midas NFX
TOTAL SOLUTIONS FOR TRUE ANALYSIS-DRIVEN DESIGN

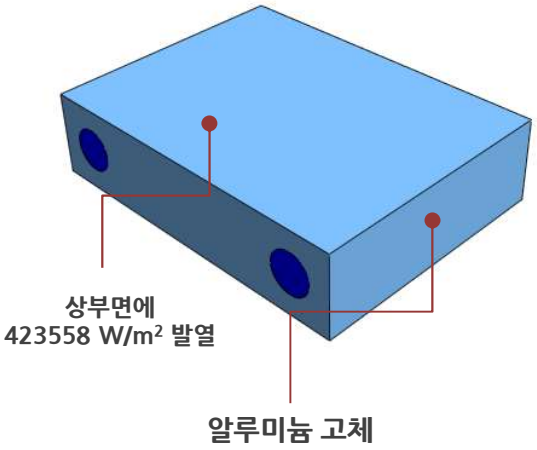
실무 따라하기

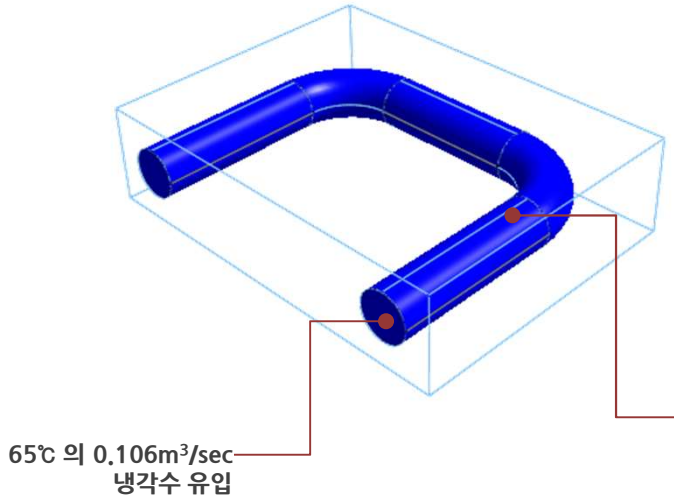
강제 수랭 해석 기본 예제

★ 본 예제는 반드시 “내부 유동 해석 기본 예제” 선행 학습이 필요합니다.
★ 본 예제는 반드시 “외부 유동 해석 기본 예제” 선행 학습이 필요합니다.

Contents

문제 설명 및 해석 목적





문제 설명

✓ 육면체 알루미늄 상부면 발열
✓ 육면체에 "ㄷ" 자 배관으로 냉각수 유입

해석 목적

✓ 발열 고체를 냉각수로 식히는 수랭해석 방법을 익힘

학습 주요 아이템

✓ 복합열전달 계산
✓ 발열조건 입력
✓ 온도조건 입력
✓ 2 Step 과도열전달 해석 수행방법

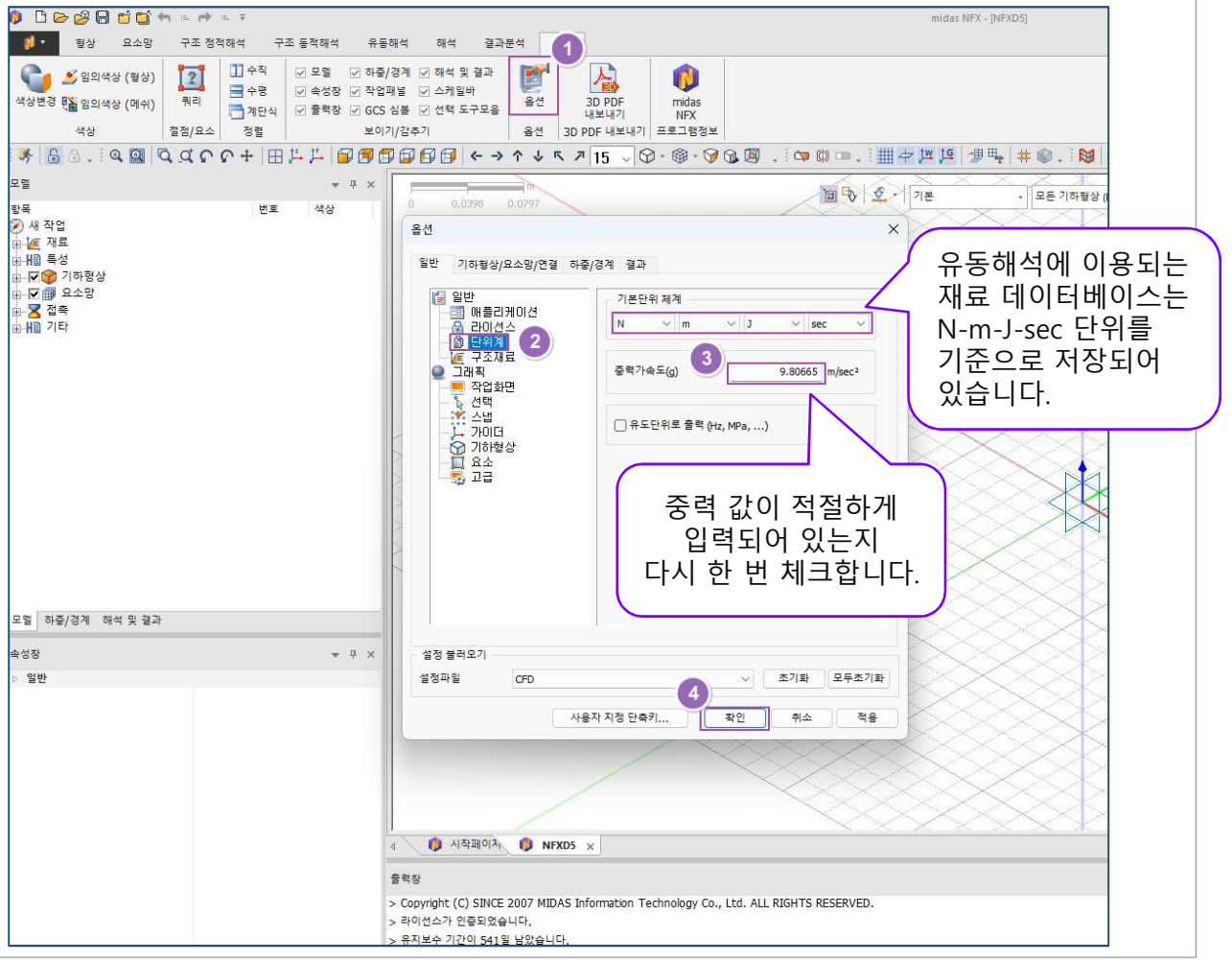
단위계 옵션 확인

① 리본 메뉴 “도구”
 ❯ 옵션 버튼 선택

② 옵션 창 ❯ “일반” 탭
 ❯ “단위계” 트리
 ❯ “기본단위 체계” 콤보박스
 : “N-m-J-sec” 확인

③ “중력가속도” 입력 창
 : “9.8” 확인

④ “적용” 버튼 클릭



프로세서 개수 선택 및 솔버 선택

해석조건 설정 > 기하형상 제작 > 재료·특성 정의 > 경계 조건 입력 > 인접 조건 설정 > 요소망생성 > 해석 케이스 정의 > 계산 실행 > 결과검토

① 리본 메뉴 “해석”
 ❯ 옵션 버튼 선택

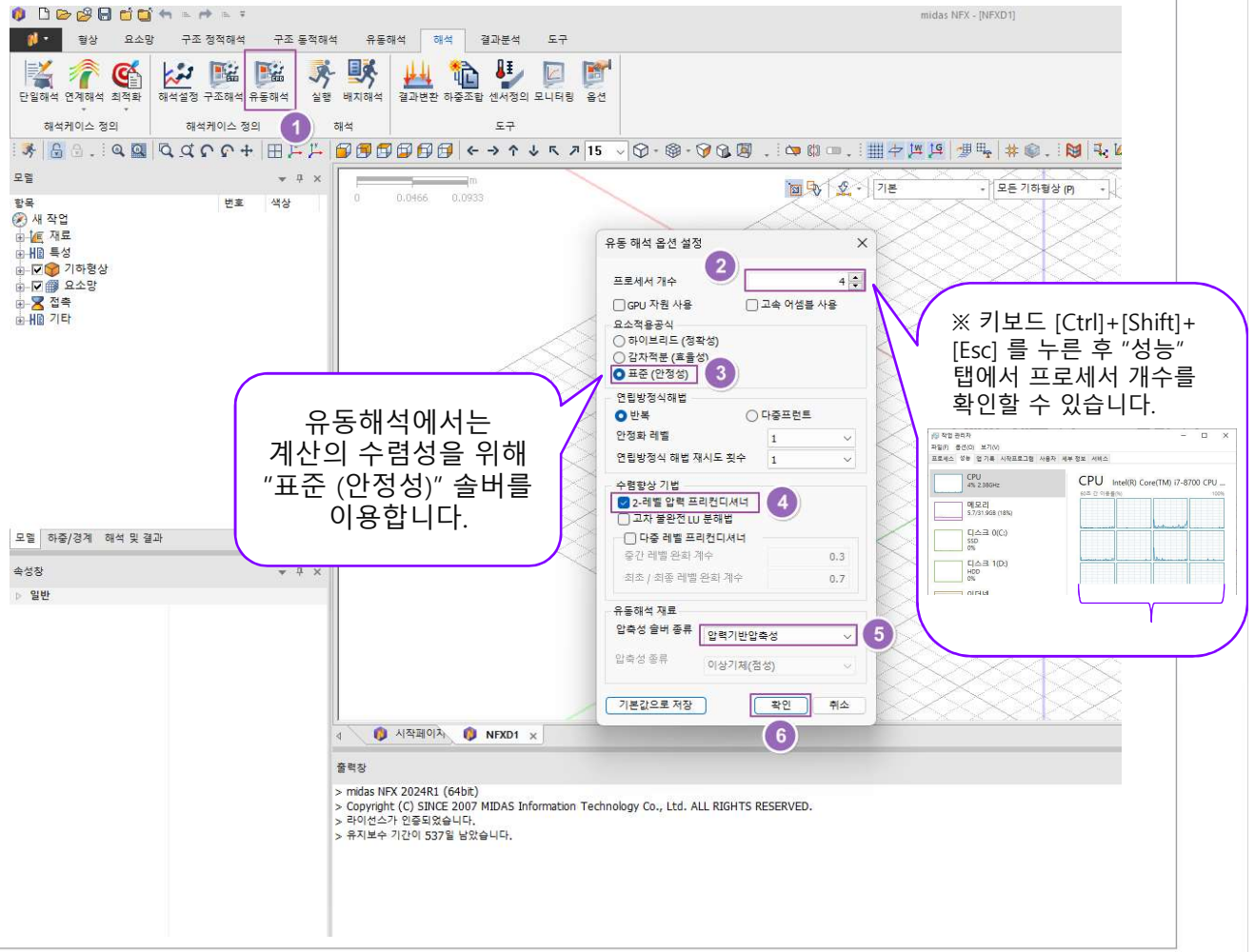
② “프로세서 개수” 입력창
 : 계산에 동원할 CPU 개수를 입력

③ “요소적용공식” 그룹박스
 ❯ “표준(안정성)” 라디오버튼 선택

④ “2-레벨 압력 프리컨디셔너” 클릭

⑤ “압축성 솔버 종류” 그룹박스
 ❯ “압력기반압축성”선택

⑥ “확인” 버튼 클릭



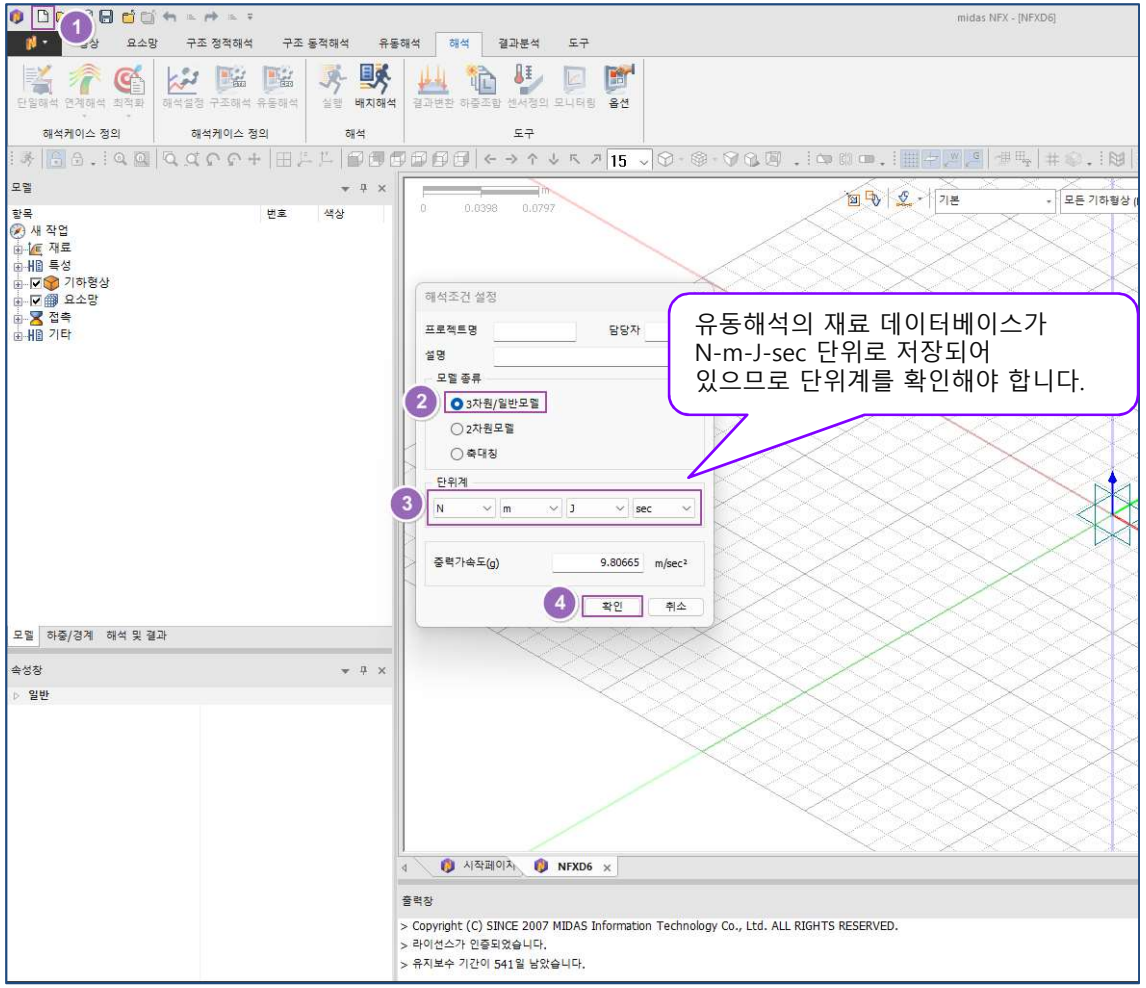
새로 만들기

① “새로만들기” 버튼 클릭

② “3차원/일반모델” 라디오버튼 클릭

③ “단위계” 그룹박스 내
: N-m-J-sec 설정

④ “확인” 버튼 클릭



기하형상 불러오기

① “형상” 리본메뉴
 ❯ “불러오기” 버튼 클릭

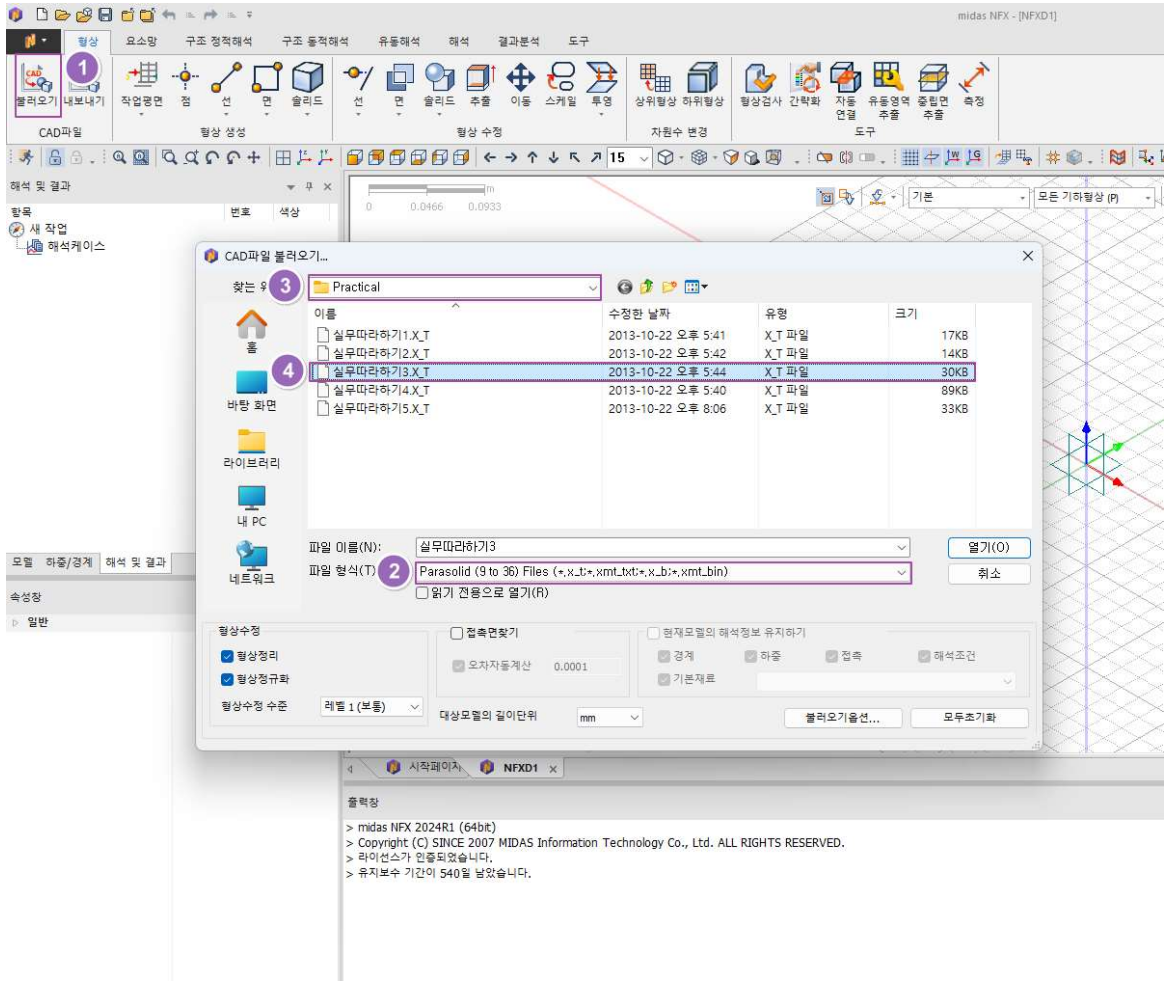
② “파일 형식” 콤보박스
 ❯ “Parasolid..” 선택

③ CAD 파일이 있는 폴더로 이동

④ “실무따라하기3.X_T”
 더블 클릭

※예제 파일 위치:

C:₩Program Files₩midas NFX₩Manual₩Tutorial₩midas NFX CFD₩Practical



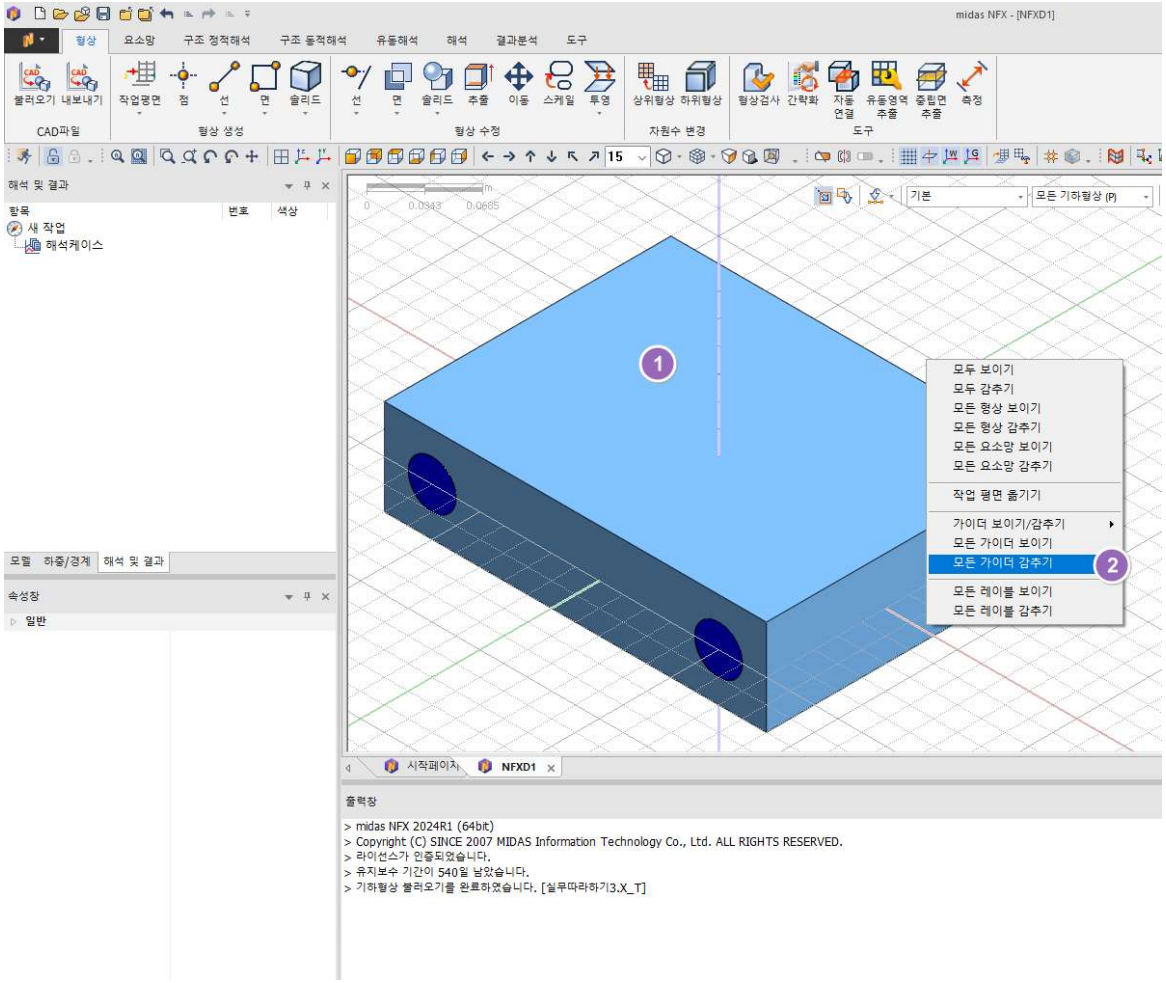
기하형상 불러오기

① 기하형상 확인

※ 키보드 마우스 조작을 통해 기하형상을 자세히 관찰합니다.

② 마우스 오른쪽 버튼 클릭
> "모든 가이더 감추기" 클릭

※ 실무에서는 냉각수 부분에 해당하는 유체체적이 없을 경우 앞선 예제를 참고하여 유체체적을 만들어야 합니다.



유체 재료 정의하기

해석조건 설정 | 기하형상 제작 | 재료·특성 정의 | 경계 조건 입력 | 인접 조건 설정 | 요소망생성 | 해석 케이스 정의 | 계산 실행 | 결과 검토

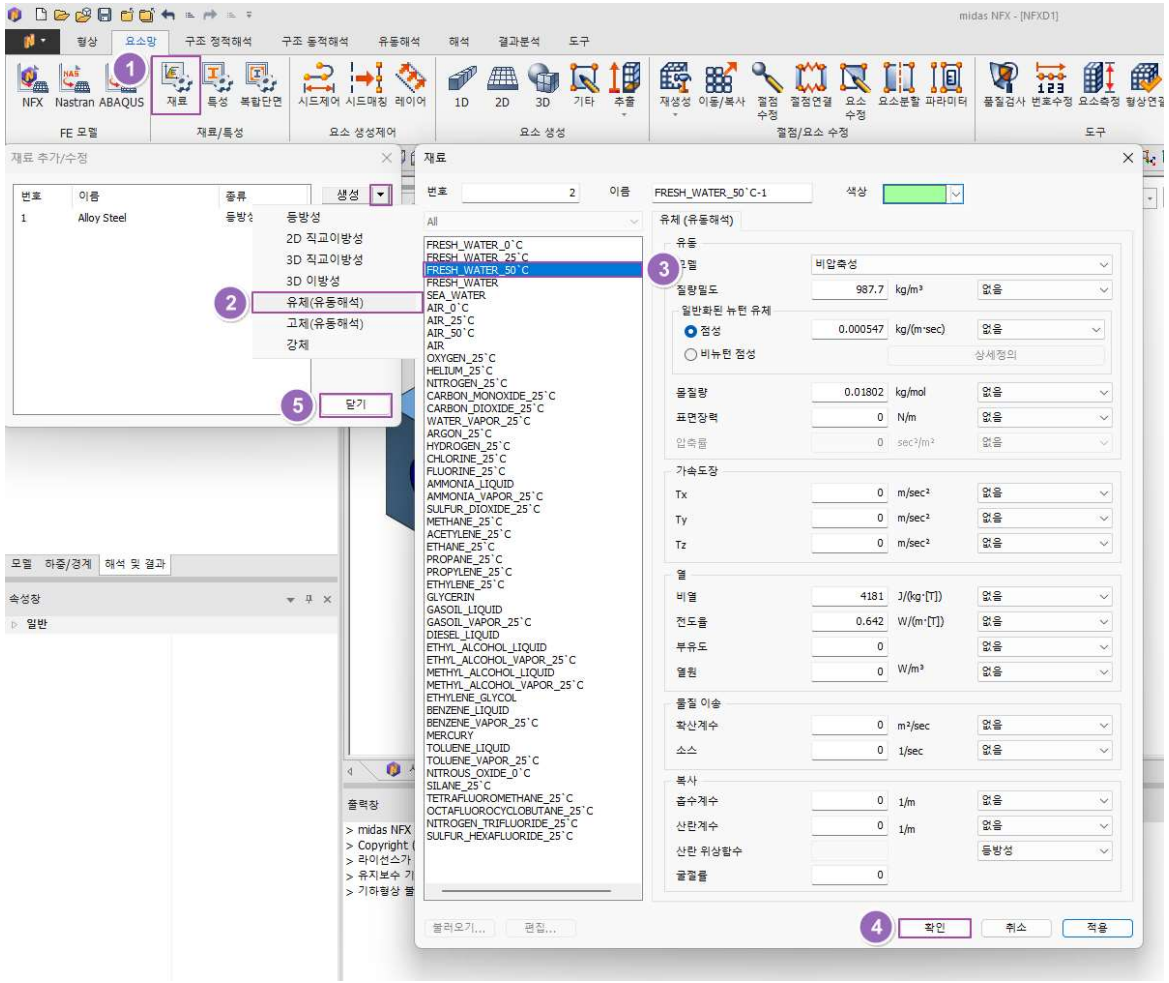
① “요소망” 리본 메뉴 클릭
 > “재료” 버튼 클릭

② “재료 추가/수정” 창
 > “생성” 옆 화살표 버튼 클릭
 > “유체(유동해석)” 선택

③ 재료 데이터베이스
 > “FRESH_WATER_50’C” 선택

④ “확인” 버튼 클릭

⑤ “닫기” 버튼 클릭



고체 재료 정의하기

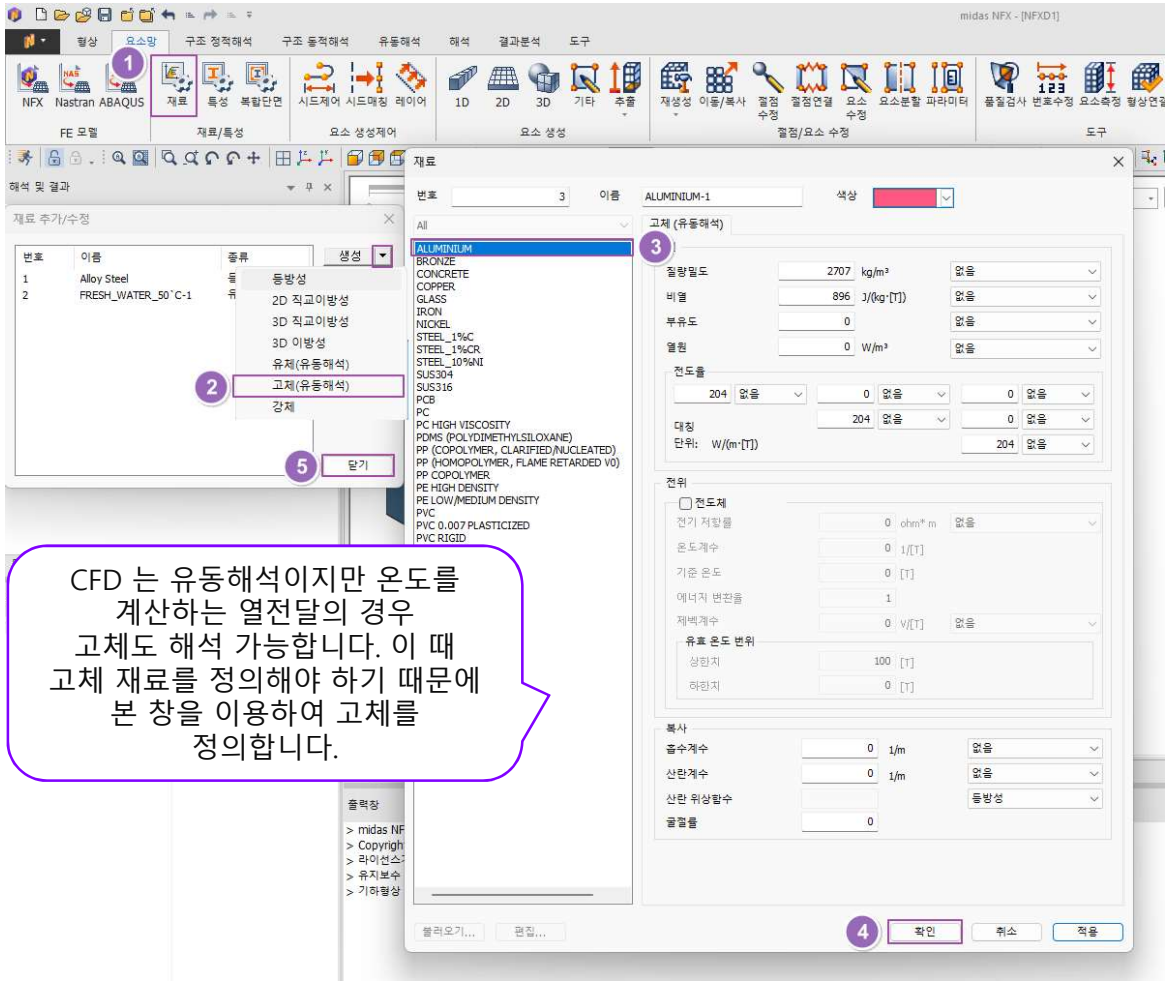
① “요소망” 리본 메뉴 클릭
 > “재료” 버튼 클릭

② “재료 추가/수정” 창
 > “생성” 옆 화살표 버튼 클릭
 > “고체(유동해석)” 선택

③ 재료 데이터베이스
 > “ALUMINIUM” 선택

④ “확인” 버튼 클릭

⑤ “닫기” 버튼 클릭



특성 정의하기

① “특성” 버튼 클릭

② “특성 추가/수정” 창
› “생성” 옆 화살표 버튼 클릭
› “ 3D...” 버튼 클릭

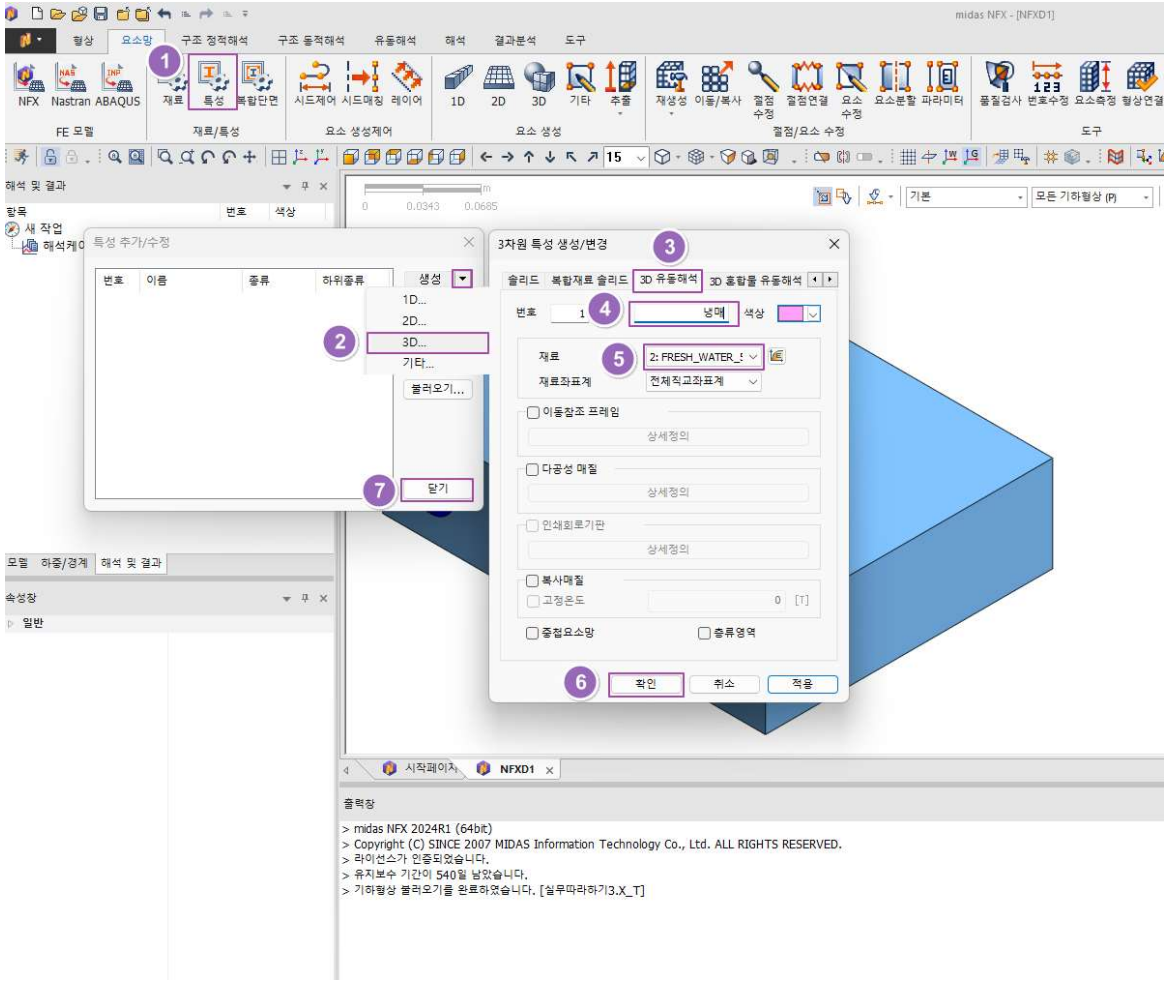
③ “3D 유동해석” 탭 선택

④ 이름 입력창 : “냉매” 입력

⑤ 재료 선택 창
: “2: FRESH_WATER_50’C” 선택

⑥ “확인” 버튼 클릭

⑦ “닫기” 버튼 클릭



특성 정의하기

① “특성” 버튼 클릭

② “특성 추가/수정” 창
› “생성” 옆 화살표 버튼 클릭
› “ 3D...” 버튼 클릭

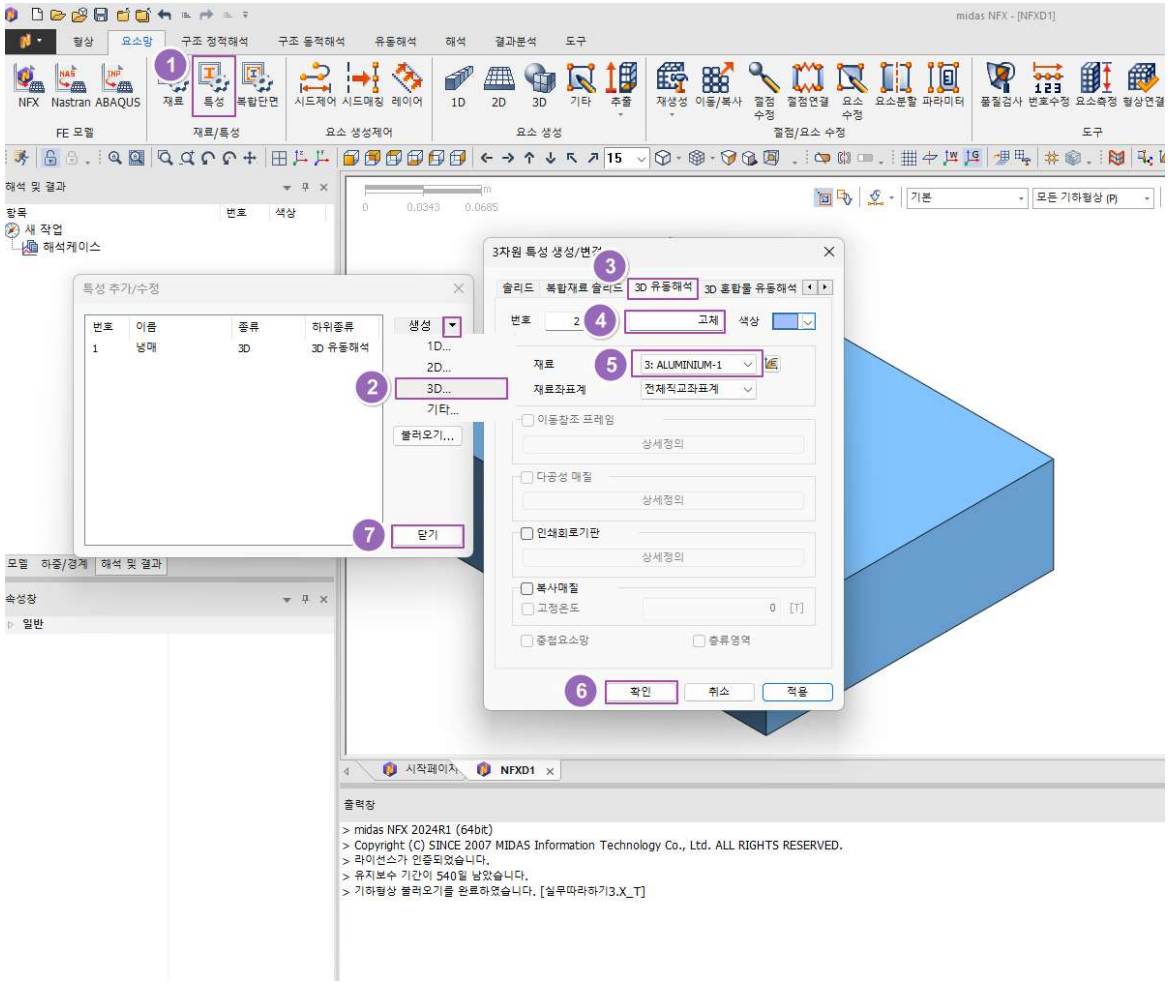
③ “3D 유동해석” 탭 선택

④ 이름 입력창 : “고체” 입력

⑤ 재료 선택 창
: “ALUMINIUM” 선택

⑥ “확인” 버튼 클릭

⑦ “닫기” 버튼 클릭



유체 유입 조건 설정 : 입구단

① “입구단” 버튼 클릭

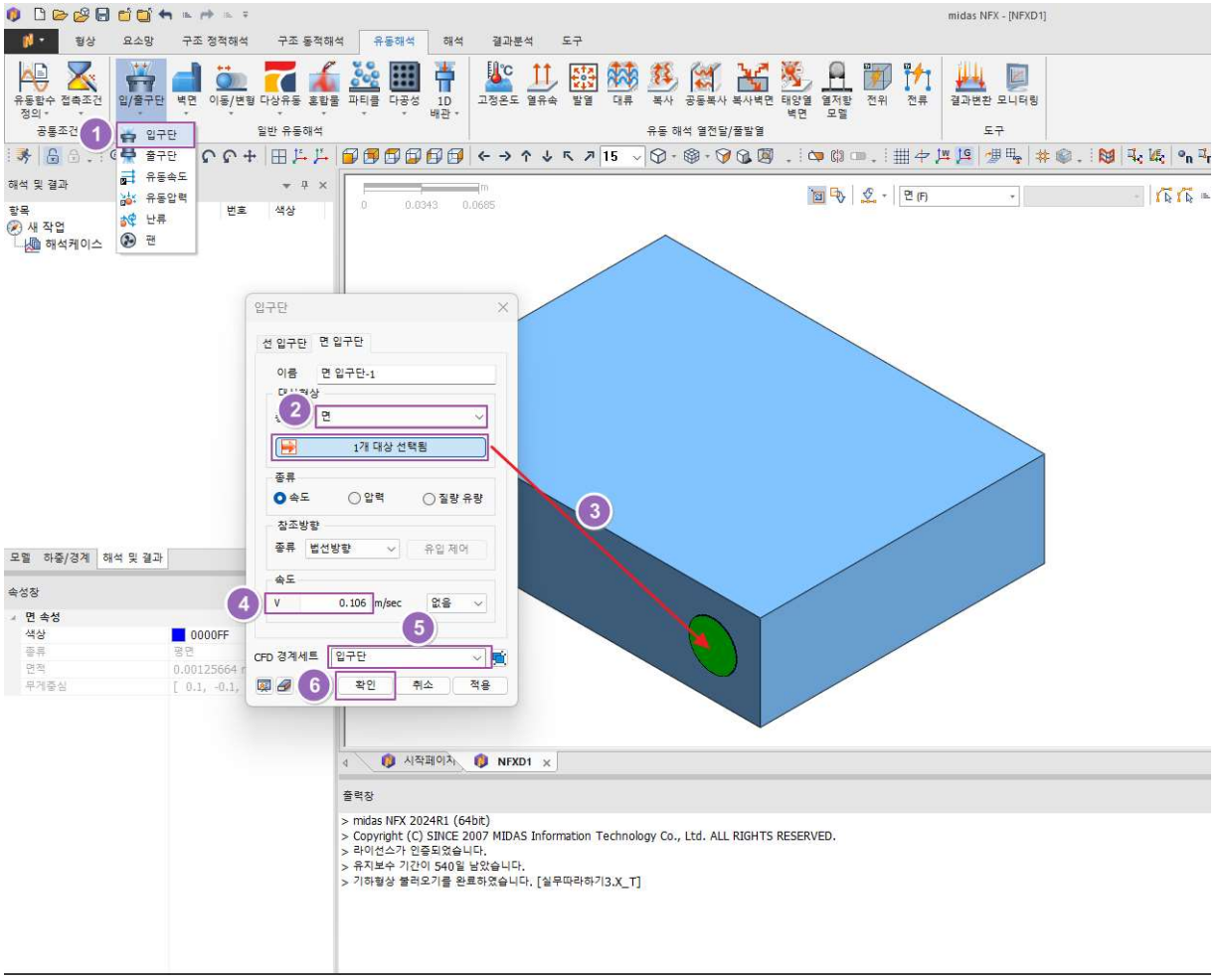
② “대상형상” > “종류” 선택 창 > “면” 선택

③ 냉각수 입구 부분 선택

④ “속도” > “V” : “0.106” 입력

⑤ “CFD 경계세트” 입력 창 > “입구단” 입력

⑥ “확인” 버튼 클릭



유체 유출 조건 설정 : 출구단

① “출구단” 버튼 클릭

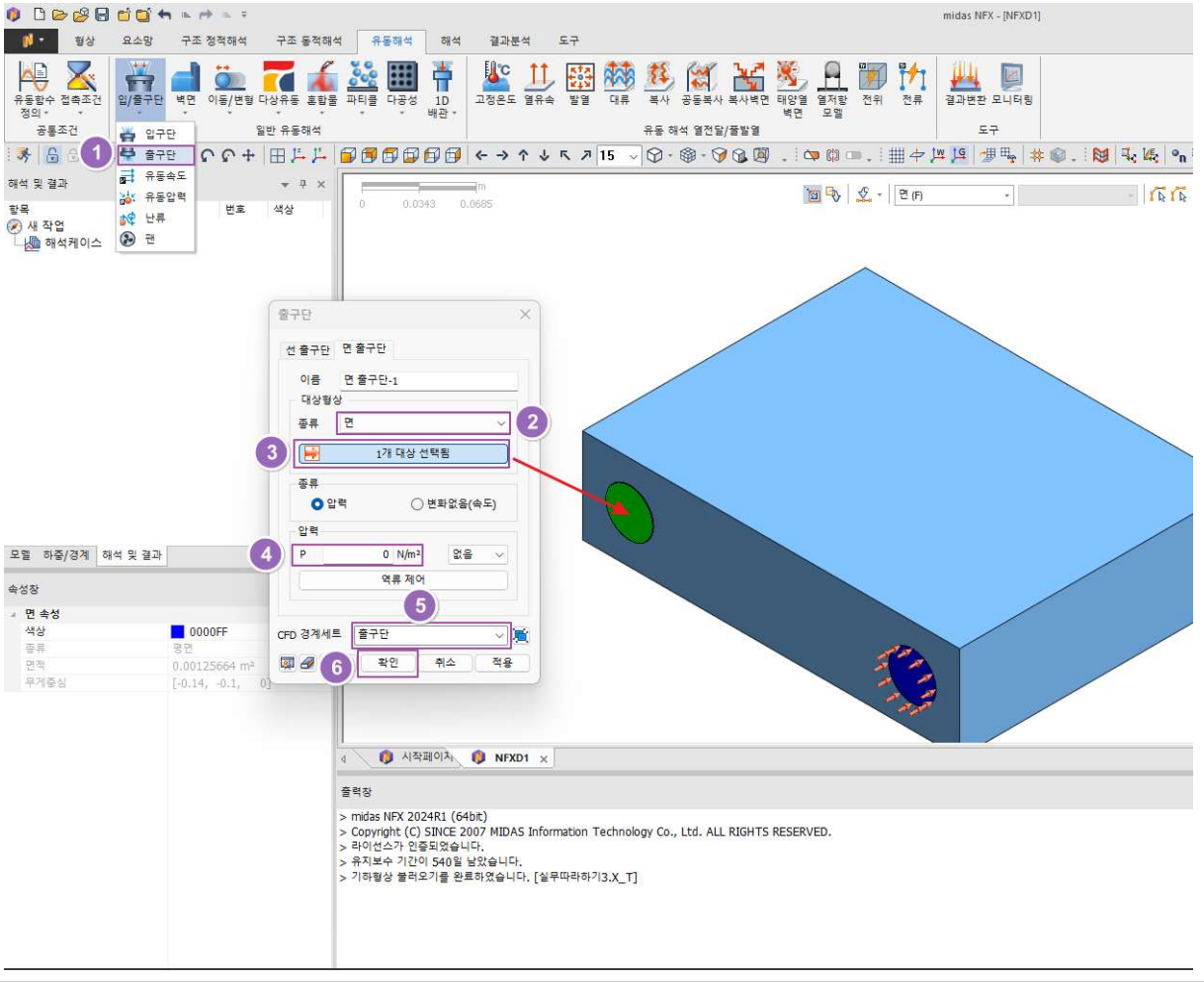
② “대상형상” > “종류” 선택 창 > “면” 선택

③ 구조 형상 후면 선택

④ “압력” > “값” : “0” 입력

⑤ “CFD 경계세트” 입력 창 > “출구단” 입력

⑥ “확인” 버튼 클릭



실제 구조 기하와 접하는 벽면 조건 설정

① “모델” 트리메뉴 > “기하형상” > “형상세트-1” > “솔리드” > > “Solid” 기하형상 체크박스 : 비활성화

② “벽면” 버튼 클릭

③ “대상형상” > “종류” 선택 창 > “면” 선택

④ 전체 선택 후 입구부와 출구부 제외

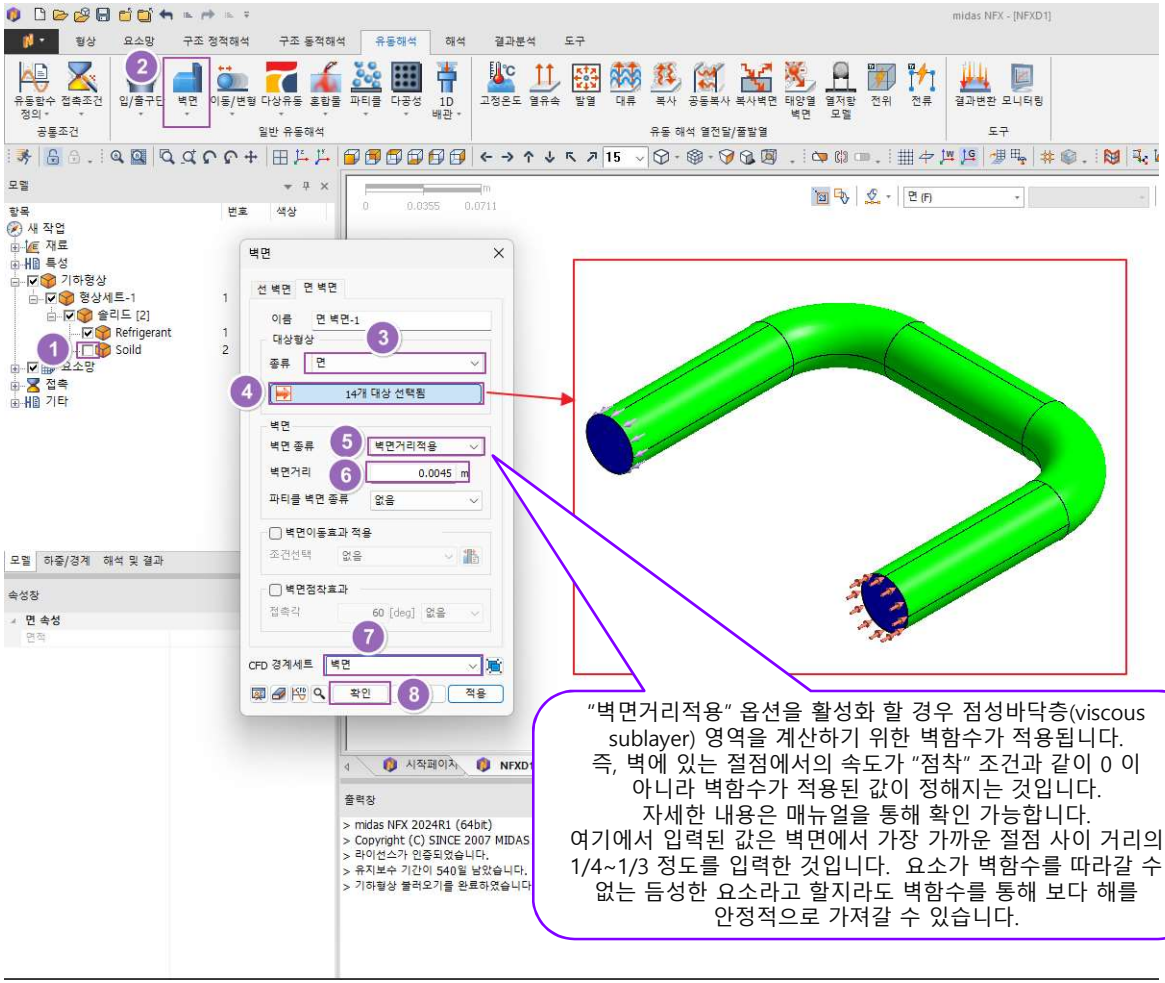
주의 : 총 14 개가 선택되는 지 확인 필요

⑤ 벽면 > 벽면종류 선택 창 : “벽면거리적용” 변경

⑥ “벽면거리” 입력창 : 0.0045 입력

⑦ “CFD 경계세트” 입력창 : “벽면” 입력

⑧ “확인” 버튼 클릭



“벽면거리적용” 옵션을 활성화 할 경우 점성바닥층(viscous sublayer) 영역을 계산하기 위한 벽함수가 적용됩니다.
즉, 벽에 있는 절점에서의 속도가 “점착” 조건과 같이 0 이 아니라 벽함수가 적용된 값이 정해지는 것입니다.
자세한 내용은 매뉴얼을 통해 확인 가능합니다.
여기에서 입력된 값은 벽면에서 가장 가까운 절점 사이 거리의 1/4~1/3 정도를 입력한 것입니다. 요소가 벽함수를 따라갈 수 없는 듬성한 요소라고 할지라도 벽함수를 통해 보다 해를 안정적으로 가져갈 수 있습니다.

냉각수 유입 온도 정의

① “고정온도” 버튼 클릭

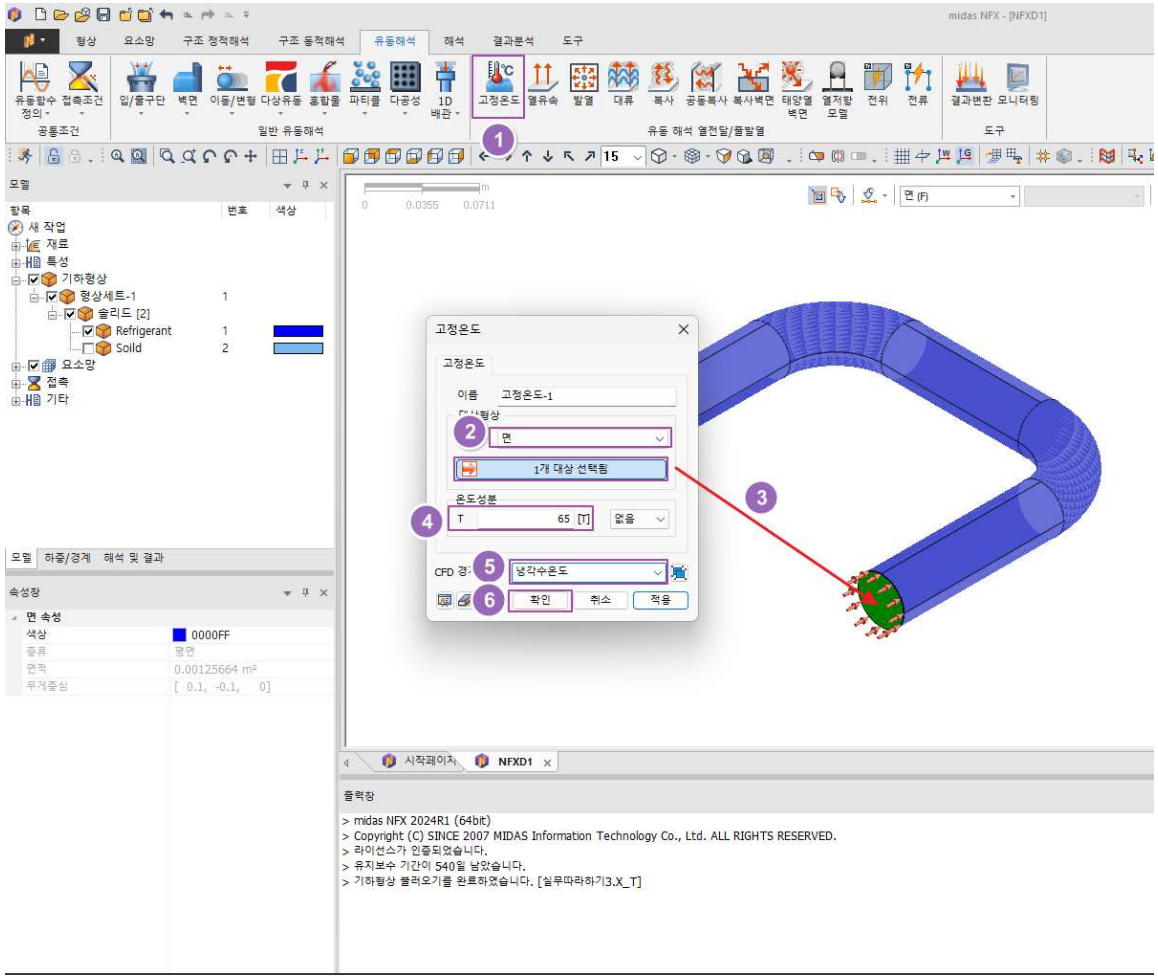
② “대상형상” > “종류” 선택 창 > “면” 선택

③ 입구부 선택

④ “온도” 입력 창 : “65” 입력

⑤ “CFD 경계세트” 입력창 : “냉각수온도” 입력

⑥ “확인” 버튼 클릭



고체 발열조건 지정

해석조건 설정 > 기하형상 제작 > 재료·특성 정의 > **경계 조건 입력** > 인접 조건 설정 > 요소망생성 > 해석 케이스 정의 > 계산 실행 > 결과 검토

① “모델” 트리메뉴 > “기하형상” > “형상세트-1” > “솔리드” > > “Solid” 기하형상 체크박스 : 활성화

② “열유속” 버튼 클릭

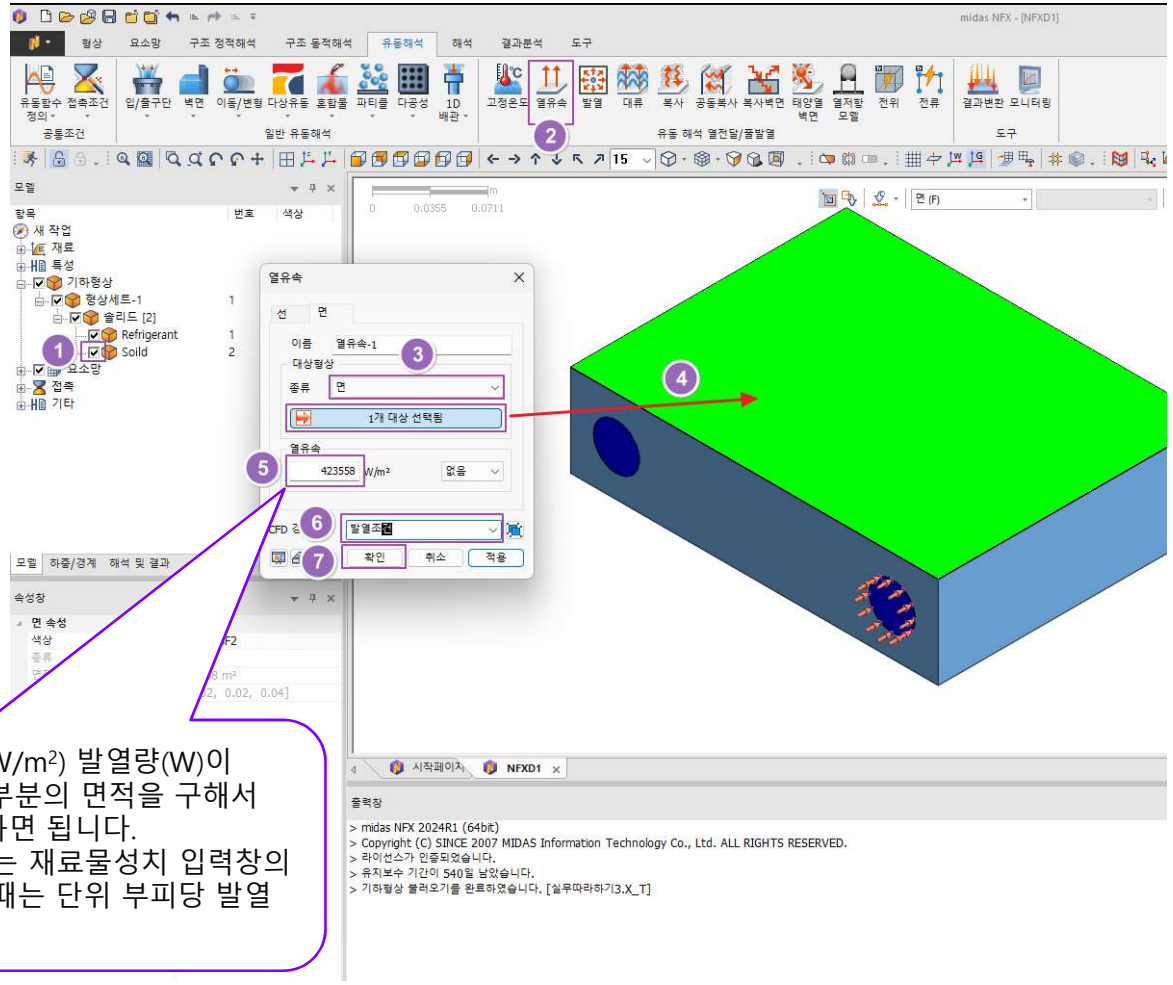
③ “대상형상” > “종류” 선택 창 > “면” 선택

④ 고체 상부면 선택

⑤ “열유속” 입력창 : “423558” 입력

⑥ “CFD 경계세트” 입력창 : “발열조건” 입력

⑦ “확인” 버튼 클릭



단위 면적당 발열량을 입력합니다.(W/m^2) 발열량(W)이 주어졌을 때, 경계조건이 입력되는 부분의 면적을 구해서 발열량을 면적으로 나눈 값을 입력하면 됩니다.
만약 부피에 발열량을 주고 싶을 때는 재료물성치 입력창의 "열원" 항목에 입력하면 됩니다. 이 때는 단위 부피당 발열량을 구해 입력합니다.

외부 대류조건 가정 (뉴튼 냉각 법칙 적용)

① "대류" 버튼 클릭

② "대상형상" > "종류" 선택 창 > "면" 선택

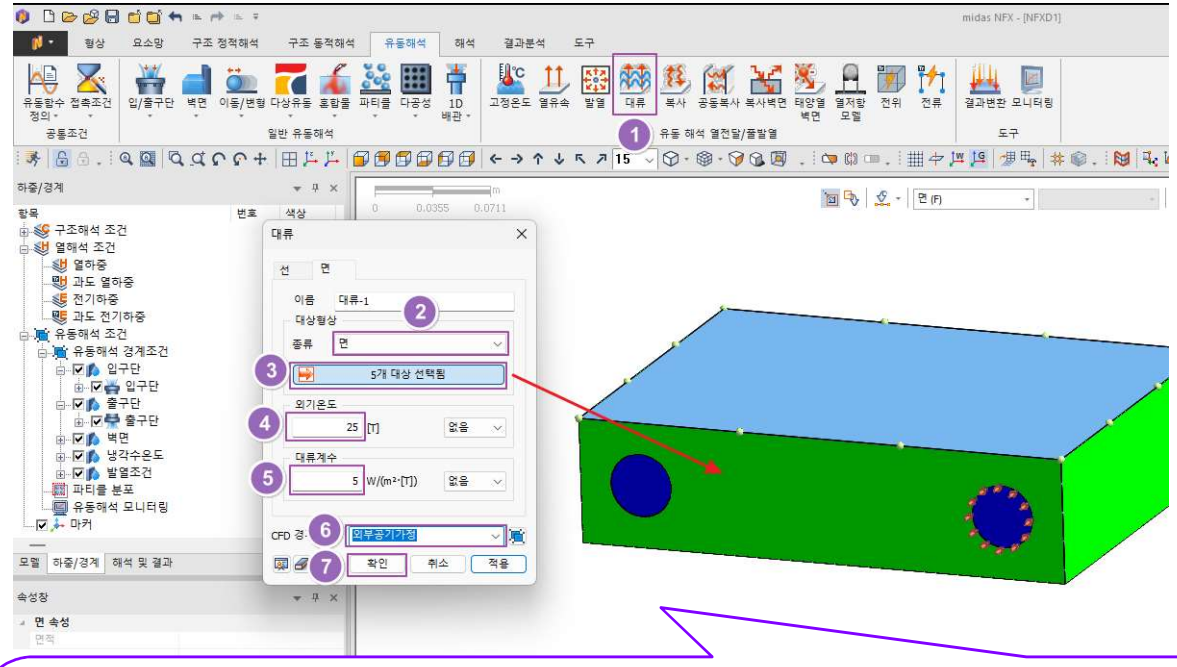
③ 고체 외부 6 면 중 상부면을 제외한 5 면 선택

④ "외기온도" 입력창 : 25 입력

⑤ "대류계수" 입력창 : 5 입력

⑥ "CFD 경계세트" 입력창 : "외부공기가정" 입력

⑦ "확인" 버튼 클릭



CFD 가 아닌 구조해석에서는 공기를 모델링 할 수 없기 때문에 제품 주변의 공기로 빠져나가는 열전달을 뉴튼의 냉각법칙을 이용해서 해석에 적용할 수 있습니다. CFD 에서도 마찬가지로 발열과 냉각되는 주요인자가 주변 공기로 빠져나가는 열전달이 아닐 경우 외기를 직접 모델링하지 않고 열유속 경계조건을 통하여 주변에 공기가 있다고 가정할 수 있습니다. 뉴튼의 냉각법칙이란 시간에 따른 물체의 온도변화는 그 물체의 온도와 주위 물체의 온도차에 비례한다는 법칙으로써 아래와 같이 표현할 수 있습니다.

$$q = h A (T_s - T)$$

이 때, h 는 사용자가 정하는 대류계수이며, A 는 표면적, Ts 는 외기온도, T 는 구조물 표면 온도입니다. 대류계수는 기체 자연대류의 경우 3~10 정도, 액체 자연대류의 경우 10~1000 정도, 기체 강제대류일 경우 25~250 정도, 액체 강제대류일 경우 50~20000, 끓거나 응축이 수반되는 경우 2500~100000 정도입니다. 본 예제에서는 대류계수를 5, 외기 온도를 25℃ 로 가정한 조건을 보여주고 있습니다. 위에서 열유속에 입력한 125 라는 값은 h ×T_s 값이며, 반응열유속에 입력한 5 라는 값은 h ×T 값 중 T 는 해당 절점을 컴퓨터가 자동 계산하므로 h 값만을 나타내고 있습니다.

인접 조건 설정 : 확인

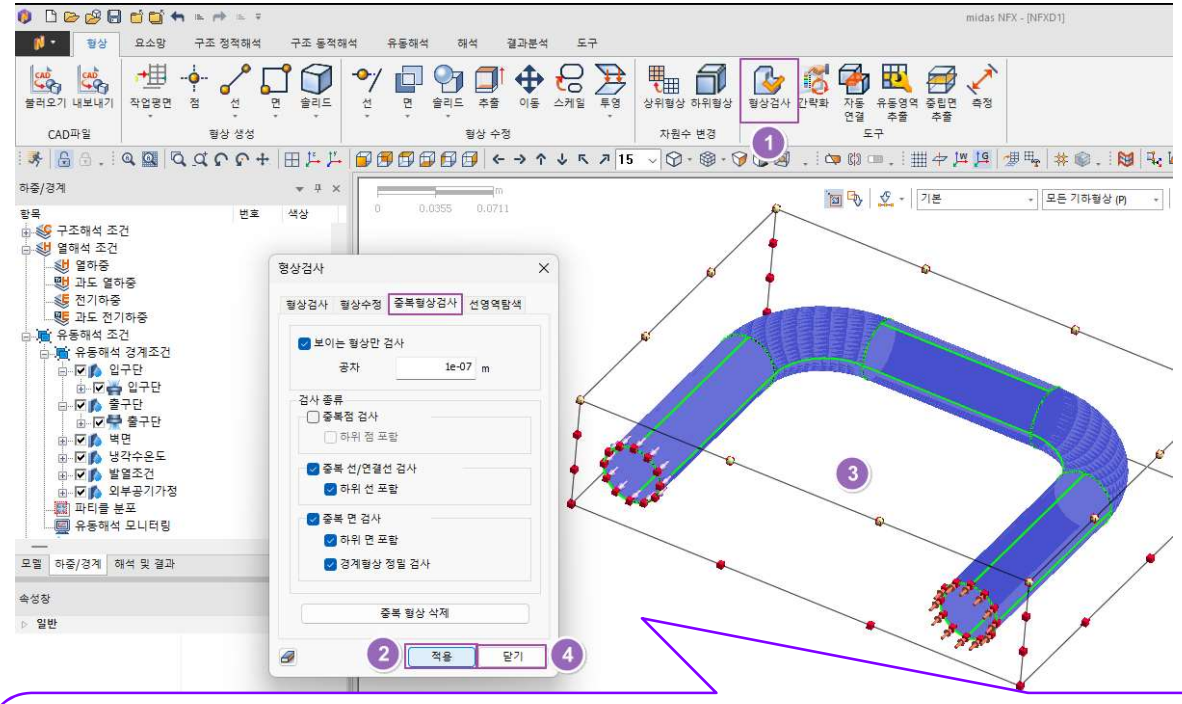
① “형상” 리본메뉴 > 형상검사 버튼 클릭

② “적용” 버튼 클릭

③ 고체와 유체가 접하는 모든 면이 중복형상으로 나오는지 확인

※ 모든 면이 중복형상으로 나타나지 않을 경우 “형상” 리본메뉴 > “도구” 그룹박스 > “자동연결” 선택 후 전체 기하형상 선택 후 “확인”

④ “닫기” 버튼 클릭



④ “닫기” 버튼 클릭

고체와 유체를 동시에 계산하는 복합열전달의 경우, 고체와 유체 사이의 열전달을 위해 인접 조건을 설정해야 합니다. 인접조건을 설정하는 방법은 두 가지인데 하나는 접촉조건을 설정하는 것이고, 다른 하나는 고체와 유체의 인접면에서 절점을 같은 위치에 두고 해당 절점을 하나로 병합하는 것입니다.
접촉조건 정의는 수렴성을 저해시킬 수 있으므로, 두 번째 방법을 선택합니다. midas NFX CFD 에서는 요소망 생성 시 ‘절점을 같은 곳에 위치시키는 기능’ 과 ‘같은 곳에 위치한 절점을 하나로 병합시키는 기능’ 을 체크박스 활성화만으로 작동할 수 있습니다. 단, 인접면은 완전히 중복되어야 합니다. 즉 모든 인접면이 같은 모양을 가지고 있으며 동시에 같은 모서리를 가지고 있어야 하는 것인데 “중복형상검사” 를 통해 해당 인접면이 완전히 일치하는 지 확인할 수 있습니다. 만약 본 예제와는 달리 인접면이 중복되지 않는다면 midas NFX 의 CAD 기능을 통해 인접면을 완전히 일치시켜야 합니다.

요소망 생성

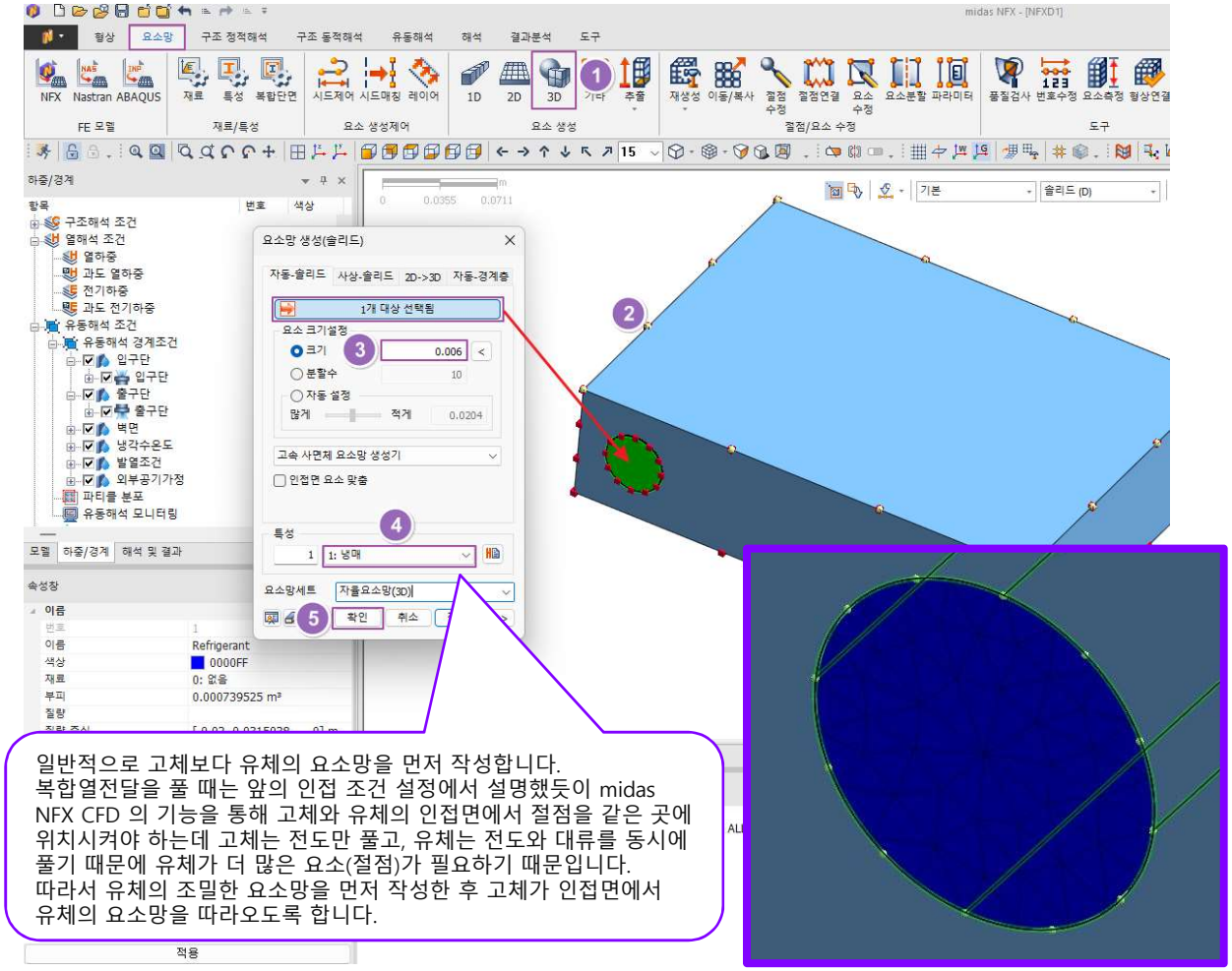
① “요소망” 리본 메뉴 > “3D” 버튼 클릭

② 냉각수 부분 선택

③ 요소 크기 설정 > “크기” 입력 창 : 0.006 입력

④ “특성” 선택 창 : “1:냉매” 선택

⑤ “확인” 버튼 클릭



일반적으로 고체보다 유체의 요소망을 먼저 작성합니다.
복합열전달을 풀 때는 앞의 인접 조건 설정에서 설명했듯이 midas NFX CFD 의 기능을 통해 고체와 유체의 인접면에서 절점을 같은 곳에 위치시켜야 하는데 고체는 전도만 풀고, 유체는 전도와 대류를 동시에 풀기 때문에 유체가 더 많은 요소(절점)가 필요하기 때문입니다.
따라서 유체의 조밀한 요소망을 먼저 작성한 후 고체가 인접면에서 유체의 요소망을 따라오도록 합니다.

요소망 생성

① “3D” 버튼 클릭

② 고체 부분 선택

③ 요소 크기 설정
› “크기” 입력 창
: 0.02 입력

④ “인접면 요소 맞춤” 체크박스 : 활성화

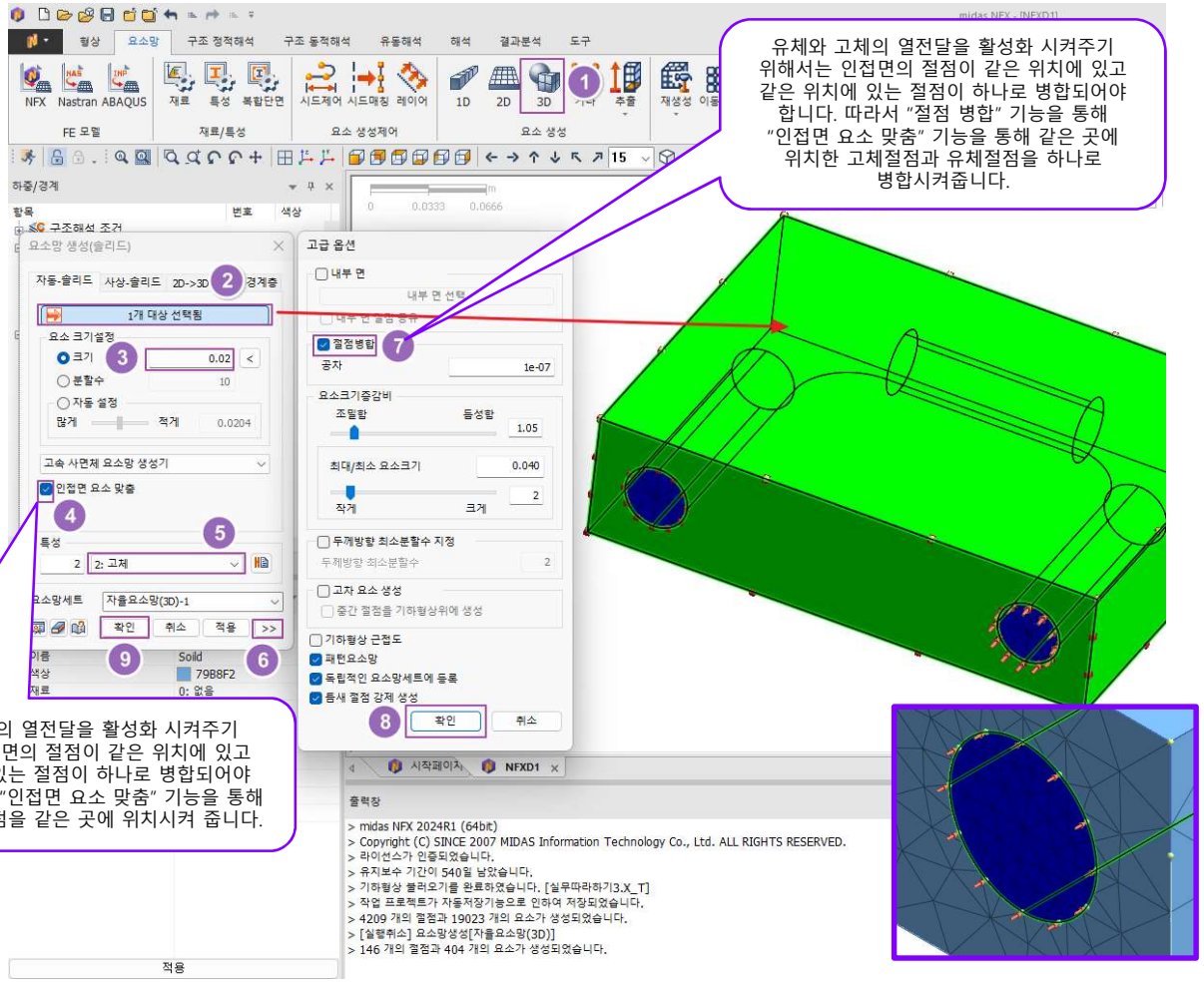
⑤ “특성” 선택 창 : “2: 고체” 확인

⑥ “>>” (고급옵션) 버튼 클릭

⑦ “절점병합” 체크박스 : 활성화

⑧ 고급옵션 창
› “확인” 버튼 클릭

⑨ “확인” 버튼 클릭



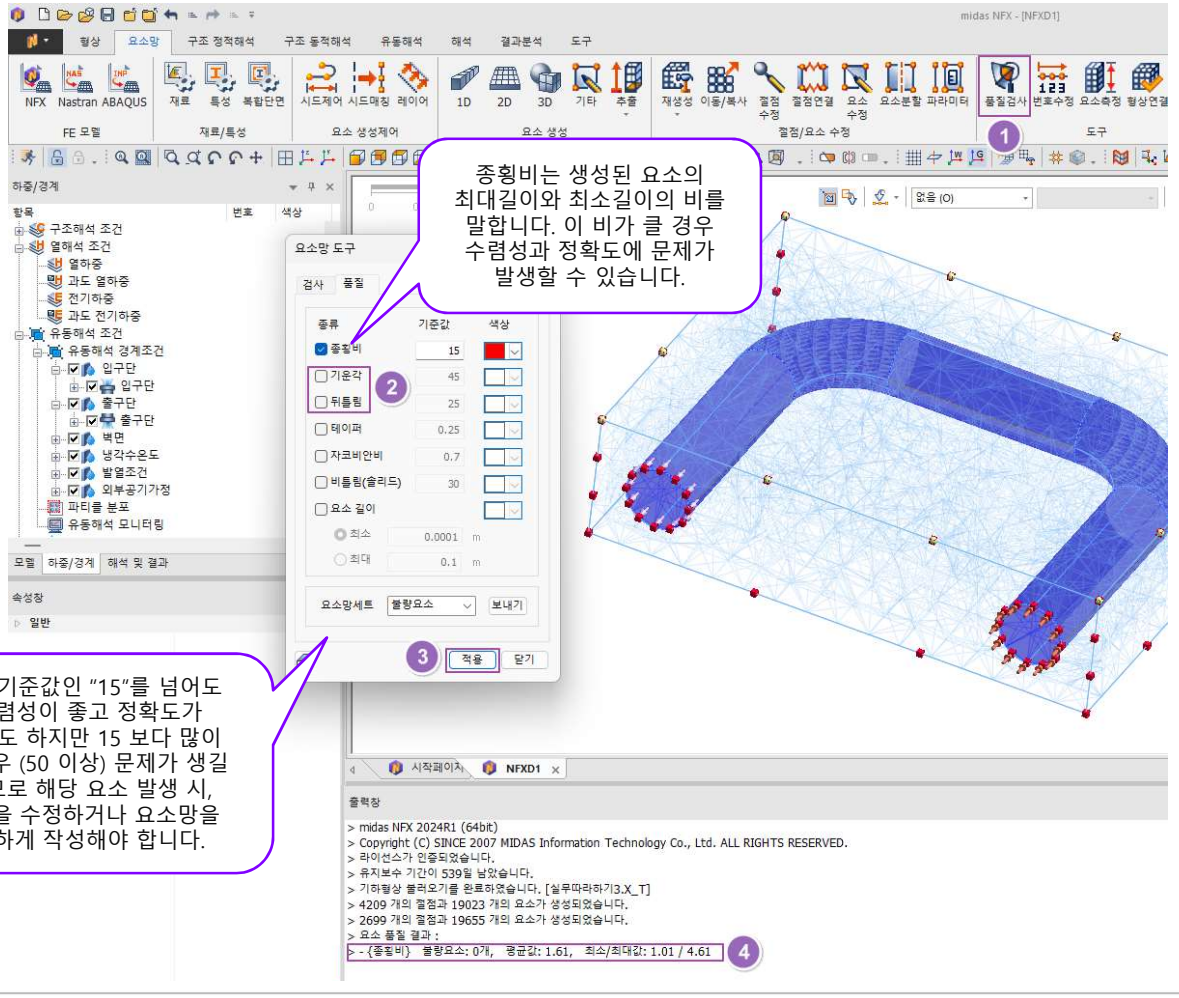
요소망 생성 – 품질 검사

① “검사” 버튼 클릭
 ❯ “요소품질” 클릭

② “요소망 도구” 창
 ❯ “기운각” 체크박스 : Off
 ❯ “뒤틀림” 체크박스 : Off

③ “적용” 버튼 클릭

④ “출력창” 에서 최대값을 확인



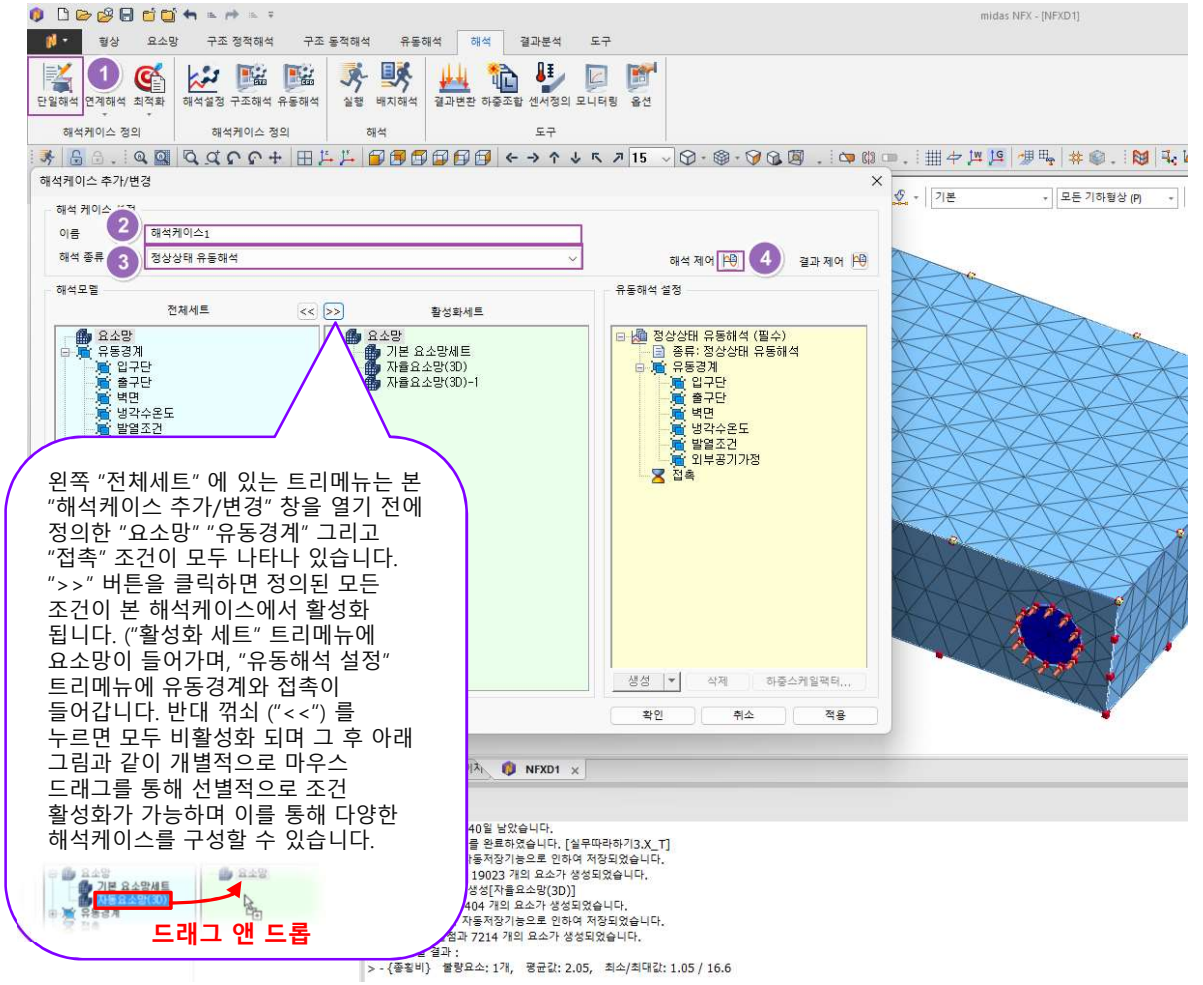
해석케이스 정의

① “유동해석” 리본메뉴 선택
 > “정상” 버튼 선택

② “해석케이스 추가/변경” 창
 > 해석 케이스 설정
 > “이름” 입력 창
 : “해석케이스1” 이름 입력

③ “해석케이스 추가/변경” 창
 > 해석 케이스 설정
 > “해석종류” 입력 창
 : “정상상태 유동해석” 선택

④ “해석 제어” 버튼 클릭



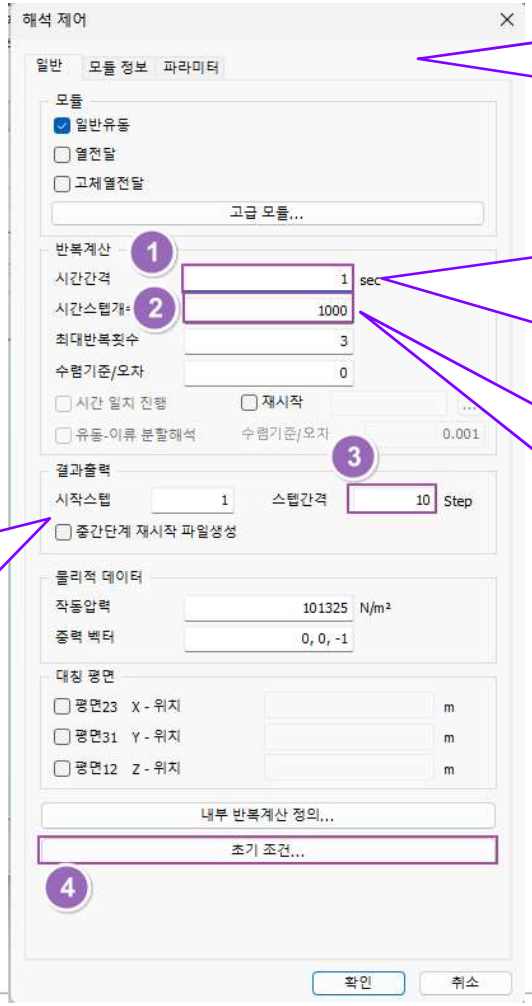
해석케이스 정의 – 해석 제어 정의

① **"시간간격" 입력창**
: "1" 입력

② **"시간스텝개수" 입력창**
: "1000" 입력

③ **결과출력 > "스텝간격" 입력창**
: 10 입력

④ **"초기 조건" 버튼 클릭**



해석 제어 창에서는 해당 해석케이스의 전반적인 계산 조건을 입력합니다.
ex) 사용 모듈, 시간 정보, 대칭 조건, 초기 조건, 난류 조건 등

앞 선 예제는 과도상태 해석이기 때문에 시간 간격을 알맞게 계산해서 넣어야 하지만 정상상태 해석의 경우 컴퓨터가 적절한 시간간격을 계산해서 입력하기 때문에 시간간격 입력이 따로 필요하지 않습니다. 단, 시간간격이 컴퓨터가 계산한 적절 시간 보다 짧을 경우 해당 사용자 입력 시간을 이용하게 됩니다.

결과출력 > "시작스텝" 입력창은 결과를 출력하는 첫 시작스텝을 의미하며, "스텝간격" 입력창은 결과 출력 간격을 나타냅니다.

주어진 시간 간격으로 몇 번을 계산할 것인지 지정합니다.

계산 진행 시간 = "시간간격" x "시간스텝개수"

충분히 큰 값을 입력한 다음 뒤 페이지에 계산 실행 단계의 수렴 조건을 만족하면 중지시킬 수 있습니다. 만약 결과를 확인했는데 입력한 "시간스텝개수" 이내에 결과가 수렴하지 않으면 재시작을 통해 최종스텝부터 해석을 추가적으로 진행하면 됩니다.

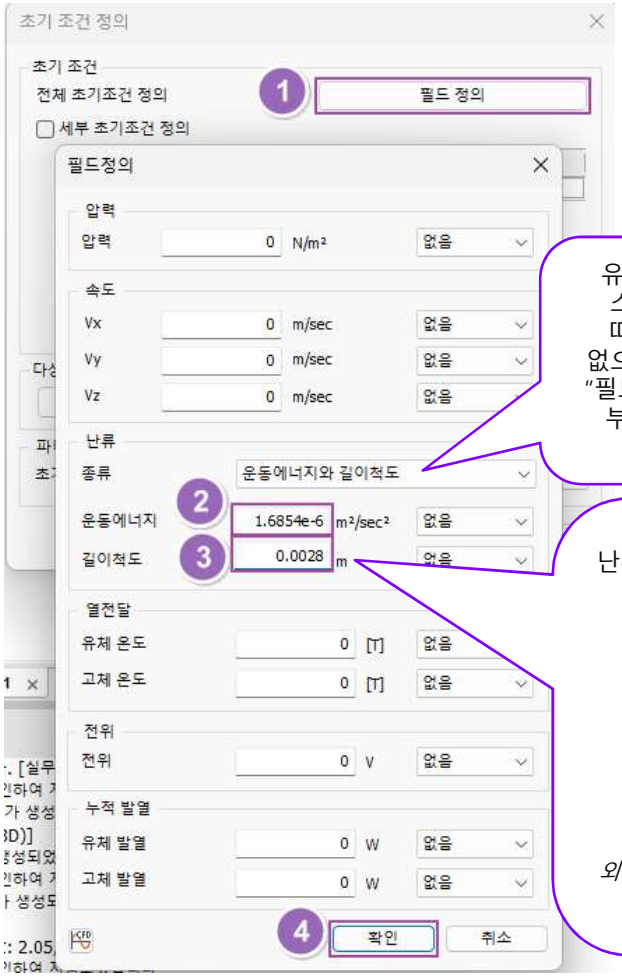
해석케이스 정의 – 해석 제어 정의 : 필드 정의

① "필드정의" 클릭

② "운동에너지" 입력창
: "1.6854e-6" 입력

③ "길이척도" 입력창
: "0.0028" 입력

④ "확인" 버튼 클릭



유동해석에서는 현재 스텝에서 계산을 위해 직전 스텝의 결과 값을 계산 입력값으로 사용합니다. 따라서 제일 처음 계산 스텝에서는 앞선 스텝이 없으므로 초기값 입력이 필요합니다. 초기값 입력은 "필드정의" 창에서 할 수 있으며, 주어진 경계조건과 부합하는 (실제 현상과 유사한) 값을 입력할수록 빨리 계산이 수렴됩니다.

유체의 불규칙적인 소용돌이 운동을 기술하는 난류는 운동에너지와 길이척도 입력이 필요합니다. 운동에너지의 경우 아래 식으로 계산됩니다.

운동에너지 = 1.5(속도*난류강도레벨)^2*

<난류 강도 레벨>
항공기, 자동차, 잠수함 : 0.003(0.01이하)
대기층 : 0.3
내부유동, 열교환기, 회전기계 : 0.05~0.15
파이프,배기구, 저레이놀즈수(단순) : 0.01~0.05

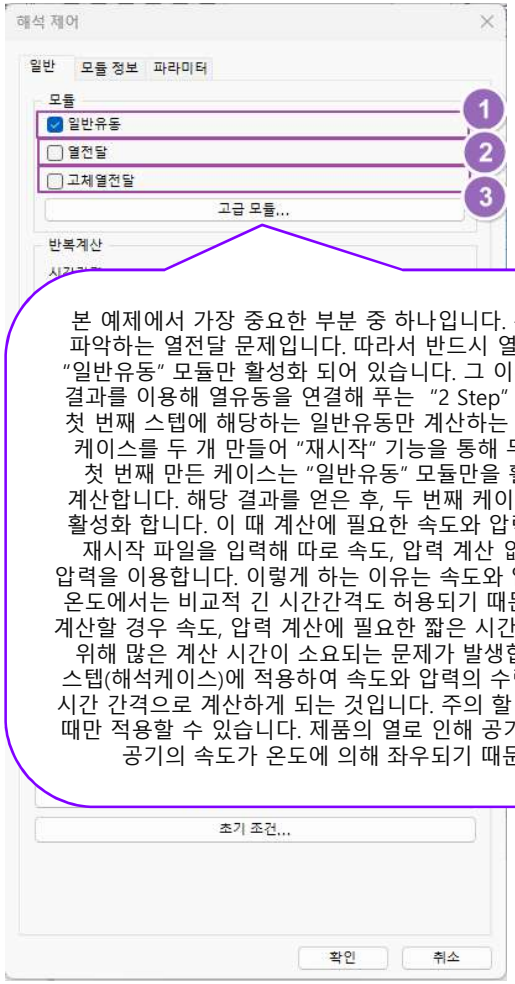
배관 길이척도 = 특성길이 × 0.07
외부유동의 길이척도 = 10×점성÷(밀도×[운동에너지]$^{1/2}$)

해석케이스 정의 – 해석 제어 정의

① “모듈” 그룹박스 > “일반유동” 체크박스 : 활성화 확인

② “모듈” 그룹박스 > “열전달” 체크박스 : 비활성화 확인

③ “모듈” 그룹박스 > “고체열전달” 체크박스 : 비활성화 확인



본 예제에서 가장 중요한 부분 중 하나입니다. 본 예제는 냉각수에 의한 시스템 냉각을 파악하는 열전달 문제입니다. 따라서 반드시 열전달을 풀어야 하는데, 이 해석케이스는 “일반유동” 모듈만 활성화 되어 있습니다. 그 이유는 본 예제가 먼저 일반유동만 풀고 그 결과를 이용해 열유동을 연결해 푸는 “2 Step” 방식이기 때문입니다. 이 페이지는 그 중 첫 번째 스텝에 해당하는 일반유동만 계산하는 해석케이스입니다. “2 Step” 방식은 해석 케이스를 두 개 만들어 “재시작” 기능을 통해 두 개의 케이스를 연계하는 방법입니다. 첫 번째 만든 케이스는 “일반유동” 모듈만을 활성화 하여 시스템의 속도와 압력만을 계산합니다. 해당 결과를 얻은 후, 두 번째 케이스에서 “열전달” 과 “고체열전달” 모듈만 활성화 합니다. 이 때 계산에 필요한 속도와 압력 값은 첫 번째 스텝에서 계산한 결과인 재시작 파일을 입력해 따로 속도, 압력 계산 없이 첫 번째 스텝의 최종결과의 속도와 압력을 이용합니다. 이렇게 하는 이유는 속도와 압력 계산에는 짧은 시간간격이 필요하고, 온도에서는 비교적 긴 시간간격도 허용되기 때문입니다. 그래서 속도, 압력, 온도를 같이 계산할 경우 속도, 압력 계산에 필요한 짧은 시간간격 때문에 온도가 정상상태에 도달하기 위해 많은 계산 시간이 소요되는 문제가 발생합니다. 따라서 짧은 시간간격을 첫 번째 스텝(해석케이스)에 적용하여 속도와 압력의 수렴해를 얻고, 이 해를 이용해서 온도를 큰 시간 간격으로 계산하게 되는 것입니다. 주의 할 점은 본 예제와 같이 유체가 강제 대류일 때만 적용할 수 있습니다. 제품의 열로 인해 공기가 위로 상승하여 열을 뺏는 자연대류는 공기의 속도가 온도에 의해 좌우되기 때문에 2 Step 을 이용할 수 없습니다.

해석케이스 정의 – 해석 제어 정의 : 난류 정의

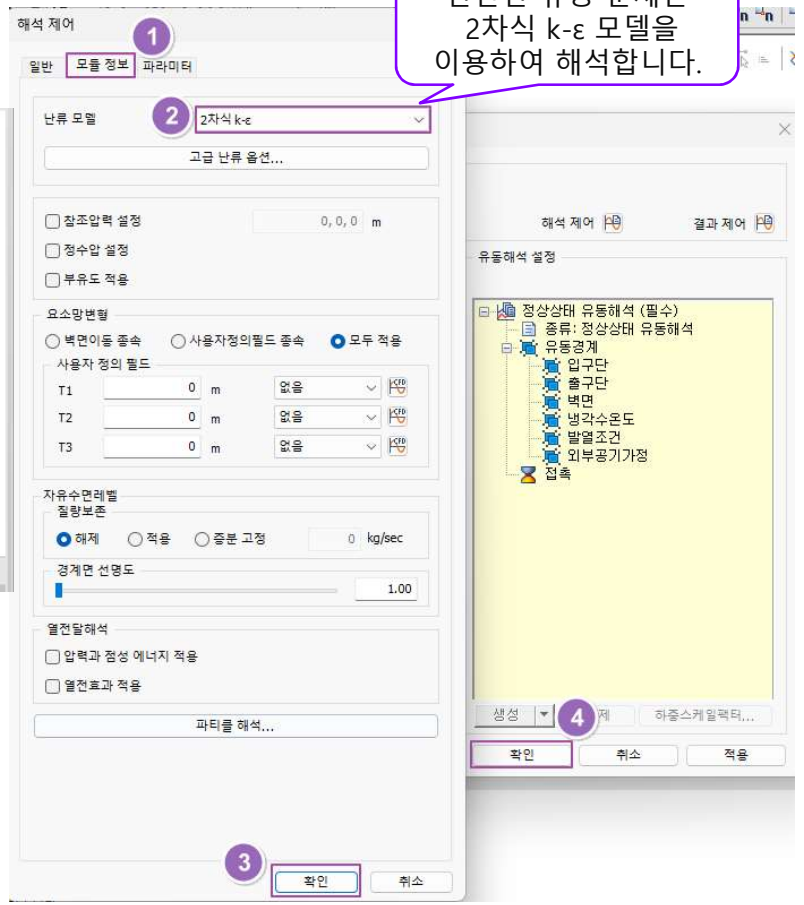
① “모듈 정보” 탭 이동

② “난류 모델” 선택 창
: “2차식 k-ε” 선택

③ “확인” 버튼 클릭

④ “확인” 버튼 클릭

⑤ “해석 및 결과” 창
> “해석케이스1” 정의 확인



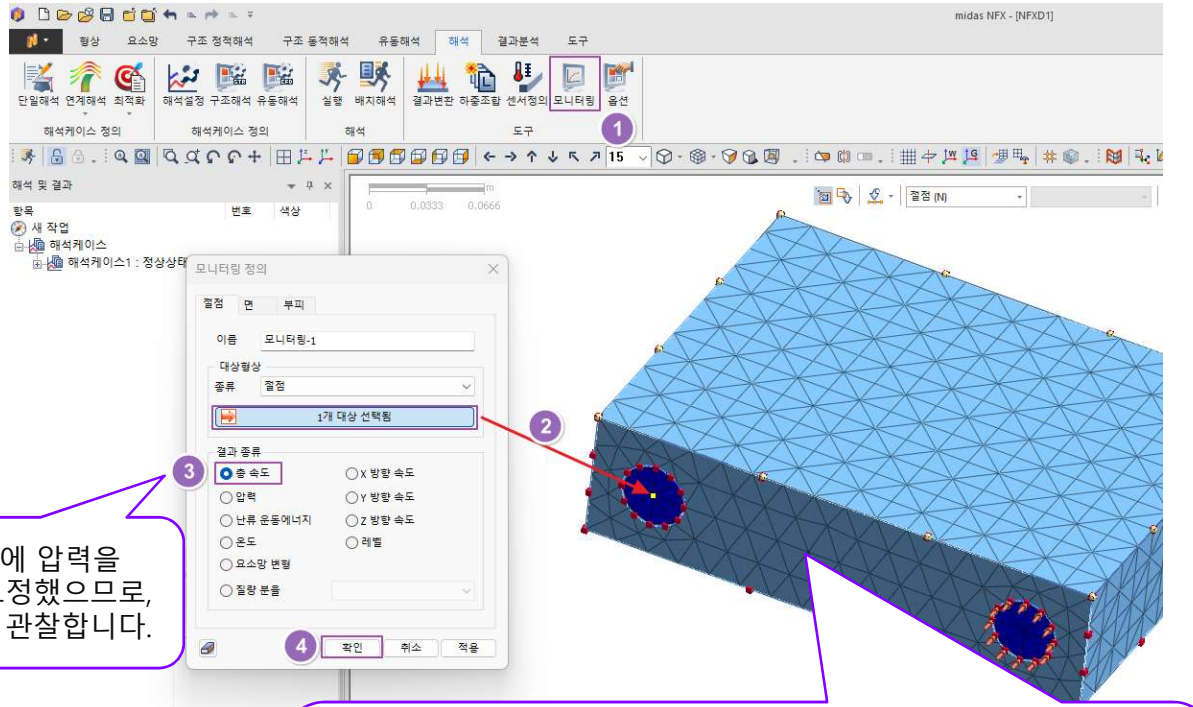
계산 실행 – 수렴 판단을 위한 모니터링 포인트

① “모니터링” 버튼 클릭

② 출구 부분 가운데 절점 선택

③ “총 속도” 체크박스 : On

④ “확인” 버튼 클릭



출구 측에 압력을
0 Pa 로 고정했으므로,
총 속도를 관찰합니다.

계산 중에 결과 검토가 가능한 시점을 판단하는 기준은

1. 계산 중 Norm 그래프가 0.001 이하로 지속적으로 떨어질 경우
2. 관심영역 특성치가 큰 변화가 없거나 주기를 가질 경우

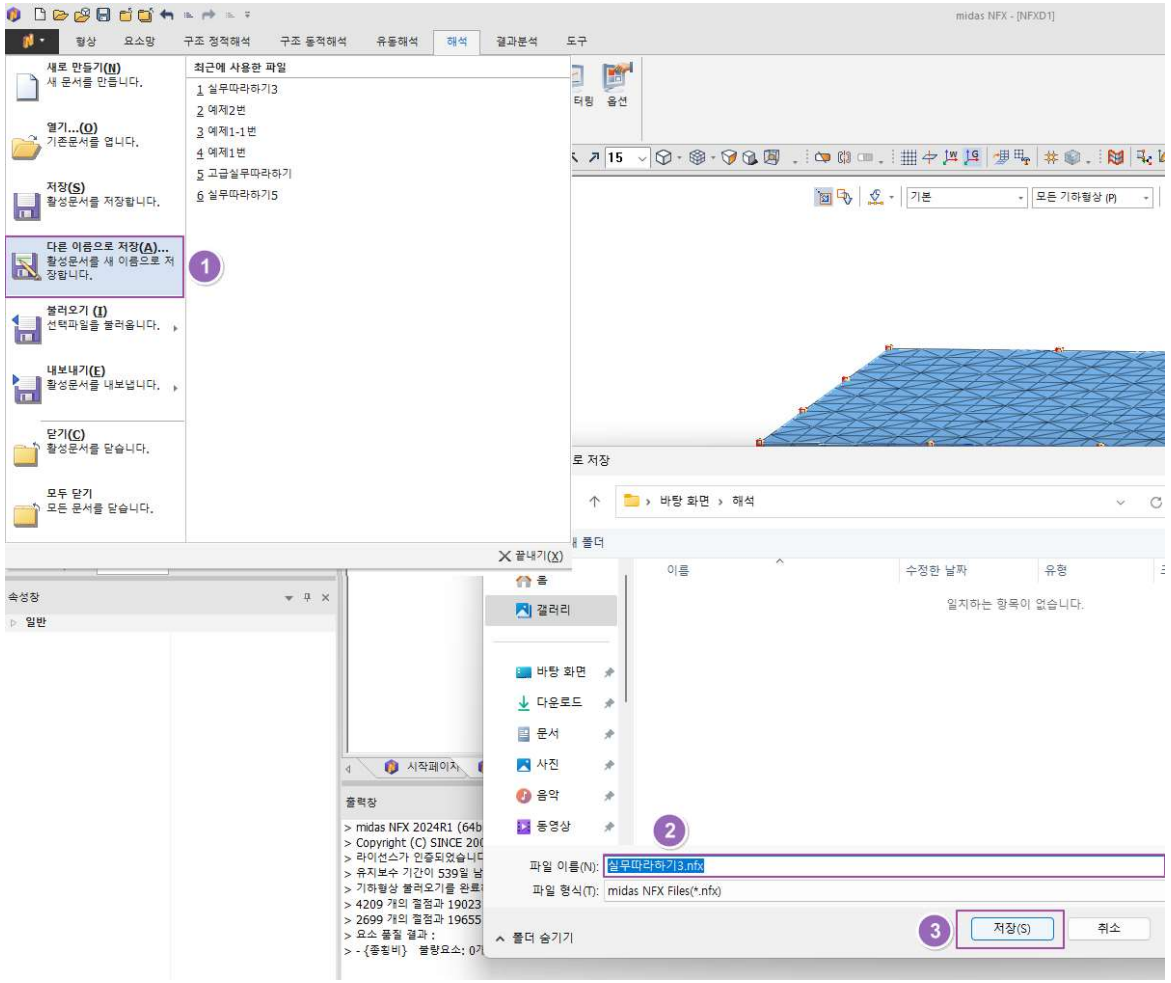
입니다. 이 중 2번 조건을 만족하기 위해 “모니터링 포인트”를 지정해 해당 영역의 특성치를 계산 중에 관찰 할 수 있습니다.

계산 실행 – 파일 저장

① “메인 메뉴” 버튼 클릭
› “다른 이름으로 저장” 버튼 클릭

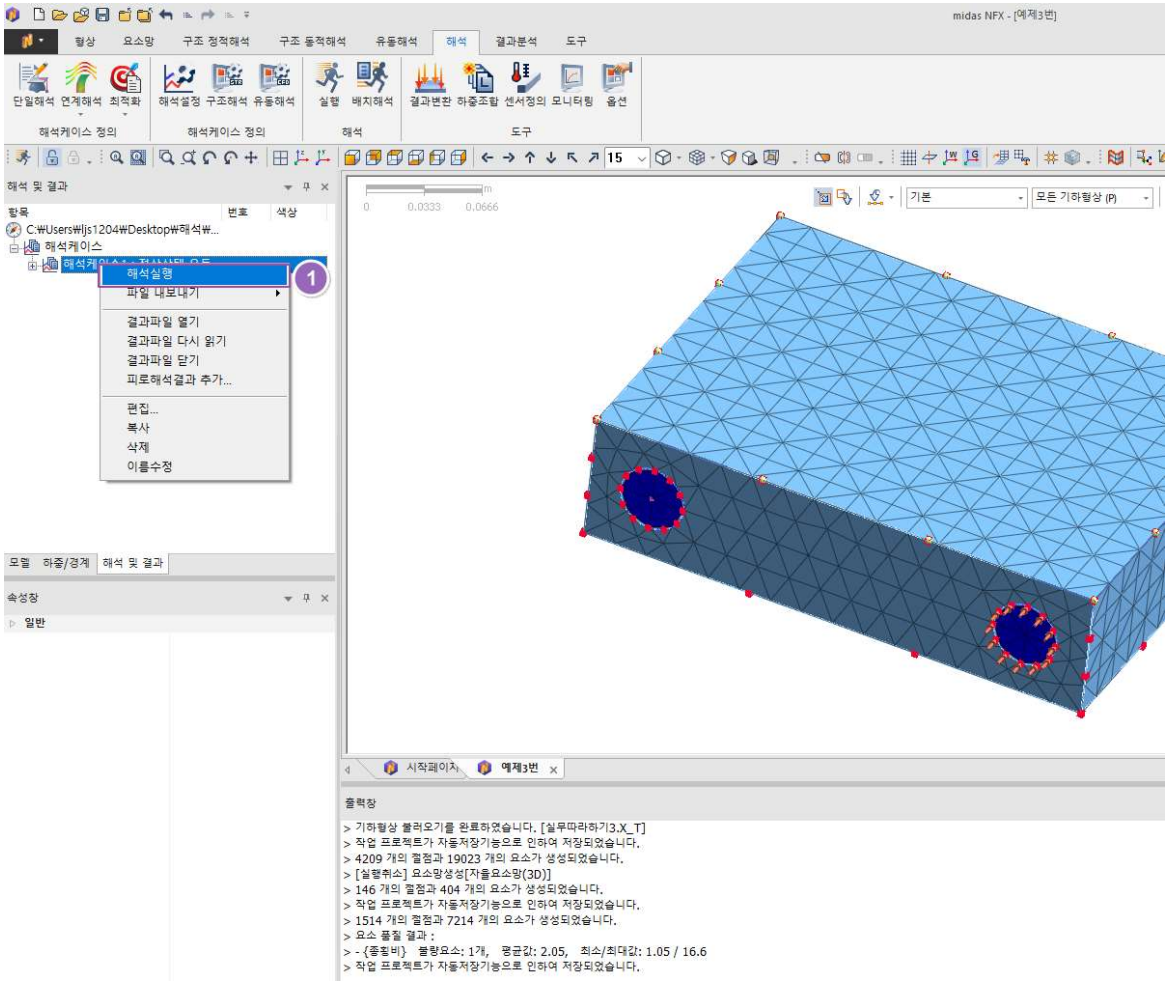
② “파일 이름” 입력창
: “실무따라하기3.nfx”

③ “저장” 버튼 클릭



계산 실행 – 해석케이스 계산 실행

① “해석 및 결과” 창
 ❯ 해석케이스
 ❯ “해석케이스1”
 : 마우스 오른쪽 버튼 클릭
 ❯ “해석실행” 클릭



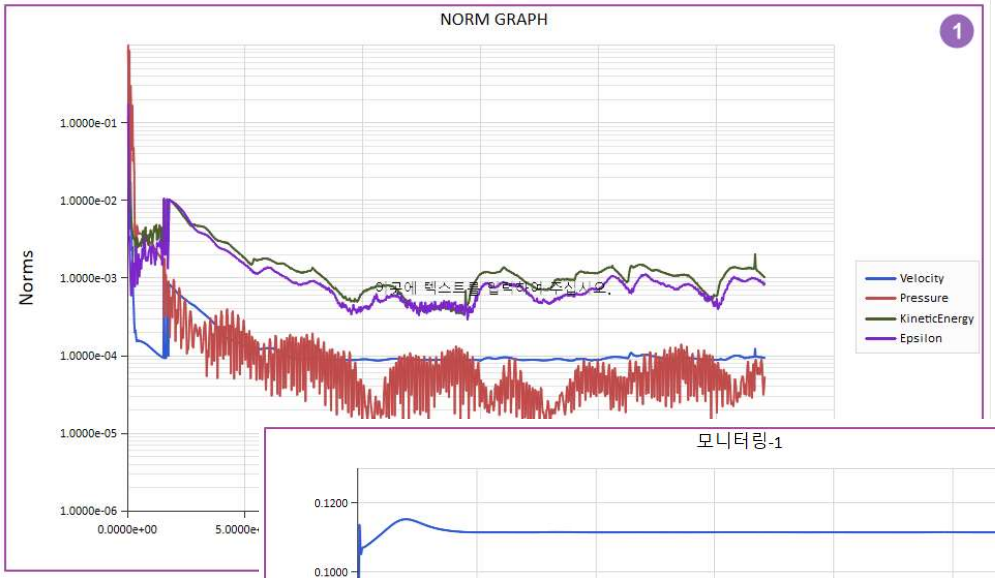
계산 실행 – 계산 과정 검토 및 수렴 판단

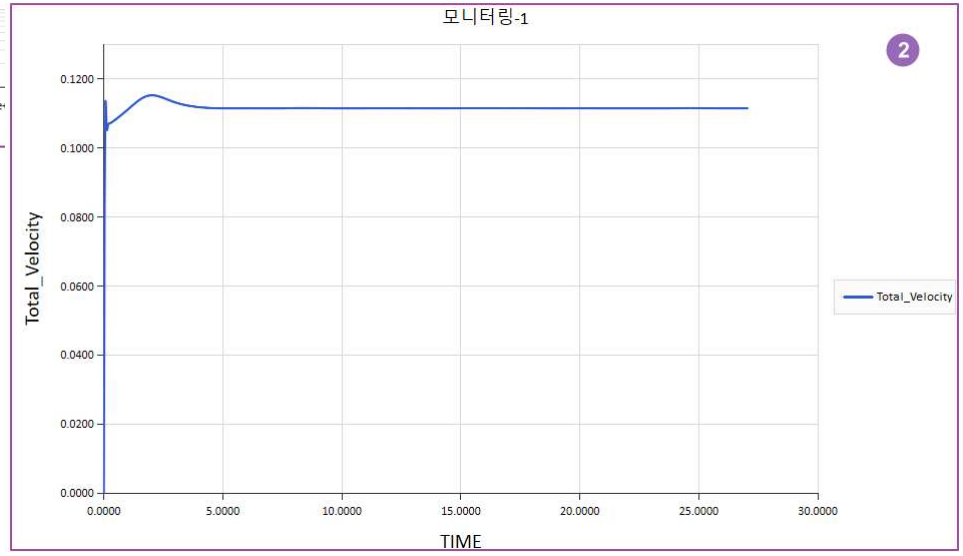
① "CFD Norm 그래프" 및 출력창을 통해 Norm 그래프 수렴 확인
(Norm 값이 0.001 이하로 지속적으로 떨어지는 현상 관찰)

② 모니터링 포인트 측정 값이 정상상태에 도달하거나 주기가 반복되는 경우 확인

계산 중에 결과 검토가 가능한 시점을 판단하는 기준

1. 계산 중 Norm 그래프가 0.001 이하로 지속적으로 떨어질 경우
2. 관심영역 특성치가 큰 변화가 없거나 주기를 가질 경우





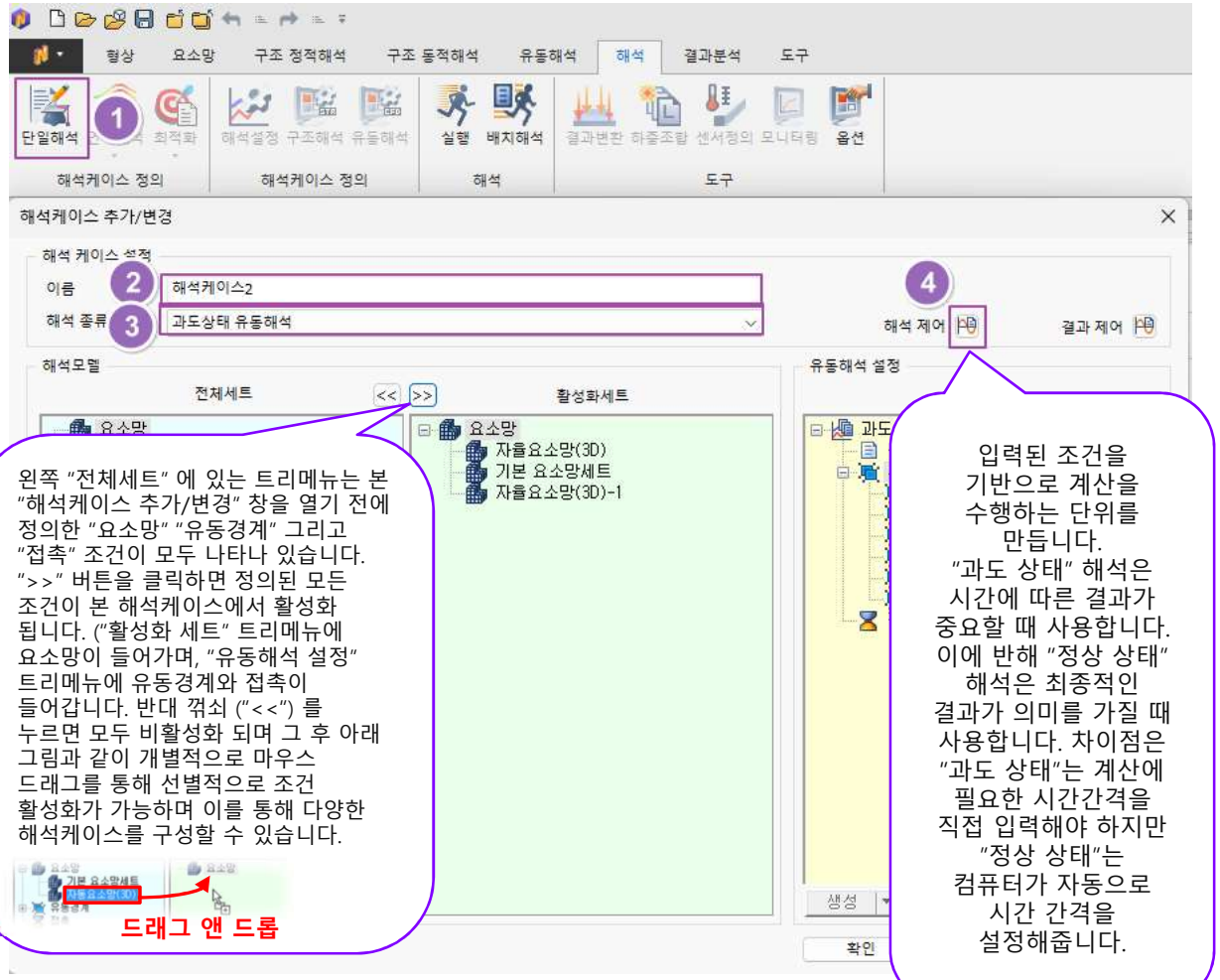
해석케이스 정의

① "해석" 리본메뉴 선택
 > "단일해석" 버튼 선택

② "해석케이스 추가/변경" 창
 > 해석 케이스 설정
 > "이름" 입력 창
 : "해석케이스2" 이름 입력

③ "해석케이스 추가/변경" 창
 > 해석 케이스 설정
 > "해석종류" 입력 창
 : "과도상태 유동해석" 이름 입력

④ "해석 제어" 버튼 클릭



해석케이스 정의 – 해석 제어 정의

① “일반유동” 모듈 체크박스 : 해제
“열전달” : 활성화
“고체열전달” : 활성화

② “시간간격” 입력 창 : “1” 입력
“시간스텝개수” : “1000” 입력
“최대반복횟수” : “10” 입력

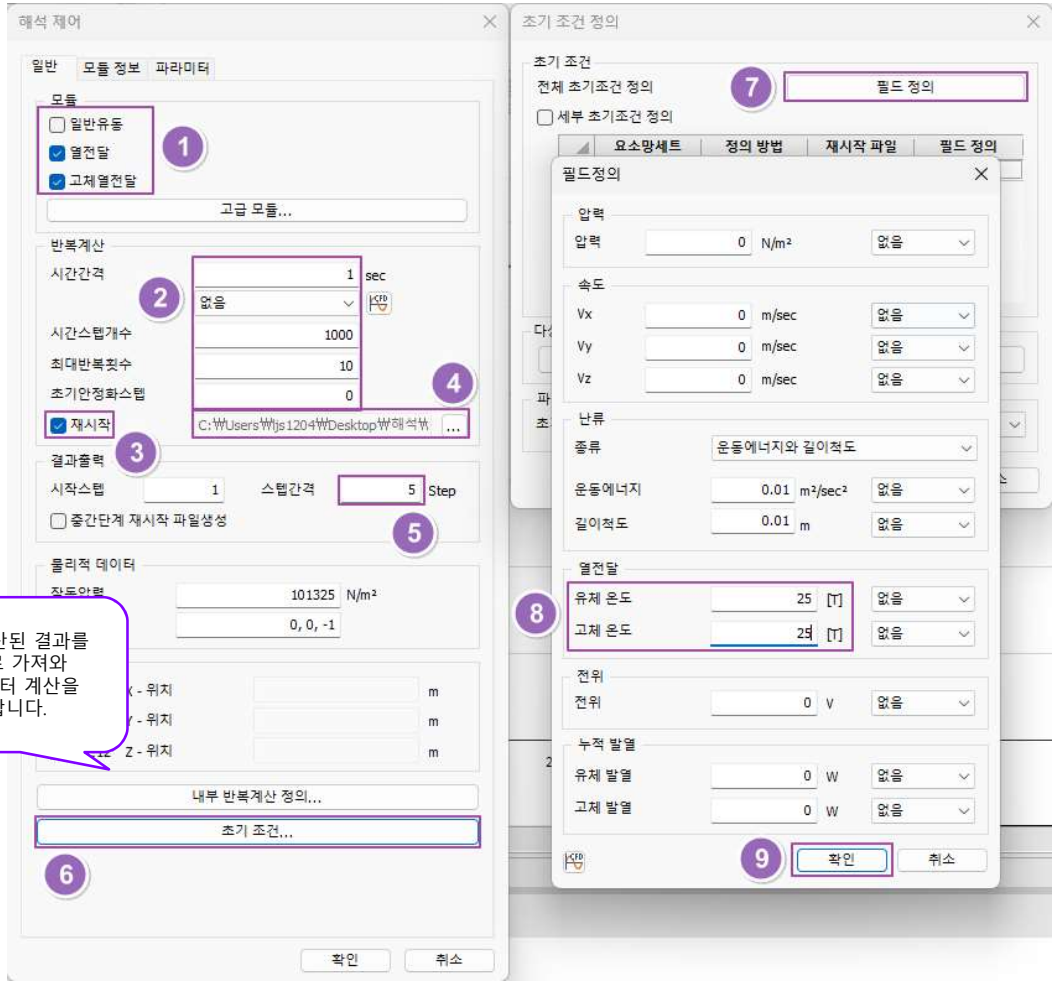
③ “재시작” 체크박스 : 활성화

④ 파일 선택 버튼 클릭 〉
“실무따라하기3_해석케이스1.rst” 파일 선택

⑤ “결과출력”
〉 “스텝간격” 입력창 : “5” 입력”

⑥ “초기조건” 버튼 클릭
⑦ “필드 정의” 버튼 클릭
⑧ “유체온도” & “고체온도” :
“25” 입력

⑨ “필드정의” 창 “확인” 버튼 클릭
〉 “해석제어” 창 “확인” 버튼 클릭
〉 “해석케이스 추가/변경” 창
“확인” 버튼 클릭



계산 실행 – 수렴 판단을 위한 모니터링 포인트

① “실무따라하기3.nfx” 탭 메뉴 선택

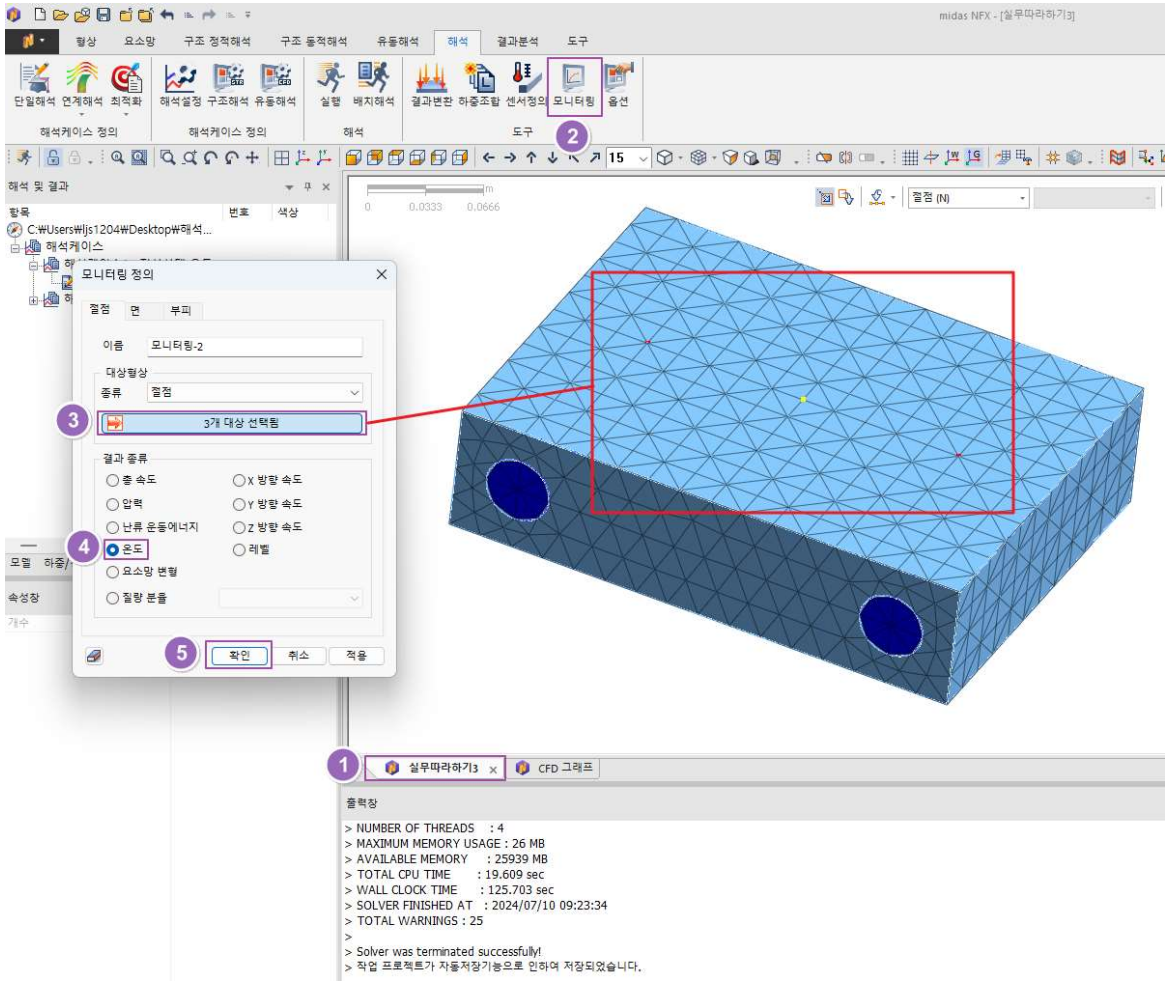
② “모니터링” 버튼 클릭

③ 온도를 평가하고자 하는 절점 선택

④ “온도” 체크박스 : 활성화

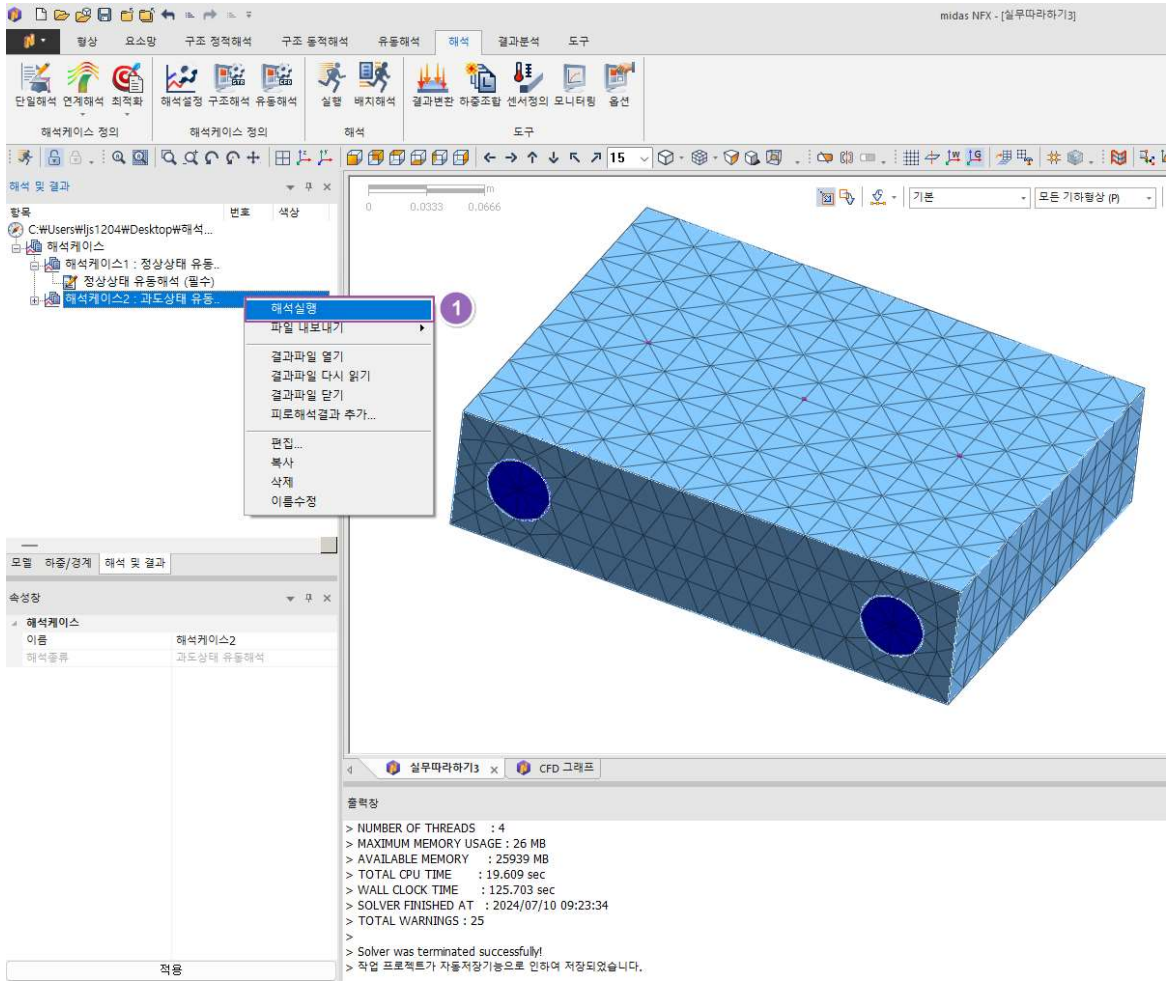
⑤ “확인” 버튼 클릭

※실제로는 모니터링 절점의 수는 한 번에 하나만 가능



계산 실행 – 해석케이스 계산 실행

① “해석 및 결과” 창
 ❯ 해석케이스
 ❯ “해석케이스2”
 : 마우스 오른쪽 버튼 클릭
 ❯ “해석실행” 클릭



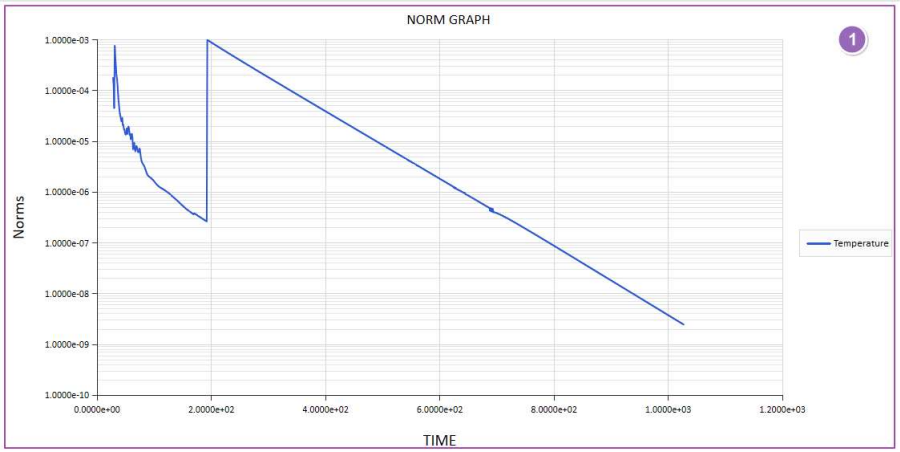
계산 실행 – 계산 과정 검토 및 수렴 판단

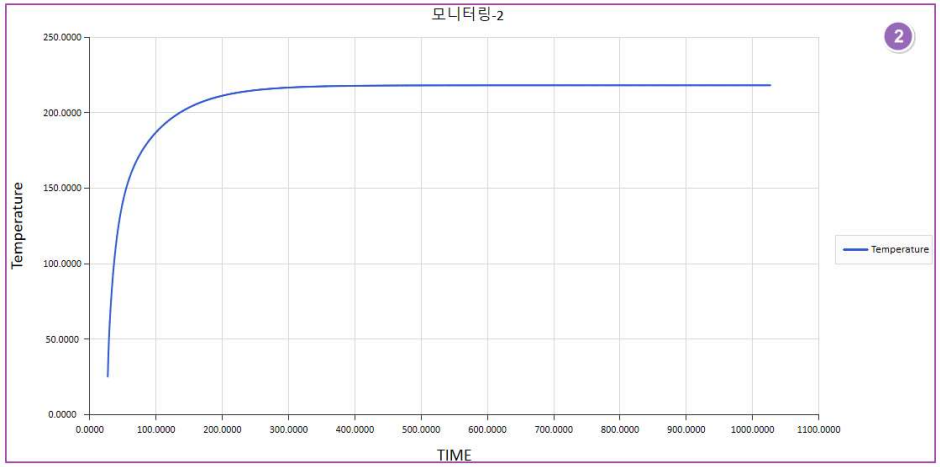
① "CFD Norm 그래프" 및 출력창을 통해 Norm 그래프 수렴 확인
(Norm 값이 0.001 이하로 지속적으로 떨어지는 현상 관찰)

② 모니터링 포인트 측정 값이 정상상태에 도달하거나 주기가 반복되는 경우 확인

계산 중에 결과 검토가 가능한 시점을 판단하는 기준

1. 계산 중 Norm 그래프가 0.001 이하로 지속적으로 떨어질 경우
2. 관심영역 특성치가 큰 변화가 없거나 주기를 가질 경우

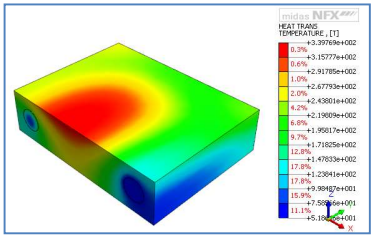




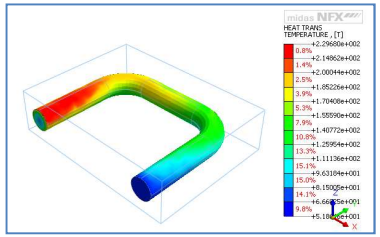
결과검토

① 각종 결과 확인

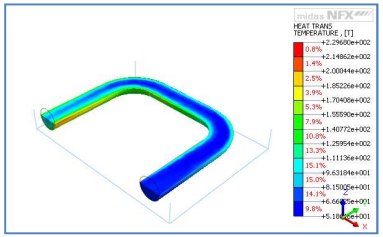
기본적이지만 필수적인 결과 검토 기능은 “NFX 모델링 교육” 또는 “NFX 기본교육”
그리고 매뉴얼을 통해 사전 숙지가 되어야 합니다.
결과 확인은 시연 영상을 보시겠습니다.



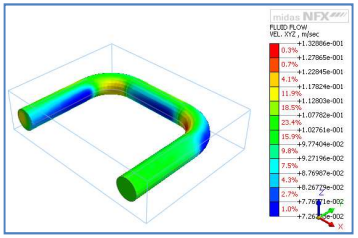
온도



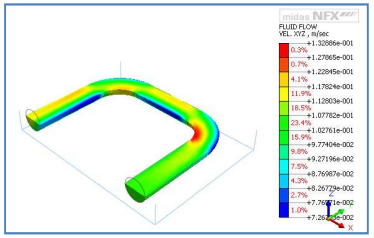
온도



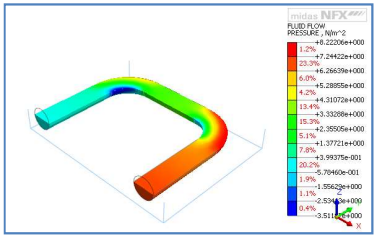
온도



속도



속도



압력