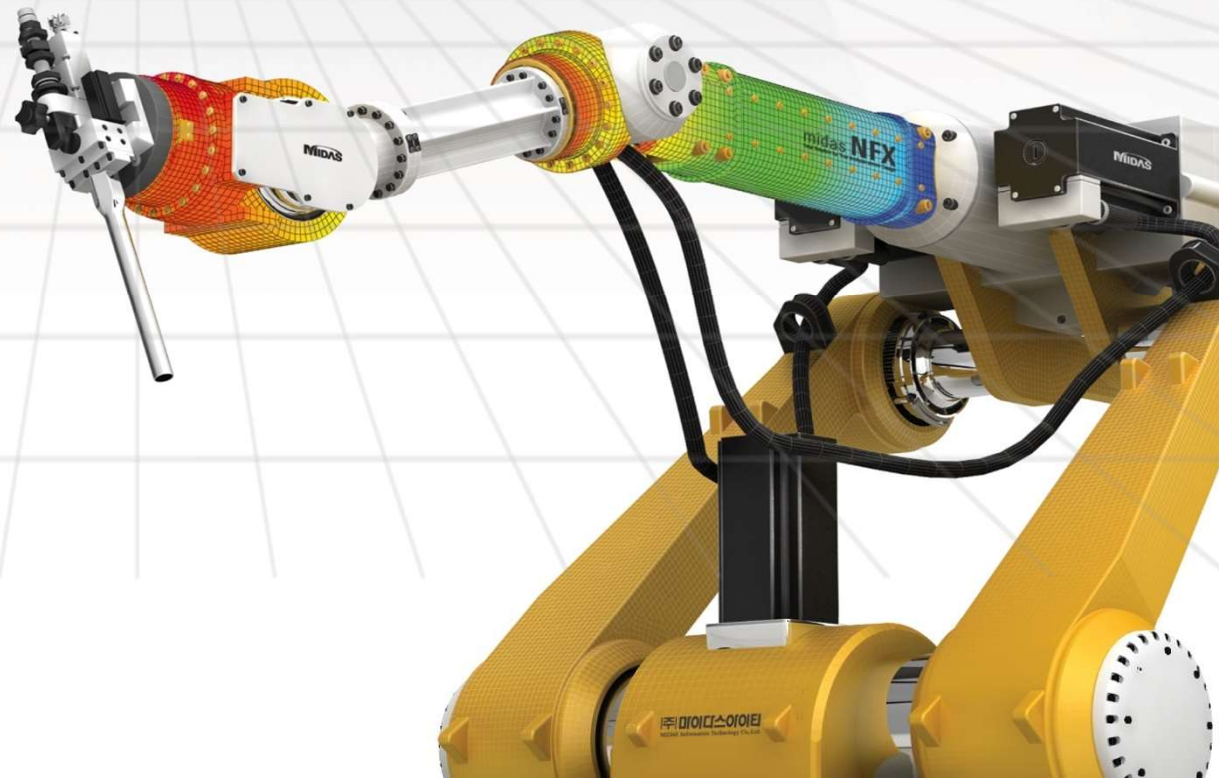


Fatigue Analysis (피로해석)



해석 개요

- ✓ 피로파괴는 부재의 항복강도보다 낮은 하중이 반복하여 작용할 때 부재가 파괴되는 현상을 의미합니다.
- ✓ 피로균열은 용접결함, 구조물의 기하학적인 형상에서 발생하는 응력집중, 구조물의 응력범위와 반복횟수 등에 의해서 발생하며, 이러한 피로균열은 하중의 반복작용에 의해 균열이 진전하여 결국 파단에 이르게 되므로 피로취약부의 특성에 대한 상세한 규명이 필요합니다.
- ✓ 피로해석을 수행하는 방법에는 응력 기반의 응력-수명(Stress-life) 방법과 변형률 기반의 변형률-수명(Strain-life) 방법이 있습니다.
작용 응력이 탄성 영역에 있고 피로 수명이 상대적으로 긴 경우에는 응력-수명 방법이 정확하고, 국부적인 소성 변형이 일어나며 피로 수명이 상대적으로 짧은 경우에는 변형률-수명 방법이 더 타당합니다.
- ✓ midas NFX에서는 S-N 선도를 이용하는 응력-수명 방법과 E-N 선도를 이용하는 변형률-수명 방법을 모두 지원하고 있으며, 특히 동적해석 혹은 비선형해석의 응력 혹은 변형률 이력을 사용하여 피로해석을 수행할 수 있습니다.

응력-수명 방법

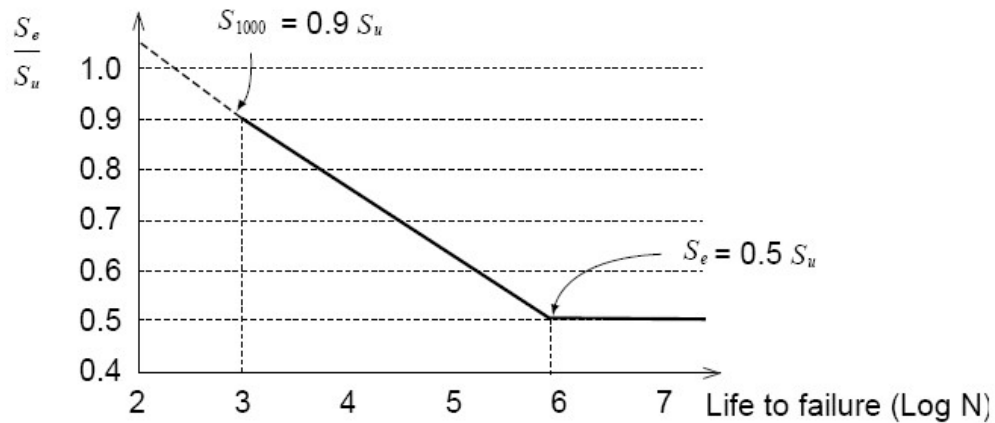
- ✓ 응력-수명 방법은 일정한 하중을 반복적으로 작용하여 파괴가 발생하였을 때의 반복횟수(N)와 응력 진폭(S)의 관계를 사용하여 주어진 하중 이력하에서의 피로 정도를 예측하는 방법입니다.
- ✓ S-N 선도는 구조물에 일정 진폭의 반복하중이 작용할 때 발생하는 응력진폭과 파괴에 이르게 하는 반복횟수의 관계를 나타낸 선도입니다.
- ✓ 피로 해석을 위해서는 먼저 구조물에 대한 선형 탄성해석을 수행한 후, 주응력 혹은 von-Mises 응력 등의 등가 응력을 산정하고 이를 S-N 선도에 적용하여 피로파괴가 일어나기까지 소요되는 하중 반복횟수를 예측합니다.
- ✓ 가변 진폭의 반복하중이 작용하는 경우 레인플로-집계 기법(Rainflow-Counting)을 사용하여 가변진폭의 반복응력으로부터 개별 응력 진폭을 추출하여 S-N 선도에 적용합니다.

☞ 구조물 모델링 → 선형정적 해석 → 응력에 대한 피로 해석 → 해석 결과 확인

주요 용어

➤ S-N 커브

구조물에 일정 진폭의 반복하중이 작용할 때 발생하는 응력진폭 (Stress Amplitude, S)과 해당 진폭응력이 반복될 때 파괴에 이르게 하는 반복횟수(Cycle to Failure, N)의 관계식을 나타낸 선도

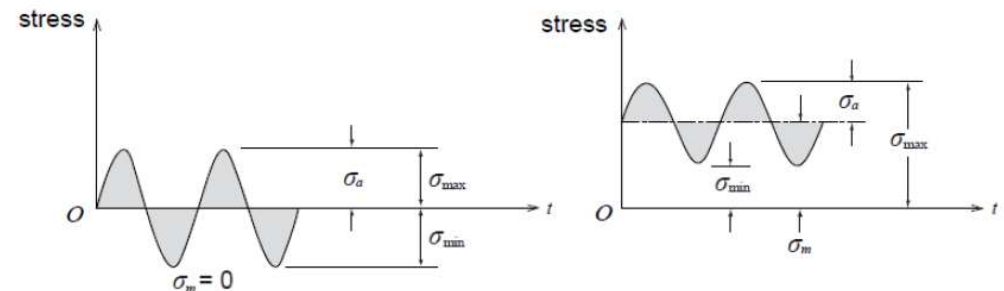


➤ 반복하중

일정 진폭의 응력이 규칙적으로 작용하는 경우 응력진폭과 평균 응력은 다음과 같이 계산합니다.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_m}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$



개요

➤ 선형정적해석 / 피로해석

- 단위 : N, mm
- 등방성 탄성 재료

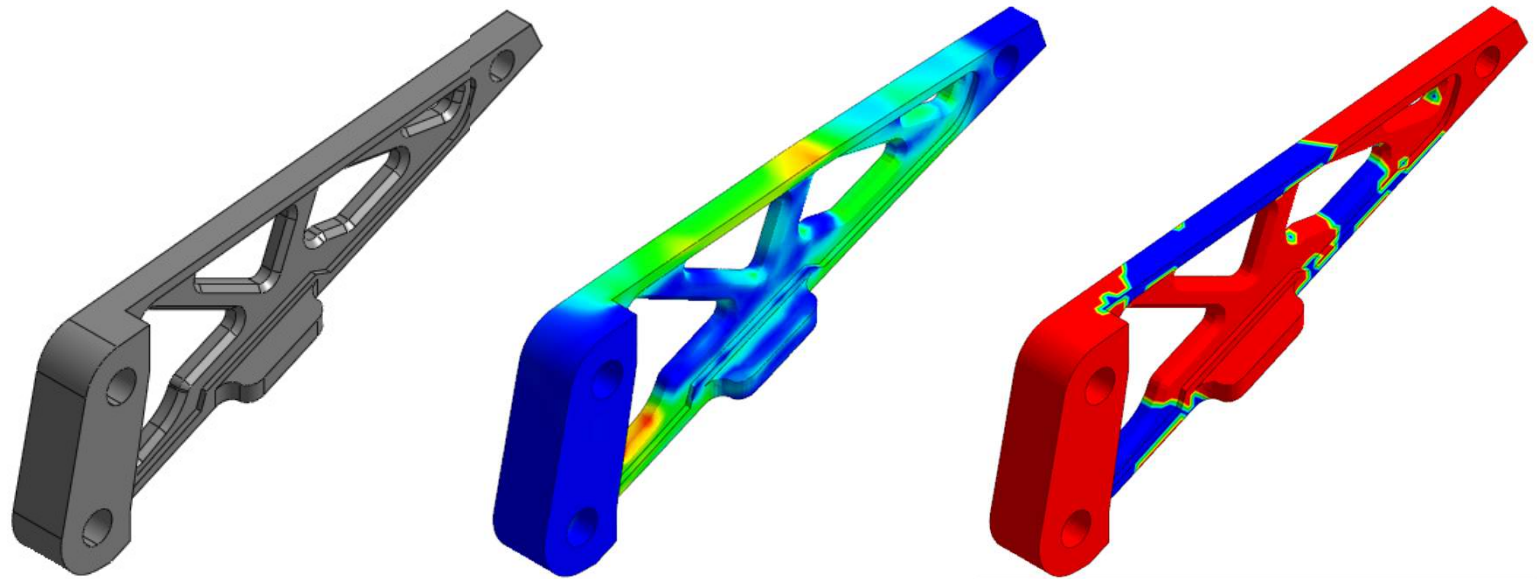
➤ 경계조건과 하중조건

- 집중하중
- 경계조건(고정구속)

➤ 결과확인

- von-Mises 응력
- 피로 수명

Hanger



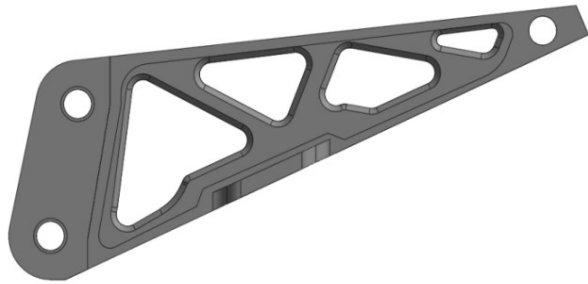
따라하기 목적

➤ midas NFX를 이용한 기본적인 피로 해석의 수행 및 기능 이해

- 피로파괴는 부재의 항복강도보다 낮은 하중이 반복하여 작용할 때 부재가 파괴되는 현상을 의미하며, 이러한 피로균열은 용접결함, 구조물의 기하학적인 형상에서 발생하는 응력집중, 구조물의 응력범위와 반복횟수 등에 의해서 발생합니다.
- 본 따라하기에서는 먼저 구조물에 대한 선형 탄성해석을 수행한 후, 부호를 고려한 von-Mises 응력을 사용하여 응력진폭을 산정하고 이를 S-N 선도에 적용하여 피로파괴가 일어나기까지 소요되는 하중 반복횟수를 예측합니다.

해석 개요

➤ 대상 모델

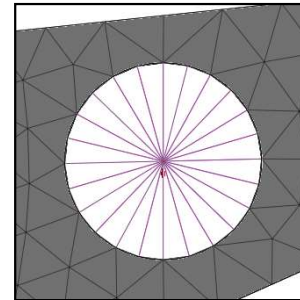
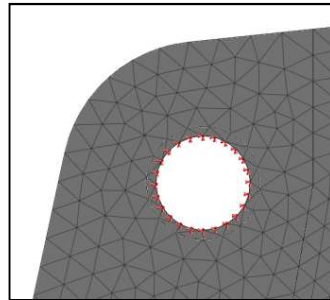


➤ 경계조건 (고정구속)

고정구속



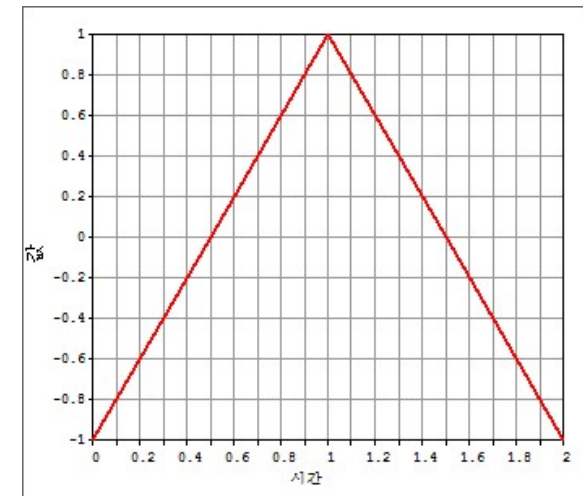
집중하중
(강체로 절점들을 연결한 후
마스터 노드에 집중하중부가)





➤ 피로해석조건

피로한계응력	40 MPa
한계사이클	1,000,000

하중이력 - 완전반복



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 가이드 감추기] 선택.



해석조건 설정

프로젝트명 담당자

설명

모델 종류

☒ 3차원/일반모델

☐ 2차원모델

☐ 축대칭

단위계

N mm J sec

중력가속도(g) mm/sec²

모두 보이기
모두 감추기
모든 형상 보이기
모든 형상 감추기
모든 요소망 보이기
모든 요소망 감추기

작업 평면 옮기기


가이드 보이기/감추기 ▶


모든 가이드 보이기

모든 가이드 감추기

모든 레이블 보이기

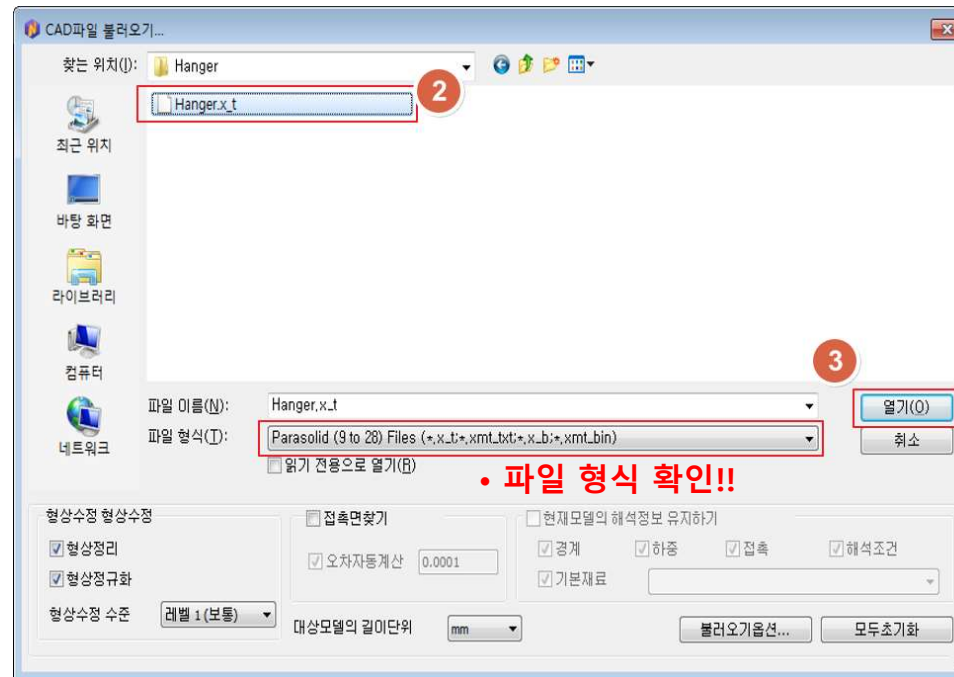
모든 레이블 감추기

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

 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.

작업순서

1. [불러오기] 클릭
2. 모델 선택: **Hanger.x_t** 선택
3. [열기] 버튼 클릭.

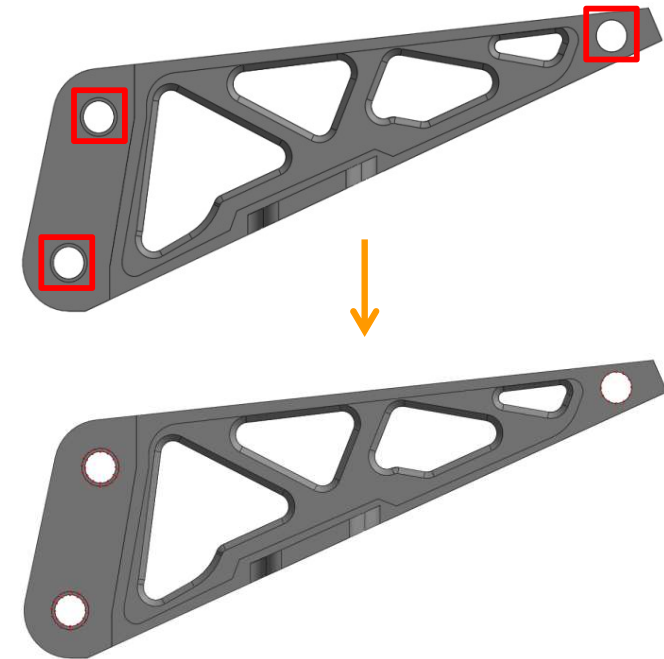


※ 프로그램이 설치된 하위 폴더의
ManualsWTutorialsWFiles 폴더 안에
따라하기의 모델들이 있습니다.



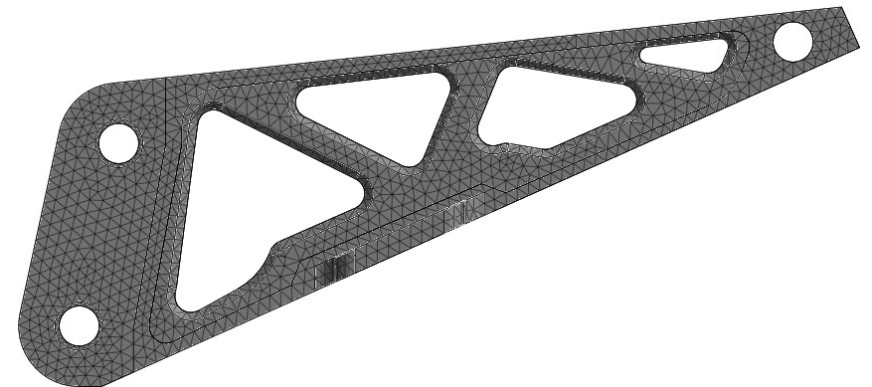
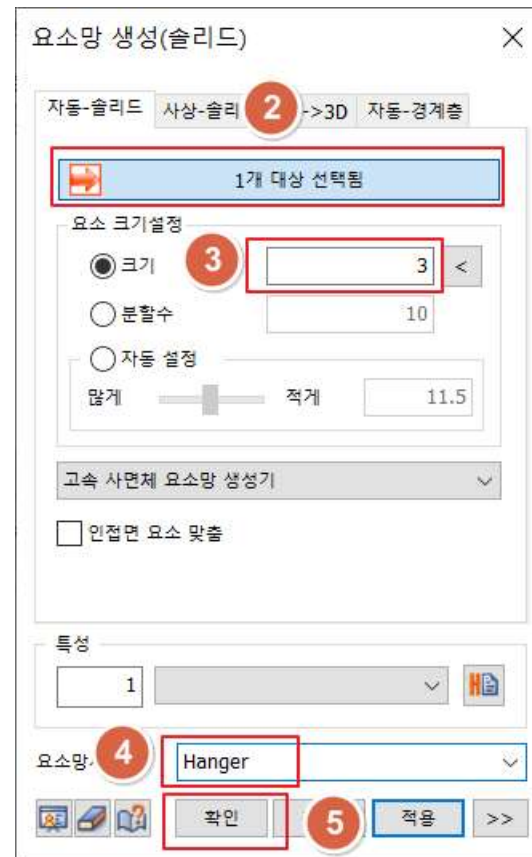
작업순서

1. [시드제어] 클릭.
2. [](우측면) 클릭.
3. 대상선택: “선 60개” 선택
4. 분할크기: “2.5” 입력.
5. [확인] 버튼 클릭.



작업순서

1. [3D] 클릭.
2. 대상선택: “1개” 대상 선택.
3. 요소크기: “3” 입력.
4. 요소망세트: “Hanger” 입력.
5. [확인] 버튼 클릭.

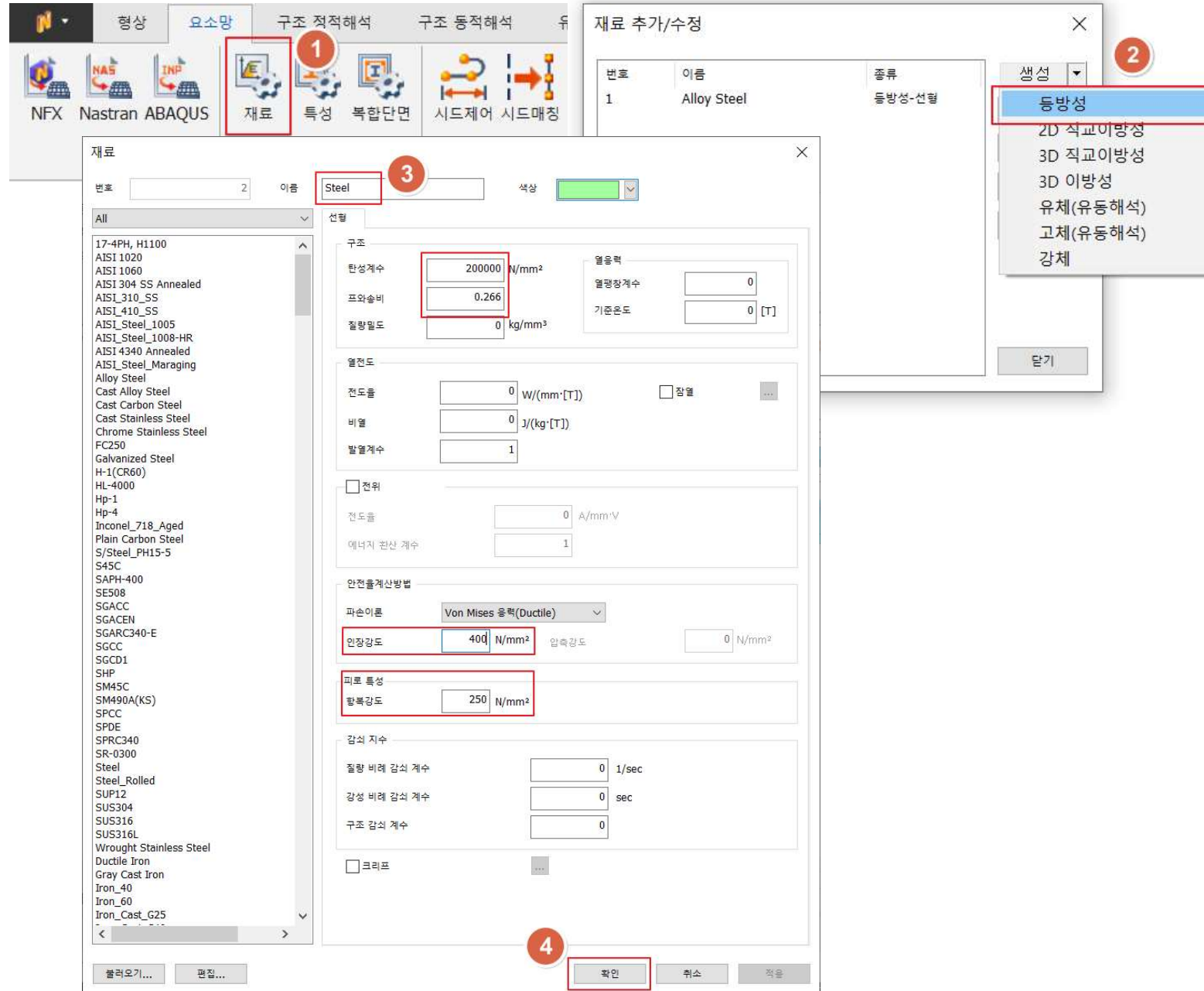


작업순서

1. [재료] 클릭.
2. 생성 >> 등방성 클릭
3. 재질입력

번호	2
이름	Steel
탄성계수	2e5 (N/mm ²)
프와송비	0.266
항복강도	250 (N/mm ²)
인장강도	400 (N/mm ²)

4. [확인] 버튼 클릭.



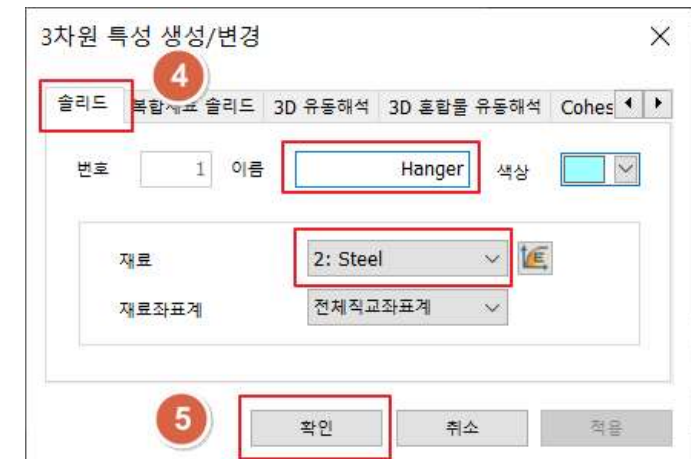
The screenshot shows the '재료 추가/수정' (Add/Modify Material) dialog box in the midas NFX software. The '재료' (Material) tab is active, and the 'Steel' material is selected. The '등방성' (Isotropic) property is chosen. The '탄성계수' (Elastic Modulus) is set to 200000 N/mm², '프와송비' (Poisson's Ratio) is 0.266, '항복강도' (Yield Strength) is 250 N/mm², and '인장강도' (Tensile Strength) is 400 N/mm². The '확인' (OK) button is highlighted.

작업순서

1. [특성] 클릭.
2. 1번 솔리드 특성 선택
3. [수정...] 클릭.
4. 솔리드 탭에서 특성입력

번호	1
이름	Hanger
재질	2:Steel

5. [확인] 버튼 클릭.
6. [닫기] 버튼 클릭



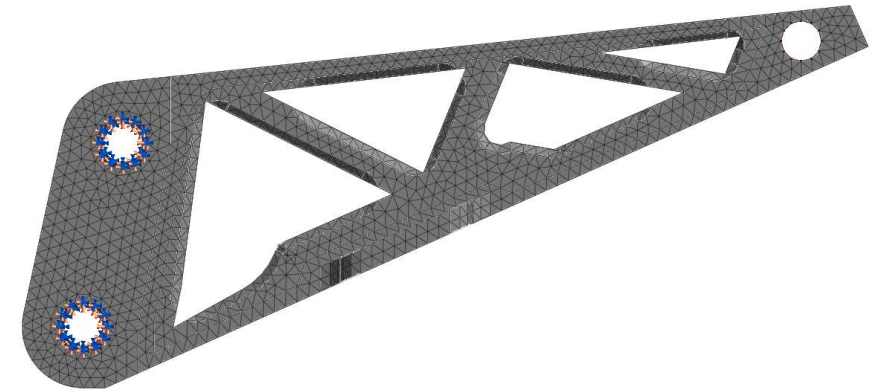
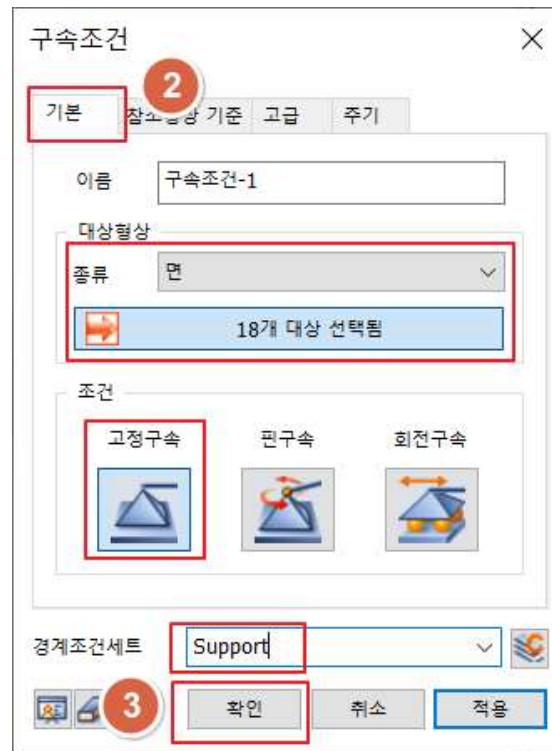
작업순서


1. [구속조건] 클릭.

2. 구속조건 입력

경계조건세트	Support
대상종류	면
대상선택	18개 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

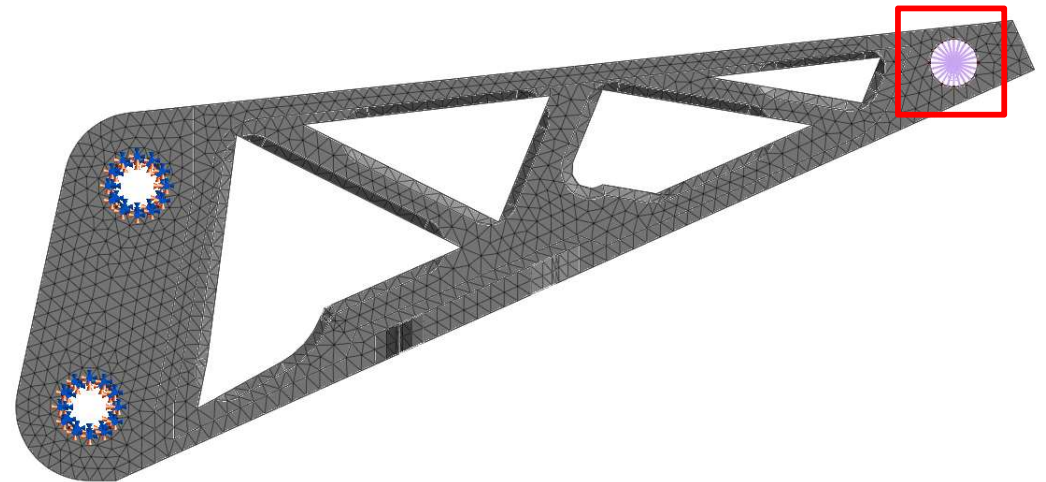
1. [기타] 클릭.
2. [기타] 탭 선택.
3. 선택필터에서 [면] 클릭.
4. 강체 요소 정보 입력.

종류	강체
마스터절점	종속 절점의 중심
종속 절점	216개 절점 선택
자유도	모두 체크
요소망세트	강체

5. [확인] 버튼 클릭.

💡 선택필터에서 면을 지정하고 면을 선택하면 면에 소속된 절점들이 선택됩니다.

💡 선택한 종속절점들의 중심에 절점을 생성하고 이를 마스터절점으로 사용합니다.



작업순서

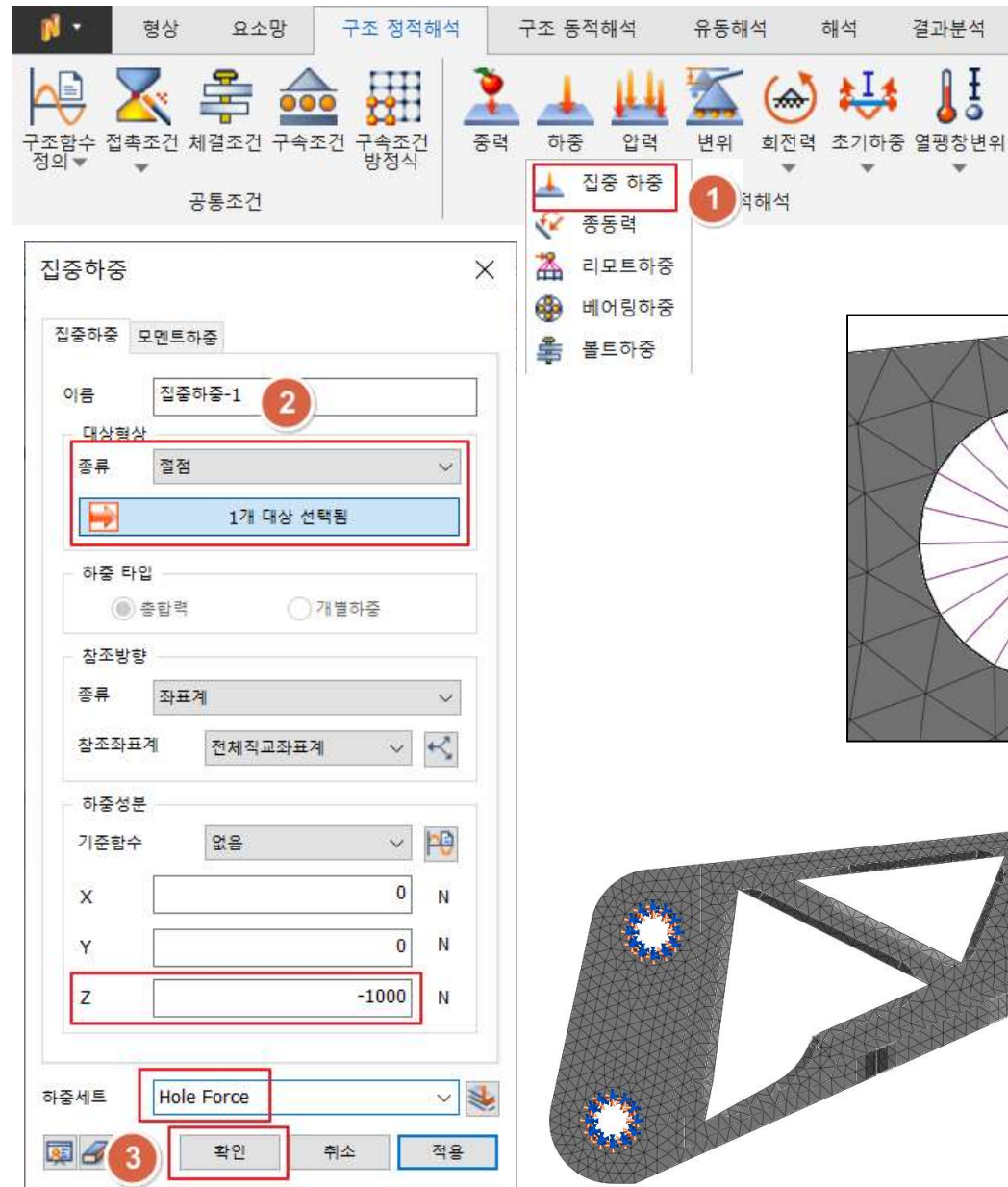
1. [집중하중] 클릭.

2. 집중하중 입력

하중세트	Hole Force
대상종류	절점
대상선택	1개 선택 (그림참조)
크기[Z축]	-1000 (N)

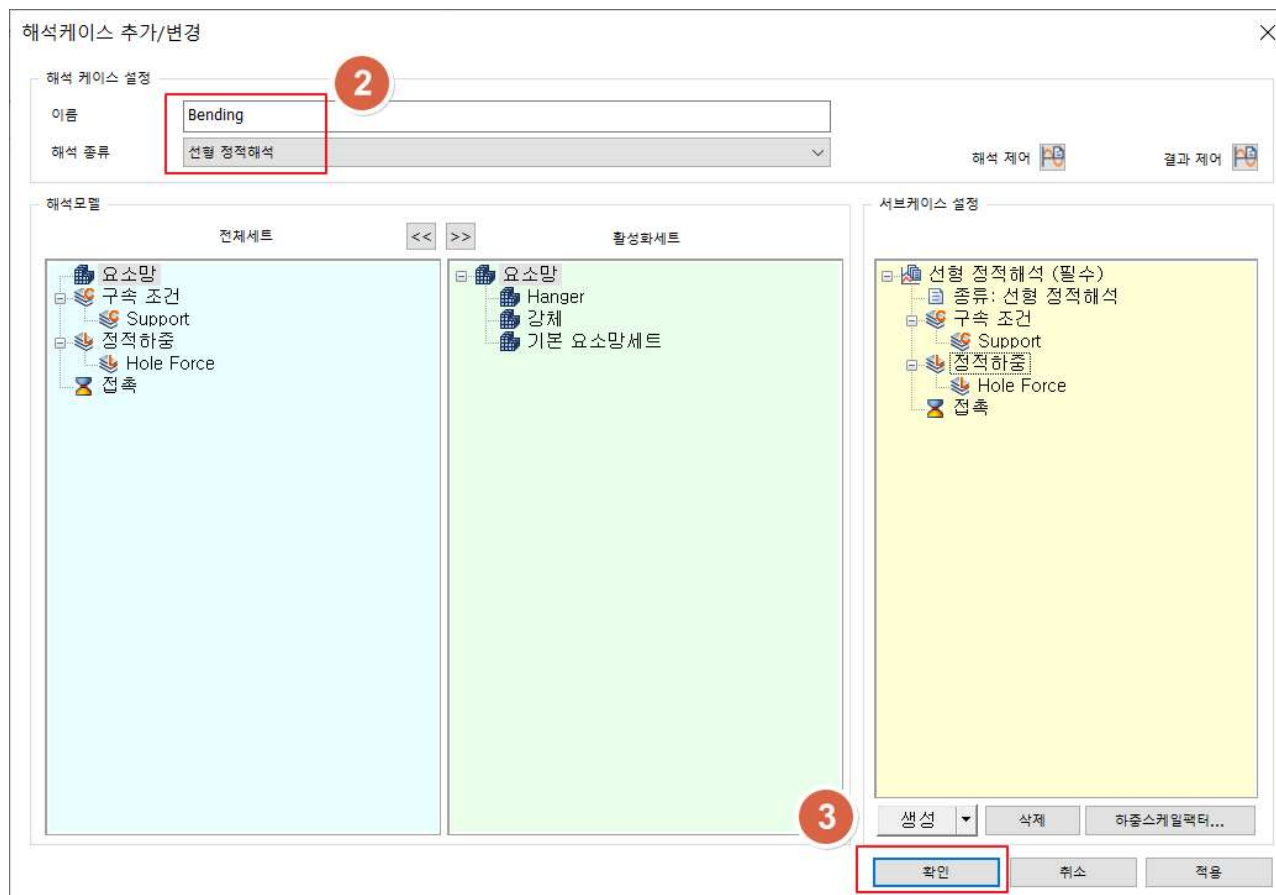
3. [확인] 버튼 클릭.

💡 강제 연결된 종속절점들은 마스터절점에 따라 거동하게 됩니다. 따라서, 모든 하중과 경계조건은 마스터절점에만 허용이 되며, 종속절점에는 어떠한 하중/경계조건이 부여되어선 안됩니다.



작업순서

1. [단일해석] 클릭.
2. 이름: “Bending” 입력.
해석 종류: [선형 정적해석] 선택.
3. [확인] 버튼 클릭.



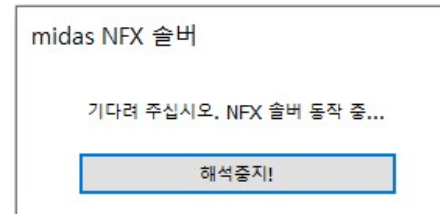
💡 기본적으로 현재 작업된 기하형상, 구속조건, 하중조건 등이 모두 활성화 됩니다.

작업순서

1. [실행] 클릭
2. [확인] 버튼 클릭.



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



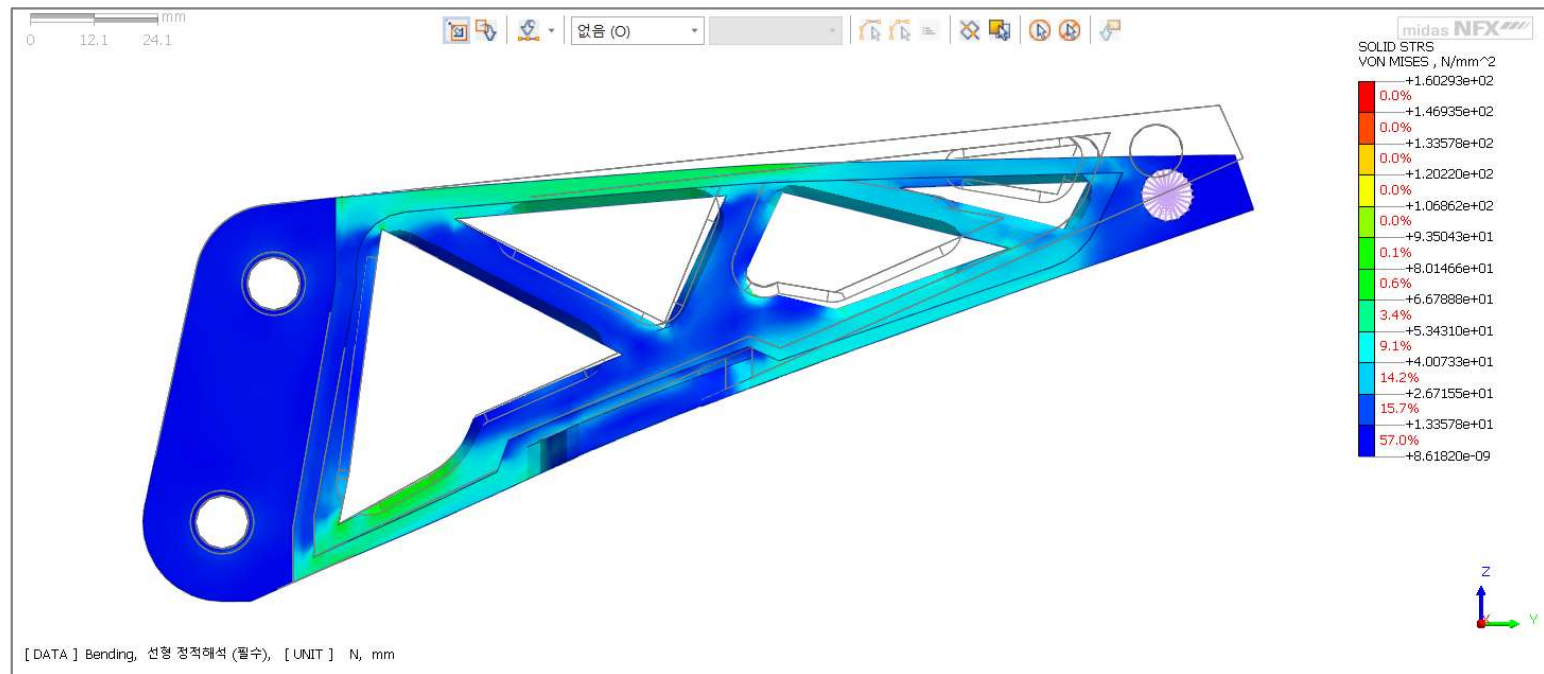
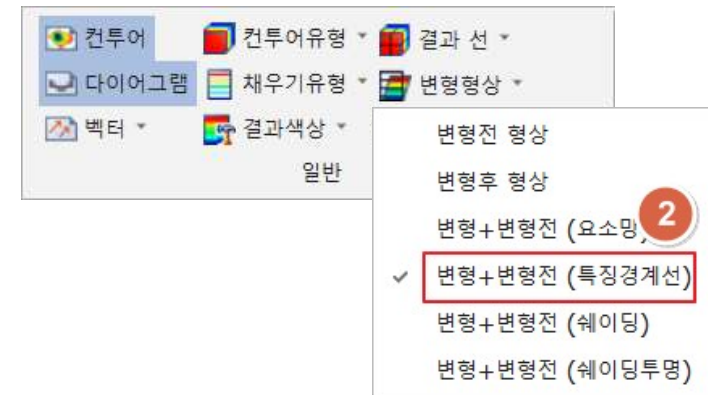
작업순서

1. [솔리드요소 von-Mises 응력]

더블 클릭.

2. 결과분석 >> 일반 >> 변형형상

>> 변형+변형전(특징경계선) 클릭.



작업순서

1. 해석 및 결과 작업트리에서

[Bending : 선형 정적해석] 선택.

마우스 오른쪽 버튼 >> [피로해석결과 추가...] 클릭.

2. 피로해석 데이터 입력

해석 방법	하중 이력을 이용한 SN법
해석 세트	Bending
응력 종류	부호고려한 Von Mises
평균응력보정	모두 체크
출력 종류	모두 체크

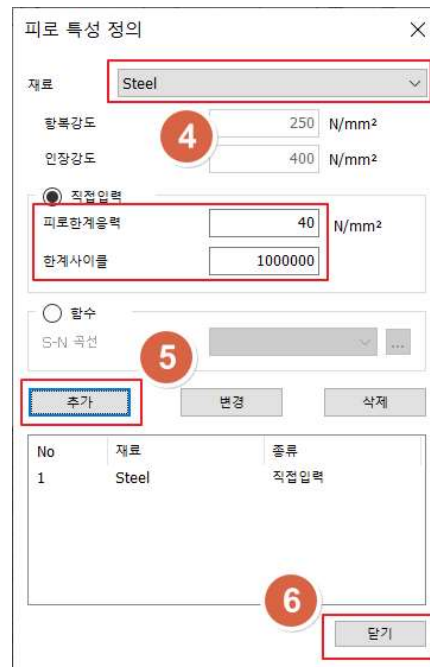
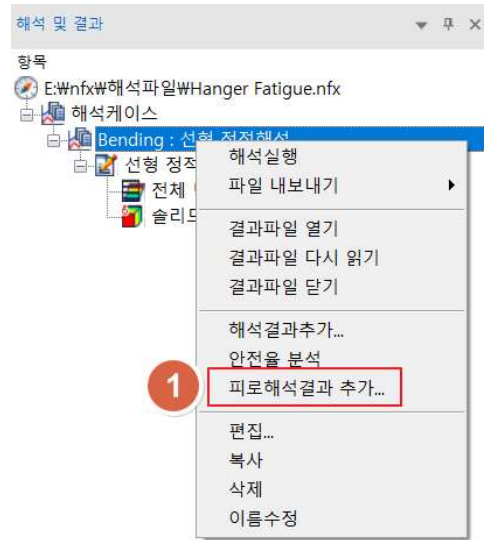
3. [특성정의] 버튼 클릭.

4. 피로특성 정의

재료	Steel
피로한계응력	40 Mpa
한계사이클	1,000,000

5. [추가] 버튼 클릭.

6. [닫기] 버튼 클릭.



작업순서

1. [정의] 버튼 클릭.
2. 하중/응력 이력 정의

번호	1
이름	선형 정적해석 (필수)
집중계수	1
피로하중함수	3. 완전반복

3. [확인] 버튼 클릭.
4. [확인] 버튼 클릭.

피로 해석

Analysis Data

해석 방법 하중 이력을 이용한 SN법

해석 세트 Bending

응력 옵션

응력 종류 부호고려한 Von Mises

☒ 평균 ☐ 최대 ☐ 최소

☐ 빠른 집계법 사용 : 응력 레벨 개수 32

특성

특성 정의...

평균응력보정

☒ None ☒ Goodman ☒ Gerber

☐ Soderberg ☐ Morrow ☐ SWT

출력 종류

☒ 손상도 ☒ 피로 수명

☐ 피로 기여도

피로 하중

하중/응력 이력 정의...

하중 반복 횟수 1

무한 수 1e+09

☒ 확인 취소 적용

하중/응력 이력 정의

이름	집중계수	피로 하중 함수
1 선형 정적해석 (필수)	1.0000	완전 반복

피로하중함수 정의

초기화 확인 취소

피로해석 데이터 용어

피로 해석

Analysis Data

해석 방법

하중 이력을 이용한 SN법

해석 세트

Bending

응력 옵션

응력 종류

부호고려한 Von Mises

☒ 평균
 ☐ 최대
 ☐ 최소

☐ 빠른 집계법 사용 : 응력 레벨 개수

32

특성

특성 정의...

평균응력보정

☒ None
 ☒ Goodman
 ☒ Gerber
 ☐ Soderberg
 ☐ Morrow
 ☐ SWT

피로 특성 정의

재료

Steel

항복강도

250

N/mm²

인장강도

400

N/mm²

☒ 직접입력

피로한계응력

40

N/mm²

한계사이클

1000000

☐ 함수

S-N 곡선

➤ 해석 방법

S-N 선도를 이용하는 응력-수명 방법과 E-N 선도를 이용하는 변형률-수명 방법, 그리고 피로 하중의 종류를 선택합니다.

➤ 해석 세트

선택한 해석 방법에 알맞은 해석케이스를 선택합니다.

➤ 응력 옵션

응력진폭 산정에 사용할 응력을 선택합니다. (Equivalent, 부호고려한 von Mises, 주응력, 최대 전단력)

- 1) **평균**: 절점에서 응력을 취할 때, 주변 요소의 해당절점 응력값의 평균을 취합니다.
- 2) **최대/최소**: 절점에서 응력을 취할 때, 주변요소의 해당절점 응력값 중 최대값 또는 최소값을 취합니다.

➤ 특성 정의

특성은 기존 해석과는 별도로 피로해석을 위해 추가적인 재료물성을 입력합니다.

선택한 해석 방법에 알맞은 재료에 한정하며, 파트 별 재료가 다른 경우에도 가능합니다.

인장강도는 해석결과의 응력값과 피로한계응력보다 큰 값이어야 합니다.

- 1) **직접입력**: 피로한계응력과 한계사이클을 입력합니다.
- 2) **함수**: S-N 선도를 그래프 형태로 입력할 수 있습니다.



전형적인 S-N 선도의 예

Hanger

20

피로해석 데이터 용어

피로 해석

Analysis Data

해석 방법

하중 이력을 이용한 SN법

해석 세트

Bending

응력 옵션

응력 종류

부호고려한 Von Mises

☒ 평균
 ☐ 최대
 ☐ 최소

☐ 빠른 집계법 사용 : 응력 레벨 개수

32

특성

특성 정의...

평균응력보정

☒ None
 ☒ Goodman
 ☒ Gerber

☐ Soderberg
 ☐ Morrow
 ☐ SWT

출력 종류

☒ 손상도
 ☒ 피로 수명

☐ 피로 기여도

피로 하중

하중/응력 이력

정의...

하중 반복 횟수

1

무한 수명

1e+09

피로 해석

확인

취소

도움

➤ 평균응력보정

구조물에 가해지는 응력진폭이 동일하여도 평균응력이 다르면 피로수명도 달라지므로 평균응력의 영향을 고려하기 위해 Goodman과 Gerber의 식을 제시하고 있습니다.

➤ 출력 종류

출력되는 피로해석 결과를 선택합니다.

- 1) **손상도**: 피로로 인한 손상을 나타내며, 단위는 %를 사용합니다.
- 2) **피로수명횟수**: 피로수명을 나타내며, 현재의 피로하중을 몇 번을 반복할 때까지 견딜 수 있는지 나타냅니다.

➤ 피로하중

해석 방법에 따라 적절한 하중/응력 이력을 정의합니다.

- 1) 하중 이력을 이용한 해석 방법인 경우에는 반복되는 이력곡선을 정의하여 적용할 수 있으며, 응력 이력을 이용하는 해석 방법인 경우에는 각 스텝별 응력 이력을 토대로 자동 정의됩니다.
- 2) **하중 사이클 수**: 정의한 피로 하중이 몇 번 반복되는 것을 1사이클로 적용할 것인지 입력합니다.

➤ 무한수명

피로파괴가 일어나지 않는 부위의 수명을 나타냅니다.

Hanger

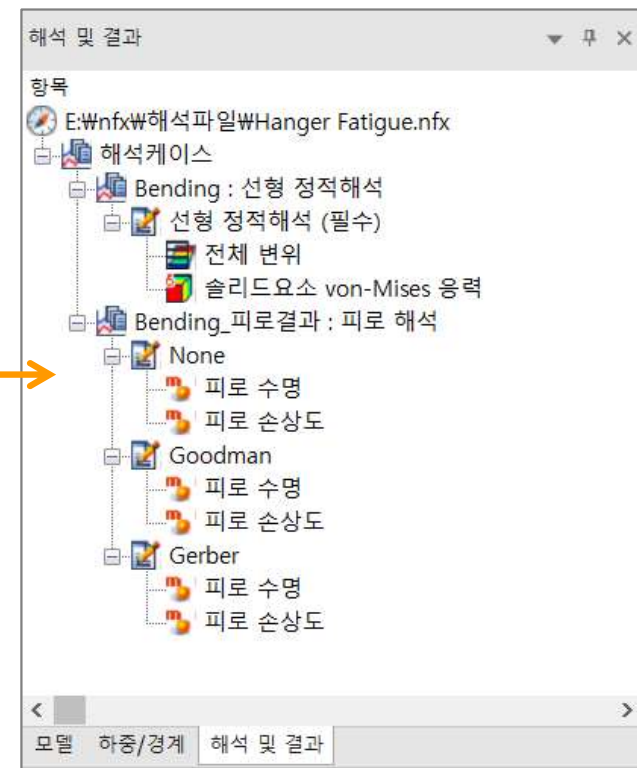
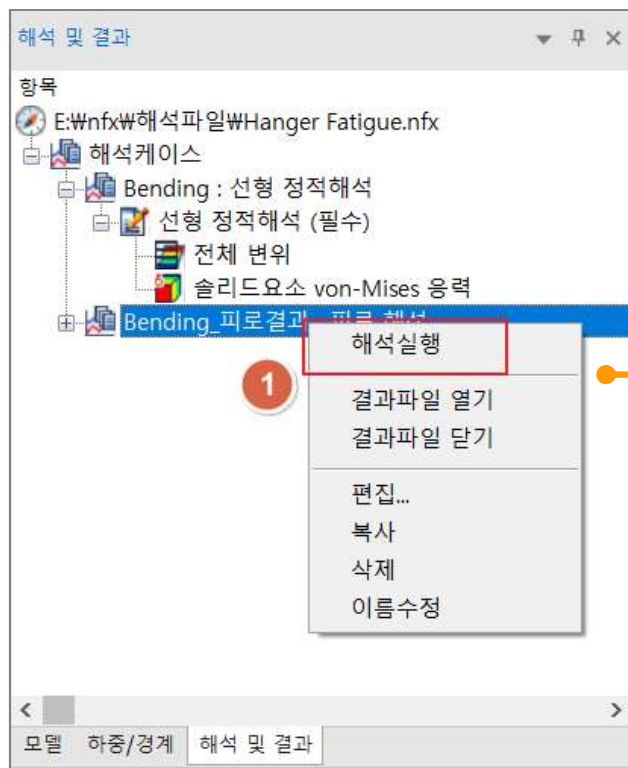
21

작업순서

1. 해석 및 결과 작업트리에서

Bending_피로결과 선택.

마우스 오른쪽 버튼 >> **해석실행** 클릭.



작업순서

1. 해석 및 결과 작업트리에서

Goodman >> 피로 수명

더블 클릭.

