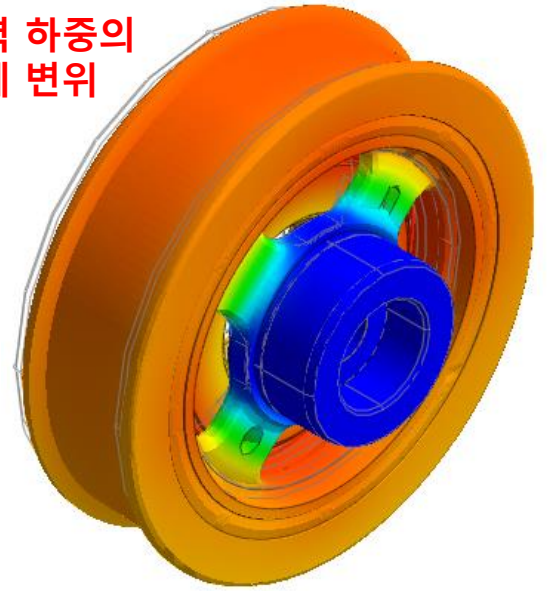
압력 하중의
전체 변위



압력+회전력 하중의
전체 변위



회전력 하중의
전체 변위

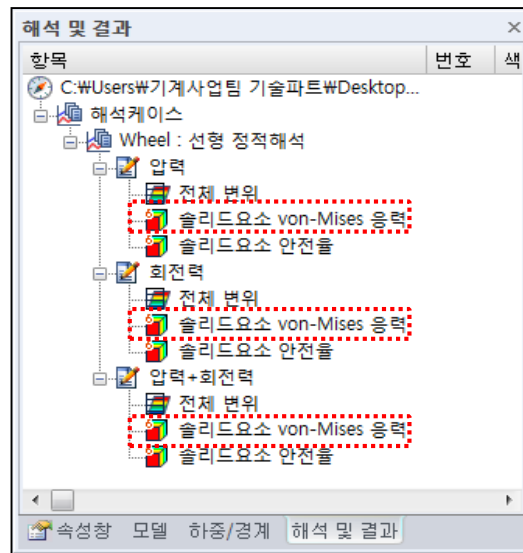


작업순서

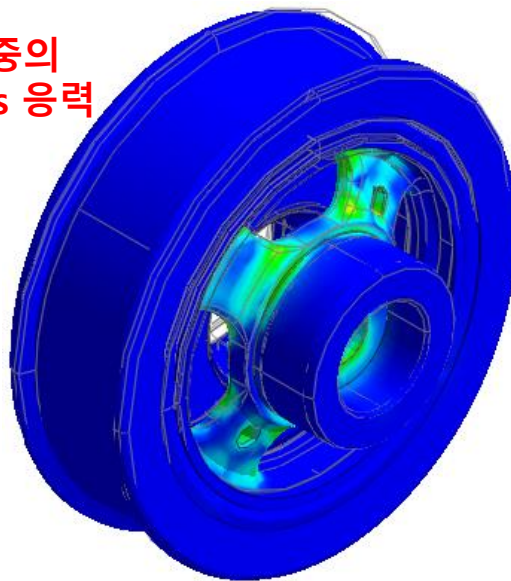
총 3가지의 해석 결과가 출력됩니다.

- ① “압력” - 압력 하중만 입력된 결과
- ② “회전력” - 원심력 하중만 입력된 결과
- ③ “압력+회전력” - 압력과 원심력 모두 입력된 결과

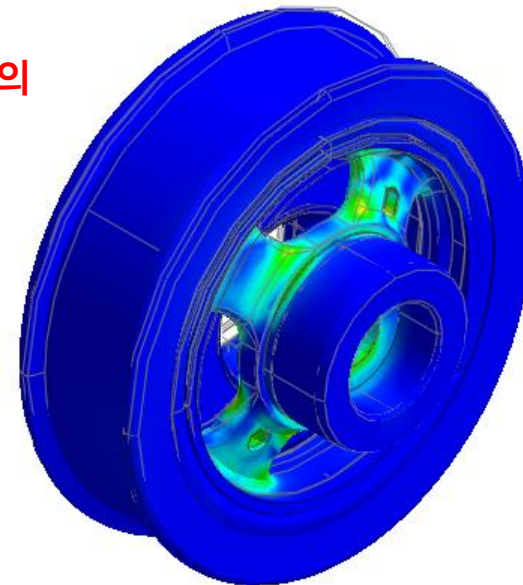
각각의 Von-Mises 응력을 더블 클릭하여, 해석결과를 확인할 수 있습니다.



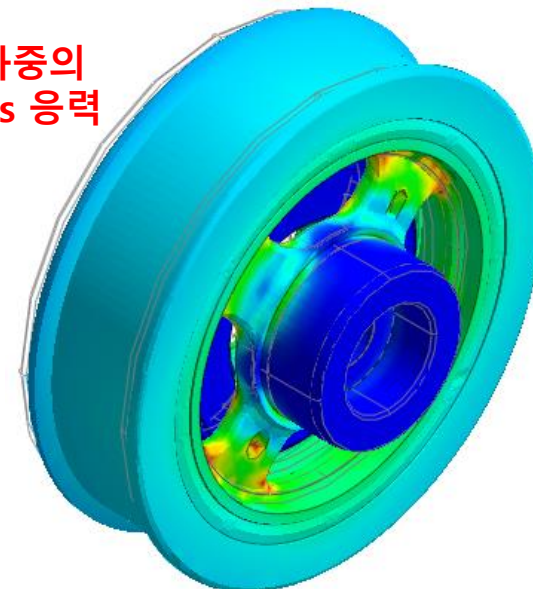
압력 하중의
von-Mises 응력



압력+회전력 하중의
von-Mises 응력



회전력 하중의
von-Mises 응력



- ✓ **물리현상을 어떻게 모델링할 것인가?**
- ✓ **어떤 해석이 필요한가?**
 - 정적/동적 해석: 모드해석, 과도응답, 주파수 응답, 응답스펙트럼, ...
 - 선형/비선형 해석
- ✓ **어떤 요소를 사용해야 하는가?**
 - 솔리드, 쉘, 보, 스프링, 집중질량, 감쇠, 강체 요소, ...
 - 저차/고차 요소, 삼각/사각 요소
- ✓ **경계조건은 어떻게 설정해야 하는가?**
 - 집중하중, 분포하중, 접촉, 조인트 접합부, 강체운동, ...
- ✓ **해석 결과를 어떻게 판단할 수 있는가?**
 - 근사해, 정확한 해, 수렴성
- ✓ **설계변경을 하면 어떻게 될까?**
 - 리모델링?

8. 최적화 해석

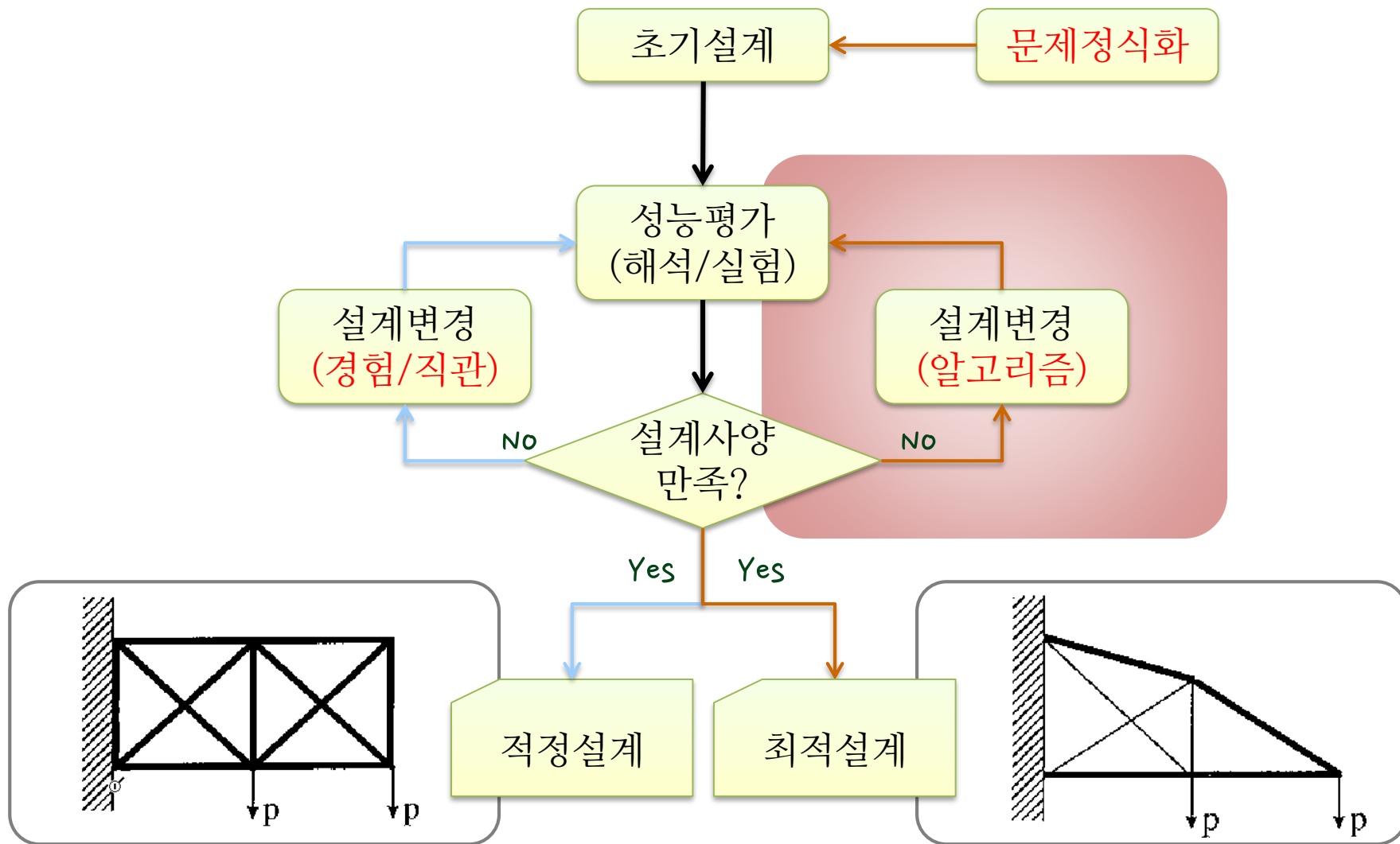
8.1 최적화 해석 종류

8.2 위상 최적화의 이해 및 프로세스

8.3 위상 최적화 해석 옵션

8.4 위상 최적화 해석 Tip

적정설계? 최적설계?



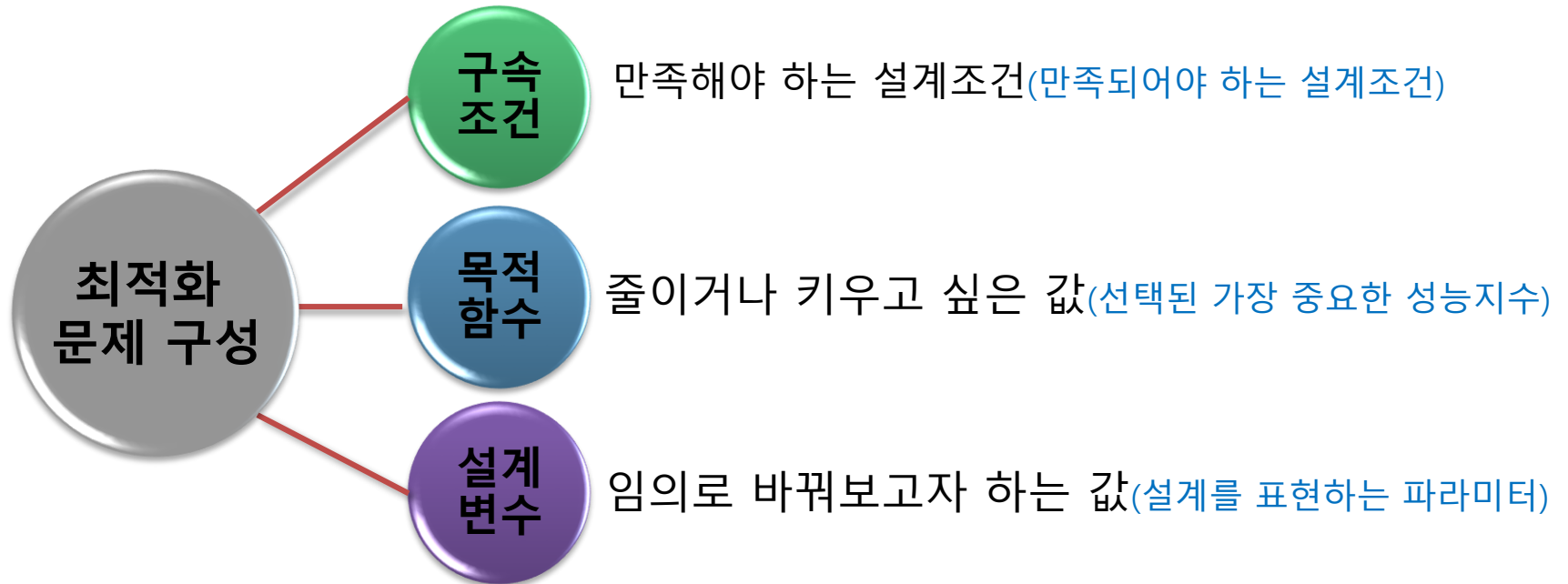
적정설계? 최적설계?

✓ 적정설계 (adequate design)

- 1) 요구되는 설계조건을 만족하는 **많은 해 중의 하나**를 구하는 과정
- 2) 일반적으로 경험 및 직관을 가지고 설계하는 과정

✓ 최적설계 (optimum design)

- 1) 요구되는 설계조건을 만족하는 많은 해 중에서 가장 중요한 바람직하지 않은 성능지수를 최소화하거나 가장 중요한 바람직한 성능지수를 최대화하는 해를 구하는 과정
- 2) **한정된 자원을 가장 효과적으로 사용하여 최대의 성능**을 내기 위한 경제적인 제약조건에서 시작된다.

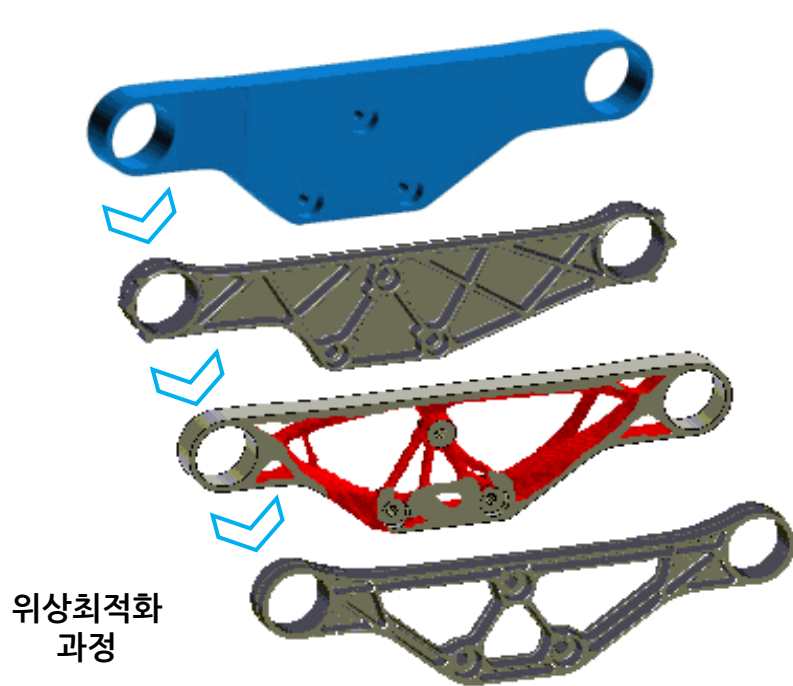


최적화 종류 구분 방법: 설계 변수 차이

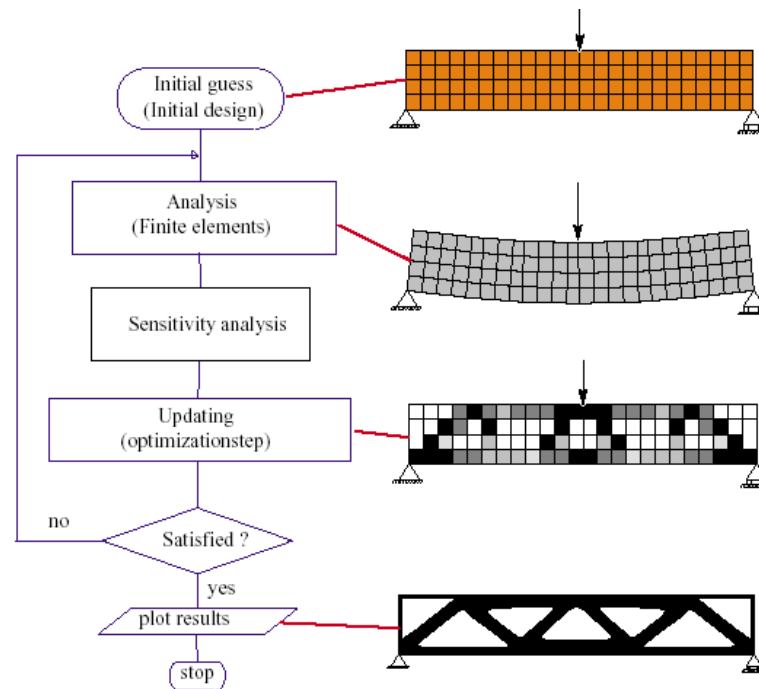
Type	설계 변수	보충 설명
<p>치수 최적화 (Size)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Property로 표현 가능한 크기(보 단면/판 두께/질량/하중) 설계 변수 변화에 따라 Mesh 불변 부재 크기 결정 	
<p>형상 최적화 (Shape)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 기하 형상 관련된 모든 것(Hole 위치, 크기, 개수, 치수) 설계 변수 변화에 항상 remesh 경계 위치 결정 	
<p>위상 최적화 (Topology)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 요소 형상 밀도 부재 크기, 경계 위치 결정 설계 변수 변화에 따라 Mesh 불변 	
<p>비드 최적화 (Bead)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 비드 높이 비드 배치 결정 	

위상 최적화 개요

- ✓ 주어진 목적에 가장 적합하도록 재료의 분포를 결정하는 **레이아웃 최적화**, 구조물 경량화
- ✓ **밀도법(density method)**을 보편적으로 사용, 설계변수는 요소의 밀도로 고정
- ✓ **개념설계 단계**에서 설계자의 공학적인 판단에 핵심적인 근거를 제시하거나, 새로운 대안에 대한 **아이디어를 제공**하는데 주로 사용(선행 CAE에 적합)



위상최적화 과정

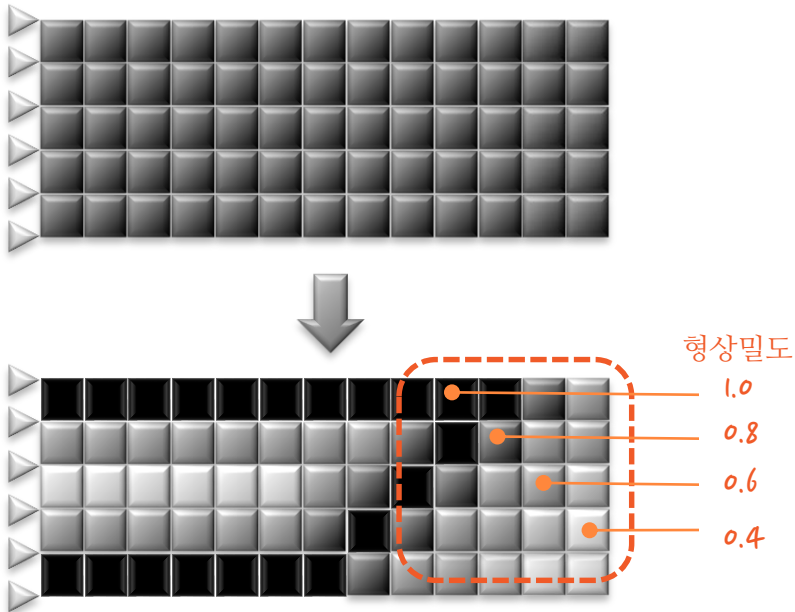


위상최적화 알고리즘

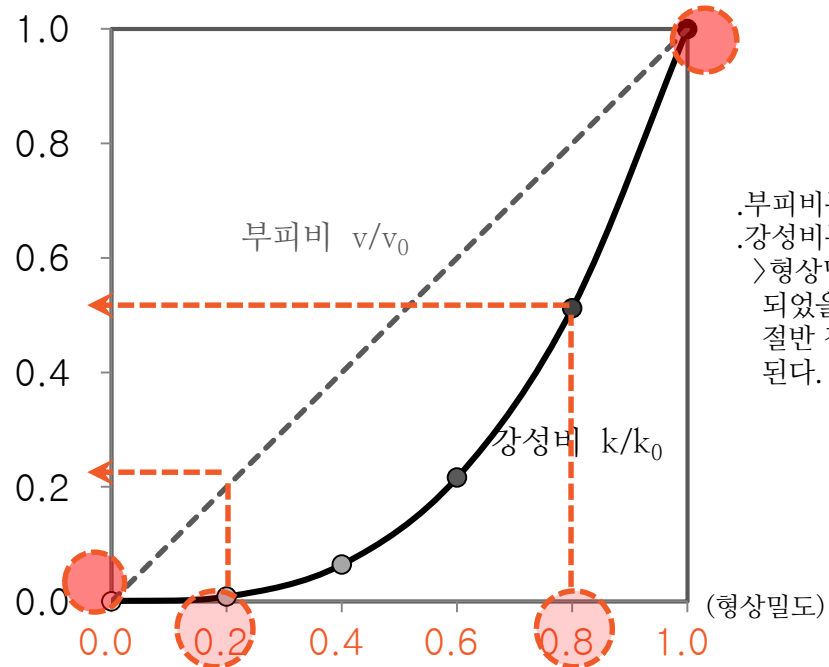
밀도법(Density method)

✓ 전체적인 레이아웃을 결정

- 1) 재료가 배치되지 않아야 할 부분의 요소들은 밀도를 "0" 혹은 0에 가까운 작은 값으로 설정
형상 밀도가 "0"이면 부피와 강성도 "0"인 요소가 된다.
- 2) 재료를 배치해야 하는 부분은 "1"로 설정
형상 밀도가 "1"이면 원래 요소의 부피와 강성을 그대로 가지는 요소가 된다.
- 3) 형상 밀도가 "1"이면 요소가 남아있고, "0"이면 요소가 없는 부분이 되어 형상 밀도로 재료의 배치를 표현한다.



형상 밀도의 이해

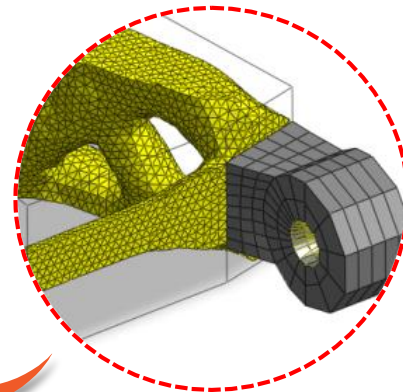
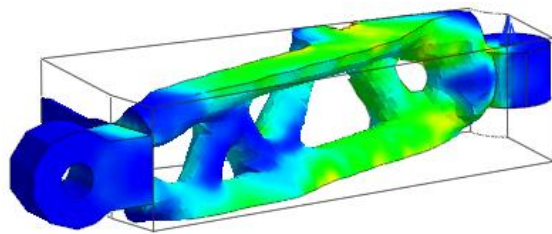
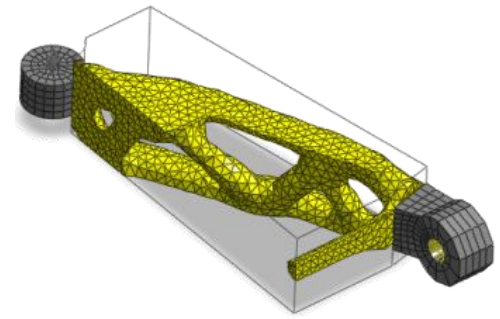
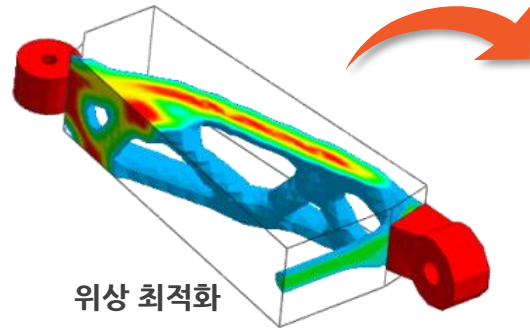
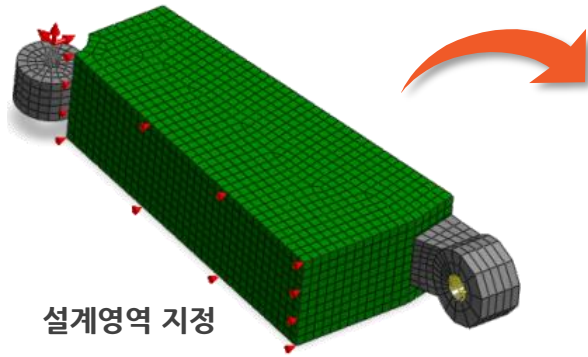


·부피비는 선형으로 비례
·강성비는 지수형태로 변환
>형상밀도가 0.8정도 되었을 때 원래 강성의 절반 정도를 가지는 요소가 된다.

위상 최적 설계 문제 구성 종류

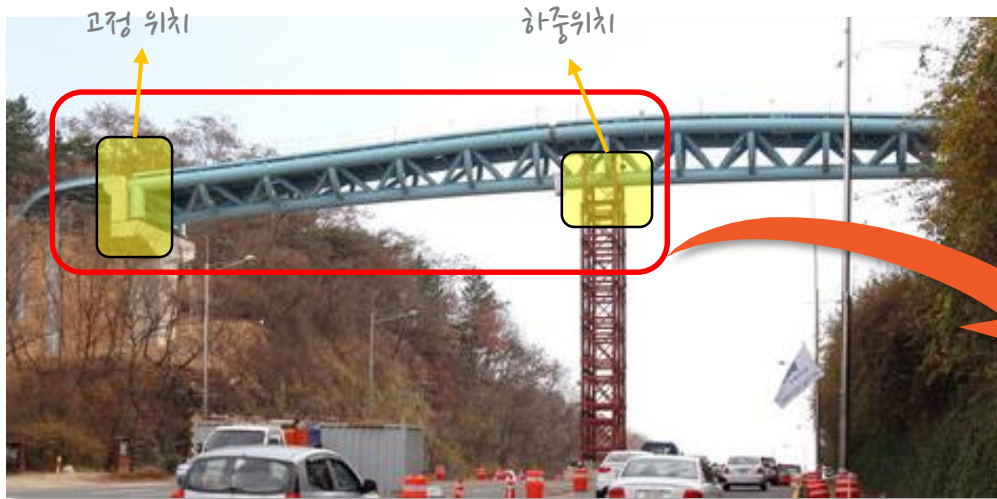
목적 함수	설계 제약 조건	관련 해석	제조 조건(공통)
정적 컴플라이언스 최소화	부피비	선형정적해석	성형방향 대칭조건 (1~3축 대칭)
동적 컴플라이언스 최소화	부피비	주파수응답해석	
부피비 최소화	변위/응력	선형정적해석 주파수응답해석(변위제약)	
평균 고유치 최대화	부피비	모드해석	

위상 최적화 해석 프로세스



해석 목적

- ▶ 외팔보 혹은 양단지지보 형상을 갖는 구조물이 외부 하중에 견디는 설계의 최적화
- ▶ 목표 부피 절감 : 45%



최적의 Design은?
대칭적인 형상은?

설계 영역

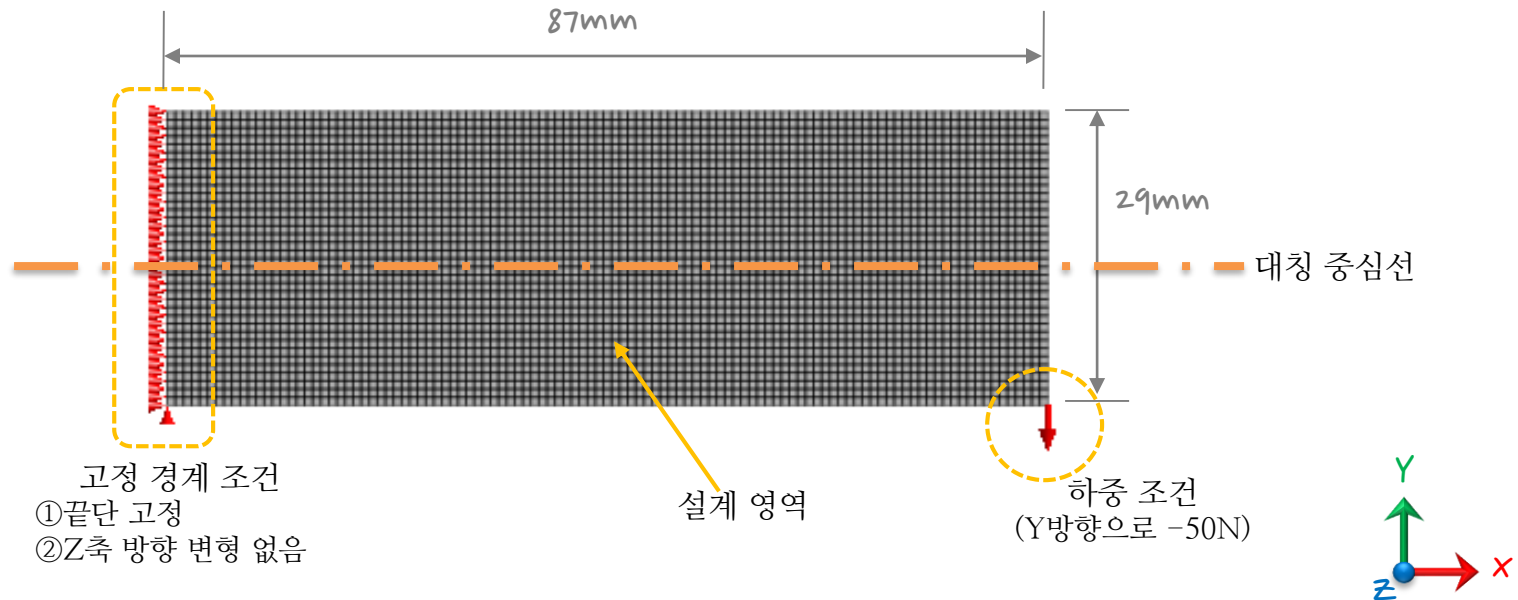
예제 목적

▶ 선형정적해석을 통한 위상 최적화 실행하기



- 목표 부피를 만족하면서 최대의 강성을 갖는 최적화된 설계 구조를 도출하면서 위상 최적화 순서를 학습한다.
- 구조물의 대칭 형상을 고려한 결과를 도출하는 과정에서 해석 옵션에 대해 이해 및 학습한다.
- 대칭 구조를 만들기 위해 대칭 기준이 되는 좌표계를 만든다.


실습 개요


▶ 해석 모델

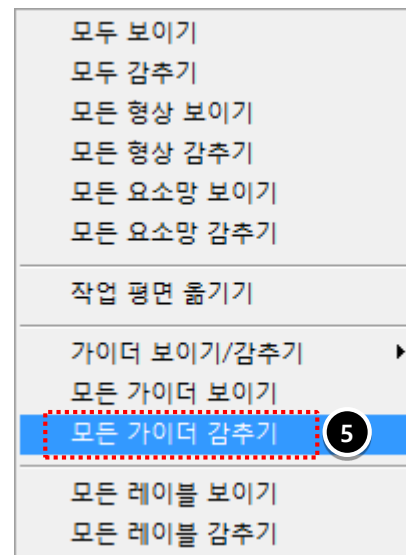
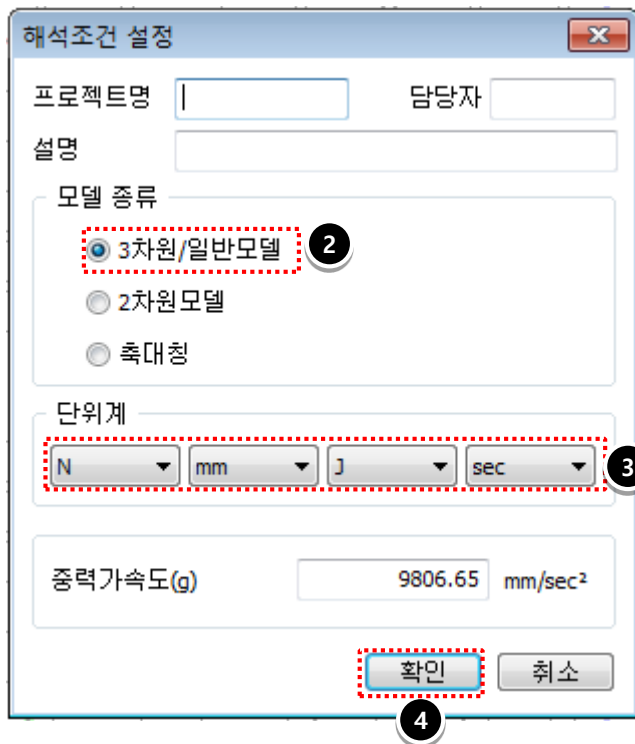


작업순서


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.

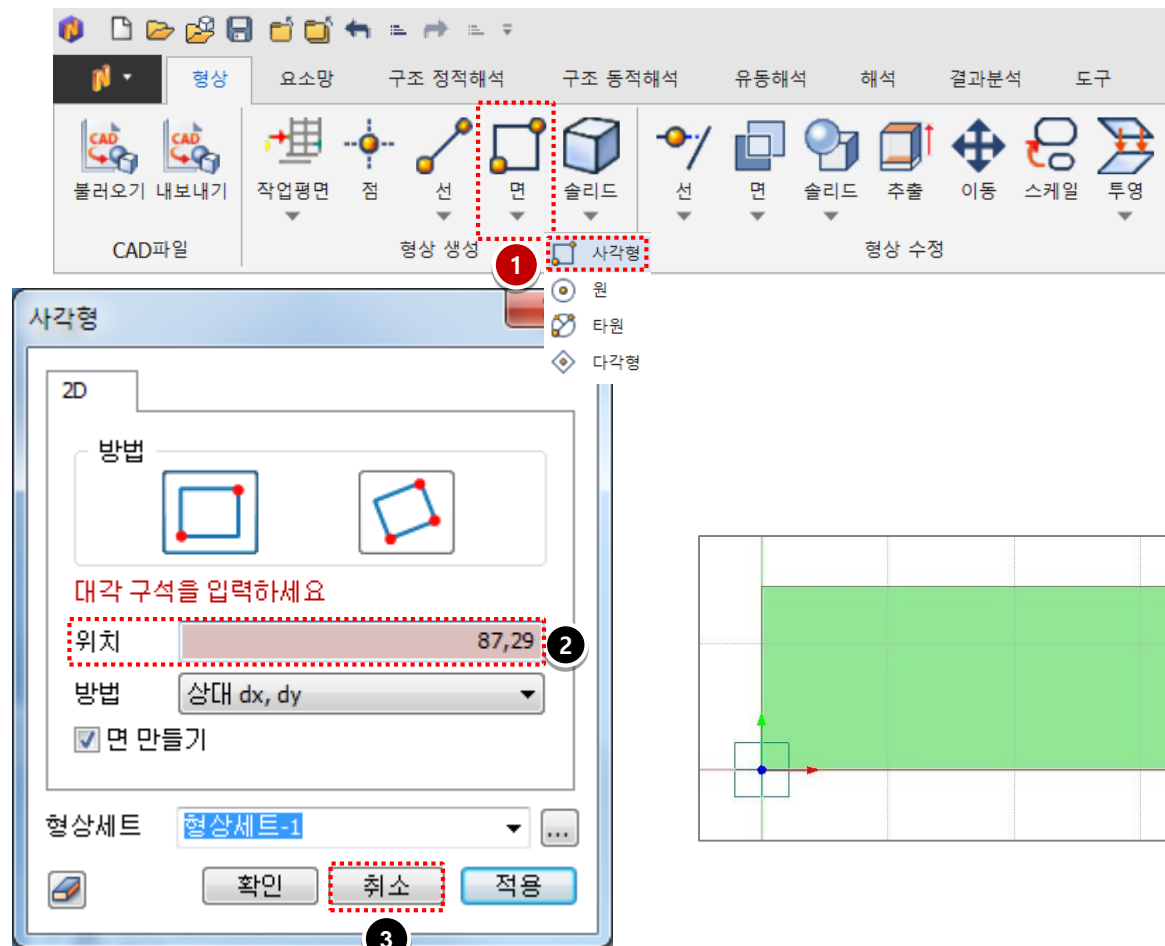
 프로그램을 실행시킨 후 [새로 만들기]를 클릭하면 모든 메뉴가 활성화 됩니다.


 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.




작업순서

1. 사각형 클릭
2. 위치 : "(0) , <87,29>" 입력. 
3. [취소] 버튼 클릭.



 () : "절대좌표 x, y"
 < > : "상대좌표 dx, dy"
 (0) 은 <0,0>와 같습니다.

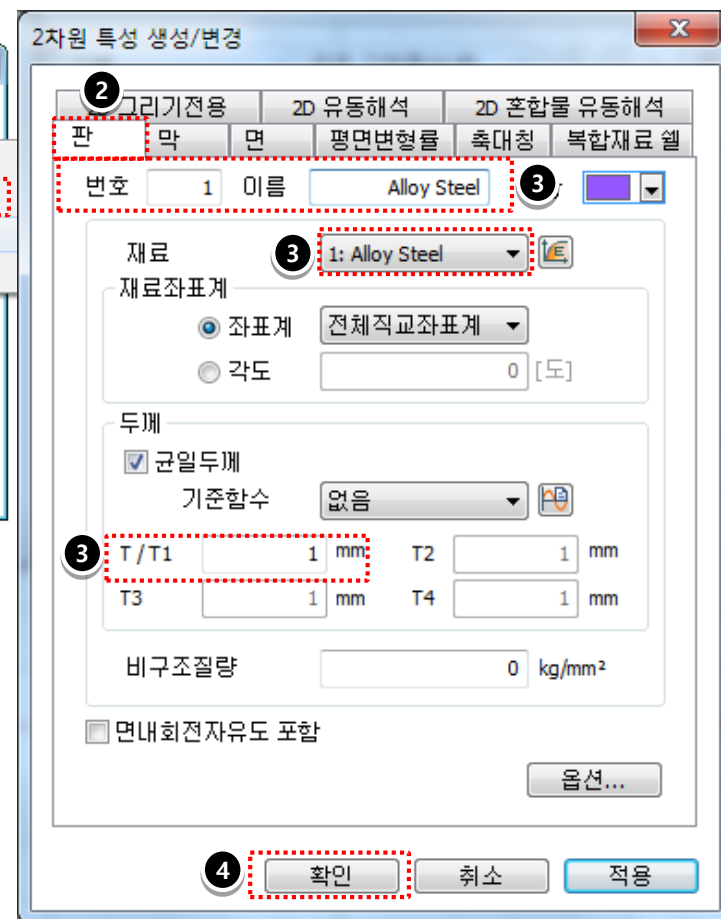
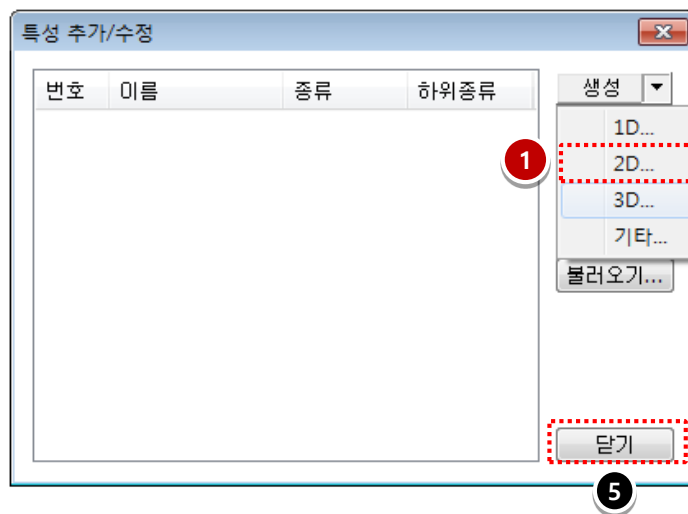
 [ESC] 는 [취소] 의 단축키 입니다.

작업순서

1. 생성 >> 2D 클릭
2. [판] 탭 선택.
3. 특성입력

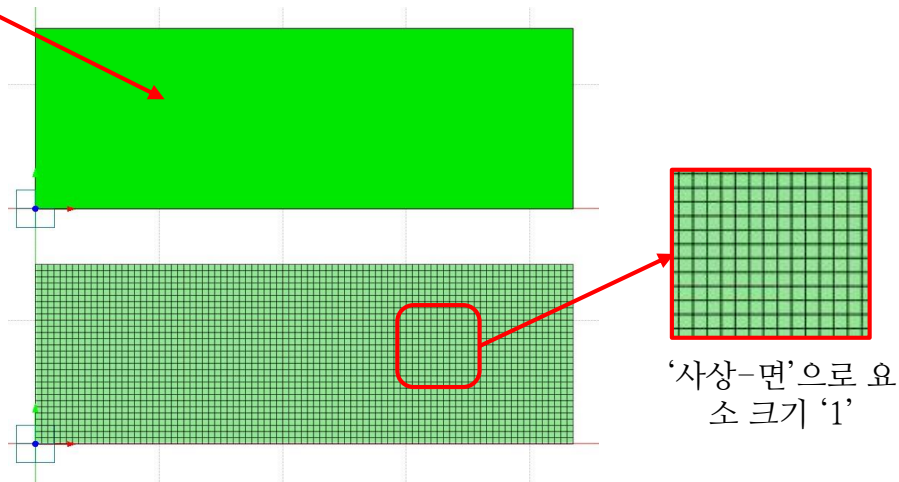
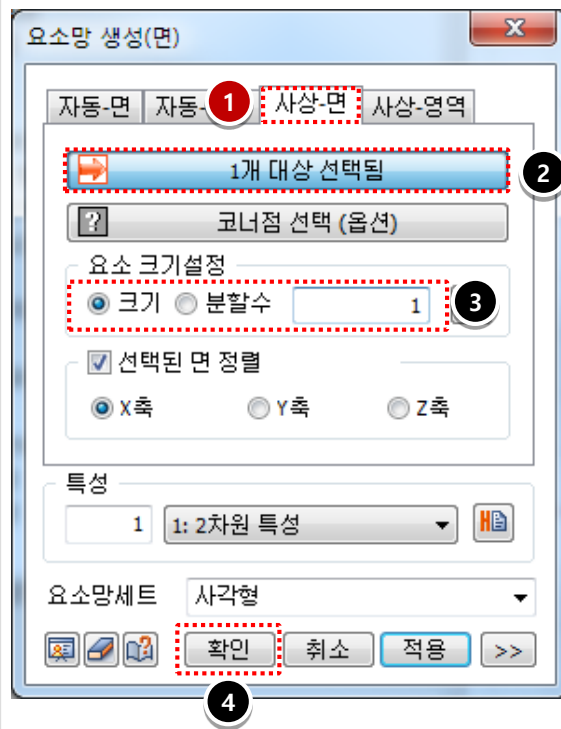
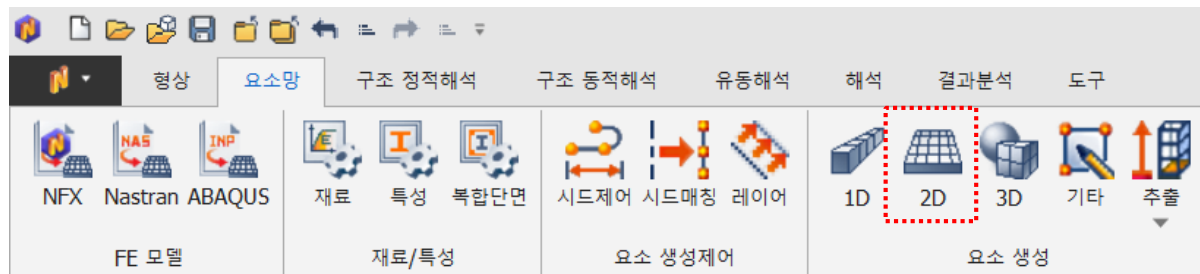
번호	1
이름	Alloy Steel
재질	1: Alloy Steel
두께(T/T1)	1 (mm)

4. [확인] 버튼 클릭.
5. [닫기] 버튼 클릭



작업순서


1. [사상-면] 탭 선택
2. 면선택(1개 면 선택).
3. 요소 크기: "1" 입력.
4. [확인] 버튼 클릭.



작업순서

1. [고급] 탭 선택.

2. 구속조건 입력1


이름	X축 고정
대상종류	절점
대상선택	30개 선택(그림참조) 
조건	Tx 자유도 고정

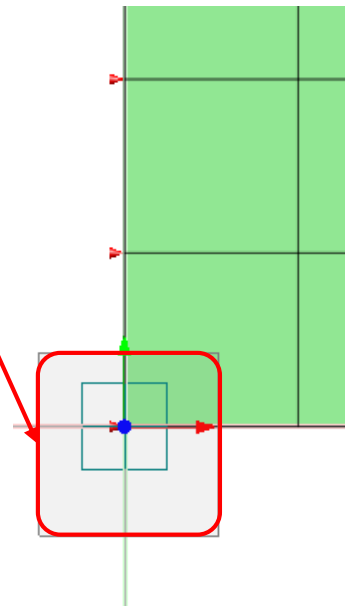
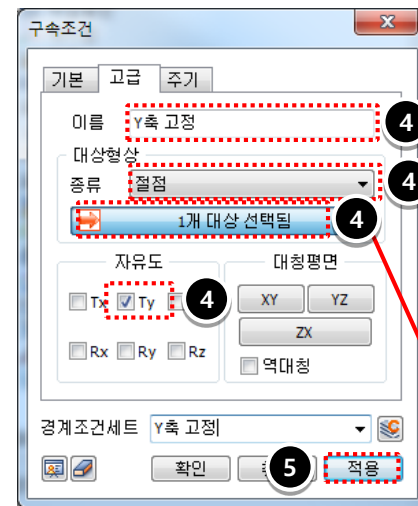
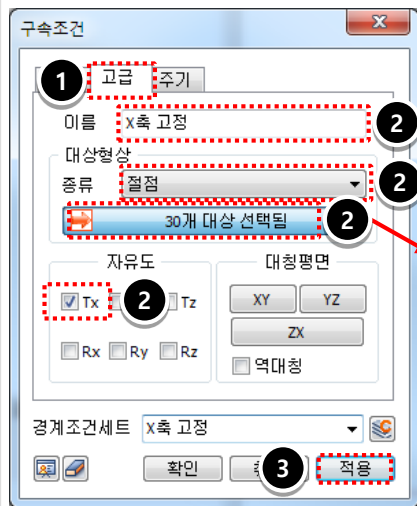
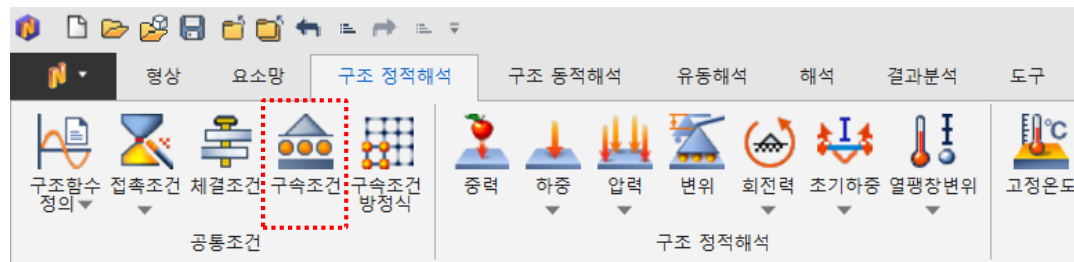
3. [적용] 버튼 클릭.

4. 구속조건 입력2

이름	Y축 고정
대상종류	절점
대상선택	1개 선택(그림참조)
조건	Ty 자유도 고정

5. [적용] 버튼 클릭.

 작업화면에서 마우스 드래그로 박스에 포함되는 대상을 선택할 수 있습니다.

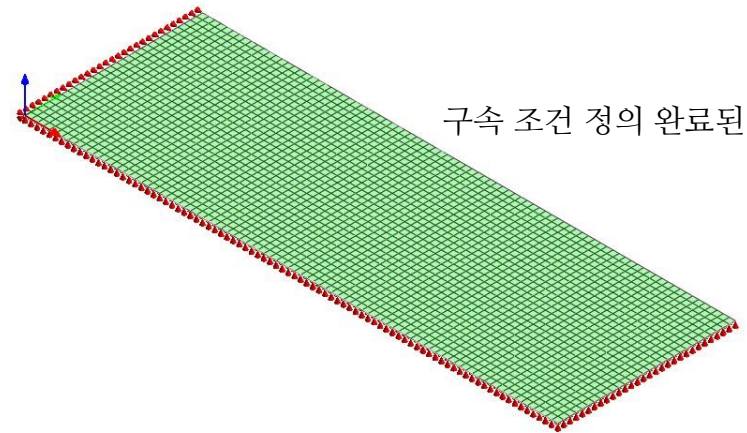
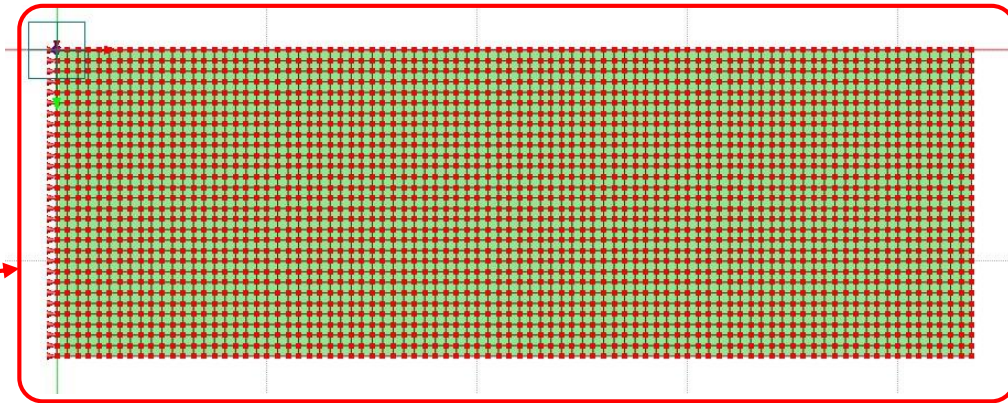
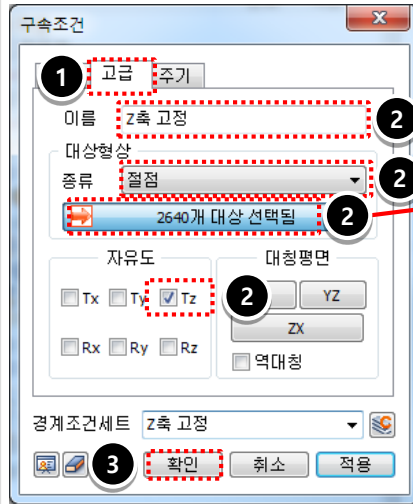
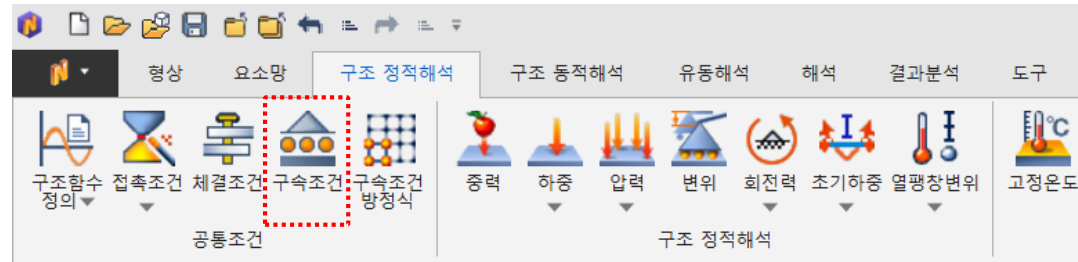


작업순서

2. 구속조건 입력3

이름	Z축 고정
대상종류	절점
대상선택	2640개 선택(그림 참조)
조건	Tz 자유도 고정

3.[확인] 버튼 클릭.



구속 조건 정의 완료된 상태

작업화면에서 마우스 드래그로 박스에 포함되는 대상을 선택할 수 있습니다.

작업순서

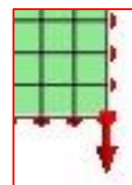
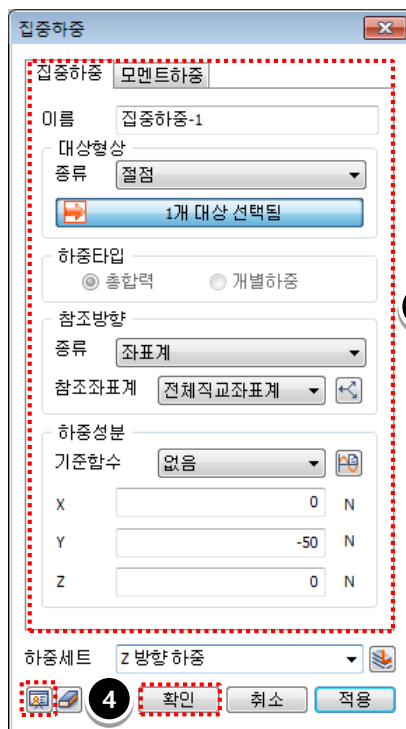
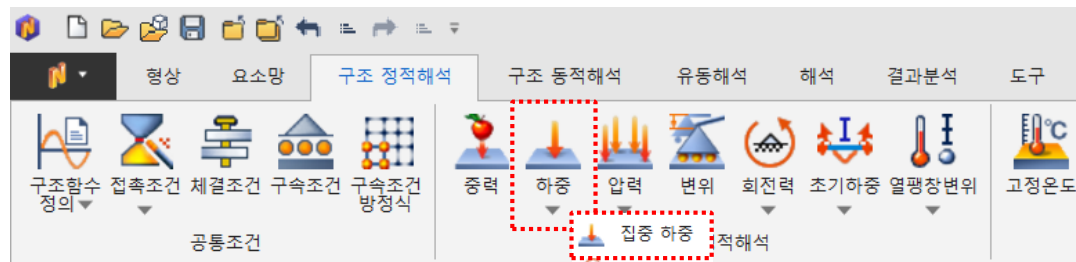
1. [집중] 탭 선택.

2. 하중 입력

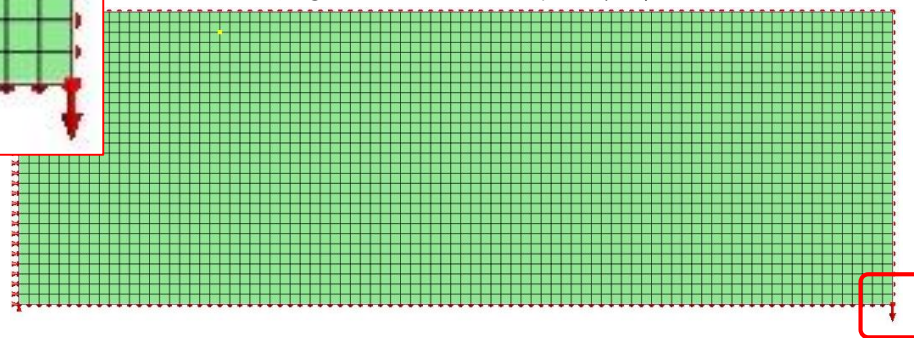
이름	집중하중-1
대상종류	절점
대상선택	1개 선택(그림참조) 
하중방향	Y축
P or P1	-50N


3. [미리보기] 버튼 클릭.


4. [확인] 버튼 클릭.



Y축 방향으로 -50N 하중 부여

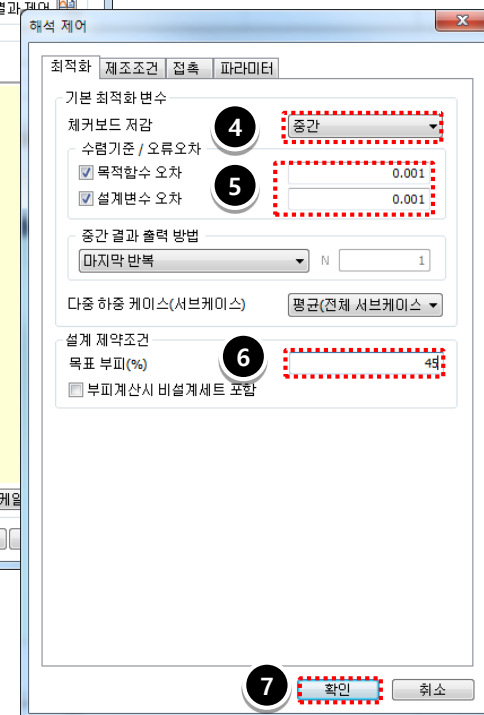
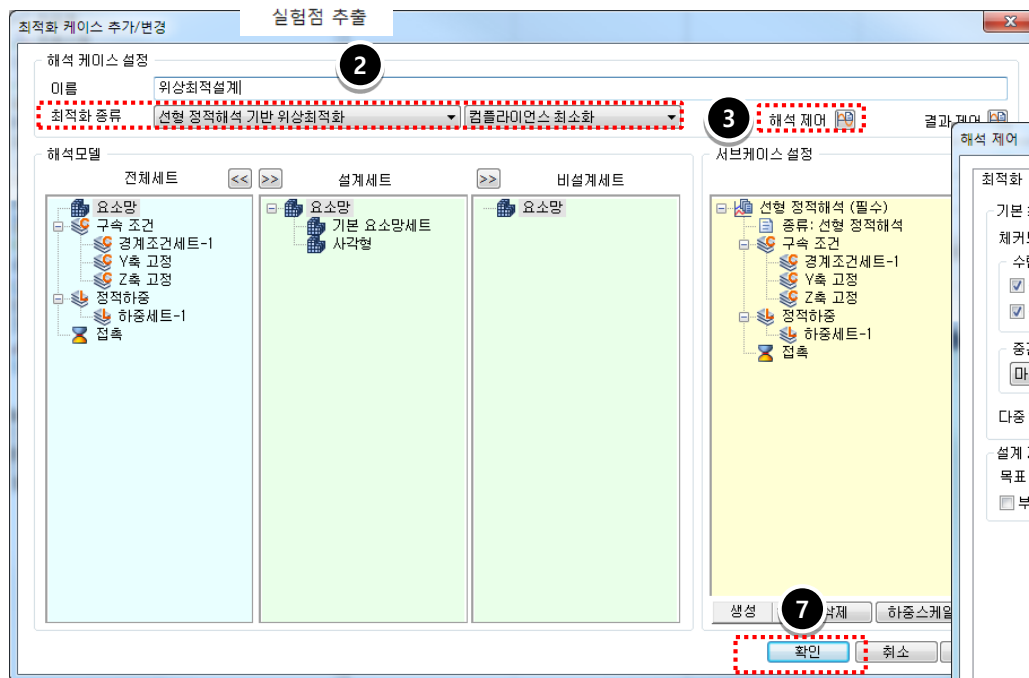


 작업화면에서 마우스 드래그로 박스에 포함되는 대상을 선택할 수 있습니다.

 선 압력은 등치의 절점 하중으로 변환되어 Solver에 전달됩니다.

작업순서

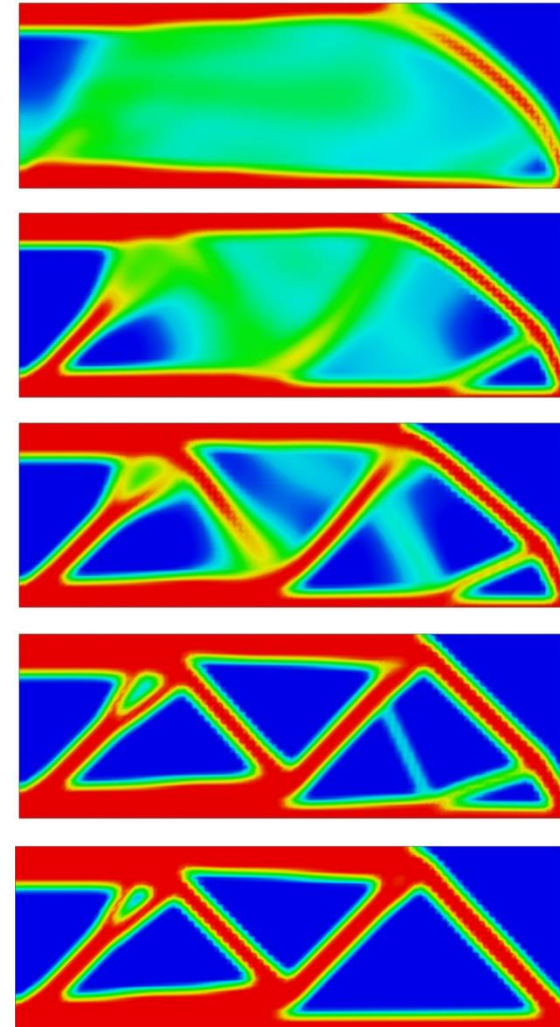
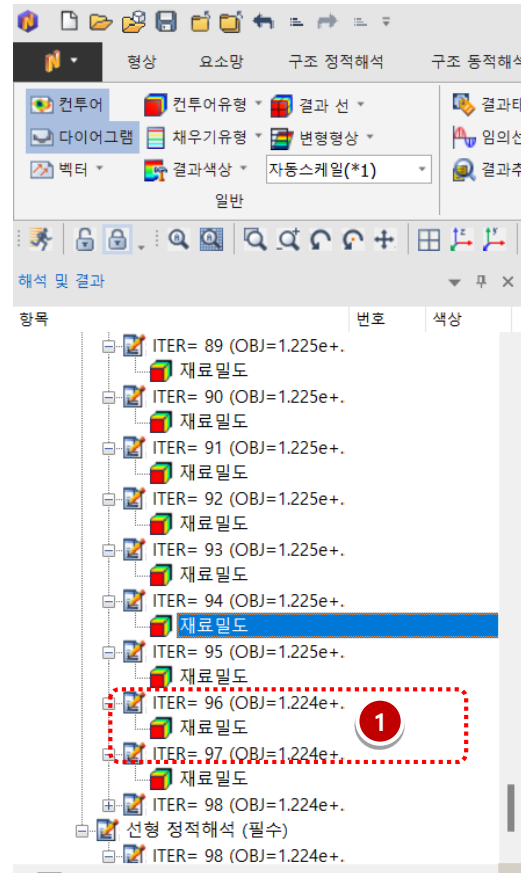
1. 최적설계 > 위상최적설계 클릭
2. 최적화 종류:
[선형 정적해석 기반 위상최적화]
[컴플라이언스 최소화] 선택.
3. [해석 제어] 클릭
4. [체커보드 저감] 중간 선택
5. [목적함수 오차] 0.001
[설계변수 오차] 0.001 입력.
6. [목표 부피] 45% 입력.
7. [확인] 클릭



작업순서

1. 마지막 스텝의 재료밀도 클릭

💡 위상최적화의 결과는 마지막 스텝에서 확인 가능하다.



위상 최적화 결과

작업순서

1. 결과분석 탭 > 최적모델생성

>위상최적화 클릭

2. 해석케이스 : 위상최적설계

스텝 : 마지막 스텝 선택.

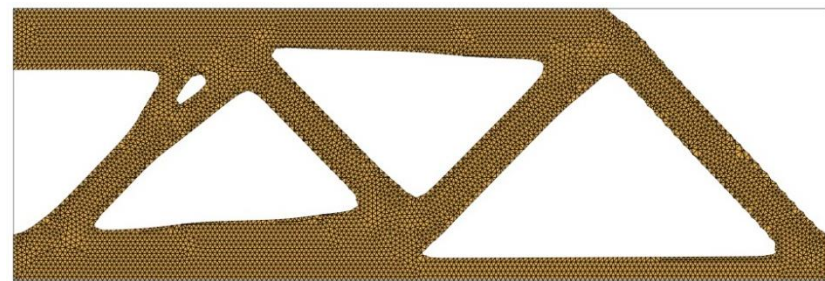
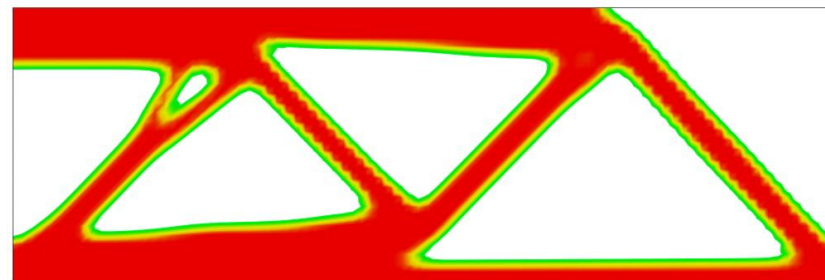
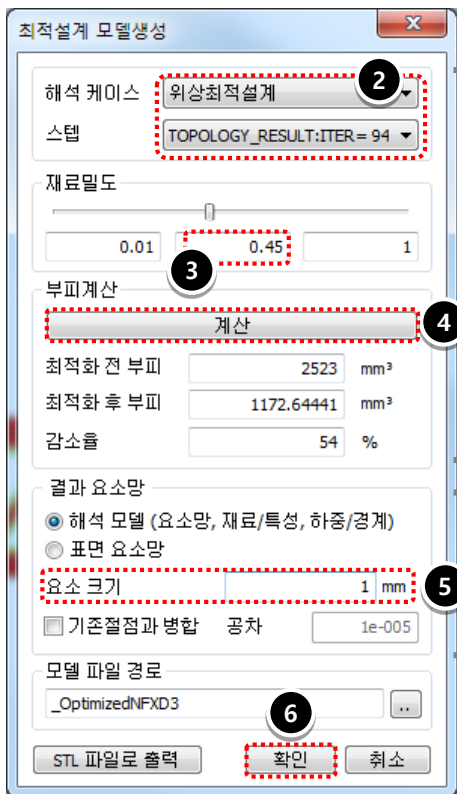
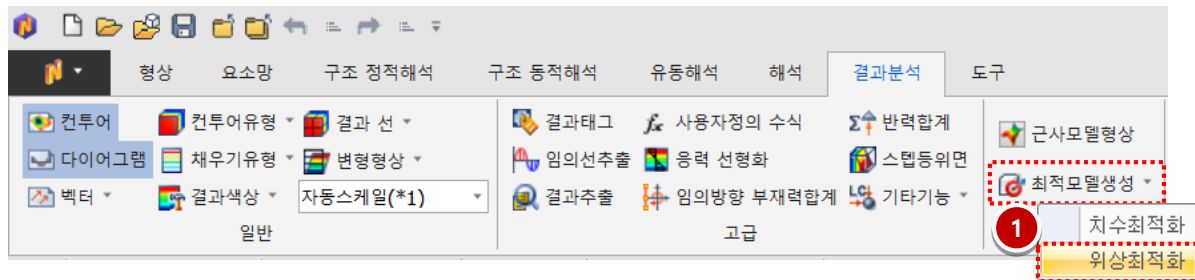
3. 재료밀도 0.45 입력

4. [계산] 클릭

5. [요소크기] 1 입력

6. [확인] 클릭

- 💡 위상 최적화 결과를 이용해 모델을 생성할 수 있다.
- 💡 최적설계 모델생성창에서 재료밀도 항목에서 입력하는 값은 '목표 부피 /100'을 추천한다.
- 💡 결과 요소망으로 생성된 파일을 STL 로 저장할 수 있다.

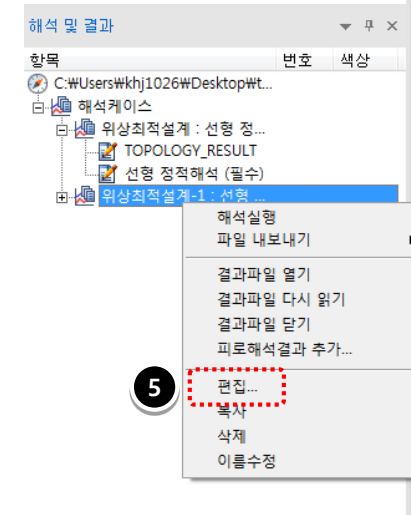
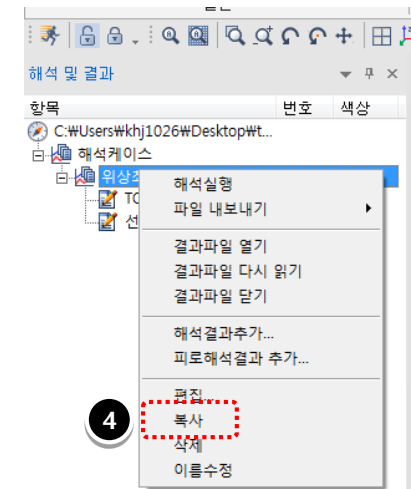
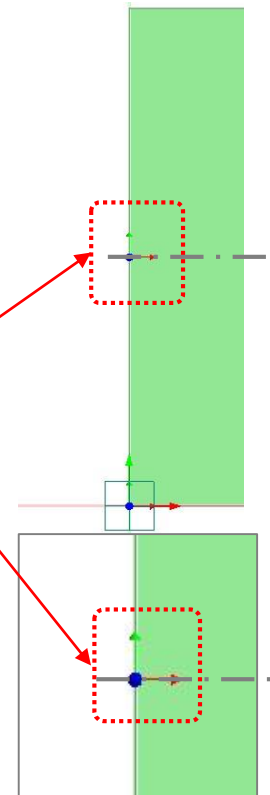
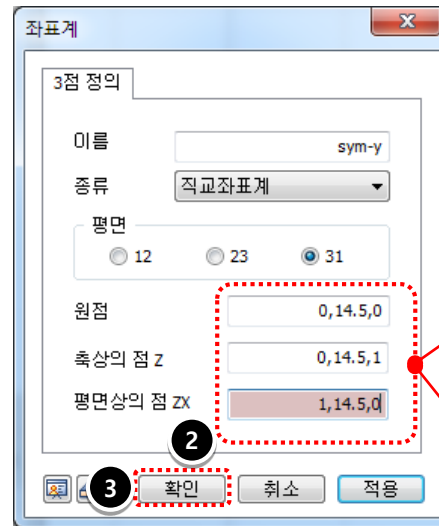
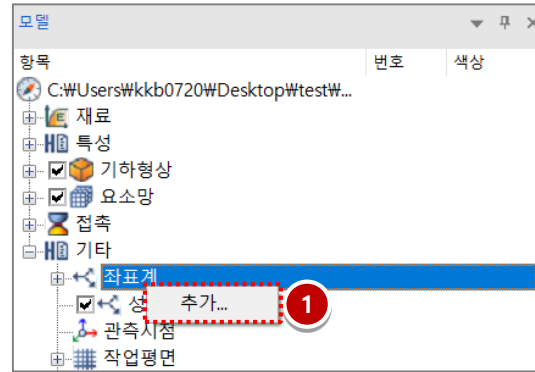


작업순서

1. 모델 > 좌표계 우측 클릭 > 추가 클릭
2. 좌표계 조건 입력

이름	Sym-y
평면	31평면
원점	<0,14.5,0>
축상의 점 Z	<0,14.5,1>
평면상의 점 ZX	<1,14.5,0>

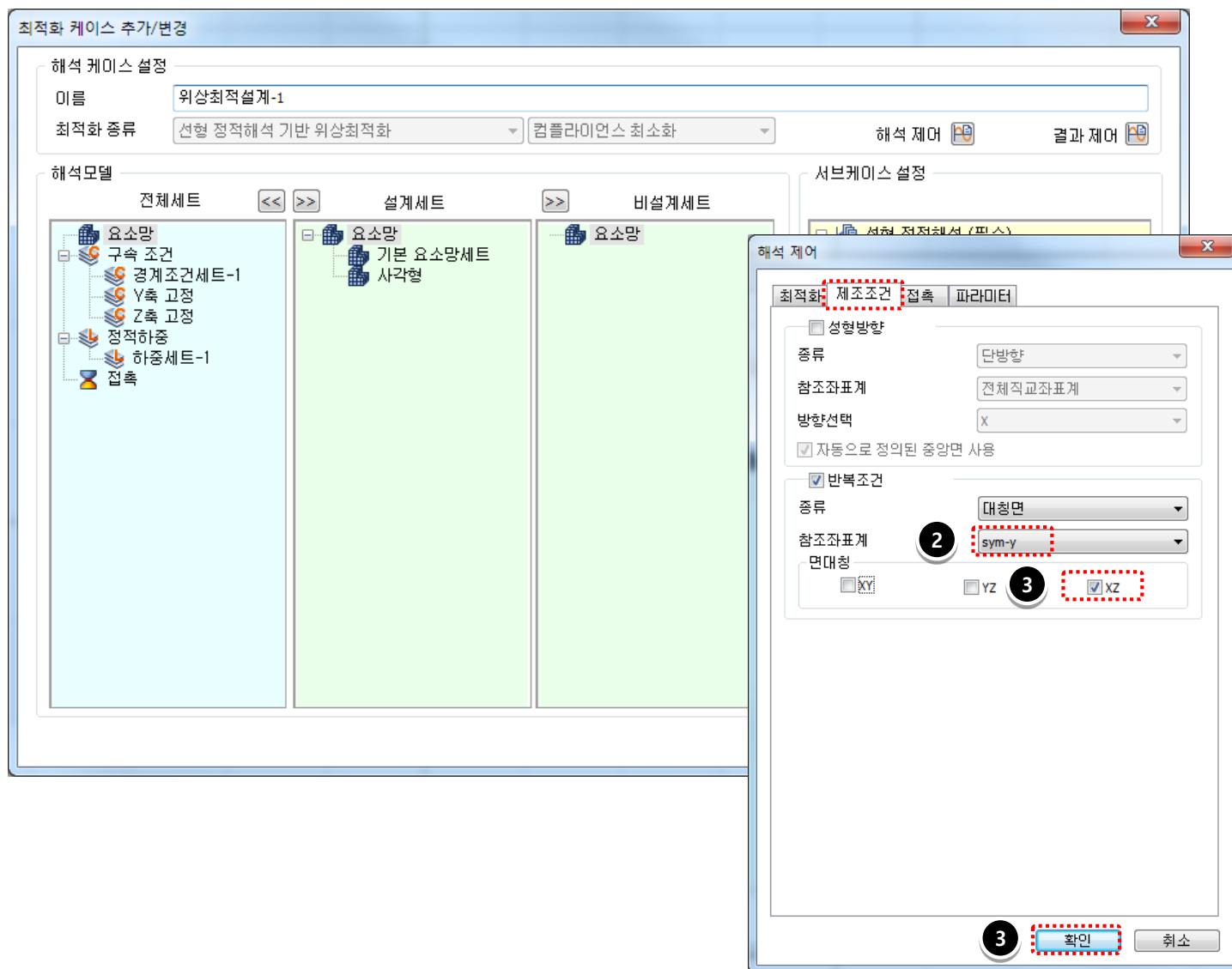
3. [확인] 클릭
4. 기존 해석케이스 복사 클릭
5. 복사된 해석케이스 편집 클릭



중심선

작업순서

1. 이전 조건과 동일한 해석케이스 설정.
2. 제조조건 탭 > 참조좌표계 "sym-y".
3. XZ 면대칭 선택.
4. [확인] 클릭.



최적화 케이스 추가/변경

해석 케이스 설정

이름: 위상최적설계-1

최적화 종류: 선형 정적해석 기반 위상최적화 | 컴플라이언스 최소화

해석 제어 | 결과 제어

해석모델

전체세트 << >> 설계세트 >> 비설계세트

요소망

- 요소망
 - 구속 조건
 - 경계조건세트-1
 - Y축 고정
 - Z축 고정
 - 정적하중
 - 하중세트-1
 - 접촉

서브케이스 설정

선형 정적해석 (핀스)

해석 제어

최적화 | **제조조건** | 접촉 | 파라미터

성형방향

종류: 단방향

참조좌표계: 전체직교좌표계

방향선택: X

자동으로 정의된 중앙면 사용

반복조건

종류: 대칭면

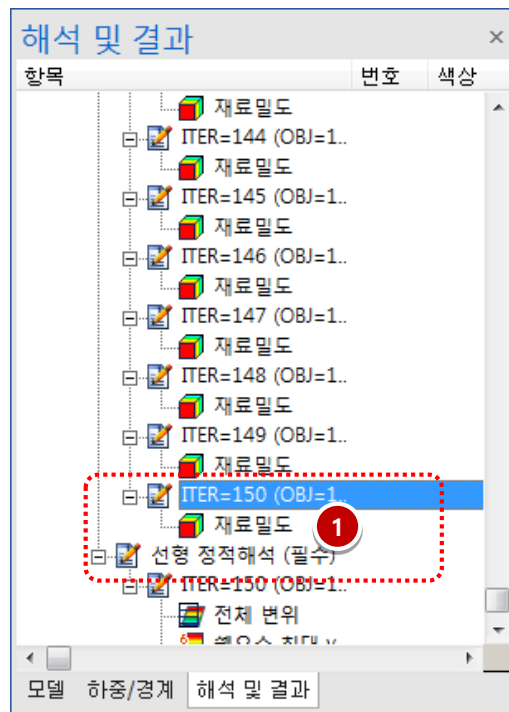
참조좌표계: **2** sym-y

면대칭: XY | YZ | **3** XZ

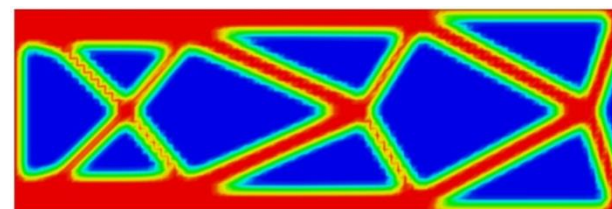
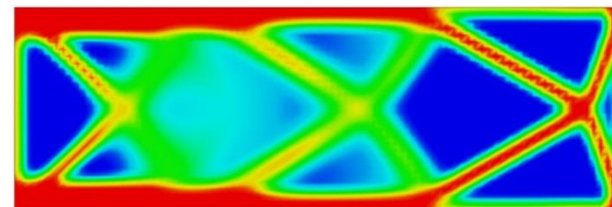
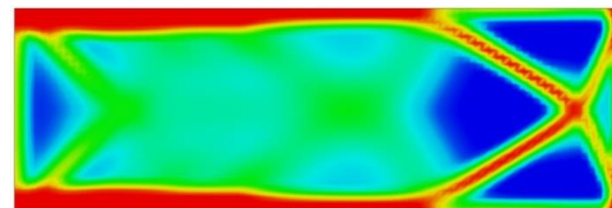
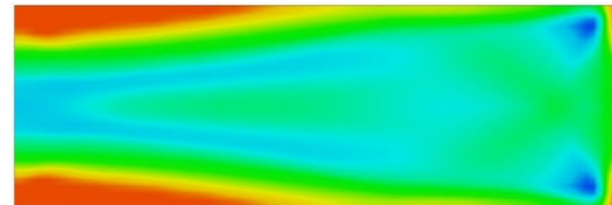
3 | **확인** | 취소

작업순서

1. 마지막 스텝 "재료밀도" 선택

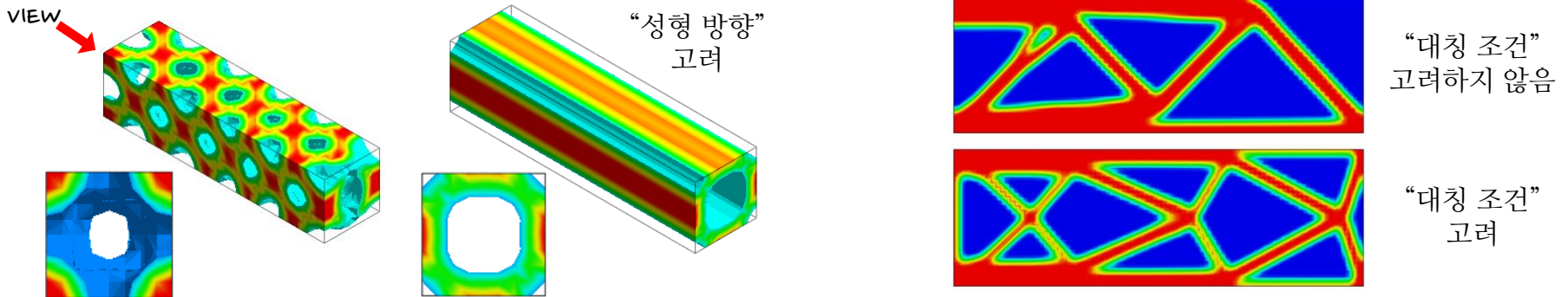


위상 최적화 결과

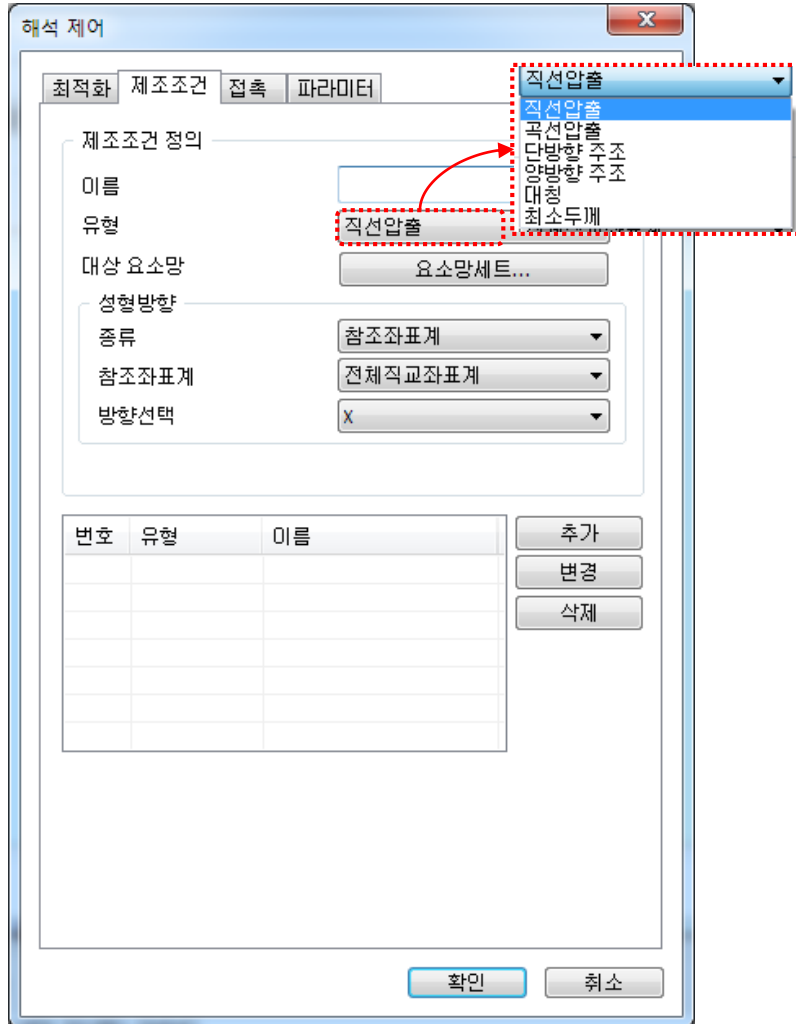


제조 조건 고려

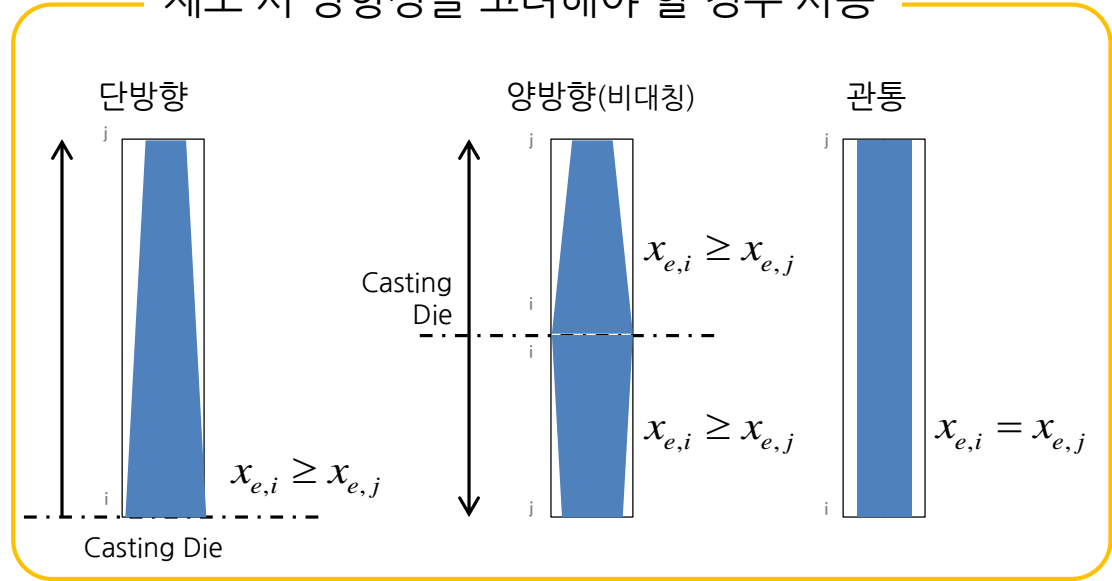
- ✓ 실제 제품을 생산하거나 구조물을 제작하는 경우 **공정상의 문제**나 심미적인 측면을 고려
- ✓ 성형방향 (casting direction)
 - 1) 캐스팅 다이를 중심으로 성형방향 쪽으로만 재료가 빠지는 단방향과 양쪽으로 빠지는 양방향이 있다.
 - 2) 단방향의 캐스팅 다이는 성형방향기준으로 맨 아래쪽에 배치된 요소가 자동으로 선택된다.
 - 3) 양방향의 경우는 자동으로 중앙면에 위치한 요소를 사용하거나 참조 좌표계의 원점을 사용한다.
 - 4) 성형방향 기준으로 메시가 정렬되어 있을수록 깔끔한 결과를 얻을 수 있다.
- ✓ 반복조건 (대칭조건)
 - 1) 참조 좌표계 기준으로 최대 3개까지 면대칭 조건을 지원한다.
 - 2) 대칭면의 위치는 참조 좌표계의 원점이 적용된다.
 - 3) 대칭면을 기준으로 대칭이 아닌 메시 형태 혹은 요소 배치가 존재하는 경우도 거리에 가중치를 둔 평균적인 값으로 요소밀도를 대칭시킨다.
 - 4) 대칭조건과 성형방향이 동시에 정의된 경우, 대칭조건을 먼저 적용 후 성형방향 조건을 적용한다. 즉, 나중에 적용하는 성형 방향이 우선된다.



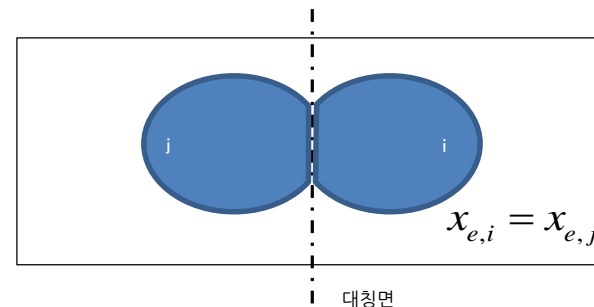
제조 방향 및 대칭 방향 고려



제조 시 방향성을 고려해야 할 경우 사용



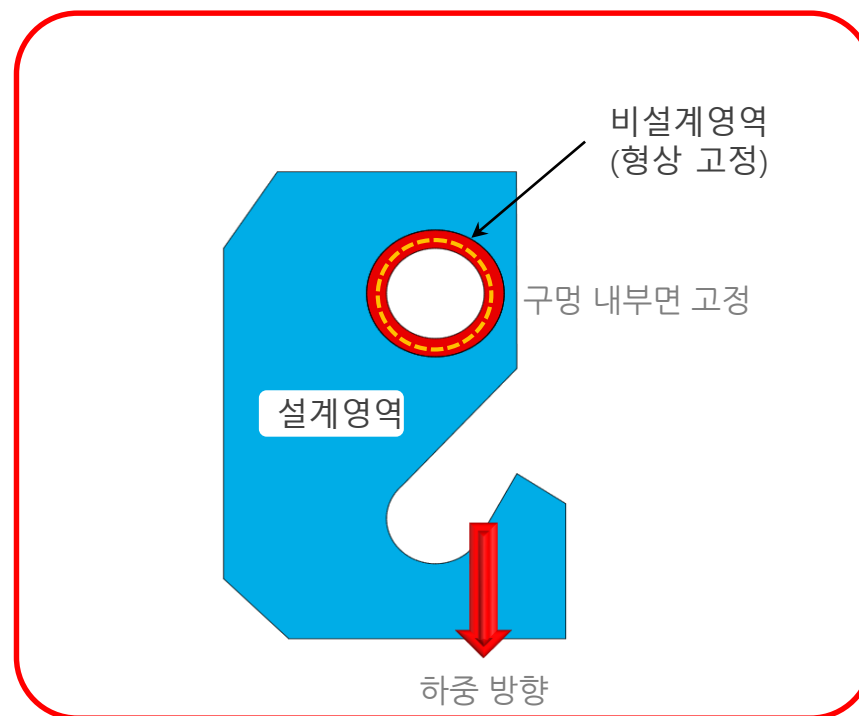
대칭 형상의 결과를 원할 경우



***중요)**
 대칭 형상으로 결과를 보고자 할 경우는 **설계 영역은 대칭 형상**이나 **하중/경계 조건이 비대칭으로 적용**되더라도 최적화 결과를 대칭으로 만들어야 할 때 사용한다.

해석 목적

- ▶ 산업용으로 무거운 자재의 이송 시 구조물과 자재의 연결 용도로 후크가 사용된다.
이 때 후크의 재료비 절감과 제작 공정을 위한 최적의 설계안은?
- ▶ 목표 부피 절감 : 30%



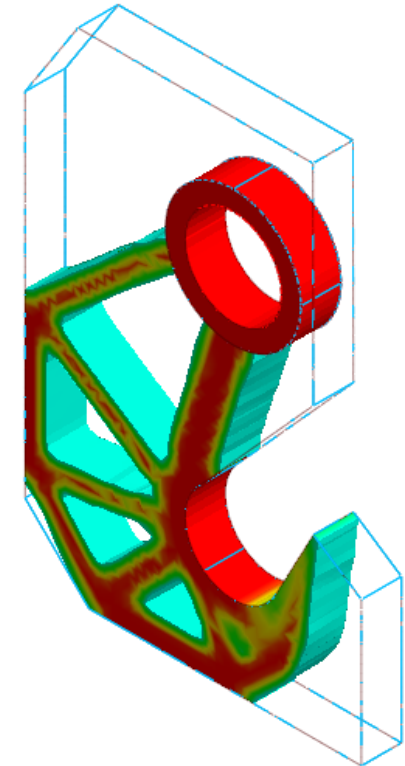
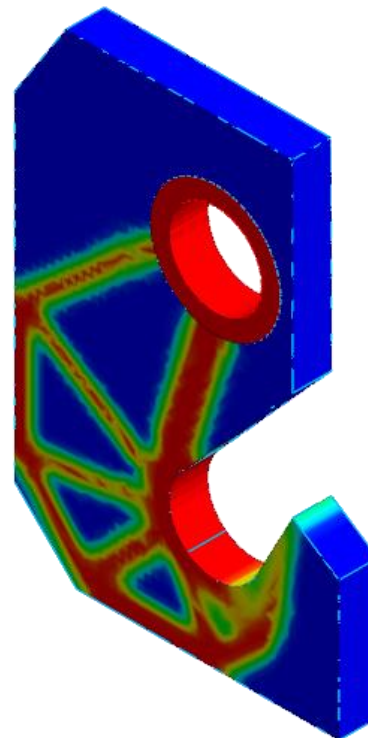
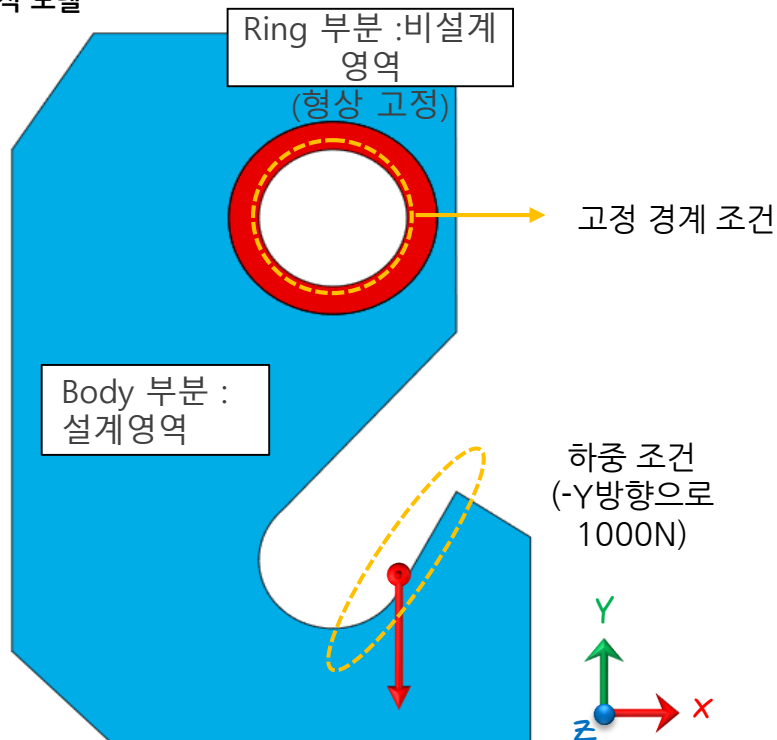
‘지지구조와 연결되는 부위는 고정한 채 연직하중에 따른’
재료비 절감 및 제작성을 위한 최적의 설계안은?

예제 목적



- ▶ 비설계 부분과 설계 부분이 있으며, 제작성이 고려되는 구조물의 위상 최적화
 - 설계부와 비설계부를 구분하여 최적화 해석을 수행한다.
 - 제작성을 고려하기 위해 제조조건의 성형방향 설정을 학습한다.

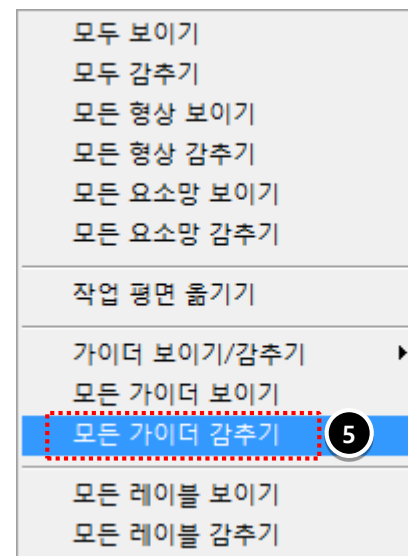
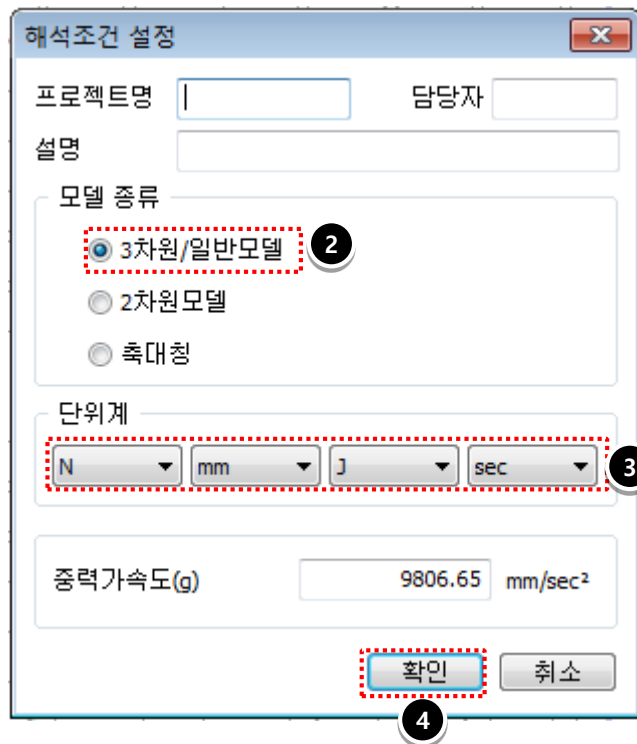
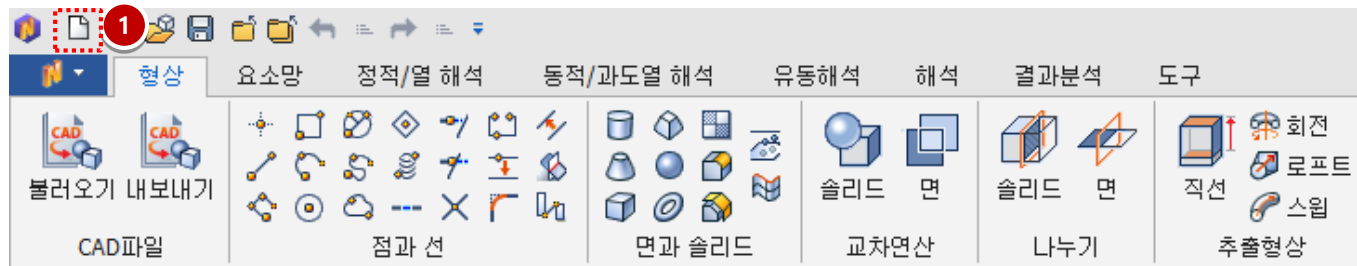
실습 개요


▶해석 모델




작업순서

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

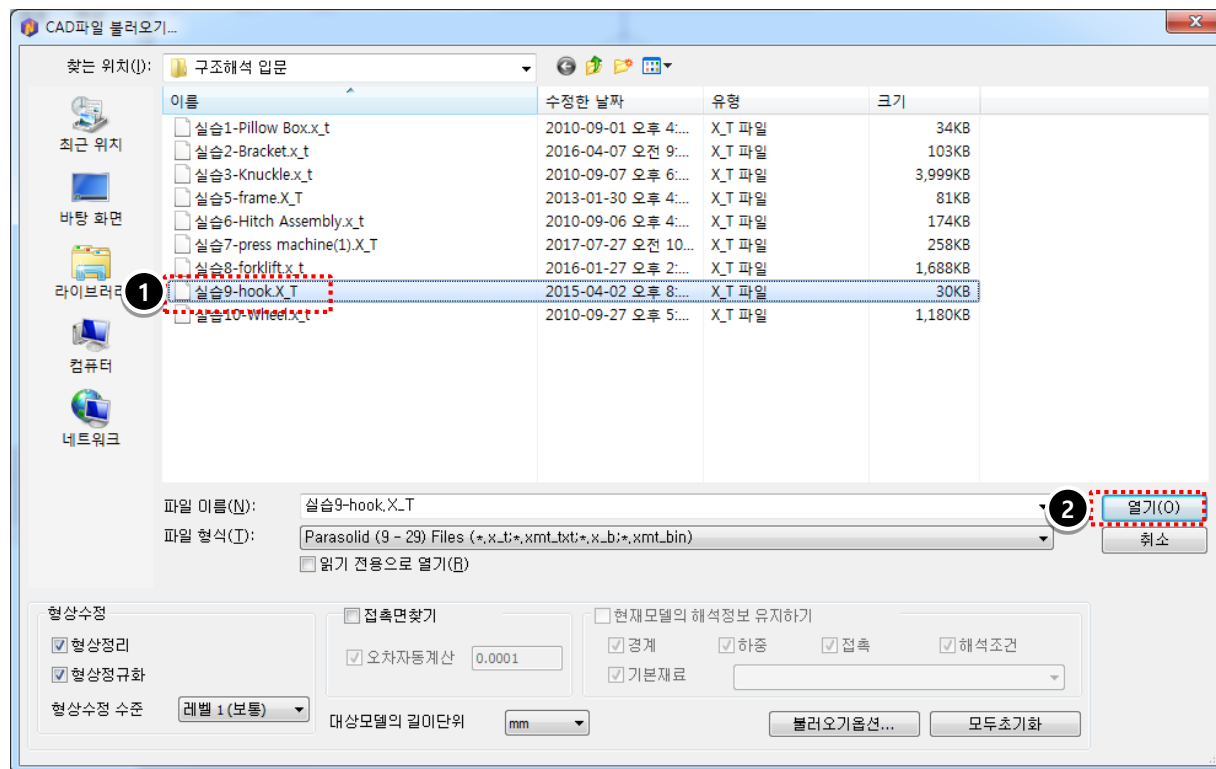


 프로그램을 실행시킨 후 [새로 만들기]를 클릭하면 모든 메뉴가 활성화 됩니다.

 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.

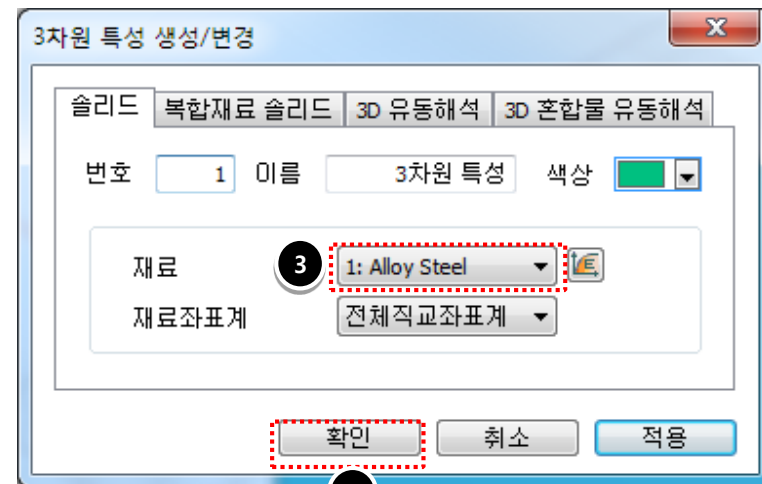
작업순서

1. 모델 선택 : hook.x_t 선택
2. [열기] 클릭



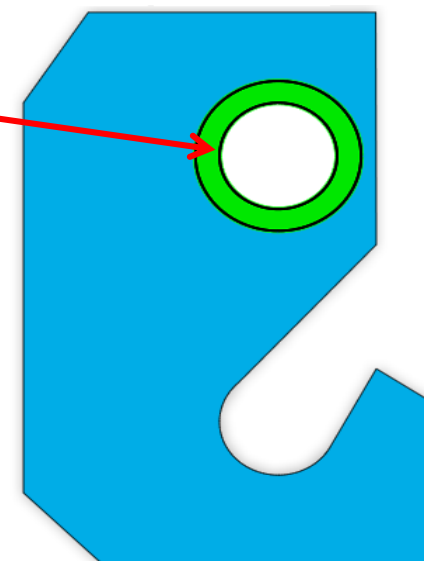
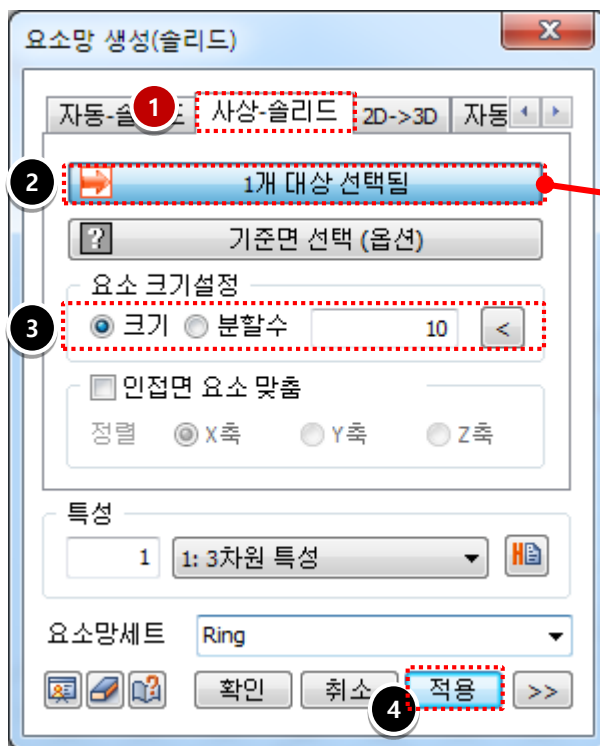
작업순서

1. 재료/특성 탭 > 특성 클릭
2. [생성] > [3D...] 선택
3. 기본 설정된 Alloy Steel 선택
4. [확인] 클릭
5. [닫기] 클릭



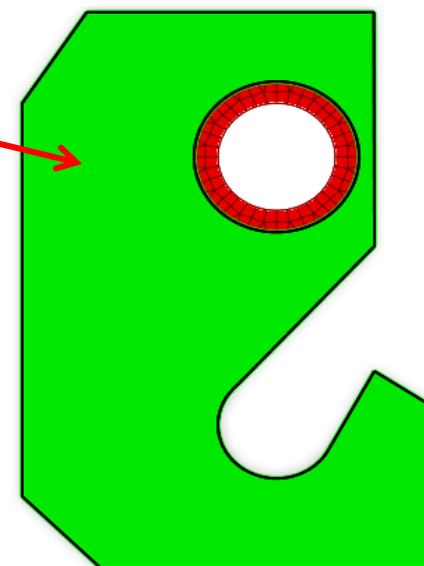
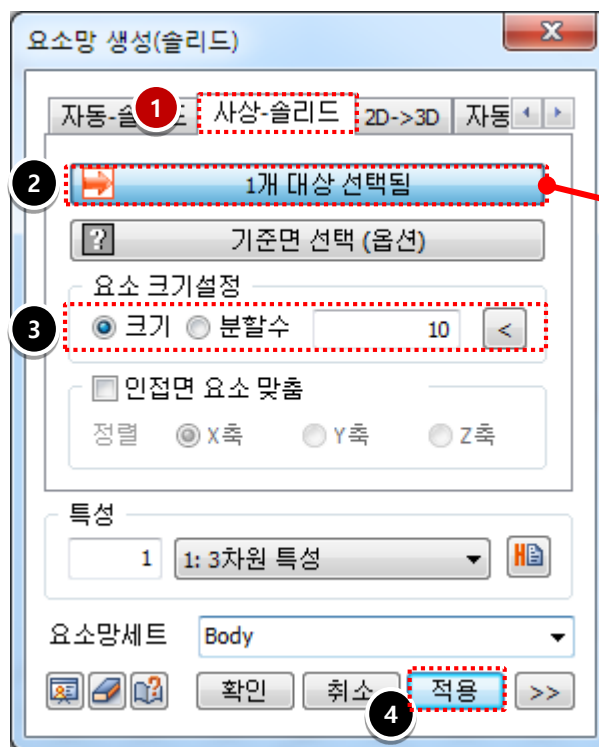
작업순서

1. 사상-슬리드 선택
2. 대상 선택 : 모델 (1개) 선택
3. 요소 크기: "10" 입력.
4. [적용] 클릭



작업순서

1. 사상-슬리드 선택
2. 대상 선택 : 모델 (1개) 선택
3. 요소 크기: "10" 입력.
4. [적용] 클릭

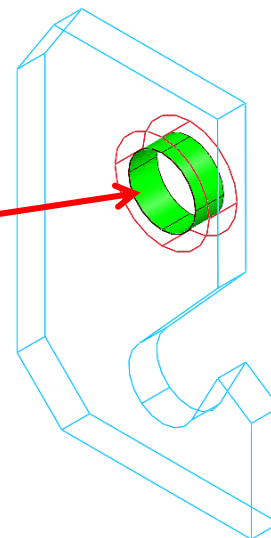
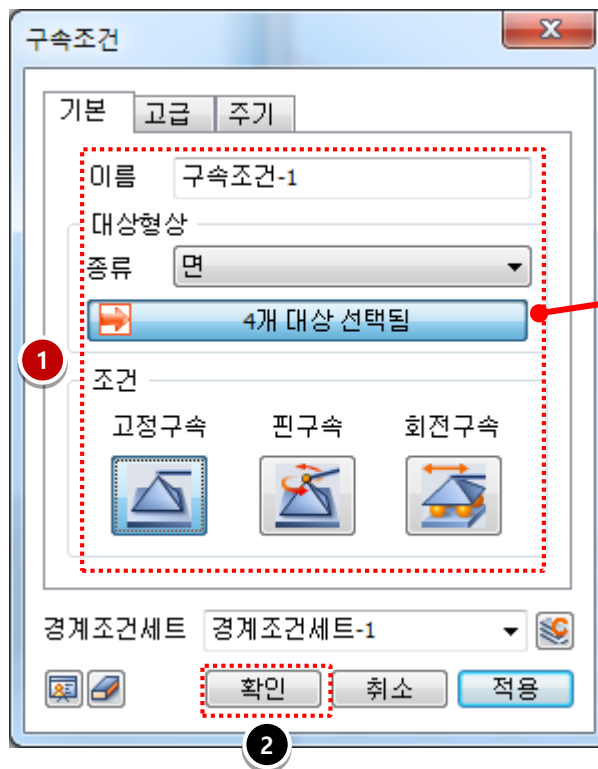
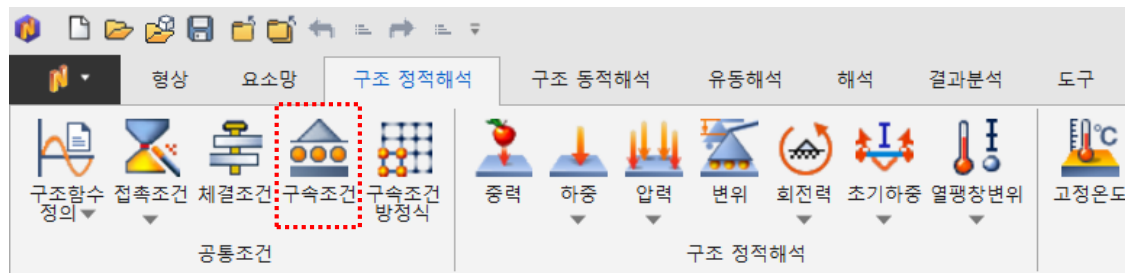


작업순서

1. 구속조건 입력

이름	구속조건-1
대상종류	면
대상선택	4개 선택 (그림참조)
조건	고정구속 

3.[적용] 버튼 클릭.

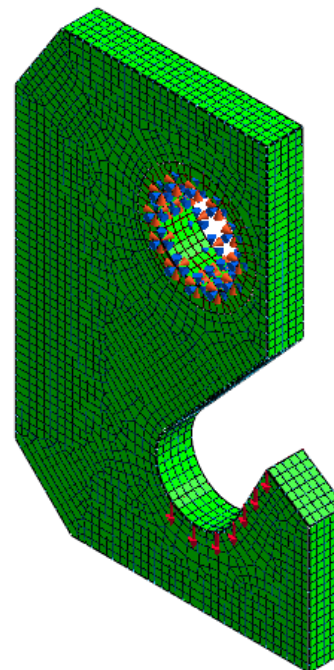
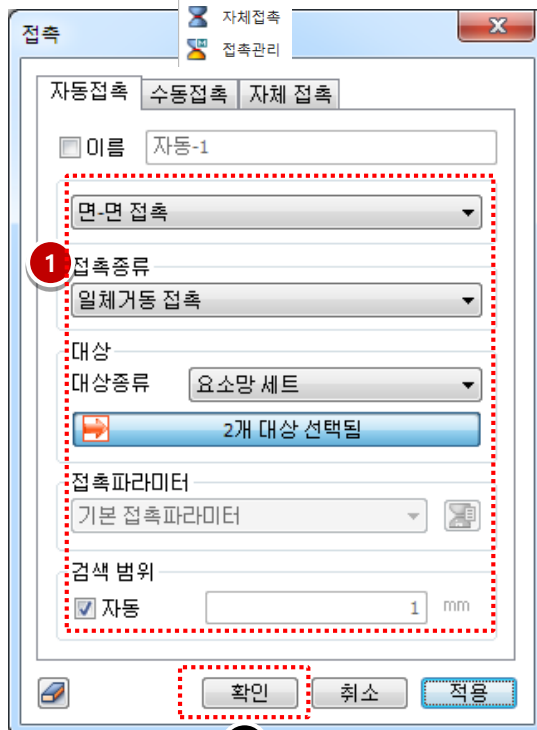
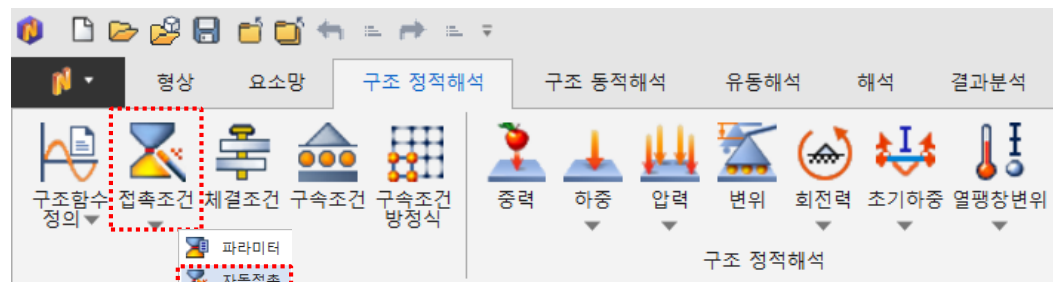


작업순서

1. 자동 접촉 선택

접촉 종류	일체거동 접촉
대상 종류	요소망 세트
대상 선택	2개 요소망 모두
검색 범위	자동 

3.[확인] 버튼 클릭.




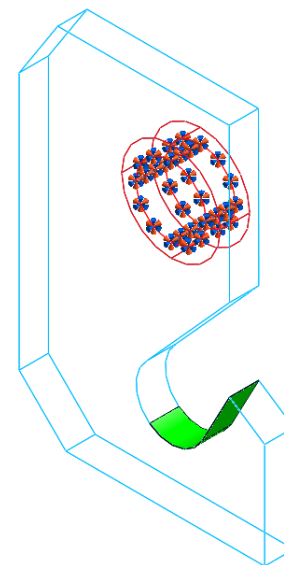
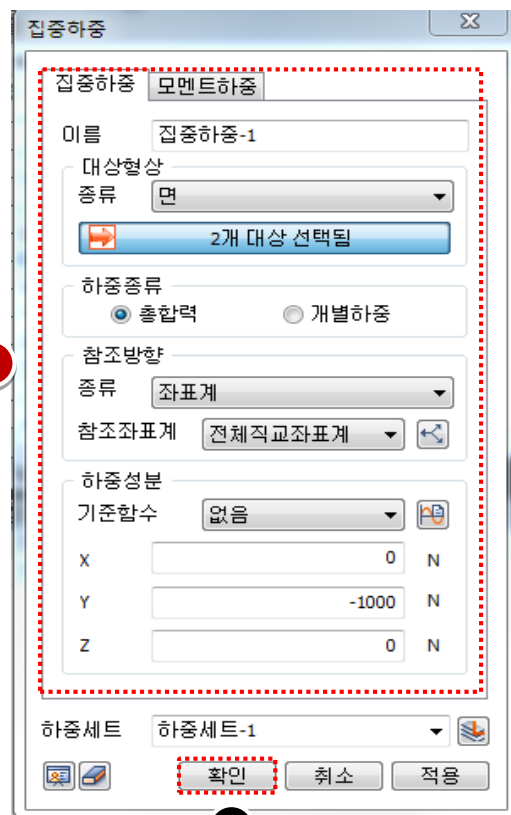
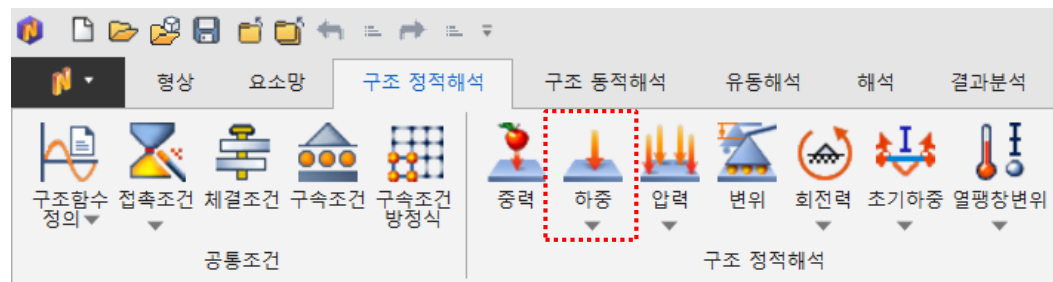
작업순서

1. 집중하중 입력

이름	집중하중-1
대상종류	면
대상선택	2개 선택(그림참조)
방향	Y축
크기	-1000N

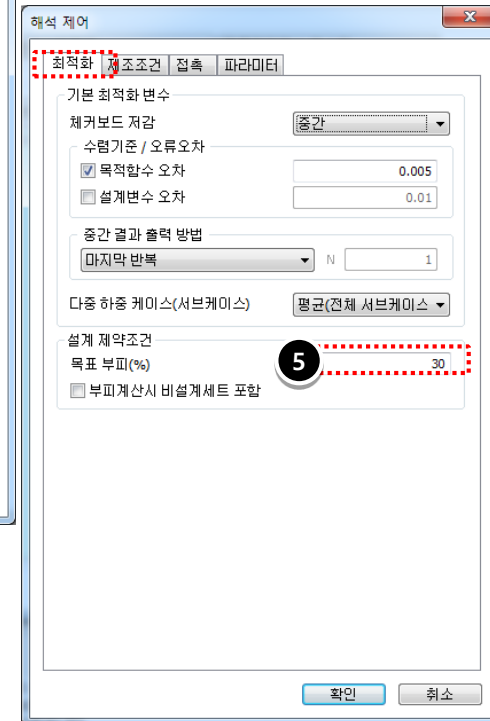
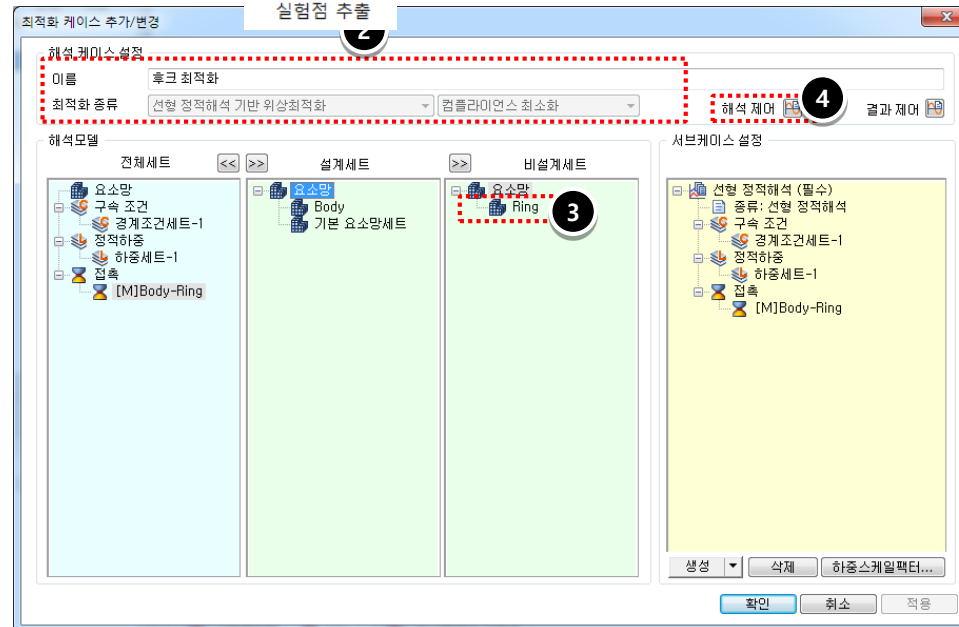
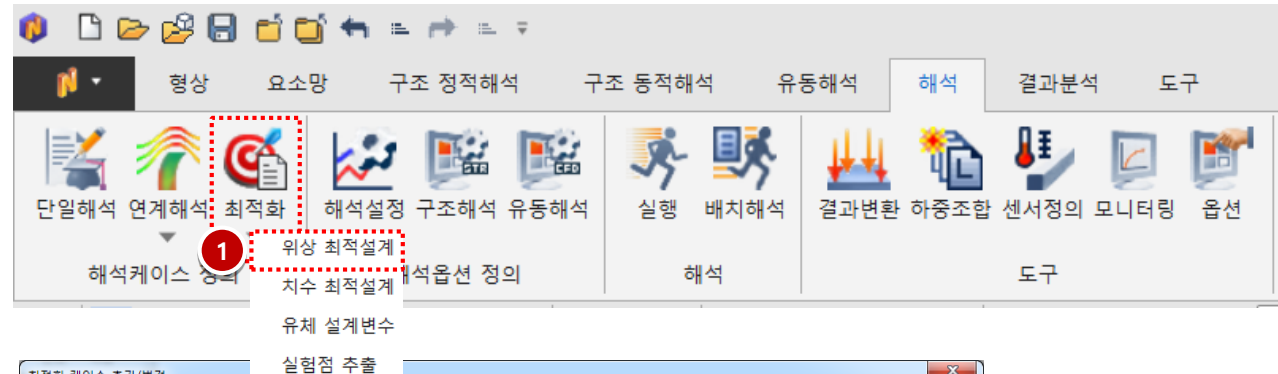
2.[확인] 버튼 클릭.

 작업화면에서 마우스 드래그로 박스에 포함되는 대상을 선택할 수 있습니다.



작업순서

1. 최적설계 > 위상최적설계 클릭
2. 이름 : 후크 최적화 입력.
최적화 종류:
[선형 정적해석 기반 위상최적화]
[컴플라이언스 최소화] 선택.
3. "Ring" 요소망 세트를 비 설계세트로 이동
4. [해석 제어] 클릭
5. [목표 부피] 30% 입력.
6. 제조조건 탭 클릭



작업순서

8. 제조조건 정의

이름	관통
유형	직선압출
요소망 세트	Body만 선택요소망 세트로 이동시킨다.

9.[확인] 클릭

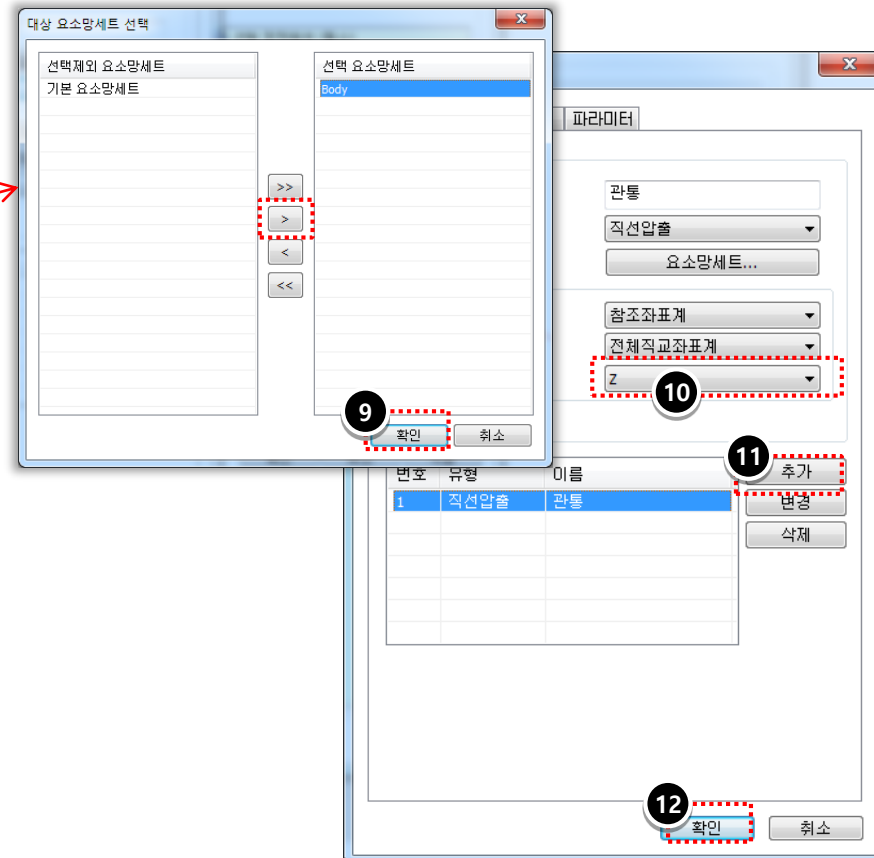
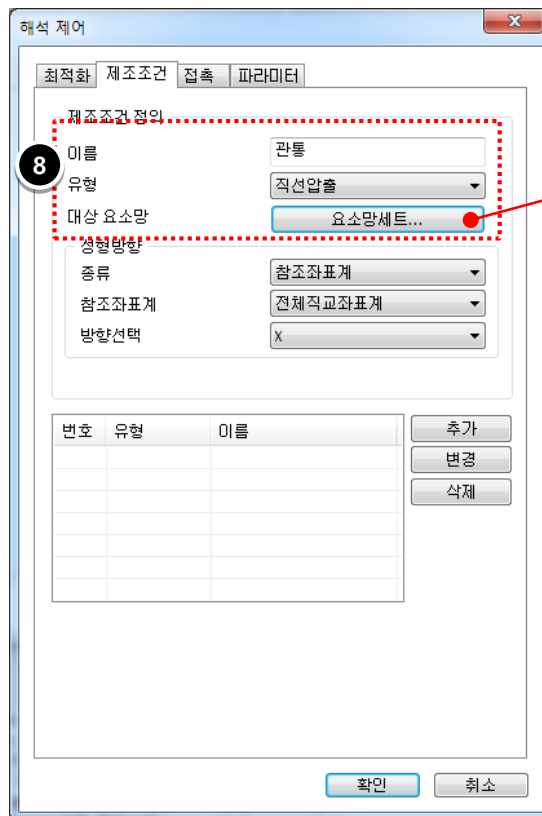
10. 성형방향 - 방향선택 : Z축 선택

11. [추가]

12. [확인] 클릭

13. 해석 -> 해석 -> 실행 -> 확인

(후크최적화 해석 케이스 선택)



💡 대상 요소망 세트 선택 화면에 보이는 요소망 세트는 해석 케이스에서 설계 세트에 지정된 것만을 표시한다.

작업순서

1. 결과분석 탭 > 최적모델생성

>위상최적화 클릭

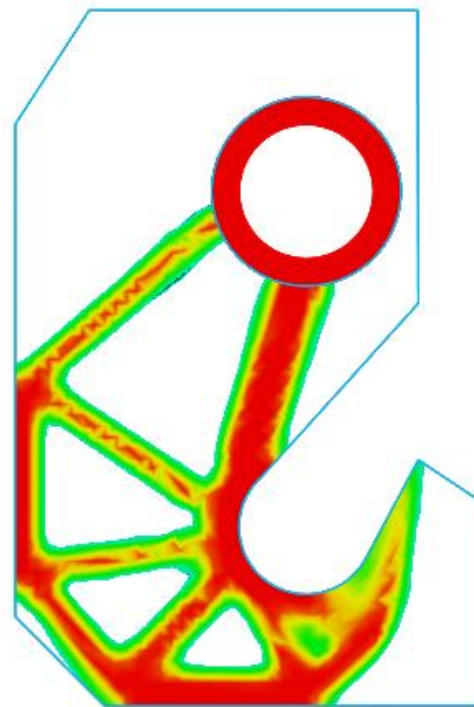
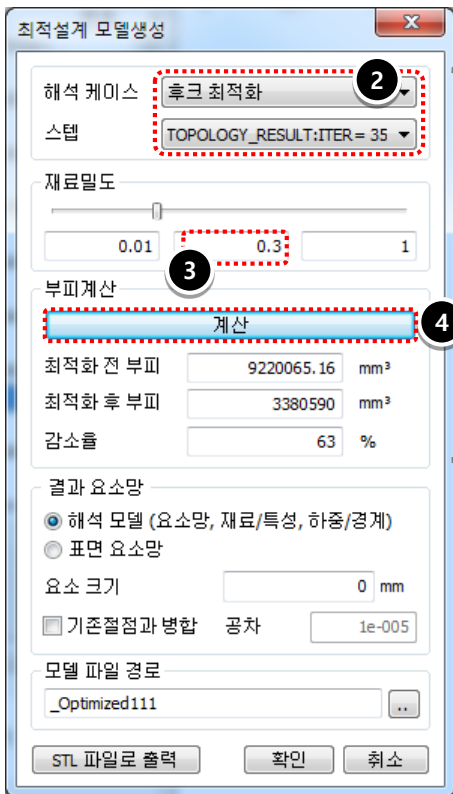
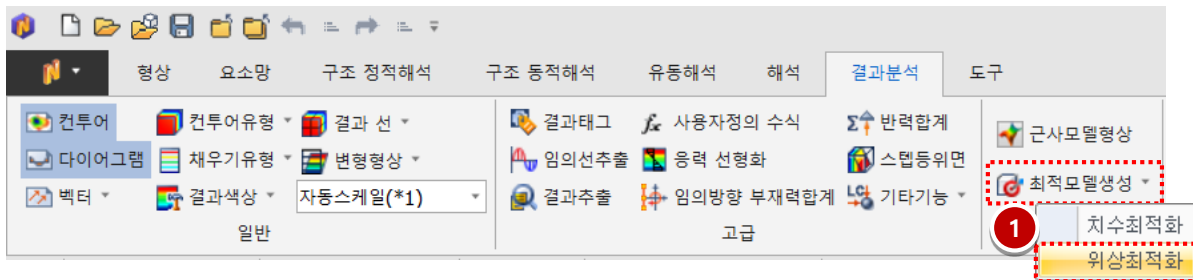
2. 해석케이스 : 위상최적설계

스텝 : 마지막 스텝 선택.

3. 재료밀도 0.3 입력

4. [계산] 클릭

- 💡 위상 최적화 결과를 이용해 모델을 생성할 수 있다.
- 💡 최적설계 모델생성창에서 재료밀도 항목에서 입력하는 값은 '목표 부피 /100'을 추천한다.
- 💡 결과 요소망으로 생성된 파일을 STL 로 저장할 수 있다.

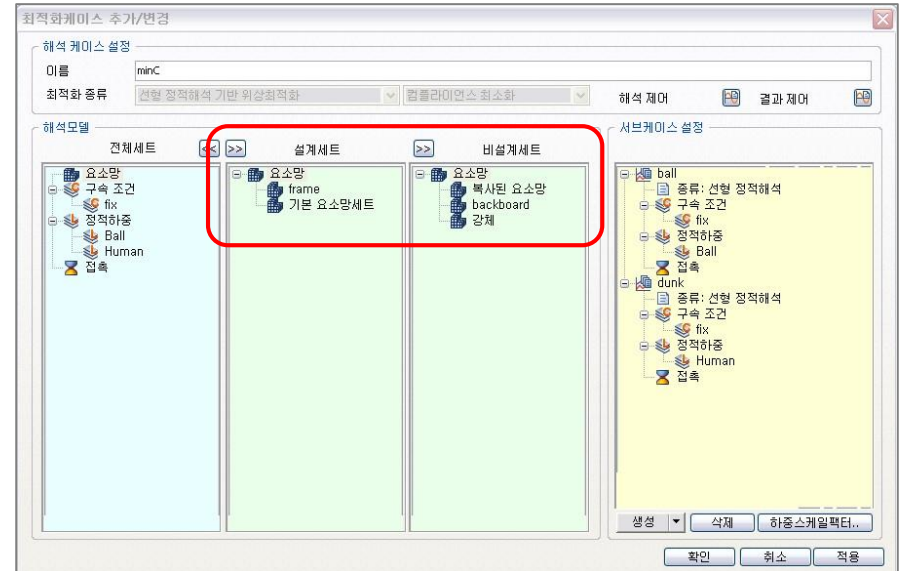
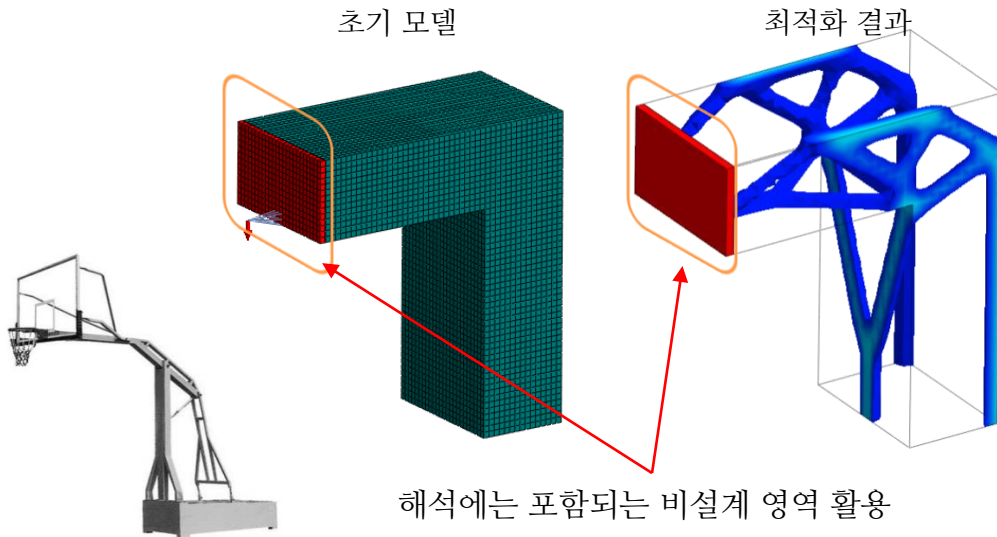


설계세트/비설계세트

✓ 비설계세트

- 1) 하중이 가해지거나, 경계조건이나 파트간 연결이 분명한 부분 혹은 이미 설계가 되어 최적화가 필요 없는 부분
- 2) 설계세트와 비설계세트 모두 해당 해석에는 포함되지만, 비설계세트에 포함된 요소들은 요소밀도가 항상 1로 고정된다.
- 3) 최적화에서 제외되어 고정되므로 제조조건에 영향을 받지 않는다.

✓ 2D/3D 이외의 요소들은 최적화 진행 중에 자동으로 비설계세트로 인식되지만 최적설계 후처리에 서 해석모델을 생성할 때는 비설계세트로 인식되지 않아, 자동 재생성된 해석 모델에서 제외될 수 있으니 유의해야 한다.



설계 제약조건 설정

✓ 위상 최적화 해석 시 설계 제약 조건을 설정하며, 해당 제약 조건을 만족하는 형상을 출력한다.

1, 컴플라이언스 최소화

: 목표 부피를 만족하는 형상 중 최대 강성을 출력

설계 제약조건

목표 부피(%)

부피계산시 비설계세트 포함

2, 부피 최소화

1) 변위 제약 조건

: 특정 위치의 변위가 설정한 값 이하를 갖는 부피의 최적화 형상 출력

설계 제약조건

제약조건 종류 응력 변위

변위 제약조건

	센서	조건	값
*			

2) 응력 제약 조건

: 해석 모델의 안전율이 설정한 값을 초과하지 않는 응력까지 갖는 부피의 최적화 형상 출력

설계 제약조건

제약조건 종류 응력 변위

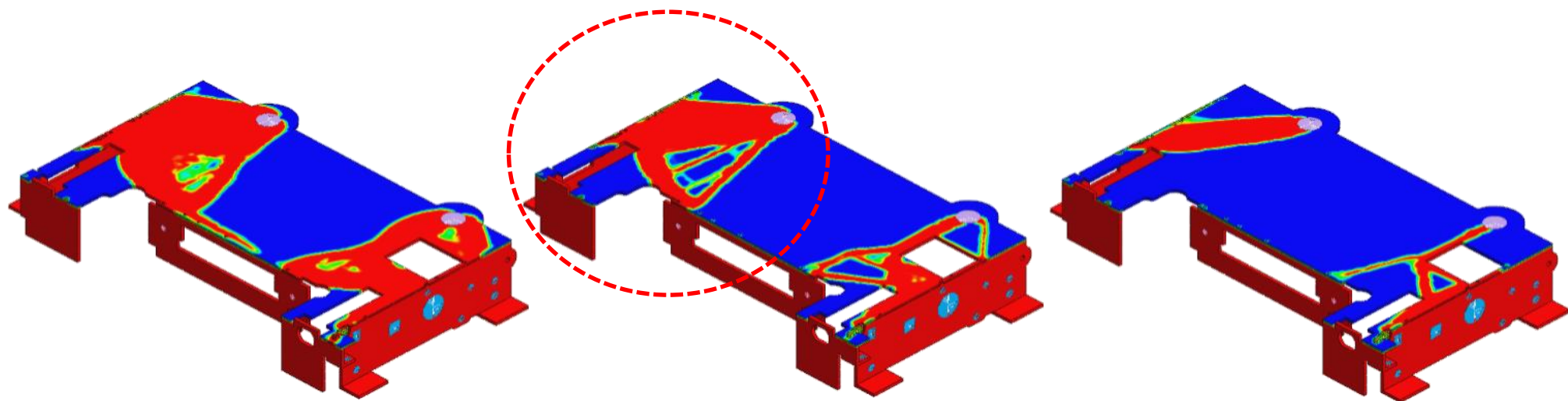
응력 제약조건

안전율

부피비에 따른 결과 활용방법

부피비 구속조건을 얼마로 줄 것인가?

- ✓ 방법1 : 경량화 목표 수준이 있다면 이에 맞게 설정
- ✓ 방법2 : 기존 설계안이 있는 경우 → 전체 설계영역에 대한 비율로 설정
- ✓ 방법3 : 80%~10% 까지 10%씩 바뀌가면서 확인 → 위치별 중요성 파악에 활용



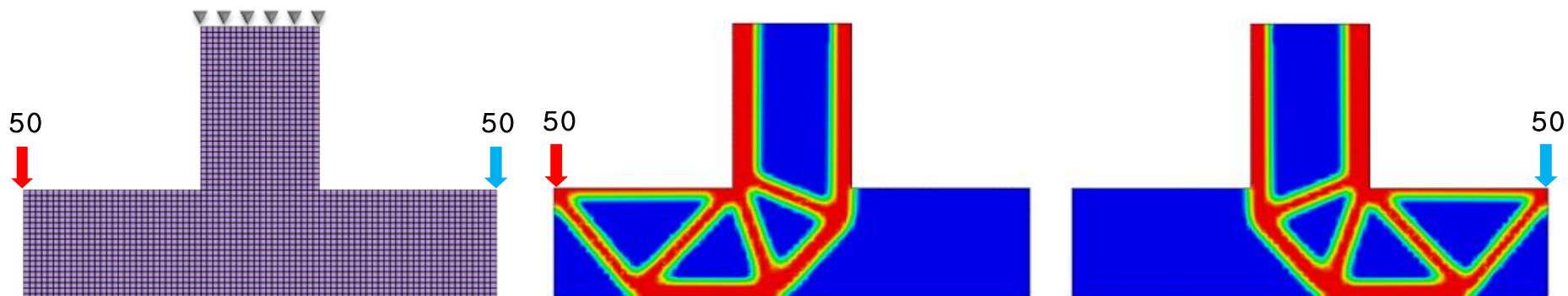
[70% 사용]

[60% 사용]

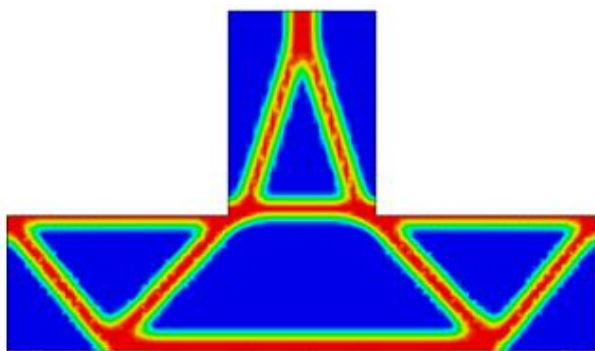
[50% 사용]

다중 하중의 활용

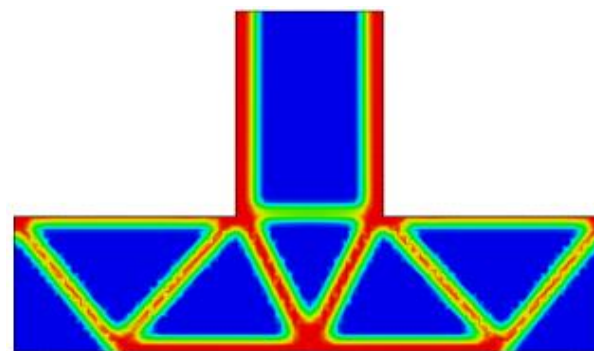
✓ 동시 재하 vs. 개별 재하 결과 차이



<각 하중별로 최적화한 결과>



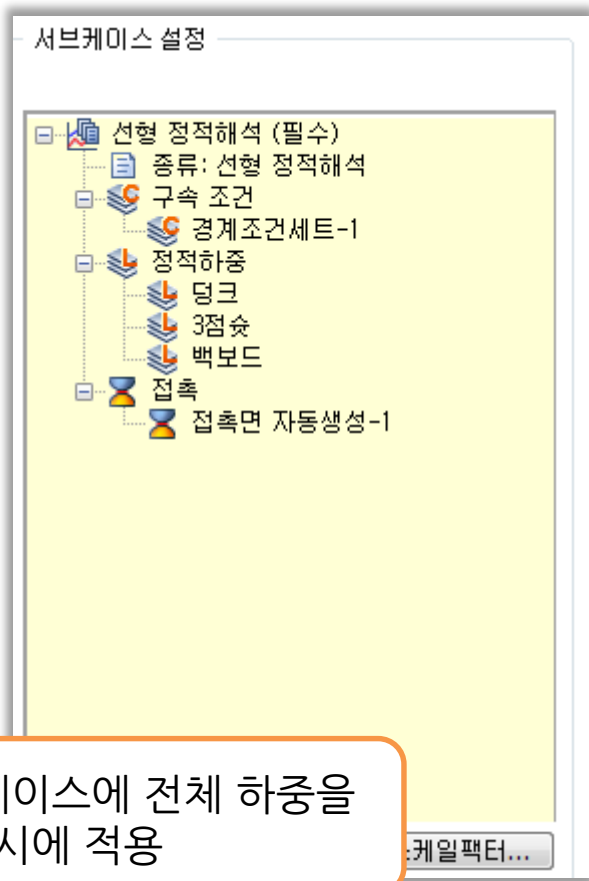
<동시 재하한 경우>



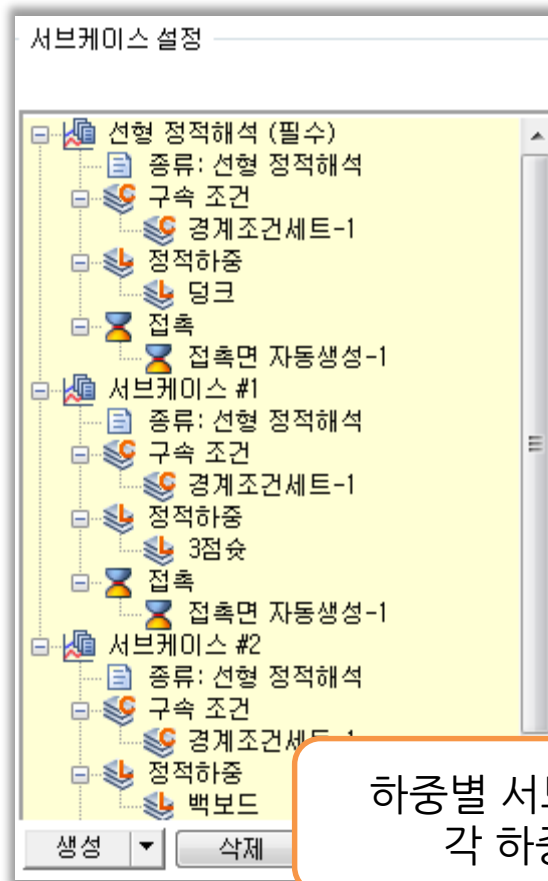
<다중하중으로 재하한 경우>

다중 하중의 활용

<동시 재하>



<개별 재하>



최적 설계 모델 생성 시 재료 밀도 입력 기준

최적설계 모델생성

해석 케이스: 농구골대
 스텝: TOPOLOGY_RESULT:ITER= 46

재료밀도

0.01 0.04 1

부피계산

계산

최적화 전 부피	1.2396375e+010	mm ³
최적화 후 부피	2.76018271e+009	mm ³
감소율	78	%

결과 요소망

해석 모델 (요소망, 재료/특성, 하중/경계)
 표면 요소망

요소 크기: 0 mm

기존절점과 병합 공차: 1e-005

모델 파일 경로

농구골대_해석_Optimized.nfx

STL 파일로 출력 확인 취소

<컴플라이언스 최소화>

설계 제약조건

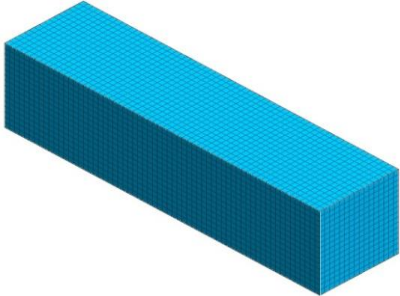
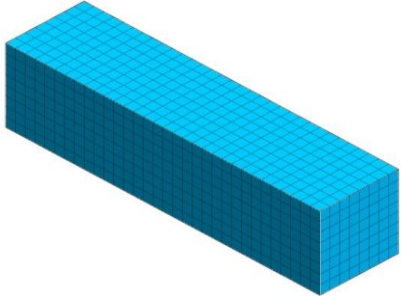
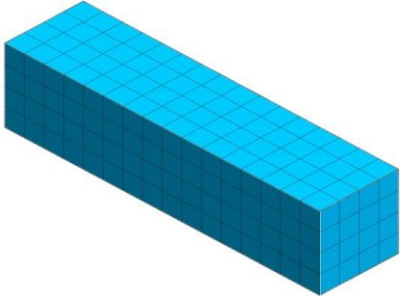
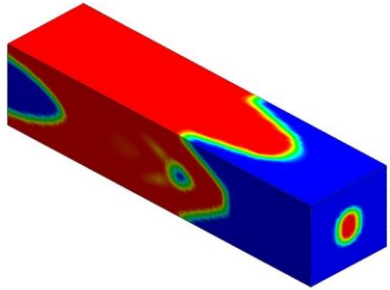
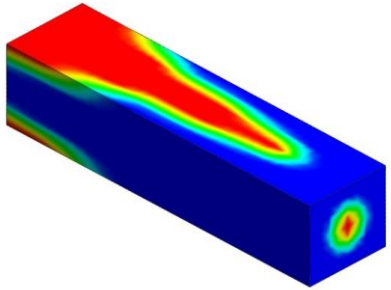
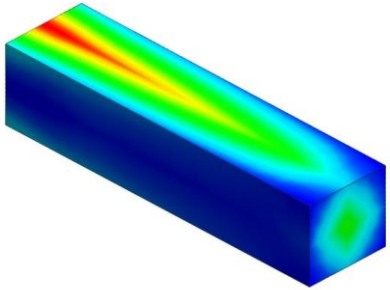
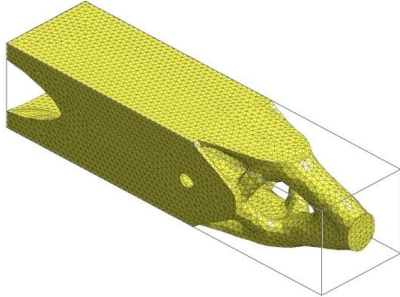
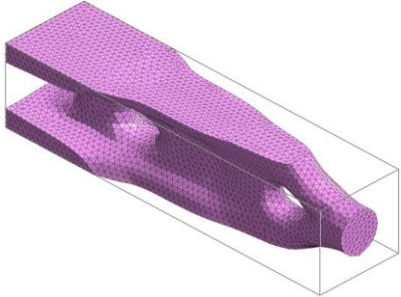
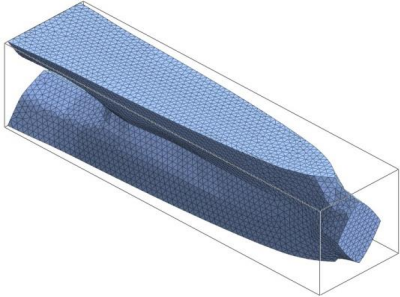
목표 부피(%) 30

부피계산시 비설계세트 포함

목표 부피 값 입력

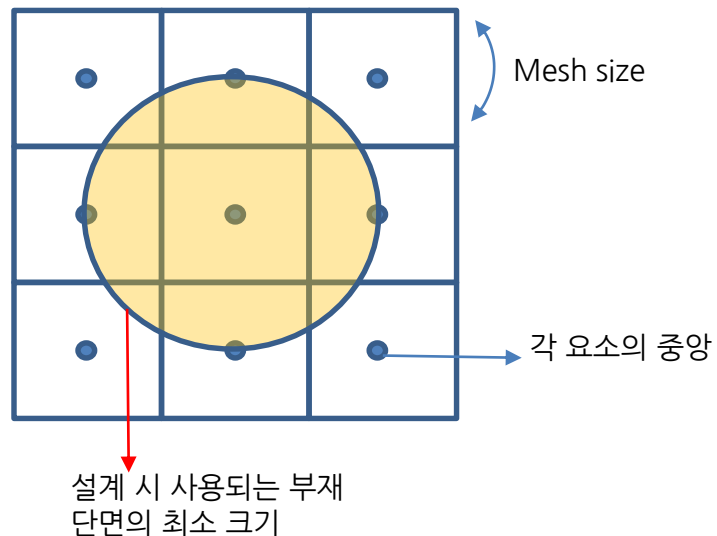
<부피 최소화>

- 재료밀도
- ITER=112 (OBJ=1.957e-001)
- 재료밀도
- ITER=113 (OBJ=1.957e-001)
- 재료밀도
- ITER=114 (OBJ=1.957e-001)** *마지막 ITER의 OBJ 값 입력*
- 재료밀도
- ITER=115 (OBJ=1.957e-001)
- 재료밀도

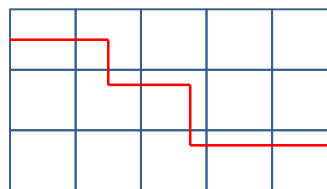
	Case 1	Case 2	Case 3
Mesh size	0.5	1	2
Mesh 생성 결과			
최적화 결과			
밀도 0.3 출력 결과			

해석 시 메쉬 사이즈 선정 기준

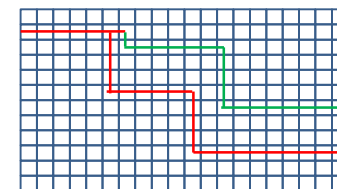
> 설계 시 사용되는 부재 단면의 최소 길이의 1/2 또는 1/3 크기로 메쉬 생성할 것.



참고) 동일 형상에서 메쉬 사이즈가 다를 경우 최적화 결과의 레이아웃 경로의 차이로 결과에도 차이를 보인다.

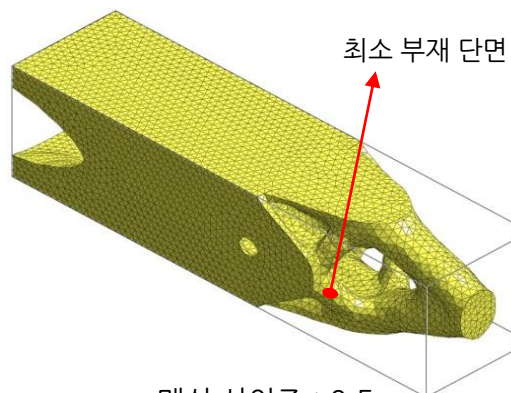


메쉬 사이즈 클 경우
: 최적화 경로가
매우 단순/제한적임

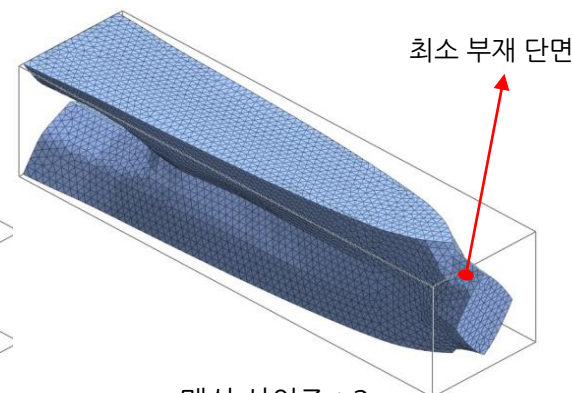


메쉬 사이즈 작을 경우
: 다양한 방향으로 최적화
경로가 생성될 수 있음

> 아래와 같은 최적화 결과에서 최소 부재의 단면 크기는 메쉬 사이즈가 작을수록 작다.



메쉬 사이즈 : 0.5



메쉬 사이즈 : 2

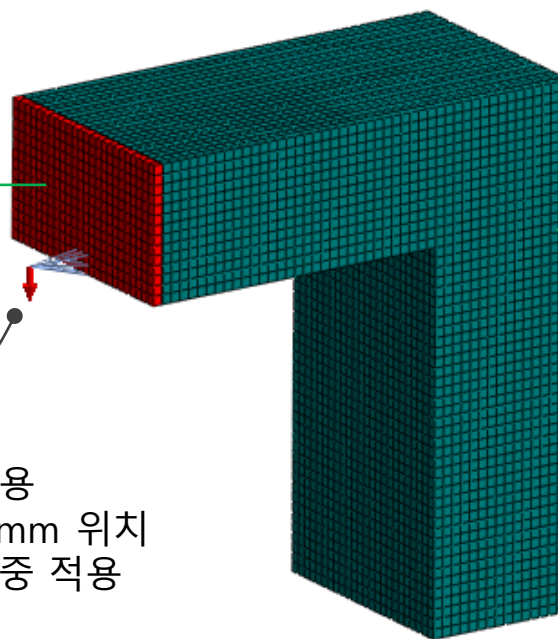
해석 목적

- 농구에서 덩크슛을 할 때처럼 과도한 하중을 받을 때 어떤 설계안이 가장 좋을까?
- 목적함수 : 컴플라이언스 최소화 (강성최대화)
- 구속조건 : 부피비 (4%)



규격이 정해져 있는 링, 백보드
 → 비설계영역으로 설정
 → 아크릴 재질

강체요소 생성
 → 집중하중 적용
 → -450,0,3050mm 위치
 → 2000N의 하중 적용

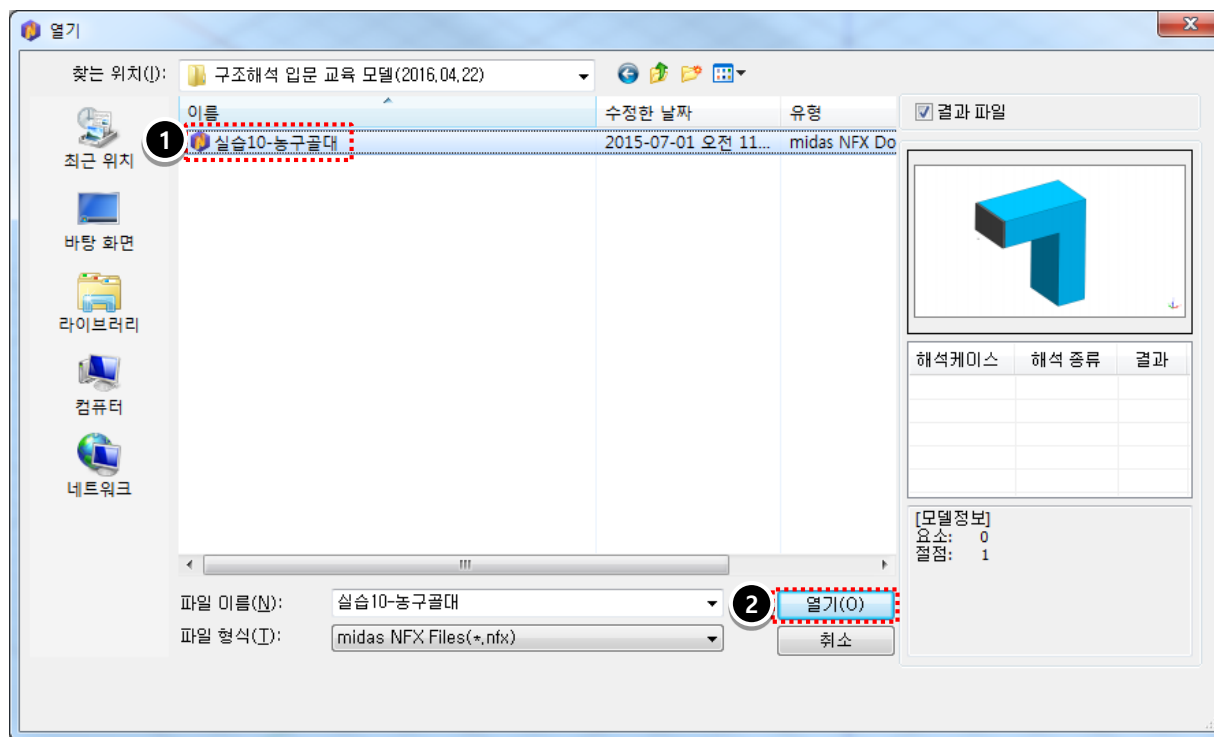


설계영역 설정
 Steel재질

하단부 고정구속

작업순서

1. 실습10-농구골대.nfx 클릭
2. [열기] 클릭



작업순서

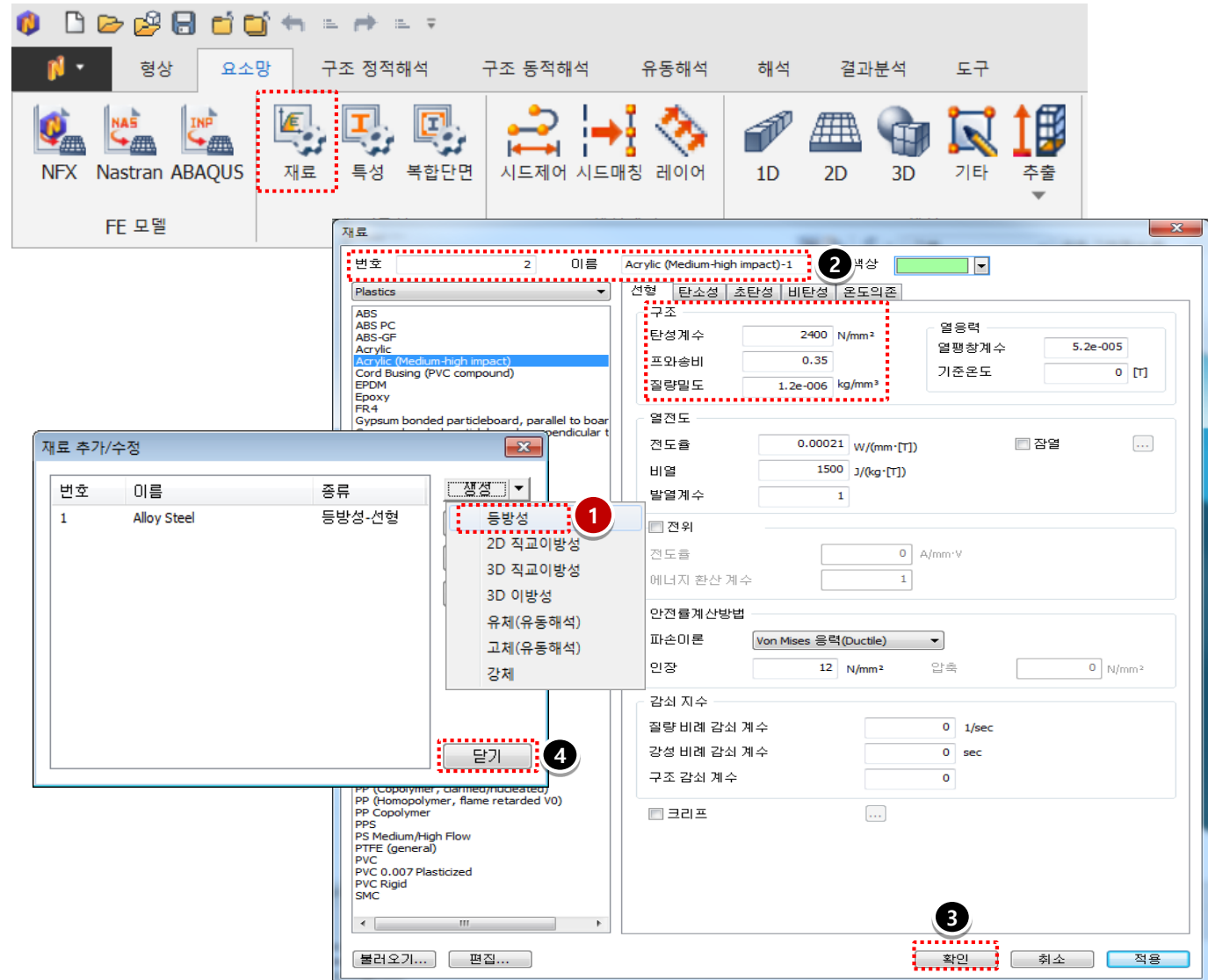
1. 생성 >> 등방성 클릭.

2. 재질 입력

번호	2
이름	Acrylic (Medium-high impact)-1
탄성계수	2400 (N/mm ²)
프와송비	0.35
질량밀도	1.2e-006(kg/mm ³)

3. [확인] 버튼 클릭.

4. [닫기] 버튼 클릭.



작업순서

1. 생성 >> 3D 클릭.

2. 특성입력

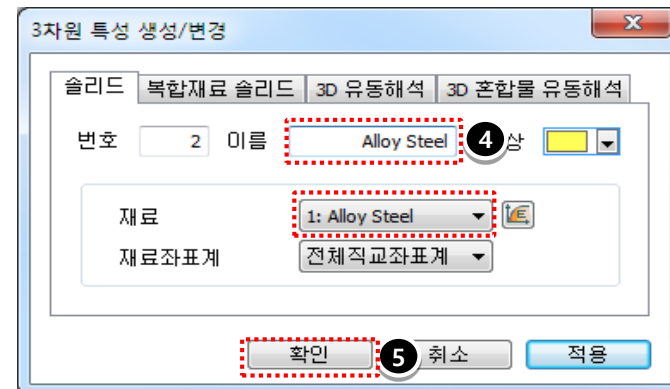
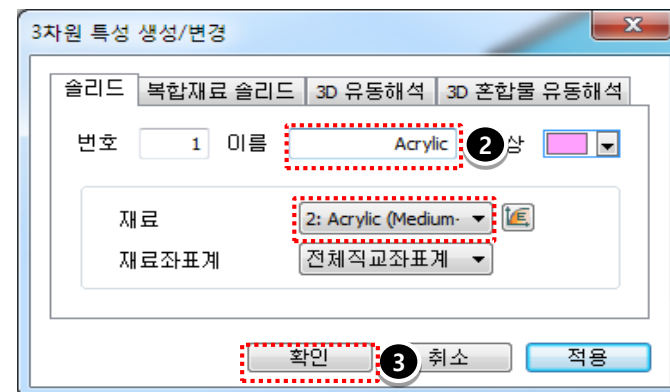
번호	1
이름	Acrylic
재질	2 : Acrylic (Medium-high impact)-1

3. [확인] 버튼 클릭.

4. 특성입력

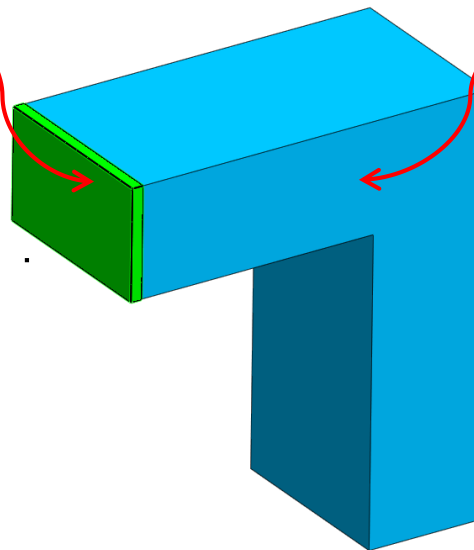
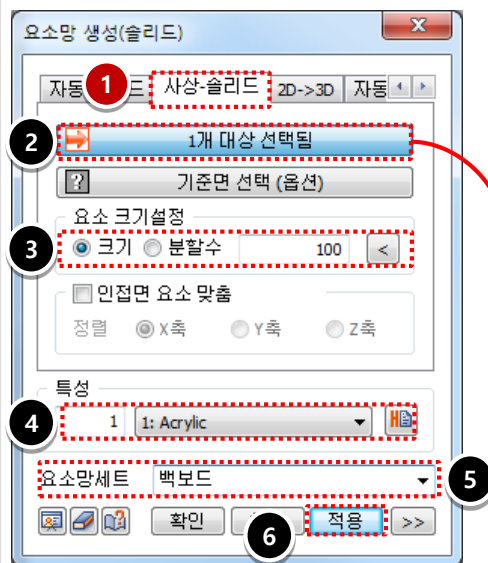
번호	2
이름	Alloy Steel
재질	2 : Acrylic (Medium-high impact)-1

5. [확인] 버튼 클릭



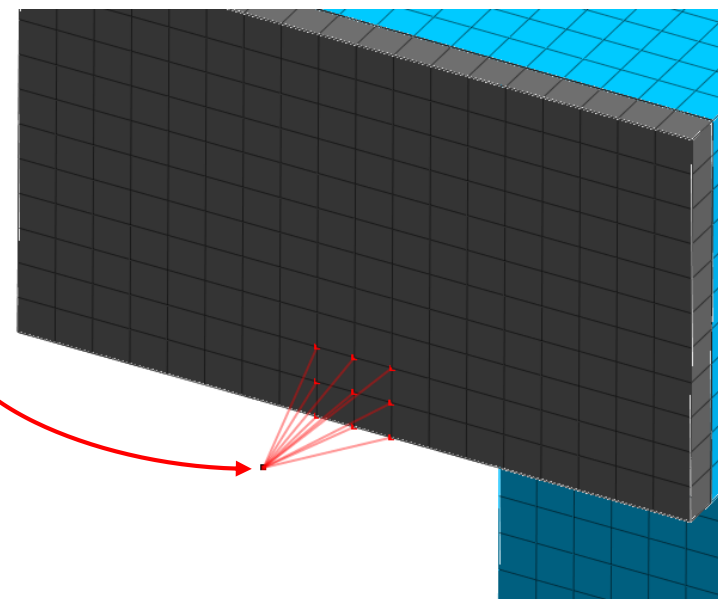
작업순서

1. 사상-슬리드 선택
2. 대상 선택 : 모델 (1개) 선택
3. 요소 크기: "100" 입력.
4. 특성 "Acrylic" 입력.
5. 요소망 세트 "백보드"으로 입력
6. [적용] 클릭
7. 대상 선택 : 모델 (1개) 선택
8. 요소 크기: "100" 입력.
9. 특성 "Alloy Steel" 입력.
10. 요소망 세트 "구조물"으로 입력
11. [적용] 클릭



작업순서

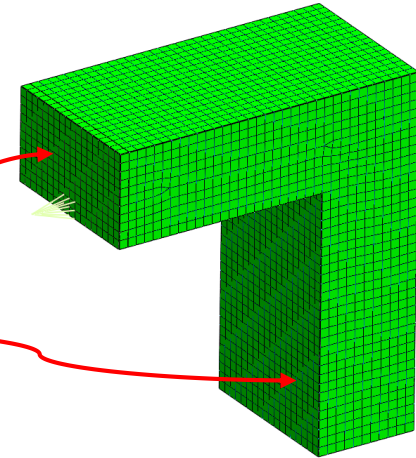
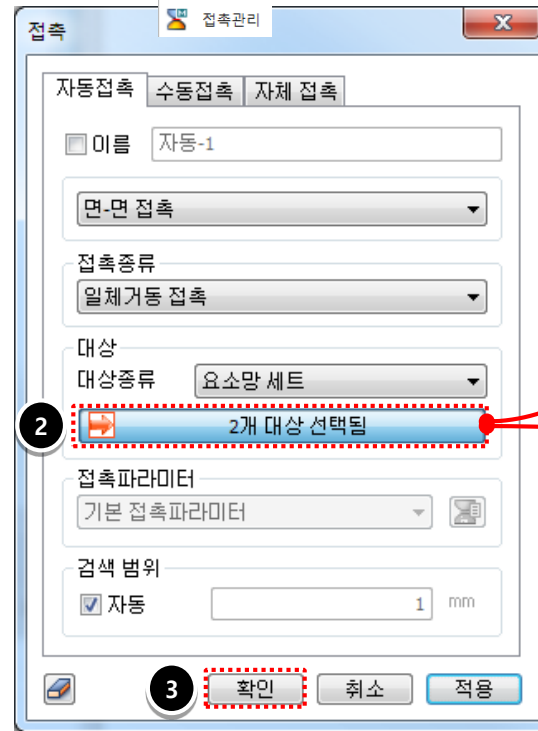
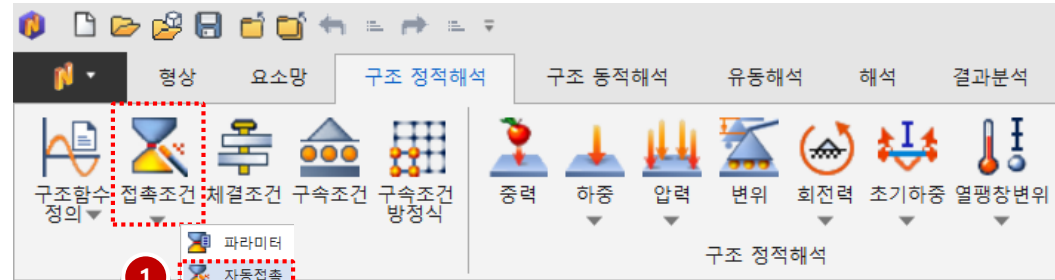
1. 요소 리본메뉴 >> 기타 클릭
2. 그림을 참고하여 주 절점 선택
3. 그림을 참고하여 종속 절점 선택
4. [확인] 버튼 클릭



💡 골대를 별도로 모델링 하지 않고, 골대 위치에서부터 백보드까지 강체(Rigid element)로 연결하여 골대에서 받는 하중을 백보드로 전달한다.

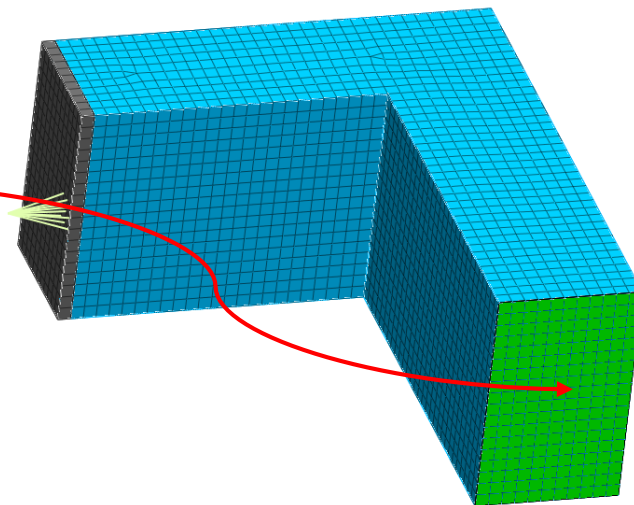
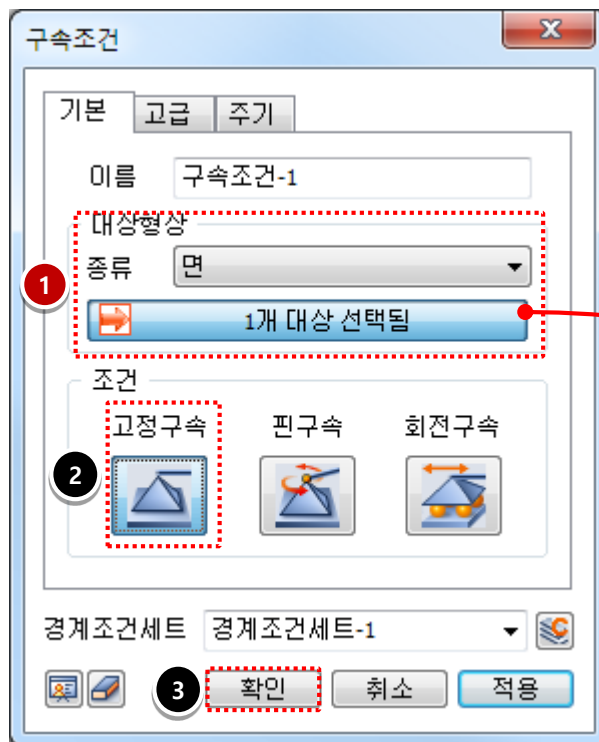
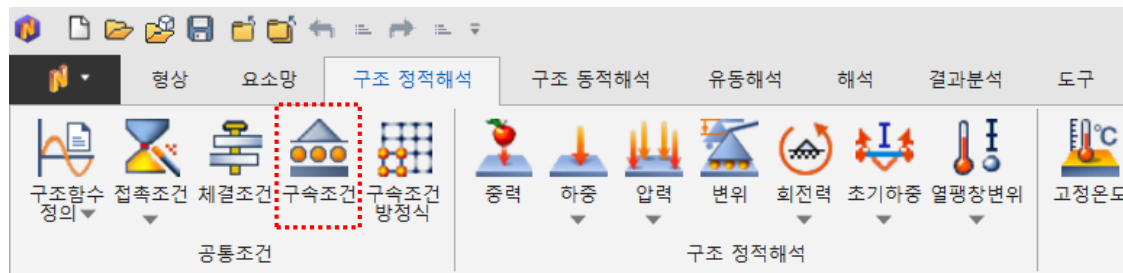
작업순서

1. 접촉 리본메뉴 >> 자동접촉 클릭
2. 그림을 참고하여 2개 파트 선택
3. [확인] 버튼 클릭



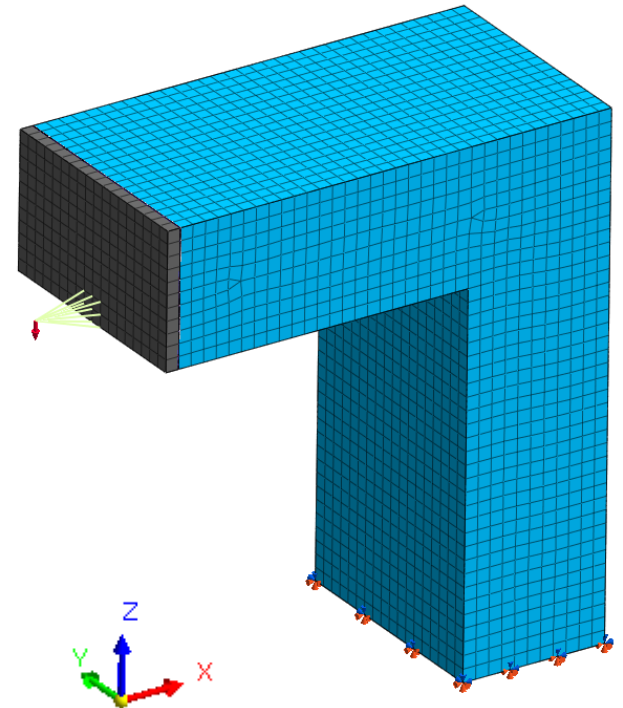
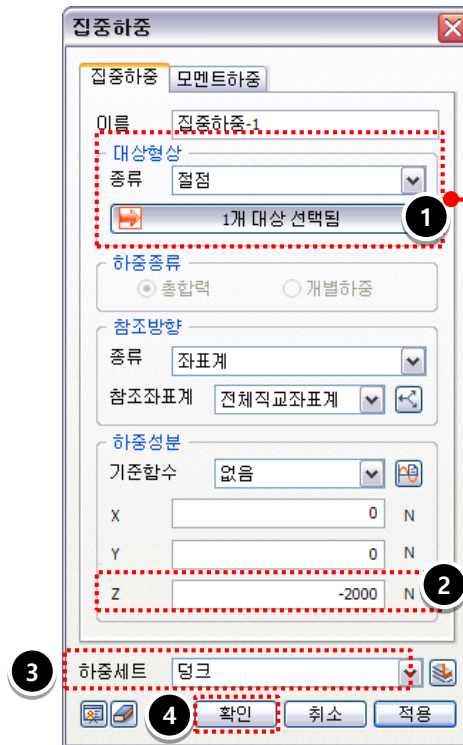
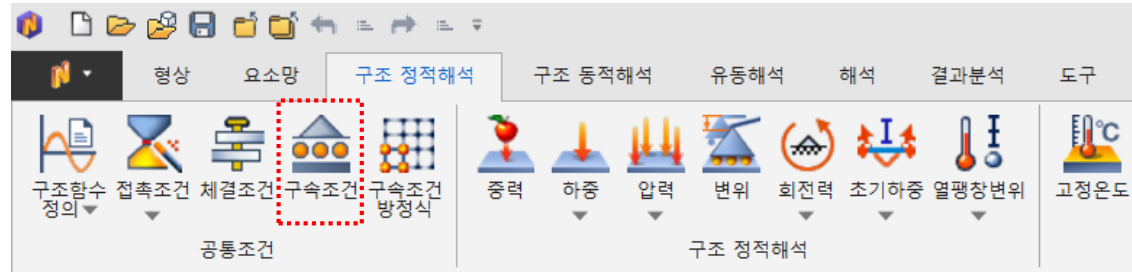
작업순서

1. 대상형상 "면" 선택
2. 조건 "고정구속" 선택
3. [확인] 버튼 클릭.



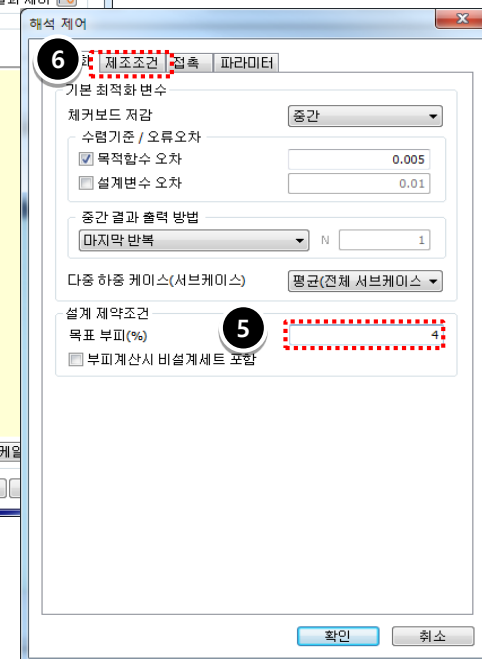
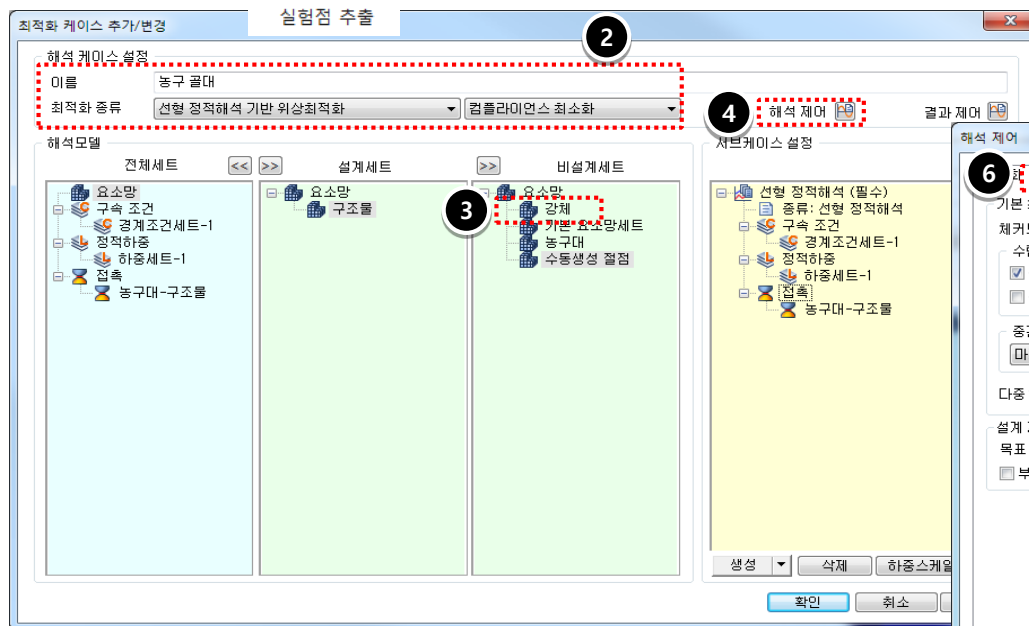
작업순서

1. 대상형상 절점 선택
2. Z 방향 하중 -2000N 입력
3. 하중세트 "덩크" 입력
- 3.[확인] 버튼 클릭.



작업순서

1. 최적설계 > 위상최적설계 클릭
2. 이름 : 농구골대 입력.
최적화 종류:
[선형 정적해석 기반 위상최적화]
[컴플라이언스 최소화] 선택.
3. "구조물"요소망 세트를 제외한 모든
요소망 세트를 비설계 세트로 이동
4. [해석 제어] 클릭
5. [목표 부피] 4% 입력.
6. 제조조건 탭 클릭

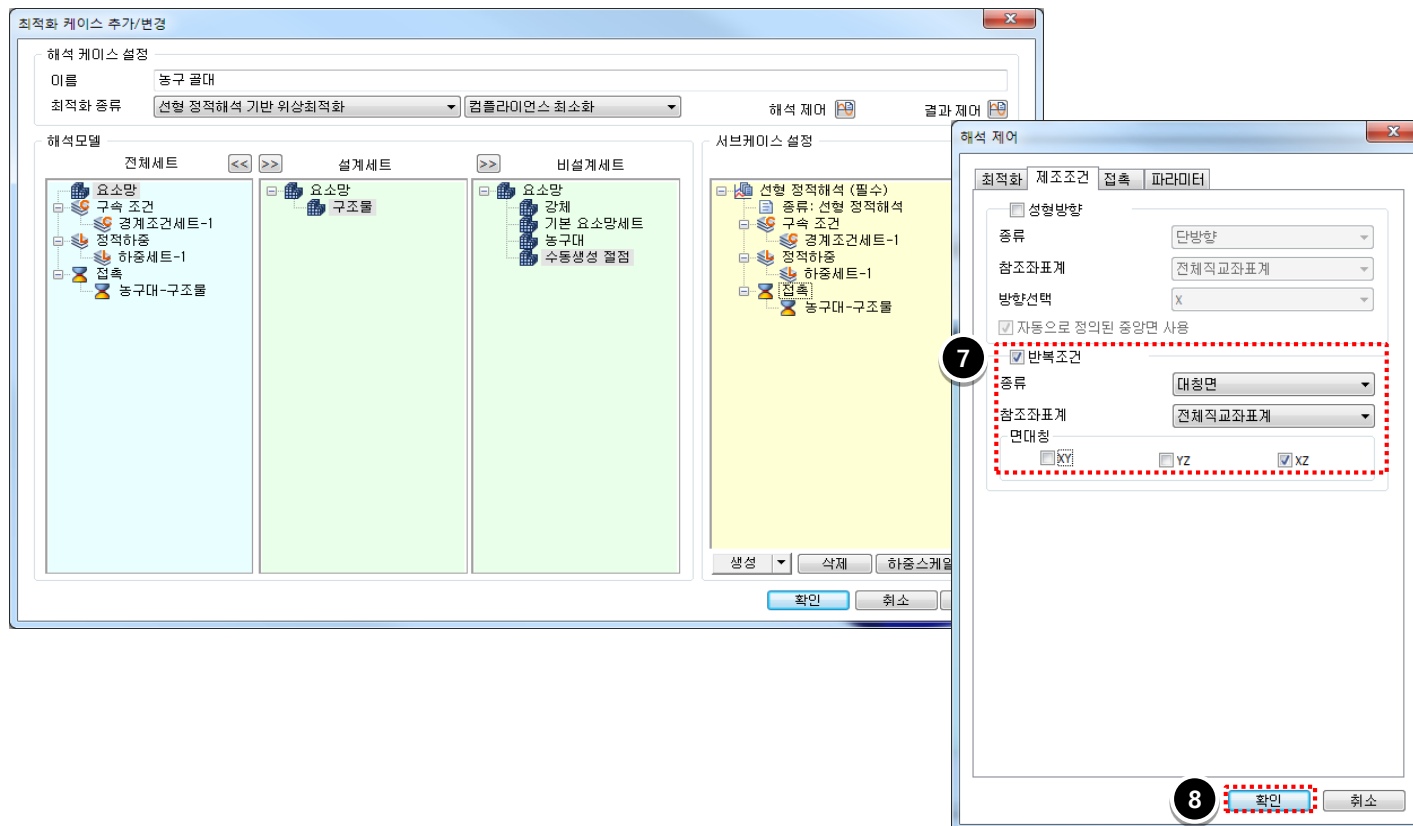


작업순서

7. 반복조건 입력

종류	대칭면
참조좌표계	전체직교좌표계
면대칭	XZ

8.[확인] 클릭



작업순서

1. 결과분석 탭 > 최적모델생성

> 위상최적화 클릭

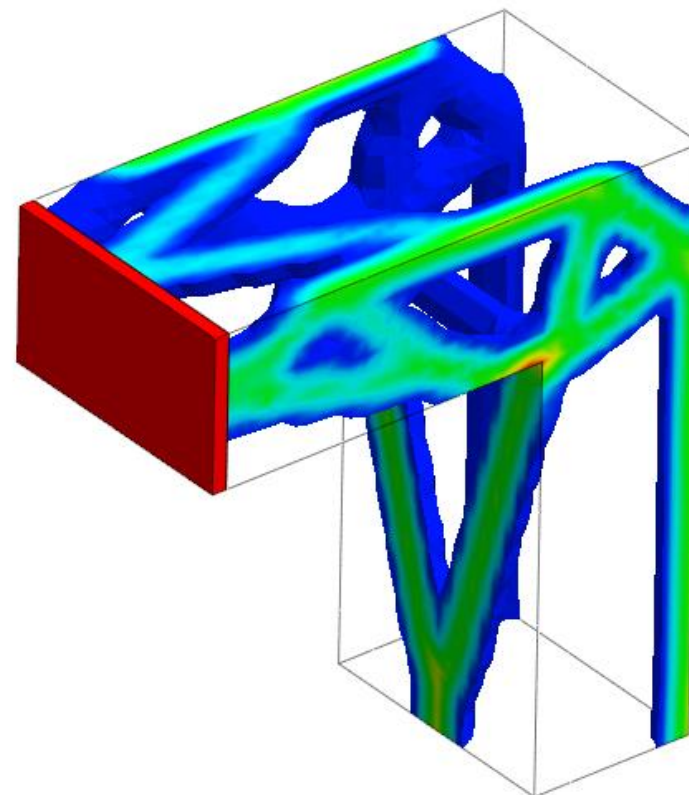
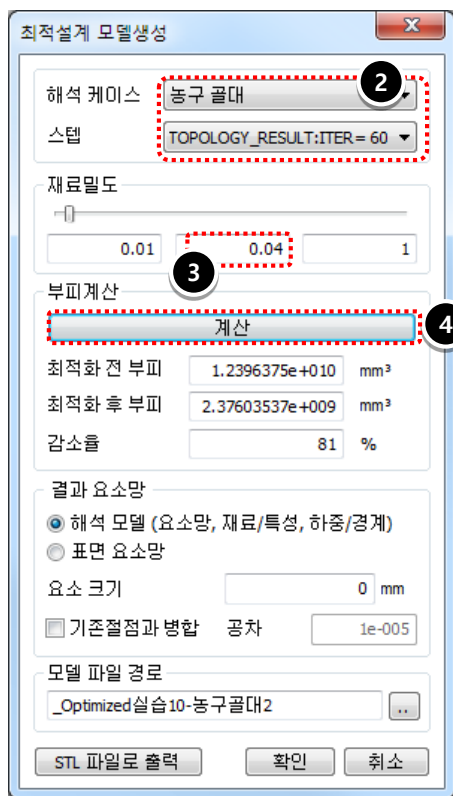
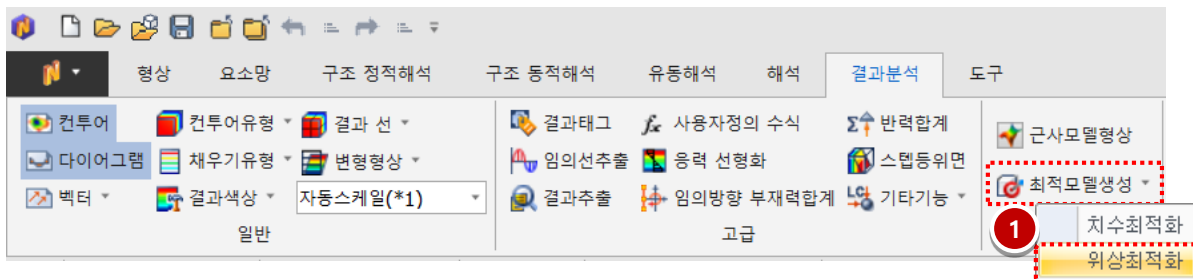
2. 해석케이스 : 위상최적설계

스텝 : 마지막 스텝 선택.

3. 재료밀도 0.04 입력

4. [계산] 클릭

- 💡 위상 최적화 결과를 이용해 모델을 생성할 수 있다.
- 💡 최적설계 모델생성창에서 재료밀도 항목에서 입력하는 값은 '목표 부피 /100'을 추천한다.
- 💡 결과 요소망으로 생성된 파일을 STL 로 저장할 수 있다.



A0. 피로해석 상세 기능

피로해석 방법

피로 해석

해석 데이터

해석 방법 하중 이력을 이용한 SN법

해석 세트 Bending

응력 옵션

응력 종류 등가응력(Von Mises)

평균 최대 최소

빠른 집계법 사용 : 응력 레벨 개수 32

특성

특성 정의...

평균응력보정

None Goodman Gerber

출력 종류

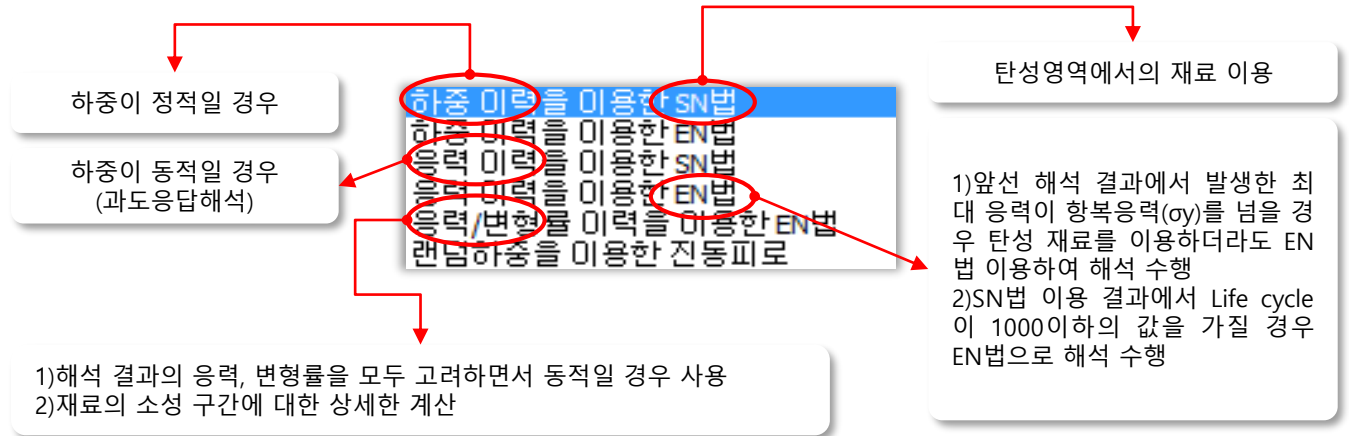
손상도 피로 수명

피로 하중

하중/응력 이력 정의...

하중 사이클 수 1

무한 수명 1e+009 sec



가변하중	피로해석 종류	추천 구조해석 종류	추천 재료 특성
하중이력	SN, EN	선형 정적	선형 탄성
응력이력	SN, EN	선형 과도응답	선형 탄성
응력/변형률 이력	EN	비선형 동해석	선형 탄성/탄소성
랜덤 하중	진동피로	랜덤 해석	선형 탄성

응력 옵션

피로 해석

해석 데이터

해석 방법: 하중 이력을 이용한 SN법

해석 세트: Bending

응력 옵션

응력 종류: 등가응력(Von Mises)

평균 최대 최소

빠른 집계법 사용: 응력 레벨 개수

32

특성

특성 정의...

평균응력보정

None Goodman Gerber

출력 종류

손상도 피로 수명

피로 하중

하중/응력 이력: 정의...

하중 사이클 수: 1

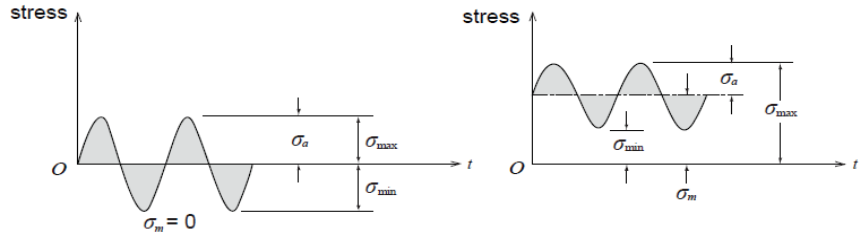
무한 수명: 1e+009 sec

확인 취소 적용

등가응력(Von Mises)
 부호 고려한 Von Mises
 주응력
 최대 전단력

최대응력, 최소응력의 값의 절대값을 이용하여 평균 응력을 계산한다.
 최소응력이 음수의 값을 가질 경우 평균 응력 계산 값이 작게 나와서 실제와 다른 피로 해석 결과를 보일 수 있다.

최대응력, 최소응력의 부호를 모두 고려하여 평균 응력을 계산한다.
 최소 응력의 값이 음수 일 경우 사용한다.
 압축 현상이 발생할 경우에 고려, 하중 이력을 완전 반복으로 설정할 경우에는 반드시 부호고려해야 함



Ex) 왼쪽의 경우 부호 고려한 Von Mises 를 이용하며, 오른쪽의 경우 등가응력 또는 부호 고려한 Von Mises 응력 이용한다.

평균 최대 최소

2D 요소를 이용한 결과에서 응력 결과 중 선택적으로 이용

빠른 집계법 사용: 응력 레벨 개수

32

1) 실험 값을 통해 얻은 데이터를 기반으로 하중을 이용할 경우 선택적으로 사용한다.
 2) 일반적으로 실험 데이터가 많기 때문에 효율적인 해석을 수행하기 위해 빠른 집계법을 선택하며 32이라는 숫자를 기본으로 사용한다.

특성

물성치 입력란의 "안전률계산방법" 내에 있는 인장 값이 자동 적용됨

피로 해석

해석 데이터
 해석 방법: 하중 이력을 이용한 SN법
 해석 세트: Bending
 응력 옵션
 응력 종류: 등가응력(Von Mises)
 평균 최대 최소
 빠른 집계법 사용: 응력 레벨 개수 32

특성
 특성 정의...

평균응력보정
 None Goodman Gerber

출력 종류
 손상도 피로 수명

피로 하중
 하중/응력 이력: 정의...
 하중 사이클 수: 1

무한 수명: 1e+009 sec

확인 취소 적용

피로 특성 정의

재료: Alloy Steel

인장강도: 723.83 N/mm²

직접입력
 피로한계응력: 0 N/mm²
 한계사이클: 0

함수
 S-N 곡선: ...

추가 변경 삭제

No	재료	종류

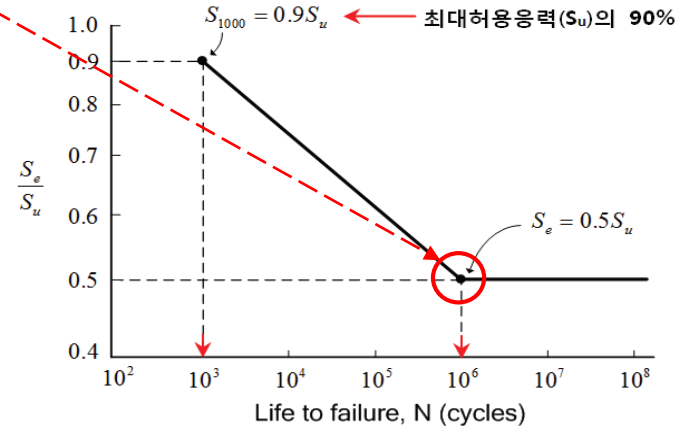
닫기

실험을 통해 얻은 S-N 곡선을 입력

안전률계산방법

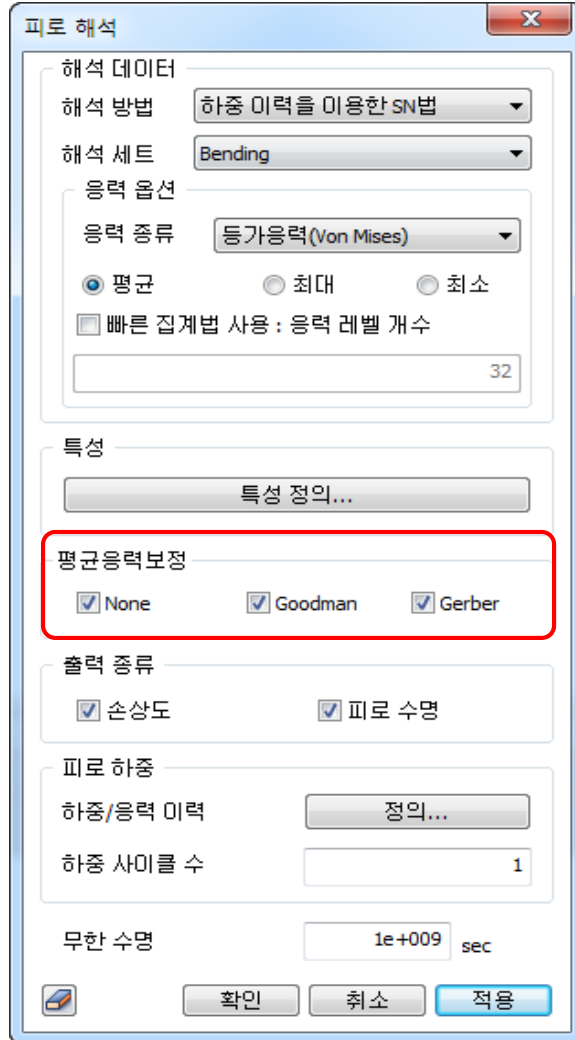
파손이론: Von Mises 응력(Ductile)

인장: 723.83 N/mm² 압축: 0 N/mm²

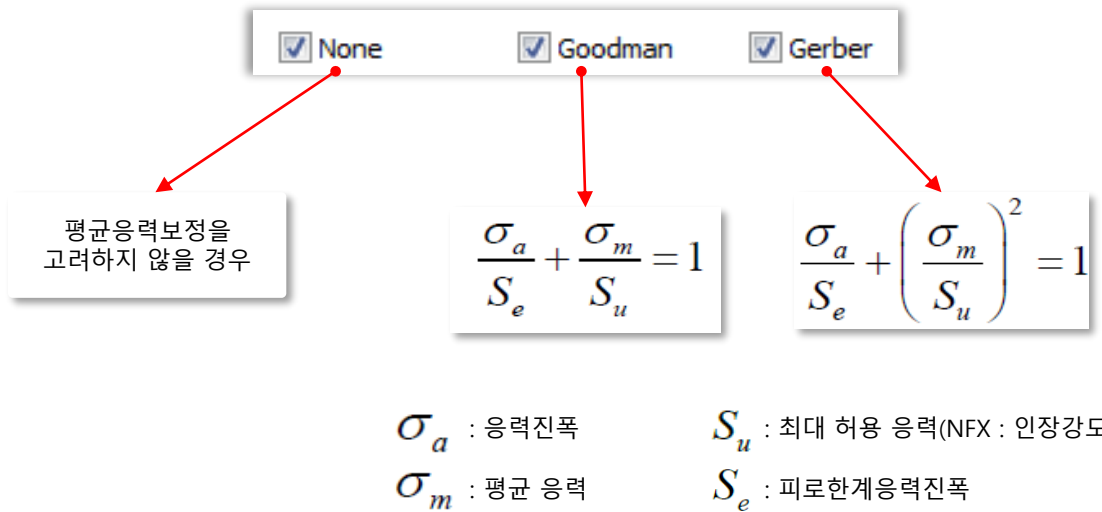
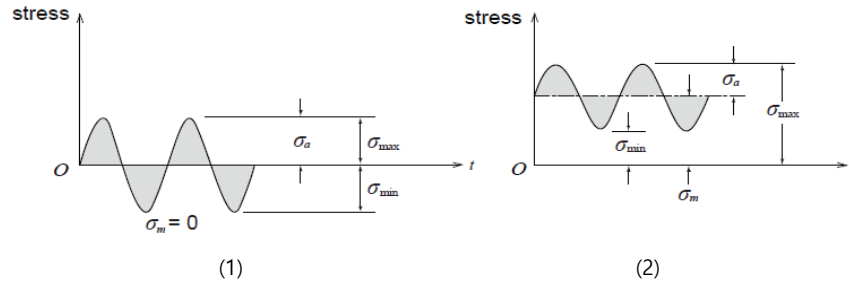


직접입력 시 10^3 의 값은 인장강도 값의 0.9를 곱한 값이 자동 적용, 피로한계응력 및 한계사이클만 직접 입력한다.
 (참고) 피로한계응력 : 인장강도 * 0.5, 한계사이클 : 10^6 입력

평균 응력 보정



(1)의 경우는 평균 응력이 "0"의 값을 가지나
 (2)의 경우 특정 값의 평균 응력 값을 가진다.
 이와 같이 실제 평균 응력 계산 시 최대 응력과 최소 응력의 부호에 따라 특이성이 발생할 수 있기 때문에
 평균응력보정의 기법에 따라 보다 정확한 피로수명해석을 수행한다.



출력 종류

피로 해석 [X]

해석 데이터

해석 방법 하중 이력을 이용한 SN법

해석 세트 Bending

응력 옵션

응력 종류 등가응력(Von Mises)

평균 최대 최소

빠른 집계법 사용 : 응력 레벨 개수

32

특성

특성 정의...

평균응력보정

None Goodman Gerber

출력 종류

손상도 피로 수명

피로 하중

하중/응력 이력 정의...

하중 사이클 수 1

무한 수명 1e+009 sec

손상도

1) 주어진 하중에 의한 피로의 손상 정도를 %로 표시
 2) 100%가 발생한 지점은 1회 작용 하중에 의해 재료가 파단됨을 의미함

하중/응력 이력

피로 해석

해석 데이터

해석 방법: **하중 이력을 이용한 SN법**

해석 세트: **Bending**

응력 옵션

응력 종류: **등가응력 (Von Mises)**

평균 최대 최소

빠른 집계법 사용: 응력 레벨 개수: 32

특성

특성 정의...

평균응력보정

None Goodman Gerber

출력 종류

손상도 피로 수명

피로 하중

하중/응력 이력 정의...

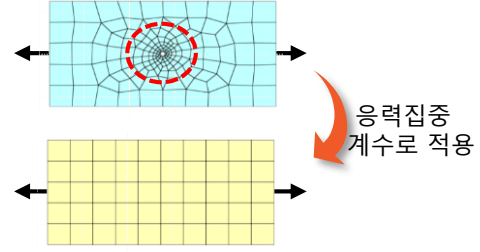
하중 사이클 수: 1

무한 수명: 1e+009 sec

확인 취소 적용

1) 2D 형상에서 필렛, notch, 구멍 등에서 균열이 발생되나 이와 같은 형상에서는 응력이 정확히 표현되지 못할 경우 피로 수명 결과에 큰 영향을 미칠 수 있다. 해당 형상을 제거한 뒤 집중계수를 통해 형상 특성을 정의한다.

2) 3D 형상에서는 형상 그대로 주로 사용하기 때문에 "1"의 값을 그대로 사용한다.



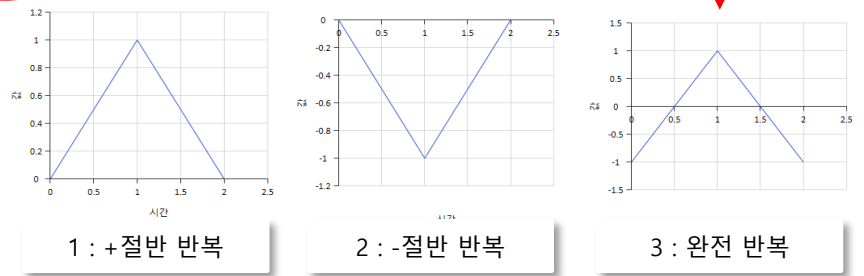
하중/응력 이력 정의

번호	이름	집중계수	피로 하중 함수
1	1: 선형 정적해석 (필수)	1	+ 절반 반복

직접 입력

피로 하중 함수 정의

초기화 확인 취소



A1. 요소의 이해

분류 기준

✓ 요소는 하위 절점(좌표 정보)이 정의하는 기하학적 차원(특성)에 따라 분류할 수 있다.

✓ 요소별 특성(추가 요구사항)을 반드시 입력해야 한다.

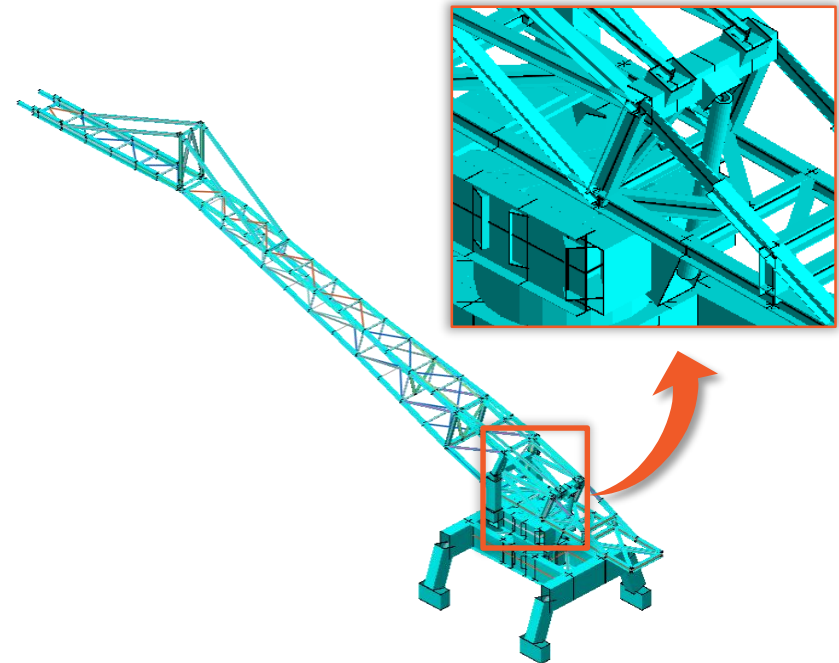
1) 요소의 역학적 거동은 고려하지 않고 순수하게 기하학적 측면에서 요구되는 추가 입력 사항

1D 요소에서는 두 개의 양끝 절점이 길이만 정의할 수 있으므로, 실제 3차원 모델의 부피를 계산하기 위해 추가적으로 단면적(단면형상) 정보가 필요
유한요소법을 올바르게 활용하기 위해 가장 중요한 핵심사항은 올바른 요소의 선택과 사용이며, 이를 위해서는 각 요소의 거동 특성(활용, 제약사항)과 하위 절점의 자유도(종류)에 관한 이해가 필요

분류	실제 모델	유한요소 표현 (절점으로 정의되는 기하특성)	추가 요구사항 (실제부피 계산)
1D	 봉(트러스) 보	 길이 (L)	면적 (A, 단면형상) → $V = L \times A$
2D	 셸, 평면응력, 평면변형률, 축대칭 등	 면적 (A)	두께 (t) → $V = A \times t$
3D	 솔리드	 부피 (V)	없음 (부피계산 가능)
기타	스프링, 질량, 강체연결 등	-	

1D 요소

- ✓ 2개의 양 끝 절점으로 정의되는 1차원 선요소
- ✓ 단면에 치수에 비하여 길이가 긴 부재가 굽힘 변형을 받을 때 주로 사용
(단면의 폭/높이비가 대략 1/5 보다 커질 경우 전단변형에 의한 영향이 커지므로 2D 또는 3D요소를 사용하는 것이 바람직하다.)



1D 요소의 종류

분류	봉/트러스 (Rod)	바(Bar)	파이프(Pipe)
적용	인장/압축 거동만 가능한 이력부재(Two Force Member)	굽힘(Beading) 거동이 가능한 부재	
절점 개수	2개(양끝 절점의 직선 연결)		
형상			<p>자유도는 바(bar) 요소와 동일 → 파이프 요소의 단면정의</p>
절점당 자유도	<p>4개</p> <ul style="list-style-type: none"> →병진 3개(Tx, Ty, Tz) →비틀림(Torsion : Rx) *회전 자유도 없음 	<p>6개</p> <ul style="list-style-type: none"> →병진 3개(Tx, Ty, Tz) →회전 3개(Rx, Ry, Rz) *바요소는 단면이 변형된 후에도 평면을 유지하고 변형된 중심축의 접선에 직각이다. 	

1D 요소 특성 입력

✓ 단면 템플릿 선택

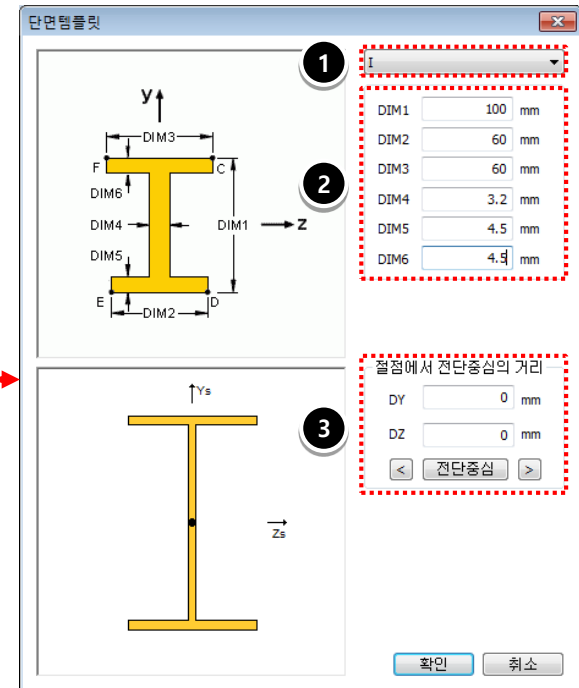
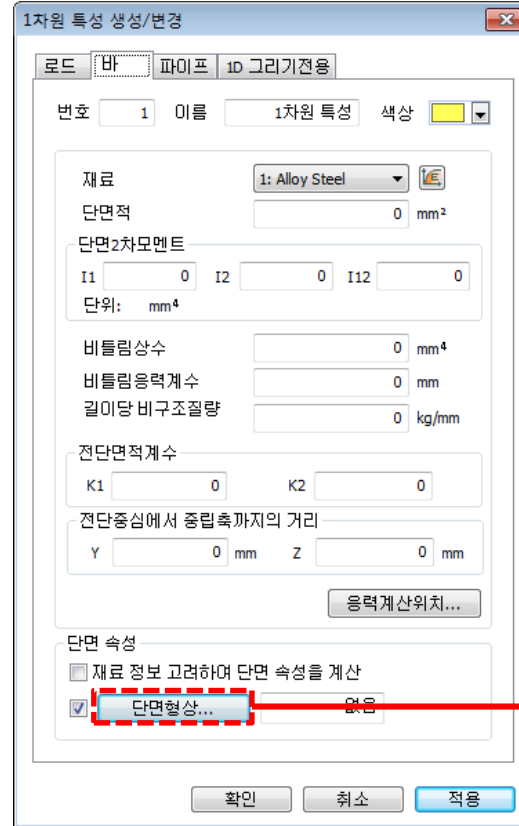
- 1) 원하는 형상의 단면 템플릿 선택

✓ 단면 치수값 입력

- 1) 선택한 단면 템플릿 형상에 따른 치수값을 입력
- 2) 치수 입력창 왼쪽의 안내 형상을 참고
- 3) 입력된 치수값은 아래 미리보기 창에 바로 반영되어 단면형상을 간단하게 확인 가능

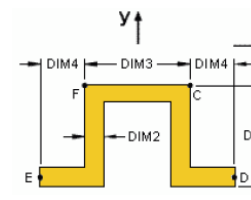
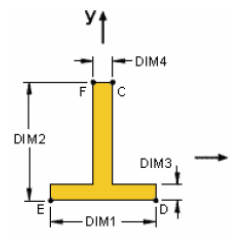
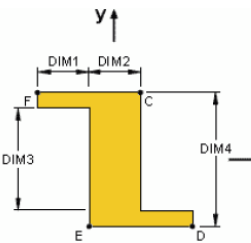
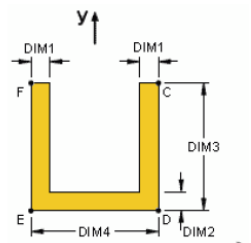
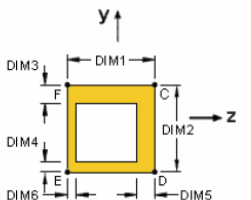
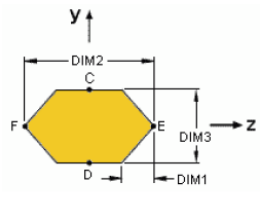
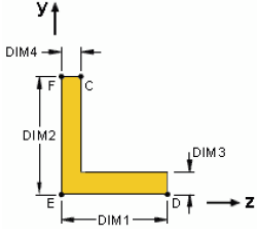
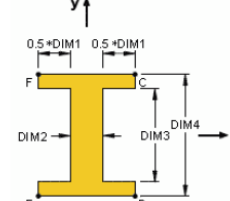
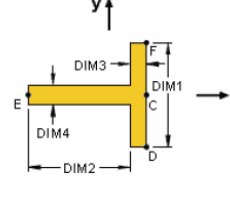
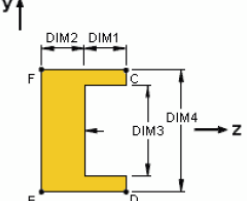
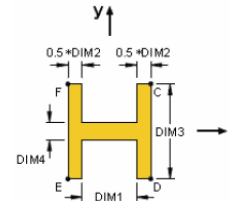
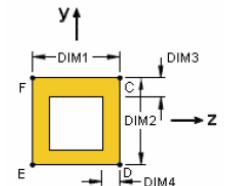
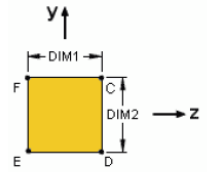
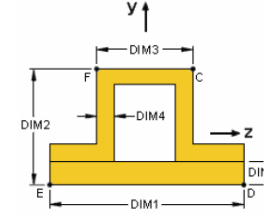
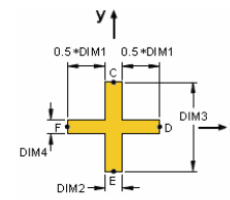
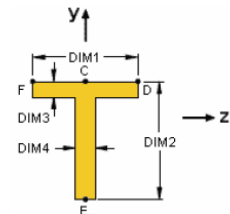
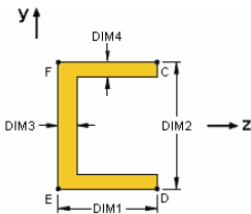
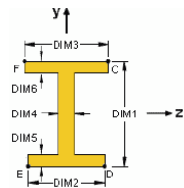
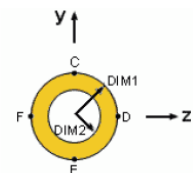
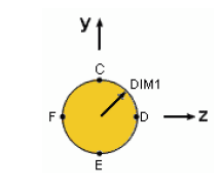
✓ 전단중심 거리 입력

- 1) 1D 요소의 단면 중심 위치를 지정
- 2) DY, DZ 값을 지정하여 원하는 위치를 설정 가능



1D 요소 특성 입력

✓ 1차원 요소에 대한 단면정의 및 결과출력지점



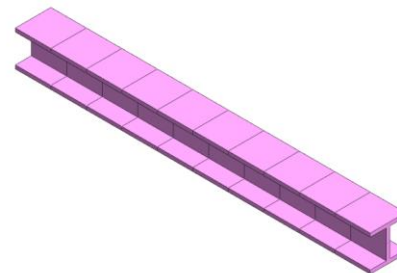
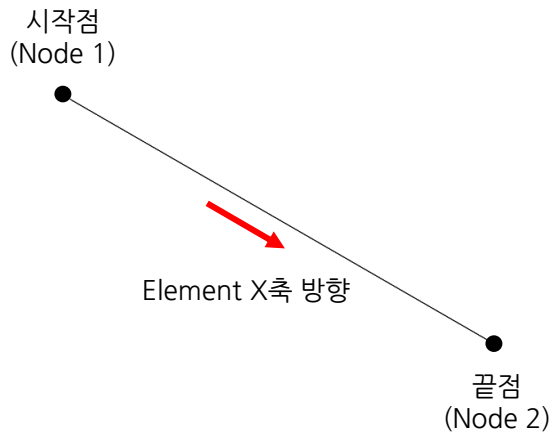
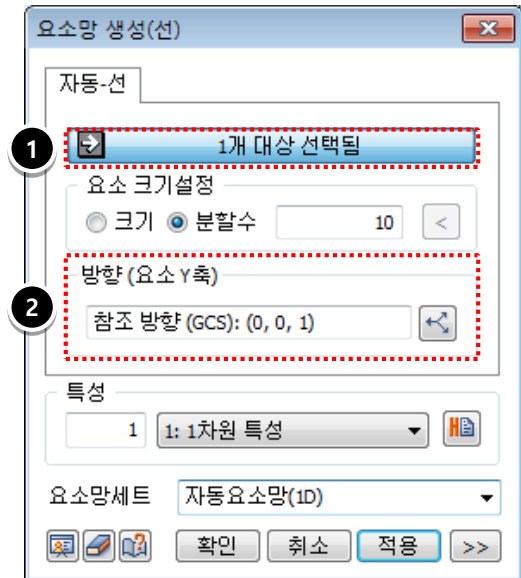
1D 요소 생성

✓ 생성 방법

- 1) 선(엣지)를 선택하여 1D 요소망을 생성.
- 2) 엣지의 시작점에서 끝점 방향이 1D 요소의 X축으로 설정.

✓ 방향(요소 Y축)

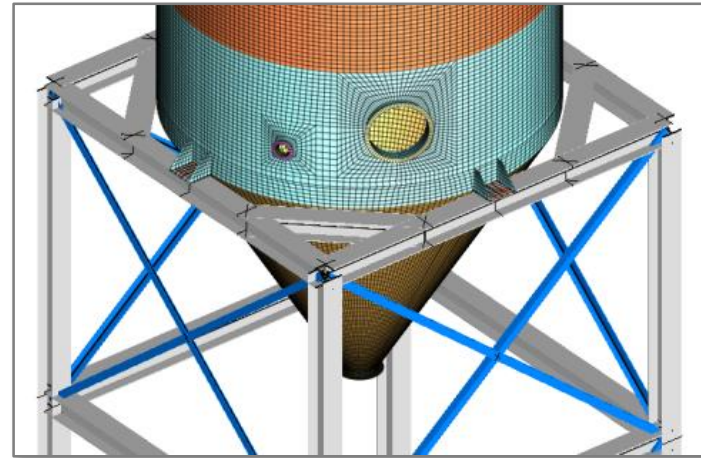
- 1) 이 항목에서 정의한 방향이 요소 Y축이 되며, 이는 단면 형상 정의에 나와 있는 Y축 방향.



단면 섹션 활성화

2D 요소

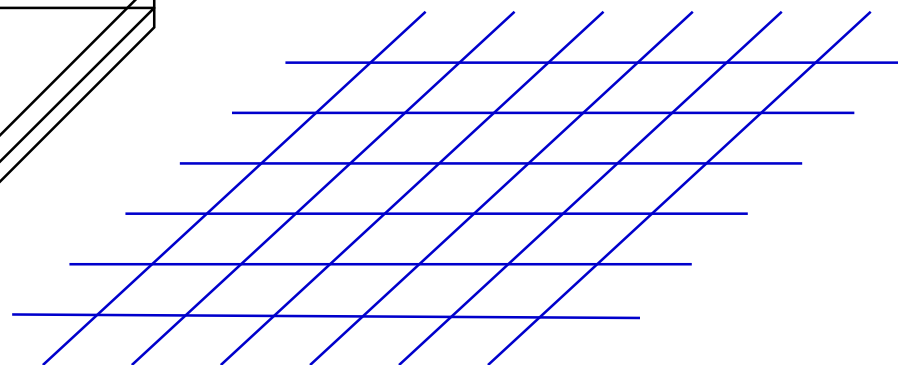
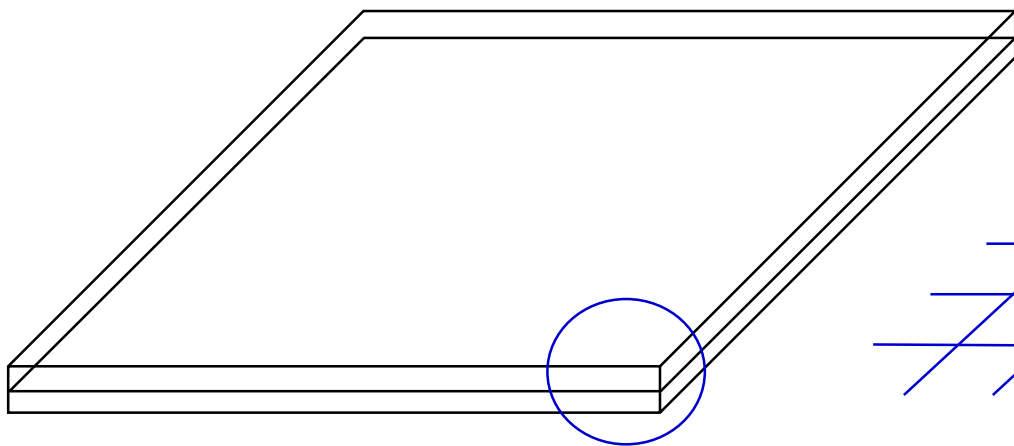
- ✓ 두께가 얇은 박판 구조물이 굽힘 변형을 받을 때 주로 사용
- ✓ 2차원 응력 상태, 굽힘 및 전단변형 등을 고려할 수 있다.



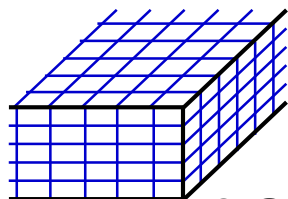
2D 요소를 이용한 메쉬 생성

2D 요소

- ✓ 박판 구조물이 굽힘 거동을 나타내는 경우 2D요소가 3D요소보다 정확하다.
- ✓ 솔리드의 중간면을 정의하여 2D요소를 생성한다.
- ✓ 박판의 경우 표면을 사용하여도 오차가 작다.



2D 요소 (셸요소)



3D 요소 (솔리드 요소)

2D 요소의 종류

분류	판(Plate)	막(Membrane)	면(Surface)
적용	곡면상에 위치한 요소, 굽힘변형 을 받을 때 이용	평면상에 위치하며, 굽힘변형을 받을 수 없음	매우 얇은 막(Membrane)요소 , 솔리드의 표면 응력/변형률을 확인할 때 사용
절점 개수	3/4/6/8 개의 절점으로 이루어지는 삼각형 또는 사각형 요소		
형상			
절점당 자유도	<p>5개</p> <p>→ 병진 3개(Tx, Ty, Tz)</p> <p>→ 회전 2개 (Rx, Ry)</p> <p>* 면내 회전자유도 옵션(Rz)</p>	<p>2개</p> <p>→ 병진 2개(Tx, Ty)</p>	<p>2개</p> <p>→ 병진 2개(Tx, Ty)</p>

2D 요소의 종류

분류	평면변형률(Plane Strain)	축대칭(Axisymmetric)	복합재료(Composite Shell)
적용	댐(dam) 또는 터널(tunnel) 등과 같이 일정한 단면으로 길이가 긴 구조물	형상, 재질, 하중조건이 축에 대해 회전대칭을 만족하는 구조물	복합재료, 샌드위치와 같은 두께방향으로 물성이 다른 재료들이 적층된 얇은 구조물
절점 개수	3/4/6/8 개의 절점으로 이루어지는 삼각형 또는 사각형 요소		
형상			
절점당 자유도	<p>2개</p> <p>→ 병진 2개 (Tx, Ty)</p>	<p>2개</p> <p>→ 병진 2개 (Tx, Ty)</p>	<p>5개</p> <p>→ 병진 3개 (Tx, Ty, Tz)</p> <p>→ 회전 2개 (Rx, Ry)</p> <p>* 면내 회전자유도 옵션 (Rz)</p>

2D 요소 특성 입력

✓ 단면 두께

- 1) 2D 요소의 단면 두께를 입력
- 2) 균일두께를 해제하여 요소의 각 모서리의 두께를 따로 입력 가능
- 3) 함수 기능을 이용하여 두께 변화 가능

✓ 비구조 질량

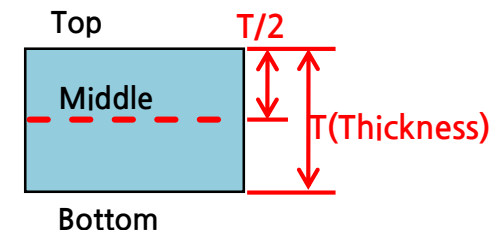
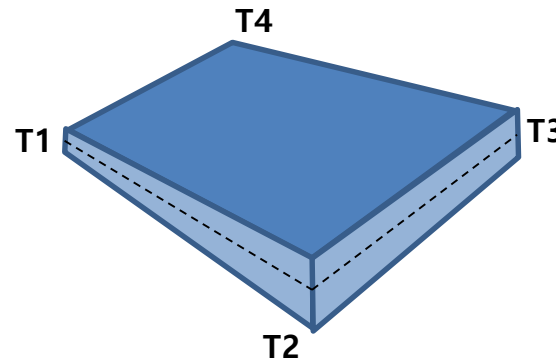
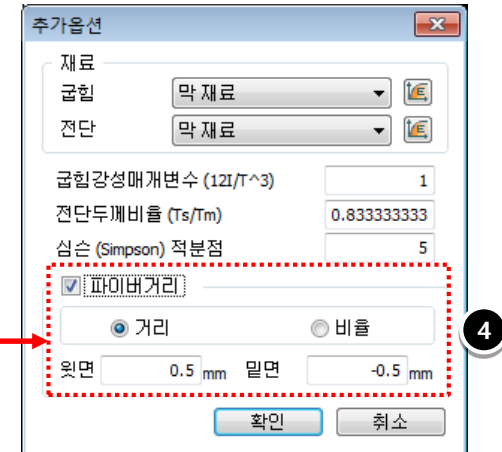
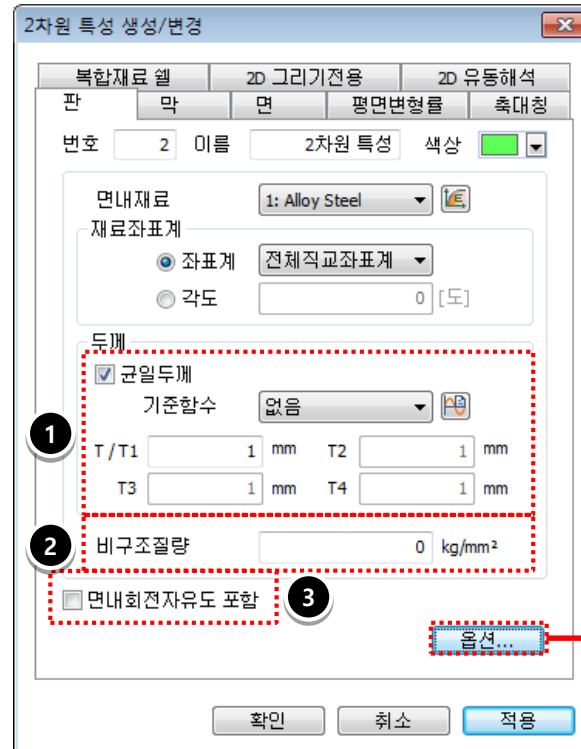
- 1) 부가하는 분포 질량을 따로 정의 가능
- 2) 모델링 되지 않은 대상의 무게를 고려 가능
EX) 건축 마무리재 등 여러가지 조건을 반영

✓ 면내회전자유도 포함

- 1) 선택시 모든 방향에 대한 회전 자유도를 고려
- 2) 면외축에 의한 회전(Drilling 자유도)을 고려해 면내 변형의 강성을 계산

✓ 파이버거리

- 1) 변형률이나 응력을 산출하는 표면/아래쪽 면의 두께상의 위치를 지정. 재료 비선형 해석에는 사용할 수 없음



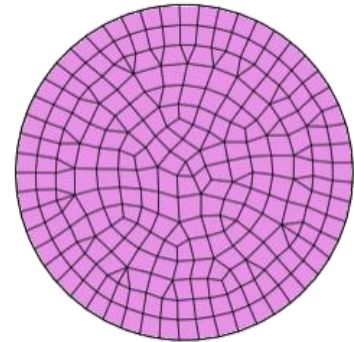
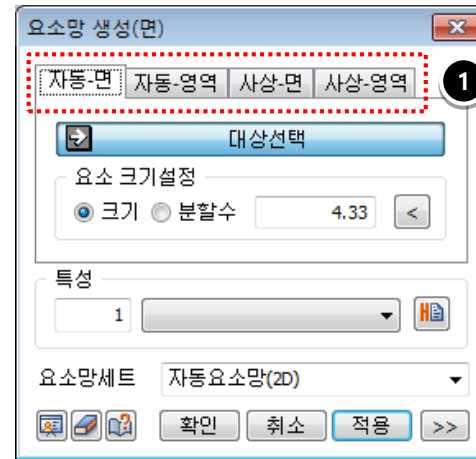
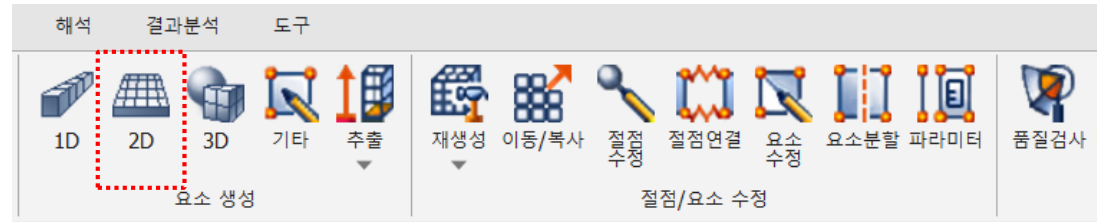
2D 요소 생성

✓ 자동 - 면, 사상 - 면

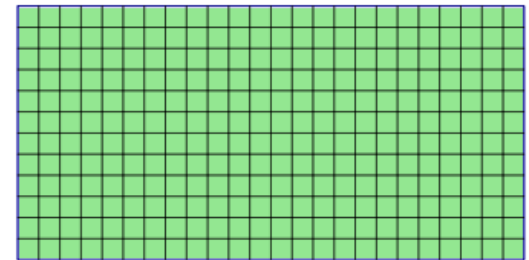
- 1) 면 또는 쉘을 선택하여 설정한 요소 크기만큼 2D 요소망을 자동으로 생성.
- 2) 자동 : 선택한 요소망 방법에 따라 삼각형, 사각형, 삼각형+사각형 형상으로 2D 요소망이 구성.
- 3) 사상 : 사각형 형상만으로 2D 요소망을 구성

✓ 자동 - 영역, 사상 - 영역

- 1) 선택한 선들을 이용하여 폐곡선을 만들고, 폐곡선이 그리는 면에 설정한 요소 크기의 2D 요소망을 자동으로 생성.
- 2) 자동 : 선택한 요소망 방법에 따라 삼각형, 사각형, 삼각형+사각형 형상으로 2D 요소망이 구성.
- 3) 사상 : 사각형 형상만으로 2D 요소망을 구성.



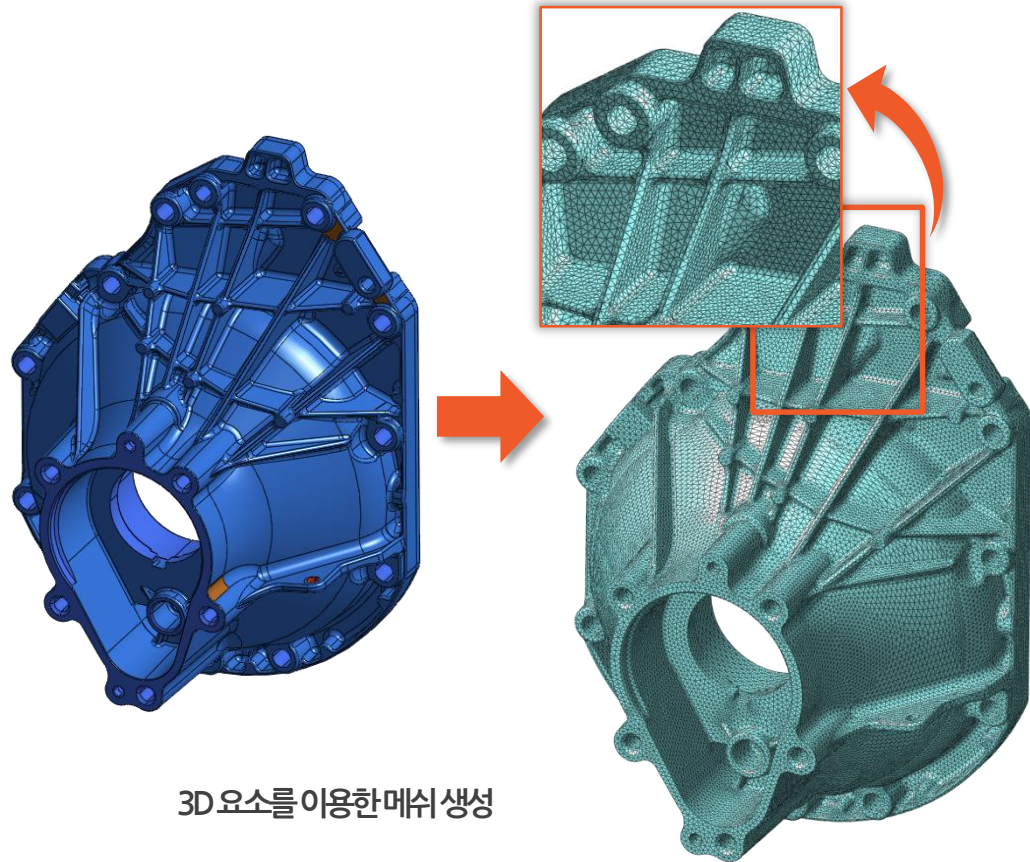
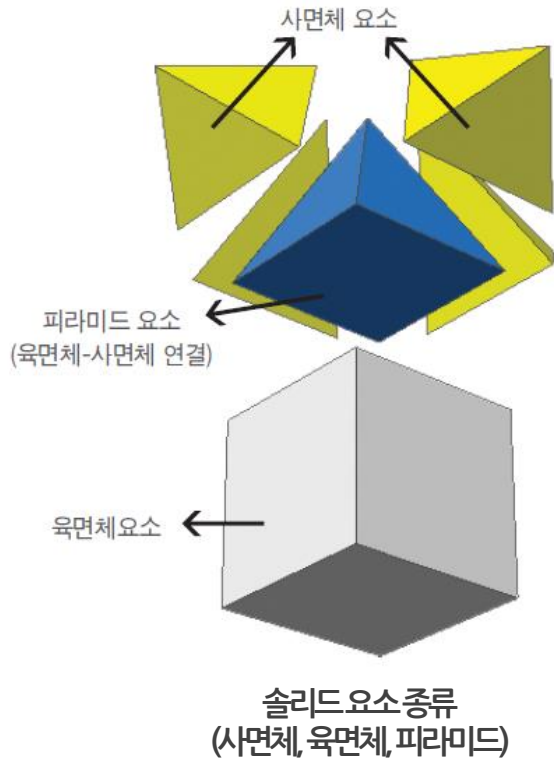
자동-면, 2D 요소망



사상-면, 2D 요소망

3D 요소

- ✓ 솔리드 요소(solid element)
- ✓ 실무에서 CAD를 이용한 3차원 모델을 주로 하기 때문에 해석에서 가장 많이 사용되는 요소이다

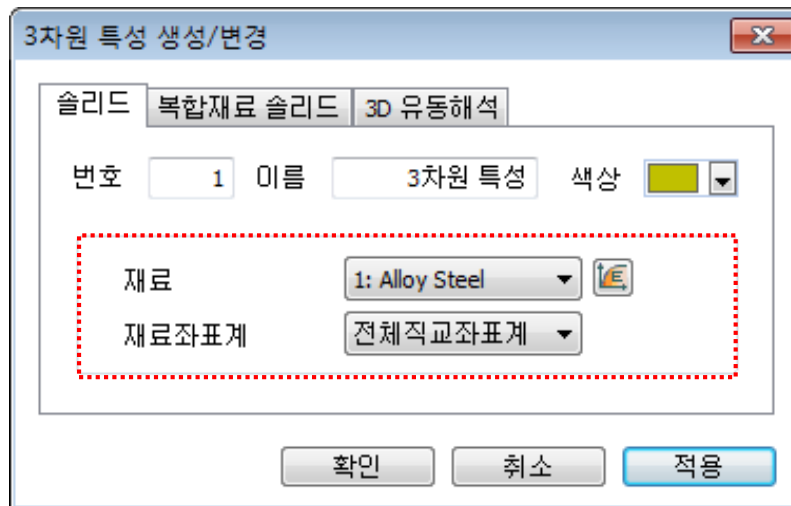


3D 요소 종류

분류	사면체(Tetrahedron)	오면체(Pentahedron)	육면체(Hexahedron)
<p>형상</p>			
<p>절점수</p>	<p>4개(저차 요소) 10개(고차 요소)</p>	<p>6개(저차 요소) 15개(고차 요소)</p>	<p>8개(저차 요소) 20개(고차 요소)</p>
<p>절점당 자유도</p>	<p>3개 → 병진 자유도(Tx, Ty, Tz) → 회전 자유도는 없음</p>		

3D 요소 특성 입력

✓ 재료 및 재료의 좌표계를 지정



3D 요소 생성

✓ 자동 - 솔리드, 사상 - 솔리드

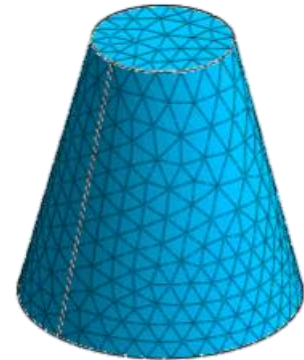
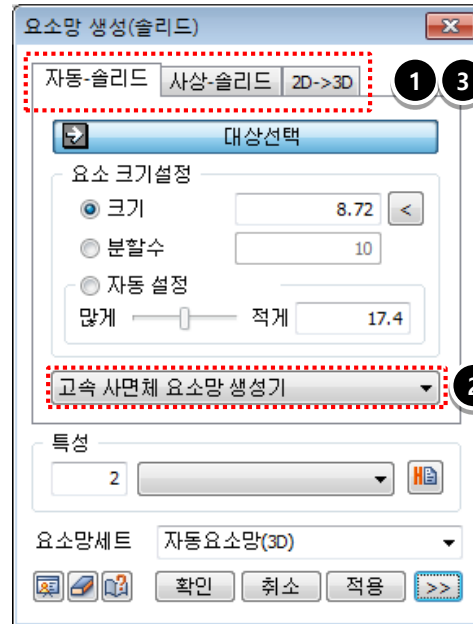
- 1) 자동 : 선택한 요소망 방법에 따라 사면체, 사면체+육면체 형상으로 3D 요소망을 생성.
- 2) 사상 : 육면체 형상만으로 3D 요소망을 생성.

✓ 요소망 생성기

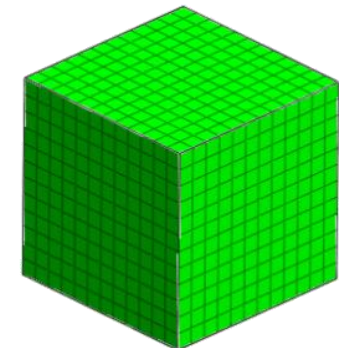
- 1) 사면체 요소망 생성기 : 선택한 형상에 대해 사면체 요소만을 이용하여 3D 요소망을 구성.
- 2) 하이브리드 요소망 생성기 : 선택한 형상에 대해 사면체+육면체 요소를 혼합하여 3D 요소망을 구성.
(주로 육면체 요소를 사용)

✓ 2D → 3D

- 1) 2D 요소망으로 닫혀져 있는 공간에 사면체 요소망을 생성.
- 2) 선택한 2D 요소망에 사각형 요소가 존재하는 경우에는 프로그램이 사각형 요소를 임의로 2개의 삼각형 요소로 분할한 후 사면체 요소를 생성.

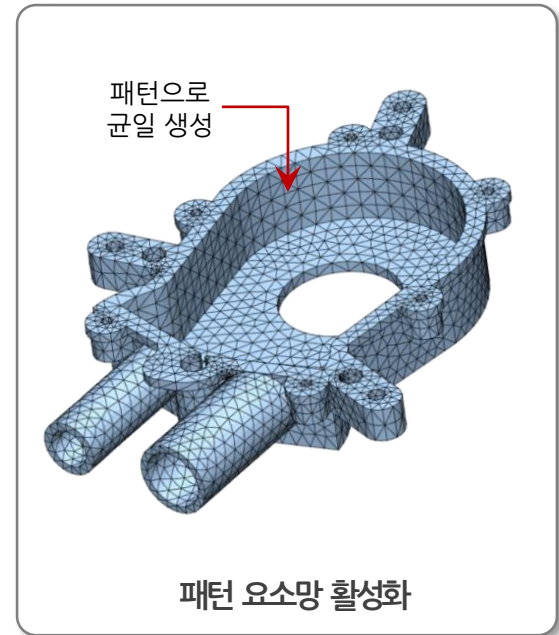
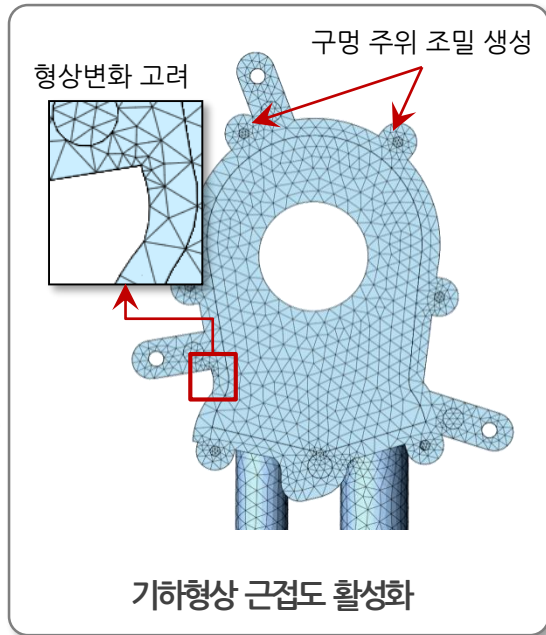
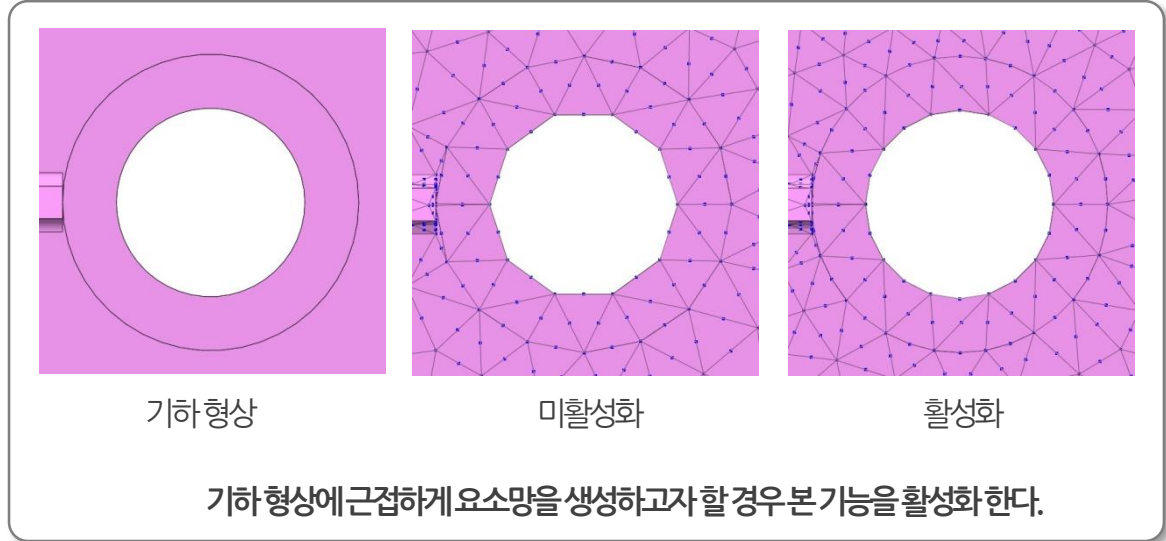
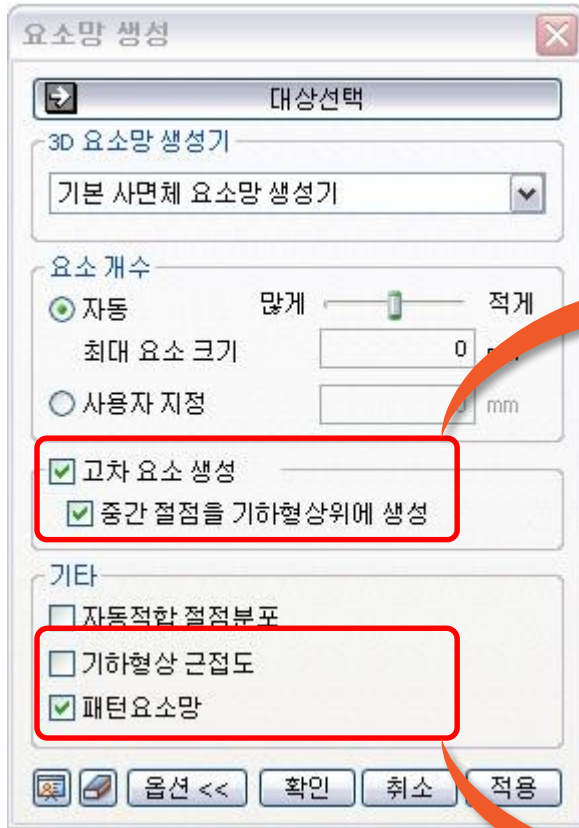


사면체 요소망

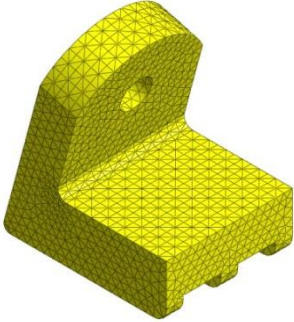
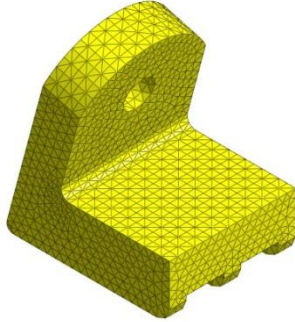
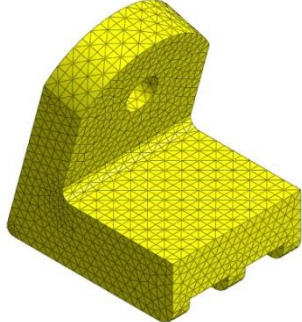
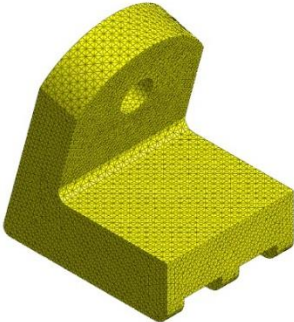
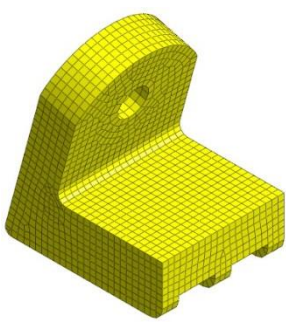
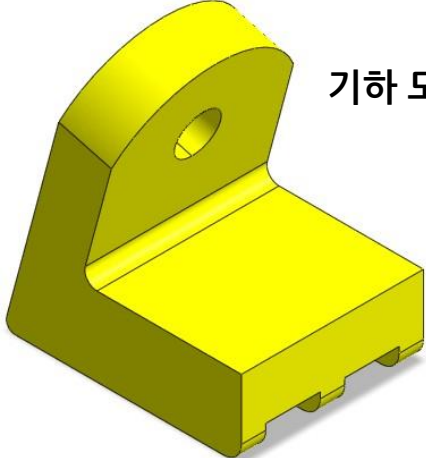


육면체 요소망

3D 요소 생성 시 옵션



3D 요소 생성 예시

생성 조건	Case 1	자동 메쉬 : 사면체 요소 개수 : 자동(중간) 고차 요소 : On	Case 2	자동 메쉬 : 사면체 요소 개수 : 자동(중간) 고차 요소 : Off	Case 3	자동 메쉬 : 사면체 요소 개수 : 자동(중간) 고차 요소 : On 기하 형상 근접 : On
생성 결과						
절점 수	30,647		4,343		31,464	
생성 조건	Case 4	자동 메쉬 : 사면체 요소 개수 : 사용자 지정(10mm) 고차 요소 : On	Case 5	자동 메쉬 : 하이브리드 요소 개수 : 자동	기하 모델	
생성 결과						
절점 수	163,466		7,535			

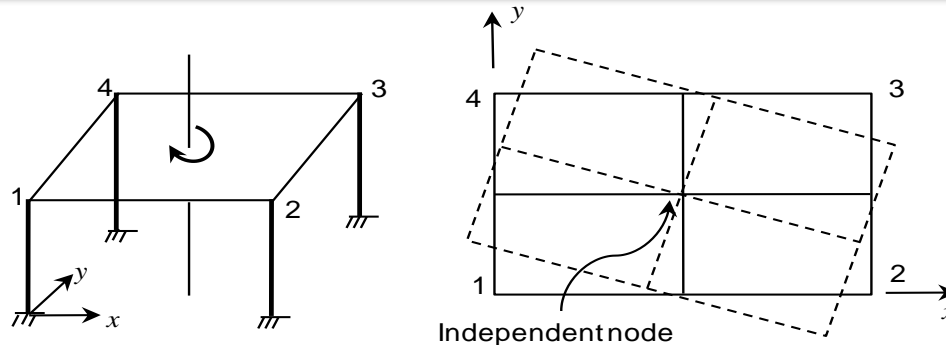
특수 요소: 강체(Rigid) 요소

✓ 강체 요소 정의

1) 강체 링크/링크/다중점 구속(multi-point constraint, MPC)라고 함.

✓ 강체 요소 특징

- 1) 강성이 매우 커서 **전혀 변형되지 않는 요소**로 볼 수 있음.
- 2) 구조물 중에 어느 일부분만 강성이 현저하게 큰 경우 다른 부분과의 평형과정 오차가 발생하여 수치 계산상의 정확도가 떨어지는 경우가 있으며, 이러한 부분에 강체 요소를 사용하면 정확도를 유지하며 계산할 수 있음.
- 3) 1대1 혹은 1대 복수절점 사이에 강체 결합을 정의.
- 4) 절점 간에 강체 요소로 정의되면 그 자유도 간에는 독립과 종속(주와 종)의 관계가 정의되고, 독립 자유도와 종속 자유도는 강체 방정식으로 묶여 상대 변형하지 않도록 취급.
- 5) 프로그램 안에서 종속 자유도는 전체방정식에서 삭제되므로 종속 자유도에 대해 강제변위나 구속을 정의할 수 없음.
- 6) 한번 종속된 절점 자유도는 다른 절점의 종속자유도로 될 수 없기 때문에 2개 이상의 강체 요소를 정의할 때는 주의할 필요 있음.
- 7) 요소의 한 변을 2차 곡선으로 형상정의가 가능하기 때문에 곡선이 많은 모델에 효과적임.
- 8) 같은 크기의 1차 요소와 비교하여 할 때, 좀 더 정확한 해석 결과를 얻을 수 있음.
- 9) 일반적으로 강체 요소에 특성 입력은 불필요함.



특수 요소:보간 요소(RBE3)

✓ 보간 요소 정의

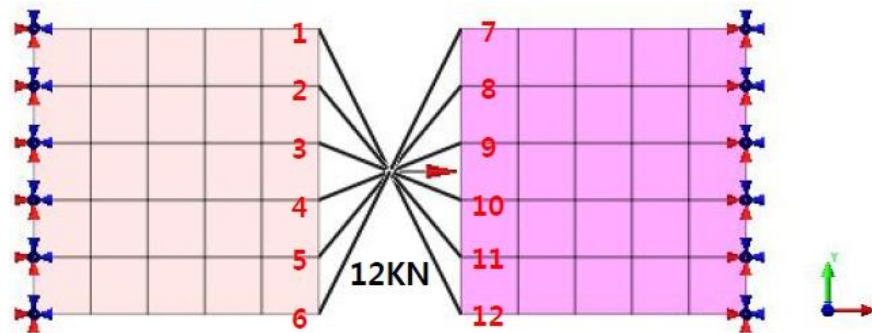
- 1) 절점들 간의 상대적인 운동을 상호 구속하는 요소로 강체 요소와 동일한 의미를 갖는다.
- 2) 하나의 절점이 다른 여러 절점의 운동에 따라 상대적 거동을 하는 요소이다.
- 3) 종속절점 1개에 여러 개의 주절점이 연결되어 있는 형태이다.

✓ 보간 요소 특징(강체 요소와 비교)

- 1) 여러 절점에 힘 또는 질량을 분포시킬 때 유용하게 사용됨(연결된 절점들 모두 동일한 하중이 분배됨.)
- 2) 강체 요소에 비해 구속되는 절점이 적기 때문에 구속력 또한 약하다.
- 3) 주절점들의 평균적인 거동이 종속 절점의 움직임을 결정하는 형태가 되며, 이러한 특성 때문에 강체 요소에 비해 작은 개수의 자유도 구속이 발생한다.
- 4) 절점들이 모두 동일한 하중이 분배되므로 각 절점에서 발생하는 변위 및 회전이 다르나, MPC force은 동일하다.

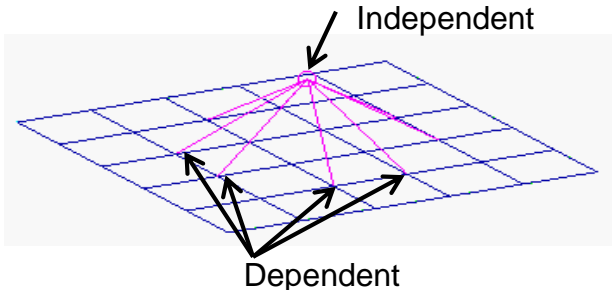
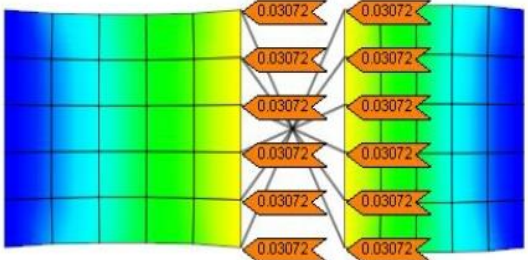
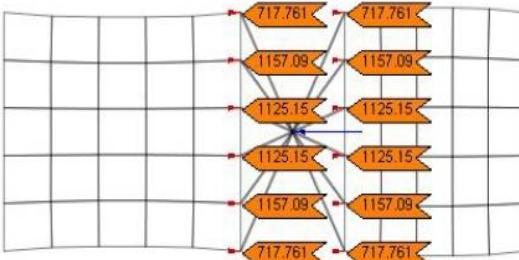
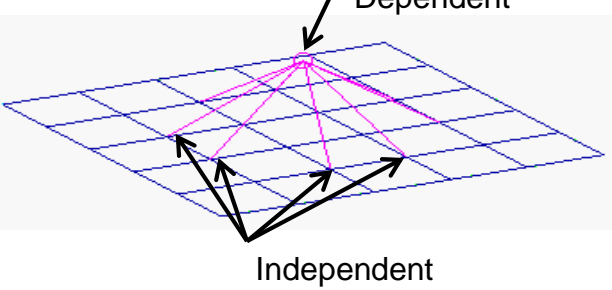
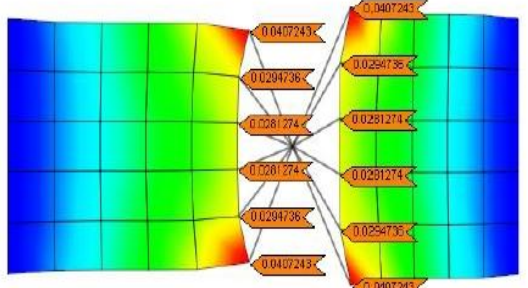
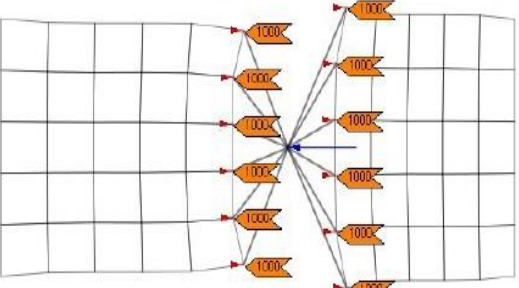


강체요소(RBE2)는 연결된 절점들 모두 동일한 변위 및 회전을 하기 때문에 각 절점에서 발생하는 MPC force 이 다름



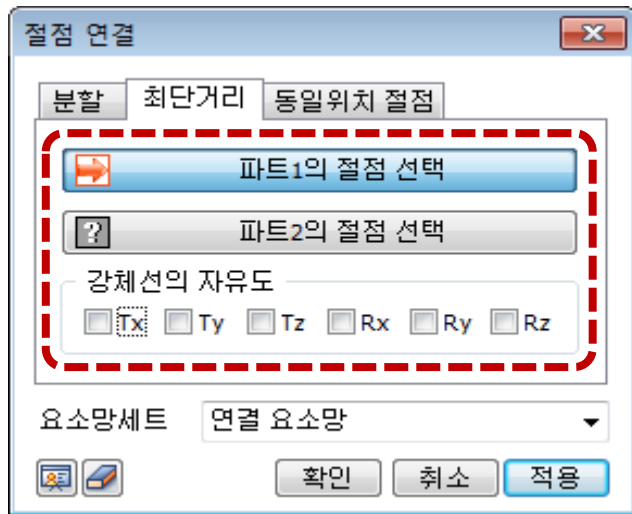
Rigid Body Element(RBE)

강체 요소(RBE2) Vs 보간 요소(RBE3)

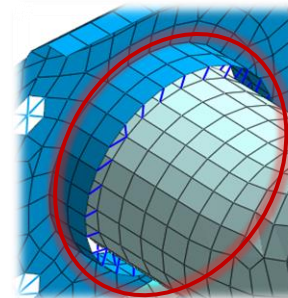
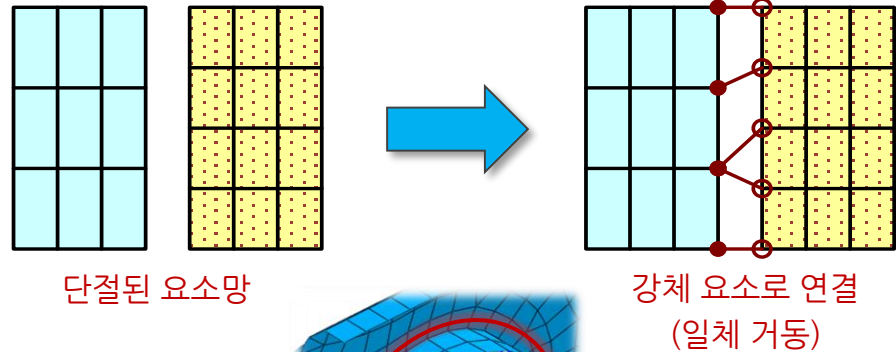
분류	모델링	해석 결과	
<p>강체 요소 (RBE2)</p>	 <p>: 독립 절점의 6자유도 전체가 선택한 종속 절점의 자유도와 연결</p>	<p>Displacement</p> 	<p>MPC Force</p> 
<p>보간 요소 (RBE3)</p>	 <p>: 독립 절점과 참조 절점 사이의 자유도 관계에 가중치를 부여하는 기능, 작용하는 하중을 연결되는 여러 지지점에 분산시킬 때 사용.</p>	<p>Displacement</p> 	<p>MPC Force</p> 

요소망 연결

- 인접한 요소끼리 절점을 공유함으로써 요소망 내의 모든 요소들은 완전한 연결성 (Connectivity)을 유지해야 함
 - 강제요소를 이용하여 인접한 절점들을 연결
 - 접촉조건 적용 (일체거동, 상대거동)
- ※ 중요부 (육면체 요소망), 나머지 (사면체 요소망) → 접촉 (일체거동 조건)



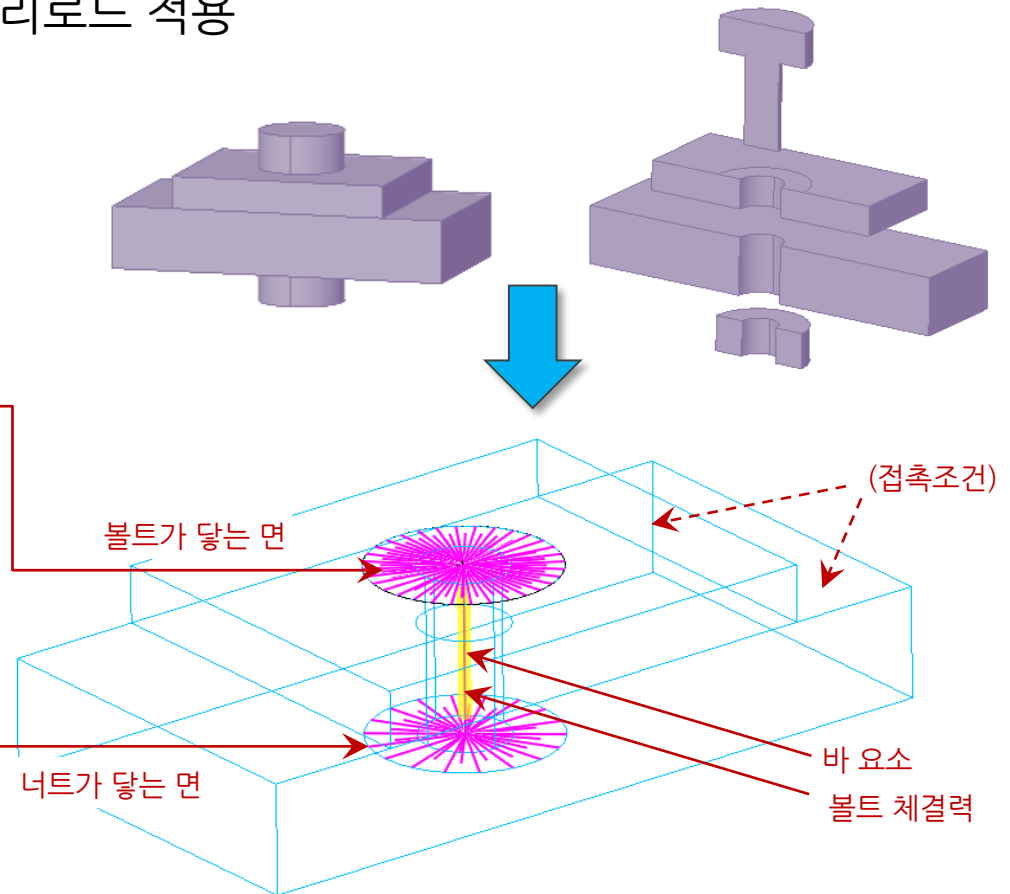
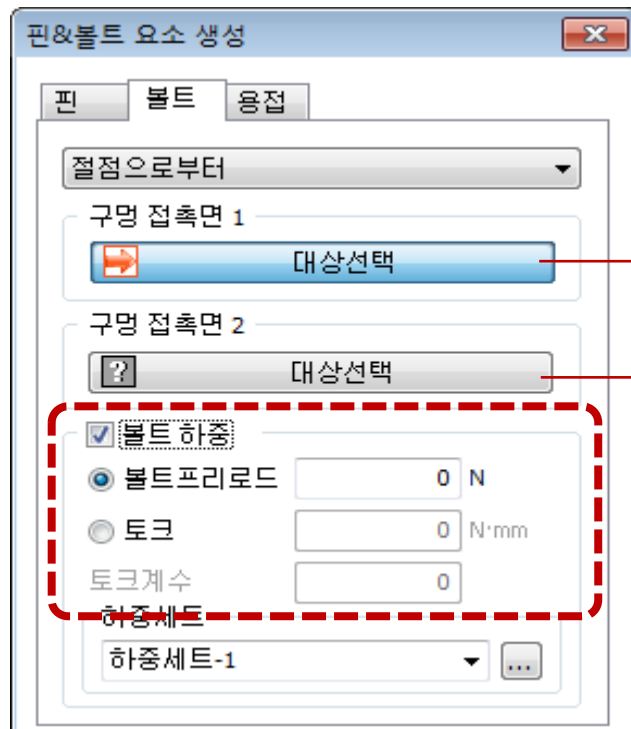
<가장 가까운 절점을 찾아서 강체로 연결>



절점 연결 기능의 활용 예

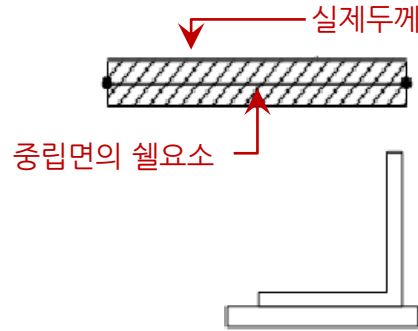
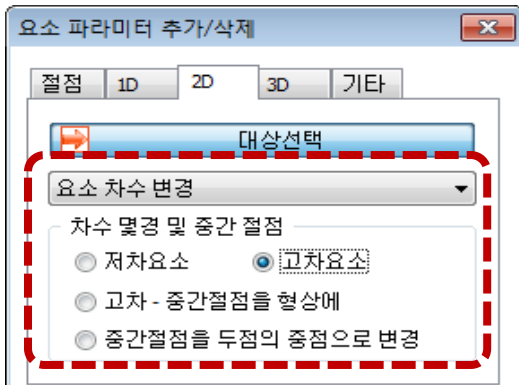
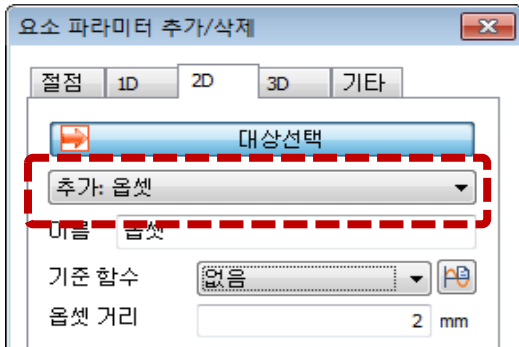
핀/볼트 연결

- 볼트 체결력을 고려한 해석수행 또는 볼트의 체결력 계산
 - 바(Bar) 요소를 생성하여 볼트 프리로드 적용

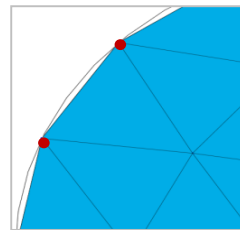
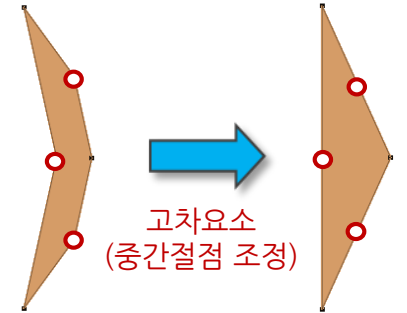


요소 파라미터

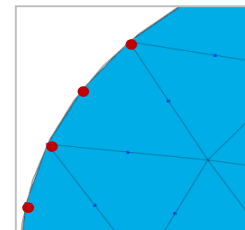
- **중립면 옴셋 (셸 요소)**
 - 중립면의 실제 위치를 기준으로 두께가 고려되도록 처리
- **고차요소 ↔ 저차요소 변환**



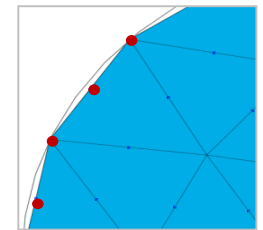
전체/유효 두께를 갖는 셸요소
→ 셸 요소 옴셋



저차요소



고차요소
(중간절점: 기하형상 위)



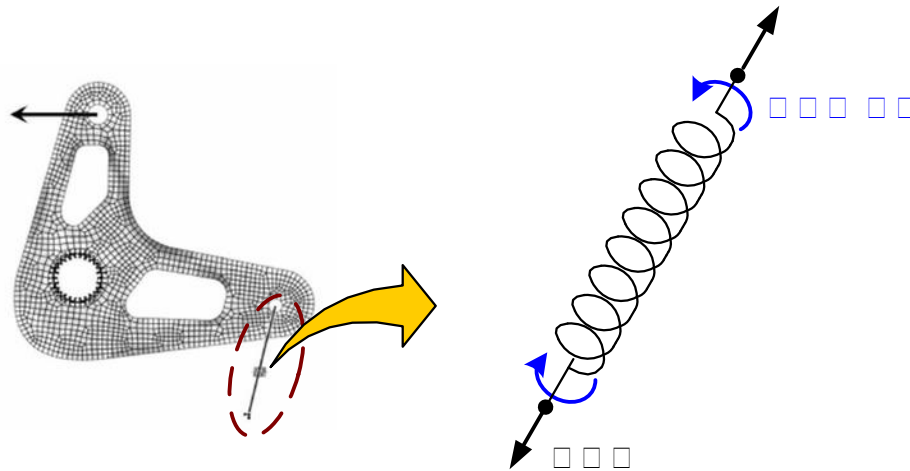
고차요소
(중간절점: 절점 중간)

※ 사출해석 ↔ 구조해석, Jacobian Ratio 에러 해결

특수 요소 : 스프링(Spring) 요소

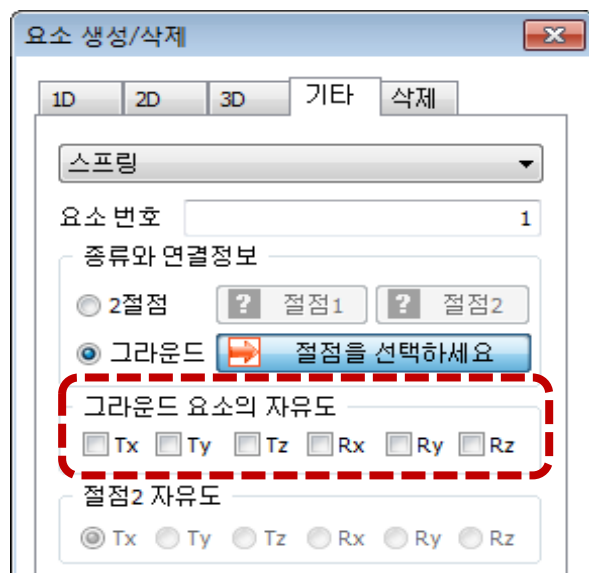
✓ 스프링 요소 특징

- 1) 요소망 내 두 절점을 연결하는 단순한 1차원 선요소
- 2) 일반적으로 스프링을 표현하는데 사용되지만 조립체 모델링이나 접촉을 구현하기 위해서도 다양하게 활용됨
- 3) 축 방향 외에 비틀림 방향으로도 하중을 지탱할 수 있음
- 4) 단순하게 스프링 상수만 입력하면 설정이 가능
- 5) 절점 연결 스프링 : 절점과 절점을 연결하는 기본적인 스프링 요소
- 6) 지반 스프링 : 한 절점의 모든 자유도가 자동적으로 구속된 스프링 요소
- 7) 자유도 스프링 : 특정방향 또는 특정 자유도에 대해서만 스프링 강성을 가짐.
: 지정한 자유도의 병진이나 회전에만 스프링 하중이 발생

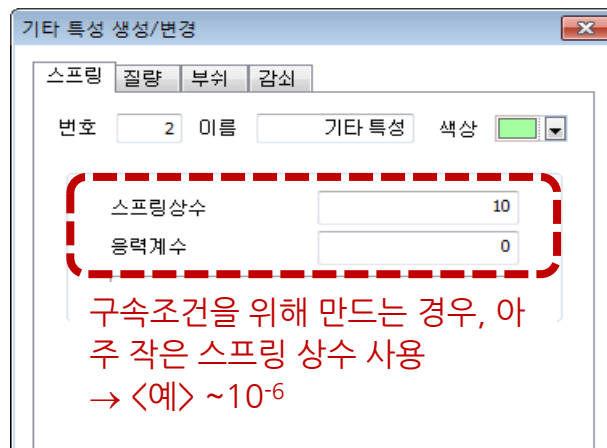


스프링 요소 활용

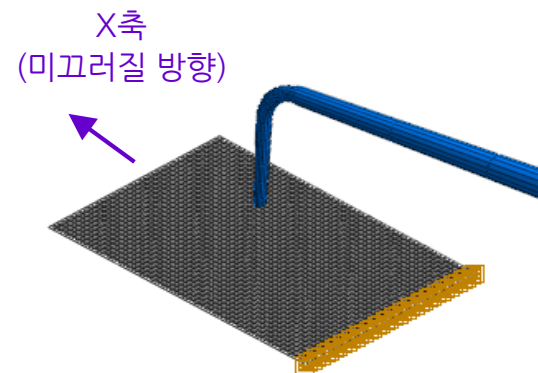
- 요소망 내 두 절점을 연결하는 1차원 선요소
 - 축 방향 및 비틀림 방향으로 강성을 가짐
 - 절점 연결 스프링 → 두 절점을 연결하는 기본적인 스프링 요소
- ※ 그라운드 스프링 → 구속조건 정의가 어려운 경우, 미소 강성의 스프링으로 처리



〈자유도 설정〉



〈스프링 강성 입력〉

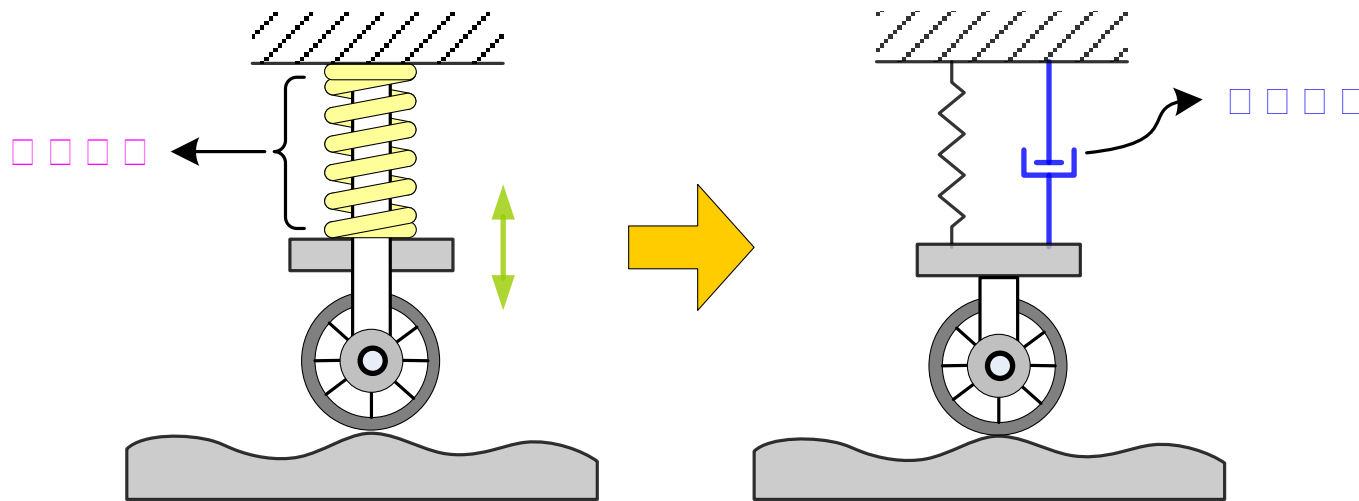


〈스프링-구속조건 처리 예〉
Tx 자유도를 갖는 미소 강성의 그라운드 스프링 작성

특수 요소: 감쇠(Dampier) 요소

✓ 감쇠 요소 특징

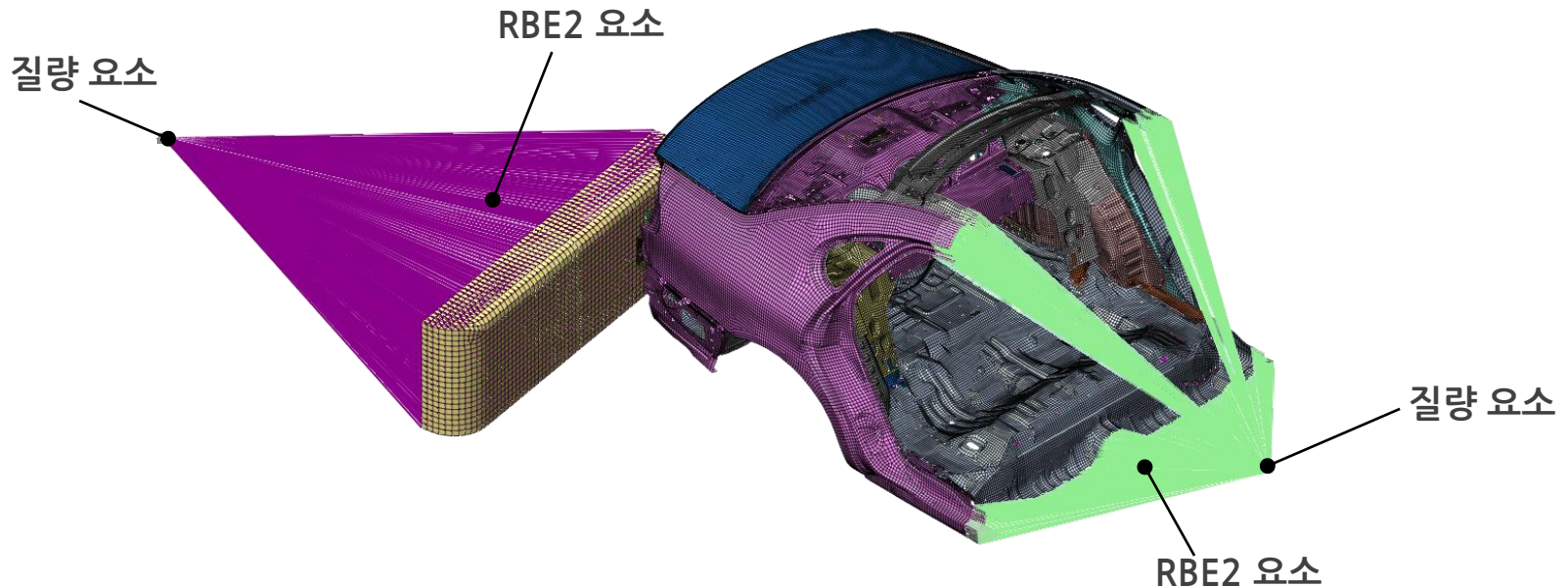
- 1) 물체의 운동을 저지하려는 성질을 감쇠라 함.
- 2) 동해석 모델에서 **완충장치의 감쇠효과를 반영**하기 위해 사용, 즉 정적해석에서는 사용되지 않는다
예) 자동차 현가 장치에 부착되어 있는 완충기
- 3) 단위 : 힘/속도
- 4) 축 하중과 비틀림 하중을 지탱할 수 있음.
- 5) 외부 감쇠 장치 대신 사용.



특수 요소: 질량 요소

✓ 질량 요소 특징

- 1) 강성이 매우 크거나, 요소망으로 표현이 복잡한 부품의 **질량을 이상화**하여 이용
- 2) 기하학적 모델을 갖지 않은 단일 절점 요소
- 3) 중력/가속력이 없는 해석에서는 질량 요소 효과를 낼 수 없음
- 4) 한 점에만 질량요소를 부과하므로 강성에 영향을 주지 않음
- 5) 요소망 절점에 부가/ 형상의 무게 중심에 위치시킨 후 강체 요소로 모델과 연계시키기도 함
- 6) 모드해석/동해석에서 질량 분포가 중요시 되어 질량 요소를 사용함
예) 자동차나 오토바이의 엔진, 기계장치의 펌프나 모터



특수 요소 생성 : 스프링, 감쇠, 질량 요소

✓ 스프링

- 1) 1D 요소를 이용하여 스프링을 모델링.
- 2) 특성을 정의하여 스프링 계수 입력.

✓ 감쇠

- 1) 1D 요소를 이용하여 스프링을 모델링.
- 2) 특성을 정의하여 감쇠 계수 입력.

✓ 질량

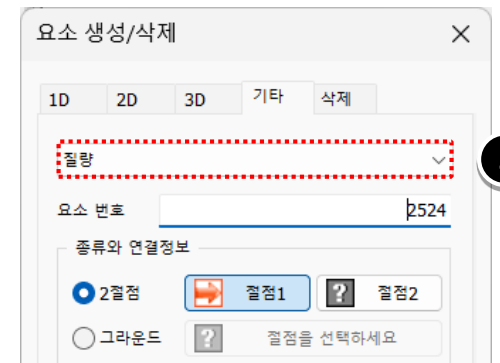
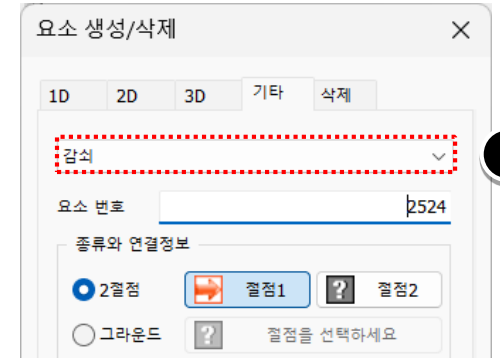
- 1) 1D 요소를 이용하여 스프링을 모델링.
- 2) 특성을 정의하여 질량값을 입력.

✓ 연결

- 1) 2 절점 : 선택한 2개의 절점을 스프링으로 연결.
- 2) 그라운드 : 1개의 선택한 절점이 그라운드(공간)와 연결됨.

✓ 자유도

- 1) 절점1 과 절점2 에 대해 각기 구속하고자 하는 자유도를 선택. 1개의 스프링 요소에 1개의 자유도만 구속 가능함.



특수요소 특성 입력: 스프링, 감쇠, 질량 요소

✓ 스프링

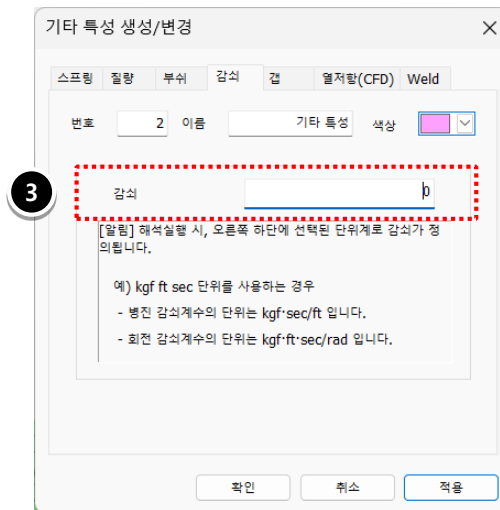
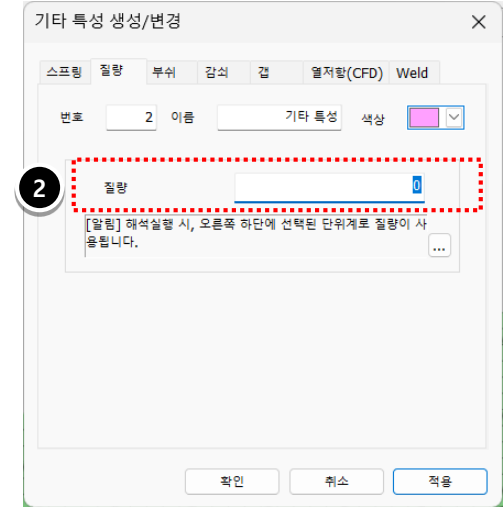
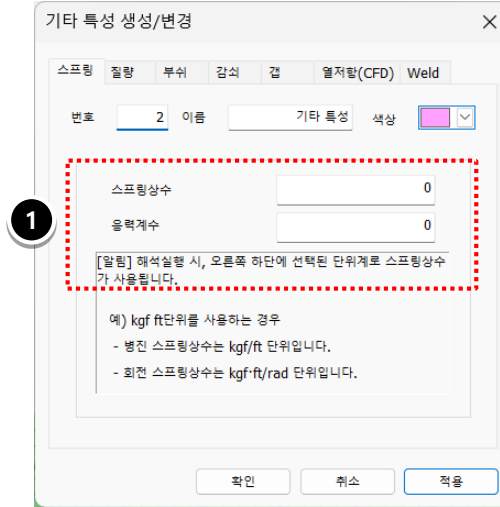
- 1) 스프링 상수 및 응력계수를 입력
- 2) 초기 설정한 단위계에서 입력한 값을 그대로 사용하게 되므로 반드시 입력한 단위계를 기준으로 해석해야 함 (단위변환 미지원)

✓ 감쇠

- 1) 감쇠값을 입력
- 2) 초기 설정한 단위계에서 입력한 값을 그대로 사용하게 되므로 반드시 입력한 단위계를 기준으로 해석해야 함 (단위변환 미지원)

✓ 질량

- 1) 추가하는 스칼라 질량값을 입력
- 2) 모델링 되지 않은 대상의 무게를 고려할 수 있음



특수 요소 생성 : 부쉬 요소

✓ 부쉬

- 1) 1D 요소를 이용하여 부쉬를 모델링.
- 2) 특성을 정의하여 사용.

✓ 연결

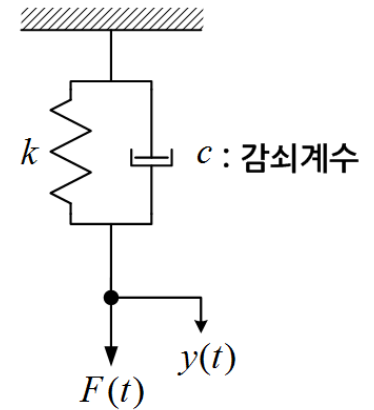
- 1) 2 절점 : 선택한 2개의 절점을 감쇠로 연결.
- 2) 그라운드 : 1개의 선택한 절점이 그라운드(공간)와 연결됨.

✓ 방향

- 1) 1D 요소의 Y축 방향을 지정.

✓ 스프링/댐퍼 위치

- 1) 스프링 혹은 댐퍼 위치를 비율 또는 좌표계 기준으로 오프셋하여 입력.



$$m\ddot{y} - c\dot{y} + ky = F(t)$$

특수요소 특성 입력: 부시 요소

✓ 강성

- 1) 스프링 강성 값을 입력
- 2) 1, 2, 3, 4, 5, 6 은 각기 직교좌표계에서 X, Y, Z, Rx, Ry, Rz 를 의미

✓ 감쇠

- 1) 점성감쇠 값을 입력
- 2) 1, 2, 3, 4, 5, 6 은 각기 직교좌표계에서 X, Y, Z, Rx, Ry, Rz 를 의미

✓ 기타

- 1) 구조감쇠 : 구조감쇠 계수를 입력
- 2) 응력산정계수 : 스프링 하중으로부터 응력을 계산하기 위한 계수를 입력
- 3) 변형률산정계수 : 스프링 변위로부터 변형률을 계산하기 위한 계수를 입력

기타 특성 생성/변경

스프링 질량 부쉬 감쇠

번호 1 이름 기타 특성 색상 [Green]

1 강성

1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0

단위(1-3) N/mm 단위(4-6) N·mm/[rad]

2 감쇠

1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0

단위(1-3) N·sec/mm 단위(4-6) N·mm·sec/[rad]

3 구조감쇠 0

응력산정계수

이동 1 회전 1

변형률산정계수

이동 1 회전 1

진동수의존성...

비선형성...

확인 취소 적용

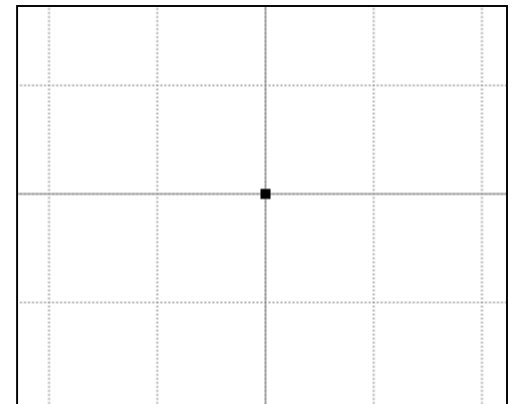
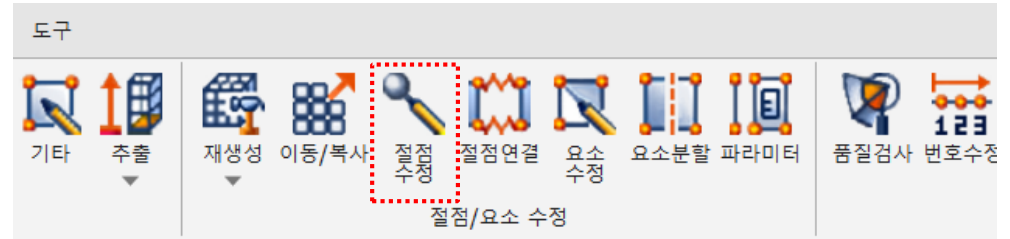
절점 생성

✓ 생성 방법

- 1) 좌표 : 좌표를 입력하여 절점을 생성.
- 2) 두 절점 사이 : 두 개의 절점을 연결하는 직선상의 임의 위치에 절점을 생성.
- 3) 절점의 중심 : 선택한 절점들의 중심위치에 절점을 생성.
- 4) 선 위에 생성 : 선택한 선 상에 절점을 생성. 이때 거리 또는 비율을 이용해서 생성 위치를 지정.
- 5) 원형 곡선의 중심 : 원호의 중심 위치에 절점을 생성 합니다.

✓ 시작 절점 번호

- 1) 최소번호 : 생성하는 절점을 사용되지 않는 절점 번호 중 최소 번호로 설정.
- 2) 최대 번호 + 1 : 생성하는 절점을 사용된 절점 번호 중 최대 번호에 연이어 번호를 설정.
- 3) 사용자 지정 : 생성하는 절점 번호를 사용자가 지정하는 번호로 설정.



A2. 요소 생성 및 제어

Mesh 생성시 다양한 기법 : 요소망 직선 추출

✓ 직선 추출

- 1) 낮은 차원의 요소를 이용하여 한 차원 더 높은 요소를 생성
- 2) 추출 방법 : 절점 1D, 1D 2D, 2D 3D 총 3가지
- 3) 사용자가 요소망을 조절하여 생성할 수 있으므로 요소망 자동 생성과는 달리 규칙적인 형상을 가지는 요소망 생성이 가능

✓ 순서 ① : 추출 형상 선택

- 1) 추출할 대상을 선택.
- 2) 추출 후 원본 형상을 삭제, 이동, 복사할 수 있음.

✓ 순서 ② : 추출 정보

- 1) 선택한 요소망을 추출할 때의 길이와 요소 분할 수를 지정.
- 2) 추출 정보 입력값에 의해 요소망의 크기와 균일도가 정의됨.

The screenshot shows the 'Extraction' (추출) tool in the software interface. The tool is used to generate 3D elements from a 2D mesh. The interface includes a toolbar with various tools, a 'Wrench' model, and a '2D 요소' (2D element) label with a green arrow pointing to a '3D 요소' (3D element) label. The 'Extraction' dialog box is open, showing the following settings:

- Extraction Method:** 절점->1D, 1D->2D, 2D->3D (Selected: 2D요소->3D요소)
- Selection:** 1528개 대상 선택됨
- Source:** 없음 (Selected)
- Extraction Direction:** 2점 벡터 (Selected), X, Y, Z (Z is checked)
- Extraction Info:** 균일 (Selected), 길이/분할개수 (Selected), 전체길이: 10, 분할수: 5
- Extraction Type:** 양방향 추출 (Unchecked)
- Characteristics:** 1: Wrench
- Element Set:** 직선추출 세트

Mesh 생성시 다양한 기법 : 요소망 스왑 추출

✓ 스왑 추출

- 1) 절점, 1D 요소, 요소변, 엣지, 2D 요소 그리고 요소면을 선택한 후 형상의 기준이 되는 스왑 가이드를 이용하여 한 차원 높은 요소를 생성

✓ 직교 수입

- 1) 대상이 항상 스왑 가이드 곡선과 직각이 되도록 생성.
- 2) 기준점으로 절점 사용.
- 3) 스왑 가이드의 곡률이 커서 추출되는 요소망에 왜곡이 발생할 경우 사용.

✓ 스왑 가이드

- 1) 요소망 추출의 기준이 되는 곡선을 지정.
- 2) 절점 순서 : 곡선이 아닌 여러 개의 선택한 점을 이용하여 스왑 추출을 실행. 절점의 상대위치를 반영하여 생성되므로 시작 절점 위치가 중요.

✓ 스케일 배율

- 1) 가이드 끝 부분의 요소망 축척값을 입력.
- 2) 양 끝단의 크기가 다른 요소망을 생성할 경우 사용.

The screenshot shows the '요소망 스왑추출' (Element Mesh Swap Extraction) dialog box in the midas NFX software. The dialog is divided into three numbered steps:

- 1** 대상선택 (Target Selection): Includes options for '직교수입' (Orthogonal Import) and '절점 선택' (Node Selection). The '소스' (Source) is set to '없음' (None).
- 2** 스왑 가이드 (Swap Guide): Includes options for '곡선' (Curve) and '절점 순서' (Node Order). The '곡선' option is selected, and '대상선택' (Target Selection) is used.
- 3** 스케일 배율 (Scale Factor): The scale factor is set to 1.

Additional settings include '요소 크기설정' (Element Size Setting) with '크기' (Size) selected and a value of 30, and '특성' (Properties) set to 1. The '요소망세트' (Element Mesh Set) is '스왑추출 세트' (Swap Extraction Set). Buttons for '확인' (OK), '취소' (Cancel), and '적용' (Apply) are at the bottom.

To the right of the dialog, a 3D model illustrates the process. A blue wireframe structure is shown with a green mesh being extracted. A red arrow points to a specific node labeled '시작 절점' (Start Node).

Mesh 생성시 다양한 기법 : 요소망 투영 추출

✓ 투영 추출

- 1) 절점, 1D 요소, 요소변, 엣지, 2D 요소 그리고 요소면을 선택한 후 사용자가 정의한 방향의 목표면에 투영하여 한 차원 높은 요소를 생성

✓ 투영 대상

- 1) 선택한 대상이 투영될 면을 지정.
- 2) 생성되어 있는 면을 선택할 수 있으며, 3개의 점을 이용하여 가상의 평면을 지정할 수 있음.

✓ 최단 거리 투영

- 1) 선택한 요소망과 투영면의 최단 거리와 방향을 자동으로 계산하여 요소망을 생성.

✓ 요소 크기 설정

- 1) 투영 추출의 특징에 의해 길이가 자동적으로 지정되므로 사용자는 요소의 분할 또는 크기만을 지정.

The screenshot displays the '요소망 투영추출' (Element Mesh Projection Extraction) dialog box in the Midas NFX software. The dialog is organized into several sections:

- 투영 대상 (Projection Target):** Includes a dropdown menu for '2D 요소->3D 요소' and a '대상선택' (Target Selection) button. Below this are radio buttons for '소스' (Source) with options: '없음' (None), '삭제' (Delete), '이동' (Move), and '복사' (Copy).
- 투영 대상 (Projection Target):** A section for selecting the target face, featuring a '투영면 선택' (Projection Face Selection) button and a '3점 평면' (3-Point Plane) option with three input fields for coordinates (0,0,0).
- 투영 방향 (Projection Direction):** Includes a '방향선택' (Direction Selection) button and a '2점 벡터' (2-Point Vector) option with checkboxes for X, Y, and Z axes, and input fields for coordinates (0,0,0) and (1,1,1).
- 요소 크기 설정 (Element Size Setting):** Features a '최단 거리 투영' (Shortest Distance Projection) radio button, and options for '크기' (Size) and '분할수' (Number of Divisions) set to 2.
- 특성 (Properties):** A dropdown menu set to '1'.
- 요소망세트 (Element Mesh Set):** A dropdown menu set to '투영추출 세트' (Projection Extraction Set).
- Buttons:** '확인' (OK), '취소' (Cancel), '적용' (Apply), and '>>' (Next).

Numbered callouts 1, 2, and 3 highlight the '투영면 선택', '최단 거리 투영', and '요소 크기 설정' sections respectively. To the right, a '3-Point Plane' diagram shows three red dots defining a plane, and a '2D to 3D' diagram shows a yellow mesh being projected onto a 3D volume.

Mesh 생성시 다양한 기법 : 요소망 채우기 추출

✓ 채우기 추출

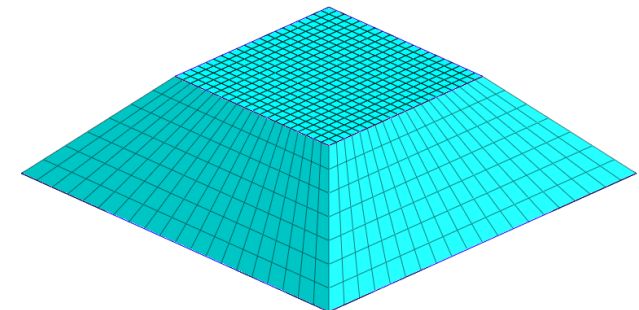
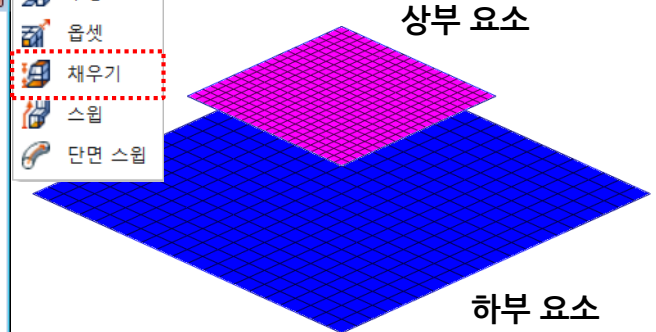
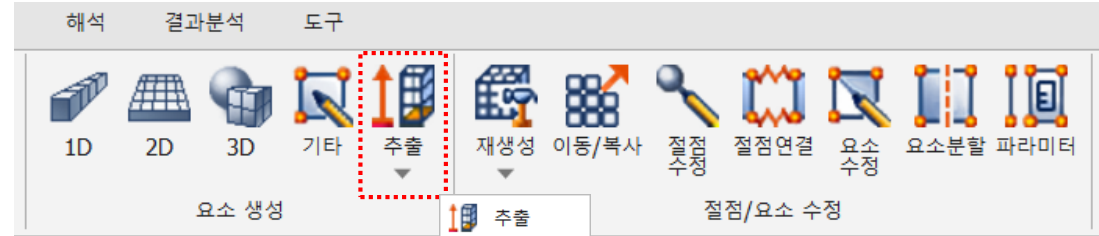
- 1) 절점, 1D 요소, 엣지 그리고 2D 요소를 이용하여 요소와 요소 사이의 공간을 채우면서 생성. 단, 선택되는 대상의 절점의 수량이 같아야 함.

✓ 요소 선택

- 1) 하부 요소들과 상부 요소들은 동일한 Topology를 가져야 함. 즉, 요소망의 배치, 형상 등이 유사해야만 요소망 채우기 가능.
- 2) 선택한 하부 요소의 개수와, 선택한 상부 요소의 개수가 같아야 작업 수행 가능.

✓ 기준 절점

- 1) 자동으로 대응이 되는 짝을 찾아서 요소망을 생성하지 못하는 경우 수동으로 대응되는 절점을 하나씩 지정.



Mesh 생성시 다양한 기법 : 요소망 옹셋 추출

✓ 옹셋 추출

- 1) 1D 요소, 요소변, 엣지, 2D 요소 그리고 요소면을 요소의 법선 방향으로 옹셋하여 한 차원 높은 요소를 생성.
- 2) 2D 3D : Pipe와 같이 두께가 얇은 형태를 3D로 모델링 할 때 사용하기 적합.

✓ 옹셋 방향

- 1) (+) / (-) 방향 : 선택한 각 요소의 법선 방향으로 요소 생성.
- 2) 양방향 : 선택한 각 요소의 법선 양방향으로 요소 생성.

✓ 추출 정보

- 1) 비균일 : 추출 길이를 함수로 입력. 콤마(,)를 이용하여 길이를 나열. 반복되는 추출거리는 (횟수@거리)를 사용.
- 2) 균일 : 길이와 분할수 입력값을 이용하여 등간격 추출.

The screenshot shows the '요소망 옹셋추출' (Element Mesh Extrusion) dialog box in the midas NFX software. The dialog is divided into several sections:

- 요소 생성 (Element Generation):** Includes icons for 1D, 2D, 3D, 기타 (Other), and 추출 (Extrusion). The '추출' icon is highlighted with a red dashed box.
- 결과분석 (Result Analysis):** Includes icons for 재구성 (Reconstruction), 이동/복사 (Move/Copy), 절점수정 (Node Modification), 절점연결 (Node Connection), 요소수정 (Element Modification), 요소분할 (Element Division), and 파라미터 (Parameter).
- 요소망 옹셋추출 (Element Mesh Extrusion):**
 - 1D->2D, 2D->3D: 2D요소->3D요소
 - 144개 대상 선택됨 (144 objects selected)
 - 소스 (Source): 없음 (None), 삭제 (Delete), 이동 (Move), 복사 (Copy)
 - 1. 옹셋 방향 (Extrusion Direction): (+) 방향, (-) 방향 (selected), 양방향 (Bi-directional)
 - 2. 추출 정보 (Extraction Information): 비균일 (Non-uniform), 균일 (Uniform) (selected), 길이/분할개수 (Length/Division Count) dropdown
 - 길이 (Length): 5.48715, 분할수 (Division Count): 5
 - 특성 (Characteristic): 2
 - 요소망세트 (Element Mesh Set): 옹셋추출 세트-1
 - Buttons: 확인 (OK), 취소 (Cancel), 적용 (Apply), >>

Below the dialog, a 3D model of a turbine blade is shown with a green mesh extrusion. A red dashed box highlights the extrusion area. Below the model, two views of the extracted mesh are shown: '2D 요소' (2D Element) and '3D 요소' (3D Element), with a green arrow pointing from the 2D view to the 3D view.

Mesh수정기법 : 요소망 크기 제어

✓ 크기 지정

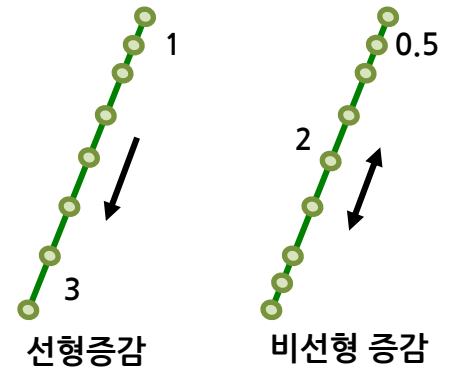
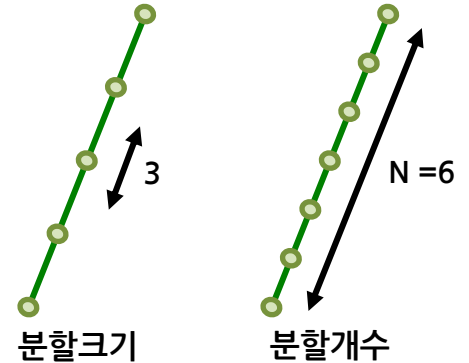
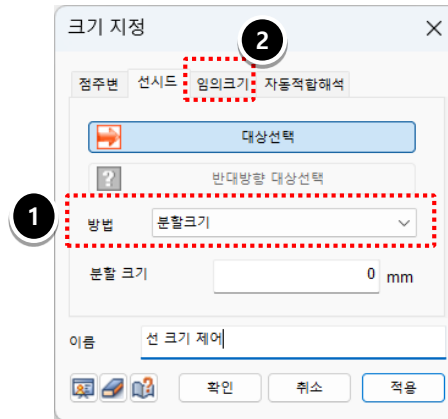
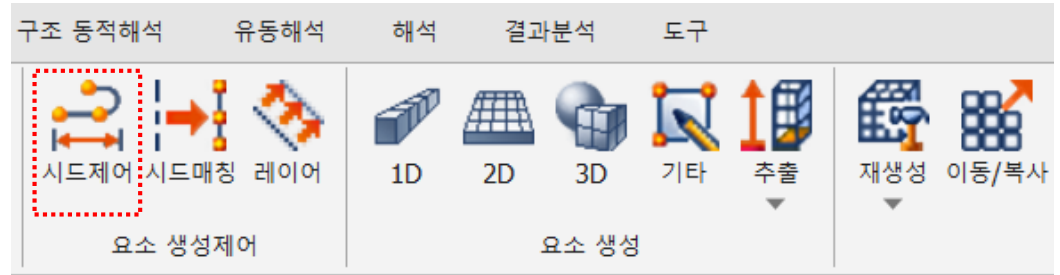
- 1) 선택한 엣지에 사용자가 지정하는 대로 요소가 생성 되도록 하는 기능.
- 2) 크기지정은 기하형상 수정을 모두 완료한 후 메쉬 생성 직전에 수행
- 3) 크기지정은 모델 트리의 요소망 제어에서 확인할 수 있으며, 이를 다시 편집하여 수정 가능.
- 4) 크기 지정으로 적용한 메쉬 크기는 강제적으로 적용되는 값으로 이를 수정하거나 삭제하기 전까지는 메쉬 생성에 계속 적용됨.

✓ 방법

- 1) 분할크기, 분할개수, 선형증감, 비선형 증감

✓ 임의 크기

- 1) 선택한 엣지에 절점이 생성될 위치를 직접 표에 입력하여 지정.



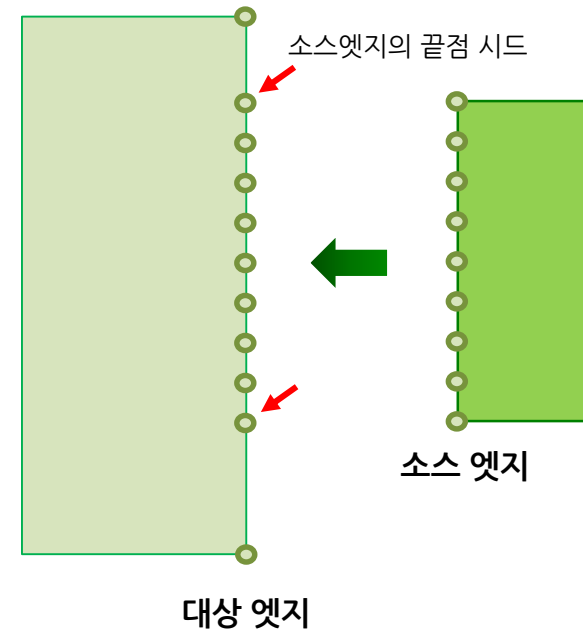
Mesh수정기법 : 요소망 시드매칭

✓ 시드 매칭

- 크기지정이 되어 있는 �지의 정보를 다른 �지에 전달하여 메쉬의 크기를 지정.
- 두 개의 떨어져 있는 �지의 절점 생성 위치를 유사하게 하여 절점 공유 작업을 수월하게 하기 위해 사용.

✓ 맞추기 방법

- 투영 : 최소 거리 방향으로 투영
- 비율 : 소스 �지와 분할률이 같도록 대상 �지에 시딩 함
- 소스 �지의 끝점 시드 포함 : 소스 �지의 양 끝 절점 생성 위치를 대상 �지에 전달



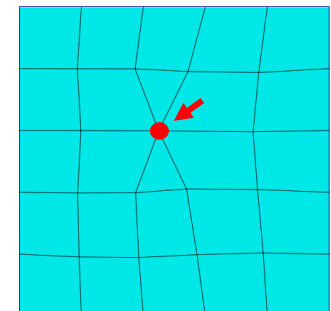
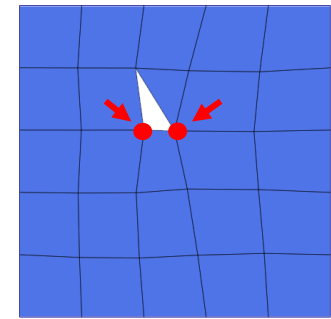
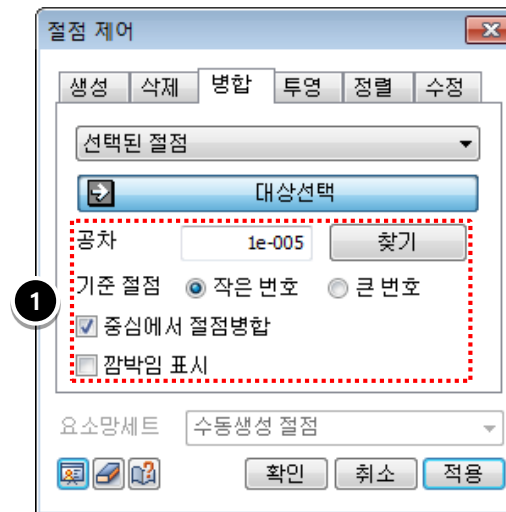
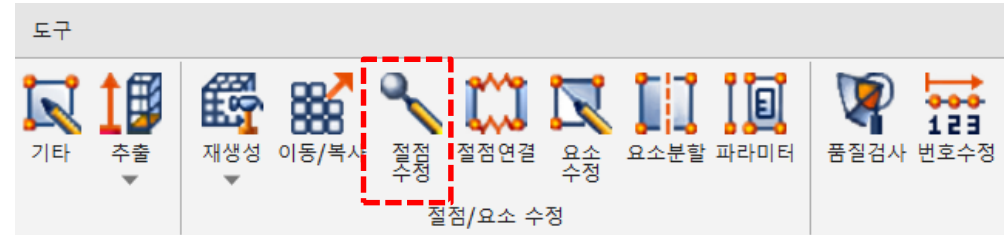
Mesh수정기법: 절점 병합

✓ 병합 (merge)

- 1) 2개 또는 2개 이상의 절점을 하나로 병합.
- 2) 절점 간의 연결성이 끊어진 경우 사용.
- 3) 서로 다른 요소망이 서로 맞닿는 부분을 병합할 경우 실제 용접한 것과 같은 효과.

✓ 절점 제어 옵션

- 1) 공차 : 병합의 허용한계로서, 절점들 간의 거리가 공차보다 작은 경우 절점이 하나로 합쳐짐. 찾기를 선택하면 공차 이하의 절점이 자동으로 검색됨.
- 2) 감빡임 표시 : 프리 엣지를 찾기 쉽도록 해당 절점을 감빡임으로 표시.

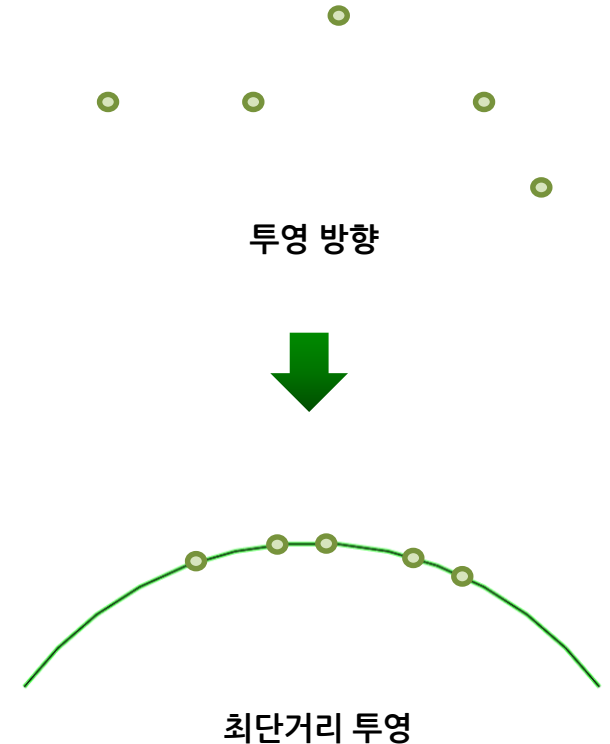
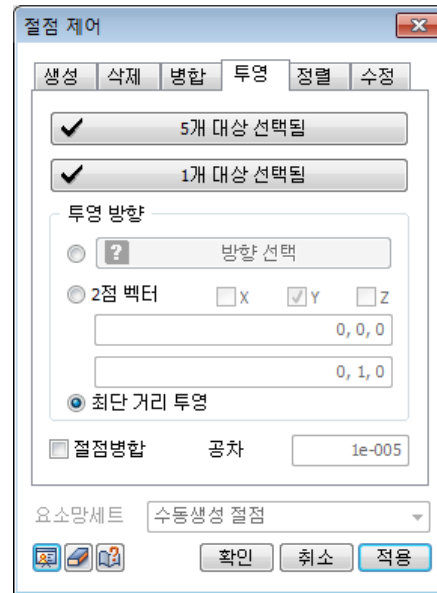
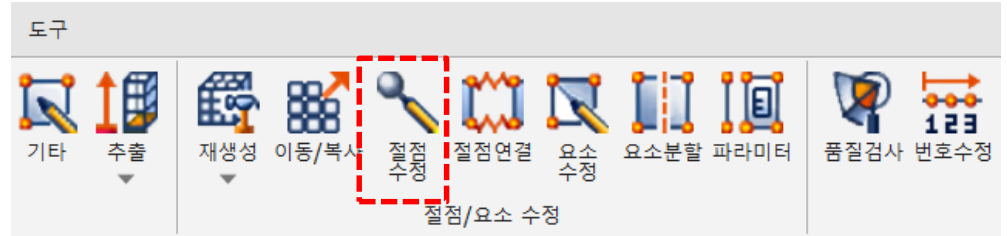


2개 절점 병합

Mesh수정기법: 절점 투영

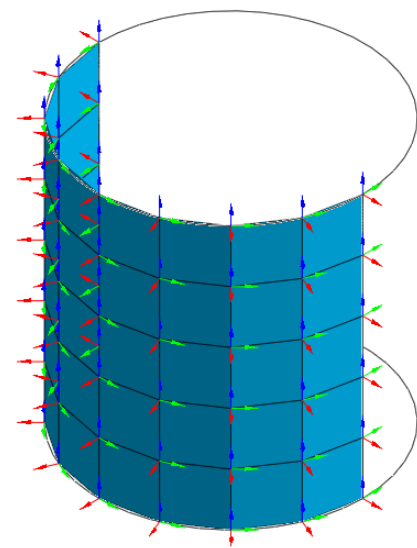
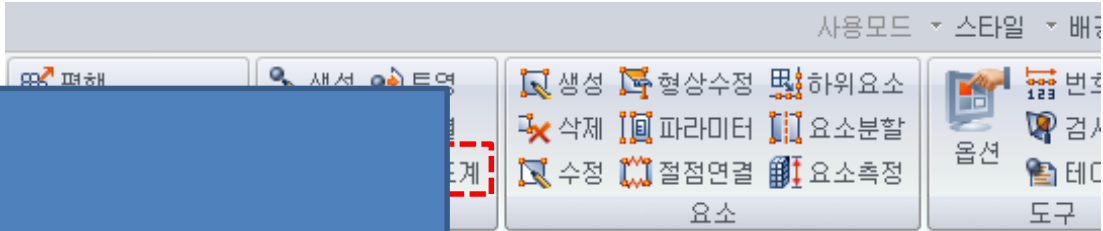
✓ 투영

- 1) 절점을 면이나 엣지에 투영.
- 2) 절점은 메쉬와 연결성을 유지하며 투영되어, 요소를 투영한 것과 비슷한 효과를 얻음.



Mesh수정기법: 절점 좌표계 변경

- ✓ 좌표계
- 1) 선
- 2) 점
- 3) 요소



전체원통좌표계 적용

Mesh수정기법 : 요소 분할

✓ 요소분할

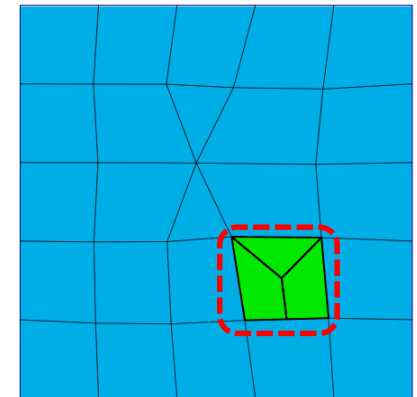
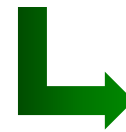
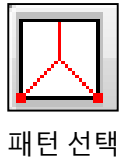
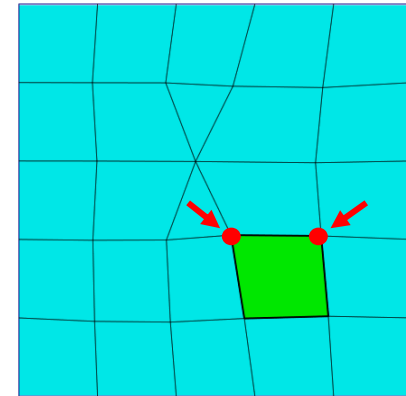
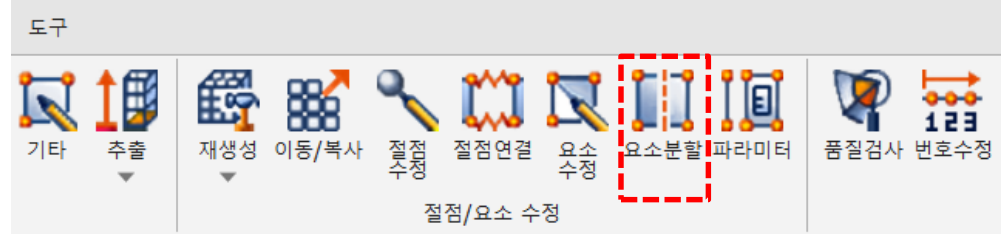
- 1) 1D 요소, 2D 요소 그리고 3D 요소면을 일정한 개수나 패턴을 이용하여 분할.

✓ 방법

- 1) 선택한 패턴을 이용하여 요소를 분할
- 2) 패턴에 나타나 있는 붉은 점들은 참조 절점을 의미하며, 이 참조 절점을 사용자가 직접 지정하여 요소를 분할.

✓ 개수에 의한 분할

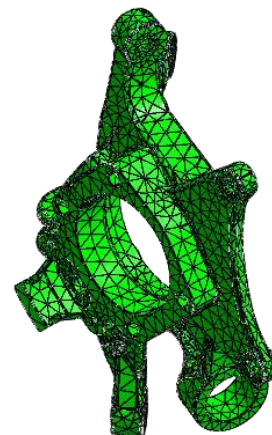
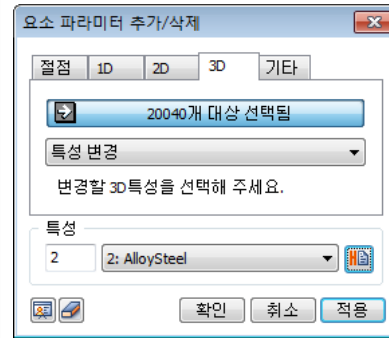
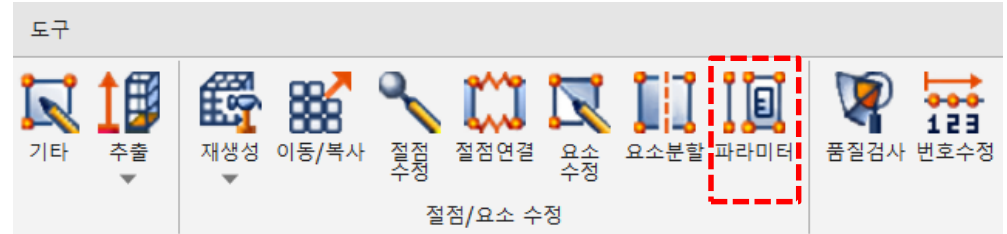
- 1) 입력한 값에 맞추어 요소를 분할



Mesh 생성 후기법 : 요소 특성 변경

✓ 파라미터

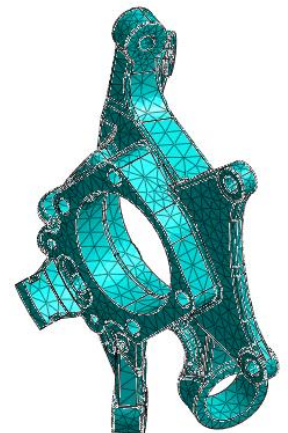
- 1) 요소의 다양한 입력값을 변경.
- 2) 특성변경 : 선택한 대상의 특성을 변경.
- 3) 좌표계 변경 : 선택한 요소의 좌표계, 방향 변경
- 4) 요소 차수 변경
 - ① 저차요소 : 고차요소를 저차요소로 변환.
 - ② 고차요소 : 저차요소를 고차요소로 변환.
 - ③ 중간절점을 형상에 : 고차요소의 중간절점이 기하형상의 경계에 생성.
 - ④ 중간절점을 두 점의 중점으로 변경 : 고차요소의 중간 절점이 두 절점의 중심 위치에 생성.
- 5) 옴셋 : 선택한 1D 또는 2D 요소를 옴셋.
- 6) 1D 요소
 - ① 끝단 구속 해제 : 요소의 구속 조건을 입력.
- 7) 2D 요소
 - ① 두께 : 선택한 2D 요소의 두께를 입력.
 - ② 재료 좌표계 : 재료의 좌표계를 정의. (복합재 정의시 사용)



Cast Alloy Steel



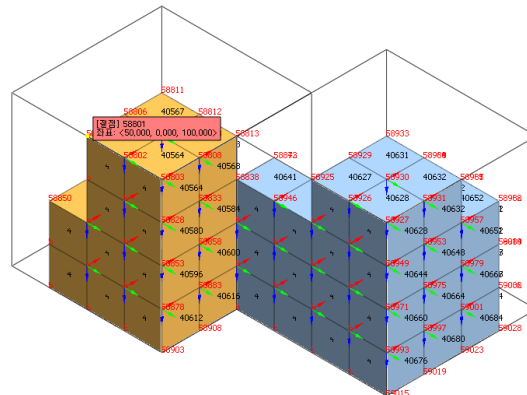
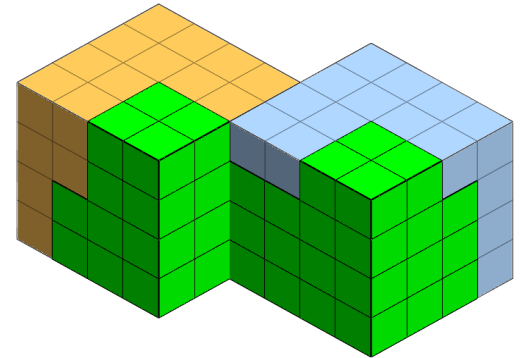
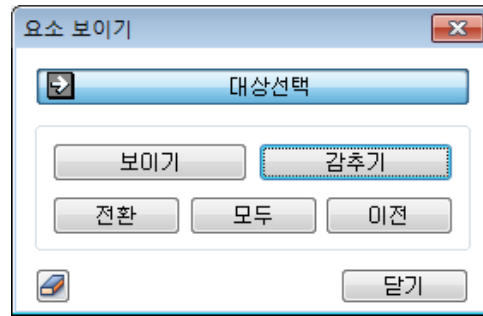
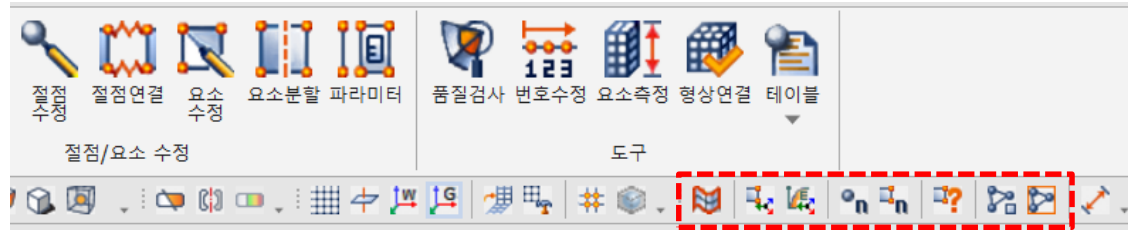
3D 요소 특성 변경



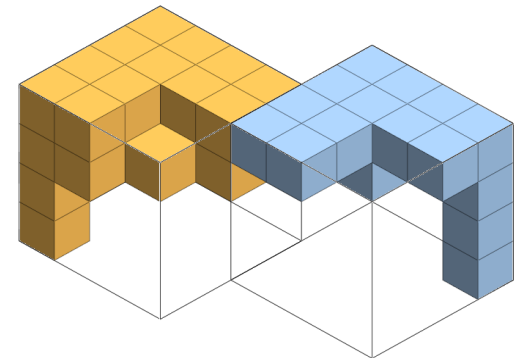
Alloy Steel

Mesh 생성 후 기법 : 요소 정보 보이기 / 감추기

아이콘	구분	기능
	요소 보이기	요소와 절점을 숨기거나 보이게 합니다.
	재료/요소 좌표계 보이기	요소 또는 재료의 좌표계를 숨기거나 보이게 합니다.
	절점/요소 정보 조회	선택한 요소 또는 절점의 정보를 확인할 수 있습니다.
	자유선 보이기/감추기	2D 요소의 자유선을 확인할 수 있습니다.
	절점/요소 번호 보이기/감추기	절점 또는 요소의 번호를 보이거나 감춥니다.



전환 및 요소와 절점 정보 보이기

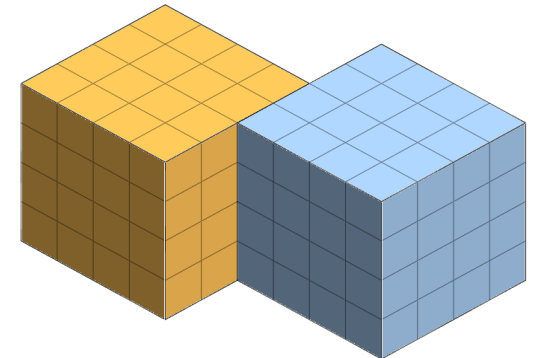
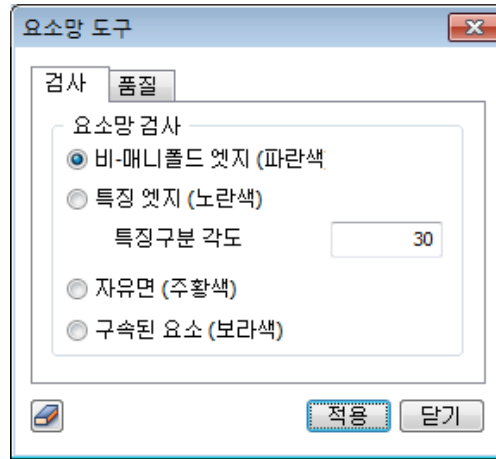
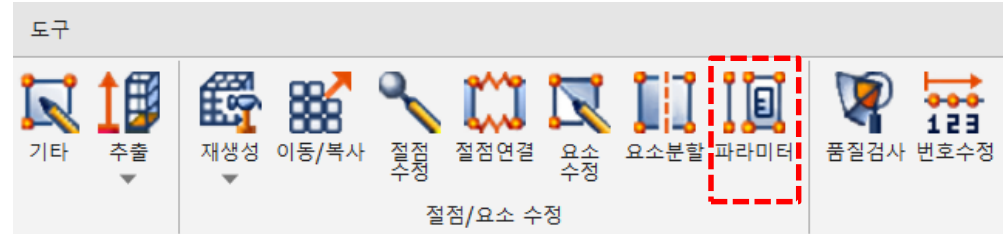


선택 부분 감추기

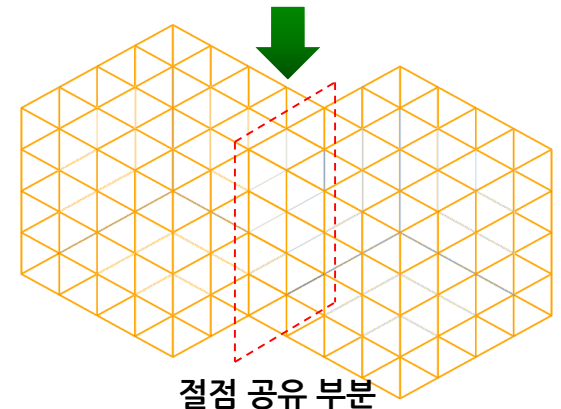
Mesh 생성 후 기법 : 요소 검사

✓ 요소 검사

- 1) 생성한 요소망의 적합성을 확인 .
- 2) 비-매니폴드 : 세 개 이상의 요소면이 만나는 요소 엣지
- 3) 특징 엣지 : 모델의 외형에 급격한 변화가 있는 선을 의미
- 4) 자유면 : 3D 요소들 간에 절점이 공유되어 있지 않은 부분.
- 5) 자유면을 확인할 때 요소망이 복잡하여 확인하기 어려울 경우 대상 요소망을 모두 감추기 상태에서 요소 검사를 실행.



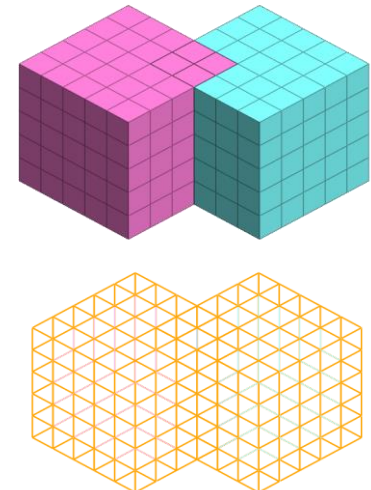
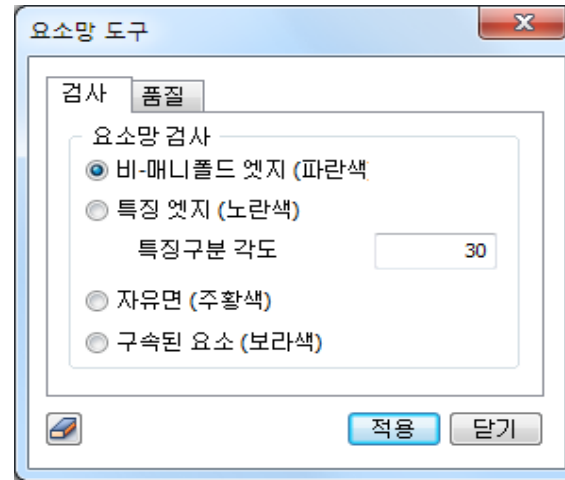
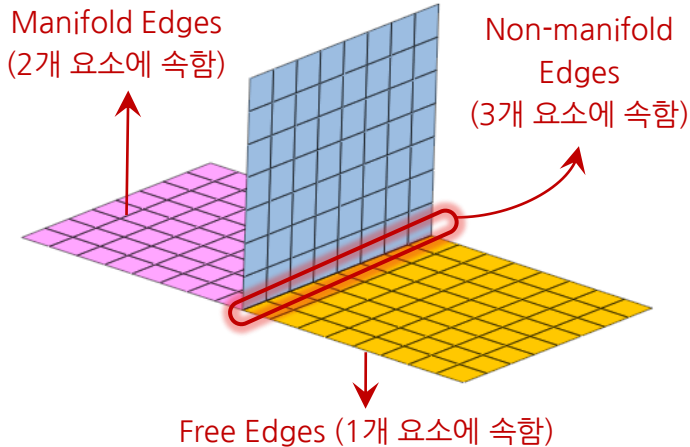
요소검사 - 자유면



절점 공유 부분

요소망 검사 추가 설명 자료

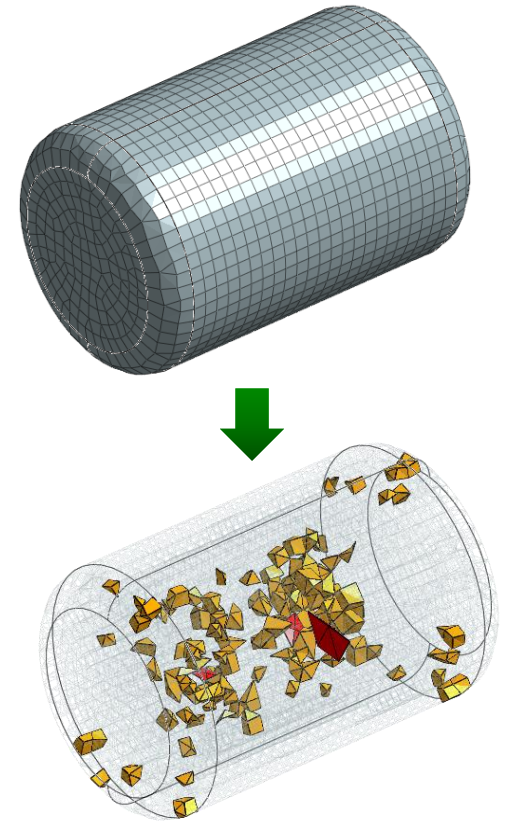
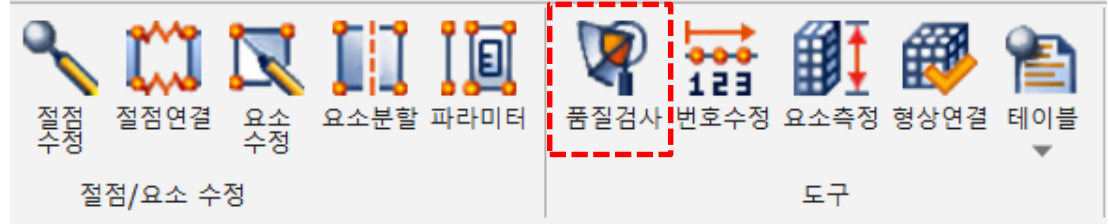
비-매니폴드 에지 (Non-manifold Edge)	2개 이상의 요소 면에 속하는 이 만나는 요소 에지 ↔ Manifold Edge (2개의 요소 면에만 속하는 에지)
특징 에지 (Feature Edge)	요소면 사이 각도가 지정한 각도보다 큰 경계의 에지 (모델의 모양에 변화가 심한 부분)
자유단 / 자유면	자유단 / 자유면 (1개의 요소 면에만 속하는 에지)
<기타> 구속된 요소(Clamped Element), 겹친 요소 (Overlapped Element)	



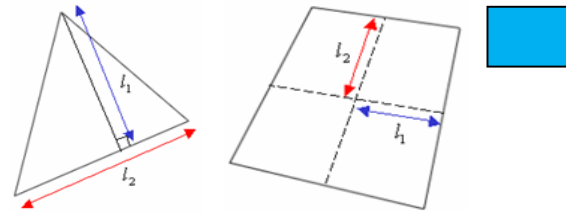
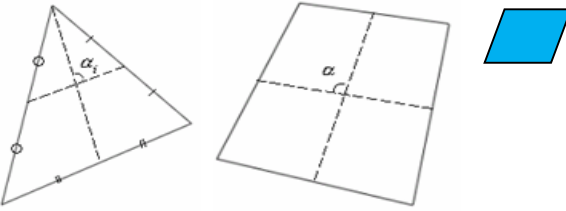
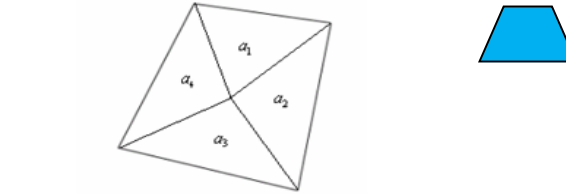
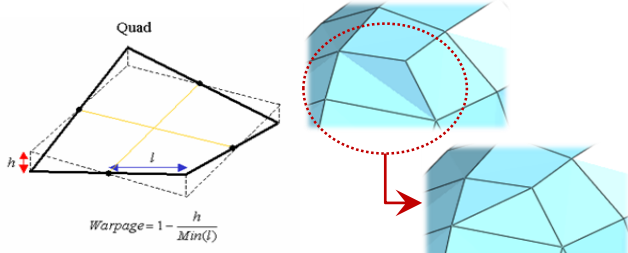
Mesh 생성 후기법 : 요소 품질

✓ 요소 품질

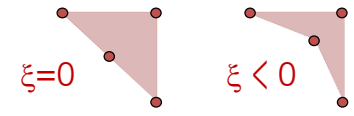
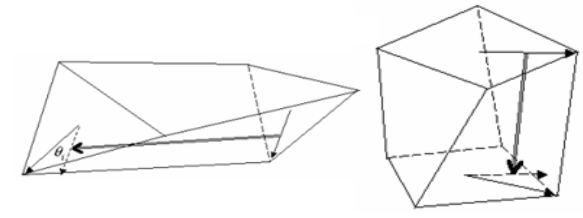
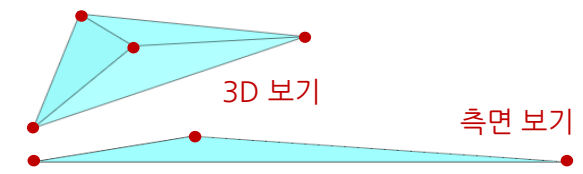
- 1) 생성한 요소망의 품질을 확인.
- 2) 종횡비 : 요소의 가로 길이와 세로 길이의 비.
- 3) 기운각 : 요소의 면내 품질을 나타냄.
- 4) 뒤틀림 : 요소의 면외 품질 (평면에서 벗어난 정도)을 나타냄.
- 5) 테이퍼 : 요소가 직사각형 형상에서 벗어난 정도를 기하적으로 계산한 것. (1에 가까울 수록 좋음)
- 6) 자코비안 비(Jacobian Ratio) : 요소의 각 가우스 적분점에서 자코비안의 Determinant를 계산한 값. 음의 값이 나올 경우 정상적으로 해석되지 않으며, 큰 값이 나올 수록 좋음.
- 7) 비틀림 : 솔리드에서 마주 보는 두 면이 비틀린 정도를 나타내는 값.
- 8) 요소망 세트 → 불량 요소 : 올바르게 생성되지 않은 요소를 검색하여 따로 요소망으로 내보내어 수정하기 쉽도록 함.



요소망 품질 (1)

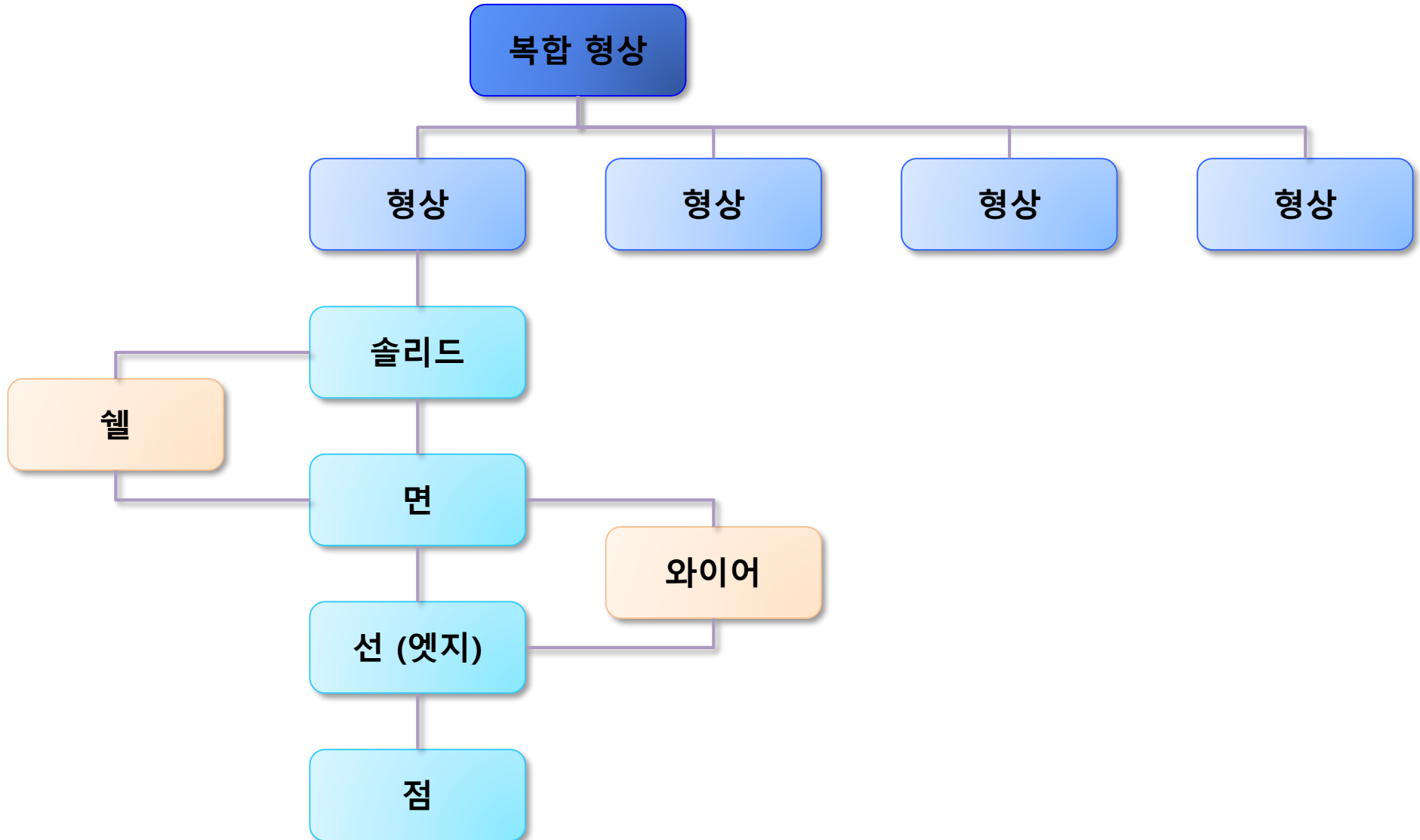
<p>종횡비 (Aspect Ratio)</p>	<p>가로 길이와 세로 길이의 비 → 1에 가까울수록 좋음 (정사각형)</p>	
<p>기운 각 (Skew Angle)</p>	<p>직사각형 형상(90도)에서 벗어난 정도 (직사각형 ↔ 마름모) → 0에 가까울수록 좋음</p>	
<p>테이퍼 (Taper)</p>	<p>직사각형에서 벗어난 정도 (직사각형 ↔ 사다리꼴) → 0에 가까울수록 좋음</p>	
<p>뒤틀림 (Warpage)</p>	<p>사각형이 평면에서 벗어난 정도 (세 절점으로 정의한 평면에 대해 나머지 한 절점이 떨어진 정도) ※ 2개의 삼각형 요소로 분할</p>	

요소망 품질 (2)

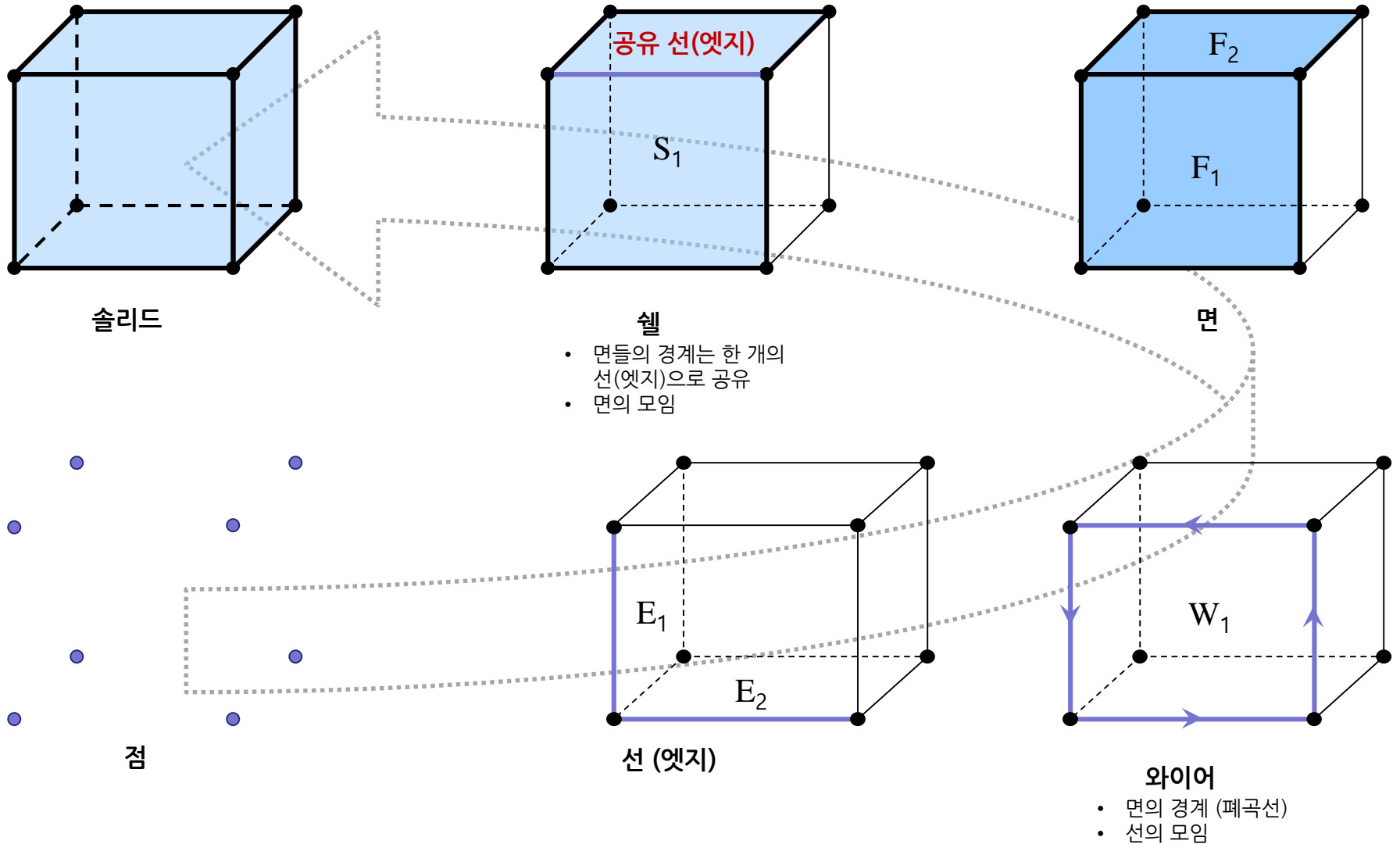
<p>자코비안 비 (Jacobian Ratio)</p>	<p>요소의 각 적분점에서 계산한 Jacobian Determinant에서 가장 작은 값과 가장 큰 값이 비율 → 1에 가까울수록 좋음 ※ 0 이하이면 해석 에러 발생</p>	<p><주의></p>  <ul style="list-style-type: none"> • 부레랑 같은 오목한 사각형 • 다른 요소 에지를 침범하는 고차요소의 중간절점
<p>비틀림 (Twist)</p>	<p>육면체/오면체 요소에서 마주 보는 두 면이 비틀린 정도</p>	
<p>Collapsed Tetra</p>	<p>사면체 요소가 납작한 정도</p>	 <p>3D 보기 측면 보기</p>
<p>요소 길이 (Element Length)</p>	<p>요소의 최대/최소길이 값</p>	<p>-</p>

A3. 기하형상의 이해

기하형상의 계층 구조(1)

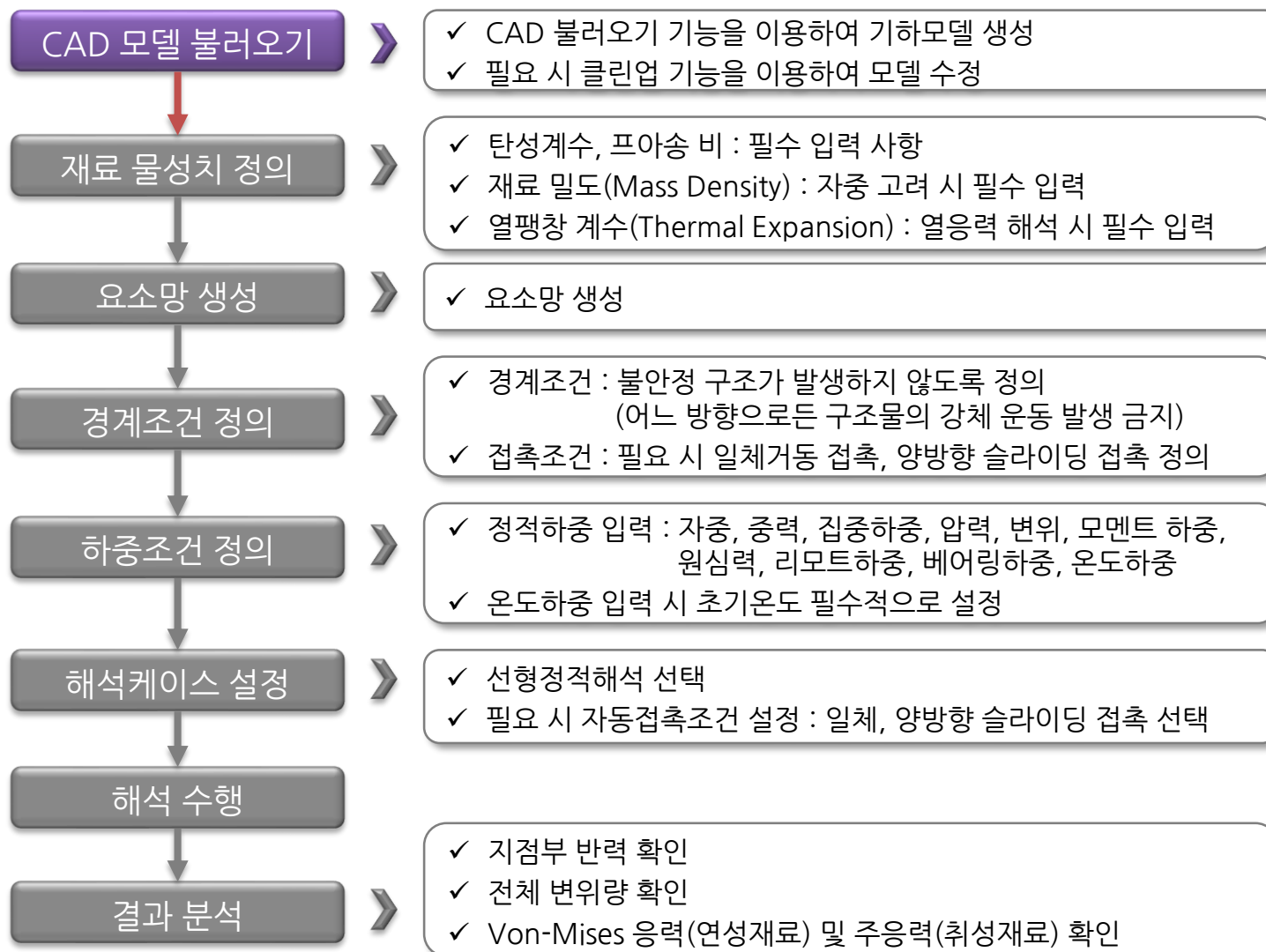


기하형상의 계층 구조(2)

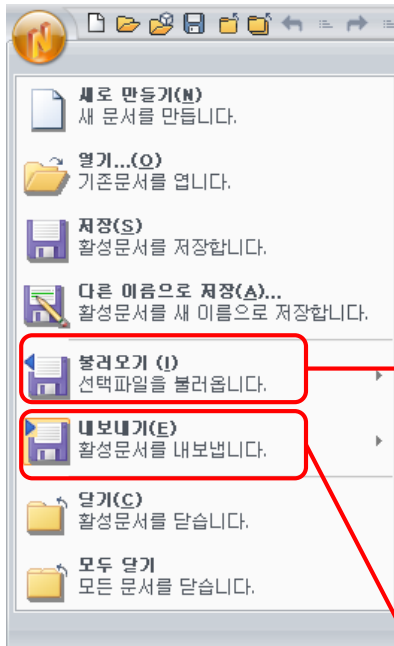


A4. 해석 순서의 이해

선형정적해석 프로세스



불러오기 / 내보내기 (midas NFX 2012 R3 기준)



선택파일의 기하형상 또는 FE모델을 불러오기

- CAD 기하형상 불러오기 (C)...**
현재 프로젝트로 CAD파일을 불러옵니다.
- DXF 2D (와이어프레임)...**
현재 프로젝트로 DXF 2D파일을 불러옵니다.
- DXF 3D (와이어프레임)...**
현재 프로젝트로 DXF 3D파일을 불러옵니다.
- NASTRAN 모델파일 불러오기 (N)...**
NASTRAN 모델파일을 불러옵니다.

현재 작업중인 모델을 내보내기

- 이미지파일... (F)**
이미지파일로 저장합니다.
- 전체이미지 (L)**
전체이미지를 저장합니다.
- 선택영역 이미지 (R)**
선택영역 이미지로 저장합니다.
- CAD 기하형상 내보내기 (C)...**
현재 프로젝트의 기하형상들을 CAD파일로 저장합니다.
- 화면상의 요소망 형상을 STL 파일로 내보내기 (S)...**
화면상의 요소망 형상을 STL 파일로 내보냅니다.
- Standard Nastran 파일로 내보내기 (S)...**
Standard Nastran 포맷 파일로 내보냅니다.

- ✓ **CAD 기하형상**
 - Parasolid Kernel 기반
 - Neutral File
 - 1) STEP, IGES, ACIS, Parasolid
 - CAD Direct Interface
 - 1) Catia V4 (4.1.9 to 4.2.4)
 - 2) Catia V5 (R6 to R21)
 - 3) Solid Works (98 to 2012)
 - 4) UniGraphics (11 to 18, NX to NX8)
 - 5) Pro/Engineer (16 to Wildfire 5, Creo 2.0)
 - 6) Inventor Part (6 to 2012)
 - 7) Inventor Assembly (11 to 2012)

✓ **Parasolid 파일 (*.x_t or *.x_b 파일로 export)**

✓ **Nastran File (*.bdf or *.nas file import/export)**

CAD 모델 불러오기 옵션

✓ 접촉면찾기 및 오차자동계산

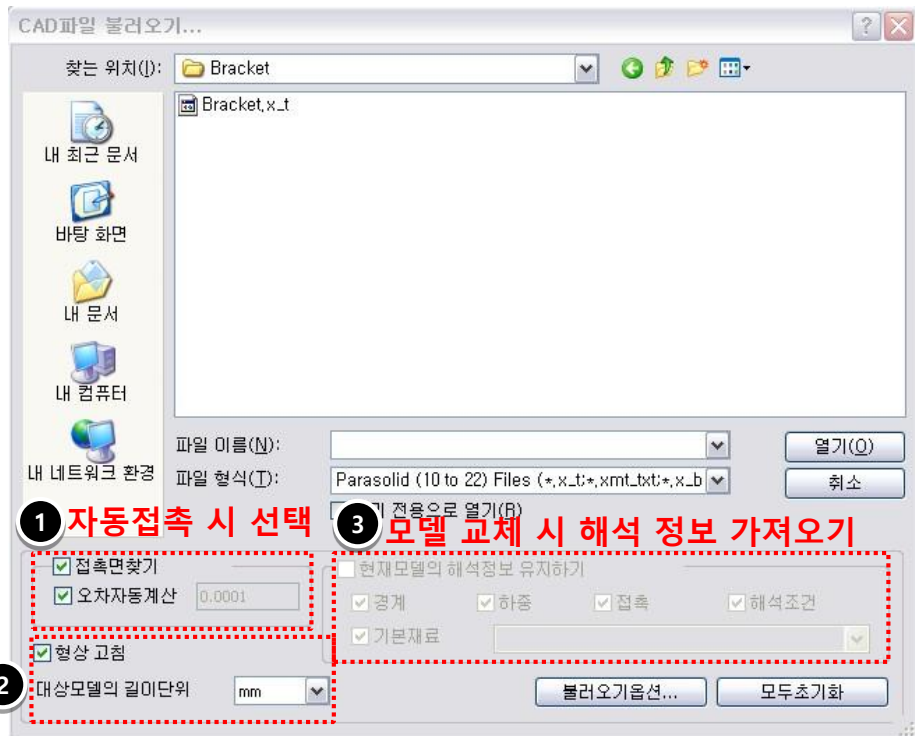
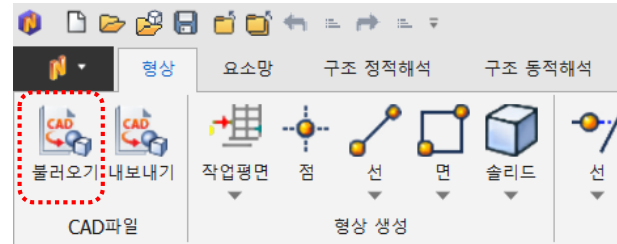
- 1) 불러오는 CAD 모델에서 접촉된 면들을 자동으로 찾아서 일체거동 접촉 조건으로 설정하는 기능
- 2) 오차자동계산을 체크하면 접촉되어 있는 면과 면의 거리를 자동으로 계산하여 접촉면을 찾음

✓ 대상모델의 길이단위

- 1) 불러오는 CAD 모델의 기준 단위 선택
- 2) 기본적으로 mm로 선택되어 있음

✓ 현재 모델의 해석정보 유지하기

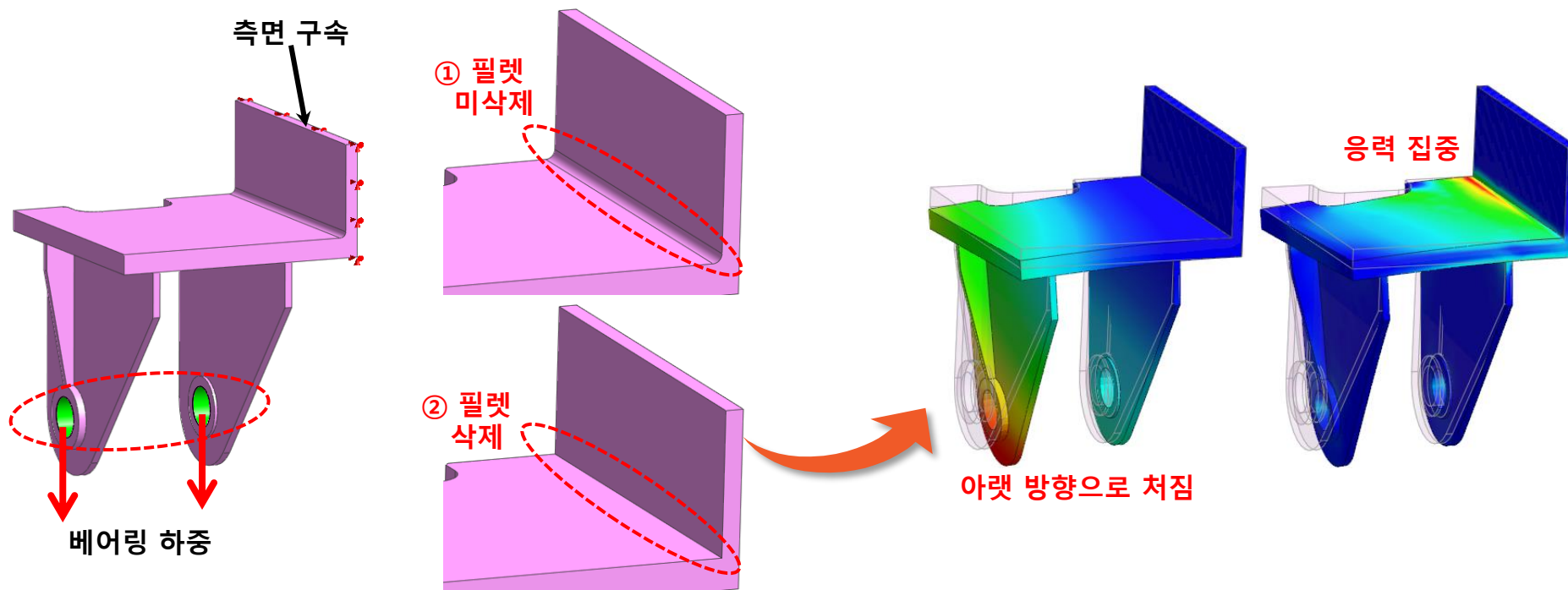
- 1) CAD 모델을 불러올 때 모델의 교체만으로 해석정보를 자동으로 갱신하여 즉시 재해석이 가능한 기능
- 2) 현재 해석이 완료된 모델의 해석정보가 새로 불러오는 모델에 그대로 공유 (단, 모델의 동일한 색상 면으로 조건들이 인식)



모델링 기준 단위에 선택

모델 간략화 필요 유/무 판단

- ✓ 불러들인 기하형상의 역학적 거동을 고려한다.
 - 1) 예상되는 해석 결과에서 중요한 부분의 형상과 그렇지 않은 형상을 구분한다.
 - 2) 하중 조건 및 경계 조건에 따른 영향이 적은 부분의 형상은 최대한 간략화 한다.
- ✓ 간략화에 따라 해석 결과에 영향이 있는 형상은 간략화에서 제외한다.



잘못된 간략화예: 필렛이 삭제됨에 따라 응력 집중이 발생

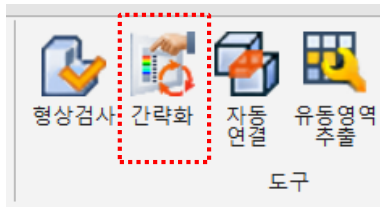
해석 모델에 불필요한 필렛/구멍 등 제거

✓ 자동삭제

1) 조건을 입력한 뒤 해당하는 필렛/구멍을 자동으로 검색 후 선택적으로 삭제할 수 있다.

✓ 수동삭제

1) 수동적으로 삭제하고 싶은 필렛/구멍을 직접 선택하여 삭제할 수 있다.



간략화

자동삭제 수동삭제 면/선 삭제 면 병합

대상형상 선택

조건

- 구멍 (반경) < 32.8503662 mm [찾기]
- 필렛 (반경) < 32.8503662 mm [설정...]

결과

색깔	파트 이름	종류	값
<input type="checkbox"/>	Frame	구멍	19.100000
<input type="checkbox"/>	Frame	구멍	15.200000
<input type="checkbox"/>	Frame	구멍	12.600000
<input type="checkbox"/>	Frame	구멍	9.500000
<input type="checkbox"/>	Frame	구멍	9.500000
<input type="checkbox"/>	Frame	구멍	2.500000
<input type="checkbox"/>	Frame	구멍	2.500000
<input type="checkbox"/>	Frame	구멍	2.100000
<input type="checkbox"/>	Frame	구멍	2.100000

모두선택 모두선택해제 삭제

확인

간략화

자동삭제 수동삭제 면/선 삭제 면 병합

대상선택

- 미소면
- 미소선

방법

- 선택 [대상형상 선택]
- 선택시 즉시삭제
- 면적 < 1.09501221 mm² [찾기]

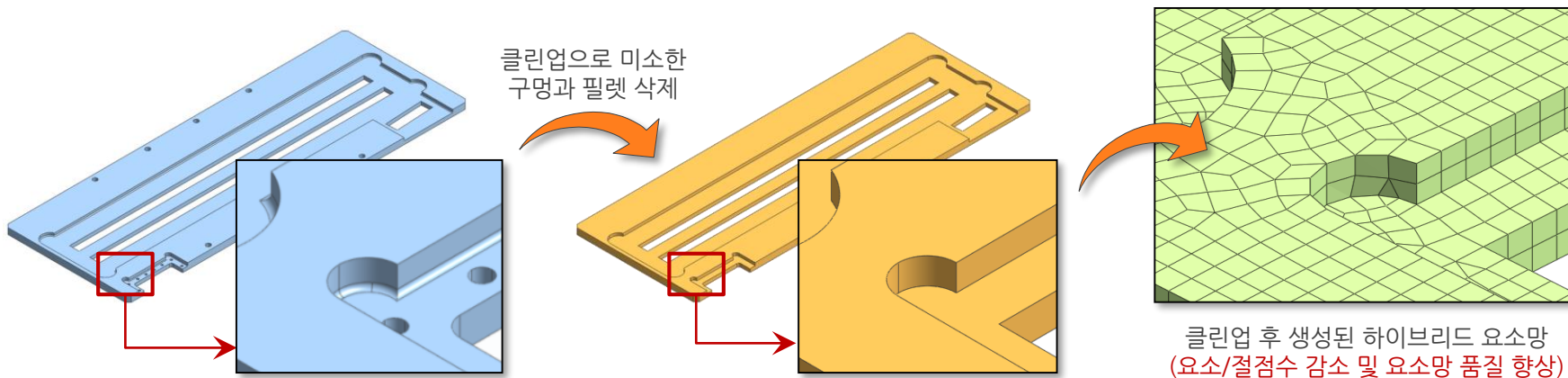
삭제

확인

일반 설계자가 간과하는 작업

✓ CAE 해석을 위해 필요한 CAD 데이터 수정

- 1) 요소망 생성 시 형상의 미세한 홀, 필렛 등으로 요소망 품질이 저하될 수 있다.
- 2) 해석 결과에 큰 영향을 미치지 않는 부분은 단순하게 CAD 데이터를 수정하여 해석 시간을 최소화한다.

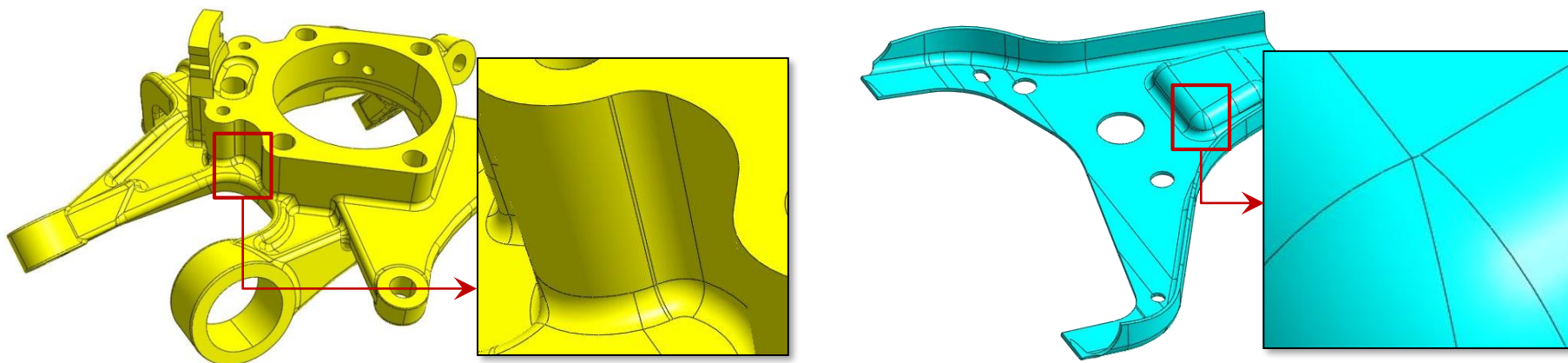


CAD 데이터를 수정으로 요소망 품질 향상

일반 설계자가 간과하는 작업

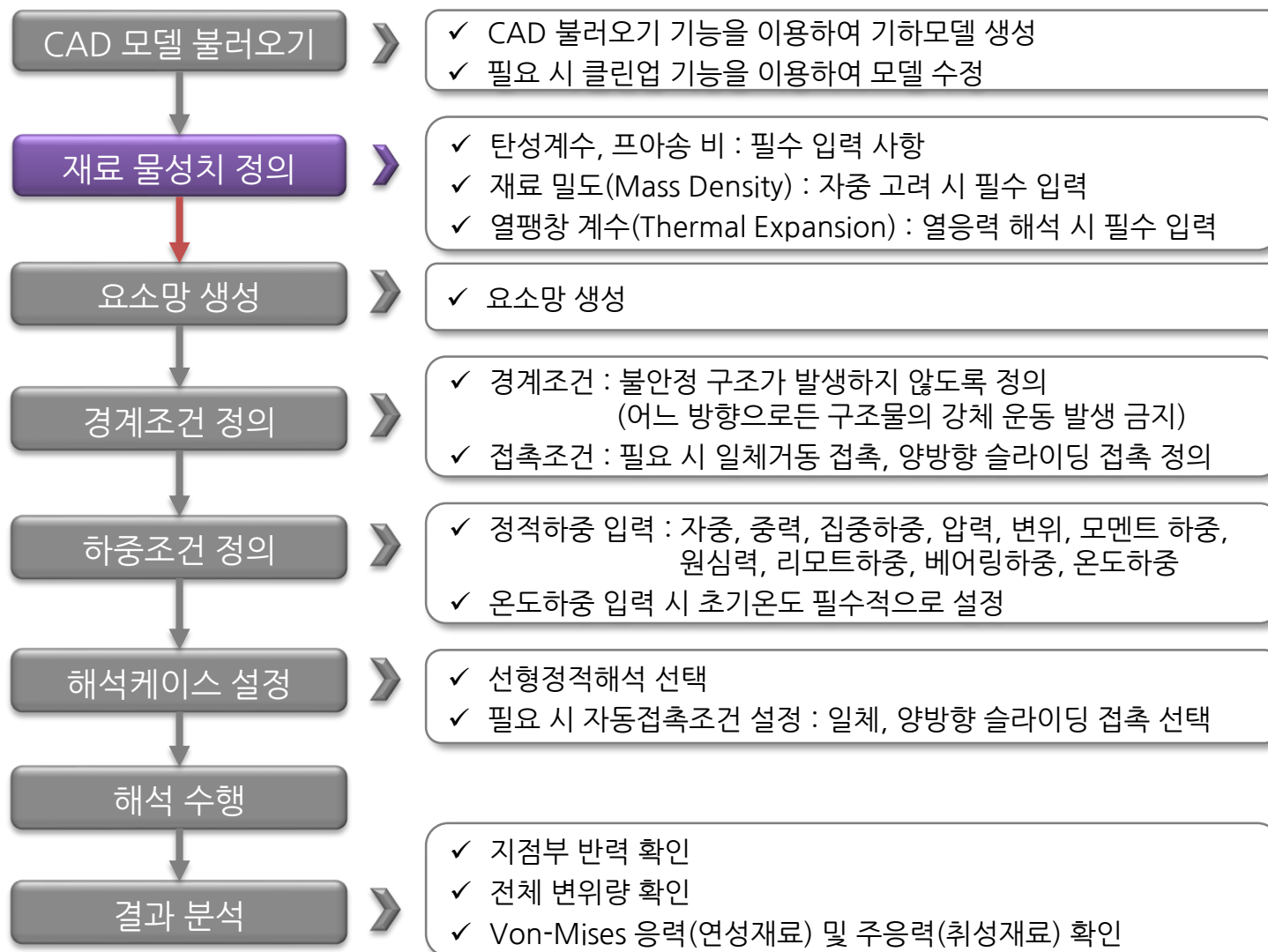
✓ CAE 해석을 위해 필요한 CAD 데이터 수정

- 1) 요소망 생성 시 자동요소망을 사용하게 되면 형상에서의 미소한 선,면이 많은 영향을 끼친다.
- 2) 요소망 생성 전, CAD 데이터에서 근접한 선이나 코너의 불일치를 제거한다.



CAD 데이터의 근접한 선이나 코너의 불일치

선형정적해석 프로세스



재료의 추가

✓ 등방성

1) 재료의 성질이 물질 내 모든 방향으로 변하지 않는 경우

✓ 이방성

1) 재료의 성질이 두 개 이상의 방향에서 서로 다른 경우
 예) 직교이방성-목재, 횡등방성-섬유복합재

✓ 유체(유동해석)

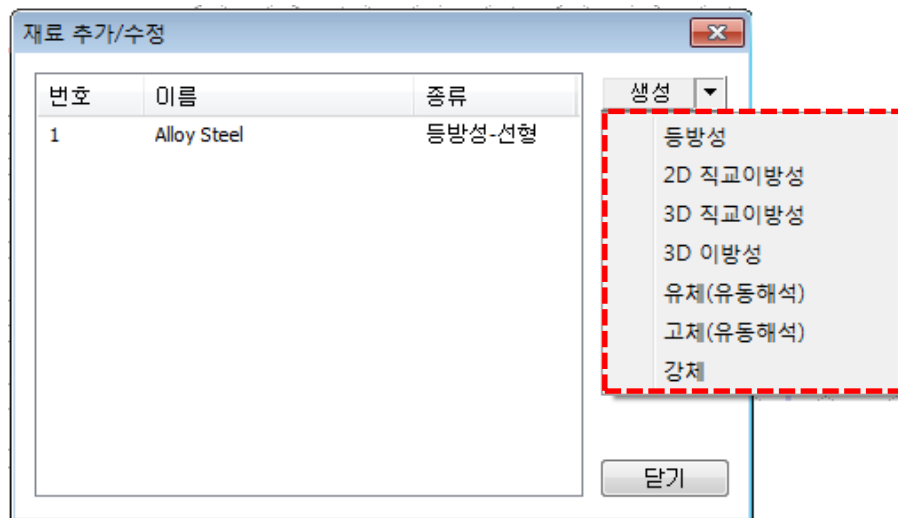
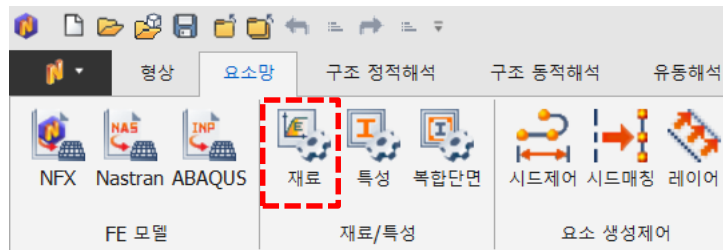
1) 유동해석에 사용될 유체의 재료를 입력

✓ 고체(유동해석)

1) 유동해석에 사용될 고체의 재료를 입력

✓ 강체

1) 변형을 고려하지 않는 대상에 적용



선형정적해석의 재질 값 입력

✓ 선형 재료

1) 해석에 사용되는 재료의 물성값은 선형탄성이며 균일한 재질로 가정

✓ 구조 해석 기본 물성 값 입력

- 필수 입력 재질값 : 탄성계수, 프와송비
- 질량 밀도 : 회전력, 자중 고려시 사용

✓ 안전율 계산 방법

- 파손이론을 적용하여 다축 응력 상태 고려
- Von Mises : 연성재료 사용시 선택
(일반적인 구조용 강재)
- 주응력 : 취성 재료 사용시 선택
(콘크리트, 세라믹, 유리 등)

재료

번호 이름 등방성 색상

1 **재료 목록**

- All
- 17-4PH, H1100
- AISI 1020
- AISI 1060
- AISI 304 SS Annealed
- AISI_310_SS
- AISI_410_SS
- AISI_Steel_1005
- AISI_Steel_1008+HR
- AISI 4340 Annealed
- AISI_Steel_Maraging
- Alloy Steel
- Cast Alloy Steel
- Cast Carbon Steel
- Cast Stainless Steel
- Chrome Stainless Steel
- FC250
- Galvanized Steel
- H-1(CR60)
- HL-4000
- Hp-1
- Hp-4
- Inconel_718_Aged
- Plain Carbon Steel
- S/Steel_PH15-5
- S45C
- SAPH-400
- SE508
- SGACC
- SGACEN
- SGARC340-E
- SGCC
- SGCD1
- SHP
- SM45C
- SM490A(KS)
- SPCC
- SPDE
- SPRC340
- SR-0300
- Steel
- Steel_Rolled
- SIUP 12
- SUS304
- SUS316

2 **구조**

탄성계수 N/mm²

프와송비

질량밀도 kg/mm³

열응력

열팽창계수

참조온도 [T]

열전도

전도율 W/(mm·[T])

비열 J/(kg·[T])

발열계수

3 **안전율계산방법**

파손이론

인장 N/mm² 압축 N/mm²

감쇠 지수

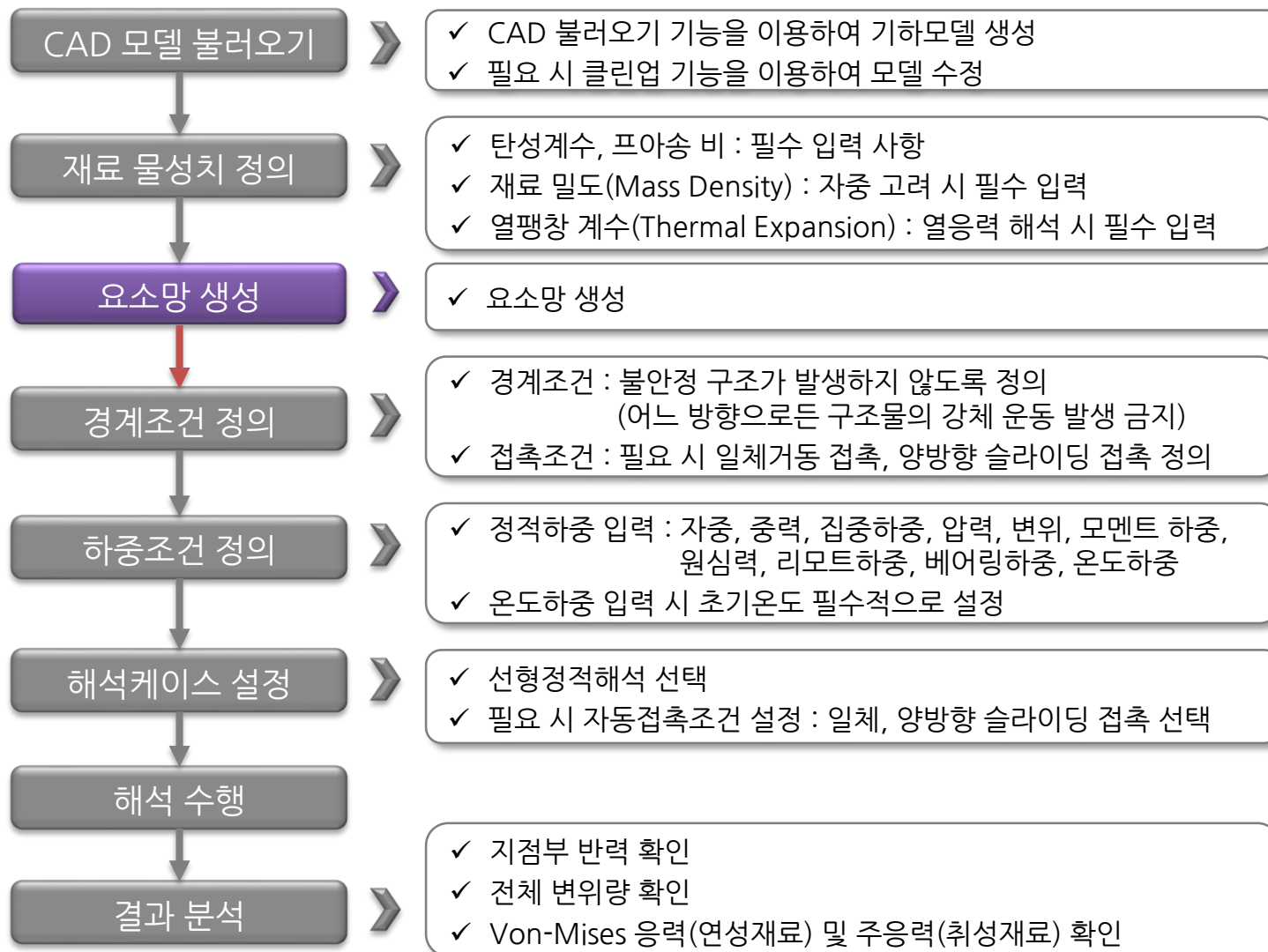
질량 비례 감쇠 계수 1/sec

강성 비례 감쇠 계수 sec

구조 감쇠 계수

불러오기... 편집... 확인 취소 적용

선형정적해석 프로세스



요소 특성 정의 및 설정

✓ 해석 대상물을 요소로 표현할 때 어떤 요소를 사용할 것인가를 해석의 목적에 맞게 미리 정해두어야 한다.

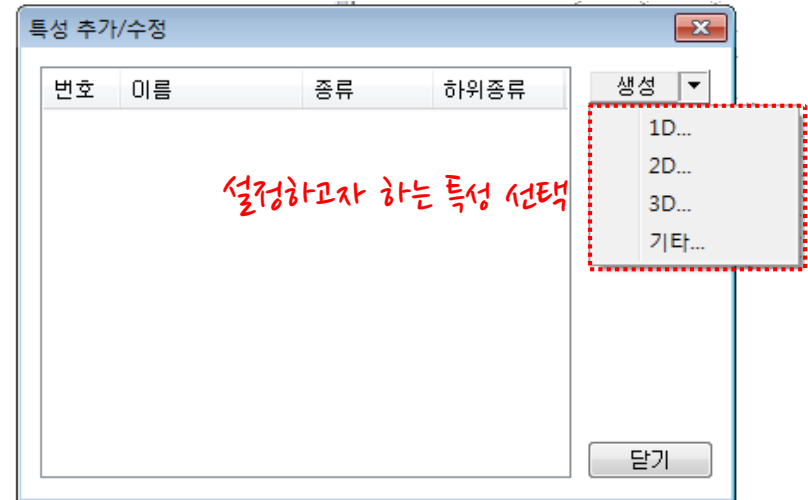
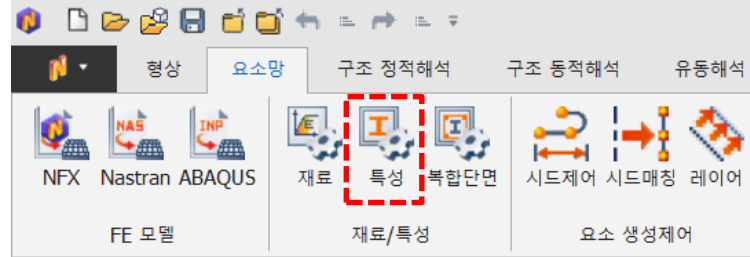
1) 요소 종류가 정해지면 그 요소에 필요한 요소 특성치를 정의 해야 한다.

✓ 1D : 기하 특성으로 길이를 가지며, 단면을 정의

✓ 2D : 기하 특성으로 면적을 가지며, 두께를 정의

✓ 3D : 기하 특성으로 체적을 가지며, 재료만 정의

✓ 기타: 스프링, 질량, 부쉬, 감쇠요소 정의



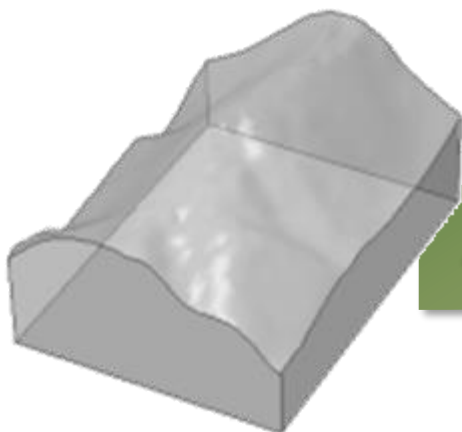
요소망 생성 - 3D



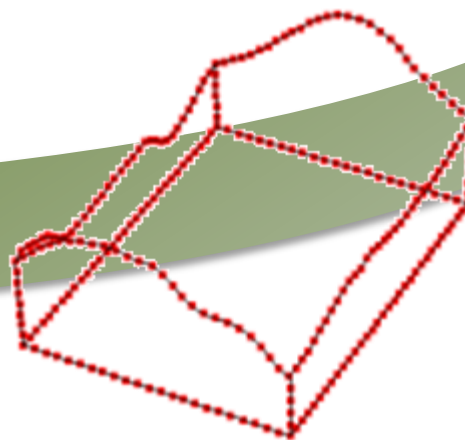
솔리드 내부에서 3D Mesh 생성



기하형상의 면에서 요소망 분할



기하형상과 요소망 종류, 차원 선택



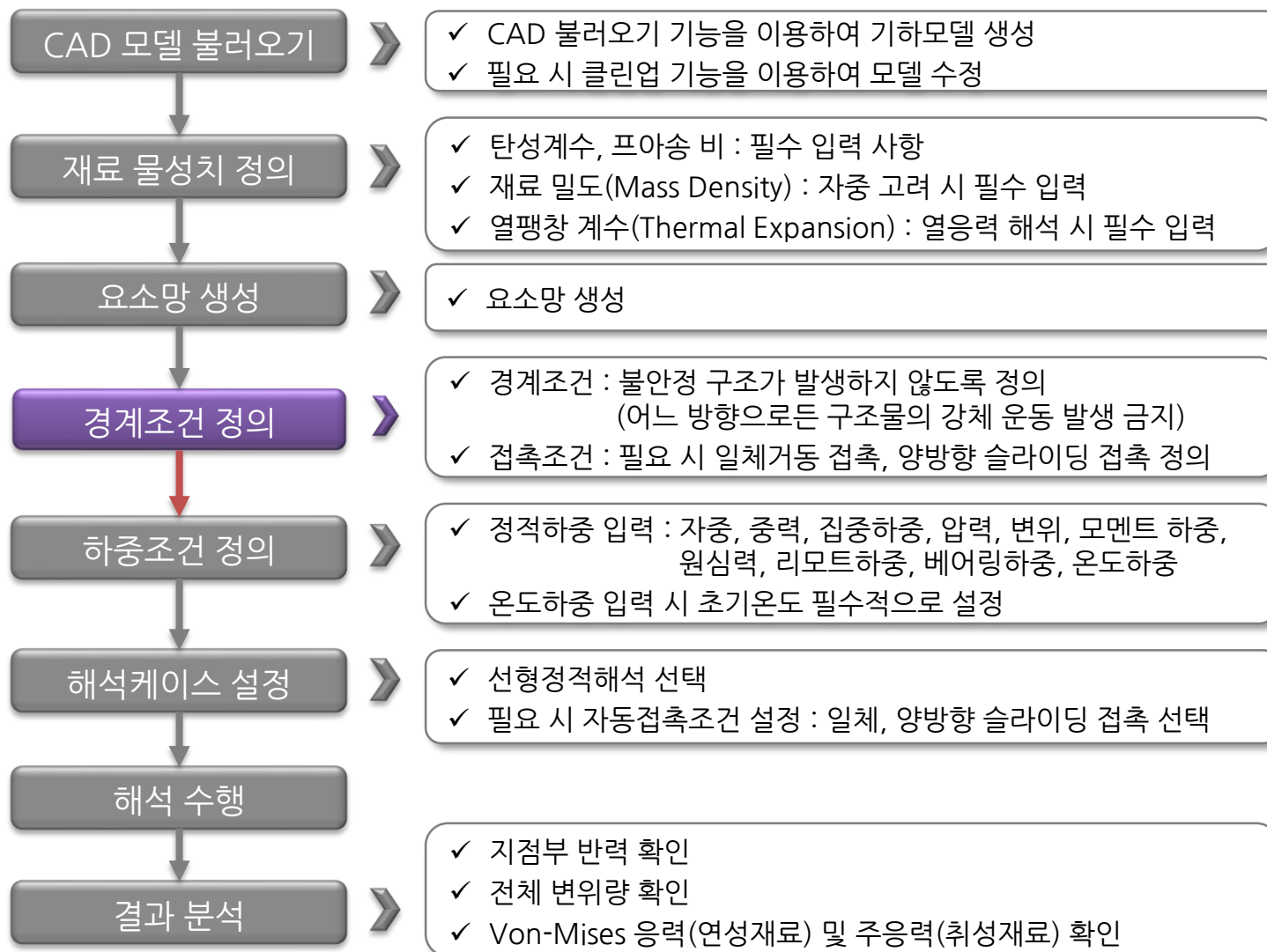
기하형상의 '엣지'에서 요소망 분할

요소망 생성

요소망 분할

사용자의 Mesh 크기 지정

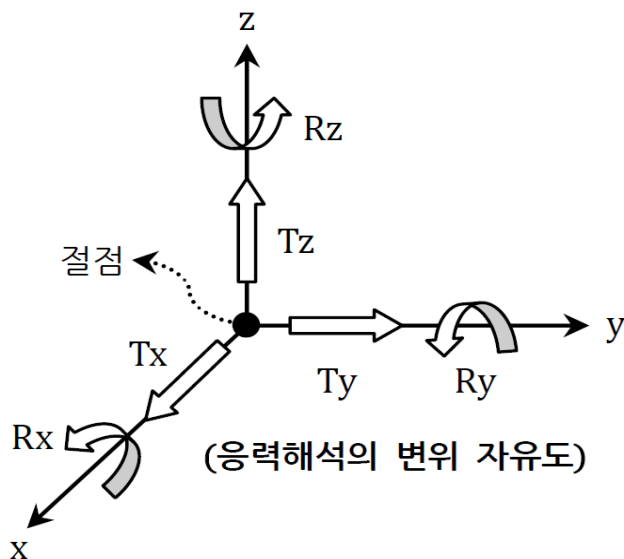
선형정적해석 프로세스



선형정적해석의 경계조건: 자유도

- ✓ 해석 종류와 요소 종류에 따라 자유도의 물리적 의미와 절점이 갖는 자유도의 종류와 개수가 달라진다.
- ✓ 모델의 전체 자유도 개수
 - 1) 개략적으로 (총 절점의 개수 * 절점당 자유도) 개수로 계산된다.

💡 $[K]\{\Delta\}=\{f\}$ 의 행렬식에서 $[K]$ 의 크기는 미지수, 즉 자유도의 개수(N)에 비례($N*N$)하기 때문에 해석에 요구되는 메모리량과 해석 시간에 가장 큰 영향을 미치는 인자도 모델의 전체 자유도 개수이다. 일반적으로 3차원 문제에서 메모리 사용량과 해석시간은 전체 자유도 개수의 세제곱(N^3)에 비례한다.



해석 종류	응력 해석	온도 해석
자유도	변위(벡터)	온도(스칼라)
자유도 개수 (성분)	3개의 병진 자유도 (Tx, Ty, Tz) 3개의 회전 자유도 (Rx, Ry, Rz)	절점당 1개

선형정적해석의 경계조건: 구속 조건 종류

✓ 고정 구속

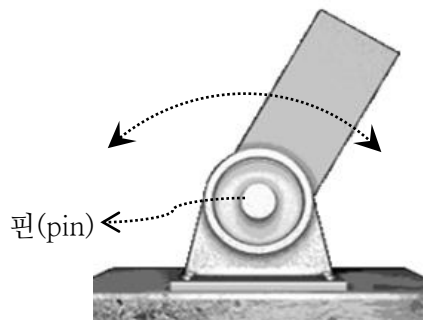
- 1) 모든 자유도를 구속하여 완전 구속된 상태로 설정

✓ 핀구속

- 1) 핀구속은 마치 핀을 끼워서 고정시킨 것처럼 구조물이 이동은 하지 못하고 회전만 가능한 구속조건
- 2) 솔리드 요소의 절점은 병진자유도만 가지기 때문에 핀구속은 결국 솔리드 요소를 완전구속 시키는 역할 (솔리드 요소 구속 시)

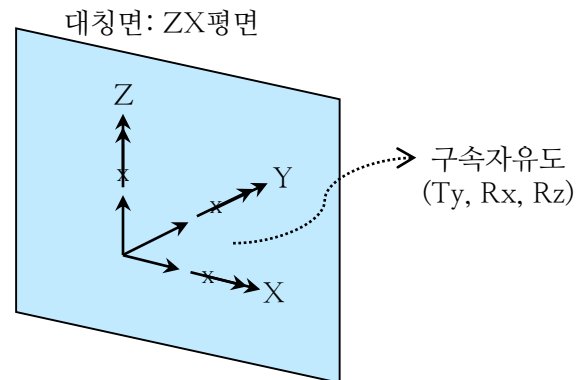
✓ 대칭 구속(Symmetry)

- 1) 대칭모델의 대칭면에 위치한 기하면에 지정하는 구속조건
- 2) 대칭모델 : 기하형상, 재질, 하중조건, 경계조건의 4개가 모두 대칭일 경우인 모델. 1/2 또는 1/4 대칭모델에 대한 해석은 후처리에서 전체모델의 결과로 표현 가능
- 3) 해석에서는 반드시 하중의 크기도 대칭모델에 맞게 변환되어야 함. 즉, 1/2 대칭모델에서는 하중의 크기도 1/2이 되어야 합니다.
- 4) 모드해석, 좌굴해석에서는 모델이 대칭이라 해도 결과형상이 대칭이 아닐 수 있으므로 전체모델을 이용



회전만 가능한 핀구속

핀 구속



대칭 구속

선형정적해석의 경계조건: 구속 조건 입력

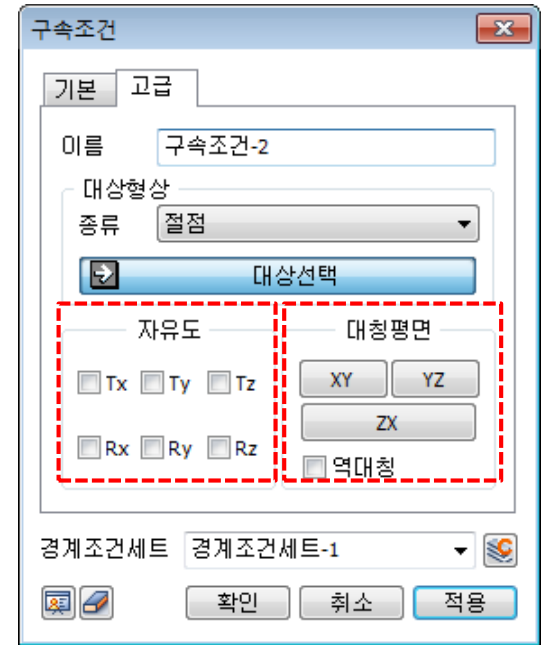
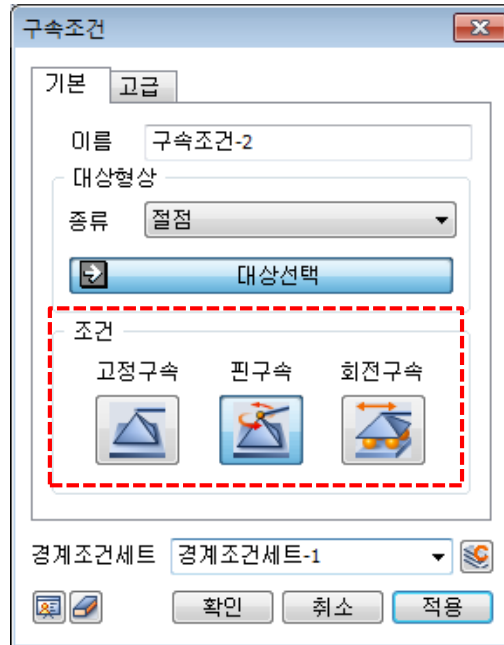
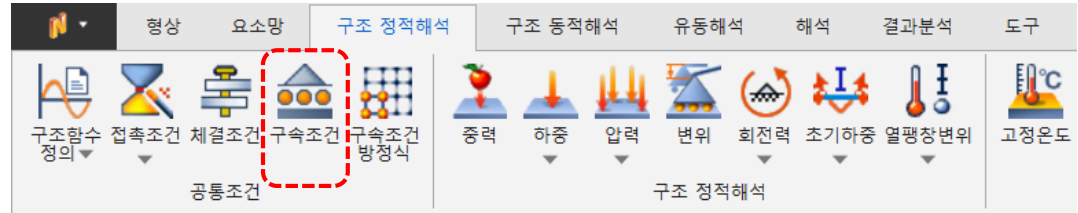
✓ 해석모델의 움직임, 변형을 제한/구속하는 조건

✓ 기본 구속 조건 입력

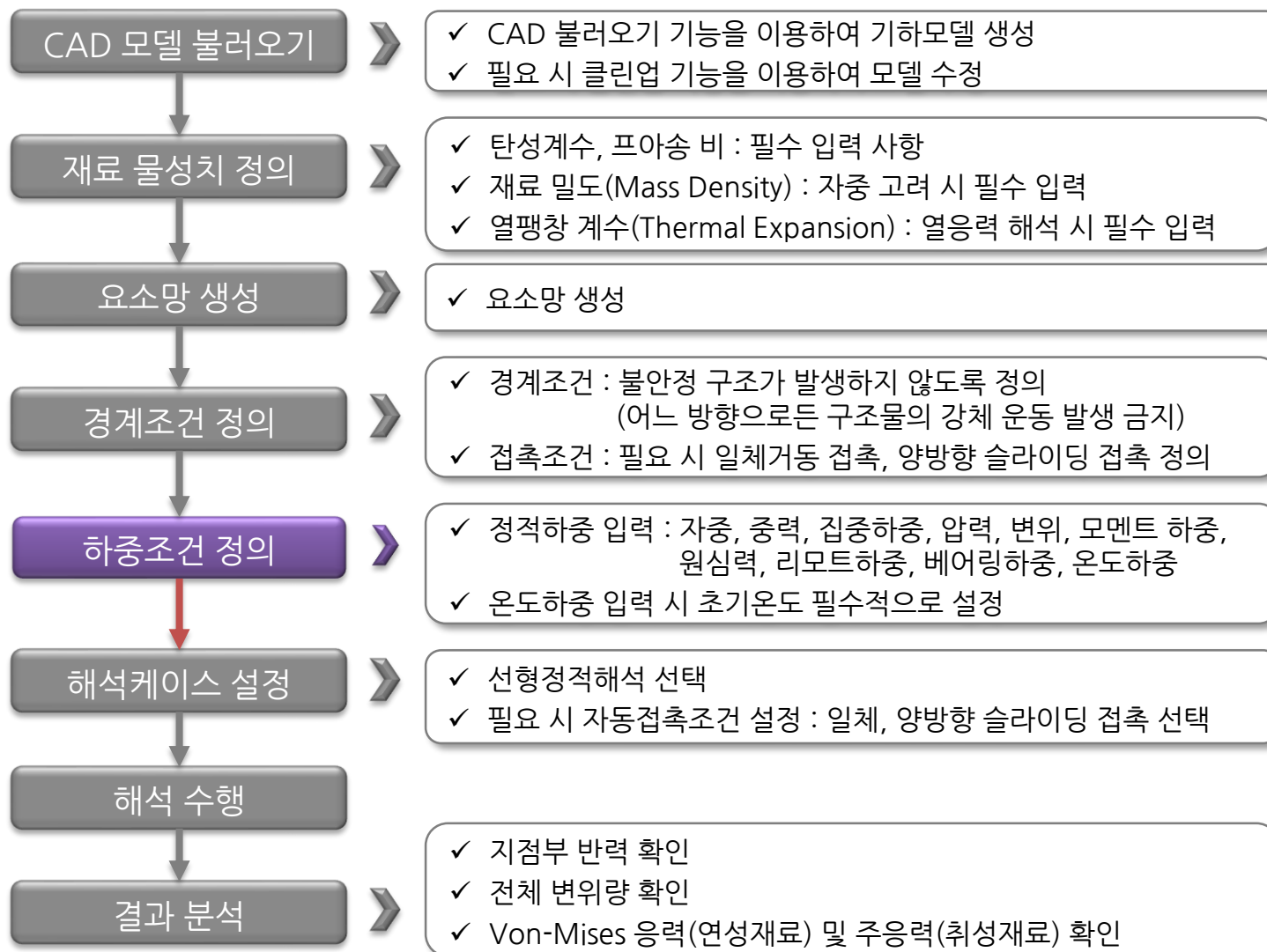
- 1) 고정구속 : 선택한 대상의 6 자유도를 모두 구속
- 2) 핀구속 : 선택한 대상의 병진 자유도만을 구속
- 3) 회전구속 : 선택한 대상의 회전 자유도만을 구속

✓ 고급 구속 조건 입력

- 1) 자유도 : 사용자가 원하는 구속 자유도를 선택하여 구속
- 2) 대칭평면 : 전체좌표계를 기준으로 대칭 구속 조건을 설정



선형정적해석 프로세스



선형정적해석의 하중조건: 정의 및 중력

✓ 하중은 해석모델의 움직임, 변형을 유발하는 작용

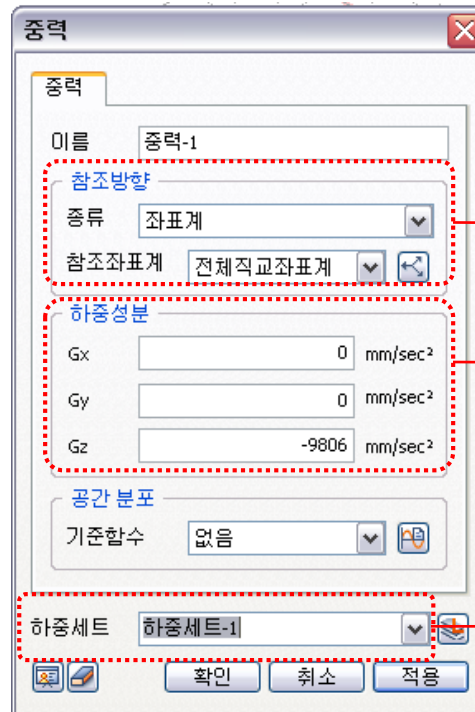
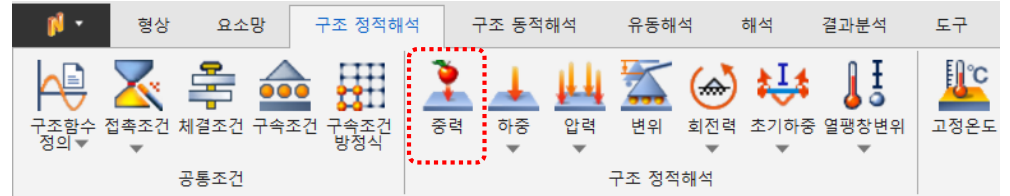
- 1) 구조물에 작용하는 실제 외부하중일 수도 있고, 전체 시스템에서 생략된 부분이 해석부분에 미치는 영향을 하중으로 표현할 수도 있음

✓ 중력(Gravity)

- 1) 해석모델의 중량을 표현하는 하중
- 2) 재료 대화상자에서 입력한 질량밀도(ρ)와 중력가속도(g), 그리고 프로그램이 계산하는 해석모델의 체적(V)의 곱으로 계산되는 중량($W=\rho gV$)이 지정한 방향의 하중으로 작용



중력 및 중력 방향



• 기하형상의 “선” 또는 “면”을 이용하여 Local Coordinate 설정

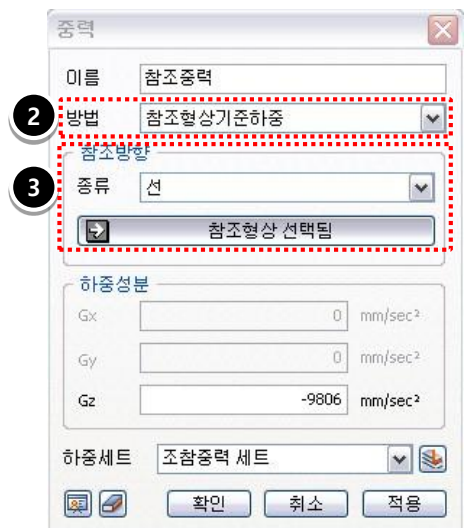
• 모델의 자중 방향으로 중력 방향 하중 성분을 입력

- 하중세트 이름 입력
- 하중세트를 설정하여 여러 개의 Load case 설정 후 해석 시 중요하게 사용
- 여러 하중에 대한 해석 결과를 각각 알고 싶을 경우 세트 이름을 각각 입력

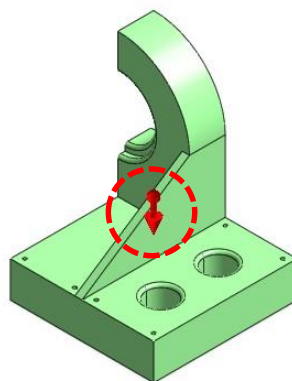
중력 적용 예시



일반중력 하중 메뉴

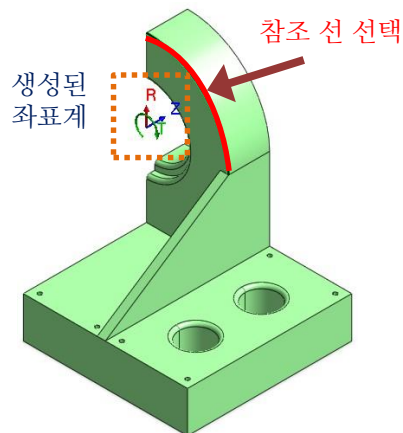


참조형상기준 하중 메뉴

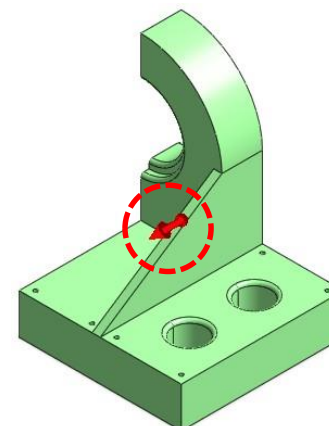


일반좌표계 기준

1 기본 중력하중



2 참조형상선택

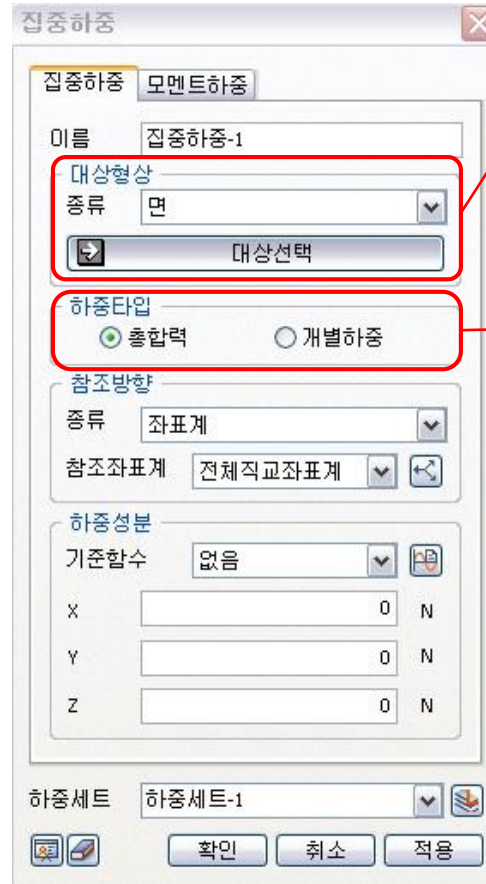
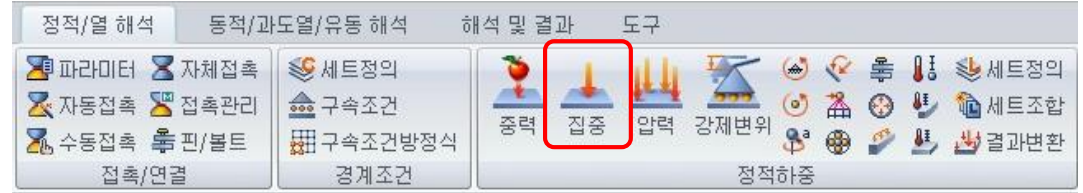


3 생성된 중력하중

선형정적해석의 하중 조건: 집중

✓ 집중 하중(Force)

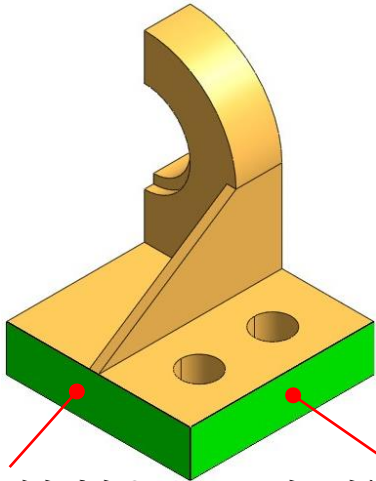
- 1) 해석모델의 2개 이상의 선(edge) 또는 면(surface)에 하중이 작용할 때 **총합력**과 **개별하중**으로 구분하여 지정
- 2) 총합력 : 선택된 기하형상 전체에 입력한 하중이 적용됨
- 3) 개별하중 : 선택된 각각의 기하형상에 입력한 하중이 적용됨



- ‘점’, ‘선’, ‘면’ 중에서 하중이 가해지는 형상 선택(참고, 절점 선택 시 하중 타입은 비활성화됨)
- 총합력 : 선택된 대상이 여럿일 경우 전체 선택 대상에서 총 하중이 적용됨
- 개별하중 : 선택된 대상이 여럿일 경우 각각의 선택 대상에 총 하중이 적용됨

집중 하중 적용 예시

해석 모델

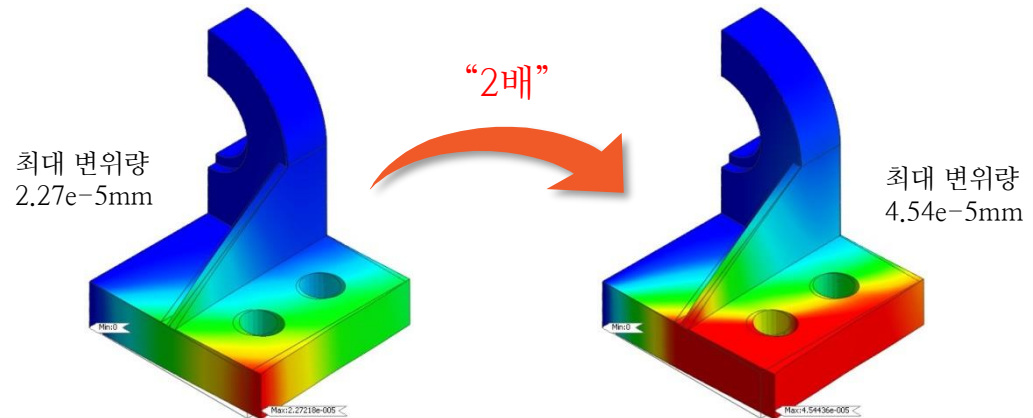


하중 적용 대상 형상 ①

하중 적용 대상 형상 ②



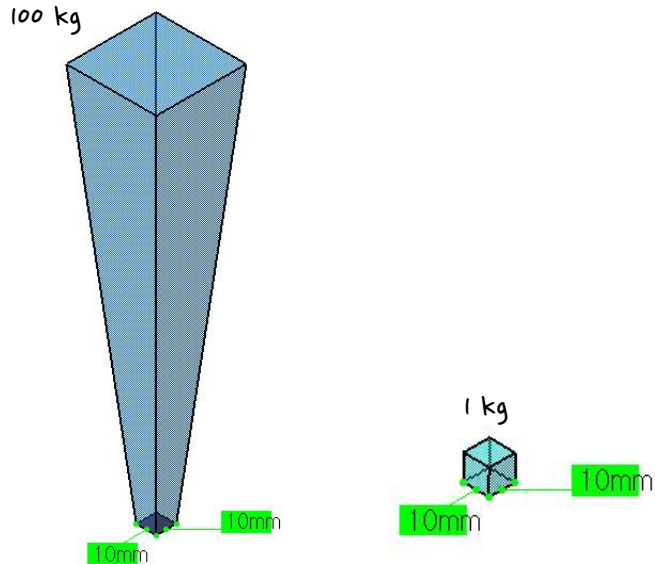
동일한 하중 적용 위치(면 2개)에 동일한 하중 크기 적용 하중 타입을 '총합력', '개별하중'으로 구분



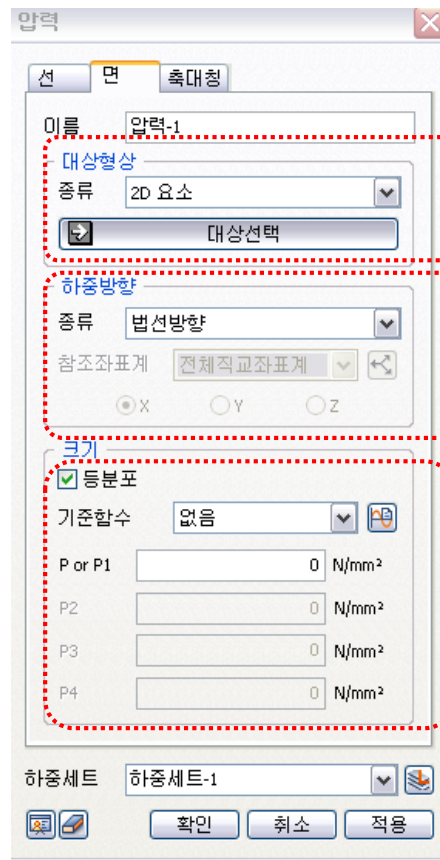
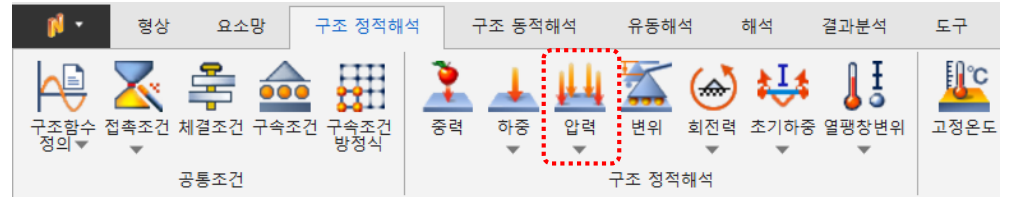
선형정적해석의 하중조건: 압력

✓ 압력(Pressure)

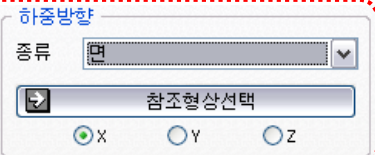
- 1) 선택한 기하면에 작용하는 압력하중
- 2) 단위면적당 작용하는 분포하중으로 단위는 $[N/m^2]$
- 3) 대상 기하면에 생성된 솔리드 요소의 요소면에 부여되는 요소하중
- 4) 단위면적당 힘이므로 압력은 선택한 모든 대상면에 동일하게 부여



압력 하중



• 압력은 단위 면적당 힘이기 때문에 “면, 2D 요소, 3D 요소, 3D 자유면”에 입력 가능하다.



• 하중 방향을 선택적으로 사용 가능

• 가해지는 압력 값을 입력
• 면내 압력 분포를 다양하게 적용할 수 있다.

선형정적해석의 하중조건: 강제 변위

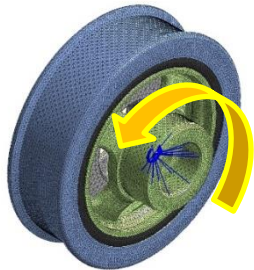
✓ 강제 변위(Displacement)

1) 회전 변위를 설정할 경우

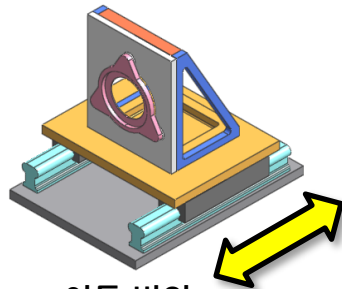
- ① 선택한 대상면을 지정한 회전축을 기준으로 지정 각도만큼 강제로 회전 시킴
- ② 솔리드 요소의 절점은 회전자유도(Rx, Ry, Rz)가 없기 때문에 회전축의 기준 위치에서 대상면(들)을 강제연결(rigid link)로 묶고, 이 강제연결의 주절점(master node)에 지정한 회전 변위를 지정합니다.

2) 이동 변위를 설정할 경우

- ① 선택한 대상면을 지정한 거리만큼 강제로 병진 이동을 시킴
- ② 실제해석에서는 대상 기하면에 생성된 절점의 해당 병진자유도 성분(Tx, Ty, Tz)에 이동변위로 지정된 값을 부여하게 됨
- ③ 변위를 0으로 지정하면 구속조건과 동일한 역할
- ④ 이동 변위가 지정된 방향으로서는 구속조건을 생략하여도 무방합니다. (X, Y, Z, 세 방향으로 모두 이동변위가 정의된 경우)



회전 변위



이동 변위



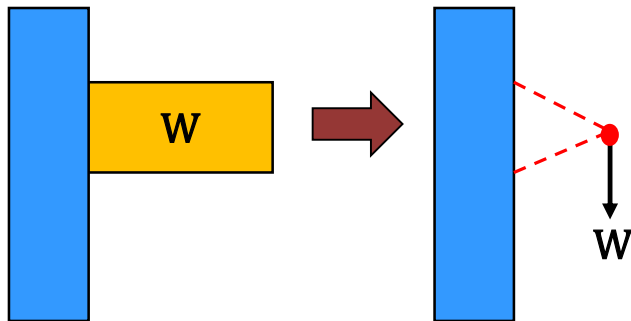
• “점, 선, 면, 절점”에 입력 가능하다.

• 강제 변위를 주고자 하는 자유도를 선택하여 값을 입력한다.

선형정적해석의 하중조건: 리모트 하중

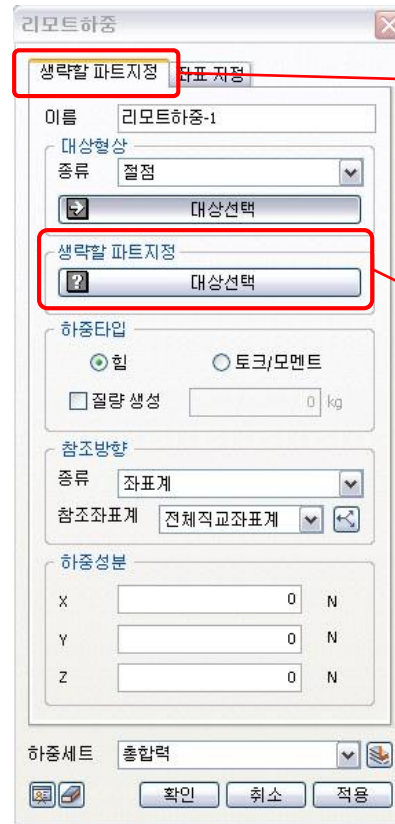
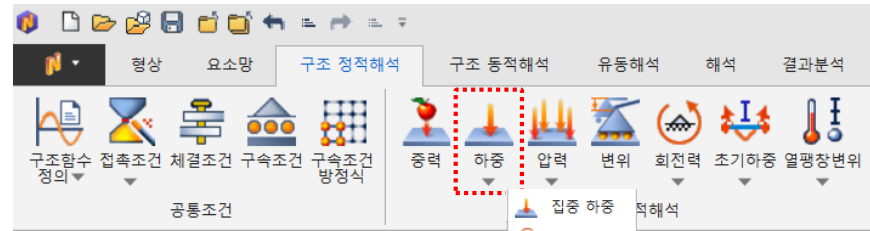
✓ 리모트 하중(Remote load)

- 1) 그림처럼 생략된 부분의 중량 W 를 재하하는 하중이 리모트 하중 임
- 2) 생략된 파트의 도심(centroid) 또는 사용자가 지정한 위치에서 생략된 파트와 만나는 해석모델의 기하면 들을 강체 연결(rigid link)로 묶고, 이 도심 또는 사용자 지정위치에 지정된 하중 또는 질량을 부여함
- 3) 결과가 중요한 위치에는 강체 연결(리모트 하중, 회전변위 등)을 사용하지 않는 것이 좋습니다.(응력의 불연속 발생 가능성)



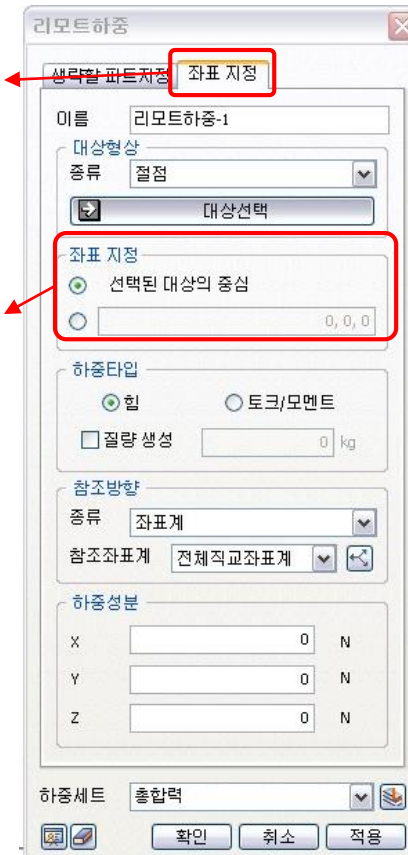
전체 시스템에서 생략된 부분의 영향을 하중으로 표현

리모트 하중



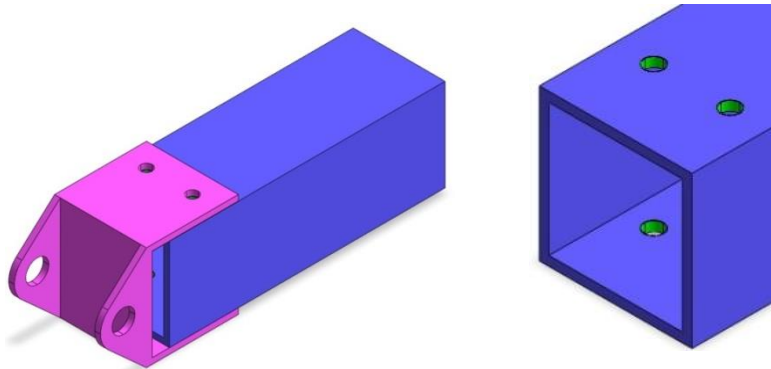
방법 설정
 ① 생략할 파트 지정
 ② 좌표 지정(직접)

각 방법별 특성에 따라 입력한다.

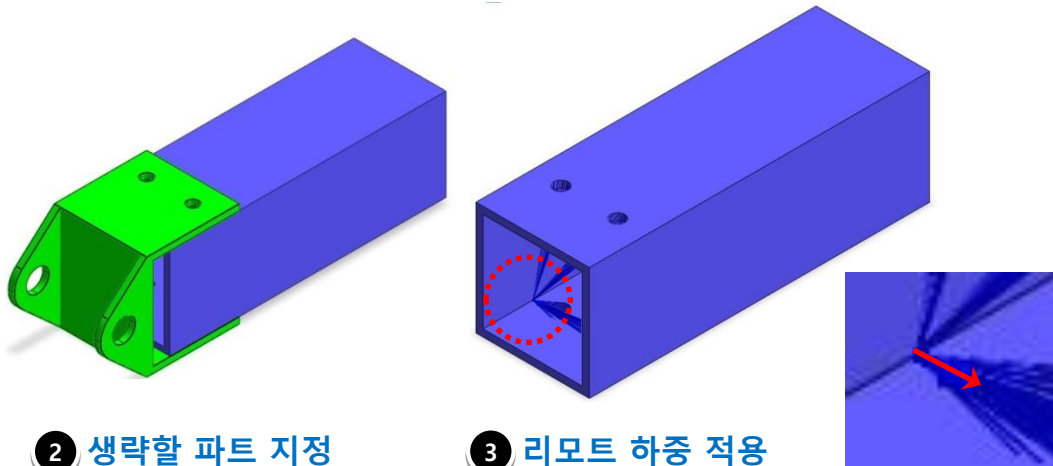


리모트 하중 적용 예시

방법 1 : 생략할 파트 지정



① 생략할 파트 지정 및 대상면 선택

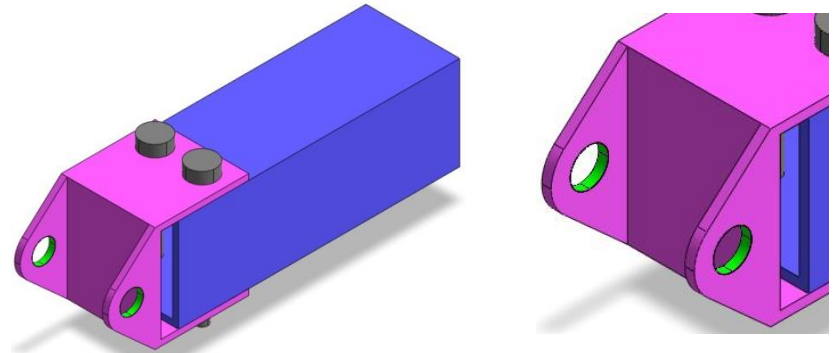


② 생략할 파트 지정

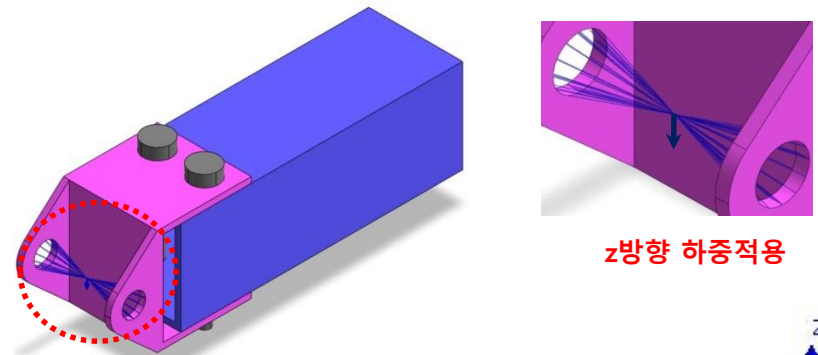
③ 리모트 하중 적용

x방향 하중적용

방법 2 : 좌표 지정



① 하중지점 직접입력 및 대상면, 하중지점 선택



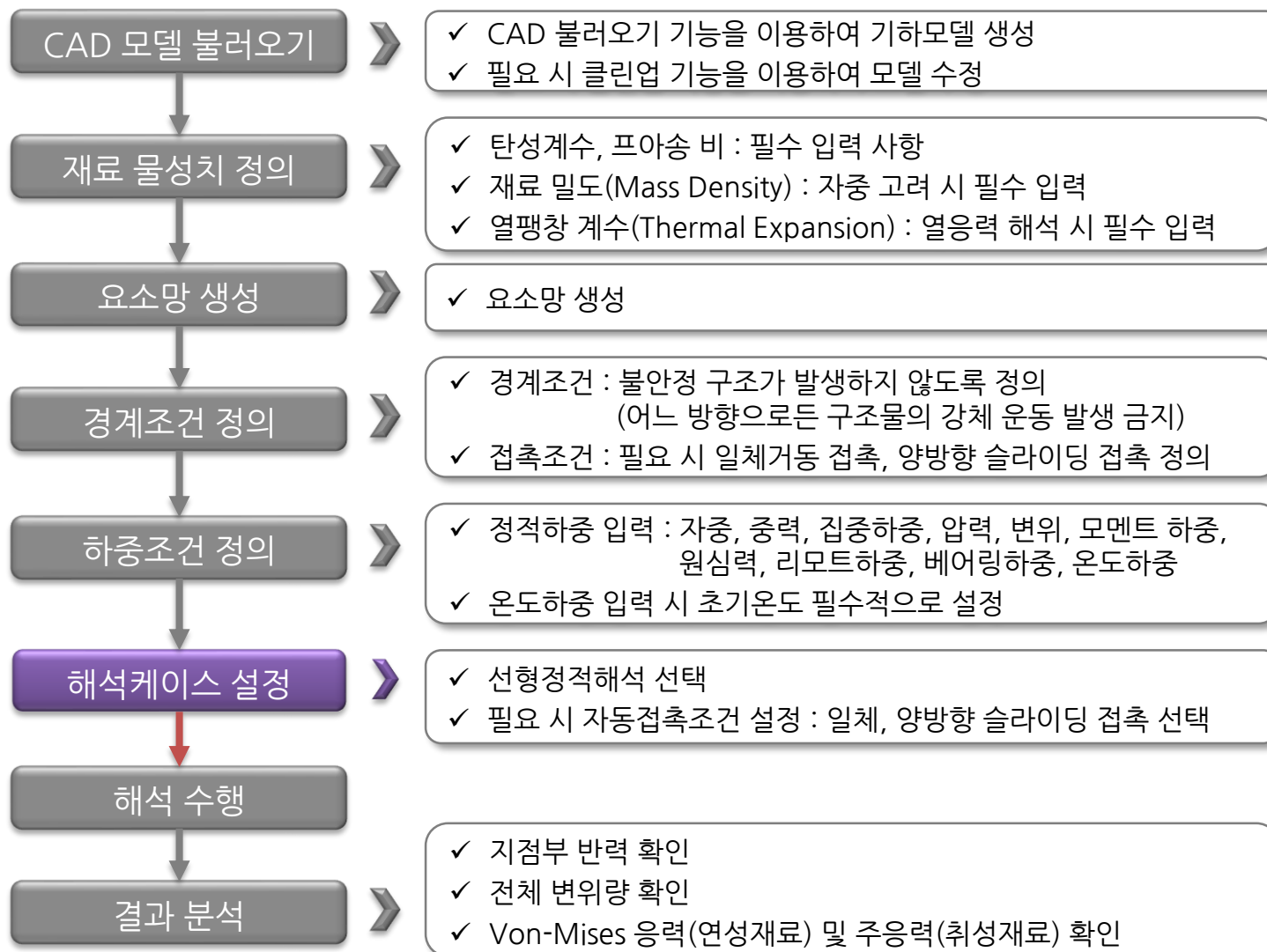
z방향 하중적용

② 리모트 하중 적용



일반좌표계 기준

선형정적해석 프로세스



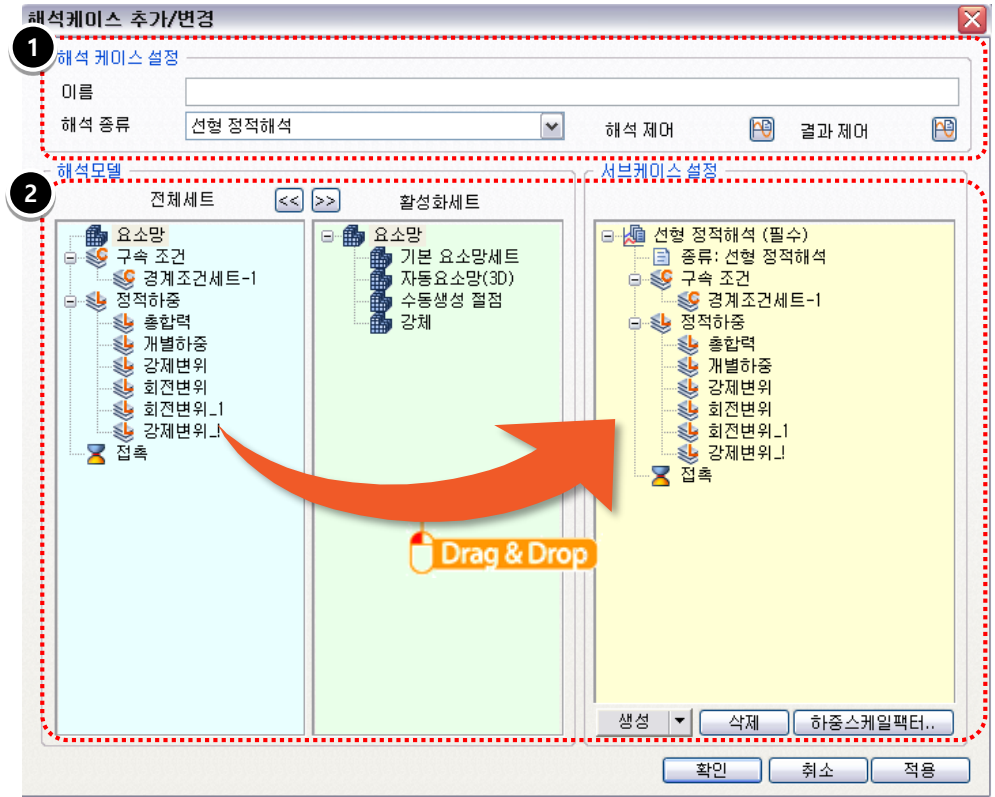
해석 케이스 생성

✓ 해석 케이스 설정

- 1) 해석의 원하는 이름을 입력
- 2) 해석 종류 선택

✓ 해석 모델

- 1) 해석조건(기하형상, 구속조건, 하중조건, 접촉조건 등)들을 마우스의 Drag & Drop 기능으로 쉽게 지정하거나 제외할 수 있음
- 2) Drag & Drop 기능을 이용하여 원하는 조건들만 선택해서 해석을 할 수 있으며, 다양한 서브케이스 설정이 가능
- 3) 서브케이스 설정 창에 등록된 조건들만 해석에 사용되며, 제외할 경우 해석에 사용되지 않음
- 4) 서브케이스가 한 개일 경우 <<, >> 버튼을 이용하여 조건을 한번에 모두 넣거나 뺄 수 있음



서브케이스 / 결과 조합 해석

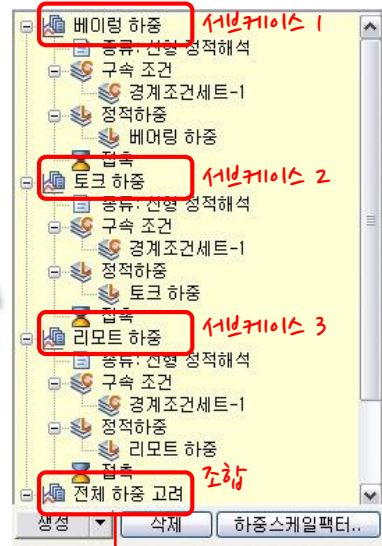
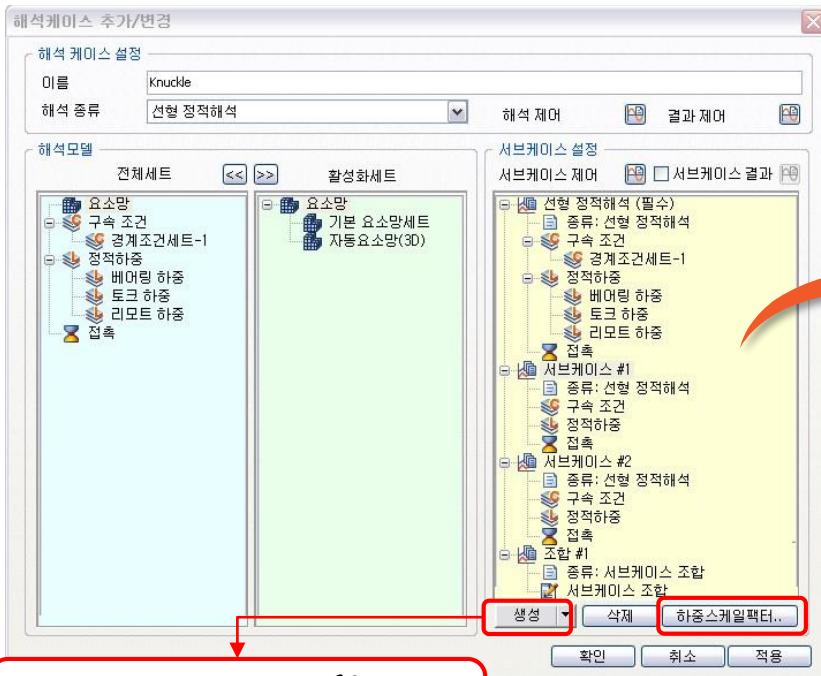
✓ 서브케이스

1) 다양한 하중에 대해 하나의 해석 케이스 안에 여러 서브 케이스를 생성하여 셋팅할 수 있다.

✓ 결과 조합 해석

1) 선형정적해석의 '중첩의 원리'를 이용한 해석 서브케이스 생성

2) 다양한 서브케이스를 조합하여 셋팅할 수 있으며, 각각의 서브케이스별 '하중 스케일팩터'를 적용할 수 있다. (총 합력 = $\sum a_i P_i$)



조합된 서브케이스

서브케이스와 팩터

서브케이스	팩터
1: 베어링 하중	1.000000
2: 토크 하중 P_i	a_i 1.000000
3: 리모트 하중	1.000000
*	

생성 가능한 서브 케이스(해석 종류별 다름)

- ① 선형정적해석
- ② 조합

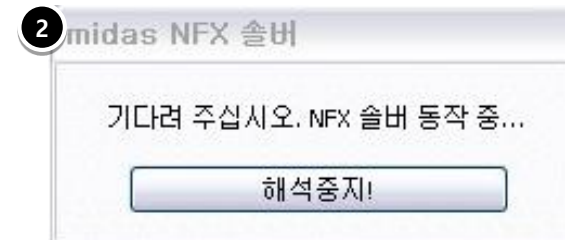
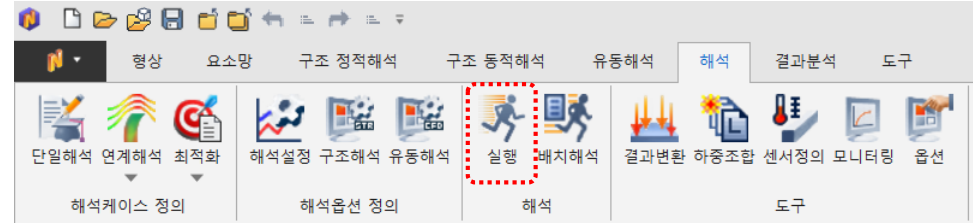
해석 실행

✓ 해석 케이스 선택

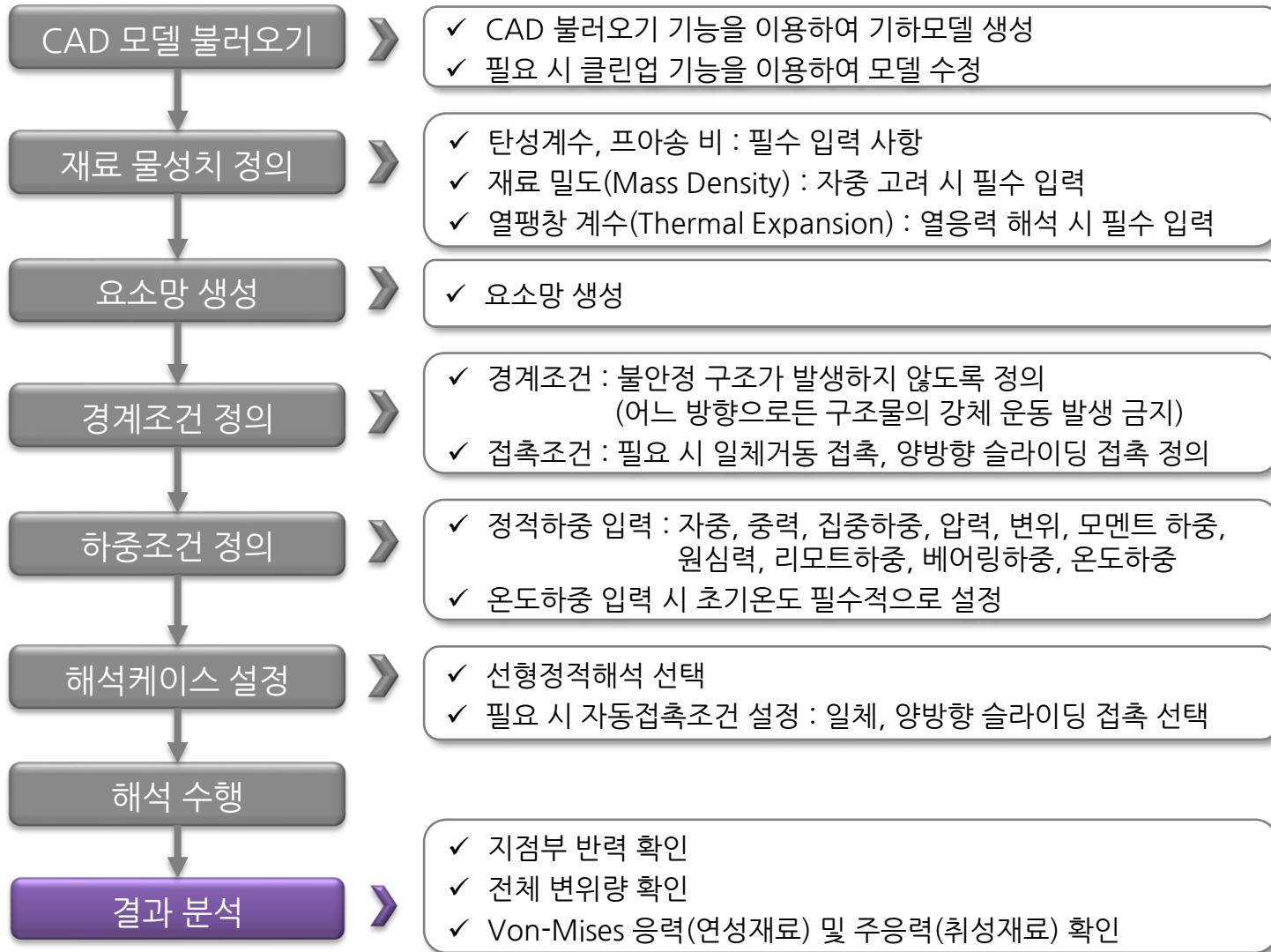
- 1) 여러 개의 해석 케이스를 설정 했다면 체크를 하여 원하는 해석만 진행 할 수 있음

✓ midas NFX 솔버

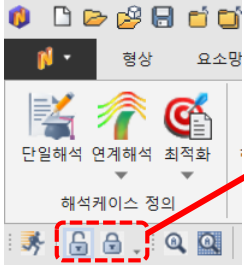
- 1) midas NFX (Designer)는 현존하는 솔버 중 가장 효율적인 솔버로 알려진 멀티프론탈 솔버 (Multi-frontal Solver) 와 AMG 솔버(Algebraic Multigrid Solver)를 탑재하고 있습니다.
- 2) 직접법인 멀티프론탈 솔버와 반복법인 AMG 솔버를 동시에 지원하므로 해석 종류와 모델 규모에 따라 적합한 선택을 할 수 있으며, 멀티코어 시스템에서는 효율적인 병렬처리를 통해 고성능 계산을 구현할 수 있습니다.



선형정적해석 프로세스

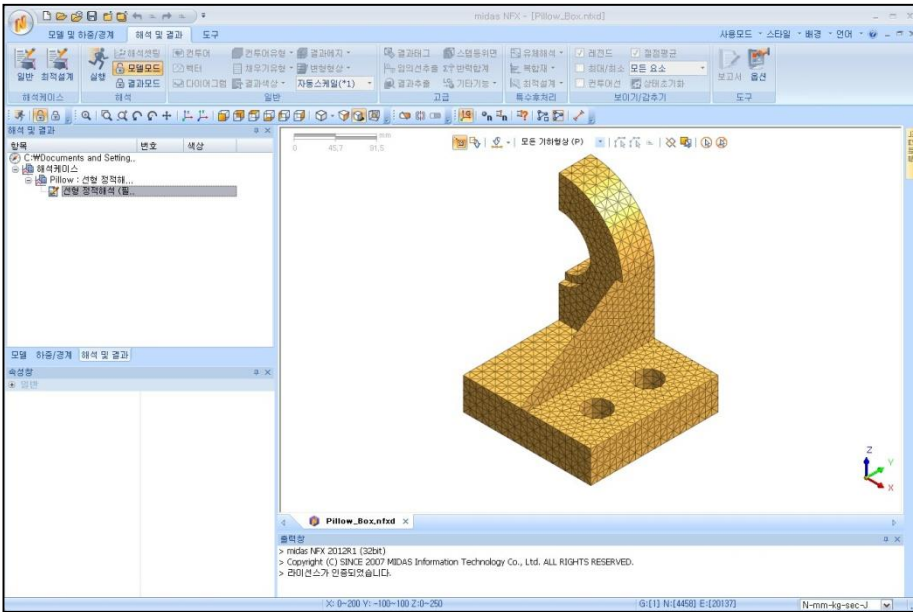


모델 모드 ↔ 결과 모드

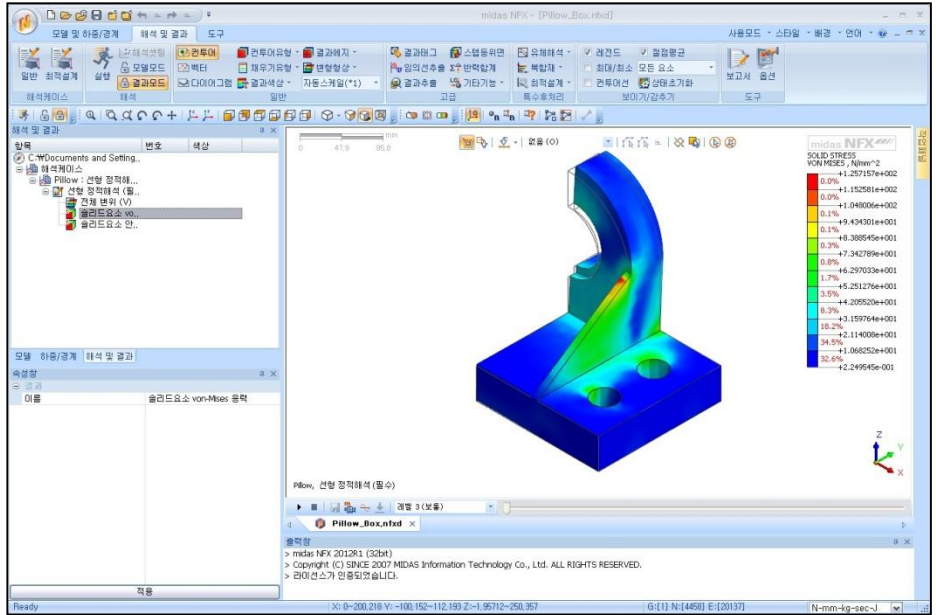


클릭으로 전/후처리 변환

- ... 전처리 : Pre-process. 해석에 필요한 조건(모델, 재질, 하중, 경계 조건 등)
- ... 후처리 : Post-process. 해석 결과를 확인



모델 모드(전처리)



결과 모드(후처리)

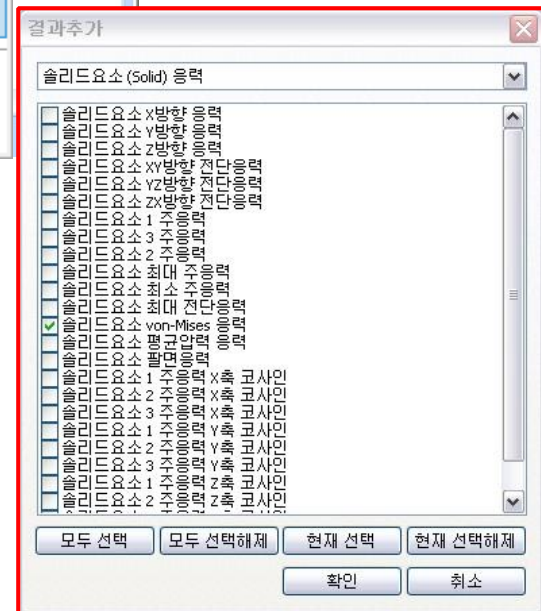
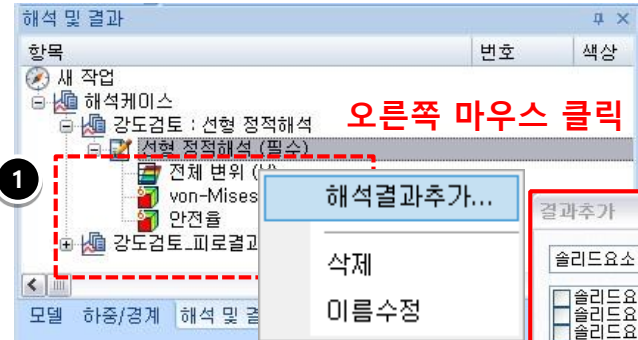
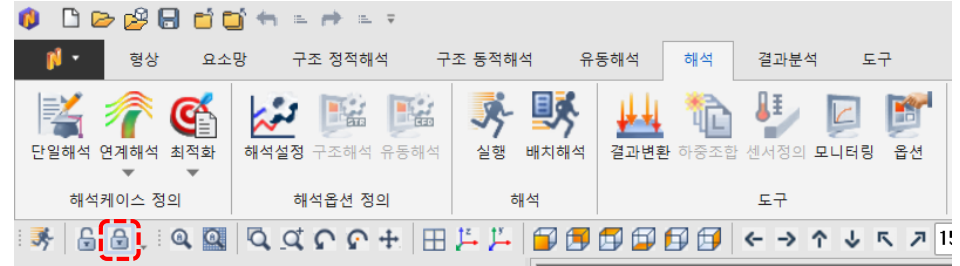
해석 결과 추가

✓ 해석결과추가 기능

- 1) 해석이 완료된 후 결과모드, 왼쪽 작업 트리 창에서 진행
- 2) 선형 정적 해석에 오른쪽 마우스를 클릭하여 해석 결과 추가를 사용

✓ 결과추가 선택

- 1) 항목은 “구속력”, “변위”, “솔리드요소 응력”, “작용력”, “절점 기타 결과들” 로 구성됨
- 2) 원하는 항목에서 원하는 결과 값을 선택하여 확인하면 왼쪽 작업 트리 창에 결과값을 볼 수 있는 트리 생성 됨



해석결과보기기능: 컨투어/벡터/자동 스케일

✓ 모델모드, 결과모드

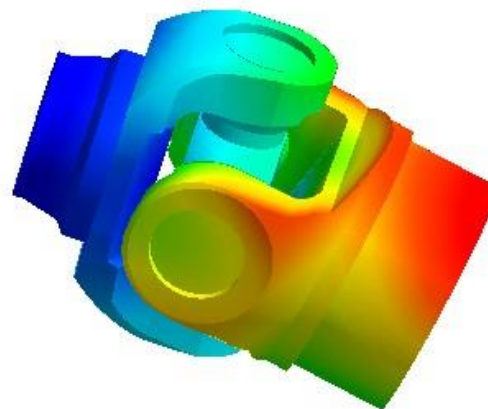
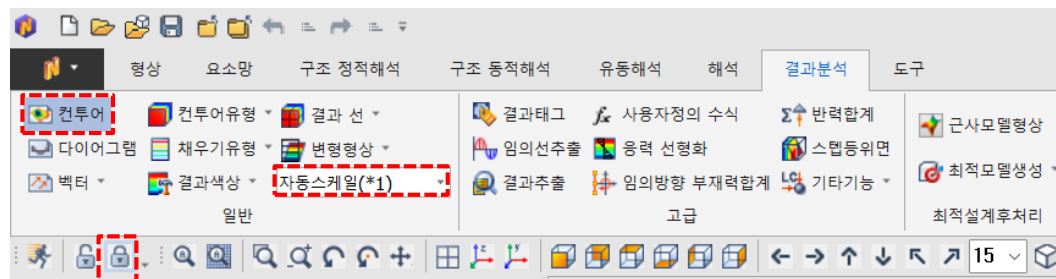
- 1) 해석이 완료된 후 모델모드 또는 결과모드를 선택 가능
- 2) 모델모드
 - ① 해석조건(모델, 경계조건, 하중조건 등)을 변경할 경우 사용
- 3) 결과모드
 - ① 해석 완료 후 결과 메뉴 확인 시 사용

✓ 결과모드 >> 일반

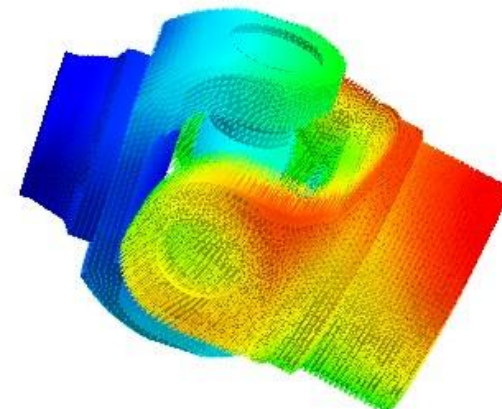
- 1) 기본적으로 “컨투어” 가 활성화 되어 있음
- 2) 결과를 원하는 형태로 화면에 표시함

✓ 스케일 조정

- 1) 기본적으로 자동스케일로 세팅 되어있으며, 결과값(변형량)을 실제보다 크게 또는 작게 화면에 보여주어 변형되는 모습을 쉽게 확인
- 2) 실제스케일 또는 자동스케일의 크기 조절가능

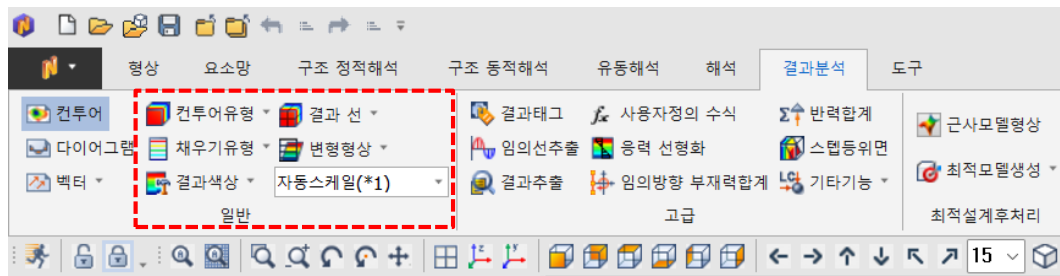


컨투어 보기

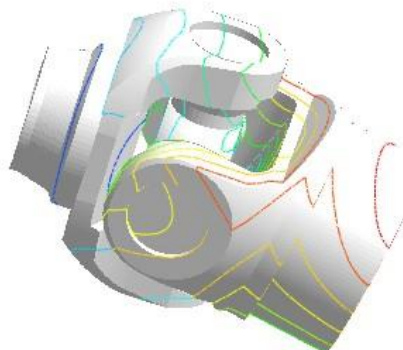


벡터 보기

해석결과보기기능: 컨투어 유형/결과 에지/변형 형상/채우기 유형



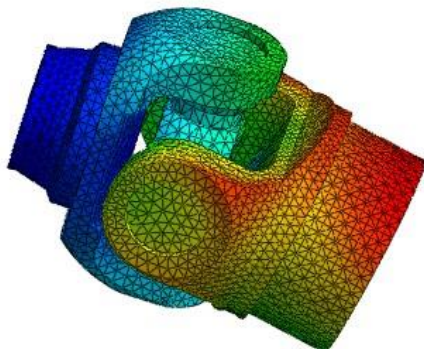
컨투어 유형-불연속 보기



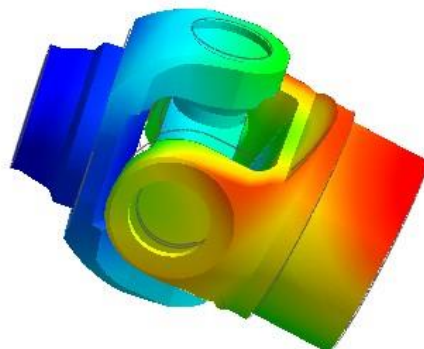
채우기 유형-선그리기 보기



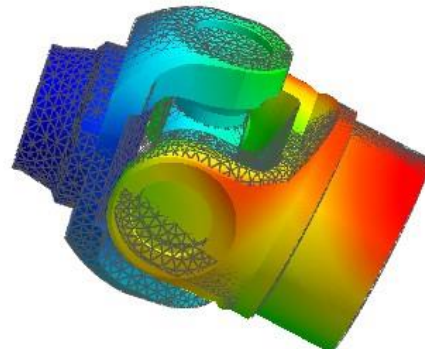
결과색상-모델 셰이딩 보기



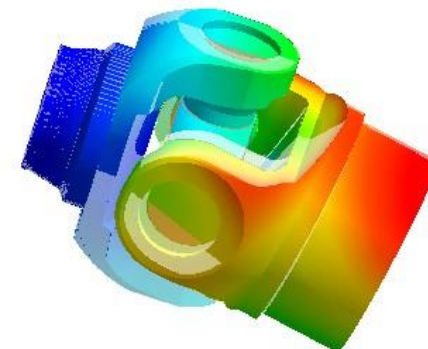
결과에지-요소망 보기



변형형상-특징경계선 보기



변형형상-요소망 보기



변형형상-셰이딩투명 보기

해석결과보기기능:결과태그

✓ 종류 선택

1) 결과값을 알고 싶은 절점 또는 요소 중 선택

✓ 색상 변경

1) 태그에 사용되는 색상 및 텍스트의 색상을 변경

✓ 태그종류 변경

1) 태그에 사용되는 형태를 변경

✓ 결과 선택

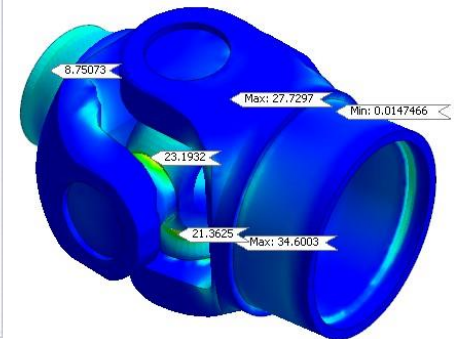
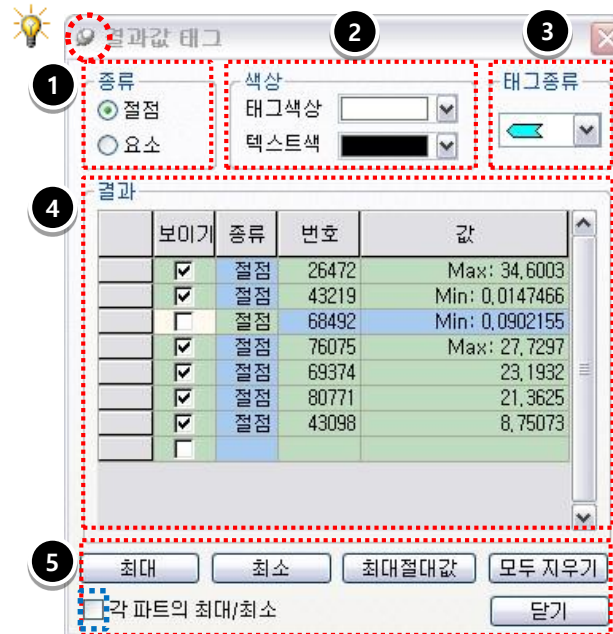
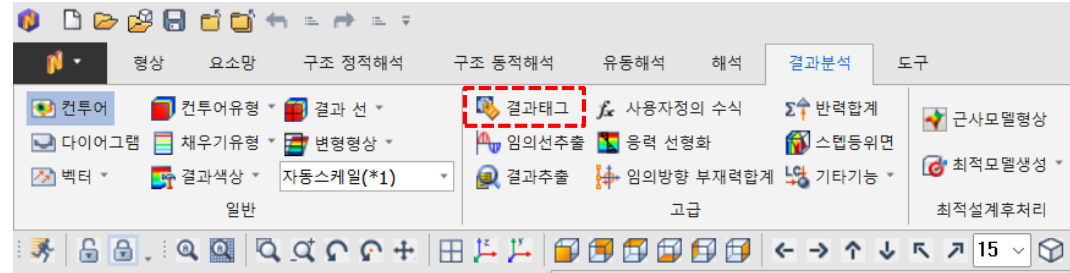
- 1) 결과값 태그 창이 열린 상태에서 모델에 마우스 클릭하면 태그 생성과 함께 결과에 표시 됨
- 2) 보고 싶은 태그와 보이지 않을 태그의 선택 가능

✓ 결과값 표시 버튼

- 1) 해석 완료된 모델의 최대, 최소, 최대절대값을 표시 해 주며, 모두 지우기를 눌러 표시된 태그를 모두 지울 수 있음
- 2) 어셈블리 해석일 경우 “각 파트의 최대/최소”를 체크한 상태에서 각 하부파트를 누르면 하부파트의 최대/최소값 생성

✓ 결과값 태그 고정하기

- 자동으로 결과값 태그 창이 가려진다. 결과값 태그 창을 고정하기 위해서 아이콘을 누른다.



응력 결과 태그

해석결과보기기능: 임의선 추출

✓ 위치 정의 설정

- 1) 2점 선
 - ① 마우스로 임의의 두 점을 선택
- 2) 엣지
 - ① 기하형상의 엣지 선택

✓ 방향 및 샘플개수 설정

- 1) 방향은 일반 좌표계를 따라 설정할 수 있다.
- 2) x, y, z 축의 (+), (-)방향 중 선택 가능
- 3) 샘플개수는 화면에 표시되는 그래프의 점 개수를 나타냄

