

midas NFX CFD 고급유동해석 교육

Part 1. 유동해석의 이해

Part 2. 경제적 유동해석을 위한 기법

- 이동참조프레임, 다공성매질, 팬

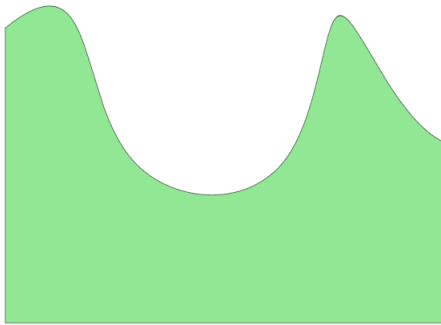
Part 3. 자유수면 해석 - 레벨세트 기법

Part 4. 요소망 변형 - 중첩요소망 기법

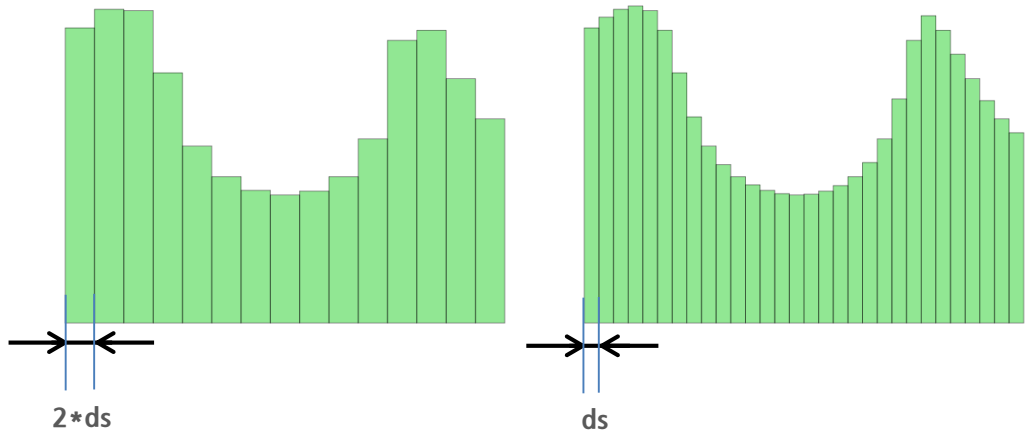
Contents

수치해석

- 시간과 공간에 대한 미분방정식(지배방정식)을 이산화(discretization)하여 대수방정식으로 치환



실제 면적

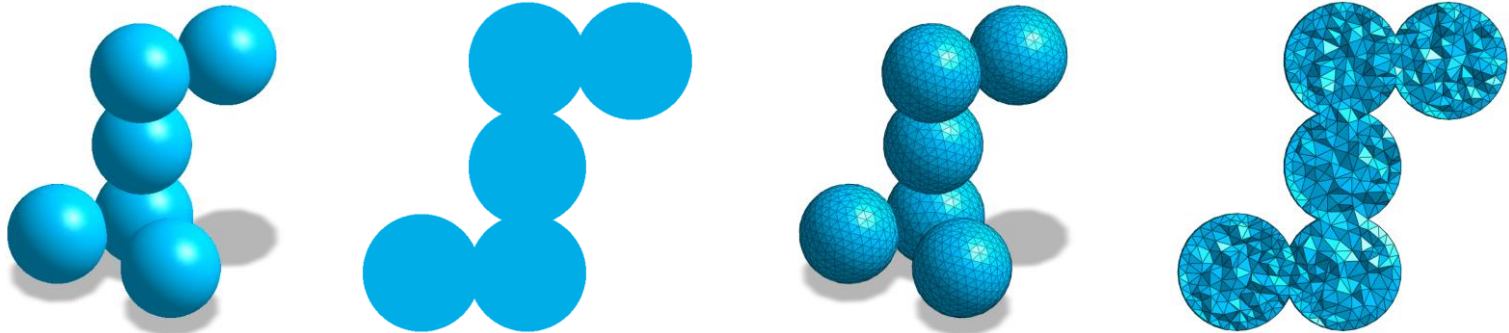


이산화를 통해 본 면적

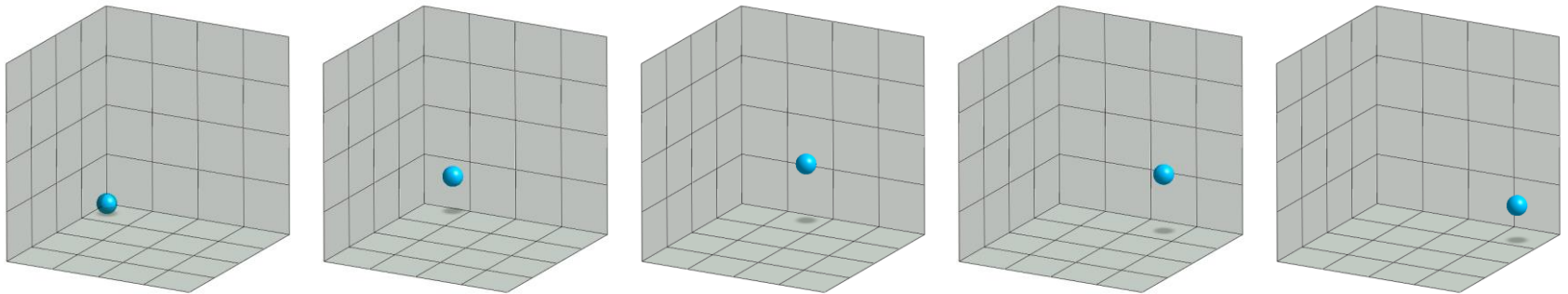
- 미소 시간, 미소 공간이 충족될 때 대수방정식의 해는 엄밀해와 비슷한 값을 가짐

수치해석

○ 미소 공간 총족 → 요소망

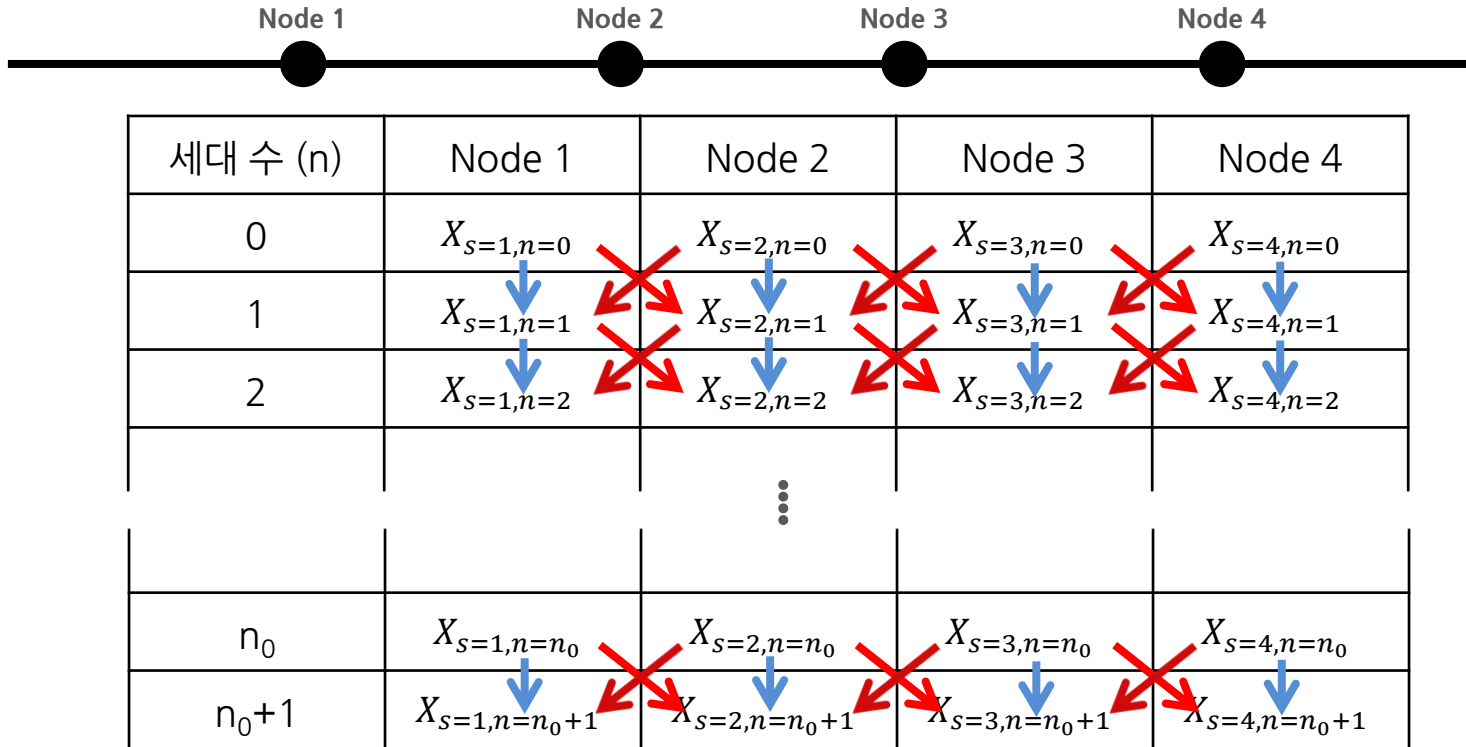


○ 미소 시간 총족 → 시간간격



수치해석

○ 네트워크를 이루는 계산점(절점, 요소)의 값이 규칙(지배방정식)에 따라 값을 갱신



○ 충분히 긴 시간이 지나면 더 이상 계산점의 값이 변하지 않음 → 수치해석의 수렴

$$Norm = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n}, \text{ Norm이 0에 가까워지면 해석이 수렴했다고 표현함}$$

유동해석(CFD; Computational Fluid Dynamics)

- Navier-Stokes 방정식을 지배방정식으로 갖는 수치해석의 한 분야
- 속도, 압력, 온도, 밀도 등 유체의 물리량을 결과값으로 얻음

Continuity:
$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$$

X-Momentum:
$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re_r} \left[\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right]$$

Y-Momentum:
$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} \left[\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right]$$

Z-Momentum:
$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{Re_r} \left[\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right]$$

Energy:
$$\frac{\partial(E_r)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_r)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_r)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_r)}{\partial z} = -\frac{\partial(up)}{\partial x} - \frac{\partial(vp)}{\partial y} - \frac{\partial(wp)}{\partial z} - \frac{1}{Re_r Pr_r} \left[\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right] + \frac{1}{Re_r} \left[\frac{\partial}{\partial x} (u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y} (u\tau_{xy} + v\tau_{yy} + w\tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\tau_{zz}) \right]$$

유동해석(CFD; Computational Fluid Dynamics)

- Navier-Stokes 방정식에 다른 전달방정식이나 알고리즘을 추가하면 보다 복잡한 유동 현상도 볼 수 있음
- 물질확산, 벽면이동, 다상유동, 파티클, 열전효과 등

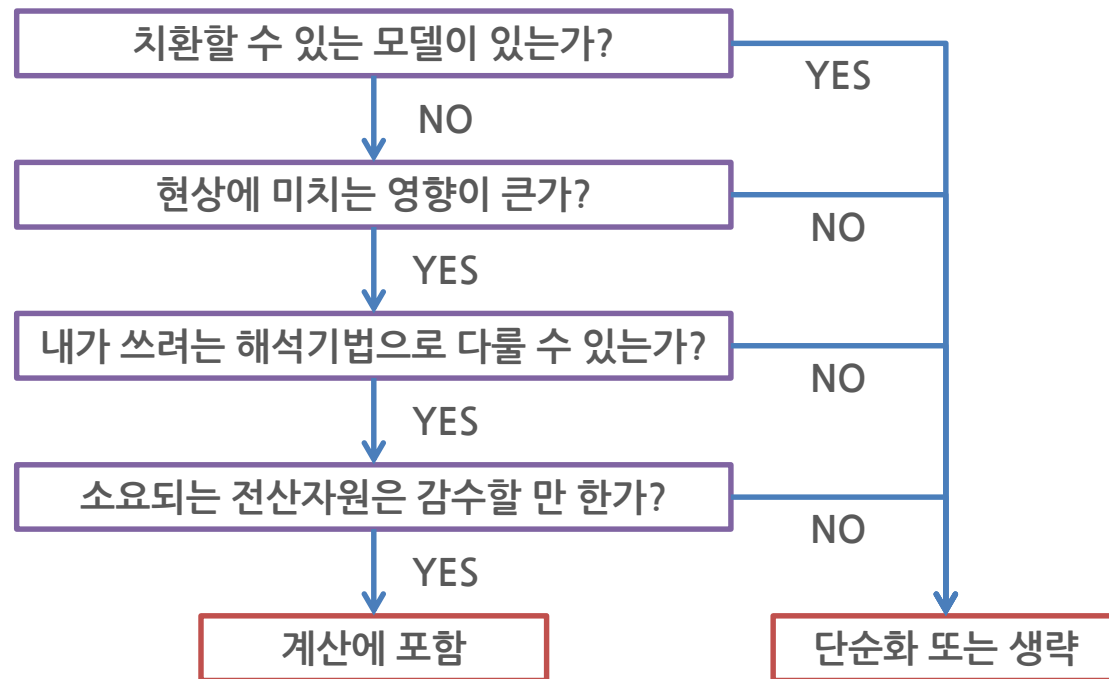
물질전달 방정식:
$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i c) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mathbf{D} \frac{\partial c}{\partial x_i} \right) + S$$

파티클 운동 방정식:
$$\frac{du_i^p}{dt} = F_D (u_i - u_i^p) + \frac{g_i (\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_i / \rho_p$$

열전효과 방정식:
$$\frac{dQ}{dV} = J^2 \rho$$

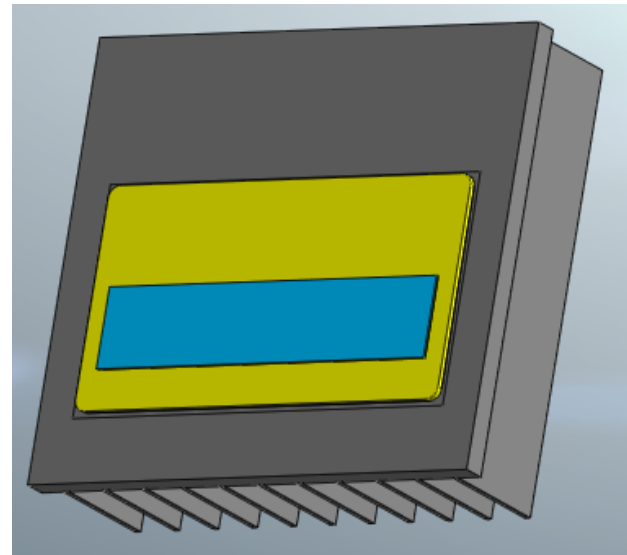
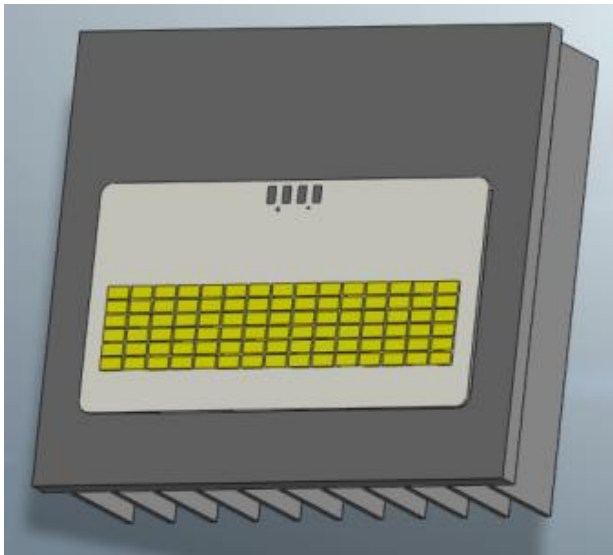
유동해석의 운용

- 유동해석도 공학이므로 정확성 못지 않게 경제성 확보가 중요함
- 관심 유동현상에서 고려해야 할 것과 무시해도 좋을 것을 분류,
고려해야 할 것 중 이미 아는 것과 알아내야 할 것을 분류
- 원하는 정확도를 보장하는 최소 계산량이 목표



경제적 해석을 위한 노력

- 복잡한 기하형상의 단순화



경제적 해석을 위한 노력

○ 계산이 불필요한 물리량은 균일하다고 간주 → 계산량을 줄임

해석 종류	계산 물리량	계산식	가정
일반유동해석	P, \vec{v}	Continuity Momentum	uniform T uniform ρ uniform c_i
열유동해석 (강제대류)	P, \vec{v}, T	Continuity Momentum Energy	uniform ρ uniform c_i
열유동해석 (자연대류)	P, \vec{v}, T, ρ	Continuity Momentum Energy Ideal-gas	uniform c_i
물질확산 해석	P, \vec{v}, c_i	Continuity Momentum Species transport	uniform T uniform ρ

경제적 해석을 위한 노력

- 수치적 안정성이 요구되는 어려운 계산을 쉽고 안정적인 연쇄 계산(알고리즘)으로 치환
 → 한 번의 계산에 엄밀해를 구하는 것이 아니라 반복계산(iterative method)과 프리컨디셔너(preconditioner) 등을 통해 근사해의 오차를 점차 줄여나감 → 계산 안정성 증대

SIMPLE(Semi-Implicit Pressure Linked Equations) Algorithm

1. 이산화된 운동량 방정식을 푼다.
2. 압력보정식을 푼다.
3. 압력과 속도를 보정한다.
4. 이산화된 다른 전달방정식을 푼다.
5. 수렴할 때까지 1~4를 반복한다.

Gauss-Seidel iterative method

1. i 개의 미지수를 지닌 연립대수방정식에서 각 변수의 값을 추정한다.
2. 첫째 반복계산에서 첫째 대수방정식을 풀어 변수 x_1 의 값을 보정한다.
3. 첫째 반복계산에서 둘째 대수방정식을 풀 때 2.의 x_1 보정치를 반영하여 x_2 를 구한다.
4. 2.와 3.의 방법으로 첫째 반복계산에서 i 개 변수에 대해 보정치를 구한다.
5. 첫째 반복계산의 보정치를 이용해 2. ~ 4.처럼 둘째 반복계산을 한다.
6. 반복계산을 n 회 거듭했을 때 $\frac{x_{i,n} - x_{i,n-1}}{x_{i,n}} \sim 0$ 이 되면 반복계산을 멈춘다. (계산 수렴)

midas NFX CFD 고급유동해석 교육

Part 1. 유동해석의 이해

Part 2. 경제적 유동해석을 위한 기법

- 이동참조프레임, 다공성매질, 팬

Part 3. 자유수면 해석 - 레벨세트 기법

Part 4. 요소망 변형 - 중첩요소망 기법

Contents

대표적인 회전 유체기계



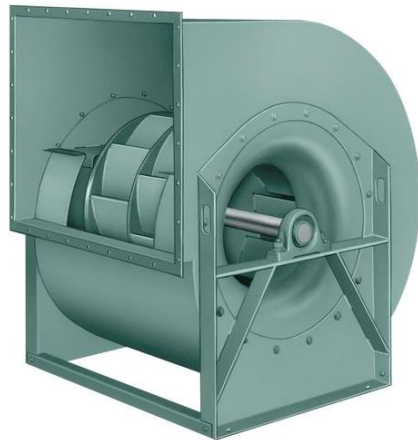
축류팬



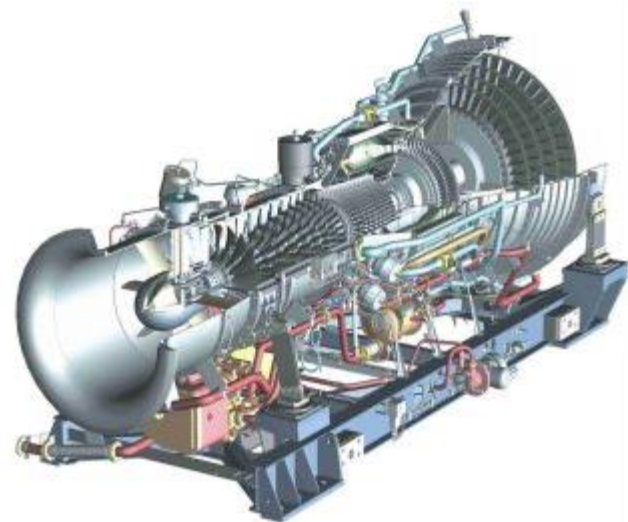
교반기



원심펌프



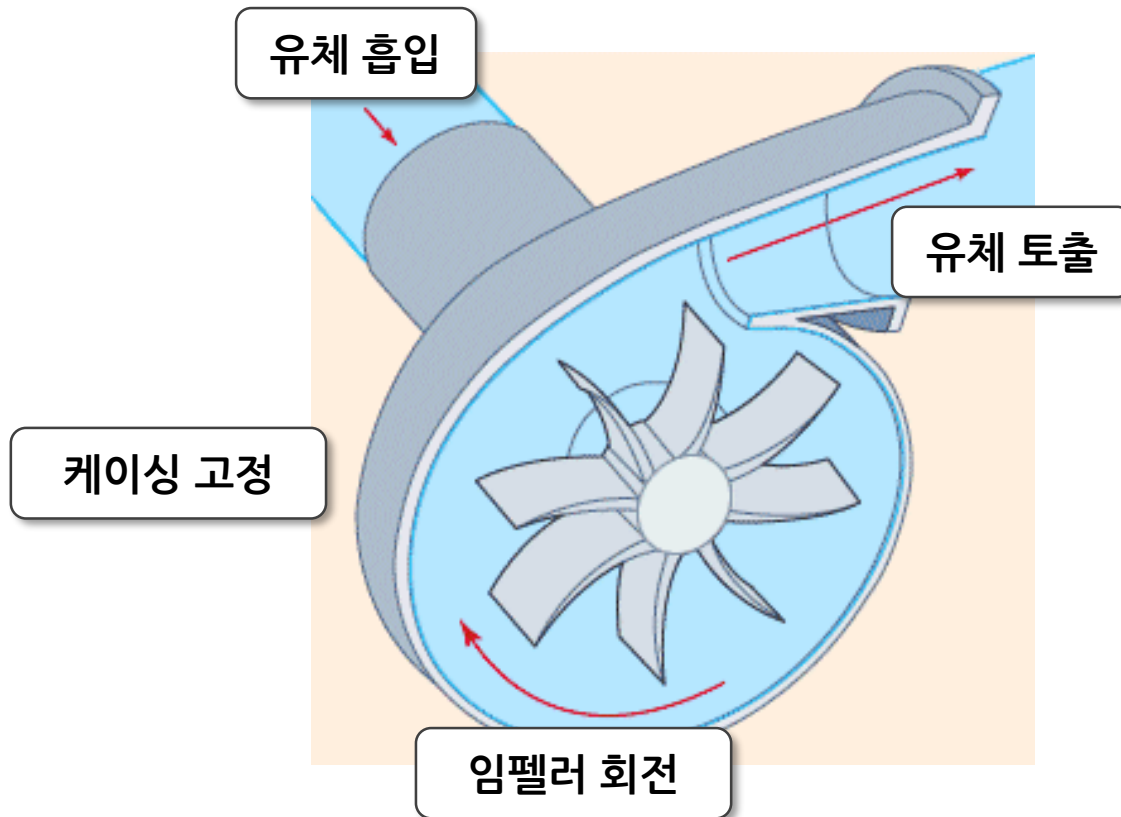
원심팬



스팀터빈

회전 유체기계 해석

- 임펠러 회전에 의해 유체에 힘을 전달
- 임펠러 이외(케이싱 등)의 부품은 고정



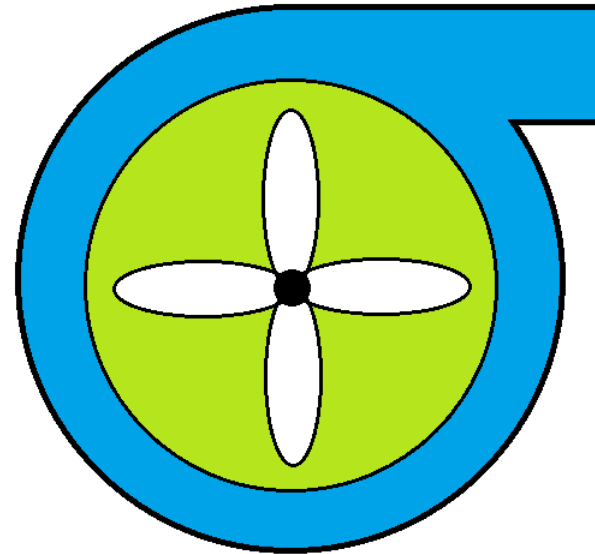
이동참조프레임 (MRF; Moving reference frame)

- 회전체 유동을 해석할 때, 회전체 벽면이 직접 운동하는 대신 회전영역에 그 반대 방향의 속도 성분을 부여하는 방법

실제 현상



MRF 해석



일반 유동영역(푸른색)은 기존 운동량 보존 방정식 적용,
회전영역(녹색)은 각속도 ω 에 의한 운동량 생성항이 추가됨

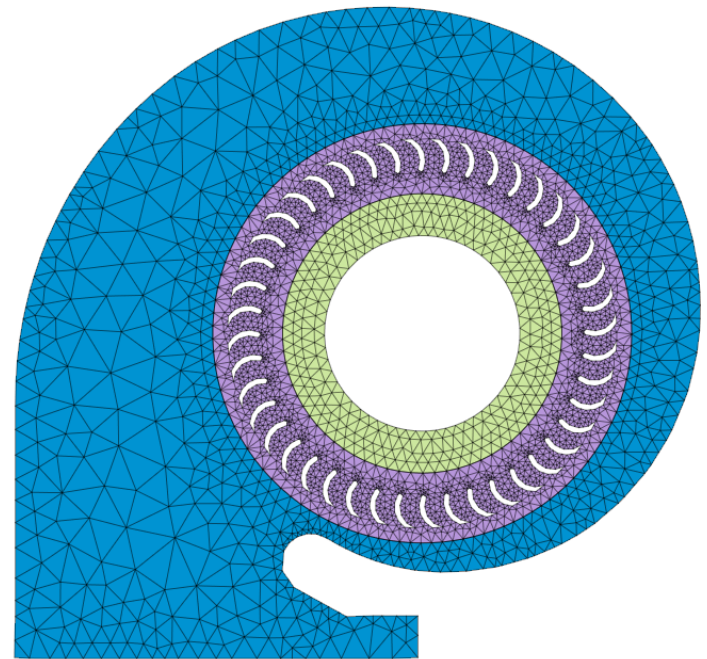
회전체 해석 방법

○ Sliding Mesh 방법

- 임펠러 주변의 Mesh 자체를 회전 시켜 날개의 회전을 표현
- 회전구간과 비회전 구간은 접촉조건을 통해 물리량 전달
- 과도상태 해석

○ MRF(Moving Reference Frame) 방법

- 임펠러 주변 영역을 MRF로 설정하여 해석
- MRF 구간에서는 상대속도 개념을 이용하여 날개의 회전을 표현
- 절점을 병합한 상태로 해석 진행
- 정상상태 해석



회전체 해석 방법

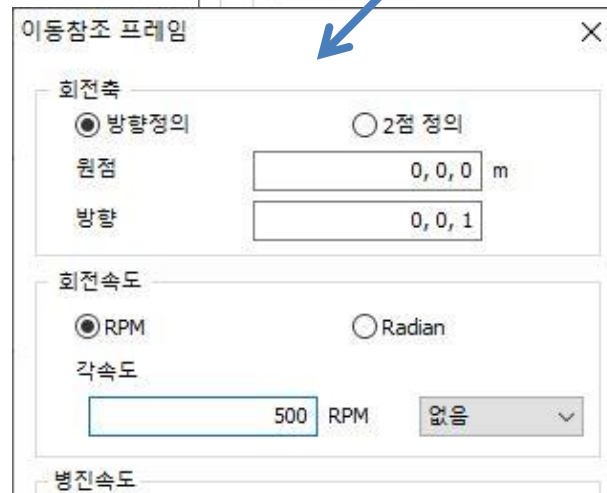
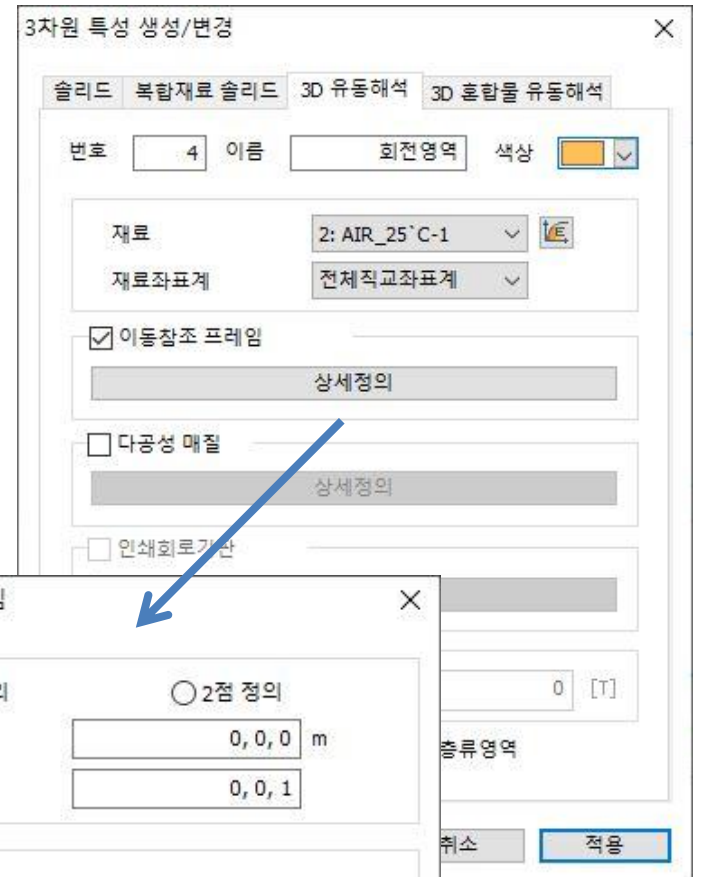
○ 해석 방법별 특징

구분	Sliding Mesh 방법	MRF 방법
해석방식	과도상태 해석	정상상태 해석
장점	<ul style="list-style-type: none"> Mesh가 실제로 회전 Stator 등의 영향을 반영 	<ul style="list-style-type: none"> 해석시간이 단축되어 효과적인 해석이 가능함 절점병합을 통해 해석하기 때문에 계산이 안정적
단점	<ul style="list-style-type: none"> 해석시간이 오래 걸림 접촉처리 부분에서의 오차가 발생할 수 있음 평균값을 찾기 위해서는 별도의 처리가 필요함 	<ul style="list-style-type: none"> 외부의 영향이 MRF 구역 내부에 미칠 경우 오차 발생할 수 있음 후처리 시 팬의 회전이 표현되지 않음

MRF(Moving Reference Frame) 해석 절차

○ 특성 설정

- MRF를 적용하기 위해 미리 특성이 지정되어야 함
- 특성에서 회전축을 정의하고 회전속도를 입력함
- 실제로 팬이나 펌프가 회전하는 방향으로 정의함
- 같은 재료에 대해 MRF특성과 일반특성(정지 구간)을 생성해야 함



MRF(Moving Reference Frame) 해석 절차

○ 모델링 및 요소망 생성

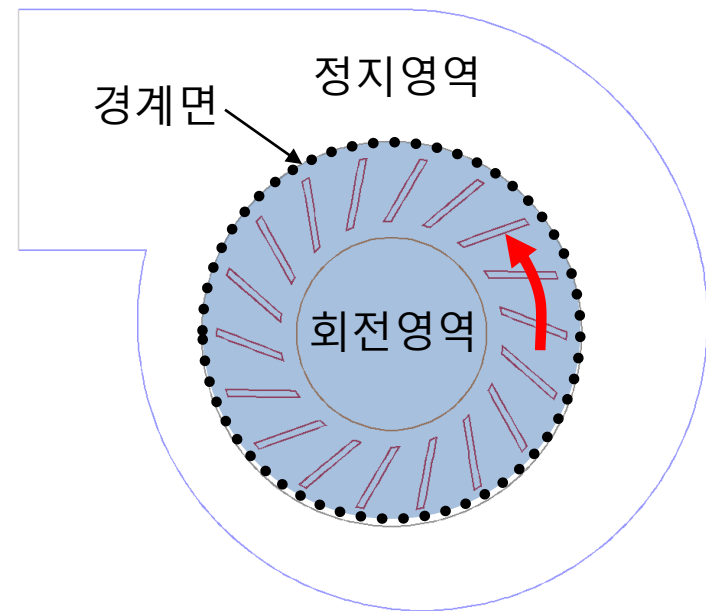
MRF구간 적용은 다음 두가지 방식으로 정의할 수 있음

1. 다중 요소망 방법(권장)

- 정지영역과 회전영역을 분리하여 모델링
- 정지영역과 회전영역 각각에 맞는 특성으로 요소망 생성

2. 단일 요소망 방법

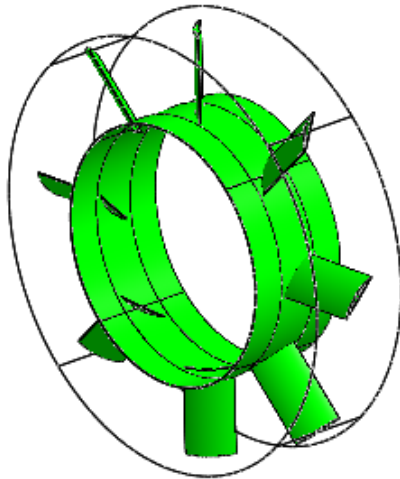
- 단일형상으로 모델링
- 정지영역 특성으로 요소망 생성
- 회전영역을 MRF특성으로 변경



MRF(Moving Reference Frame) 해석 절차

○ 경계조건 설정

- 회전하는 벽면은 벽면이동을 적용
- 벽면이동조건 중 회전프레임을 선택
- 회전축과 회전속도를 입력
- 회전하지 않는 벽면에 대해서는 벽면이동적용을 해제



벽면이동효과 추가/수정

번호 1 이름 조건선택-1

벽면 이동 효과 요소망 변형

회전 이동

회전축

방향정의 2점 정의

원점 0, 0, 0 m

방향 0, 0, 1

각속도

RPM Radian

각속도 500 RPM 없음

벽면

선 벽면 면 벽면

이름 면 벽면-1

대상형상

종류 면

30개 대상 선택됨

벽면

벽면 종류 무차원벽면거리적용

벽면거리 65

파티클 벽면 종류 없음

벽면이동효과 적용

조건선택 조건선택-1

벽면점차효과

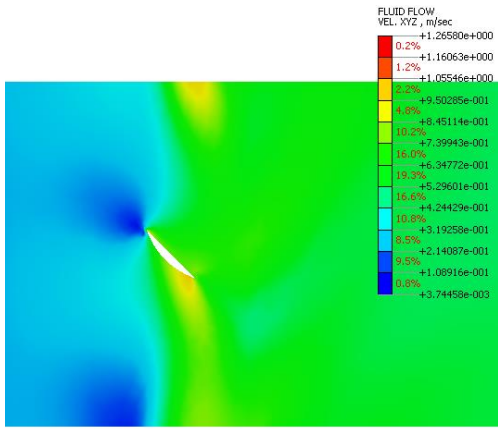
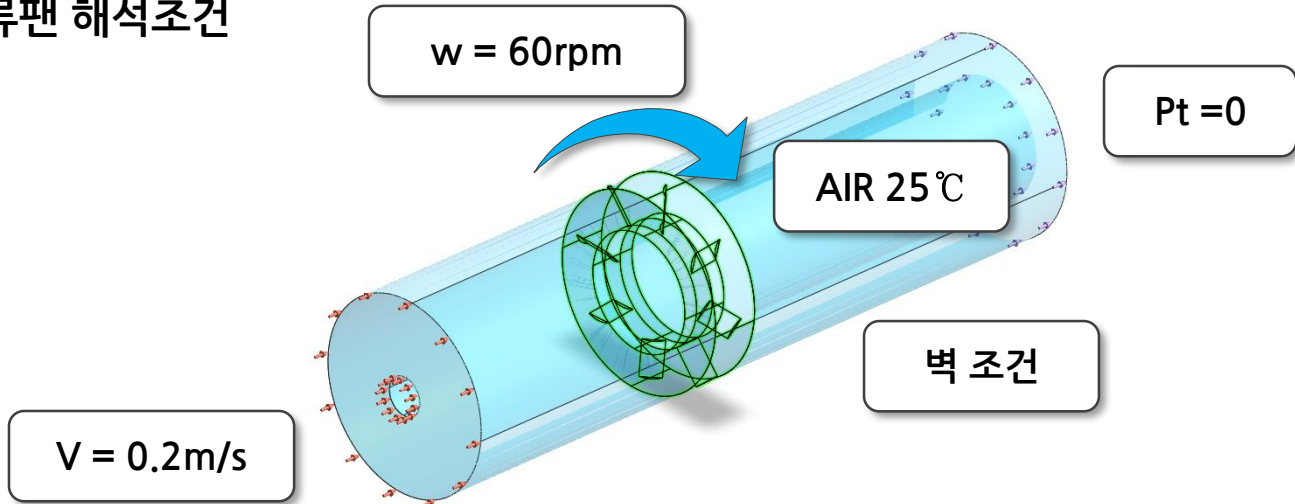
접촉각 60 [deg] 없음

CFD 경계세트 유동해석 경계조건 세트-1

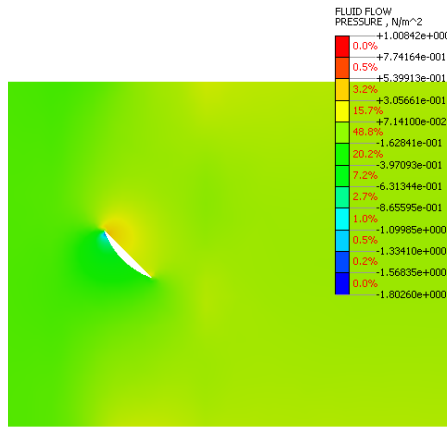
확인 취소 적용

축류팬 해석사례

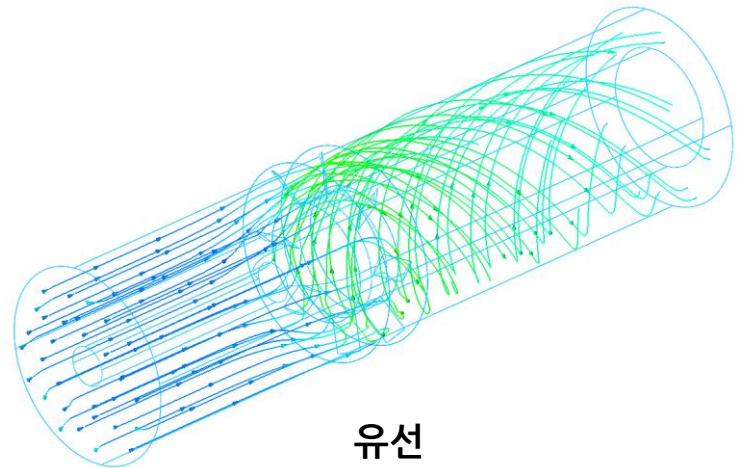
○ 축류팬 해석조건



속도분포

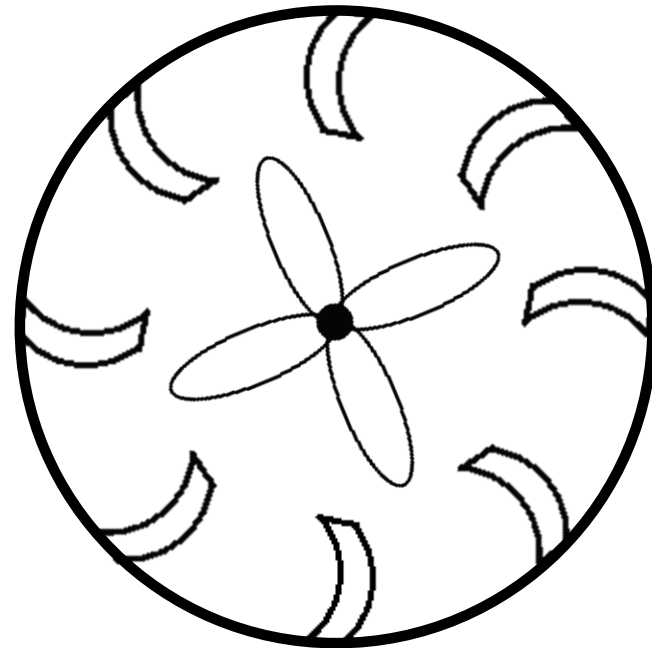
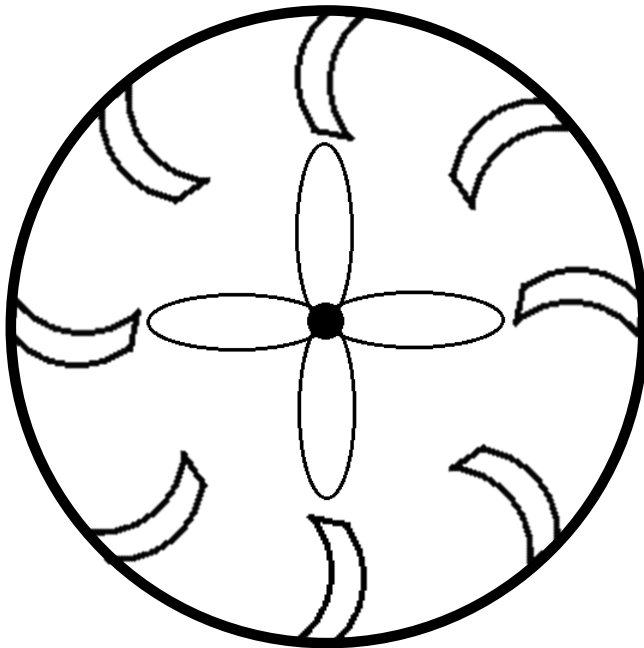


압력분포



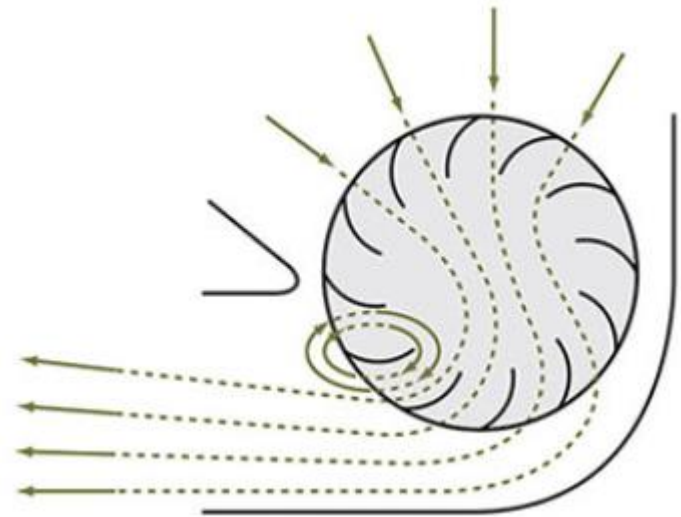
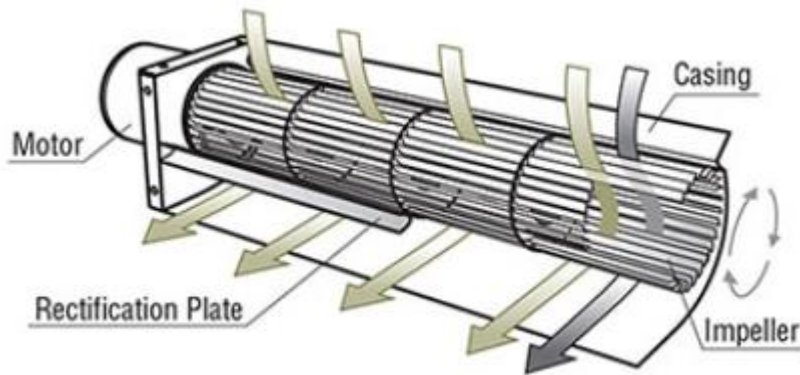
이동참조프레임 사용 시 주의사항

1. 회전영역과 비회전영역의 상대적 운동을 고려하지 않음
→ 초기 로터-스테이터 위상차에 따라 해석 결과가 달라질 수 있다.
2. 정상상태 해석에만 적용할 수 있음
3. 비압축성 유동만 해석할 수 있음



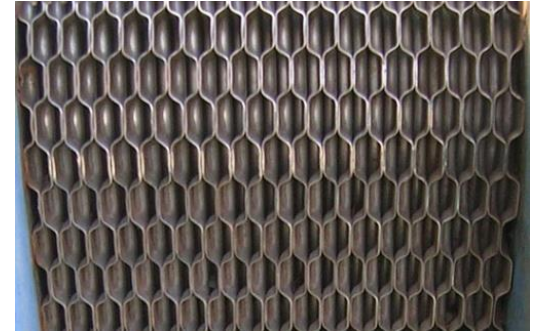
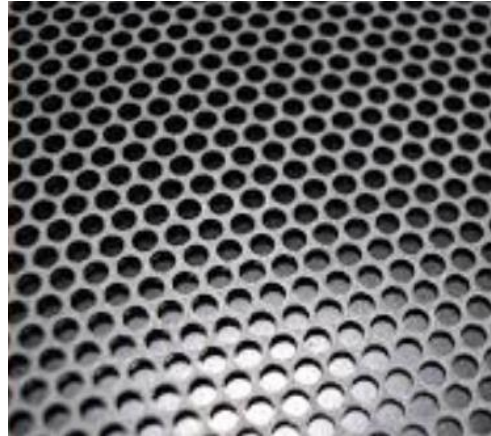
이동참조프레임 사용 시 주의사항

4. 회전영역 경계면 유동이 균일한 경우에만 적용할 수 있음 (크로스플로우 팬 적용 불가)



Porous Media 적용 대상

○ 관군, 타공판, 각종 필터, 스크린

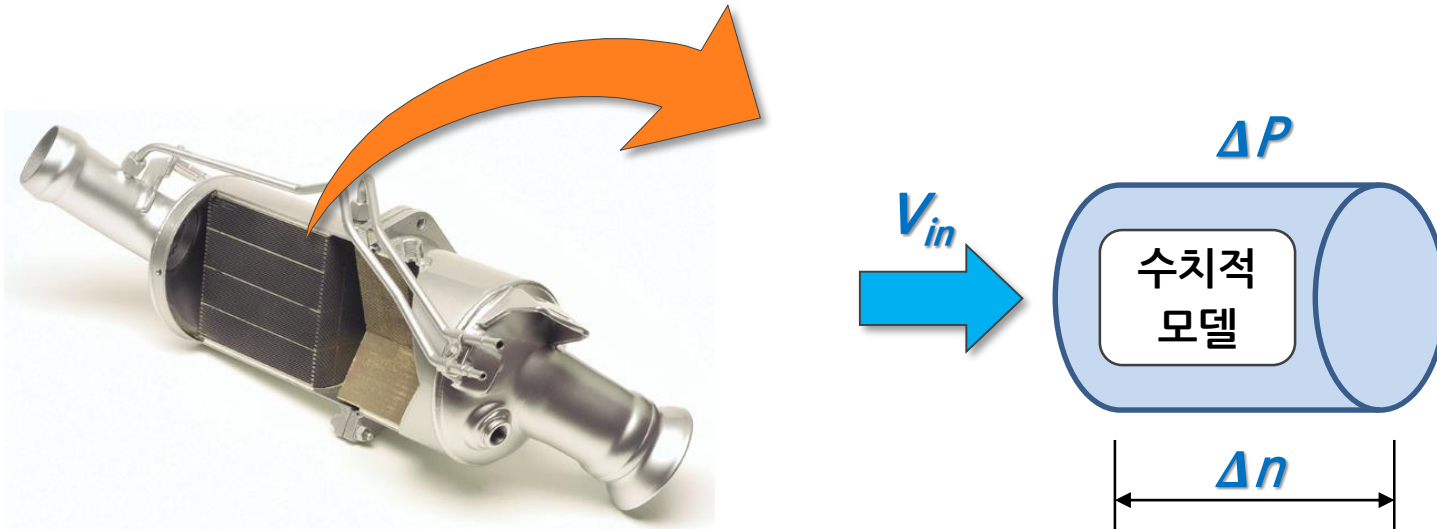


Porous Media의 필요성

○ 다공성물질 해석의 어려움

- 모델링으로 표현하기 힘들: 필터, 유리섬유
- 모델링은 가능하지만 요소망의 수가 기하급수적으로 증가함: 관다발, 타공판

○ 다공성 물질의 간략화



Porous Media 이론

○ Darcy's Law (점성저항)

- 유체로 포화된 다공성 물질을 유체가 통과하는 경우
- 압력손실은 통과하는 유속에 비례하고, 투과율에 반비례 함

$$\nabla p = -\frac{\mu}{\alpha} \rho v$$

○ 관성저항

- 다공성 물질을 통과하는 유체가 빠른 경우
- 압력손실은 통과하는 유속의 제곱에 비례함
- 타공판이나 관다발에서 주가 되는 저항임

$$\nabla p = -\sum_{j=1}^3 C_{2ij} \left(\frac{1}{2} \rho v_j |v| \right)$$



Porous Media 이론

- Porous Media 적용식
 - 점성저항과 관성저항을 하나의 식으로 표현
 - 각 주방향 별로 정리하면 다음과 같은 식이 됨

$$\Delta P = \frac{1}{2} C \rho \Delta n v^2 + D \mu \Delta n v$$

관성저항

점성저항

ρ : 유체의 밀도 (kg/m³)
 Δn : Porous Media의 두께(m)
 μ : 유체의 점성계수(kg/m·s)

관성저항-X	<input type="text" value="1000"/>	1/m	없음	▼
관성저항-Y	<input type="text" value="1000"/>	1/m	없음	▼
관성저항-Z	<input type="text" value="1000"/>	1/m	없음	▼

점성저항-X	<input type="text" value="10000000"/>	1/m ²	없음	▼
점성저항-Y	<input type="text" value="10000000"/>	1/m ²	없음	▼
점성저항-Z	<input type="text" value="10000000"/>	1/m ²	없음	▼

Porous Media 이론

- 열과 물질 전달의 표현
 - 전도와 비열에 영향을 줌
 - 공극률을 입력하여 계산됨
 - 유체와 고체가 섞여 있기 때문에 다음과 같은 유효열전도율을 적용함
 - 물질전달에서는 확산율을 의미함

$$k_{eff} = \gamma k_f + (1 - \gamma) k_s$$

k_f : 유체의 열전도율 (W/m·K)

k_s : 고체의 열전도율 (W/m·K)

γ : 공극률(유체의 비율)

상세정의

다공성 물질

공극률 1

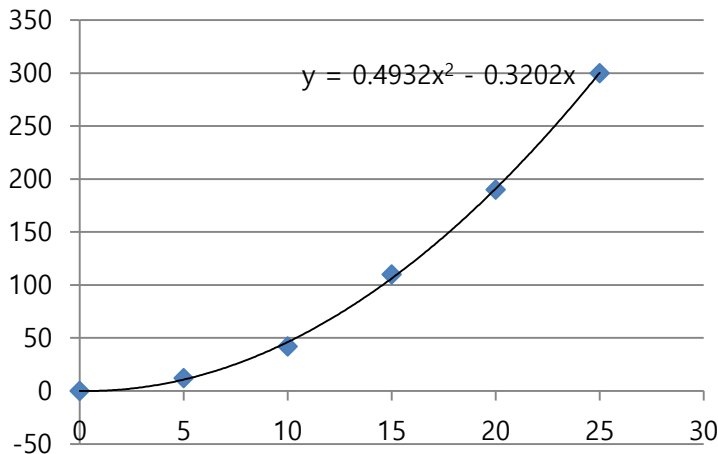
Porous Media 계수 산정

○ 실험값이 있는 경우

- 필터업체에서 제공하는 압력 손실 값을 가지고 있거나
- 실험이 가능한 경우에는 다음과 같이 속도에 따른 압력손실을 알 수 있음

유속(m/s)	5	10	15	20	25
압력손실 (Pa)	12	42	110	190	300

- 이 자료로부터 엑셀 등을 이용하여 2차식 추세선을 구함



◆ 계열1
— 다항식 (계열1)

추세선 서식

추세선 옵션 ▾

📌
🏠
📊

▾ 추세선 옵션

- 지수(X)
- 선형(L)
- 로그(O)
- 다항식(P) 차수(D)
- 거듭제곱(W)
- 이동 평균(M) 구간(E)

Porous Media 계수 산정

- 점성저항, 관성저항 계수 산정
- 추세선을 통해 계수를 산정할 수 있음

$$\Delta P = \frac{1}{2} C \rho \Delta n v^2 + D \mu \Delta n v$$

$$\Delta P = 0.4932 v^2 - 0.3202 v$$

- 사용된 유체가 공기($\rho=1.17\text{kg/m}^3$, $\mu=1.8 \times 10^{-5}\text{kg/m}\cdot\text{s}$)이고, 두께가 0.005m라고 한다면

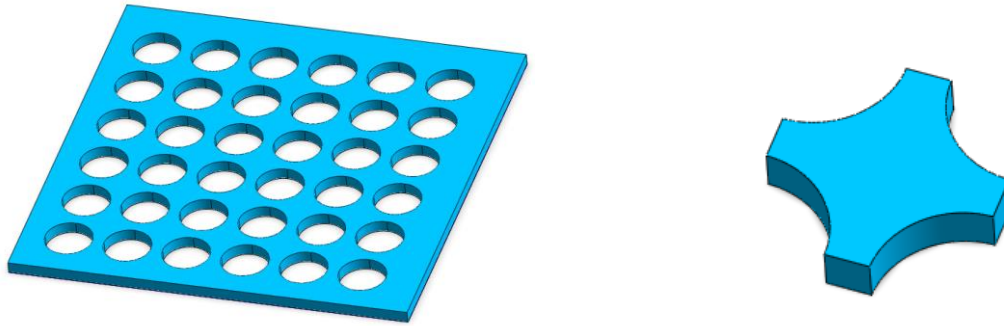
$$C = 168.62 \text{ (1/m)}$$

$$D = -3,557,778 \text{ (1/m}^2\text{)}$$

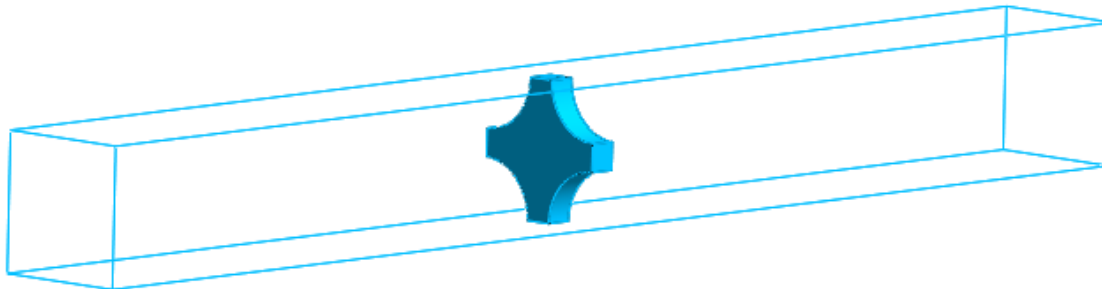
- 관다발과 같이 주 방향 이외의 방향으로 유동이 발생하지 않는 경우는 나머지 방향에 대해 수배~100배 정도 큰 값을 넣어 주면 됨

Porous Media 계수 산정

- 실험값이 없는 경우
 - 실험값이 없는 경우는 유동 시뮬레이션을 통해 얻어낼 수도 있음
 - 다음 그림과 같이 반복되는 형상의 경우 반복되는 형상 단위로 잘라냄



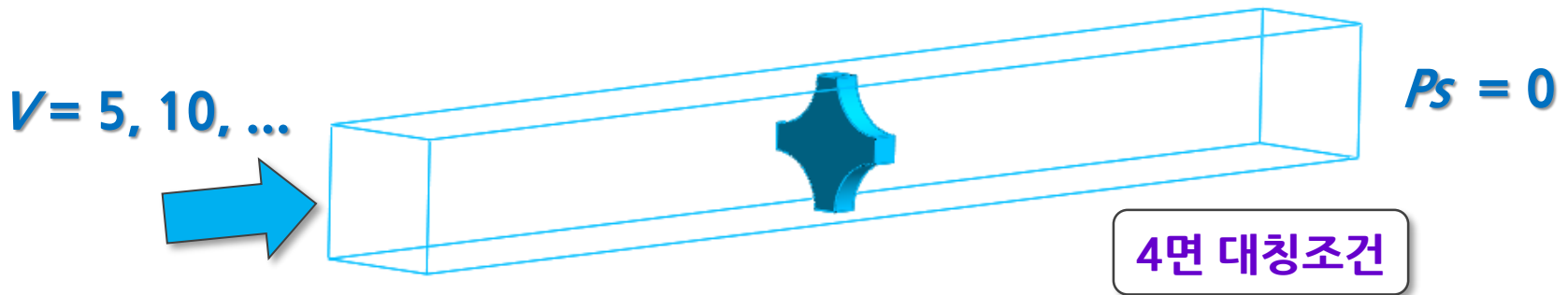
- 이 형상을 중간에 배치하고 후류영향을 고려하여 앞뒤로 5D 가량 확보해 줌



Porous Media 계수 산정

○ 실험값이 없는 경우

- 4옆면을 모두 대칭조건으로 설정하여 관마찰을 배제시킴
- 실제 운영시 많이 사용될 유속위주로 입구부 유속을 바꿔가며 해석 실시

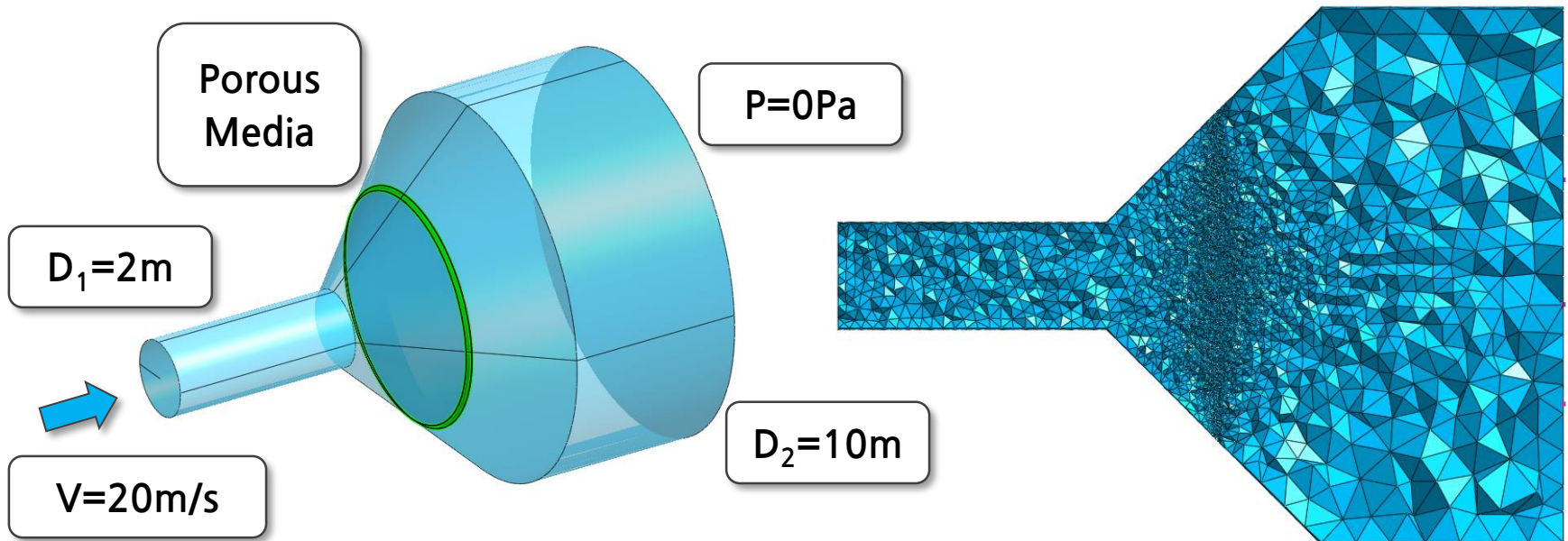


- 유속별 입구 측 압력을 확인하여 아래와 같은 표를 생성함

유속(m/s)	5	10	15	20	25
압력손실 (Pa)	12	42	110	190	300

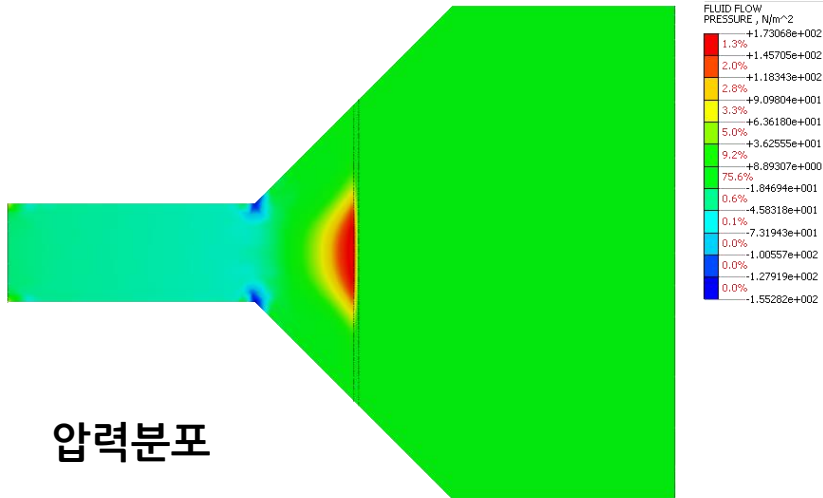
Porous Media 적용 예

- 환관부에 스크린을 설치한 경우
 - 환관시 속도확산을 위해 스크린을 설치
 - 스크린을 porous media로 적용하여 속도분포를 확인
 - porous 구간에서 압력이 급변하기 때문에 요소를 집중시켜주는 것이 좋음
 - 축방향 이외의 방향은 100배 큰 값을 설정

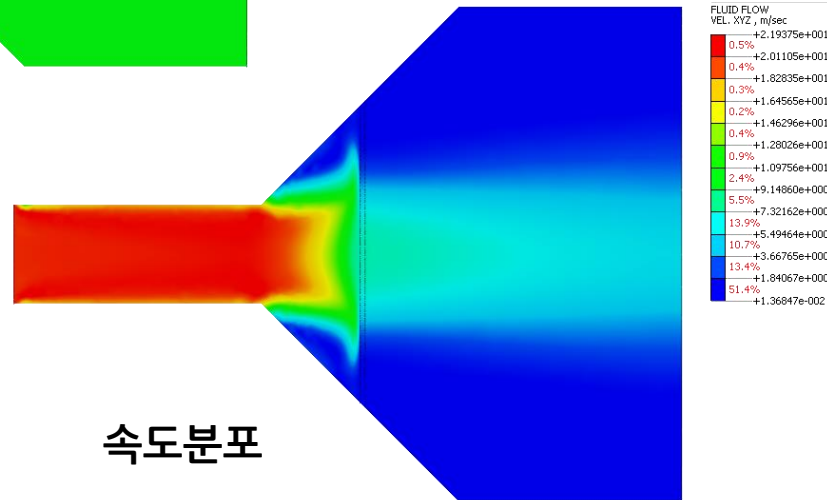
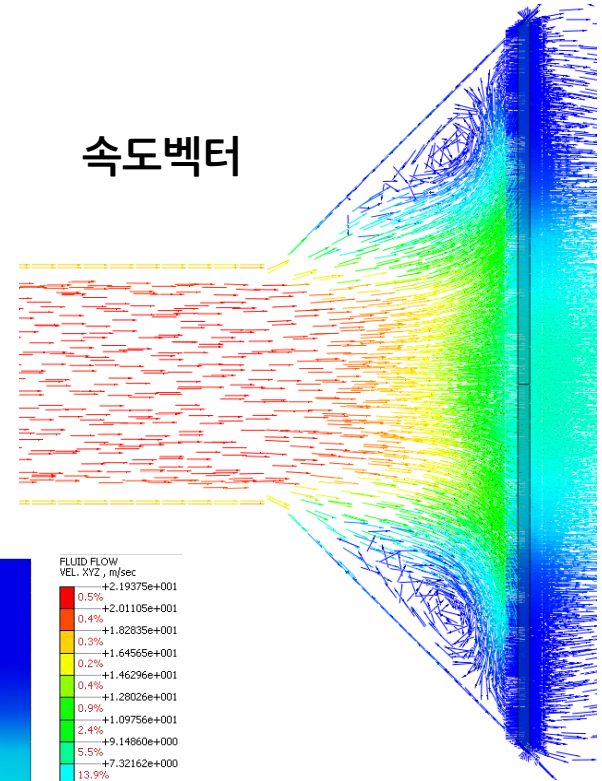


Porous Media 적용 예

○ 해석결과



속도벡터

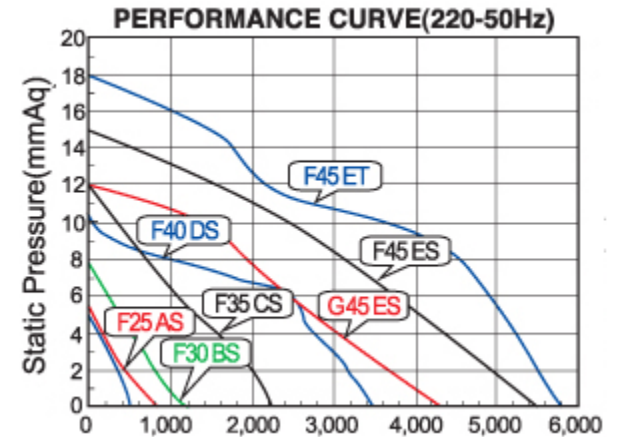


모델 선택 기준

○ 팬 자체의 성능이 필요한 경우



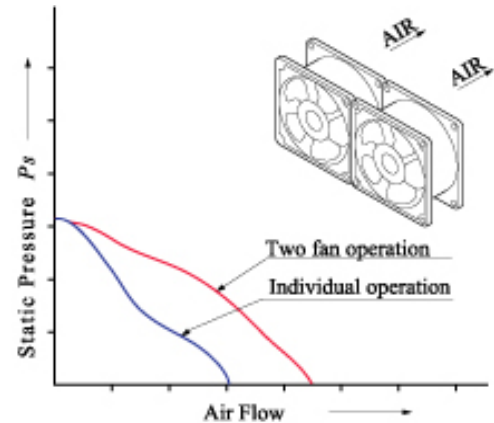
MRF 모델
유동해석



○ 팬을 사용한 시스템 해석이 필요한 경우

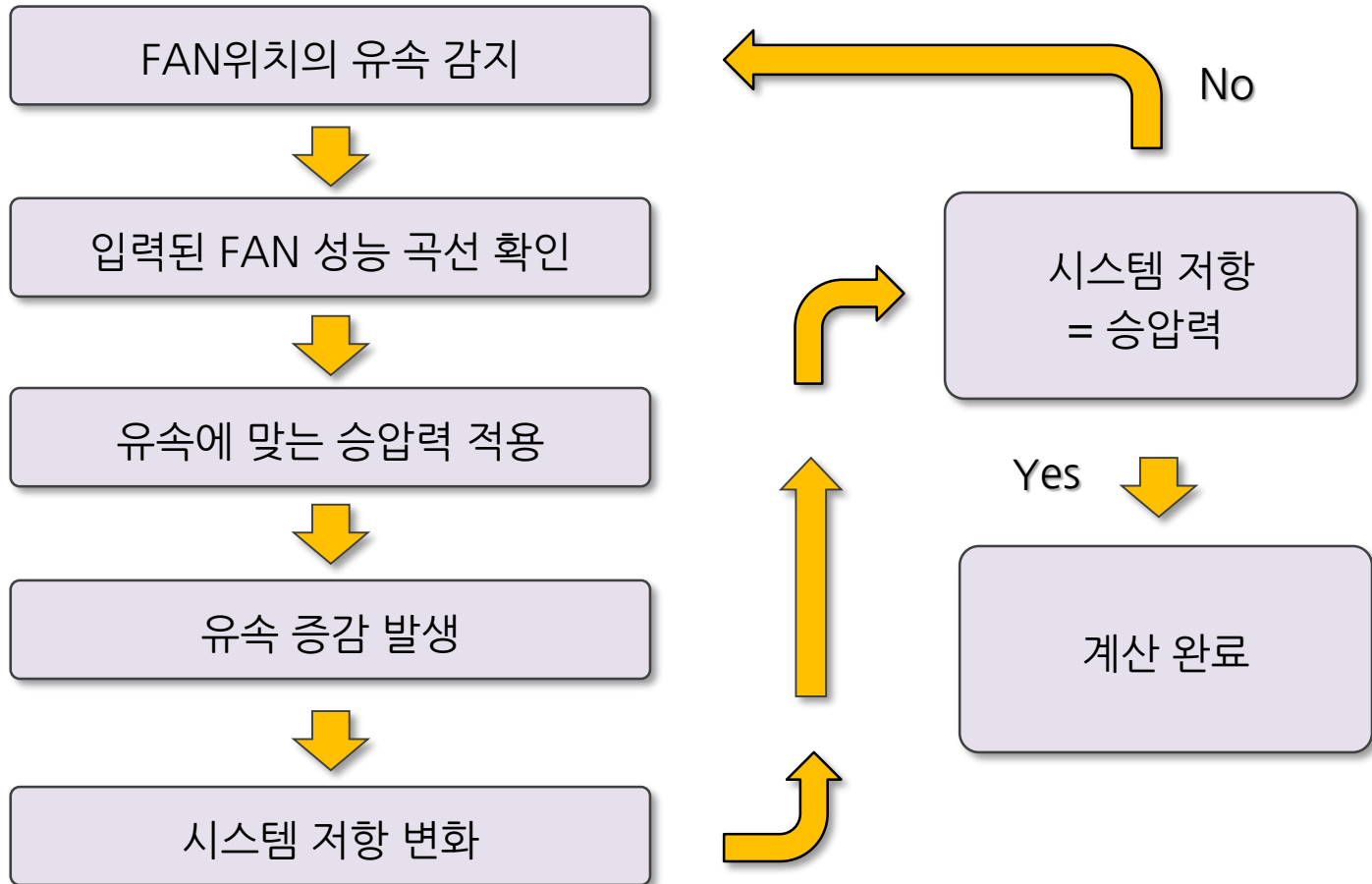


FAN 경계조건
유동해석



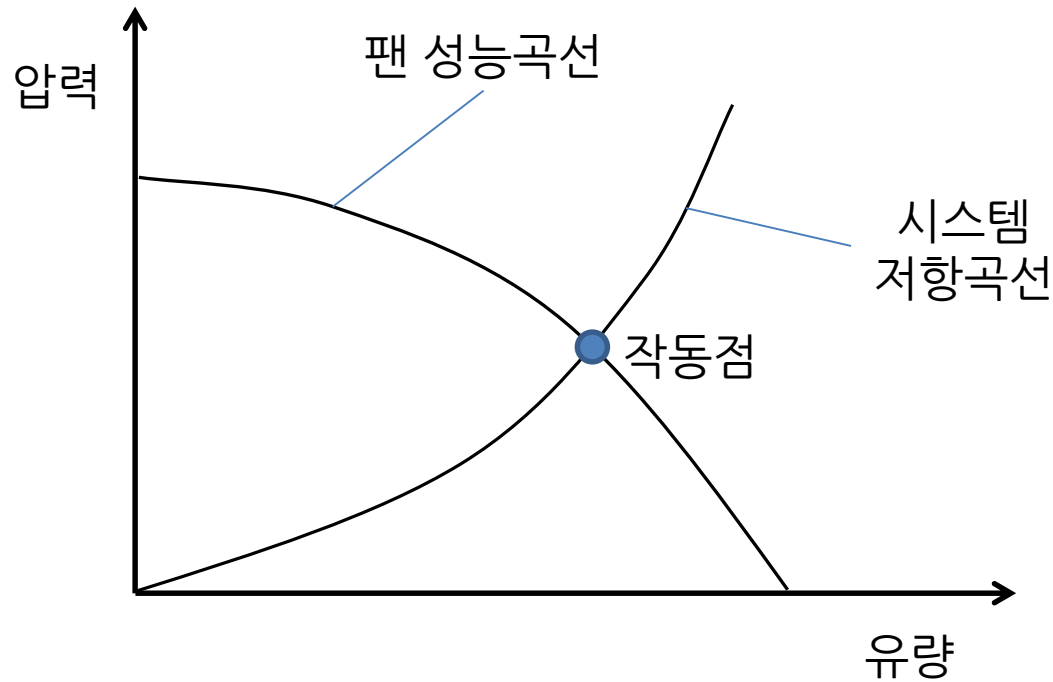
FAN 경계조건 이론

○ FAN 경계조건의 작동 원리 (1)



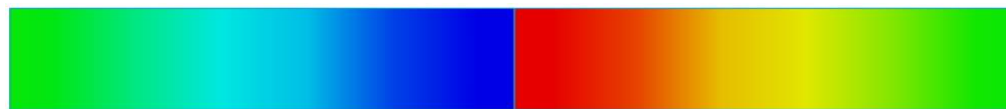
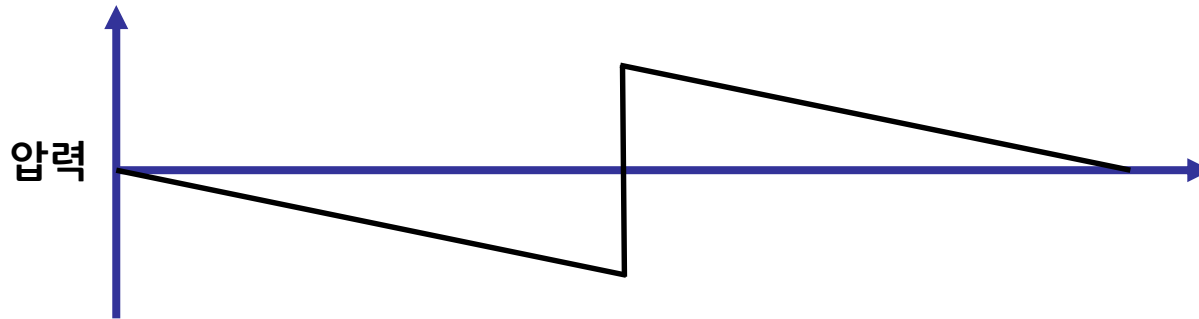
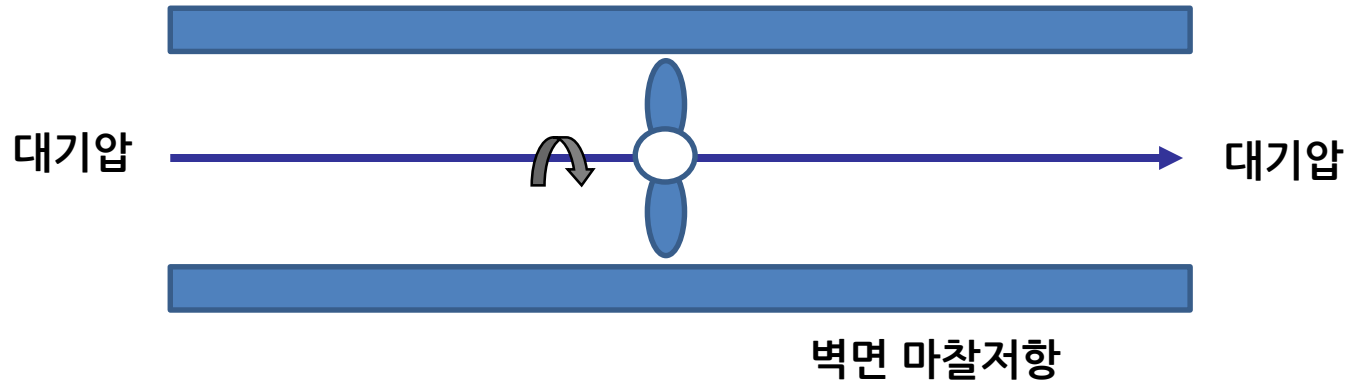
FAN 경계조건 이론

○ FAN 경계조건의 작동 원리 (2)



FAN 경계조건 이론

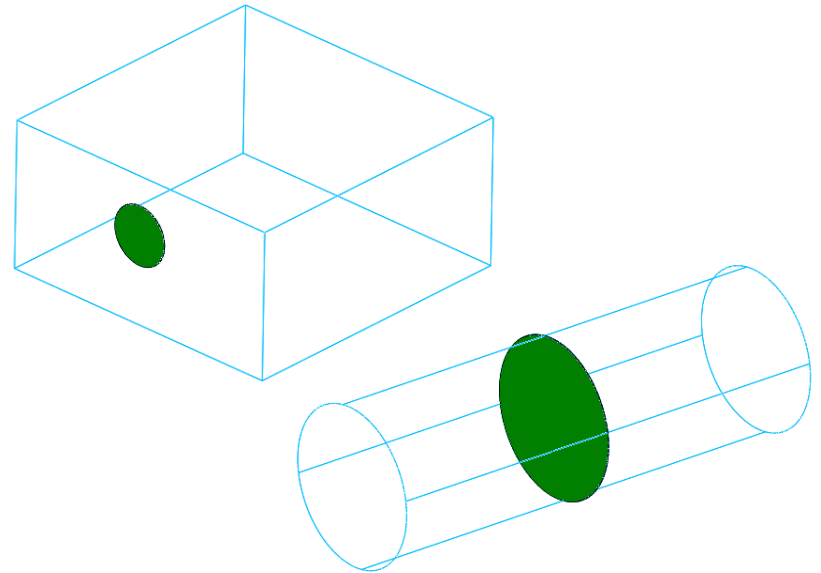
○ FAN 경계조건 사용시 압력분포



FAN 경계조건 적용방법

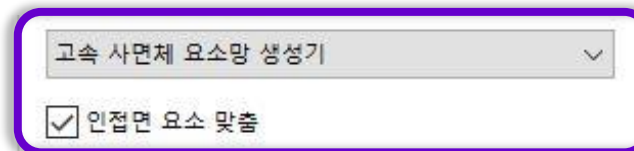
○ 모델링시 고려사항

- 팬 경계조건을 적용할 면을 미리 생성해 두어야 함
- 입·출구 팬의 경우는 임프린트 기능을 사용해 면을 분리
- 내부 팬의 경우 내부면 기능을 사용해 면을 생성



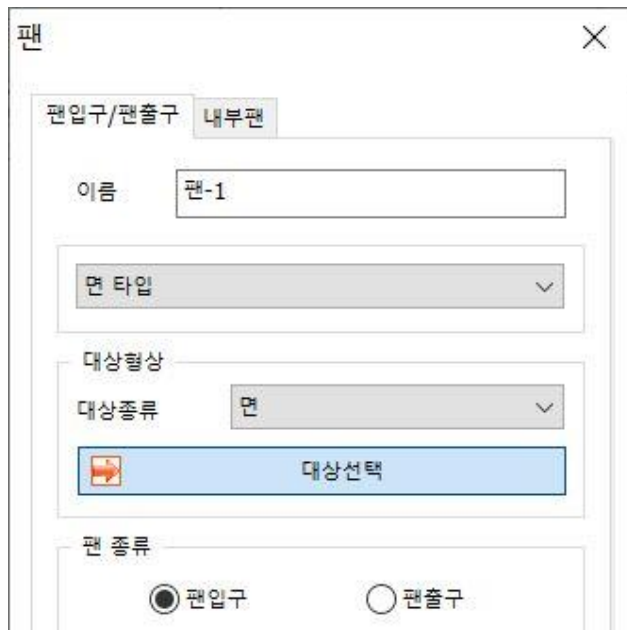
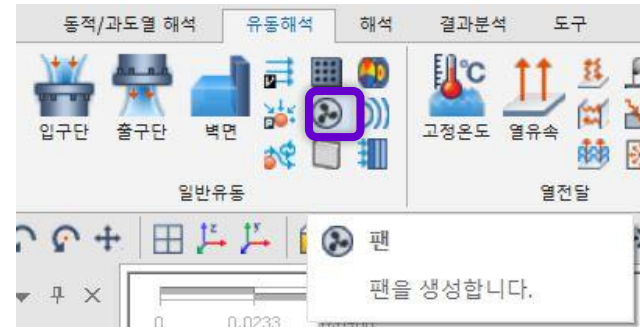
○ 요소망 생성시 고려사항

- 내부 팬의 경우 요소망 생성시 인접면 요소 맞춤은 활성화 하고, 절점병합은 해제 하여 생성해야 함



FAN 경계조건 적용방법

- 팬 경계조건 선택
 - 팬 경계조건은 일반유동 경계조건에 있음
 - 팬입구/팬출구는 최 외곽면에 팬 조건을 입력할 때 사용
 - 내부팬은 솔리드 내부에 팬이 존재할 때 사용

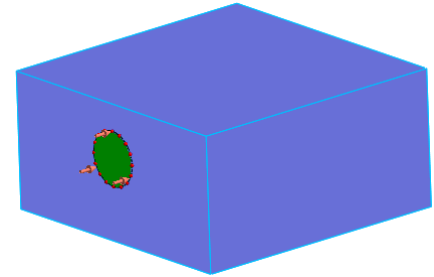


FAN 경계조건 적용방법

○ 압력설정

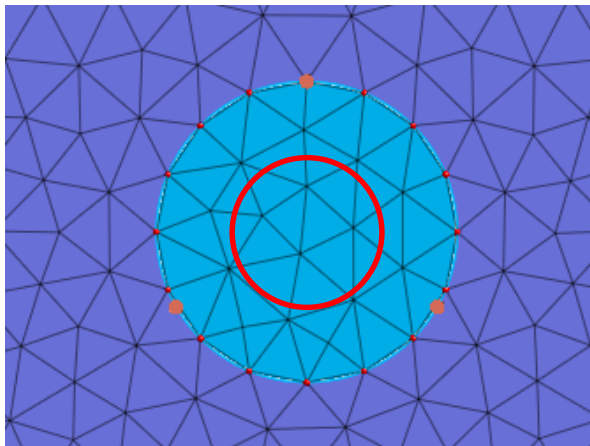
- 팬입구/팬출구에서의 압력조건은 팬 외부(시스템 외부)의 압력을 설정할 때 사용함

외부압력
설정



○ 팬 허브

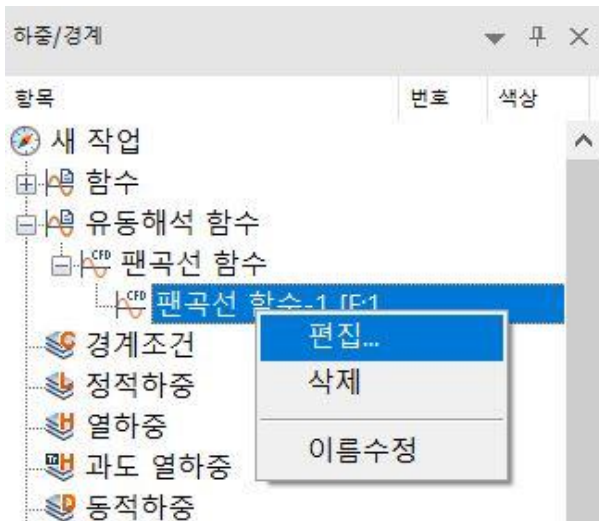
- 팬허브 직경 이내의 절점은 벽면조건으로 설정됨
- 허브중심은 팬 중심으로 자동 설정됨



압력	P		0	N/m ²	없음
<input type="checkbox"/>	평균 조건				
<input type="checkbox"/>	팬허브 정의				
허브 직경			0.001	m	
<input type="checkbox"/>	사용자 정의 허브 중심				
				0, 0, 0 m	
팬 곡선					

FAN 경계조건 적용방법

- 팬곡선 입력
 - 팬곡선 선택 우측에 있는 팬곡선 함수 정의를 클릭하여 입력
 - 유량과 유속조건 모두 입력 가능
 - 함수 수정은 하중/경계 탭의 팬곡선 함수 트리를 우클릭하여 수정



함수 생성/변경

팬곡선 함수

이름: 팬곡선 함수-1

유량 (m ³ /sec)	압력 (N/m ²)
0	22
0.0004	16.68
0.0008	9.96
0.001	6.72
0.0011	5.98
0.0013	5.73
0.0014	5.98
0.0017	5.73
0.0018	5.23
0.0021	3.74
0.0025	0

단위: 유량 (m³/sec) 속도 (m/sec)

1 스케일값

확인 취소 적용

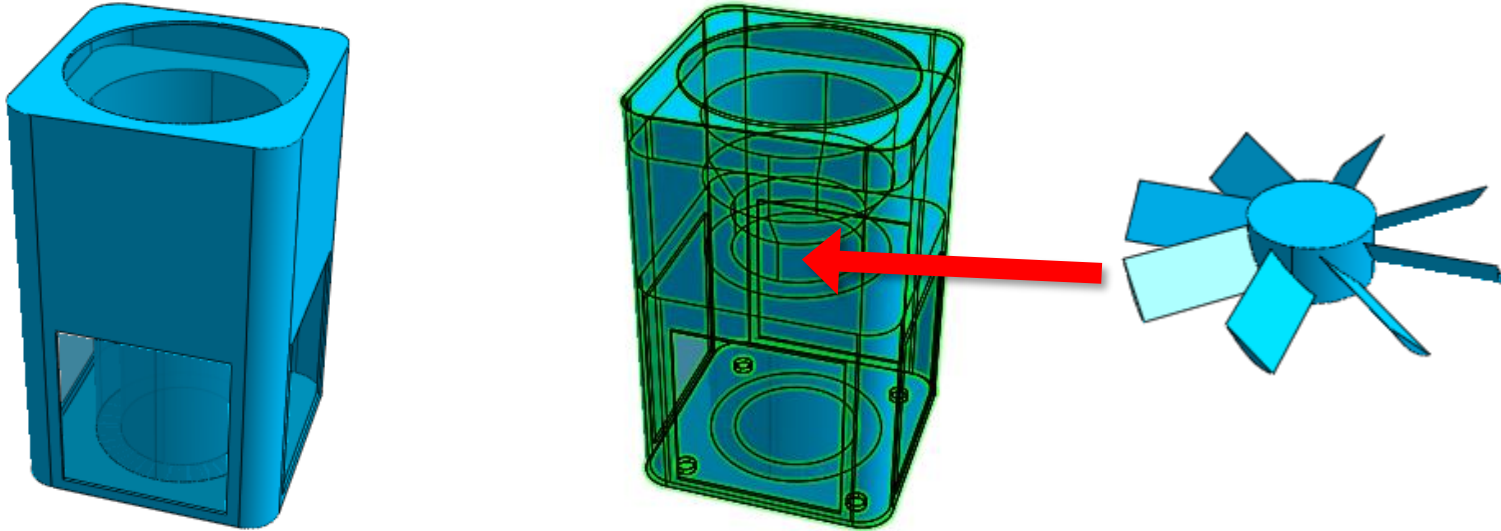
실무 따라하기

공기청정기 해석 예제

- 이동참조프레임 + 다공성매질

Contents

문제 설명 및 해석 목적



문제 설명

- ✓ 필터형 공기청정기 유동 해석
- ✓ 내부팬이 500 rpm으로 회전하여 흡·배기
- ✓ 흡기구 및 배기구에 타공판

해석 목적

- ✓ 이동참조프레임 기능을 이용한 회전유체기계 유동해석
- ✓ 다공성매질 기능을 이용한 유동해석

학습 주요 아이템

- ✓ 이동참조프레임 기능 활용
- ✓ 이동참조프레임 기능을 위한 유동영역 생성
- ✓ 다공성매질 기능 활용

새로 만들기

해석조건
설정

기하형상
제작

재료·특성
정의

경계 조건
입력

인접 조건
설정

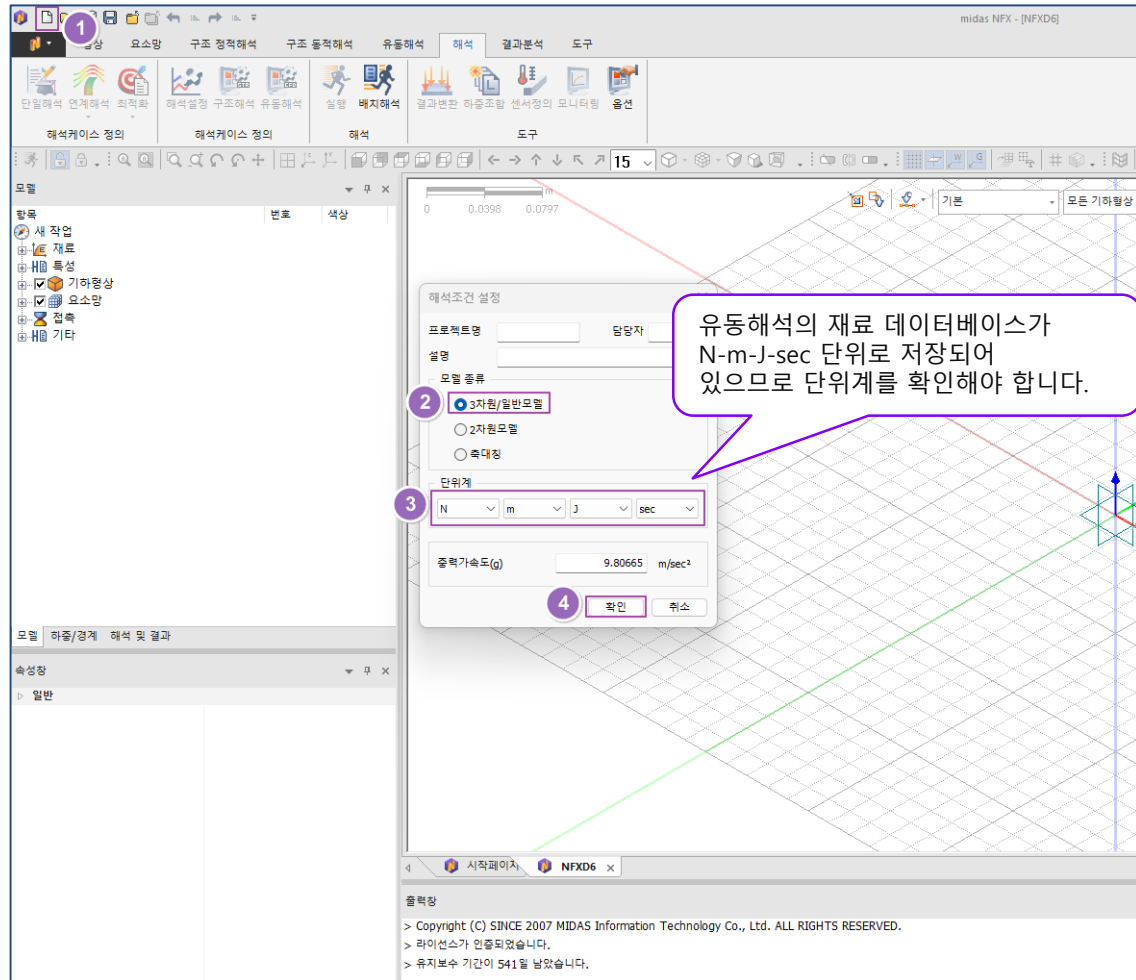
요소망생성

해석 케이스
정의

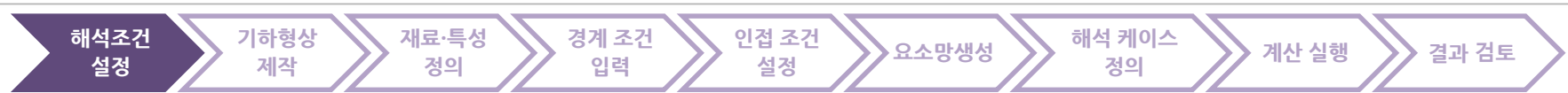
계산 실행

결과 검토

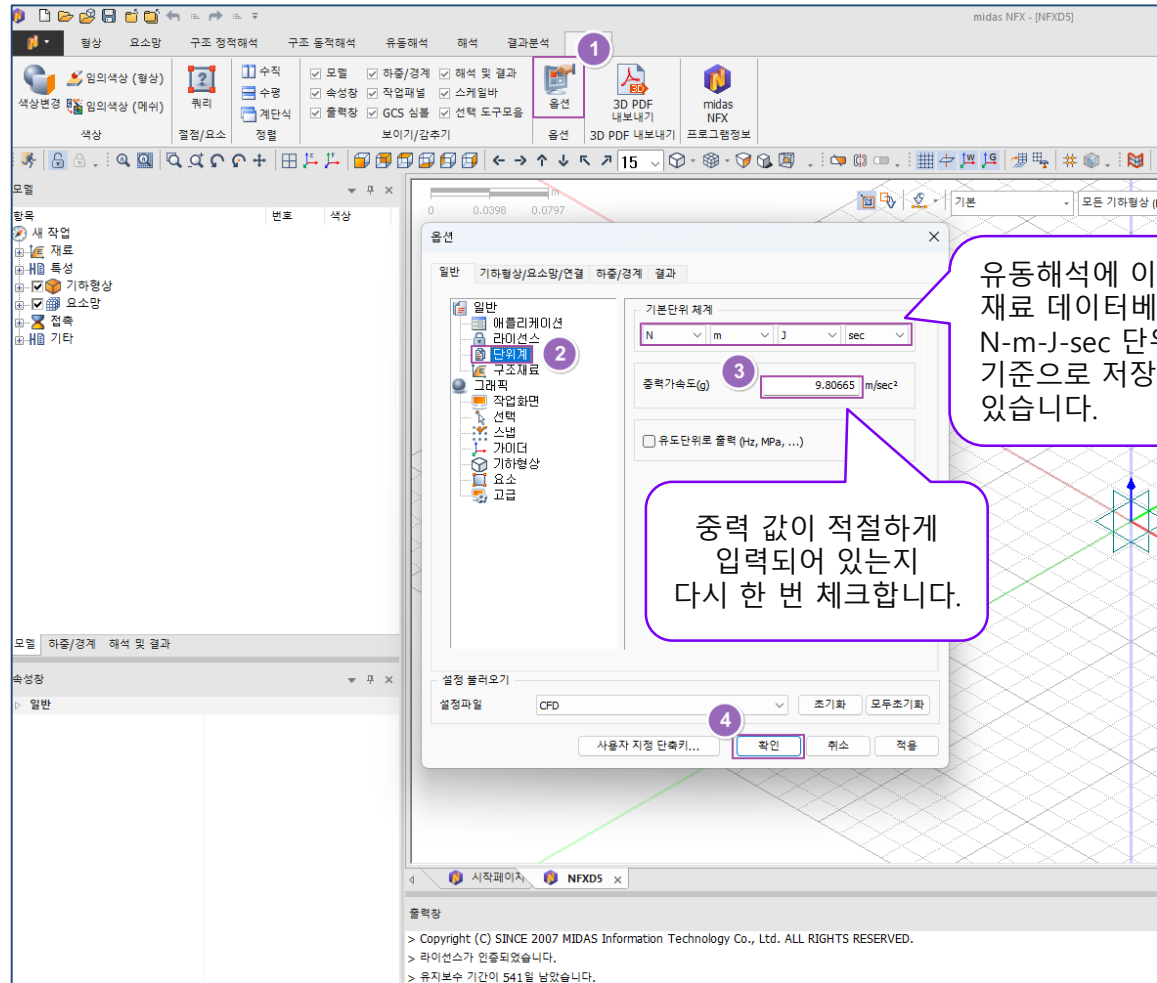
- ① “새로만들기” 버튼 클릭
- ② “3차원/일반모델” 라디오버튼 클릭
- ③ “단위계” 그룹박스 내 : N-m-J-sec 설정
- ④ “확인” 버튼 클릭



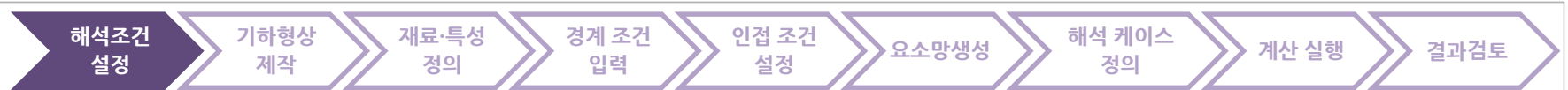
단위계 옵션 확인



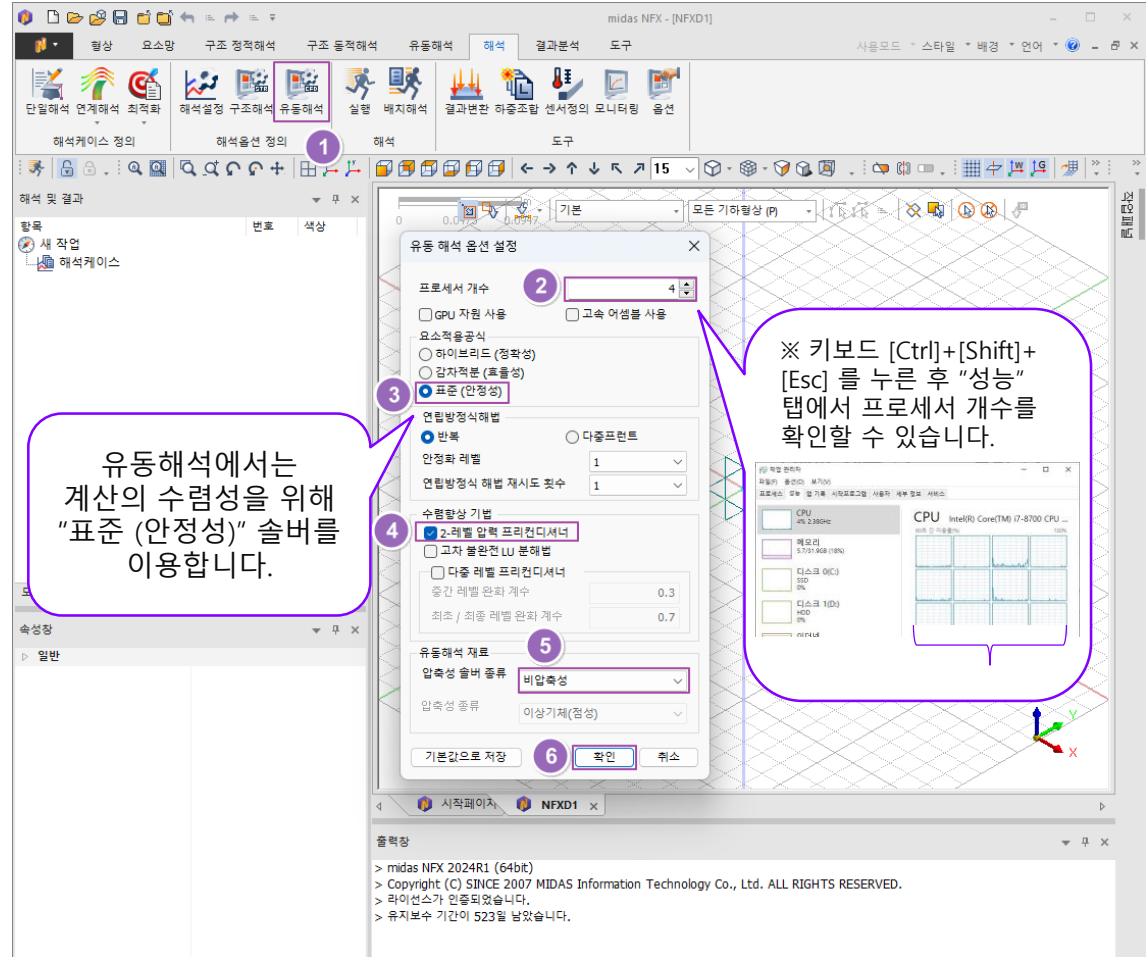
- ① 리본 메뉴 “도구” > 옵션 버튼 선택
- ② 옵션 창 > “일반” 탭 > “단위계” 트리 > “기본단위 체계” 콤보박스 : “N-m-J-sec” 확인
- ③ “중력가속도” 입력 창 : “9.8” 확인
- ④ “적용” 버튼 클릭



프로세서 개수 선택 및 솔버 선택



- ① 리본 메뉴 “해석” > “유동해석” 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 > “비압축성” 선택
- ⑥ “확인” 버튼 클릭



유동해석에서는 계산의 수렴성을 위해 “표준 (안정성)” 솔버를 이용합니다.

※ 키보드 [Ctrl]+[Shift]+[Esc] 를 누른 후 “성능” 탭에서 프로세서 개수를 확인할 수 있습니다.

기하형상 불러오기



- ① “형상” 리본메뉴 > “불러오기” 버튼 클릭
- ② “공기청정기.X_T” 선택
- ③ “열기” 클릭

The screenshot shows the software interface with the '기하' (Geometry) ribbon selected. A file selection dialog box titled 'CAD파일 불러오기...' is open. The dialog shows a file list with the following data:

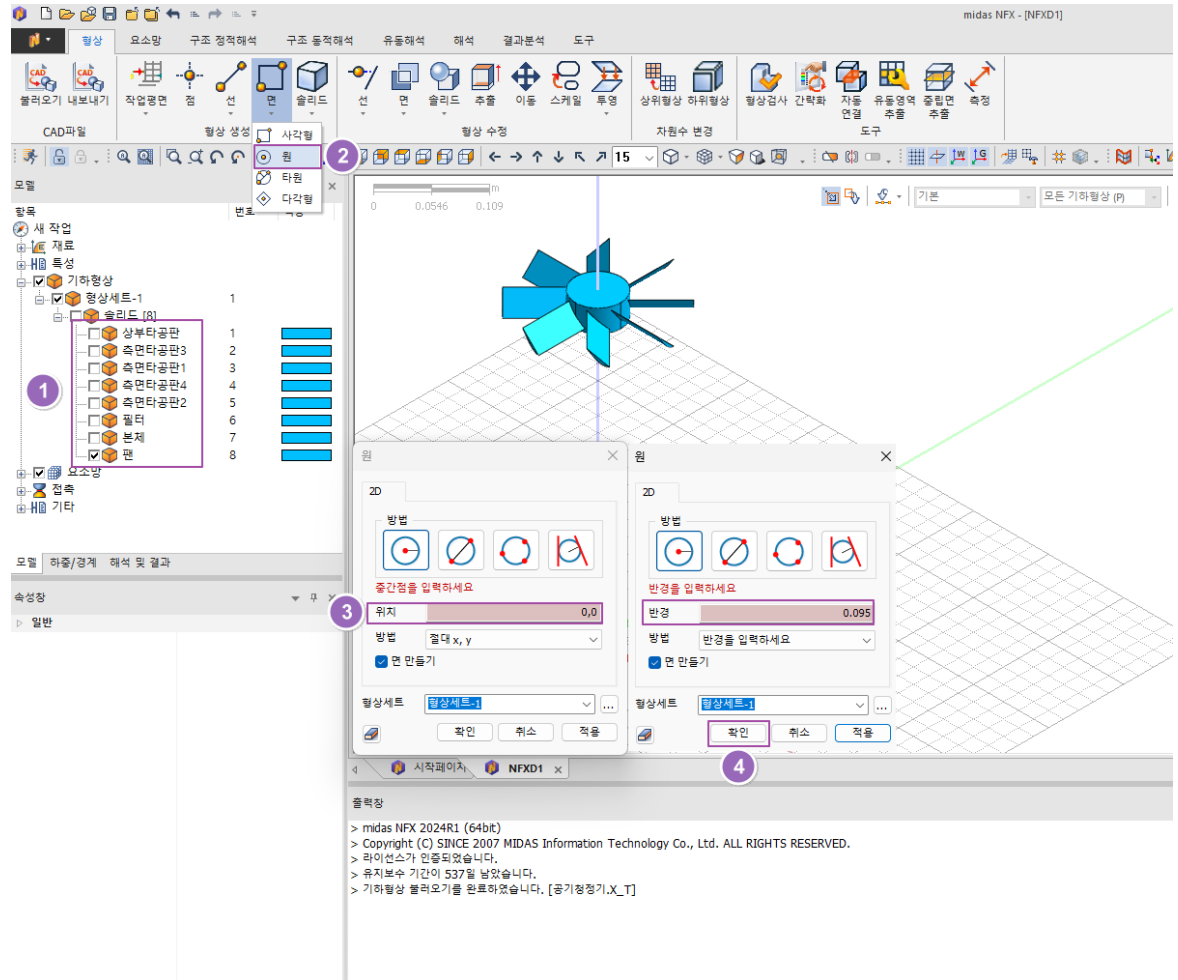
이름	수정한 날짜	유형	크기
공기청정기.X_T	2018-02-21 오전 9:18	X_T 파일	178KB
냉장고.X_T	2018-03-08 오후 2:29	X_T 파일	36KB
세면대.X_T	2018-02-21 오후 1:45	X_T 파일	36KB

The file '공기청정기.X_T' is selected and highlighted. The '열기(O)' (Open) button is visible at the bottom right of the dialog. Below the dialog, there are options for '파일 이름(N): 공기청정기' and '파일 형식(T): Parasolid (9 to 36) Files (*.x_t;*.xmt.txt;*.x_b;*.xmt_bin)'. At the bottom of the software interface, there are checkboxes for '형상정리' (checked), '형상정규화' (checked), and '레벨 1 (보통)' for the meshing level. There are also buttons for '불러오기옵션...' and '모두초기화'.

이동참조프레임 영역 생성하기



- ① 트리 창 “모델” 탭
 > “기하형상” 트리
 > “면”만 남기고 다른 파트들은 디스플레이 체크 해제
- ② “면” 아이콘 클릭
 > “원” 클릭
- ③ “위치”에 “0,0” 입력
 > “적용” 클릭
- ④ “반경”에 “0.095” 입력
 > “확인” 클릭



이동참조프레임 영역 생성하기

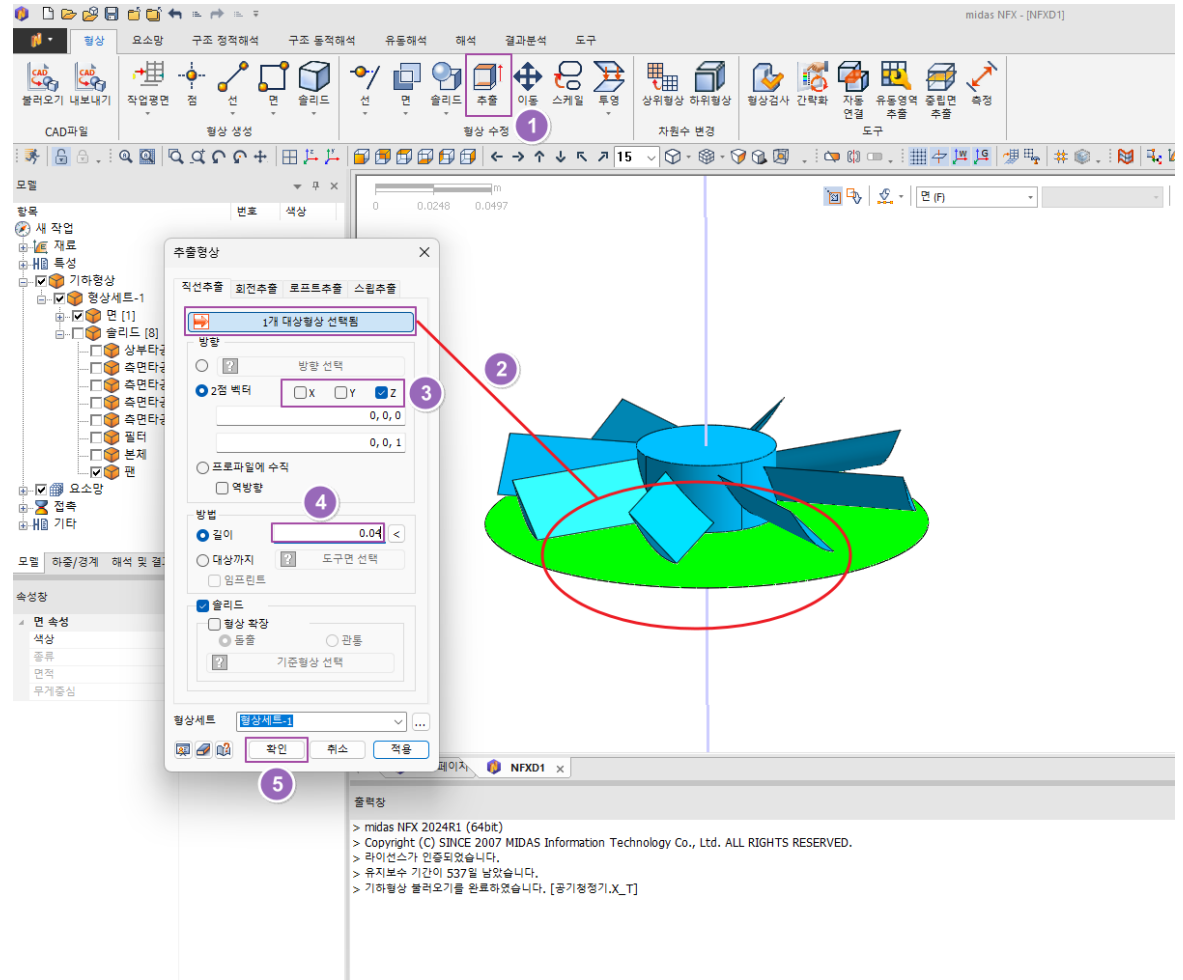


- ① “이동” 아이콘 메뉴
- ② 기준면(원) 선택
- ③ “2점 벡터”에서 “z” 방향만 남기고 체크 해제
- ④ “거리”에 “0.37” 입력
- ⑤ “확인” 클릭

이동참조프레임 영역 생성하기



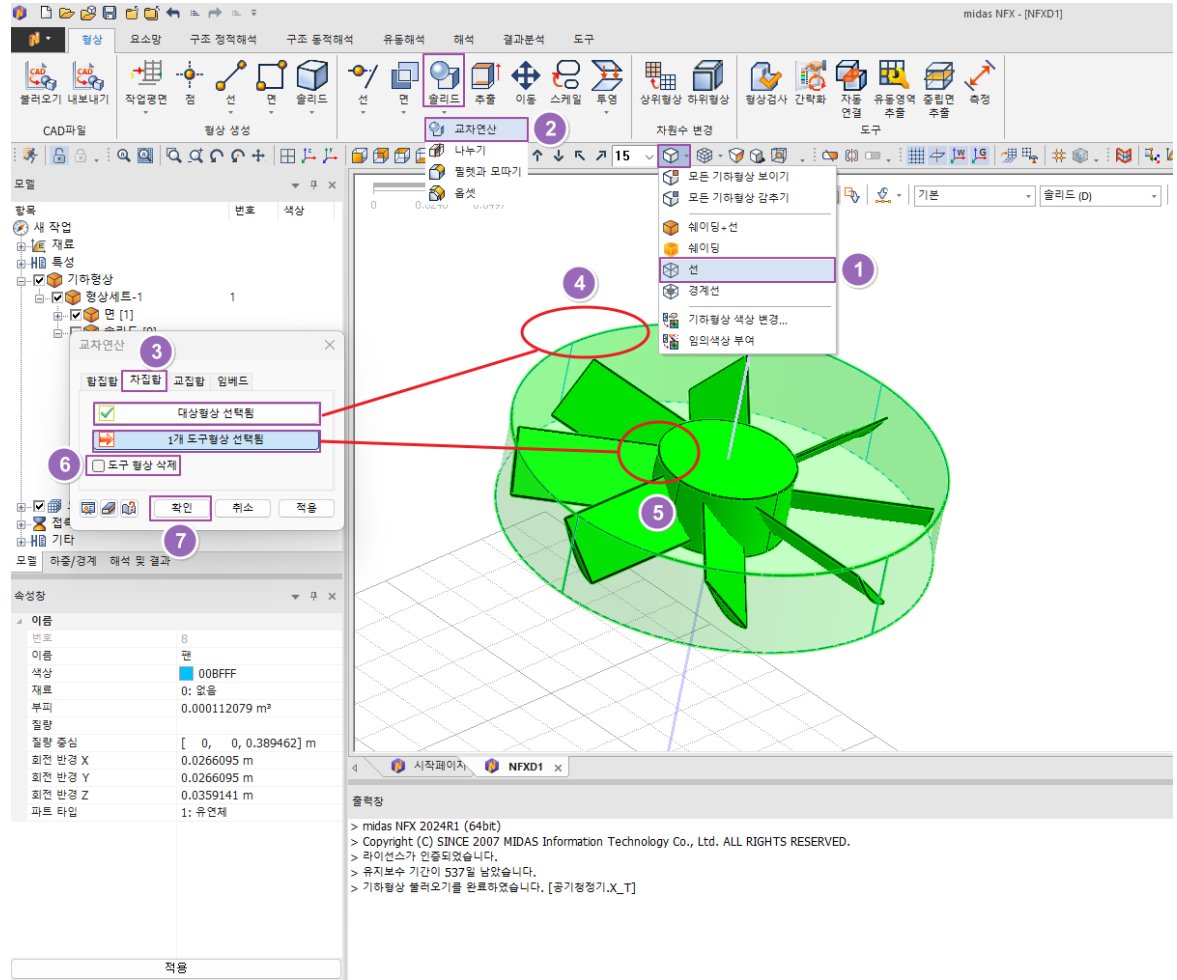
- ① “추출” 클릭
- ② 기준면(원) 선택
- ③ “2점 벡터”에서 “z” 방향만 남기고 체크 해제
- ④ “길이”에 “0.04” 입력
- ⑤ “확인” 클릭



이동참조프레임 영역 생성하기



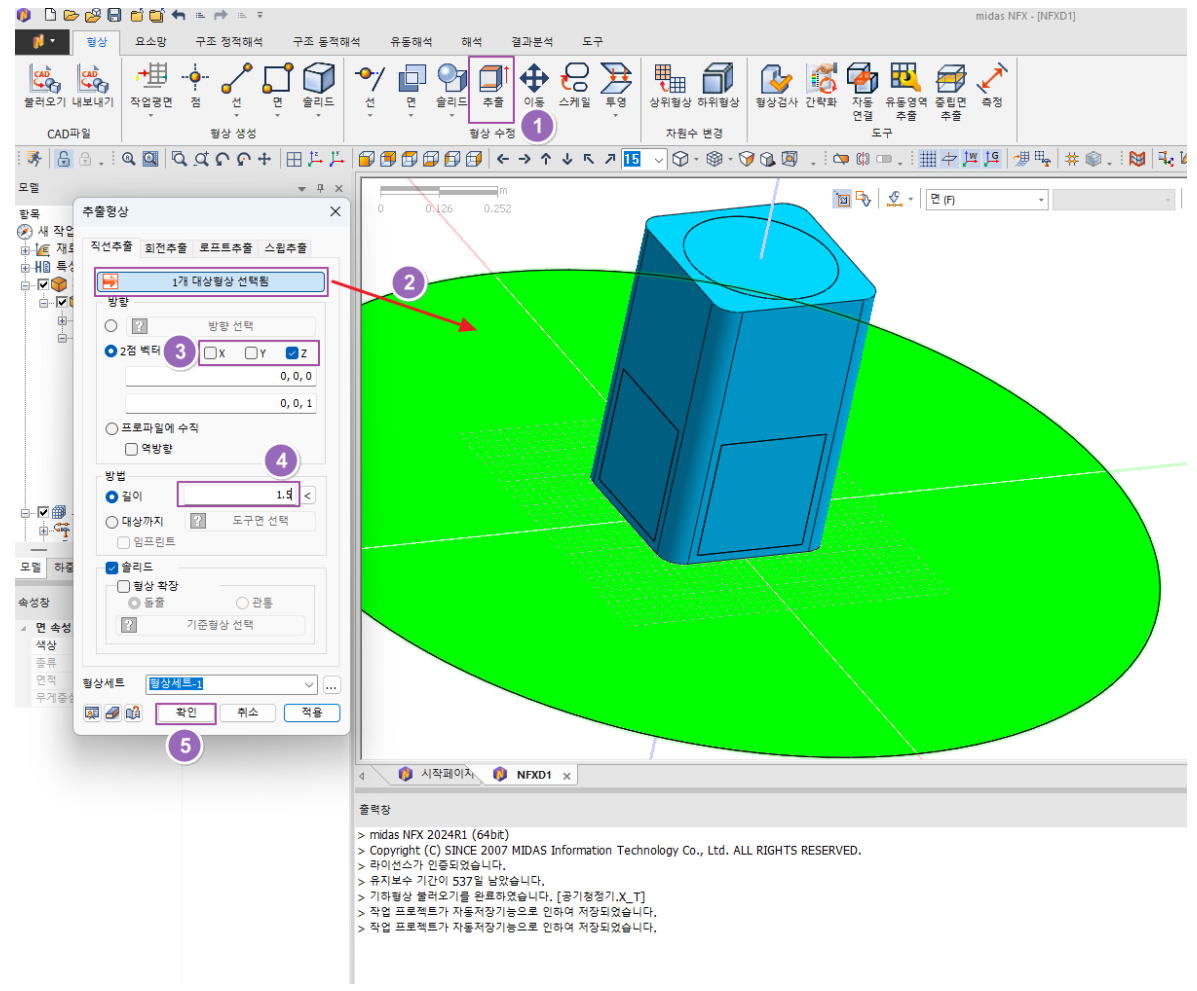
- ① “보기모드(기하형상)” > “선” 클릭
- ② “솔리드” 메뉴 > “교차연산” 클릭
- ③ “차집합” 탭 클릭
- ④ “대상형상”으로 “직선추출” 선택
- ⑤ “도구형상”으로 “팬” 선택
- ⑥ “도구 형상 삭제” 체크 해제
- ⑦ “확인” 클릭



유동영역 생성하기



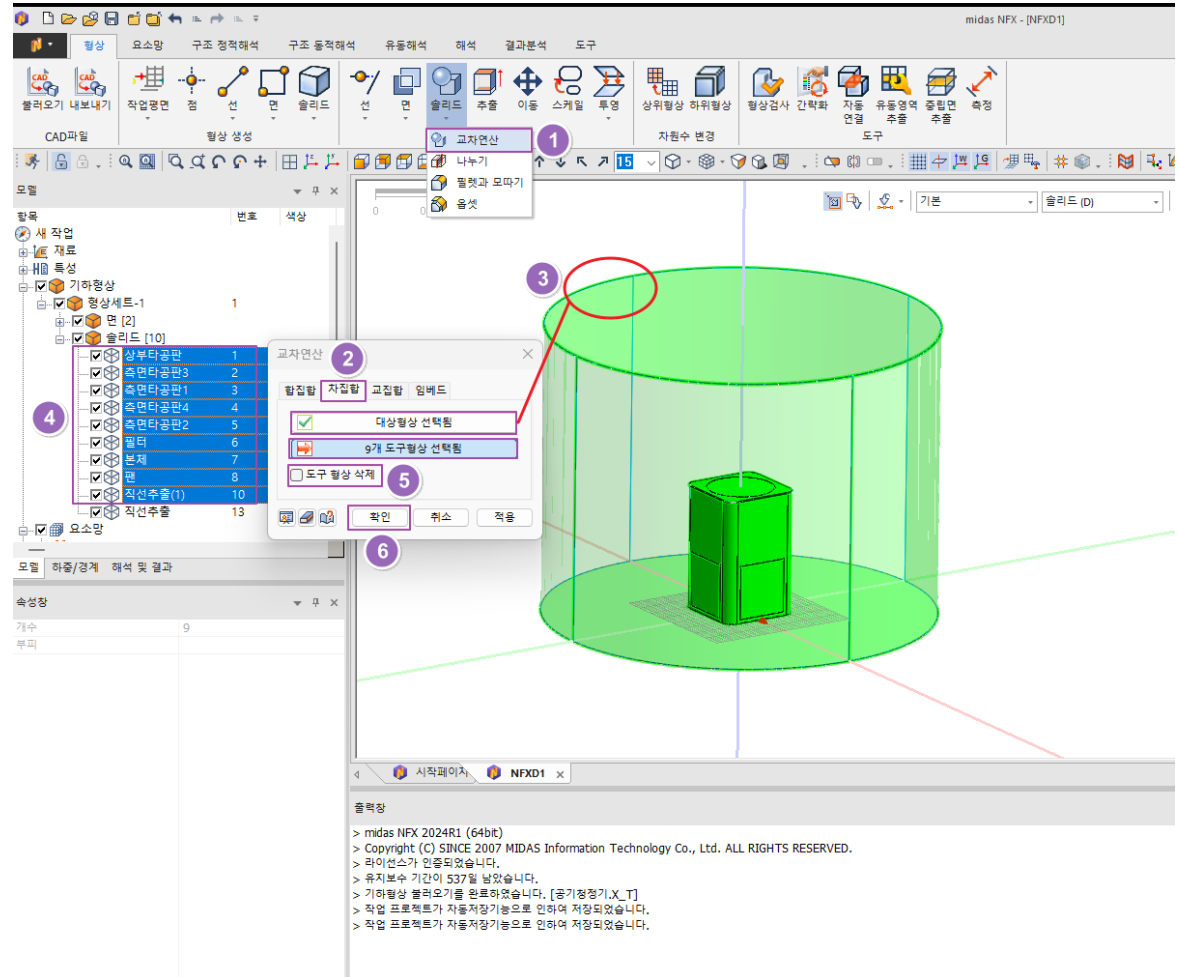
- ① “추출형상” 리본 메뉴 > “직선추출” 클릭
- ② 기준면(원) 선택
- ③ “2점 벡터”에서 “z” 방향만 남기고 체크 해제
- ④ “길이”에 “1.5” 입력
- ⑤ “확인” 클릭



유동영역 생성하기



- ① “교차연산” 리본 메뉴 > “솔리드” 클릭
- ② “차집합” 탭 클릭
- ③ “대상형상”으로 원기둥 선택
- ④ “도구형상”으로 나머지 파트들 선택 (총 9 개)
- ⑤ “도구 형상 삭제” 체크 해제
- ⑥ “확인” 클릭

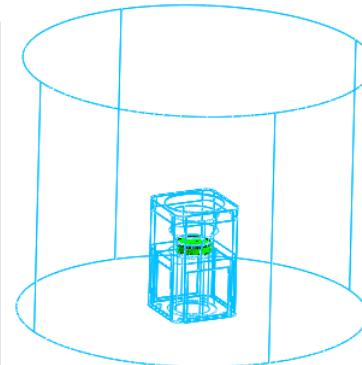
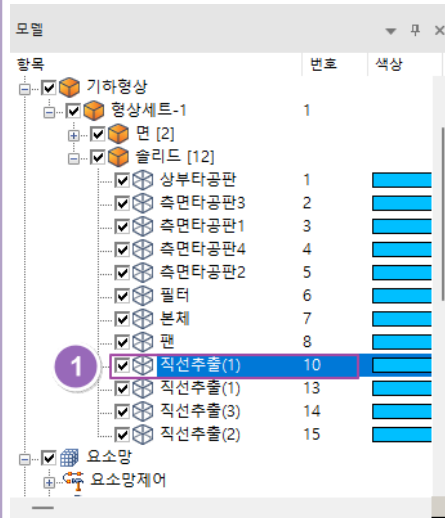


파트 이름 변경하기

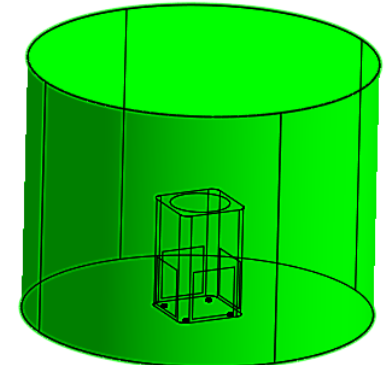


※ 새로 생성한 파트들에 이름을 붙입니다.

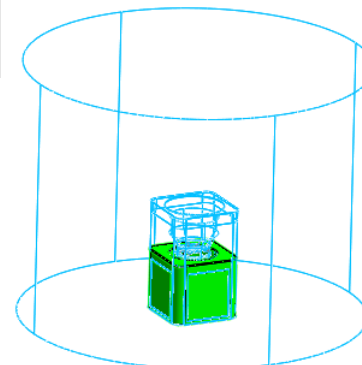
- ① 트리 창 “모델” > 이름 변경할 파트 선택
- ② F2 키 누르기
- ③ 변경할 이름 입력 > enter 키 누르기



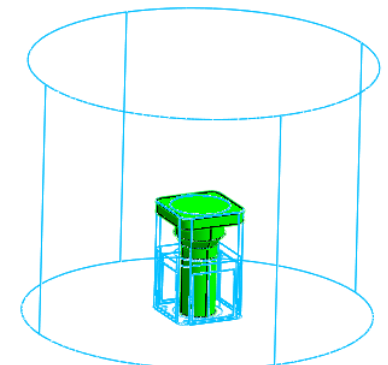
회전영역



외부유동



내부유동_하부

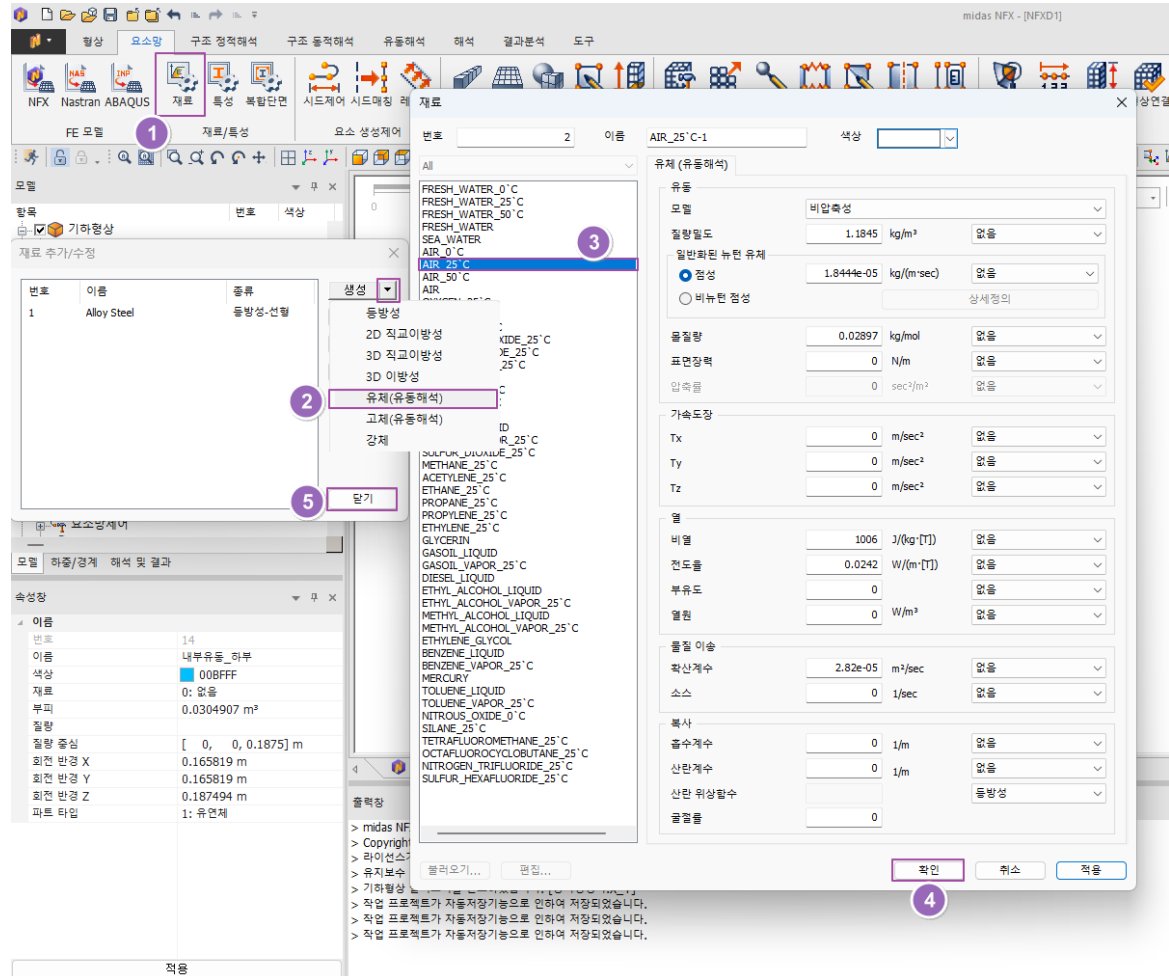


내부유동_상부

유체 재료 정의하기



- ① “요소망” 탭 클릭
 > “재료/특성” 리본 메뉴
 > “재료” 버튼 클릭
- ② “재료 추가/수정” 창
 > “생성” 옆 화살표 버튼 클릭
 > “유체(유동해석)” 선택
- ③ 왼쪽 라이브러리 목록에서
 “AIR_ 25’C” 클릭
- ④ “확인” 클릭
- ⑤ “닫기” 클릭



특성 정의하기

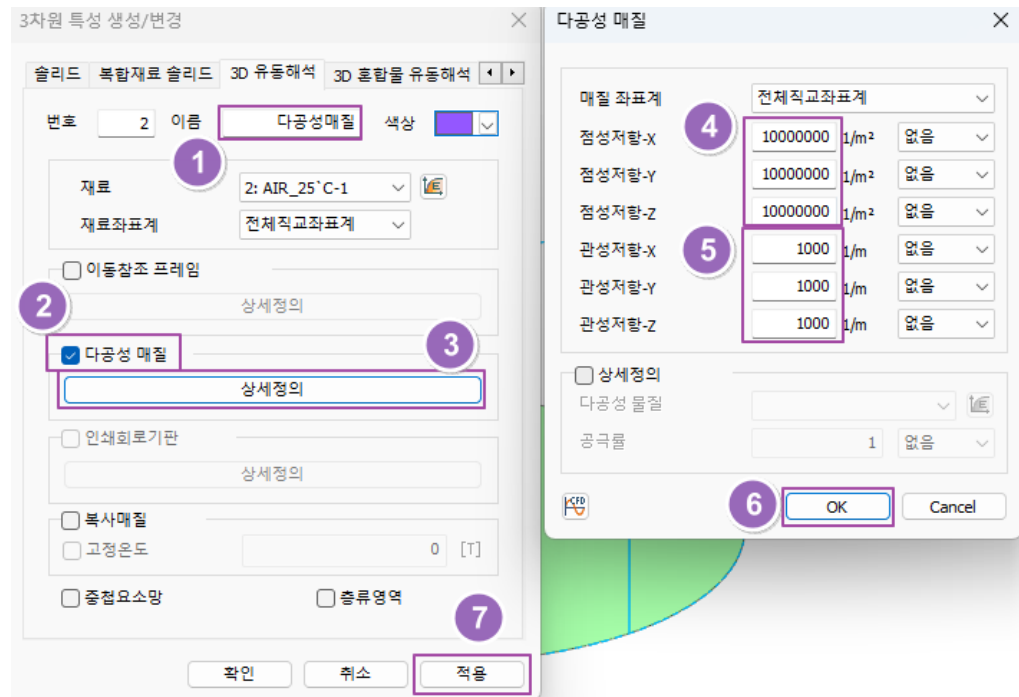


- ① “재료/특성” 리본 메뉴
 > “특성” 버튼 클릭
- ② “특성 추가/수정” 창
 > “생성” 옆 화살표 버튼 클릭
 > “3D...” 선택
- ③ “3D 유동해석” 탭 클릭
- ④ “이름”에 “일반유동” 입력
- ⑤ “적용” 클릭

특성 정의하기



- ① “이름”에 “다공성매질” 입력
※ 필터에 들어갈 특성입니다.
- ② “다공성 매질” 체크 박스 체크
- ③ “상세정의” 클릭
- ④ “점성저항”(X, Y, Z)에 “10000000”(10⁷) 입력
- ⑤ “관성저항”(X, Y, Z)에 “1000” 입력
- ⑥ “OK” 클릭
- ⑦ “적용” 클릭



특성 정의하기



- ① “이름”에 “타공판” 입력
※ 입·출구 타공판에 들어갈 특성입니다.
- ② “다공성 매질” 체크 박스 체크
- ③ “상세정의” 클릭
- ④ “점성저항”(X, Y, Z)에 “100000”(10⁵) 입력
- ⑤ “관성저항”(X, Y, Z)에 “1000” 입력
- ⑥ “OK” 클릭
- ⑦ “적용” 클릭

3차원 특성 생성/변경

3D 유동해석

번호 3 이름 **타공판** 색상 [색상 선택기]

재료 2: AIR_25'C-1
재료좌표계 전체직교좌표계

이동차조 프레임

상세정의

다공성 매질

상세정의

인체회로기관

상세정의

복사매질

고정온도 0 [T]

줄집요소망 층류영역

확인 취소 **적용**

다공성 매질

매질 좌표계 전체직교좌표계

점성저항-X	100000	1/m ²	없음
점성저항-Y	100000	1/m ²	없음
점성저항-Z	100000	1/m ²	없음
관성저항-X	1000	1/m	없음
관성저항-Y	1000	1/m	없음
관성저항-Z	1000	1/m	없음

상세정의

다공성 물질

공극률 1 없음

OK Cancel

특성 정의하기



- ① “이름”에 “회전영역” 입력
※ 이동참조프레임 영역에 들어갈 특성입니다.
- ② “다공성 매질” 체크 박스 해제 및 “이동참조 프레임” 체크 박스 체크
- ③ “상세정의” 클릭
- ④ “원점”에 “0, 0, 0”, “방향”에 “0, 0, 1” 입력
- ⑤ “RPM” 체크, “각속도”에 “500” 입력
- ⑥ “확인” 클릭
- ⑦ “확인” 클릭

3차원 특성 생성/변경

슬리드 | 복합재료 슬리드 | 3D 유동해석 | 3D 혼합물 유동해석

번호: 4 | 이름: **회전영역** | 색상: [Green]

1. 재료: 2: AIR_25'C-1

2. 재료좌표계: 전체직교좌표계

3. 이동참조 프레임

상세정의

다공성 매질

상세정의

인쇄회로기판

상세정의

복사매질

고정온도: 0 [T]

중첩요소망

층류영역

7. **확인** | 취소 | 적용

이동참조 프레임

회전축

방향정의 | 2점 정의

원점: 4. 0, 0, 0 m

방향: 0, 0, 1

회전속도

RPM | Radian

5. 각속도: 500 RPM | 없음

병진속도

Vx: 0 m/sec | 없음

Vy: 0 m/sec | 없음

Vz: 0 m/sec | 없음

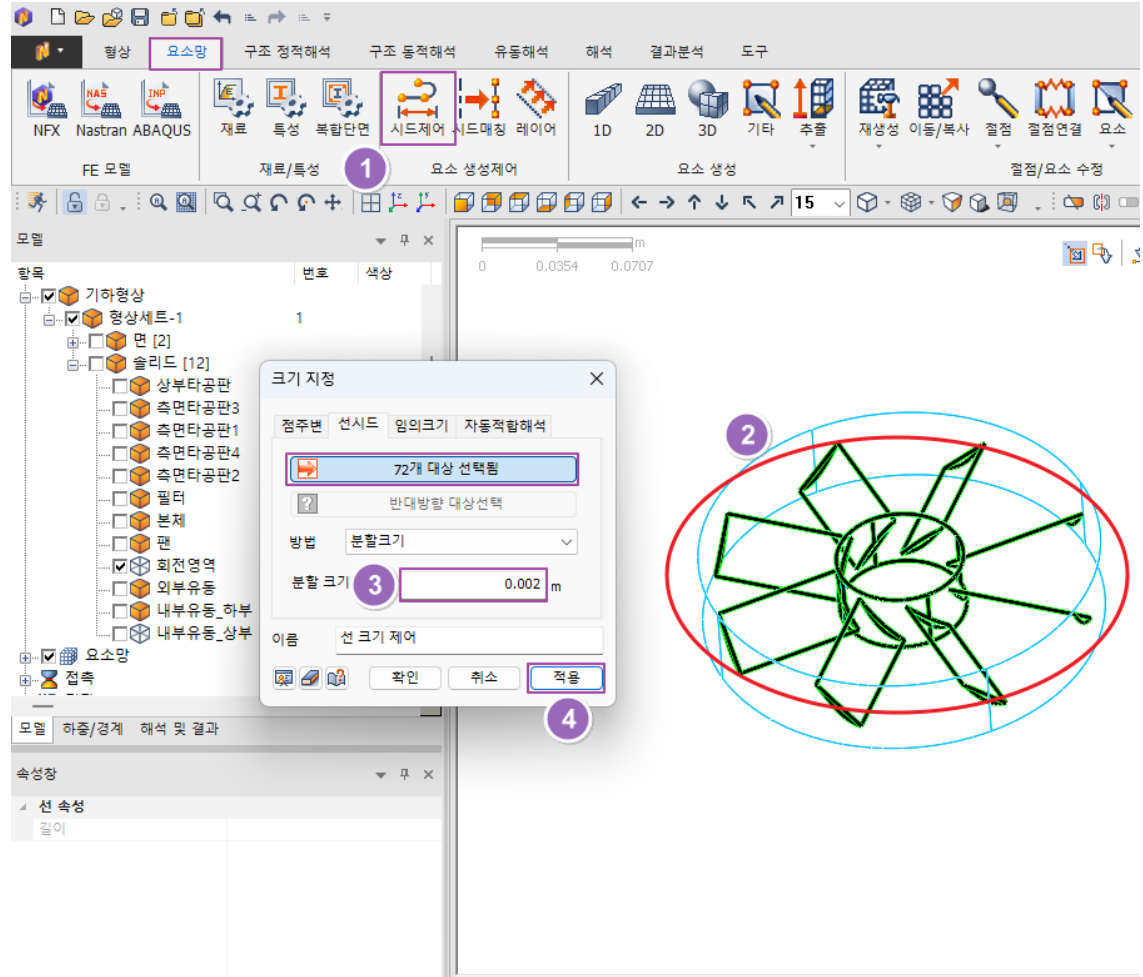
6. **확인** | 취소

요소망 크기 지정



- ① “제어” 리본 메뉴 > “시드제어” 클릭
- ② “회전영역” 파트의 모서리 72개 선택 (팬 부분)
- ③ “분할 크기”에 “0.002” 입력
- ④ “적용” 클릭

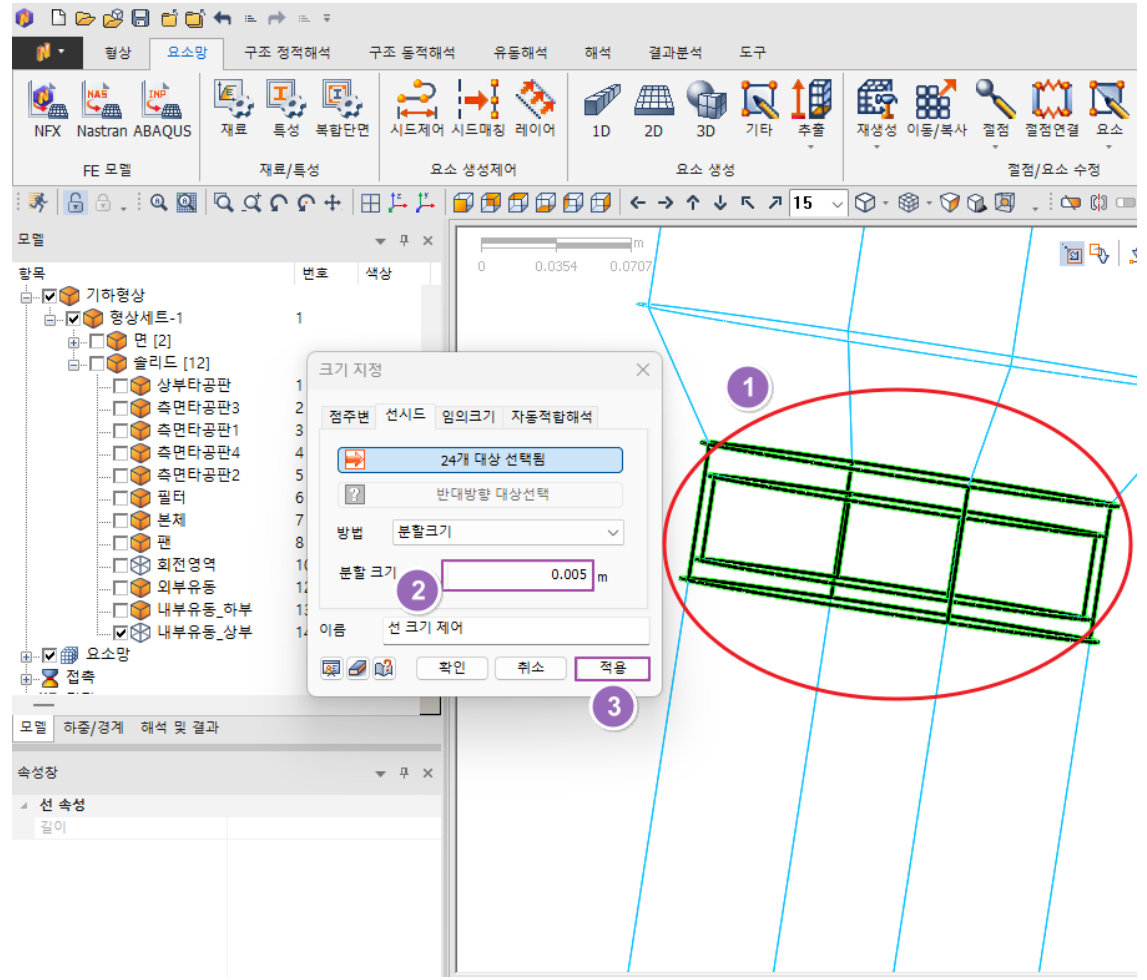
*“확인”이 아니라 “적용”을 클릭 해주면 ①의 과정을 반복하지 않고도 같은 유형의 작업을 반복할 수 있게 됩니다.



요소망 크기 지정



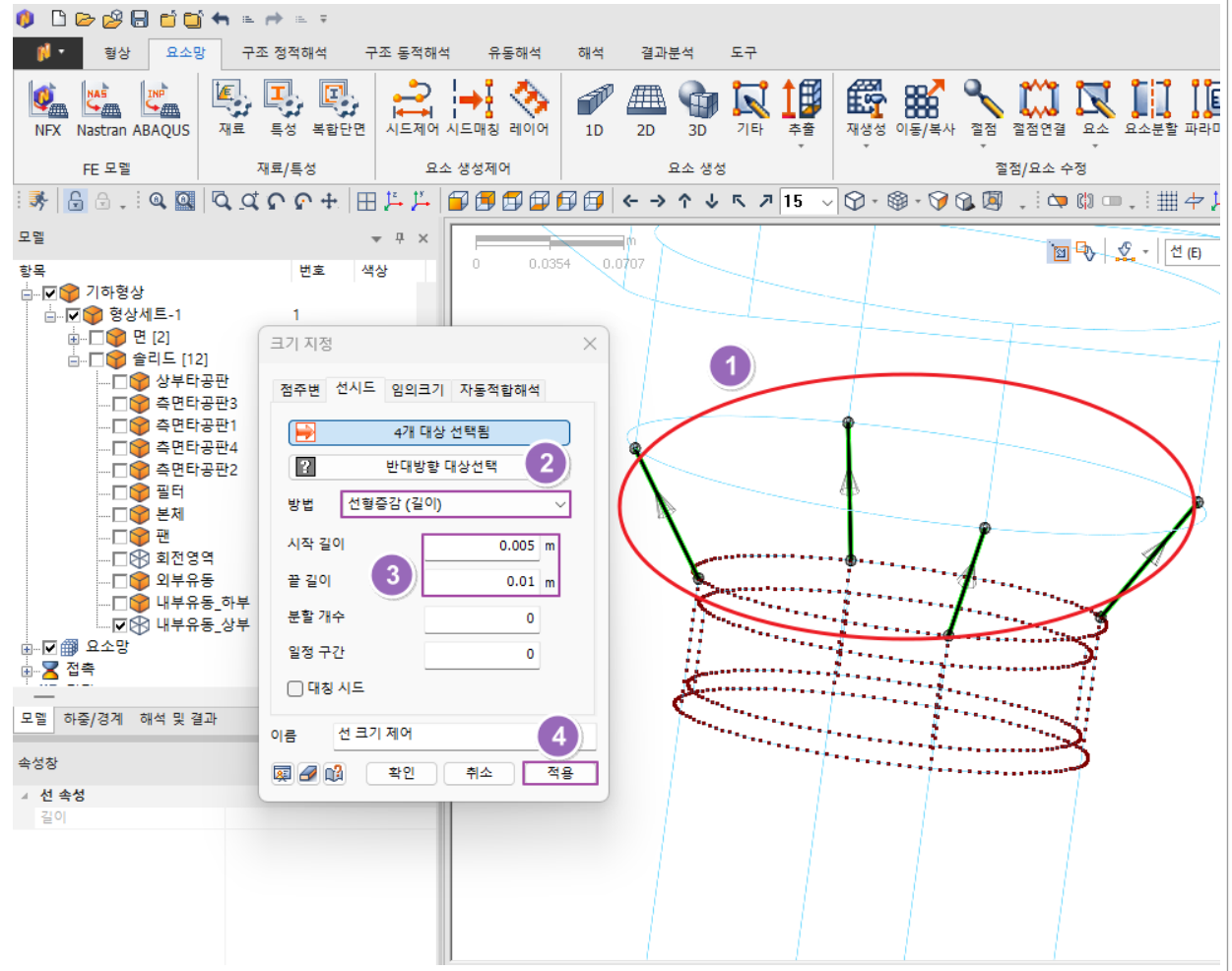
- ① “내부유동_상부” 파트의 모서리 24 개 선택 (팬 외곽 부분)
- ② “분할 크기”에 “0.005” 입력
- ③ “적용” 클릭



요소망 크기 지정



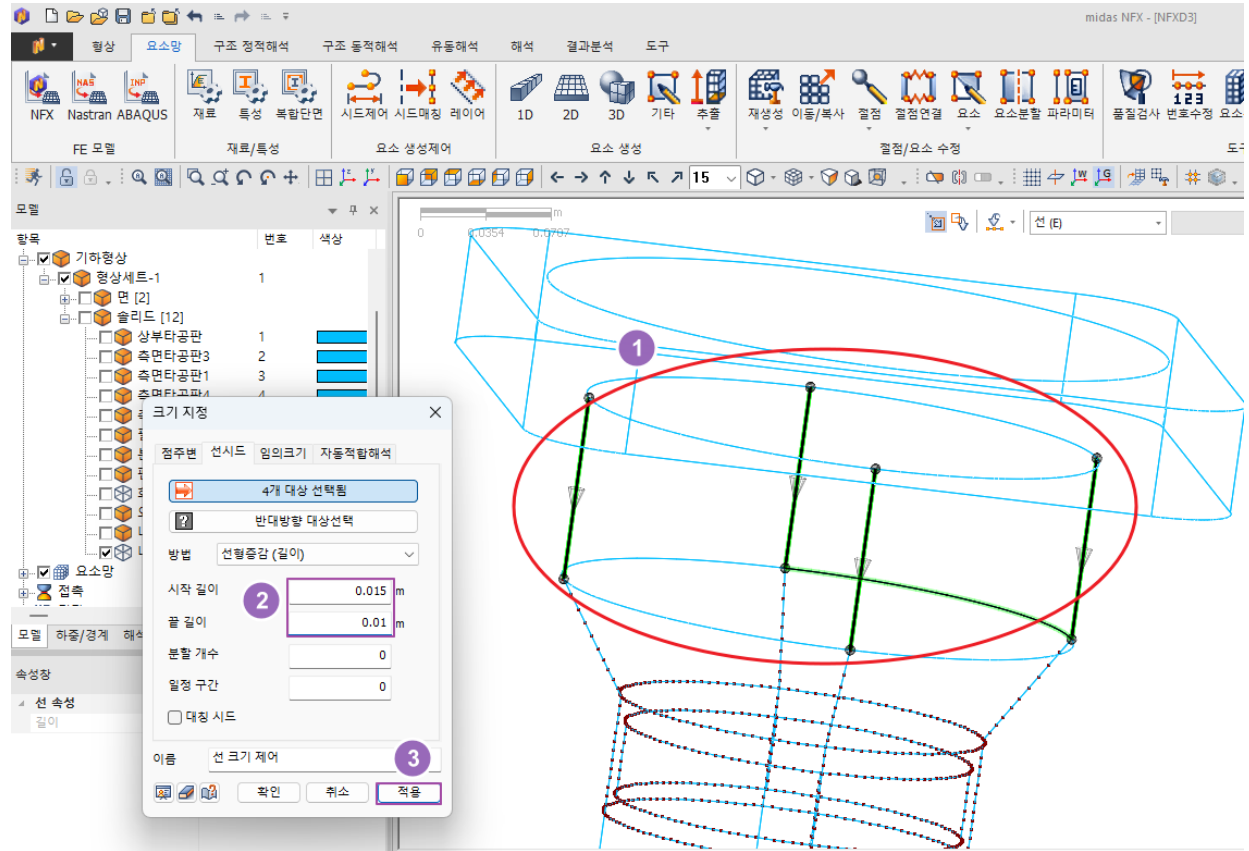
- ① “내부유동_상부” 파트의 모서리 4 개 선택 (유로 확장 부분)
※ 선의 화살표 방향을 주의합니다.
- ② “방법”에서 “선형증감(길이)” 선택
- ③ “시작 길이”에 “0.005”, “끝 길이”에 “0.01” 입력
- ④ “적용” 클릭



요소망 크기 지정



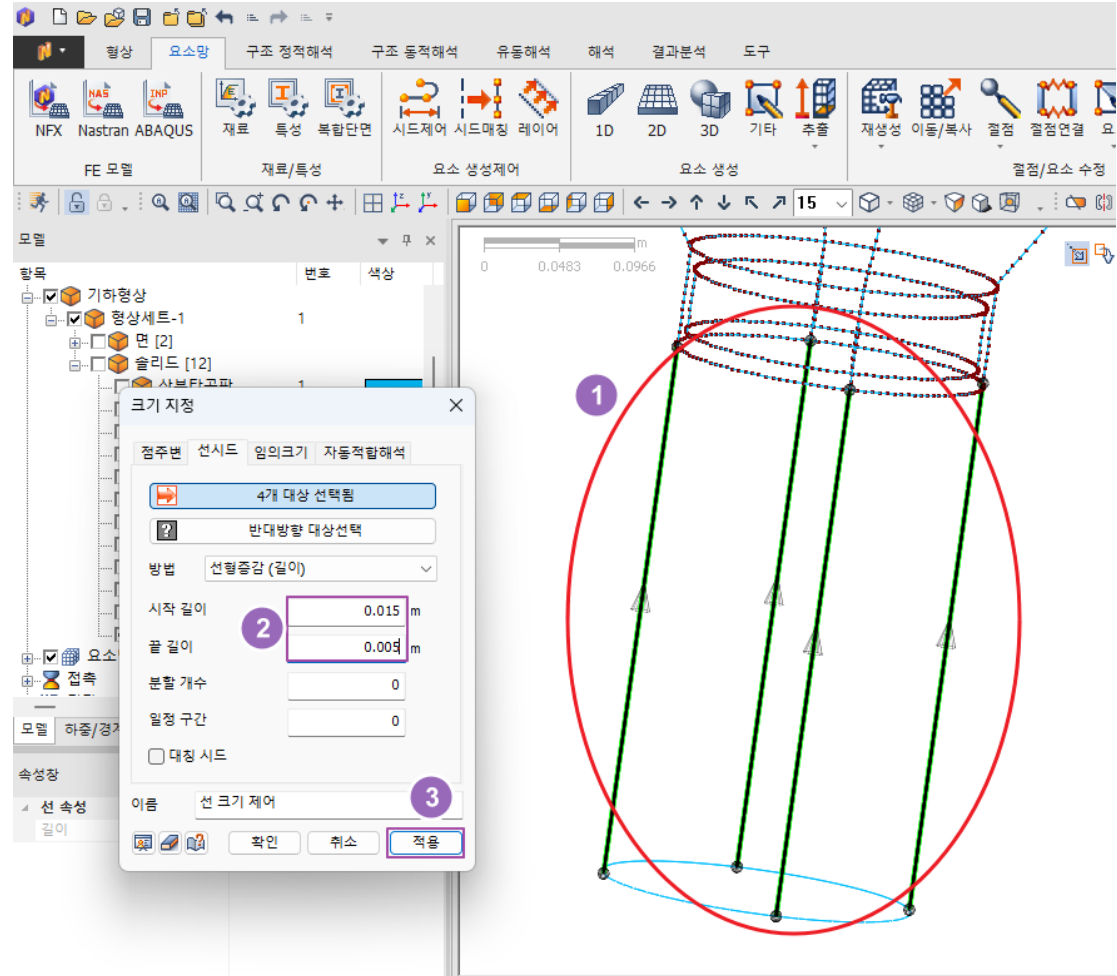
- ① “내부유동_상부” 파트의 모서리 4 개 선택 (직선 통로 부분)
※ 선의 화살표 방향을 주의합니다.
- ② “시작 길이”에 “0.015”, “끝 길이”에 “0.01” 입력
- ③ “적용” 클릭



요소망 크기 지정



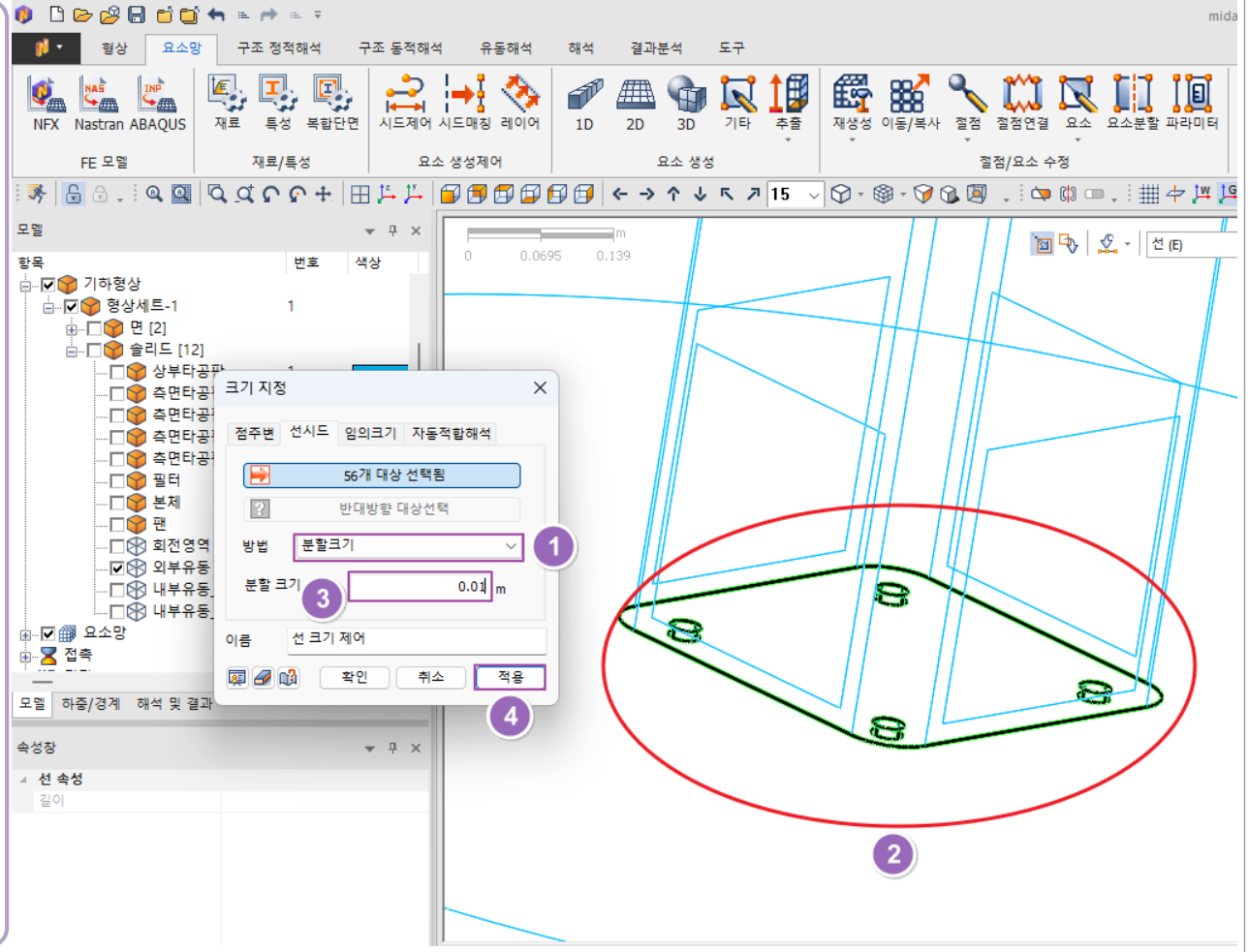
- ① “내부유동_상부” 파트의 모서리 4 개 선택 (직선 통로 부분)
※ 선의 화살표 방향을 주의합니다.
- ② “시작 길이”에 “0.015”, “끝 길이”에 “0.005” 입력
- ③ “적용” 클릭



요소망 크기 지정



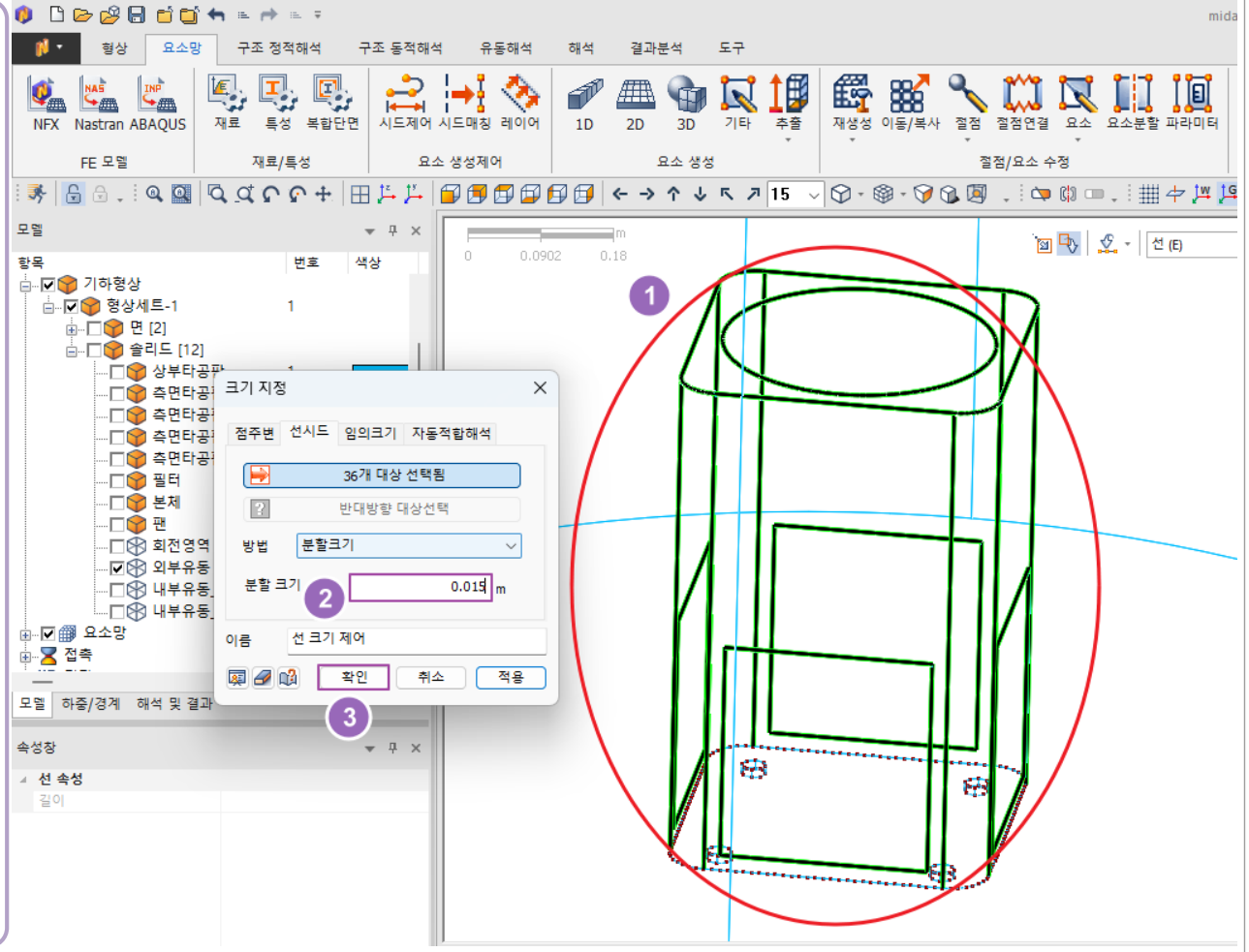
- ① “방법”에서 “분할크기” 선택
- ② “외부유동” 파트의 모서리 56개 선택 (구조물 하부)
- ③ “분할 크기”에 “0.01” 입력
- ④ “적용” 클릭



요소망 크기 지정



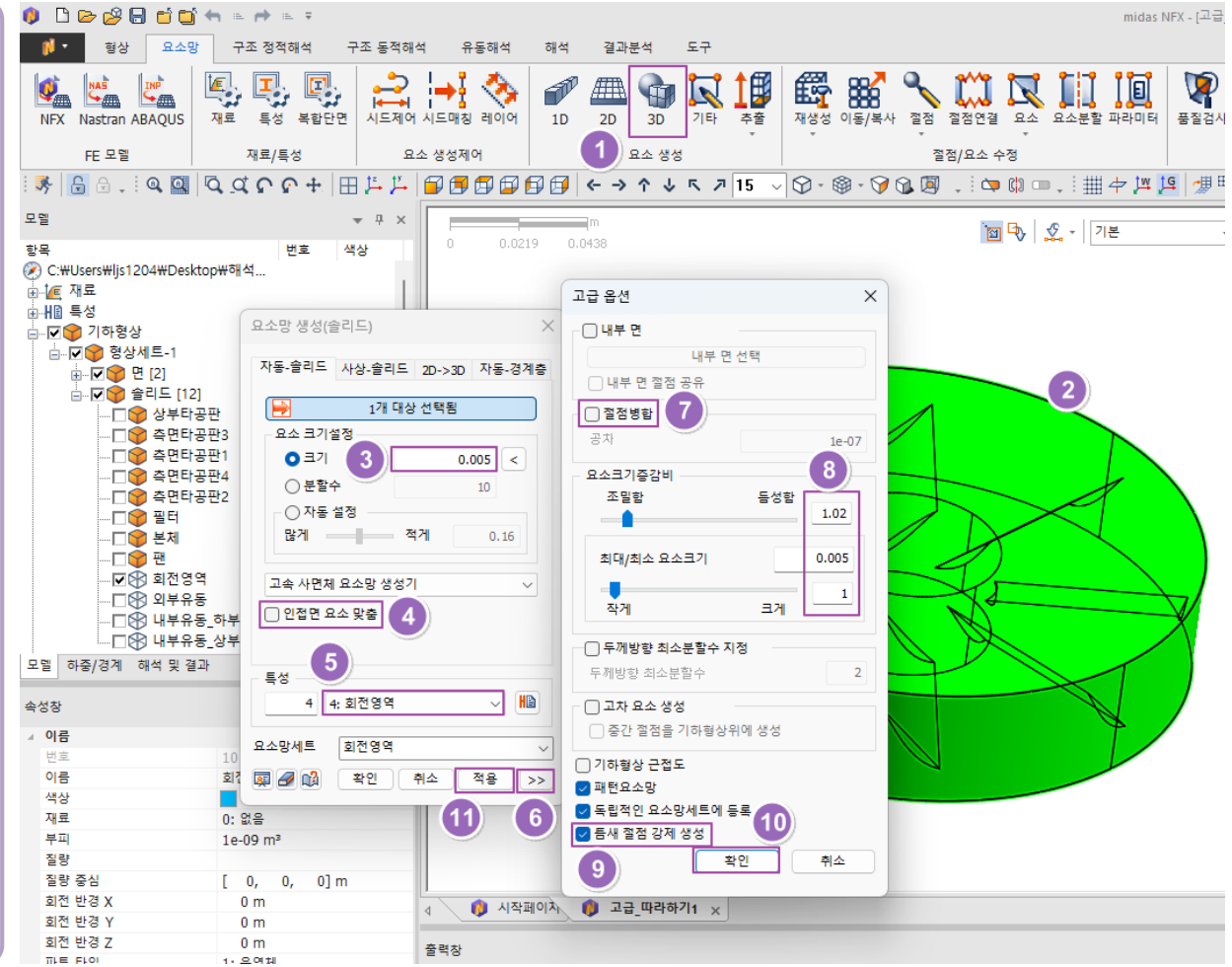
- ① “외부유동” 파트의 모서리 36 개 선택 (구조물 전체)
- ② “분할 크기”에 “0.015” 입력
- ③ “확인” 클릭



요소망 생성



- ① “요소망” 리본 메뉴 > “3D” 클릭
- ② “회전영역” 파트 선택
- ③ “크기”에 “0.005” 입력
- ④ “인접면 요소 맞춤” 체크 해제
- ⑤ “특성”에서 “회전영역” 선택
- ⑥ “>>” 클릭
- ⑦ “절점 병합” 체크 해제
- ⑧ “요소크기증감비”에 “1.02” 입력, “최대/최소 요소 크기”에 “1” 입력
- ⑨ “틈새 절점 강제 생성” 체크
- ⑩ “확인” 클릭
- ⑪ “적용” 클릭



요소망 생성



※ 회전영역 이외 9 개 파트는 순차적으로 요소망 생성

파트	크기	특성	인접면 요소맞춤	절점병합	틈새절점 강제생성
내부유동_상부	0.015	일반유동	○	○	○
필터	0.015	다공성매질	○	○	○
내부유동_하부	0.015	일반유동	○	○	○
상부타공판	0.015	타공판	○	○	○
측면타공판(4개)	0.015	타공판	○	○	○
외부유동	0.05	일반유동	○	○	○

경계조건 생성



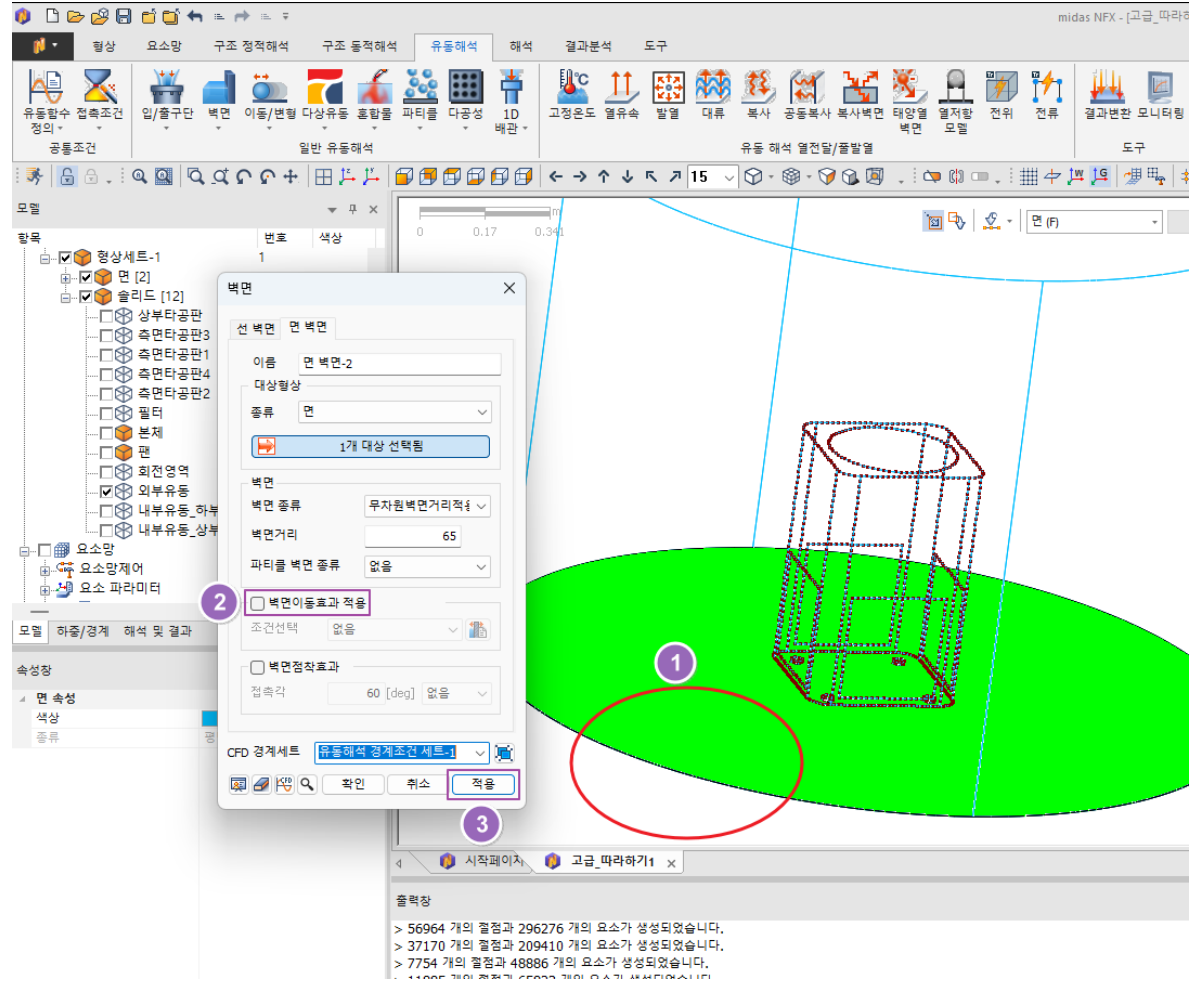
- ① “유동해석” 탭 클릭
- ② “일반 유동해석” 리본 메뉴 > “벽면” 클릭
- ③ “회전영역” 파트의 팬 표면 선택 (30 개 면)
- ④ “벽면이동효과 적용” 체크
- ⑤ 조건선택 옆 버튼 클릭
- ⑥ “생성” 클릭
- ⑦ “회전 이동” 체크 > “원점”에 “0, 0, 0”, “방향”에 “0, 0, 1” 입력
- ⑧ “각속도”에 “500” 입력
- ⑨ “확인” 클릭
- ⑩ “닫기” 클릭
- ⑪ “조건선택”에서 “조건선택-1” 선택
- ⑫ “적용” 클릭

The screenshot shows the '유동해석' (Flow Analysis) tab selected in the ribbon. The '벽면' (Surface) button is highlighted. The tree view shows the '회전영역' (Rotational Region) selected. The '벽면이동효과 관리 항목' (Surface Motion Effect Management) dialog box is open, showing the '회전 이동' (Rotational Motion) section with '회전축' (Rotation Axis) set to '방향정의' (Direction Definition). The origin is set to (0, 0, 0) and the direction to (0, 0, 1). The angular velocity is set to 500 RPM. The '조건선택' (Condition Selection) dialog box is also open, showing '조건선택-1' selected. The '확인' (OK) button is highlighted.

경계조건 생성



- ① “외부유동” 파트의 바닥면 선택 (1 개 면)
- ② “벽면이동효과 적용” 체크 해제
- ③ “적용” 클릭

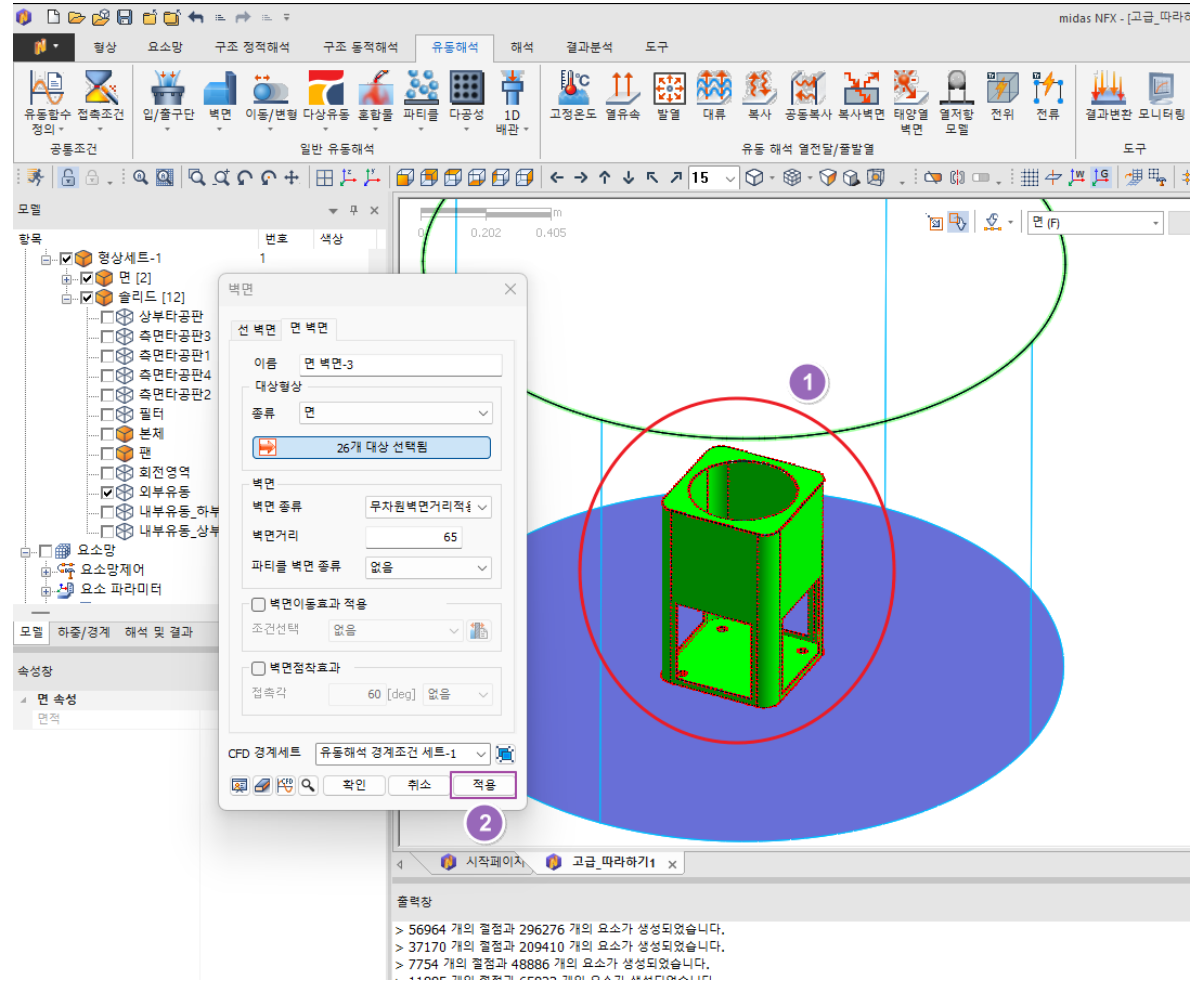


경계조건 생성



① “외부유동” 파트의 공기청정기 표면 선택 (26 개 면)

② “적용” 클릭



경계조건 생성



- ① “내부유동_하부” 파트의 공기 청정기 표면 선택 (10 개 면)
- ② “적용” 클릭

CFD 경계세트 유동해석 경계조건 세트-1

출력창

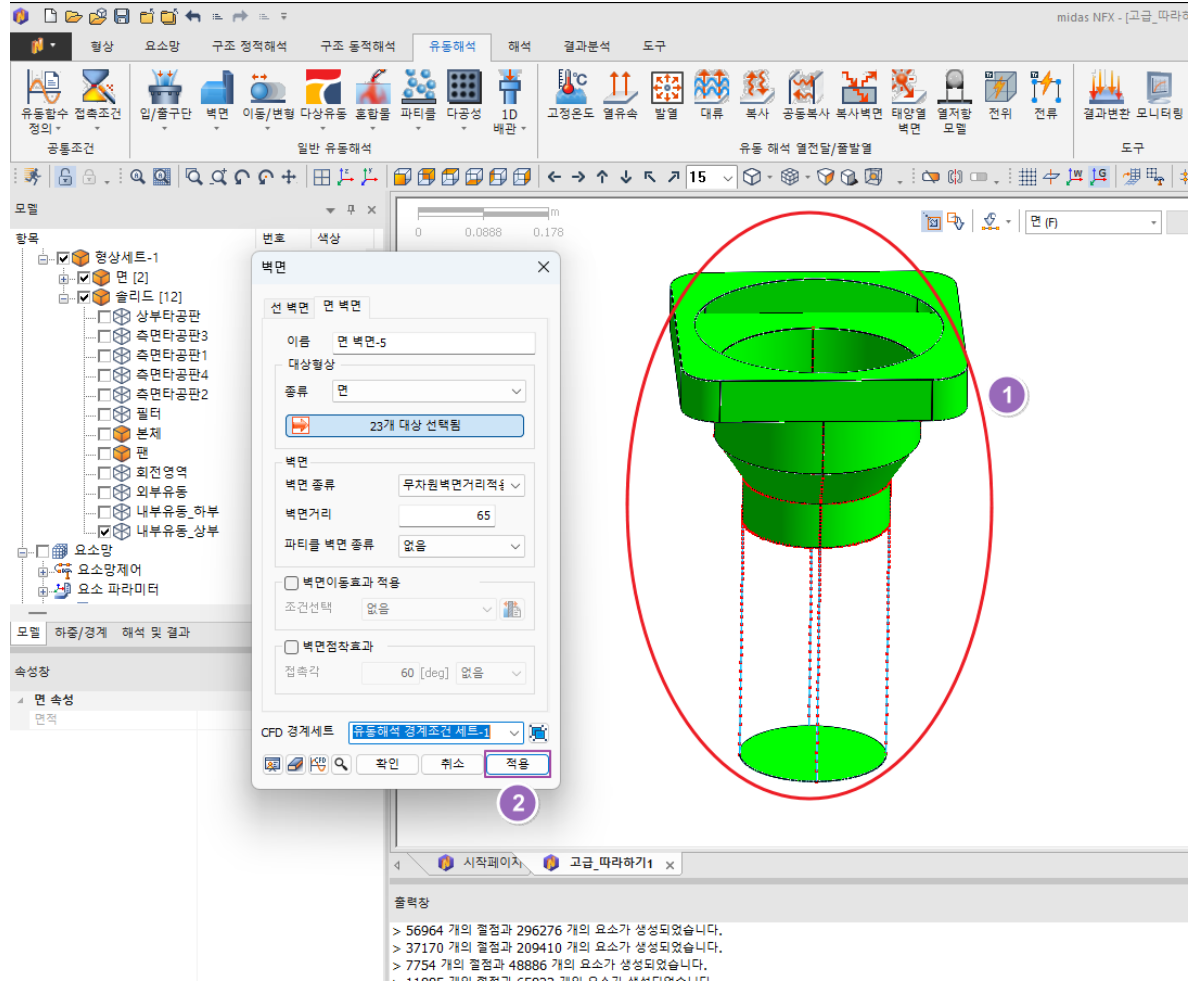
```
> 56964 개의 절점과 296276 개의 요소가 생성되었습니다.
> 37170 개의 절점과 209410 개의 요소가 생성되었습니다.
> 7754 개의 절점과 48886 개의 요소가 생성되었습니다.
> 31170 개의 절점과 209410 개의 요소가 생성되었습니다.
```

경계조건 생성



① “내부유동_상부” 파트의 공기 청정기 표면 선택 (22 개 면)

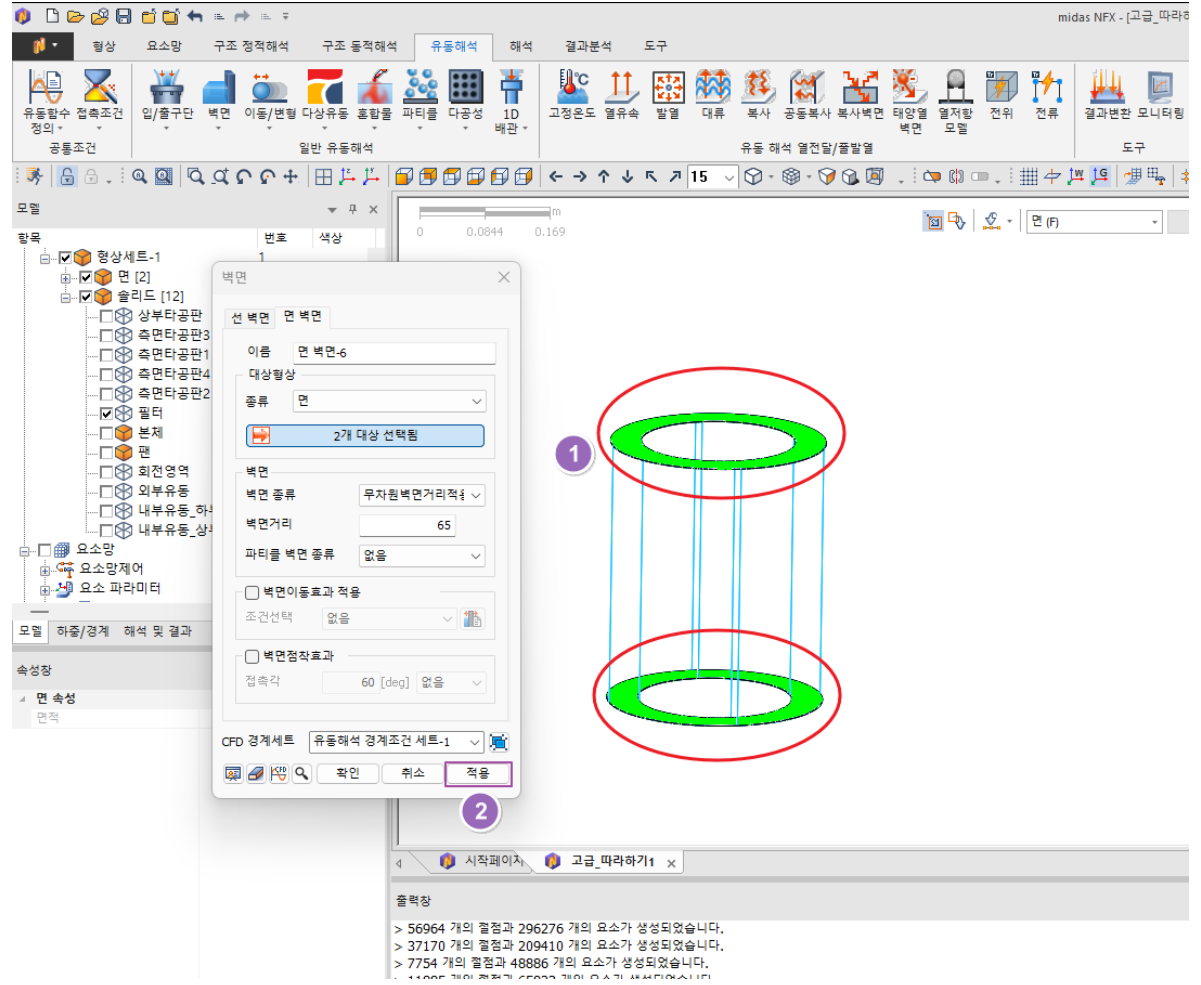
② “적용” 클릭



경계조건 생성



- ① “필터” 파트의 상·하부 면 선택 (2 개 면)
- ② “확인” 클릭



경계조건 생성



- ① 타공판 파트들의 옆면 선택 (20 개 면)
- ② “확인” 클릭

The screenshot shows the '면' (Face) selection dialog box in midas NFX. The dialog includes fields for '이름' (Name), '대상형상' (Target Shape), '종류' (Type), '벽면' (Wall) settings, and '조건선택' (Condition Selection). The '확인' (Confirm) button is highlighted with a red circle and the number '2'. In the background, a 3D model of a mechanical part is shown with a red circle around it, and a green oval highlights a specific face on top, labeled with '1'.

출력창

```
> 37170 개의 절점과 209410 개의 요소가 생성되었습니다.
> 7754 개의 절점과 48886 개의 요소가 생성되었습니다.
> 11885 개의 절점과 65823 개의 요소가 생성되었습니다.
```

경계조건 생성



- ① “일반유동” 리본 메뉴 > “유동압력” 클릭
- ② 외부유동의 옆면, 윗면 선택 (5 개 면)
- ③ “확인” 클릭

출력창

- > 37170 개의 결점과 209410 개의 요소가 생성되었습니다.
- > 7754 개의 결점과 48886 개의 요소가 생성되었습니다.
- > 11885 개의 결점과 65823 개의 요소가 생성되었습니다.

모니터링 포인트 지정



- ① “도구” 리본메뉴 > 모니터링 클릭
- ② “모니터링 정의” 창 > “총 속도” 체크
- ③ “상부타공판” 요소망 세트의 가운데 절점 선택
- ④ “확인” 클릭

모니터링 정의

이름: 모니터링-1

대상형상 종류: 절점

결과 종류: 총 속도

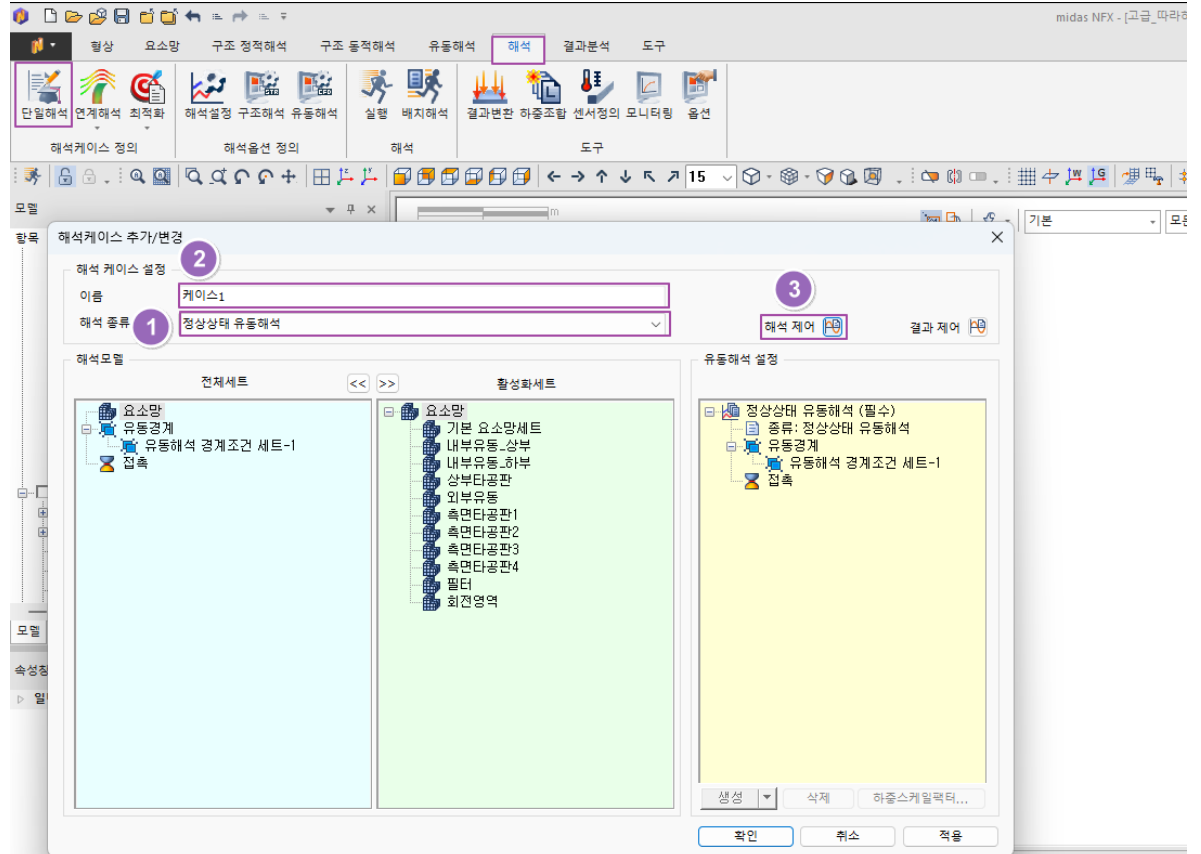
출력창

```
> 37170 개의 절점과 209410 개의 요소가 생성되었습니다.
> 7754 개의 절점과 48886 개의 요소가 생성되었습니다.
> 11885 개의 절점과 65823 개의 요소가 생성되었습니다.
```

해석 케이스 정의



- ① “해석” 탭 클릭
- ② “해석케이스 정의” 리본 메뉴 > “단일해석” 클릭
- ③ “해석케이스 추가/변경” 창 > “이름”에 “케이스1” 입력
- ④ “해석 종류”에서 “정상상태 유동해석” 선택
- ⑤ “해석 제어” 클릭



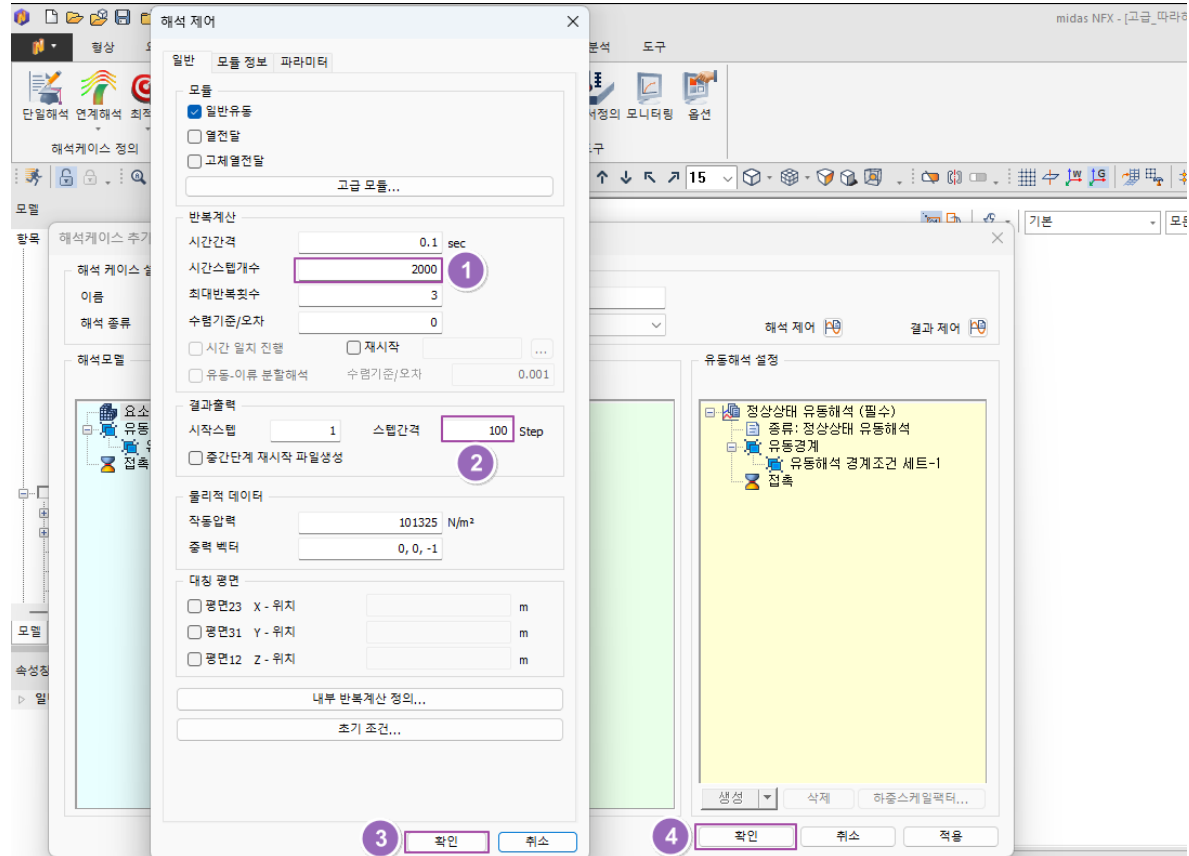
출력창

> 37170 개의 절점과 209410 개의 요소가 생성되었습니다.
 > 7754 개의 절점과 48986 개의 요소가 생성되었습니다.
 > 11885 개의 절점과 65823 개의 요소가 생성되었습니다.
 > 11885 개의 절점과 65823 개의 요소가 생성되었습니다.

해석 케이스 정의



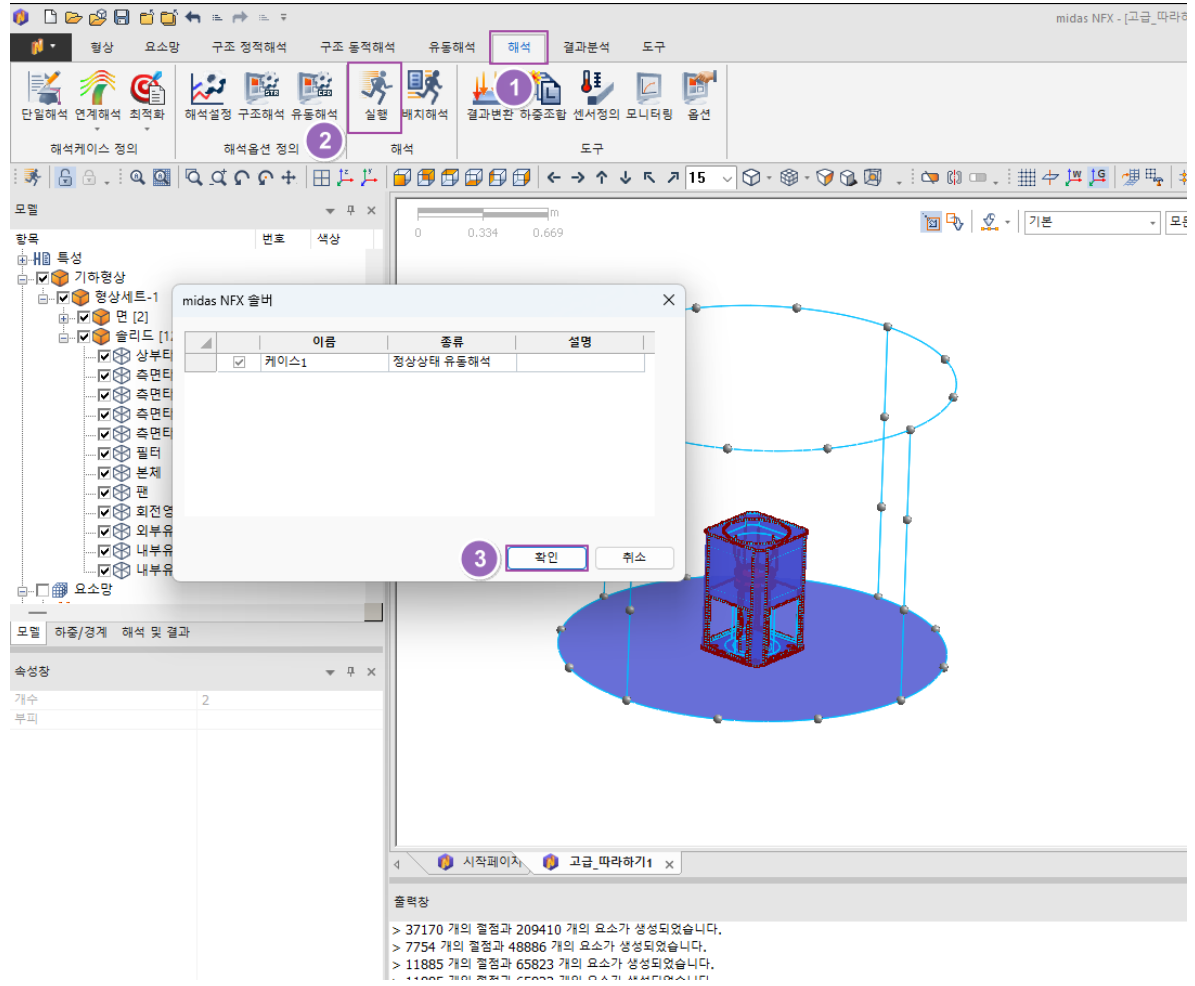
- ① “반복계산” 섹션
 > “시간스텝개수”에 “2000” 입력
- ② “결과 출력” 섹션
 > “스텝간격”에 “100” 입력
- ③ “확인” 클릭
- ④ “확인” 클릭



해석 실행



- ① “해석” 탭 클릭
- ② “해석” 리본 메뉴 > “실행” 클릭
- ③ “midas NFX 솔버” 창 > “확인” 클릭



결과 분석

해석조건
설정

기하형상
제작

재료·특성
정의

요소망
생성

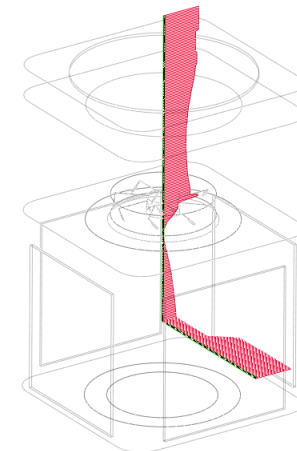
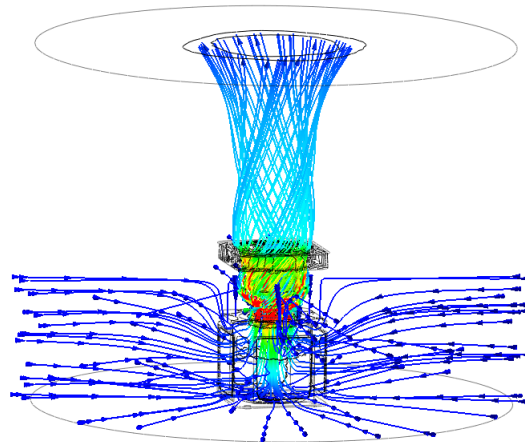
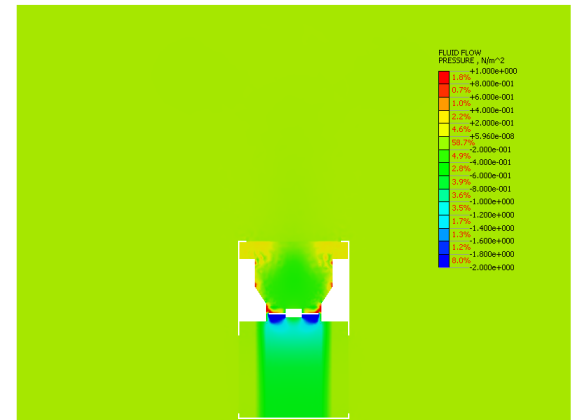
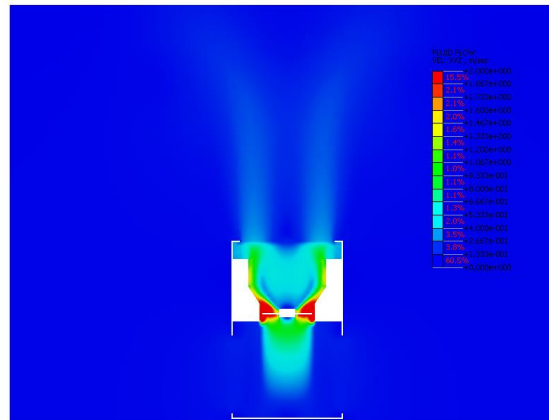
경계조건
정의

해석 케이스
정의

계산 실행

결과검토

※ 기본유동해석 교육과 동일한
과정으로 결과 분석을 수행합니
다.



midas NFX CFD 고급유동해석 교육

Part 1. 유동해석의 이해

Part 2. 경제적 유동해석을 위한 기법

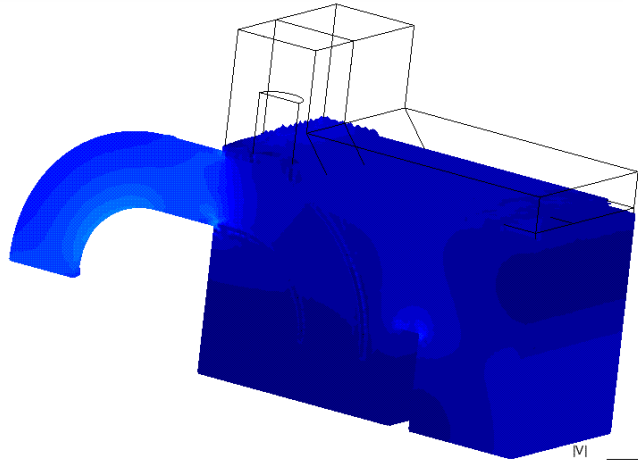
- 이동참조프레임, 다공성매질, 팬

Part 3. 자유수면 해석 - 레벨세트 기법

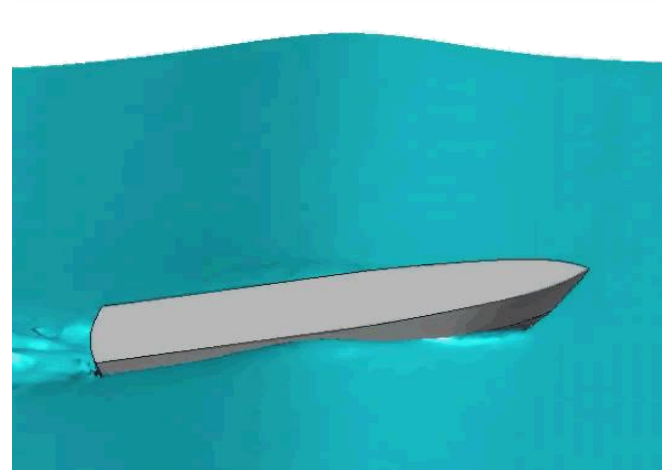
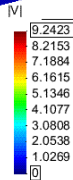
Part 4. 요소망 변형 - 중첩요소망 기법

Contents

레벨셋 기법 적용 대상



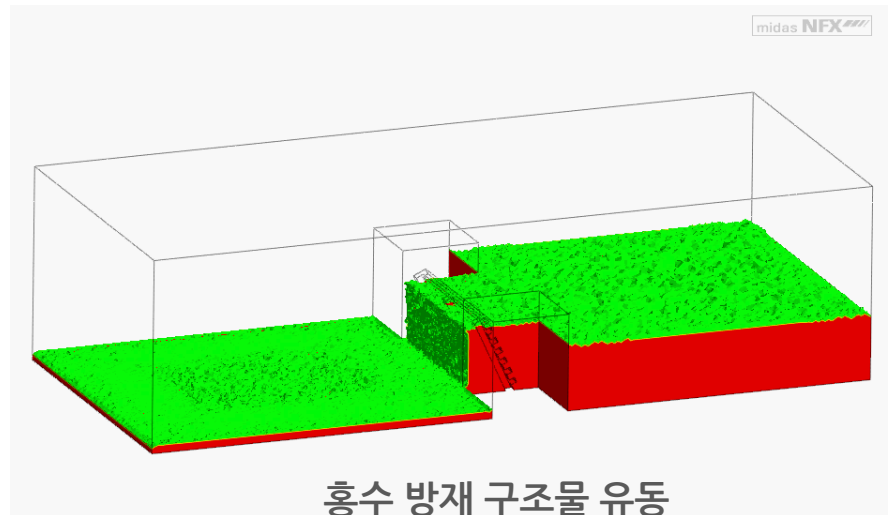
수조 내부 유동



선박 거동



슬로싱

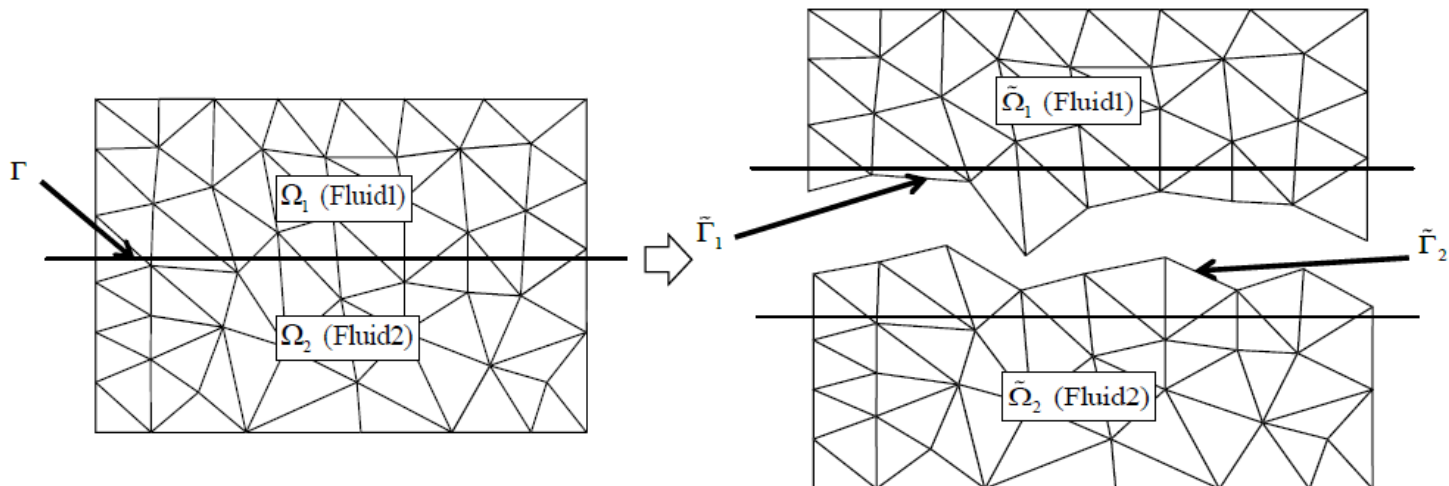


홍수 방재 구조물 유동

레벨셋 (Level set) 기법이란

○ 단상 유동 해법에 적용

- 대부분 해양/선박 분야의 문제는 밀도와 점성도의 비율이 약 1000 배 차이 나는 2상 유동 문제
→ 한 유체의 거동에만 관심을 가지는 것이 일반적
- 전산적 비용을 줄이고 자유수면의 위치를 정확히 포착하기 위해 단상유동 문제를 풀 수 있는 ODDL(overlapping domain decomposition level set) 기술을 적용
- 해석영역은 관심 유체가 있는 절점들과 비관심 유체와 닿아있는 경계면으로 한정, 경계면 절점들에서 계산된 압력과 속도는 해석영역의 경계조건으로 작용함



레벨셋 재료 정의

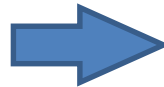
- 기체를 배제하고 액체만 계산하기 때문에 액체재료 · 액체특성만 등록
- 다상유동 관리자에서 레벨셋 정의

재료 추가/수정

번호	이름	종류
1	Alloy Steel	등방성-선형
2	FRESH_WATER_25` C-1	유체 (유동해석)

생성 ▼
수정...
복사
삭제
불러오기...
닫기

재료 등록



다상 유동 관리자

다상유동 모델: 레벨셋

상 개수: 2

가상 위상

상태 재료

위상	재료
상1	2:FRESH_WATER_25` C-1
상2(주상)	

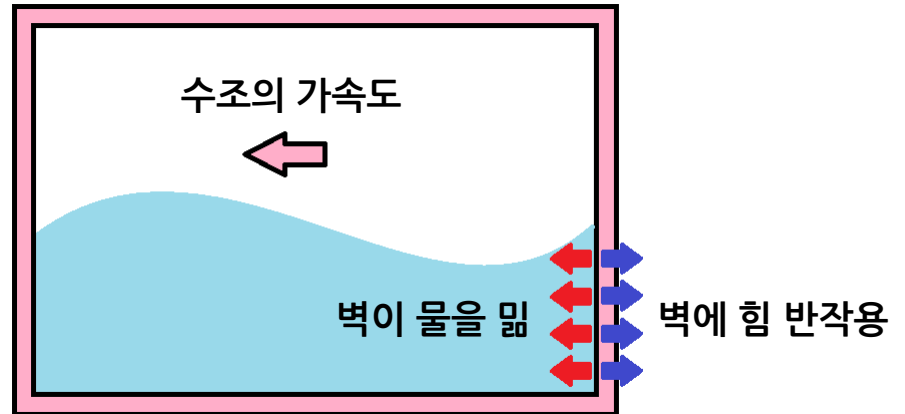
확인 취소

다상유동 관리자 설정

슬로싱 (Sloshing; 출렁임)

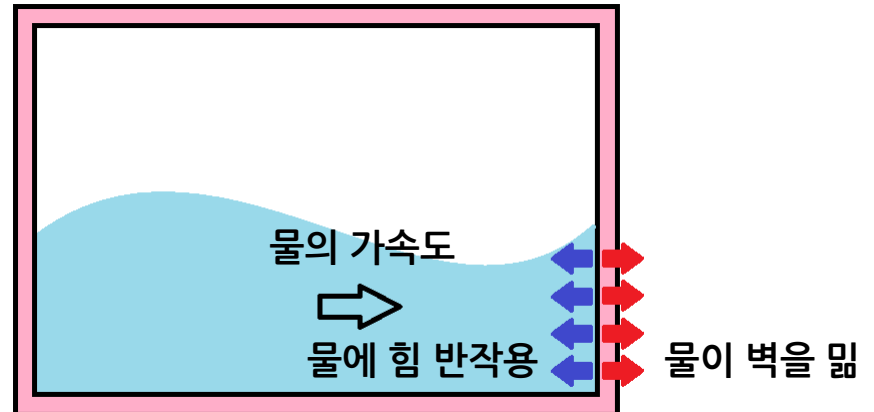
1. 수조의 관점

수조가 움직여 벽에 닿아있는 유체를 밍



2. 물의 관점

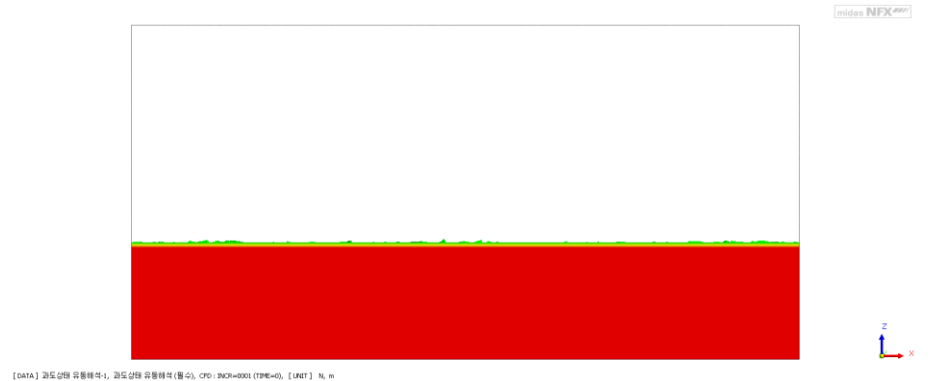
물이 움직여 수조의 벽을 밍



슬로싱 (Sloshing; 출렁임)

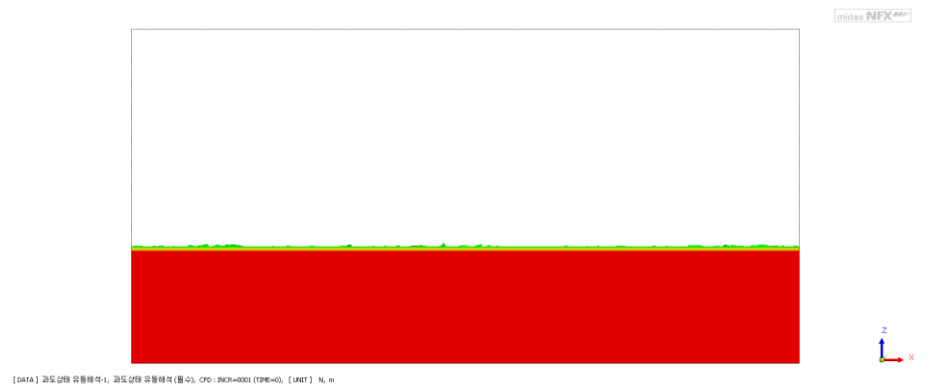
1. 수조의 관점

수조가 움직여 벽에 닿아있는 유체를 밟



2. 물의 관점

물이 움직여 수조의 벽을 밟

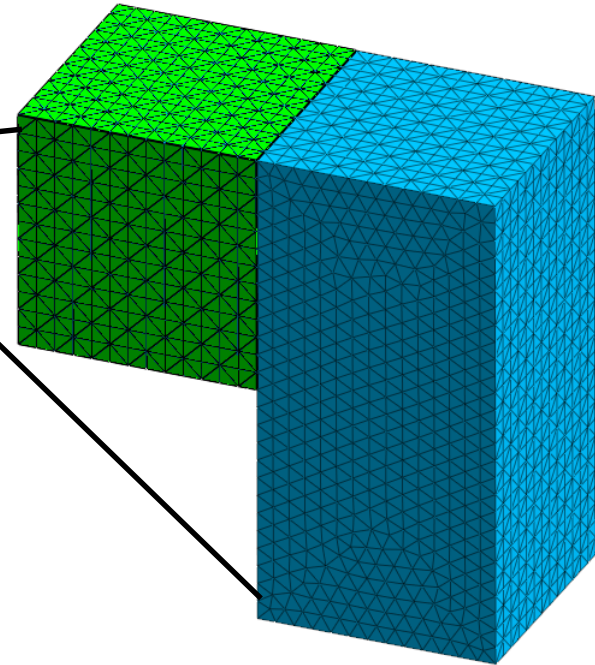
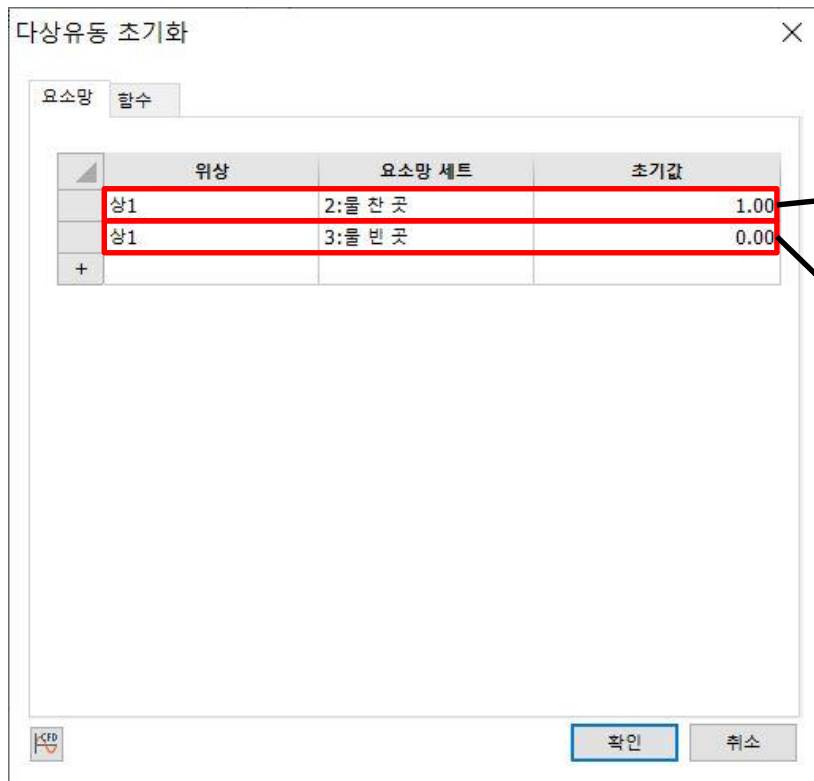


벽이 물에 가하는 힘은 접촉면을 통해 일어나므로
벽에 힘(≒가속도)을 부여하는 대신 유체에 가속도 부여, 반작용 유도

초기수위 설정

1. 요소망 세트 활용

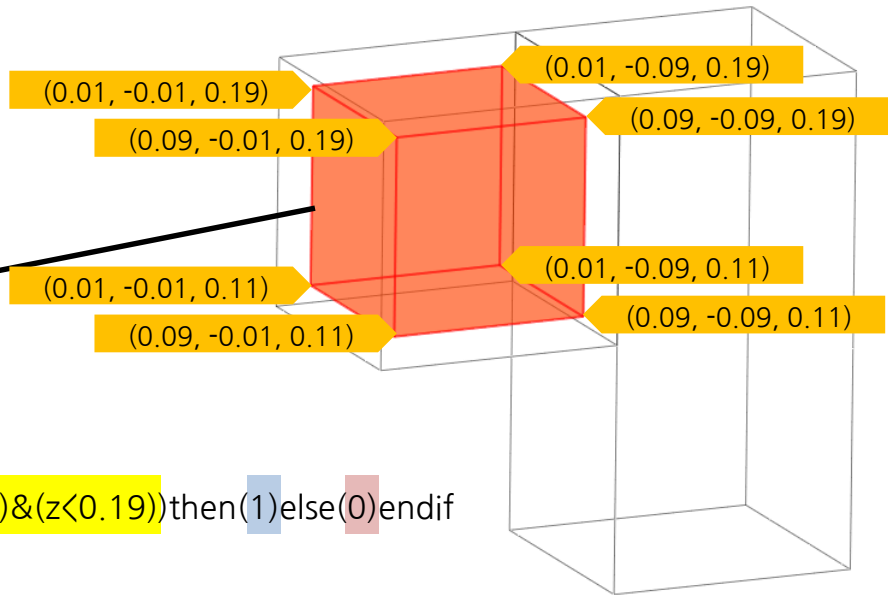
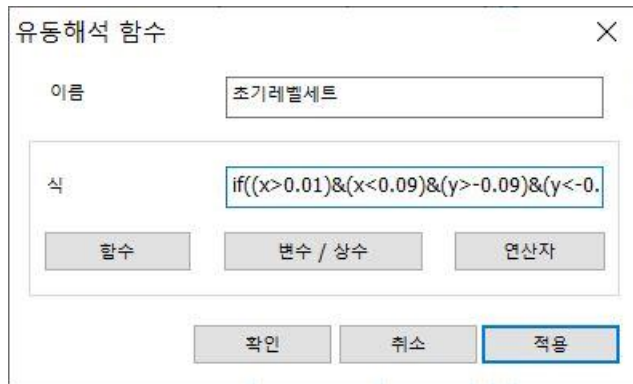
요소망 세트로 구획된 영역(부피, 면적)에 레벨 세트 초기값 부여



초기수위 설정

2. 함수 활용

영역에 따라 조건을 부여하는 함수로 레벨 세트 초기값 부여



```
if((x>0.01)&(x<0.09)&(y>-0.09)&(y<-0.01)&(z>0.11)&(z<0.19))then(1)else(0)endif
```

레벨셋 활용 시 주의할 점

1. 질량 손실

레벨셋 기법은 레벨셋 마커 함수 $\Phi=0$ 인 등위면을 수면으로 간주
 $\Phi>0$ 은 유체영역, 나머지는 $\Phi<0$

Φ 의 보존식 $\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \Phi = 0$ 을 풀어서 수면의 거동 분석

하지만 질량보존이 엄밀히 지켜지지 않음

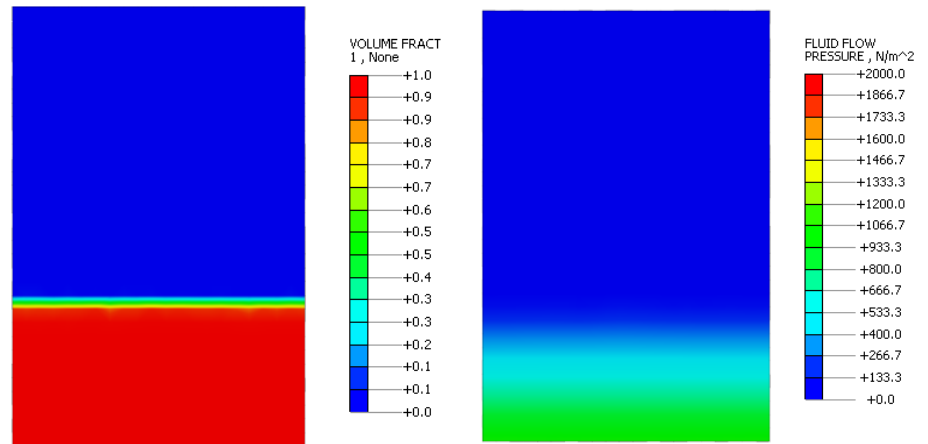
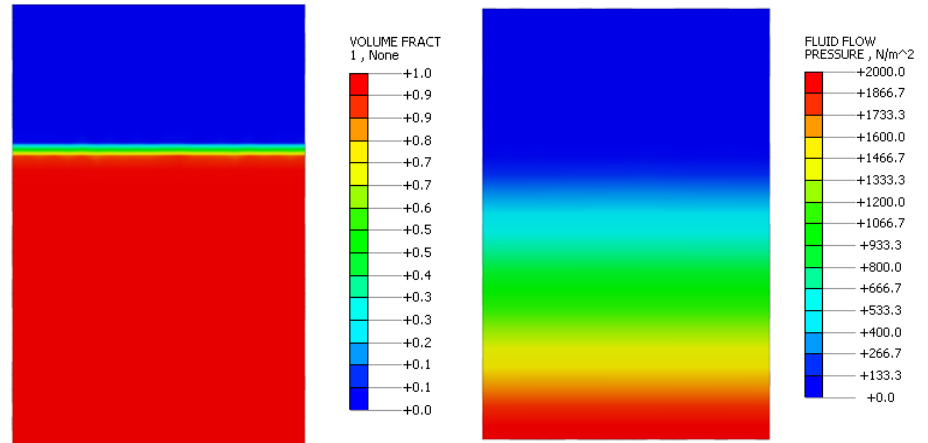
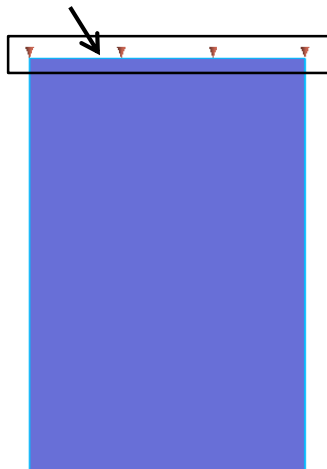
보다 조밀한 요소망(공간이산화 수준 ↑)에서 질량 손실이 덜하지만 근본적 해결은 아님
 수면이 훑고 지나갈 영역의 요소망은 특별히 더 조밀하게 만들 필요가 있음

“질량보존” 기능 적용으로 유체의 총량 보존은 가능, 하지만 계산의 엄밀성이 떨어짐

레벨셋 활용 시 주의할 점

2. 정수압 체크 & 압력 참조점 필요
 수면의 형상을 포착하기 위해 항상 중력이 작용하는 조건에서 해석해야 함
 → 정수압을 고려하되, 압력 보정식을 풀기 위한 압력 참조점 설정 필요

압력참조점
 (면 또는 선에 부여)



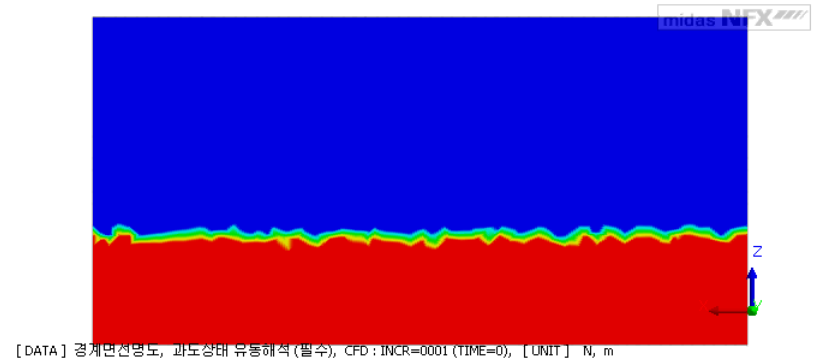
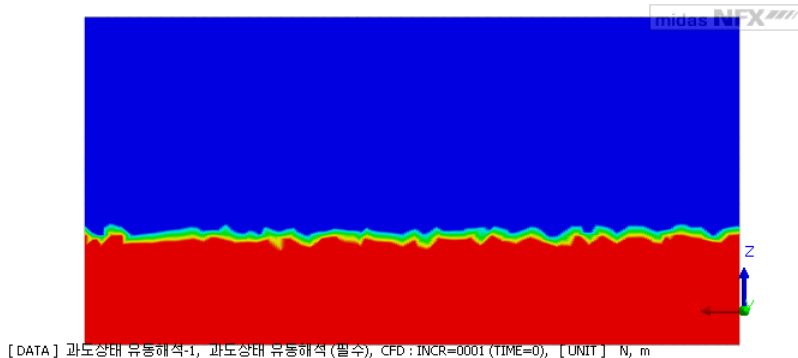
→ 레벨셋 해석은 압력 참조점으로부터의 압력차 분포를 계산하여 수위에 따른 압력 분포를 볼 수 있음

레벨셋 활용 시 주의할 점

3. 경계면 선명도 적용시 정확도↓

레벨 셋 기법의 특성 상 계산이 진행될수록 수면 영역 ($0 < \Phi < 1$)이 점차 넓어짐 (명확하지 못한 수면 위치)

“경계면 선명도”를 적용하면 수면 영역을 좁힐 수 있음 (수면 선예도↑), 하지만 계산 정확도를 희생



레벨셋 활용 시 주의할 점

4. 충분한 요소망 조밀도 확보 해석 정확도가 요소망 조밀도에 영향을 받음

요소크기 0.005 m

[DATA] 과도상태 유동해석-1, 과도상태 유동해석 (물수), CFD : INCR=0001 (TPE=0), [UNGT] N, m

요소크기 0.01 m

[DATA] 과도상태 유동해석-1, 과도상태 유동해석 (물수), CFD : INCR=0001 (TPE=0), [UNGT] N, m

요소크기 0.02 m

[DATA] 과도상태 유동해석-1, 과도상태 유동해석 (물수), CFD : INCR=0001 (TPE=0), [UNGT] N, m

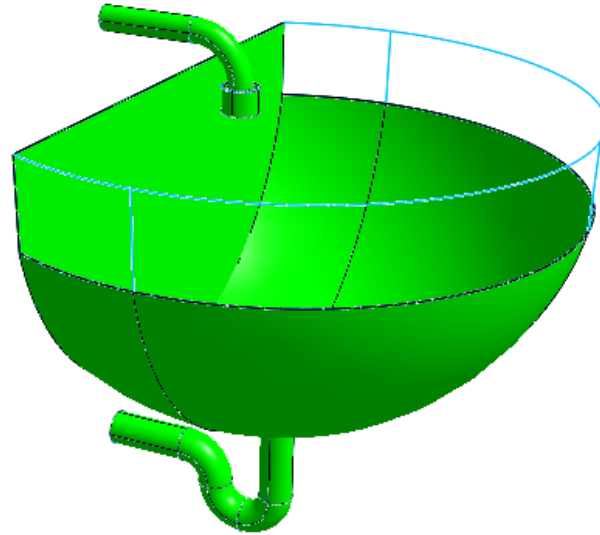
실무 따라하기

세면대 해석 예제

- 레벨세트

Contents

문제 설명 및 해석 목적



문제 설명

- ✓ 세면대 물 흐름 자유수면 유동 해석
- ✓ 수도꼭지에서 물이 나옴
- ✓ 배수구로 물이 빠짐

해석 목적

- ✓ 수도꼭지를 통한 물 유입과 배수구를 통한 물 배출 사이에서 수위의 변화 분석

학습 주요 아이템

- ✓ 레벨세트 기능 상 입구 설정법 습득
- ✓ 레벨세트 기능 상 초기수위 설정법 습득

새로 만들기

해석조건
설정

기하형상
제작

재료·특성
정의

경계 조건
입력

인접 조건
설정

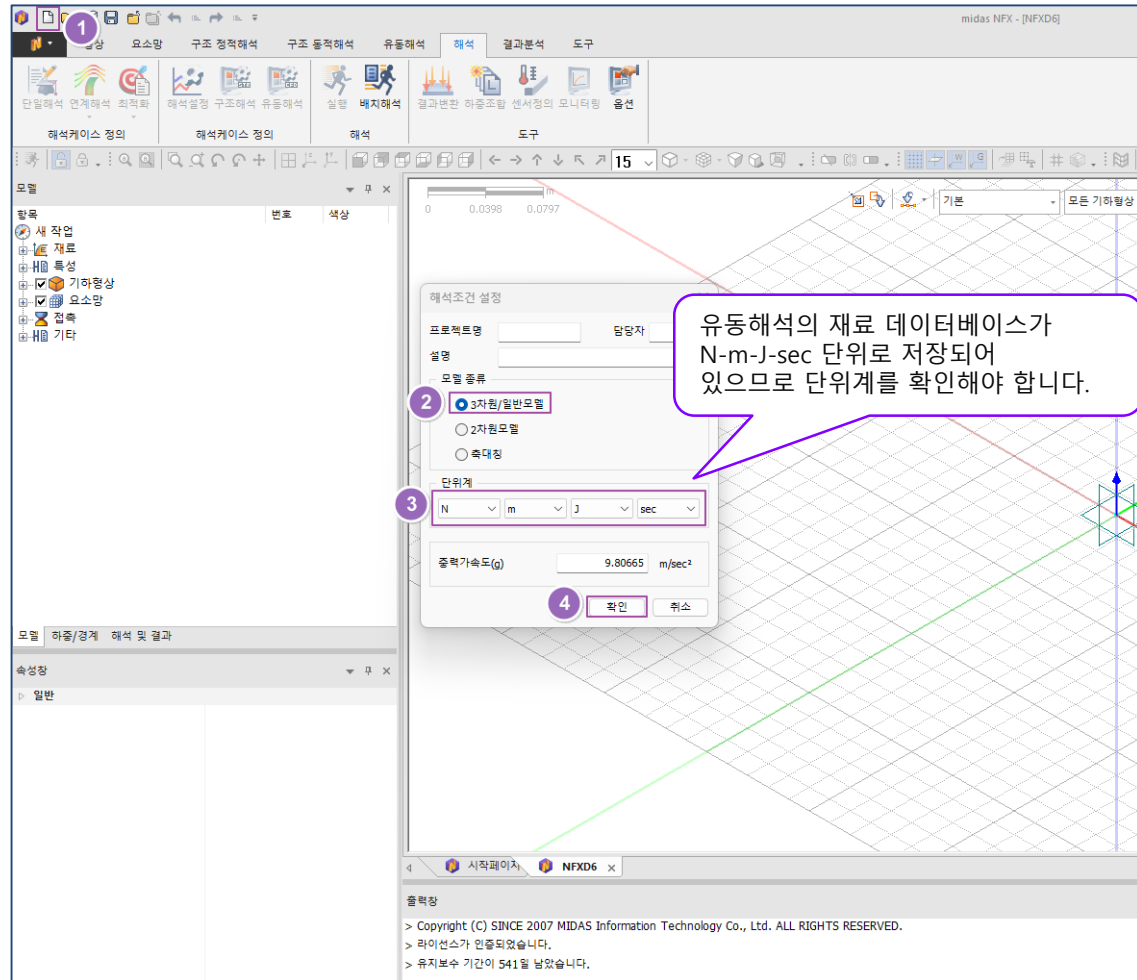
요소망생성

해석 케이스
정의

계산 실행

결과 검토

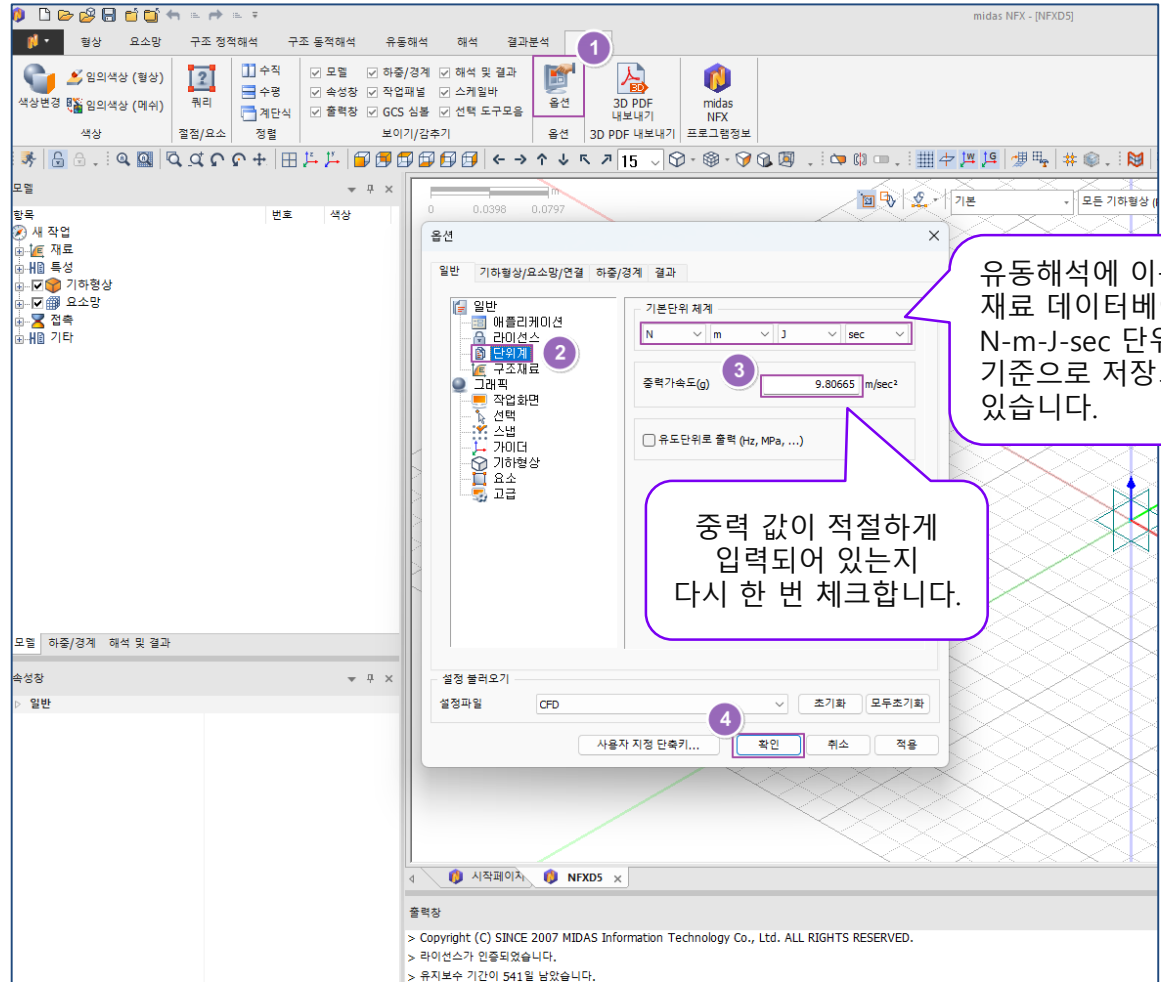
- ① “새로만들기” 버튼 클릭
- ② “3차원/일반모델” 라디오버튼 클릭
- ③ “단위계” 그룹박스 내 : N-m-J-sec 설정
- ④ “확인” 버튼 클릭



단위계 옵션 확인



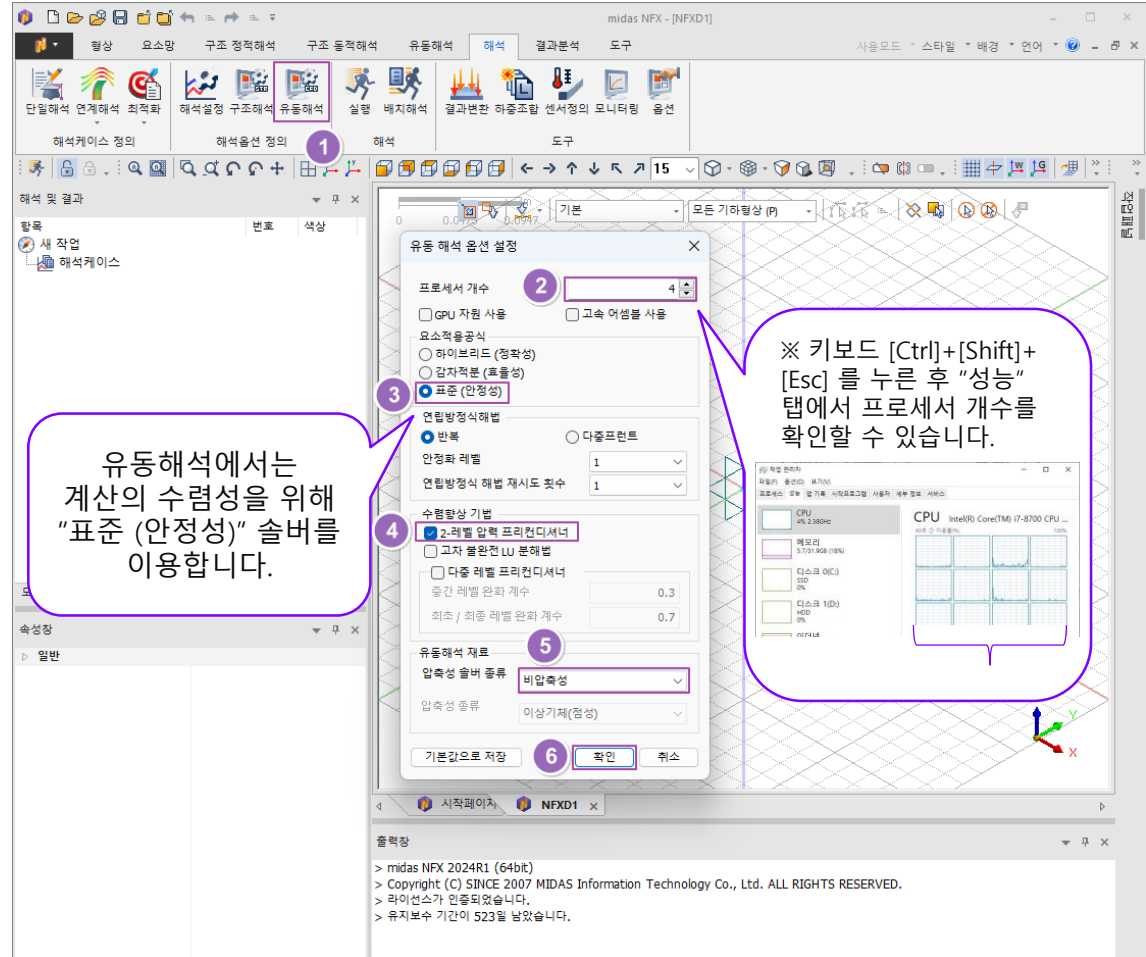
- ① 리본 메뉴 “도구” > 옵션 버튼 선택
- ② 옵션 창 > “일반” 탭 > “단위계” 트리 > “기본단위 체계” 콤보박스 : “N-m-J-sec” 확인
- ③ “중력가속도” 입력 창 : “9.8” 확인
- ④ “적용” 버튼 클릭



프로세서 개수 선택 및 솔버 선택



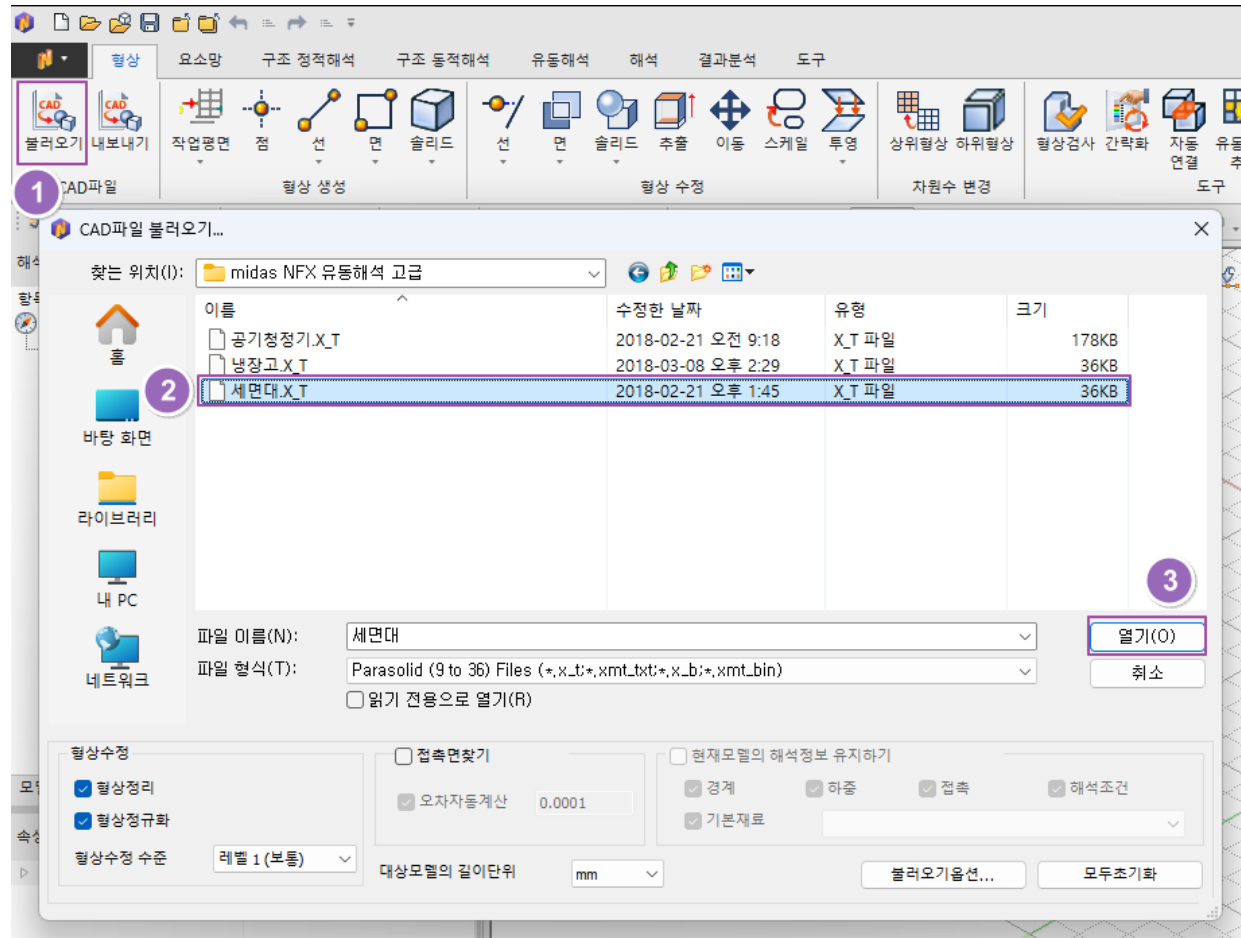
- ① 리본 메뉴 “해석옵션정의” > “유동해석” 버튼 선택
- ② “프로세서 개수” 입력창 : 계산에 동원할 CPU 개수를 입력
- ③ “요소적용공식” 그룹박스 > “표준(안정성)” 라디오버튼 선택
- ④ “2-레벨 압력 프리컨디셔너” 클릭
- ⑤ “압축성 솔버 종류” 그룹박스 > “비압축성” 선택
- ⑥ “확인” 버튼 클릭



기하형상 불러오기



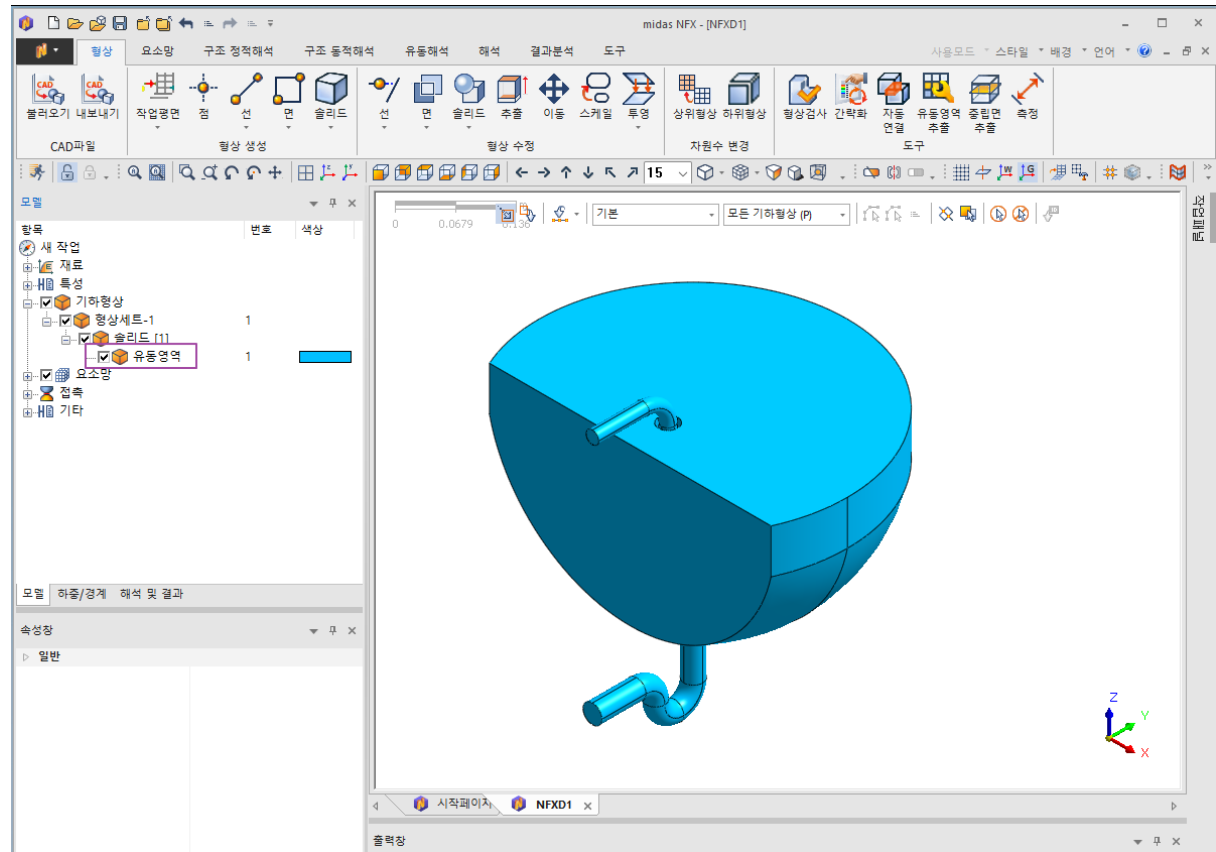
- ① “형상” 리본메뉴 > “불러오기” 버튼 클릭
- ② “세면대.X_T” 선택
- ③ “열기” 클릭



기하형상 불러오기



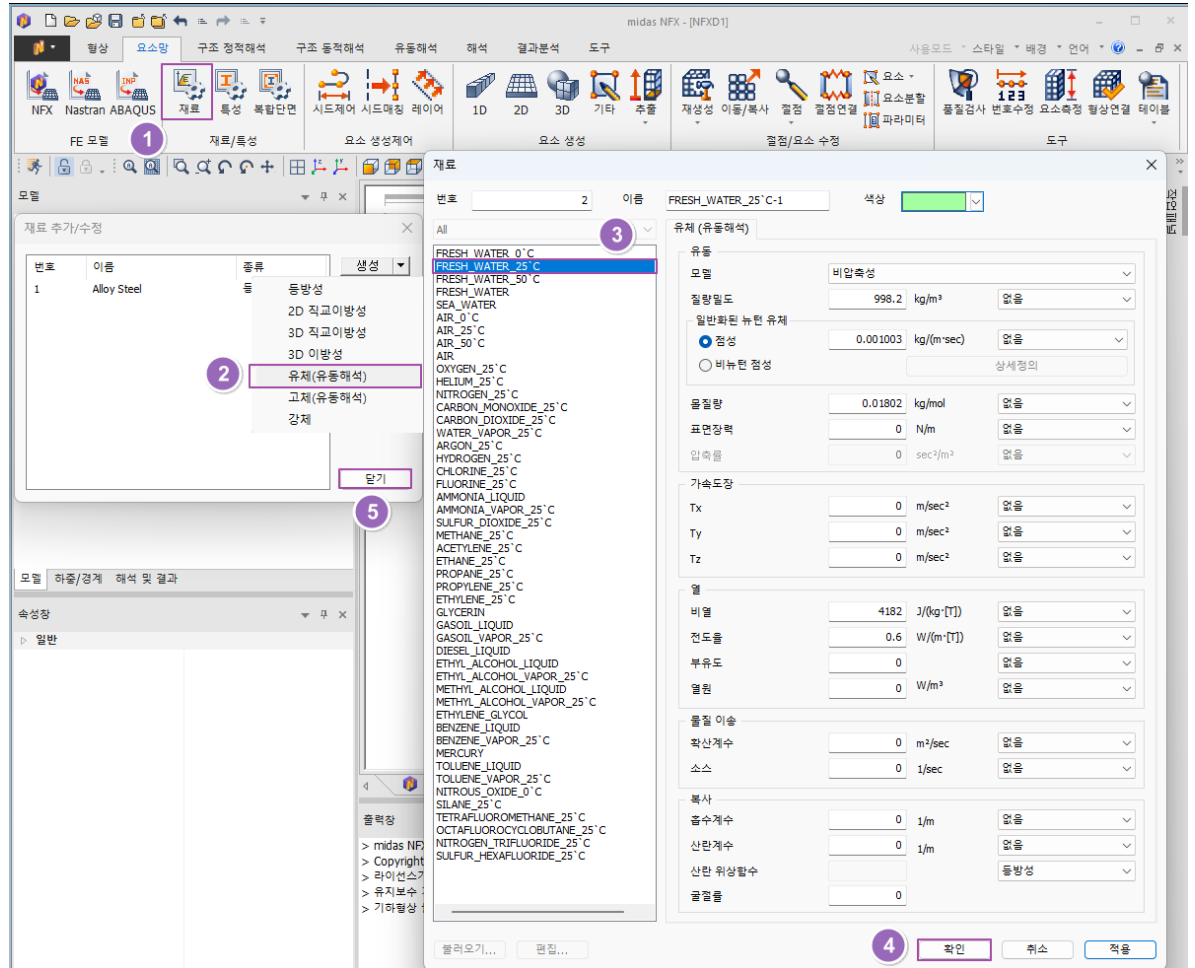
※기하형상이 이미 유동영역을 이루고 있으므로 별도의 수정작업을 하지 않습니다.



유체 재료 정의하기



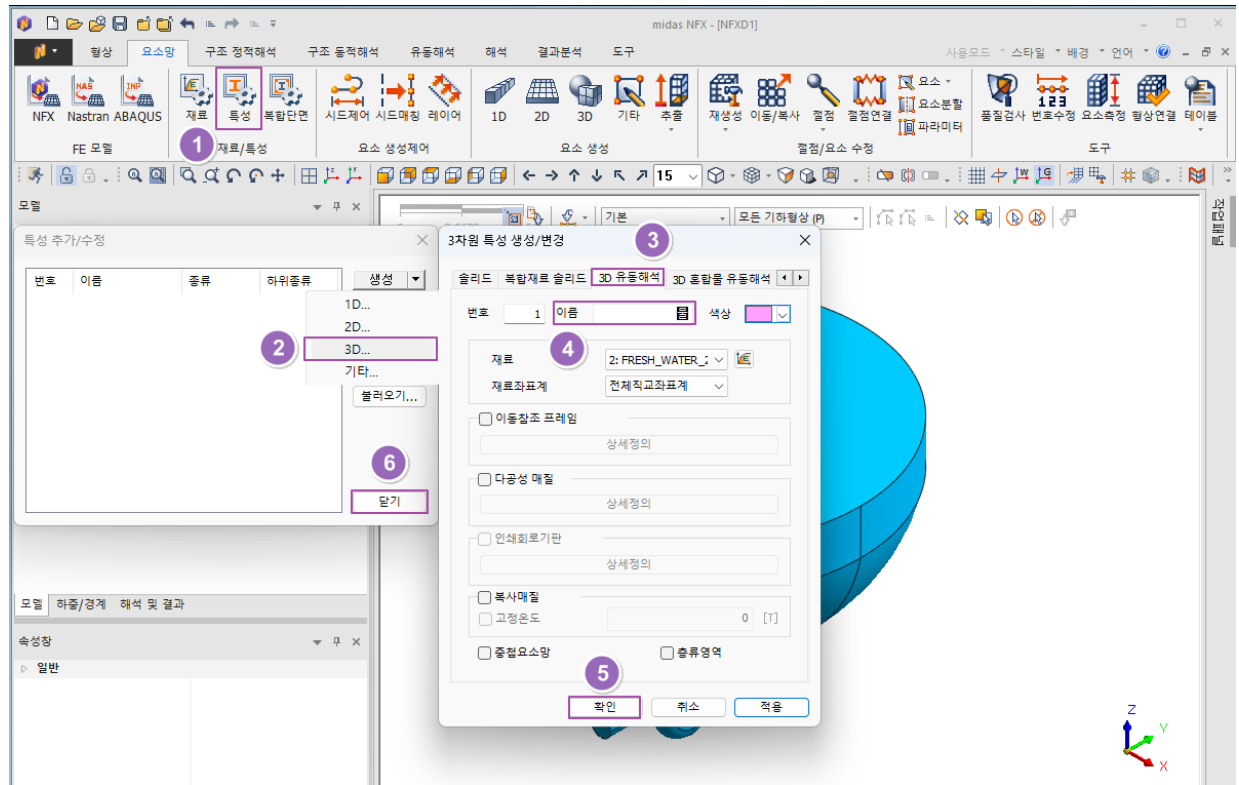
- ① “요소망” 탭 클릭
 > “재료/특성” 리본 메뉴
 > “재료” 버튼 클릭
- ② “재료 추가/수정” 창
 > “생성” 옆 화살표 버튼 클릭
 > “유체(유동해석)” 선택
- ③ 왼쪽 라이브러리 목록에서
 “FRESH_ WATER_ 25°C” 클릭
- ④ “확인” 클릭
- ⑤ “닫기” 클릭



특성 정의하기



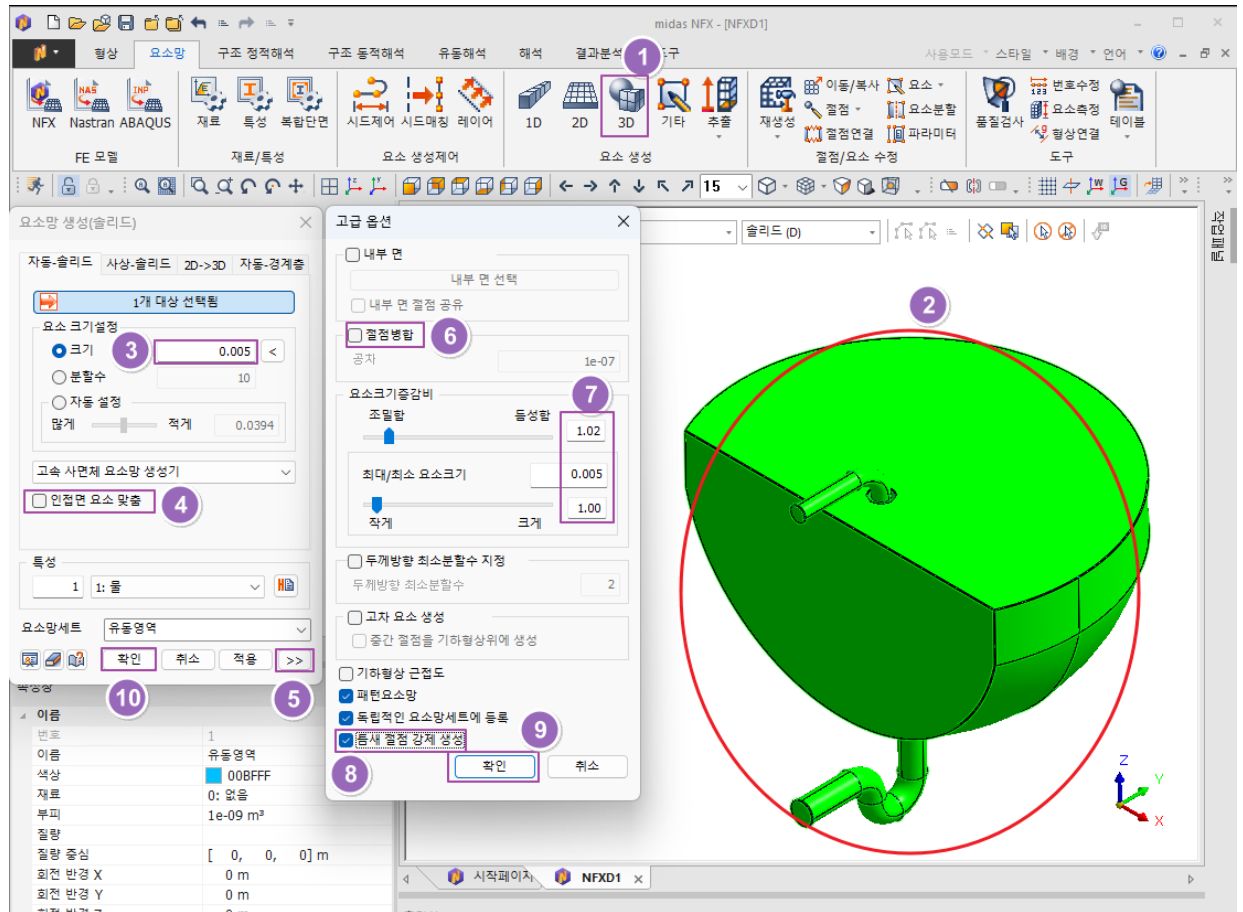
- ① “재료/특성” 리본 메뉴 > “특성” 버튼 클릭
- ② “특성 추가/수정” 창 > “생성” 옆 화살표 버튼 클릭 > “3D...” 선택
- ③ “3D 유동해석” 탭 클릭
- ④ “이름”에 “물” 입력
- ⑤ “확인” 클릭
- ⑥ “닫기” 클릭



요소망 생성



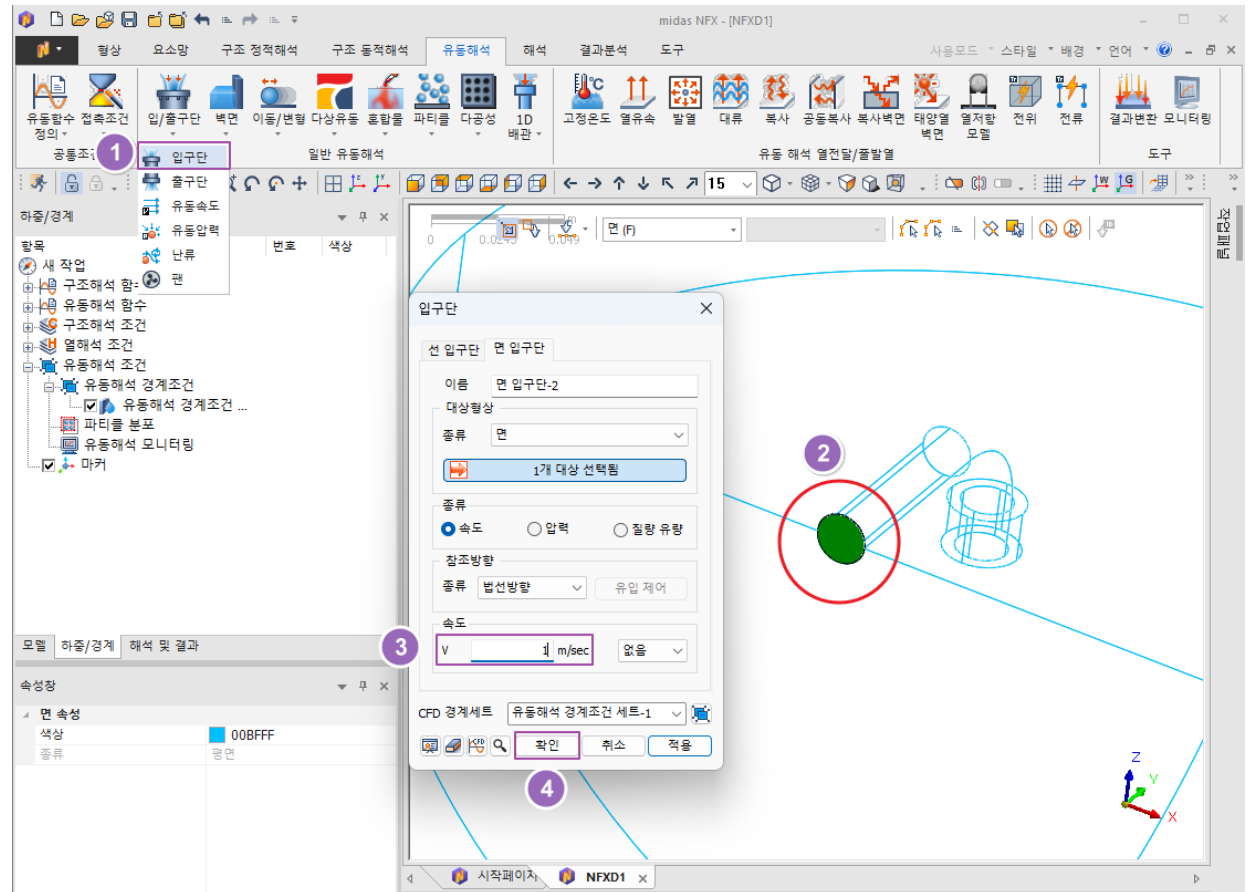
- ① “생성” 리본 메뉴 > “3D” 클릭
 - ② “유동영역” 파트 선택
 - ③ “크기”에 “0.005” 입력
 - ④ “인접면 요소 맞춤” 체크 해제
 - ⑤ “>>” 클릭
 - ⑥ “절점 병합” 체크 해제
 - ⑦ “요소크기증감비”에 “1.02” 입력, “최대/최소 요소 크기”에 “1” 입력
 - ⑧ “틈새 절점 강제 생성” 체크
 - ⑨ “확인” 클릭
 - ⑩ “확인” 클릭
- ※ 레벨셋 해석은 균일한 요소망이 갖춰져야 정확한 계산이 가능합니다.



경계조건 생성



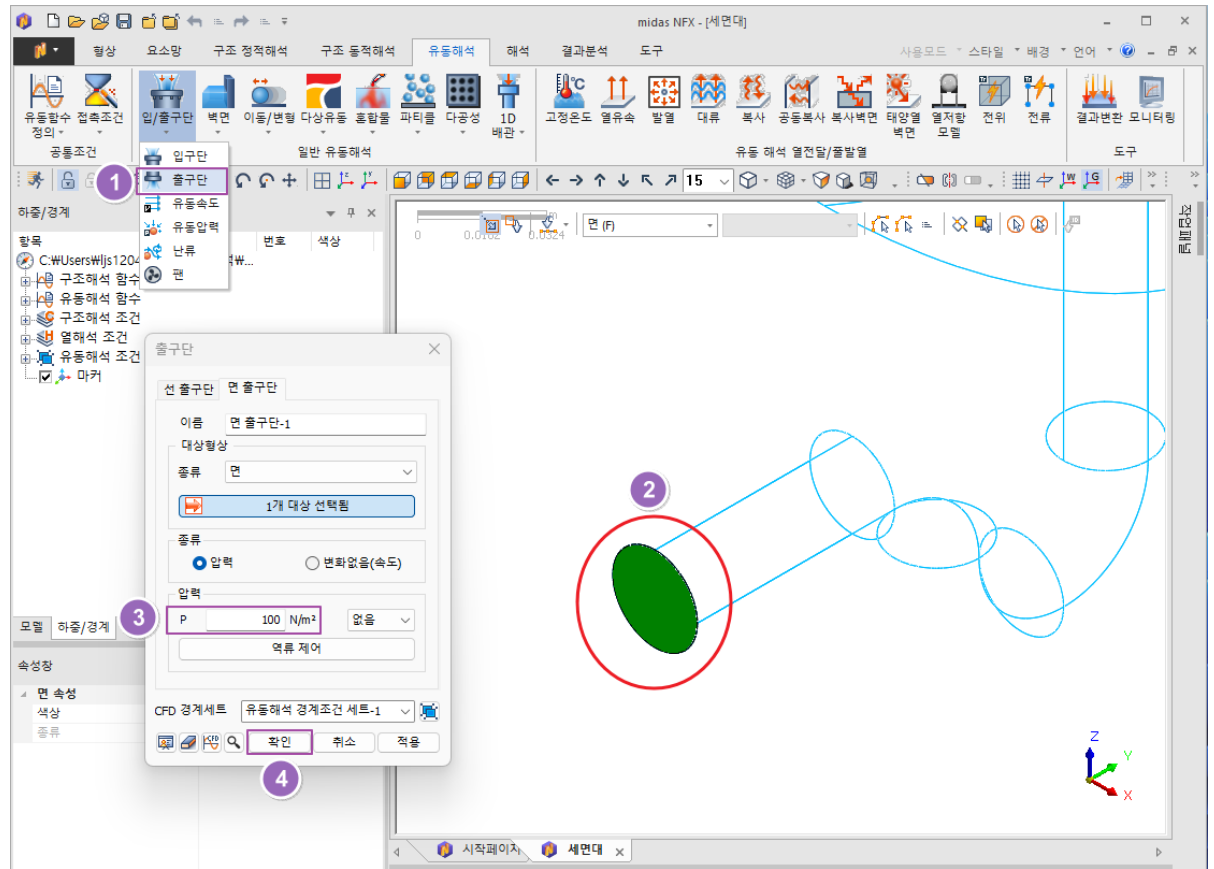
- ① “유동해석” 탭 클릭
 > “일반유동” 리본 메뉴
 > “입구단” 클릭
- ② “유동영역” 파트의 입구면 선택 (1 개 면)
- ③ “속도”에 “1” 입력
- ④ “확인” 클릭



경계조건 생성



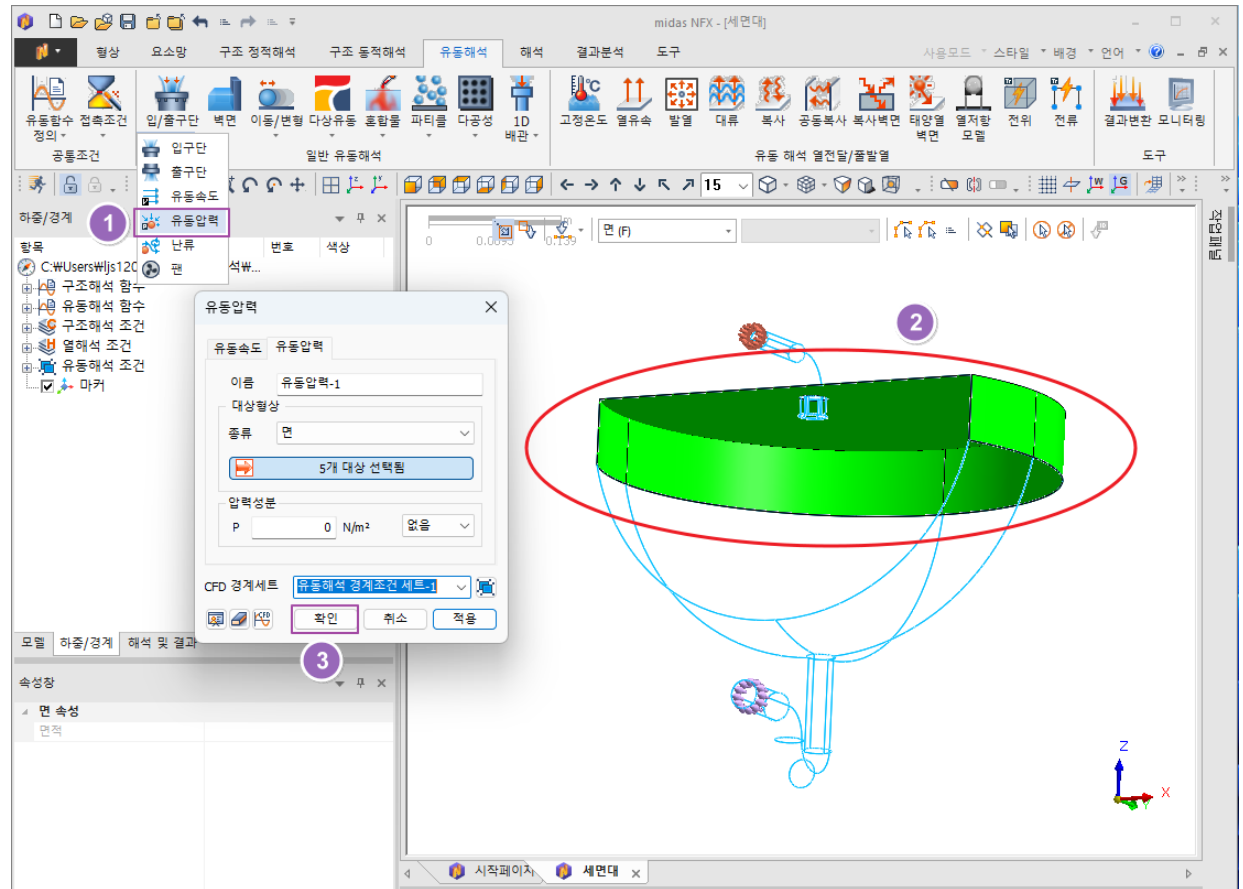
- ① “일반 유동해석” 리본 메뉴 > “출구단” 클릭
- ② “유동영역” 파트의 출구면 선택 (1 개 면)
- ③ “압력”에 “100” 입력
- ④ “확인” 클릭



경계조건 생성



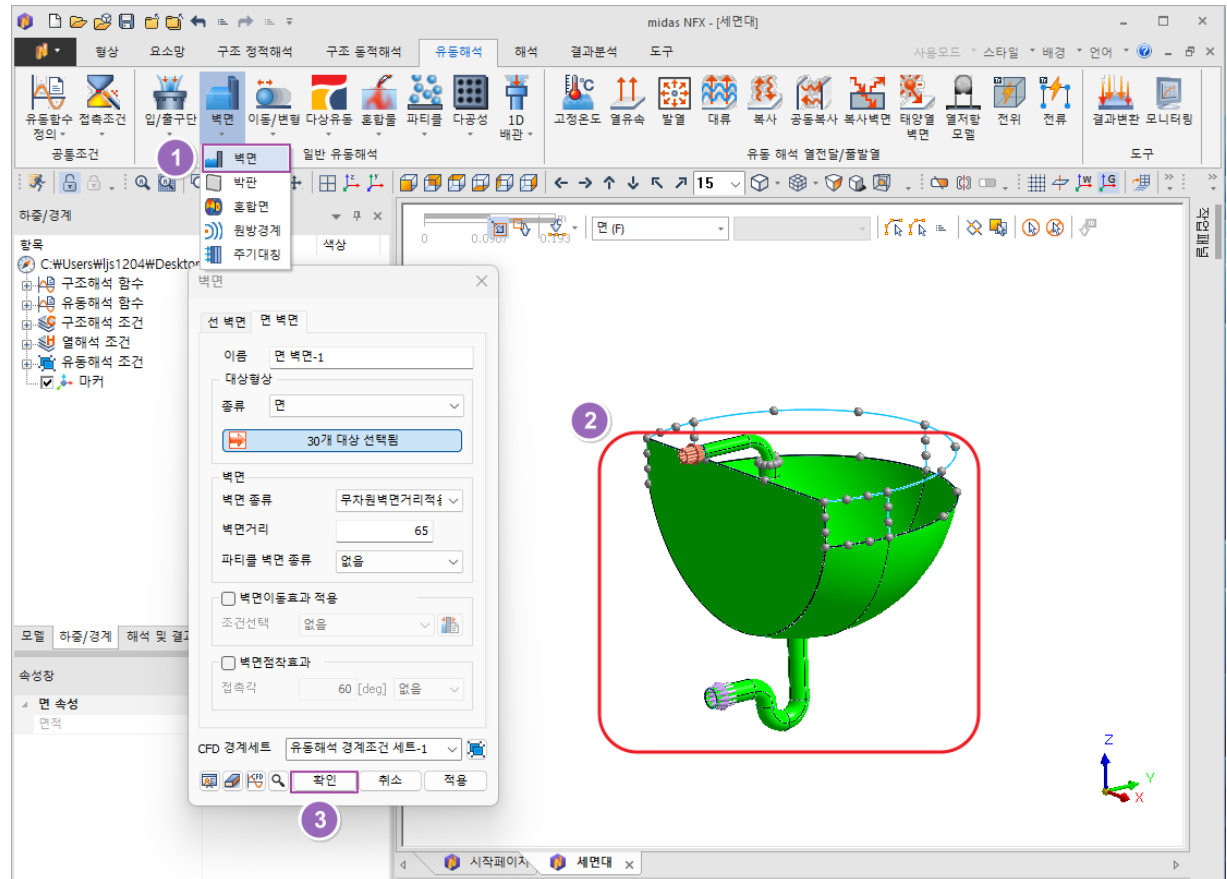
- ① “일반유동” 리본 메뉴 > “유동압력” 클릭
- ② “유동영역” 파트의 상부 선택 (5개 면)
- ③ “확인” 클릭



경계조건 생성



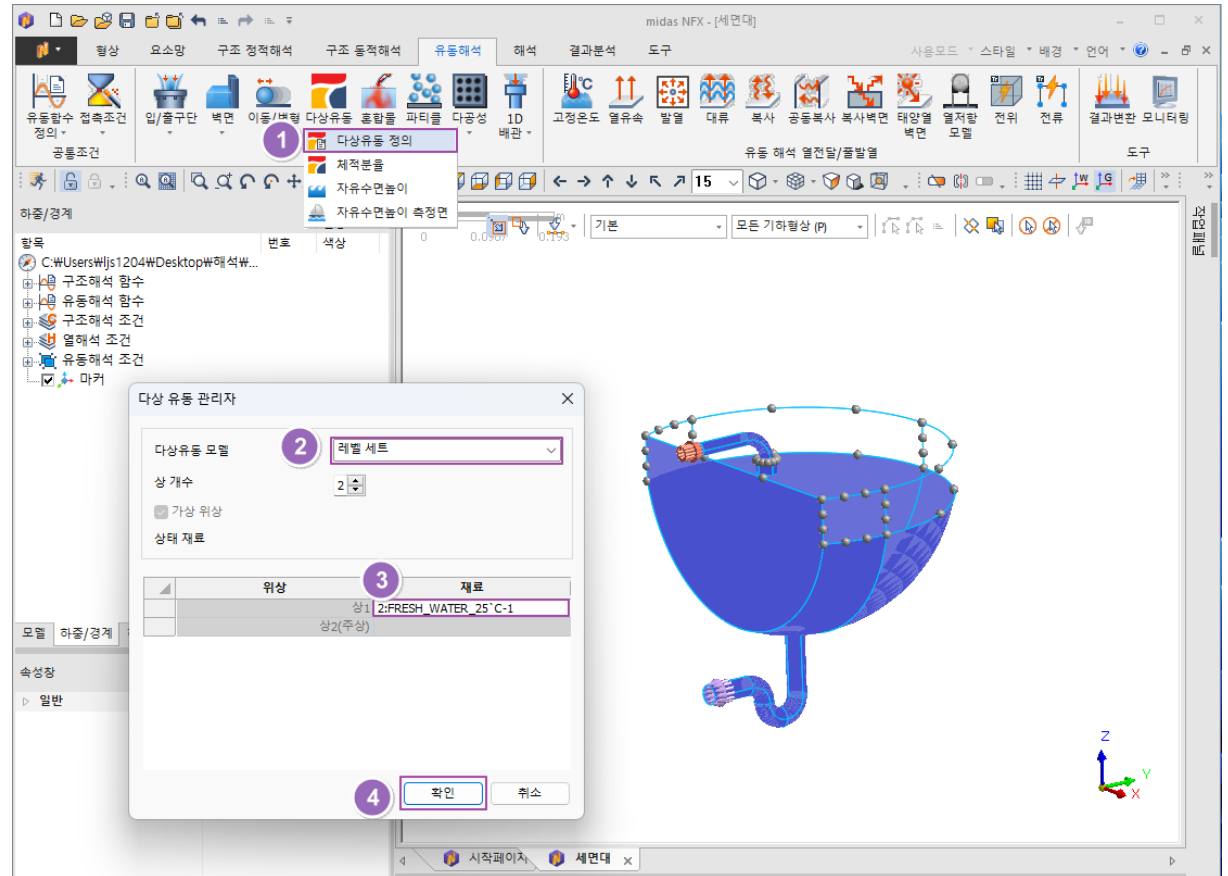
- ① “일반유동” 리본 메뉴 > “벽면” 클릭
- ② “유동영역” 파트의 벽면 선택 (30 개 면)
- ③ “확인” 클릭



경계조건 생성



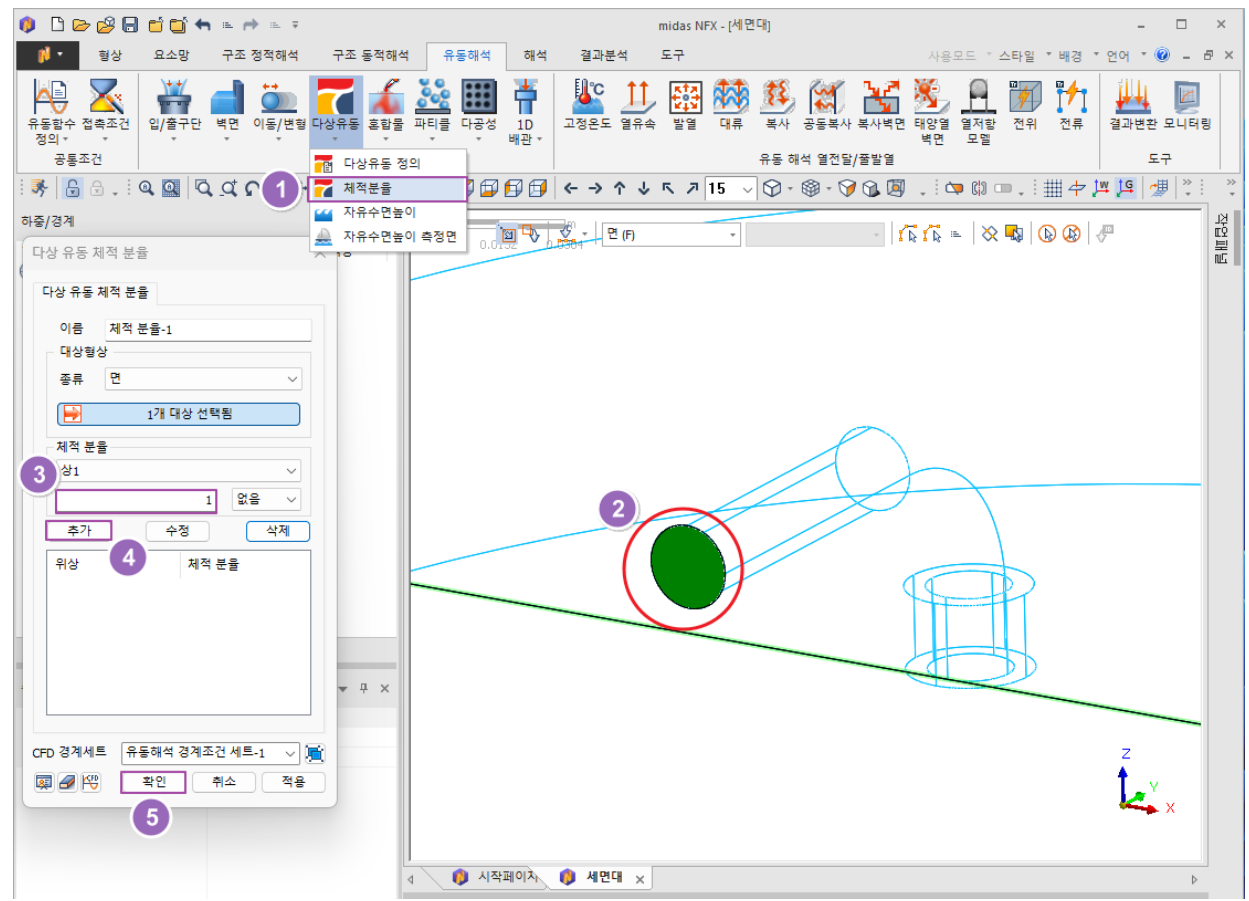
- ① “일반 유동해석” 리본 메뉴 > “다상유동” 클릭 > “다상유동 정의” 선택
- ② “다상유동 모델”에서 “레벨 세트” 선택
- ③ “재료”에서 “FRESH_WATER_25`C-1” 선택
- ④ “확인” 클릭



경계조건 생성



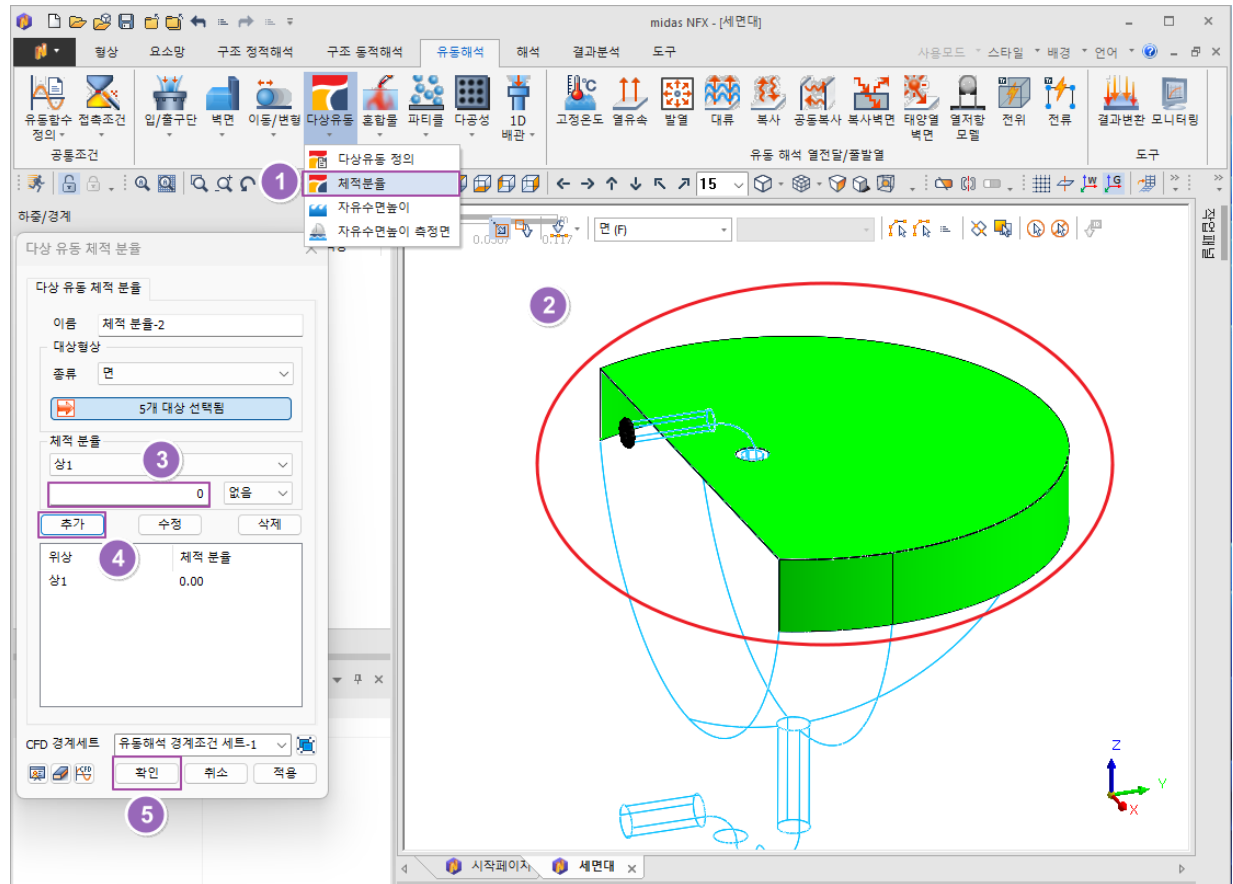
- ① “일반 유동해석” 리본 메뉴 > “다상 유동” 클릭 > 체적분울 선택
- ② “유동영역” 파트의 입구 선택 (1 개 면)
- ③ “체적 분울”에 “1” 입력
- ④ “추가” 클릭
- ⑤ “확인” 클릭



경계조건 생성



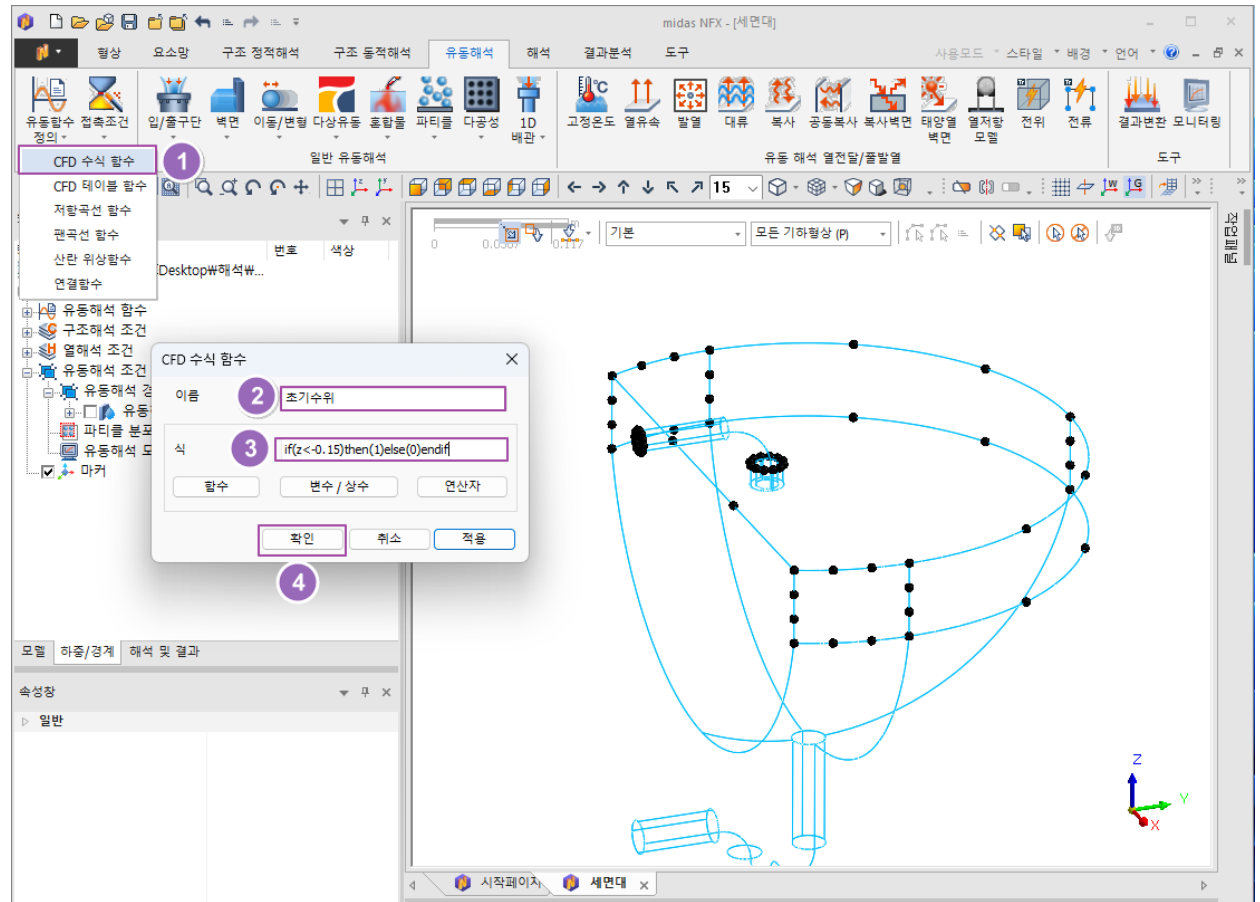
- ① “일반 유동해석” 리본 메뉴 > “다상 유동” 클릭 > “체적분율” 선택
- ② “유동영역” 파트의 입구 선택 (5 개 면)
- ③ “체적 분율”에 “0” 입력
- ④ “추가” 클릭
- ⑤ “확인” 클릭



경계조건 생성



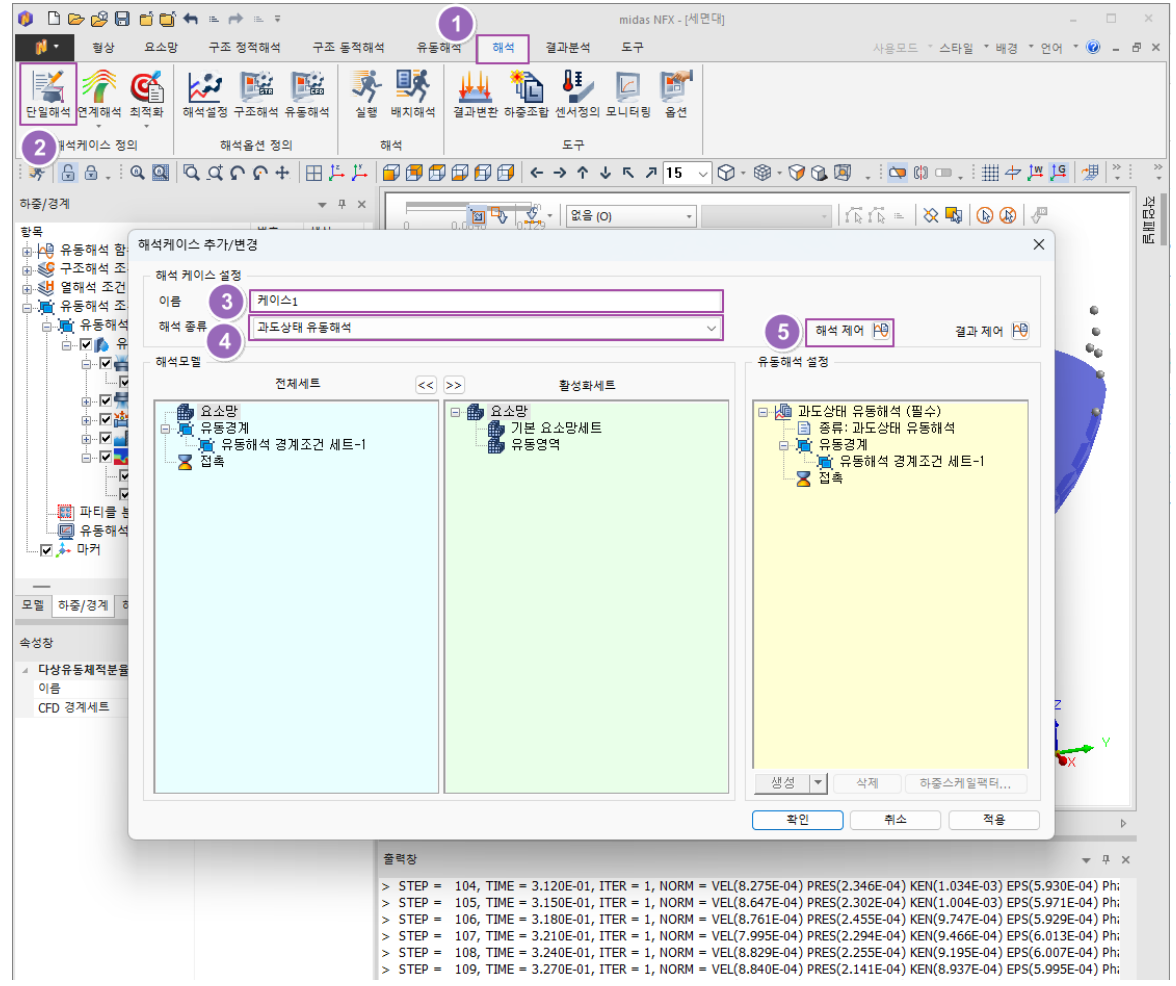
- ① “공통조건” 리본 메뉴
 > “유동함수 정의” 클릭
 > “CFD 수식함수” 클릭
 - ② “이름”에 “초기수위” 입력
 - ③ “식”에
 “if(z<-0.15)then(1)else(0)endif”
 입력
- ※ 함수로써 레벨세트 초기조건을 부여합니다.
- ④ “확인” 클릭



해석 케이스 정의



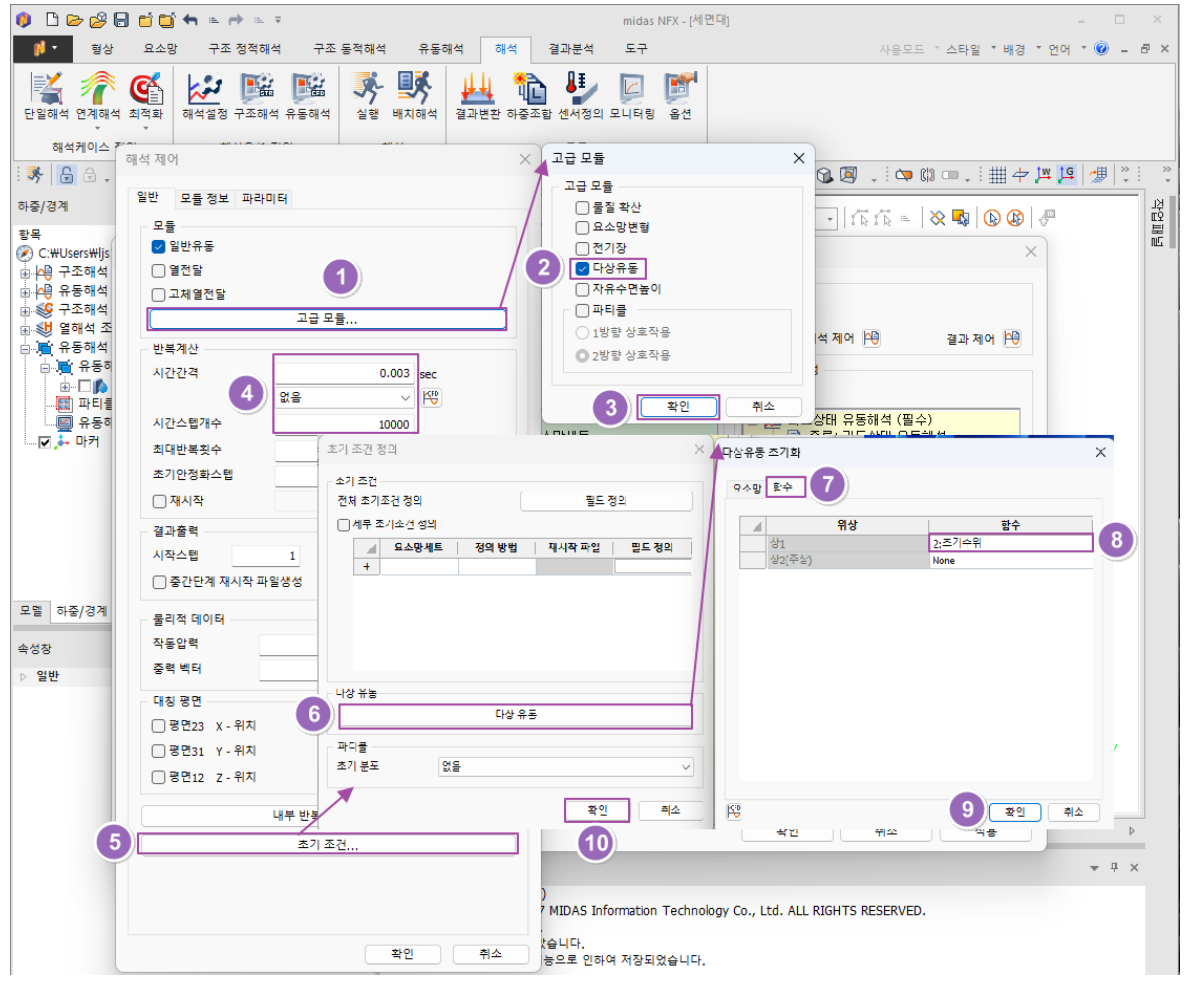
- ① “해석” 탭 클릭
- ② “해석케이스 정의” 리본 메뉴 > “단일해석” 클릭
- ③ “해석케이스 추가/변경” 창 > “이름”에 “케이스1” 입력
- ④ “해석케이스 추가/변경” 창 > “해석종류”에 “과도상태 유동해석” 입력
- ⑤ “해석 제어” 클릭



해석 케이스 정의



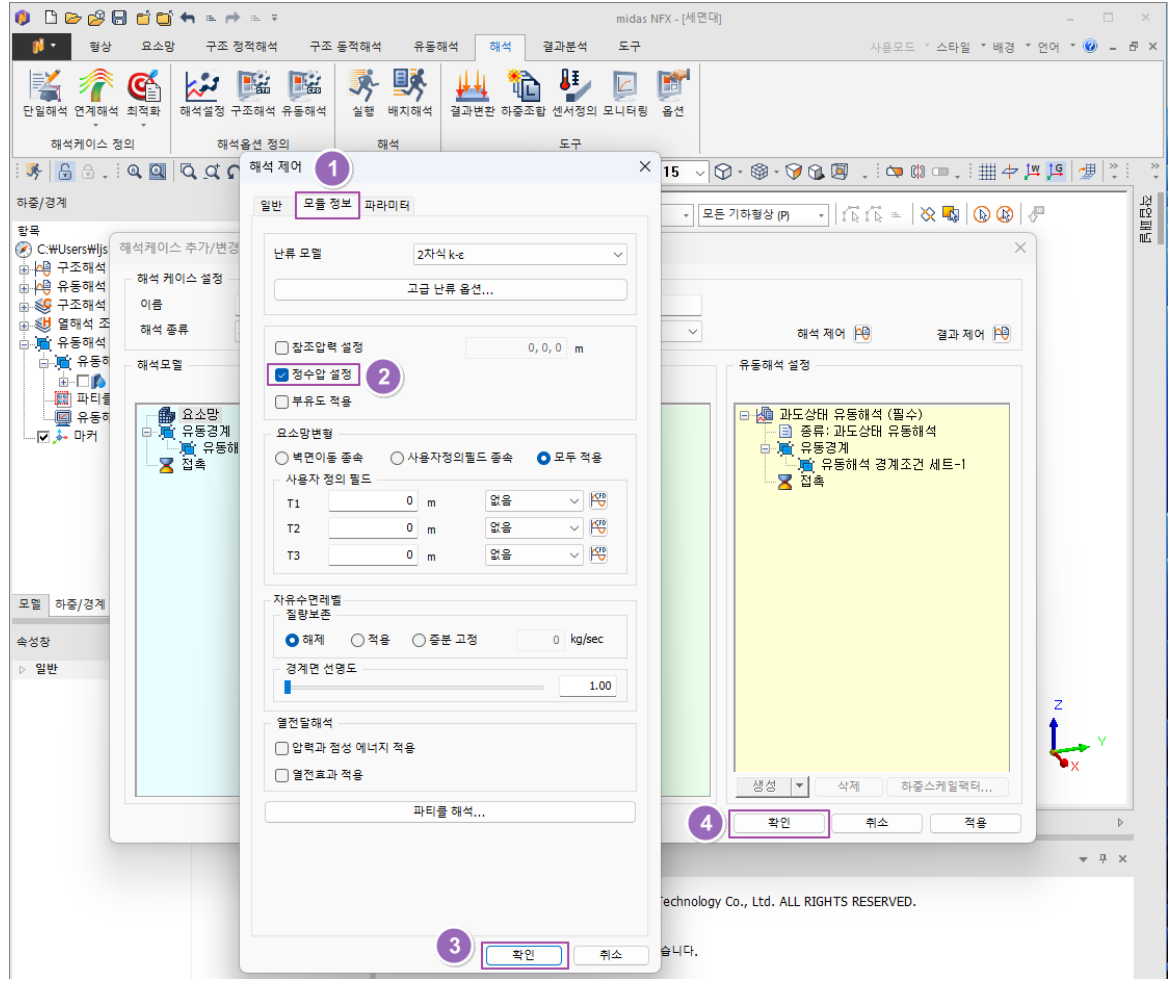
- ① “모듈” 섹션
 > “고급 모듈...” 클릭
- ② “다상유동” 체크
- ③ “확인” 클릭
- ④ “반복계산” 섹션
 > “시간간격”에 “0.003” 입력
 > “시간스텝개수”에 “10000” 입력
- ⑤ “초기 조건...” 클릭
- ⑥ “다상유동” 클릭
- ⑦ “함수” 탭 클릭
- ⑧ “상1”의 함수로 “초기수위” 선택
- ⑨ “OK” 클릭
- ⑩ “확인” 클릭



해석 케이스 정의



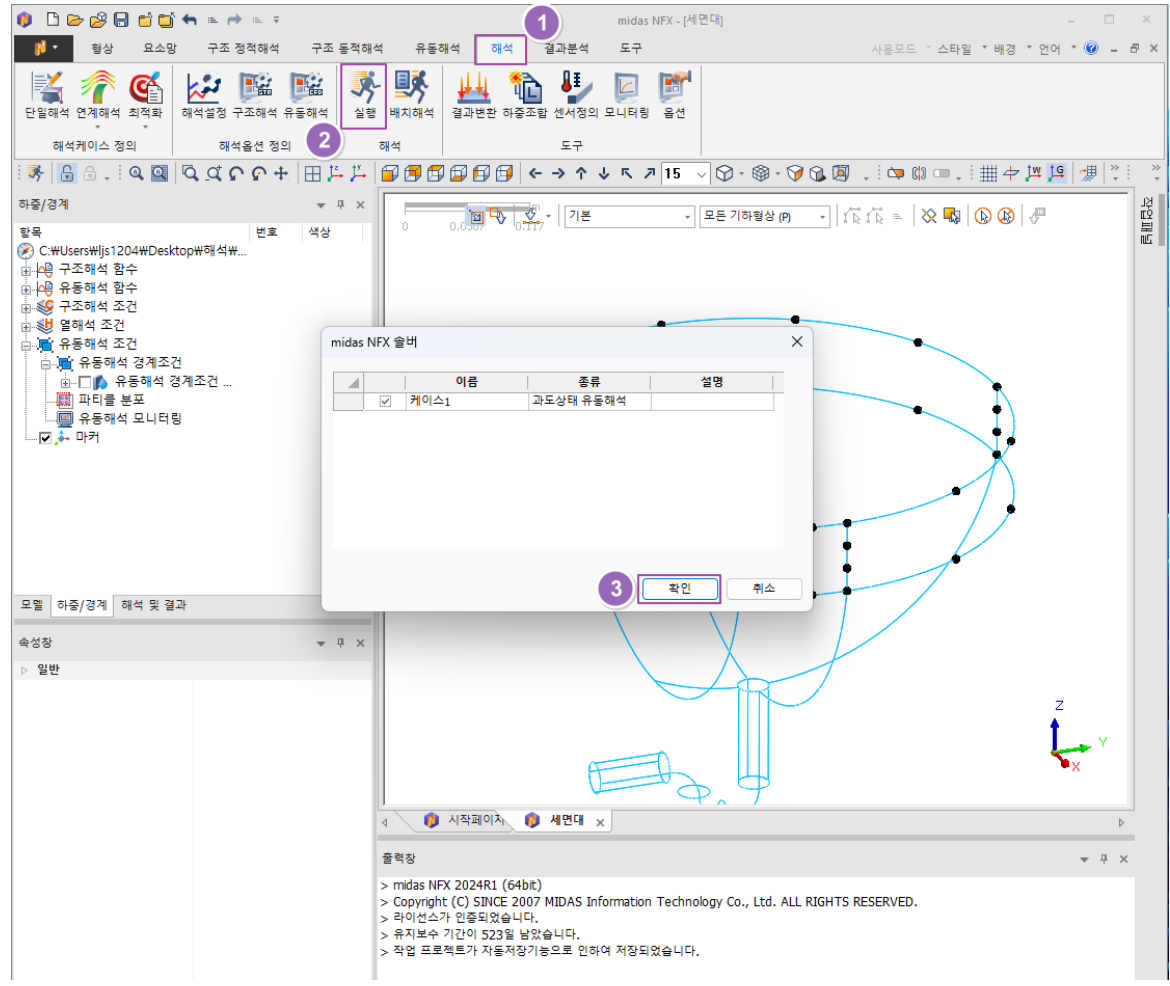
- ① “모듈 정보” 탭 클릭
- ② “정수압 설정” 체크
- ③ “확인” 클릭
- ④ “확인” 클릭



해석 실행



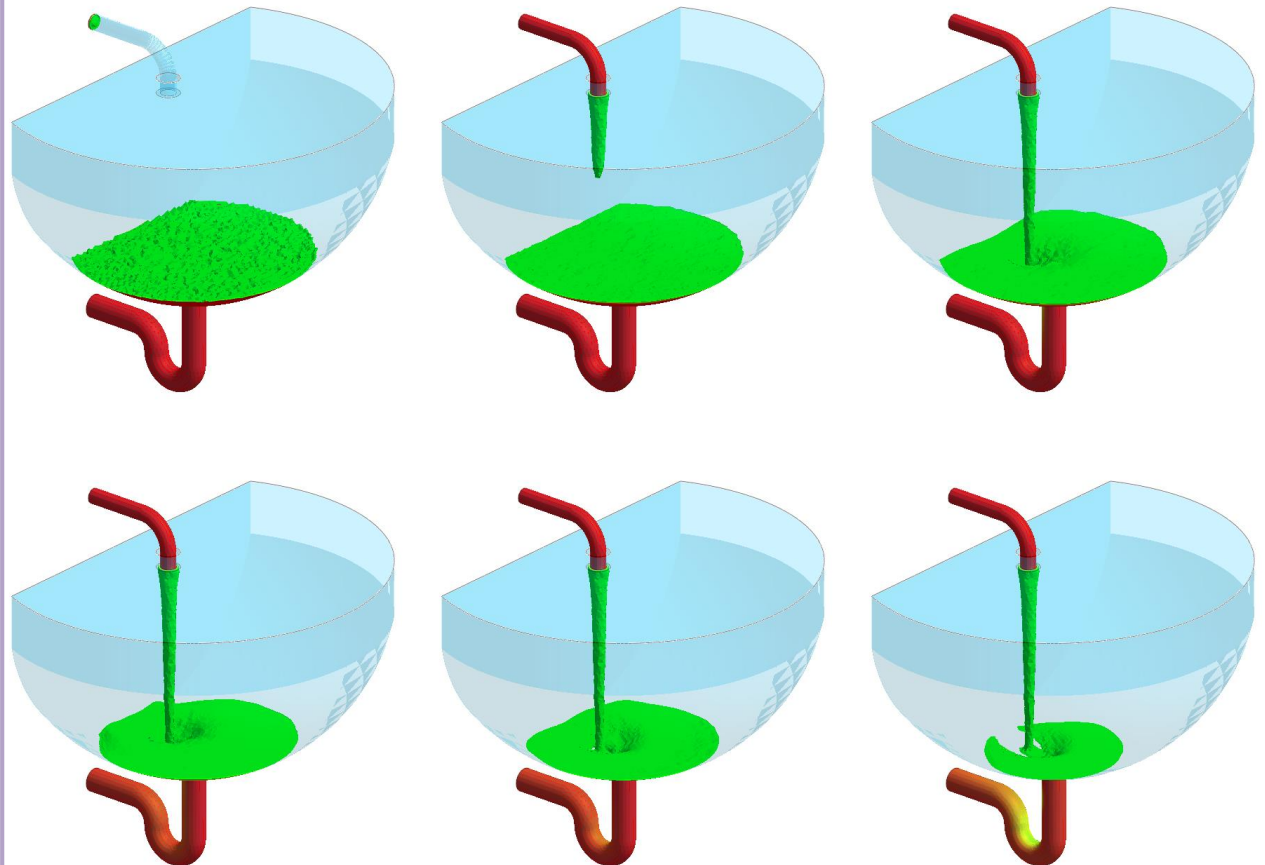
- ① “해석” 탭 클릭
- ② “해석” 리본 메뉴 > “실행” 클릭
- ③ “midas NFX 솔버” 창 > “확인” 클릭



결과 분석



※ 기본유동해석 교육과 동일한 과정으로 결과 분석을 수행합니다.



midas NFX CFD 고급유동해석 교육

Part 1. 유동해석의 이해

Part 2. 경제적 유동해석을 위한 기법

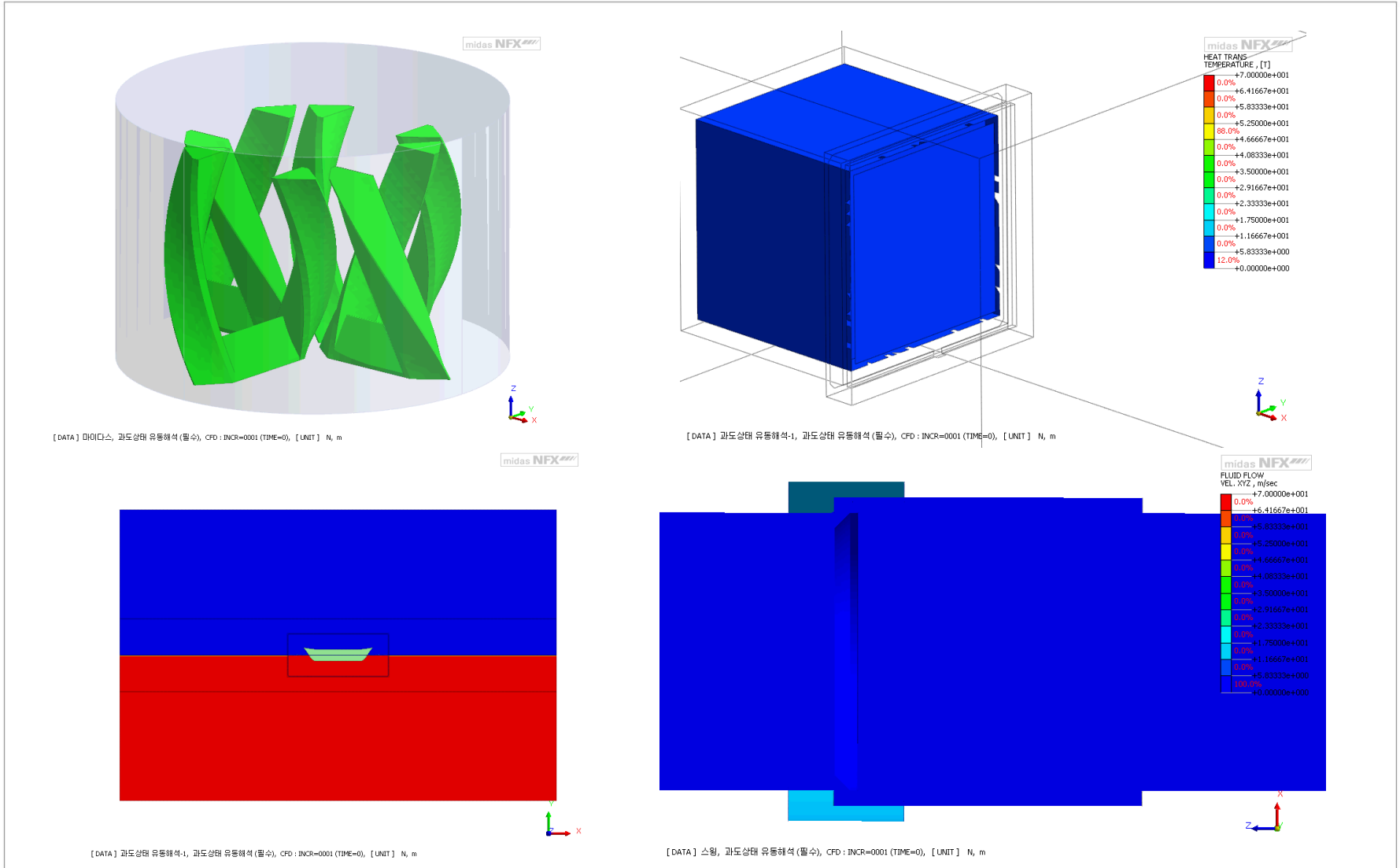
- 이동참조프레임, 다공성매질, 팬

Part 3. 자유수면 해석 - 레벨세트 기법

Part 4. 요소망 변형 - 중첩요소망 기법

Contents

중첩요소망 기법 적용 대상

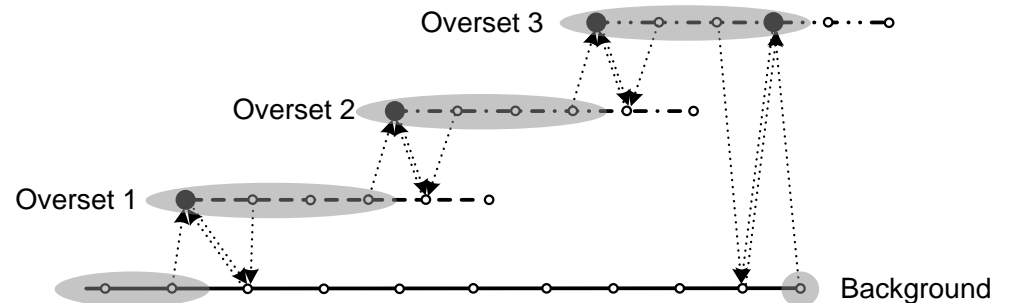
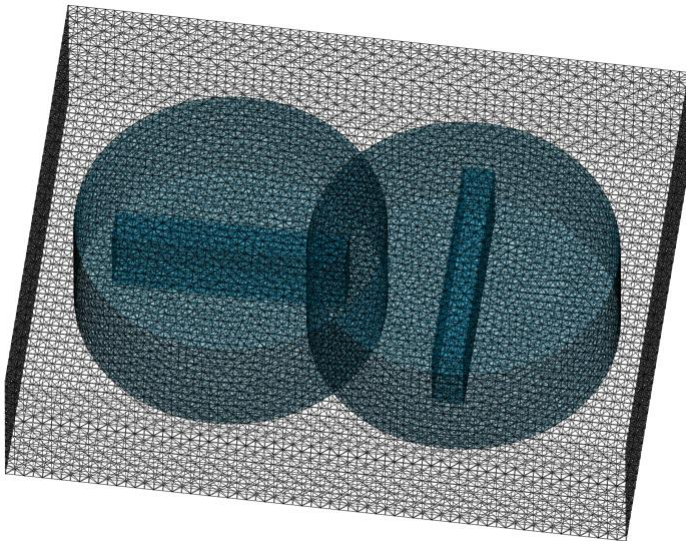


중첩요소망 기법이란

2 개 이상의 독립적인 운동좌표계를 유동해석에 반영하는 기법

각 운동좌표계를 나타내는 요소망에 준위를 부여하고 서로 겹쳐 계산

병진운동이나 회전운동으로 기술할 수 없는 복잡한 운동체로 인한 유동현상을 모사할 때 사용



어떤 위치에 겹친 요소망 세트 중 상위 요소망의 절점을 이용해 방정식 계산

계산 요소망의 가장자리 값은 하위 요소망과의 보간을 통해 계산

중첩요소망 운동 기술

x, y, z 방향에 대해 병진운동 및 회전운동 기술

필요한 만큼 자유도를 허용·제한하여 운동 기술

강제운동: 단순 기술하기 어려운 복잡 운동을 유동해석함

수를 이용하여 수식 표현

자유운동: 중첩요소망에 포함된 벽면에 작용하는 유체력

을 고려해 중첩요소망의 운동 계산

X
벽면이동효과 추가/수정

번호
이름

벽면 이동 효과
요소망 변형

요소망 변형

질량 계산

자동 계산

고정 kg

질량 중심 m

회전 중심 m

회전 반지름벡터 m

Tx ...

Ty ...

Tz ...

Rx ...

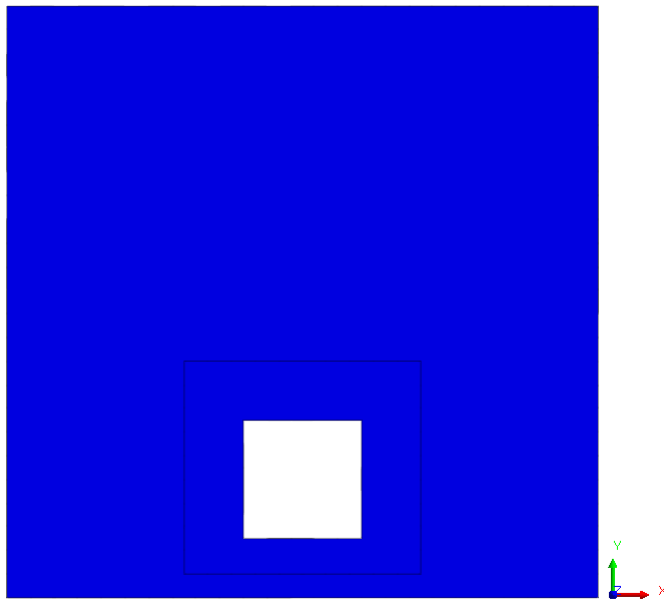
Ry ...

Rz ...

CFD

중첩요소망 운동 기술

(예시 1) 원형 운동



벽면이동효과 추가/수정

번호 2 이름 조건선택-2

벽면 이동 효과 요소망 변형

요소망 변형

질량 계산

자동 계산

고정 1 kg

질량 중심 0, 0, 0 m

회전 중심 0, 0, 0 m

회전 반지름벡터 1, 1, 1 m

Tx 강제운동 ...

Ty 강제운동 ...

Tz -

강제운동

$0.1 * \sin(2 * \pi * t)$ x-운동

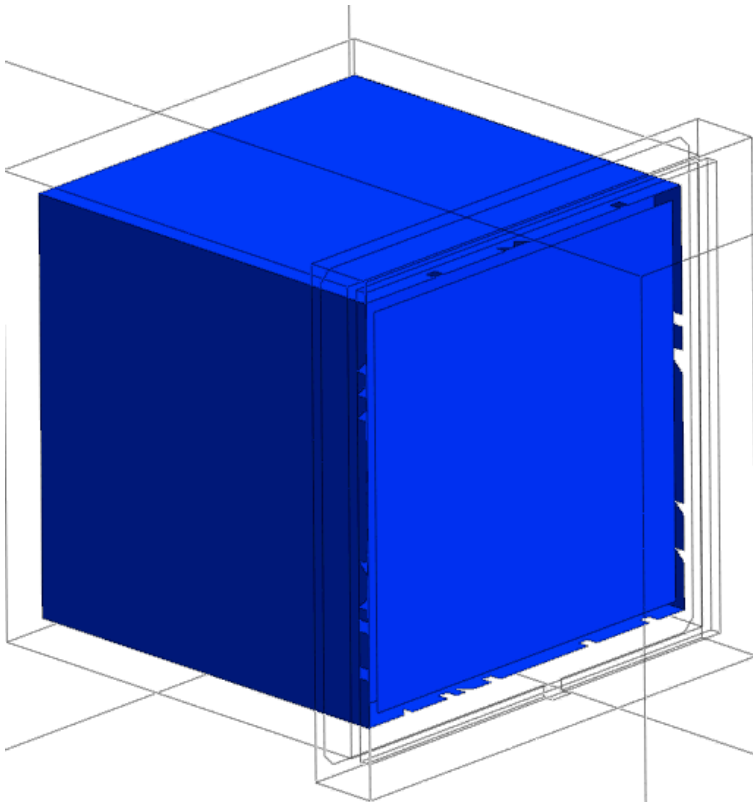
강제운동

$0.1 * (1 - \cos(2 * \pi * t))$ y-운동

[DATA] 과도상태 유동해석-1, 과도상태 유동해석 (물수), CFD : INCR=0001 (TIME=0), [UNIT] N, m

중첩요소망 운동 기술

(예시 2) 문열기



회전중심 지정

$50 * (1 - \cos(\pi * t))$

벽면이동효과 추가/수정

번호 1 이름 조건선택-1

벽면 이동 효과 요소망 변형

요소망 변형

질량 계산
 자동 계산
 고정 1 kg

질량 중심 0, 0, 0 m

회전 중심 0.18, 0.2, 0.2 m

회전 반지름벡터 1, 1, 1 m

Tx
 Ty
 Tz
 Rx
 Ry
 Rz 강제운동

확인 취소 적용

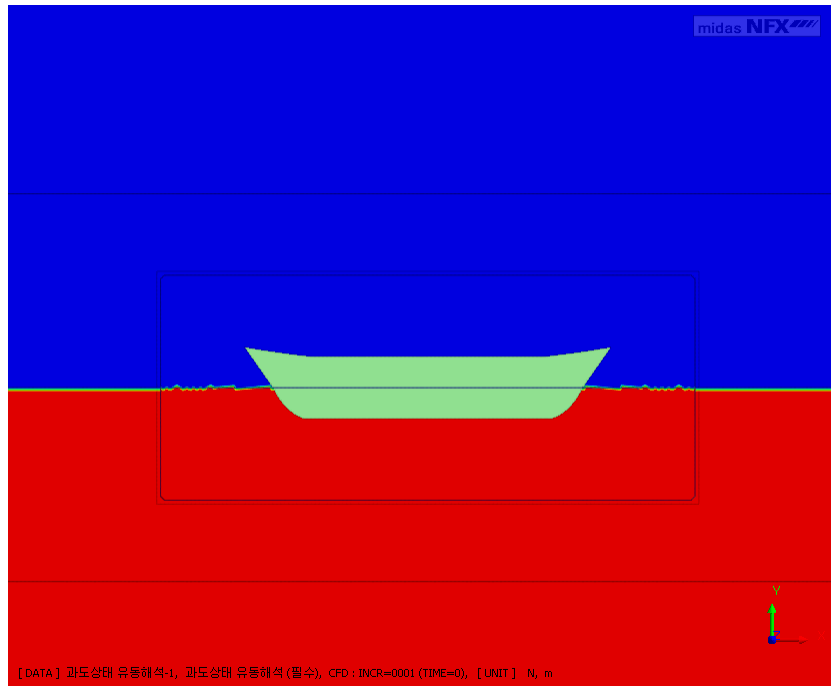
강제운동

50*(-COS(PI*[deg]) 문회전

[DATA] 과도상태 유동해석-1, 과도상태 유동해석 (필수), CFD : INCR=0001 (TIME=0), [UNIT] N, m

중첩요소망 운동 기술

(예시 3) 선박 움직임



벽면이동효과 추가/수정

번호 2 이름 조건선택-2

벽면 이동 효과 요소망 변형

요소망 변형

질량 계산

자동 계산

고정 30 kg

질량 중심 0, 0, 0 m

회전 중심 0, 0, 0 m

회전 반지름벡터 1, 1, 1 m

Tx - ...

Ty 자유운동 ...

Tz - ...

Rx - ...

Ry - ...

Rz 자유운동 ...

CFD

확인 취소 적용

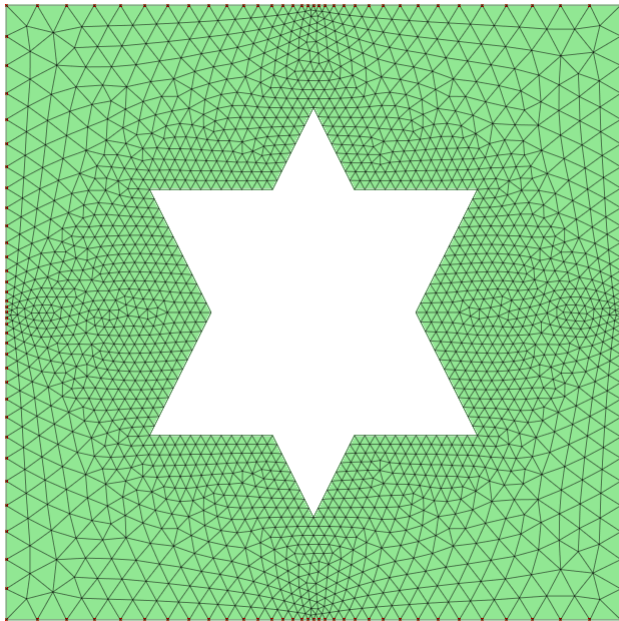
자유운동

자유운동

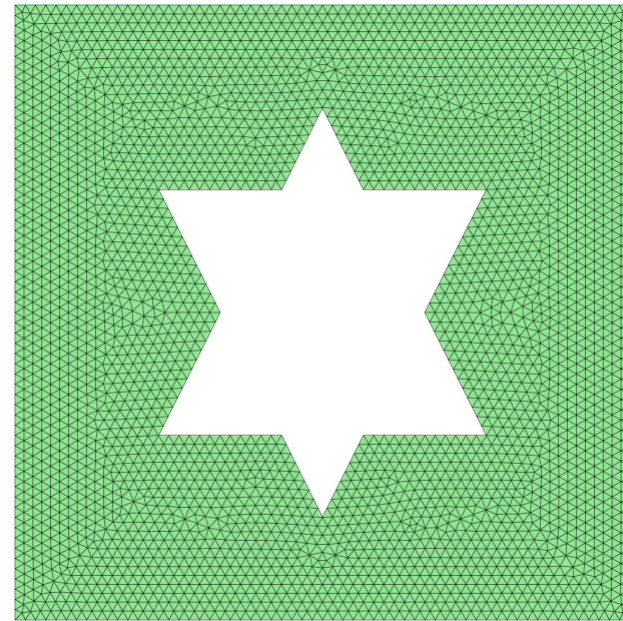
중첩요소망 기법 사용 시 주의사항

1. 요소망 크기

중첩 경계부의 요소 크기를 균일하게 해야 해석 오차가 줄어듦



나쁜 예

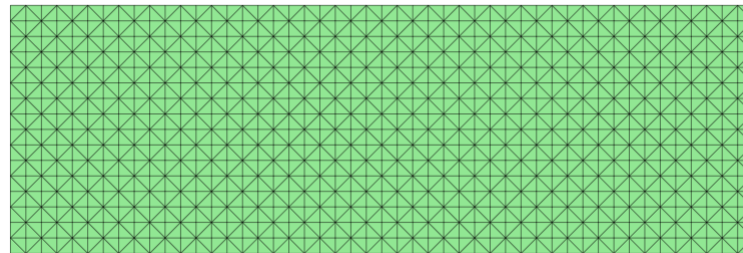
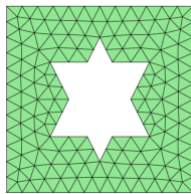


좋은 예

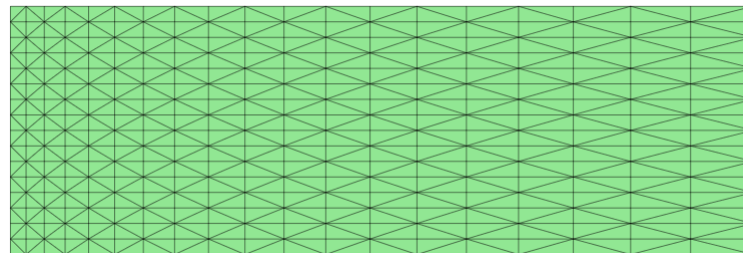
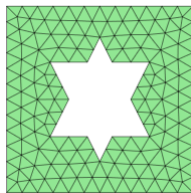
중첩요소망 기법 사용 시 주의사항

1. 요소망 크기

중첩 영역 경계의 요소 크기와 중첩영역이 지나는 배경 영역의 요소 크기가 비슷하도록
요소망 생성



좋은 예



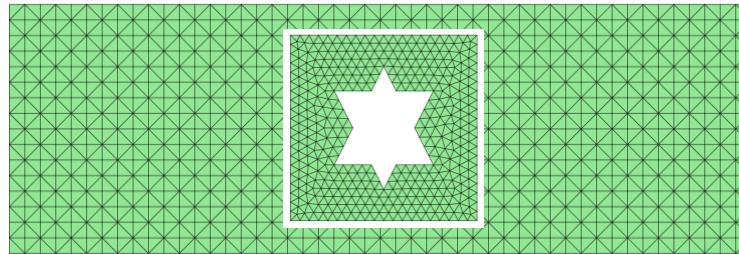
나쁜 예

중첩요소망 기법 사용 시 주의사항

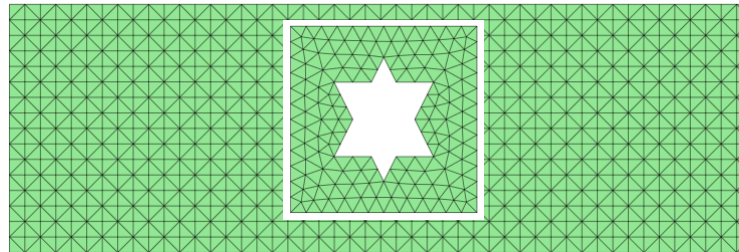
1. 요소망 크기

상위 요소망의 요소 크기를 더 작게 하는 것이 오차 저감에 유리함

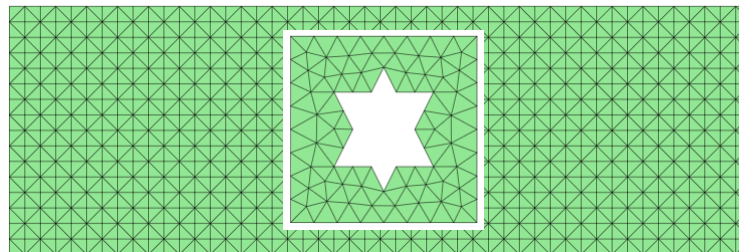
좋은 예



좋은 예



나쁜 예



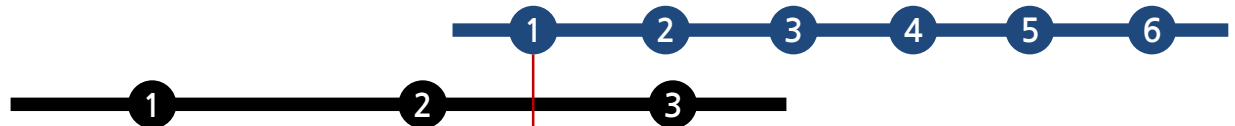
중첩요소망 기법 사용 시 주의사항

2. 시간간격

중첩요소망 해석은 과도상태 해석인데, 1 스텝에 최대 1 개 요소 간격 만큼씩만 움직이도록 시간간격을 적용

스텝 전진

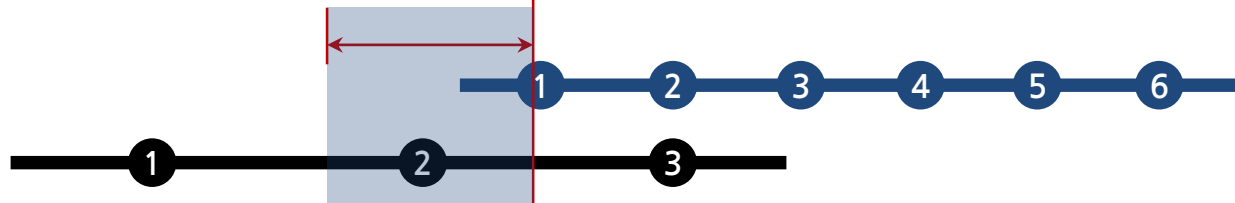
이전 위치:



스텝 전진

이후 위치:

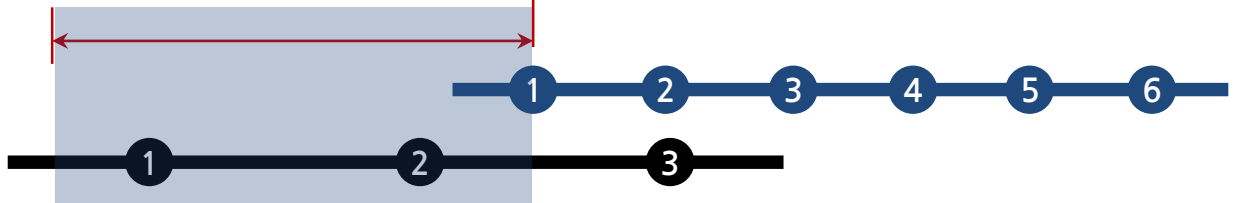
(좋은 예)



스텝 전진

이후 위치:

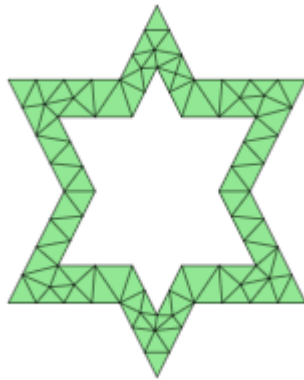
(나쁜 예)



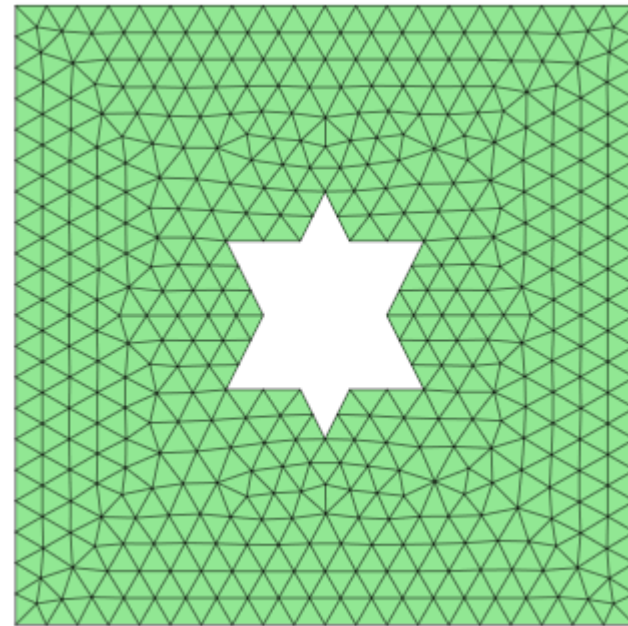
중첩요소망 기법 사용 시 주의사항

3. 중첩영역 모델

보간 계산을 하는 중첩요소망 경계가 물리량이 급격히 변하는 곳을 피하도록 모델 중첩영역 내 벽면과 경계 사이에 충분한 개수의 절점이 확보되도록 여유 공간 확보



나쁜 예



좋은 예

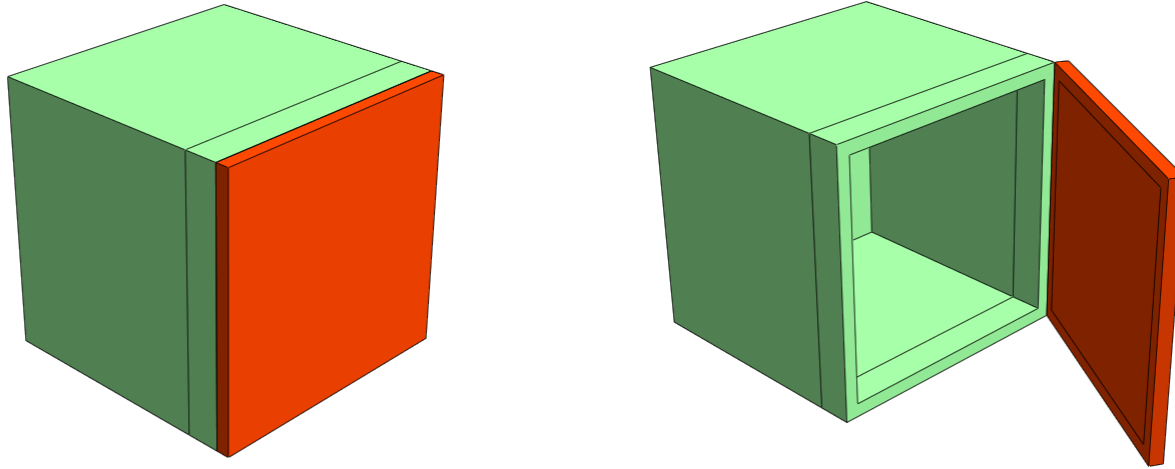
실무 따라하기

냉장고 해석 예제

- 중첩요소망

Contents

문제 설명 및 해석 목적



문제 설명

- ✓ 문이 여닫히는 냉장고의 열유동 해석

해석 목적

- ✓ 냉장고 문의 움직임을 고려한 열유동해석

학습 주요 아이템

- ✓ 함수를 이용한 초기조건 설정
- ✓ 함수를 이용한 운동함수 부여
- ✓ 중첩요소망 해석 개념 습득

새로 만들기

해석조건
설정

기하형상
제작

재료·특성
정의

경계 조건
입력

인접 조건
설정

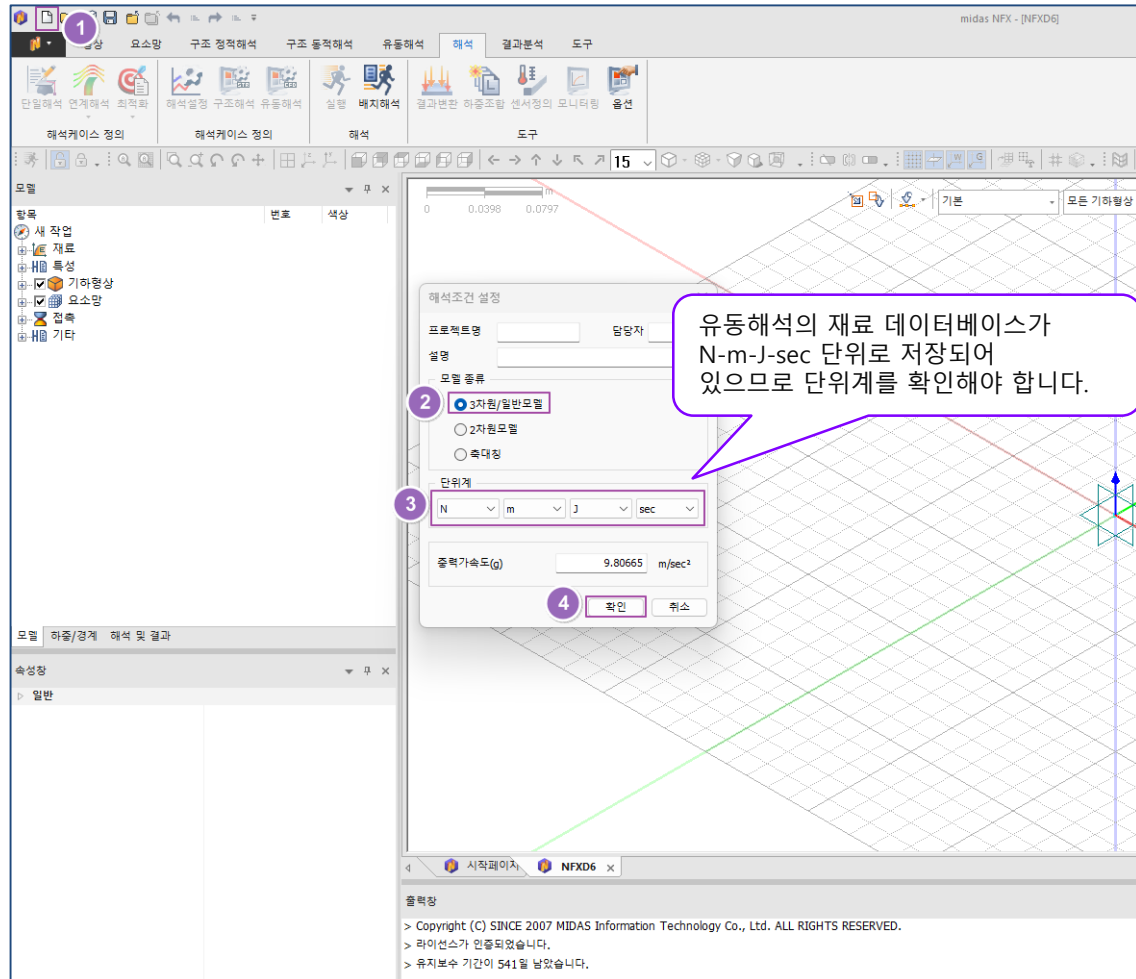
요소망생성

해석 케이스
정의

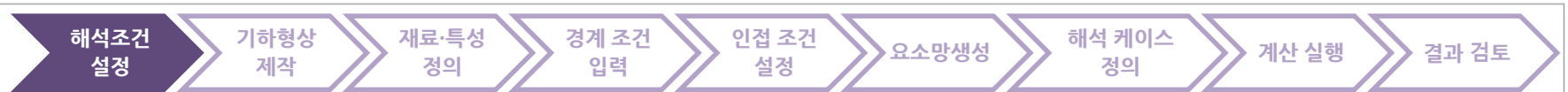
계산 실행

결과 검토

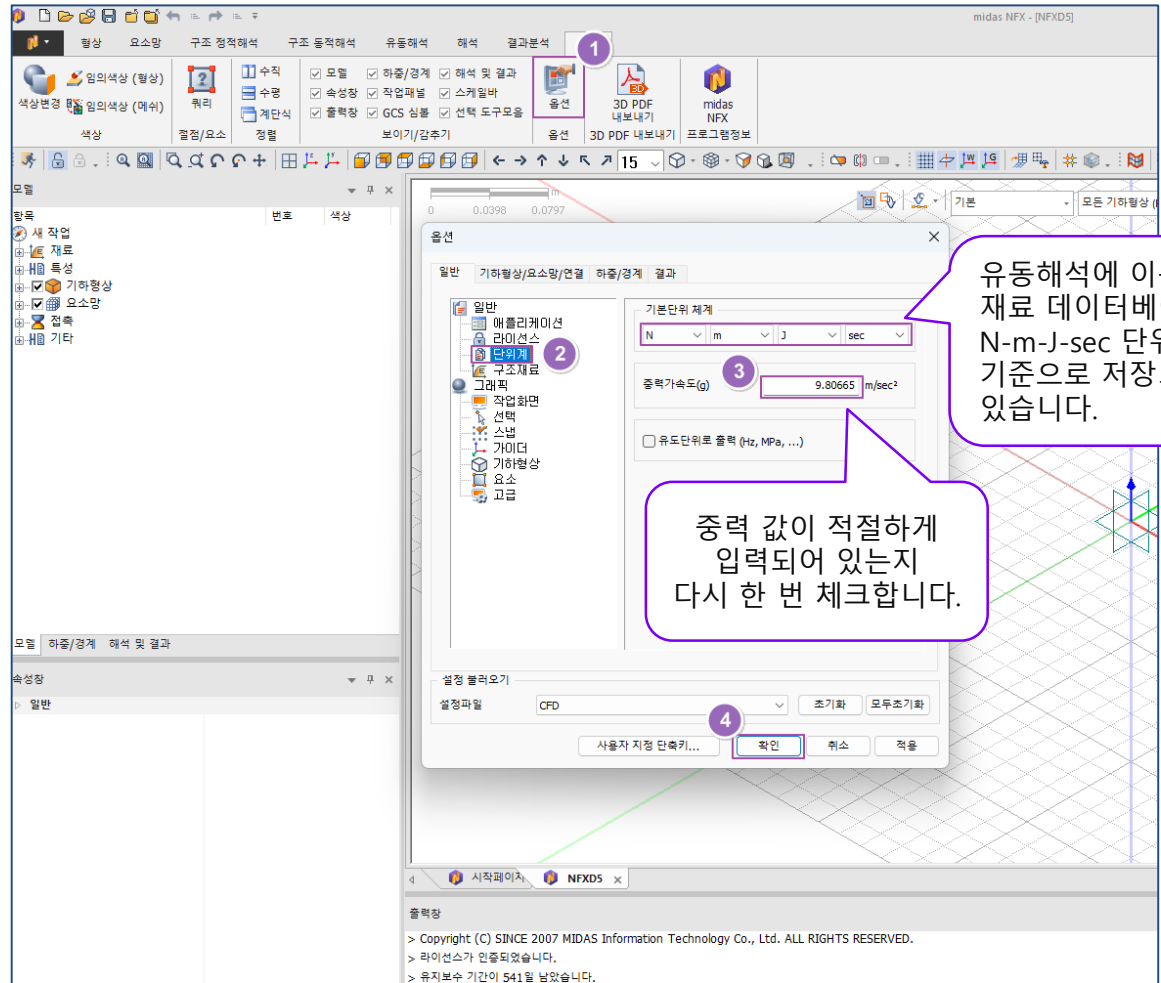
- ① “새로만들기” 버튼 클릭
- ② “3차원/일반모델” 라디오버튼 클릭
- ③ “단위계” 그룹박스 내 : N-m-J-sec 설정
- ④ “확인” 버튼 클릭



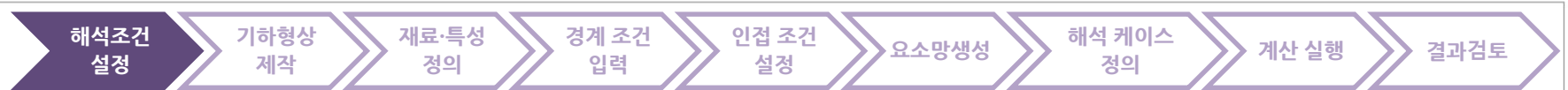
단위계 옵션 확인



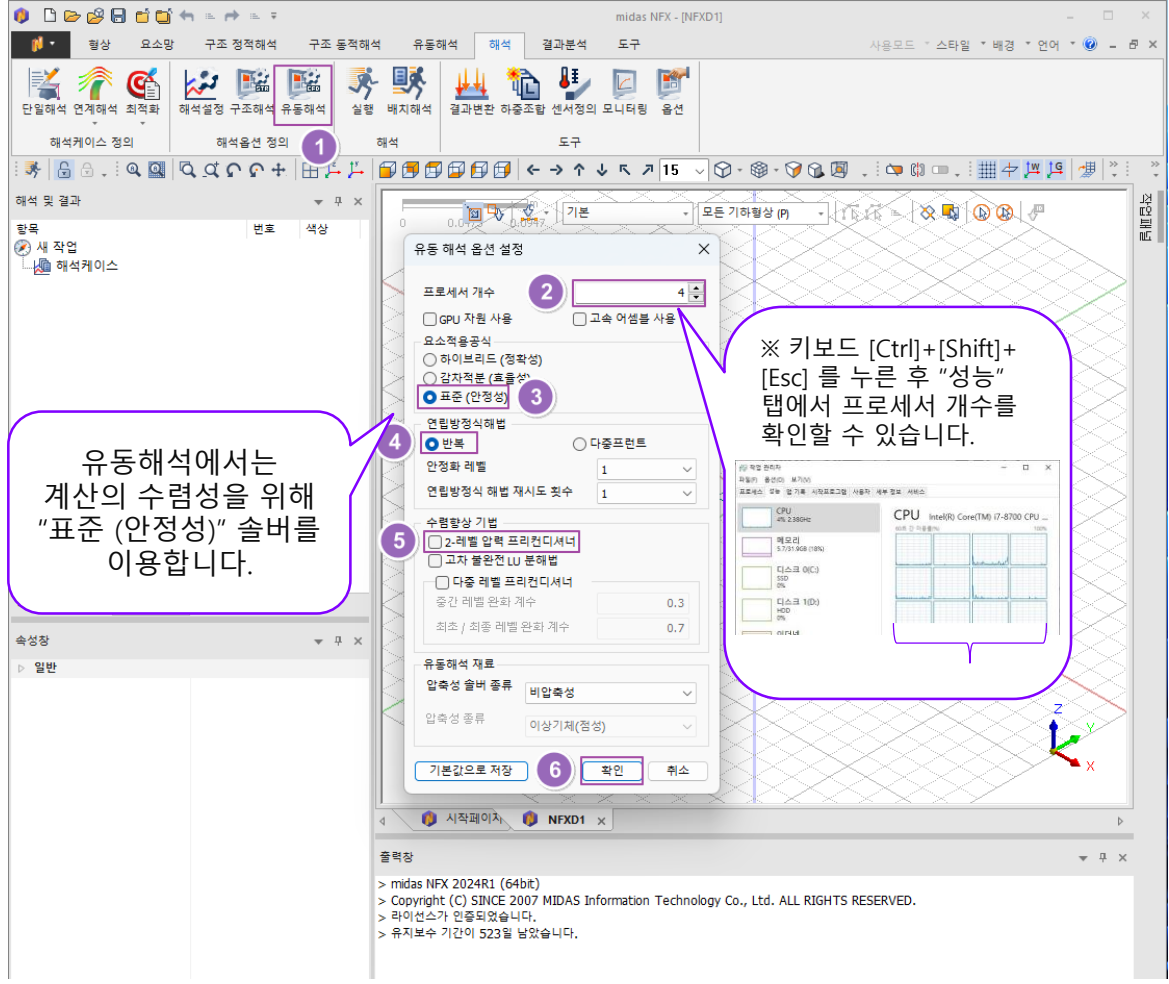
- ① 리본 메뉴 “도구” > 옵션 버튼 선택
- ② 옵션 창 > “일반” 탭 > “단위계” 트리 > “기본단위 체계” 콤보박스 : “N-m-J-sec” 확인
- ③ “중력가속도” 입력 창 : “9.8” 확인
- ④ “적용” 버튼 클릭



프로세서 개수 선택 및 솔버 선택



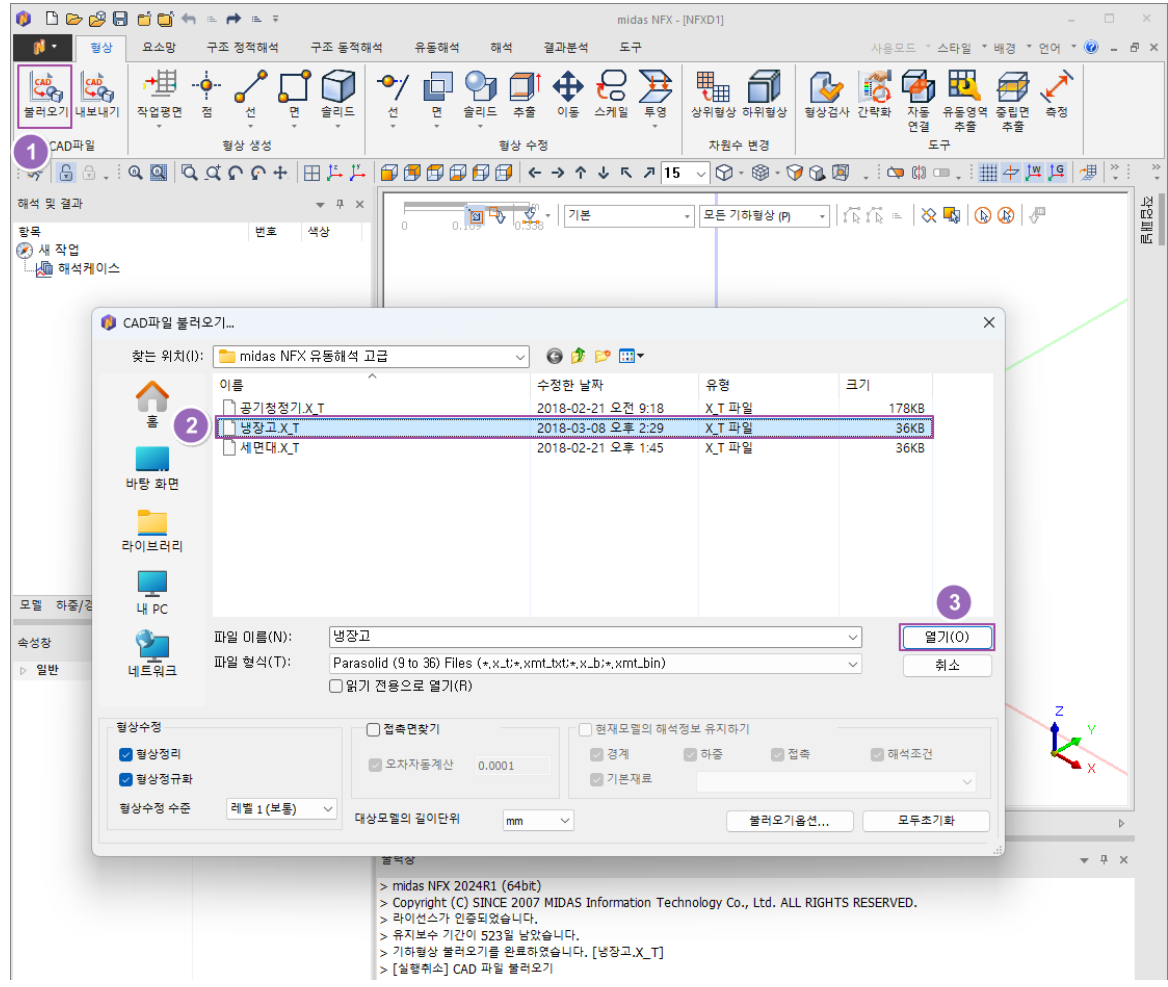
- ① 리본 메뉴 “해석옵션 정의” > “유동해석” 버튼 선택
- ② “프로세서 개수” 입력창 : 계산에 동원할 CPU 개수를 입력
- ③ “요소적용공식” 그룹박스 > “표준(안정성)” 라디오버튼 선택
- ④ “연립방정식해법” > “반복” 선택
- ⑤ “2-레벨 압력 프리컨디셔너” 체크 해제
- ⑥ “확인” 버튼 클릭



기하형상 불러오기



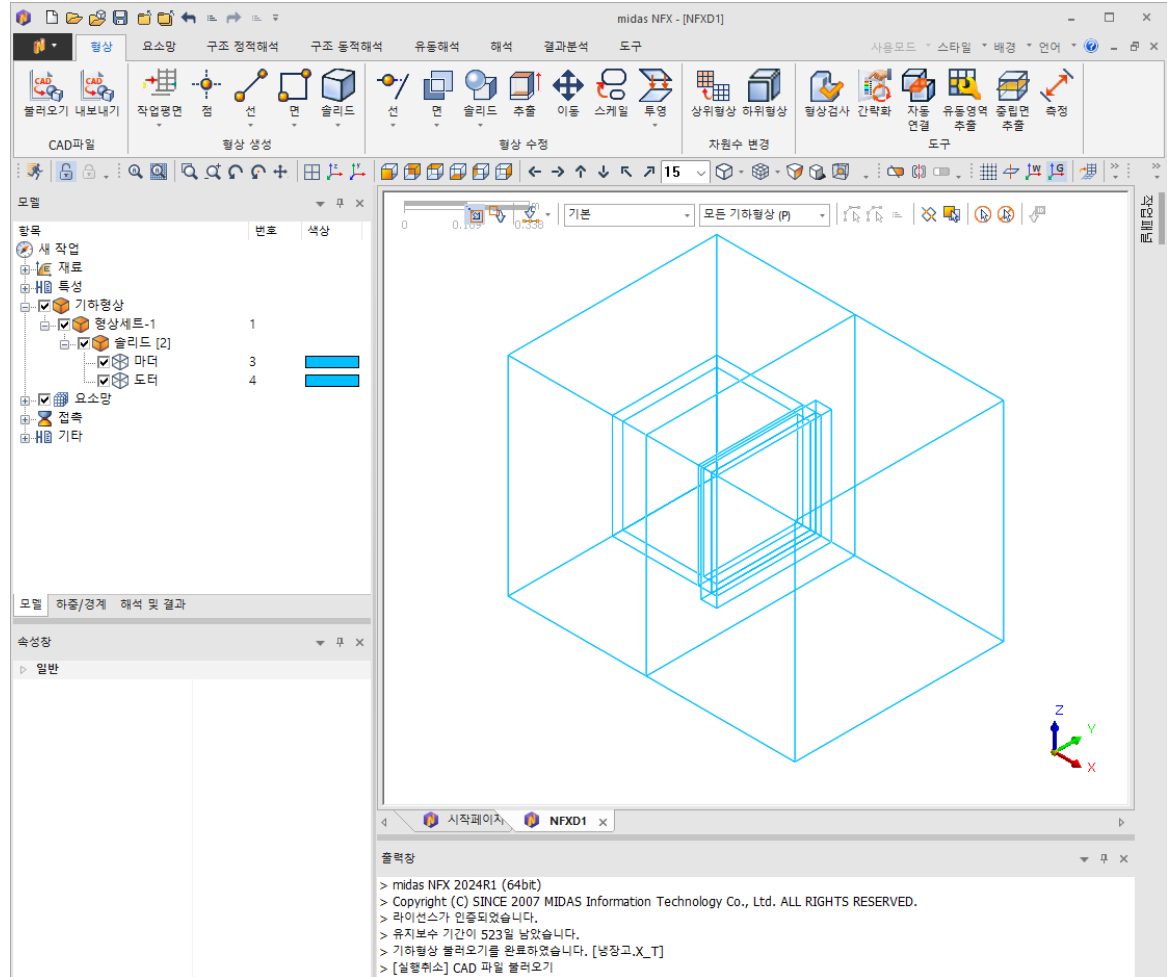
- ① “형상” 리본메뉴 > “불러오기” 버튼 클릭
- ② “냉장고_X_T” 선택
- ③ “열기” 클릭



기하형상 불러오기



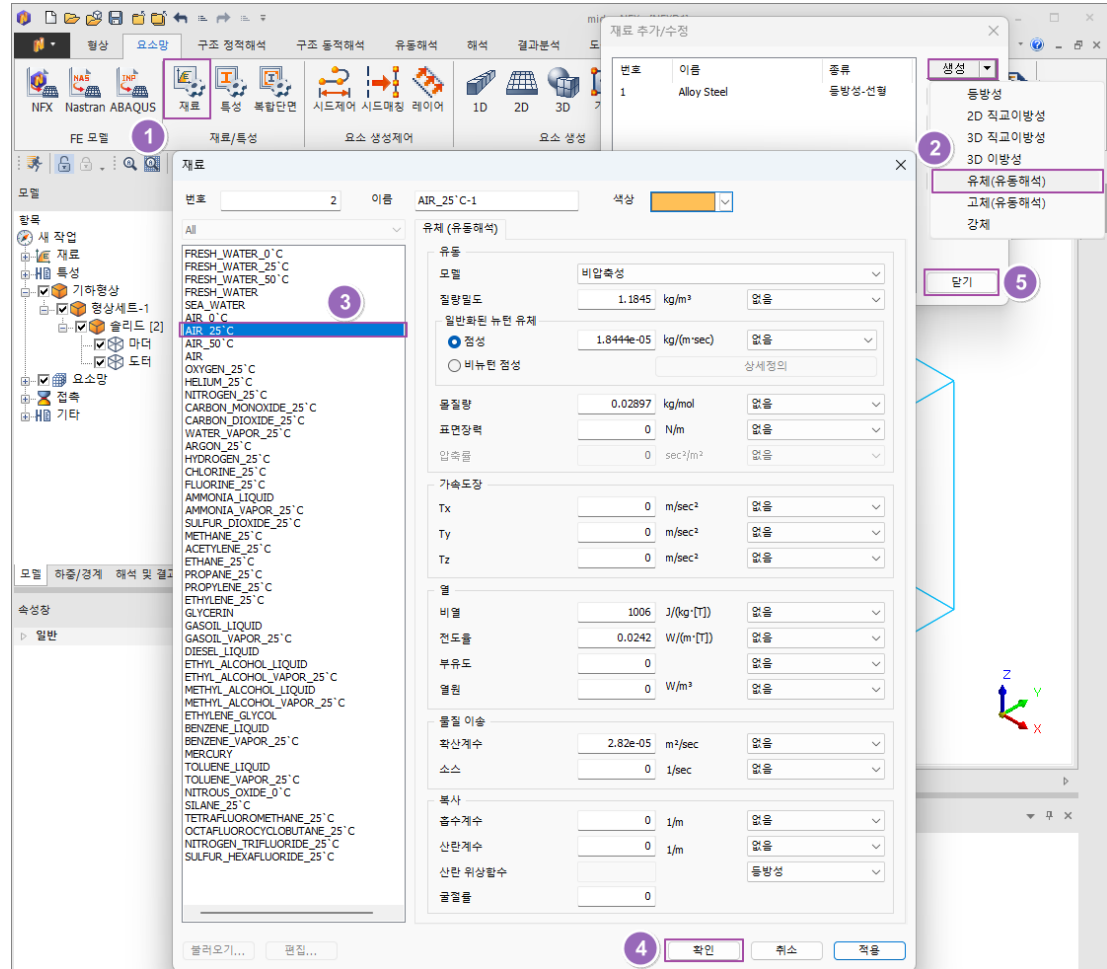
※ 기하형상이 이미 유동영역을 이루고 있으므로 별도의 수정작업을 하지 않습니다.



유체 재료 정의하기



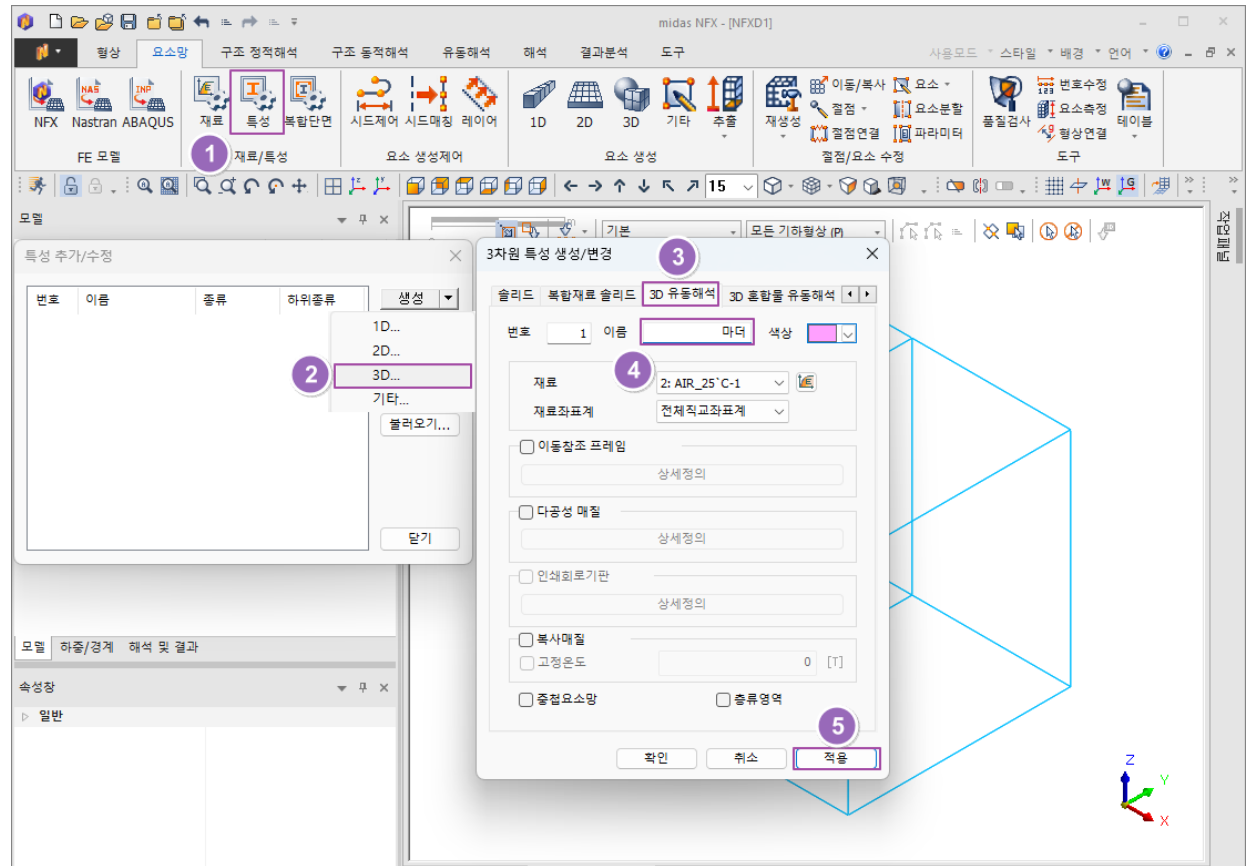
- ① “요소망” 탭 클릭
 > “재료/특성” 리본 메뉴
 > “재료” 버튼 클릭
- ② “재료 추가/수정” 창
 > “생성” 옆 화살표 버튼 클릭
 > “유체(유동해석)” 선택
- ③ 왼쪽 라이브러리 목록에서
 “AIR_ 25’C” 클릭
- ④ “확인” 클릭
- ⑤ “닫기” 클릭



특성 정의하기



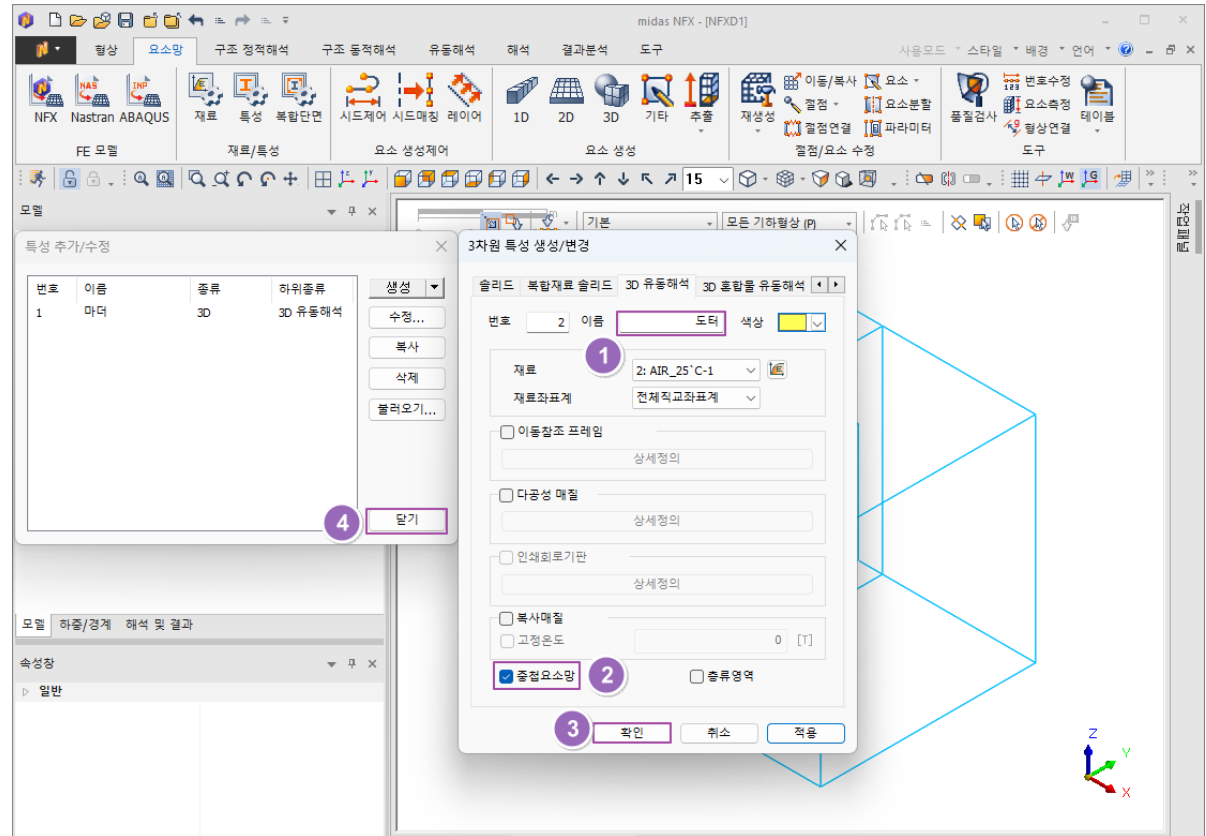
- ① “재료/특성” 리본 메뉴 > “특성” 버튼 클릭
- ② “특성 추가/수정” 창 > “생성” 옆 화살표 버튼 클릭 > “3D...” 선택
- ③ “3D 유동해석” 탭 클릭
- ④ “이름”에 “마더” 입력
- ⑤ “적용” 클릭



특성 정의하기



- ① “이름”에 “도터” 입력
- ② “중첩요소망” 체크
- ③ “확인” 클릭
- ④ “닫기” 클릭

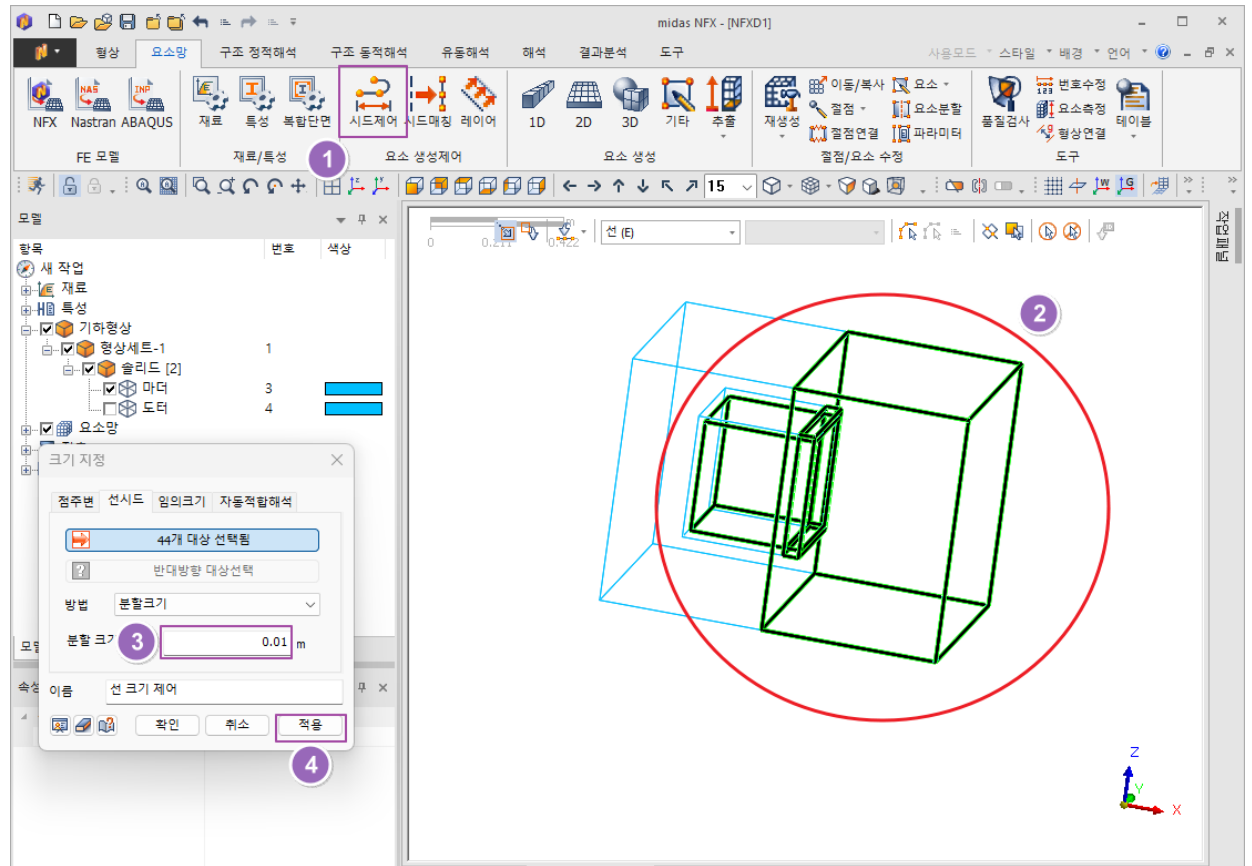


요소망 크기 지정



- ① “제어” 리본 메뉴 > “크기지정” 클릭
- ② “마더” 파트에서 냉장고 내벽, 입구부, 입구 바깥 외부를 구성하는 모서리 선택 (44 개 선)
- ③ “분할 크기”에 “0.01” 입력
- ④ “적용” 클릭

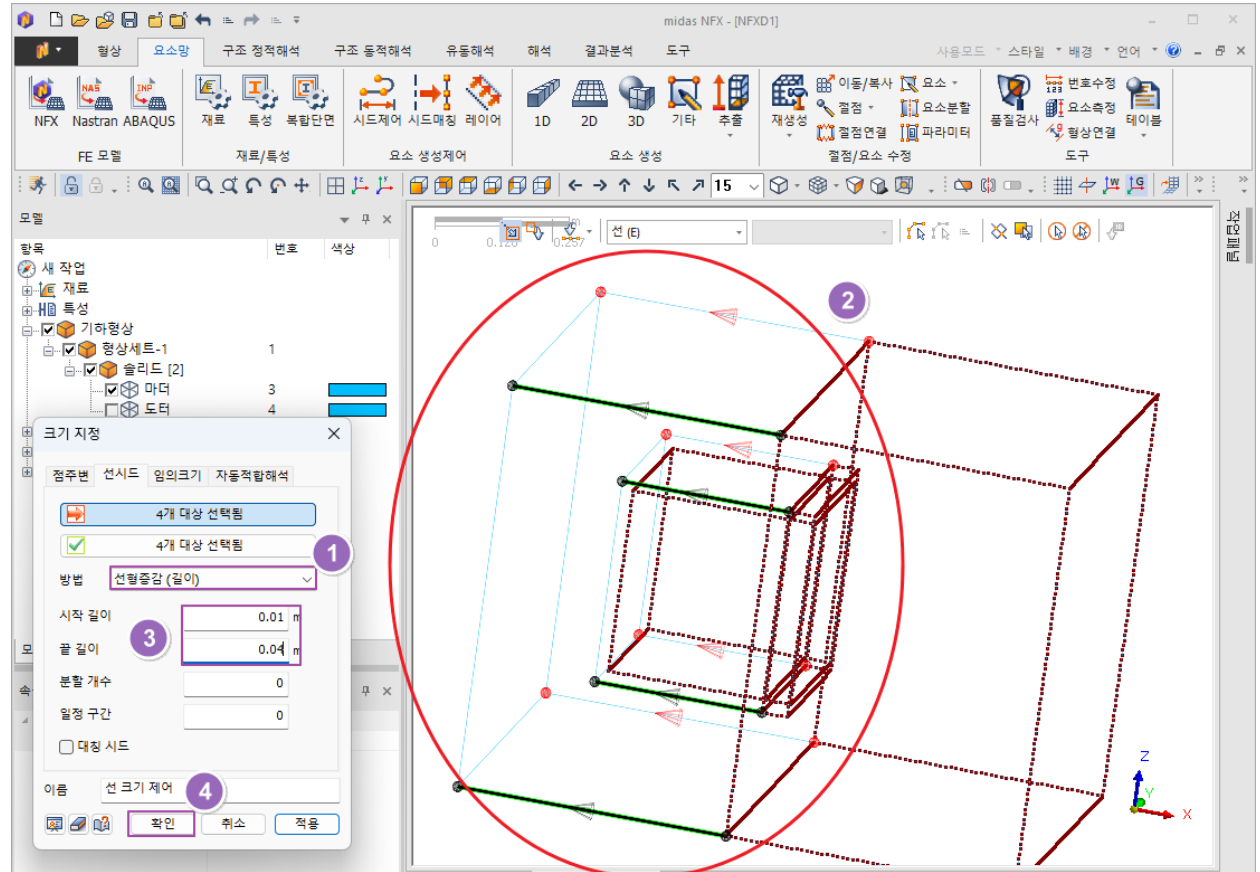
※ 중첩요소망 해석은 겹치는 영역의 요소망이 균일해야 정확한 해를 구할 수 있습니다.



요소망 크기 지정



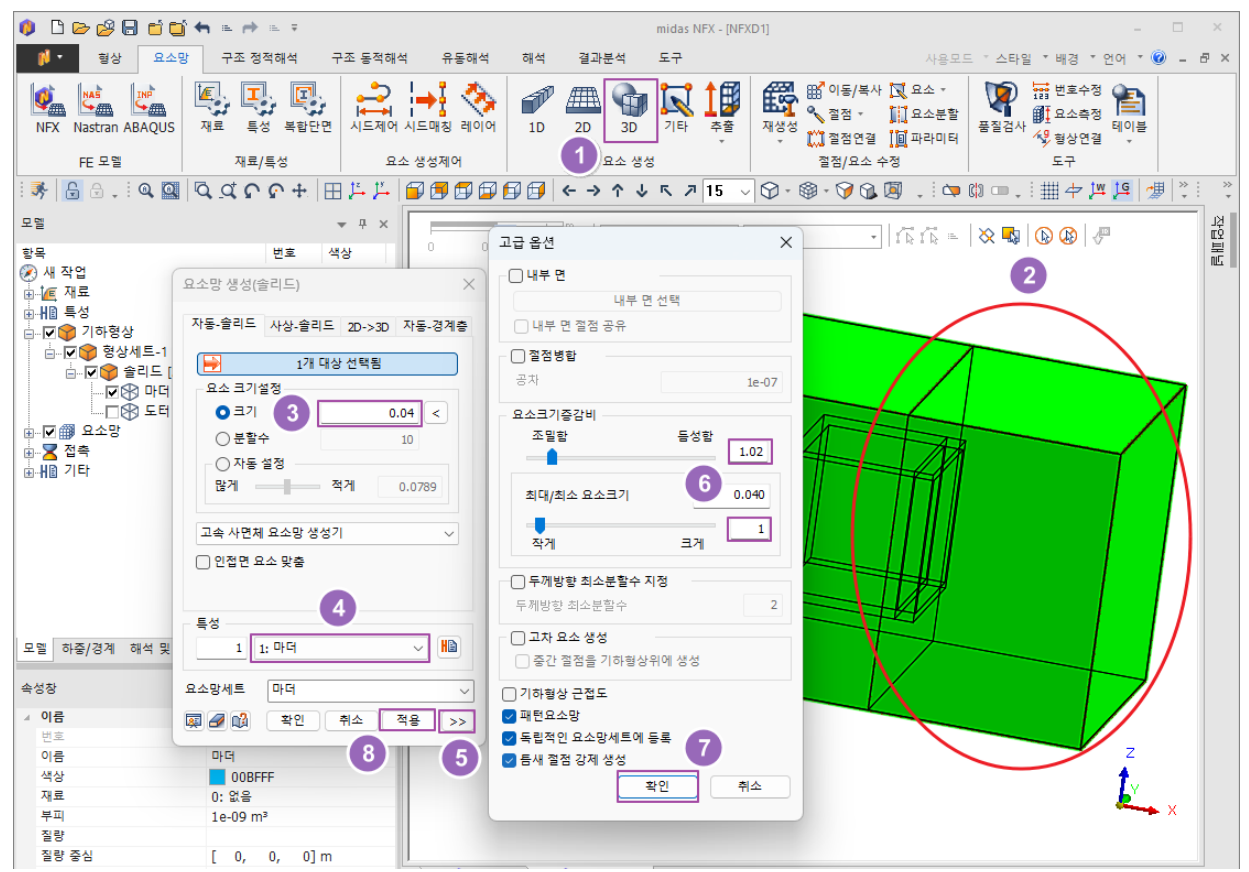
- ① “방법”에서 “선형증감(길이)” 선택
- ② “마더” 파트의 모서리 8 개 선택 (요소망 조밀영역에서 접한 모서리)
※ 선의 화살표 방향을 주의 합니다.
- ③ “시작 길이”에 “0.01”, “끝 길이”에 “0.04” 입력
- ④ “확인” 클릭



요소망 생성



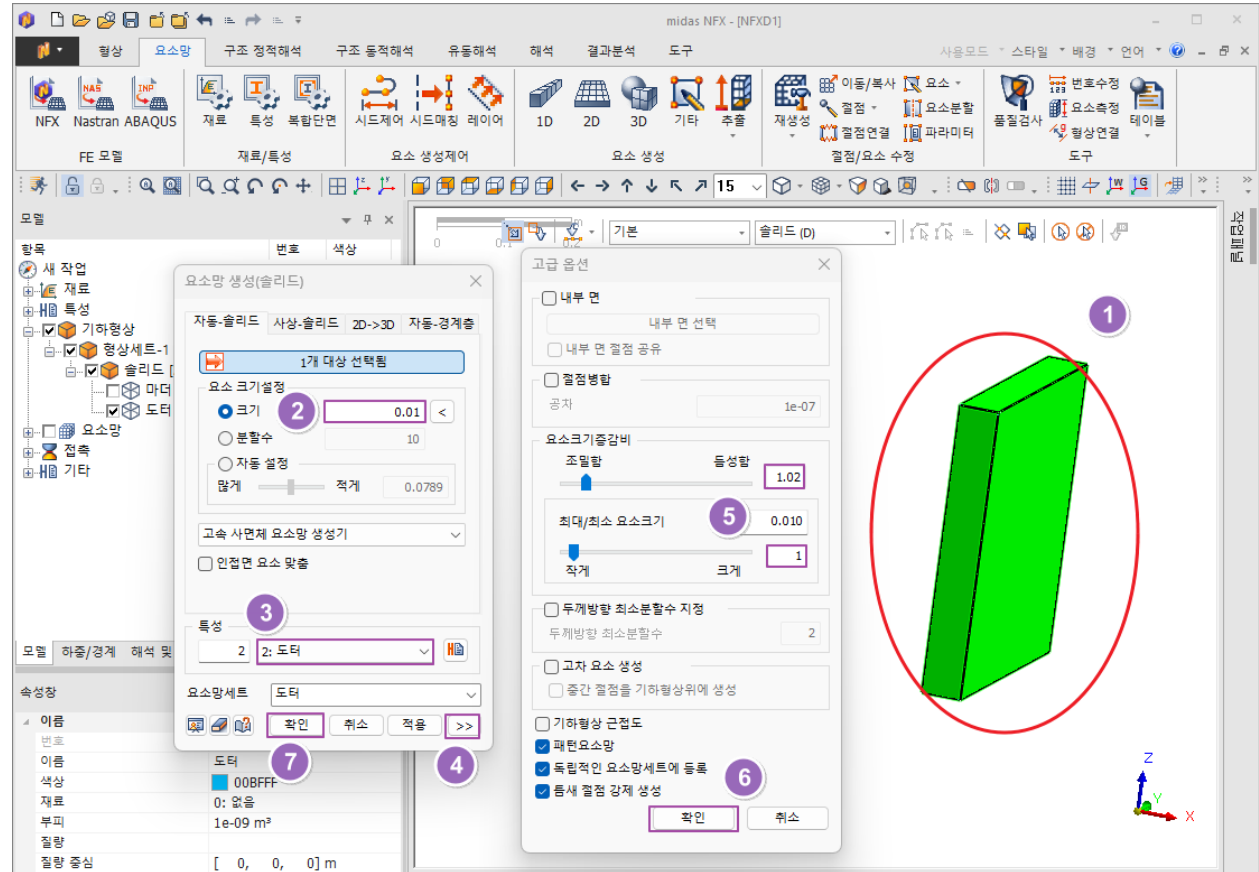
- ① “생성” 리본 메뉴 > “3D” 클릭
- ② “마더” 파트 선택
- ③ “크기”에 “0.04” 입력
- ④ “특성”에서 “마더” 선택
- ⑤ “>>” 클릭
- ⑥ “요소크기증감비”에 “1.02” 입력, “최대/최소 요소 크기”에 “1” 입력
- ⑦ “확인” 클릭
- ⑧ “적용” 클릭



요소망 생성



- ① “도터” 파트 선택
- ② “크기”에 “0.01” 입력
- ③ “특성”에서 “도터” 선택
- ④ “>>” 클릭
- ⑤ “요소크기증감비”에 “1.02” 입력, “최대/최소 요소 크기”에 “1” 입력
- ⑥ “확인” 클릭
- ⑦ “확인” 클릭



경계조건 생성



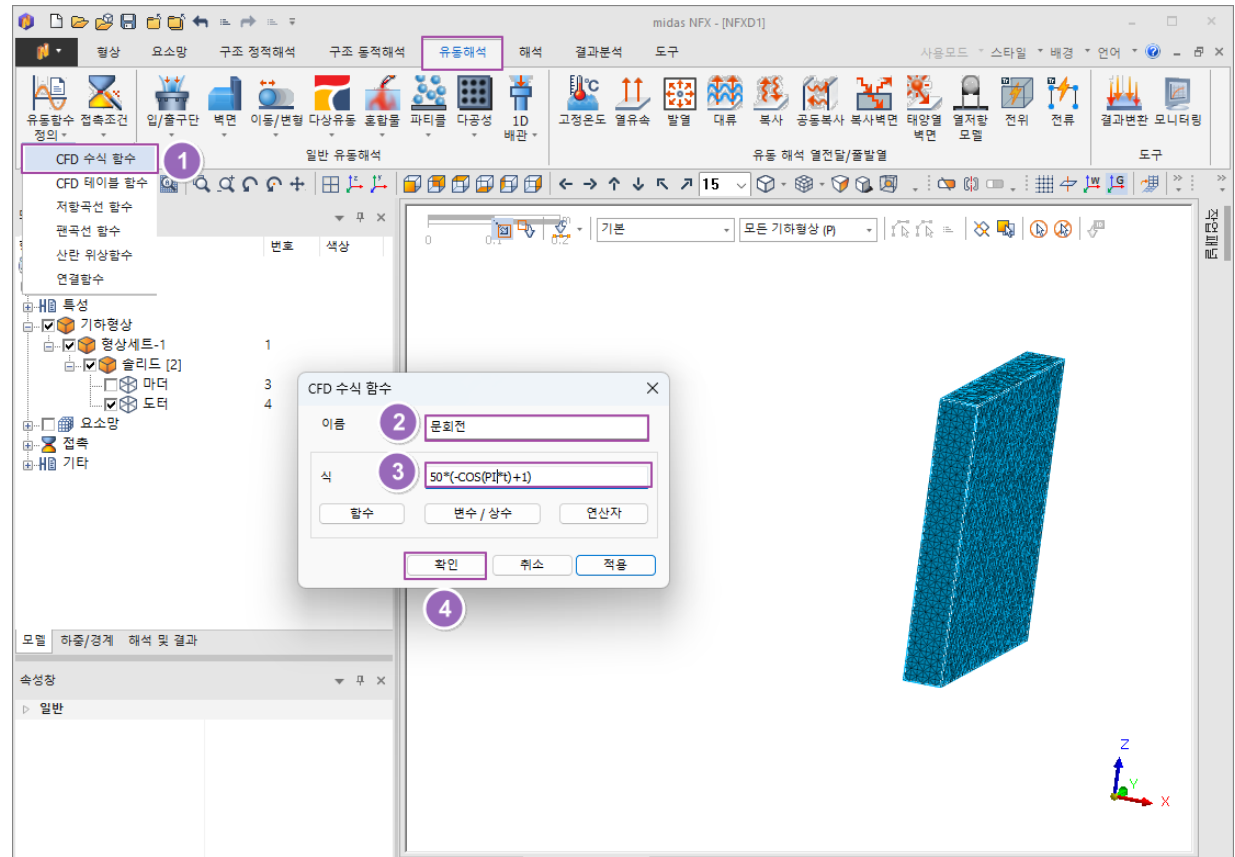
- ① “유동해석” 탭 클릭
 > “공통조건” 리본 메뉴
 > “유동함수 정의” 클릭
 > “CFD 수식 함수” 클릭

② “이름”에 “문회전” 입력

③ “식”에
 “50*(-COS(PI*t)+1)”
 입력

※ 함수로써 냉장고 문이 열리는
 운동 조건을 부여합니다.

④ “확인” 클릭



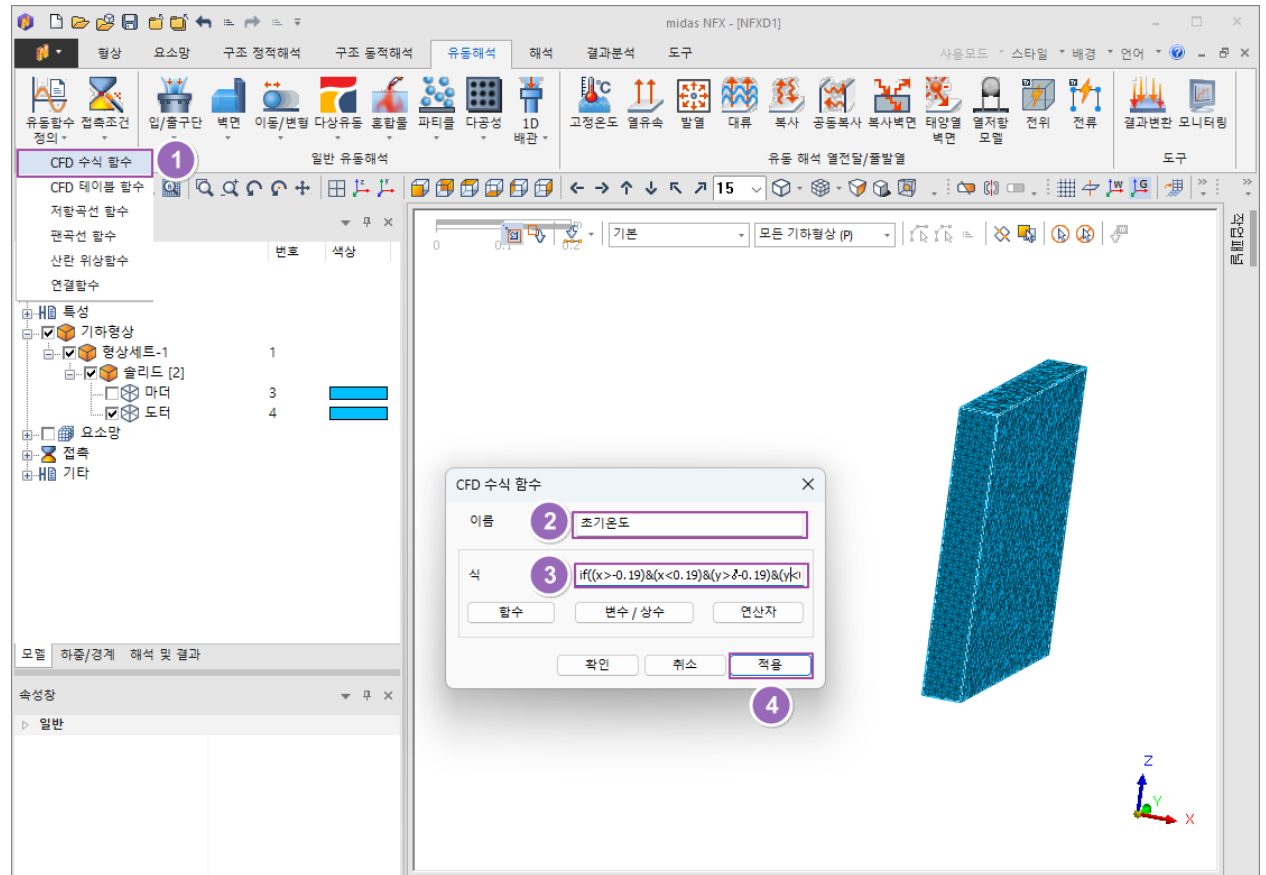
경계조건 생성



- ① “이름”에 “초기온도” 입력
- ② “이름”에 “문화전” 입력
- ③ “식”에
`if((x>-0.19)&(x<0.19)&(y>-0.19)&(y<0.19)&(z>0.01)&(z<0.39))then(5)else(50)endif`
 입력

※ 함수로써 냉장고 안과 밖의 초기온도를 정의합니다.

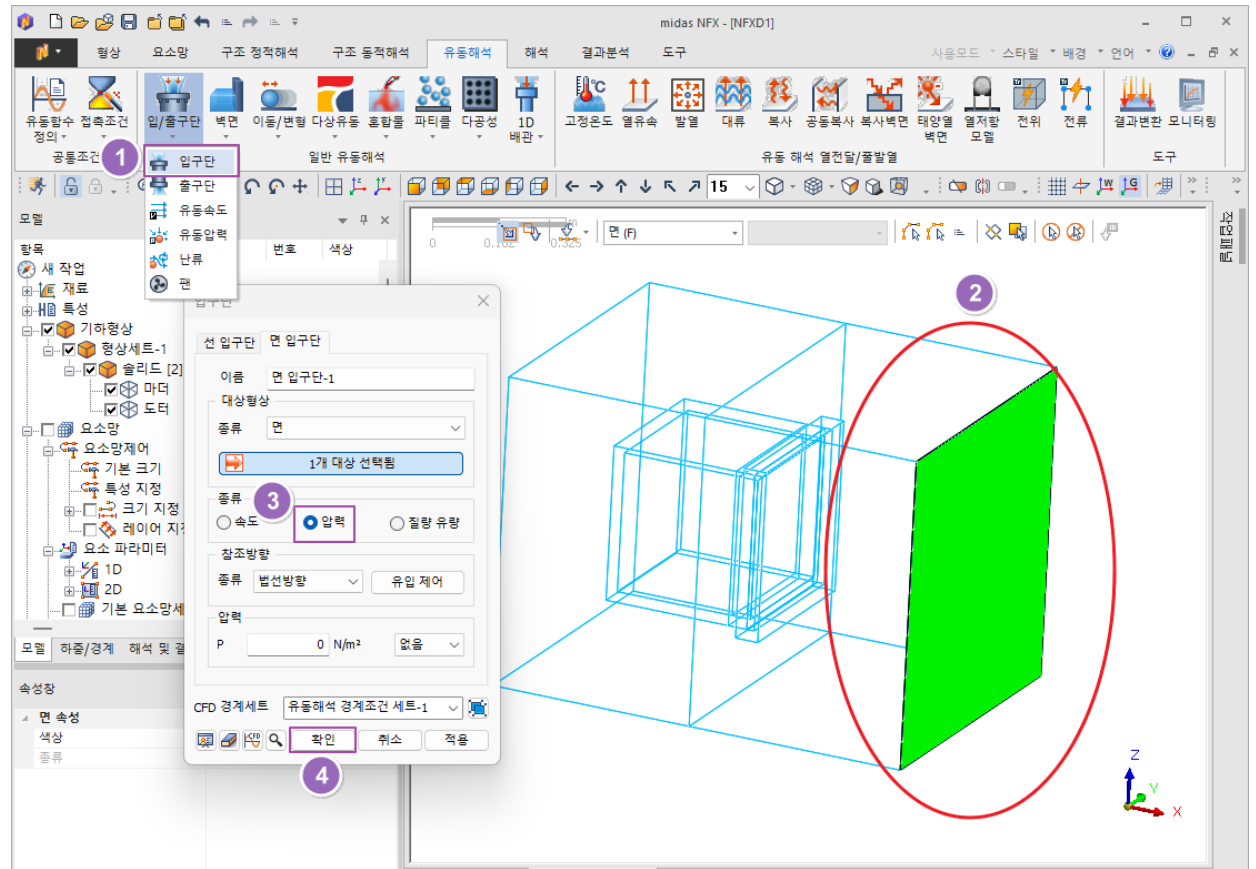
- ④ “확인” 클릭



경계조건 생성



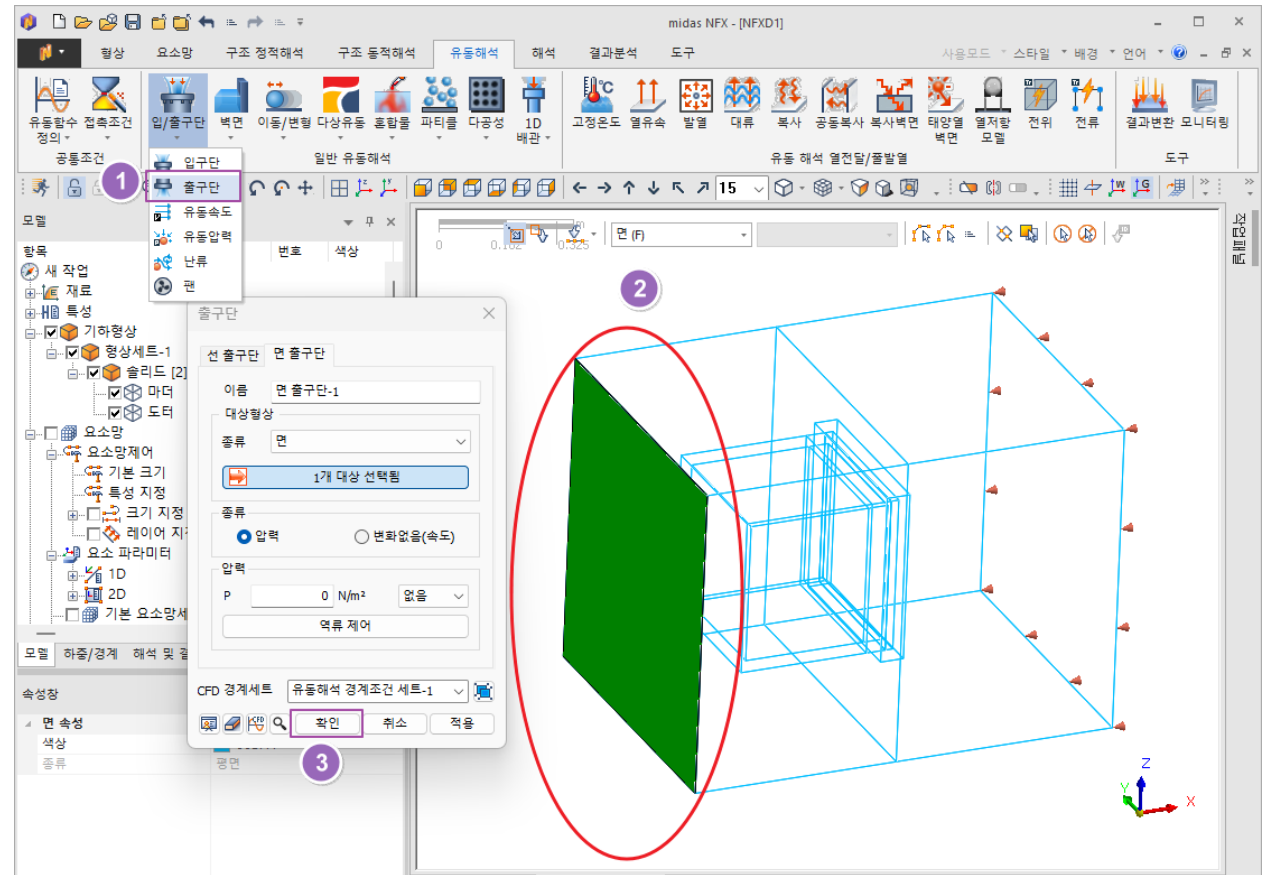
- ① “일반 유동해석” 리본 메뉴 > “입구단” 클릭
- ② “마더” 파트의 냉장고 앞면 선택 (1 개 면)
- ③ “종류” > “압력” 체크
- ④ “확인” 클릭



경계조건 생성



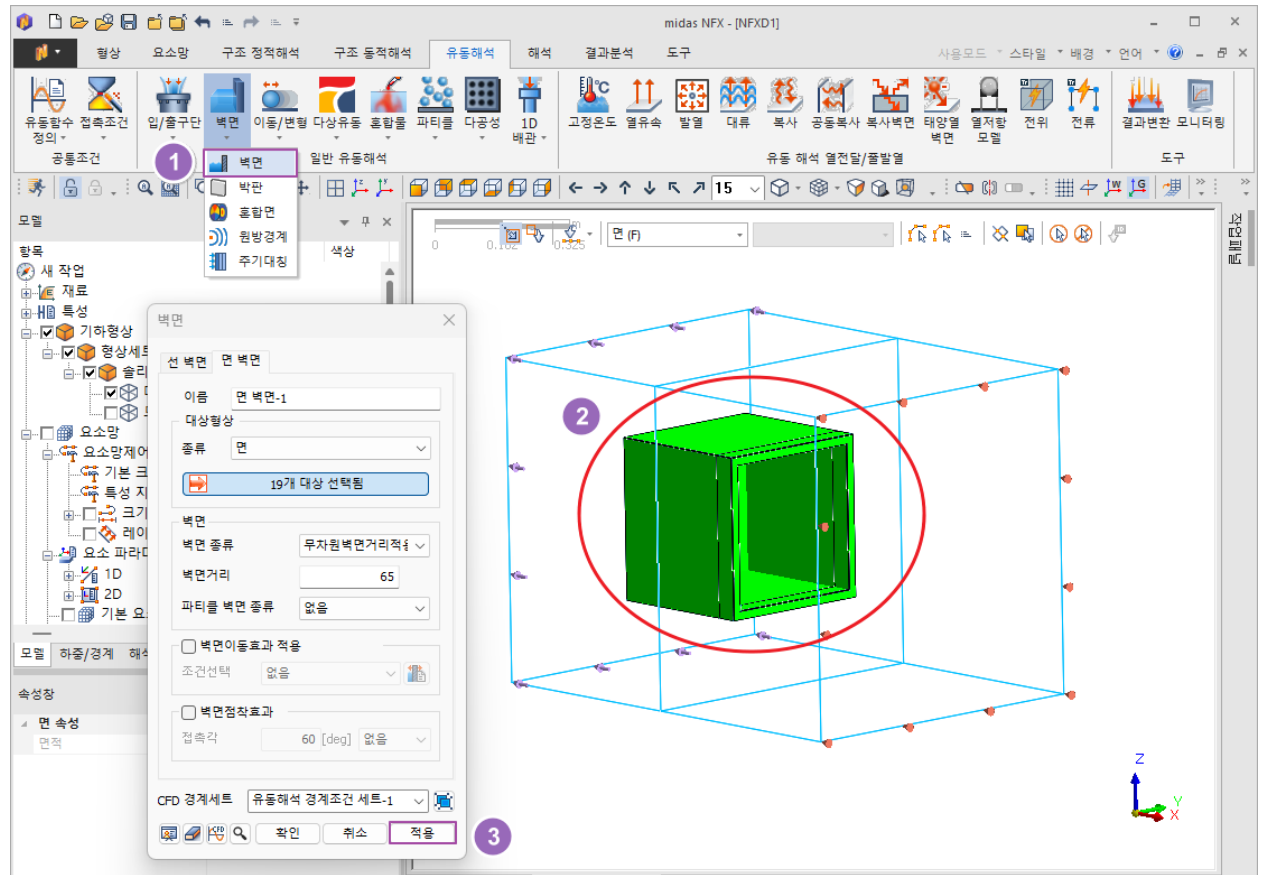
- ① “일반유동” 리본 메뉴 > “출구단” 클릭
- ② “마더” 파트의 냉장고 뒷면 선택 (1 개 면)
- ③ “확인” 클릭



경계조건 생성



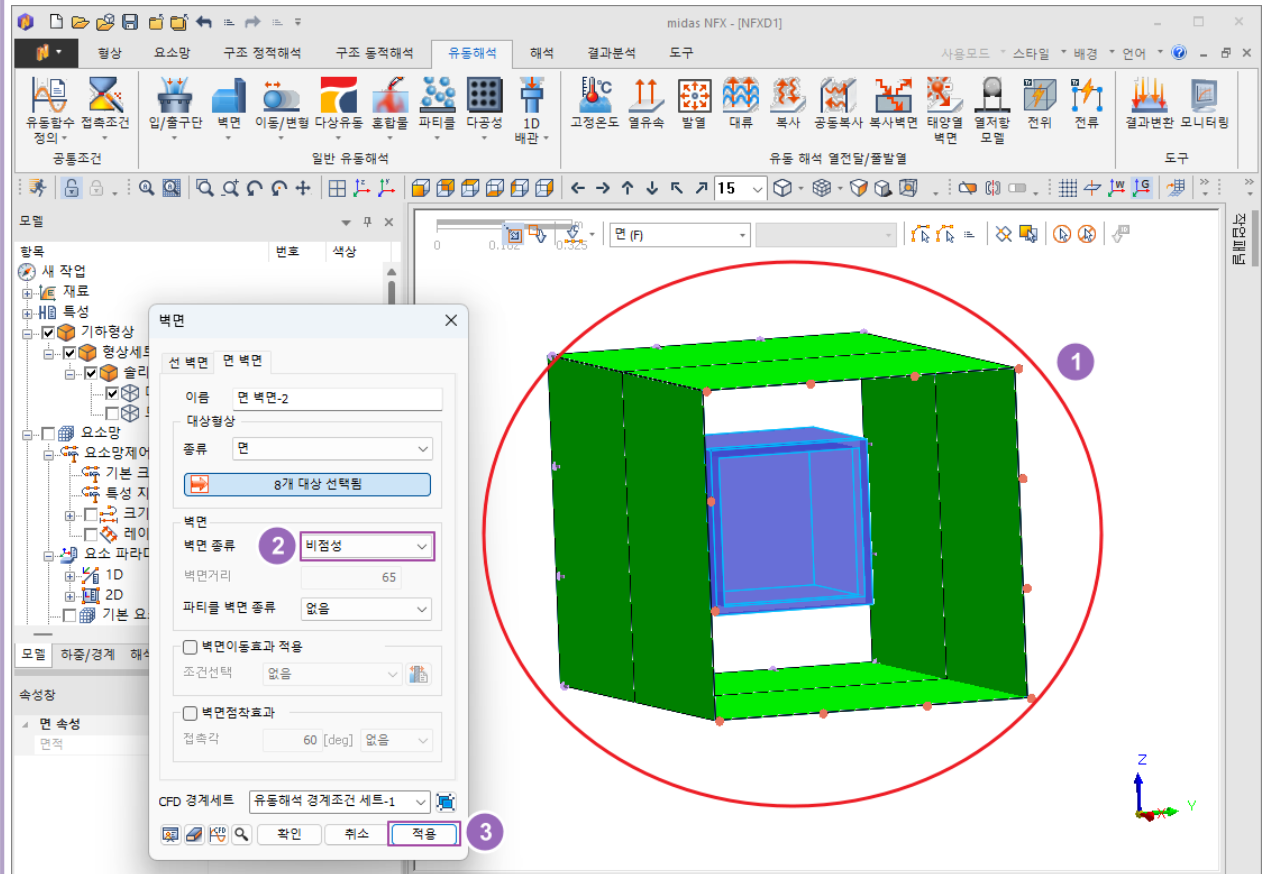
- ① “일반 유동해석” 리본 메뉴 > “벽면” 클릭
- ② “마더” 파트의 냉장고 벽면 선택 (19 개 면)
- ③ “적용” 클릭



경계조건 생성



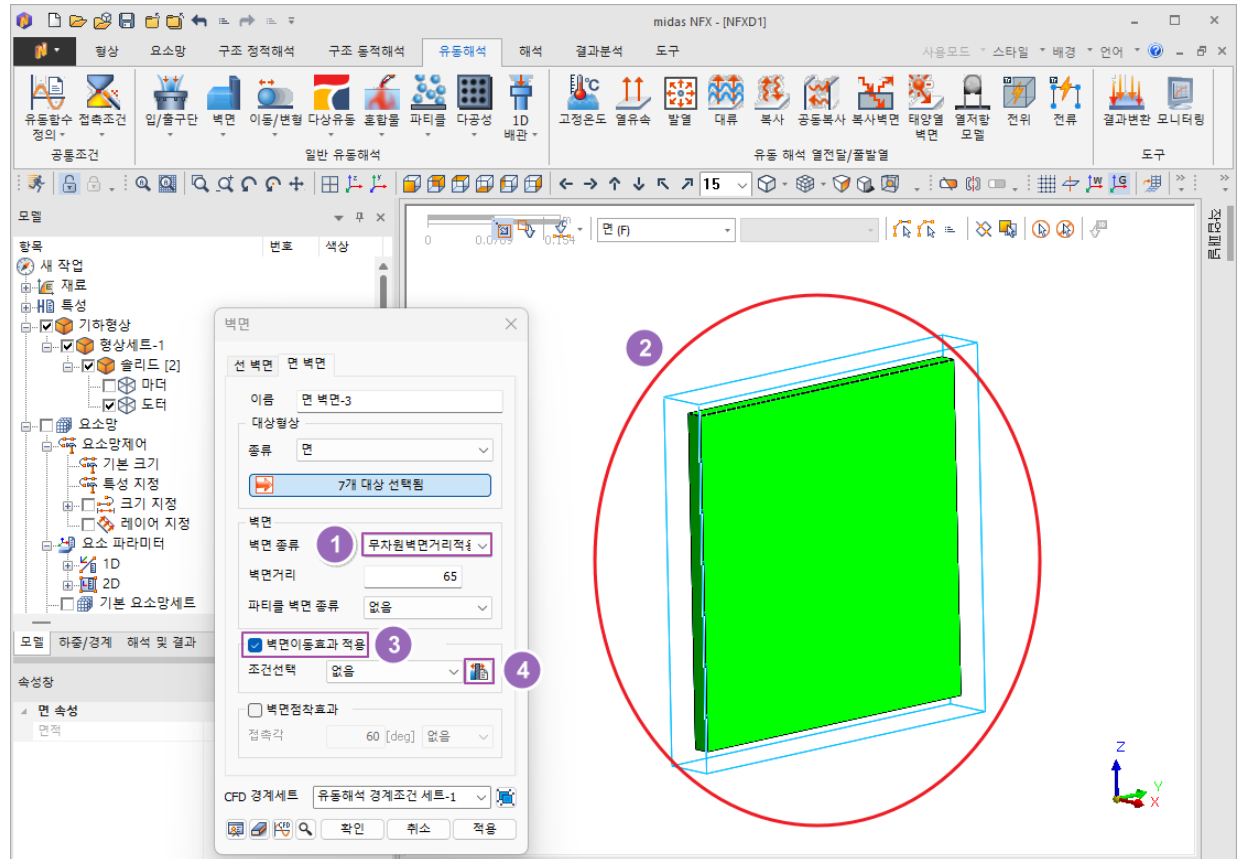
- ① “마더” 파트의 옆면 선택 (8 개 면)
- ② “벽면 종류”에서 “비점성” 선택
- ③ “적용” 클릭



경계조건 생성



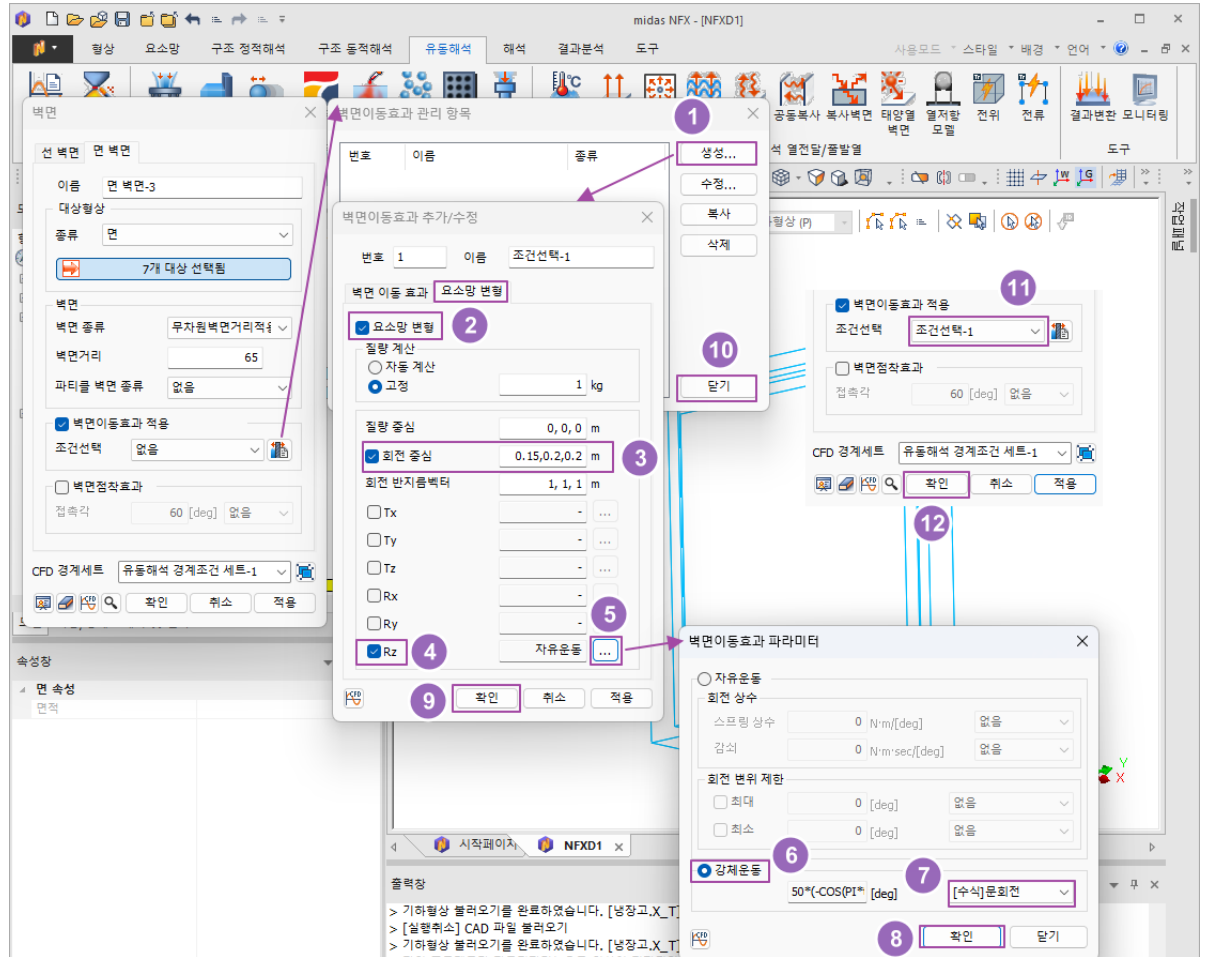
- ① “벽면 종류”에서 “무차원벽면 거리적용” 선택
- ② “도터” 파트의 냉장고 문 벽면 선택 (7 개 면)
- ③ “벽면이동효과 적용” 체크
- ④ “조건선택” 오른쪽 버튼 클릭



경계조건 생성



- ① “생성...” 클릭
- ② “요소망 변형” 탭 > “요소망 변형” 체크
- ③ “회전 중심” 체크 > 0.18,0.2,0.2 입력
- ④ “Rz” 체크
- ⑤ 같은 열의 “...” 버튼 클릭
- ⑥ “강제운동” 체크
- ⑦ 운동함수로 “문화전”을 선택
- ⑧ “확인” 클릭
- ⑨ “확인” 클릭
- ⑩ “닫기” 클릭
- ⑪ “조건선택”에서 “조건선택-1” 선택
- ⑫ “확인” 클릭



해석 케이스 정의

해석조건
설정

기하형상
제작

재료·특성
정의

요소망
생성

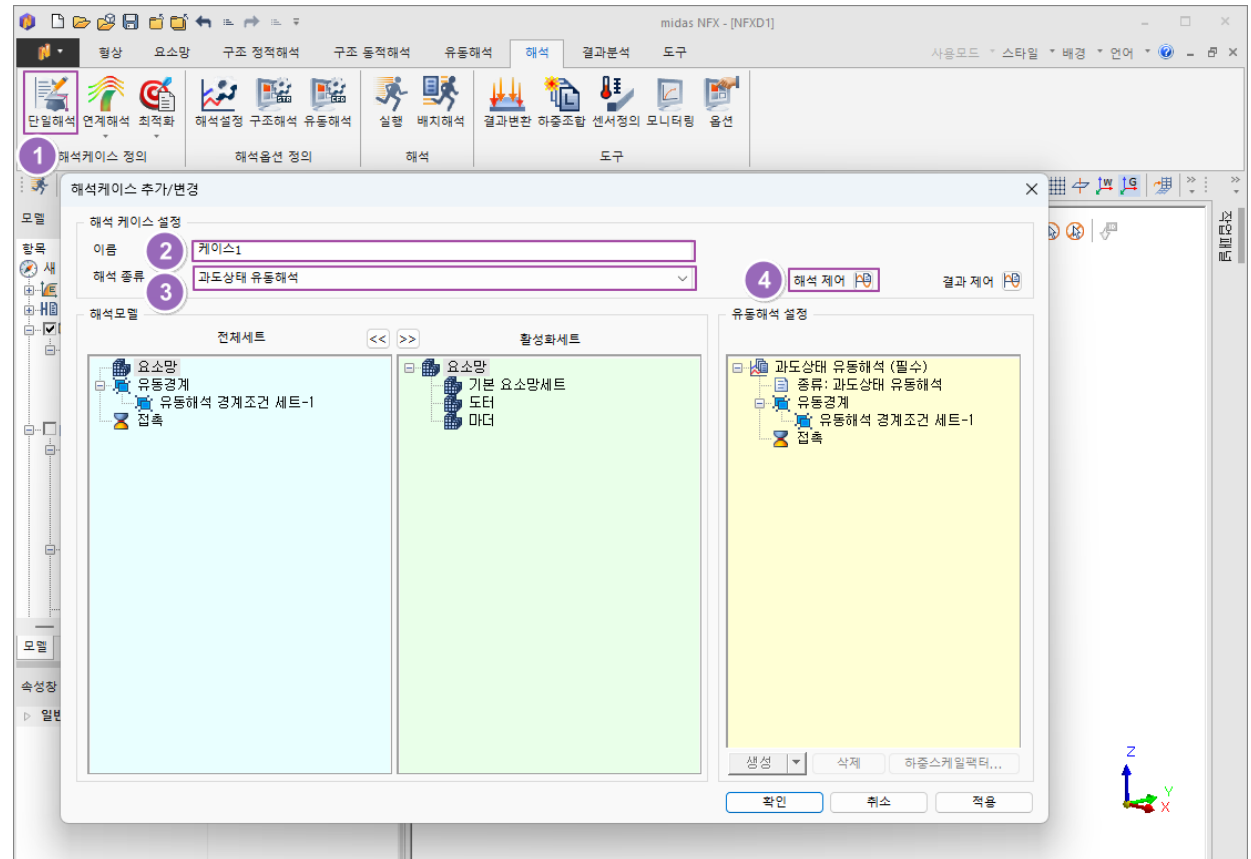
경계조건
정의

해석 케이스
정의

계산 실행

결과검토

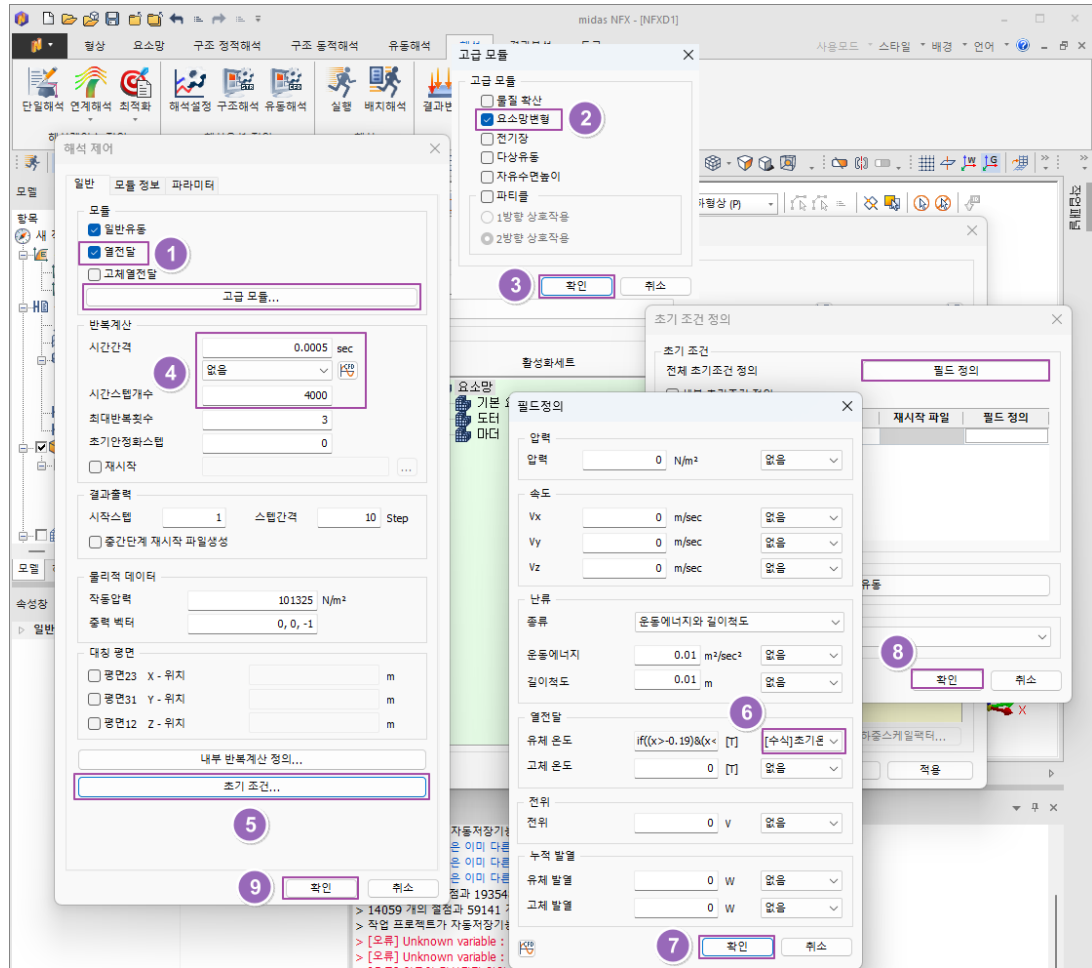
- ① “해석” 탭 클릭
- ② “해석케이스 정의” 리본 메뉴
> “단일해석” 클릭
- ③ “해석케이스 추가/변경” 창
> “이름”에 “케이스1” 입력
- ④ “해석 종류”에서 “과도상태 유
동해석” 선택
- ⑤ “해석 제어” 클릭



해석 케이스 정의



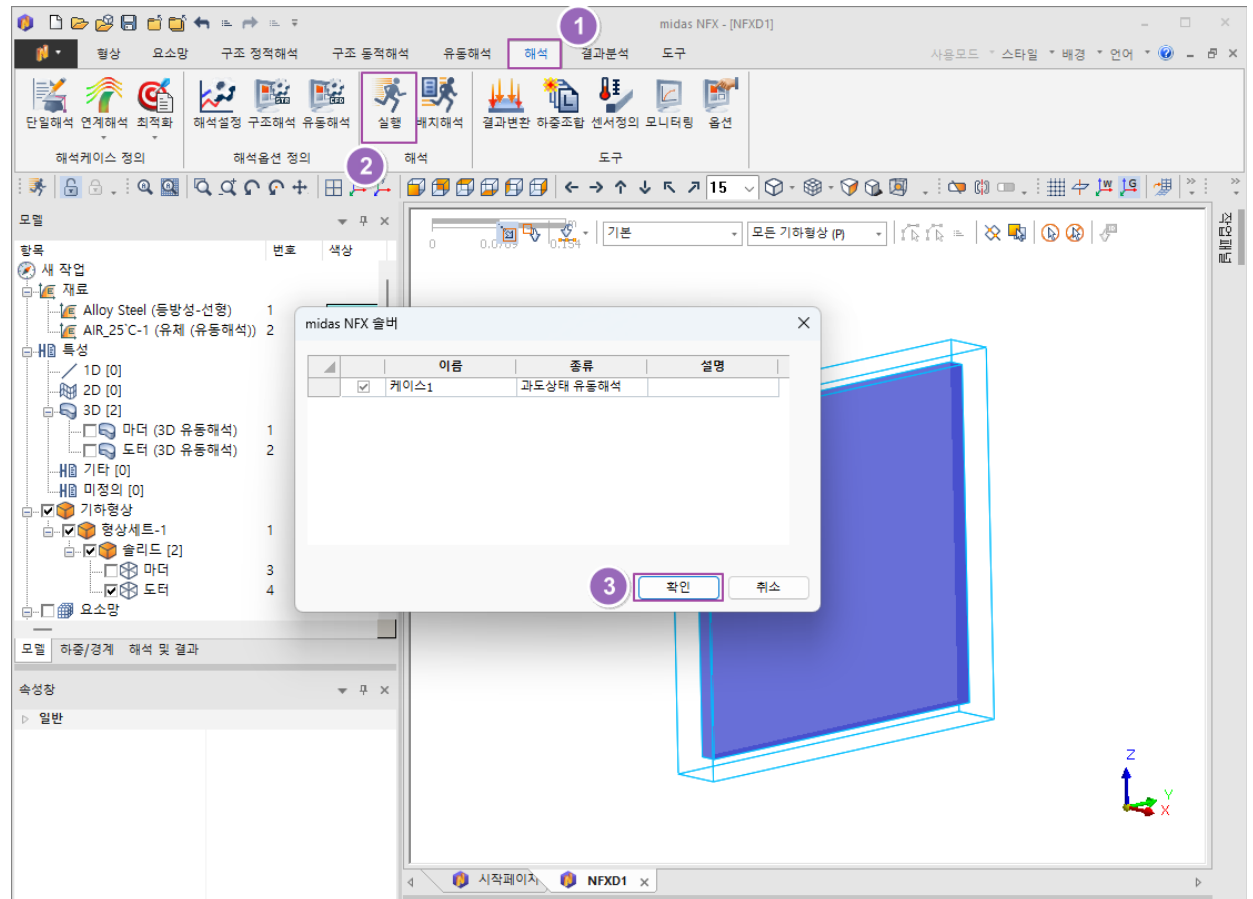
- ① “모듈” 섹션
 > “열전달” 체크
- ② “고급 모듈” 클릭
 > “요소망변형” 체크
- ③ “확인” 클릭
- ④ “반복계산” 섹션
 > “시간간격”에 “0.0005” 입력
 > “시간스텝개수”에 “4000” 입력
- ⑤ “초기 조건...” 클릭
 > “필드 정의...” 클릭
- ⑥ “열전달” 섹션의 “유체 온도”에서
 “초기온도” 선택
- ⑦ “확인” 클릭
- ⑧ “확인” 클릭
- ⑨ “확인” 클릭



해석 실행



- ① “해석” 탭 클릭
- ② “해석” 리본 메뉴 > “실행” 클릭
- ③ “midas NFX 솔버” 창 > “확인” 클릭



결과 분석

해석조건
설정

기하형상
제작

재료·특성
정의

요소망
생성

경계조건
정의

해석 케이스
정의

계산 실행

결과검토

※ 기본유동해석 교육과 동일한
과정으로 결과 분석을 수행합니
다.

