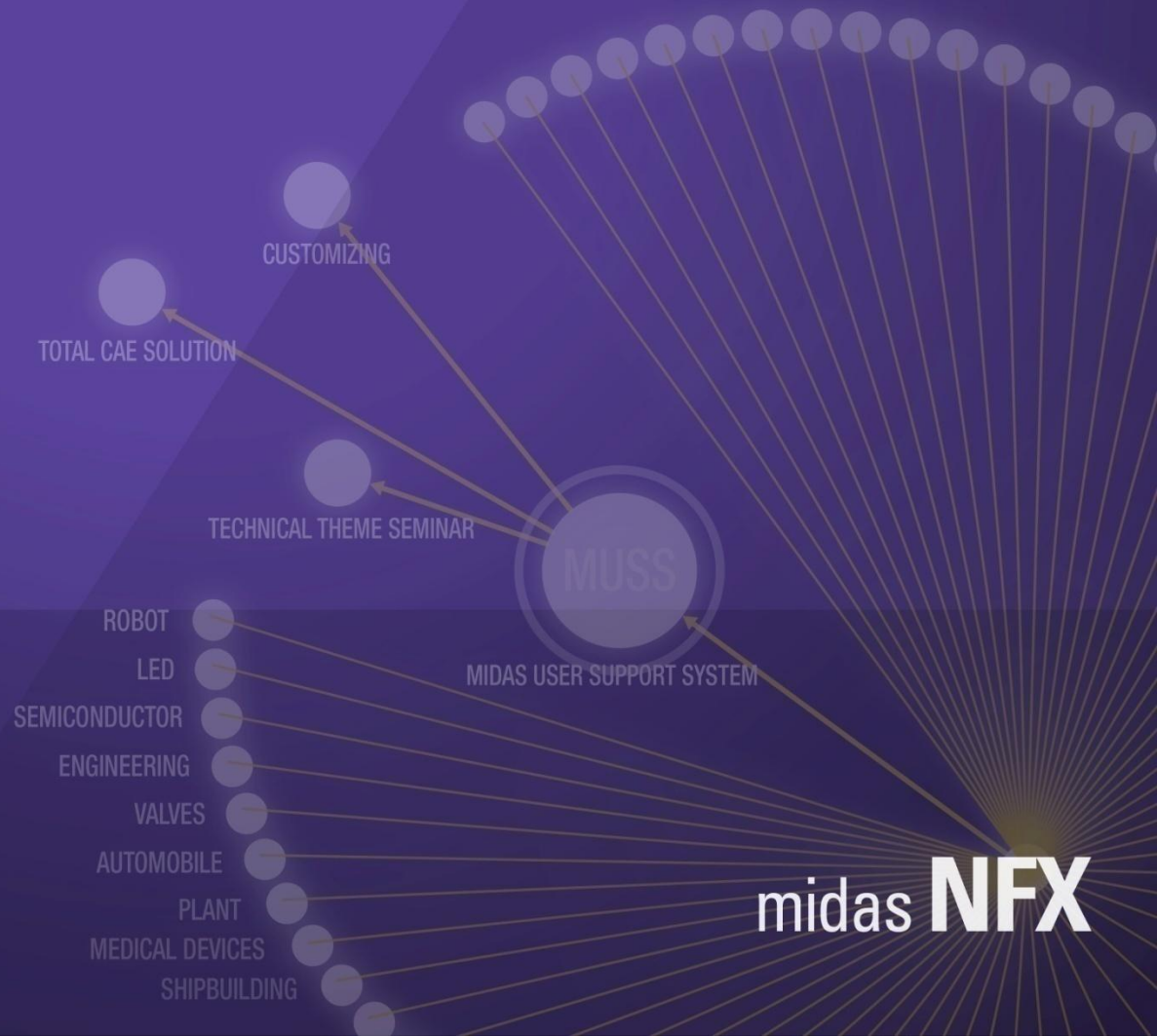
Midas NFX CFD

기본유동해석 교육



강의 시간 안내

시간	학습내용	목표
10:00 ~ 10:30	입문자를 위한 CFD 이론강의	CFD 기본 이론 이해
쉬는시간(10분)	-	-
10:40 ~ 11:20	CFD 기본 개념 이해	CFD 사용분야 및 용어의 이해
11:20 ~ 12:00	유동장 모델링의 이해, 간단한 실습	Reducer pipe 기본 유동 해석 내부유동과 외부유동 모델링의 차이 이해
12:10 ~ 13:10	점심시간	-
13:10 ~ 14:00	예제 실습(교재 187p)	일반유동 예제 실습
쉬는시간(10분)	-	-
14:10 ~ 15:00	예제 실습(교재 250p)	일반유동 예제 실습
쉬는시간(10분)	-	-
15:10 ~ 16:00	실습(manifold 유동)	실 사례 학습
16:00 ~ 16:30	질의 응답	

세부 학습 목표

- **초급(기본)**
  CFD의 의미와 워크플로우(기하 → 메시 → 물성·경계조건 → 솔버 → 후처리)를 설명하고, 간단한 파이프 유동 해석을 설정·실행·결과 해석할 수 있다.

- **중급(실무 적용)**
  적절한 경계조건과 메시 전략을 선택하고, 수렴·잔차를 판정하며 메시 민감도(독립성) 검토를 수행하고, 난류모델·경계조건의 기본 사용법을 이해한다.

- **심화(검증·보고)**
  검증(verification)과 타당화(validation)의 기본 절차를 알고, 결과를 확인할 수 있다.

midas NFX
TOTAL SOLUTIONS FOR TRUE ANALYSIS-DRIVEN DESIGN

midas NFX CFD
기본유동해석 교육

Part 0. CFD 입문자를 위한 이론의 이해

Part 1. CFD 기본개념의 이해

Part 2. CFD를 위한 올바른 모델링과 해석 수행방법

Part 3. 일반유동 모듈의 이해

Part 4. 예제로 살펴보는 일반유동 모듈

Part 5. 열유동 모듈의 이해

Part 6. 예제로 살펴보는 열유동 모듈

Contents

왜? CFD를 사용할까?

'보이지 않는 유동, 열'을 설계 의사결정에 필요한 숫자와 이미지로 생성

실험은 **'측정'**

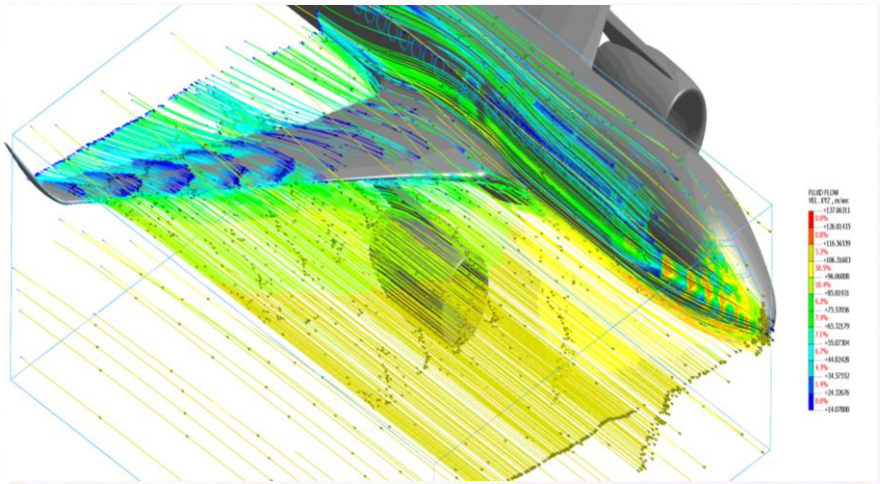


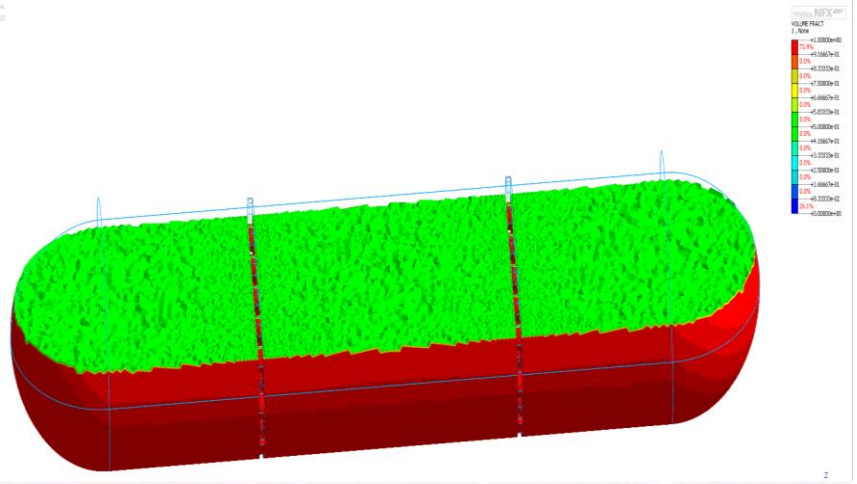
- ✓ **비용/시간 절감**
  - 시제품 제작 시험 횟수 감소
  - 개발 리드 타임 단축
- ✓ **측정이 어려운 영역 확인**
  - 내부 유동, 국부 온도, 등의 가시화
- ✓ **조건을 빠르게 변경하여 비교**
  - 형상/유량/재료 조건을 자유롭게 변경
  - 무엇이 성능에 영향을 미치는지 확인
- ✓ **문제원인을 정량적 평가**
  - 압력, 열저항, 원인을 숫자로 표현

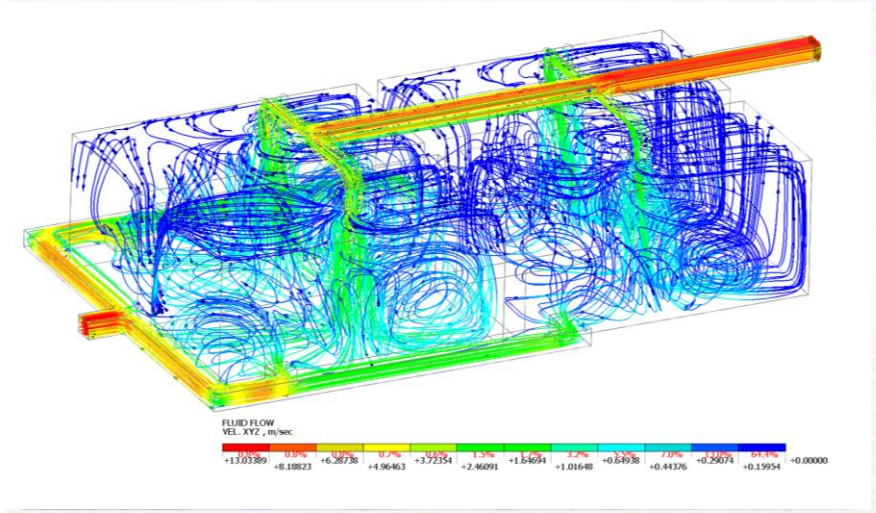
CFD는 **'유체장의 이해'**

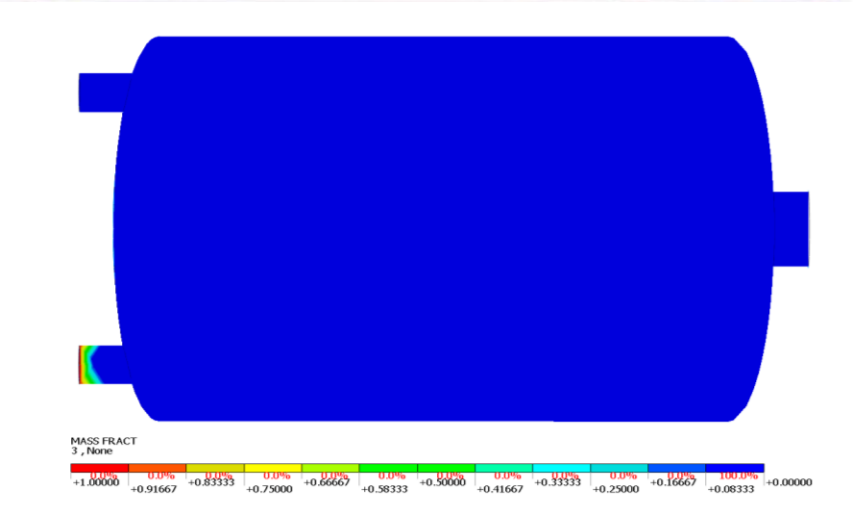


일상과 함께하는 유체






FLUID FLOW
VEL. XYZ , m/sec
+13.03389
+8.18823
+6.28738
+4.96463
+3.72354
+2.46091
+1.64694
+1.01648
+0.64938
+0.44376
+0.29074
+0.15954
+0.00000


MASS FRACT
3 , None
+1.00000
+0.91667
+0.83333
+0.75000
+0.66667
+0.58333
+0.50000
+0.41667
+0.33333
+0.25000
+0.16667
+0.08333
+0.00000

제품 성능과 유동과의 관계



유체기계의 성능과 직결되는 유동

제품 형상에 따른 유동의 **압력**과 **속도**가 유체기계 성능 평가의 기준

제품 안전성에 영향을 미치는 유동



제품 구조 안전성을 저해하는 유동

유동으로 인한 과도하게 큰 압력이나 주기적인 압력 변동이 구조물에 하중으로 작용

액체는 압력과 온도 조건에 따라 공동현상(cavitation) 발생 가능

제품의 냉각 · 가열 성능과 열유동



냉각 · 건조 성능을 좌우하는 "대류"

팬, 블로워, 터빈 등에 의한 **강제 대류**

동력이 없는 **자연 대류**

실무 설계 시 유동 분석의 어려움



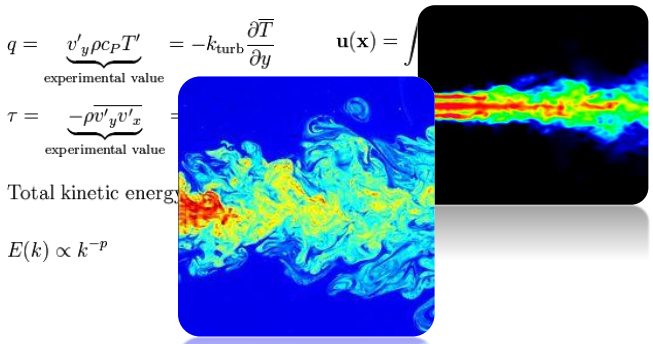
무색 무형의 매질 특성 - 관찰과 예측이 어려움



유독성·고온·고압 : 위험성



밀폐 · 고속운동 : 실험이 어려움



불규칙적인 난류 특성 : 경험식과 수계산 적용이 불가능

CFD의 개념

무엇을, 어떻게 계산하나

CFD 정의

CFD는 컴퓨터로 유체역학 방정식을 풀어 유동·열현상을 예측하는 도구입니다.

메시(요소망)로 영역을 분할하고 각 셀(CV)에서 보존법칙을 만족하도록 수치적으로 계산합니다.

구성 요소 의미

- Computational: 목적에 맞는 "계산기"로서 컴퓨터를 활용합니다. 일반 계산기와 달리 CFD는 유체역학 방정식을 풀어내는 특수 목적을 가집니다.
- Fluid Dynamics: 유체(액체·기체)의 운동과 그에 작용하는 힘(압력·점성·체적력)을 다룹니다.

CFD 워크플로우

각 단계에서 정확도와 신뢰성을 검증하는 과정이 수반됩니다. 목표를 명확히 하고 각 단계를 체계적으로 수행하는 것이 중요합니다.



유체란 무엇인가?

유체의 정의

고정된 형태가 없고 흐르는 물질로, 액체와 기체를 포함

액체(Liquid) 종류

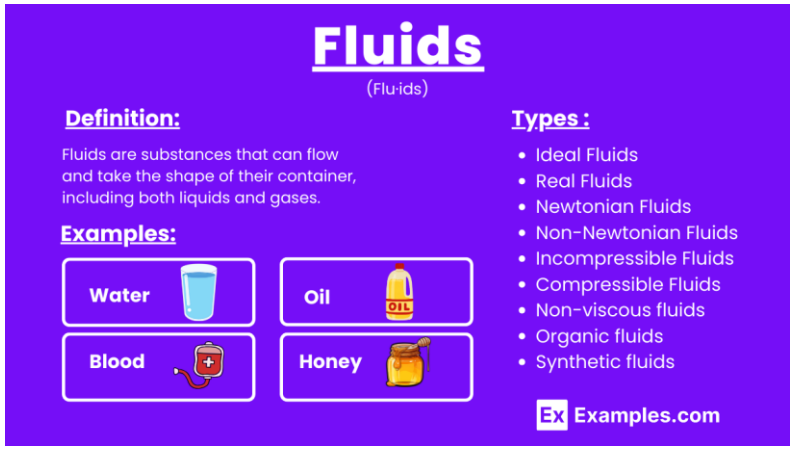
물, 기름, 우유, 주스, 혈액, 꿀, 커피, 잉크, 알코올, 세제 등
일정한 부피를 유지하나 담는 용기의 형태에 따라 모양이 변함

기체(Gas) 종류

공기, 산소, 수증기, 질소, 이산화탄소, 메탄, 헬륨, 수소 등
부피와 모양이 모두 자유롭게 변하며 담는 공간을 완전히 채움

유체의 특성

전단력(shear force)에 저항하지 못하고 연속적으로 변형됨
밀도, 점성, 압력, 온도에 따라 다양한 유동 특성을 보임
(공기도 무게가 있다! 마그데부르크의 반구 실험)



다양한 유체의 종류: 액체(물, 기름, 우유 등), 기체(공기, 산소, 수증기 등) (출처: Examples.com)

유체역학의 기초: 관찰 상자와 보존법칙

"관찰 상자"란? (Control Volume)

유체 속에 가상의 경계로 둘러싸인 공간으로, 유체가 자유롭게 드나들 수 있는 관찰 영역입니다.

> 수족관에 투명한 상자를 상상해서 넣어두고, 유체가 어떻게 경계를 통과하는지 관찰하는 방법입니다.

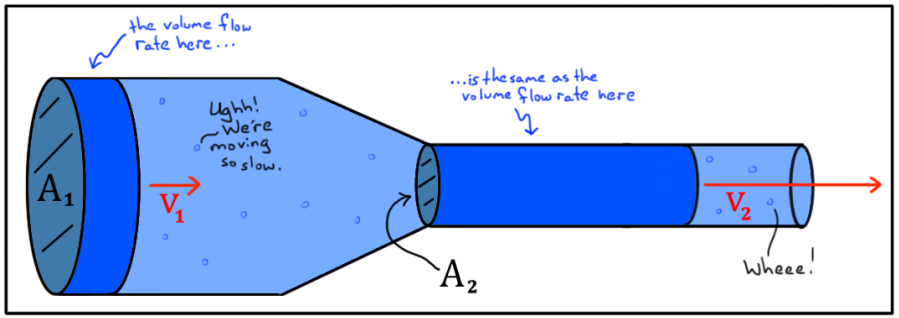
왜 Control Volume이 필요한가?

복잡한 유체 시스템을 관리 가능한 영역으로 나누어 해석하기 위함입니다.
큰 유동 문제를 작은 부분으로 나누어 단계적으로 해결할 수 있습니다.

보존법칙 - 자연의 불변 원칙

질량 보존: 유체는 생성되거나 소멸되지 않고, 형태만 변화합니다.
운동량 보존: 외력이 없으면 유체의 운동량은 일정하게 유지됩니다.
에너지 보존: 에너지는 형태가 바뀔 뿐, 총량은 항상 일정합니다.

이 세 가지 보존법칙이 CFD 해석의 수학적 기반이 됩니다.



파이프 단면적 변화에 따른 유체 속도 변화: 좁은 영역(A2)에서는 유체가 더 빠르게 이동하며, 이는 질량 보존법칙의 결과입니다.

유체역학의 3대 보존 법칙

1. 질량 보존 법칙 (라부아지에, 1789)

정의: 닫힌 계에서 물질의 총 질량은 변하지 않는다.

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

: 밀도, A: 단면적, v: 속도

생활 관찰: 호스 끝을 좁히면 물줄기가 빨라진다.

CFD 응용: 유체의 질량 보존을 모델링하는 기본 원리이며, 연속방정식을 통해 유동장 내 질량 흐름을 추적한다.

2. 운동량 보존 법칙 (뉴턴 제3법칙, 1687)

정의: 모든 작용에는 크기가 같고 방향이 반대인 반작용이 존재한다.

$$F = \Delta(mv)/\Delta t$$

F: 힘, m: 질량, v: 속도, mv: 운동량

생활 관찰: 소방호스의 반동력

CFD 응용: 나비에-스톡스 방정식을 통해 유체의 운동량 전달과 압력 구배를 계산한다.

3. 에너지 보존 법칙 (베르누이 원리, 1738)

정의: 에너지는 생성되거나 소멸되지 않고, 형태만 변환된다.

$$P + \tfrac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = \text{일정}$$

P: 압력, : 밀도, v: 속도, g: 중력가속도, h: 높이

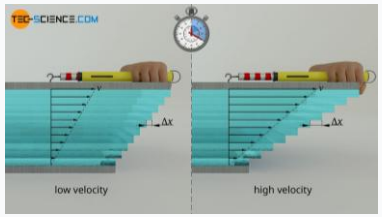
생활 관찰: 비행기 날개의 양력과 빨대로 음료 마시기

CFD 응용: 유체의 압력, 속도, 위치에너지 간의 상호 변환을 통해 에너지 흐름을 예측한다.

유체역학의 4가지 힘과 역사적 실험

1) 뉴턴의 점성 실험 (점성력)

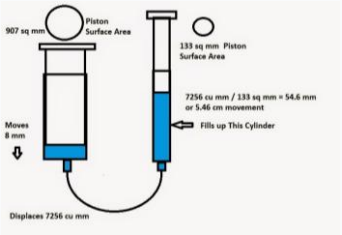
관측: 두 평행판 사이 유체가 층을 이루며 흐름
발견: 유체 층 사이의 저항력(점성력)은 속도 차이에 비례
예시: 꿀이 천천히 흐르는 현상, 시럽을 부을 때의 저항감

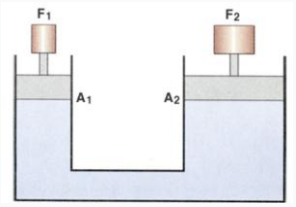




2) 파스칼의 통 실험 (압력)

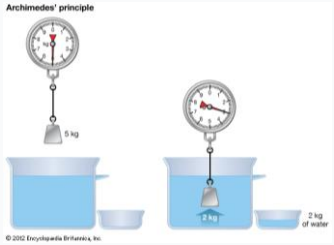
관측: 가는 관에 물을 부으면 통이 파열됨
발견: 밀폐된 유체에서 압력이 모든 방향으로 동일하게 전달
예시: 주사기 원리, 유압 브레이크, 수압식 리프트

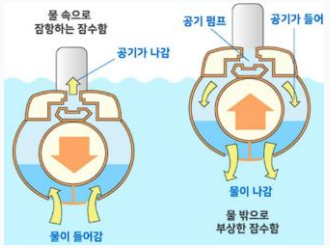




3) 아르키메데스의 부력 실험 (체적력)

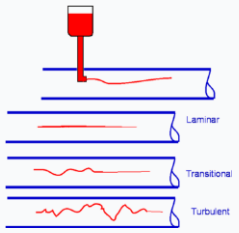
관측: 물에 담긴 물체는 더 가볍게 느껴짐
발견: 물체는 자신이 차지한 유체 무게만큼 부력을 받음
예시: 수영장에서 몸이 뜨는 현상, 배가 물에 뜨는 원리

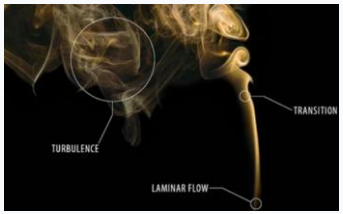




4) 레이놀즈의 염료 실험 (관성력)

관측: 느린 속도에서는 염료가 직선, 빠른 속도에서는 흩어짐
발견: 관성력이 점성력보다 커지면 층류→난류로 전환
예시: 수도꼭지 물줄기 변화, 담배 연기의 패턴 변화





유체의 물리적 특성 분류

압축성 vs 비압축성

압력 변화에 밀도가 민감한 유체(기체)는 압축성, 거의 변하지 않는 유체(물)는 비압축성 ($\nabla \cdot u = 0$).

뉴턴유체 vs 비뉴턴유체

전단응력이 속도기울기에 비례하면 뉴턴유체(물, 공기), 비선형/이력 의존성 있으면 비뉴턴유체(꿀, 혈액).

층류 vs 난류

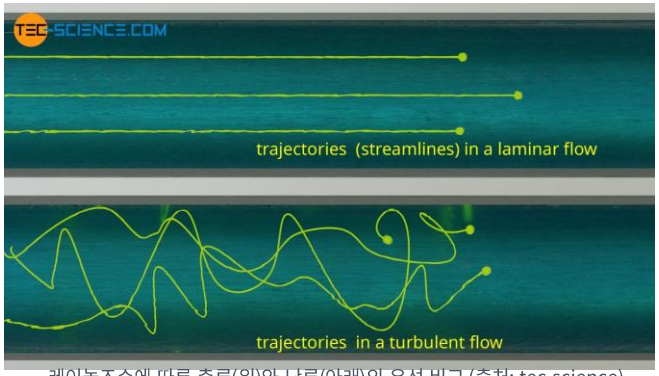
점성 지배적인 안정된 흐름은 층류, 관성력 지배적인 불규칙 흐름은 난류.

레이놀즈수 (Reynolds Number)

$Re = \rho u D/\mu$ = 관성력/점성력의 비율

"유체가 관성으로 흐르려는 힘 vs 점성으로 붙잡으려는 힘의 대결"

레이놀즈수(Re)	유동 형태	상태 설명
Re < 2,300	층류	점성 승리, 조용히 흐름
2,300 ≤ Re ≤ 4,000	전이영역	둘이 싸우는 중
Re > 4,000	난류	관성 승리, 난장판



레이놀즈수에 따른 층류(위)와 난류(아래)의 유선 비교 (출처: tec-science)

경계층

벽 근처에서 유체 속도가 0(no-slip)에서 자유유속으로 변화하는 얇은 층. y+로 벽면 모델링.

나비에-스톡스 방정식

운동량 보존 방정식 (나비에–스톡스)

$$\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t}+u\cdot\nabla u\right)=-\nabla p+\mu\nabla^2 u+\rho g$$

관성력 (좌변): ρ(∂u/∂t+u·∇u) 레이놀즈 실험
유체 입자의 가속도와 질량의 곱 (F=ma)

압력력: −∇p 파스칼 실험
압력 변화에 의한 힘 (높은 압력 → 낮은 압력)

점성력: μ∇2u 뉴턴 실험
유체 내부의 마찰력 (속도 변화율에 비례)

체적력: ρg 아르키메데스 실험
중력, 부력 등 전체 체적에 작용하는 힘

연속방정식 (질량 보존)

$$\frac{\partial\rho}{\partial t}+\nabla\cdot(\rho u)=0$$

비압축성: $\nabla\cdot u=0$ (유입 = 유출)

💡 이전 페이지 실험에서 발견된 힘: 역사적 실험을 통해 나비에-스톡스 방정식의 각 항이 발견되었습니다. 각 힘의 원리와 특성을 이해하는 것이 CFD의 기초가 됩니다.

관성력 (Inertial Force) 레이놀즈 실험

유체가 현재 상태를 유지하려는 힘

💡 예시: 차 급정거 시 몸이 앞으로 쏠림, 물이 코너를 돌 때 바깥쪽으로 밀려남

중요도: 고속 유동(자동차, 비행기)에서 지배적, 느린 흐름에서는 무시 가능

압력력 (Pressure Force) 파스칼 실험

압력 차이로 발생하는 힘, 높은 압력에서 낮은 압력으로 작용

💡 예시: 풍선의 팽창, 진공청소기가 먼지를 빨아들이는 원리

중요도: 대부분의 유동에서 항상 중요, 특히 파이프 유동에 결정적

점성력 (Viscous Force) 뉴턴 실험

유체 내부 마찰력, 속도 차이가 있는 층 사이에 작용

💡 예시: 꿀이 천천히 흐름, 혈액이 모세혈관을 통과

중요도: 벽 근처, 좁은 통로, 저속 유동에서 지배적

체적력 (Body Force) 아르키메데스 실험

유체 전체 질량에 작용하는 힘, 주로 중력이나 부력

💡 예시: 뜨거운 공기가 위로 상승, 물에 띄운 나무토막이 뜨는 현상

중요도: 자연대류, 개방수로에서 중요, 강제대류에서는 미미

연속방정식 (질량 보존)

좁은 호스에서 물이 빨라지는 원리 - "들어온 양 = 나간 양"

기호	의미	단위	실생활 비유
ρ	밀도: 단위 부피당 질량	kg/m^3	철 > 나무 > 물 > 공기 순으로 무거움
u	속도 벡터: 방향과 크기를 가짐	m/s	자동차 속도계 + 방향지시등
p	압력: 단위 면적당 힘	Pa	풍선을 누르는 힘
μ	동점성계수: 유체의 끈적임	Pa·s	꿀 > 기름 > 물 > 공기 순으로 끈적임

CFD와 나비에-스톡스 방정식

$$\underbrace{\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t}+u\cdot\nabla u\right)}_{\text{관성력}} = \underbrace{-\nabla p}_{\text{압력}} + \underbrace{\mu\nabla^2 u}_{\text{점성력}} + \underbrace{\rho g}_{\text{체적력}}$$

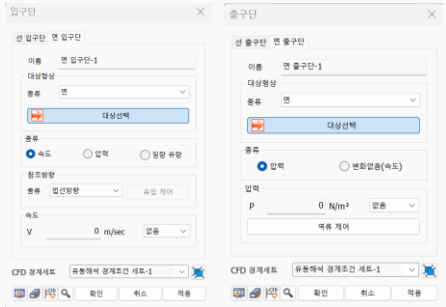
→ 관성력 관련 설정

- 관련 물성치: 밀도(ρ)
- 초기조건: 유동장의 초기 속도 분포 설정
- 시간 이산화: 비정상 해석 시 시간 간격(Δt) 설정



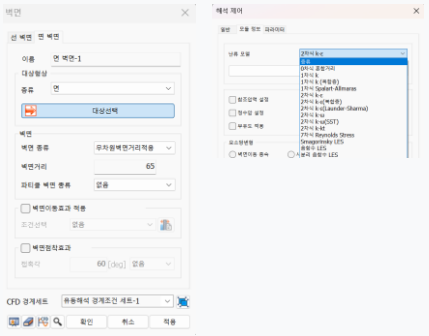
압력력 관련 설정

- 경계조건: 압력 입구/출구, 대기압 조건 설정
- 압력-속도 연성: SIMPLE, PISO, Coupled 알고리즘
- 수치 기법: 압력 보간 방법(Standard, PRESTO!)



점성력 관련 설정

- 관련 물성치: 점성계수(μ), 동점성계수(ν)
- 경계조건: 벽면 조건(No-slip, Slip, 거칠기)
- 난류 모델: k-ϵ, k-ω, SST, LES, DNS 등
- 벽 처리법: 표준 벽 함수, 향상된 벽 처리법



체적력 관련 설정

- 관련 물성치: 밀도(ρ), 중력 가속도(g)
- 중력 방향: 중력 벡터의 방향 및 크기 설정
- 부력 효과: Boussinesq 근사, 밀도 변화 모델
- 추가 체적력: 원심력, 코리올리력, 전자기력 등



유동장 모델링

앞서 배운 나비에-스톡스 방정식을 컴퓨터로 풀기 위한 첫 번째 단계는 유동장(유체가 흐르는 공간)을 정의하는 것입니다. 이론적인 수식을 실제로 계산하려면 먼저 '유체가 어디서 어떻게 흐르는지' 컴퓨터에게 알려줘야 합니다.

CFD에서 "유체가 흐르는 공간"이란?

유체(액체나 기체)가 실제로 지나다니는 길과 공간
마치 도로 위 차량 흐름을 관찰하는 CCTV 영역과 비슷해요
컴퓨터가 계산할 때 "이 공간 안에 있는 유체만 계산할게요"라고 지정

물체와 유체의 공간은 정반대예요

물체 모델링: 손에 잡히는 것들 (컵, 파이프, 자동차)
유체의 공간: 물체가 "없는" 곳 (컵 안쪽, 파이프 속, 자동차 주변)
비유: 쿠키 틀과 쿠키 반죽 - 우리는 반죽(유체) 부분을 계산해요!

유체가 흐르는 공간을 만드는 방법

안쪽 흐름 (파이프, 댐 등): 물체 내부 공간을 "꺼내오기"
- 마치 페트병에서 유체가 차지하는 공간만 추출하는 것

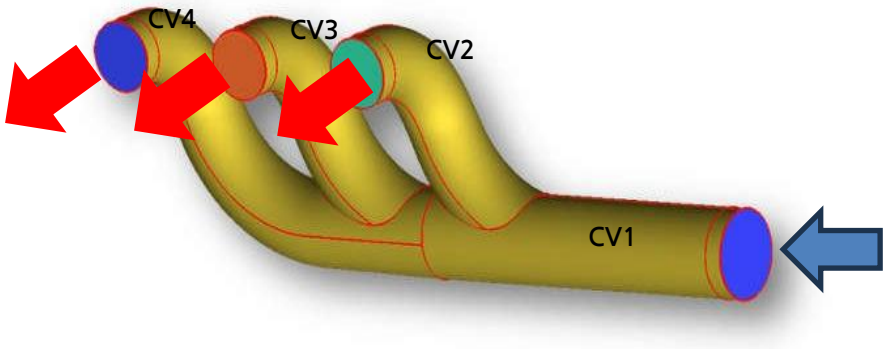
바깥쪽 흐름 (자동차, 비행기 등): 주변 공기 영역 만들기
- 커다란 상자를 만들고 그 안에 물체를 뺀 나머지가 공기 영역

유체가 새지 않게 주의할 점

작은 구멍이나 틈새는 모두 막기 (유체가 새는 것처럼 계산 오류 발생)
용기에 구멍 없듯이, 계산 공간도 완전히 막혀 있어야 함
중요한 부분 (벽 근처, 좁아지는 곳)은 더 세밀하게 관찰



실제 파이프 구조물 형상



복잡한 모양에서 유체가 흐르는 내부 공간만 추출한 예시

CFD 계산 방법: 이산화, 메시, CV

이산화(Discretization) 개념

연속된 공간을 작은 블록으로 나누는 과정 (마치 레고 블록처럼). 컴퓨터는 연속함수를 직접 계산할 수 없어 잘게 나눠서 근사 계산합니다.

메시(Mesh) = 요소망

해석 영역을 셀(블록)로 나눈 그물망. 유체(액체나 기체)가 흐르는 영역을 작은 블록들로 나누어 표현합니다.

Control Volume(CV) 원리

각 블록은 하나의 제어부피(CV)로, 들어온 것 = 나간 것 원칙(보존 법칙)을 만족합니다.

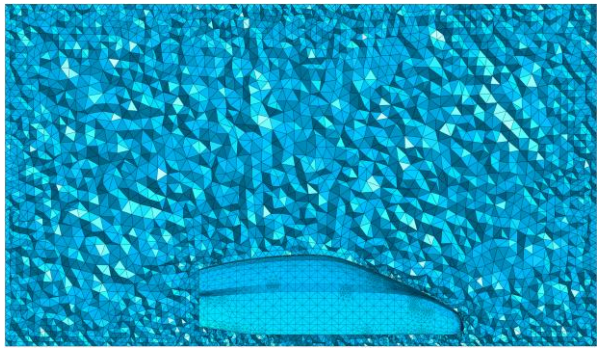
직관적 이해

픽셀 이미지처럼 연속된 공간을 작은 셀로 나눠서, 각 셀에서 유체 방정식을 푸는 것입니다. 셀이 많을수록 정확하지만 계산량이 증가합니다.

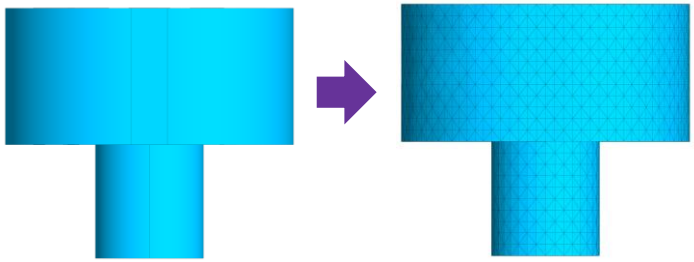
실무 적용 포인트

복잡한 형상은 더 작은 블록으로, 단순한 영역은 큰 블록으로 나누어 계산 효율과 정확도의 균형을 맞춥니다.

외부 유동인 경우(구조물 제외)



내부 유동인 경우(구조물 내부)



메시 생성 주의사항

좋은 메시(Good Mesh) 특징

- **균일한 크기**

  셀 크기가 일정하며 급격한 변화 없음. 이웃 셀 간 크기 비율이 1.2~1.3 이내 유지.

- **깔끔한 정렬**

  셀 형태가 왜곡 없이 잘 정렬됨. 정렬도(orthogonality) 높고 왜곡(skewness) 낮음.

- **경계층 세밀화**

  벽 근처에 프리즘 레이어가 적절히

나쁜 메시(Bad Mesh) 특징

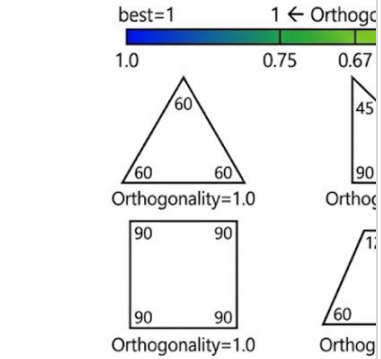
- **찌그러진 형태**

  셀이 심하게 왜곡되어 날카로운 각이나 비정상적인 모양을 형성함. 수치 불안정성 유발.

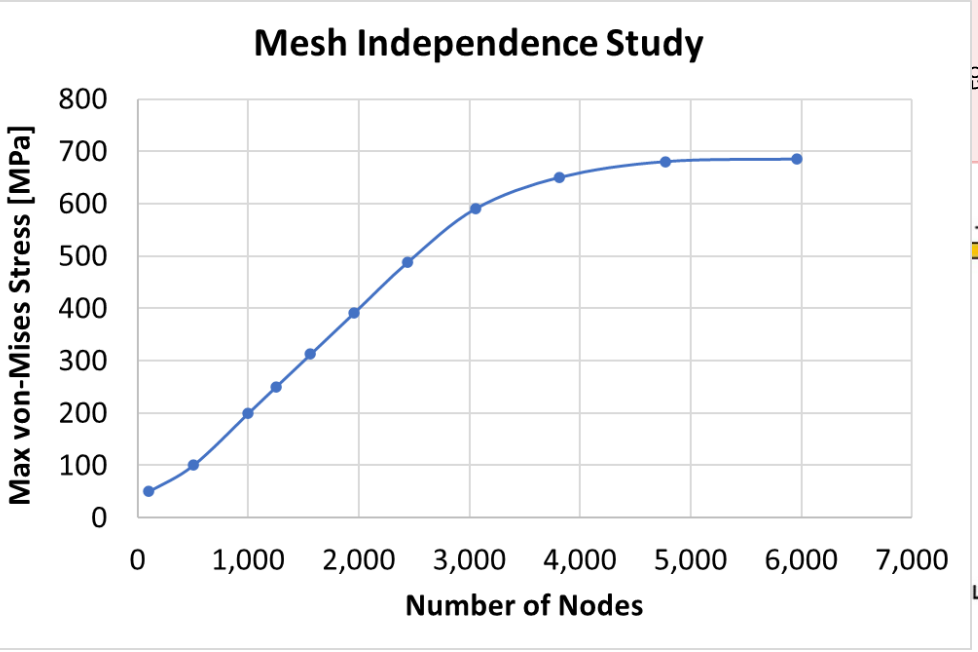
- **급격한 크기 변화**

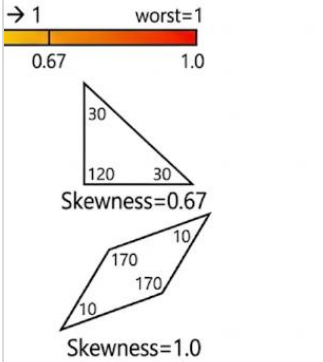
  인접 셀 간 크기가 갑자기 변하여 정확도 저하 및 수렴성 악화.

  않아 유동 표현이 부정확함.



메시 품질 평가 기준: 좋은 메시(왼쪽)는 직





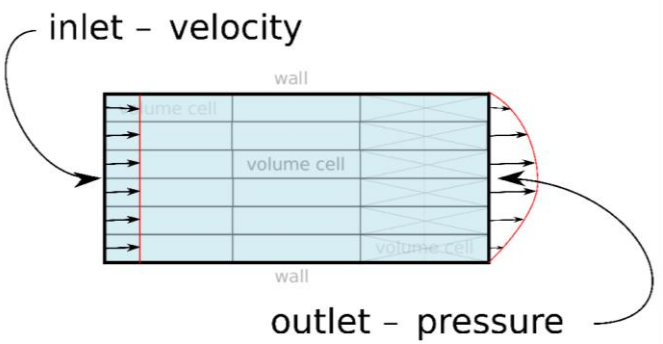
나쁜 메시(오른쪽)는 왜곡도가 높음.

좋은 메시(왼쪽)와 나쁜 메시(오른쪽) 비교 - 왜곡도와 정렬성이 해석 품질에 직접적 영향

경계조건(Boundary condition)

Boundary Conditions

경계조건이란? 해석 영역의 가장자리에서 유체가 어떻게 행동할지 알려주는 규칙입니다. 잘못된 BC는 정확한 모델링에도 불구하고 결과를 왜곡합니다.



● 주요 경계조건 유형

속도 입구 (Velocity Inlet)

"이 속도로 들어와!" - 입구에서 유체의 속도/속도프로파일 지정

압력 출구 (Pressure Outlet)

"이 압력으로 나가!" - 출구에서의 압력 지정, 대기 방출은 0 Pa(게이지)

벽면 (Wall)

"여기서 멈춰!" - No-slip(속도=0), Slip(마찰 무시), Moving Wall

● 주의사항

초기조건 vs 경계조건: 초기조건은 t=0의 일시적 상태, BC는 경계에서의 지속적 조건

경계 위치: 관심 영역에서 충분히 떨어진 곳에 설정하여 실제 유동에 영향 최소화

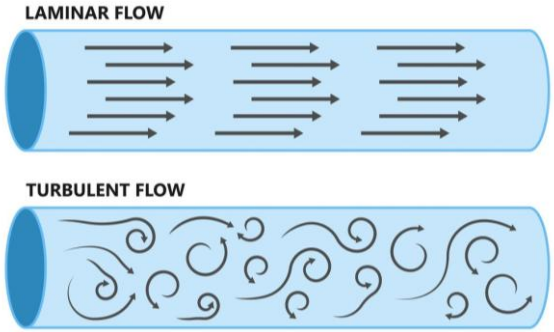
난류모델

층류 vs 난류, 레이놀즈 수와 모델링

● 층류 vs 난류: 기본 개념

층류(Laminar Flow): 유체가 층을 이루며 질서정연하게 흐르는 상태

난류(Turbulent Flow): 불규칙한 소용돌이(와류)가 존재하는 흐름



● 주요 난류 모델

RANS 모델: 시간 평균화된 유동 해석, 계산 비용 낮음

k-ε 모델: 가장 널리 사용, 유체동장에 발생하는 난류를 효과적으로 계산, 자유 유동에 적합

k-ω 모델: 벽 근처의 점성효과에 대하여 계산을 더 많이 수행하여 유동과 압력 구배에 강점

LES 모델: 난류의 크기를 지정하여 특정 난류 길이 이하는 계산을 수행하지 않고 사용자가 설정한 난류 길이 이상만 계산

midas NFX
TOTAL SOLUTIONS FOR TRUE ANALYSIS-DRIVEN DESIGN

midas NFX CFD
기본유동해석 교육

Part 0. CFD 입문자를 위한 이론의 이해

Part 1. CFD 기본개념의 이해

Part 2. CFD를 위한 올바른 모델링과 해석 수행방법

Part 3. 일반유동 모듈의 이해

Part 4. 예제로 살펴보는 일반유동 모듈

Part 5. 열유동 모듈의 이해

Part 6. 예제로 살펴보는 열유동 모듈

Contents

CFD 의 정의

CFD

Computational Fluid Dynamics

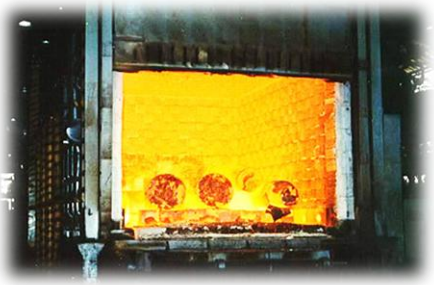
전산 유체 역학

전산 + 유체 + 역학

컴퓨터를 이용 + 유체에 대한 분야 + 유체의 공학적 성질을 분석

제품 열유동 분석의 TOOL : CFD



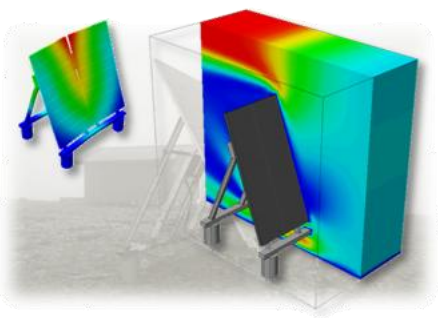
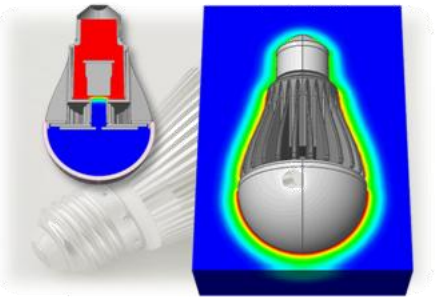
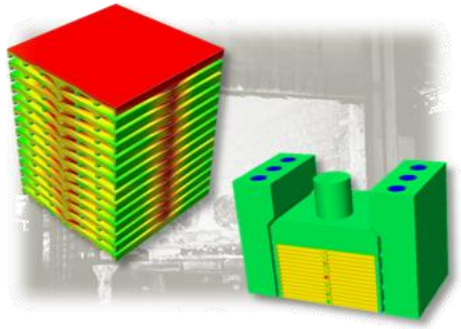
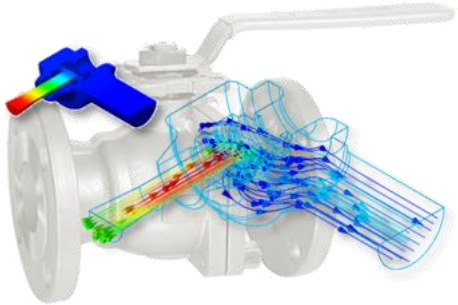
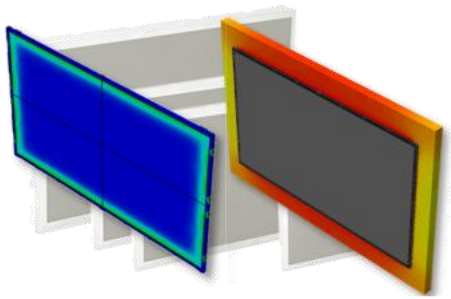
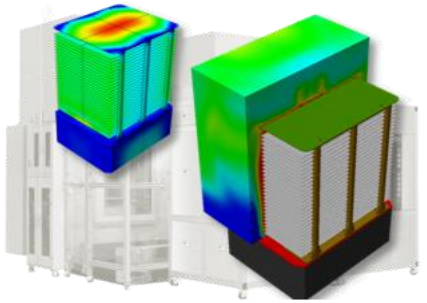
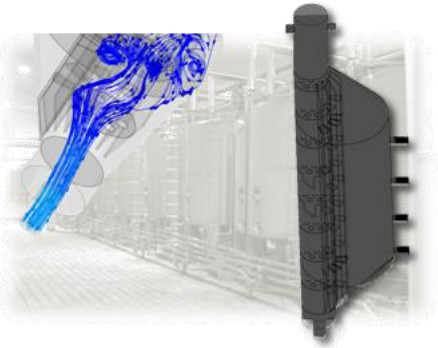
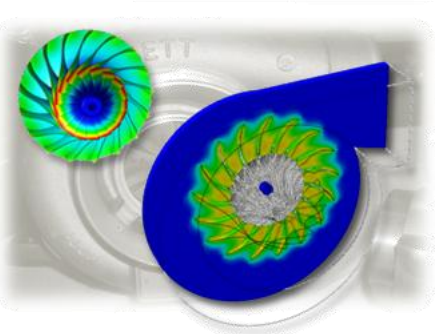
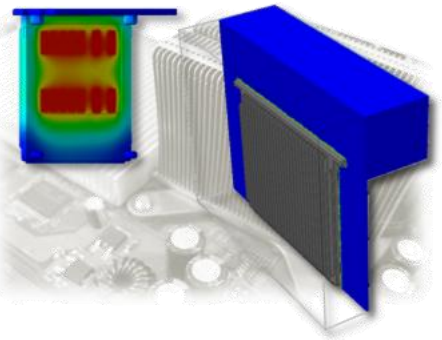




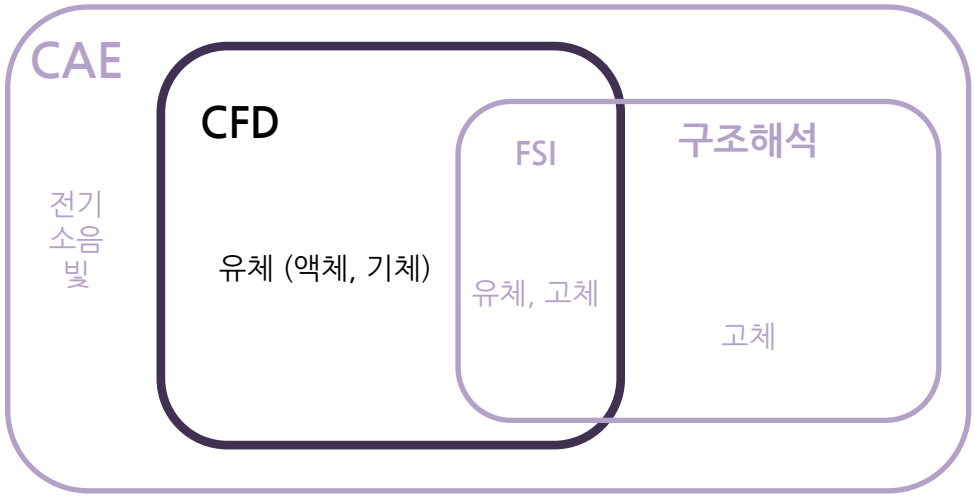


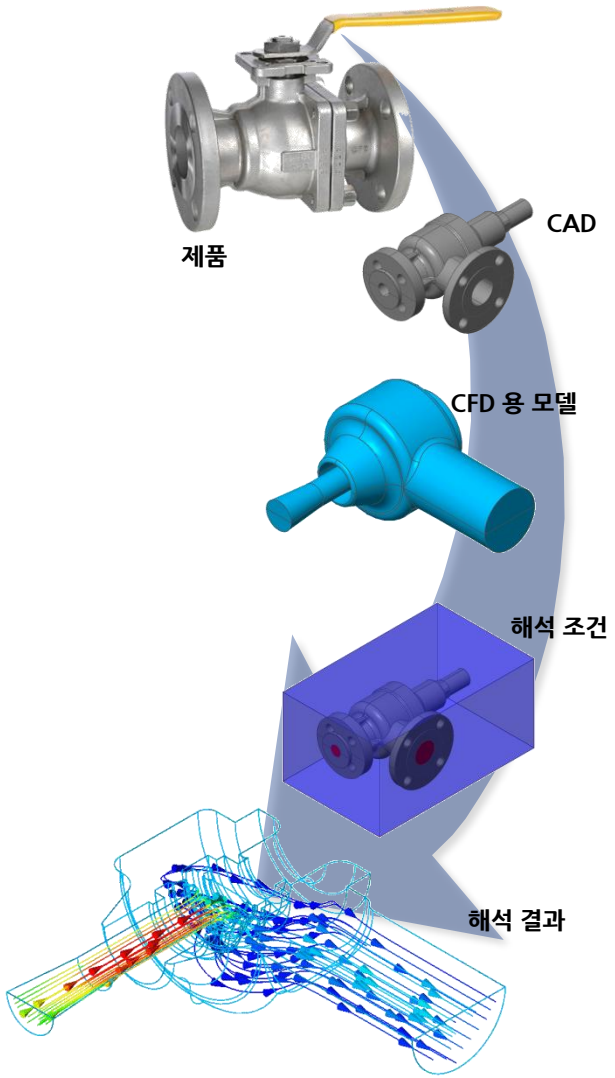



제품 열유동 분석의 TOOL : CFD

CFD 의 정의





■ **제품 주변 열유동 분석의 4가지 한계와 CFD를 통한 극복**

① **관찰과 예측이 난해** : 전산 자료이므로 시각화 용이

② **위험성** : 가상의 컴퓨터 환경에서 시뮬레이션

③ **밀폐 · 고속운동** : 전산 자료이므로 밀폐 용기 내부도 확인 가능

④ **불규칙적인 난류 특성** : CFD 컴퓨터 알고리즘으로 계산 가능

CFD 의 정의

실제현상



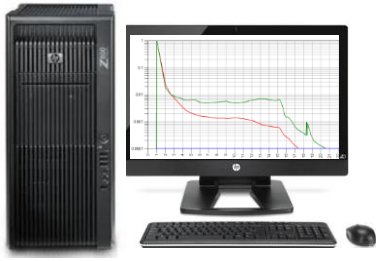
물리 방정식
(지배방정식/경계조건)

$$\rho\left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t}+(\vec{u}\cdot\nabla)\vec{u}\right)+\nabla p-\nabla\cdot(\mu\nabla\vec{u})=\rho f$$

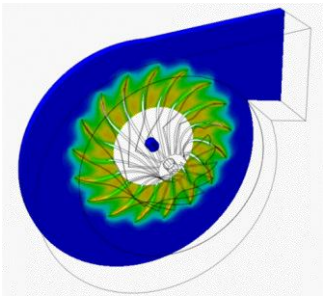
공간이산화
(요소망 생성)



연립방정식 계산



결과도출



CFD 이해를 위한 용어 정리





압축성 vs. 비압축성

compressible vs. incompressible

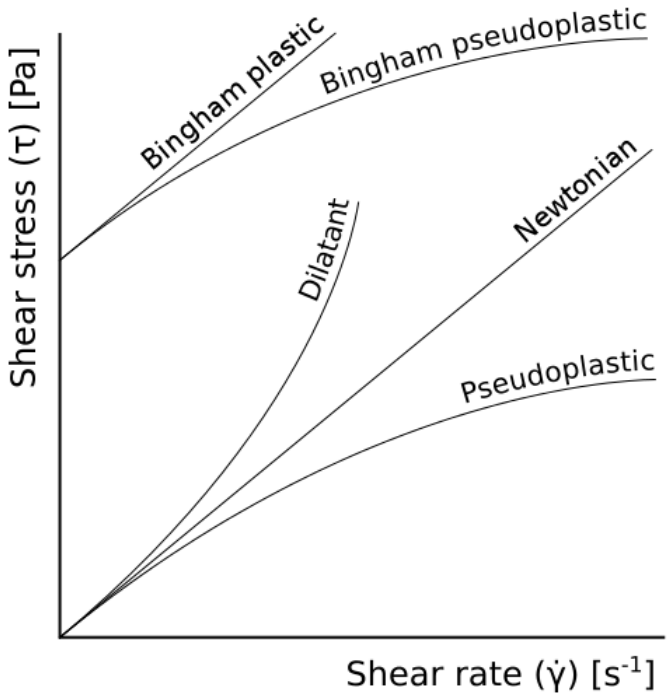
고무 공 내에 공기를 주입하여 주입구를 막고 움켜쥐면 고무공이 압축됨: 기체는 '압축성'
주사기 내에 물을 넣고 바늘구멍을 막은 채 주사기 피스톤을 누르면 압축되지 않음: 액체는 '비압축성'

일반적으로 모든 유체를 압축성이라 가정하고 계산할 수 있지만, 비압축성을 가정할 경우 "밀도 변화가 없으므로"
계산 양을 줄일 수 있어 경제적

CFD 이해를 위한 용어 정리







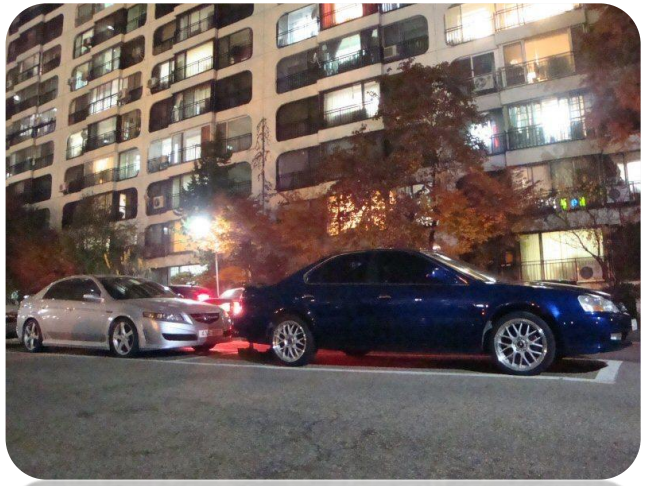
뉴턴 유체 vs. 비뉴턴 유체

Newtonian fluid vs. Non-Newtonian fluid

뉴턴 유체는 shear rate(유속을 수직 방향으로 미분한 것)에 대해 전단응력이 비례하는 특성을 가짐
예컨대 어떤 유체에 막대를 넣고 휘젓는다면, 속도가 두 배 증가할 때 마찰에 의한 저항도 두 배 증가하는 유체가 뉴턴 유체

뉴턴 유체: 물, 공기, 알코올, 기름 등
비뉴턴 유체: 꿀, 혈액, 치약, 페인트 등

CFD 이해를 위한 용어 정리





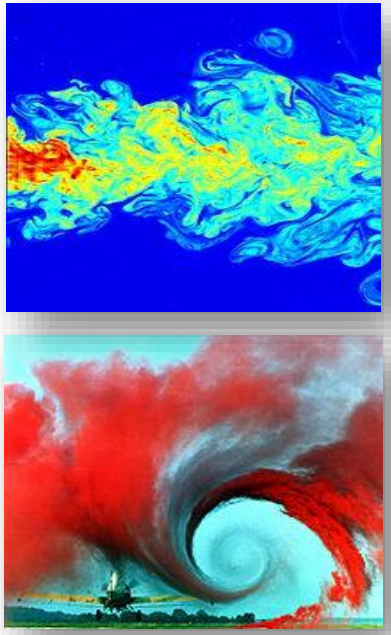
과도상태 VS 정상상태

transient state VS steady state

시동을 켜고 고속도로를 진입하는 동안 엔진의 열은 계속해서 상승 함: 온도가 시간에 따라 변하는 과도 상태
고속도로를 오랜 시간 달리면 차는 동작 중이지만 엔진 온도는 일정하게 유지 됨: 온도가 변하지 않는 정상상태

CFD 이해를 위한 용어 정리





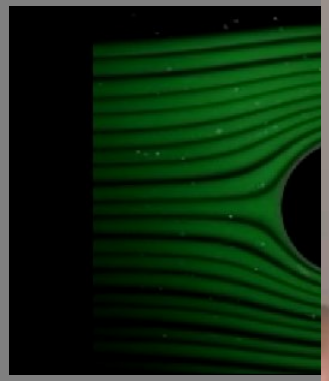
난류형태의 예

난류는 복잡한 소용돌이 형태의 랜덤한 운동으로, 에너지를 소산하고 흐름의 다양성을 만들기 때문에
CFD 에서 반드시 난류를 계산해야 함

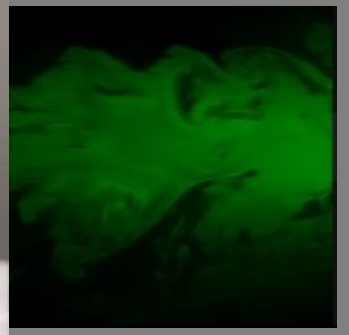
CFD 이해를

- **층류(Laminar Fl**
  - 유체입자들이 가 일어나지 않음)
- **난류(Turbulent F**
  - 유체입자들이 불 류가 활발히 일어남)

층류(La ulent Flow)

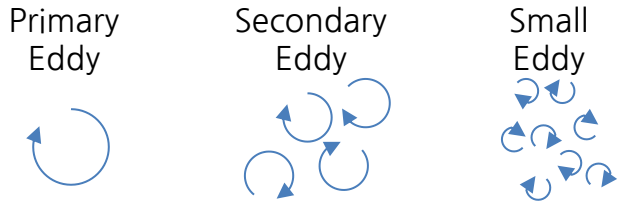






CFD 이해를 위한 기본 정리 : 난류

- **난류 와동(소용돌이, Turbulent Eddy)**
  - 난류는 다양한 크기의 와동으로 구성됨
  - 와동은 시간이 지날수록 작은 크기로 나뉘어지며 결국에는 소산(消散)되어 사라짐

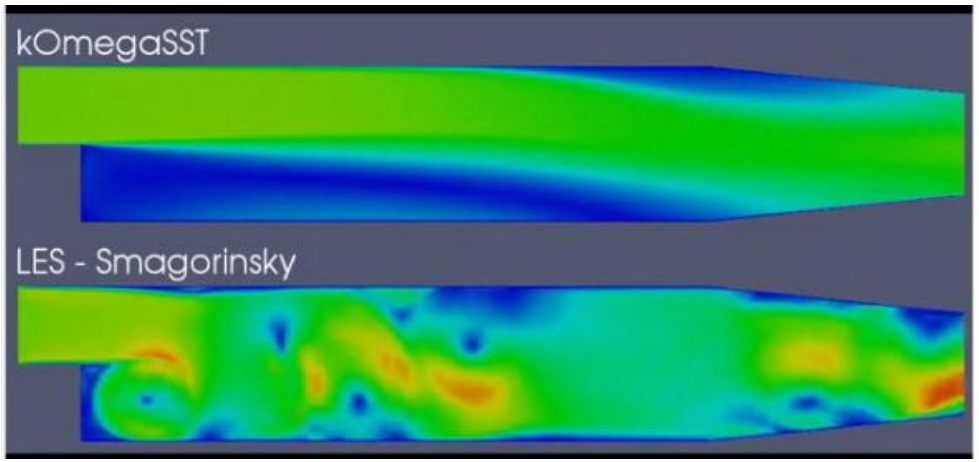




CFD 이해를 위한 기본 정리 : 난류

- **난류모델(Turbulence Model)**
  - 수많은 작은 와동으로 구성된 난류를 CFD로 해석하는 것은 거의 불가능함
  - 난류의 평균적 특성을 수학적으로 모사한 난류모델을 CFD해석에 이용함
  - 이러한 난류모델을 RANS 모델(Reynolds Averaged Navier-Stokes equation)이라고 칭함
    - k-ε, k-ω 등의 난류모델이 많이 사용됨
  - 최근 난류의 와동을 직접적으로 계산하는 방법들이 소개되고 있음
    - LES: Large Eddy Simulation, DNS: Direct Numerical Simulation

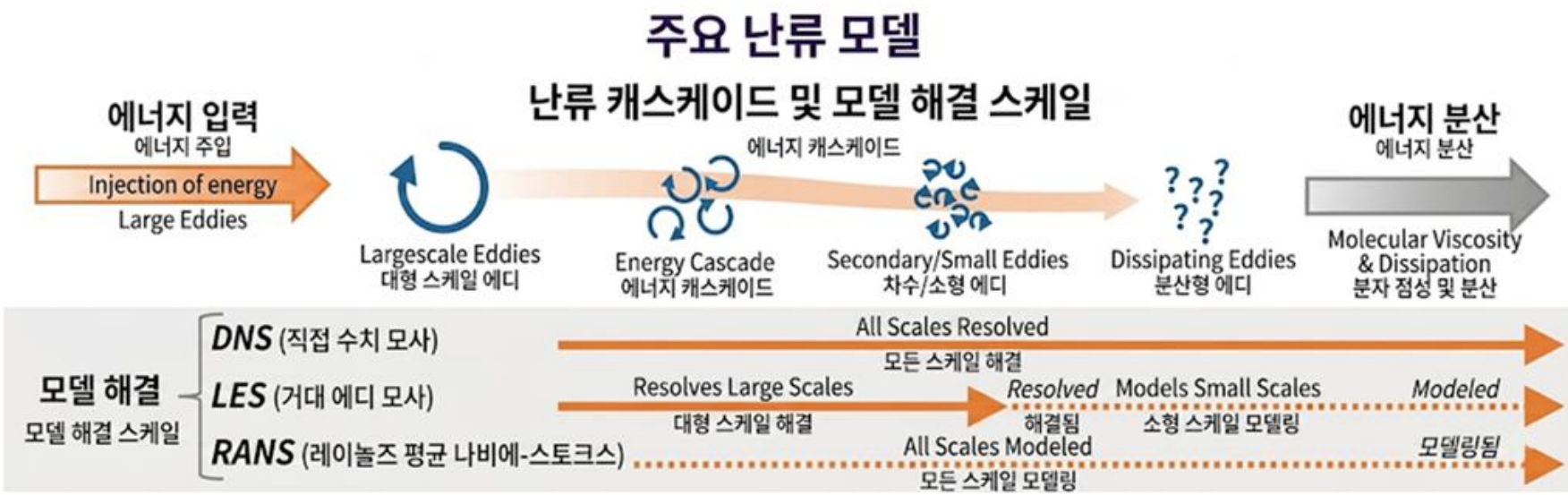
RANS & LES



DNS



CFD 이해를 위한 기본 정리 : 난류

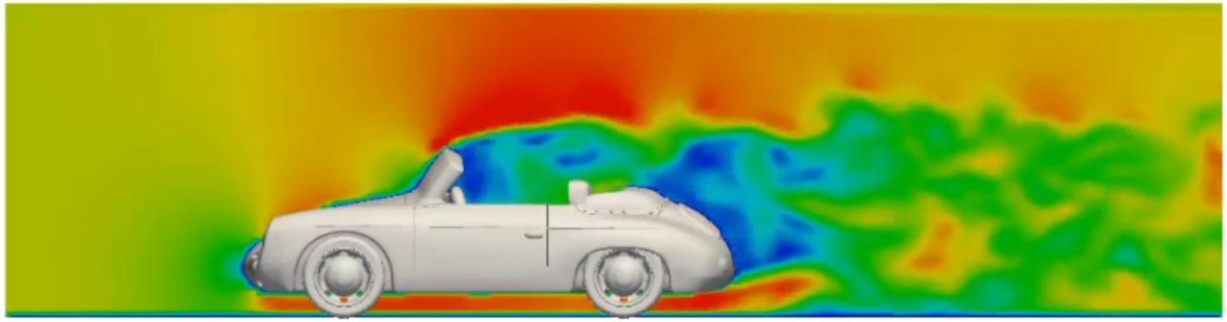


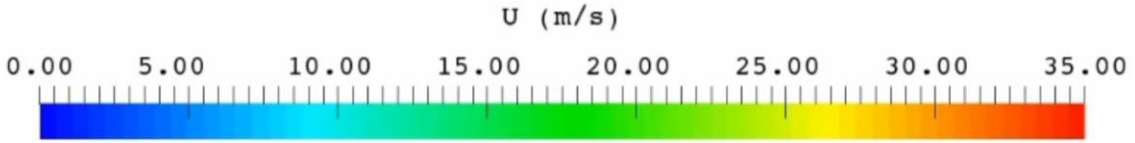
구분	RANS (레이놀즈 평균)	LES (거대 에디 모사)	DNS (직접 수치 모사)
모델 개요	• 시간 평균 유동 해석. k-ε(자유 유동) • k-ω(벽 근처) 하위 모델 사용	• 대형 에디는 직접 해석 • 소형 에디는 모델링 처리	• 모든 에디 스케일을 직접 해석. • 가장 정밀함.
해석 범위	없음 (전체 모델링)	사용자 설정 스케일 이상 (대형 에디)	모든 스케일 (대형 ~ 분산형)
계산 비용	**낮음**	**중간 ~ 높음**	**매우 높음** (연구용)
장점	계산이 빠르고 효율적임.	대형 구조의 상세 해석 가능.	이론적으로 완전 정확함.
단점	세부 구조를 모두 모델링에 의존함.	중간 정도의 비용 발생, 모델링 필요.	실용적으로 사용하기엔 너무 느림.

LES vs RANS해석 결과의 차이

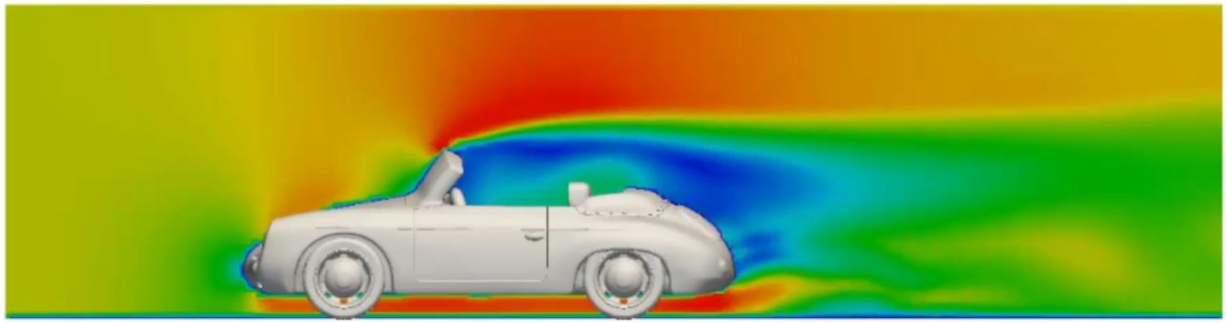
t = 8.100 s

LES



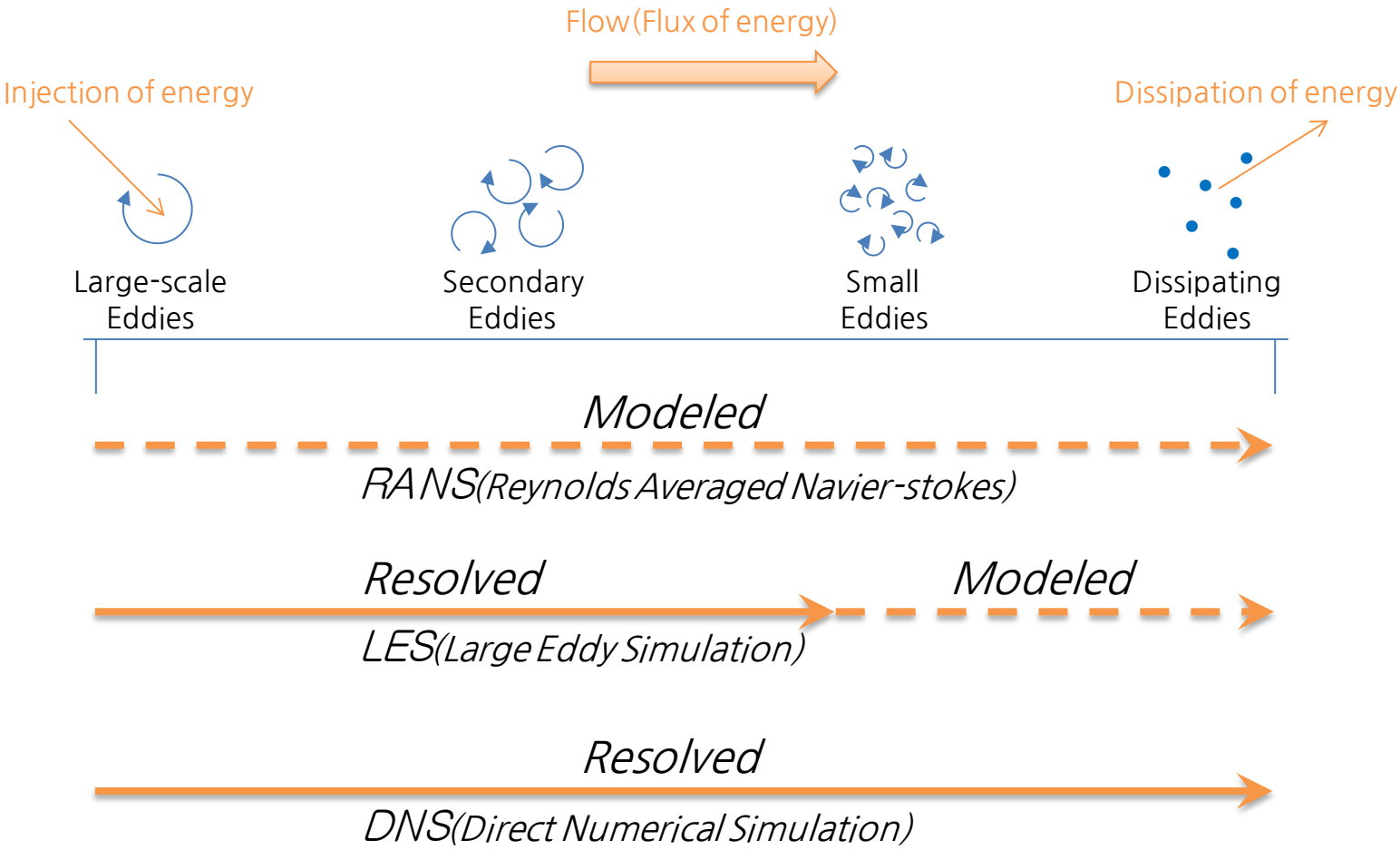


RANS



CFD 이해를 위한 기본 정리 : 난류

- **난류모델(Turbulence Model)**

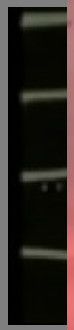


CFD 이해를

- **경계층과 점성(Bo**
  - 유체의 점성효과로 영역
  - 경계층은 시작시점 경계층으로 발달함
  - 벽면에서의 유체의 유속이 점차적으로 증가







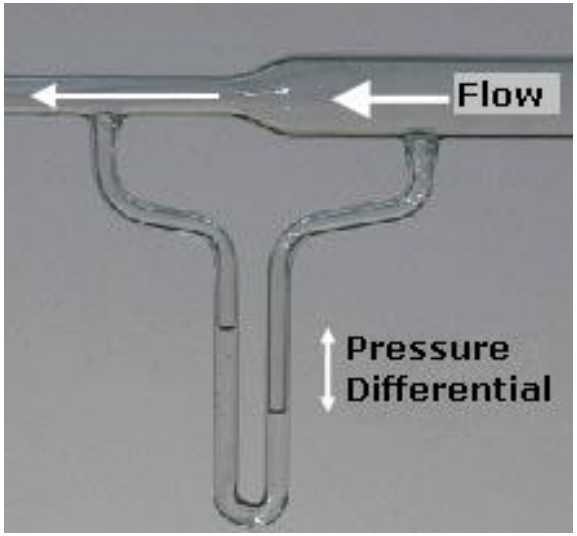
한 경계층 시험 사진>



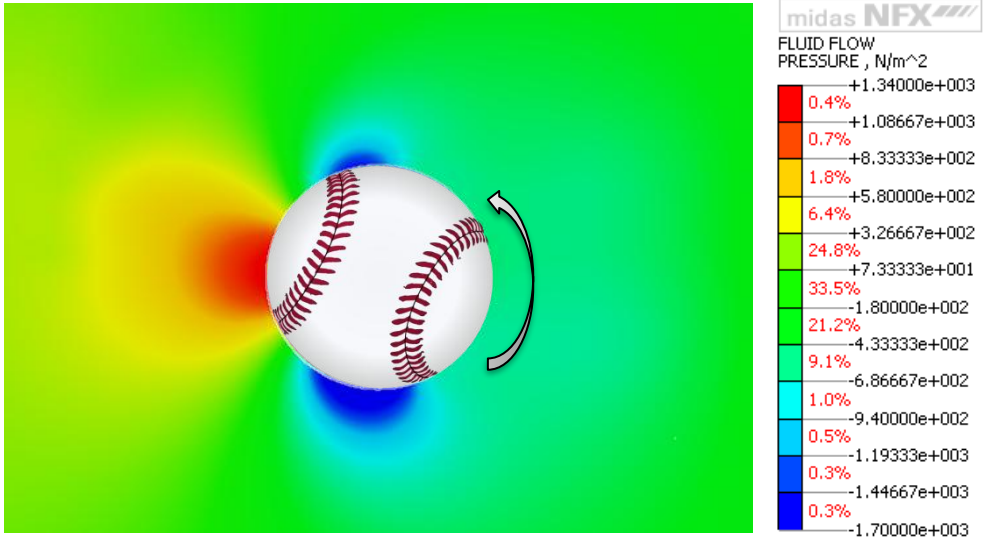
CFD 이해를 위한 용어 정리

- **베르누이 정리 : 유체운동에 대한 에너지보존 법칙**
  - 유체에서 속도의 증가는 압력의 감소를 수반함
  - 정압(Static Pressure) + 동압(Dynamic Pressure) = 전압(Total Pressure)

$$P_0 + \frac{1}{2}\rho V^2 = \text{Constant}$$

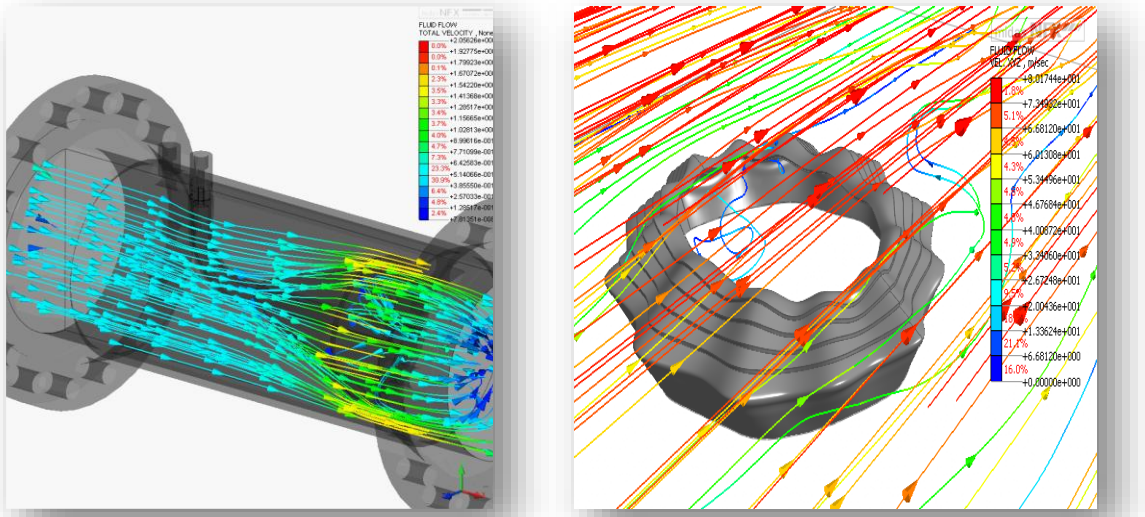


얇은 관의 속도는 굵은 관보다 더 빨라지며,
압력은 낮아진다.



공의 회전으로 윗면 유속은 느려지고, 밑면 유속은 빨라져
압력의 비대칭성이 나타남. 공을 아래로 누르는 힘이 발생하여
공의 경로가 바뀌게 됨

CFD 이해를 위한 용어 정리



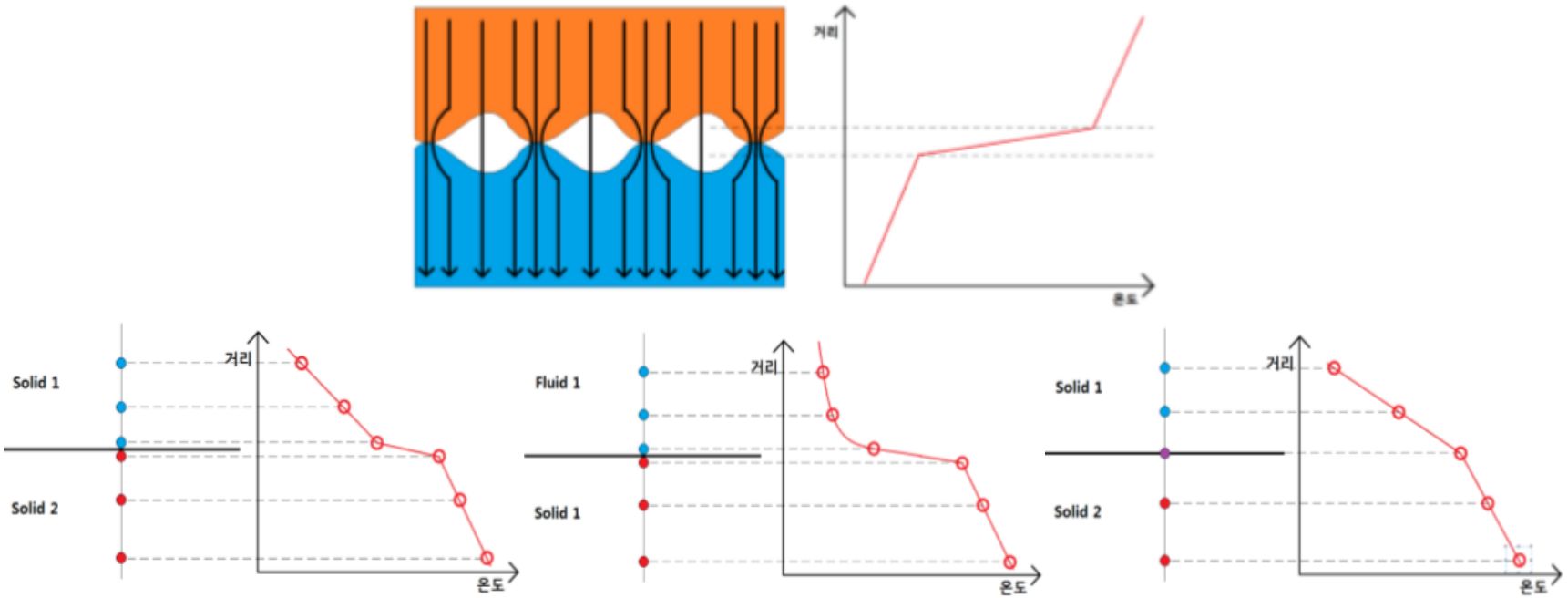
내부유동 VS 외부유동

internal flow VS external flow

내부유동: 벽면으로 유동 영역이 한정되고 유체의 입구와 출구가 명확함
외부유동: 관심 영역인 벽면을 감싸는 커다란 가상의 공간을 상정하여 유동 영역을 정함

경계조건이 해석 결과에 영향을 미치지 않아야 함

CFD 이해를 위한 용어 정리



접촉조건 VS 절점병합

접촉(상수열저항): 각 영역의 절점을 그대로 둔 채 접촉조건 부여, 단순 접촉하는 고체 사이의 경계면에 적용
접촉(열적경계층): 벽면부 유동 물리량을 이용해 유체와 고체 사이의 열유속을 열적 벽함수로 계산해 적용, 유체-고체 사이의 경계면에 적용

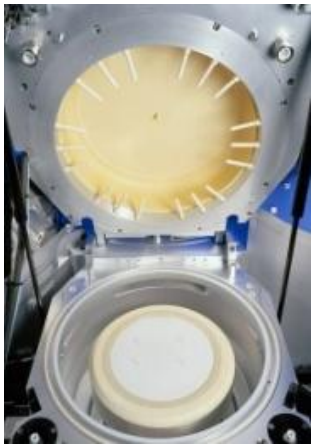
절점병합: 경계면 위에서 마주보는 서로의 절점을 하나로 병합하여 열전달을 계산

CFD 의 기능 : 속도 분석

Overview

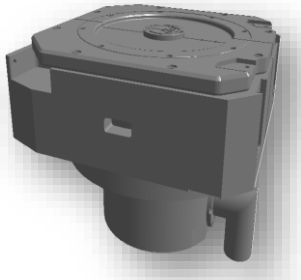
해석의 목적

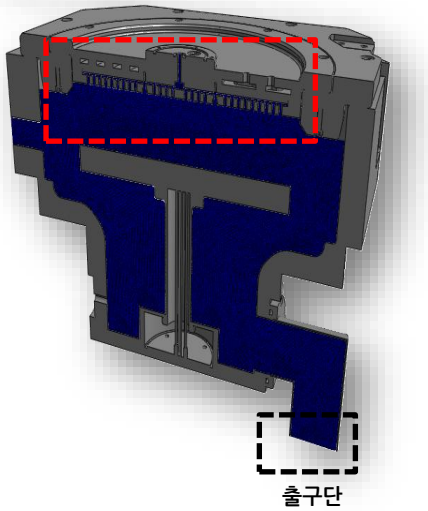
반도체 CVD 장비의 샤워 노즐에 대한 균일 분사 성능 평가



Pre Processing

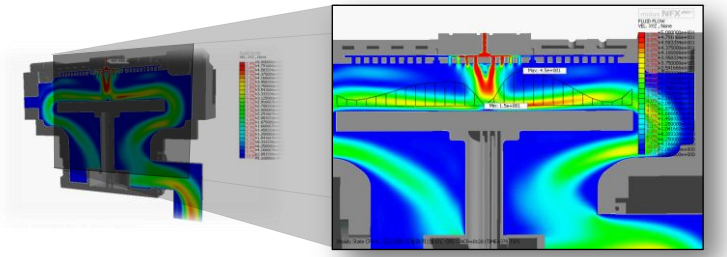
MOCVD 장비



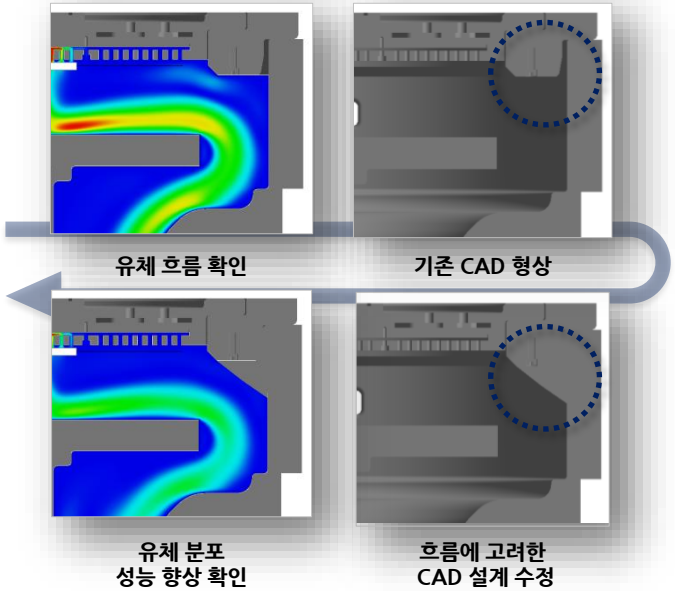


Post Processing

- 유체 균일도 평가를 위해 디스크 위 그래프 생성
- 유속 및 난류 강도 평가



유체 흐름 및 가스 균일도 가시화



CFD 의 기능 : 압력 분석

Overview

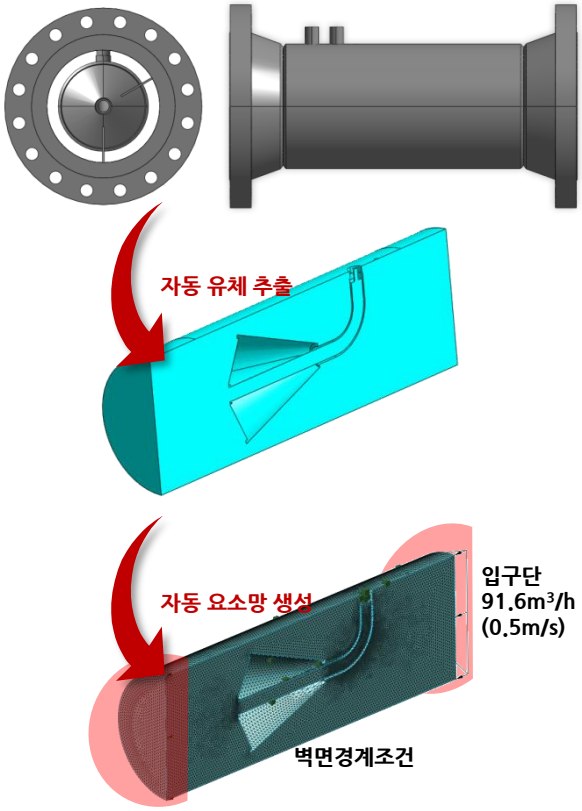
해석의 목적

유량 계측에 이용되는 콘미터 내부 특정 부위의 구조 안전성 판단

유동해석을 통해서 파이프 부위의 유체력을 산출하여, 구조해석으로 연계

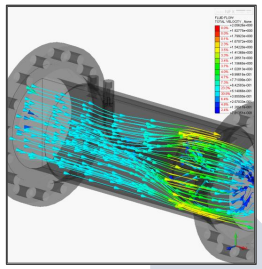


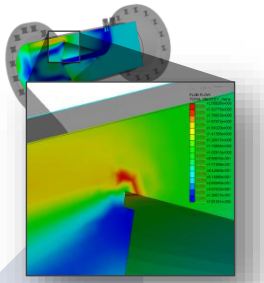
Pre Processing

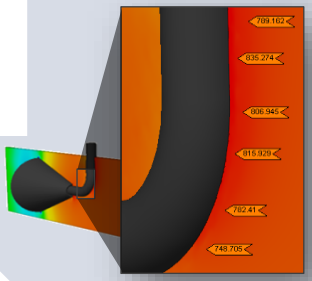


Post Processing

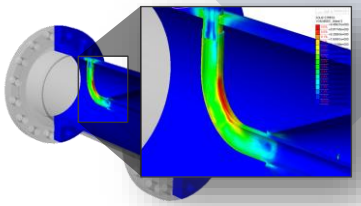
- 유체 속도 및 압력 분포 확인
- 유체 고속 구간 확인
- 응력 및 변위 결과 확인 : 응력 최대 9.5N/mm², 변위 최대 0.18mm

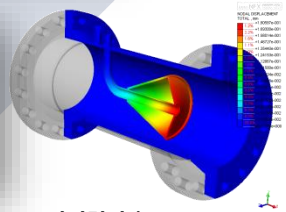

파이프- 콘미터 유체 흐름


유동 고속 현상 관찰



파이프 부분 유압 산정


응력결과 (Max = 9.5N/mm2)


변위결과 (Max = 0.18mm)

CFD 의 기능 : 온도 분석

Overview

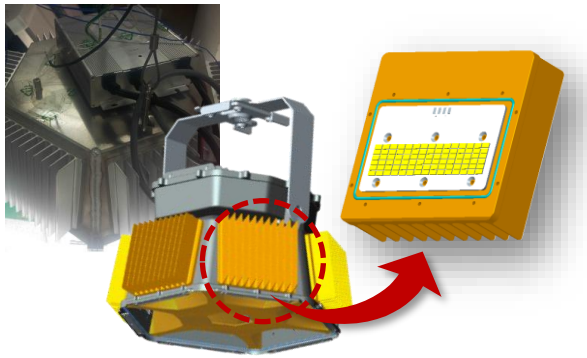
해석의 목적

공기 중 LED 시스템의 자연대류 방열 해석 분석

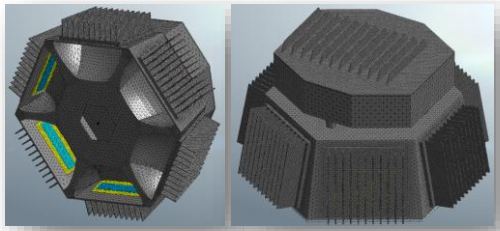
LED 정션 온도 측정을 통한 제품 열 안전성 평가



Pre Processing



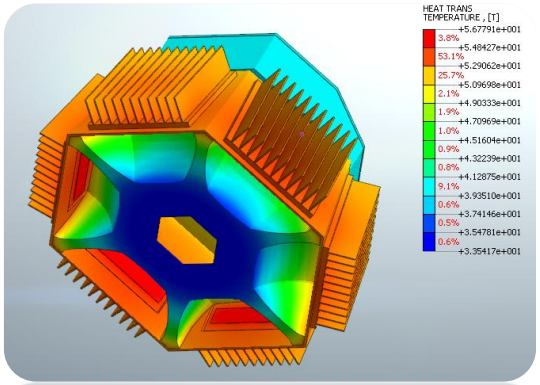
해석 모델링



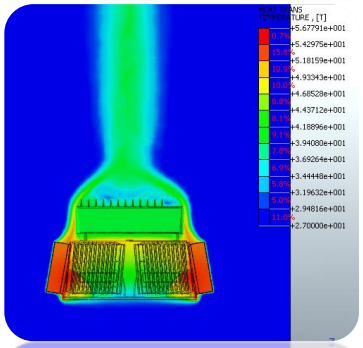
요소망 작성

Post Processing

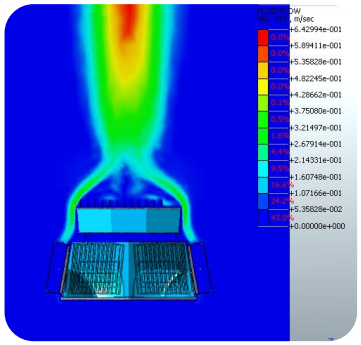
- 유체의 온도 및 속도 분포 확인 : 히트싱크 성능 평가
- 고체부 온도 평가를 통한 정션온도 안전성 평가



고체부 온도



전체 온도 분포



유체 속도 분포

CFD 의 기능 : 제품 이동/회전 영향 분석

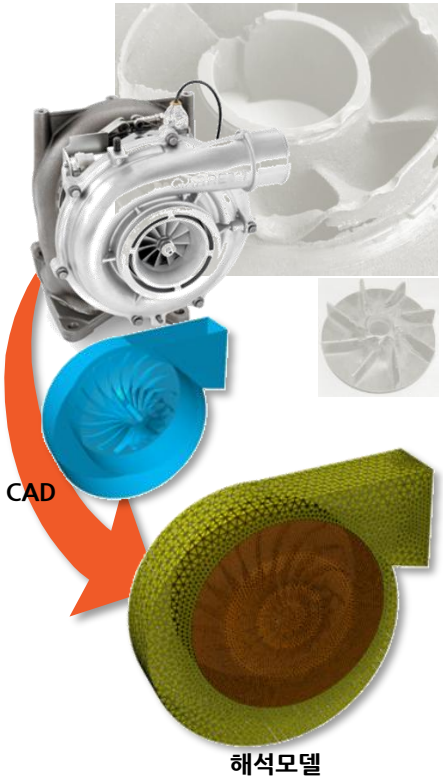
Overview

해석의 목적

블레이드 회전에 의한 유동 발생 시스템인 터보차저의 토출 성능 평가

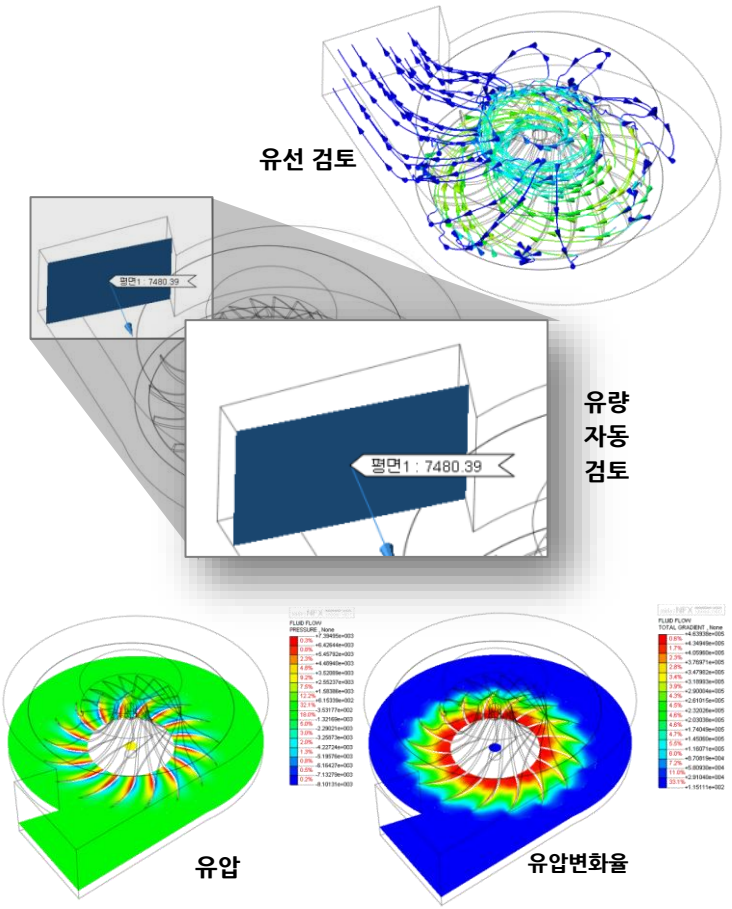


Pre Processing



Post Processing

- 유량 자동 검토 기능을 통해 유량 확인 가능
- 유체 흐름 검토 가능
- 블레이드 작용 하중 평가를 통한 정성적 구조 안전성 확인 가능



CFD 의 기능 : 물질 농도 분석

Overview

해석의 목적

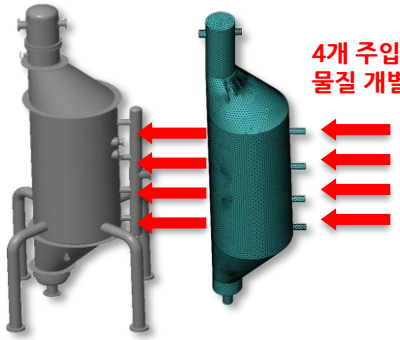
혼합 탱크의 물질 혼합 성능을 평가하기 위해 CFD 해석 수행

형상 수정 및 물질 농도 평가를 통해 혼합 성능 평가

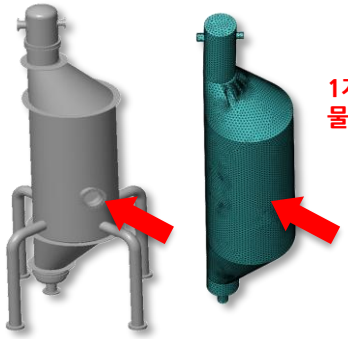


Pre Processing

CASE1



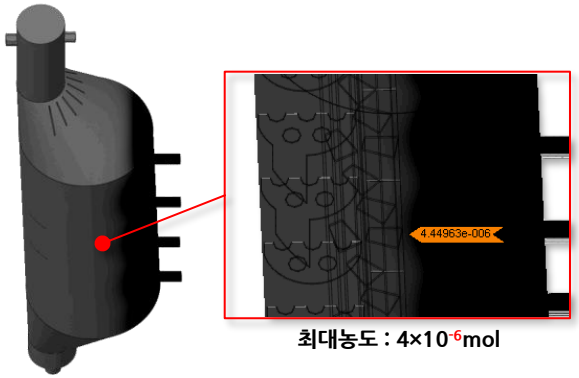
CASE2



Post Processing

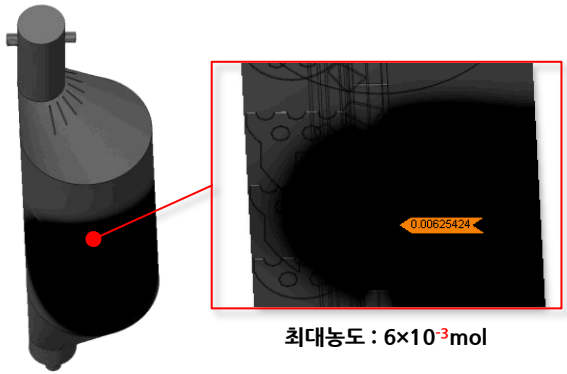
- 형상 변경에 대한 목표 지점 농도 평가
- 유입구 소형 4개 에서 유입구 대형 1개로 설계 변경 시 목표 부위의 농도 상승

CASE1



최대농도 : 4×10^{-6}mol

CASE2



최대농도 : 6×10^{-3}mol

CFD 의 기능 : 수면 거동 분석

Overview

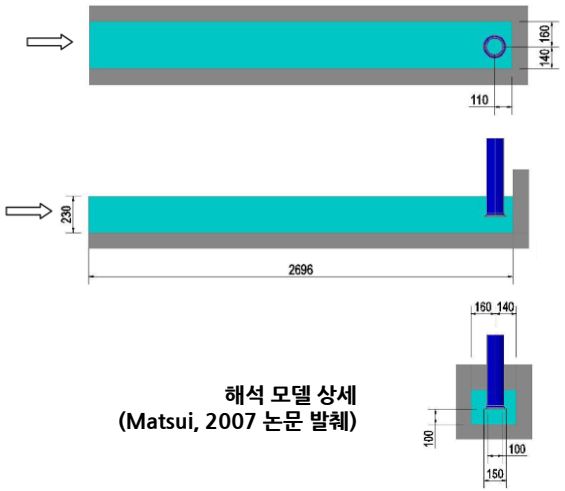
해석의 목적

와류현상 제어를 위한 유동해석 적용

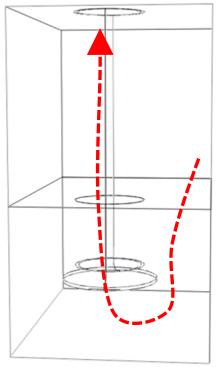
와도 결과 항목 검토를 통한 와류 평가 해석 가능성 검토



Pre Processing



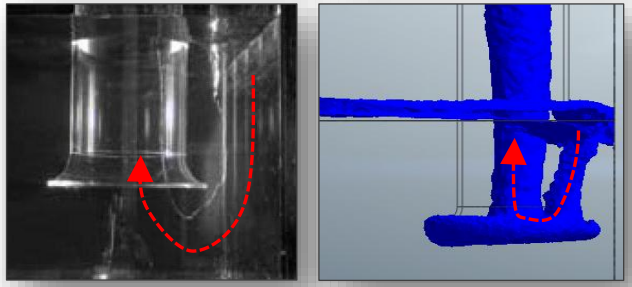
해석 모델 상세
(Matsui, 2007 논문 발췌)



NFX 기하형상 및
유체 흐름 방향

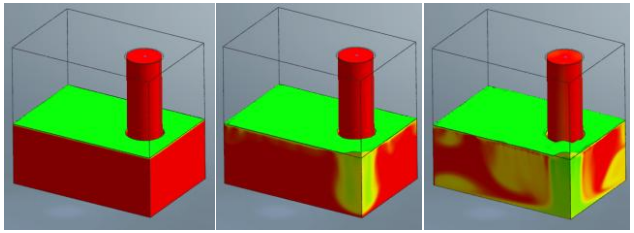
Post Processing

- 시간에 따른 유체 거동 평가
- 와도 분석을 통한 펌핑 성능 영향 인자 분석

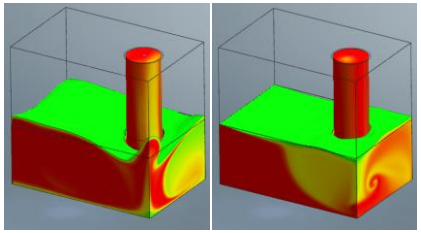


실험을 통한 와류 평가 (좌) NFX2013 을 이용한 와도 예측 (우)

시간 이력에 따른 자유수면 기술



1.0 s　　2.0 s　　3.0 s



4.0 s　　5.0 s

CFD 의 기능 : 구조해석 연계 (1) - 힘

Overview

해석의 목적

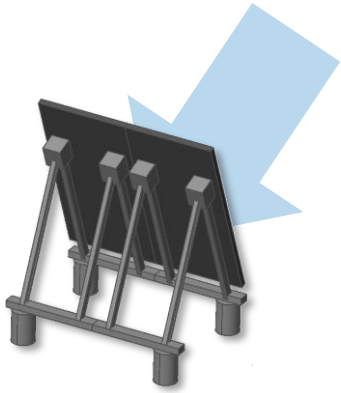
형상이 복잡해 기존의 풍하중 공식 및 데이터를 적용할 수 없는 경우에 대한 풍하중 산출 계산 수행 가능

유동해석을 통해 구해진 유체력을 구조해석과 연계하여 구조해석 수행 가능

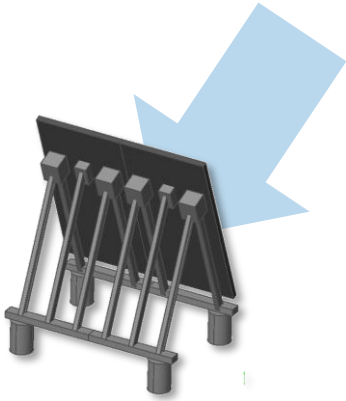


Pre Processing

CASE1
초기 설계 타입

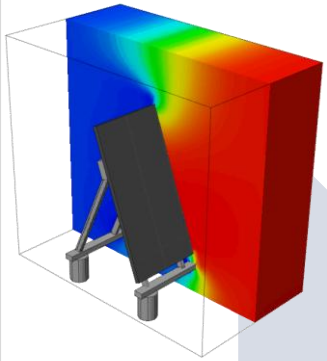


CASE2
지지부 보강 타입

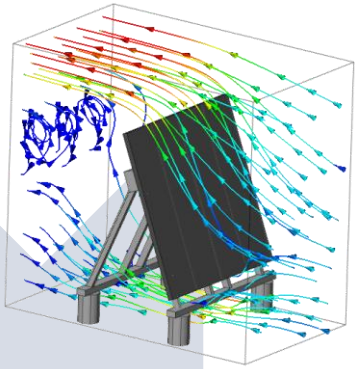


Post Processing

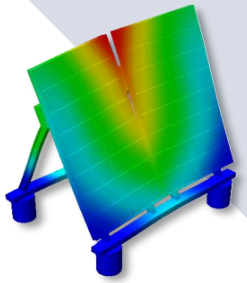
- 압력 데이터를 통한 풍압 산출
- 형상 변경에 다른 응력 산출
- 형상 변경 전 응력 : 2.88×10^{7}Pa / 변경 후 응력 : 2.88×10^{7}Pa



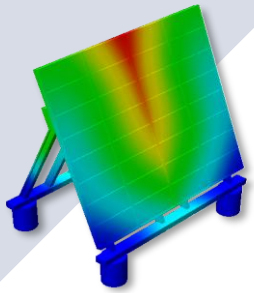
전지판 전면 풍압 검토



바람 흐름 및 난류 분석



Case1 제품 변형량
최대응력 $2.88X10^{7}$



Case2 제품 변형량
최대응력 $2.47X10^{7}$

CFD 의 기능 : 구조해석 연계 (2) - 열

Overview	Pre Processing	Post Processing

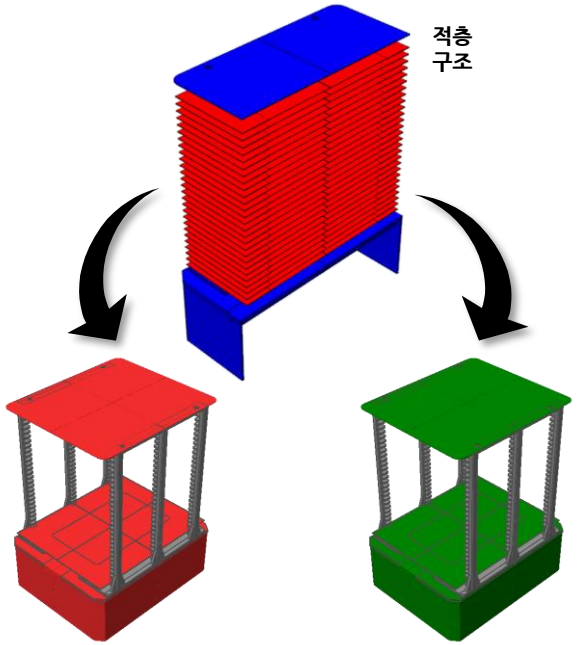
해석의 목적

반도체 적층 장비에 대한 열 안전성 평가

열 안전성 확보를 위한 적층지지단 재료 변경

해석 온도 값 연계를 통한 열 팽창 평가





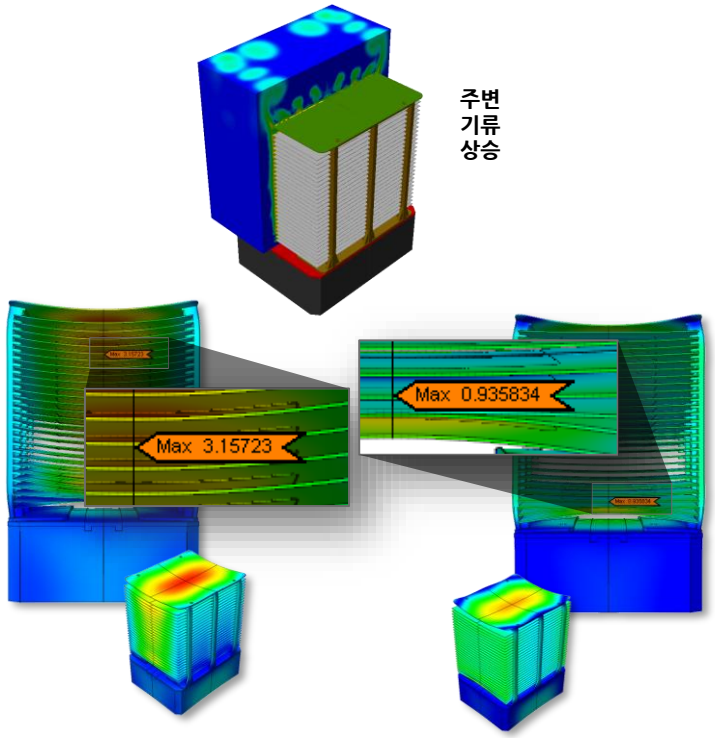
CASE 1

재료 A 사용

CASE 2

재료 B 사용

- 재료 A 이용 시 3mm 변형 발생한 설계 문제에 대하여 재료 변형을 통해 열변형을 1mm 이하로 줄임
- 온도 흐름 평가 및 구조부 고체 온도 파악 가능



CASE 1

3mm 열변형 발생

CASE 2

열변형 1mm 이하

모듈에 대한 이해



연기의 확산
[물질확산 모듈]
물질의 확산에 따른
농도 변화를 분석

주변의 바람
[일반유동 모듈]
비압축성 유체의 거동을 분석

뜨거운 굴뚝
[열전달 모듈]
유체와
유체가 접해있는 고체의
열전달을 분석

자유수면의 파도
[자유수면 모듈]
액체와 기체 사이의 수면을 계산

선박의 움직임
[요소망변형 모듈]
벽면의 이동이 유체에 미치는
영향을 파악

CFD 의 모듈 : CFD 의 기능을 해석 목적 및 확인 결과 항목 따라 구분해 놓은 단위

모듈에 대한 이해

■ **일반유동 모듈**

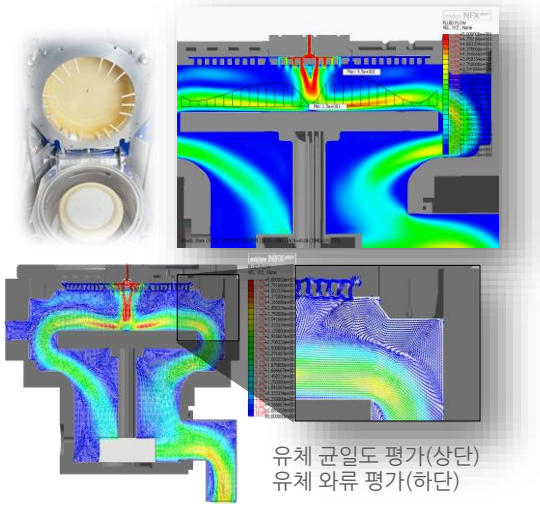
: CFD 기본 모듈로 기체 또는 액체의 흐름을 속도, 압력 그리고 난류 값을 통해 나타내는 기능

■ **일반유동 모듈의 입력과 출력 및 시뮬레이션 활용**

입력	유체밀도, 유체점성, 난류 계산 여부, 제품의 유체 흐름 환경 (유량·유속, 유압, 제품 표면 조건)
결과	속도, 압력, 난류강도, 벽면전단응력, **구조해석 연계를 통한 응력 변위 분석 가능** 등
결과 활용	유체 흐름·분포도, 제품 작용 유체력, 단면의 유량 평가, 유체 정체 구역 확인 등

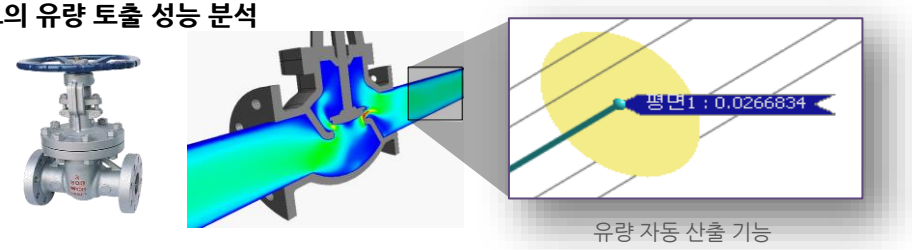
>> 유체의 일반적인 흐름 분석

반도체 웨이퍼 가스 분사 성능



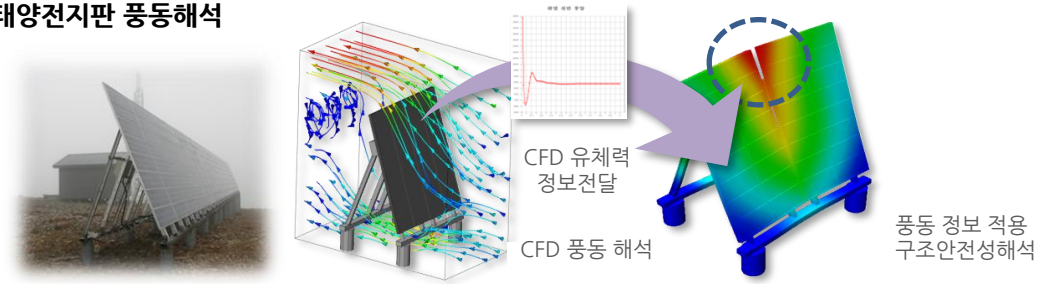
유체 균일도 평가(상단)
유체 와류 평가(하단)

밸브의 유량 토출 성능 분석



유량 자동 산출 기능

태양전지판 풍동해석



CFD 유체력
정보전달

CFD 풍동 해석

풍동 정보 적용
구조안전성해석

모듈에 대한 이해

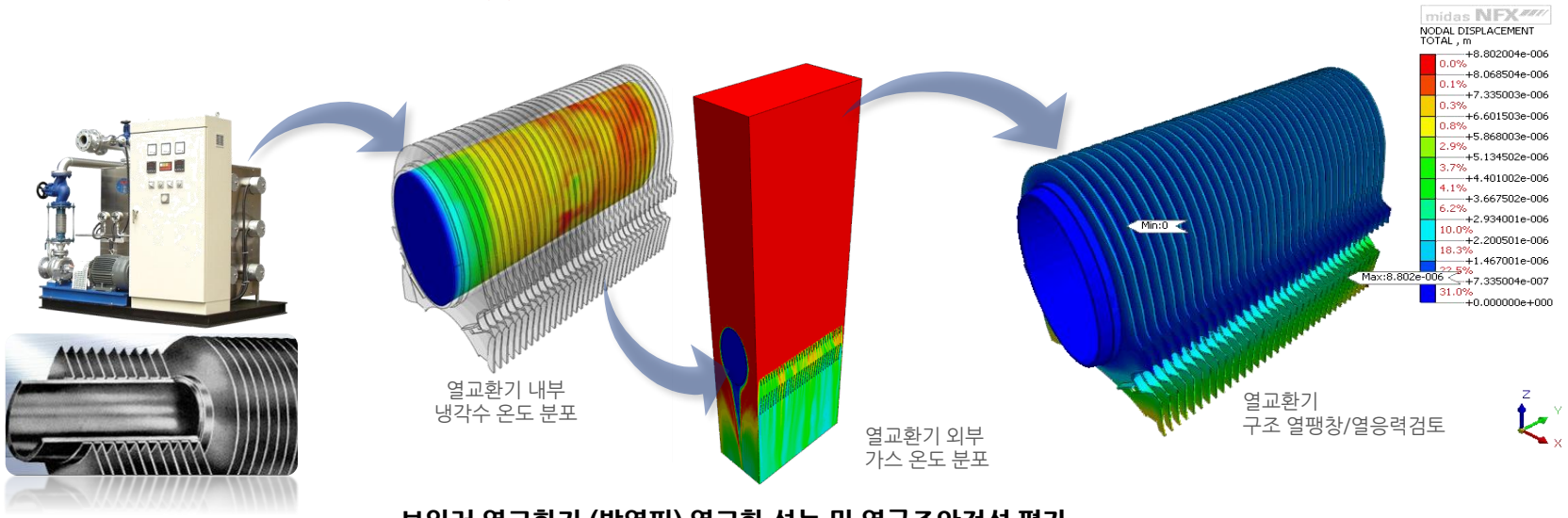
■ **열전달 모듈**

: 제품과 유체의 자체적인 전도와 대류 열전달 풀고 상호 열교환을 분석하여 온도를 규명하는 모듈

■ **열전달 모듈의 입력과 출력 및 시뮬레이션 활용**

입력	유체전도율, 유체비열, 고체밀도, 고체전도율, 고체비열, 제품의 열 관련 환경 (발열조건)
결과	온도, 열유속
결과 활용	구조해석 연계를 통한 열팽창, 열응력 분석 가능
비고	일반유동 모듈 (대류분석에 반드시 필요) / 요소망 변형 모듈과 함께 이용 가능

>> 유체와 고체의 온도·열전달 분석



보일러 열교환기 (방열핀) 열교환 성능 및 열구조안전성 평가

모듈에 대한 이해

■ **요소망 변형 모듈**

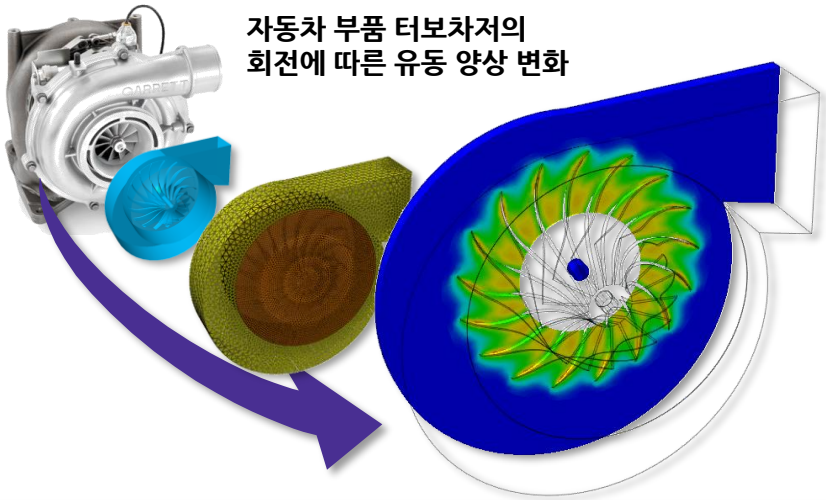
: 유체 관련 제품이 이동/회전하여 유체가 흐르는 영역이 변화할 때 이를 해석에 반영하는 기능

■ **요소망변형 모듈의 입력과 출력 및 시뮬레이션 활용**

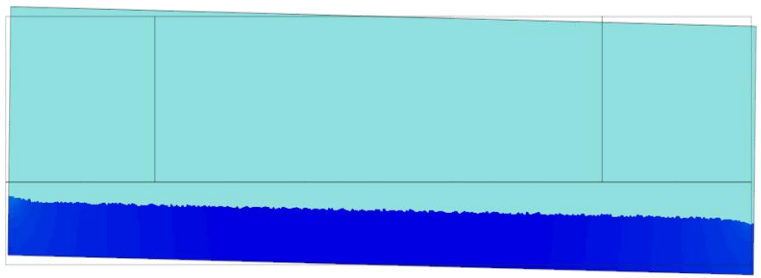
입력	제품의 이동 및 회전 조건, 제품의 질량, 질량 중심, 구속조건
결과	요소망 변형 값
결과 활용	유동 분석 영역의 변화 (블레이드 및 팬의 회전 운동, 해상 부유체의 자유동적운동)
비고	일반유동 모듈, 열전달 모듈, 자유수면 모듈과 함께 이용 가능

>> 제품의 이동/변형/회전에 의한 유체 계산영역 변화 적용

자동차 부품 터보차저의
회전에 따른 유동 양상 변화



탱크의 슬로싱 분석



※ 일반유동모듈+자유수면모듈+요소망변형모듈 적용

모듈에 대한 이해

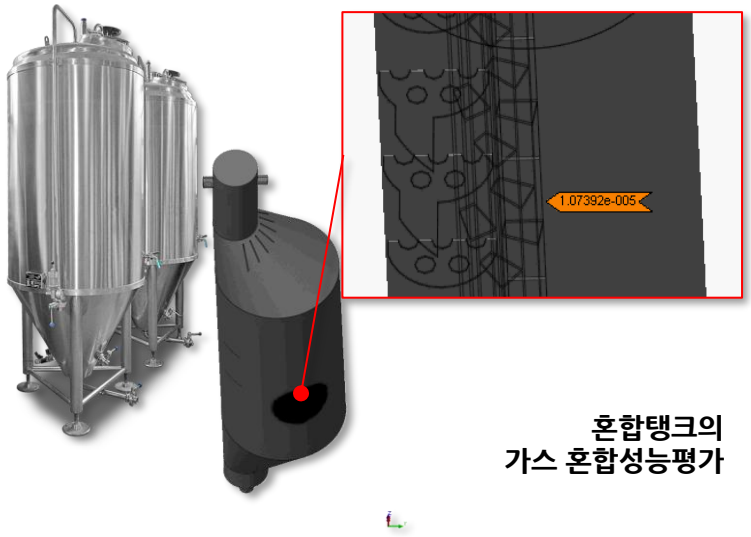
■ **물질확산 모듈**

: 유체를 따라 확산계수를 가지고 흐르는 물질을 정의하여 제품 주변에 물의 농도 분포를 평가하는 기능

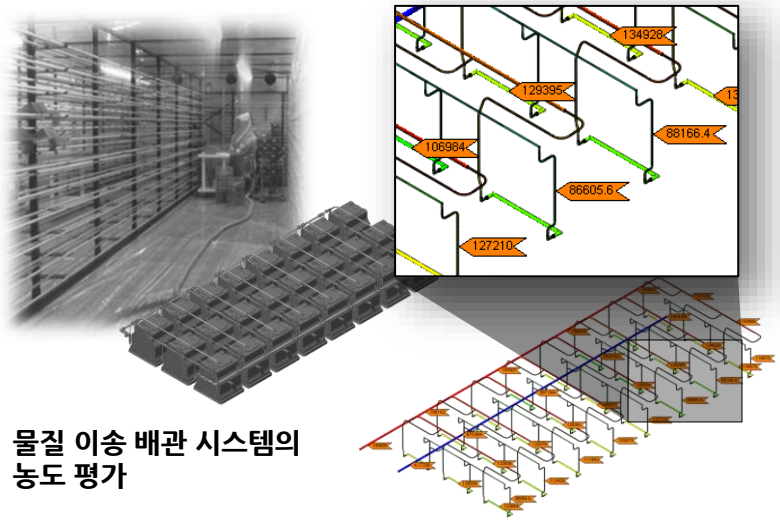
■ **물질확산 모듈의 입력과 출력 및 시뮬레이션 활용**

입력	물질정의 (확산계수 포함), 제품의 물질 관련 환경
결과	농도
결과 활용	유체 내부 농도 확산 분포
비고	일반유동 모듈과 함께 이용 가능

>> 유체에 흐르는 물질의 농도 확인



혼합탱크의
가스 혼합성능평가



물질 이송 배관 시스템의
농도 평가

모듈에 대한 이해

■ 자유수면 모듈

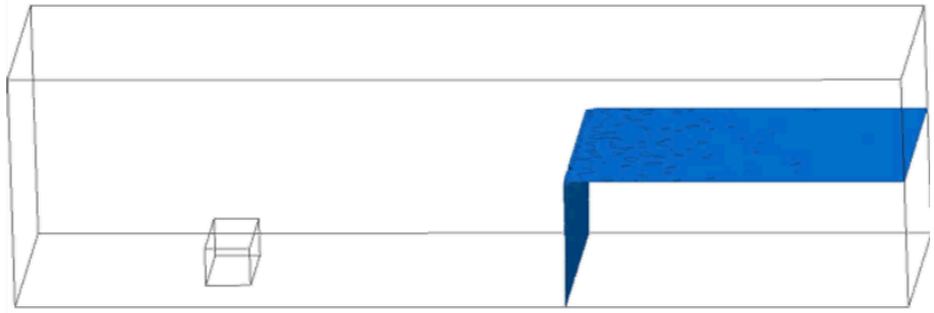
: 기체와 액체가 경계면(자유수면)을 가지고 시스템에 함께 존재할 때 이를 분석하는 기능

■ 자유수면 모듈의 입력과 출력 및 시뮬레이션 활용

입력	초기 경계면(자유수면) 위치, 제품 자유수면 환경
결과	자유수면 위치, 액체와 기체의 흐름
결과 활용	자유수면에 의한 부유체 거동 (요소망변형 모듈 병행), 자유수면에 의한 파력
비고	일반유동 모듈, 요소망변형 모듈과 함께 이용 가능

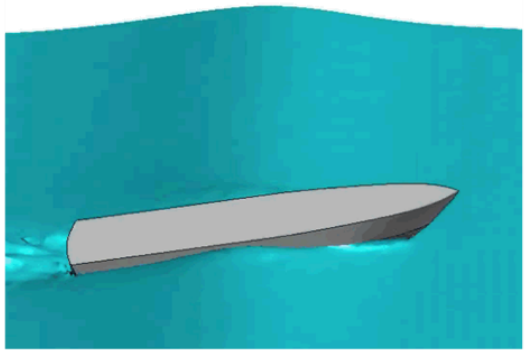
>> 기체-액체-자유수면의 거동 확인

댐 붕괴 후 하류부분 구조물의 하중평가



해변 파력 및 파형 검토





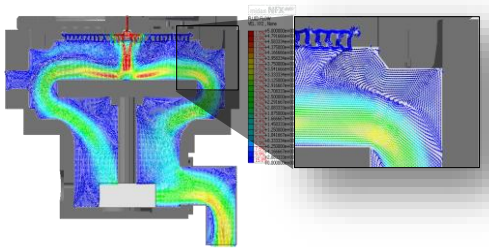
해상부유체(선박)의 안정성 검토

모듈에 대한 이해

일반유동 모듈

속도/압력/난류 결과 확인

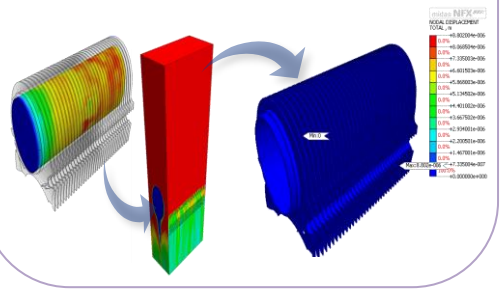
반도체 장비 내부·클린룸 기류 해석
밸브 배관 / 풍동 검토 / 노즐 등



열전달 모듈

온도 결과 확인

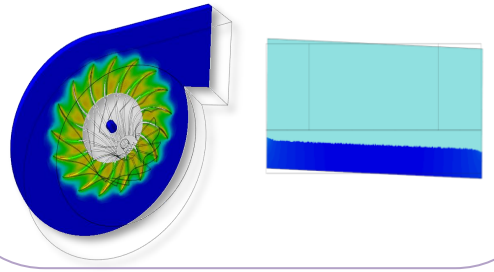
기계 장비 냉각/가열 성능
열교환기 열전달 성능 평가 등



요소망변형 모듈

계산 중 제품 회전/이동 적용

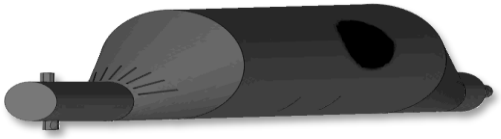
풍력발전 블레이드 구조안정성
로터리 거동에 따른 성능평가 등



물질확산 모듈

농도결과 확인

기계장비 내부 물질 혼합 성능 / 오염확산 평가 등



자유수면 모듈

자유수면 위치 계산

파력, 슬로싱 / 선박 포함 해상부유체 거동 파악 등



midas NFX
TOTAL SOLUTIONS FOR TRUE ANALYSIS-DRIVEN DESIGN

midas NFX CFD
기본유동해석 교육

Part 0. CFD 입문자를 위한 이론의 이해

Part 1. CFD 기본개념의 이해

Part 2. CFD를 위한 올바른 모델링과 해석 수행방법

Part 3. 일반유동 모듈의 이해

Part 4. 예제로 살펴보는 일반유동 모듈

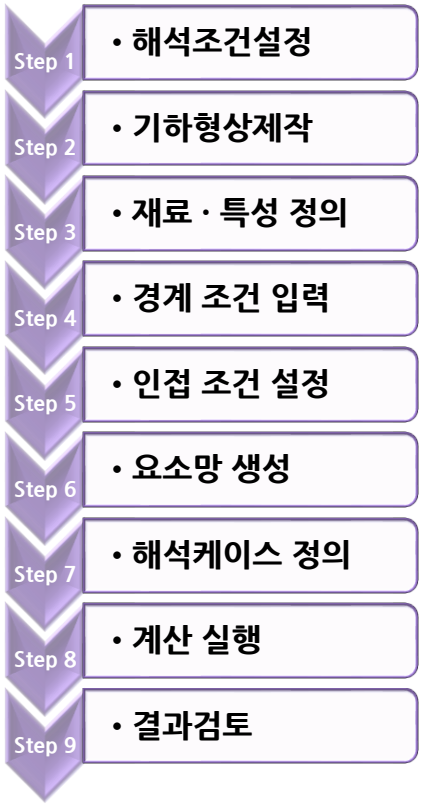
Part 5. 열유동 모듈의 이해

Part 6. 예제로 살펴보는 열유동 모듈

Contents

CFD 해석 과정

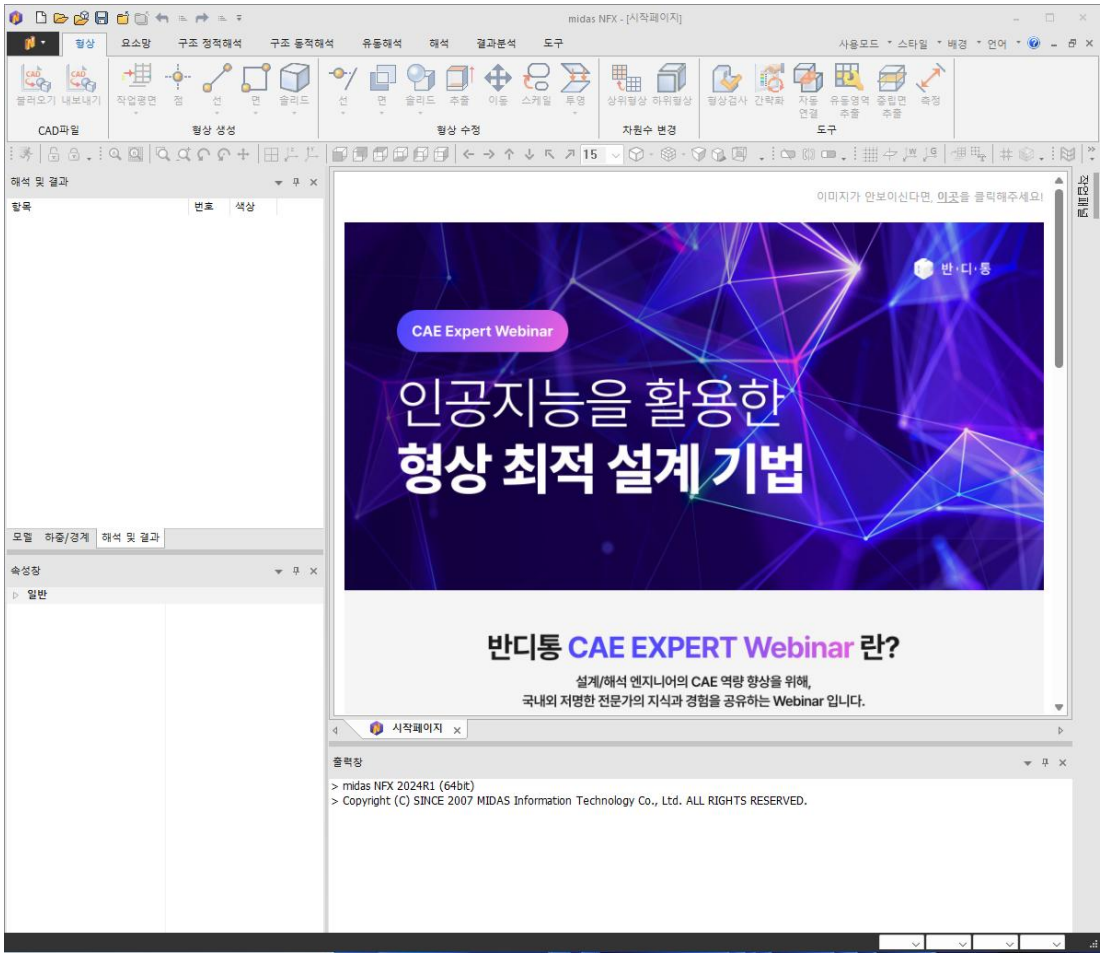
9단계를 통해 모든 CFD 해석 수행 가능



CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

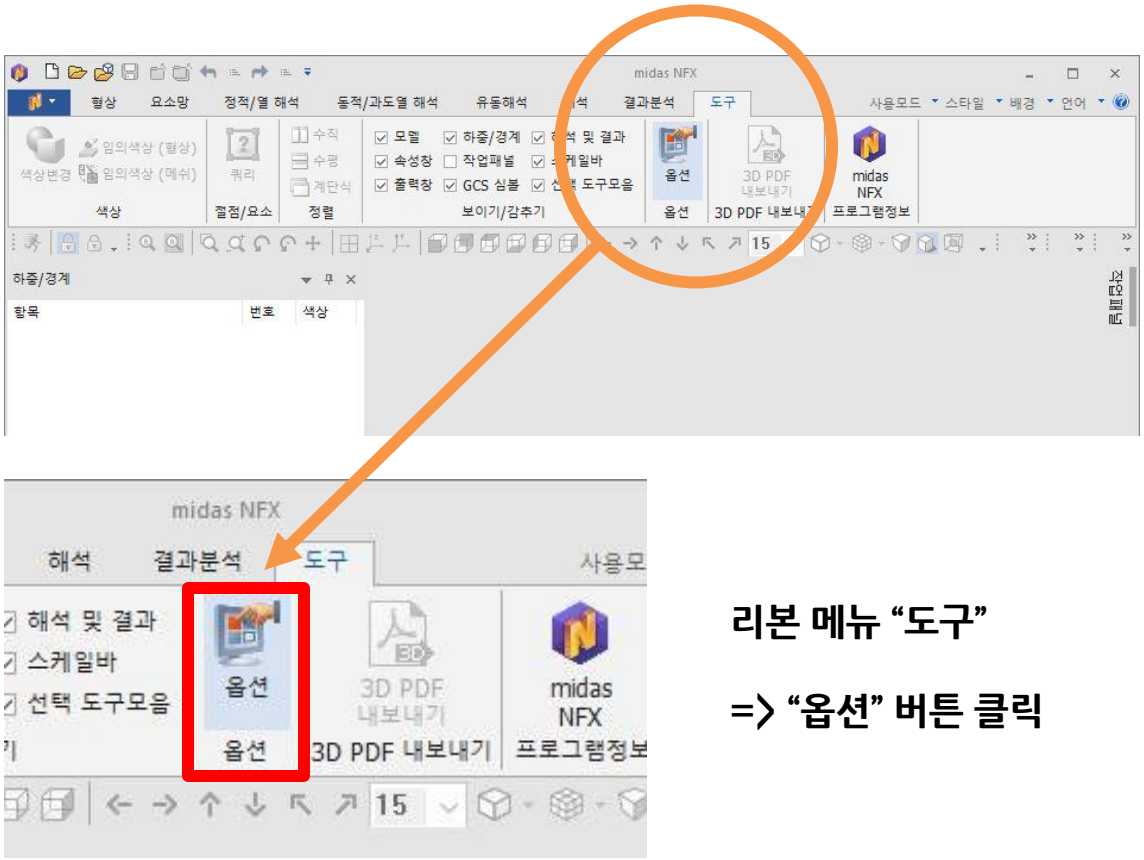
midas NFX 실행



CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

옵션 설정



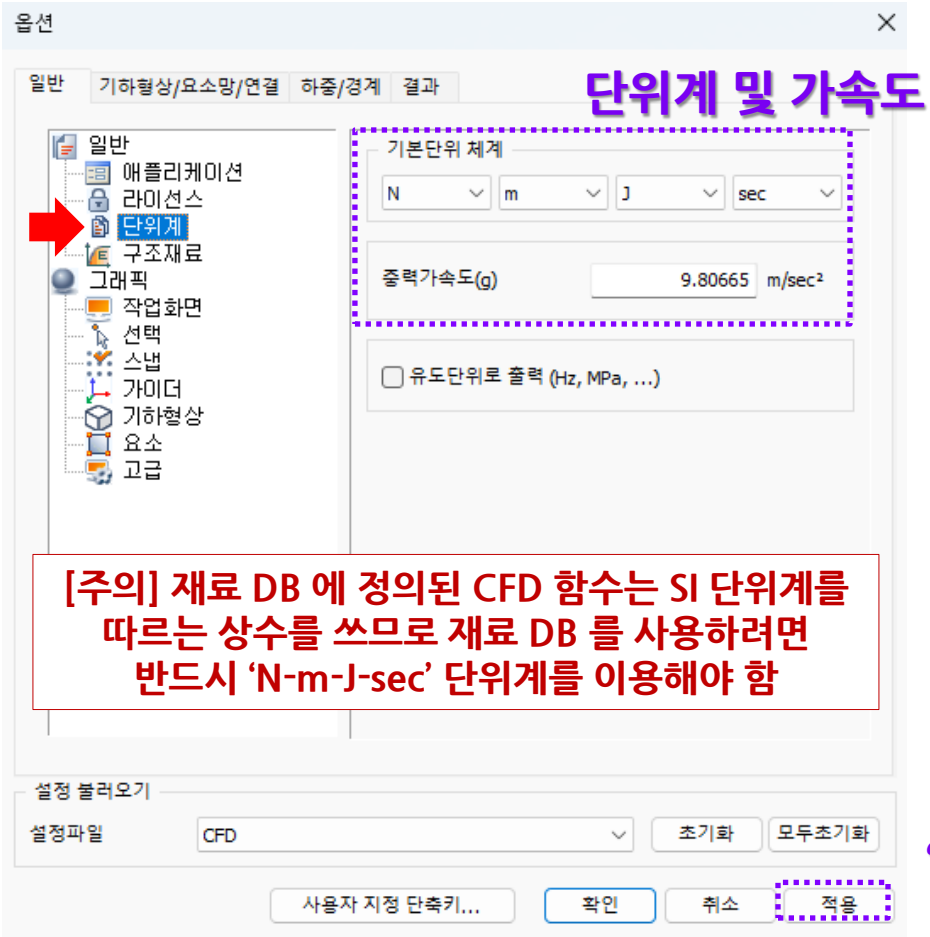
리본 메뉴 “도구”

=> “옵션” 버튼 클릭

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

"옵션" 창 > "일반" 탭 > "단위계" 트리



단위계 및 가속도 확인

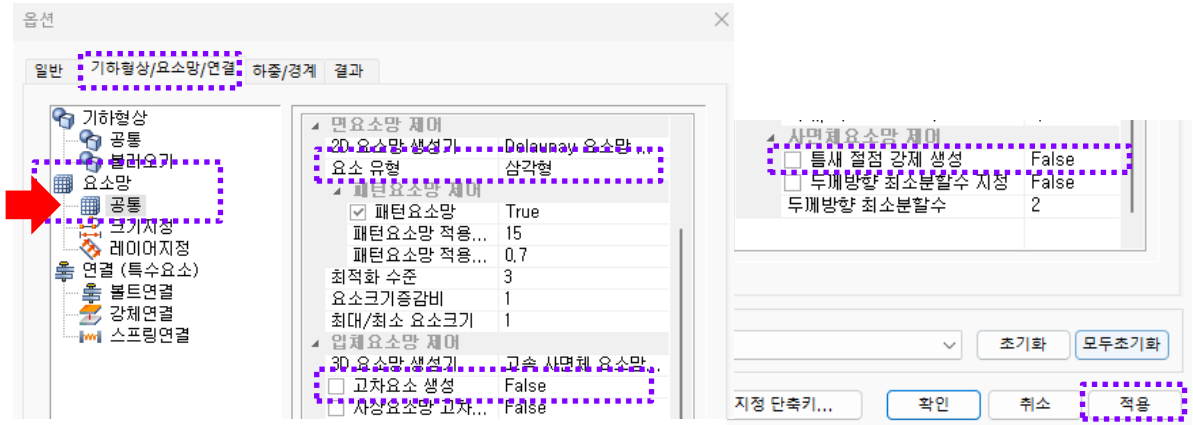
[주의] 재료 DB 에 정의된 CFD 함수는 SI 단위계를 따르는 상수를 쓰므로 재료 DB 를 사용하려면 반드시 'N-m-J-sec' 단위계를 이용해야 함

"적용" 클릭

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

"옵션" 창 > "기하형상/요소망/연결" 탭 > "요소망" 트리 > "공통" 트리



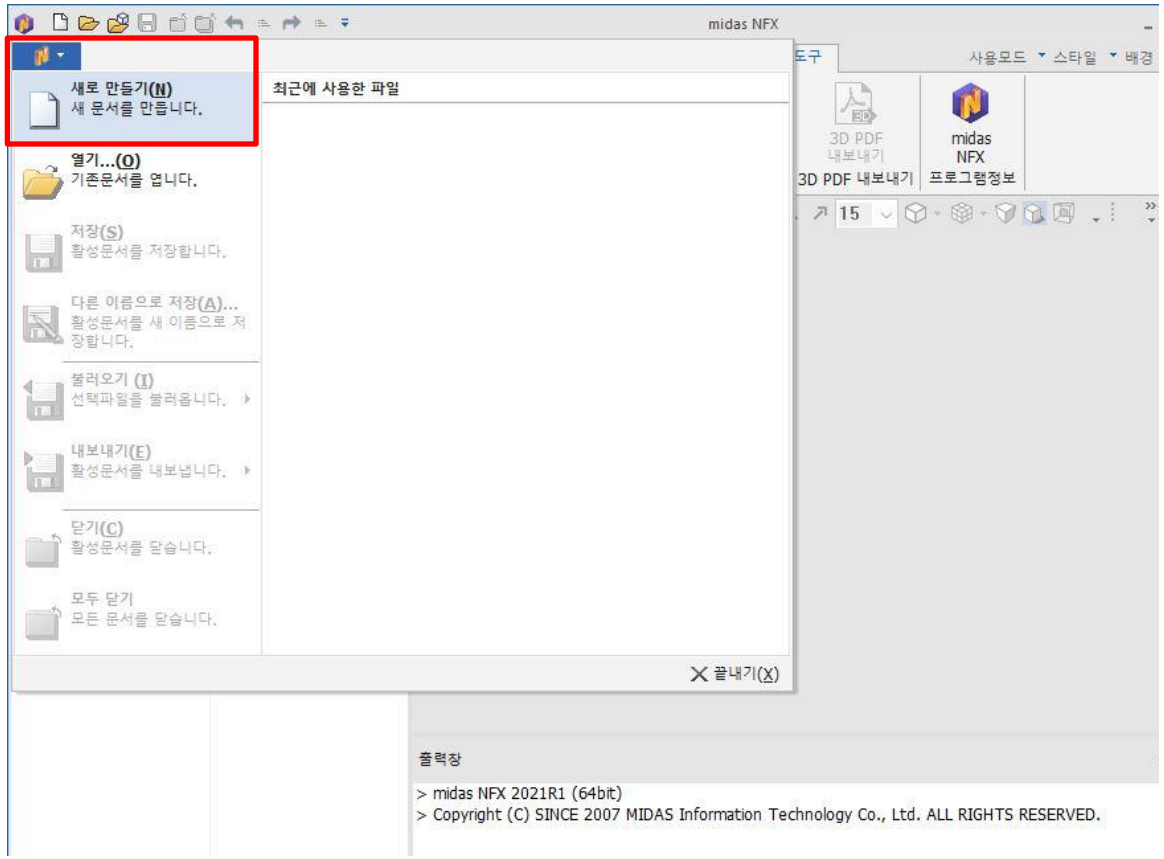
✓ "면요소망 제어" 그룹 > "요소유형" >"삼각형"
✓ "입체요소망 제어" 그룹 > "고차요소 생성" > 체크 해제
> "틈새 절점 강제 생성"
> 체크 활성화
✓"적용" 클릭

※ 사면체 요소의 모든 절점이 경계에 놓이지 말아야 하는 이유:
벽면의 절점은 속도가 0인데, 모든 절점이 벽에 있으면 절점이 구성하는 요소(부피)의 유속이 0으로 고정됨

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

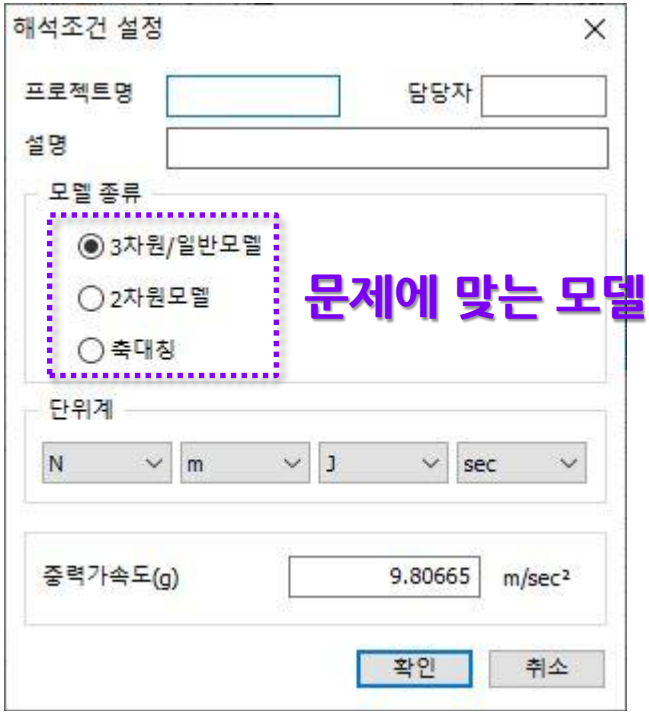
"새로 만들기" 실행



CFD 해석 과정

"해석조건 설정" 정의

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토



문제에 맞는 모델링 방법 선택

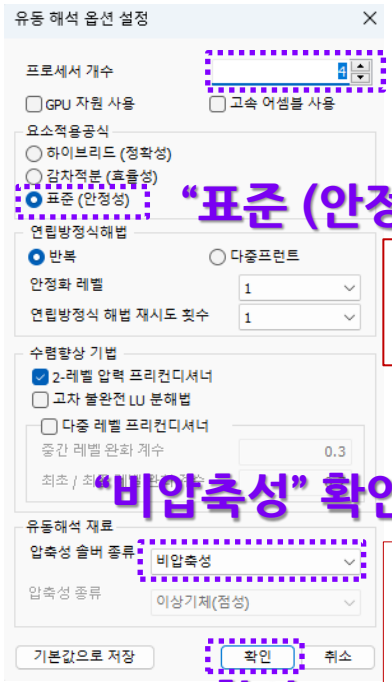
옵션에서 검토된 내용이므로,
"프로젝트명" , "담당자" , "설명" 에 대한
선택적 기입 후 "확인' 버튼 클릭

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

"해석"탭 > "유동해석" 클릭





사용 CPU 개수 입력

"표준 (안정성)" 선택

[참고] "하이브리드 (정확성)" 를 선택할 경우 정확도가 올라가며 "표준 (안정성)" 을 선택할 경우 정확도는 떨어지지만 수렴성이 향상 됨

"비압축성" 확인

[참고] 열유동 모듈을 이용하여 자연대류 해석 시, 유동해석 재료는 "압력기반압축성" - "비압축성 이상기체" 세트가 되어야 함 (밀도 변화에 의한 부력을 적용)

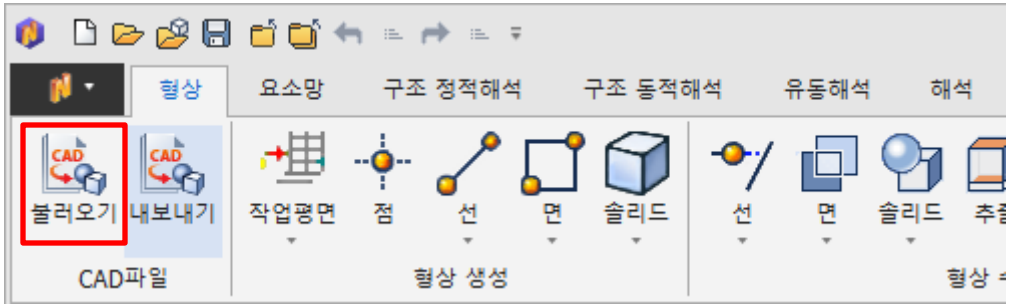
확인

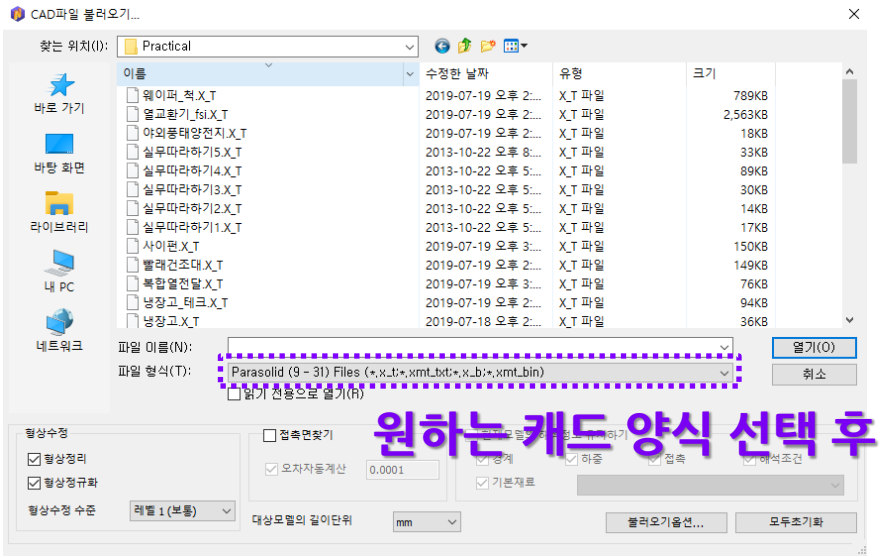
CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

기하형상 제작 방법

- 캐드 파일을 불러오는 방법

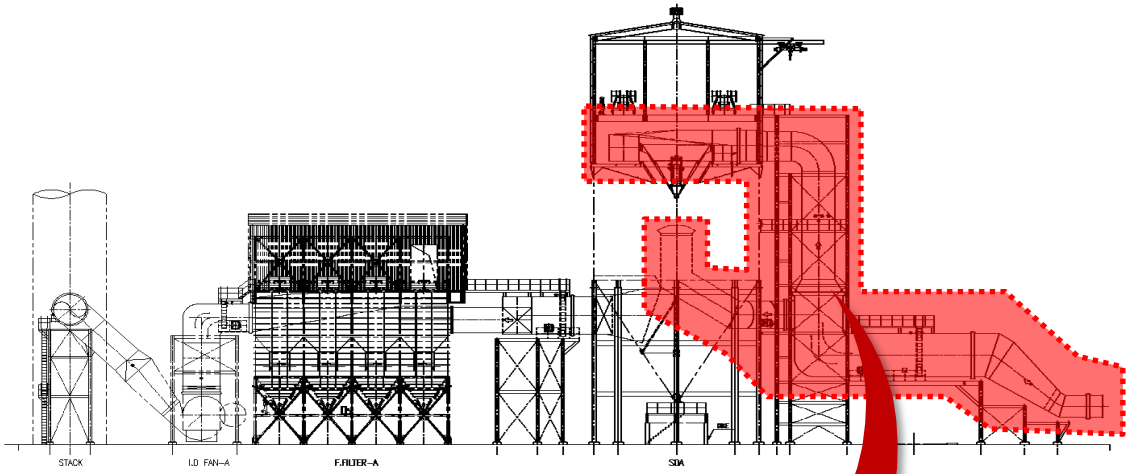


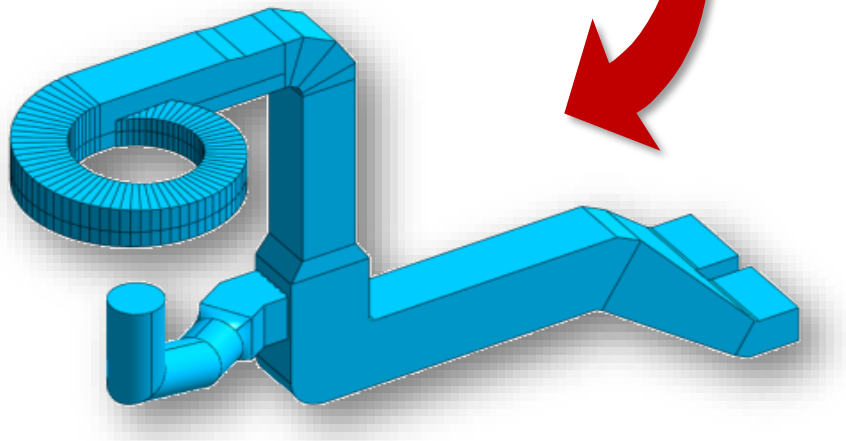


원하는 캐드 양식 선택 후 파일 더블 클릭

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토



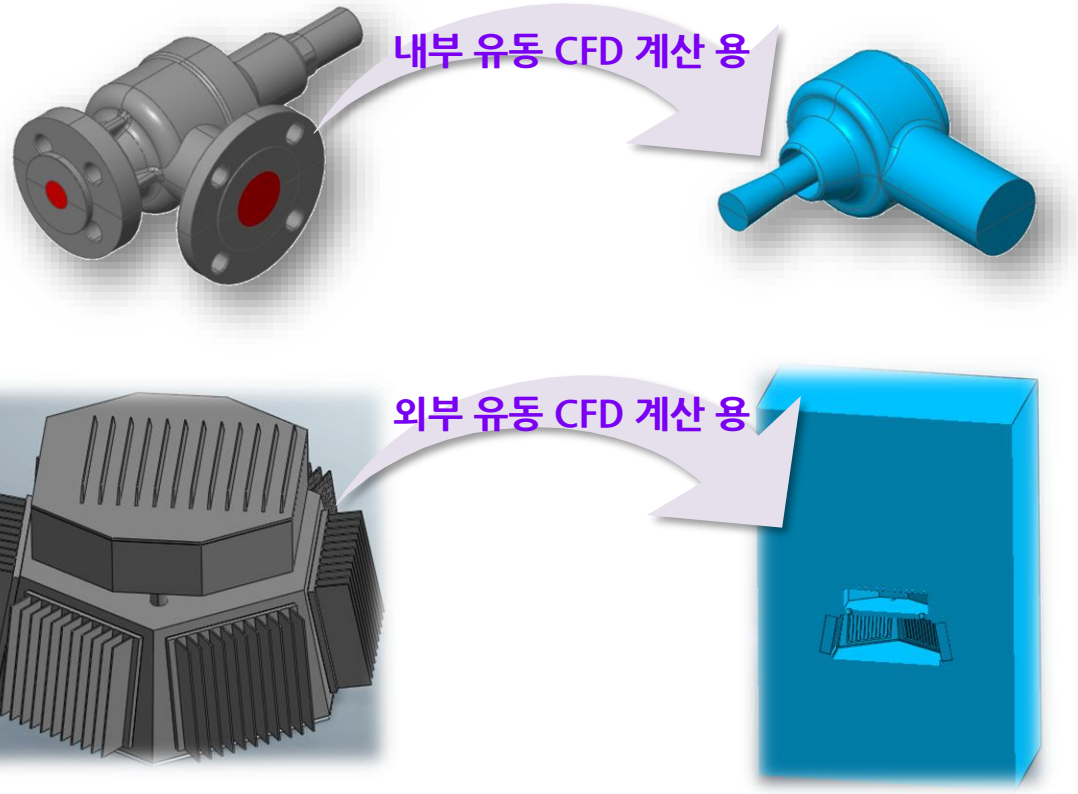


목적에 부합하는 해석 모델 생성 필요

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

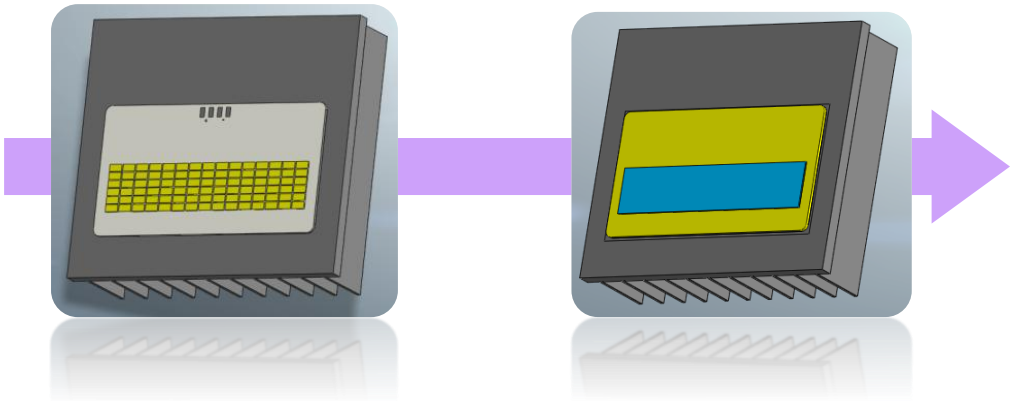
해석을 위한 유체 체적 추출



CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

형상 간략화



형상 간략화 목적

✓실무에서의 해석 시간 단축 : 계산 단위인 요소 개수 감소
✓품질 높은 요소망 제작 : 요소망 생성 시 미소형상 부위의 요소 종횡비가 커질 수 있음

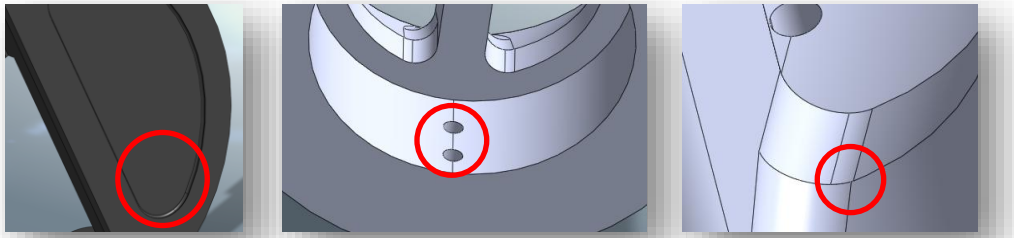
형상 간략화 방법

✓CAD 프로그램에서 단순화 후 불러오기
✓NFX 내 간략화 기능 사용

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

형상 간략화



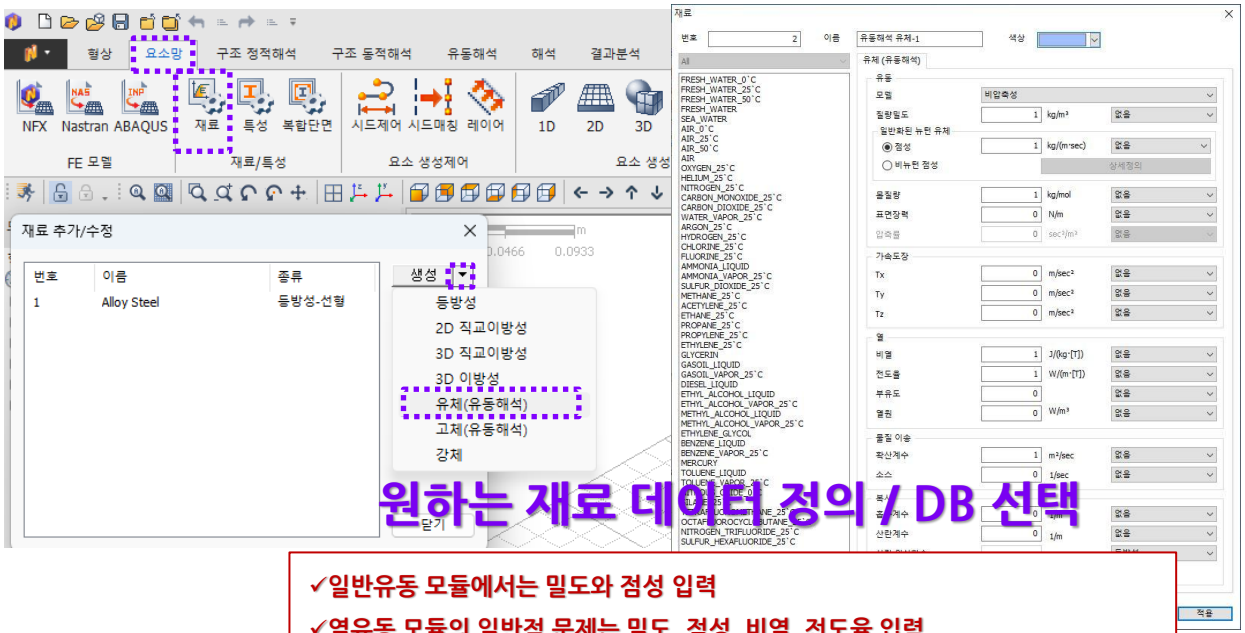
- 열 유동에 큰 영향이 없는 부분 생략(필렛, 구멍, 볼트 등)
- 제품생산을 위한 공차 제거
- 미소 간극, 단차 및 절점 불일치 제거

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

재료 정의 :

"요소망" 탭 > "재료/특성" 리본메뉴 > "재료" 클릭
> 생성 우측 화살표 클릭 > "유체(유동해석)" or "고체(유동해석)" 클릭



✓일반유동 모듈에서는 밀도와 점성 입력

✓열유동 모듈의 일반적 문제는 밀도, 점성, 비열, 전도율 입력

✓열유동 모듈 중 자연대류 문제는 "모델" 콤보박스에서 "비압축성 이상기체" 선택 후 밀도, 점성, 몰질량, 비열, 전도율 입력

✓열유동 모듈 해석 시 열원 정의를 통해 부피 당 발생하는 열원 입력 가능

※ 열유동 모듈에서 고체 열전달 고려 필요 시 질량, 밀도, 전도 입력

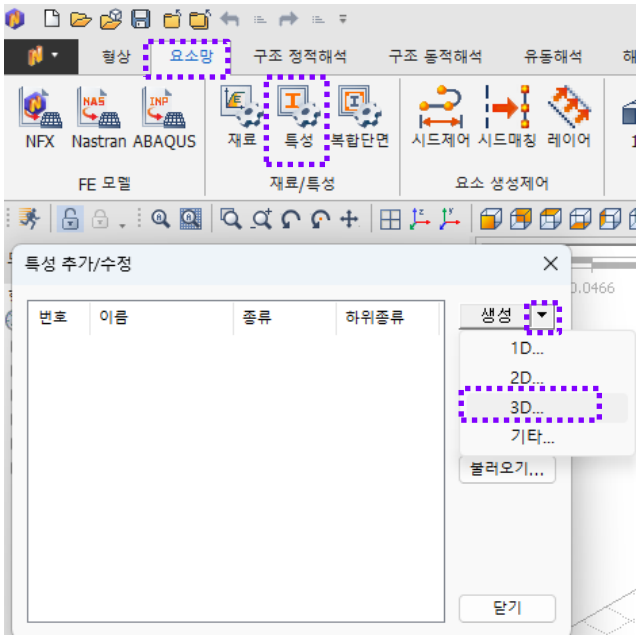
CFD 해석 과정

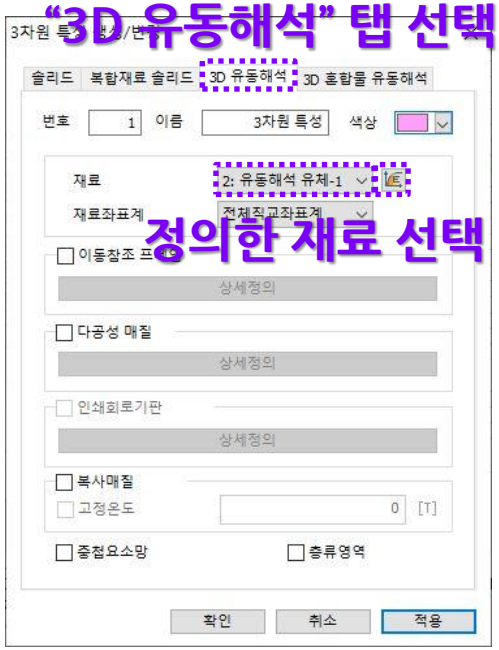
- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

특성 정의 :

"유동해석" 리본메뉴 > "물성/좌표계/함수" 그룹 > "특성" 클릭 > 생성 우측 화살표 클릭 > "3D..." or "2D..." 클릭

특성은 요소망 단위로 지정되는데, 어떤 영역에 특수 기능을 적용하려 할 때 특성을 통해 부여





: 재료를 정의하지 않아도 특성에서 이 버튼을 통해 재료 정의가 가능

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

유체의 입/출구단, 유체를 막는 벽면 (고체의 표면), 발열, 고정온도 및 열유속 등 정의 가능



제품의 환경 정보를 프로그램에 입력하는 중요한 과정

실험/현상과 동일한 경계조건 입력으로 해석 타당성 확보

일반유동모듈 경계조건 : 입구단, 출구단, 벽면

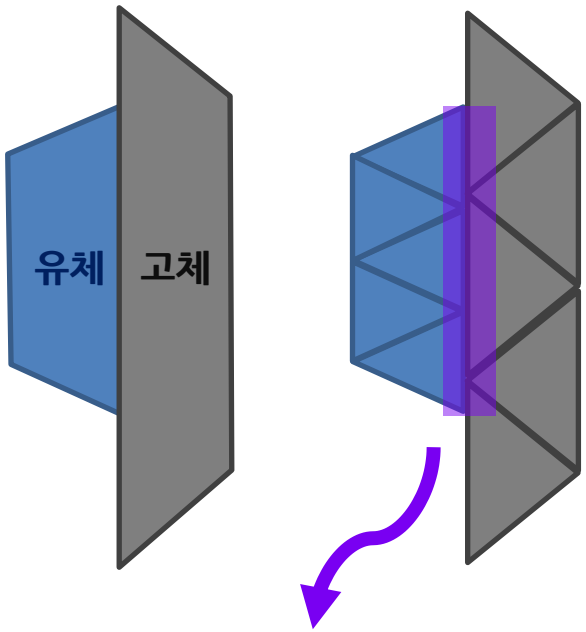
열전달모듈 경계조건: 유동온도, 열유속

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

유체-고체의 열전달을 계산 하는 방법

1. 유체 요소망 - 고체 요소망 인접면의 “접촉” 조건



접촉면 지정을 통한 열전달

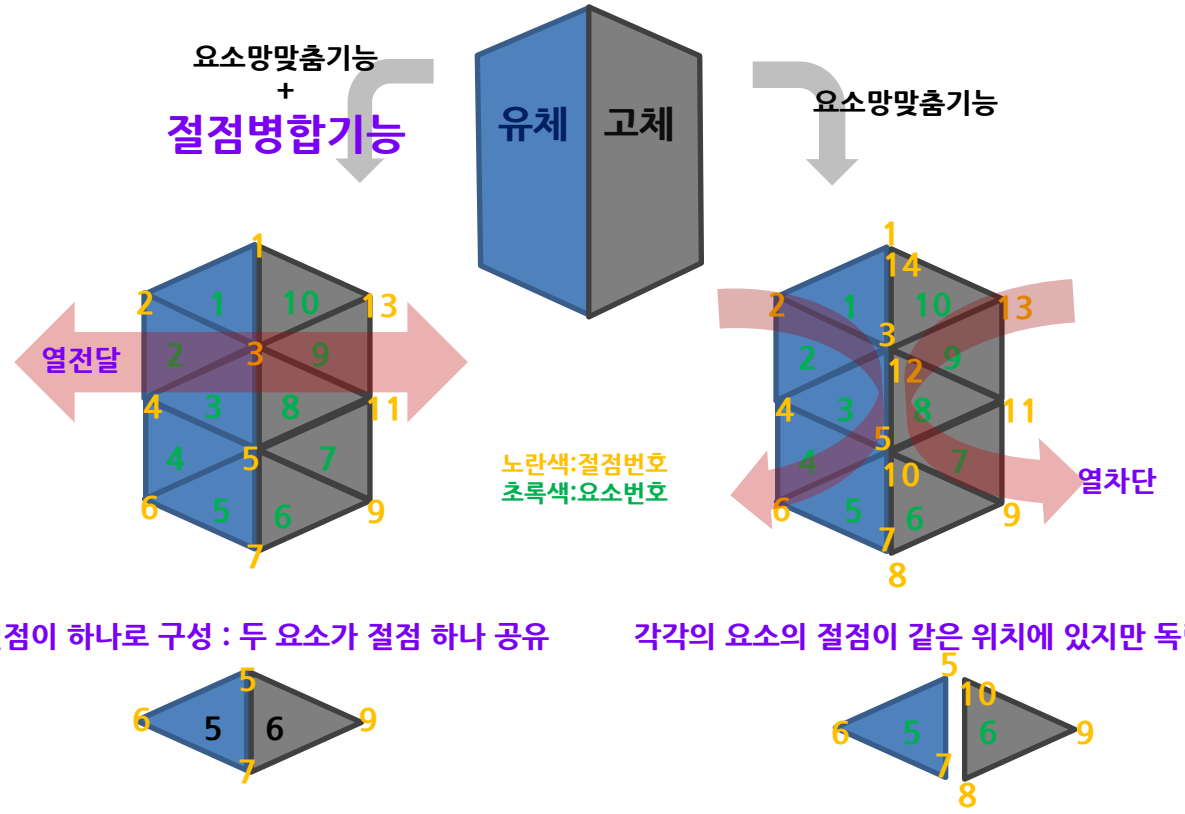
실제 위 그림과 같이 대류를 고려하지 않는 고체는 요소망이 성겨도 됨

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

유체-고체의 열전달을 계산 하는 방법

2. 유체 요소망 - 고체 요소망 인접면의 절점 공유



절점이 하나로 구성 : 두 요소가 절점 하나 공유

각각의 요소의 절점이 같은 위치에 있지만 독립적

CFD 해석 과정

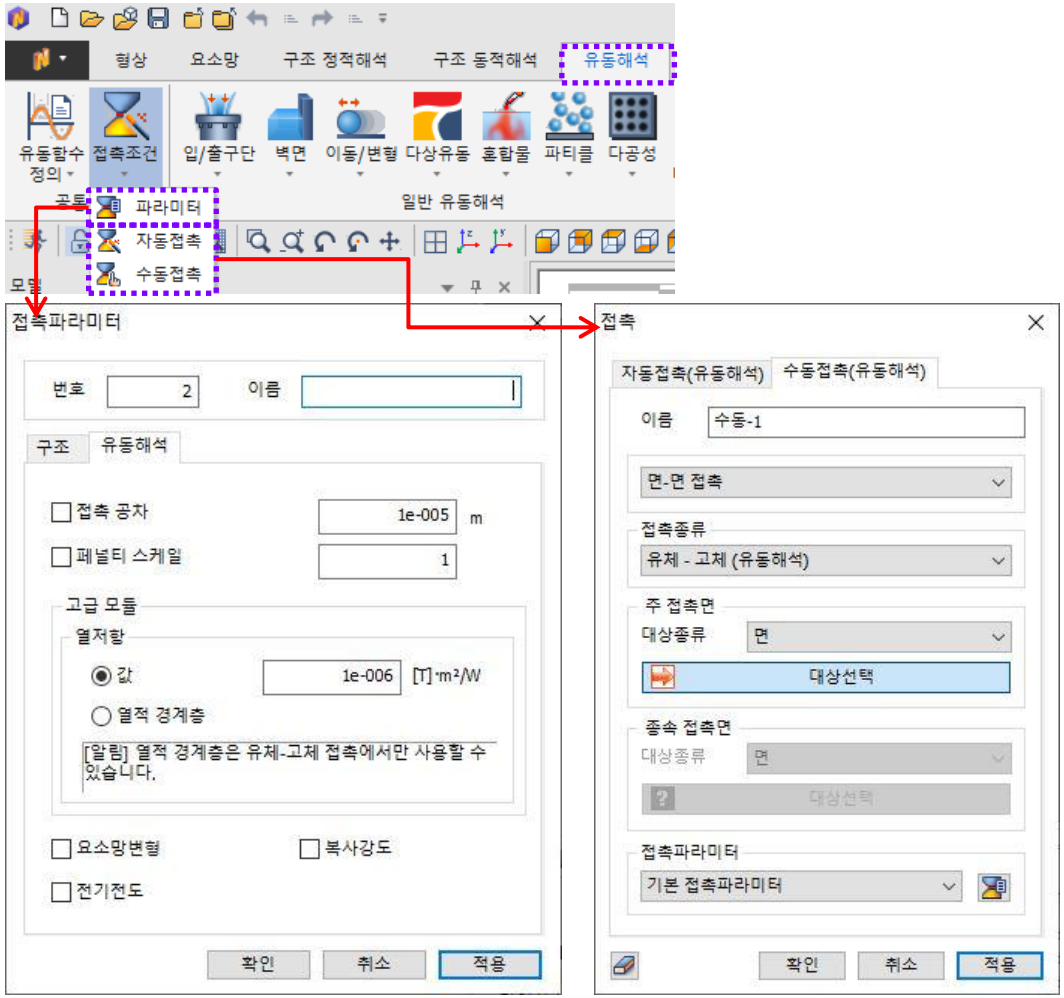
- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

	접촉	절점병합
요소 개수	고체 요소망을 유체 요소망과는 독립적으로 성기게 작성함 : 비교적 적음	고체요소망의 유체요소망과 인접하는 부분을 유체요소망의 표면과 일치하도록 작성함 : 비교적 많음
수렴 안정성	접촉 계산 필요 : 비교적 불안정	접촉 계산 무시 : 비교적 안정
사용	접촉 조건 작업	인접면 절점 맞춤 작업 절점 병합 작업

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

접촉 정의



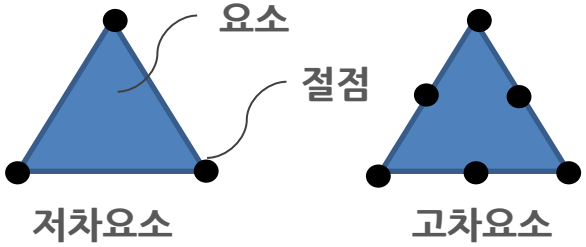
CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

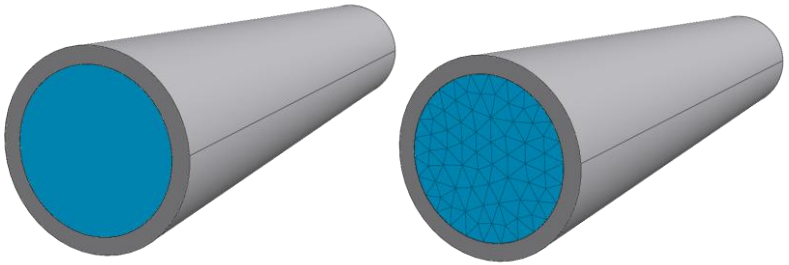
실무 수준에서의 NFX 요소망 생성

1) 사면체 요소망 작성을 기본으로 함

2) CFD 는 저차요소만 계산 가능



3) 벽면과 벽면 사이(경계면과 경계면 사이)의 유체가 8~10개 절점을 가지도록 생성 (권장사항)

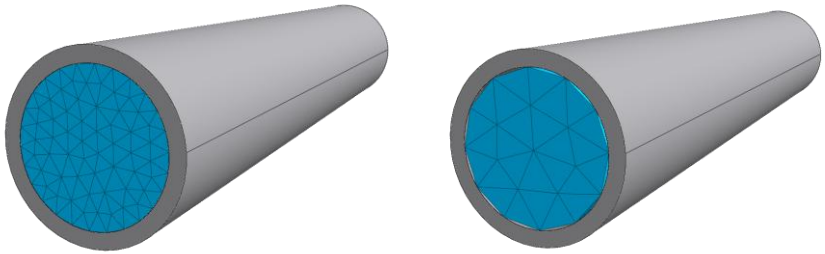


CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

실무 수준에서의 NFX 요소망 작성

4) 속도, 압력, 온도 등 물리량이 급하게 변하는 구간에 충분히 많은 요소를 넣는 것이 원칙



✓ [중요] 실제 요소망의 조밀도와 계산의 정확도는 유체가 흐르는 양과 열이 흐르는 양에 따라 상관관계가 다르므로 요소망을 조밀하게 하면서 결과가 얼마나 변하는지 관찰해야 하는 것이 원칙 : 조밀도 상승률 대비 결과 변화율이 낮으면 적정 크기의 요소망이라 판단함

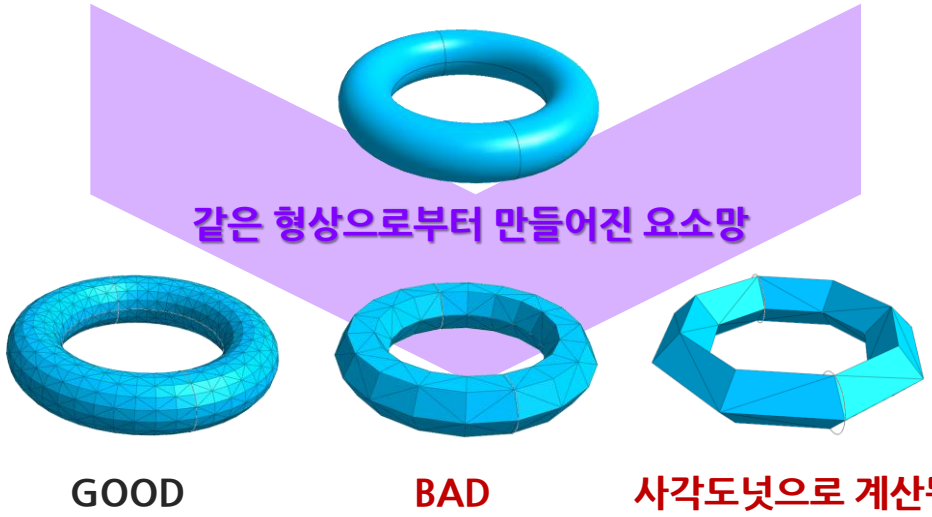
✓ [중요] CFD 해석에 있어 점성바닥층 및 난류의 경계층 영향을 고려하는 요소망 작성이 정석이지만 본 기본 교육에서는 실무 중심적 내용을 다루기에 생략 함

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

실무 수준에서의 NFX 요소망 작성

5) 형상 정보를 반영할 수 있는 수준의 요소망을 작성해야 함



6) 유체-고체 복합 열전달 해석에서 고체 요소망은 경계 사이에 1~2개 요소만 들어가도 됨
(고체 요소는 열전도 계산에만 쓰임)

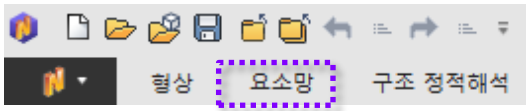
CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

실무 수준에서의 NFX 요소망 생성

7) 품질검사를 수행했을 때 요소망의 종횡비가 충분히 작도록 요소망 생성 (종횡비 15 미만 권장)

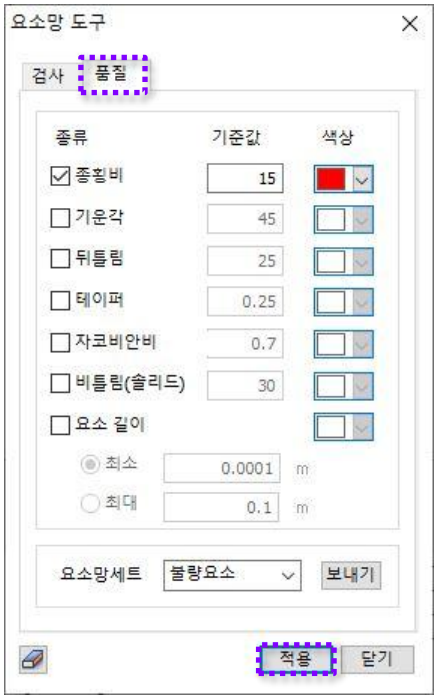
▪ 검사 방법:



: "요소망" 리본메뉴



: "도구" 그룹 > 품질검사



"적용" 버튼 클릭

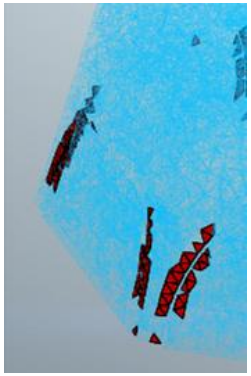
(뒤 페이지에 계속)

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

실무 수준에서의 NFX 요소망 작성

(앞 페이지와 연결)



화면에는 좌측 그림과 같이
붉은 색으로 위치가 나타남

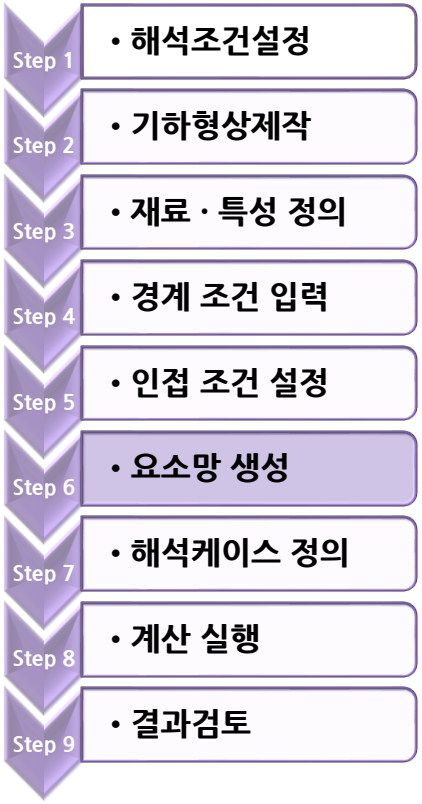
※ '보이기' 처리된 요소망에
한해서 검사가 진행됨

출력창에는 아래와 같이 종횡비 15 이상의 요소 개수 및 최대값 등이 나옴

```
출력창
> 작업 프로젝트가 자동저장기능으로 인하여 저장되었습니다.
> 요소 품질 결과 :
> -{종횡비}  불량요소: 0개,  평균값: 1.41,  최소/최대값: 1.01 / 15
```

(뒤 페이지에 계속)

CFD 해석 과정



실무 수준에서의 NFX 요소망 작성

(앞 페이지와 연결)

- 검사 후 개선 방법

1. 요소망을 지우고 캐드를 수정
   - 앞의 형상 간략화 부분 참고
   - NFX 기본 교육 내용 참고

   ※ 미소선 미소형상 삭제 중심의 형상 간략화 필요

2. 요소망을 지우고 조금 더 조밀한 요소망을 생성

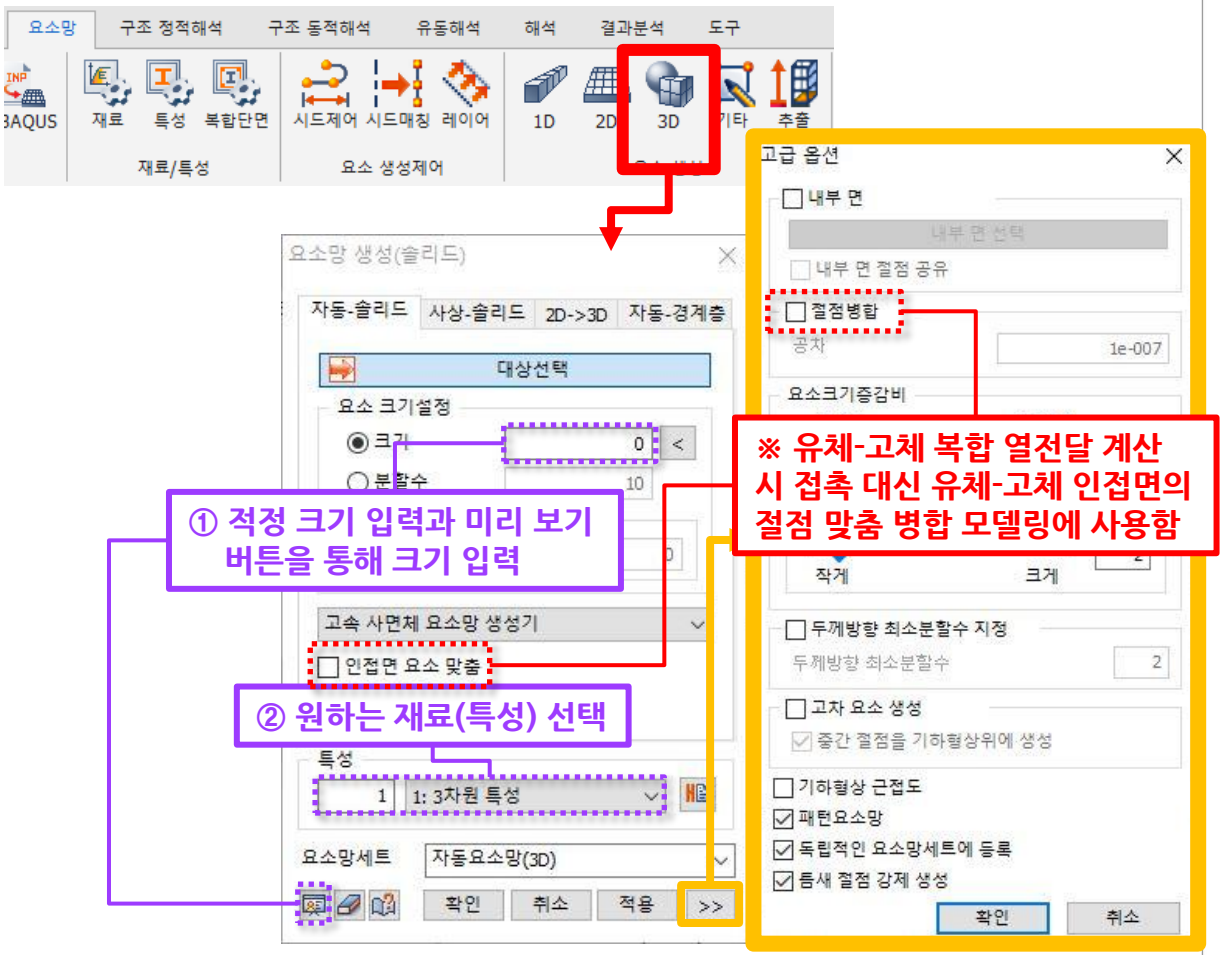
3. 시딩(Seeding)을 통해 문제가 되는 영역만 조밀한 요소망을 생성

(뒤 페이지에 계속)

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

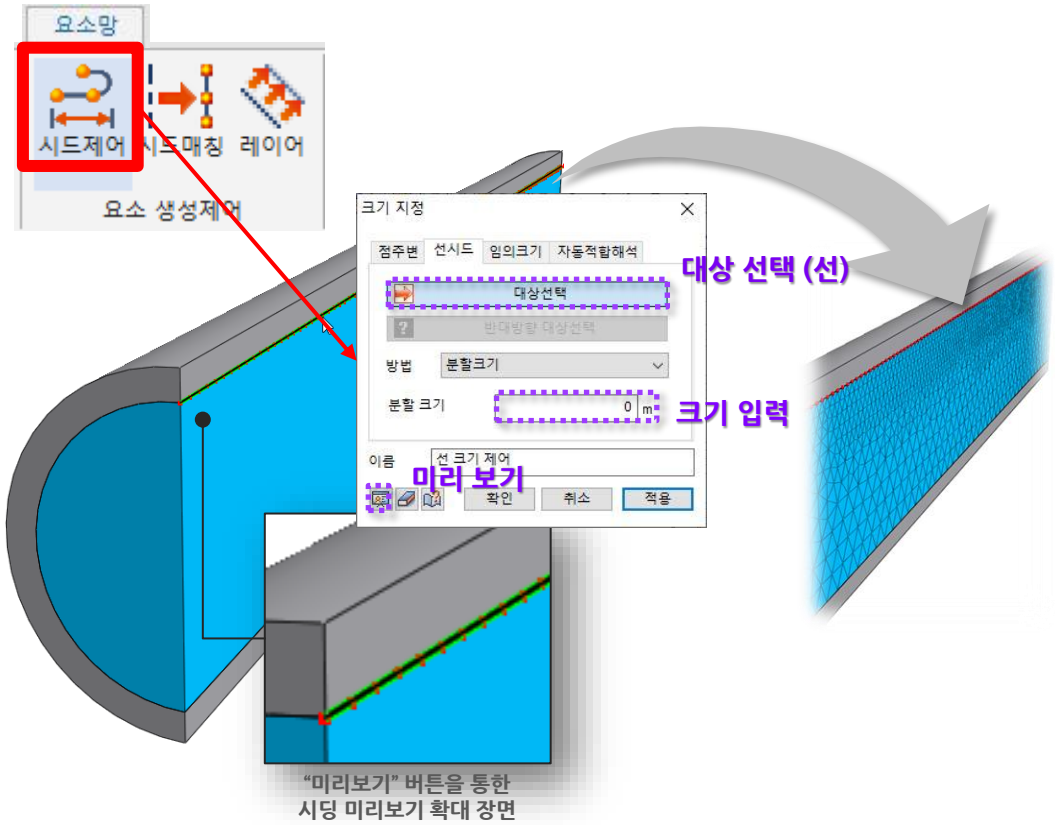
요소 생성



CFD 해석 과정

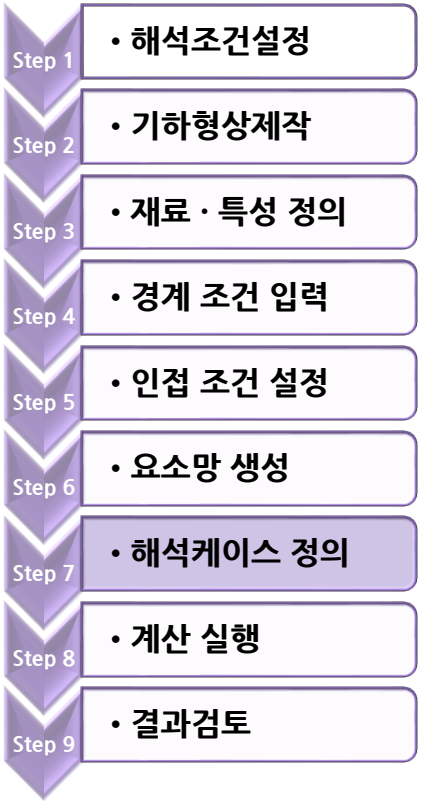
- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

시딩 생성



"미리보기" 버튼을 통한
시딩 미리보기 확대 장면

CFD 해석 과정



해석 케이스

목적에 맞는 계산을 수행하기 위해 앞서 정의한 재료, 요소망, 경계조건 중 필요한 조건을 조합하고 어떤 결과를 볼 것인지에 따라 필요 모듈을 적용하여 구성한 하나의 계산 단위

- ✓ 정상상태 / 과도상태 선택
- ✓ 입력한 경계조건, 요소망, 접촉조건 중 사용할 대상 선택
- ✓ 해석 목적에 맞는 적용 모듈 선택
- ✓ 계산에 필요한 시간간격 설정
- ✓ 결과 출력 간격 및 결과 출력 항목 설정
- ✓ 초기조건 설정
- ✓ 난류모델 선택

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

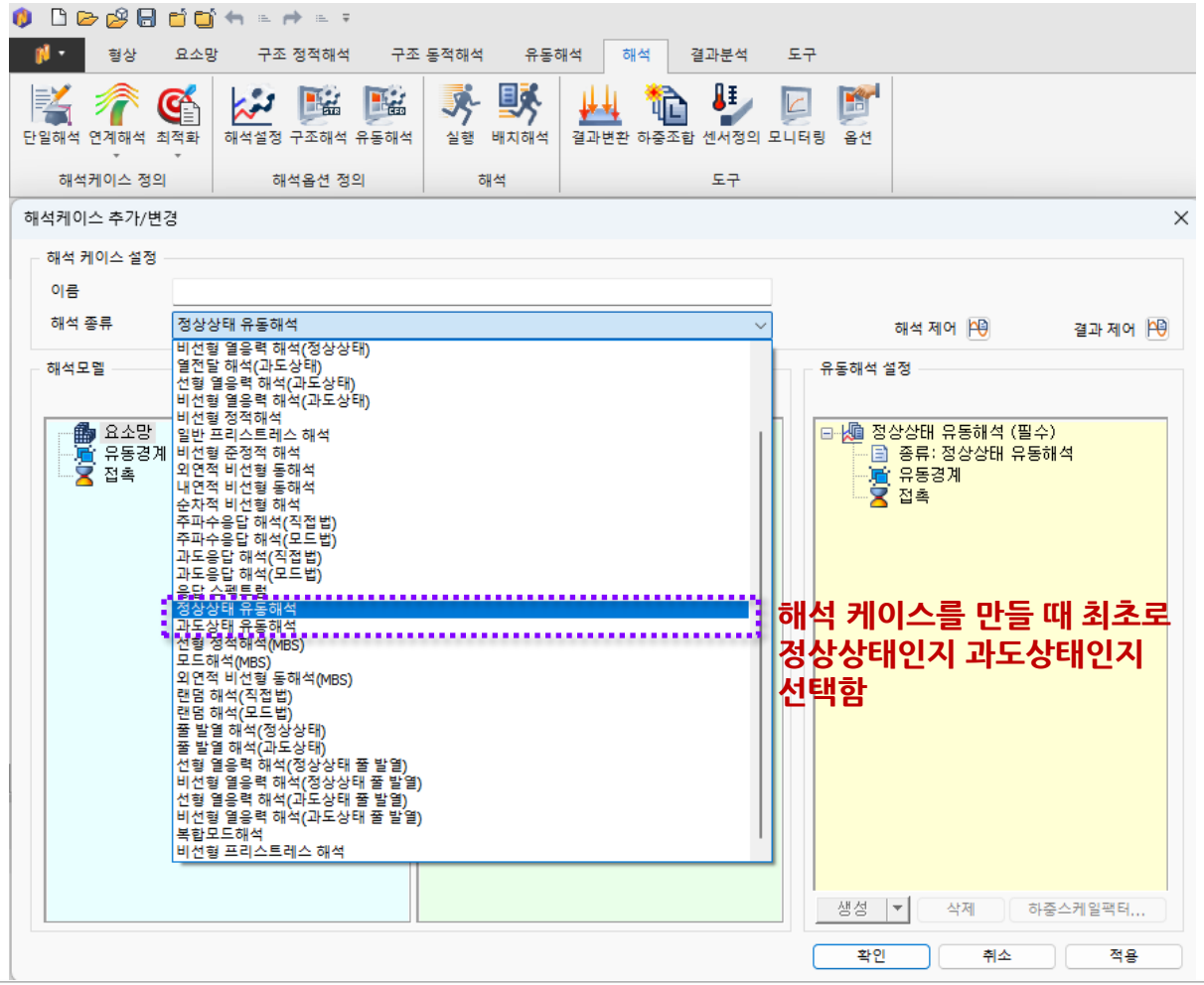
정상상태와 과도상태

	정상상태	과도상태
해석 목적	최종 결과 확인	시간 경과에 따른 결과 변화
다른 CFD 결과 항목	최종 수렴된 결과 출력	일정 시간 간격으로 결과 출력
NFX 결과 항목	최종 수렴된 결과 출력 + 최종 수렴까지 컴퓨터가 임의로 지정한 시간간격에 대한 결과 출력	일정 시간 간격으로 결과 출력
NFX 사용 방법	1. 시간간격의 값을 정하기 난해할 때 2. 최종해석 결과만 궁금할 때	1. 시간간격을 적절히 줄 수 있을 때 2. 시간에 따른 변화가 궁금할 때

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

해석케이스 만들기 : 정상상태 / 과도상태의 선택

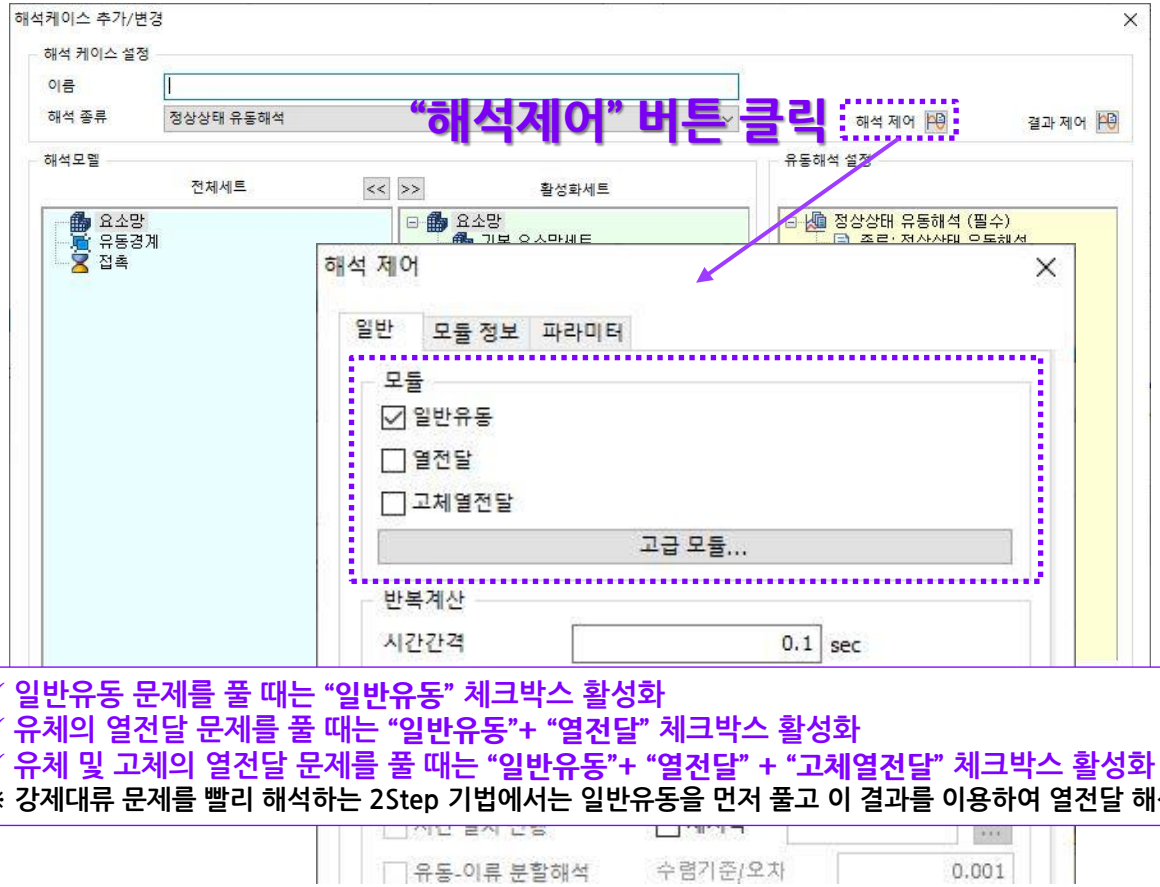


해석 케이스를 만들 때 최초로 정상상태인지 과도상태인지 선택함

CFD 해석 과정

해석 목적에 맞는 적용 모듈 선택

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

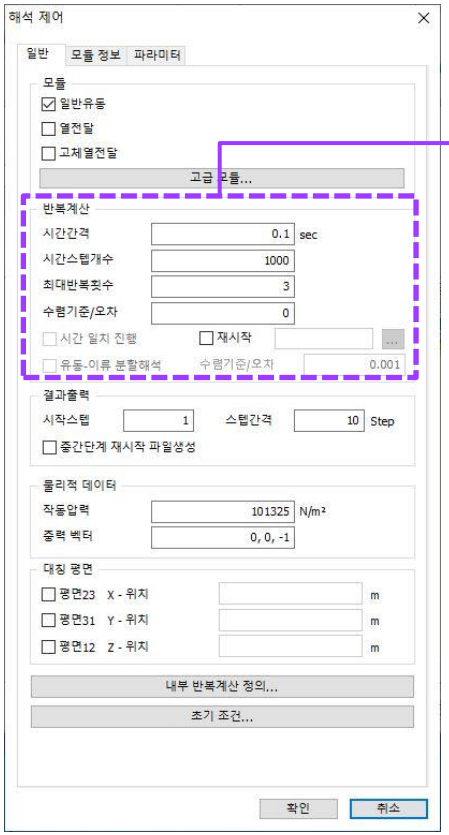


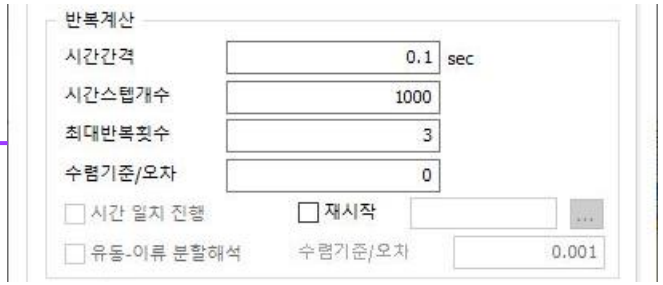
✓ 일반유동 문제를 풀 때는 "일반유동" 체크박스 활성화
✓ 유체의 열전달 문제를 풀 때는 "일반유동"+ "열전달" 체크박스 활성화
✓ 유체 및 고체의 열전달 문제를 풀 때는 "일반유동"+ "열전달" + "고체열전달" 체크박스 활성화
※ 강제대류 문제를 빨리 해석하는 2Step 기법에서는 일반유동을 먼저 풀고 이 결과를 이용하여 열전달 해석

CFD 해석 과정

계산에 필요한 입력 시간 설정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토





시간간격 설정

1) 과도상태

시간간격 = 가장 작은 요소크기 [m] / 가장 큰 유속 [m/s]

가장 작은 요소크기: 해석을 위해 만든 요소망에서 가장 작은 요소 길이
가장 큰 유속: 전체 해석영역에서 예상되는 가장 큰 유속

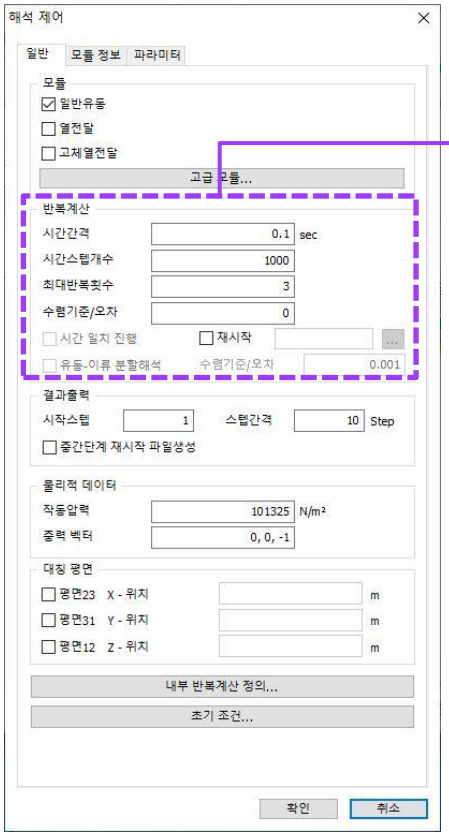
2) 정상상태

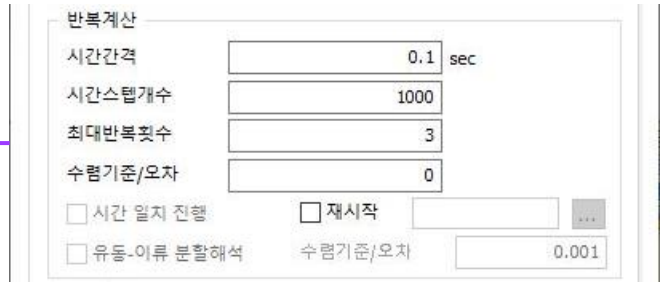
정상상태는 솔버가 자체적으로 적당한 시간간격을 설정하여 계산하는데, "시간간격"에 입력된 값은 솔버가 적용할 시간간격의 상한(上限)을 뜻함

CFD 해석 과정

계산에 필요한 입력 시간 설정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토





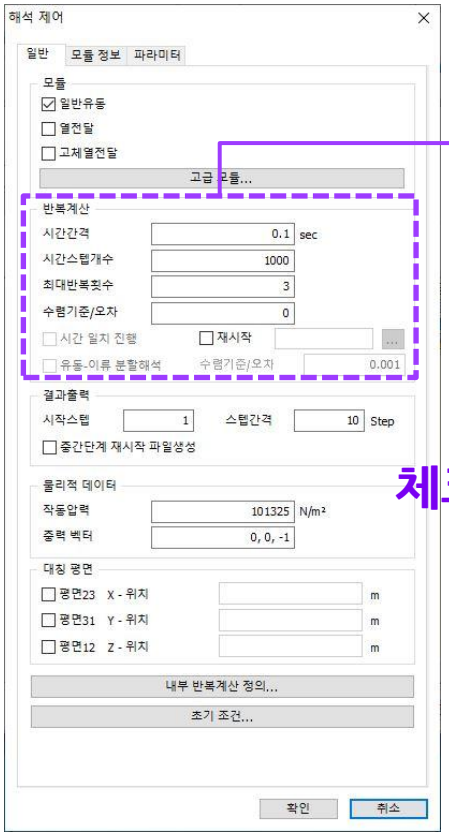
시간스텝 개수 설정 총 몇 번의 스텝을 계산할지 선택

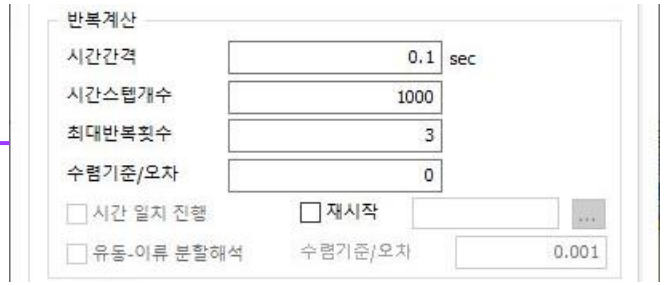
1. 한 스텝에서의 수렴이 계속되는 시점에 도달할 때 까지 충분한 스텝 필요
2. 원하는 특성치(속도, 압력, 온도 등)가 평형 상태에 도달할 때까지 충분한 스텝 필요
3. 충분한 스텝을 주지 않았을 경우 “재시작” 기능을 이용하여 직전 계산의 마지막 스텝부터 추가 스텝을 계산 (다음 페이지)

CFD 해석 과정

계산에 필요한 입력 시간 설정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토





재시작 설정 계산이 완료된 해석케이스의 재시작



체크박스 활성화 ***.rst 파일 불러오기**

✓ *.rst 파일의 이름은 다음과 같이 적힘
"파일이름"_"해석케이스이름".rst

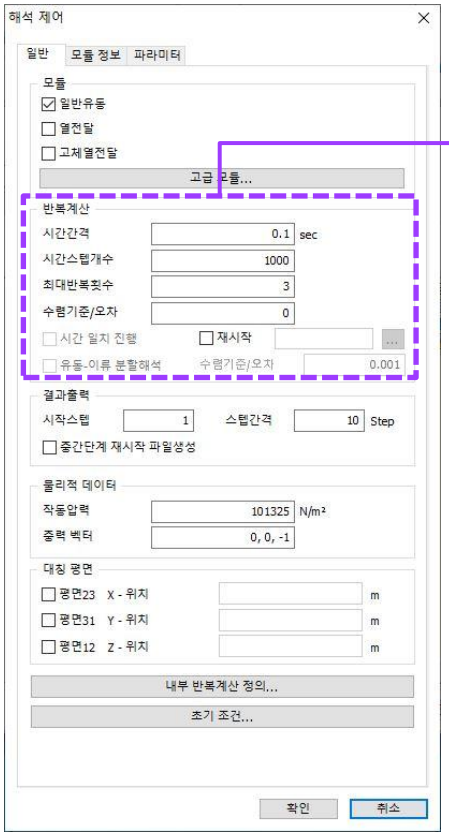
✓ 결과 파일인 *.res 가 있으면 이어쓰기를 하고 없으면 새로쓰기

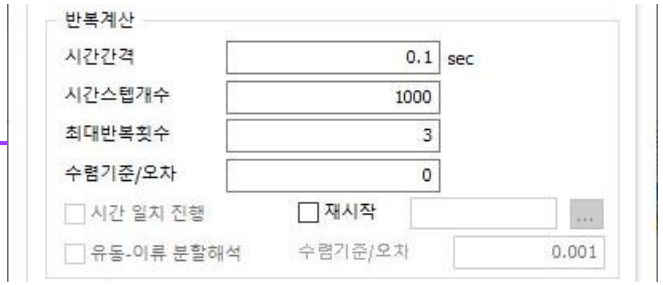
✓ 재시작에서 "시간스텝개수" 입력값은 스텝의 총 개수를 의미하는 것이 아니라, 추가 스텝 개수를 의미
(예: 직전해석 1000 스텝 계산 후 재시작해석 500 스텝 계산하려면 재시작해석 "시간스텝개수"에 500 입력)

CFD 해석 과정

계산에 필요한 입력 시간 설정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토





최대반복회수

한 스텝 안에서 수렴하지 않을 때 (Norm이 기준값 이상일 때) 계산을 반복하는 횟수; 3을 기본으로 둠
Tip. 수렴이 되지 않을 경우 10 → 2 → 1 →5 로 바꾸어 가며 해석 수행

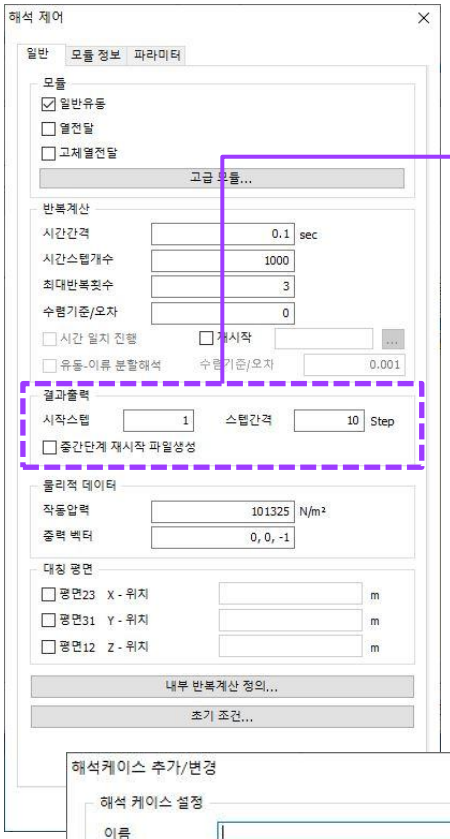
초기안정화스텝

계산하지 않은 첫 번째 스텝에서의 값인 '초기값' 은 특별한 설정이 없다면 실제 물리량 분포와 다름
"초기안정화스텝"은 경계조건을 반영하여 해석영역 내부 물리량 분포(초기값)를 실제와 가깝게 미리 바꿔두는 작업
Tip. 수렴 되지 않을 경우 50~100 을 입력함

CFD 해석 과정

결과 출력 간격 및 결과 출력 항목 설정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토



결과 출력 시작 및 간격 설정



시작스텝 : 결과 출력을 시작하는 스텝

스텝간격 : "시작스텝" 으로부터 결과 출력을 하는 간격

결과 출력 항목 설정

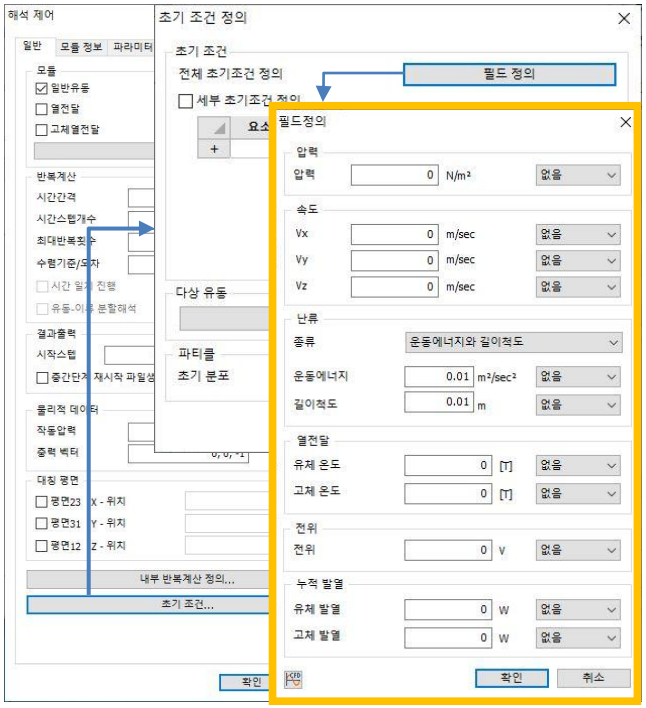
"해석케이스 추가/변경" 창에서 "결과 제어" 버튼 클릭



CFD 해석 과정

초기조건 설정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토



필드 정의

✓CFD 해석은 현재 스텝을 계산할 때 이전 스텝의 결과값을 이용함

✓ 첫 번째 스텝의 결과값을 계산하기 위해 사용되는 초기값(0 번째 스텝)을 지정하는 창

✓실제에 가까운 값을 줄수록 초반에 계산이 빨리 수렴함
ex. 고체가 60℃ 에서 25 ℃ 외기에 의해 식는 현상을 해석할 때에는 “열전달”그룹박스의 “유체 온도”를 “25” 로 입력하고 고체온도를 “60” 으로 입력

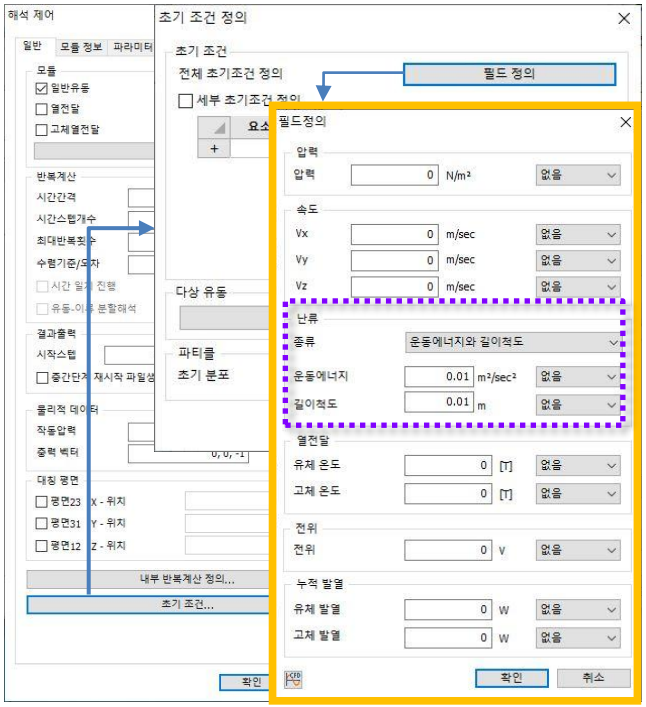
※ 필드 정의 값은 “CFD함수” 버튼 으로 정의한 함수를 입력 창 우측의 콤보박스에서 해당 함수를 선택해 CFD 함수로 입력 가능하며, 이 값은 필드정의 기능과 독립적으로 함수 입력이 안되는 경계조건 (속도, 압력) 등에서 이용할 수 있다.



CFD 해석 과정

초기조건 설정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토



난류 초기값 입력 방법

운동에너지 = $1.5\times(\text{난류강도레벨}\times\text{속도})^2$

길이척도 = $0.07\times\text{특성길이}$

※ 난류강도레벨

항공기, 자동차, 잠수함 : 0.003(0.01 이하)

대기층 : 0.3

내부유동, 열교환기, 회전기계 : 0.05~0.15

파이프, 배기구, 저레이놀즈수(단순모델) : 0.01~0.05

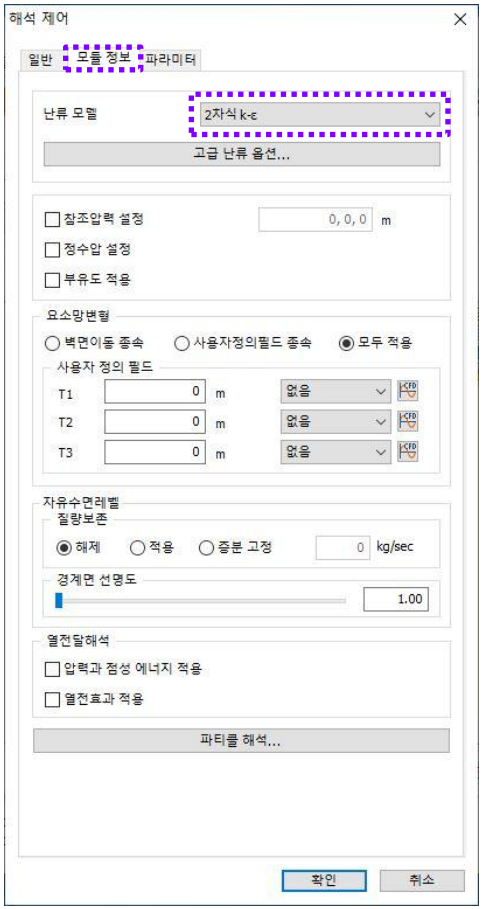
※ 특성길이

덕트와 같은 내부유동의 경우 수력직경 사용

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

난류 모델 선택



"모듈정보" 탭 이동 후

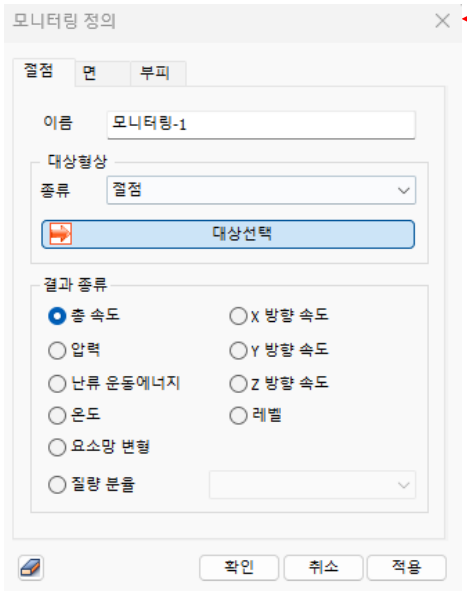
2차식 k-ε 모델을 이용

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

계산 실행 전 모니터링 포인트 정의





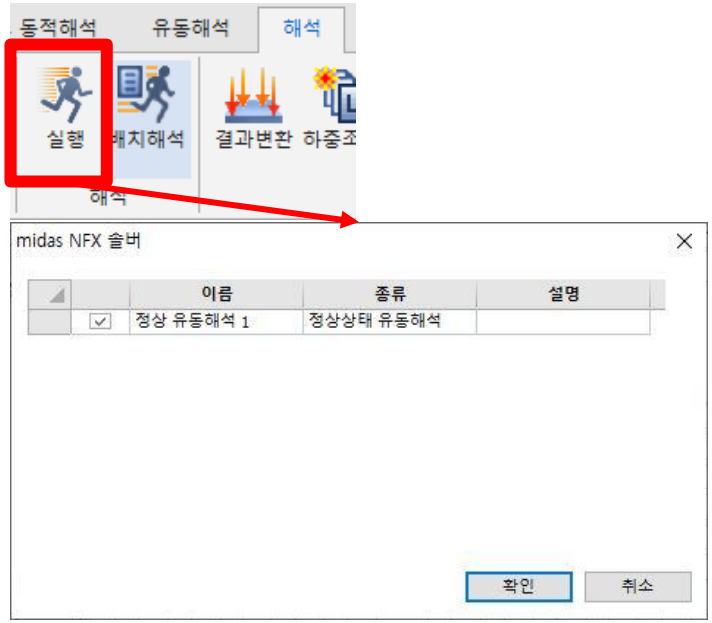
계산 중 특정 절점의 결과값 확인 가능

1. 속도 입구단 - 압력 출구단 문제에서 압력부 토출 속도(토출 유량) 확인을 통한 수렴상태 확인 가능
2. 압력 입구단 문제에서 입구단 유입 속도 확인을 통한 수렴상태 확인 가능
3. 특정 위치 온도 변화 추이를 관찰하여 열 평형 상태를 확인 가능

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

계산 실행



✓ 체크 박스를 통해 계산해야 할 해석케이스 선택 가능

✓ 중복 선택 시 순차 적으로 해석

CFD 해석 과정

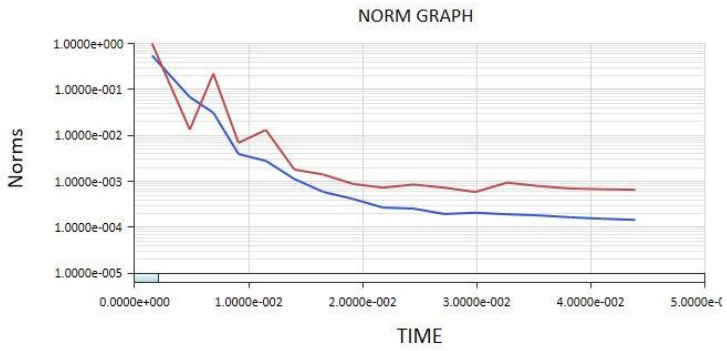
- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

해석 완료 판단 시점

1. 계산 수렴 기준인 Norm 이 수렴기준(0.001) 이하로 지속적으로 떨어질 때
2. 관심 지점의 결과 값이 정상상태 진입 또는 주기 반복

출력창

```
> STEP =  876, FLOW TIME = 2.640E+00 (DT = 3.02E-03), ITER = 1, NORM = VEL(7.539E-05) PRES(5.873E-05) : CONVERGED
> STEP =  877, FLOW TIME = 2.643E+00 (DT = 3.02E-03), ITER = 1, NORM = VEL(7.549E-05) PRES(1.055E-04) : CONVERGED
> STEP =  878, FLOW TIME = 2.646E+00 (DT = 3.02E-03), ITER = 1, NORM = VEL(7.879E-05) PRES(3.524E-05) : CONVERGED
> STEP =  879, FLOW TIME = 2.649E+00 (DT = 3.02E-03), ITER = 1, NORM = VEL(7.492E-05) PRES(4.734E-05) : CONVERGED
> STEP =  880, FLOW TIME = 2.652E+00 (DT = 3.02E-03), ITER = 1, NORM = VEL(7.666E-05) PRES(6.462E-05) : CONVERGED
> WRITING OUTPUT FILE
> STEP =  881, FLOW TIME = 2.655E+00 (DT = 3.02E-03), ITER = 1, NORM = VEL(7.811E-05) PRES(4.264E-05) : CONVERGED
> STEP =  882, FLOW TIME = 2.658E+00 (DT = 3.02E-03), ITER = 1, NORM = VEL(7.749E-05) PRES(2.770E-05) : CONVERGED
> STEP =  883, FLOW TIME = 2.662E+00 (DT = 3.02E-03), ITER = 1, NORM = VEL(7.566E-05) PRES(3.941E-05) : CONVERGED
> STEP =  884, FLOW TIME = 2.665E+00 (DT = 3.02E-03), ITER = 1, NORM = VEL(7.805E-05) PRES(4.786E-05) : CONVERGED
> STEP =  885, FLOW TIME = 2.668E+00 (DT = 3.02E-03), ITER = 1, NORM = VEL(7.703E-05) PRES(6.046E-05) : CONVERGED
```



✓ 방법1. 출력창에서 "CONVERGED" 문구 확인

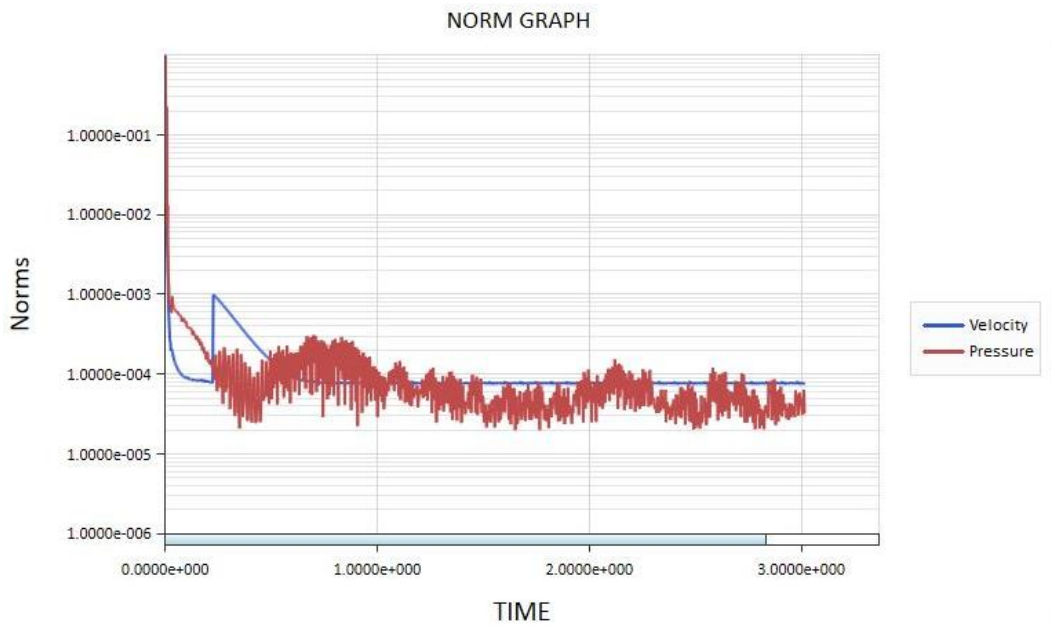
✓방법2. CFD Norm그래프 확인

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

해석 완료 판단 시점

1. 계산 수렴 기준인 Norm 이 수렴기준(0.001) 이하로 지속적으로 떨어질 때
2. 관심 지점의 결과 값이 정상상태 진입 또는 주기 반복



✓ 모니터링 포인트 관찰 (Norm 그래프 탭이동으로 확인 가능)

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

발산 : 결과가 수렴하지 않는 현상 (해석 실패)

발산 현상의 관찰

1) 모델 규모가 크지 않음에도 불구하고 한 스텝에서 계산이 진행되지 않고 멈추어 있는 듯이 지나치게 느린 경우

2) 출력창에서 아래와 같이 'WARNING [4004]' 또는 'WARNING [4002]' 가 연속적으로 발생하는 경우

```
> STEP =    2, TIME = 2.000E-001, ITER = 3, NORM = VEL(1.000E+000) PRES(6.122E+003)
> WARNING [4007] : MORE THAN 3 ITERATIONS MAY BE NEEDED.
> WARNING [4009] : TIME INCREMENT MAY BE TOO HIGH.
> WARNING [4004] : TRYING OTHER SOLVER FOR SOLVING VELOCITY X (STABILIZED SOLVER)
> WARNING [4004] : TRYING OTHER SOLVER FOR SOLVING FLUID TURBULENCE: EDDY VISCOSITY (STABILIZED SOLVER)
> WARNING [4002] : ITERATIVE SOLVER CANNOT SOLVE AFTER 1000 ITERATIONS SOLVING FLUID TURBULENCE: EDDY VISCOSITY (RESIDUAL = 9.821E+013)
```

3) Norm 그래프의 값이 계속해서 1 이 초과하는 경우

CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

발산 : 결과가 수렴하지 않는 현상 (해석 실패)

발산 현상의 해결

1) 적절한 요소망 생성
   - ✓ 경계 사이의 요소가 8~10 개 이하인 영역에 보다 조밀한 요소망 형성
   - ✓ 요소망 품질 검사를 통해 종횡비가 15 이상인 영역을 찾아 요소 품질 개선 (앞의 “요소망 생성” 부분 참고)

2) 시간간격 적절성 확인 및 최대반복횟수 변경
   - ✓ 시간 간격이 적절하게 입력 되었는지 검토
   - ✓ 최대 반복횟수를 변경해가며 해석 (1~10 사잇값 권장)

3) 경계조건, 재료조건, 접촉 또는 인접면 맞춤 및 절점 병합 모델링, 초기조건 적절성 여부 검토

4) 솔버 변경 고려

※ 발산 직전 해석 결과로부터 트러블슈팅 가능



CFD 해석 과정

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

유체의 속도, 압력, 흐름(난류,와도 등)을 볼 수 있을 뿐만 아니라, 유체 및 고체의 온도를 확인할 수 있음



구조해석과 동일한 환경

일반유동모듈 활용 실무에 필요한 결과 검토 과정 :
상세 내용 : “Part 3. 일반유동 모듈의 이해”

열유동모듈 활용 실무에 필요한 결과 검토 과정 :
상세 내용 : “Part 5. 열유동 모듈의 이해”

midas NFX
TOTAL SOLUTIONS FOR TRUE ANALYSIS-DRIVEN DESIGN

midas NFX CFD
기본유동해석 교육

Part 0. CFD 입문자를 위한 이론의 이해

Part 1. CFD 기본개념의 이해

Part 2. CFD를 위한 올바른 모델링과 해석 수행방법

Part 3. 일반유동 모듈의 이해

Part 4. 예제로 살펴보는 일반유동 모듈

Part 5. 열유동 모듈의 이해

Part 6. 예제로 살펴보는 열유동 모듈

Contents

모듈에 대한 이해 복습

■ **일반유동 모듈**

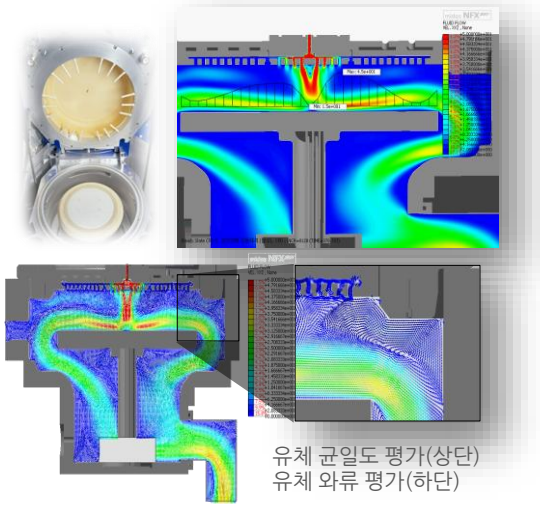
: CFD 기본 모듈로 기체 또는 액체의 흐름을 속도, 압력 그리고 난류 값을 통해 나타내는 기능

■ **일반유동 모듈의 입력과 출력 및 시뮬레이션 활용**

입력	유체밀도, 유체점성, 난류 계산 여부, 제품의 유체 흐름 환경 (유량·유속, 유압, 제품 표면 조건)
결과	속도, 압력, 난류강도, 벽면전단응력, **구조해석 연계를 통한 응력 변위 분석 가능** 등
결과 활용	유체 흐름·분포도, 제품 작용 유체력, 단면의 유량 평가, 유체 정체 구역 확인 등

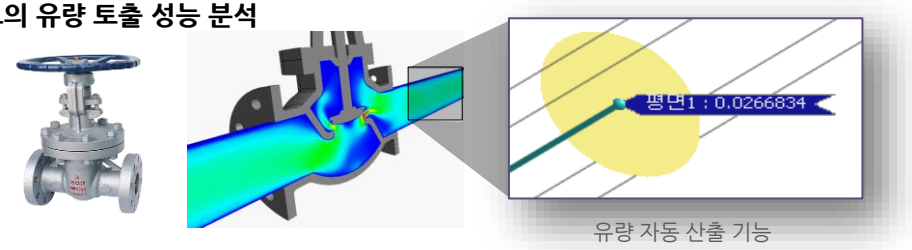
>> 유체의 일반적인 흐름 분석

반도체 웨이퍼 가스 분사 성능



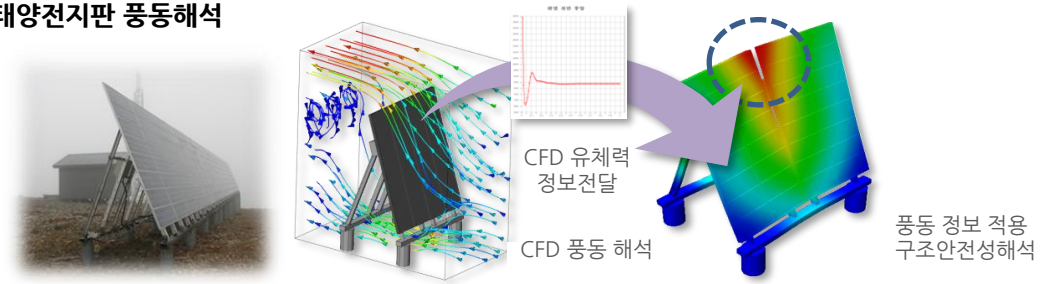
유체 균일도 평가(상단)
유체 와류 평가(하단)

밸브의 유량 토출 성능 분석



유량 자동 산출 기능

태양전지판 풍동해석



CFD 유체력 정보전달

CFD 풍동 해석

풍동 정보 적용 구조안전성해석

일반유동 모듈의 기본 방정식

$$\rho\left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t}+(\vec{u}\cdot\nabla)\vec{u}\right)+\nabla p-\nabla\cdot(\mu\nabla\vec{u})=\rho f \quad \textbf{in} \quad \Omega\times(0,t)$$

$$\nabla\cdot\vec{u}=0 \quad \textbf{in} \quad \Omega\times(0,t)$$

$\vec{u}=\vec{u}(x,t)$: 속도 필드

$p=p(x,t)$: 압력 필드

ρ : 밀도

μ : 점성

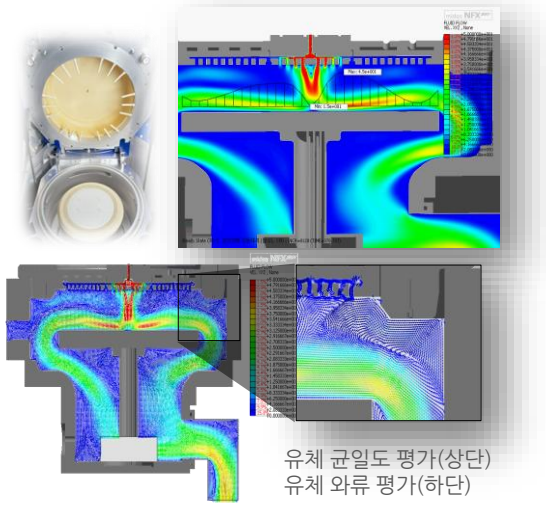
f : 체적 가속도

일반유동 모듈을 이용한 실무 해석 분류

실무 일반유동 해석 분류

① 내부 유동

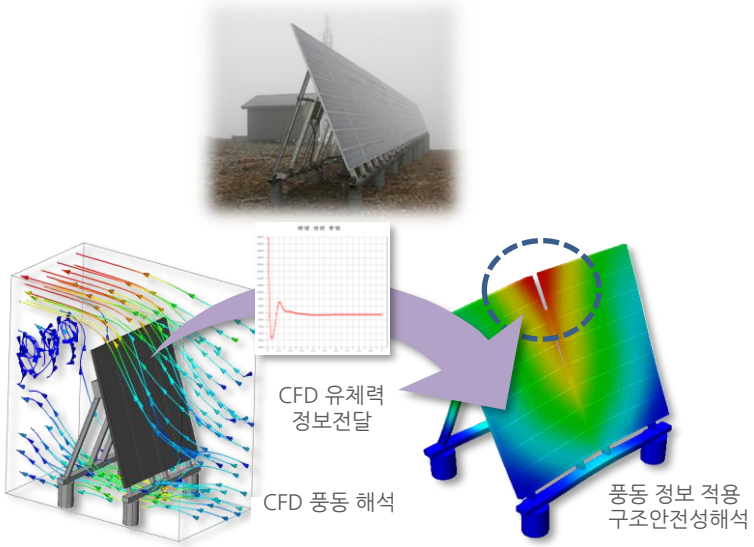
반도체 웨이퍼 가스 분사 성능



유체 균일도 평가(상단)
유체 와류 평가(하단)

② 외부 유동

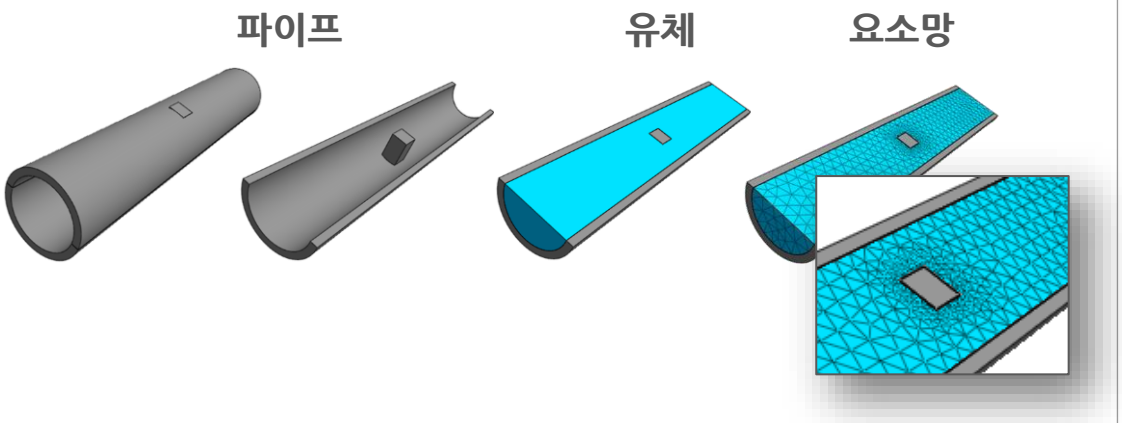
태양전지판 풍동해석



① 내부 유동 해석 방법

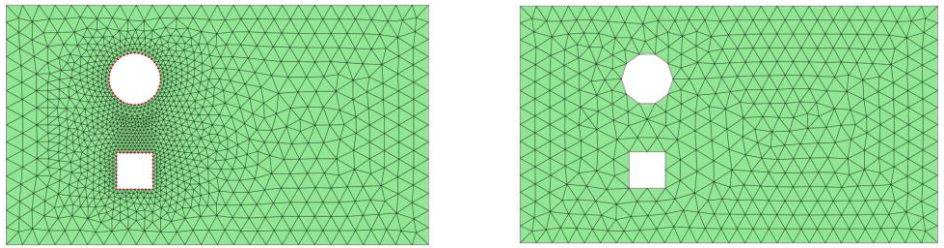
- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

해석 공간 내에 유체의 흐름을 막는 장애물(벽면)이 있을 때



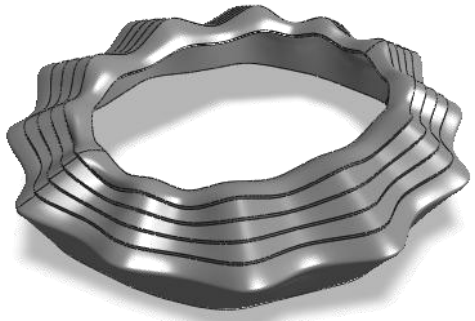
장애물이 있는 부분은 유체가 부딪혀 속도 및 압력 변화가 큼

해당 형상에 대한 유동 변화를 충분히 기술할 수 있는 요소망 필요

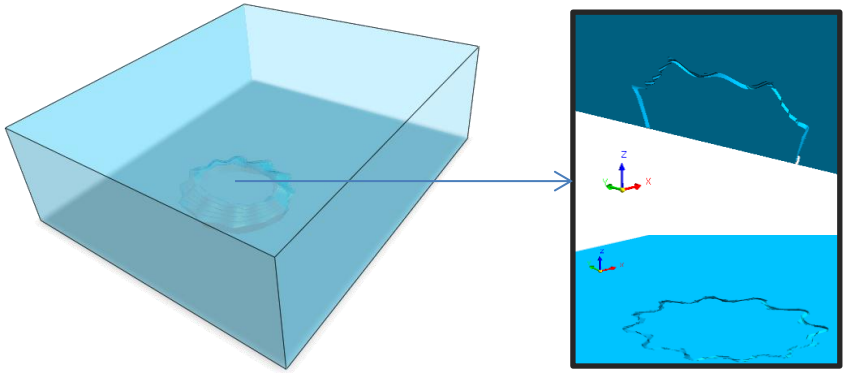


② 외부 유동 해석 방법

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토



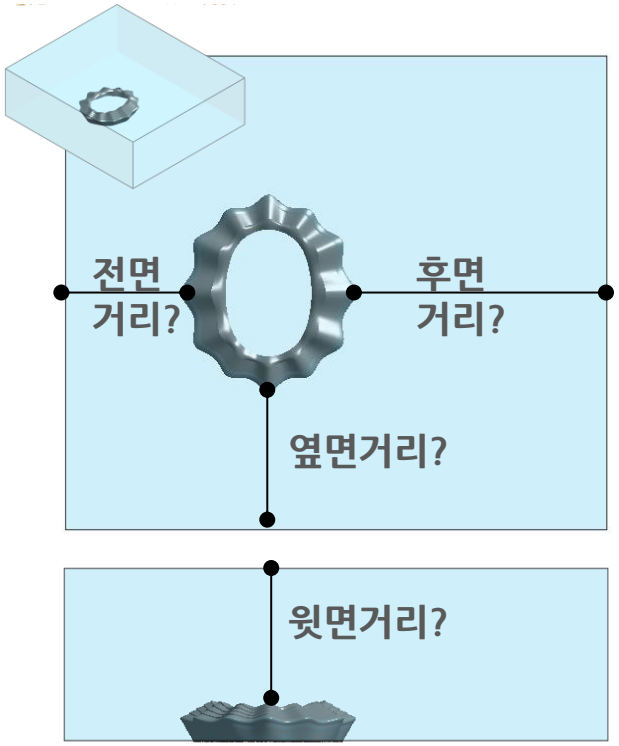
쿠웨이트 올림픽 경기장



외기를 모델링 (고체 부분 제외)

② 외부 유동 해석 방법

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토



외기 기하형상의 사이즈 선택

1) 유동이 완전히 발달하고 대상을만나도록 전면거리 설정

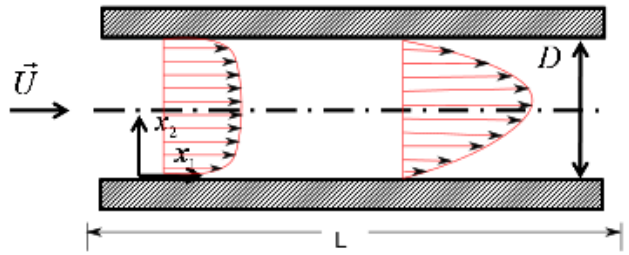
2) 대상에 의해 생기는 후류가 기하형상 내에서 묘사가 되도록 후면거리, 옆면거리, 윗면거리 설정

② 외부 유동 해석 방법

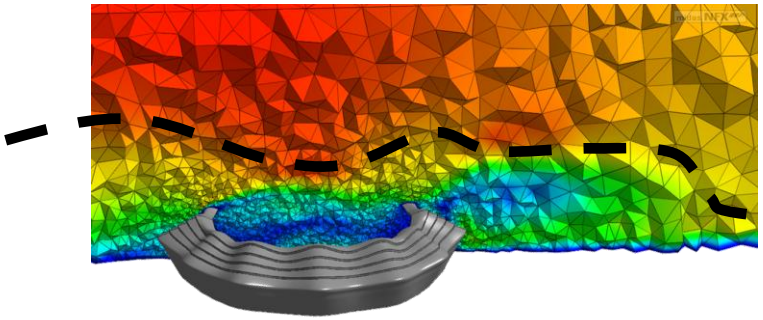
- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

외기 기하형상의 사이즈 선택

1) 전면거리 기준은 유동이 완전히 발달하고 대상을 만나야 함



2) 후면거리, 옆면거리, 윗면거리의 경우 대상에 의해 생기는 후류가 기하형상 내에서 묘사가 되어야 함



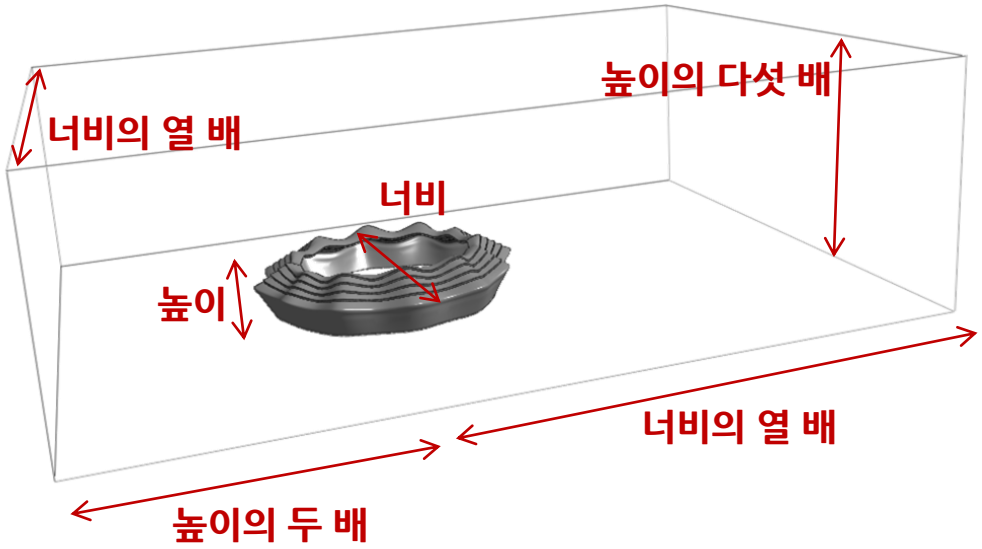
점선 이상의 기하형상을 구성하여 후류 영향을 기하형상이 완전히 포함해야 함

② 외부 유동 해석 방법

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

외기 기하형상의 사이즈 선택

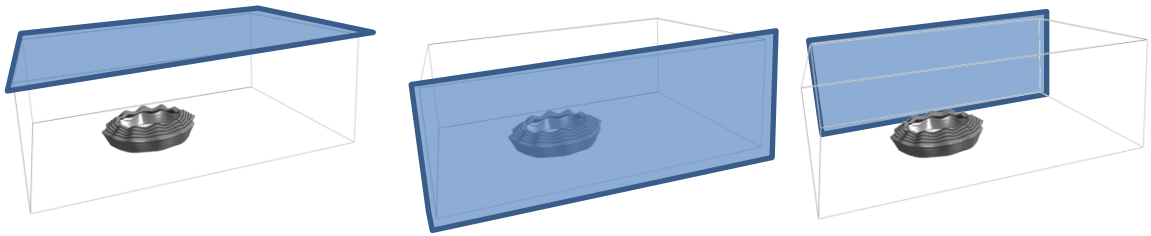
이상적인 기하형상 구성



② 외부 유동 해석 방법

- Step 1 • 해석조건설정
- Step 2 • 기하형상제작
- Step 3 • 재료 · 특성 정의
- Step 4 • 경계 조건 입력
- Step 5 • 인접 조건 설정
- Step 6 • 요소망 생성
- Step 7 • 해석케이스 정의
- Step 8 • 계산 실행
- Step 9 • 결과검토

경계조건 입력



외기 조건 입력 방법 :

수직 속도 0 고정

"벽면" 경계조건으로 각 면에 비점성 벽면 조건 부여

midas NFX
TOTAL SOLUTIONS FOR TRUE ANALYSIS-DRIVEN DESIGN

midas NFX CFD
기본유동해석 교육

Part 0. CFD 입문자를 위한 이론의 이해

Part 1. CFD 기본개념의 이해

Part 2. CFD를 위한 올바른 모델링과 해석 수행방법

Part 3. 일반유동 모듈의 이해

Part 4. 예제로 살펴보는 일반유동 모듈

Part 5. 열유동 모듈의 이해

Part 6. 예제로 살펴보는 열유동 모듈

Contents

midas NFX
TOTAL SOLUTIONS FOR TRUE ANALYSIS-DRIVEN DESIGN

실무 따라하기

내부 유동 해석 기본 예제

- 일반유동해석

Contents

일반유동 해석 CFD워크 플로우

NFX에서는 9단계로 일반유동 CFD 해석 수행 가능

1. 해석조건설정

- 내부유동, 외부유동 케이스인지 물리현상 사전 판단 → 내부, 외부 유동장 생성
- 입구(유입속도)와 출구(유출압력)의 물리량 파악하고 입구 출구 경계조건을 부여할 면 사전 판단 → 유동경계조건 입력
- 유동장에서 벽경계 조건을 부여할 구조물이 있는지 판단 → 요소망 생성시 요소망이 조밀해야 하는 부분 선 파악
- 모델 내부로 유입될 유체의 온도, 압력에 따른 물성치 판단 → 해석에 사용할 유체 선정

2. 기하 형상제작

- CAD 불러오기 기능을 이용한 기하 모델 생성
- midas NFX의 모델링 기능을 이용한 모델 생성
- 필요시 모델 수정 기능을 통한 형상 단순화 작성 수행

} **유동해석을 위한 내부, 외부 유동장 생성 필수**

- 유동장을 직접 모델링 한 경우 유동장 생성 작업 수행 불필요

3. 재료 · 특성 정의

- 질량 밀도(density)
- 점성(Viscousity)

} **일반 정상상태 유동 해석 시 필수 기입 항목**

- 이외의 열, 물질 이송, 복사 입력 항목 **- midas NFX의 열모듈과 물질 확산 모듈을 사용하는 경우 필수 입력**
- 특성 정의 : 1차원, 2차원, 3차원 특성과 해석 움직임 특성, 유동 특성 정의 **- 일반 정상상태 유동 해석 시 필수 생성**

4. 경계 조건 입력

- 유동에 불안정 비 물리적 형태가 발생하지 않도록 경계조건 지정 필요
- 내부 유동 경계조건 : 입구, 출구를 지정하고 유동장 외각의 구조물과 맞닿는 영역을 벽 경계조건을 정의
- 외부 유동 경계조건 : 입구, 출구를 지정하고 유동장 내부의 구조물과 맞닿는 영역을 벽 경계조건을 정의

} **일반 정상상태 유동의 경우 입구조건1개, 출구조건1개 지정 필수**

5. 인접 조건 설정

- 일반 유동 해석을 수행하는 경우 입력을 필요로 하지 않음

6. 요소망 생성

- 1차원, 2차원, 3차원 요소 생성이 가능
- 유동장의 전체 유동패턴을 확인하기 위해 3차원 요소망 생성 권장 **- 특성 모델 선택 필수**
- 시딩 기능을 이용하여 물리적 변화량이 많이 발생하는 영역에 조밀한 격자 생성 권장

7. 해석케이스 설정

- 정상상태, 비정상상태 해석 선택
- 정상상태 : 유동이 모두 안정된 상태의 해석 결과 도출을 원하는 경우 선택 **- 시간 간격의 최대 상한치 입력 필수(프로그램 자동 조절)**
- 비 정상상태 : 유동이 시간에 따라 변화하는 결과 도출을 원하는 경우 선택 **- 해석자가 해석을 원하는 시간 간격 및 시간스텝 개수 입력 필수**

8. 해석 수행

9. 결과검토

- CFD Residual 차트 확인(모든 값이 0.0001이하로 수렴하는지)
- 해석 결과가 이론적으로 타당성이 있는지 확인
- 유체역학 이론에 따른 유체의 속도와 압력 값 변화 확인

간단한 예제 수행

다음 실습 안내

내부 직경이 좁아지는 파이프 해석 해보기

목표: 지금까지 학습한 내용을 바탕으로 해석자의 시점에서 어떤 관점이 필요한지 생각해본다.

1 해석 조건 파악 해보기

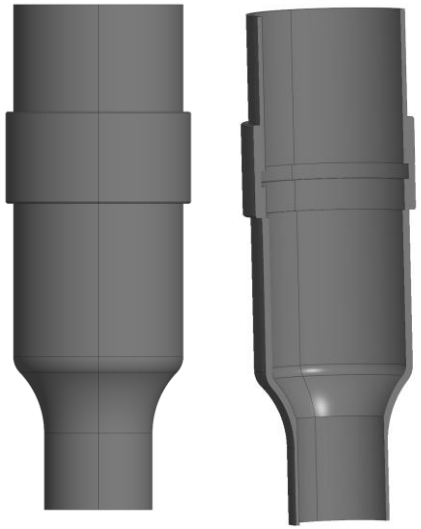
- 입구에 유입되는 유체의 물성치는? → 유체의 물성 확인하기(뉴턴/ 비뉴턴)
- 입구에서 유입되는 유체의 속도/ 압력은?? → 유입 조건
- 출구에서 유체의 속도/ 압력은? → 유출 조건
- 파이프의 재질은 무엇인가? → 벽 경계층 특성
- 파이프 내부 형상의 굴곡은 없는가? → 격자 생성시 조밀하게 생성해야 하는지 고민

2 모델의 구조적 특성을 파악하여 유동 형태 예상하기

- 구조적 특성이 유동에 어떻게 출현할까? → 물리적으로 타당한 해석 결과 도출을 위한 유동 특성 예상
- 파이프 내부 유동이 어떠한 특성을 보이게 할까? → 유동 특성 확인

3 경계조건 부여 위치 및 유동 조건 설정하기

- 입구 또는 출구 조건이 유동에 영향을 줄 수 있는가? → 다양한 경계조건
- 입출구 조건의 위치가 무엇이 될지? → 유동에 적합한 경계조건 결정
- 난류인가 층류인가? → 난류 모델 선택 및 유동 특성 해석



Reducer Pipe - 내부 직경이 점차 좁아지는 파이프 구조

간단한 예제 수행

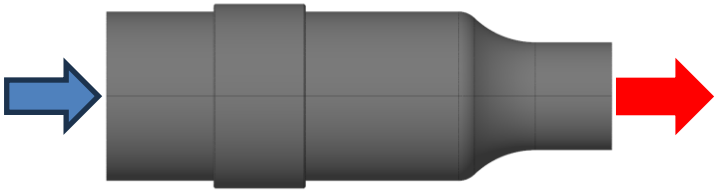
해석 수행 해보기

주어진 해석 조건을 따라 일반 유동 해석 수행

부여된 해석 조건

파이프 재질 : SUS304

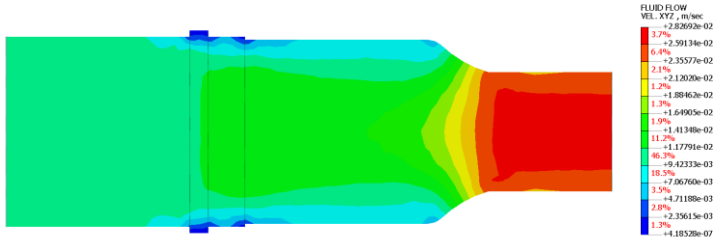
유체 물성 : water
입구속도 : 0.01 m/sec

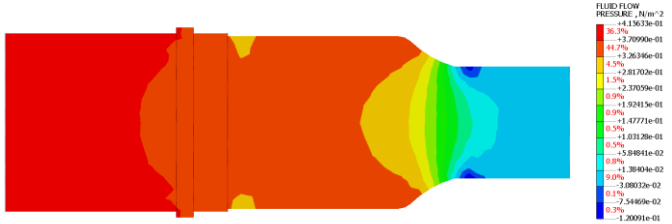


압력 : 0 (대기압)

해석 도출결과 1 - 입구와 출구에서의 압력 구배 확인하기

- **질량 보존**, **베르누이의 에너지 보존**, 벽경계 유동 특성등을 고려 하였을 때, 타당한 결과를 얻었는지 정성적인 타당성 검증하기





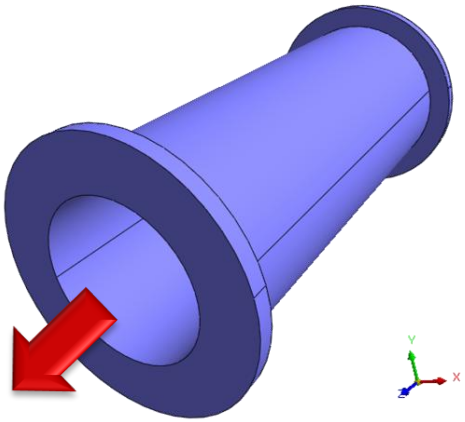
midas NFX
TOTAL SOLUTIONS FOR TRUE ANALYSIS-DRIVEN DESIGN

실무 따라하기

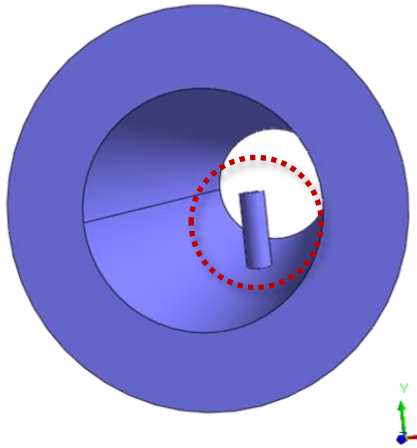
내부유동 해석 기본 예제

Contents

문제 설명 및 해석 목적(교재 107p)



25℃ 물이 1 m/s 로 흘러감



파이프 내부에 원기둥
모양의 장애물

문제 설명

- ✓ 파이프 형태
- ✓ 파이프 내부로 25℃ 물이 1 m/s로 흐름
- ✓ 파이프 내부에 원기둥 모양 장애물

해석 목적

- ✓ 기계 시스템 내부의 유동 특성 파악
- ✓ 구조해석 연계로 구조물 응력 및 변위 확인

학습 주요 아이템

- ✓ 유동해석에 필요한 NFX 옵션 설정
- ✓ 재료 정의 및 특성 정의
- ✓ 특정 부분 요소망만 조밀하게 하는 방법
- ✓ 내부 유동의 일반적인 경계조건 입력 방법
- ✓ 해석케이스 정의 방법 (정상 상태)
- ✓ 유동해석 결과 검토 방법
- ✓ 구조해석 연계 방법

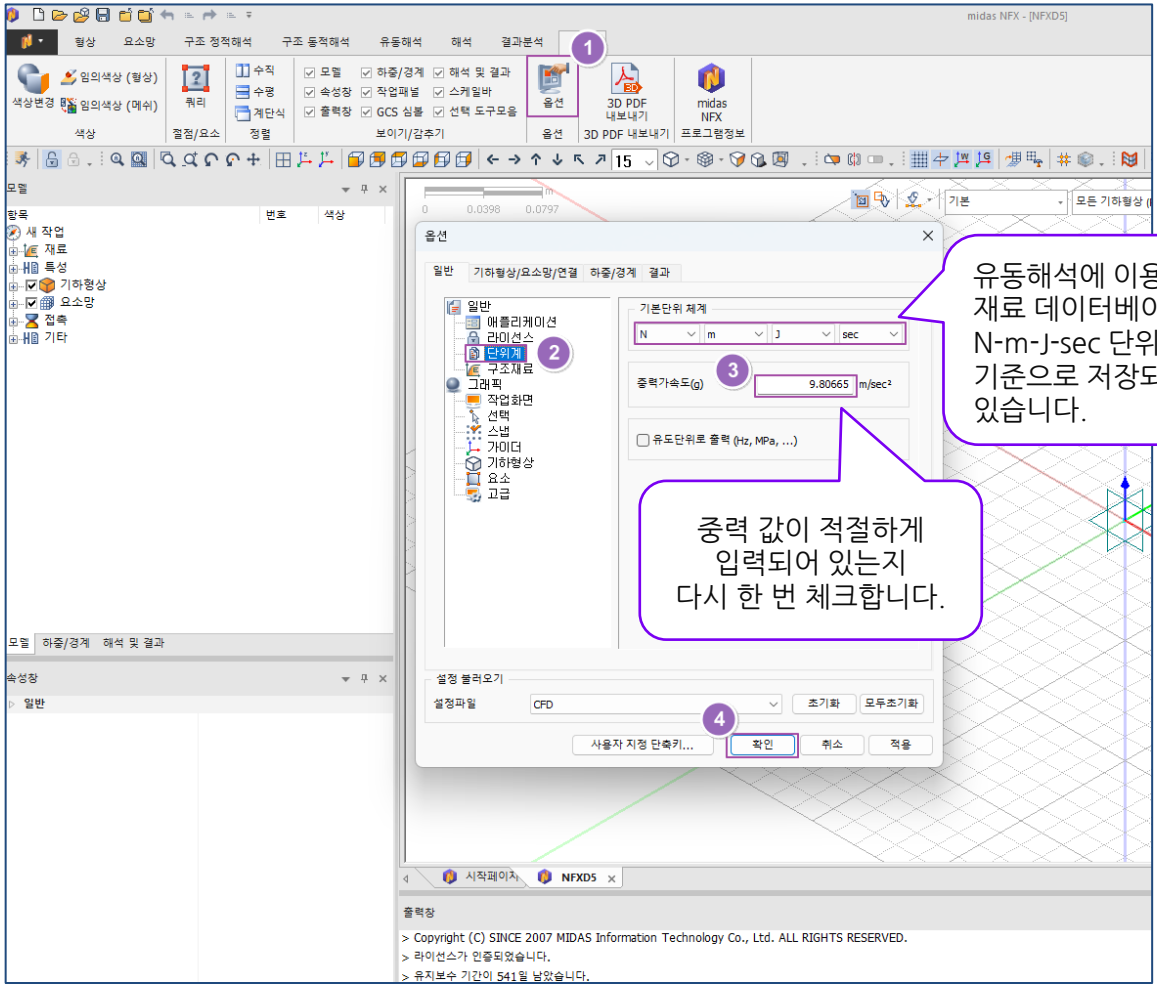
단위계 옵션 확인

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”
› 옵션 버튼 선택

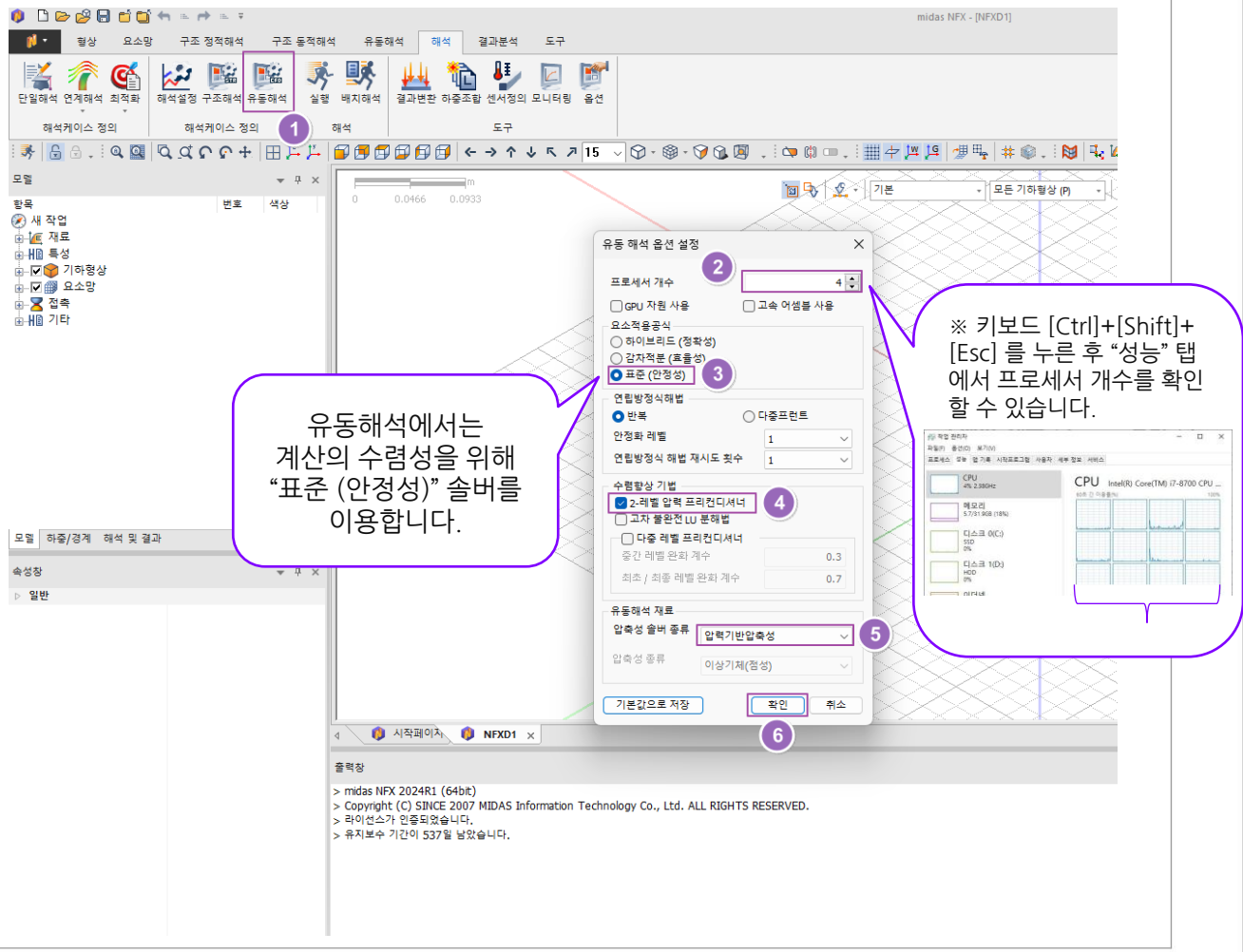
② “프로세서 개수” 입력창
: 계산에 동원할 CPU 개수를 입력

③ “요소적용공식” 그룹박스
› “표준(안정성)” 라디오버튼 선택

④ “2-레벨 압력 프리컨디셔너” 클릭

⑤ “압축성 솔버 종류” 그룹박스
› “압력기반압축성”선택

⑥ “확인” 버튼 클릭



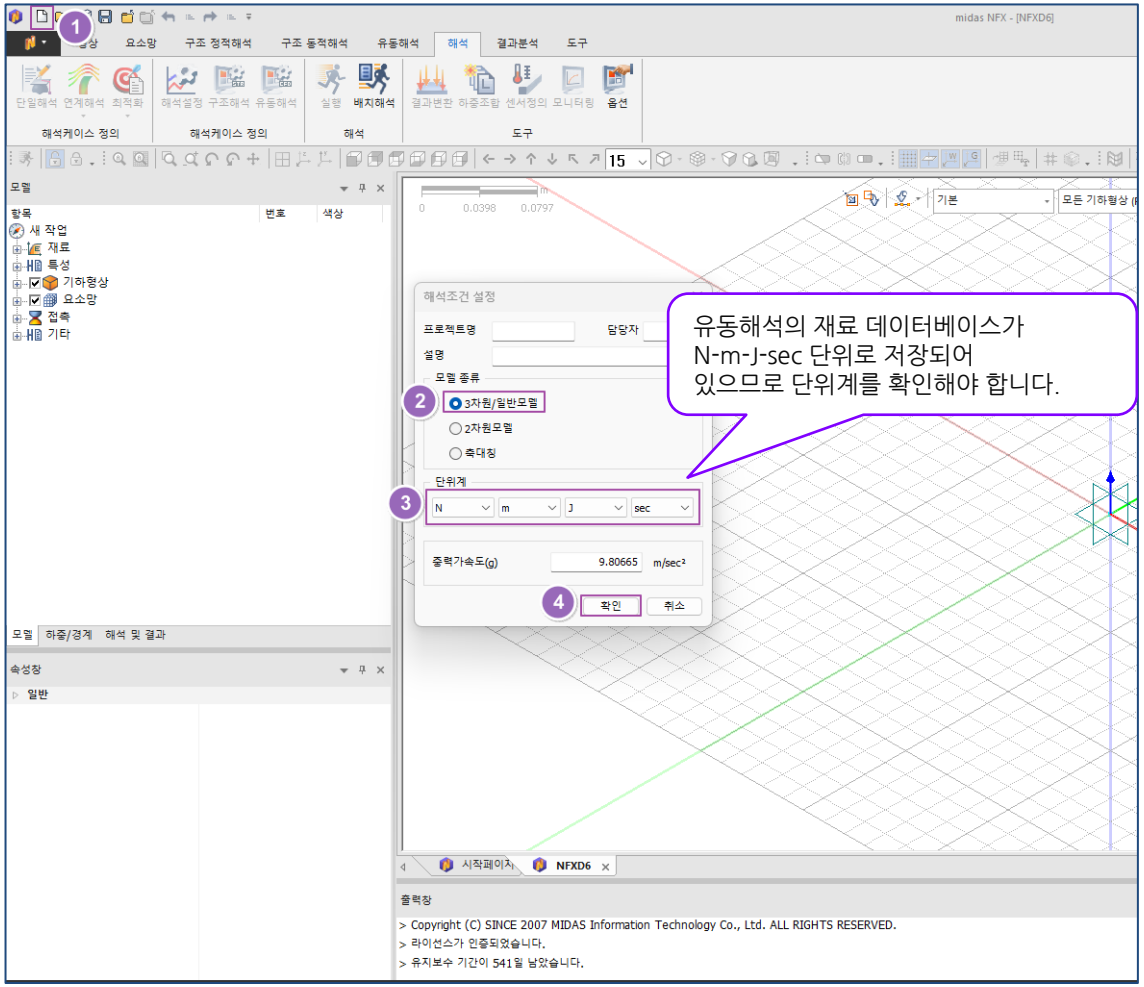
새로 만들기

① “새로만들기” 버튼 클릭

② “3차원/일반모델” 라디오버튼 클릭

③ “단위계” 그룹박스 내
: N-m-J-sec 설정

④ “확인” 버튼 클릭



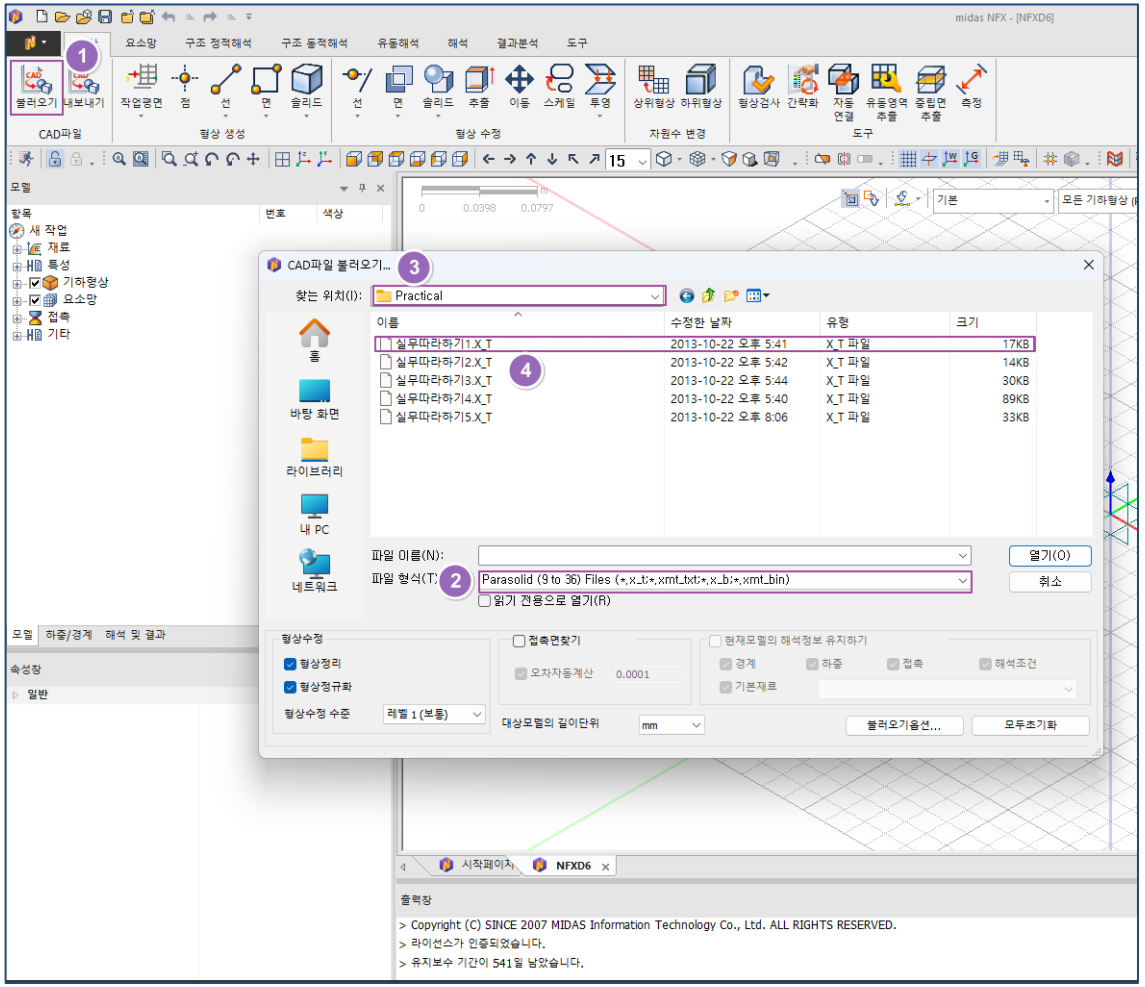
기하형상 불러오기

① “형상” 리본메뉴
 > “불러오기” 버튼 클릭

② “파일 형식” 콤보박스
 > “Parasolid..” 선택

③ CAD 파일이 있는 폴더로 이동

④ “실무따라하기1.X_T”
 더블 클릭

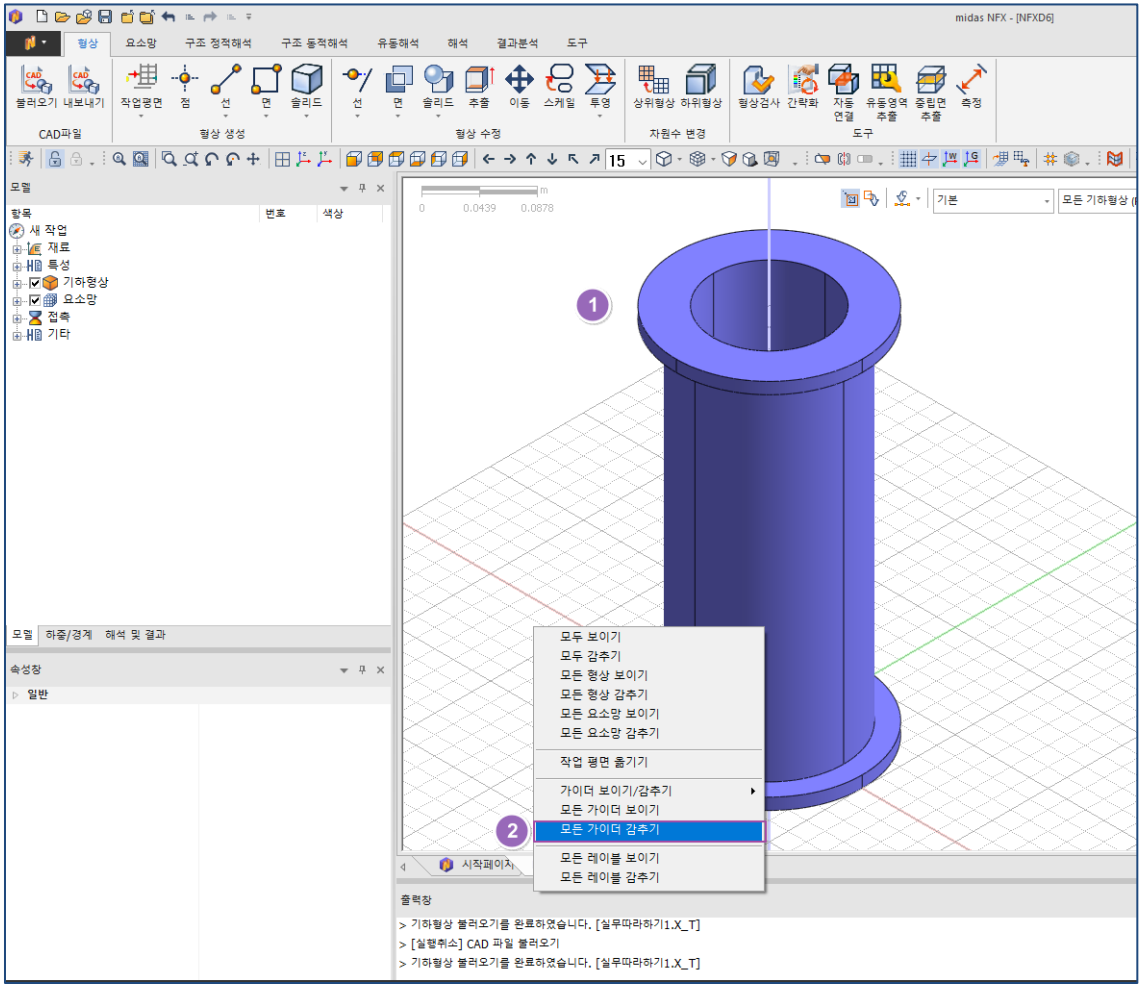


기하형상 불러오기

① 기하형상 확인

※ 키보드 마우스 조작을 통해 기하형상을 자세히 관찰합니다.

② 마우스 오른쪽 버튼 클릭
› "모든 가이더 감추기" 클릭

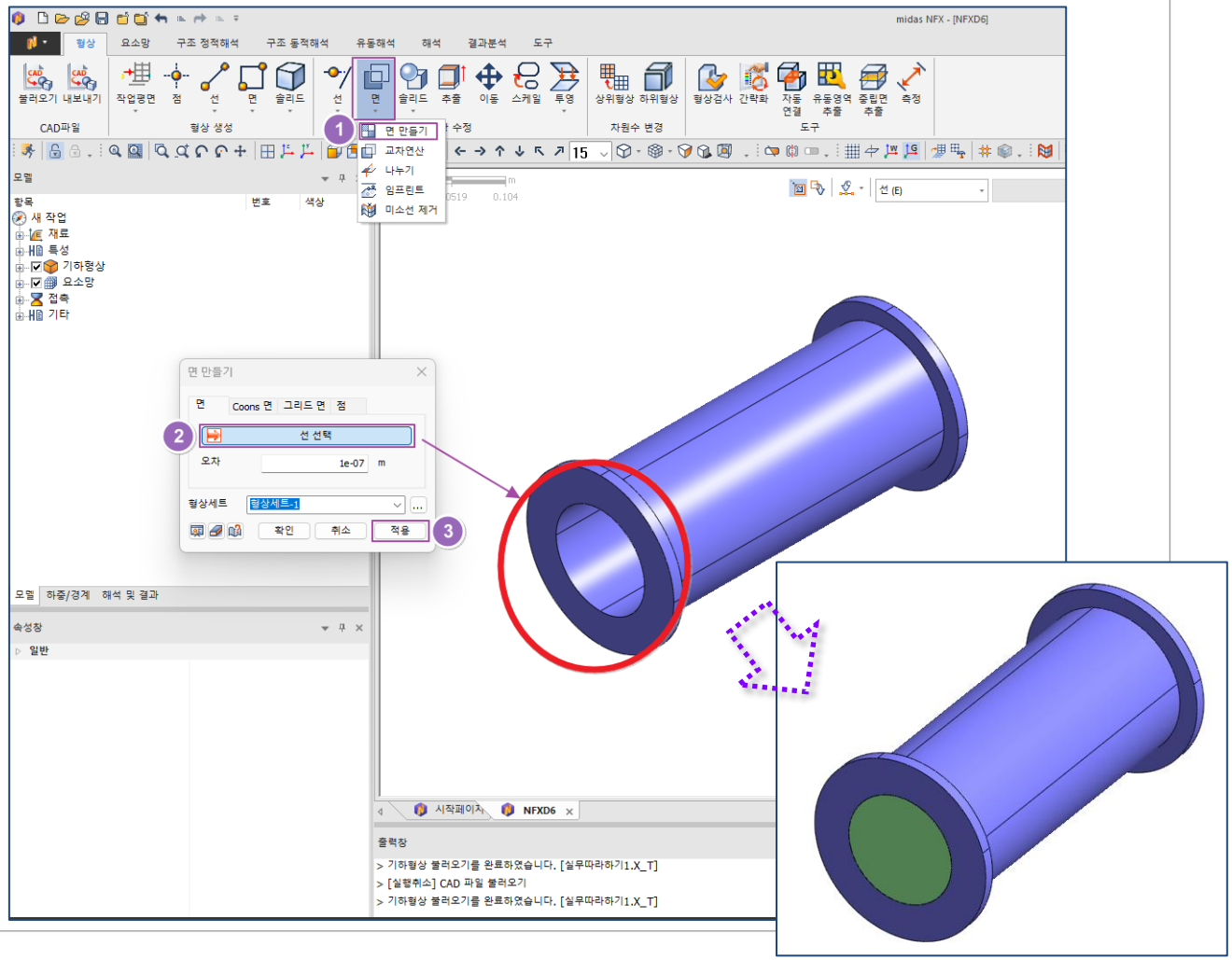


구조 형상으로부터 유체 체적 만들기

① "면 만들기" 버튼 클릭

② "선 선택" 버튼 클릭
> 배관 앞의 내경을 나타내는 선분 네 개를 선택

③ "적용" 버튼 클릭



구조 형상으로부터 유체 체적 만들기

① “추출” 버튼 클릭

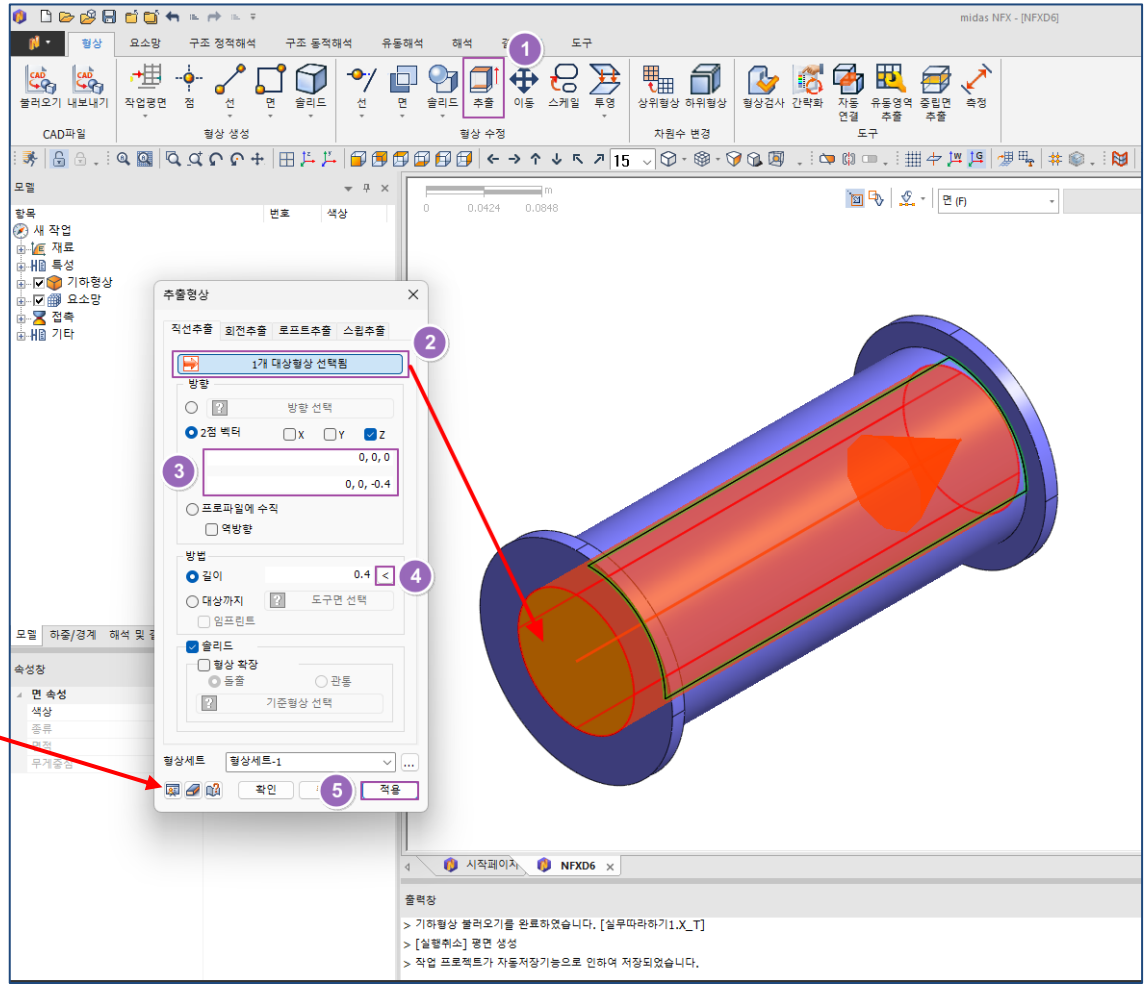
② 대상형상 → 생성한 면 선택

③ 방향 2점 벡터 ‘z’ 축만 선택
› 화살표 방향과 같이
시작점, 끝점 선택

④ < 클릭 하여 길이 측정

⑤ “적용” 버튼 클릭

※미리보기 버튼을 누르면 사진과 같은 빨간색 영역 표시 확인 가능



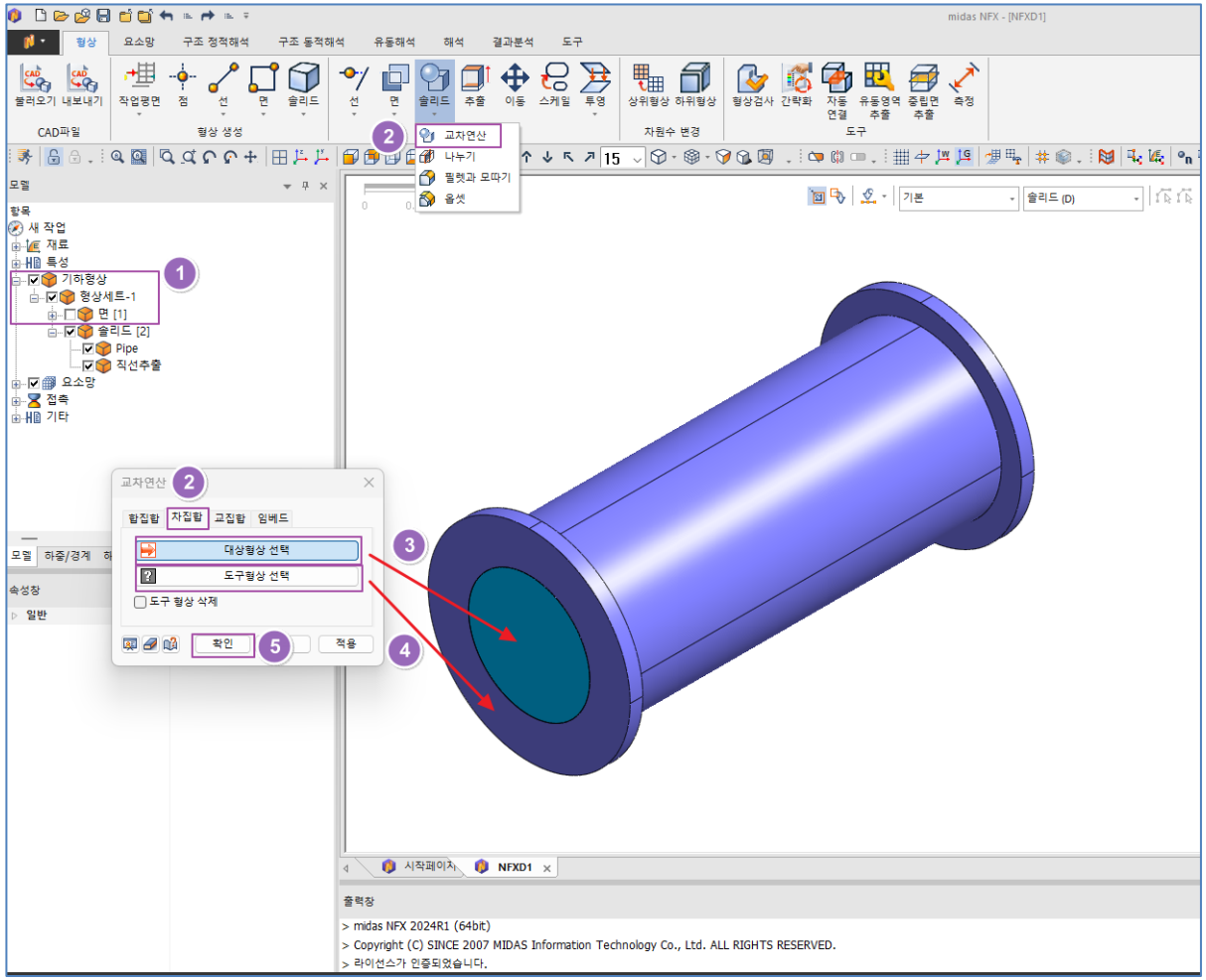
구조 형상으로부터 유체 체적 만들기

① “모델” 트리 메뉴
  › “기하형상” 트리 메뉴
  › “형상세트-1” 트리 메뉴
  › “면” 트리 메뉴
  › 면 체크 박스 : Off

② “솔리드” 클릭
  › “교차연산” 하위 메뉴
  › “차집합” 리본 메뉴
  › 대상형상 내부 직선 부분
  › 도구형상 외부 파이프 부분

③ “도구 형상 삭제” 체크 해제

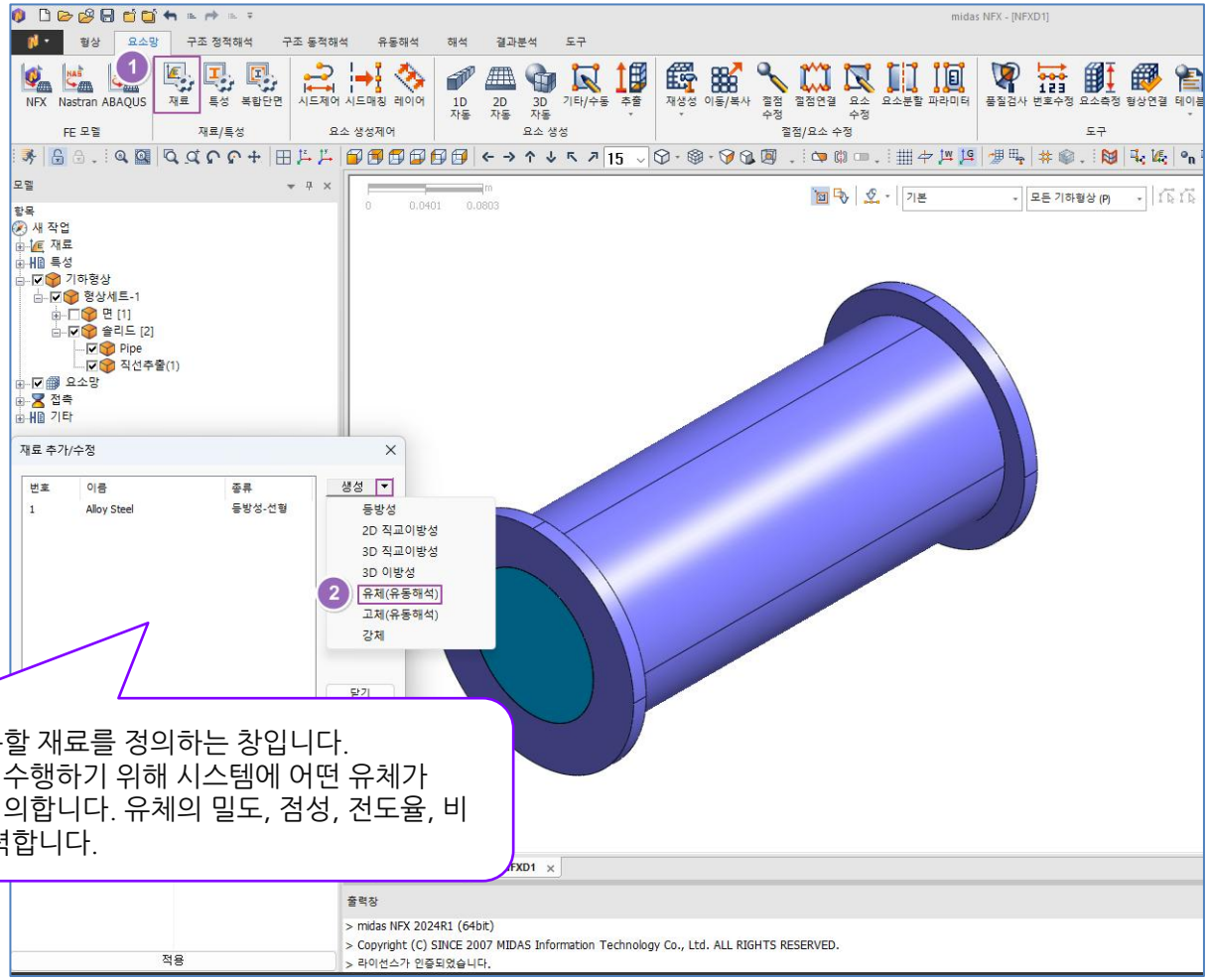
④ “확인” 버튼 클릭



유체/고체 재료 정의하기

① “요소망” 리본 메뉴 클릭
 › “재료” 버튼 클릭

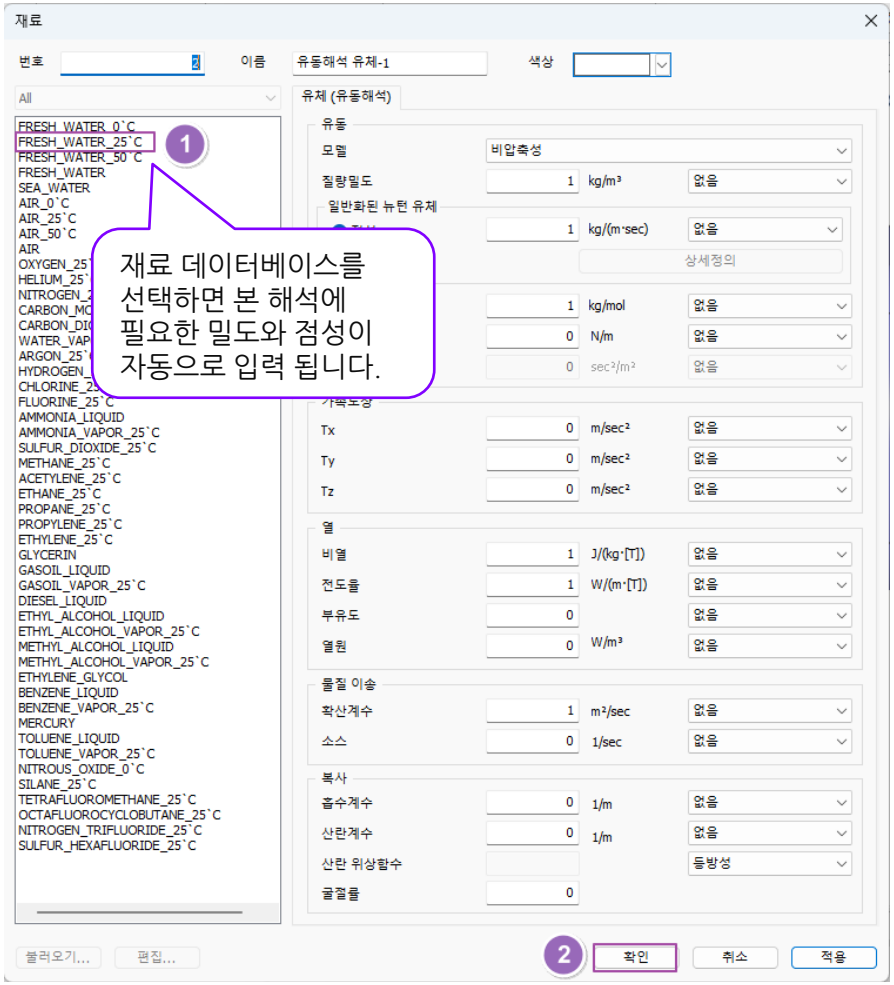
② “재료 추가/수정” 창
 › “생성” 옆 화살표 버튼 클릭
 › “유체(유동해석)” 선택



유체 재료 정의하기

① 재료 데이터베이스 > "FRESH_WATER_25'C" 선택

② "확인" 버튼 클릭

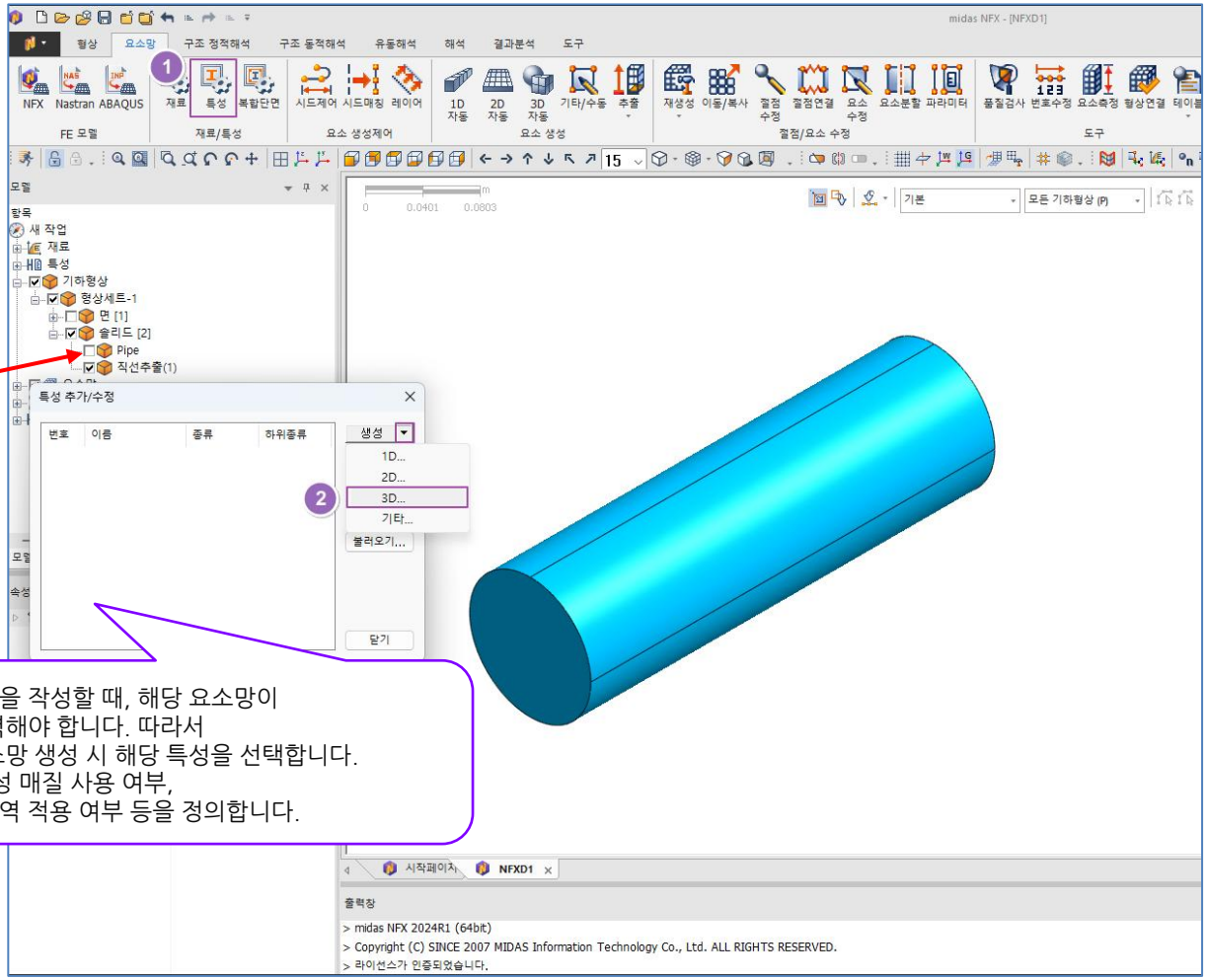


특성 정의하기

① “특성” 버튼 클릭

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

※Pipe 부분을 선택 해제하면 따로 직선으로 추출한 유동해석 영역만 표시 가능



유동해석에 필요한 요소망을 작성할 때, 해당 요소망이 어떤 성질을 가지는지 입력해야 합니다. 따라서 특성을 정의하고 이후 요소망 생성 시 해당 특성을 선택합니다. 특성에는 재료 정보, 다공성 매질 사용 여부, MRF (다중참조프레임) 영역 적용 여부 등을 정의합니다.

유체 특성 정의하기

① "3D 유동해석" 탭 선택

② 재료 선택 창
: "2: FRESH_WATER_25'C" 선택

③ 이름으로 "유동영역" 입력

④ "적용" 버튼 클릭



유체 유입 조건 설정 : 입구단

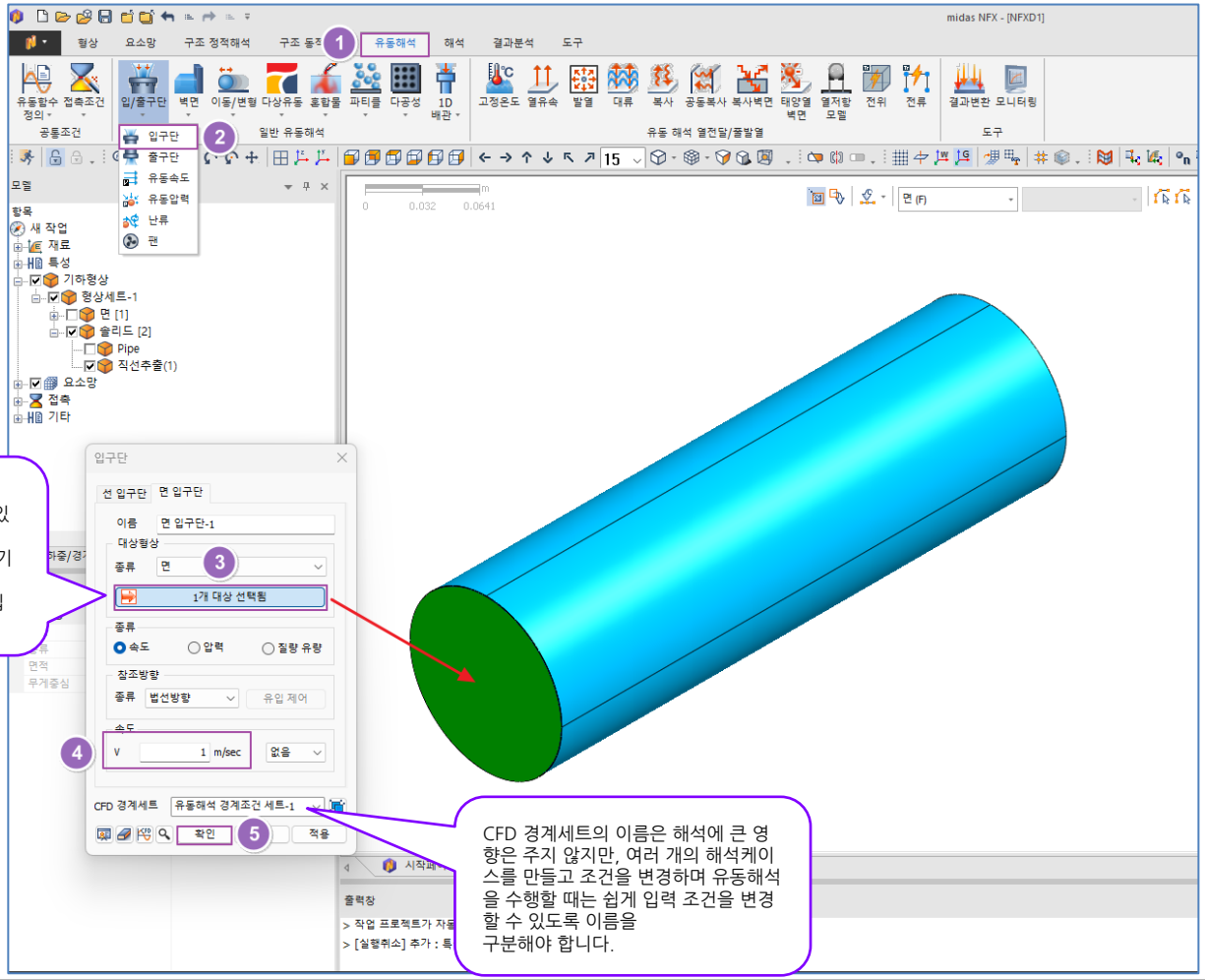
① “유동해석” 리본 메뉴 클릭

② “입/출구단” 버튼 클릭
> “입구단” 버튼 클릭

③ 기하형상 입구 측 선택

④ “속도” > “V” : “1” 입력

⑤ “확인” 버튼 클릭



NFX CFD 에서는 경계조건을 요소망 및 기하형상 모두에 줄 수있습니다. 입구단 경계조건의 경우 요소망의 “2D 요소면” 또는 기하형상의 “면” 에 줄 수 있습니다. 여기에서는 기하형상 입력 방법을 보여주고 있습니다.

CFD 경계세트의 이름은 해석에 큰 영향은 주지 않지만, 여러 개의 해석케이스를 만들고 조건을 변경하며 유동해석을 수행할 때는 쉽게 입력 조건을 변경할 수 있도록 이름을 구분해야 합니다.

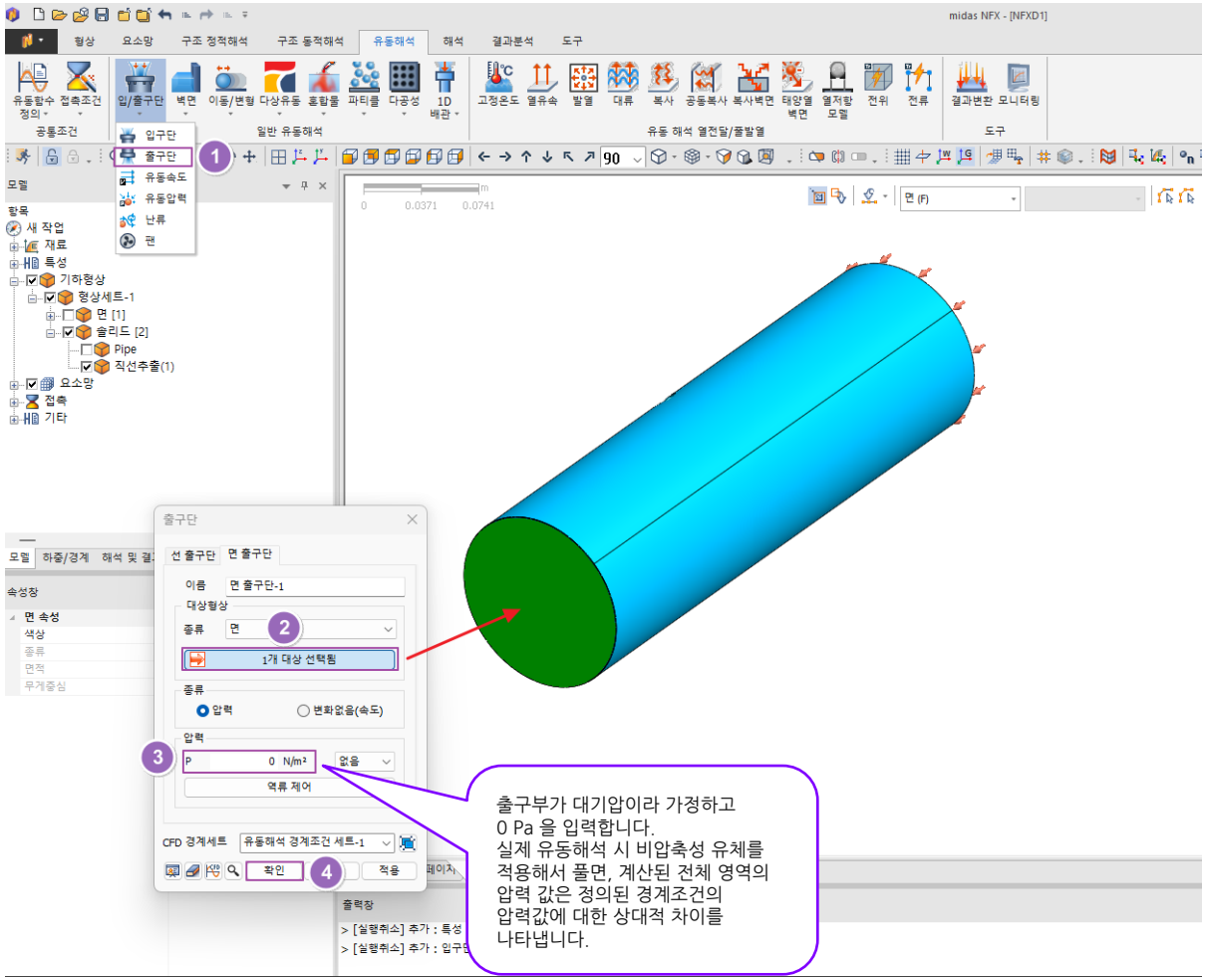
유체 유출 조건 설정 : 출구단

① "출구단" 버튼 클릭

② 기하형상 출구 측 선택
(입구 측 반대)

③ "압력" > "값" : "0" 입력

④ "확인" 버튼 클릭



실제 구조 기하와 접하는 벽면 조건 설정

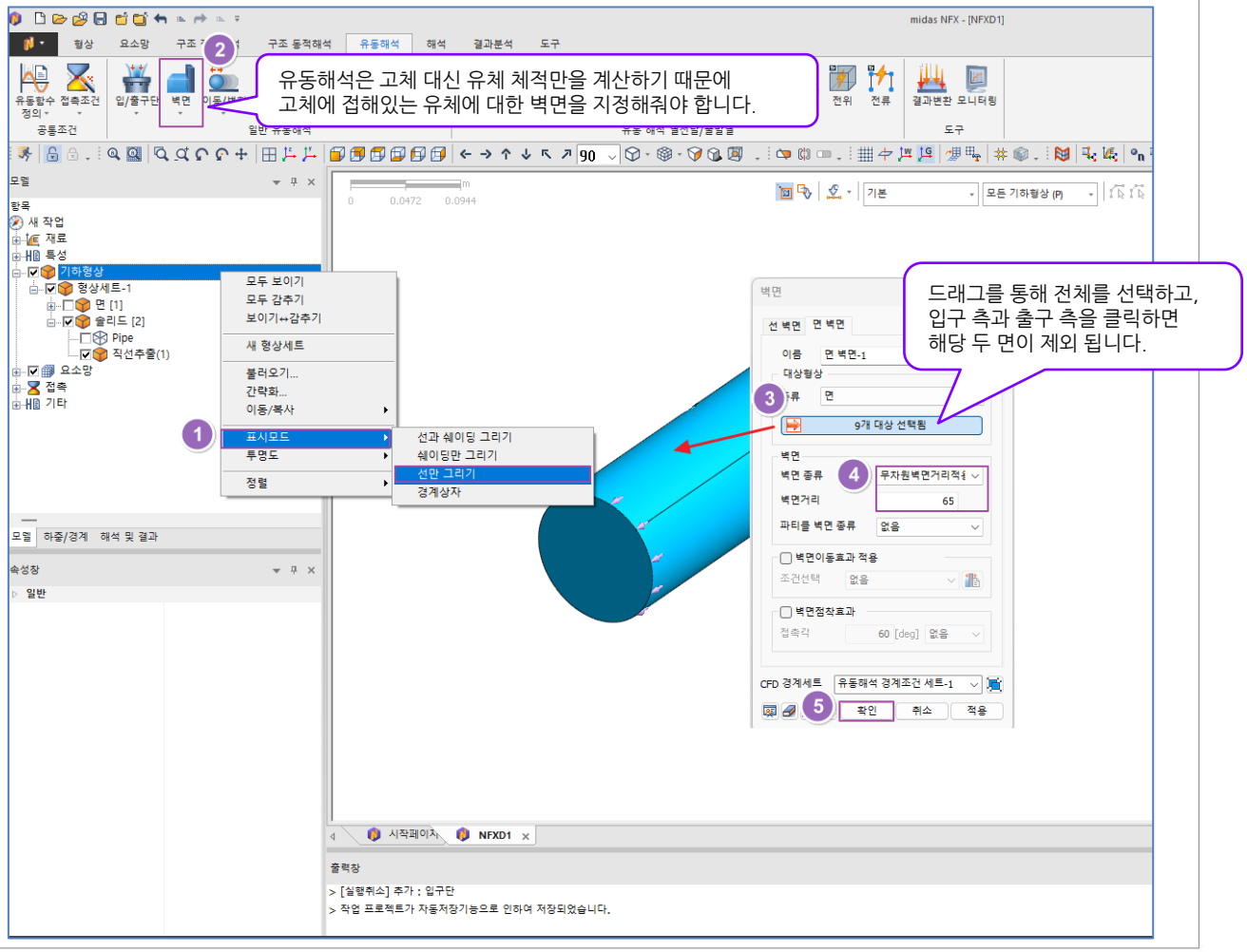
① 기하형상 클릭
 › 마우스 오른쪽 버튼 클릭
 › “표시모드” 선택
 › “선만 그리기” 선택

② “벽면” 버튼 클릭

③ 기하형상 중 구조 기하와 접하는 면 선택 (입구 측과 출구 측을 제외한 전체 면)

④ 무차원벽면거리적용 65 입력

⑤ “확인” 버튼 클릭



인접 조건 설정 : 필요 없음

일반 유동 모듈을 이용하는 예제는

특수한 경우를 제외하고

인접 조건 설정이 필요하지 않습니다.

요소망 생성 – 작은 형상에 대한 시딩 생성

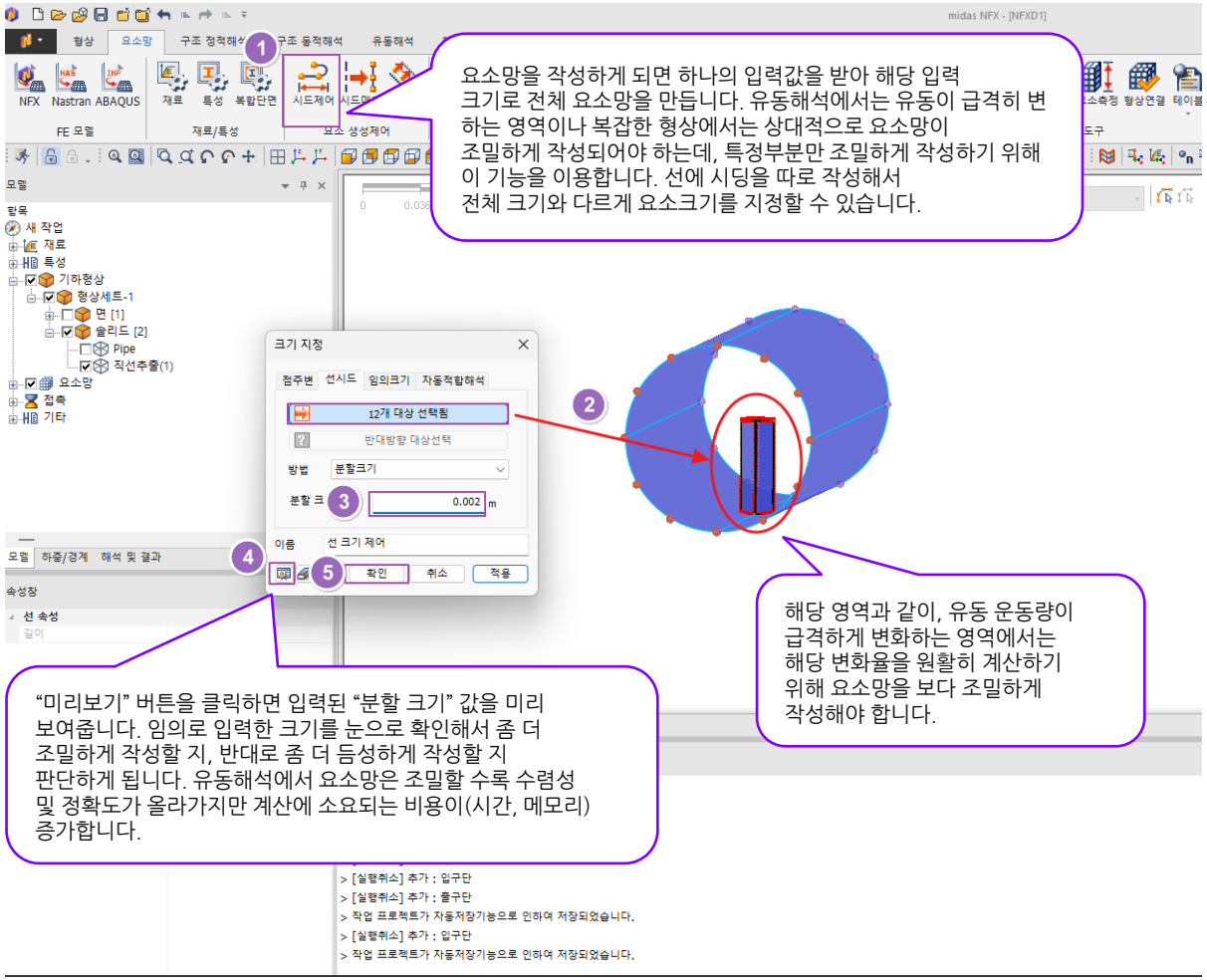
① “요소망” 리본 메뉴
> “시드제어” 버튼 선택

② 유체 체적 내 장애물 근처 선분 선택 (유동영역)

③ “분할 크기” 입력창
: 0.002 입력

④ “미리보기” 버튼 클릭

⑤ “확인” 버튼 클릭



요소망 생성

① “3D” 버튼 클릭

② 대상 선택

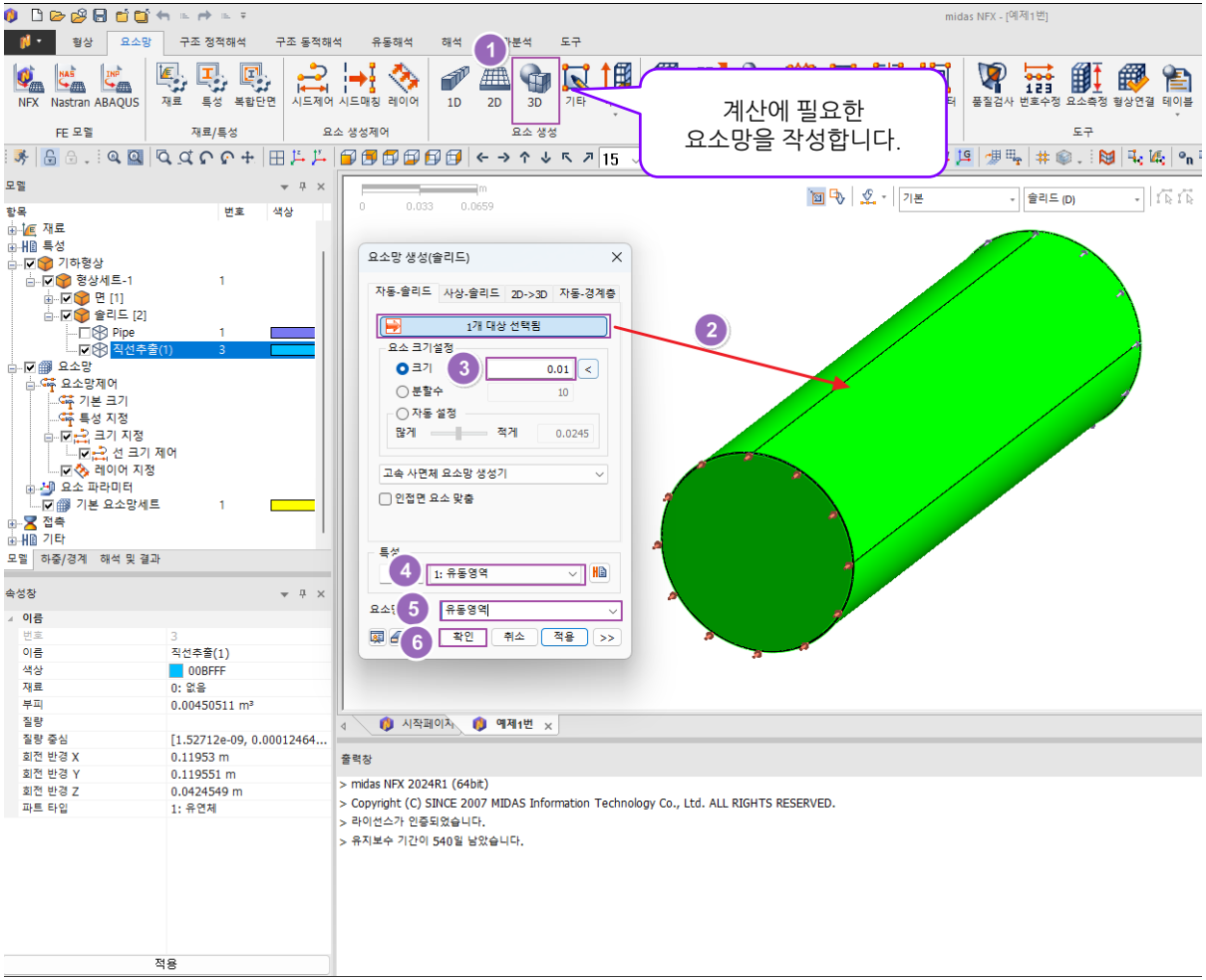
③ 요소 크기 설정
› “크기” 입력 창
: 0.01 입력

④ “특성” 선택 창
: “1:유동영역” 확인

⑤ “유동영역” 입력

⑥ “확인” 버튼 클릭

※ ›› 고급옵션 에서 고차요소생성 해제 필수



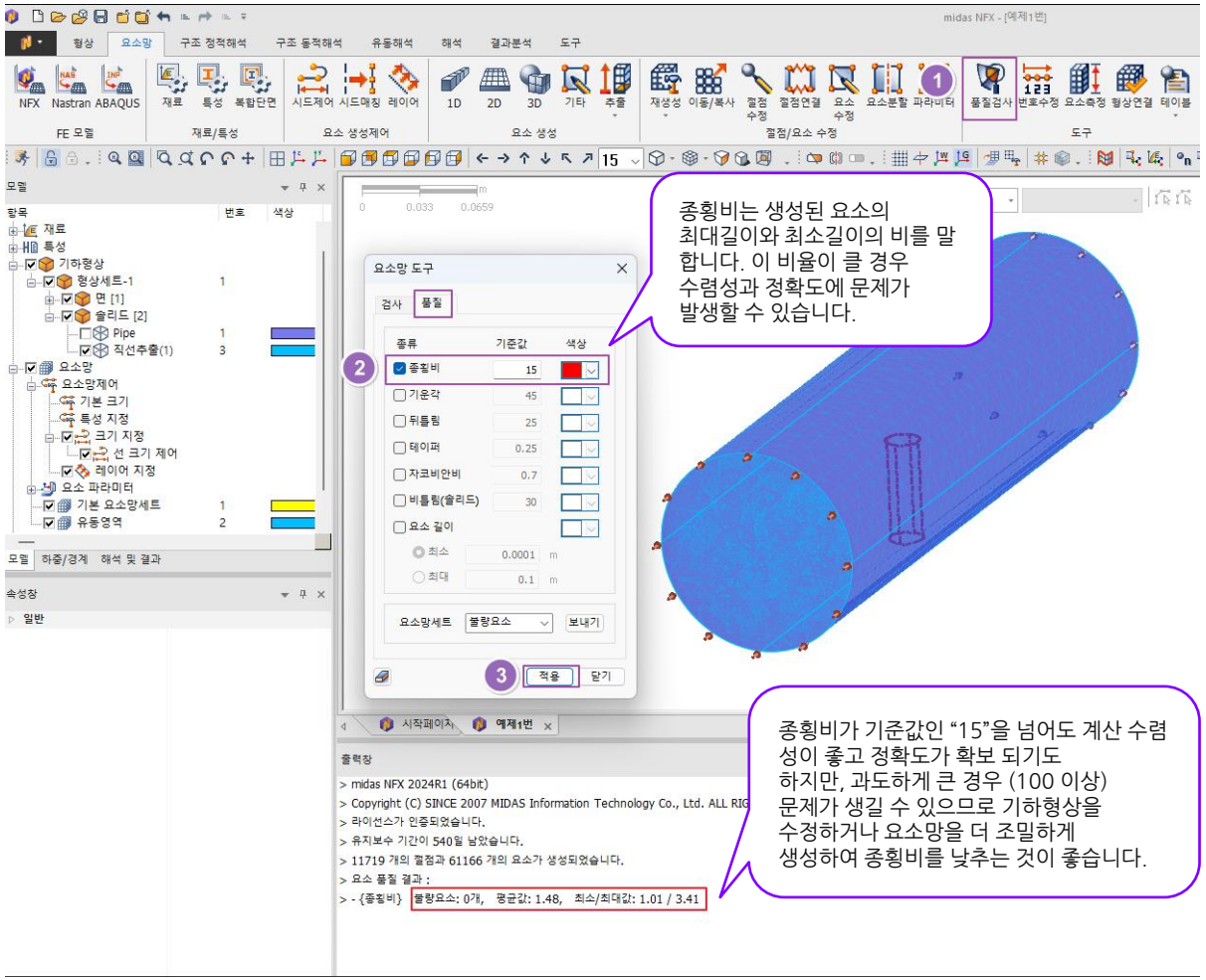
요소망 생성 – 품질 검사

① “품질검사” 버튼 클릭

② “품질” 탭 클릭
› 종횡비 체크, 15 확인

③ “적용” 버튼 클릭

④ “출력창” 에서 최대값을 확인



해석케이스 정의

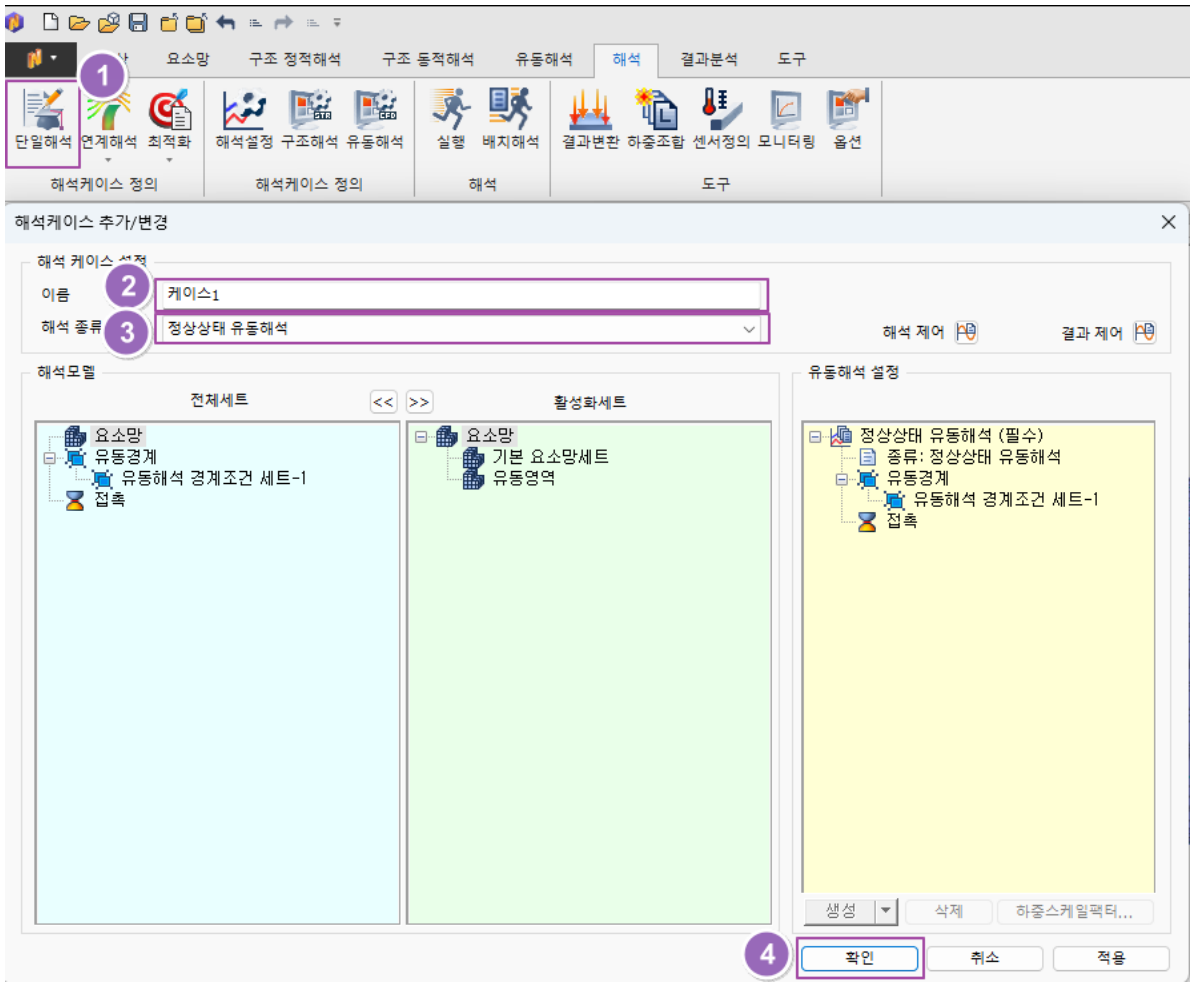
① “단일해석” 클릭

② “케이스1” 입력

③ “정상상태 유동해석” 선택

④ “확인” 클릭

※ 유동해석이나 구조해석의 해석 제어 설정은 일반적인 경우에 두루 쓰일 수 있도록 되어있습니다. 실무 따라하기 1 예제는 단순한 문제라 midas NFX의 기본 설정으로도 해석할 수 있습니다만, 일반적인 경우 “해석 제어”에서 계산의 설정을 변경해야 합니다.

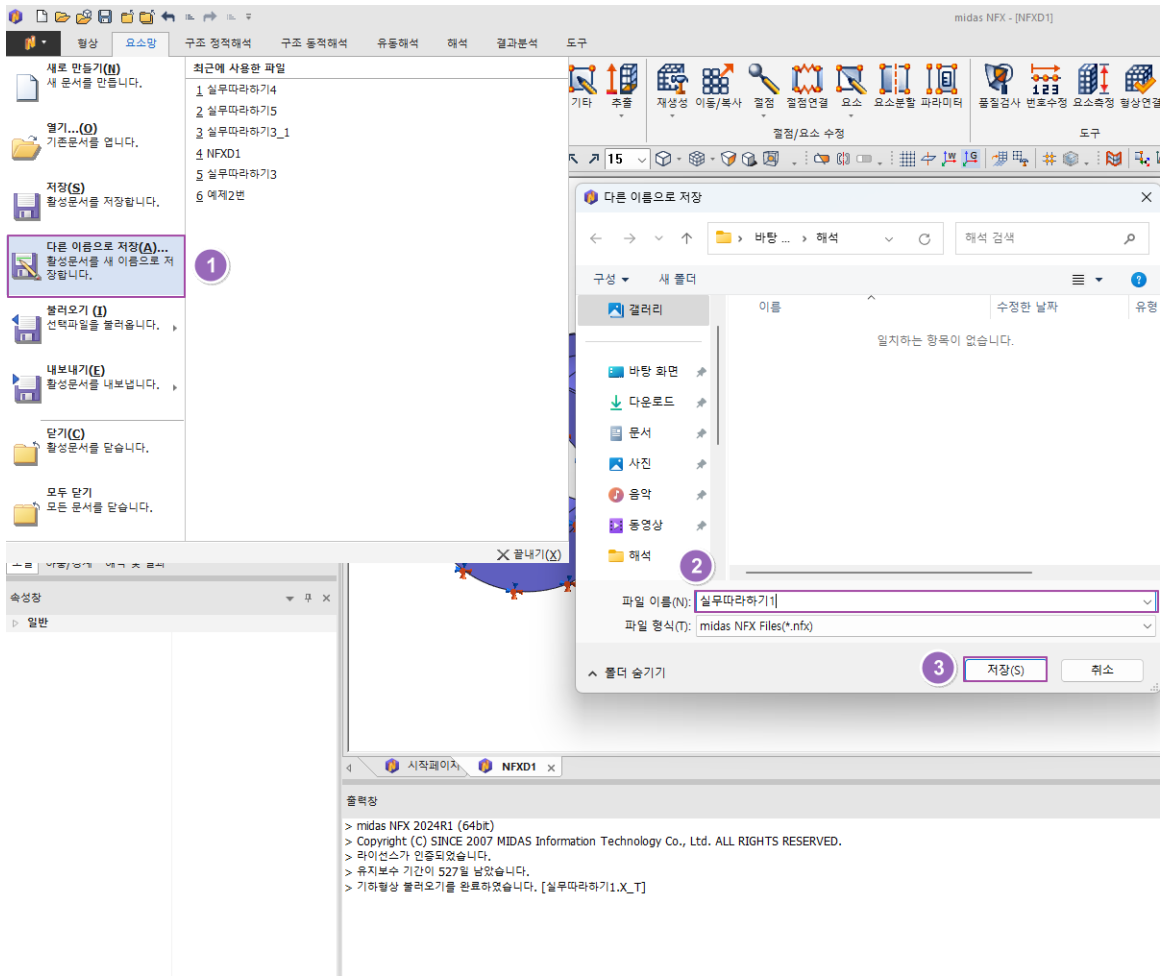


계산 실행 – 파일 저장

① “메인 메뉴” 버튼 클릭
> “다른 이름으로 저장” 버튼 클릭

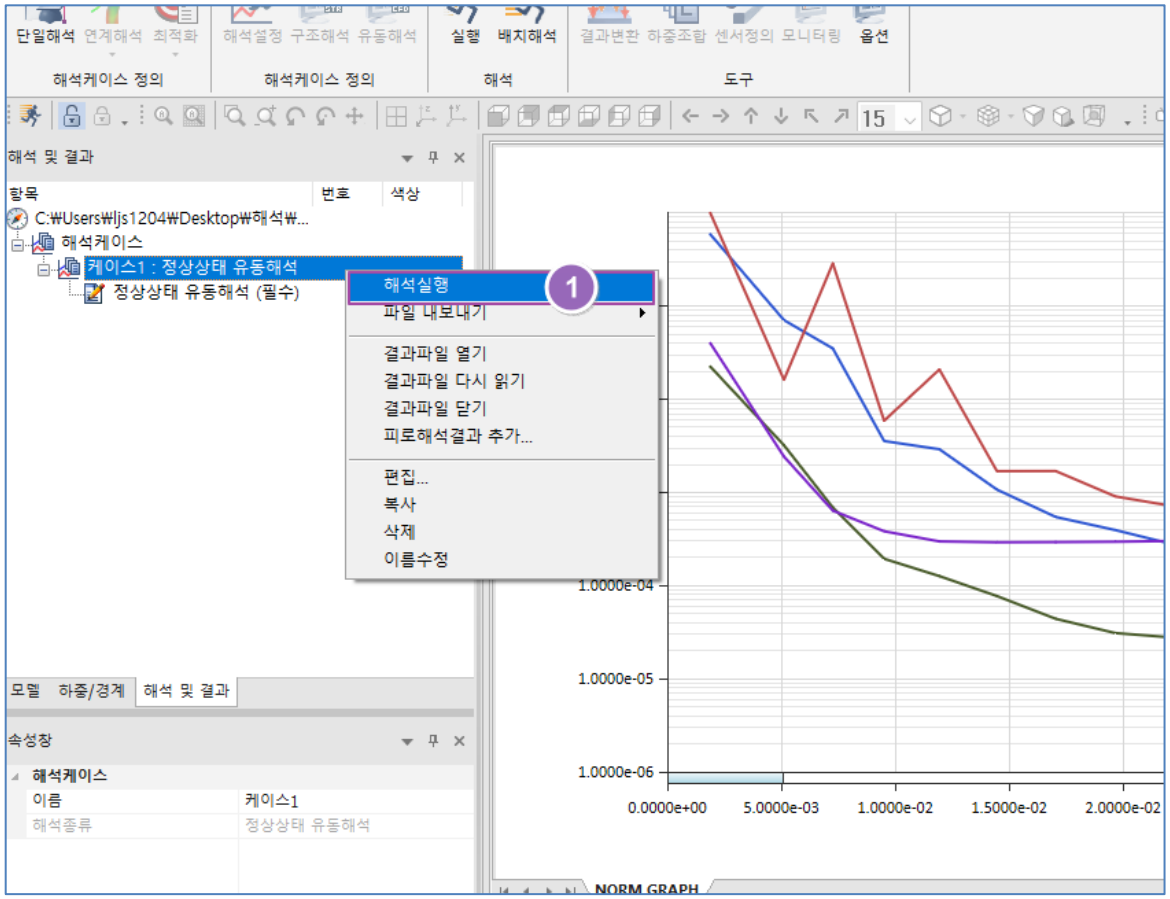
② “파일 이름” 입력창
: “실무따라하기1.nfx”

③ “저장” 버튼 클릭



계산 실행 – 해석케이스 계산 실행

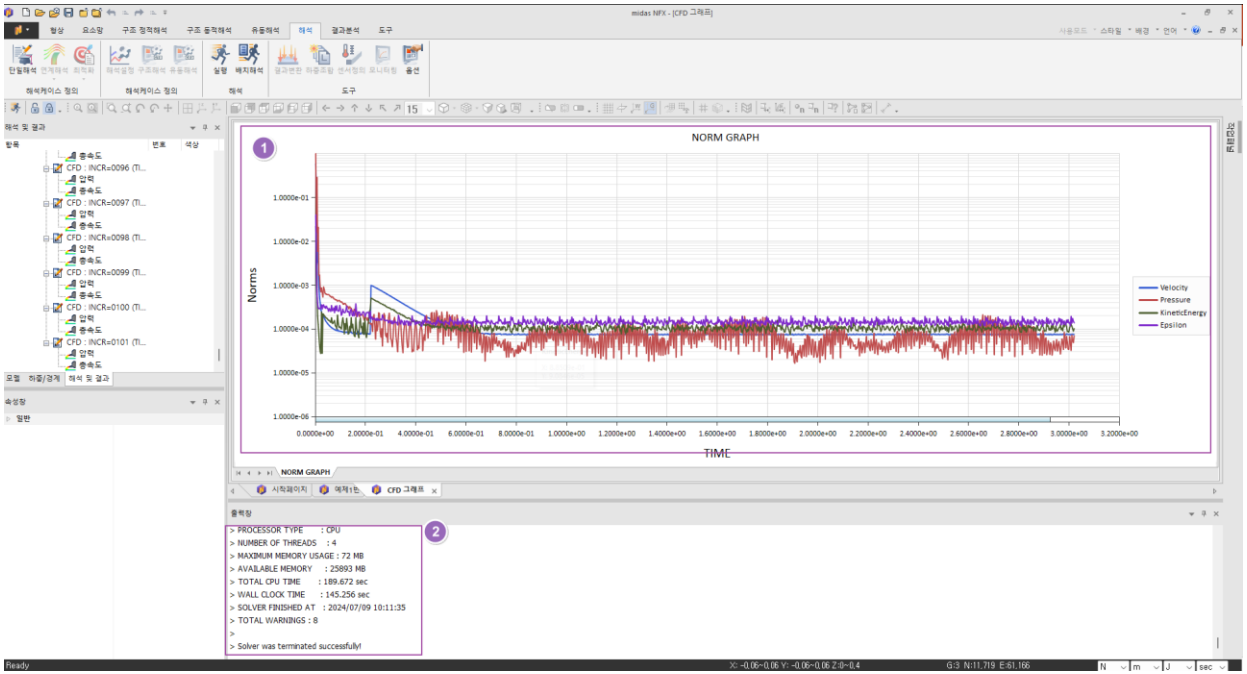
① “해석 및 결과” 창
› 해석케이스
› “케이스1”
: 마우스 오른쪽 버튼 클릭
› “해석실행” 클릭



결과 확인

① NORM GRAPH 수렴 확인

② 해석 시간 및 완료 메시지 확인



결과 확인 - 유동해석

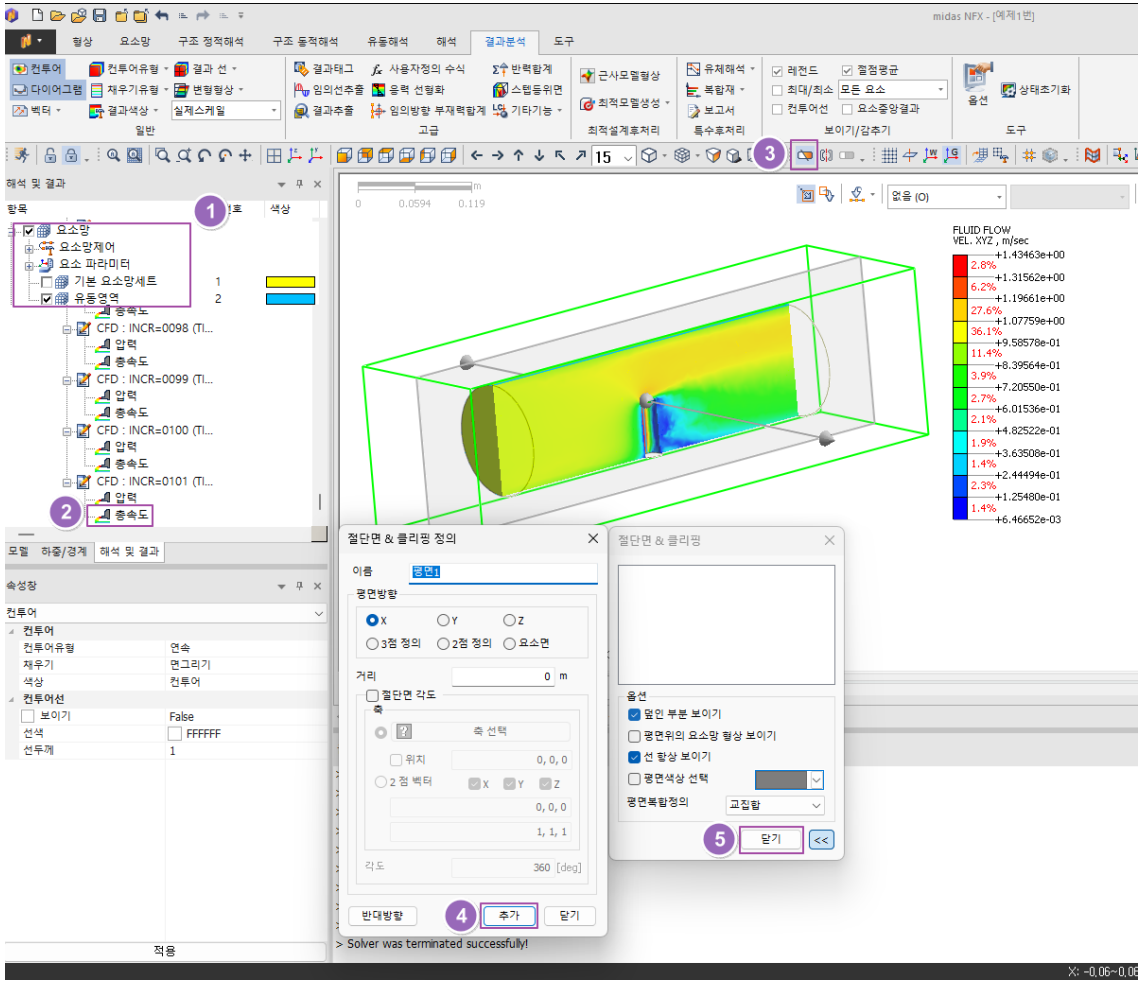
① "모델"에서 요소망 "유동영역"만 보이도록 표시

② "해석 및 결과"에서 "정상상태 유동해석" 마지막 스텝의 "총 속도" 더블클릭

③ "절단모델 보이기" 클릭

④ "추가" 클릭

⑤ "닫기" 클릭



결과 확인 - 유동해석

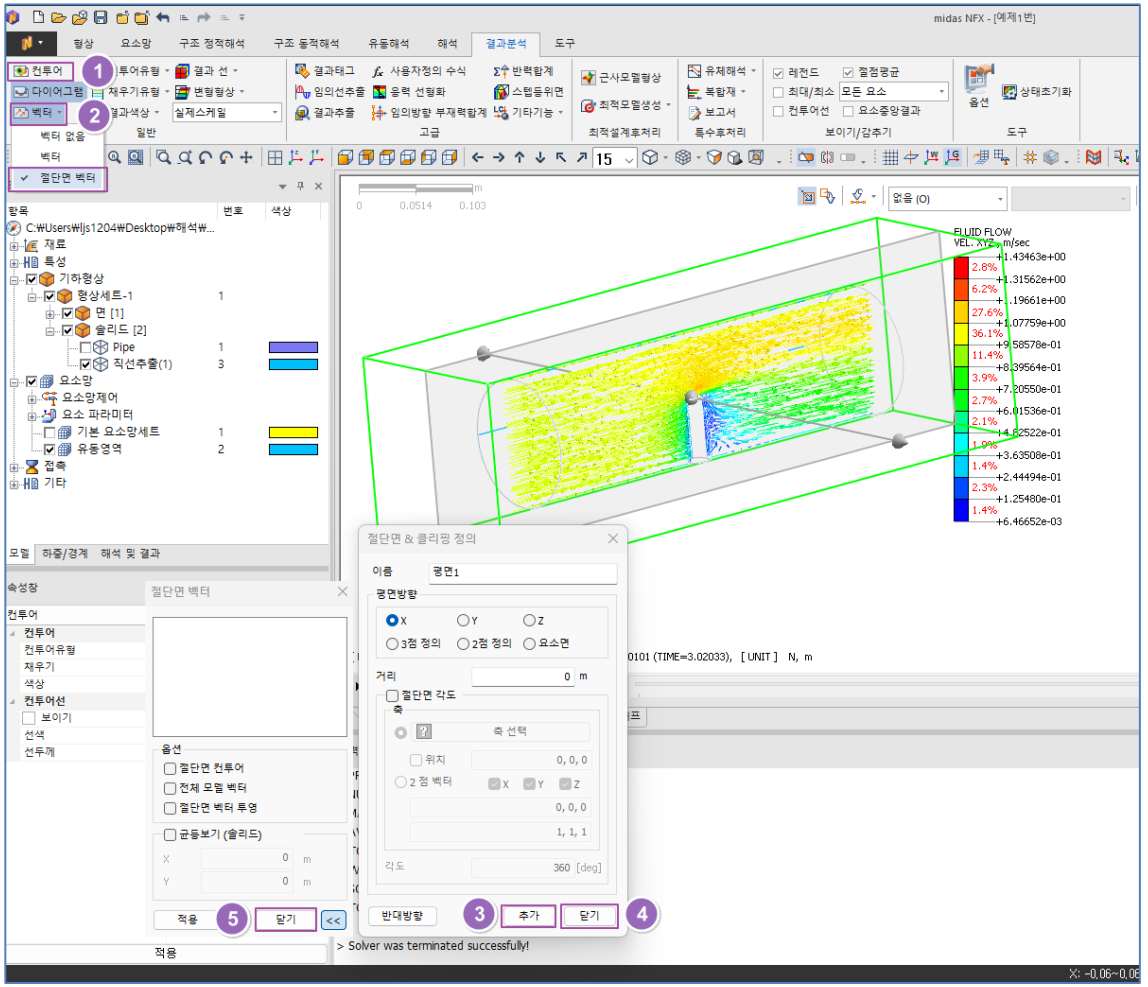
① “컨투어”를 클릭해 선택 해제

② “벡터” 클릭
› “절단면 벡터” 클릭

③ “추가” 클릭

④ “닫기” 클릭

⑤ “닫기” 클릭



midas NFX
TOTAL SOLUTIONS FOR TRUE ANALYSIS-DRIVEN DESIGN

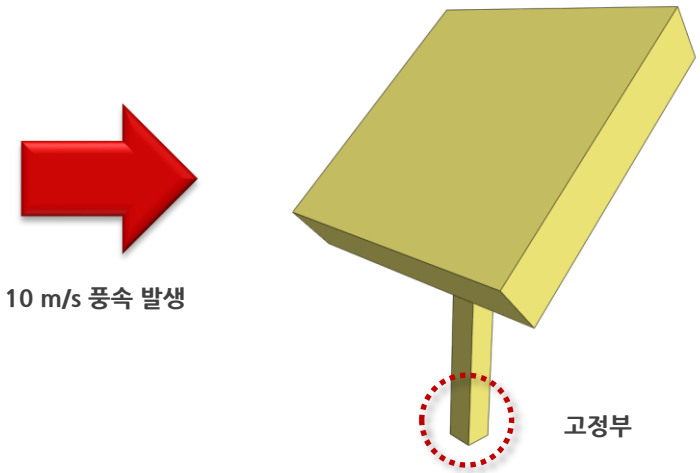
실무 따라하기

외부 유동 해석 기본 예제

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

Contents

문제 설명 및 해석 목적(교재 168p)



문제 설명

- ✓ 태양전지판 형태
- ✓ 바닥에 태양전지판 고정
- ✓ 전면부에서 10m/s 풍속 발생

해석 목적

- ✓ 기계 시스템 외부에 흐르는 유체 특성 파악

학습 주요 아이템

- ✓ 외기 조건 입력 방법
- ✓ 정상상태 해석 수행 방법

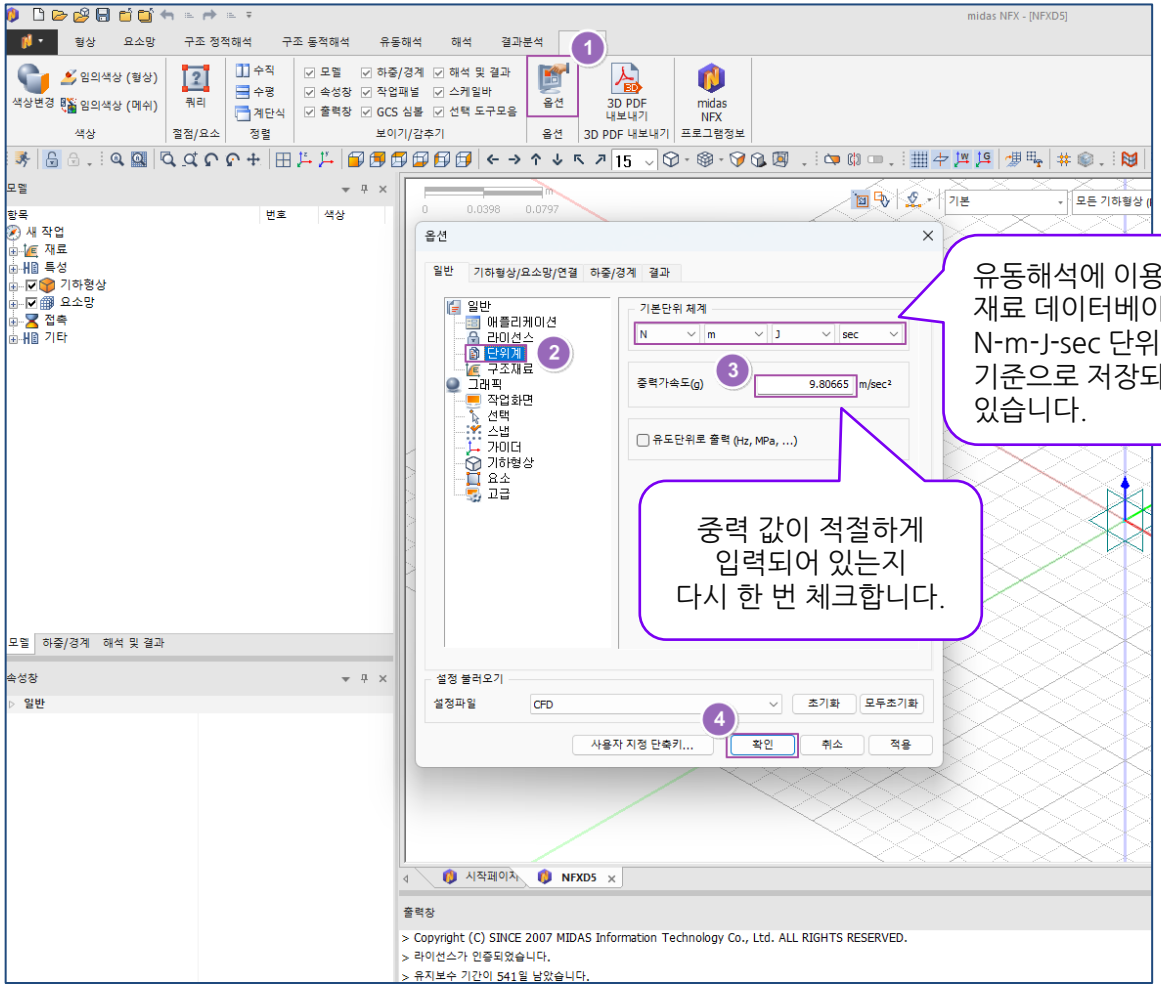
단위계 옵션 확인

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”
› 옵션 버튼 선택

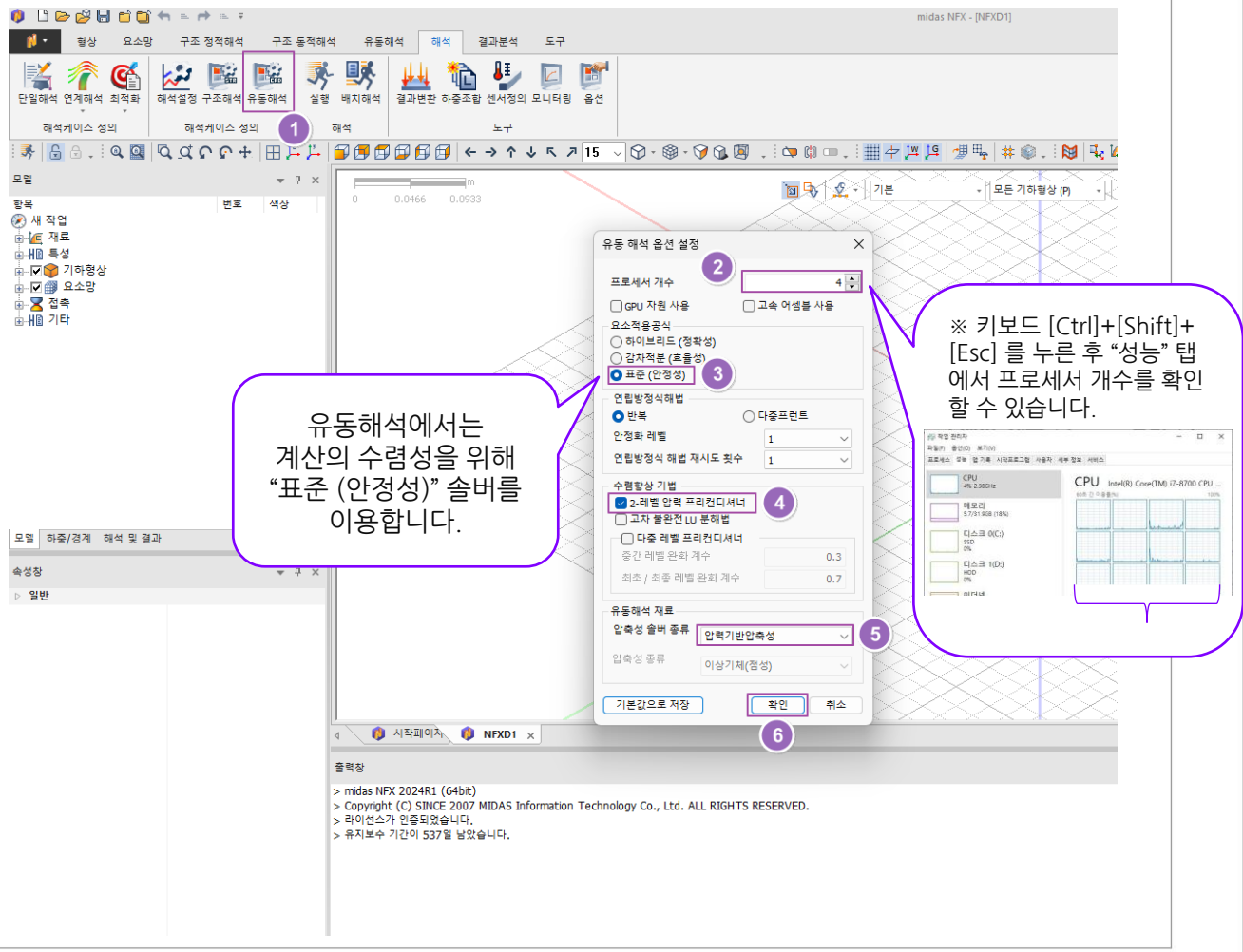
② “프로세서 개수” 입력창
: 계산에 동원할 CPU 개수를 입력

③ “요소적용공식” 그룹박스
› “표준(안정성)” 라디오버튼 선택

④ “2-레벨 압력 프리컨디셔너” 클릭

⑤ “압축성 솔버 종류” 그룹박스
› “압력기반압축성”선택

⑥ “확인” 버튼 클릭



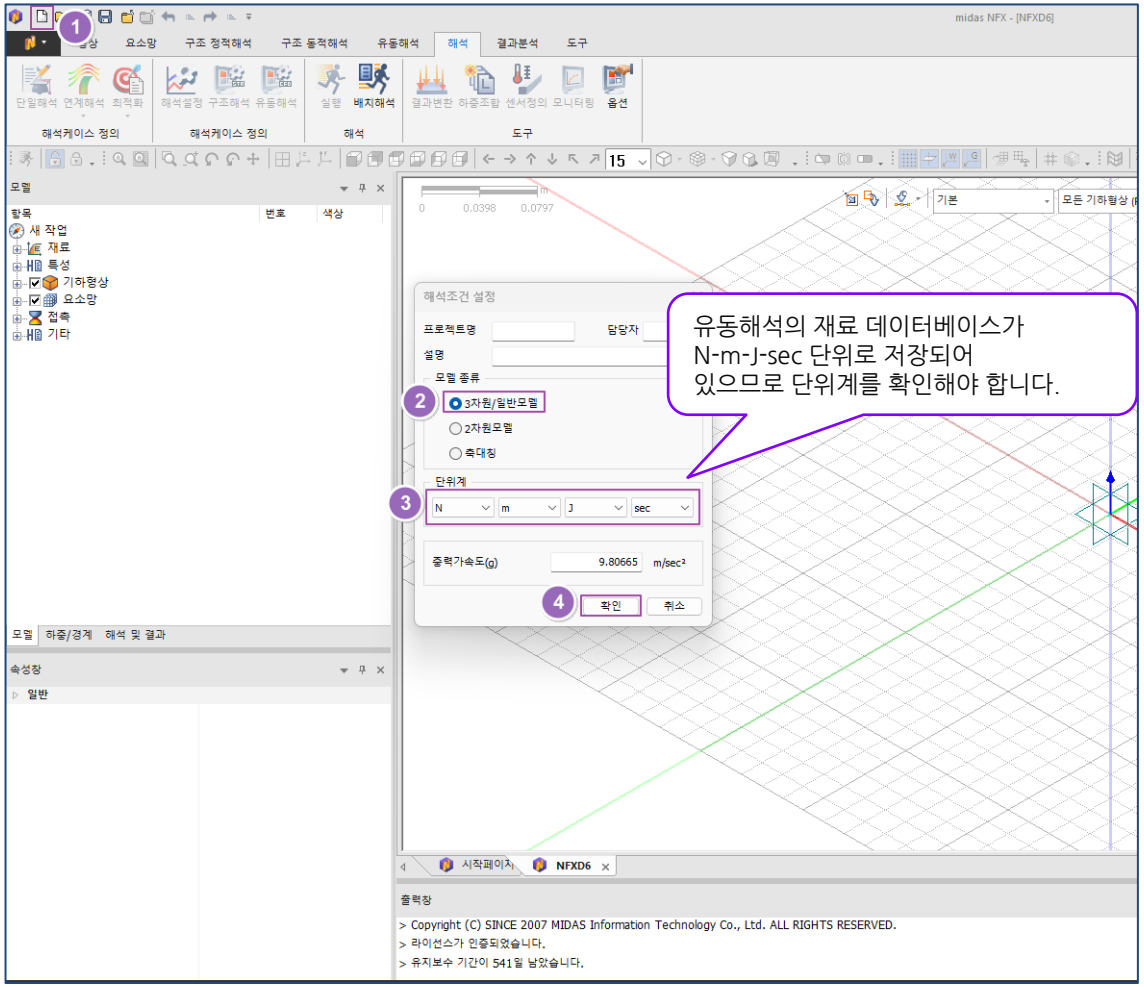
새로 만들기

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

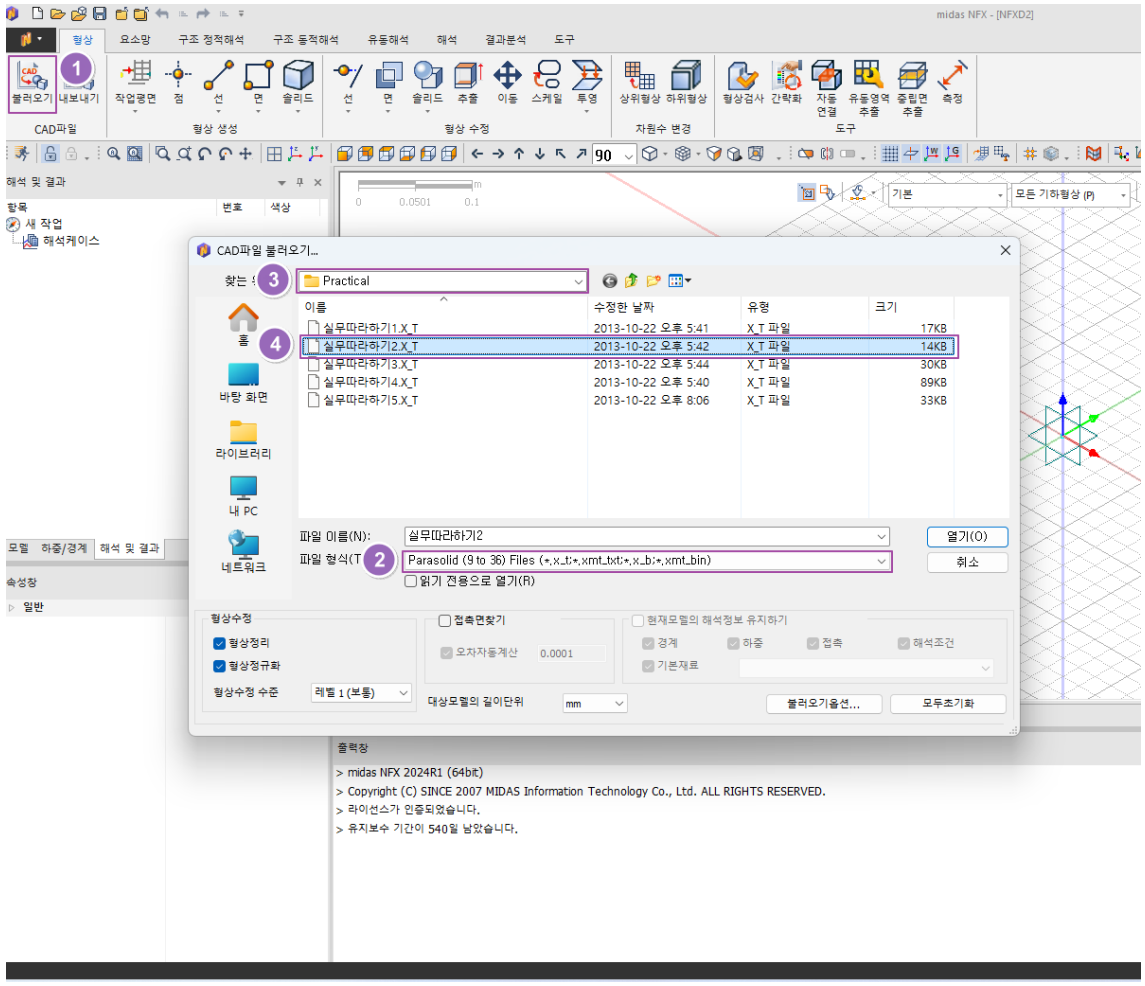
② “파일 형식” 콤보박스
 ❯ “Parasolid..” 선택

③ CAD 파일이 있는 폴더로 이동

④ “실무따라하기2.X_T”
 더블 클릭

※예제 파일 위치:

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

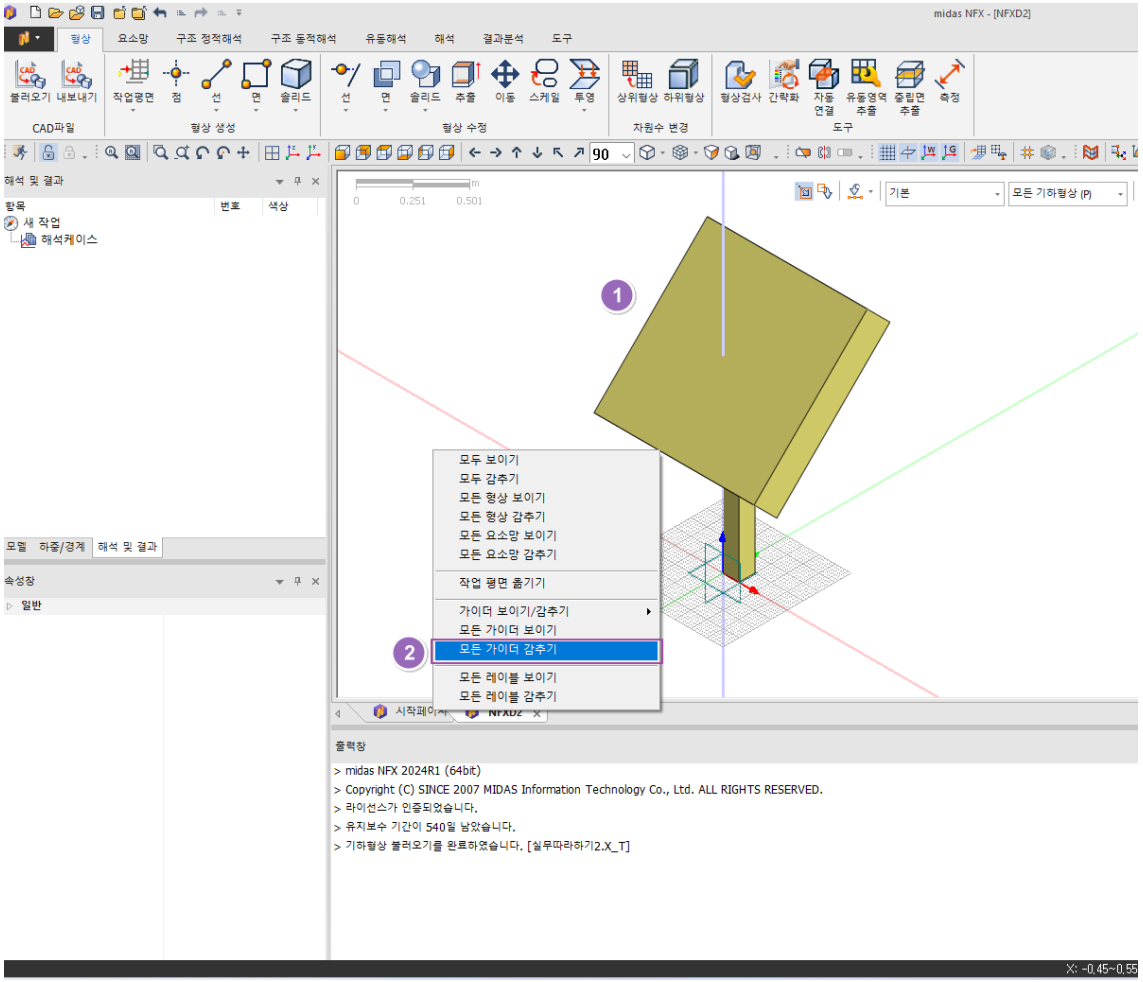


기하형상 불러오기

① 기하형상 확인

※ 키보드 마우스 조작을 통해 기하형상을 자세히 관찰합니다.

② 마우스 오른쪽 버튼 클릭
› "모든 가이더 감추기" 클릭



유체 체적 만들기 – 외부 체적 박스 만들기

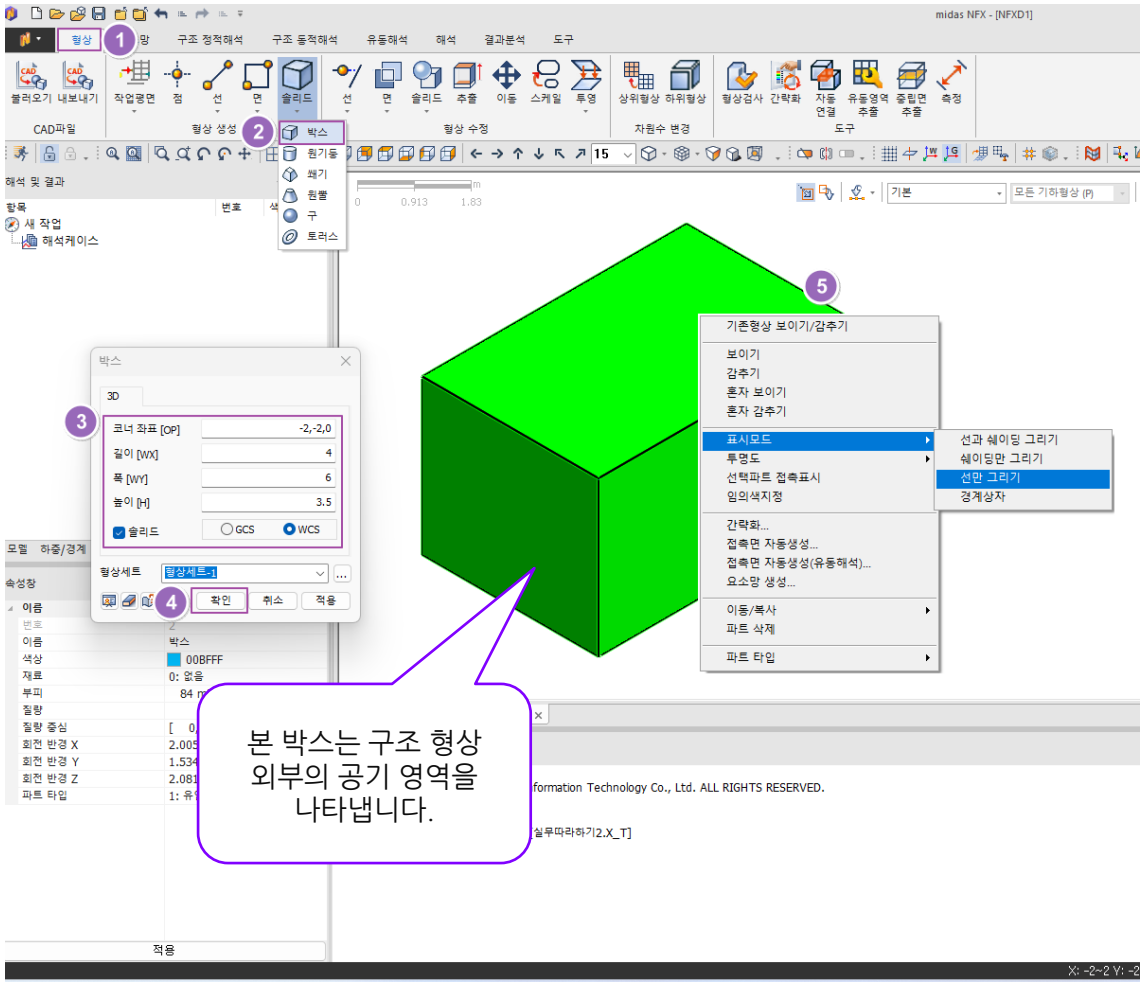
① “형상” 리본 메뉴 선택

② “박스” 버튼 선택

③ GCS 선택
“코너 좌표 [OP]” 입력창
: “-2, -2, 0” 입력
> “길이 [WX]” 입력창
: “4” 입력
> “폭[WY]” 입력창
: “6” 입력
> “높이[H]” 입력창
: “3.5” 입력

④ “확인” 버튼 클릭

⑤ 생성 된 박스 클릭
> 마우스 오른쪽 버튼 클릭
> “표시모드” 선택
> “선만 그리기” 선택



유체 체적 만들기 – 외부 체적 박스 만들기

① “솔리드” 버튼 클릭
› “교차연산” 클릭

② “차집합” 탭 선택

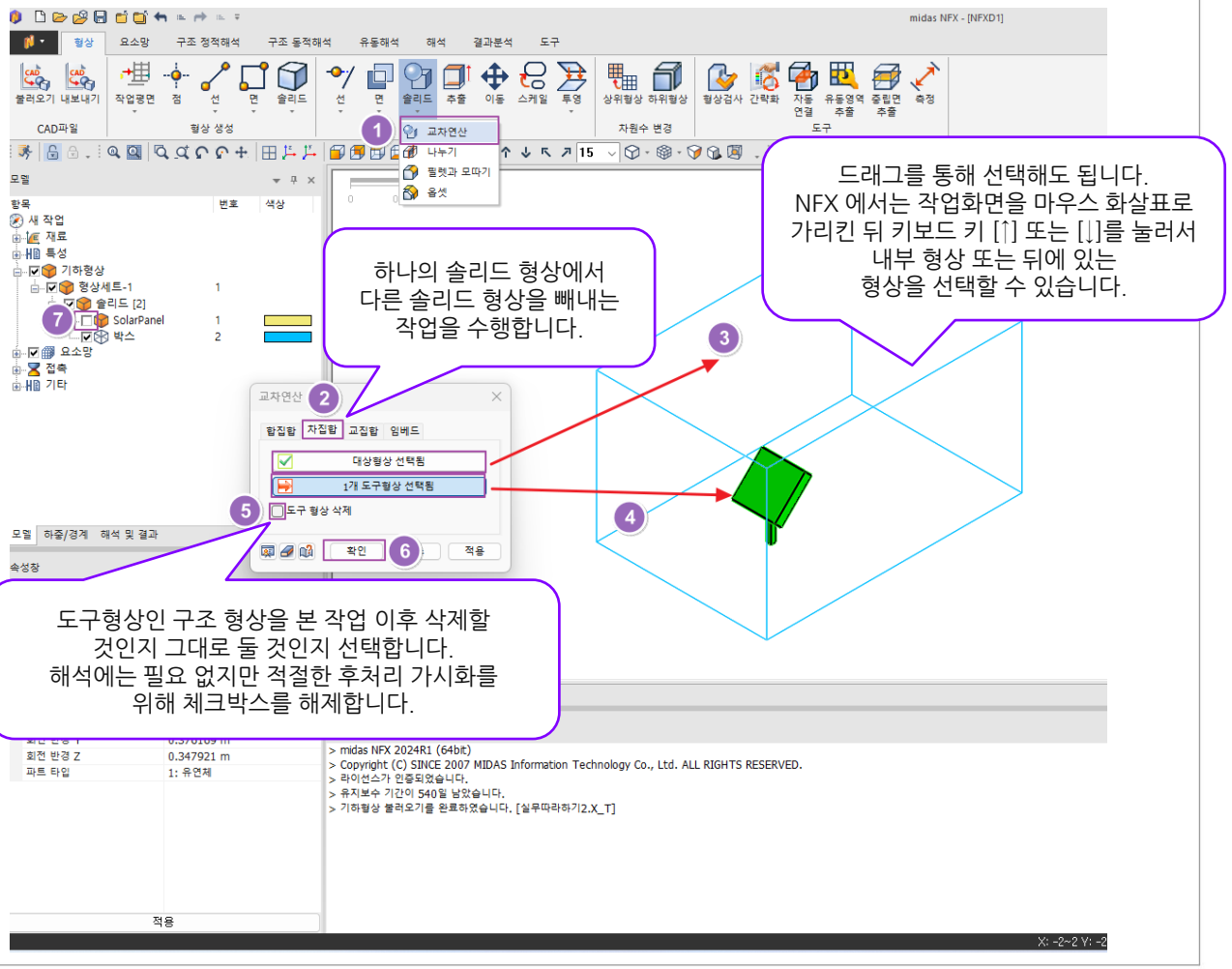
③ 박스 클릭
(“대상형상 선택됨” 확인)

④ 구조 형상 클릭
(“1개 도구형상 선택됨” 확인)

⑤ “도구 형상 삭제” 체크박스
: Off

⑥ “확인” 버튼 클릭

⑦ “모델” 트리메뉴
› “SolarPanel” 구조 형상
비활성화



유체 재료 정의하기

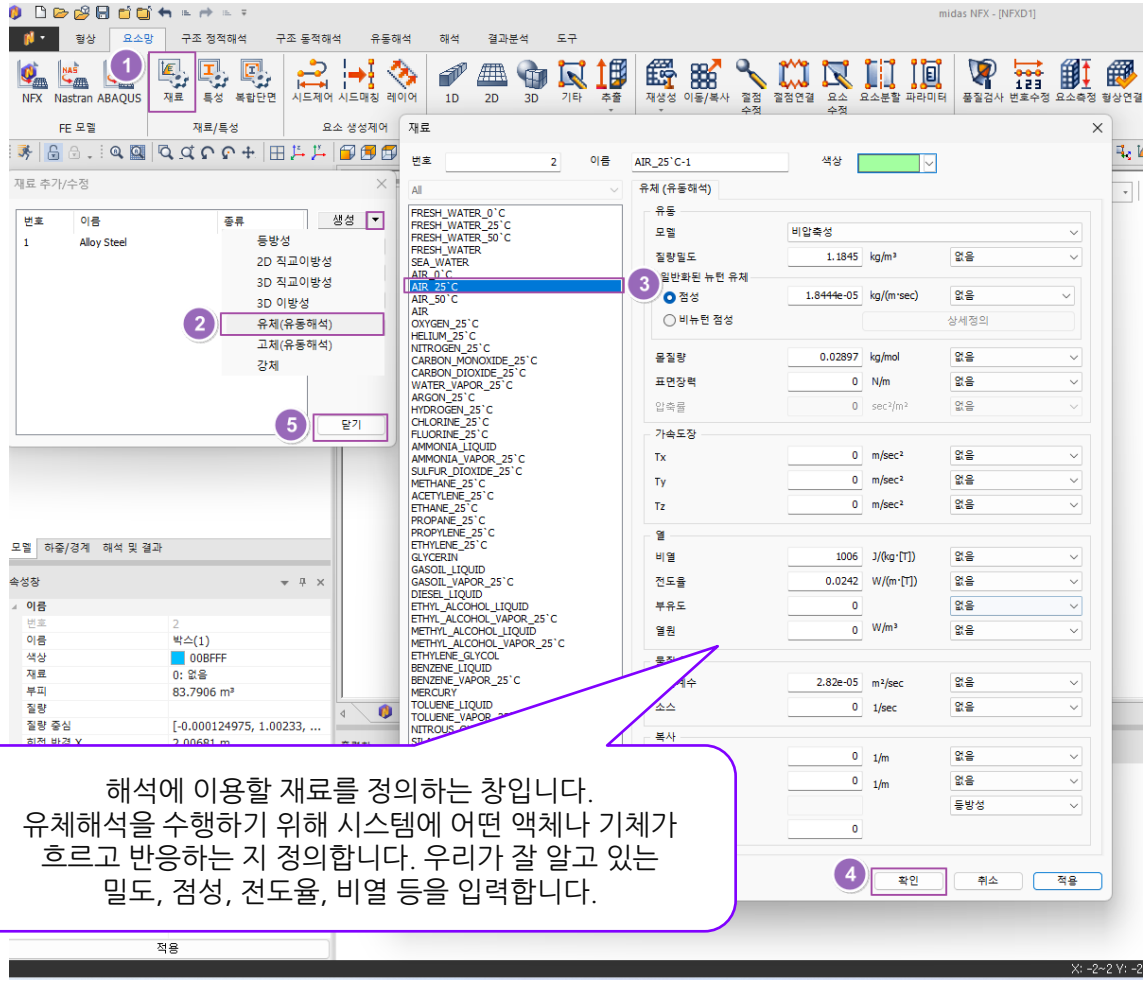
① “요소망” 리본 메뉴 클릭
 > “재료” 버튼 클릭

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

③ 재료 데이터베이스
 > “AIR_25’C”
 선택

④ “확인” 버튼 클릭

⑤ “닫기” 버튼 클릭



해석에 이용할 재료를 정의하는 창입니다.
유체해석을 수행하기 위해 시스템에 어떤 액체나 기체가 흐르고 반응하는 지 정의합니다. 우리가 잘 알고 있는 밀도, 점성, 전도율, 비열 등을 입력합니다.

특성 정의하기

① “특성” 버튼 클릭

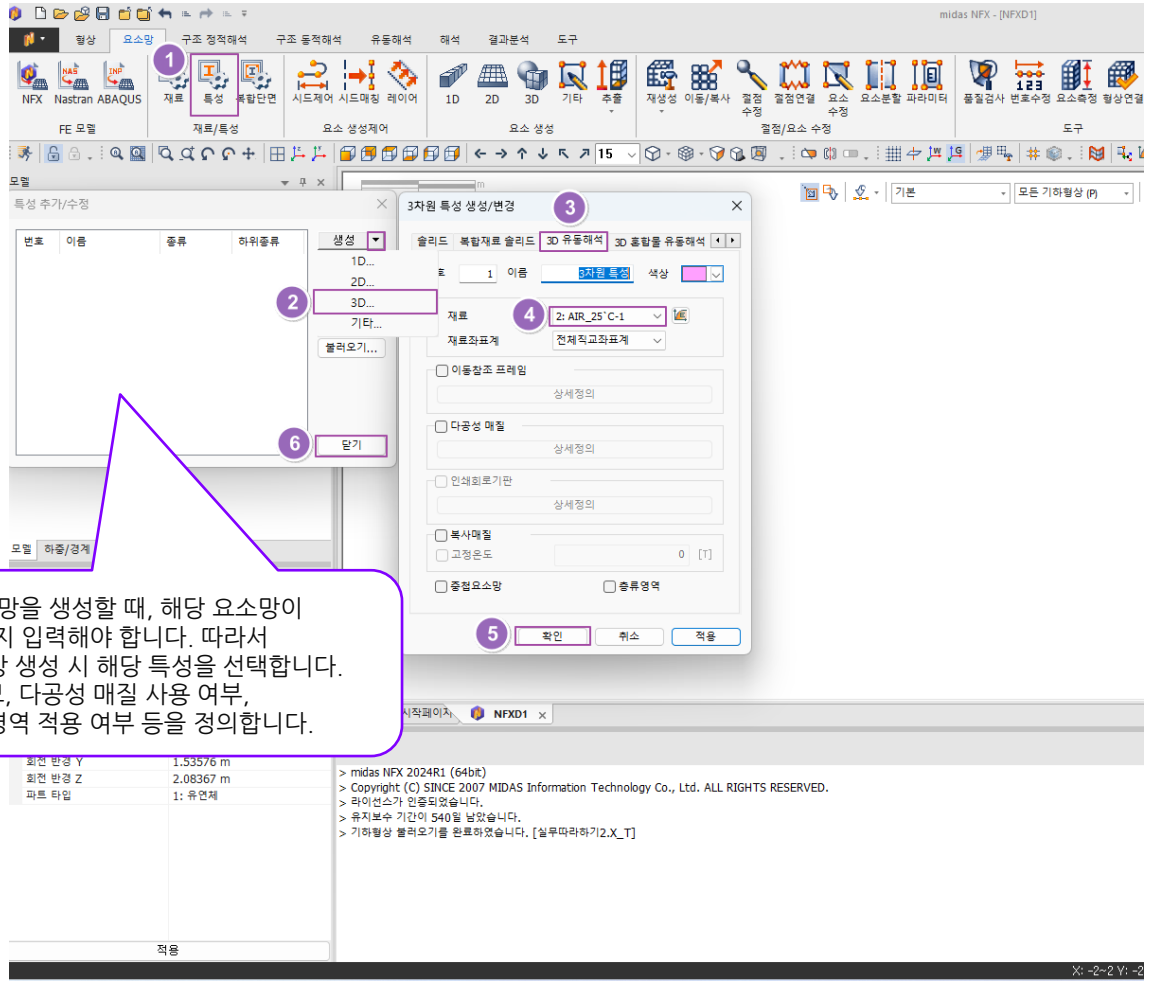
② “특성 추가/수정” 창
> “생성” 옆 화살표 버튼 클릭
> “ 3D...” 버튼 클릭

③ “3D 유동해석” 탭 선택

④ 재료 선택 창
: “2: AIR_25’C” 선택

⑤ “확인” 버튼 클릭

⑥ “닫기” 버튼 클릭



유동해석에 필요한 요소망을 생성할 때, 해당 요소망이 어떤 성질을 가지는 지 입력해야 합니다. 따라서 특성을 정의하고 이후 요소망 생성 시 해당 특성을 선택합니다. 특성에는 재료 정보, 다공성 매질 사용 여부, MRF (다중참조프레임) 영역 적용 여부 등을 정의합니다.

유체 유입 조건 설정 : 입구단

① “입구단” 버튼 클릭

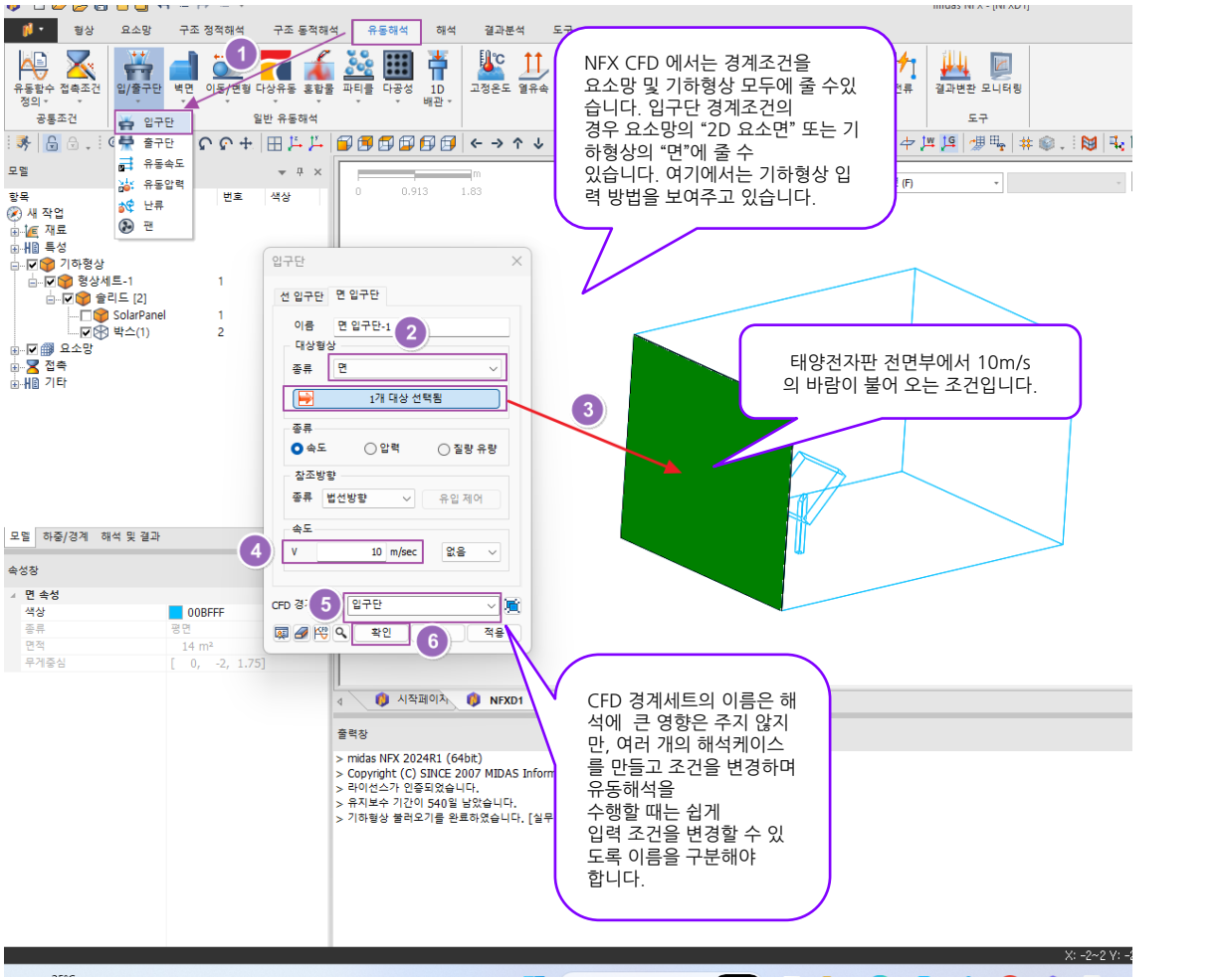
② “대상형상” > “종류” 선택 창 > “면” 선택

③ 구조 형상을 차집합한 박스의 전면부를 선택

④ “속도” > “V” : “10” 입력

⑤ “CFD 경계세트” 입력 창 > “입구단” 입력

⑥ “확인” 버튼 클릭



유체 유출 조건 설정 : 출구단

① “출구단” 버튼 클릭

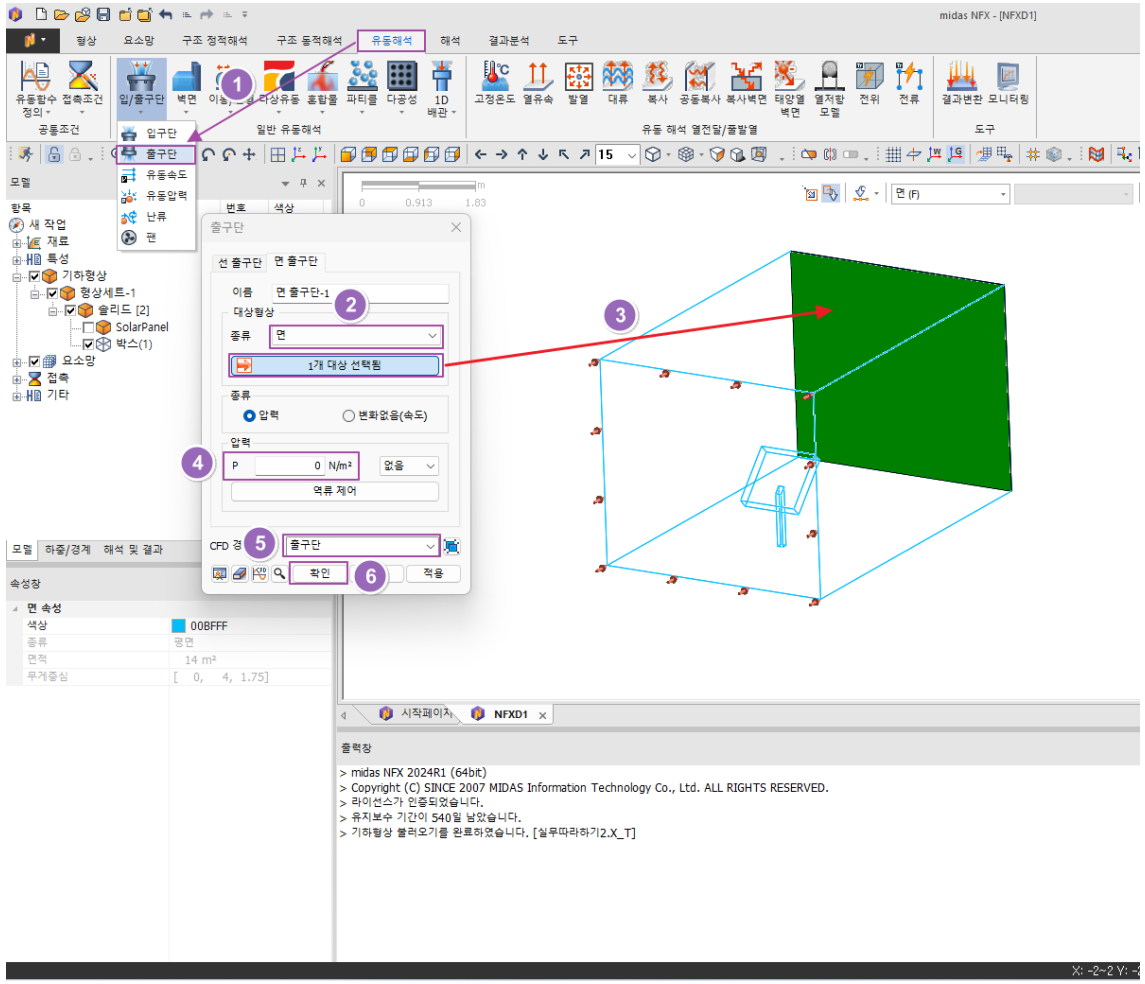
② “대상형상” > “종류” 선택 창 > “면” 선택

③ 구조 형상 후면 선택

④ “압력” > “값” : “0” 입력

⑤ “CFD 경계세트” 입력 창 > “출구단” 입력

⑥ “확인” 버튼 클릭



실제 구조 형상과 접하는 벽면 조건 설정

① "벽면" 버튼 클릭

② "대상형상"
> "종류" 선택 창
> "면" 선택

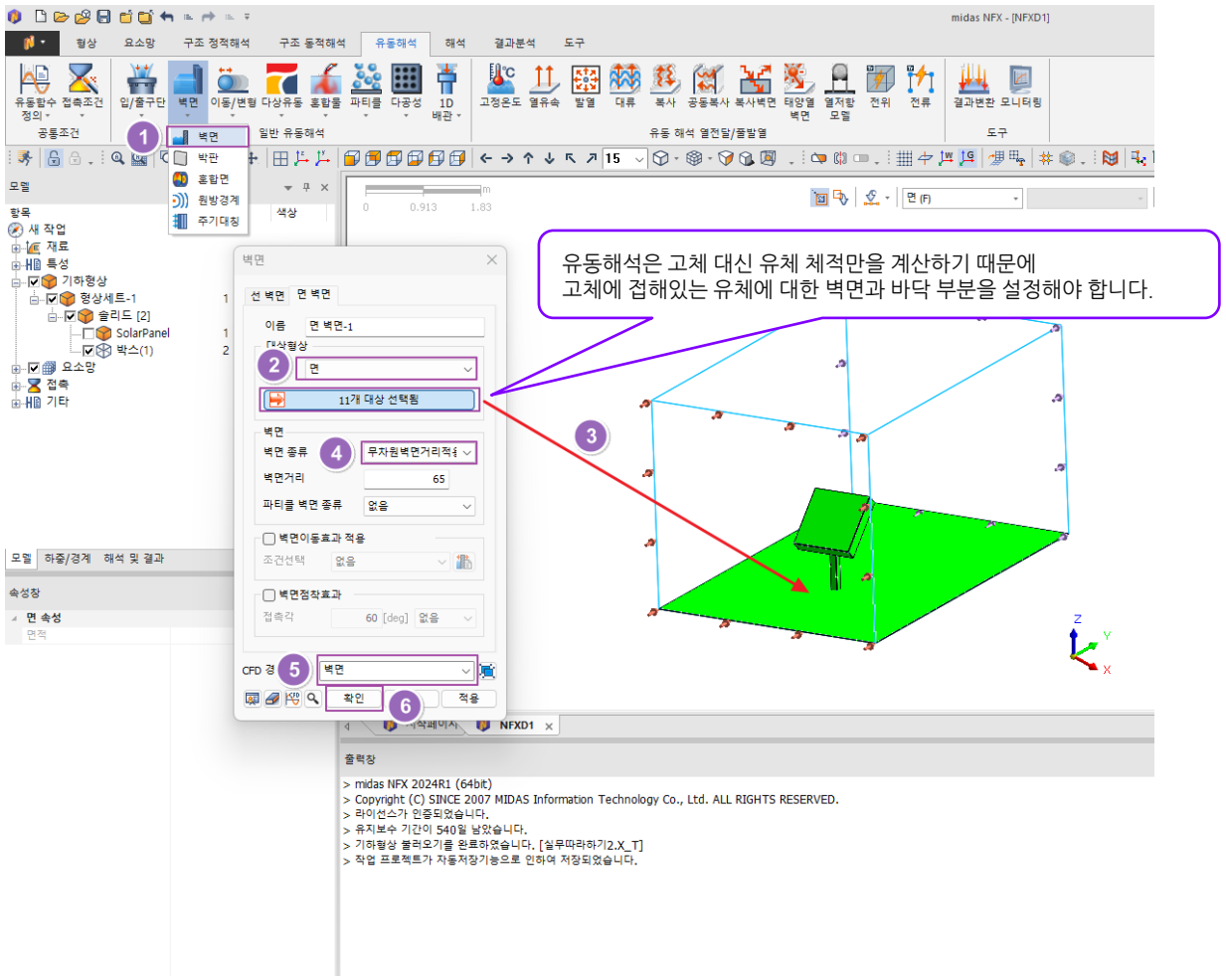
③ 구조 형상 추출 부분 및 바닥면 선택

주의 : 총 11 개가 선택되는 지 확인 필요

④ 벽면 > 벽면종류 선택 창
: "무차원벽면거리" 확인

⑤ "CFD 경계세트" 입력창
: "벽면" 입력

⑥ "확인" 버튼 클릭



외기 조건 설정 : 구조 형상의 벽면 부분

① “벽면” 버튼 클릭

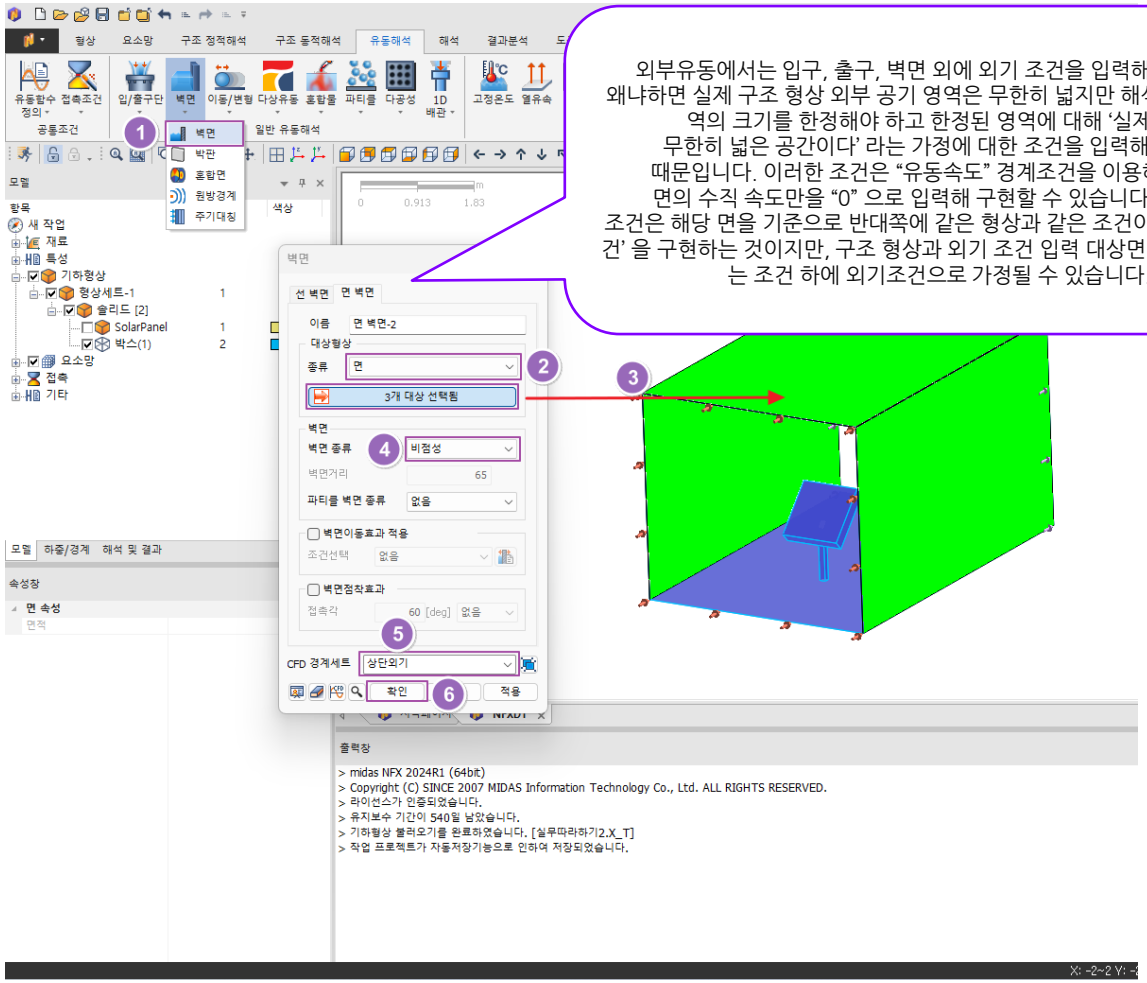
② “대상형상” > “종류” 선택 창 > “면” 선택

③ 구조 형상 상단, 측면부 선택

④ 벽면 > 벽면종류 선택 창 : “비점성” 확인

⑤ “CFD 경계세트” 입력창 : “상단외기” 입력

⑥ “확인” 버튼 클릭



외부유동에서는 입구, 출구, 벽면 외에 외기 조건을 입력해야 합니다. 왜냐하면 실제 구조 형상 외부 공기 영역은 무한히 넓지만 해석에서는 이 영역의 크기를 한정해야 하고 한정된 영역에 대해 ‘실제로는 무한히 넓은 공간이다’ 라는 가정에 대한 조건을 입력해야 하기 때문입니다. 이러한 조건은 “유동속도” 경계조건을 이용해서 해당 면의 수직 속도만을 “0” 으로 입력해 구현할 수 있습니다. 실제 이 조건은 해당 면을 기준으로 반대쪽에 같은 형상과 같은 조건이 있는 ‘대칭 조건’ 을 구현하는 것이지만, 구조 형상과 외기 조건 입력 대상면이 충분히 멀다는 조건 하에 외기조건으로 가정될 수 있습니다.

인접 조건 설정 : 필요 없음

일반 유동 모듈을 이용하는 예제는

특수한 경우를 제외하고

인접 조건 설정이 필요하지 않습니다.

요소망 생성 – 작은 형상에 대한 시딩 생성

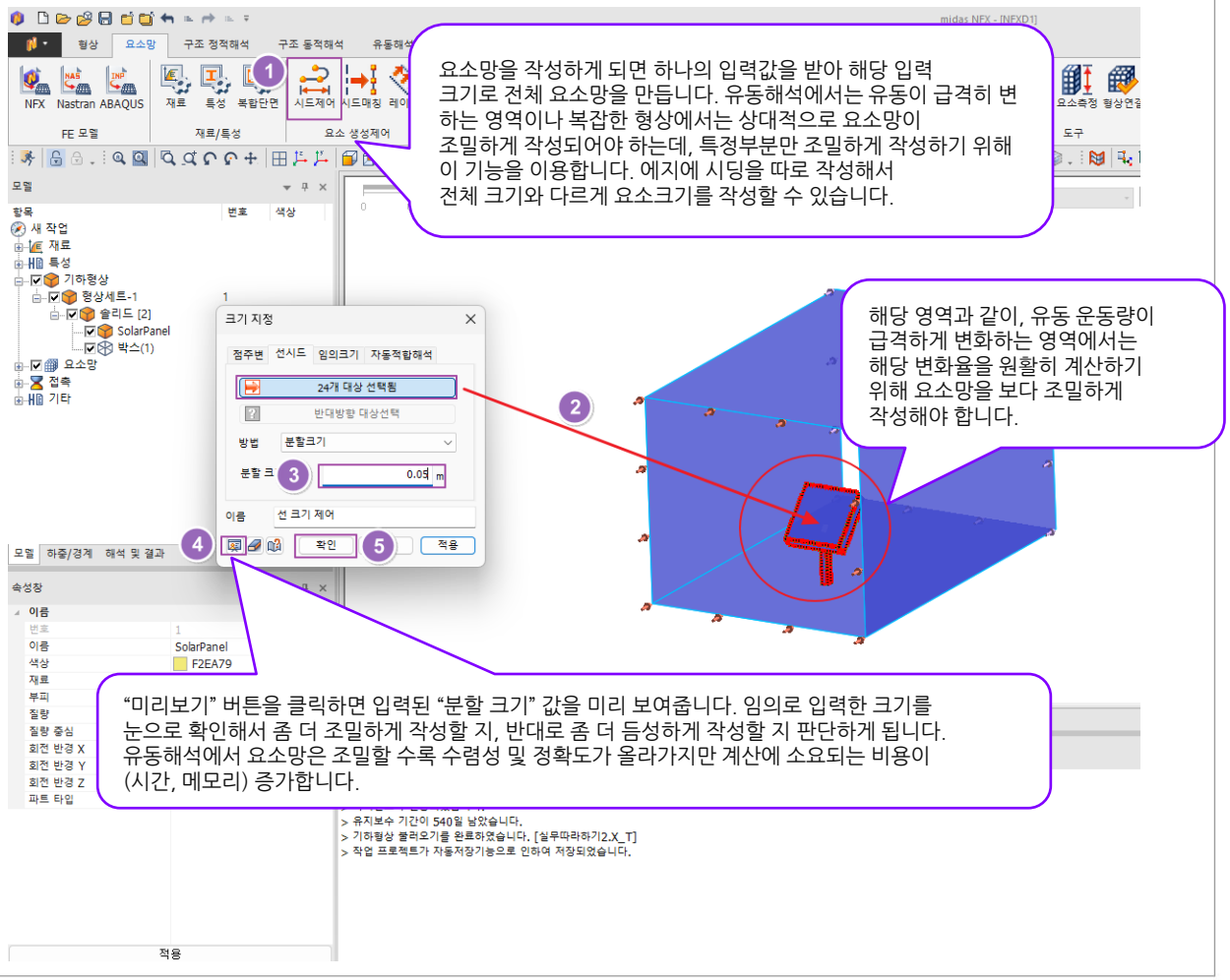
① “요소망” 리본 메뉴
> “시드제어” 버튼 선택

② 구조 형상부 에지 전체 선택

③ “분할 크기” 입력창
: 0.05 입력

④ “미리보기” 버튼 클릭

⑤ “확인” 버튼 클릭



요소망 생성

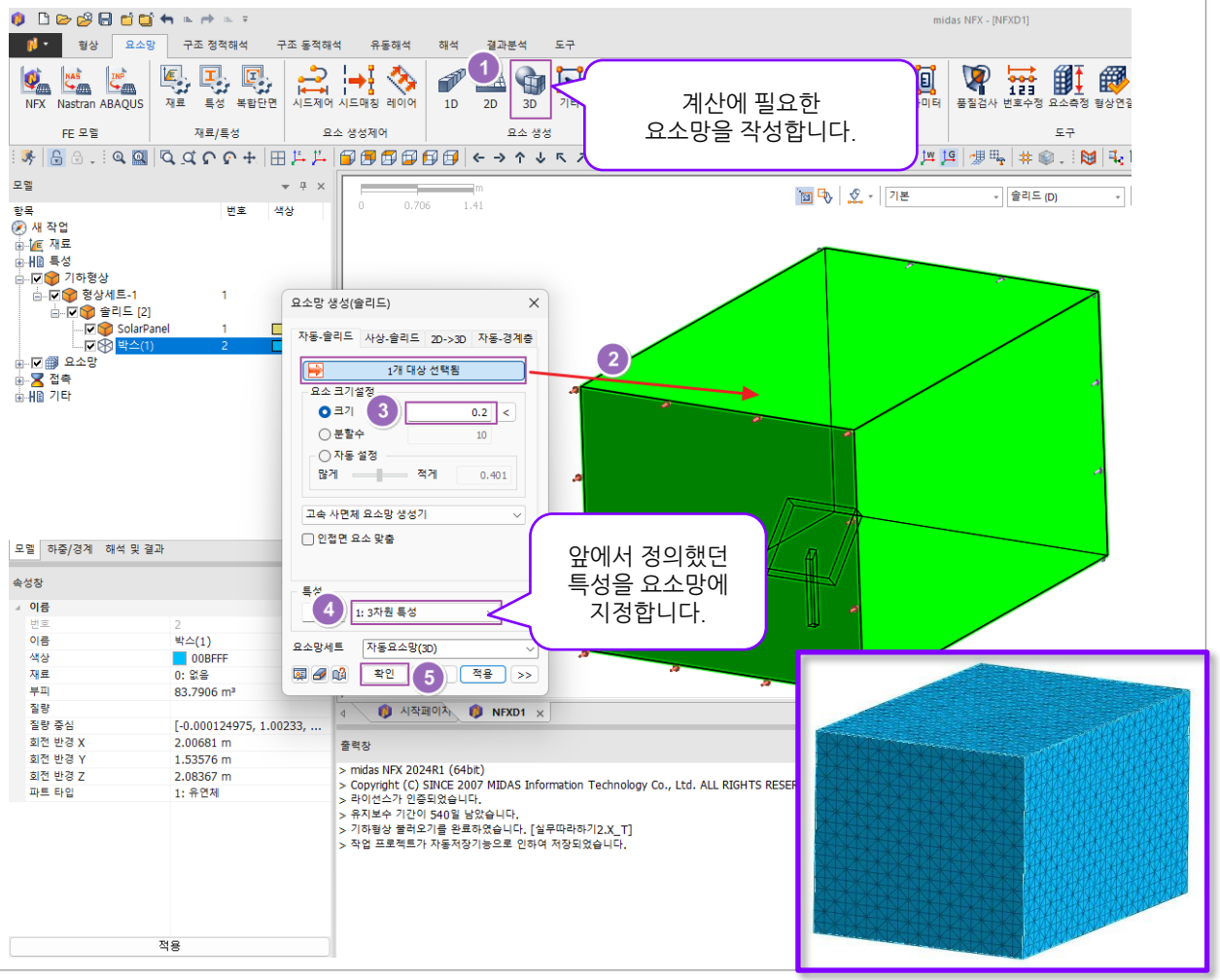
① “3D” 버튼 클릭

② 대상 선택

③ 요소 크기 설정
> “크기” 입력 창
: 0.2 입력

④ “특성” 선택 창
: “1:3차원 특성” 확인

⑤ “확인” 버튼 클릭



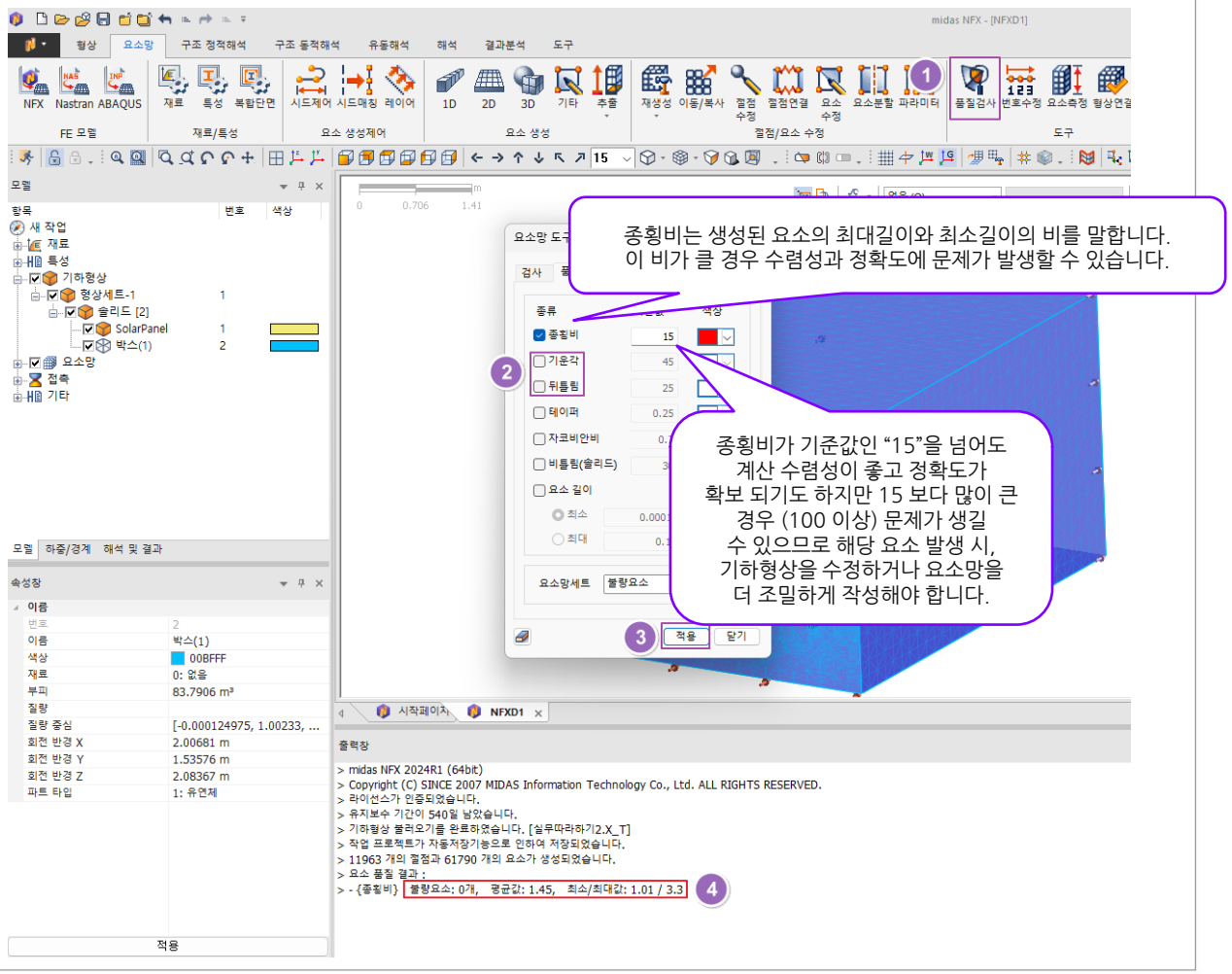
요소망 생성 – 품질 검사

① “품질검사” 버튼 클릭

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

③ “적용” 버튼 클릭

④ “출력창” 에서 최대값을 확인



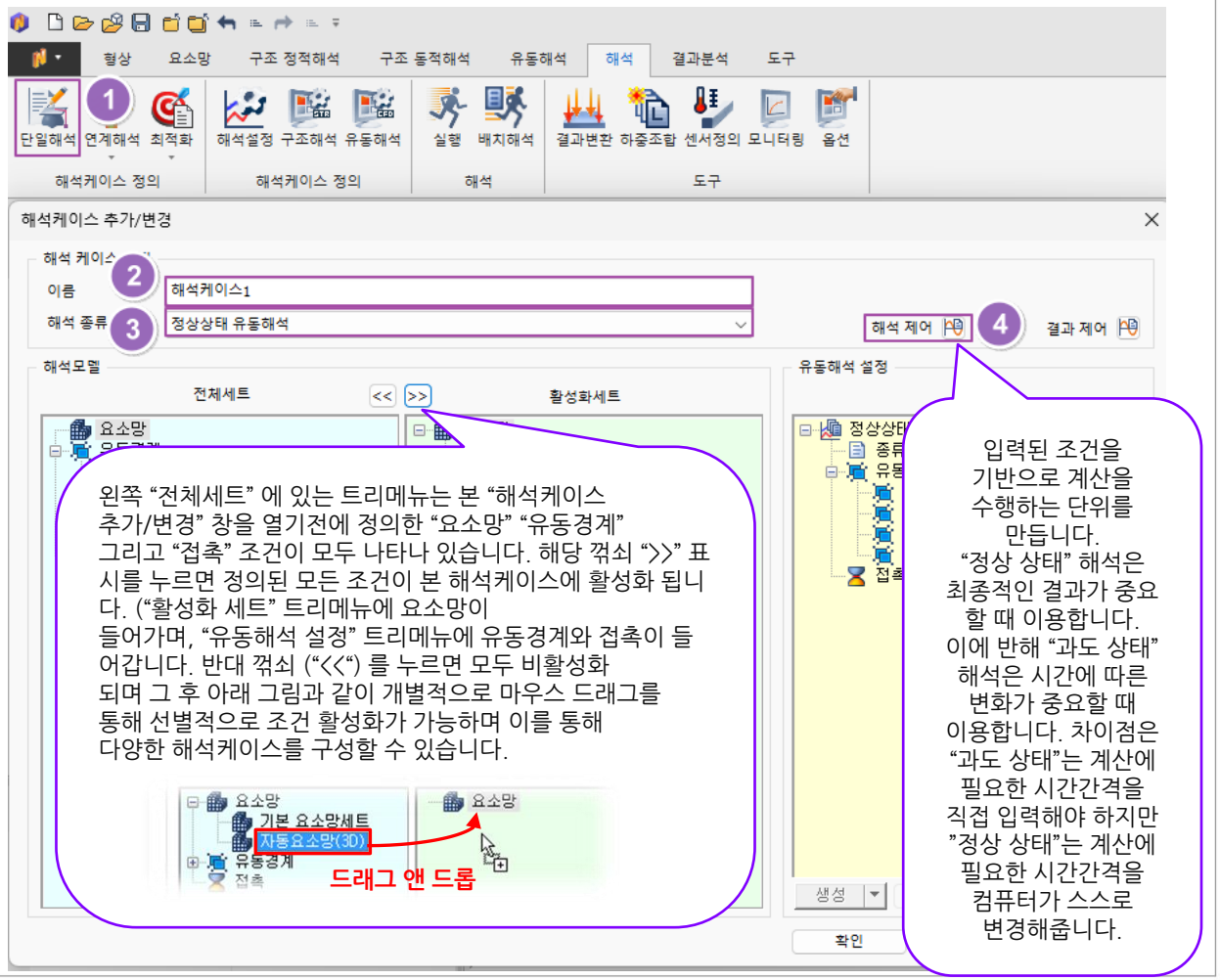
해석케이스 정의

① “해석” 리본메뉴 선택
 > “단일해석” 버튼 선택

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

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

④ “해석 제어” 버튼 클릭



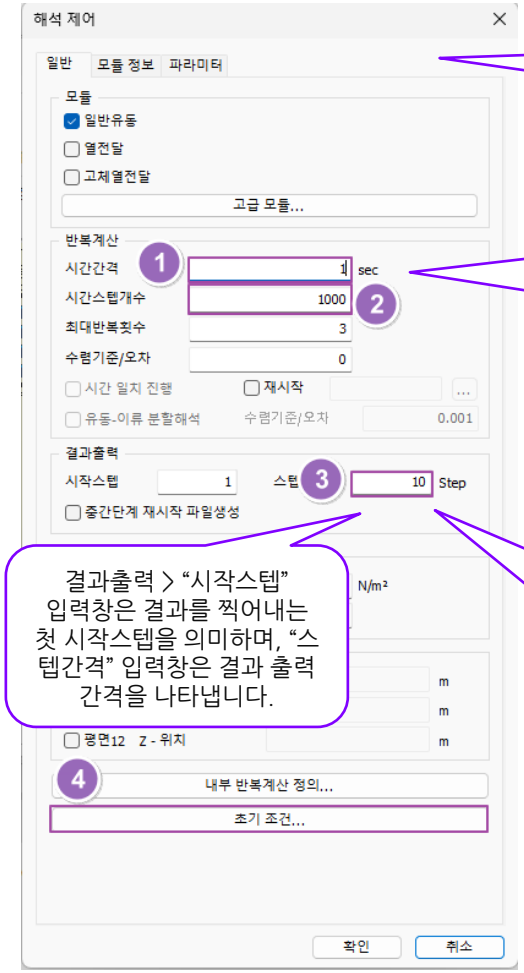
해석케이스 정의 – 해석 제어 정의

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

앞선 예제는 과도상태 해석이기 때문에 시간 간격을 알맞게 계산해서 넣어야 하지만 정상상태 해석의 경우 컴퓨터가 적절한 시간간격을 계산해서 적용하기 때문에 시간간격 입력이 따로 필요하지 않습니다. 단, 시간간격이 컴퓨터가 계산한 적정 시간간격보다 짧을 경우 사용자가 입력한 시간간격을 이용하게 됩니다.

결과출력 > “시작스텝” 입력창은 결과를 찍어내는 첫 시작스텝을 의미하며, “스텝간격” 입력창은 결과 출력 간격을 나타냅니다.

주어진 시간 간격으로 몇 번을 계산할 것인지 지정합니다.

계산 진행 시간 = “시간간격” × “시간스텝개수”

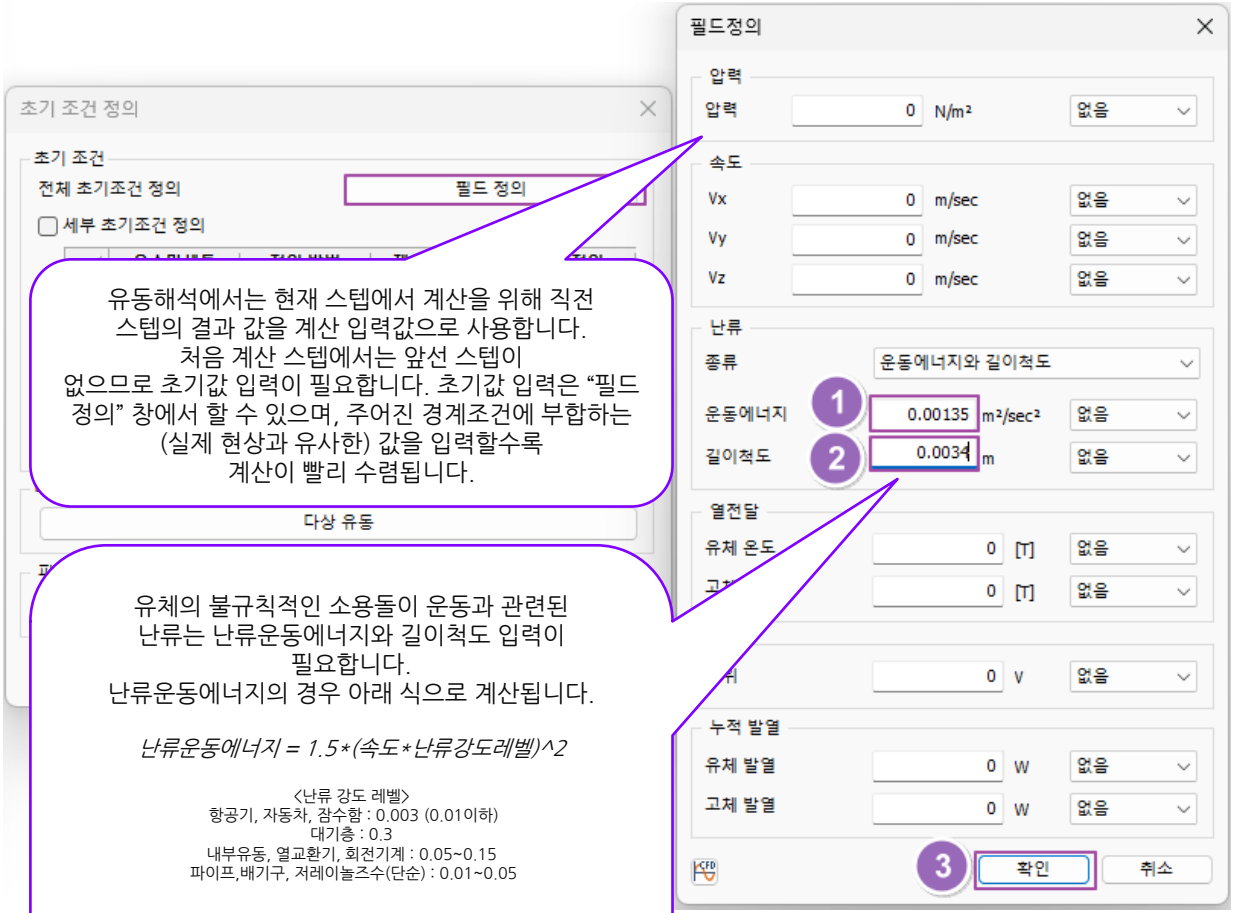
충분히 입력한 다음 뒤 페이지에 계산 실행 단계의 수렴 조건을 만족하면 중지시키고 결과를 확인하고 입력한 “시간스텝개수” 이내에 수렴하지 않을 경우 재시작을 통해 최종스텝부터 해석을 추가적으로 진행하면 됩니다. (추후 설명)

해석케이스 정의 – 해석 제어 정의 : 필드 정의

① “필드정의” 창 > 난류 > “운동에너지” 입력창 : “0.00135” 입력

② “필드정의” 창 > 난류 > “길이척도” 입력창 : “0.0034” 입력

③ “확인” 버튼 클릭



유동해석에서는 현재 스텝에서 계산을 위해 직전 스텝의 결과 값을 계산 입력값으로 사용합니다. 처음 계산 스텝에서는 앞선 스텝이 없으므로 초기값 입력이 필요합니다. 초기값 입력은 “필드 정의” 창에서 할 수 있으며, 주어진 경계조건에 부합하는 (실제 현상과 유사한) 값을 입력할수록 계산이 빨리 수렴됩니다.

유체의 불규칙적인 소용돌이 운동과 관련된 난류는 난류운동에너지와 길이척도 입력이 필요합니다.
난류운동에너지의 경우 아래 식으로 계산됩니다.

난류운동에너지 = 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

길이척도 = 특성길이 × 0.07

해석케이스 정의 – 해석 제어 정의 : 난류 정의

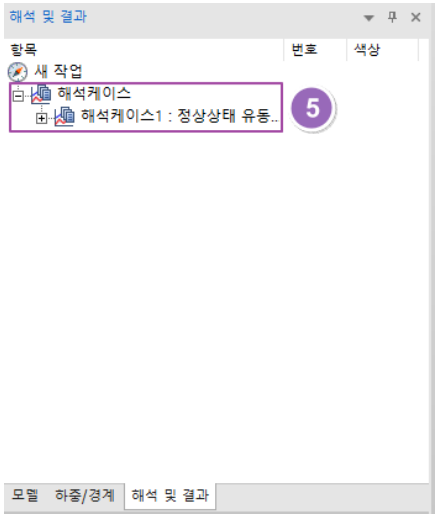
① “모듈 정보” 탭 이동

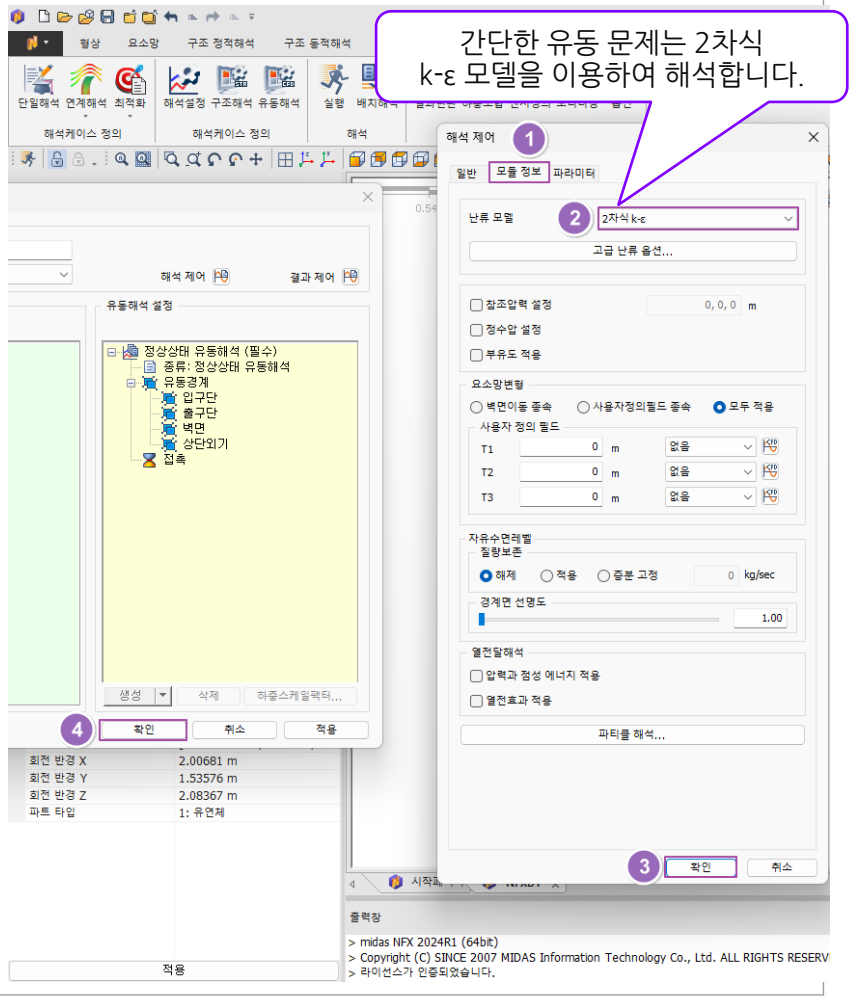
② “난류 모델” 선택 창
: “2차식 k-ε” 선택

③ “확인” 버튼 클릭

④ “확인” 버튼 클릭

⑤ “해석 및 결과” 창
> “해석케이스1” 정의 확인





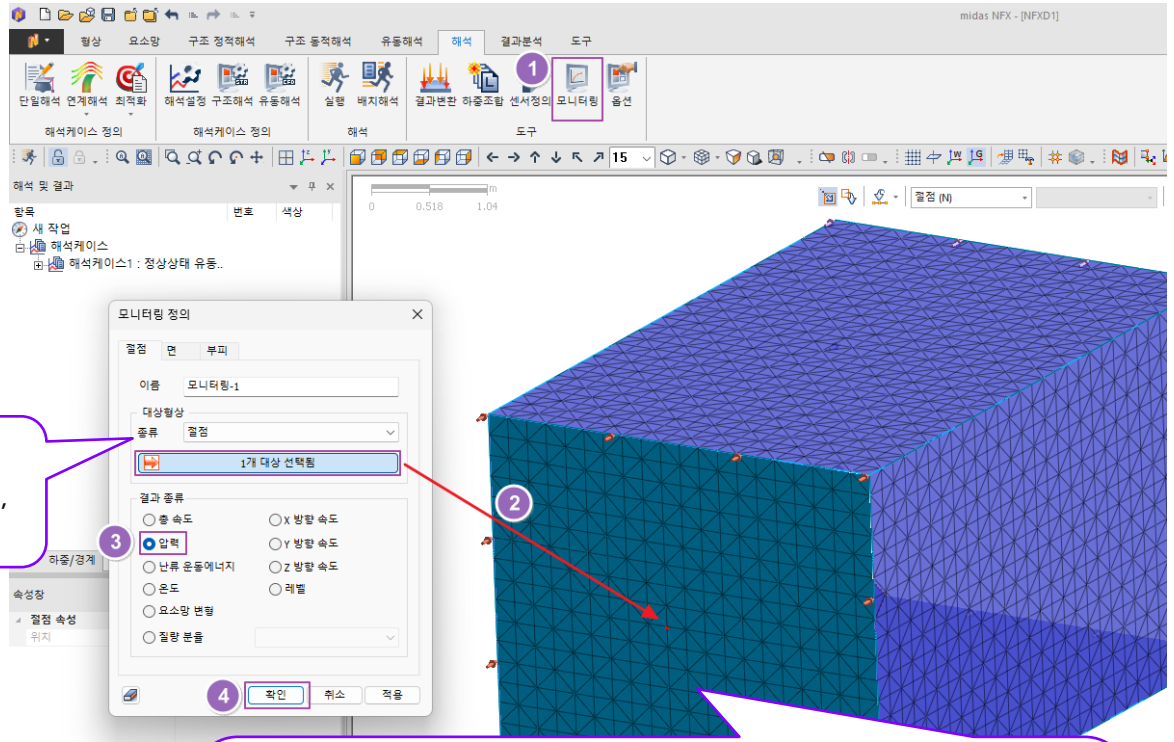
계산 실행 – 수렴 판단을 위한 모니터링 포인트

① “결과 모니터링” 버튼 클릭

② 입구 부분 가운데 절점 선택

③ “압력” 체크박스 : On

④ “적용” 버튼 클릭



입구 측에는 속도를 10 m/s 고정했으므로, 압력을 관찰합니다.

계산 중에 결과 검토가 가능한 시점을 판단하는 기준은

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

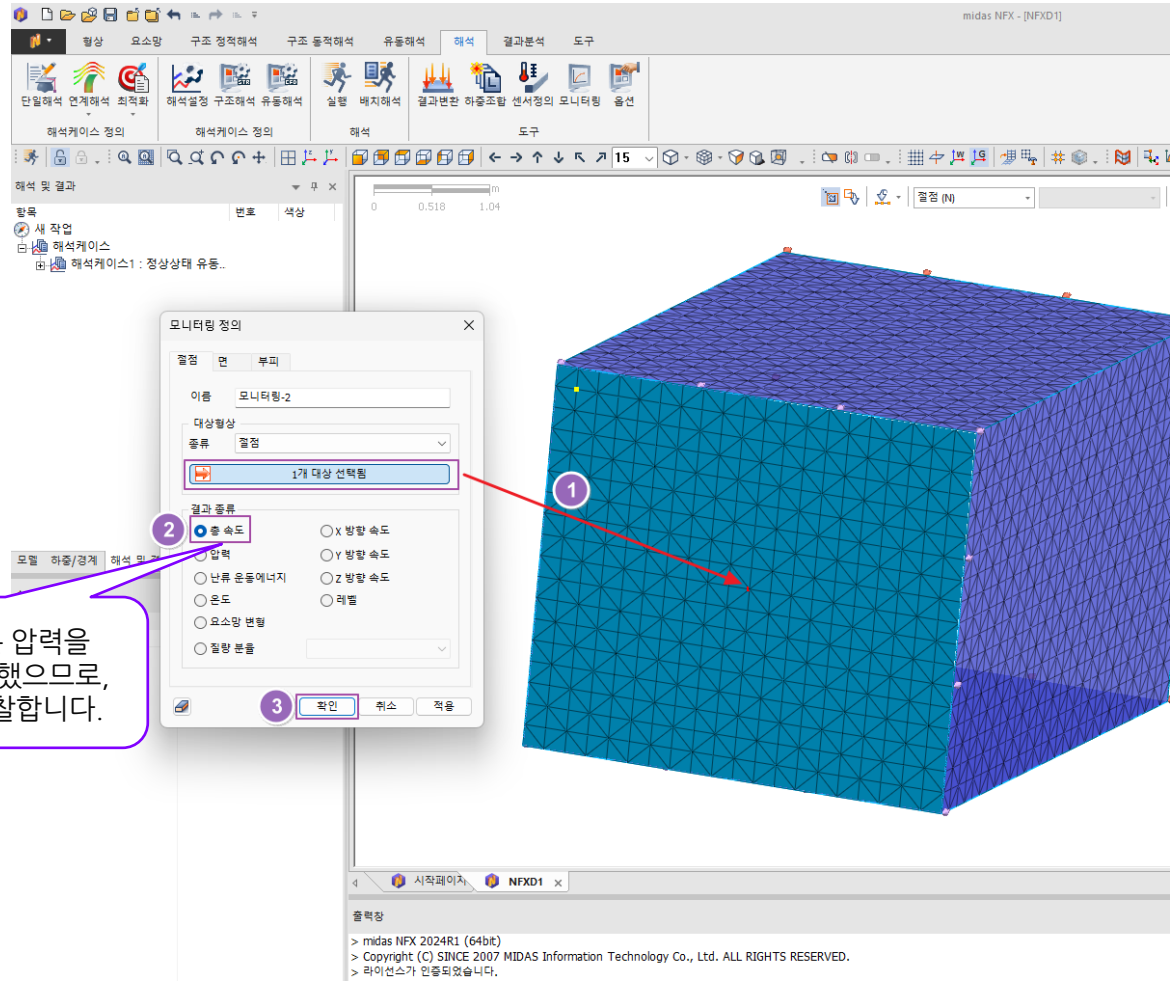
입니다. 이 중 2번 조건을 확인하기 위해 “모니터링 포인트”를 지정해 해당 영역의 물리량을 계산 중에 관찰 할 수 있습니다.

계산 실행 – 수렴 판단을 위한 모니터링 포인트

① 출구 부분 가운데 절점 선택

② “압력” 체크박스 : Off
“총속도” 체크박스 : On

③ “확인” 버튼 클릭

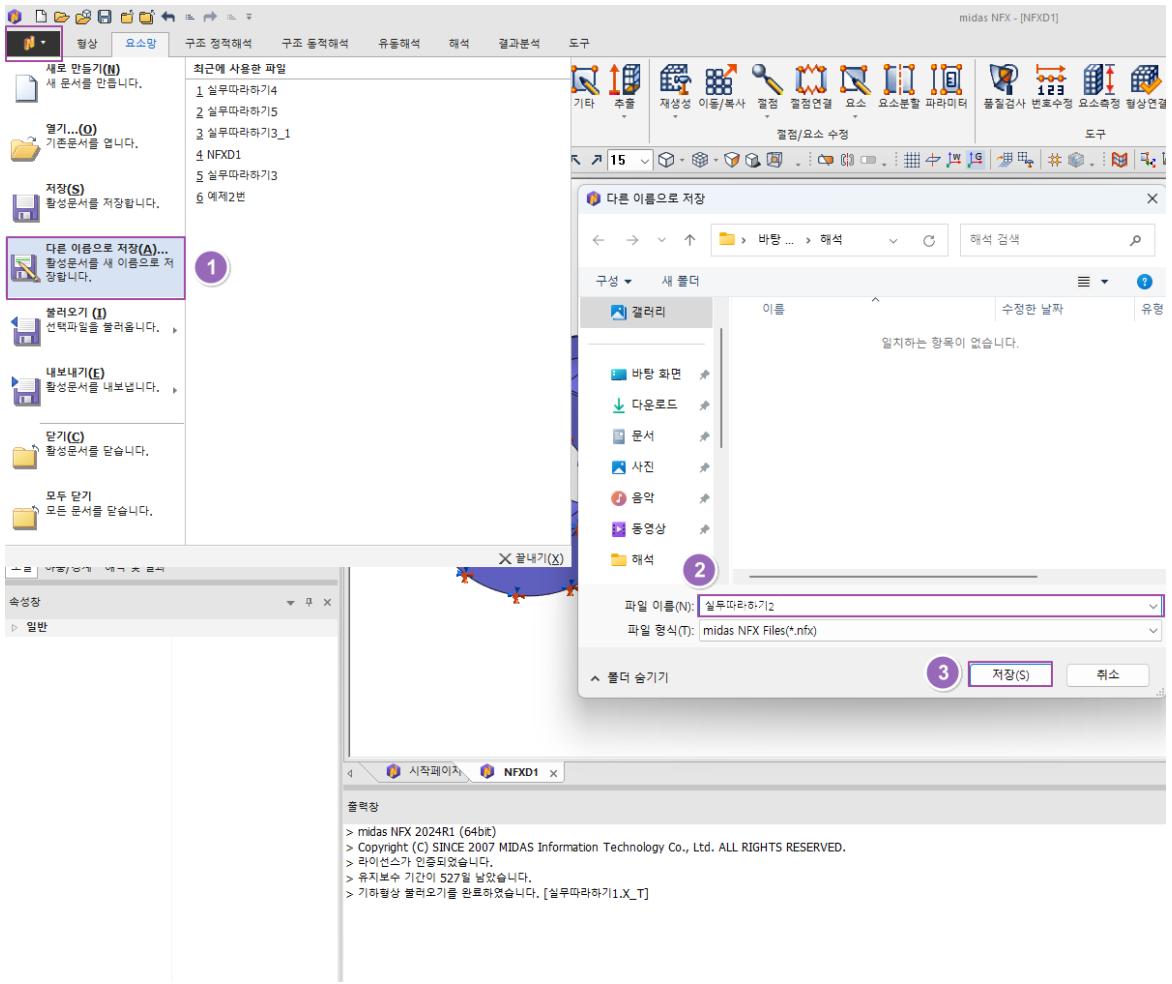


계산 실행 – 파일 저장

① “메인 메뉴” 버튼 클릭
> “다른 이름으로 저장” 버튼 클릭

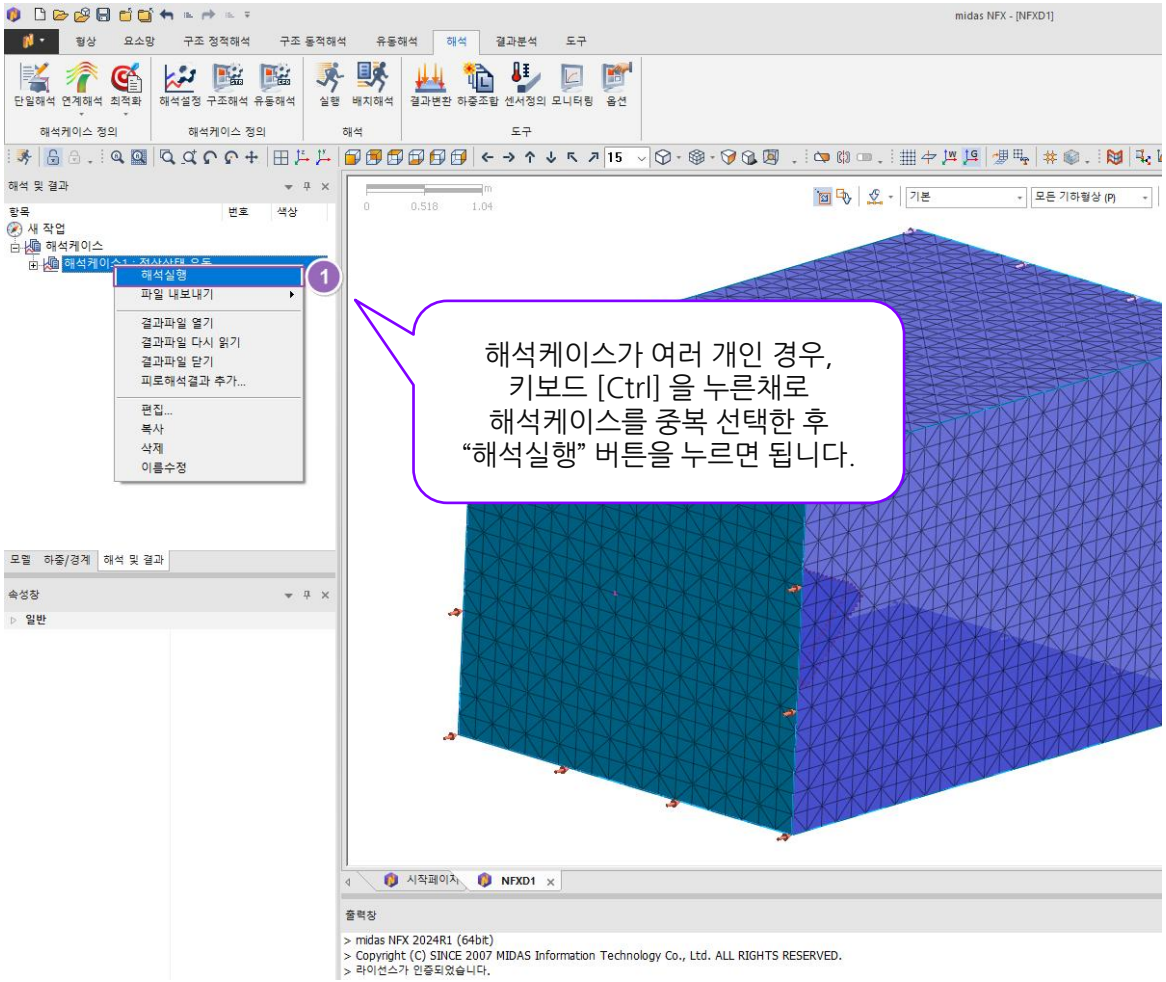
② “파일 이름” 입력창
: “실무따라하기2.nfx”

③ “저장” 버튼 클릭



계산 실행 – 해석케이스 계산 실행

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



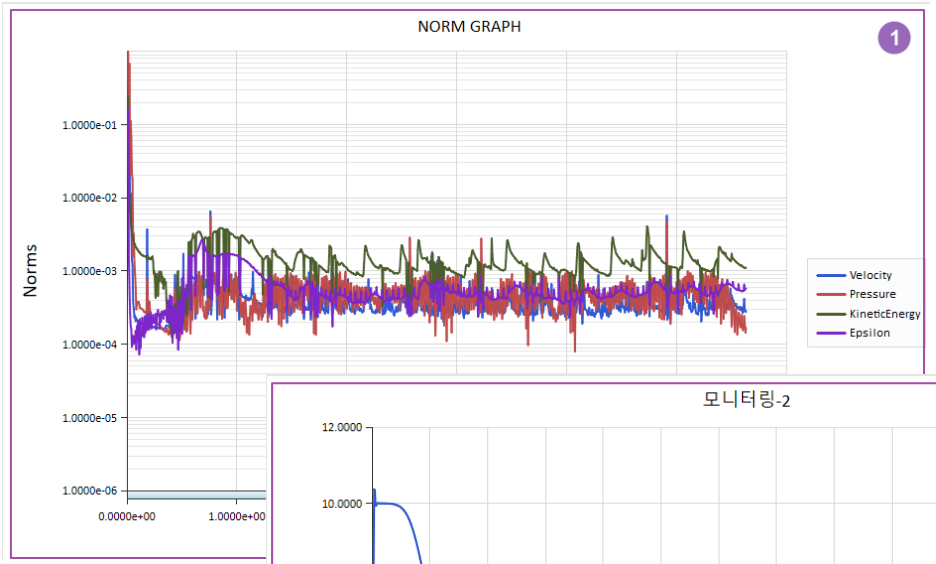
계산 실행 – 계산 과정 검토 및 수렴 판단

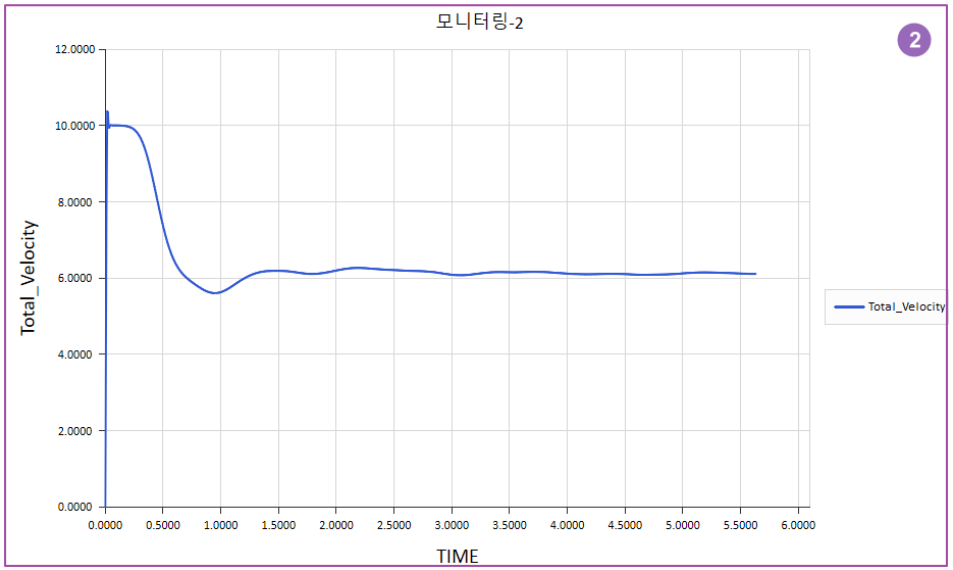
① "CFD Norm 그래프" 및 출력창을 통해 Norm 그래프 수렴 확인
(Norm 값이 0.001 이하로 지속적으로 떨어지는 현상 관찰)

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

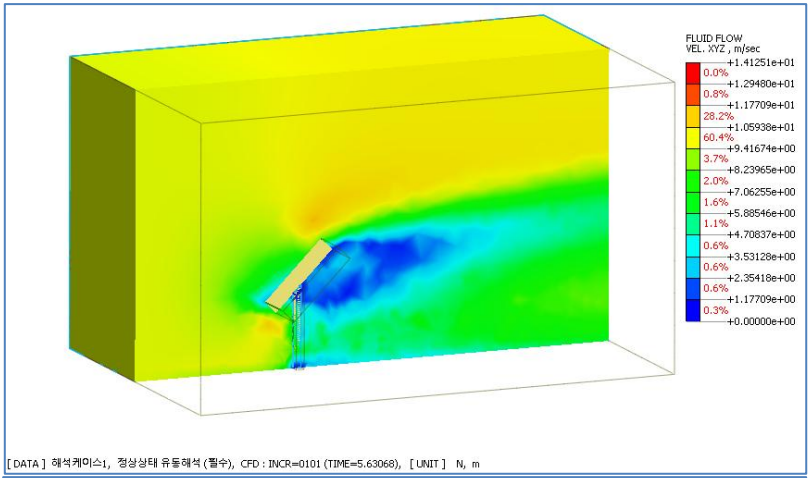


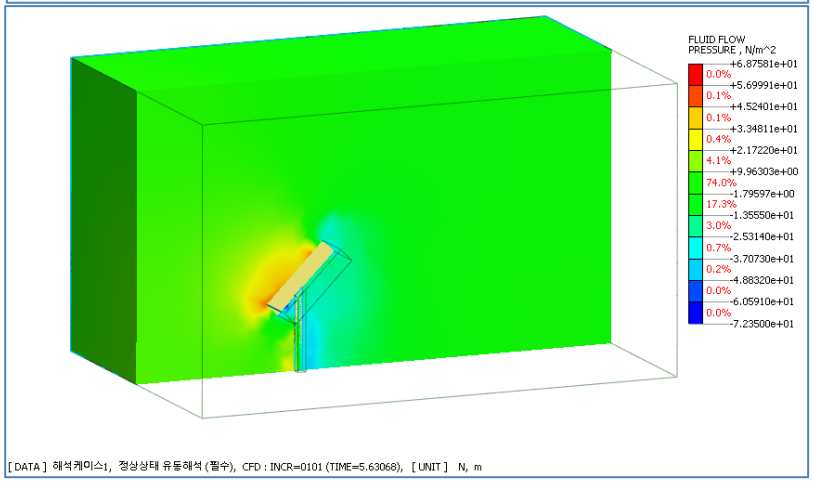


결과검토

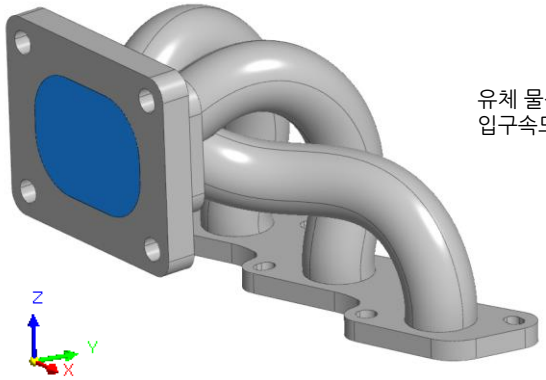
① 각종 결과 확인

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

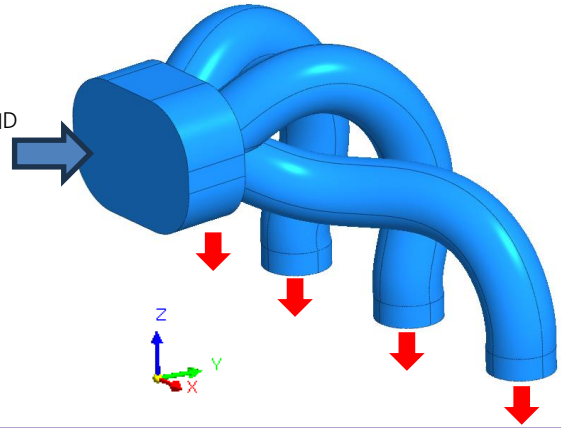




실사례 실습(매니폴드)



유체 물성 : GASOIL_LiQUID
입구속도 : 1 m/sec



압력 : 0 (대기압)

문제 설명

✓내부 유동 형태
✓ 매니폴드 내부로 유동이 입력되고 출구로 분할되어 흐르는 형태
✓ 좌측 면으로 입력된 유동이 출구로 균일하게 분할되는 해석 수행

해석 목적

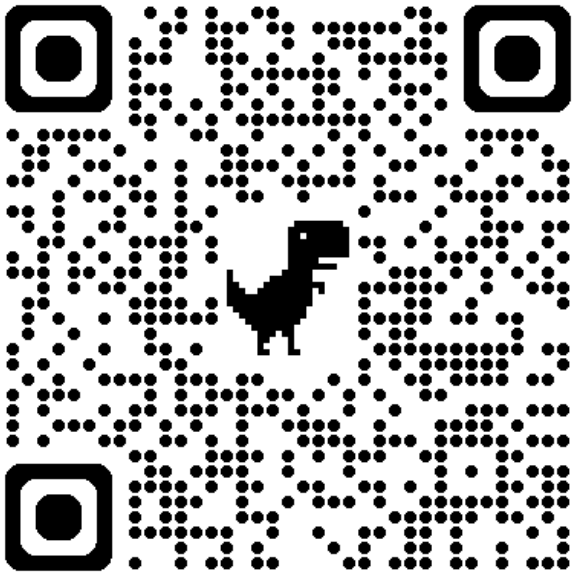
✓ 실 사례 해석을 통한 해석 실습
✓ 입구와 출구의 속력 변화와 압력 변화확인 (모니터 기능 이용)

학습 주요 아이템

✓ 유동해석에 필요한 NFX 옵션 설정
✓ 재료 정의 및 특성 정의
✓ 특정 부분 요소망만 조밀하게 하는 방법
✓ 내부 유동의 일반적인 경계조건 입력 방법
✓ 해석케이스 정의 방법 (정상 상태)
✓ 유동해석 결과 검토 방법

설문조사

더 좋은 교육 환경을 구성하기 위해 설문조사 부탁드립니다!



교육 참여 고생 많으셨습니다! 감사합니다!

유동해석 솔버 종류 & 유체 재료 모델 선택 가이드

상황에 맞는 솔버와 재료 모델을 선택하여 정확하고 효율적인 해석을 수행하세요!

1. 유동해석 솔버 종류 비교

	비압축성 솔버	압력기반 압축성 솔버	밀도기반 압축성 솔버
핵심 개념	밀도 일정 가정	압력 기반으로 밀도 변화 고려	밀도 기반 압축성 전용 (밀도-운동량-에너지 연성)
밀도 변화	무시	고려	강하게 고려
마하수 기준	Ma < 0.3	Ma < 1 (약한~중간 압축성)	천음속~초음속 (Ma≈1 이상 또는 초크/충격파)
압축성 효과	없음	약~중간	매우 강함
계산 안정성	매우 좋음	좋음	상대적으로 민감
계산 속도	빠름	보통	느림
적합한 유체	액체, 저속 기체	산업용 압축성 기체 배관	초크/충격파/고속 압축성 유동
대표 적용 예시	물 배관, HVAC, 열교환기 등	고압 가스 배관, 압축공기 등	노즐, 제트, 항공/우주 등
언제 사용?	일반 CFD 대부분 (저속, 밀도 변화 무시 가능)	압력 변화가 큰 기체 유동 (초음속 전 영역 포함)	초크/충격파/고속 압축성 유동이 핵심인 경우

실무 선택 기준 (요약 흐름)

일반 배관 유동/저속 공기 유동 → 비압축성 → 압력차 큰 기체 유동 → 압력기반 압축성 → 초크/오리피스/고속 분출/충격파/초음속 → 밀도기반 압축성

2. 밀도기반 압축성의 세부 옵션 (이상기체 선택)

	이상기체(점성)	이상기체(비점성)
상태방정식	이상기체 ($\rho = P / RT$)	이상기체 ($\rho = P / RT$)
점성 고려	O	X
벽면 마찰	O	X
난류 계산	O	X
경계층	O	X
열전달	가능	제한적
계산 비용	상대적으로 큼	빠름
정확성/용도	실제 유동에 가까움 (설계/정밀 해석용)	압축파 구조 확인용 (벽면 효과 제외)
대표 예시	노즐, 배관, 제트, 초음속 유동 등	충격파 위치, 팽창파, 압축파 구조 확인 등

☆ 밀도기반 압축성 해석에서는 대부분 이상기체(점성) 사용

※ 이상기체 상태방정식: $\rho = P / (R \cdot T)$
P: 압력, ρ: 밀도, R: 기체상수, T: 절대온도

3. 유체 재료 모델 비교

모델	밀도 정의	압축성	온도 영향	압력 영향	대표 유체	사용 목적
비압축성	ρ = 상수	X	X	X	물, 오일 등	일반 유동 (밀도 변화 무시)
미소 압축성	약한 변화	△	약함	약함	고압 액체 등	약한 압축성 액체 (고압 액체 유동)
순압성	$\rho = \rho(P)$	O	거의 X	O	헬륨, 질소, 압축공기 등	등온 가정의 압축성 기체 유동
비압축성 이상기체	$\rho \approx P_{ref} / RT$ (온도 기반)	약함	O	거의 X	공기 등	저속 열유동, 부력/자연대류
이상기체	$\rho = P / RT$	O	O	O	공기, 수소 등 기체	압축성 + 열적 효과가 중요한 유동

O: 고려됨 △: 약간 고려 X: 거의 무시 P_{ref}: 기준 압력 (거의 일정하다고 가정)

4. 솔버 + 재료 모델 추천 조합 (실무 기준)

해석 목적	추천 솔버	추천 재료 모델	비고 / 특징
물 배관 유동	비압축성	비압축성	일반적인 액체 유동, 가장 보편적
저속 공기 유동	비압축성	비압축성	HVAC, 환기, 일반 덕트 유동
저속 공기 열유동 (부력)	비압축성	비압축성 이상기체	자연대류, 열에 의한 밀도 변화 고려
배터리 공랭/전자장비 냉각	비압축성	비압축성 이상기체	온도에 따른 밀도 변화(부력) 중요
압축공기 배관	압력기반 압축성	순압성	등온 가정, 압력-유량 관계 핵심
헬륨/수소 배관	압력기반 압축성	순압성	고압 기체, 온도 변화 작음
고압 가스 + 온도 변화	압력기반 압축성	이상기체	열효과가 중요할 때
오리피스/노즐 (초크 가능)	밀도기반 압축성	이상기체(점성)	초크 유동, 압축성 효과 강함
초음속 제트/항공 외부 유동	밀도기반 압축성	이상기체(점성)	초음속, 충격파 포함
충격파 개략 검토	밀도기반 압축성	이상기체(비점성)	압축파 구조 빠른 확인용

★: 매우 자주 사용 ☆: 덜 자주 사용

비압축성
ρ = 상수
- Ma < 0.3
- 압력 변화 작음
- 밀도 변화 무시 가능
- 물, 오일 등
- 일반 유동



미소 압축성 (약한 압축성)
- 액체
- 압력 변화 있음
- 밀도 변화는 작음
- 고압 액체 유동



순압성
$\rho = \rho(P)$
- 기체 (등온 가정)
- 압력 변화에 따라 밀도 변화
- 온도 변화 거의 없음
- 고압 가스 배관



비압축성 이상기체
$\rho \approx P_{ref} / RT$ (온도 기반)
- 속도 낮음 (Ma < 0.3)
- 온도 변화 큼
- 압력 변화 작음
- 부력/자연대류 중요
- 공기 열유동



이상기체
$\rho = P / RT$
- 압력 변화 큼
- 온도 변화 큼
- 압축성 + 열적 효과
- 고속/고압 기체 유동
- 노즐, 분출, 터빈 등



6. 가장 많이 쓰는 조합 TOP 5 (사용 빈도 순)

1	비압축성 + 비압축성	★★★★★
2	비압축성 + 비압축성 이상기체	★★★★☆
3	압력기반 압축성 + 순압성	★★★★☆
4	압력기반 압축성 + 이상기체	★★★☆☆
5	밀도기반 압축성 + 이상기체(점성)	★★★☆☆

7. 빠른 선택 가이드 (한눈에 보기)

액체인가? Yes → 비압축성 (비압축성 / 미소 압축성) → 기체인가? Yes → 다음 단계 → Ma > 0.3 인가? Yes → 압축성 고려 → 압력 변화 큰가? Yes → 압력기반 압축성 → 초크/충격파 있는가? Yes → 밀도기반 압축성 → 온도 영향 중요한가? Yes → 이상기체 → 부력/자연대류 문제인가? Yes → 비압축성 이상기체

No → 비압축성 → No → 비압축성 가능 → No → 비압축성 → No → 비력기반 압축성 → No → 순압성 → No → 이전 단계 결과 유지

핵심 기억 포인트

일반유동 (저속, 밀도 변화 무시) → 비압축성 + 비압축성

열유동/부력 (온도 변화 중요) → 비압축성 + 비압축성 이상기체

고압 가스 배관 (등온 가정) → 압력기반 압축성 + 순압성

고속/노즐/초크/충격파 (강한 압축성) → 밀도기반 압축성 + 이상기체(점성)

☆ 대부분의 실제 공학 문제는 위 기준을 따르면 올바른 조합을 선택할 수 있습니다!