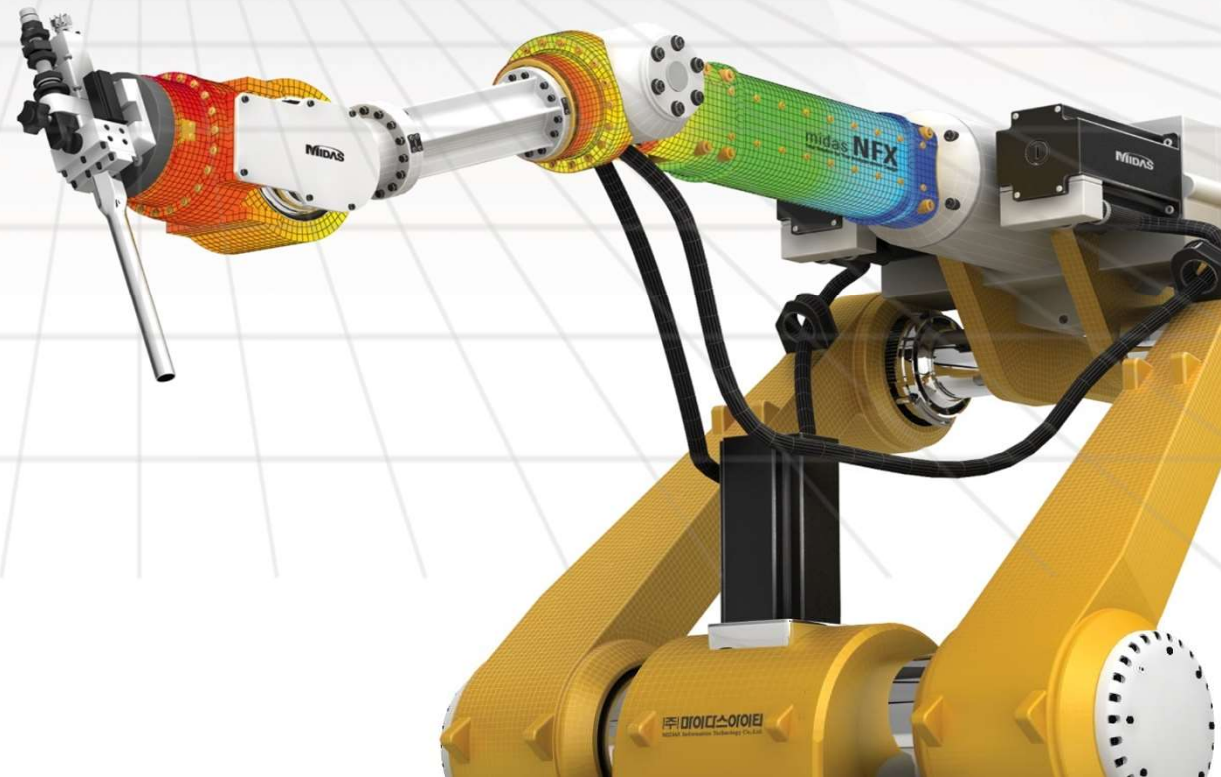


Thermal Structural Analysis (열응력해석)



주요 용어

➤ 열변형률(Thermal Strain)

- 온도가 상승하면 물체는 팽창, 온도가 하강하면 물체는 수축하는 현상을 의미합니다.

$$\varepsilon_T = \alpha(\Delta T)$$

α : 열팽창계수

ΔT : 온도 변화량

➤ 열응력 (Thermal Stress)

- 온도변화에 따른 물체의 변형에 의해 발생하는 응력을 열응력이라고 합니다.
- 정정구조물인 경우에는 변형만 발생하고 응력이 발생하지 않으나 부정정구조물인 경우에 열응력이 발생하게 됩니다.

$$\sigma_T = \varepsilon_T \times E = \alpha(\Delta T) \times E$$

α = 열팽창계수

ΔT = 온도 변화량

E = 탄성계수

개요

➤ 정상상태 열응력해석

- 단위 : N, mm
- 기하모델: Chip.x_t
- 재질 : Copper
Ceramic

➤ 경계조건과 하중조건

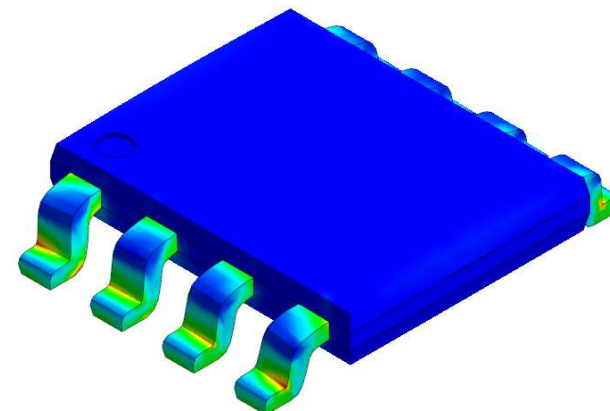
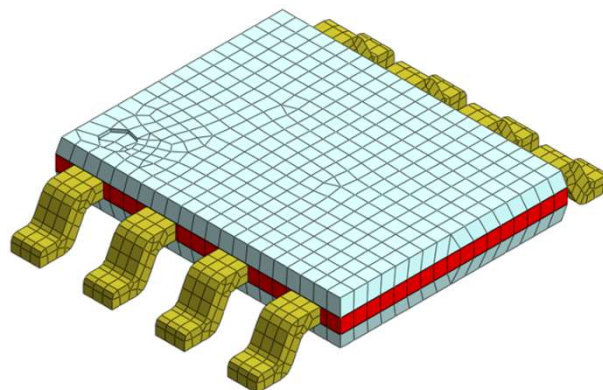
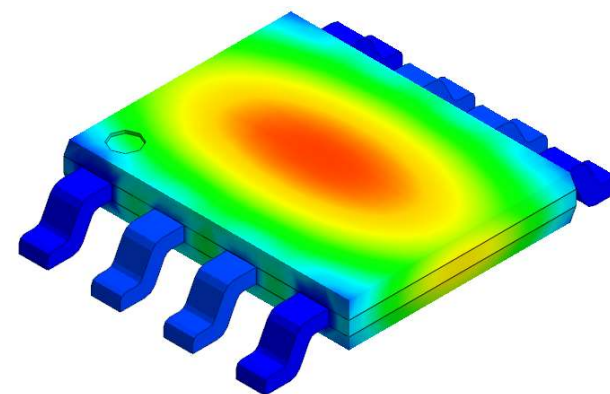
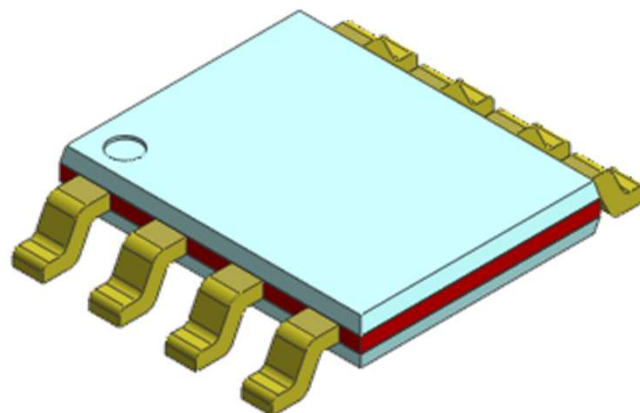
- 발열조건 : 0.01W/mm^3
 - 대류조건
 - 외부온도 : 20도
- 대류계수 : $2\text{e-}5\text{ W/mm}^2[\text{T}]$
- 구속조건 : 고정(하단)

➤ 결과확인

- 온도
- 변위
- 응력

Chip

(정상상태 열응력해석)

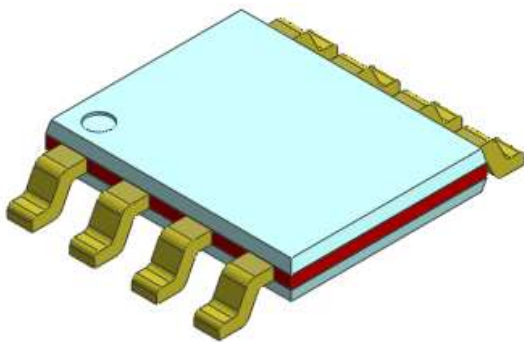


따라하기 목적

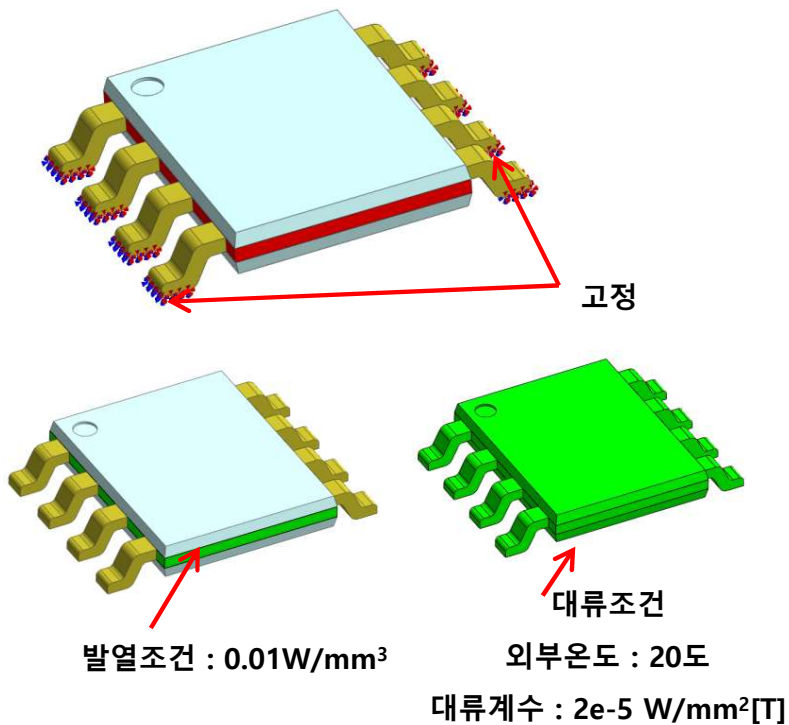
- midas NFX를 이용한 정상상태 열응력해석의 수행 및 기능 이해
 - 열전달해석의 온도 결과를 하중으로 자동 변환하여 열응력해석을 수행합니다.
- 열전달해석에서 사용하는 해석조건(발열, 대류)과 열응력해석에 필요한 구속조건을 한 번에 정의합니다.
 - 열전달해석과 열응력해석의 주요 결과들을 확인합니다.

해석 개요

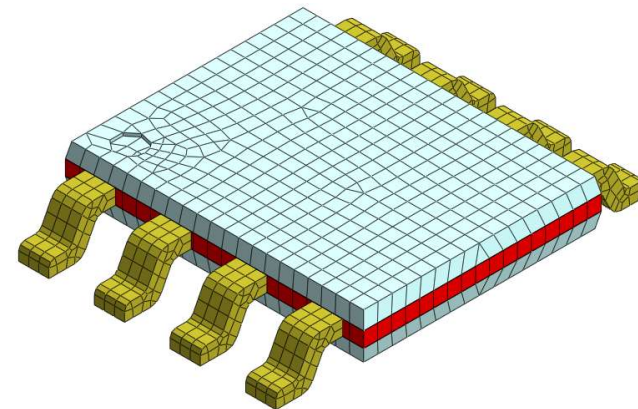
➤ 대상 모델





➤ 해석조건 (발열조건, 대류조건, 고정구속)



➤ 유한요소 모델



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 2

☐ 2차원모델

☐ 축대칭

단위계

N mm J sec 3

중력가속도(g) mm/sec²

4 확인 취소

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


작업 평면 옮기기


가이드 보이기/감추기 5

모든 가이드 보이기

모든 가이드 감추기

모든 레이블 보이기
모든 레이블 감추기

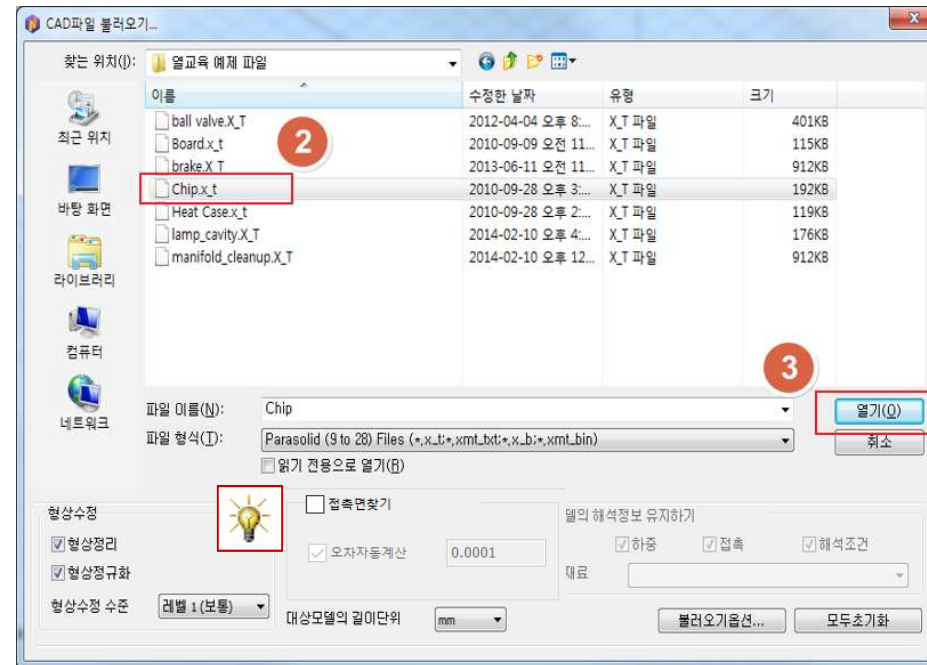
 프로그램을 실행시킨 후 [새로 만들기]를 클릭하면 모든 메뉴가 활성화 됩니다.

 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.

작업순서

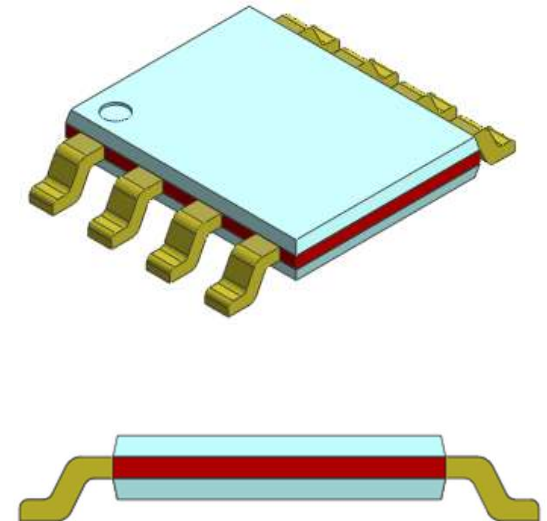
1. [불러오기] 클릭
2. 모델 선택: **Chip.x_t** 선택
3. [열기(O)] 버튼 클릭.

💡 [접촉면찾기] 체크 해제.



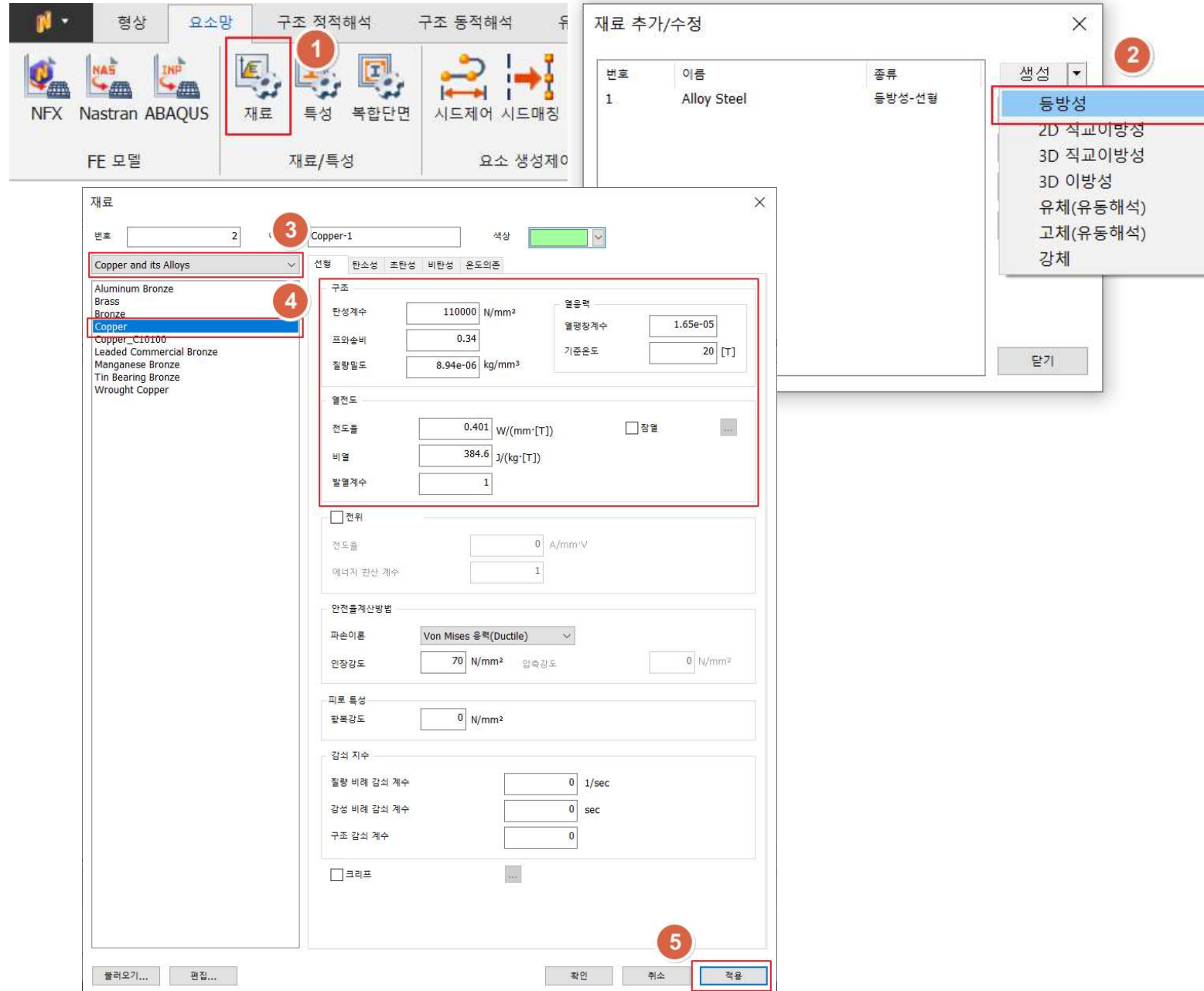
※ 프로그램이 설치된 하위 폴더의
ManualsWTutorialsWFiles 폴더 안에
따라하기의 모델들이 있습니다.

💡 모델을 불러올 때 [접촉면 찾기]를
체크하면, 파트 별 접촉이 [일체거동
접촉]으로 자동 설정됩니다.
본 따라하기에서는 대류조건을 위한
솔리드 교차연산 작업을 위하여 별도
로 접촉조건을 정의하도록 합니다.



작업순서

1. [재료] 클릭
2. 생성 >> 등방성 클릭
3. 재료 DB 리스트에서 **Copper and its Alloy** 선택.
4. **Copper** 선택.
5. [적용] 버튼 클릭.



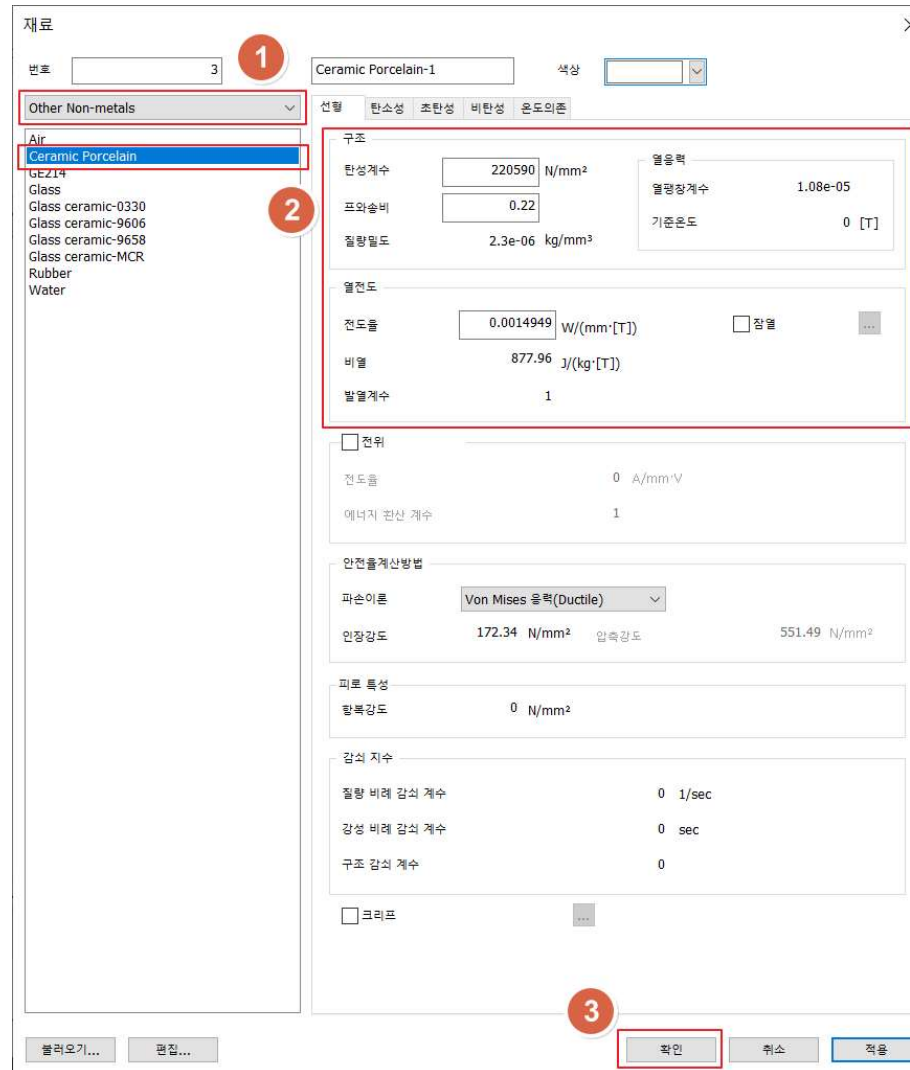
The screenshot shows the midas NFX software interface. The top menu bar includes '요소망' (Element Mesh), '구조 적적해석' (Structural Static Analysis), and '구조 동적해석' (Structural Dynamic Analysis). The '재료' (Material) button is highlighted with a red box and a red circle with the number 1. The '재료 추가/수정' (Material Add/Edit) dialog box is open, showing a list of materials. 'Copper and its Alloys' is selected, and 'Copper' is highlighted with a red box and a red circle with the number 4. The '등방성' (Isotropic) material type is selected with a red box and a red circle with the number 2. The '적용' (Apply) button is highlighted with a red box and a red circle with the number 5.

💡 선택한 재료의 물성치가 자동으로 입력됩니다.
열전달과 열응력해석에 필요한 모든 물성치가 입력되어야 합니다.

작업순서

1. 재료 DB 리스트에서 **Other Non-metals**를 선택.
2. **Ceramic Porcelain** 선택.
3. **[확인]** 버튼 클릭.

💡 선택한 재료의 물성치가 자동으로 입력됩니다.
열전달과 열응력해석에 필요한 모든 물성치가 입력되어야 합니다.



재료

번호 3

1 Ceramic Porcelain-1 색상

2

Other Non-metals

Air

Ceramic Porcelain

Glass

Glass ceramic-0330

Glass ceramic-9606

Glass ceramic-9658

Glass ceramic-MCR

Rubber

Water

선택 탄소성 초탄성 비탄성 온도 의존

구조

탄성계수 220590 N/mm²

프와송비 0.22

질량밀도 2.3e-06 kg/mm³

열응력

열팽창계수 1.08e-05

기준온도 0 [T]

열전도

전도율 0.0014949 W/(mm·[T])

비열 877.96 J/(kg·[T])

발열계수 1

전위

전도율 0 A/mm·V

에너지 생산 계수 1

안전율계산방법

파손이론 Von Mises 응력(Ductile)

인장강도 172.34 N/mm² 압축강도 551.49 N/mm²

피로 특성

항복강도 0 N/mm²

감쇠 지수

질량 비례 감쇠 계수 0 1/sec

강성 비례 감쇠 계수 0 sec

구조 감쇠 계수 0

크리프

3

불러오기... 편집...

확인 취소 적용

작업순서

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

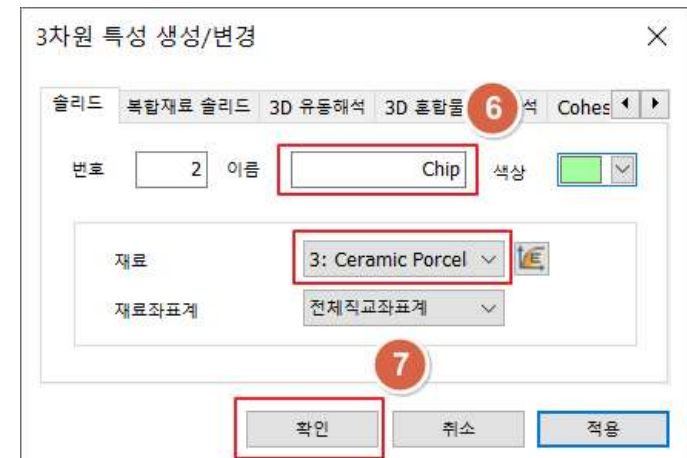
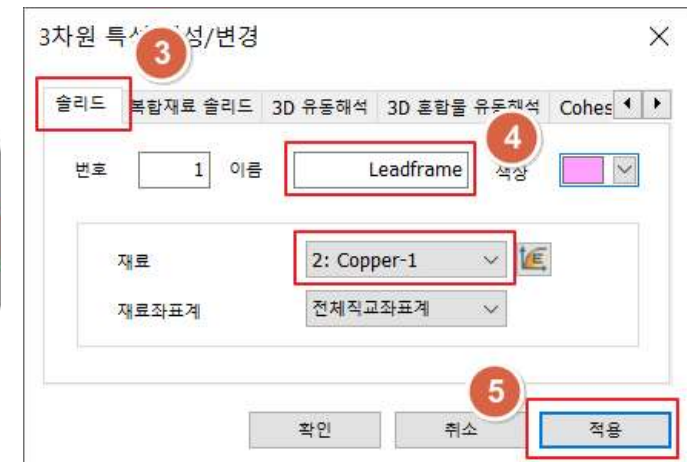
번호	1
이름	Leadframe
재질	2: Copper-1

5. [적용] 버튼 클릭.


6. 특성 입력

번호	2
이름	Chip
재질	3: Ceramic Porcelain-1

7. [확인] 버튼 클릭.



작업순서


1. [] (밀면) 클릭.

2. 구속조건 클릭

3. 구속조건 입력

경계조건세트	고정구속
대상종류	면 
대상선택	8개 선택
조건	고정구속

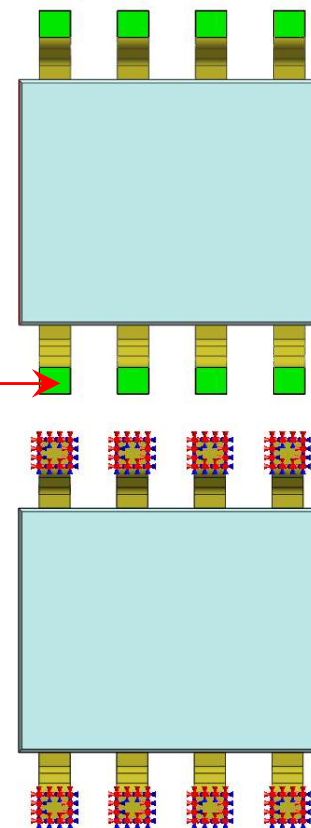
4. [확인] 버튼 클릭.

 열응력해석을 위한 구속조건을 입력합니다.

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.

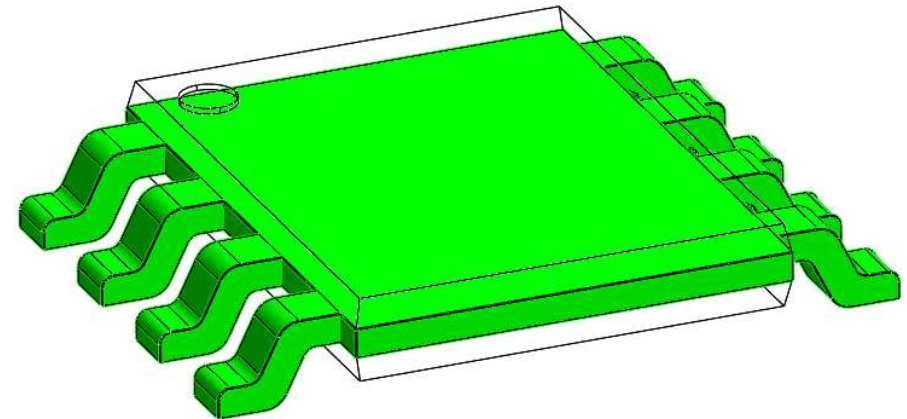


작업순서

1. [자동연결] 클릭
2. 교차연산 선택
3. 솔리드 9개 선택. (그림 참조)
4. [확인] 버튼 클릭.



💡 파트 상호 간의 접촉이 있는 면은 대류조건에서 제외되어야 합니다. 교차연산을 통해 접해 있는 면을 분할하여 대류조건 정의 시에 해당 면을 제외할 수 있도록 합니다.



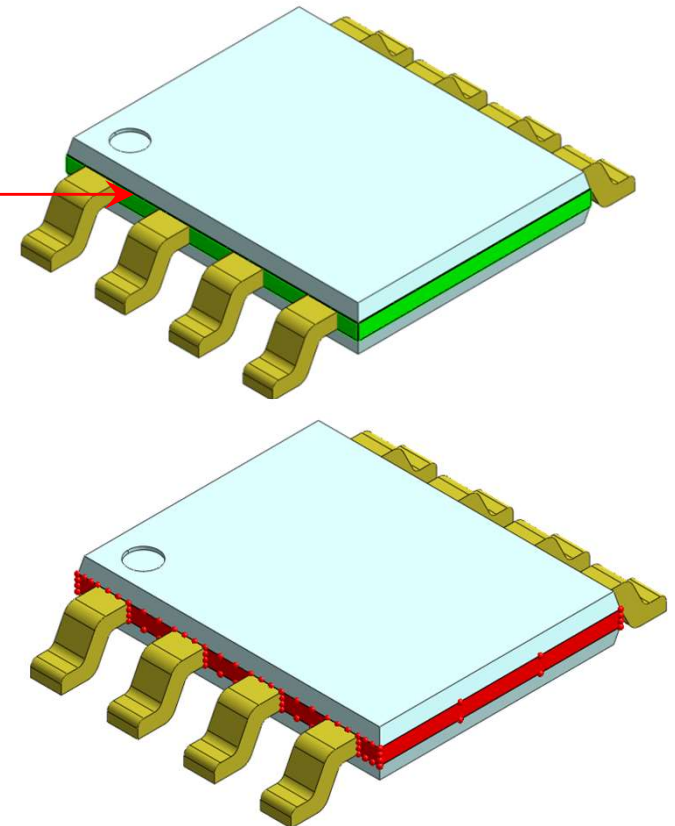
작업순서

1. [발열] 클릭.


2. 발열조건 입력

하중세트	Heat Source
대상종류	파트
대상선택	1개 선택
발열	0.01 (W/mm ³)


3. [확인] 버튼 클릭.




작업순서


1. [발열] 클릭
2. 모델 작업트리 >> 기하형상 >> 형상 세트 >> 솔리드 에서  을 제외한 솔리드에 체크 해제.

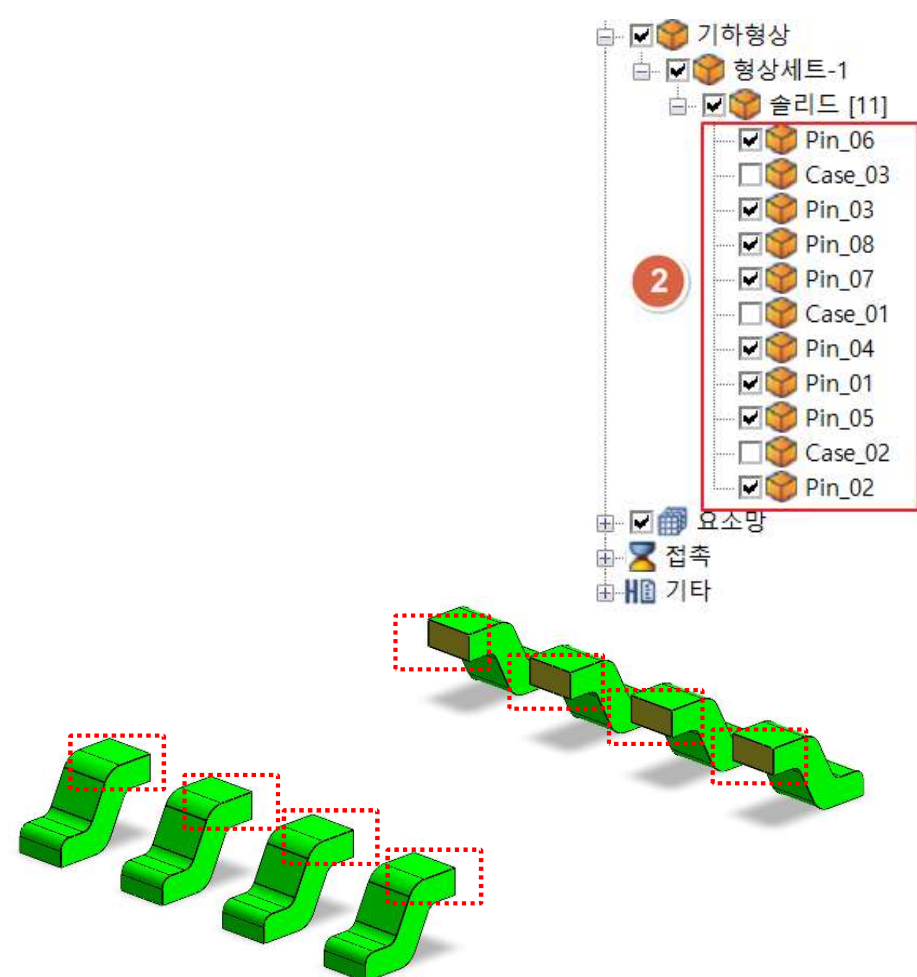
3. 대류조건 입력

하중세트	Convection
대상종류	면 
대상선택	112개 면 선택
외기온도	20 (T)
대류계수	2e-5 (W/mm ² ·[T])

4. [적용] 버튼 클릭.

 보이기/감추기를 이용하여 파트 별로 대류조건을 입력합니다.


 전체선택 후에 Case와 접하는 8개의 면을 선택제외 합니다.



작업순서

1. 모델 작업트리 >> 기하형상 >> 형상


세트 >> 솔리드 에서 **Case_01**과


Case_02에만 체크 

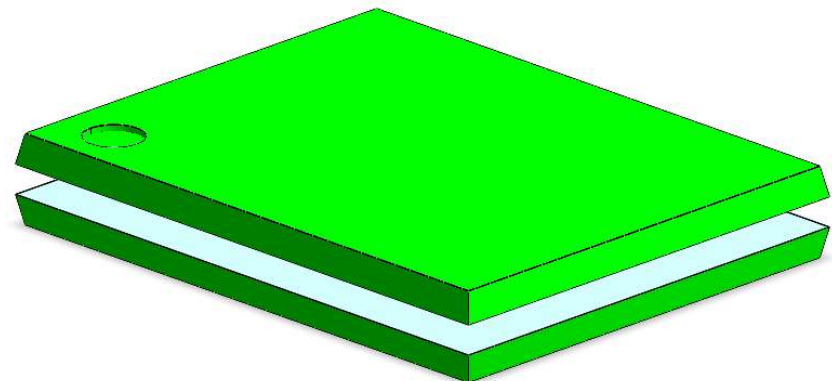
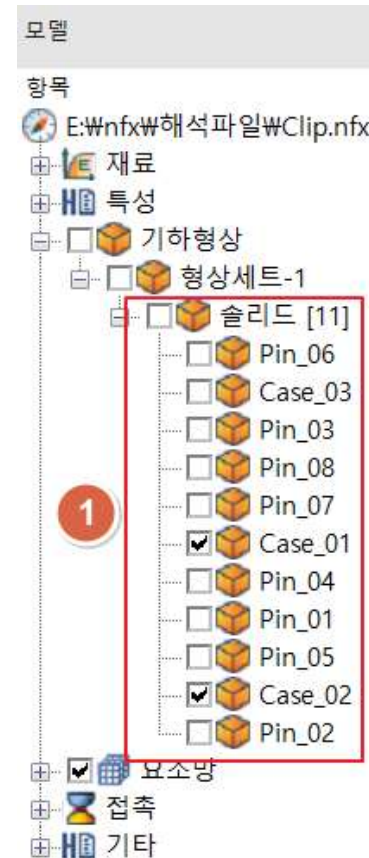
2. 대류조건 입력

하중세트	Convection_1
대상종류	면
대상선택	15개 면 선택됨
외기온도	20 (T)
대류계수	2e-5 (W/mm ² ·[T])


3. [적용] 버튼 클릭.

 보이기/감추기를 이용하여 파트 별로 대류조건을 입력합니다.


 전체선택 후에 Case03과 접하는 중앙 2개의 면을 선택제외 합니다.


작업순서


1. 모델 작업트리 >> 기하형상 >> 형상 세트 >> 솔리드 에서 **Case_03** 에만 체크. 

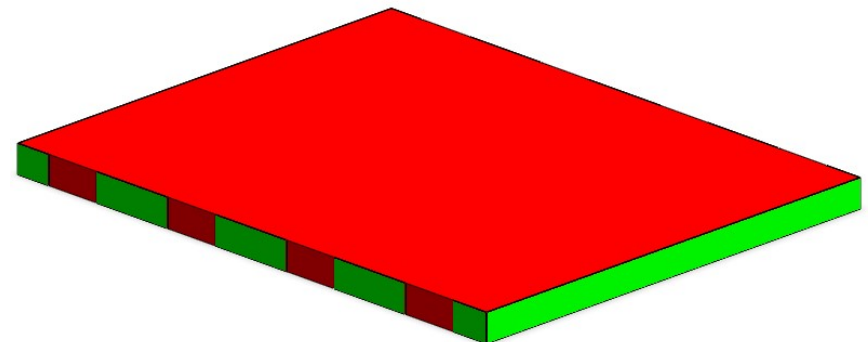
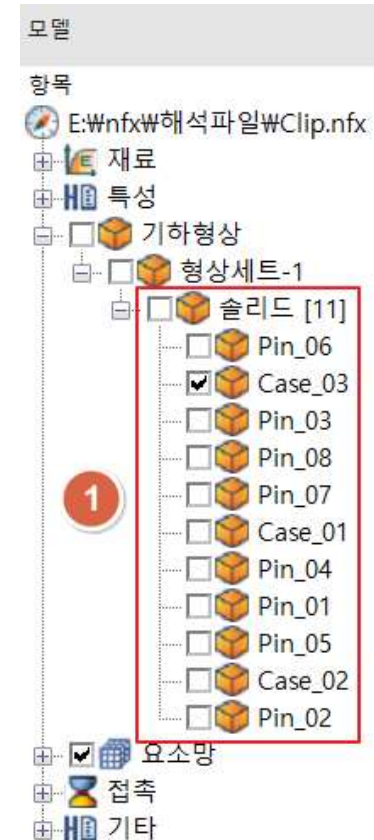
2. 대류조건 입력

하중세트	Convection
대상종류	면
대상선택	12개 면 선택 
외기온도	20 (T)
대류계수	2e-5 (W/mm ² ·[T])

3. [확인] 버튼 클릭.

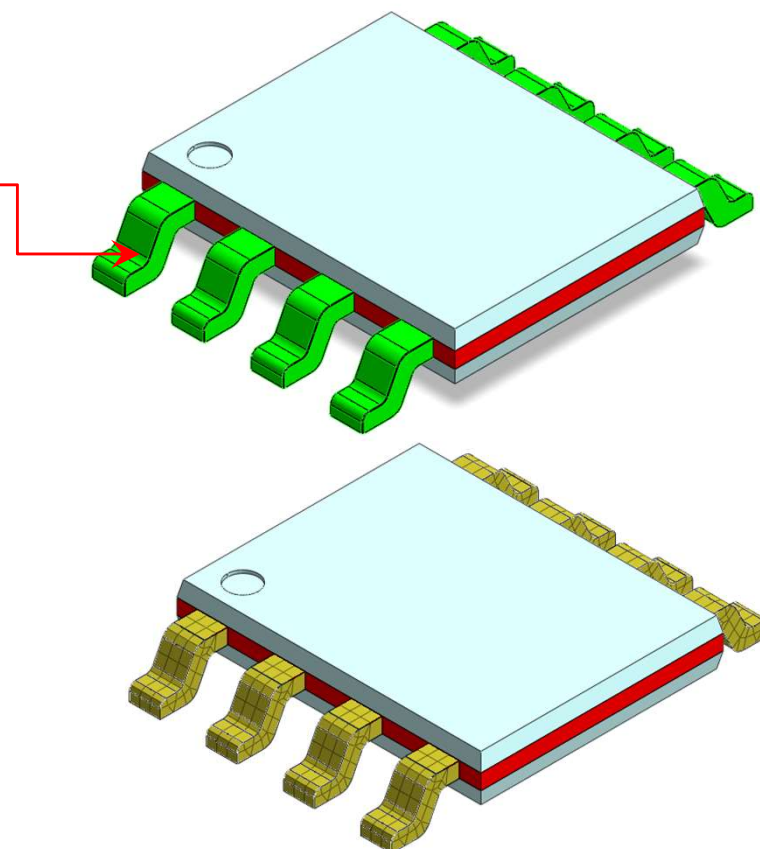
 보이기/감추기를 이용하여 파트 별로 대류조건을 입력합니다.

 전체선택 후에 Pin, Case01, Case02와 접하는 좌우 8개의면, 상하 2개의 면을 선택제외 합니다.

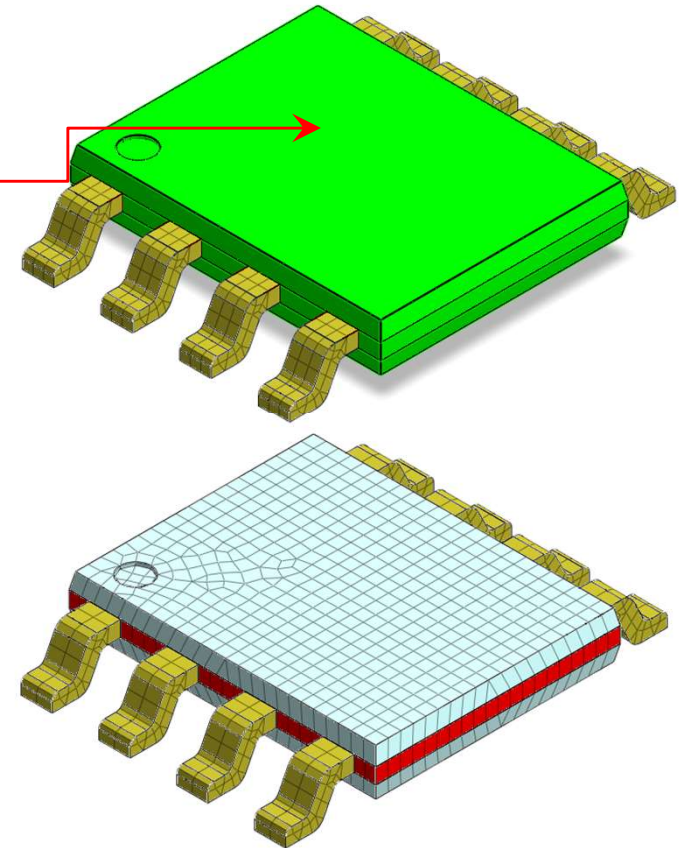
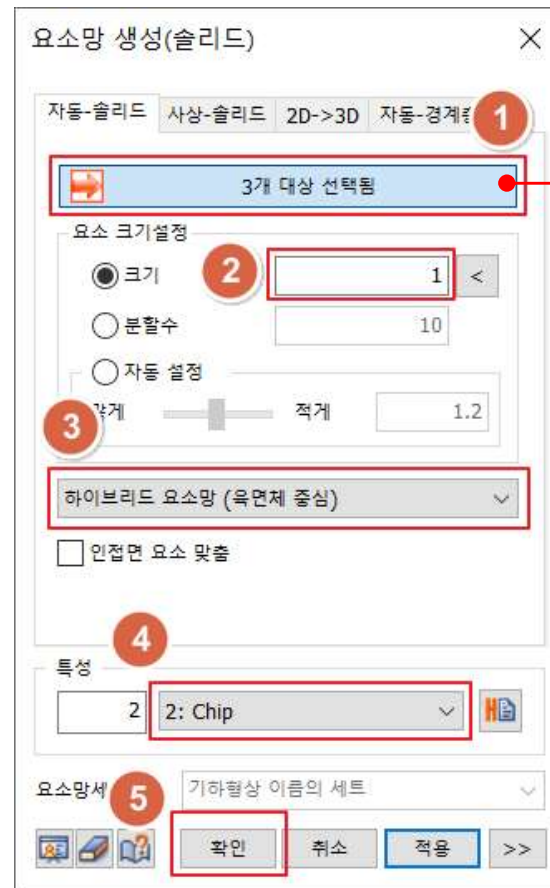
작업순서

1. [3D] 클릭
2. 자동솔리드 탭 선택
3. 솔리드 8개 선택. (Pin, 그림 참조)
4. 크기 "1" 입력
5. 하이브리드 요소망(육면체 중심) 선택.
6. 특성 : [1: Leadframe] 선택.
7. [적용] 버튼 클릭.



작업순서

1. 솔리드 3개 선택. (Case, 그림 참조)
2. 크기 "1" 입력
3. 하이브리드 요소망(육면체 중심) 선택.
4. 특성 : [2: Chip] 선택.
5. [확인] 버튼 클릭.

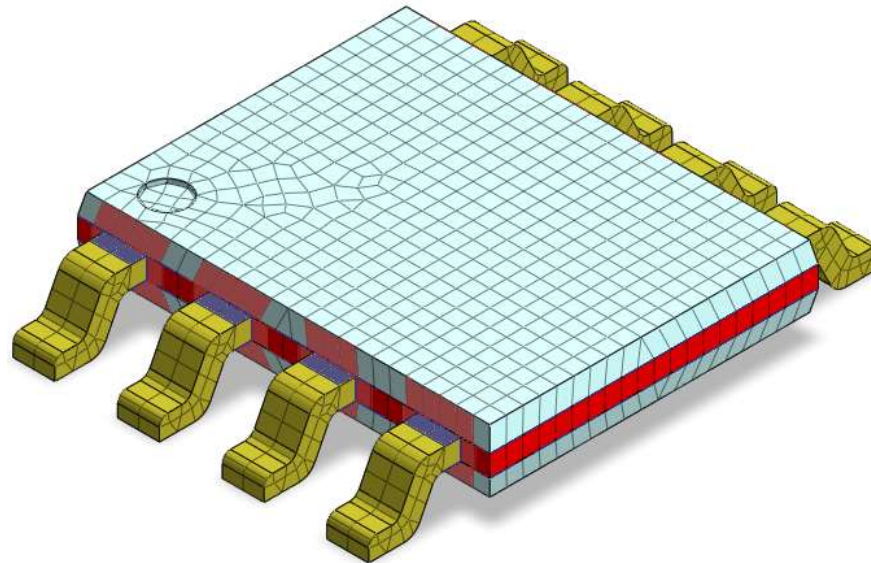
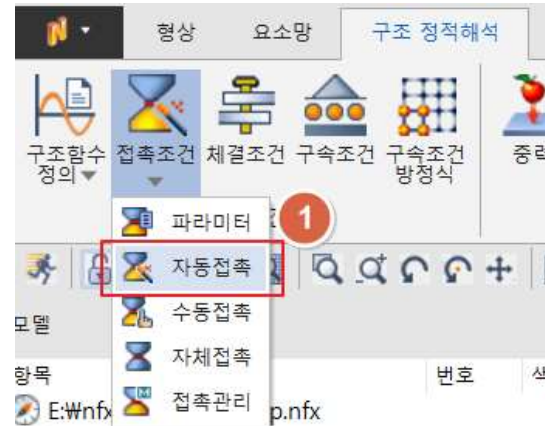


작업순서

1. [자동접촉] 클릭.
2. 자동접촉조건 입력

접촉종류	일체거동
대상 종류	요소망 세트
대상 선택	전체선택
검색 범위	0.01

3. [확인] 버튼 클릭



💡 검색범위 내에 있는 요소 간의 접촉을 자동으로 정의합니다.

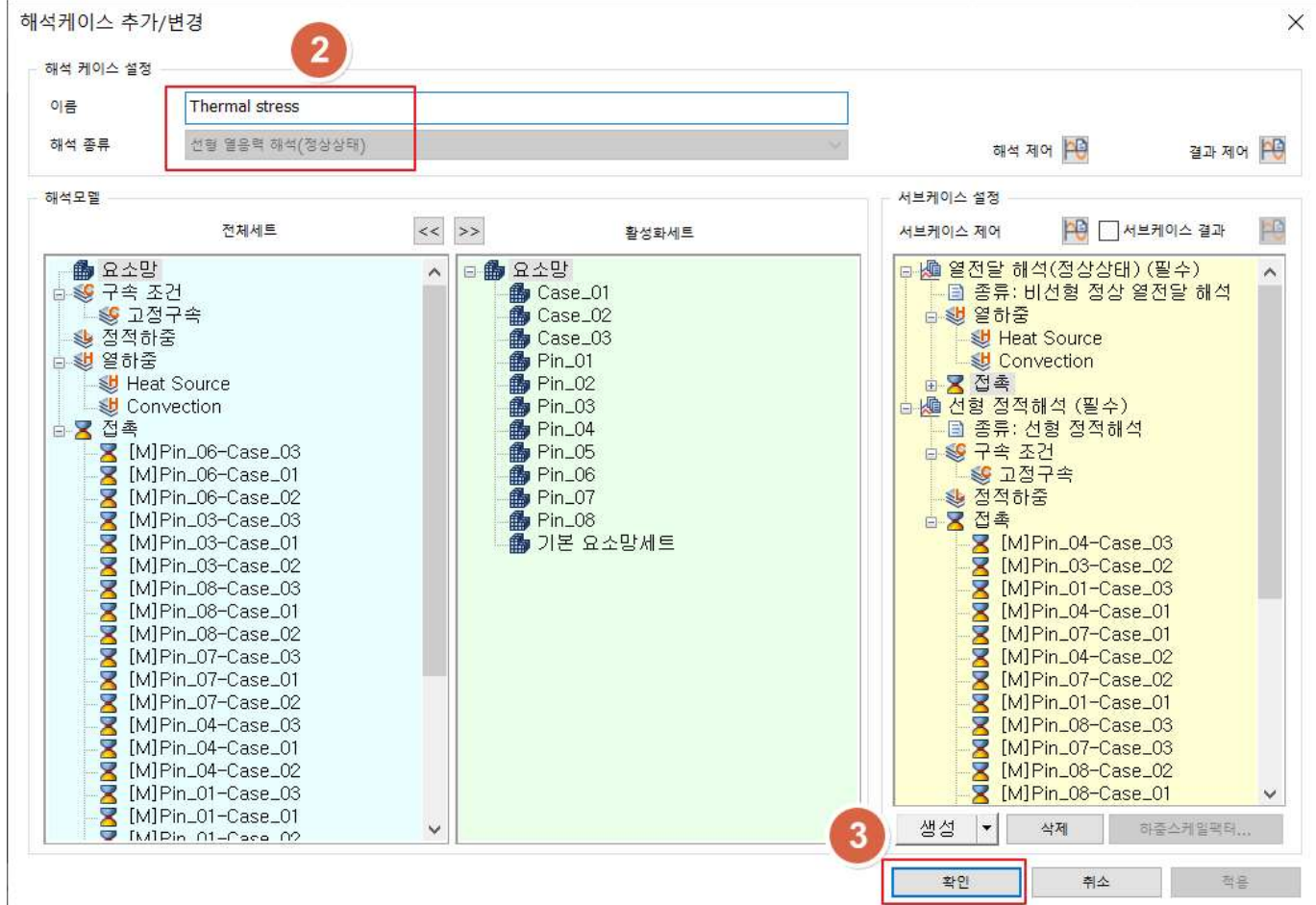


작업순서

1. [단일해석] 클릭
2. 해석케이스 설정

이름	Thermal Stress
해석 종류	열응력 해석(정상상태)

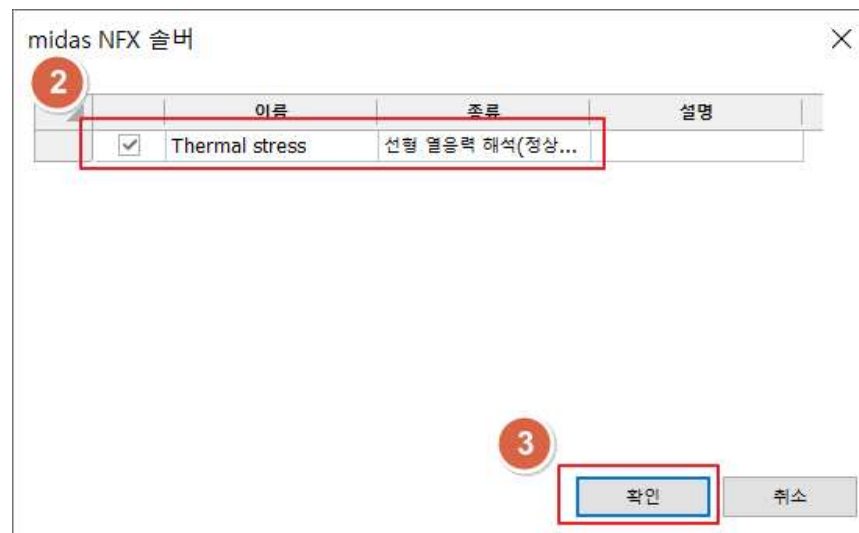
3. [확인] 버튼 클릭.



💡 열전달해석과 선형정적해석, 2개의 서브케이스가 자동으로 정의됩니다. 열전달해석을 수행한 후에 온도결과를 자동으로 하중으로 변환하여 선형정적해석을 이어서 수행합니다.

작업순서

1. [실행] 클릭
2. 해석케이스 체크 확인
3. [확인] 버튼 클릭



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



midas NFX 솔버

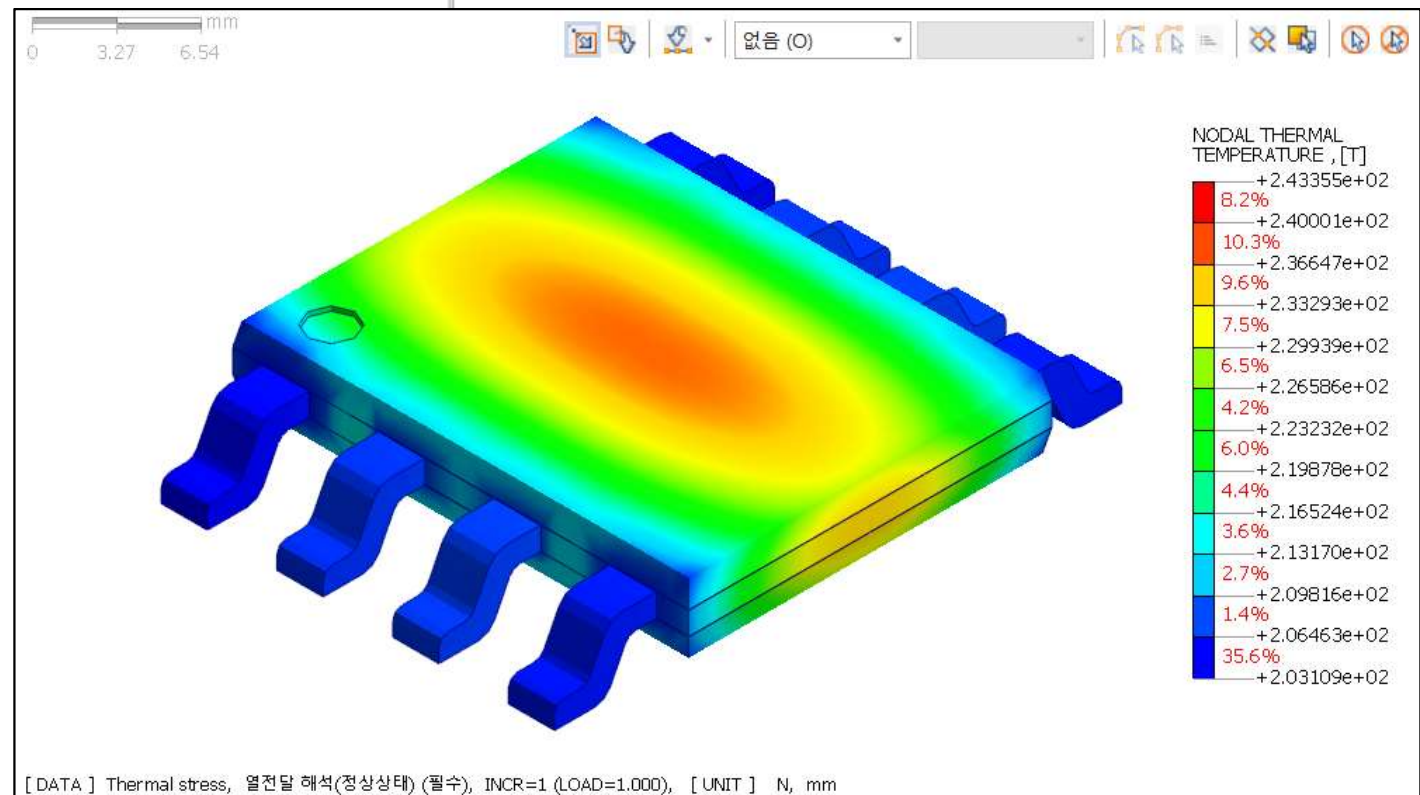
기다려 주십시오. NFX 솔버 동작 중...

해석중지!

작업순서

1. 해석 및 결과 작업트리에서 온도

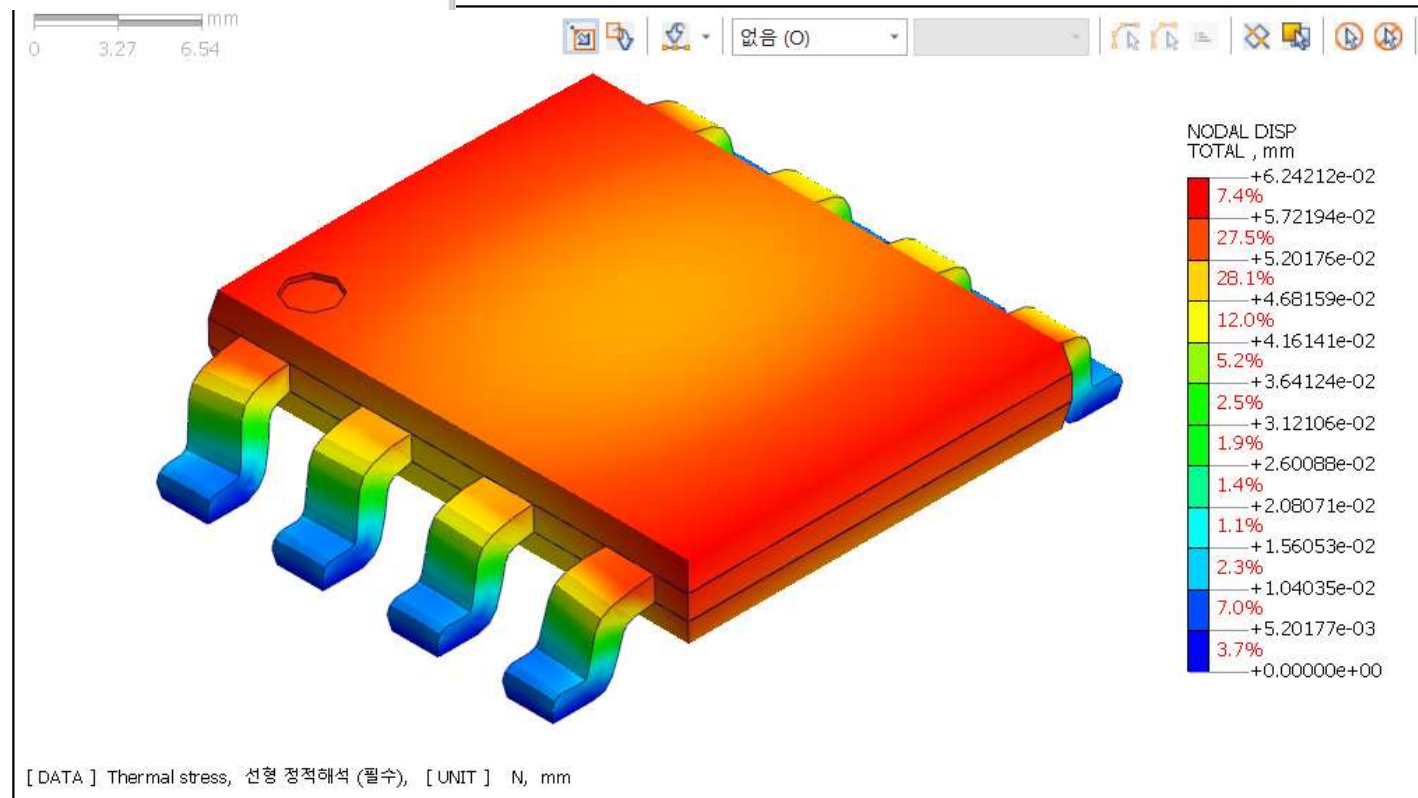
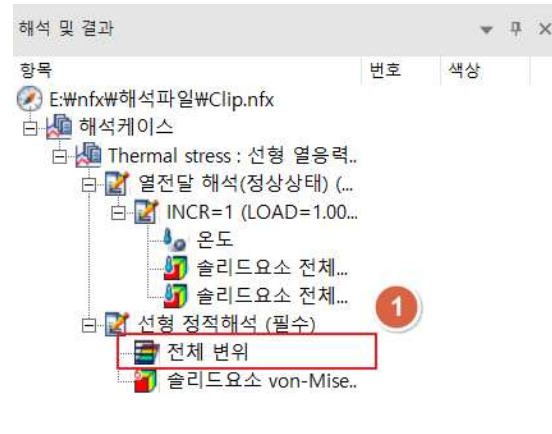
더블 클릭.



💡 각 절점의 온도가 하중으로 변환되어 다음 서브케이스(선형정적해석)로 전달됩니다.

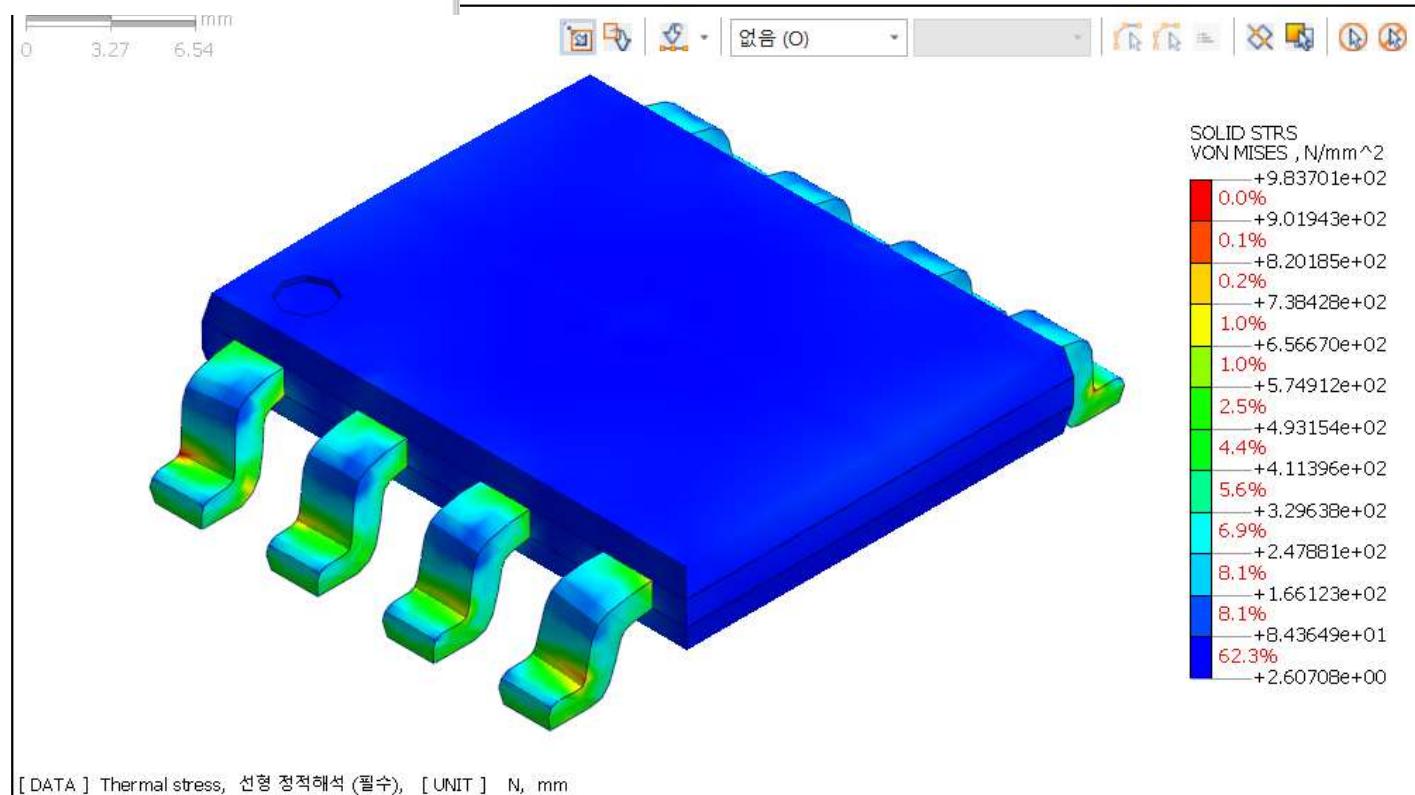
작업순서

1. 해석 및 결과 작업트리에서 전체변위
더블 클릭.



작업순서

1. 해석 및 결과 작업트리에서 **Von-Mises** 응력 더블 클릭.



개요

➤ 정상상태 열응력해석

- 단위 : N, mm
- 기하모델: Board.x_t

➤ 재질

- 사용자 정의 재질
- PCB

➤ 경계조건과 하중조건

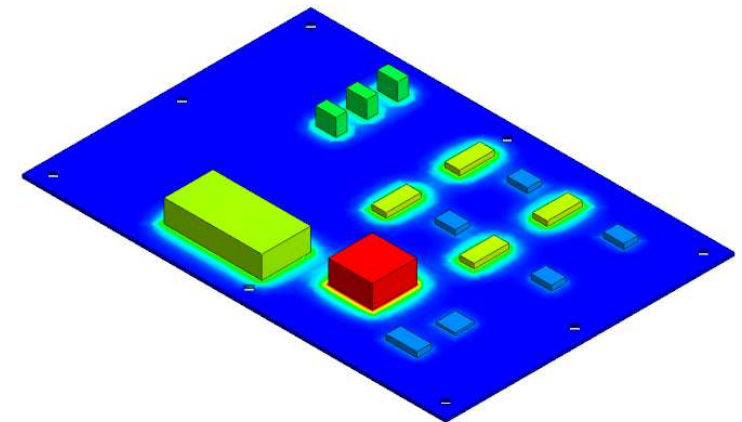
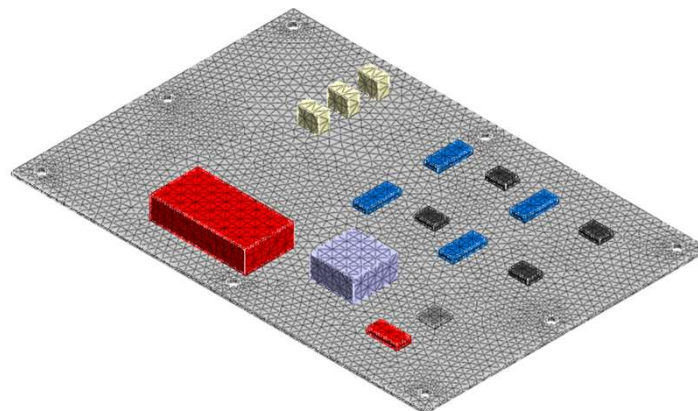
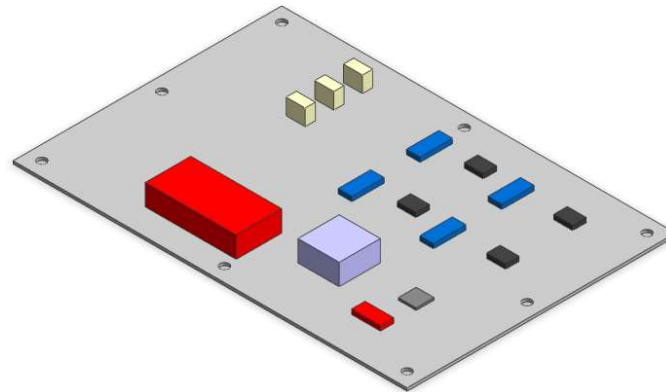
- 구속조건 (고정구속)
- 중력
- 열속, 대류, 발열 조건

➤ 결과확인

- 온도 분포
- 전체 변위, Von-Mises 응력

Board 1

(정상상태 열응력해석)



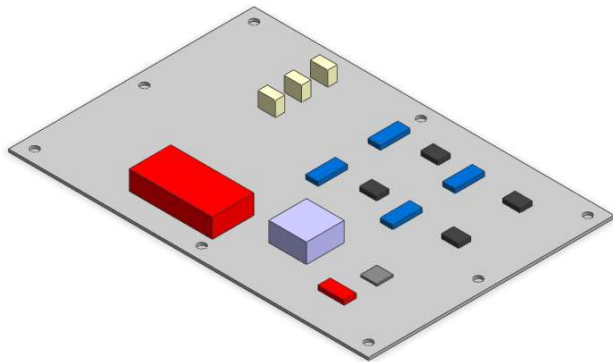
따라하기 목적

➤ midas NFX를 이용한 정상상태 열응력해석의 수행 및 기능 이해

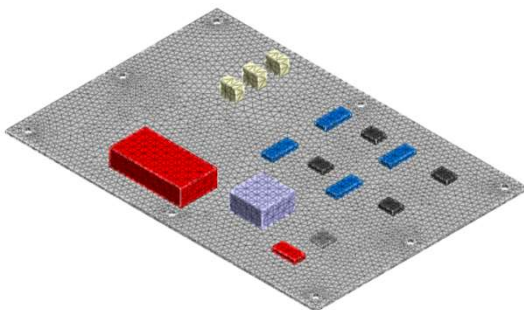
- 열전달해석의 온도 결과를 하중으로 자동 변환하여 열응력해석을 수행합니다.
- 열전달해석에서 사용하는 해석조건(발열, 열속, 온도, 대류)과 열응력해석에 필요한 구속조건, 자중을 한 번에 정의합니다.
- 열전달해석과 열응력해석의 주요 결과들을 확인합니다.

해석 개요

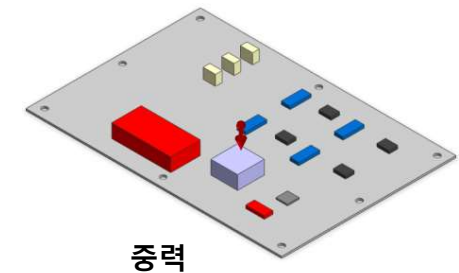
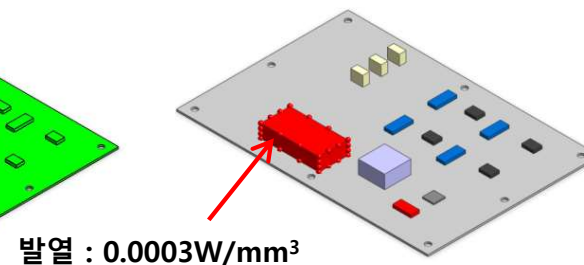
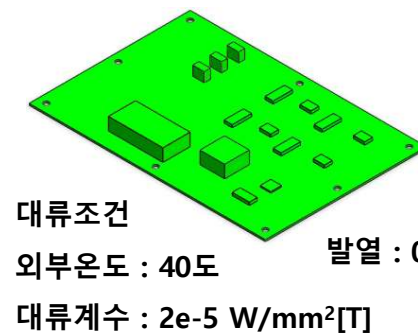
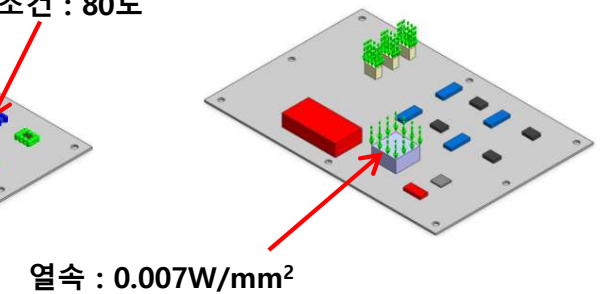
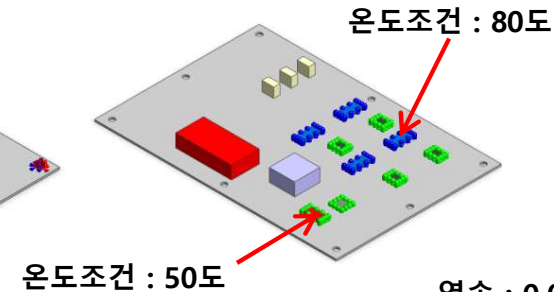
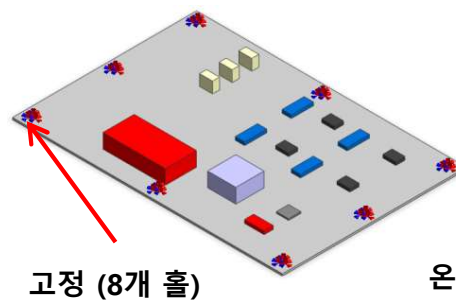
➤ 대상 모델



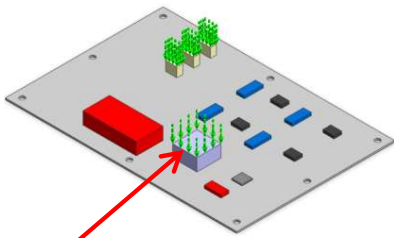
➤ 유한요소 모델



➤ 해석조건

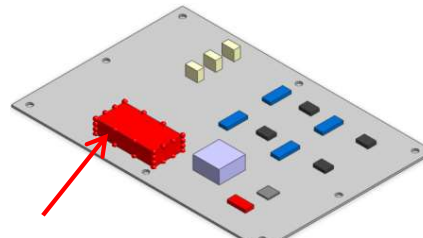


열응력 해석에 필요한 조건



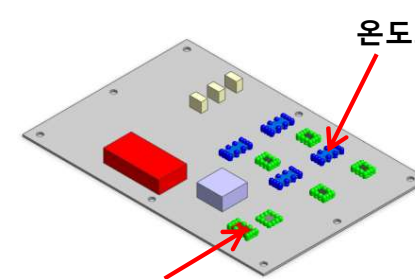
열속 : 0.007W/mm^2

물체의 표면을 통한 열 유입을 모형화 하기 위한 것으로서 단위 면적에 대한 단위 시간의 에너지입니다.
구조해석의 압력하중과 비슷한 역할을 합니다.



발열 : 0.0003W/mm^3

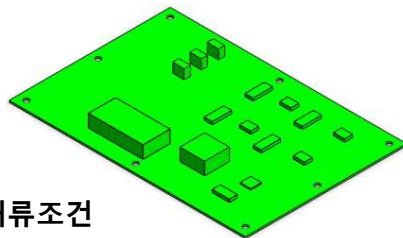
단위 체적에 대한 단위 시간의 에너지로 정의합니다.
구조해석의 자중과 비슷한 역할을 합니다.



온도조건 : 80도

온도조건 : 50도

고정온도가 지정된 부분은 항상 주어진 온도를 유지합니다.
구조해석의 구속조건과 유사한 역할을 합니다.

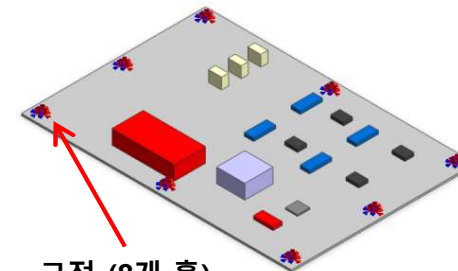


대류조건

외부온도 : 40도

대류계수 : $2\text{e-}5\text{ W/mm}^2[\text{T}]$



펌프와 같은 것으로 유체를 물체 표면 위에 강제로 흐르게 하여 인위적으로 대류를 발생시키는 것을 강제대류라고 하고, 유체내의 온도차에 따라 발생한 밀도 변화로 부력이 생겨서 발생하는 대류를 자연대류라고 합니다.



고정 (8개 홀)

해석 모델의 구속조건을 설정합니다.
총 8개의 홀을 고정구속으로 설정합니다.

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.



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

가이드더 보이기/감추기 ▶

모든 가이드더 보이기
모든 가이드더 감추기

모든 레이블 보이기
모든 레이블 감추기

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

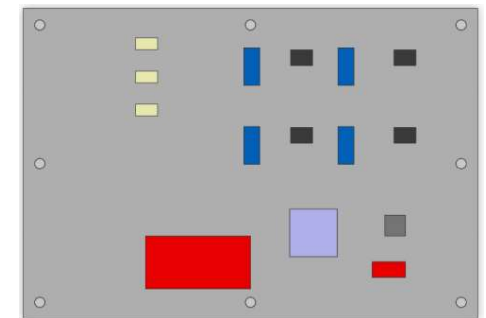
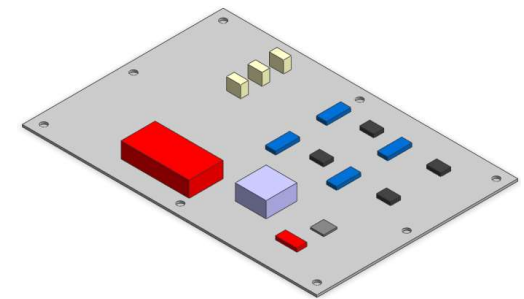
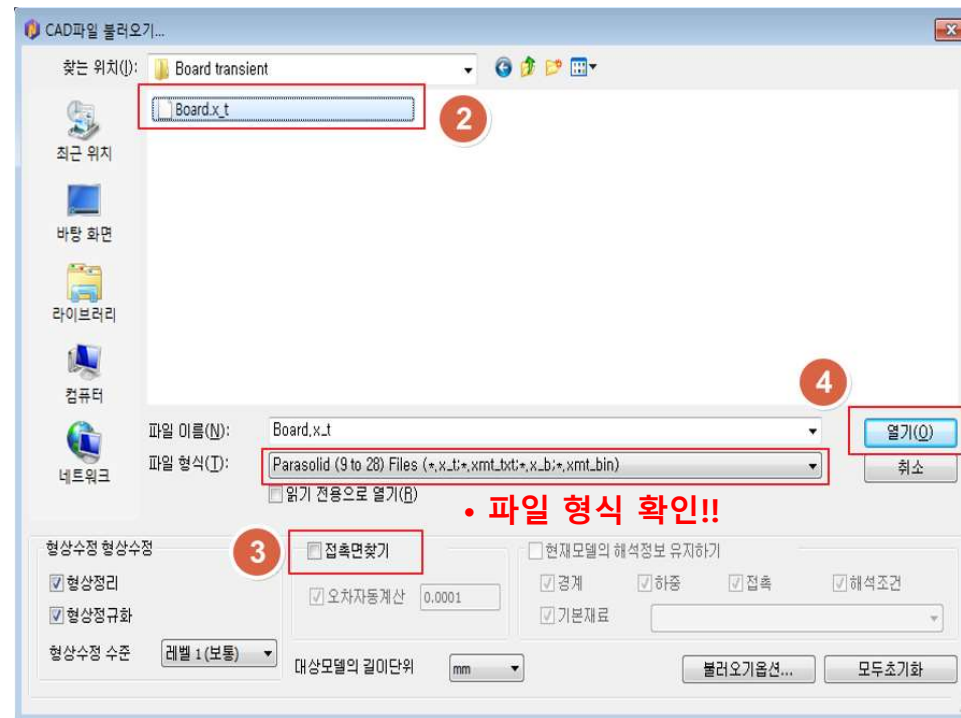
 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.

작업순서

1. [불러오기] 클릭.
2. 모델 선택: **Board.x_t** 선택.
3. [접촉면 찾기] 체크 해제.
4. [열기(O)] 버튼 클릭.

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

💡 모델을 불러올 때 [접촉면 찾기]를
체크하면, 파트 별 접촉이 [일체거동
접촉]으로 자동 설정됩니다.
본 따라하기에서는 대류조건을 위한
슬리드 교차연산 작업을 위하여 별도
로 접촉조건을 정의하도록 합니다.



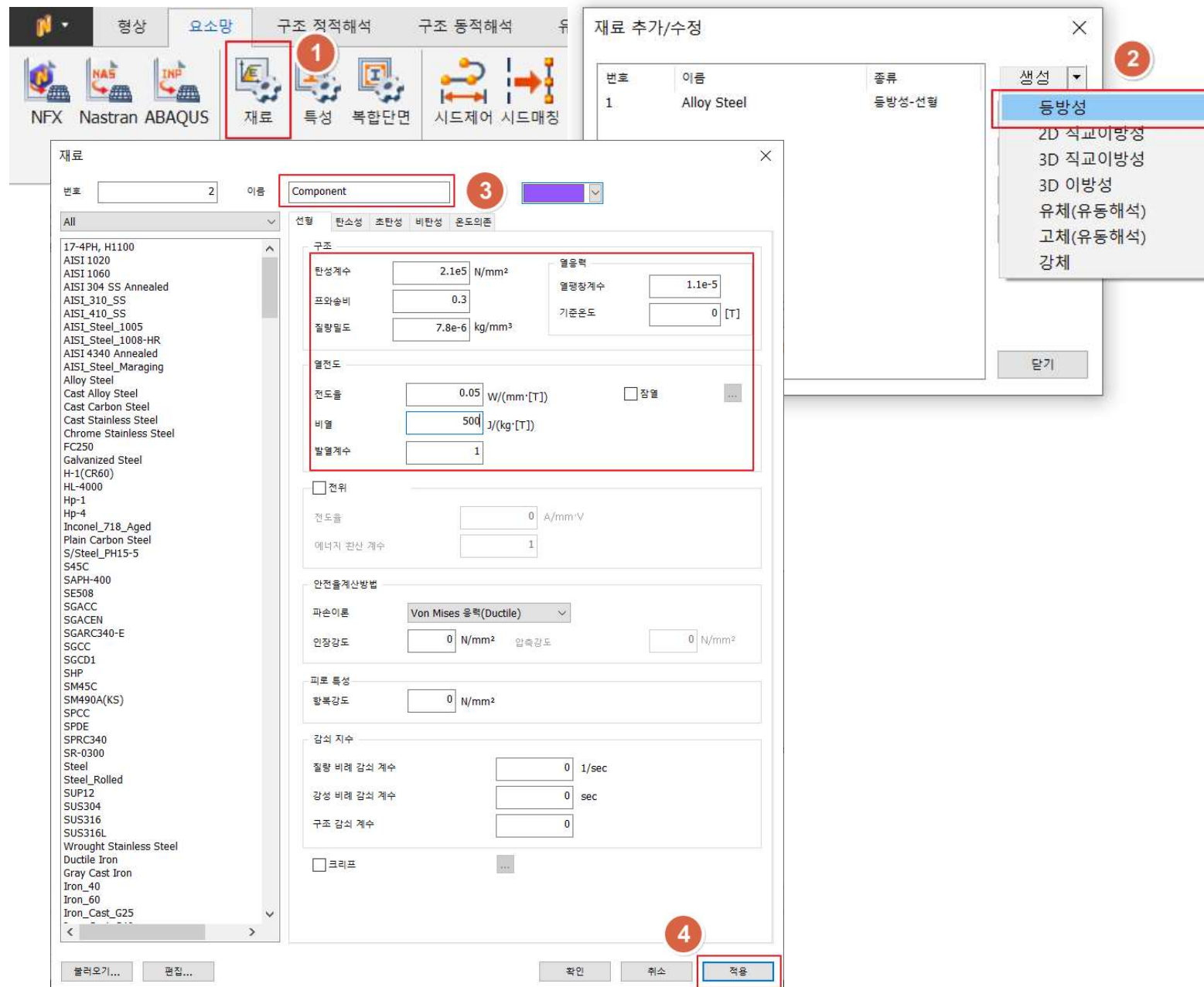
작업순서

1. [재료] 클릭.
2. 생성 >> 등방성 클릭.
3. 재료 입력.

번호	2
이름	Component
탄성계수	2.1e5 (N/mm ²)
프와송비	0.3
질량밀도	7.8e-6 (kg/mm ³)
열팽창계수	1.1e-5
전도율	0.05 (W/(mm ² ·[T]))
비열	500 (J/(kg ² ·[T]))


4. [적용] 버튼 클릭

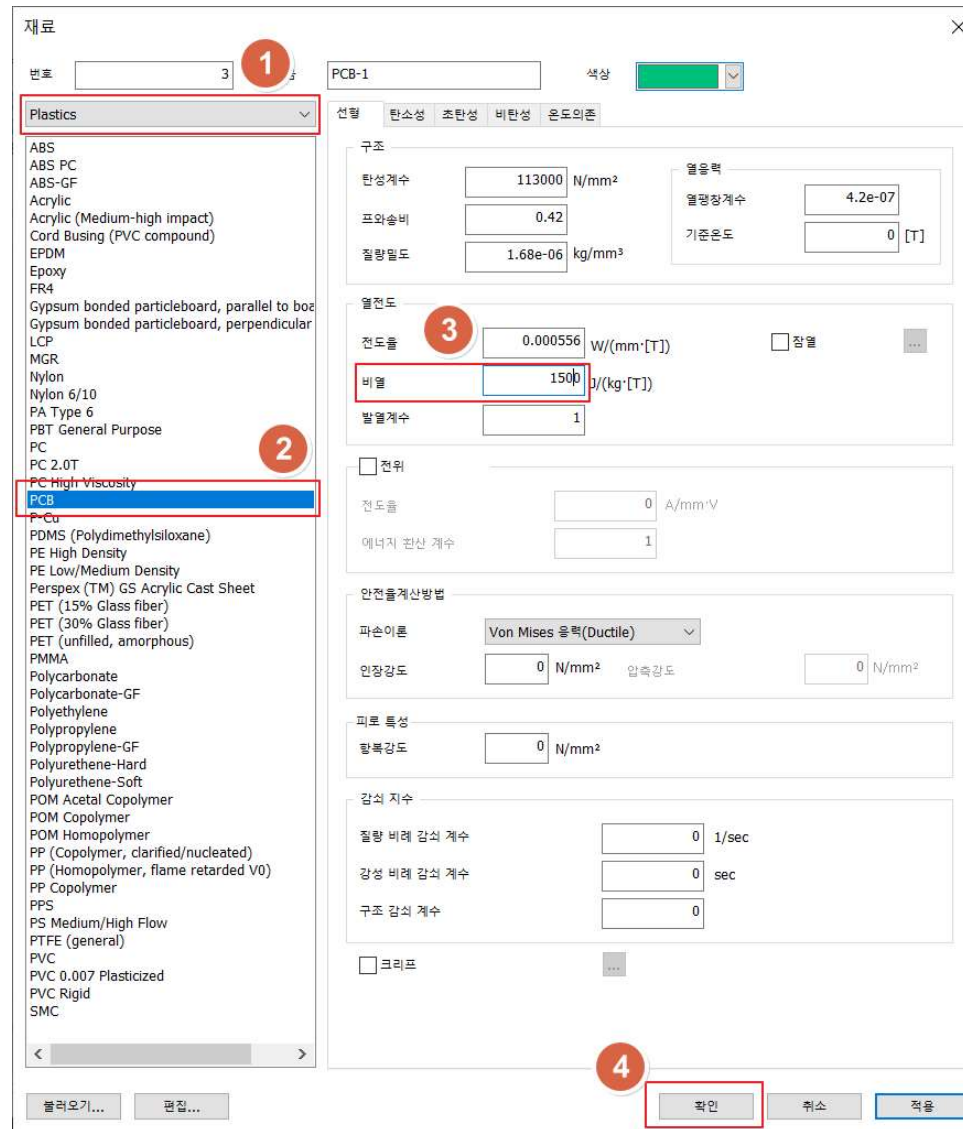
💡 과도상태 열전달해석을 위해서는 반드시 비열과 밀도가 입력되어 있어야 합니다.



The screenshot shows the midas NFX software interface. The top menu bar includes '요소망' (Element Mesh), '구조 적적해석' (Structural Static Analysis), and '구조 동적해석' (Structural Dynamic Analysis). The '재료' (Material) button is highlighted with a red box and a '1' label. The '생성' (Generate) button is highlighted with a red box and a '2' label. The '등방성' (Isotropic) option is selected in the dropdown menu. The '재료 추가/수정' (Add/Edit Material) dialog box is open, showing the 'Component' material with various properties like Elastic Modulus, Poisson's Ratio, Density, Thermal Expansion Coefficient, Thermal Conductivity, Specific Heat, and Safety Factor. The '적용' (Apply) button is highlighted with a red box and a '4' label.


작업순서

1. 재료 DB 리스트에서 **Plastics**를 선택.
2. **PCB** 선택.
3. 비열: “1500” 입력. 
4. [확인] 버튼 클릭.



재료

번호: 3 **1**

PCB-1 색상: 

선택: 탄소성 초탄성 비탄성 온도 의존

구조

탄성계수: 113000 N/mm² 열팽창계수: 4.2e-07

프와송비: 0.42 기준온도: 0 [T]

질량밀도: 1.68e-06 kg/mm³

열전도도

전도율: 0.000556 W/(mm·[T]) ☐ 잠열

비열: **1500** J/(kg·[T]) **3**

발열계수: 1

☐ 전위

전도율: 0 A/mm·V

에너지 변환 계수: 1

안전율 계산 방법

파손 이론: Von Mises 응력(Ductile)

인장강도: 0 N/mm² 압축강도: 0 N/mm²

피로 특성

항복강도: 0 N/mm²

감쇠 지수

질량 비례 감쇠 계수: 0 1/sec

강성 비례 감쇠 계수: 0 sec

구조 감쇠 계수: 0

☐ 크리프

4

불러오기... 편집... 확인 취소 적용



과도상태 열전달 해석을 위해서는 반드시 비열과 밀도가 입력되어 있어야 합니다.

재료 DB의 PCB 물성에는 비열값이 없기 때문에 직접 입력해야 합니다.

작업순서

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

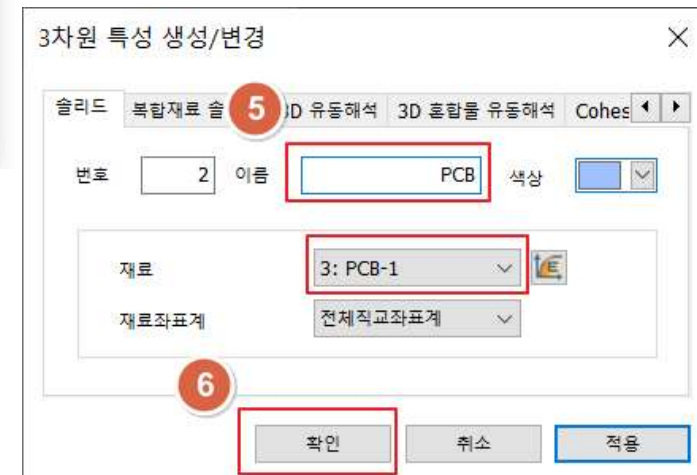
특성 입력

번호	1
이름	Component
재질	2: Component

4. [적용] 버튼 클릭.
5. 특성 입력



번호	2
이름	PCB
재질	3: PCB

6. [확인] 버튼 클릭





작업순서

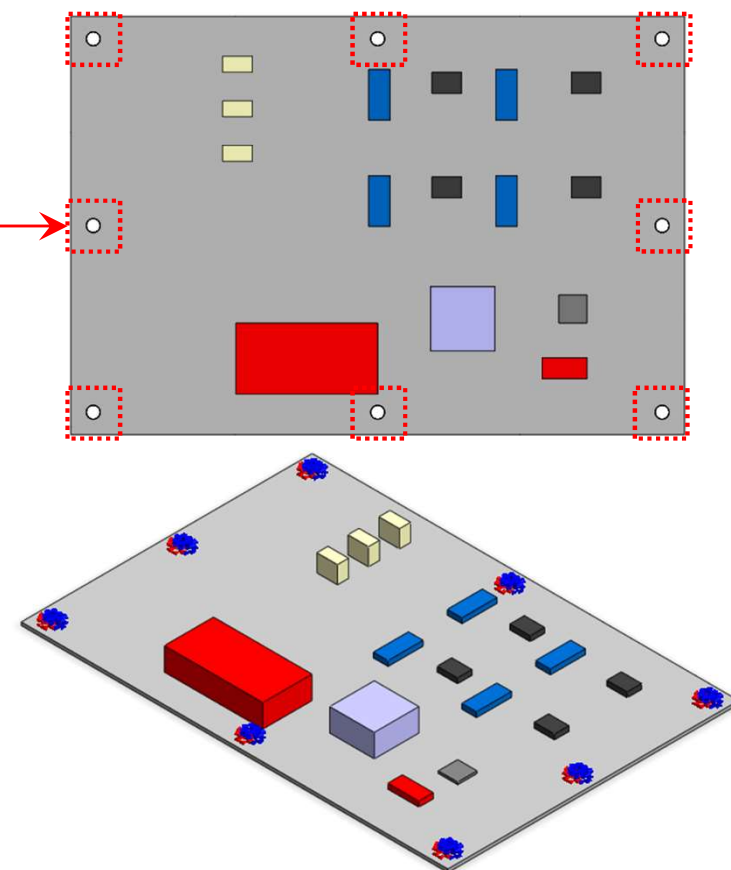
1. [구속조건] 클릭.
2. 기본 탭 선택.
3. 구속조건 입력

이름	Support
대상종류	면
대상선택	32개 선택 
조건	고정구속 

4. [확인] 버튼 클릭.

 8개의 홀 내부의 면들을 모두 선택합니다. 뒷면보기 상태에서 마우스 드래그로 선택하시면 보다 수월하게 선택할 수 있습니다.

 **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.



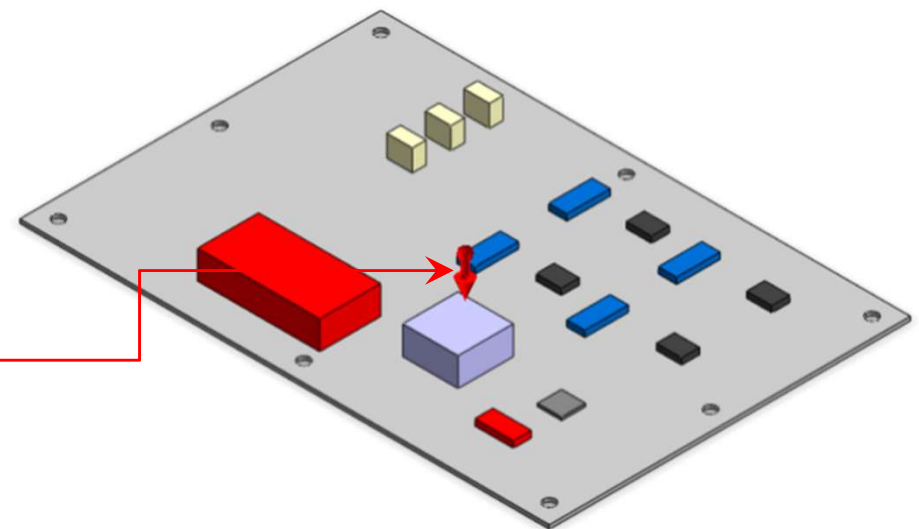
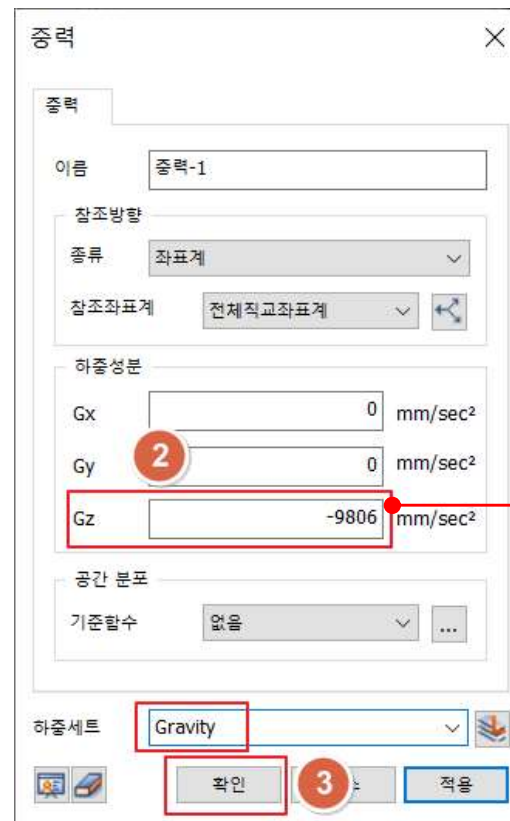
작업순서

1. [중력] 클릭.

2. 중력 입력

이름	Gravity
성분	Gz : -9806 (mm/sec ²)

3. [확인] 버튼 클릭.



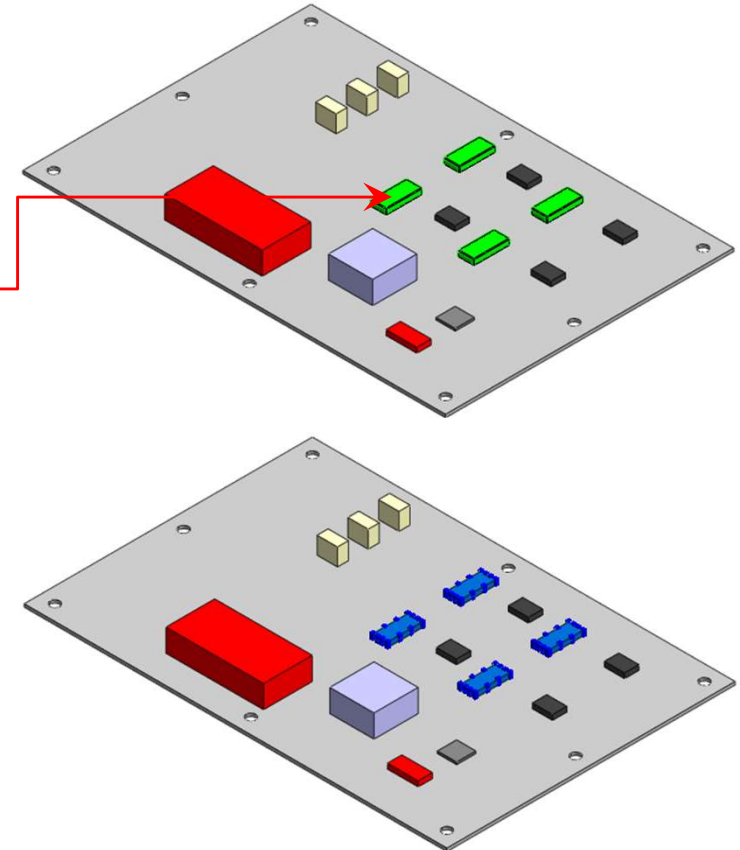
작업순서

1. [고정온도] 클릭.

2. 고정온도 입력

하중세트	80도
대상종류	파트
대상선택	4개 선택
온도	80 (T)

3. [적용] 버튼 클릭.



작업순서

1. 고정온도 입력

하중세트	50도
대상종류	파트
대상선택	6개 선택
온도	50 (T)

2. [확인] 버튼 클릭.

고정온도

하중성분

이름 고정온도-2 1

대상형상

종류 파트

6개 대상 선택됨

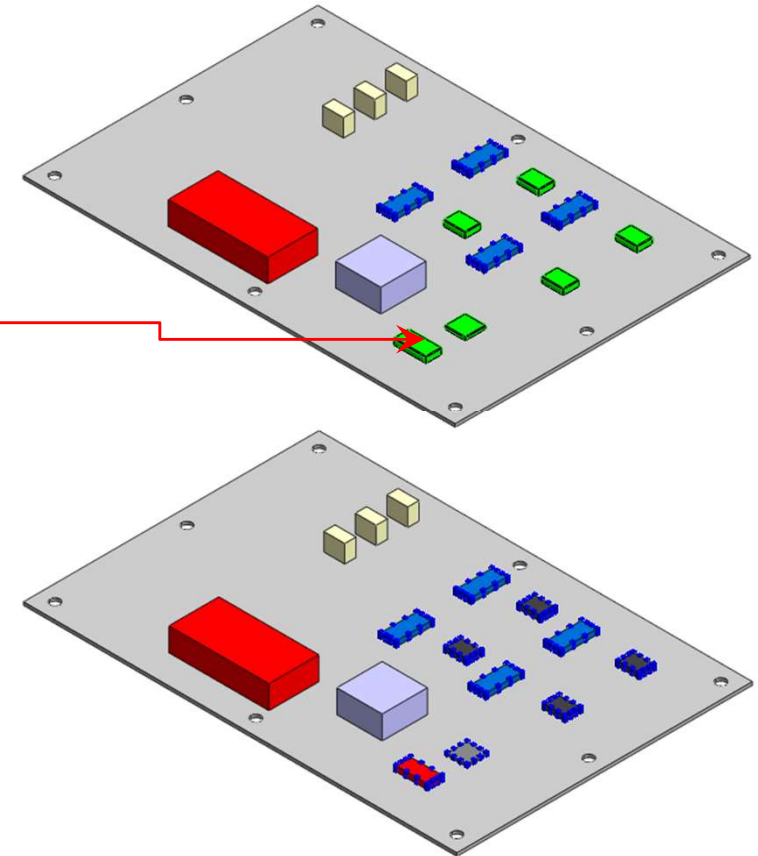
온도

기준할수 없음

온도 50 [T]

하중세트 50도

확인 2 적용



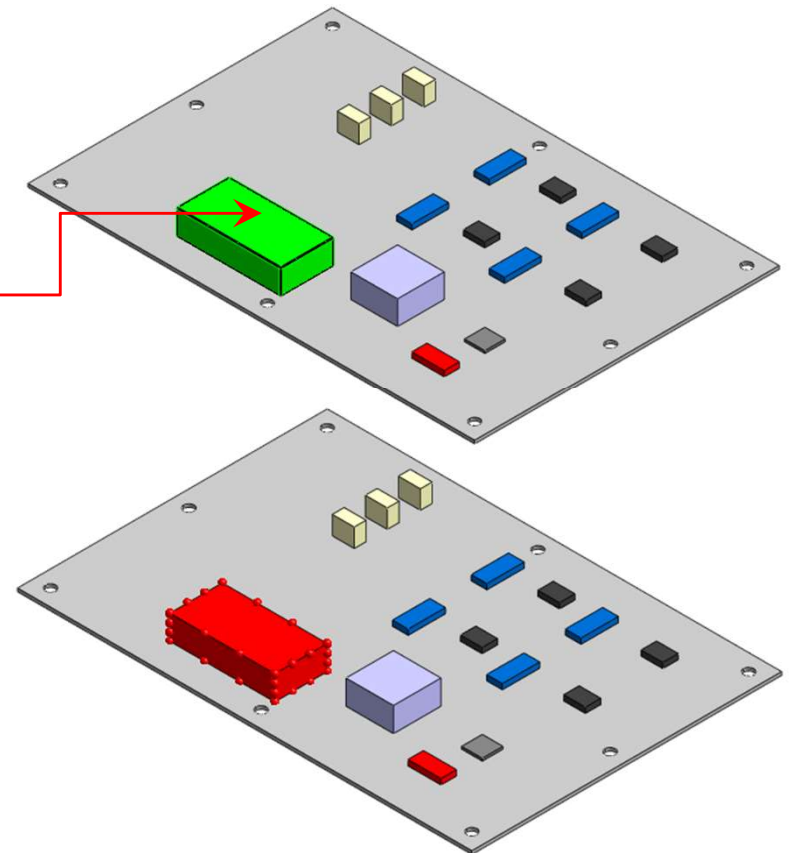
작업순서

1. [발열] 클릭.

2. 발열 입력

하중세트	Heat Source
대상종류	파트
대상선택	1개 선택
발열	0.0003 (W/mm ³)

3. [확인] 버튼 클릭.



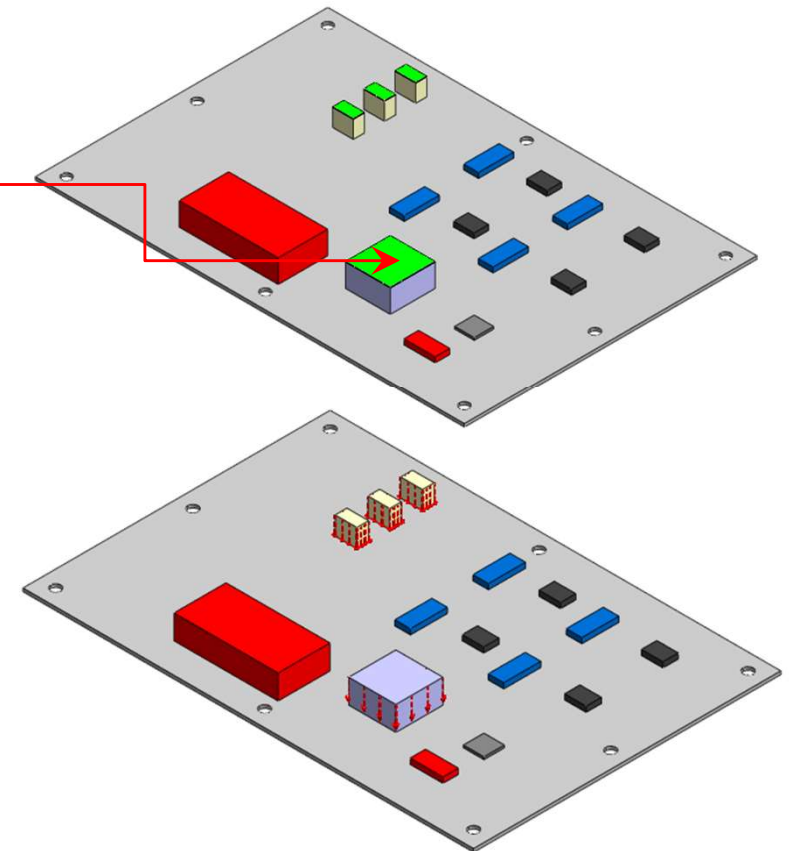
작업순서

1. [열유속] 클릭.

2. 열유속 입력

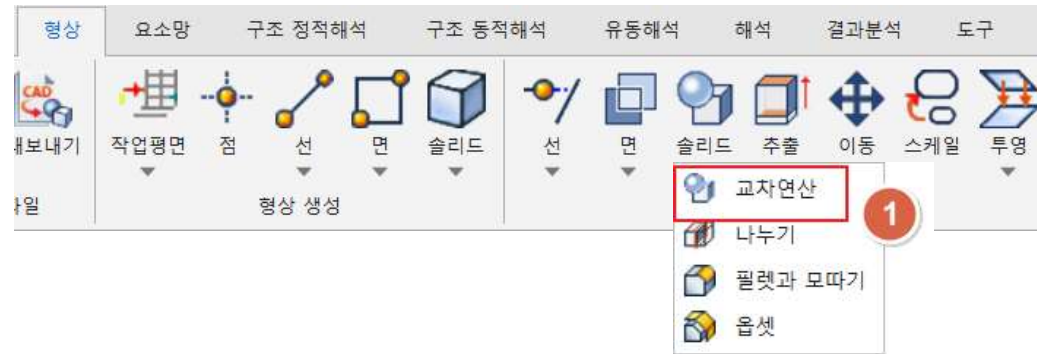
하중세트	Heat
대상종류	면
대상선택	4개 선택
발열	0.007 (W/mm ²)

3. [확인] 버튼 클릭.

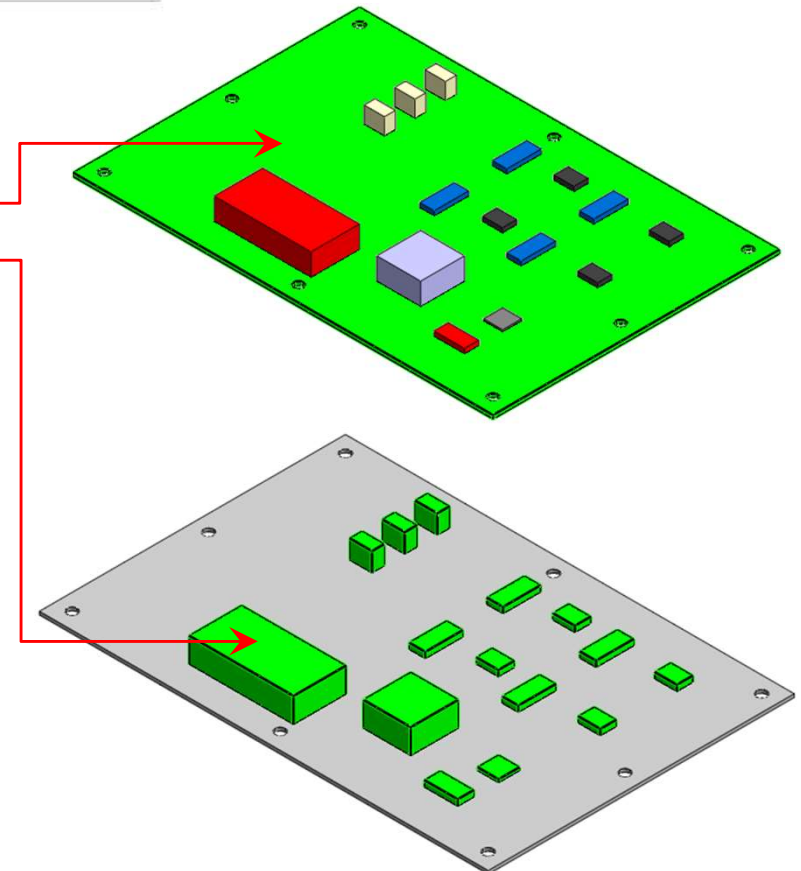


작업순서

1. [교차연산] 클릭.
2. [차집합] 탭 선택.
3. 솔리드 1개 선택. (PCB, 그림 참조)
4. 솔리드 15개 선택. (Component, 그림 참조)
5. 도구 형상 삭제 체크 해제.
6. [확인] 버튼 클릭.




💡 파트 상호 간의 접촉이 있는 면은 대류조건에서 제외되어야 합니다. 교차연산을 통해 접해 있는 면을 분할하여 대류조건 정의 시에 해당 면을 제외할 수 있도록 합니다.




작업순서

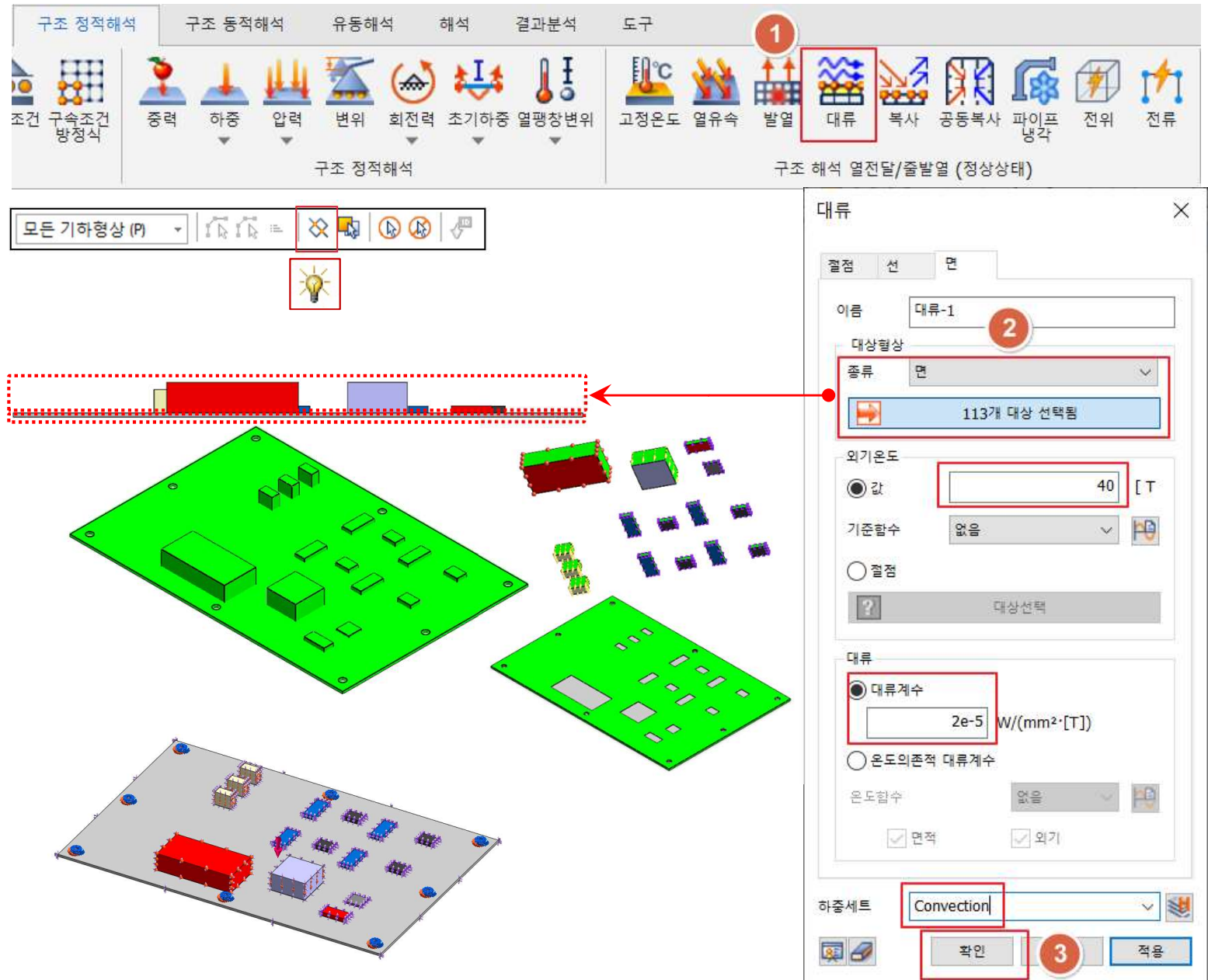
1. [대류] 클릭.

2. 과도 대류 입력

하중세트	Convection
대상종류	면
대상선택	113개 선택 
외기온도	40 (T)
대류계수	2e-5 (W/mm ² ·[T])

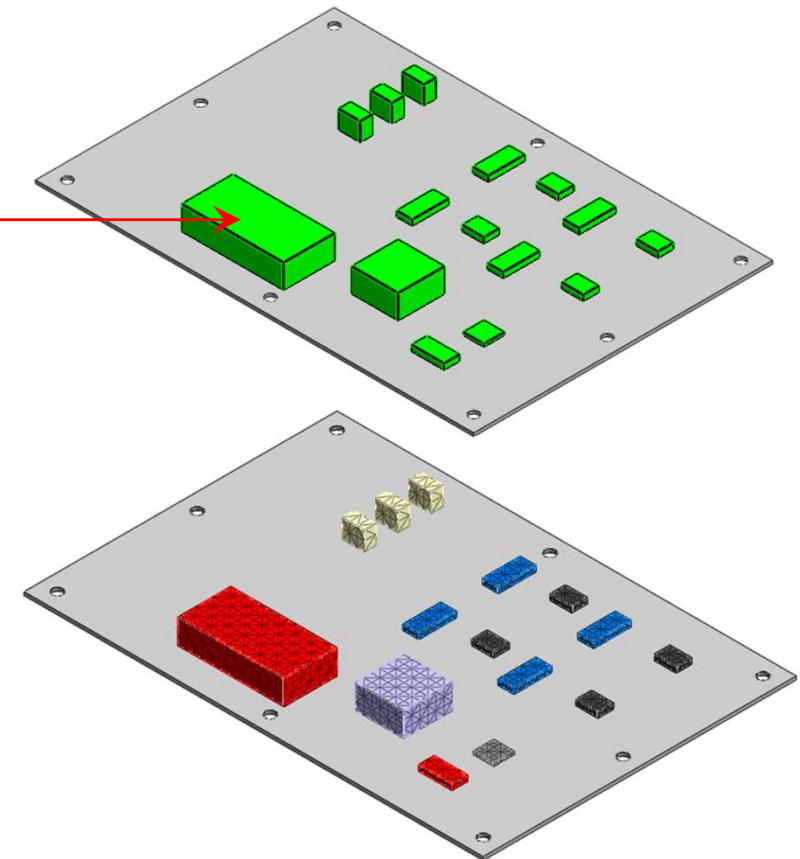
3. [확인] 버튼 클릭.

 파트 상호간의 접촉이 있는 면을 제외한 나머지 면을 선택합니다. 정면보기 상태에서 교차선택 옵션을 이용하여 마우스 드래그로 선택하시면 보다 수월하게 선택할 수 있습니다.



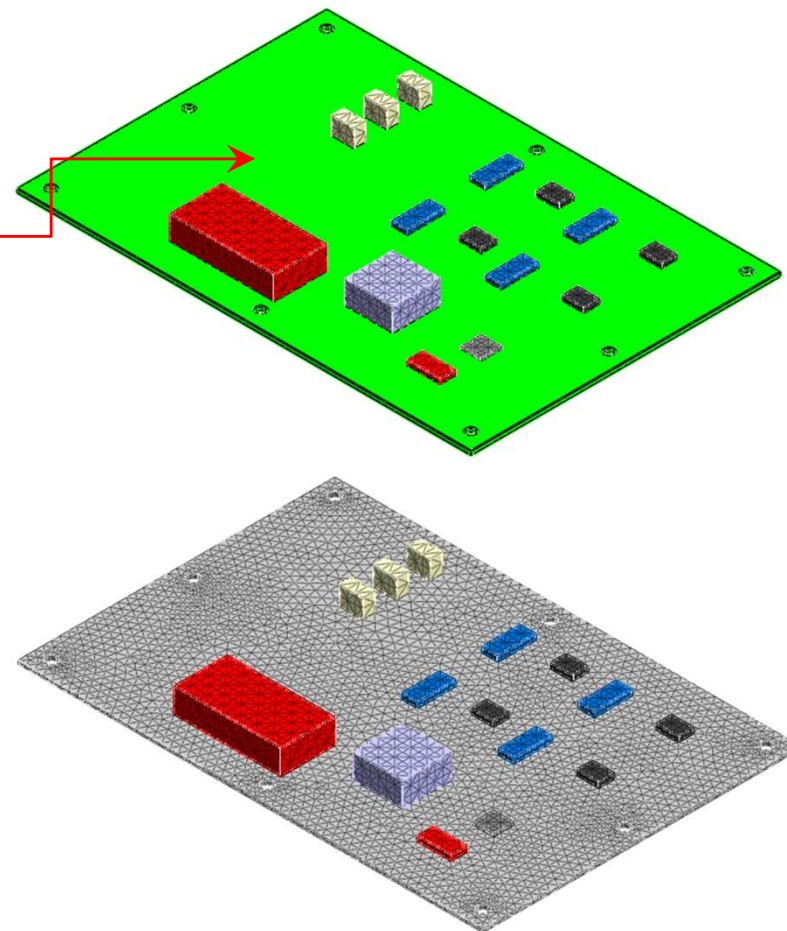
작업순서

1. [3D] 클릭.
2. 자동-솔리드 탭 클릭.
3. 솔리드 15개 선택. (그림 참조)
4. 요소 크기설정 : 4mm
5. 특성 : [1: Component] 선택.
6. [적용] 버튼 클릭.



작업순서

1. 솔리드 1개 선택. (그림 참조)
2. 요소 크기설정 : 4mm
3. 특성 : [2: PCB] 선택.
4. 이름 : PCB 입력.
5. [확인] 버튼 클릭.



작업순서

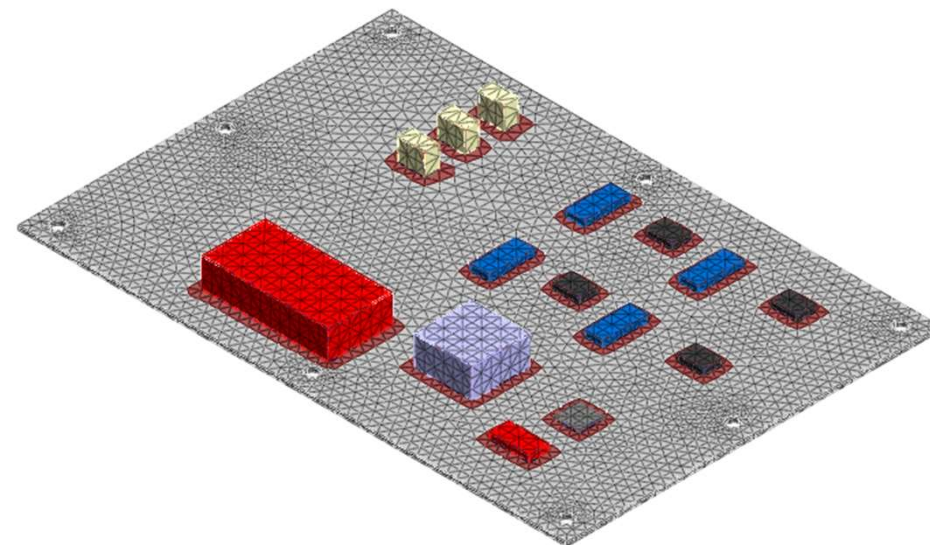
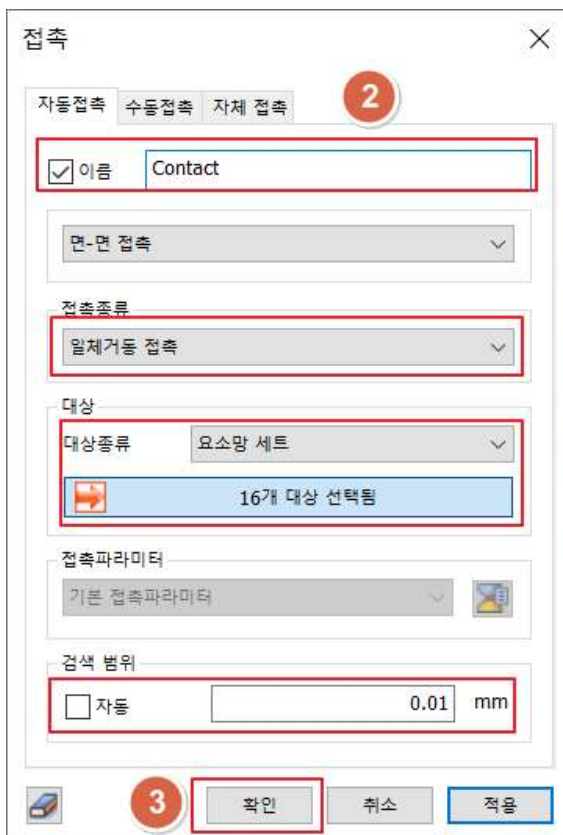
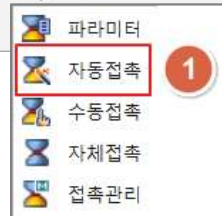
1. [자동접촉] 클릭.

2. 자동접촉조건 입력

이름	Contact
접촉종류	일체거동
대상 종류	요소망 세트
대상 선택	전체선택
검색 범위	0.01

3. [확인] 버튼 클릭

💡 검색범위 내에 있는 요소 간의 접촉을 자동으로 정의합니다.



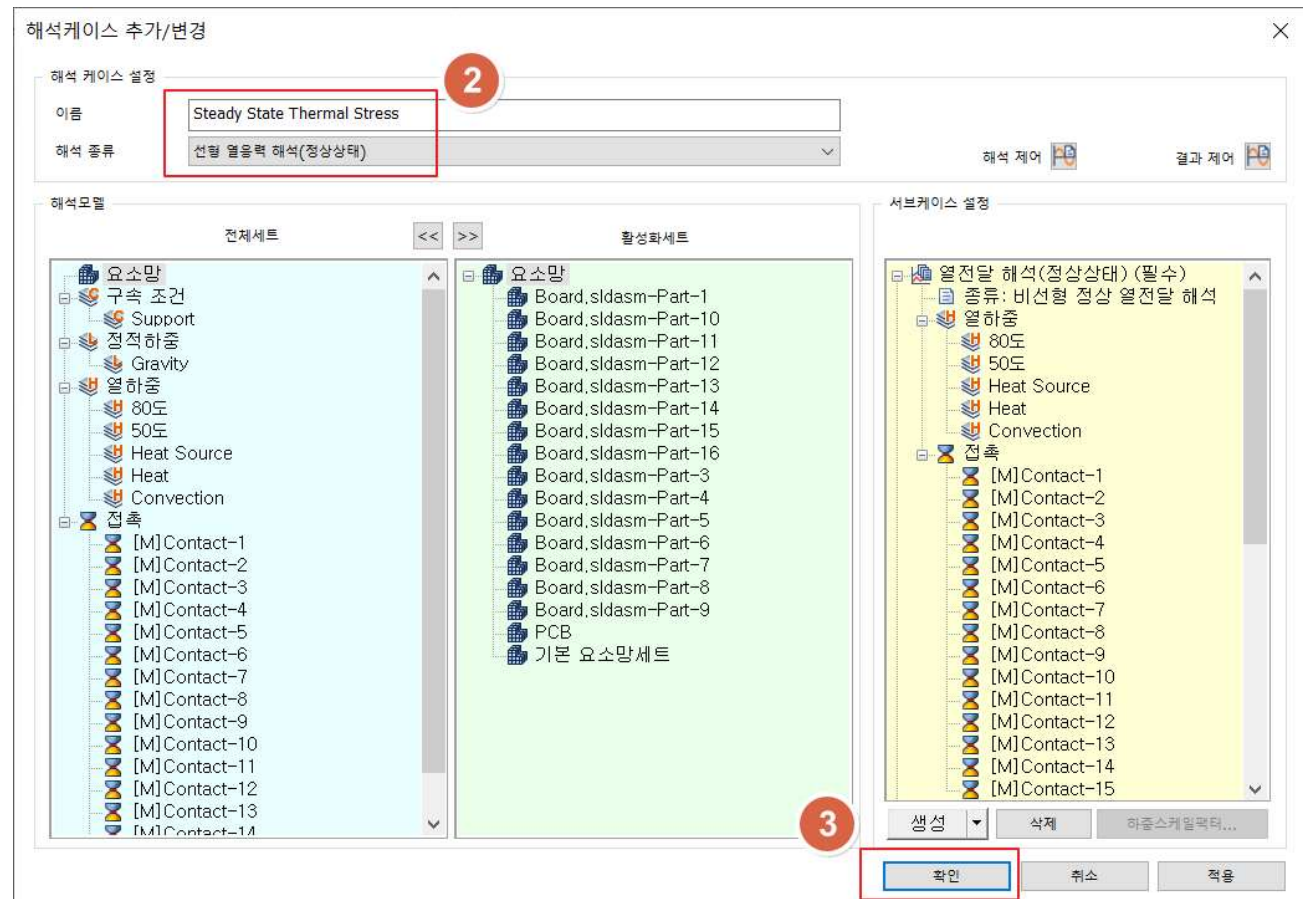
작업순서

1. [단일해석] 클릭.

2. 해석케이스 설정

이름	Steady State Thermal Stress
해석 종류	선형 열응력 해석 (정상상태)

3. [확인] 버튼 클릭.



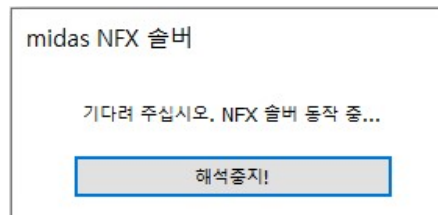
💡 열전달해석과 선형정적해석, 2개의 서브케이스가 자동으로 정의됩니다. 열전달해석을 수행한 후에 온도결과를 자동으로 하중으로 변환하여 선형정적해석을 이어서 수행합니다.

작업순서

1. [실행] 클릭.
2. [확인] 버튼 클릭.



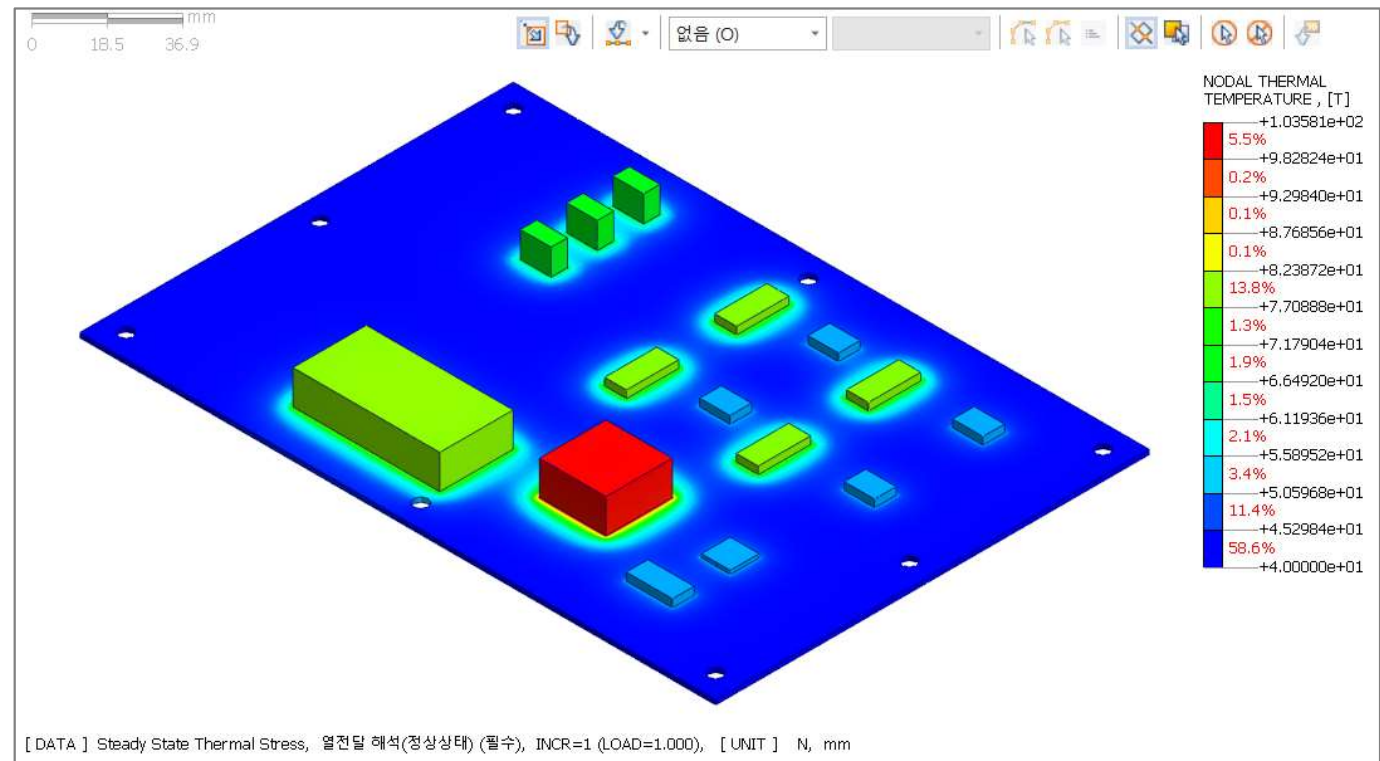
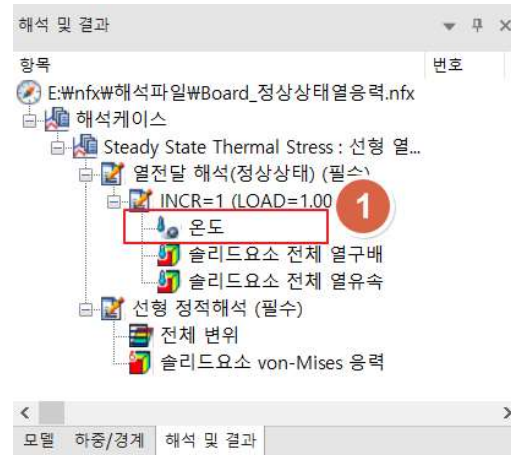
💡 해석을 실행하면 midas NFX 솔버가 작동됩니다. [해석중지!] 버튼을 클릭하면 해석이 중지됩니다.



작업순서

1. 해석 및 결과 작업트리에서

온도 더블 클릭.

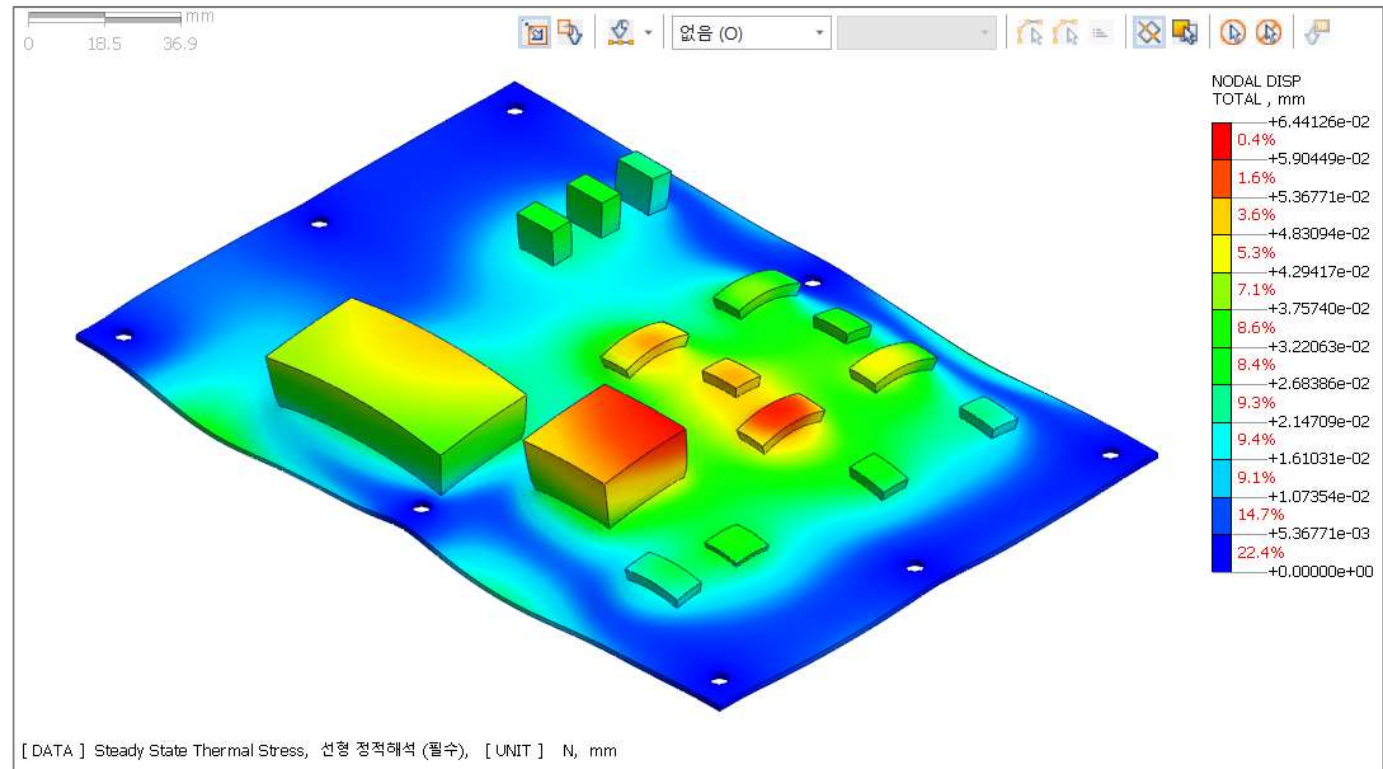
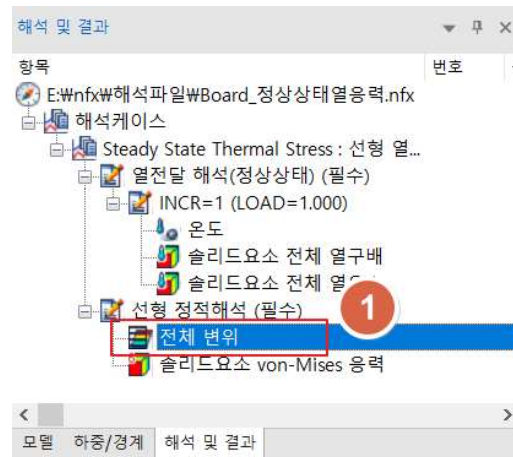


💡 각 절점의 온도가 하중으로 변환되어 다음 서브케이스(선형정적해석)로 전달됩니다.

작업순서

1. 해석 및 결과 작업트리에서

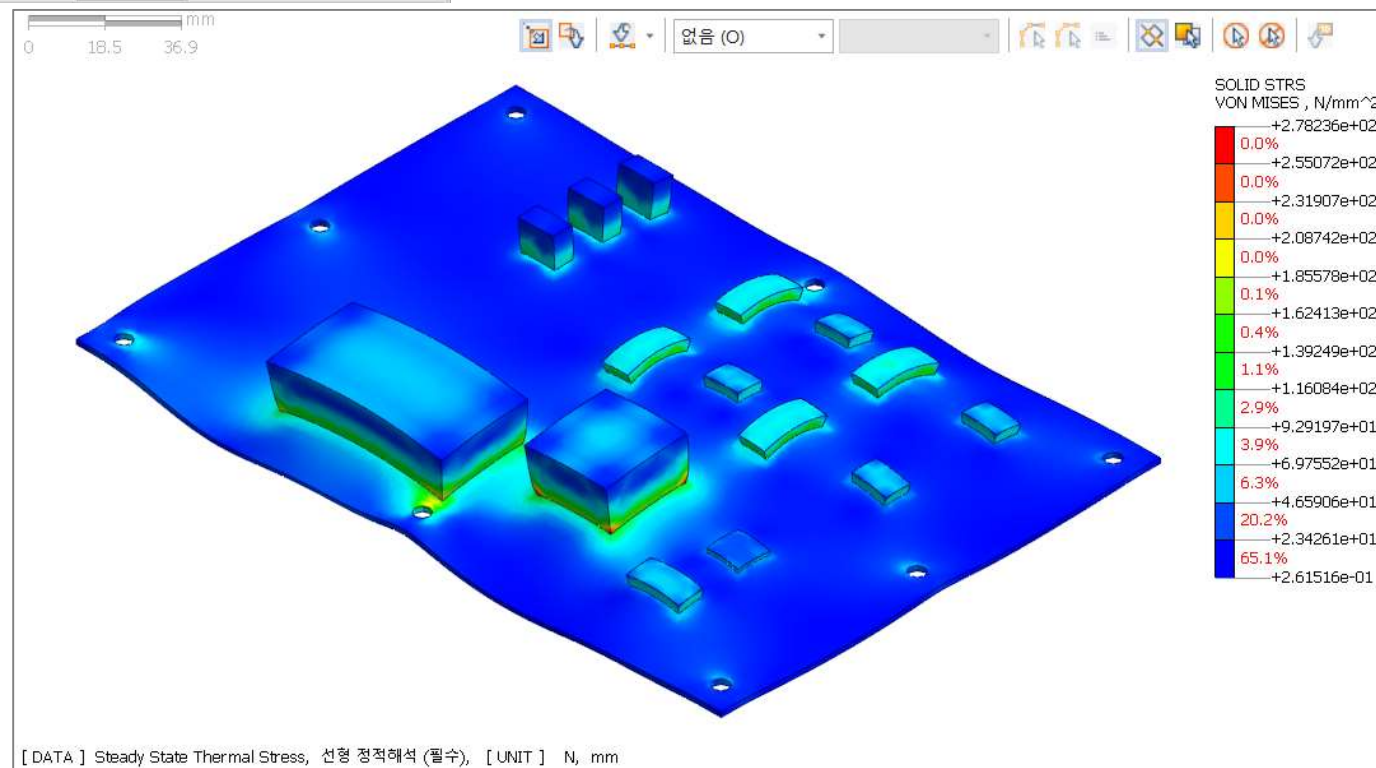
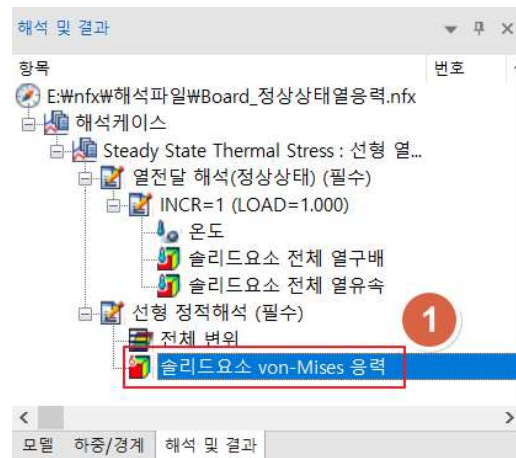
전체변위 더블 클릭.



작업순서

1. 해석 및 결과 작업트리에서

솔리드요소 von-Mises 응력 더블 클릭.



개요

➤ 과도상태 열전달 해석

- 단위 : N, mm
- 기하모델: Board.x_t

➤ 재질

- 사용자 정의 재질
- PCB

➤ 경계조건과 하중조건

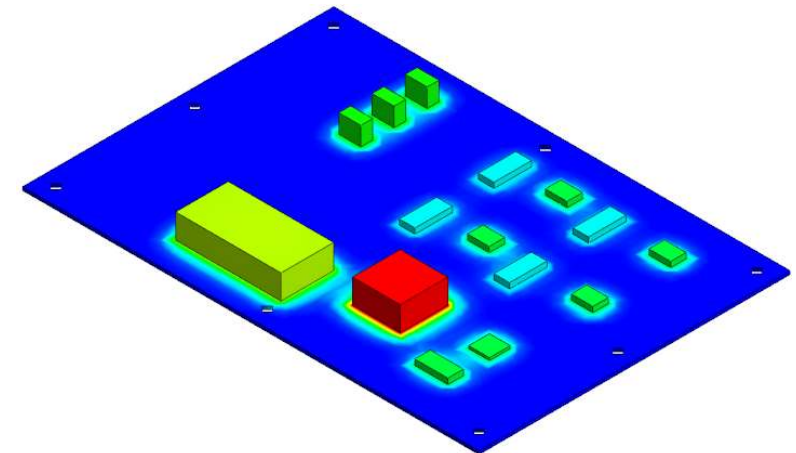
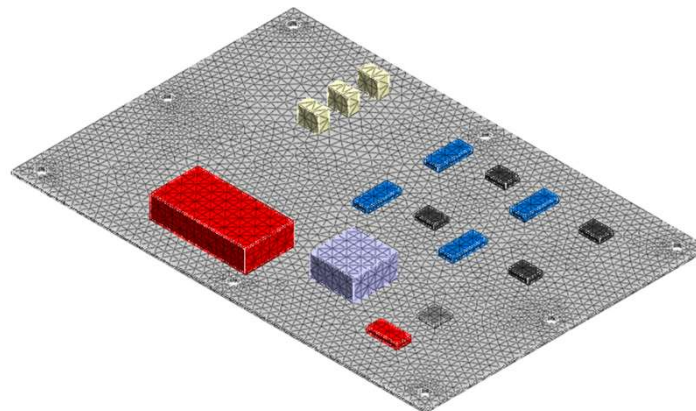
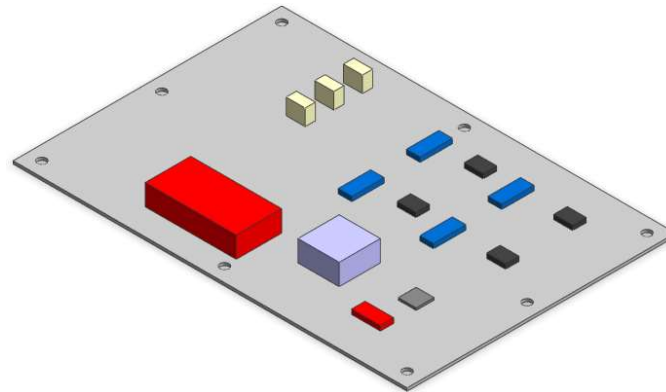
- 열속, 대류, 발열 조건
- 홀 고정 (고정 구속)
- 해석 종료 조건 (센서)

➤ 결과확인

- 온도 분포
- 결과 추출 (그래프 보기)

Board 2

(과도상태 열응력해석)



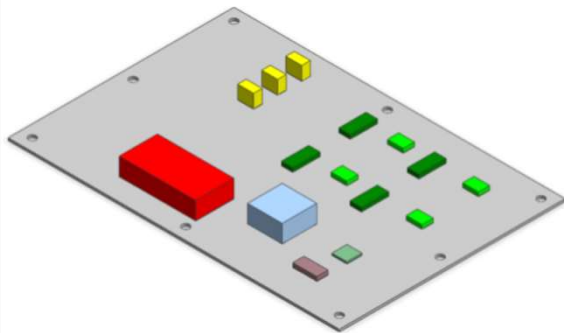
따라하기 목적

➤ midas NFX를 이용한 과도상태 열응력해석의 수행 및 기능 이해

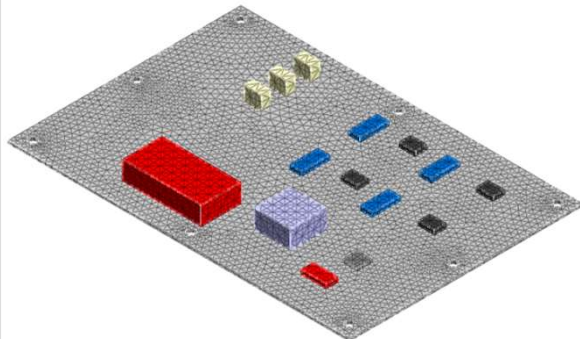
- 시간에 따라 변하는 과도열하중(발열, 열속, 온도, 대류)을 정의하는 방법에 대해 습득합니다.
- 구조조건과 열하중이 동시에 작용을 하는 상태에서 시간의 함수를 적용하여 해석을 정의하는 방법에 대해 습득합니다.
- 시간 별 열응력의 결과를 확인하는 방법을 습득합니다.

해석 개요

➤ 대상 모델

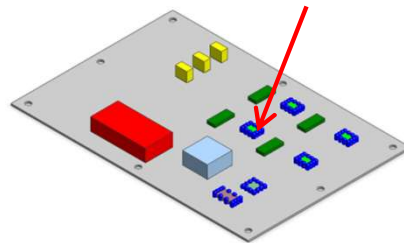


➤ 유한요소 모델

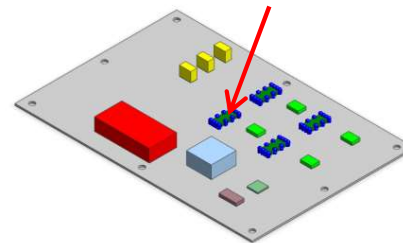


➤ 해석조건 (과도상태)

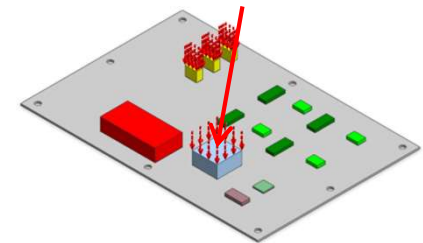
온도조건 : 20 → 50도



온도조건 : 20 → 60도



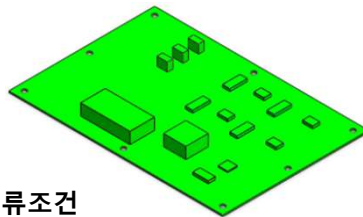
열속 : 0 → 0.01W/mm²



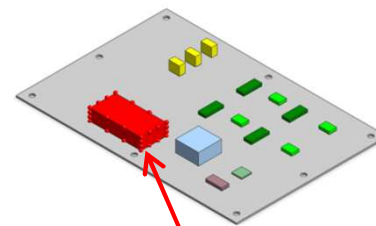
대류조건

외부온도 : 20 → 30도

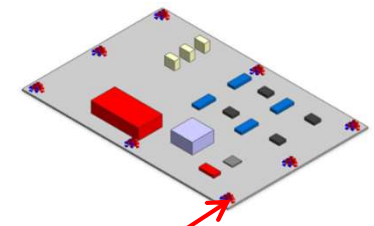
대류계수 : 2e-005 W/mm²[T]





발열 : 0 → 0.0005W/mm³



고정 (8개 홀)



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.

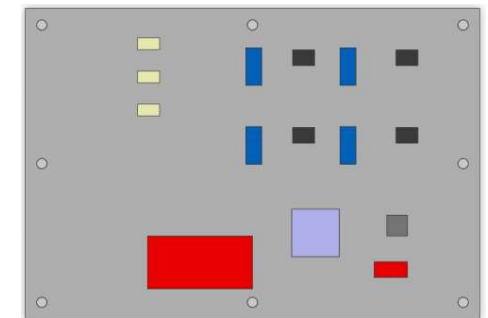
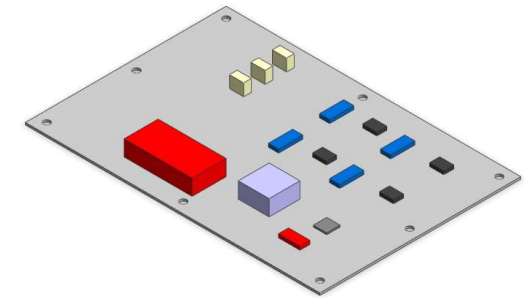
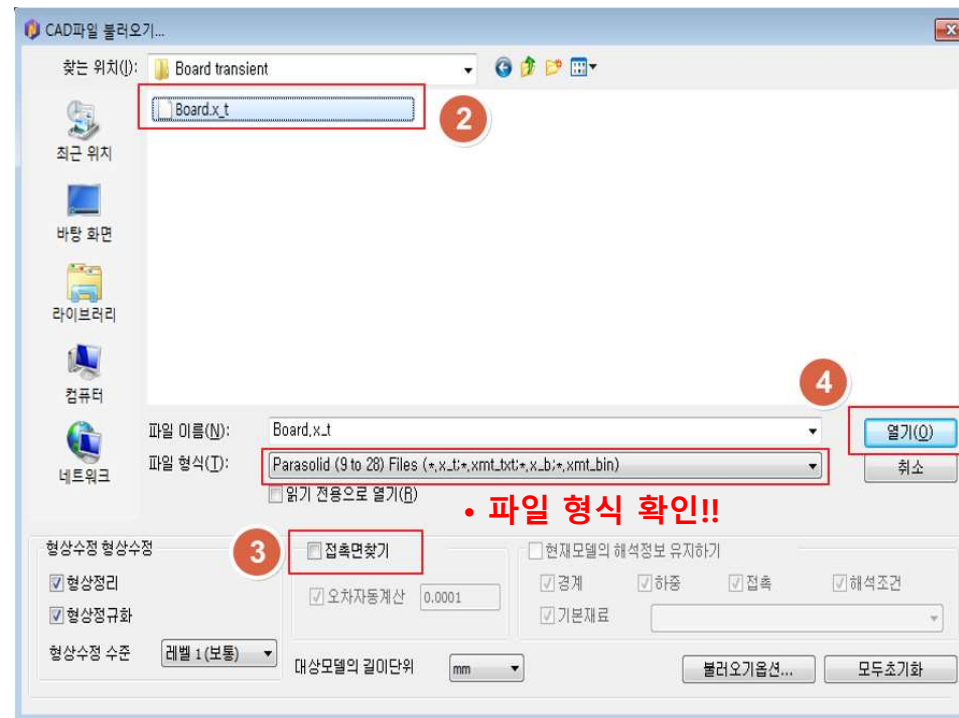
 해석조건설정 대화상자는 시작과 함께 자동으로 보여집니다.

작업순서

1. [불러오기] 클릭.
2. 모델 선택: **Board.x_t** 선택.
3. [접촉면 찾기] 체크 해제.
4. [열기(O)] 버튼 클릭.

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

💡 모델을 불러올 때 [접촉면 찾기]를
체크하면, 파트 별 접촉이 [일체거동
접촉]으로 자동 설정됩니다.
본 따라하기에서는 대류조건을 위한
슬리드 교차연산 작업을 위하여 별도
로 접촉조건을 정의하도록 합니다.



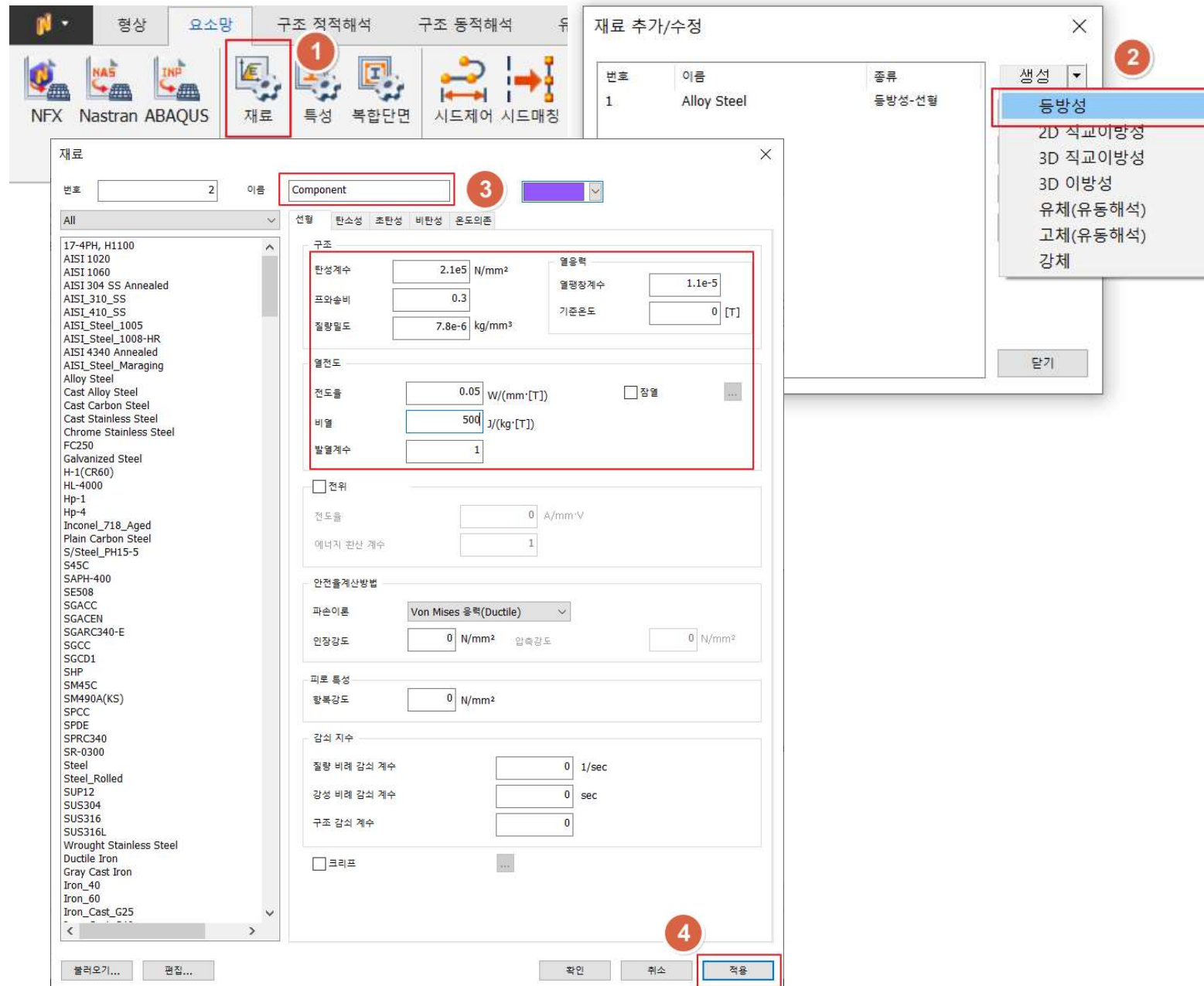
작업순서

1. [재료] 클릭.
2. 생성 >> 등방성 클릭.
3. 재료 입력.

번호	2
이름	Component
탄성계수	2.1e5 (N/mm ²)
프와송비	0.3
질량밀도	7.8e-6 (kg/mm ³)
열팽창계수	1.1e-5
전도율	0.05 (W/(mm ² ·[T]))
비열	500 (J/(kg ² ·[T]))

4. [적용] 버튼 클릭

💡 과도상태 열전달해석을 위해서는 반드시 비열과 밀도가 입력되어 있어야 합니다.



The screenshot shows the midas NFX software interface with the '재료' (Material) dialog box open. The '구조' (Structure) section is highlighted with a red box, indicating the material properties being defined. The '열' (Thermal) section is also visible, showing the thermal properties. The '적용' (Apply) button is highlighted with a red box and a red circle with the number 4.


재료 추가/수정 dialog box details:

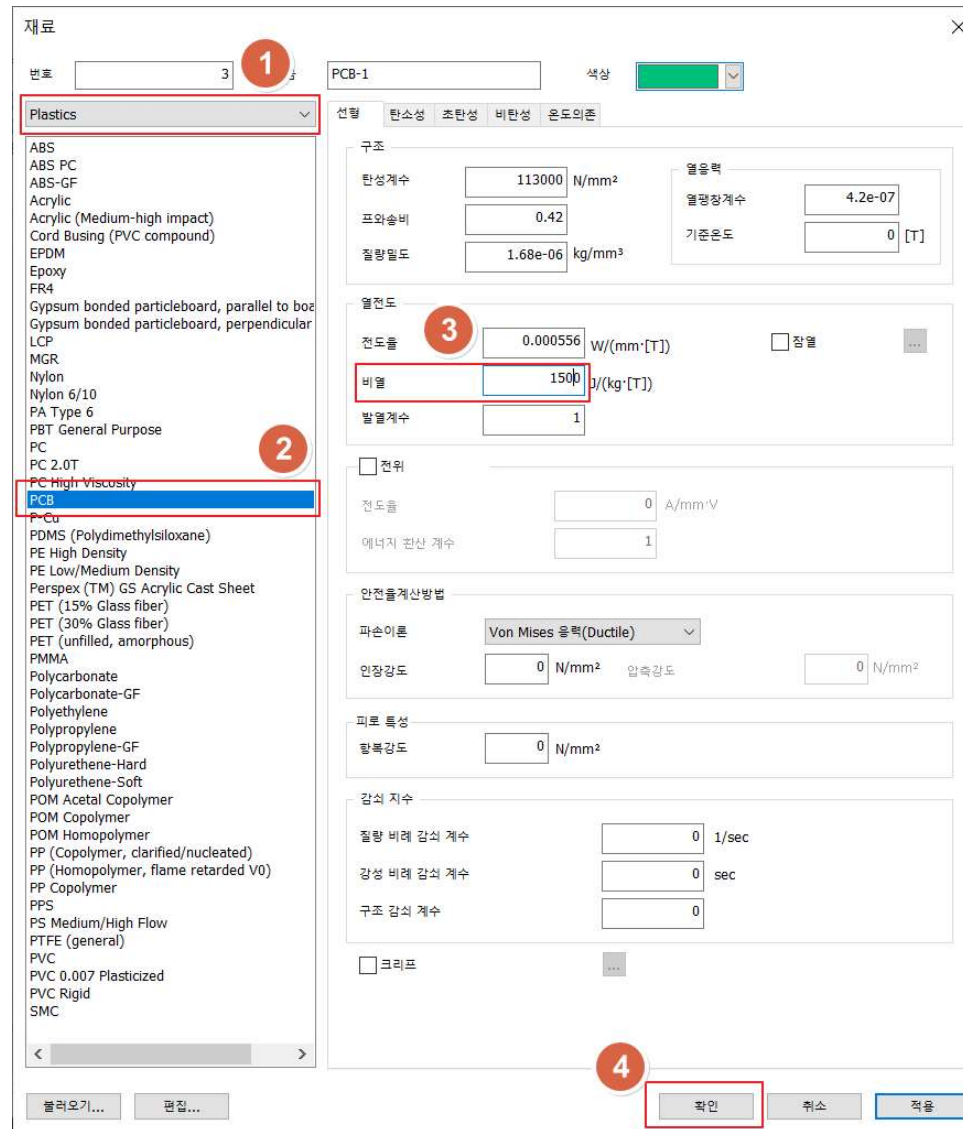
- 번호: 1
- 이름: Alloy Steel
- 종류: 등방성-선형
- 생성: 등방성
- 2D 직교이방성
- 3D 직교이방성
- 3D 이방성
- 유체(유동해석)
- 고체(유동해석)
- 강체

재료 dialog box details:


- 번호: 2
- 이름: Component
- 구조: 탄성계수 (2.1e5 N/mm²), 프와송비 (0.3), 질량밀도 (7.8e-6 kg/mm³)
- 열: 열팽창계수 (1.1e-5), 전도율 (0.05 W/(mm²·[T])), 비열 (500 J/(kg²·[T]))
- 적용: 적용

작업순서

1. 재료 DB 리스트에서 **Plastics**를 선택.
2. **PCB** 선택.
3. 비열: **"1500"** 입력. 
4. **[확인]** 버튼 클릭.



재료

번호: 3 1 PCB-1 색상: 

선택: 탄소성 초탄성 비탄성 온도 의존

구조

탄성계수: 113000 N/mm² 열팽창계수: 4.2e-07

프와송비: 0.42 기준온도: 0 [T]

질량밀도: 1.68e-06 kg/mm³

열전도

전도율: 0.000556 W/(mm·[T]) ☐ 잠열

비열: 1500 J/(kg·[T]) 3

발열계수: 1

☐ 전위

전도율: 0 A/mm·V

에너지 환산 계수: 1

안전율 계산 방법

파손 이론: Von Mises 응력(Ductile)

인장강도: 0 N/mm² 압축강도: 0 N/mm²

피로 특성

항복강도: 0 N/mm²

감쇠 지수

질량 비례 감쇠 계수: 0 1/sec

강성 비례 감쇠 계수: 0 sec

구조 감쇠 계수: 0

☐ 크리프

4

재료 DB 리스트:

- ABS
- ABS PC
- ABS-GF
- Acrylic
- Acrylic (Medium-high impact)
- Cord Busing (PVC compound)
- EPDM
- Epoxy
- FR4
- Gypsum bonded particleboard, parallel to board
- Gypsum bonded particleboard, perpendicular
- LCP
- MGR
- Nylon
- Nylon 6/10
- PA Type 6
- PBT General Purpose
- PC
- PC 2.0T
- PC High Viscosity
- PCB
- PCu
- PDMS (Polydimethylsiloxane)
- PE High Density
- PE Low/Medium Density
- Perspex (TM) GS Acrylic Cast Sheet
- PET (15% Glass fiber)
- PET (30% Glass fiber)
- PET (unfilled, amorphous)
- PMMA
- Polycarbonate
- Polycarbonate-GF
- Polyethylene
- Polypropylene
- Polypropylene-GF
- Polyurethane-Hard
- Polyurethane-Soft
- POM Acetal Copolymer
- POM Copolymer
- POM Homopolymer
- PP (Copolymer, clarified/nucleated)
- PP (Homopolymer, flame retarded V0)
- PP Copolymer
- PPS
- PS Medium/High Flow
- PTFE (general)
- PVC
- PVC 0.007 Plasticized
- PVC Rigid
- SMC

플러오기... 편집...



과도상태 열전달 해석을 위해서는 반드시 비열과 밀도가 입력되어 있어야 합니다.
재료 DB의 PCB 물성에는 비열값이 없기 때문에 직접 입력해야 합니다.

작업순서

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

특성 입력

번호	1
이름	Component
재질	2: Component

4. [적용] 버튼 클릭.

특성 입력

번호	2
이름	PCB
재질	3: PCB

6. [확인] 버튼 클릭



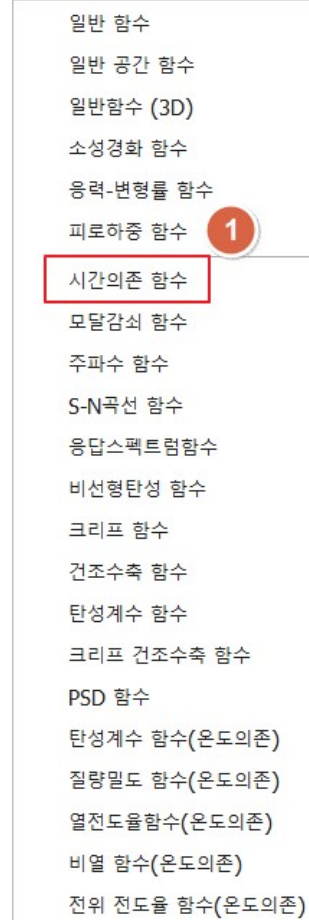
작업순서

1. [시간의존 함수] 클릭.
2. 이름: "Ambient Temp" 입력.
3. 시간 함수 입력

시간 (sec)	값
0	20
15	30
50	30

4. [적용] 버튼 클릭.

💡 이전의 값들은 선택하여 키보드 Delete 키를 누르면 삭제된다.
Tap 키를 이용하면 입력이 좀더 쉬워진다.



작업순서

1. 이름: "Heat Flux" 입력.

2. 시간 함수 입력

시간 (sec)	값
0	0
5	0.008
10	0.008
15	0.01
50	0.01

3. [적용] 버튼 클릭.

4. 이름: "Heat Gen" 입력.

5. 시간 함수 입력

시간 (sec)	값
0	0
2	0.0003
10	0.0003
15	0.0005
50	0.0005

6. [적용] 버튼 클릭.



작업순서

1. 이름: "Temp_50" 입력.

2. 시간 함수 입력

시간 (sec)	값
0	20
10	50
50	50

3. [적용] 버튼 클릭.

4. 이름: "Temp_60" 입력.

5. 시간 함수 입력

시간 (sec)	값
0	20
10	60
50	60

6. [확인] 버튼 클릭.



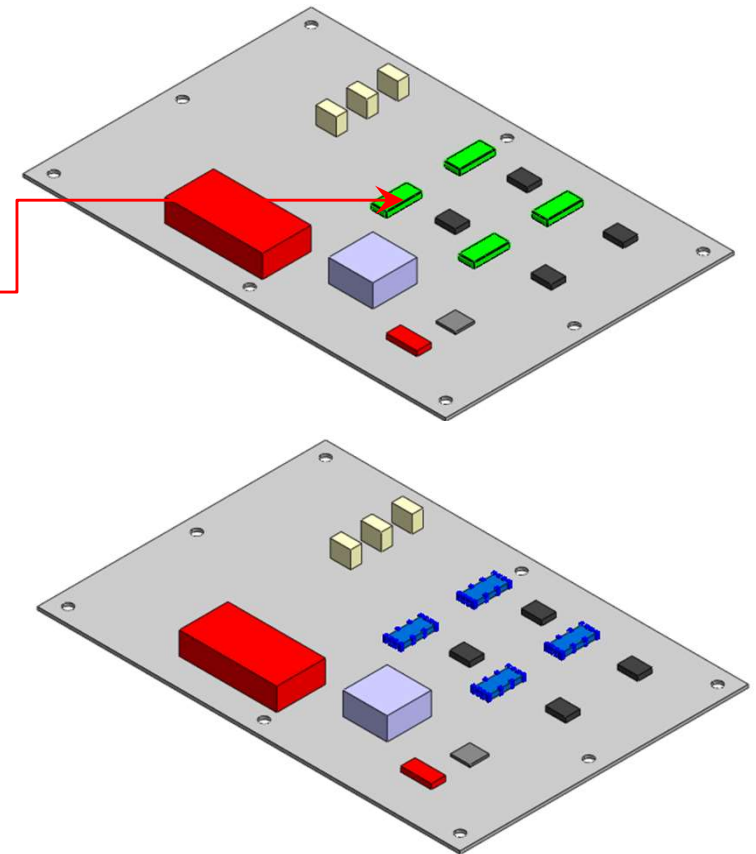
작업순서

1. [고정온도] 클릭.

2. 과도 온도 입력

하중세트	Temp_50
대상종류	파트
대상선택	4개 선택
온도	1 (T)
시간 함수	Temp_50 선택

3. [적용] 버튼 클릭.



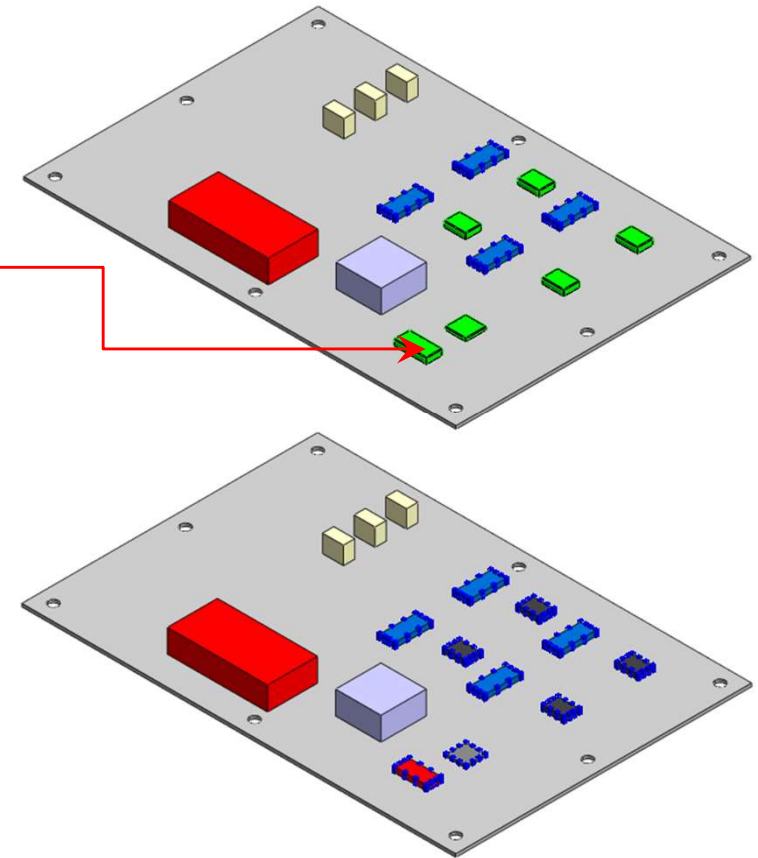
💡 시간 함수에 온도 입력값을 곱하여
과도 온도로 적용됩니다.

작업순서

1. 과도 온도 입력

하중세트	Temp_60
대상종류	파트
대상선택	6개 선택
온도	1 (T)
시간 함수	Temp_60 선택

2. [확인] 버튼 클릭.



시간 함수에 온도를 곱하여 과도 온도로 적용됩니다.

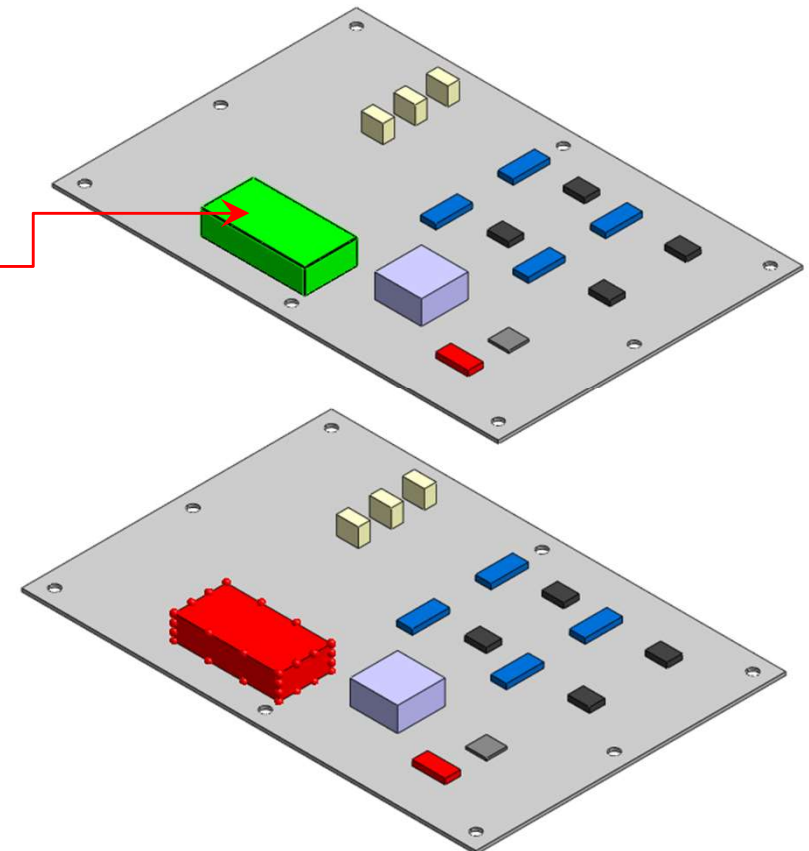
작업순서

1. [발열] 클릭.
2. 과도 발열 입력
3. [확인] 버튼 클릭.

하중세트	Heat Gen
대상종류	파트
대상선택	1개 선택
체적당 힘	1 (W/mm ³)
시간 함수	Heat Gen 선택



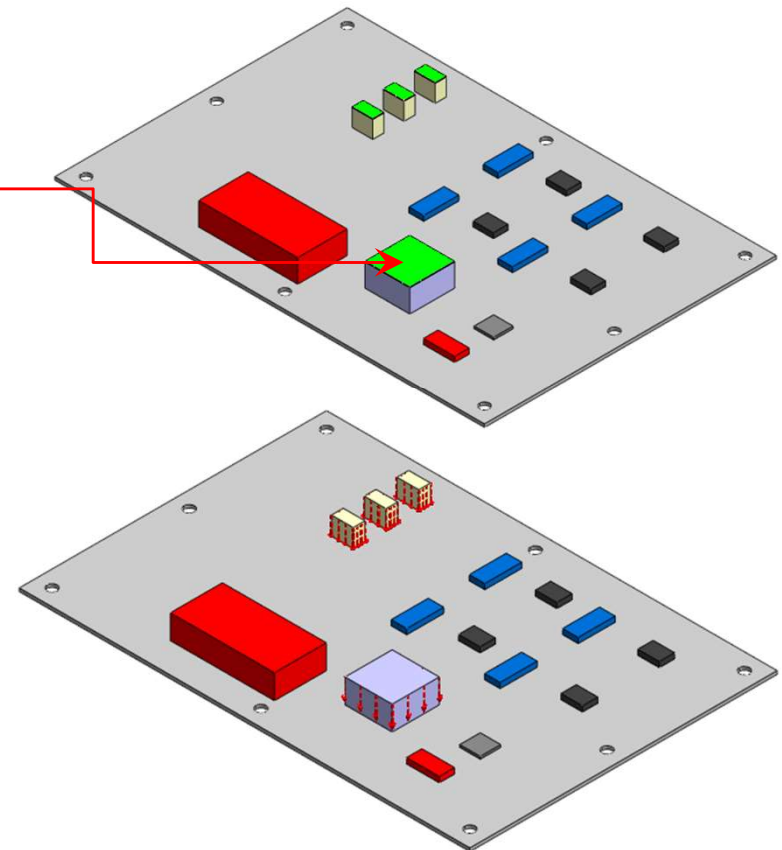
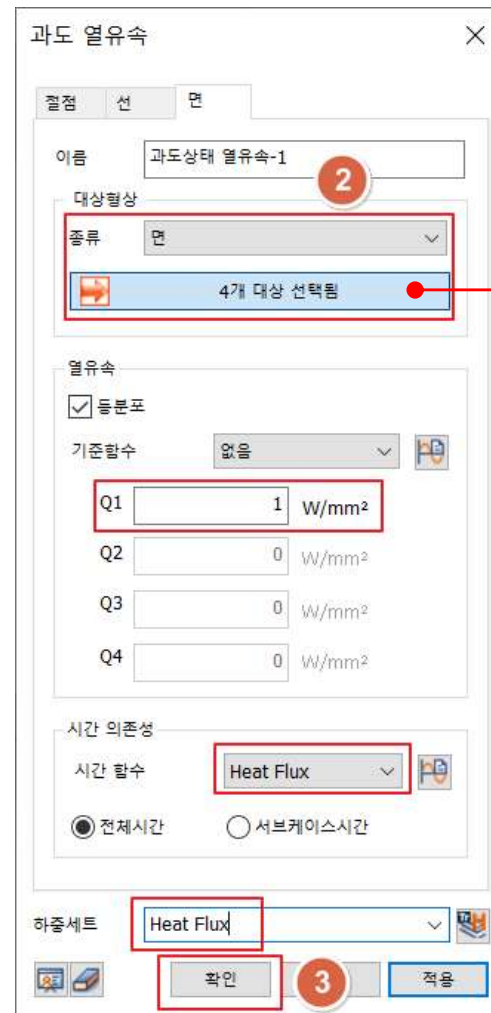
💡 시간 함수에 발열량(체적당 힘)을
공하여 과도 발열로 적용됩니다.



작업순서

1. [열유속] 클릭.
2. 과도 열유속 입력
3. [확인] 버튼 클릭.

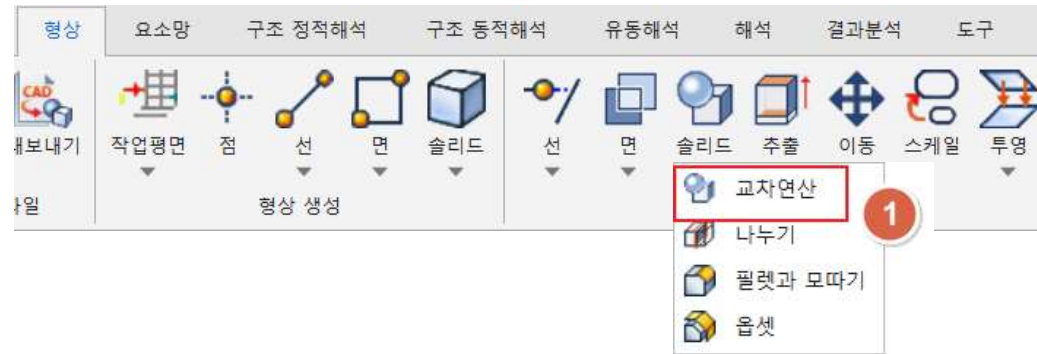
하중세트	Heat Flux
대상종류	면
대상선택	4개 선택
열유속	1 (W/mm ³)
시간 함수	Heat Flux 선택



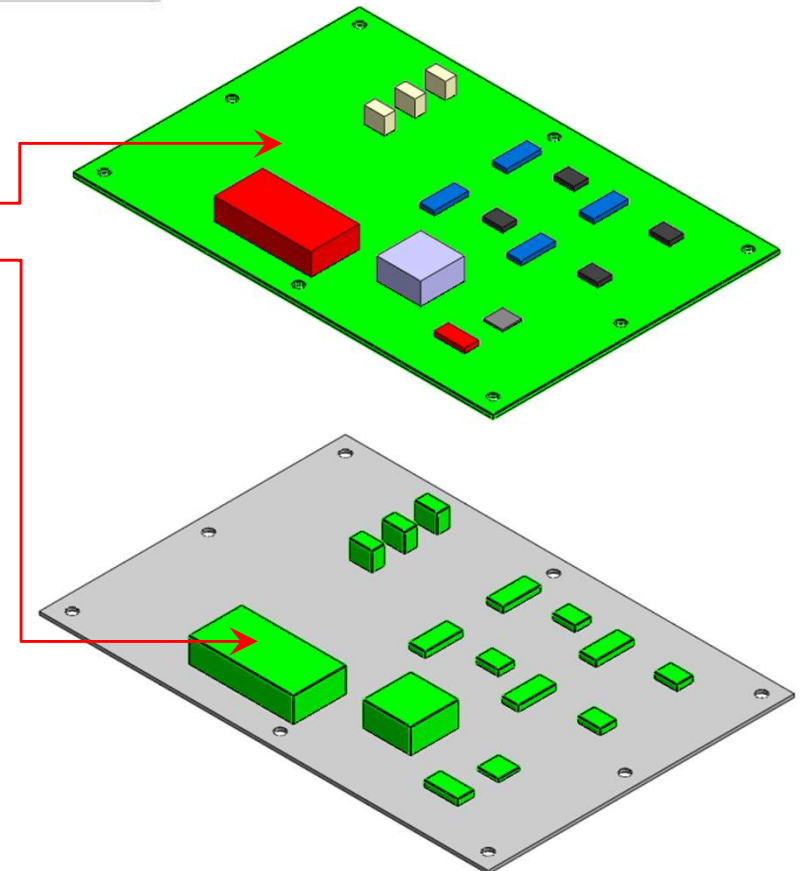
💡 시간 함수에 열유속을 곱하여 과도 열유속으로 적용됩니다.

작업순서

1. [교차연산] 클릭.
2. [차집합] 탭 선택.
3. 솔리드 1개 선택. (PCB, 그림 참조)
4. 솔리드 15개 선택. (Component, 그림 참조)
5. 도구 형상 삭제 체크 해제.
6. [확인] 버튼 클릭.



💡 파트 상호 간의 접촉이 있는 면은 대류조건에서 제외되어야 합니다. 교차연산을 통해 접해 있는 면을 분할하여 대류조건 정의 시에 해당 면을 제외할 수 있도록 합니다.



작업순서

1. [대류] 클릭.

2. 과도 대류 입력

하중세트	Ambient Temp
대상종류	면
대상선택	113개 선택
외기온도	1 (T)
시간 함수	Ambient Temp 선택
대류계수	2e-5 (W/(mm ² ·[T]))

3. [확인] 버튼 클릭.

💡 파트 상호간의 접촉이 있는 면을 제외한 나머지 면을 선택합니다. 정면보기 상태에서 교차선택 옵션을 이용하여 마우스 드래그로 선택하시면 보다 수월하게 선택할 수 있습니다.

💡 시간 함수에 외기온도를 곱하여 과도 대류의 외기온도로 적용됩니다.



구조 동적해석 유동해석 해석 결과분석 도구

초기속도 시간의존 주파수의존 응답스펙트럼 고정온도 열유속 발열 대류 복사 공동복사 파이프 냉각 전위

구조 동적해석 구조 해석 열전달/출발열 (과도상태)

모든 기하형상 (P)

과도 대류

이름 과도상태 대류-1

대상형상 종류 면

113개 대상 선택됨

외기온도 1 [T]

기준함수 없음

시간 함수 Ambient Temp

전체시간 서브케이스시간

대류 대류계수 2e-5 W/(mm²·[T])

없음(일정)

전체시간 서브케이스시간

온도의존적 대류계수

온도함수 없음



면적 외기

하중세트 Ambient Temp


확인


작업순서

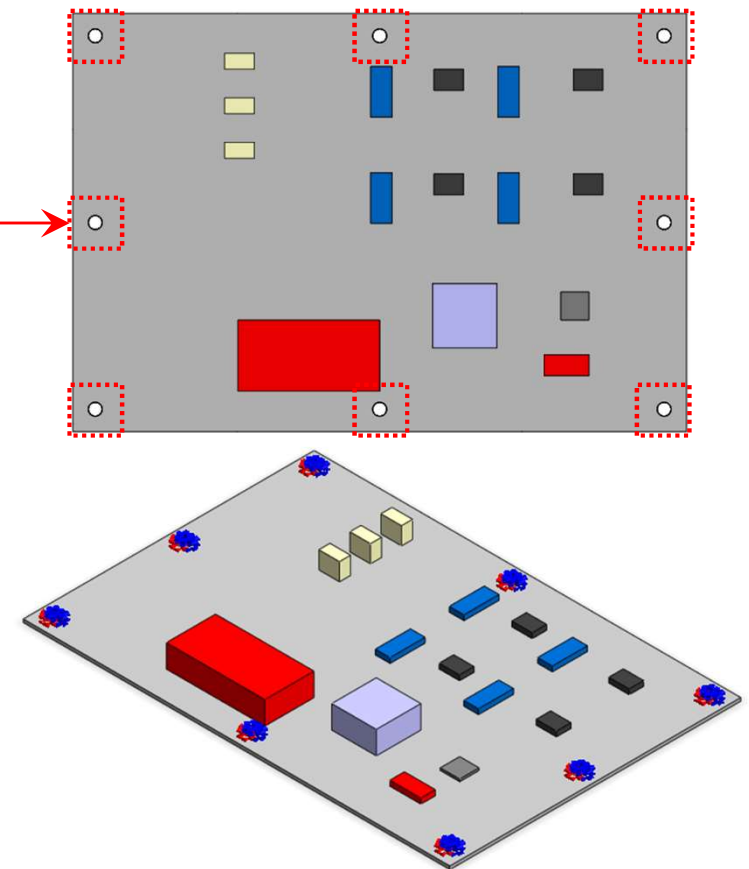
1. [구속조건] 클릭.
2. 기본 탭 선택.
3. 구속조건 입력

경계조건세트	Support
대상종류	면
대상선택	32개 선택 
조건	고정구속 

4. [확인] 버튼 클릭.

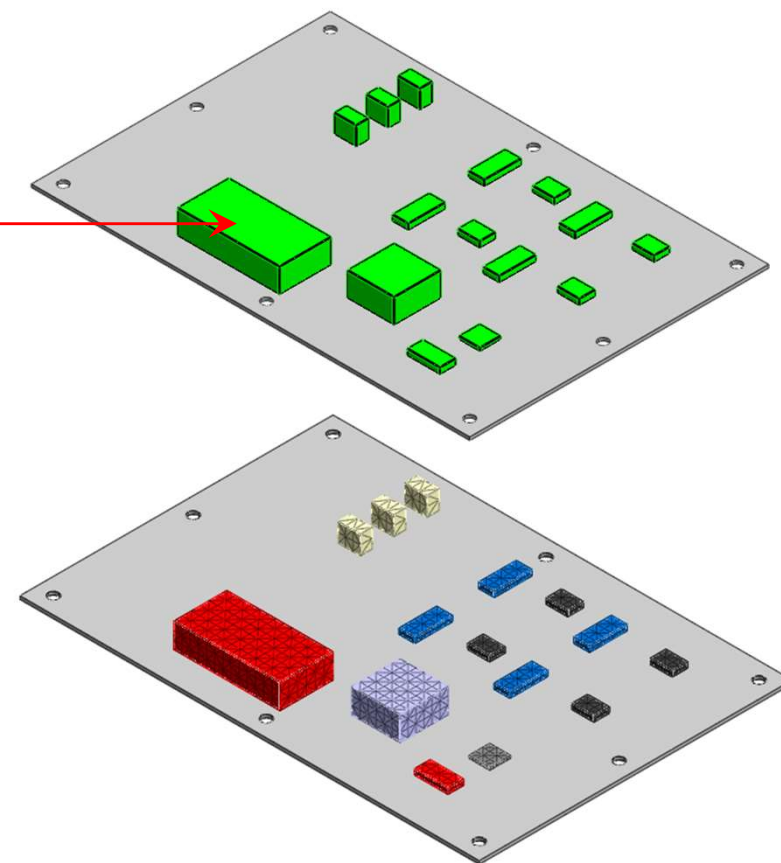
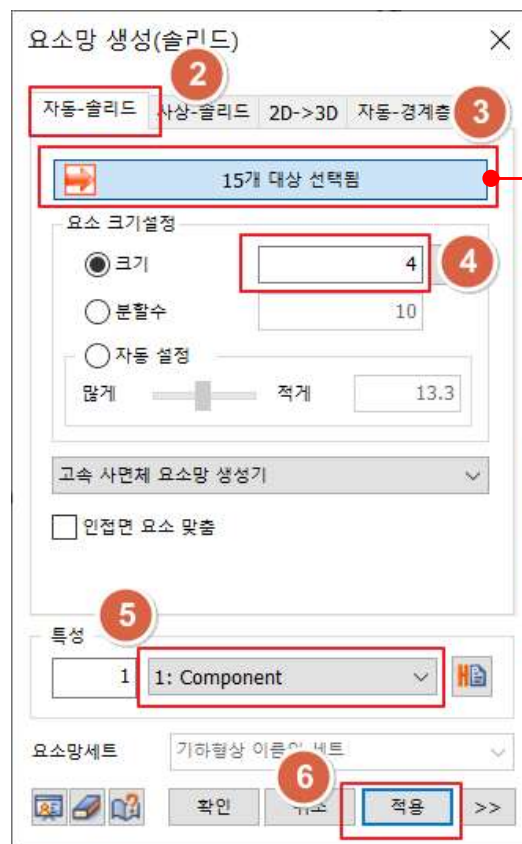
 8개의 홀 내부의 면들을 모두 선택합니다. 뒷면보기 상태에서 마우스 드래그로 선택하시면 보다 수월하게 선택할 수 있습니다.

 **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.



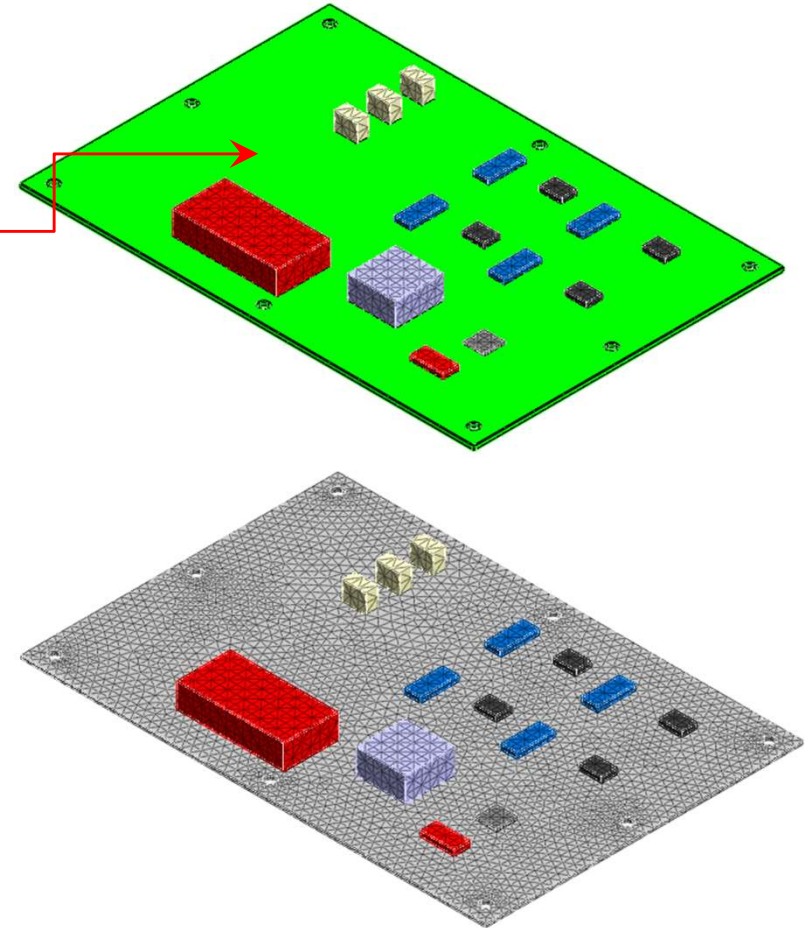
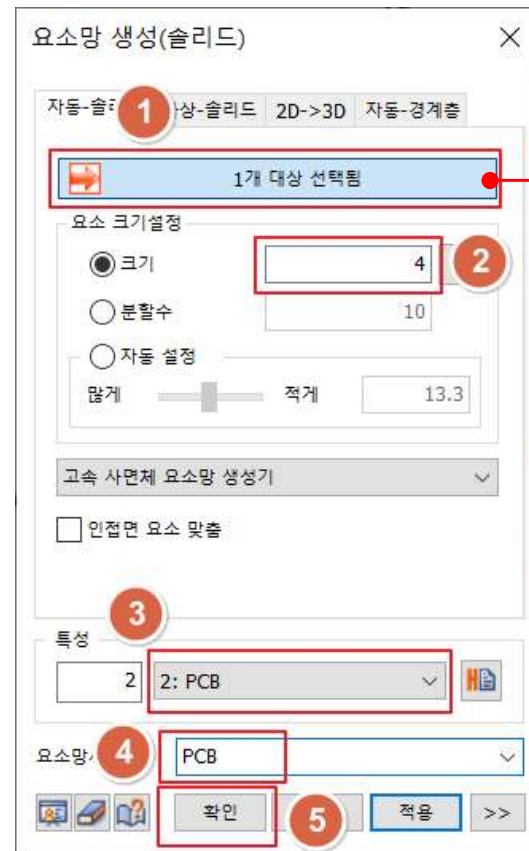
작업순서

1. [3D] 클릭.
2. 자동-솔리드 탭 클릭.
3. 솔리드 15개 선택. (그림 참조)
4. 요소 크기설정 : 4mm
5. 특성 : [1: Component] 선택.
6. [적용] 버튼 클릭.



작업순서

1. 솔리드 1개 선택. (그림 참조)
2. 요소 크기설정 : 4mm
3. 특성 : [2: PCB] 선택.
4. 이름 : PCB 입력.
5. [확인] 버튼 클릭.



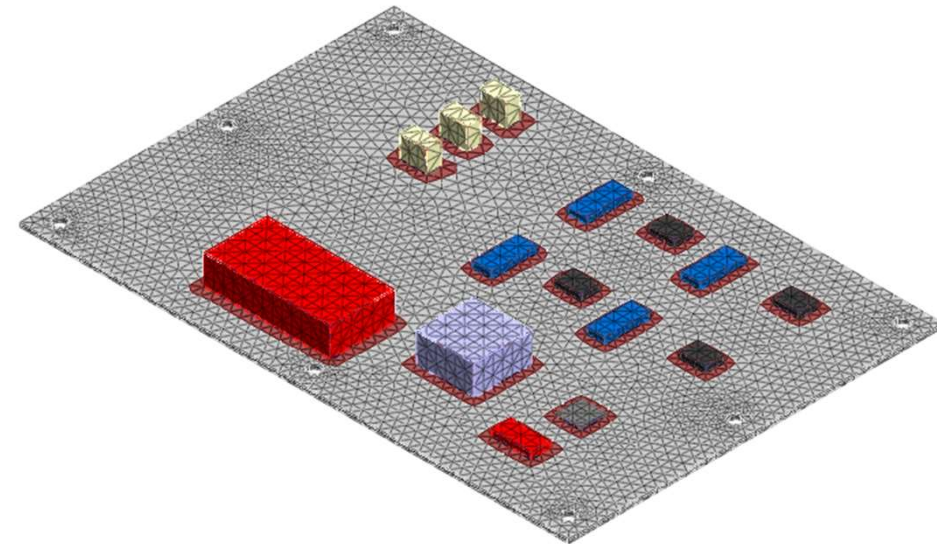
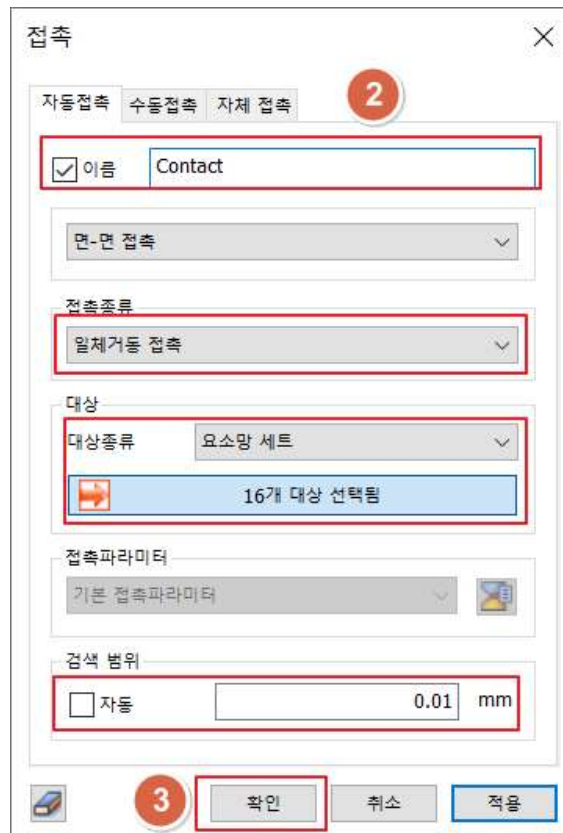
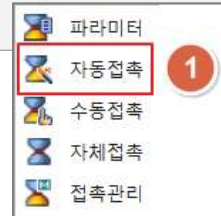
작업순서

1. [자동접촉] 클릭.

2. 자동접촉조건 입력

이름	Contact
접촉종류	일체거동
대상 종류	요소망 세트
대상 선택	전체선택
검색 범위	0.01

3. [확인] 버튼 클릭



💡 검색범위 내에 있는 요소 간의 접촉을 자동으로 정의합니다.

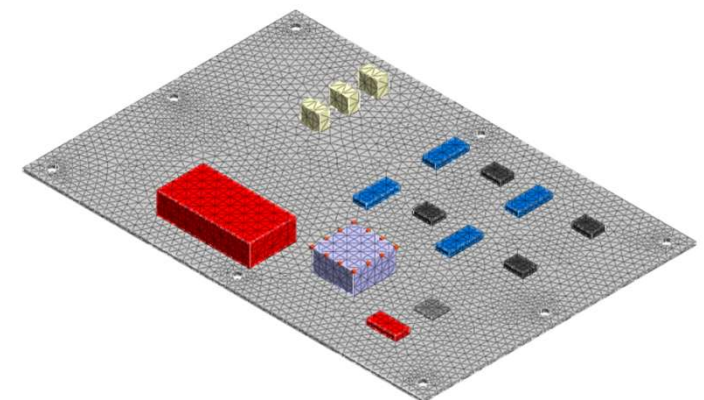
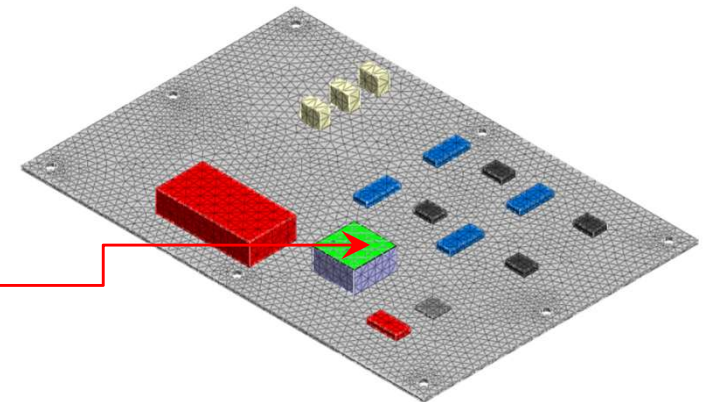
작업순서

1. [센서정의] 클릭.

2. 센서 조건 입력

이름	Sensor
대상종류	면
대상선택	1개 선택
센서 종류	온도
방법	MAX

3. [확인] 버튼 클릭.



선택한 면에 포함된 절점들의 최대 온도를 센서로 정의합니다.
해석 옵션에서 센서를 이용하여 해석 종료 조건을 설정할 수 있습니다.


작업순서

1. [단일해석] 클릭.

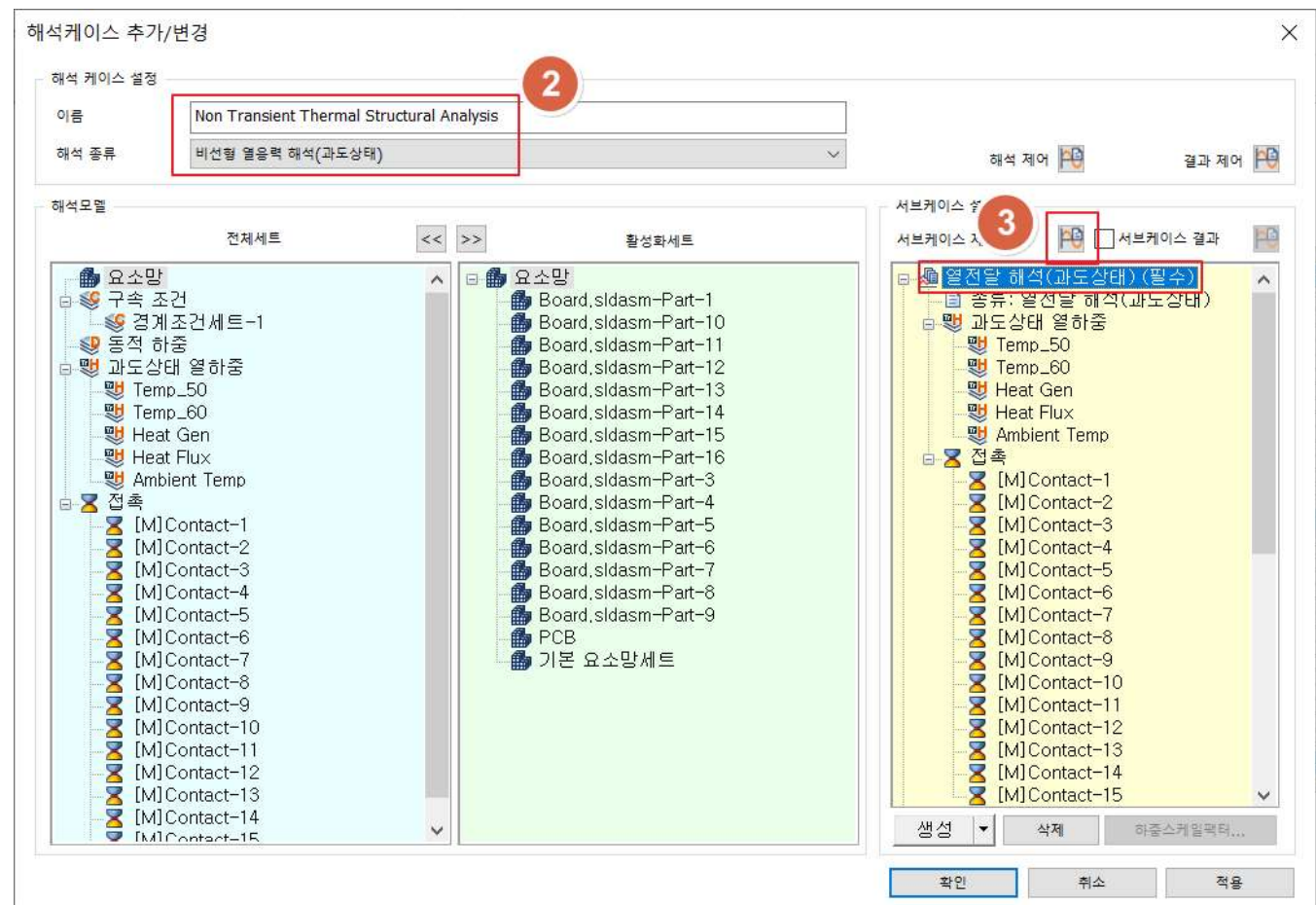
2. 해석케이스 설정

이름	Non Transient Thermal Structural Analysis
해석 종류	비선형 열응력 해석 (과도상태)

3. 열전달 해석 (과도상태) (필수) 선택

[] (서브케이스 제어) 버튼 클릭

💡 기본적으로 현재 작업된 요소망세트, 경계조건, 하중조건 등이 모두 활성화 됩니다.



작업순서

1. [과도상태 비선형] 탭 선택.

2. 목표시간스텝 설정

전체 시간	1000
시간 스텝 개수	200
중간 결과 출력	1

3. [센서] 체크 후 [Sensor] 선택,

[>=] 선택, 값 : 100 입력.

4. [온도변화가 다음 값보다 작은 경우]

체크 후, 0.001 입력.

5. [일반] 탭 선택.

6. [초기온도] 체크 후, 20 입력..

7. [확인] 버튼 클릭.

8. [확인] 버튼 클릭.

💡 앞서 설정한 센서의 값이 100보다 크거나 같은 경우 또는 스텝 간의 온도 변화 0.001보다 작은 경우에는 그 시점에서 해석을 종료합니다.

💡 과도상태 열전달해석에서는 반드시 초기 온도를 설정해 주어야 합니다.

서버케이스 제어

과도상태 비선형 일반

목표시간스텝 설정

☒ 등간격

전체 시간 1000 sec

시간 스텝 개수 200

중간 결과 출력 1

☐ 자동 시간 스텝

중분당 최대 온도 변화 5

초기시간 중분대비 최대시간 중분 5

☐ 사용자 정의

시간스텝정의...

수렴기준 / 오류요자

☐ 변위 (U) 0.001

☒ 하중 (P) 0.001

☒ 일량 (W) 1e-06

종료 조건

☒ 센서 Sensor >= 값 100

☒ 온도변화가 다음 값보다 작은 경우 0.001 1/sec

고 파라미터...

확인 취소

서버케이스 제어

과도상태 비선형 일반

초기온도(온도차=온도하중-초기온도)

☒ 초기 온도 20 [T]

☐ 하중세트에 의한 초기온도 없음


☐ 열전달 결과 저장하기

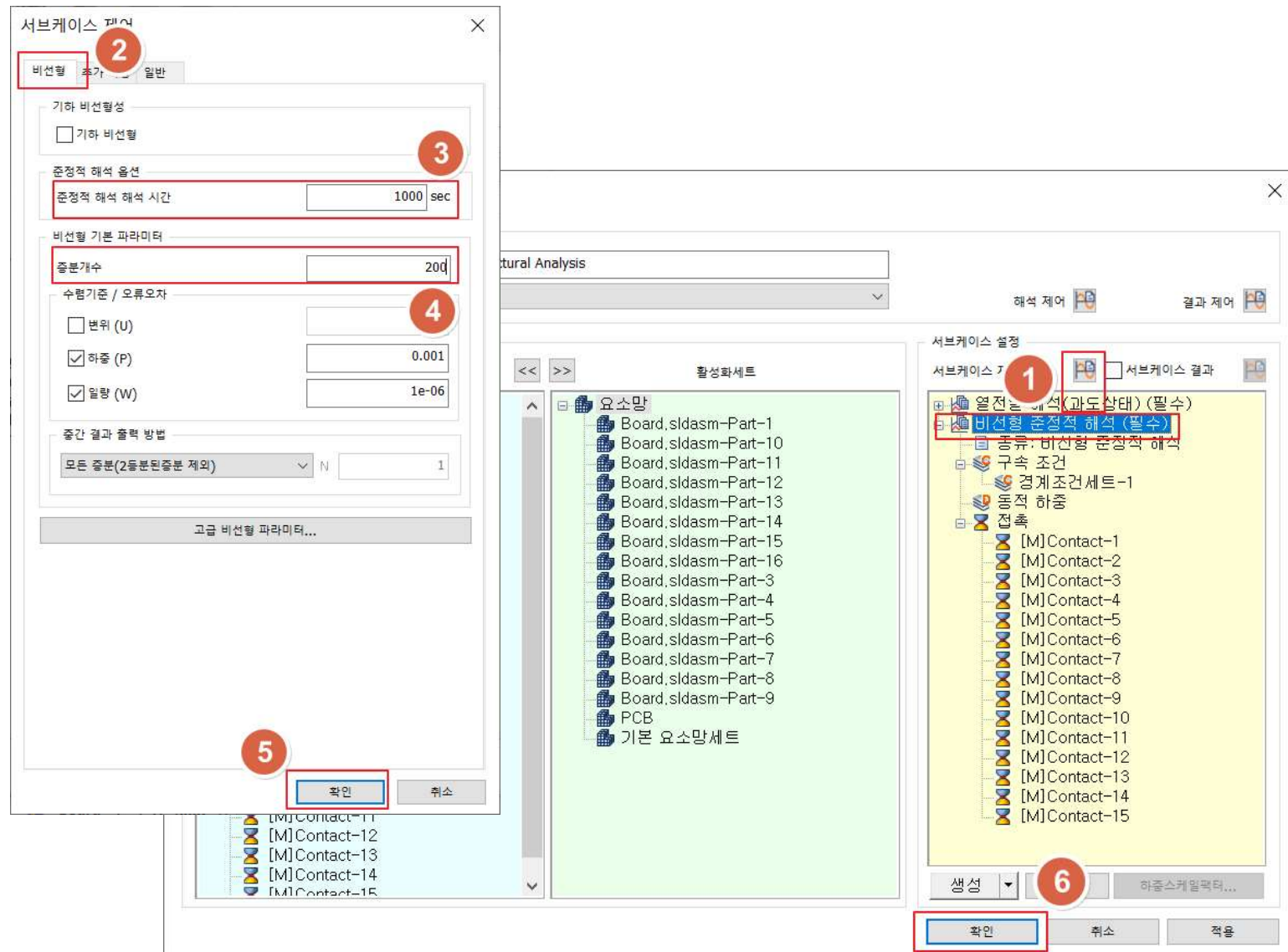
시작스텝 0 스텝간격 0

☐ 열전달 결과 불러오기

확인 취소

작업순서

1. 서브케이스 설정 목록에서 하단의 비선형 준정적 해석 (필수) 선택
[] (서브케이스 제어) 버튼 클릭
2. [비선형] 탭 선택.
3. 준정적 해석 해석 시간 [1000]sec
4. 증분개수 [200]
5. [확인] 버튼 클릭
6. [확인] 버튼 클릭

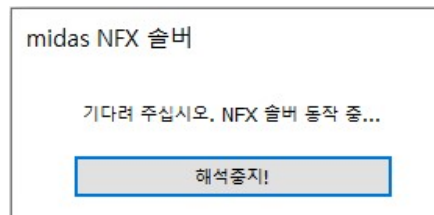


작업순서

1. [실행] 클릭.
2. [확인] 버튼 클릭.



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



작업순서


1. 해석 및 결과 트리창

[열전달 해석(과도상태)] 선택.

2. INCR=146 >> [온도] 더블 클릭.

(열전달 해석의 마지막 스텝)

3. 작업원도우 하단의 애니메이션 도구

모음에서 [] (멀티-스텝 애니메이션 녹화) 버튼 클릭.

4. 활성화된 [] 버튼 클릭.

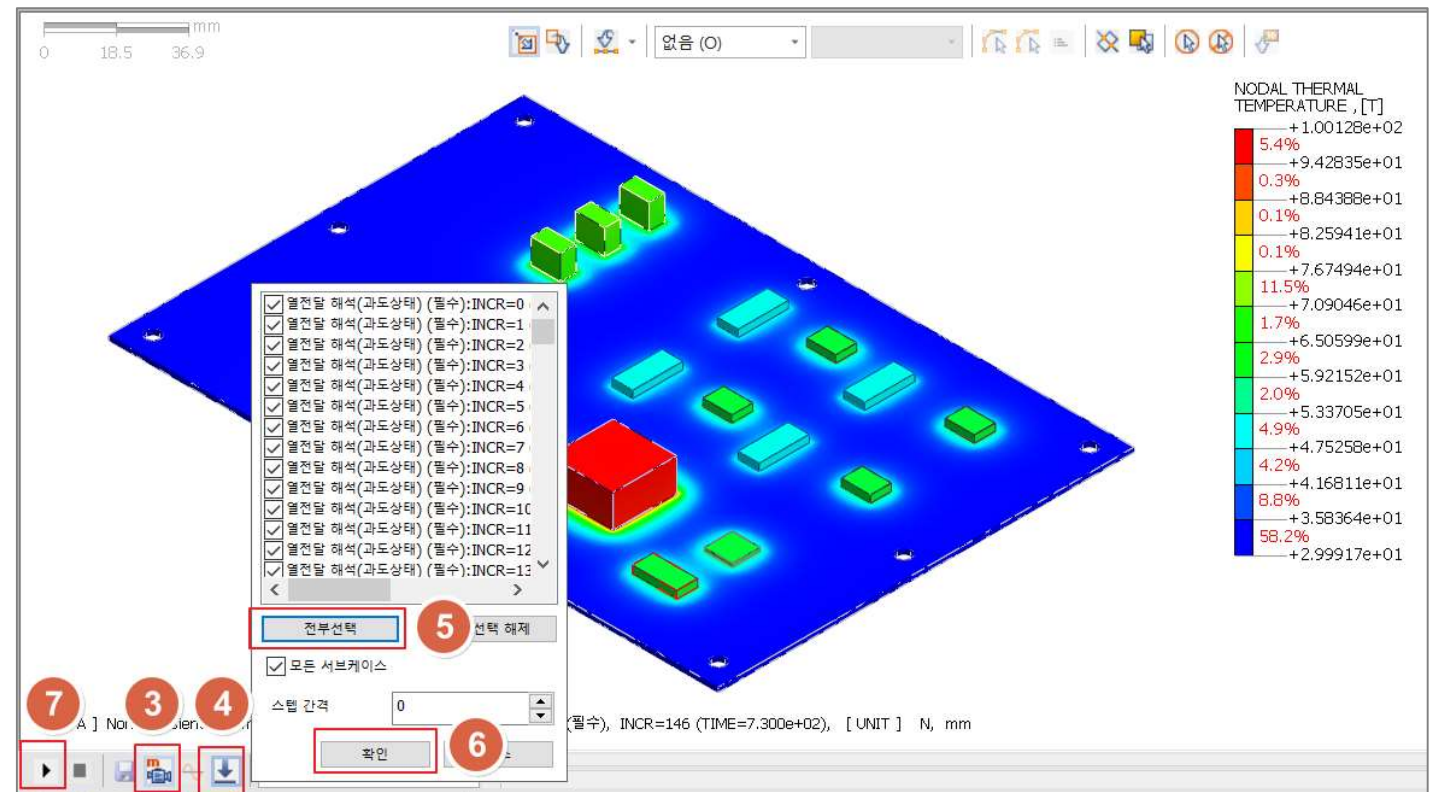
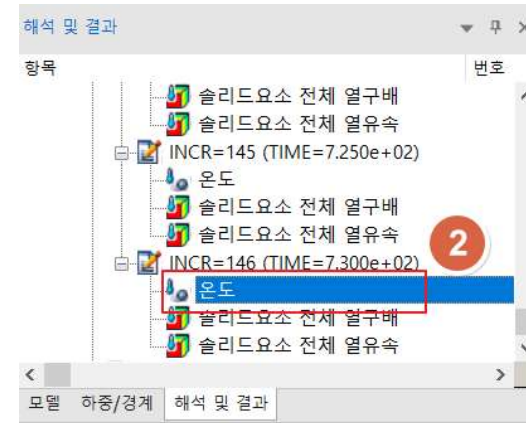
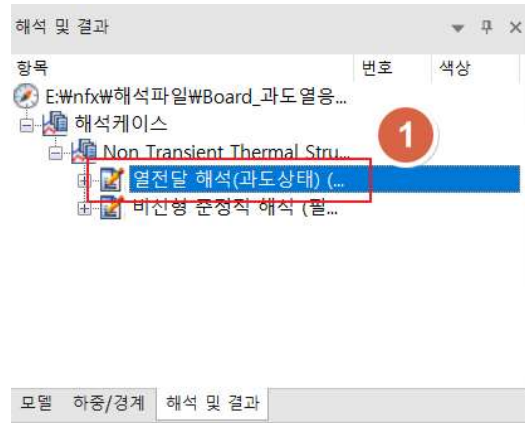
5. [전부선택] 버튼 클릭.

6. [확인] 버튼 클릭.

7. 애니메이션 도구모음에서 [] (재생) 버튼 클릭.

💡 설정한 전체 해석시간(1000sec) 전에 앞서 센서로 설정한 항목으로(센서부의 온도가 100도를 넘어서게 되면 종료) 해석이 종료된 것을 확인할 수 있습니다.

💡 작업창에 스텝별 변위가 변하는 것을 애니메이션으로 확인할 수 있습니다.



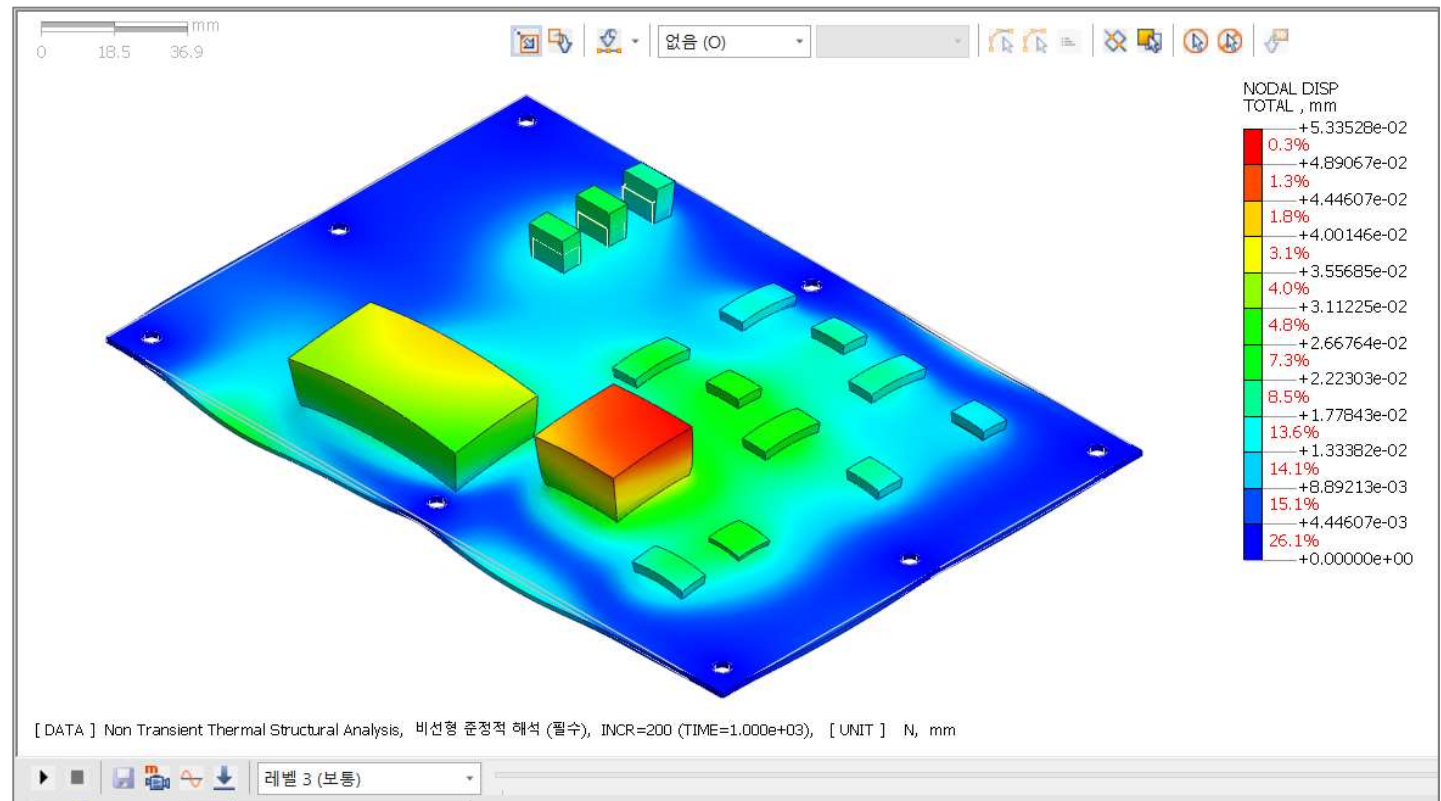
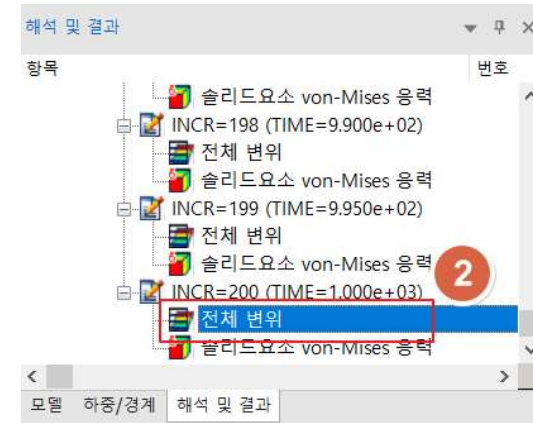
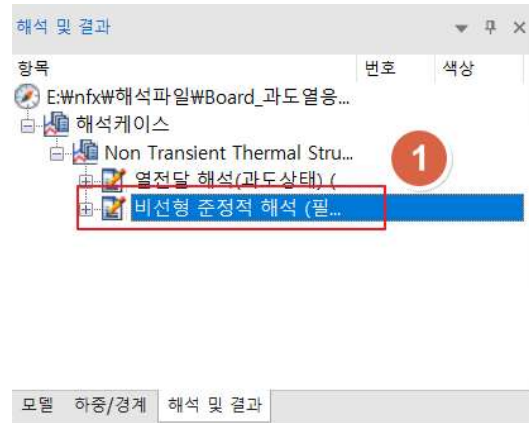
작업순서

1. 해석 및 결과 트리창

[비선형 준정적 해석 (필수)] 선택.

2. INCR=200 >> [전체 범위] 더블 클릭.

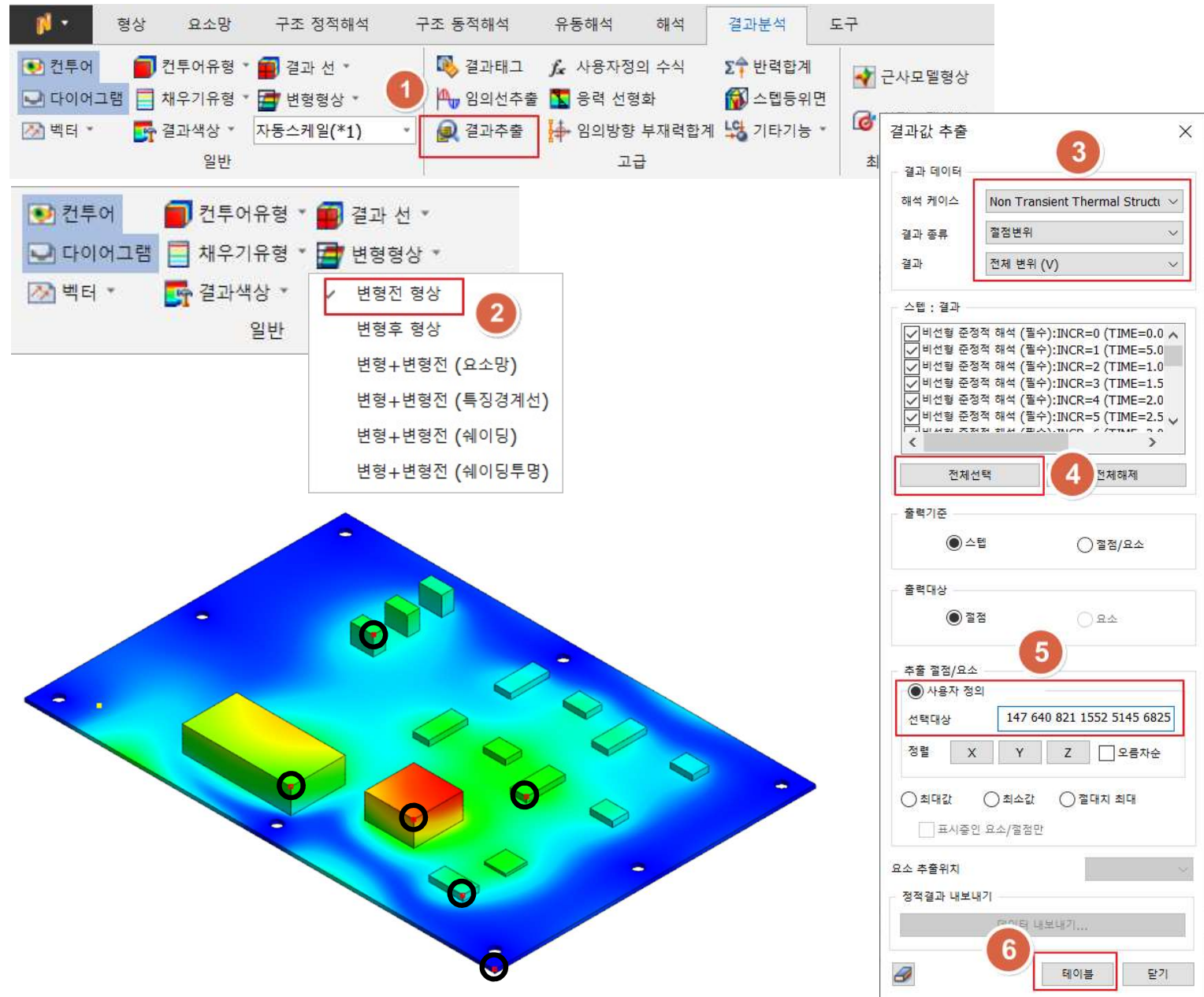
(비선형 준정적 해석의 마지막 스텝)



작업순서

1. [결과추출] 클릭.
2. 결과분석 >> 일반 >> 변형형상 >> [변형전 형상] 선택.
3. 결과 데이터 선택

해석 케이스	Non Transient Ther..
결과 종류	절점변위
결과	전체 변위(V)
4. [전체선택] 버튼 클릭.
5. 추출 절점/요소 : [O] 표시된 6개의 절점 선택. (그림참조)
6. [테이블] 버튼 클릭 후 결과값 확인.



작업순서

1. 마우스 오른쪽 클릭하여 [그래프 보기] 선택.

2. 그래프 옵션 설정

X축	번호
Y축	선택한 절점 1
	선택한 절점 2
	선택한 절점 3
	선택한 절점 4
	선택한 절점 5
	선택한 절점 6

3. [미리보기] 버튼 클릭.



MS EXCEL을 이용하여 추가작업이 필요한 경우에는 [엑셀 내보내기]를 선택하면 테이블 결과가 엑셀로 출력 됩니다.

번호	스텝	스텝 값	절점:147 전체 변위 (V) (mm)	절점:640 전체 변위 (V) (mm)	절점:821 전체 변위 (V) (mm)	절점:1552 전체 변위 (V) (mm)	절점:5145 전체 변위 (V) (mm)	절점:6825 전체 변위 (V) (mm)
1	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=0 (TIME=0.000e+00)	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
2	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=1 (TIME=5.000e+00)	뷰탭에 도킹	7e-03	1.049973e-02	5.777768e-04	5.059930e-04	4.284010e-03	6.860345e-05
3	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=2 (TIME=1.000e+01)	열 순서 초기화	7e-02	2.092301e-02	1.225580e-03	1.018294e-03	8.585751e-03	1.375547e-04
4	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=3 (TIME=1.500e+01)	복사	6e-02	2.083803e-02	1.698183e-03	1.209978e-03	8.928615e-03	1.403995e-04
5	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=4 (TIME=2.000e+01)	붙여넣기	8e-02	2.081340e-02	2.197503e-03	1.435000e-03	9.307560e-03	1.438505e-04
6	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=5 (TIME=2.500e+01)	찾기...	0e-02	2.081939e-02	2.692414e-03	1.678497e-03	9.701213e-03	1.476335e-04
7	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=6 (TIME=3.000e+01)	정렬...	2e-02	2.084021e-02	3.177245e-03	1.932397e-03	1.010150e-02	1.515925e-04
8	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=7 (TIME=3.500e+01)	형식...	7e-02	2.086842e-02	3.650641e-03	2.192179e-03	1.050478e-02	1.556468e-04
9	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=8 (TIME=4.000e+01)	그래프 보기...	4e-02	2.090045e-02	4.112236e-03	2.455181e-03	1.090916e-02	1.597495e-04
10	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=9 (TIME=4.500e+01)		5e-02	2.093454e-02	4.561993e-03	2.719753e-03	1.131352e-02	1.638701e-04
11	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=10 (TIME=5.000e+01)		5e-02	2.096977e-02	5.000024e-03	2.984832e-03	1.171710e-02	1.679873e-04
12	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=11 (TIME=5.500e+01)		3e-02	2.100563e-02	5.426520e-03	3.249708e-03	1.211937e-02	1.720852e-04
13	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=12 (TIME=6.000e+01)		4e-02	2.104183e-02	5.841720e-03	3.513891e-03	1.251992e-02	1.761522e-04
14	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=13 (TIME=6.500e+01)		6e-02	2.107819e-02	6.245881e-03	3.777039e-03	1.291843e-02	1.801791e-04
15	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=14 (TIME=7.000e+01)		3e-02	2.111460e-02	6.639278e-03	4.038902e-03	1.331465e-02	1.841593e-04
16	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=1							
17	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=1							
18	비선형 준정적 해석 (물수):INCR=1							

정의

차트 이름 새로운 차트

X축 이름 번호

Y축 이름 Y

X축 소수점 자릿수 4 ☐ 지수

Y축 소수점 자릿수 4 ☐ 지수

☐ 요약보기 ☐ 새로운 X축으로 ...

로그 스케일

포맷 ☐ X축 ☐ Y축

Base 10 10

X축

스텝 값

Y축

☐ 번호

☐ 스텝

☐ 스텝 값

☒ 절점:147 전체 변위 (V)

☒ 절점:640 전체 변위 (V)

☒ 절점:821 전체 변위 (V)

☒ 절점:1552 전체 변위 (V)

☒ 절점:5145 전체 변위 (V)

☒ 절점:6825 전체 변위 (V)

미리보기

