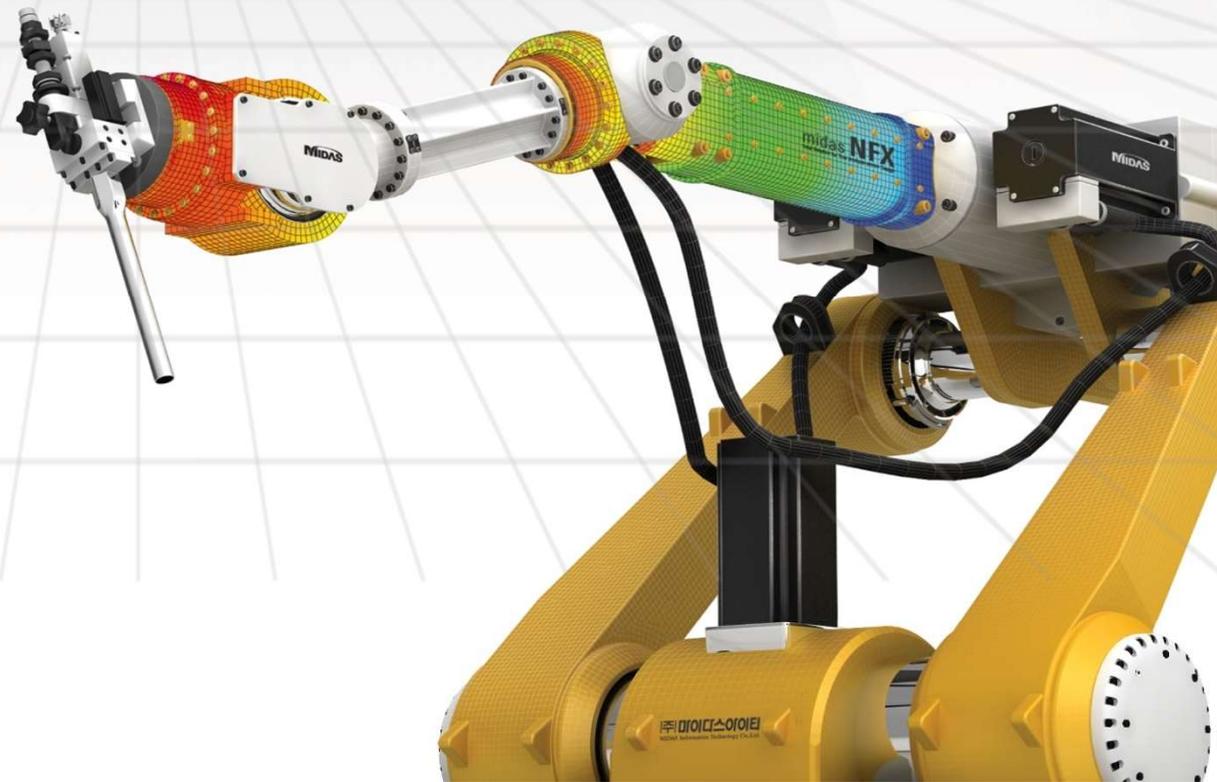


# Fatigue Analysis (피로해석)



## 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.

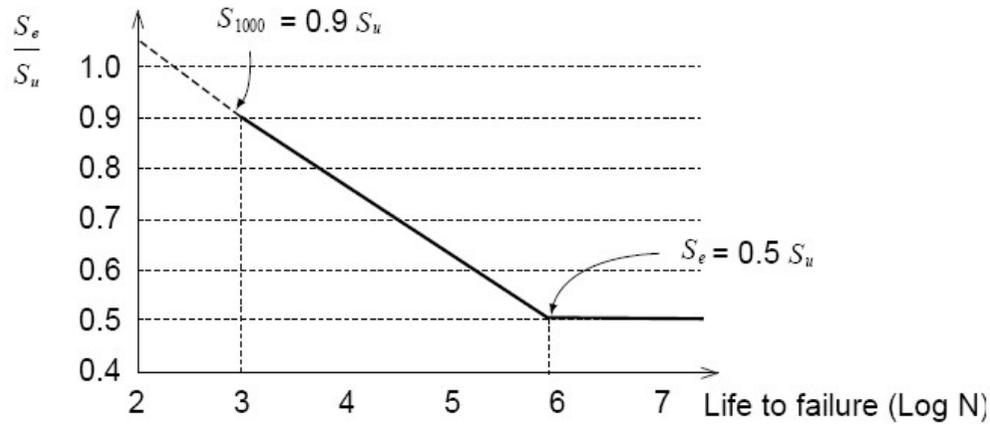
## 응력-수명 방법

- ✓ 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

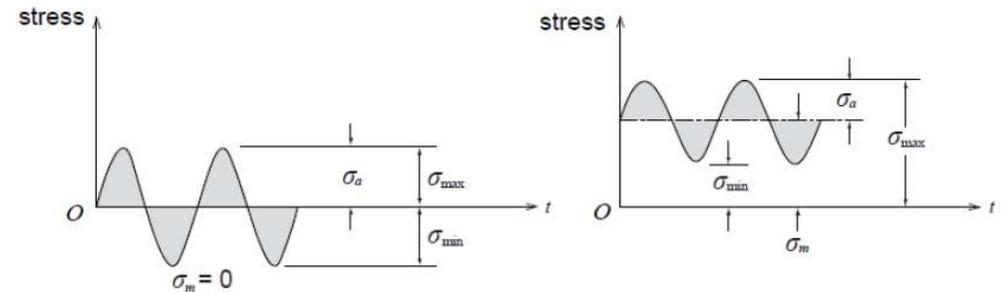


### ➤ 반복하중

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

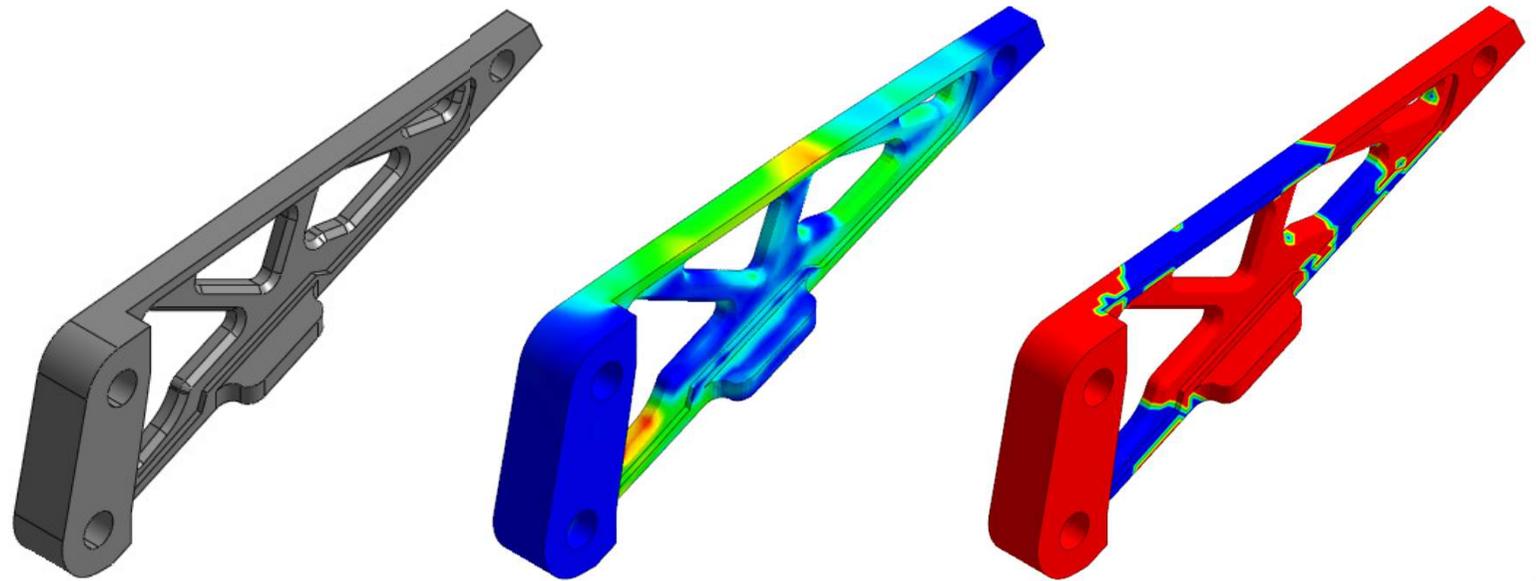
➤ 경계조건과 하중조건

- 집중하중
- 경계조건(고정구속)

➤ 결과확인

- von-Mises 응력
- 피로 수명

# Hanger



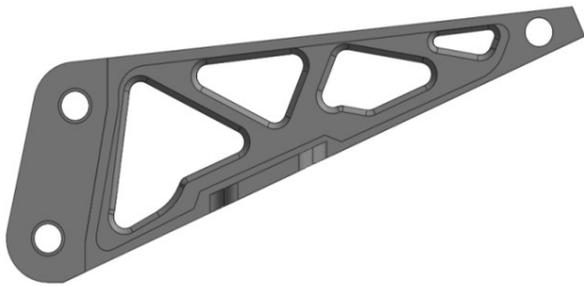
## 따라하기 목적

➤ midas NFX를 이용한 기본적인 피로 해석의 수행 및 기능 이해

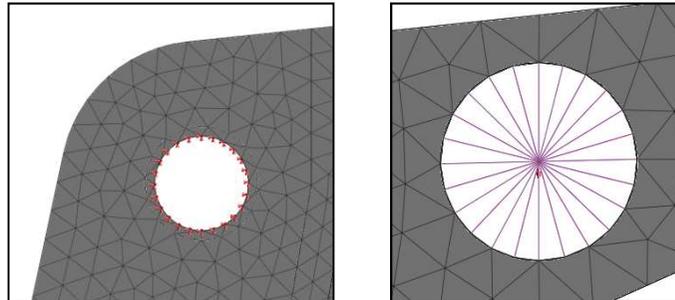
- 피로파괴는 부재의 항복강도보다 낮은 하중이 반복하여 작용할 때 부재가 파괴되는 현상을 의미하며, 이러한 피로균열은 용접결함, 구조물의 기하학적인 형상에서 발생하는 응력집중, 구조물의 응력범위와 반복횟수 등에 의해서 발생합니다.
- 본 따라하기에서는 먼저 구조물에 대한 선형 탄성해석을 수행한 후, 부호를 고려한 von-Mises 응력을 사용하여 응력진폭을 산정하고 이를 S-N 선도에 적용하여 피로파괴가 일어나기까지 소요되는 하중 반복횟수를 예측합니다.

## 해석 개요

➤ 대상 모델



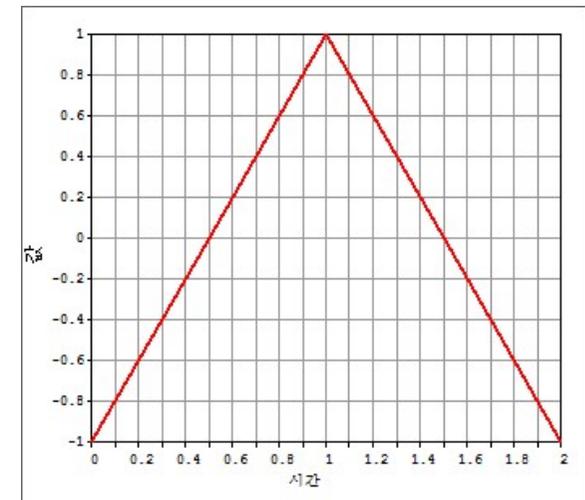
➤ 경계조건 (고정구속)    ➤ 하중조건 (집중하중)



➤ 피로해석조건

피로한계응력	40 MPa
한계사이클	1,000,000

하중이력 - 완전반복



## 작업순서

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



### 해석조건 설정

프로젝트명  담당자

설명

모델 종류

3차원/일반모델 2

2차원모델

축대칭

단위계

N mm J sec 3

중력가속도(g)  mm/sec<sup>2</sup>

4 확인 취소

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

작업 평면 옮기기

가이드더 보이기/감추기 ▶

모든 가이드더 보이기  
모든 가이드더 감추기 5

모든 레이블 보이기  
모든 레이블 감추기

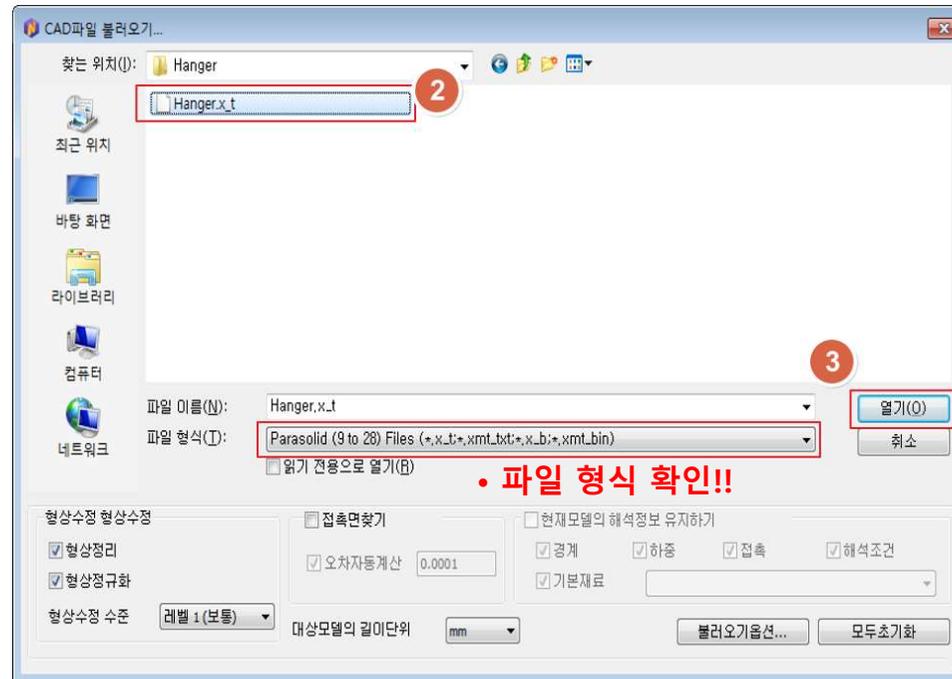
 프로그램을 실행시킨 후 [새로 만들기]를 클릭하면 모든 메뉴가 활성화 됩니다.

 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.

## 작업순서

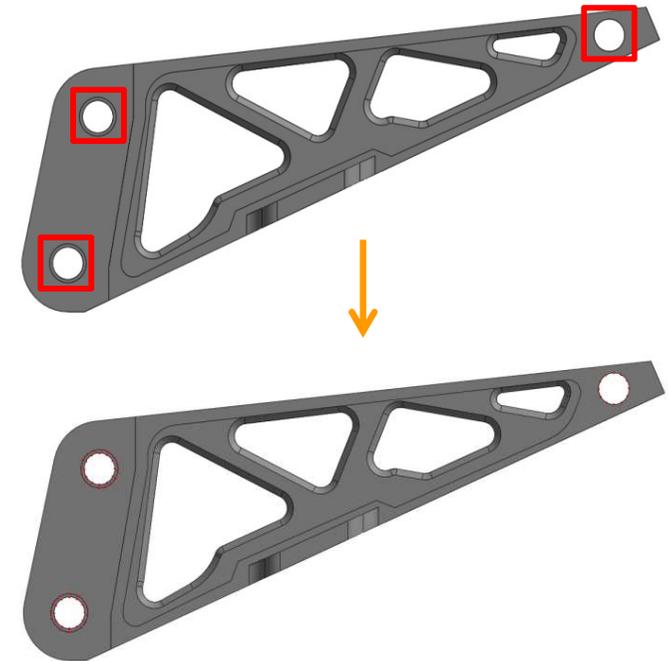
1. [불러오기] 클릭
2. 모델 선택: **Hanger.x\_t** 선택
3. [열기] 버튼 클릭.

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



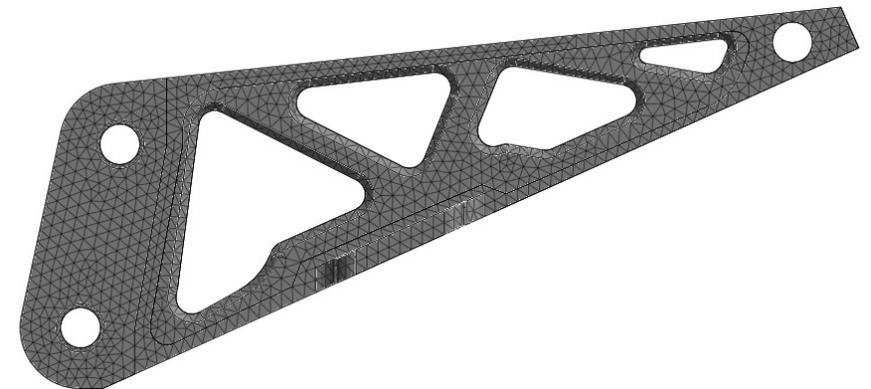
## 작업순서

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 <sup>2</sup> )
프와송비	0.266
항복강도	250 (N/mm <sup>2</sup> )
인장강도	400 (N/mm <sup>2</sup> )

4. [확인] 버튼 클릭.

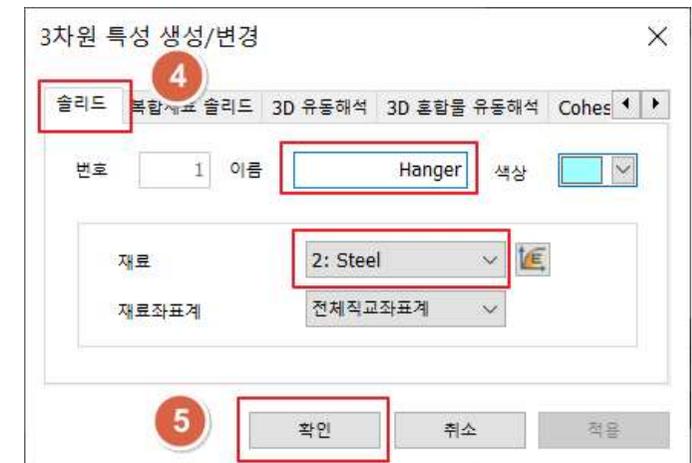
The screenshot shows the '재료 추가/수정' (Material Add/Edit) dialog box in midas NFX. The '재료' (Material) window is open, and the '특성' (Properties) tab is selected. The '탄성계수' (Elastic Modulus) is set to 200000 N/mm<sup>2</sup>, '프와송비' (Poisson's Ratio) is 0.266, '항복강도' (Yield Strength) is 250 N/mm<sup>2</sup>, and '인장강도' (Tensile Strength) is 400 N/mm<sup>2</sup>. The '생성' (Generate) dropdown menu is open, showing '등방성' (Isotropic) selected. 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

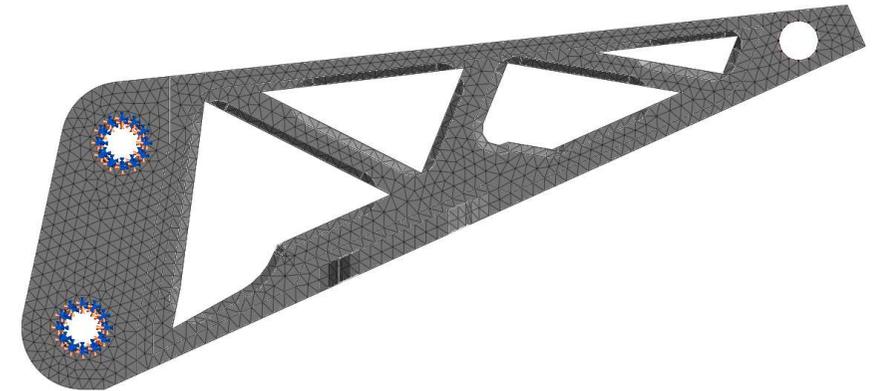
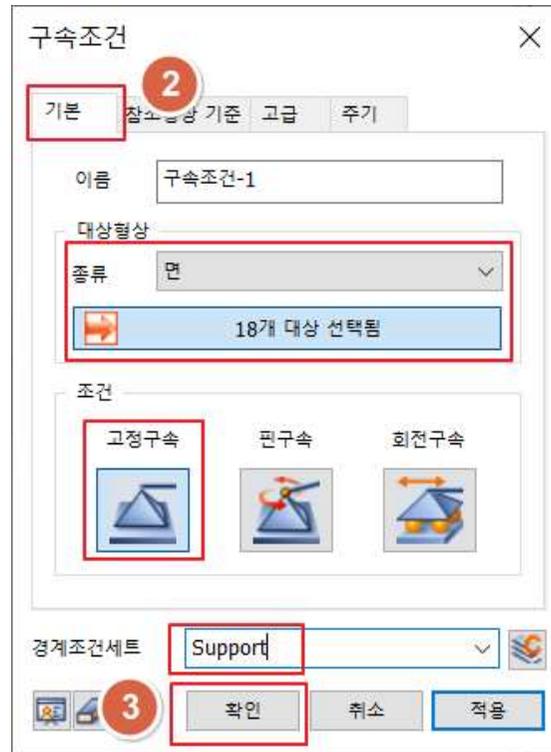


## 작업순서

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

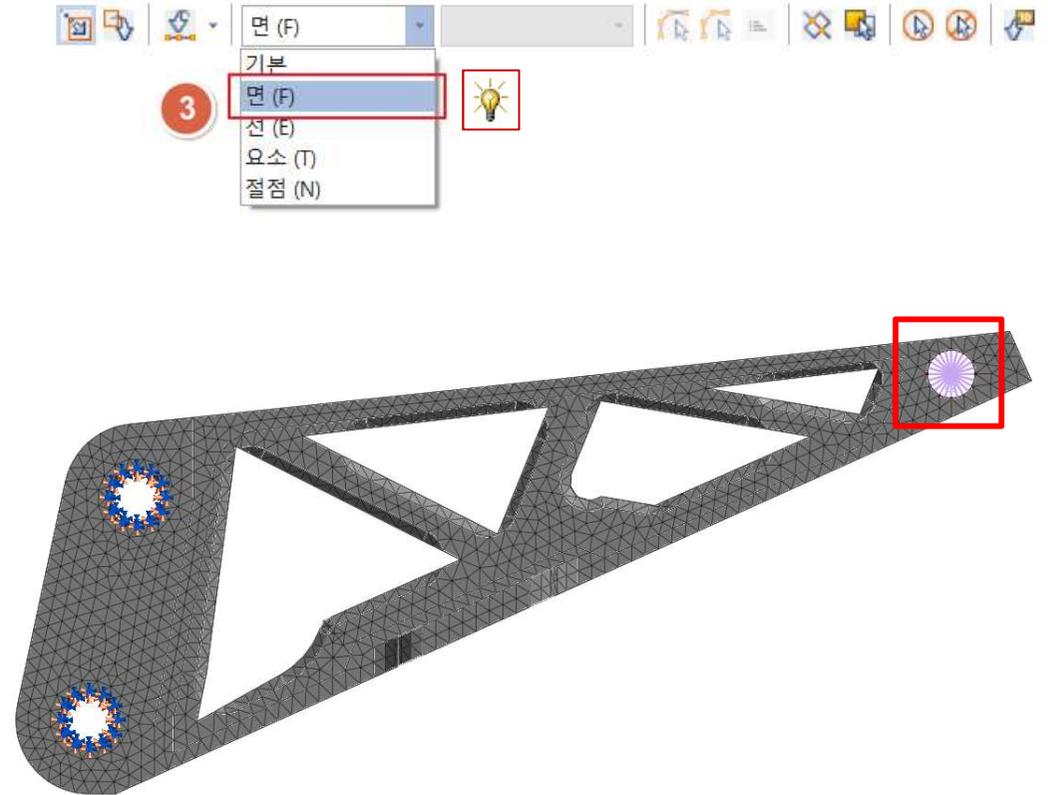
1. [기타] 클릭.
2. [기타] 탭 선택.
3. 선택필터에서 [면] 클릭.
4. 강체 요소 정보 입력.

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)

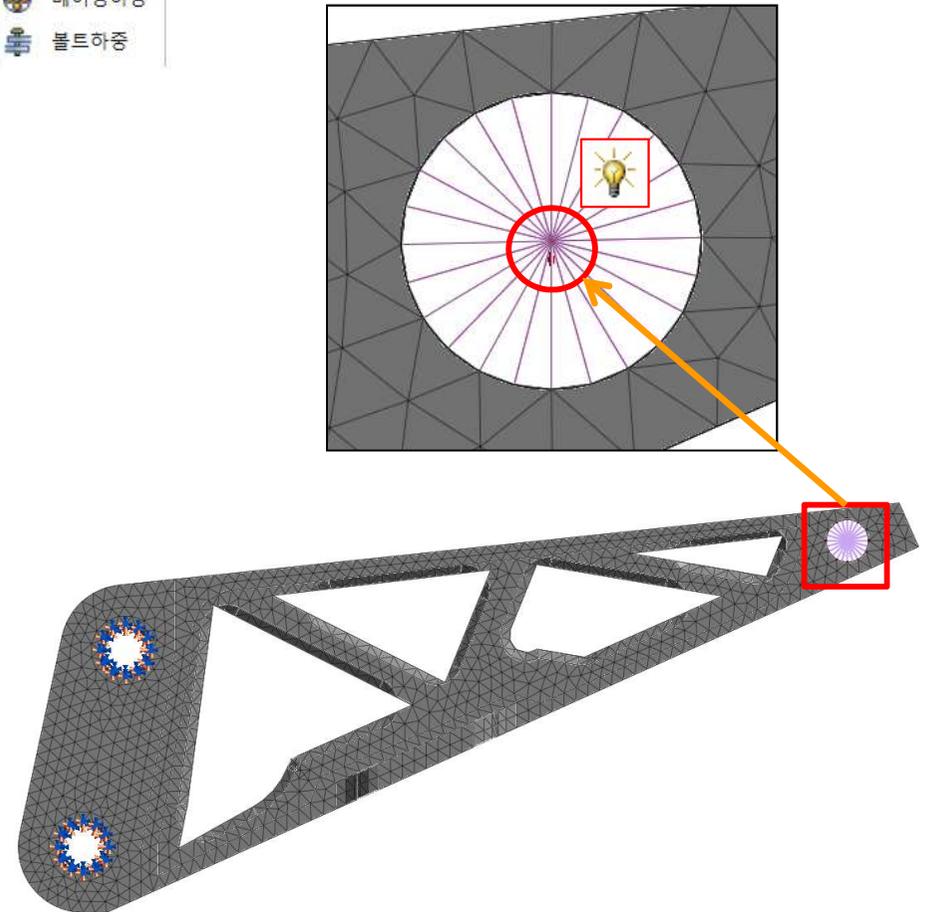
3. [확인] 버튼 클릭.

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

The screenshot shows the software interface for defining a concentrated load. The '하중' (Load) menu is open, and '집중 하중' (Concentrated Load) is selected. The '집중하중' dialog box is displayed with the following settings:

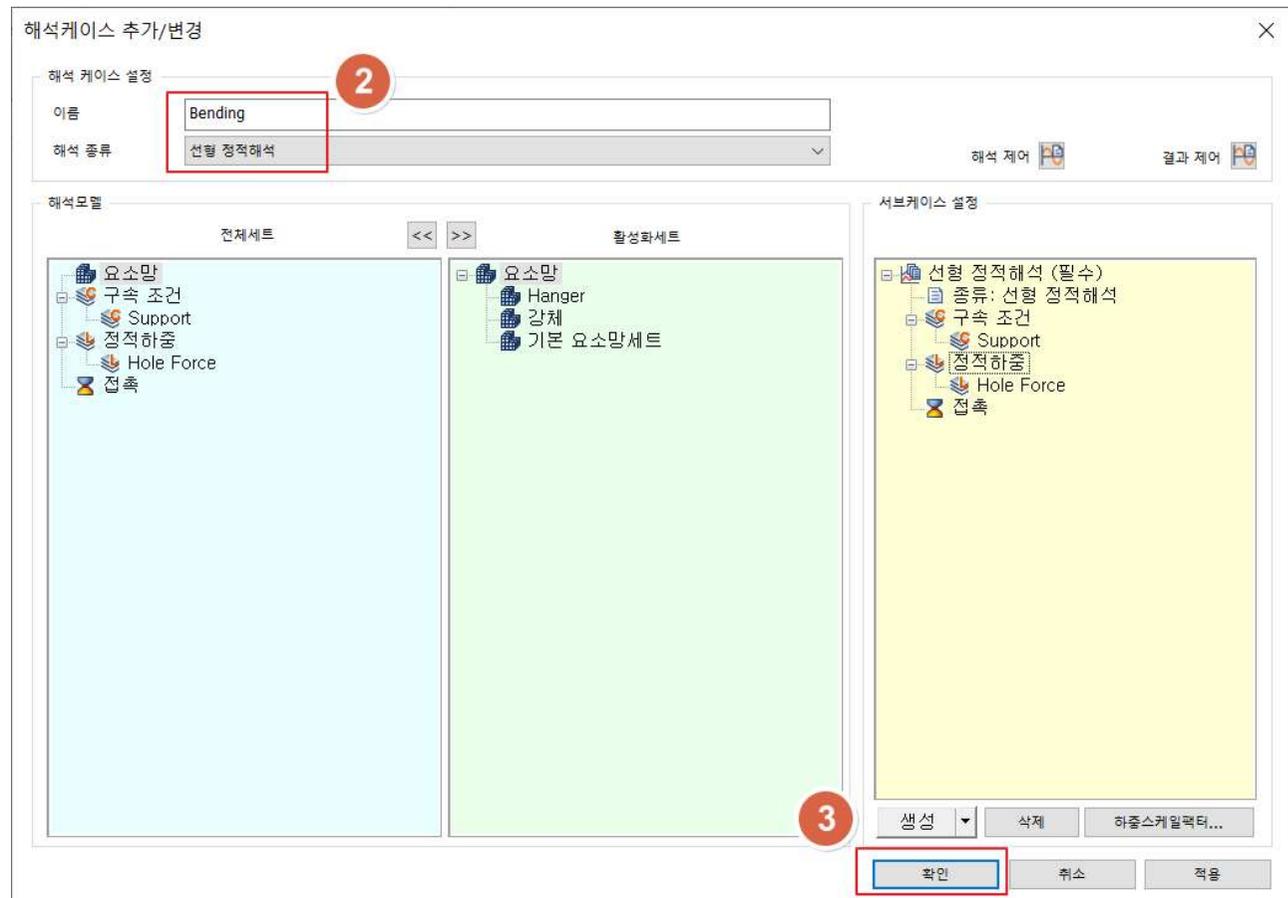
- 이름: 집중하중-1
- 대상형상: 절점
- 종류: 절점
- 1개 대상 선택됨
- 하중 타입:  총합력  개별하중
- 참조방향: 종류: 좌표계, 참조좌표계: 전체 직교좌표계
- 하중성분: 기준함수: 없음
- X: 0 N
- Y: 0 N
- Z: -1000 N
- 하중세트: Hole Force

Buttons for '확인' (OK), '취소' (Cancel), and '적용' (Apply) are visible at the bottom of the dialog box.



## 작업순서

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



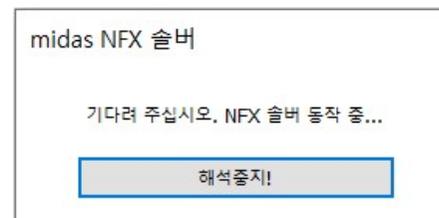
💡 기본적으로 현재 작업된 기하형상, 구속조건, 하중조건 등이 모두 활성화 됩니다.

## 작업순서

1. [실행] 클릭
2. [확인] 버튼 클릭.



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





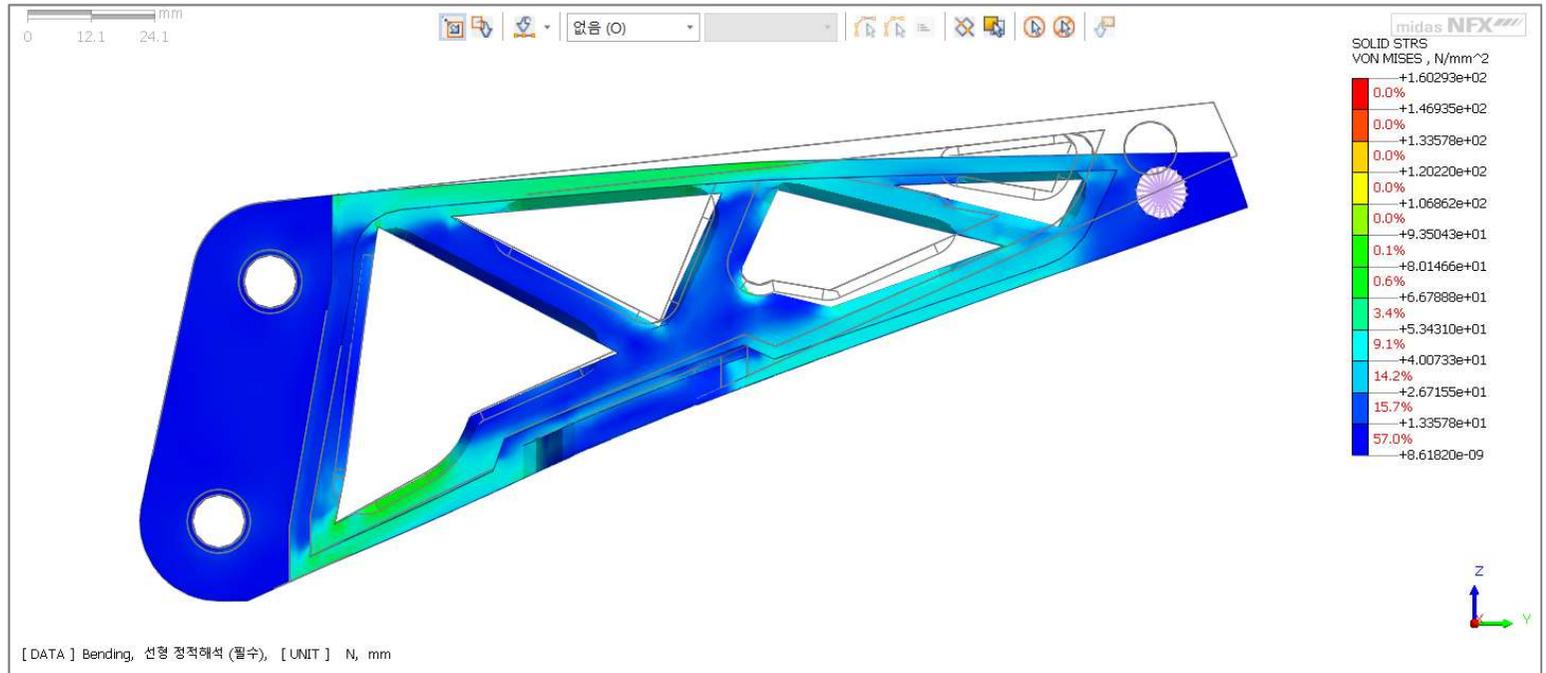
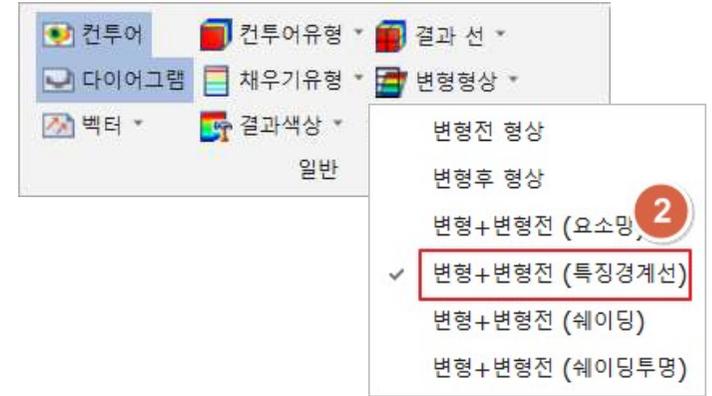
### 작업순서

#### 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

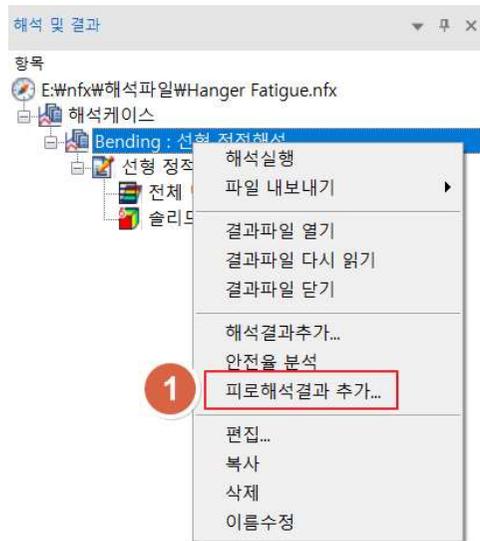
### 3. [특성정의] 버튼 클릭.

### 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... 1

하중 반복 횟수 1

---

무한 수 4 1e+09

확인
취소
적용

**하중/응력 이력 정의** ✕

#	이름	집중계수	피로 하중 함수
1	선형 정적해석 (필수)	1.0000	완전 반복 <span style="border: 1px solid gray; border-radius: 50%; padding: 2px; font-weight: bold;">2</span>

---

피로하중함수 정의
초기화
확인 취소
3

## 피로해석 데이터 용어

피로 해석
✕

---

**Analysis Data**

해석 방법: 하중 이력을 이용한 SN법

해석 세트: Bending

응력 옵션: 평균 (선택), 최대, 최소

응력 종류: 부호고려한 Von Mises

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/mm<sup>2</sup>

인장강도: 400 N/mm<sup>2</sup>

직접입력

피로한계응력: 40 N/mm<sup>2</sup>

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.

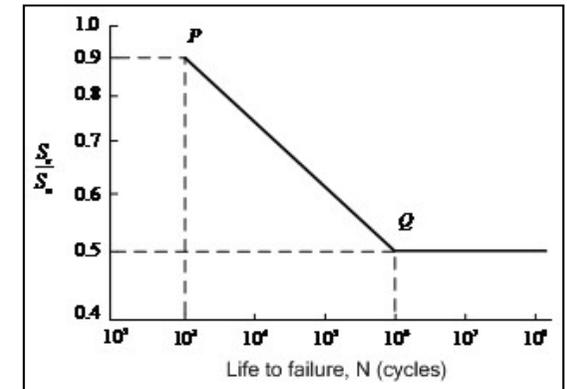
### ➤ 특성 정의

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

## 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

---


확인
취소
완료

### ➤ 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

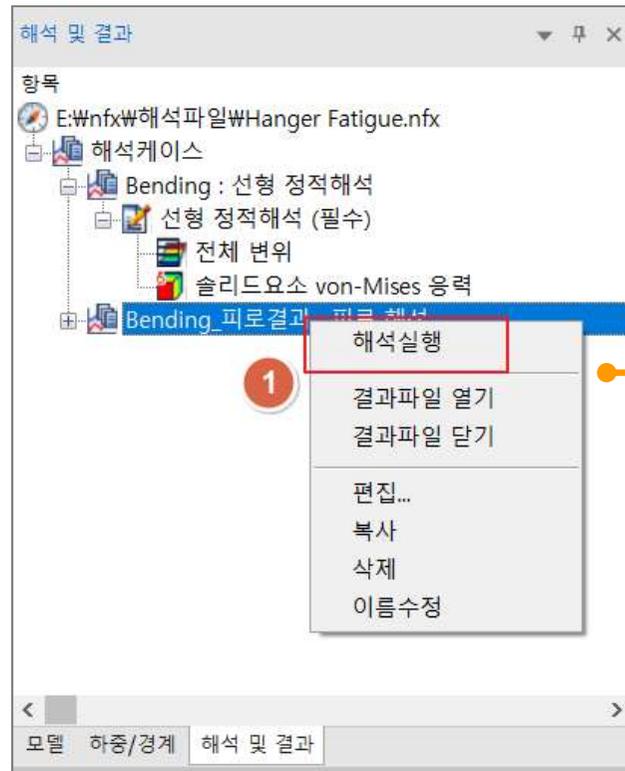
피로파괴가 일어나지 않는 부위의 수명을 나타냅니다.

## 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.

