

CFD 입문자를 위한 모든 것

유동 해석의 시작과 끝



CONTENTS Day-1

유동해석의 시작과 끝

Part 1. CFD의 필요성

Part 2. Navier-Stokes Equations 이해하기

Part 3. 다양한 CFD 해석 예시와 CFD의 경제성

Part 4. NFX를 활용한 CFD 실습

왜? CFD를 사용할까?

CFD: 보이지 않는 유동과 열을 예측하는 기술

문제: 왜 유체 해석은 어려운가?



관찰 및 예측의 어려움
유체는 형태가 보이지 않는 경우가 많아 경험만으로는 정확한 판단이 어려움



실험의 위험과 제약
고온, 유독가스, 폭발과 같은 위험한 환경에서 실제 실험이 거의 불가능

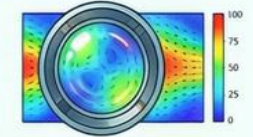


높은 비용과 시간
시제품 실험과 다양한 테스트를 수행하기 위해서는 큰 비용과 시간이 소요됨



CFD
(Computational Fluid Dynamics)

해결책: CFD는 무엇을 가능하게 하는가?



보이지 않는 현상의 시각화
압력, 속도, 온도 등 눈에 보이지 않는 데이터를 명확한 이미지로 보여줌



비용 시간 절감
시제품 제작과 실험의 제약을 줄여 개발시간, 비용을 획기적으로 단축



정량 데이터 기반 의사결정
문제의 원인을 수치로 파악하고 다양한 조건 변경에 따른 성능을 정확히 비교

왜? CFD를 사용할까?

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



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

유체의 보이지 않는 특성



무색 무형의 매질 특성 - 관찰과 예측이 어려움

경험으로 알고 있는 유체



경험적 행동

실무 설계 (정량적 판단?)

건물의 환기 시스템 설계



출처 : <https://hvacgnome.com/blog/hvac/what-is-packaged-hvac-system/>



팬의 위치는?개수는?



왼...쪽?, 1개는 약하니까 2개정도?



건물 내부 구조물의 위치?



구조물을 이리로 옮기면
잘 흐를 것 같은데?

경험적 실험적 접근

실무 설계 (정량적 판단의 어려움)



이 부분에서 부품 교체가
많이 일어나네? 왜?



보이지 않고 유체 속도가
빨라 상상하기 힘들네..



뭐가 문제지?



다른데선 이렇게 하던
데? 따라해볼까?

밸브/관형상 설계



벤치 마킹(역설계)

장비 작동 환경의 위험성

작동 환경의 위험성

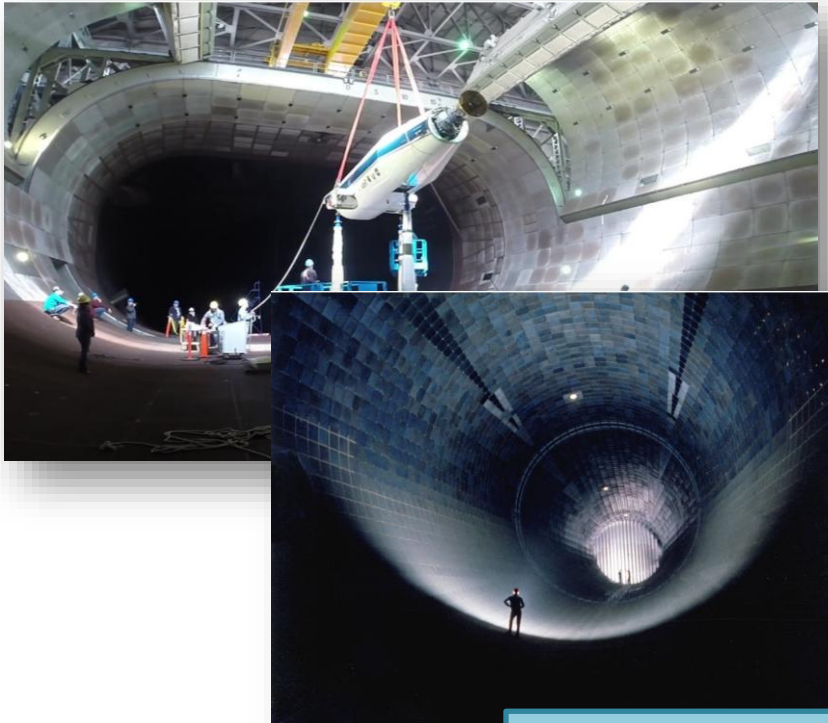


 유독가스라 실험하기 위험한데..

 폭발의 위험이 있는거 아닌가?

고온/위험환경

실험 조건 제한



<https://boomsupersonic.com/flyby/>

제한적 조건으로 실험이 어려움

고가의 실험 비용



출처 : 유튜브 WIRED

CFD의 필요성

유동 분석의 한계와 CFD를 통한 극복

① 관찰과 예측이 난해

전산 자료이므로 시각화 용이

② 위험성

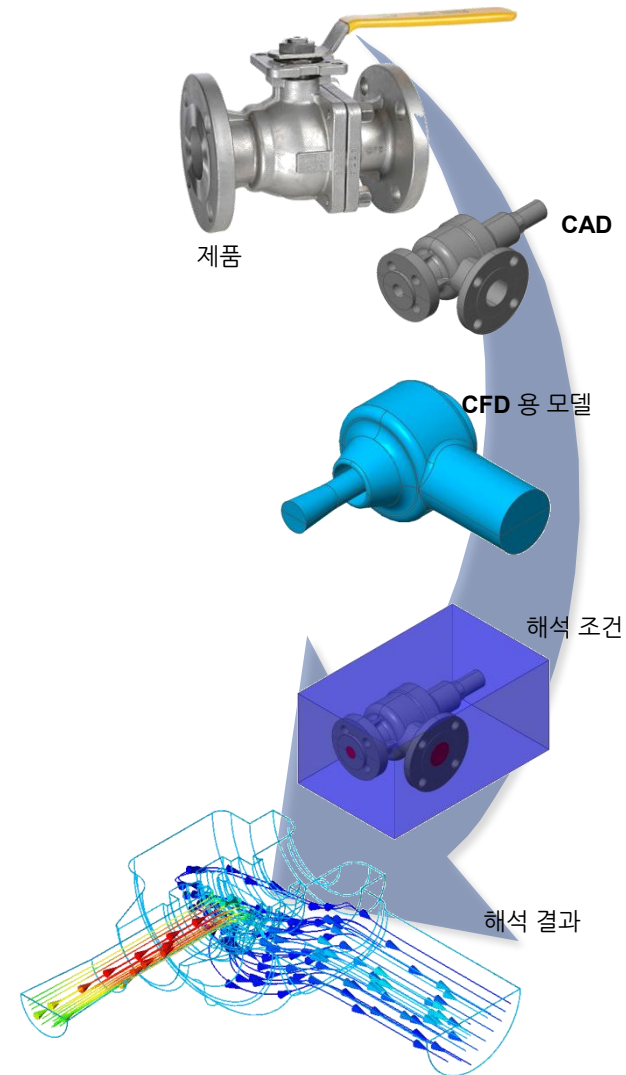
가상의 컴퓨터 환경에서 시뮬레이션

③ 밀폐 · 고속운동

전산 자료이므로 밀폐 용기 내부도 확인 가능

④ 저렴한 가격

다양한 컨셉의 형상에 대해 컴퓨터 계산만으로 결과 확인 가능



CONTENTS Day-1

유동해석의 시작과 끝

Part 1. CFD의 필요성

Part 2. Navier-Stokes Equations 이해하기

Part 3. 다양한 CFD 해석 예시와 CFD의 경제성

Part 4. NFX를 활용한 CFD 실습

CFD의 개념

무엇을, 어떻게 계산하나

● CFD 정의

CFD는 컴퓨터로 유체역학 방정식을 풀어 유동·열현상을 예측하는 도구입니다.

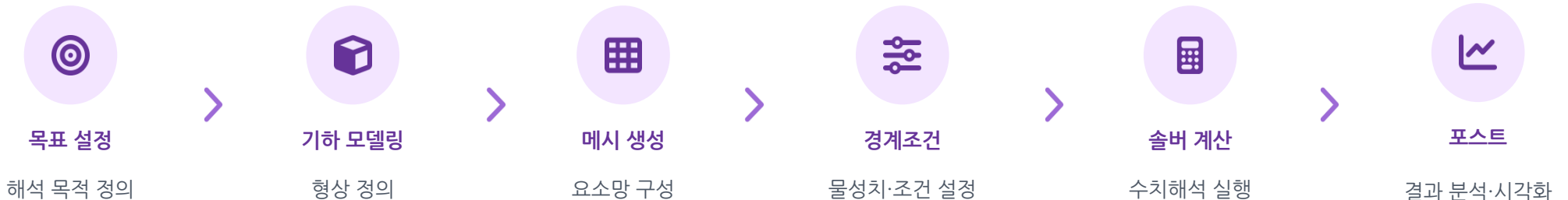
메시(요소망)로 영역을 분할하고 각 셀(CV)에서 보존법칙을 만족하도록 수치적으로 계산합니다.

● 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 흘러내리는 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)

Fluids

(Flu·ids)

Definition:
Fluids are substances that can flow and take the shape of their container, including both liquids and gases.

Examples:

Water 	Oil 
Blood 	Honey 

Types:

- Ideal Fluids
- Real Fluids
- Newtonian Fluids
- Non-Newtonian Fluids
- Incompressible Fluids
- Compressible Fluids
- Non-viscous fluids
- Organic fluids
- Synthetic fluids

Ex [Examples.com](https://www.examples.com)

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.

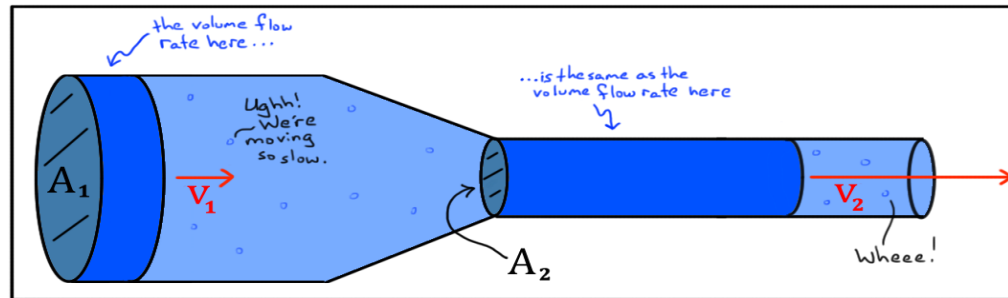
● 보존법칙 - 자연의 불변 원칙

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, 연속 방정식을 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.

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{일정}$$

P: 압력, : 밀도, v: 속도, g: 중력가속도, h: 높이

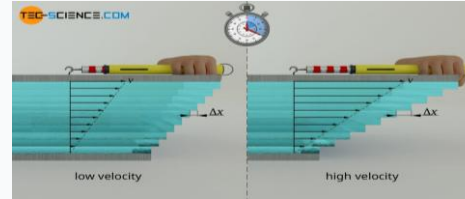
생활 관찰: 비행기 날개의 양력과 빨대로 음료 마시기

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

유체역학의 4가지 힘과 역사적 실험

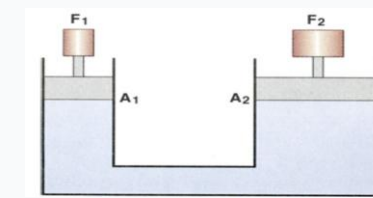
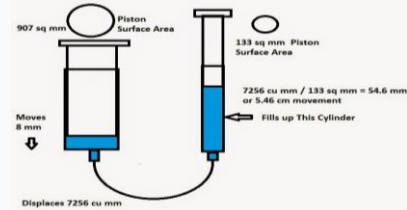
1) 뉴턴의 점성 실험 (점성력)

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



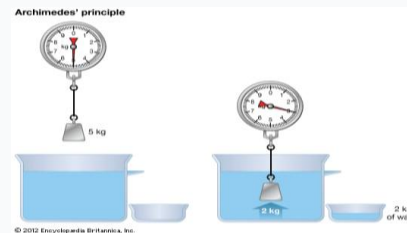
2) 파스칼의 통 실험 (압력)

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



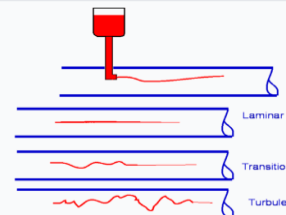
3) 아르키메데스의 부력 실험 (체적력)

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 ($\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$).

- 뉴턴유체 vs 비뉴턴유체

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

- 층류 vs 난류

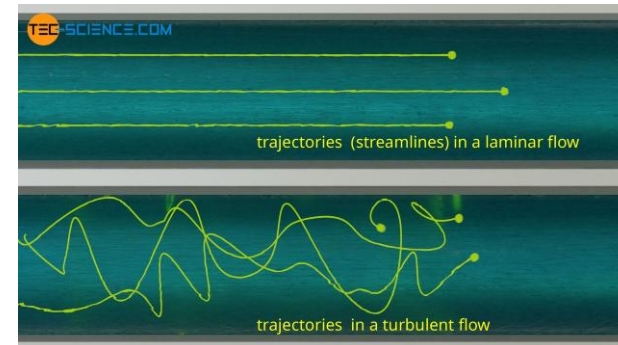
점성 지배적인 안정된 흐름은 층류, 관성력 지배적인 불규칙 흐름은 난류.

레이놀즈수 (Reynolds Number)

$$Re = \rho u D / \mu = \text{관성력} / \text{점성력의 비율}$$

"유체가 관성으로 흐르려는 힘 vs 점성으로 붙잡으려는 힘의 대결"

레이놀즈수(Re)	유동 형태	상태 설명
$Re < 2,300$	층류	점성 승리, 조용히 흐름
$2,300 \leq Re \leq 4,000$	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): $\rho(\partial u / \partial t + u \cdot \nabla u)$ 레이놀즈 실험
유체 입자의 가속도와 질량의 곱 ($F=ma$)

압력력: $-\nabla p$ 파스칼 실험
압력 변화에 의한 힘 (높은 압력 → 낮은 압력)

점성력: $\mu \nabla^2 u$ 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)

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

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)

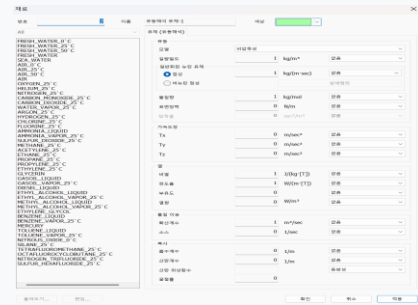
좁은 호스에서 물이 빨라지는 원리 - "들어온 양 = 나간 양"

CFD와 나비에-스톡스 방정식

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

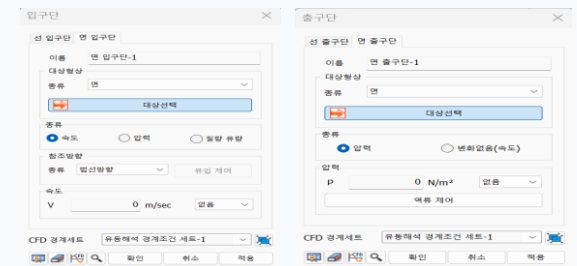
→ 관성력 관련 설정

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



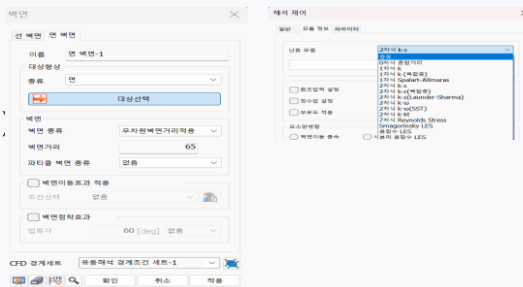
↖ 압력력 관련 설정

- 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

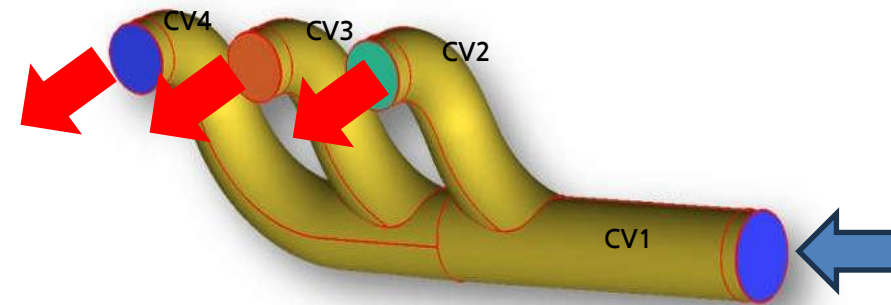
안쪽 흐름 (파이프, 댐 등): 물체 내부 공간을 "꺼내오기"
- 마치 페트병에서 유체가 차지하는 공간만 추출하는 것
바깥쪽 흐름 (자동차, 비행기 등): 주변 공기 영역 만들기
- 커다란 상자를 만들고 그 안에 물체를 뺀 나머지가 공기 영역

● 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

유동장 - 이산화

이산화(Discretization) 개념

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

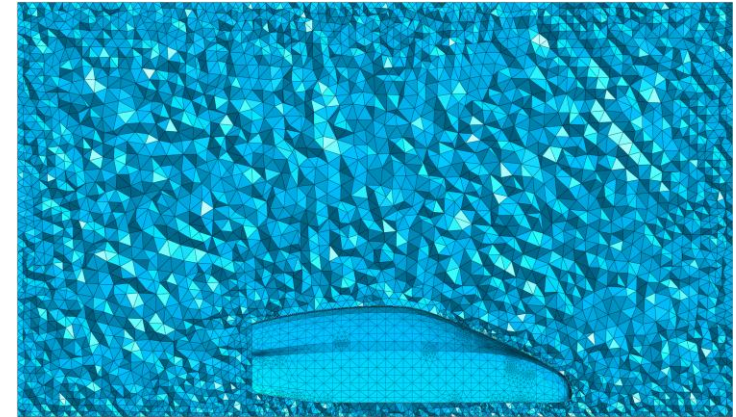
직관적 이해

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

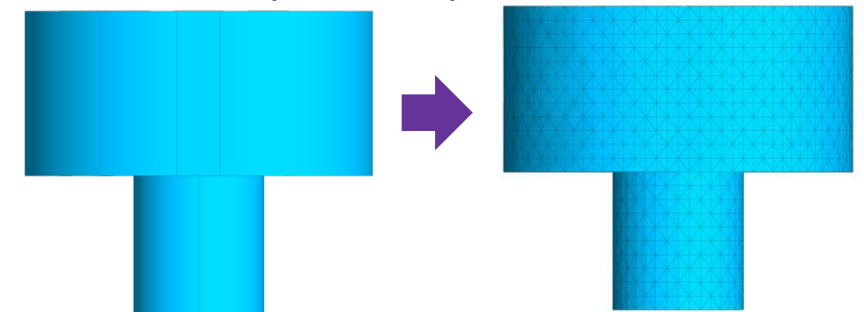
실무 적용 포인트

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 배치되어 y+ 목표값에 맞게 설계됨.

나쁜 메시(Bad Mesh) 특징

- **찌그러진 형태**

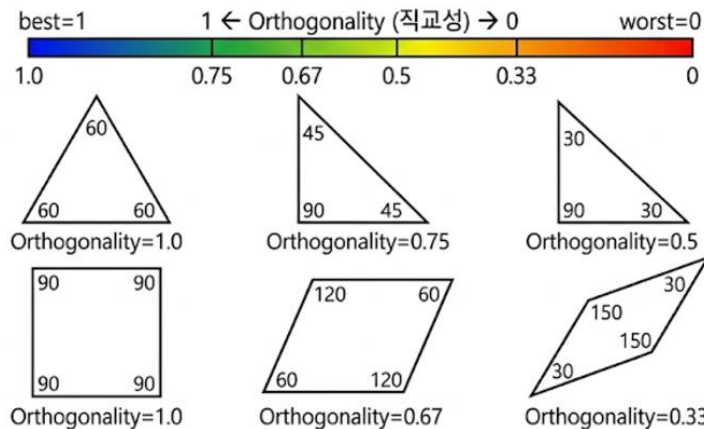
셀이 심하게 왜곡되어 날카로운 각이나 비정상적인 모양을 형성함. 수치 불안정성 유발.

- **급격한 크기 변화**

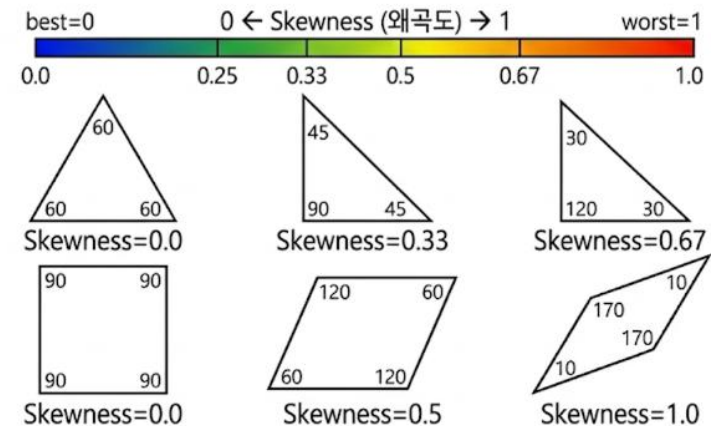
인접 셀 간 크기가 갑자기 변하여 정확도 저하 및 수렴성 악화

- **엉성한 배치**

요소 배치가 불규칙하고 흐름 방향과 맞지 않아 유동 표현이 부정확함.



메시 품질 평가 기준: 좋은 메시(왼쪽)는 직교성이 높고, 나쁜 메시(오른쪽)는 직교성이 낮음.

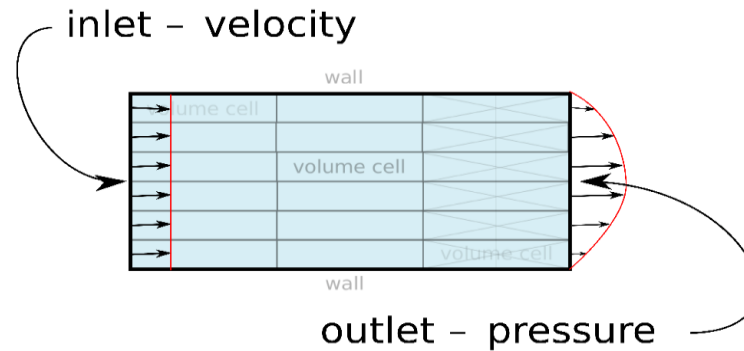


메시 품질 평가 기준: 좋은 메시(왼쪽)는 왜곡도가 낮고, 나쁜 메시(오른쪽)는 왜곡도가 높음.

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) ■

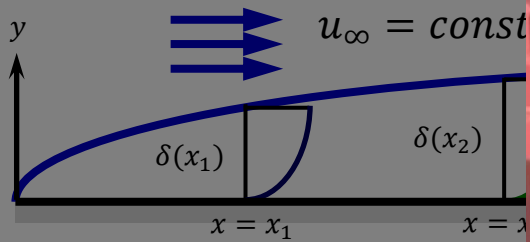
"여기서 멈춰!" - No-slip(속도=0), Slip(마찰 무시), Moving Wall

● 주의사항

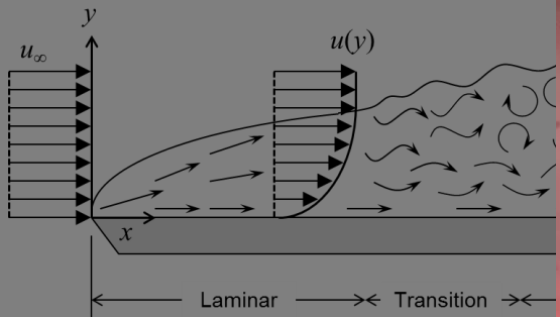
초기조건 vs 경계조건: 초기조건은 $t=0$ 의 일시적 상태, BC는 경계에서의 지속적 조건
 경계 위치: 관심 영역에서 충분히 떨어진 곳에 설정하여 실제 유동에 영향 최소화

운동량 방정식

점성항(경계층 - 벽면 효과)



<경계층 - 종류>



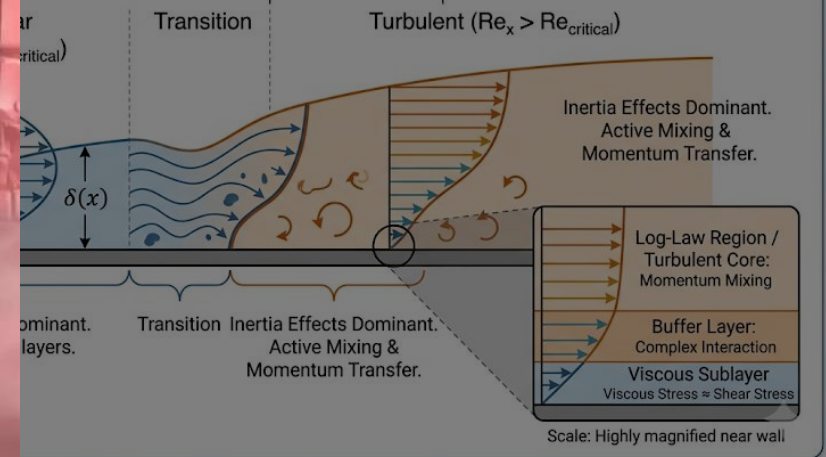
<경계층 - 종류 - 난류>

출처 : youtube 이과형
바람을 불면 날아가죠



Momentum Equation (Viscous Terms)

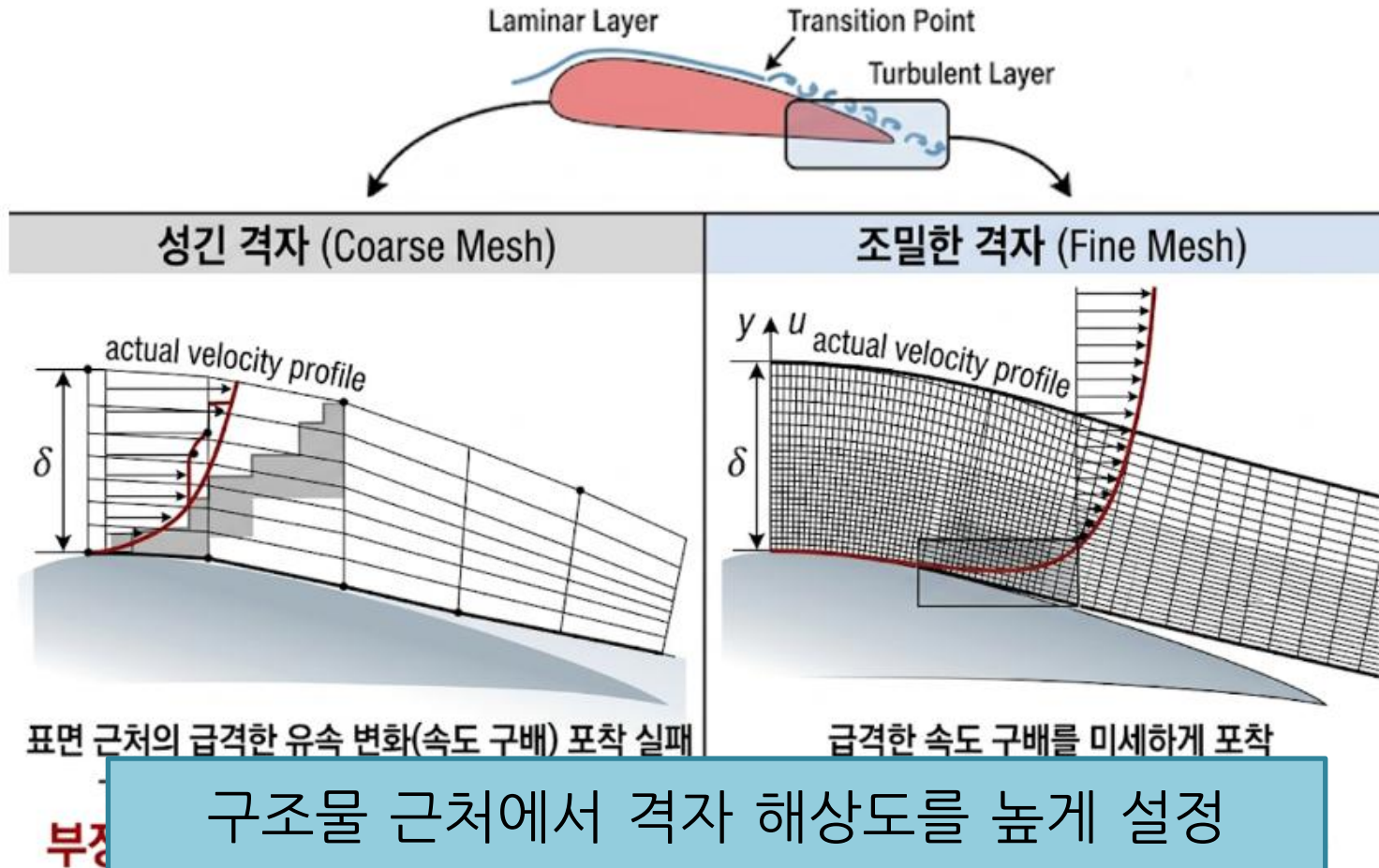
$$\text{Viscous Shear Stress } \tau \approx \mu \frac{\partial u}{\partial y}$$



<경계층 - 종류 난류 복합>

운동량 방정식

점성항(경계층 - 벽면 효과)



CFD에서의 벽경계 + 난류 모사



출처 : 유튜브 Linne FLOW Centre DNS NACA4412

난류모델

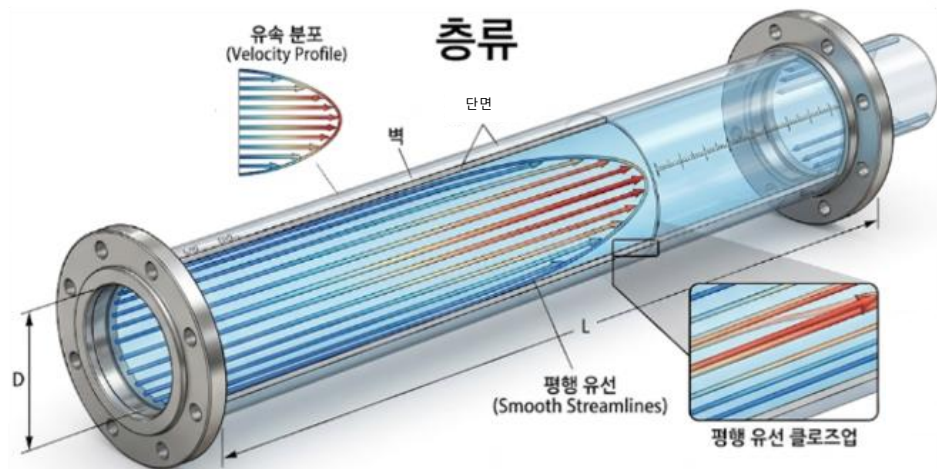
층류 vs 난류, 레이놀즈 수와 모델링

● 층류 vs 난류: 기본 개념

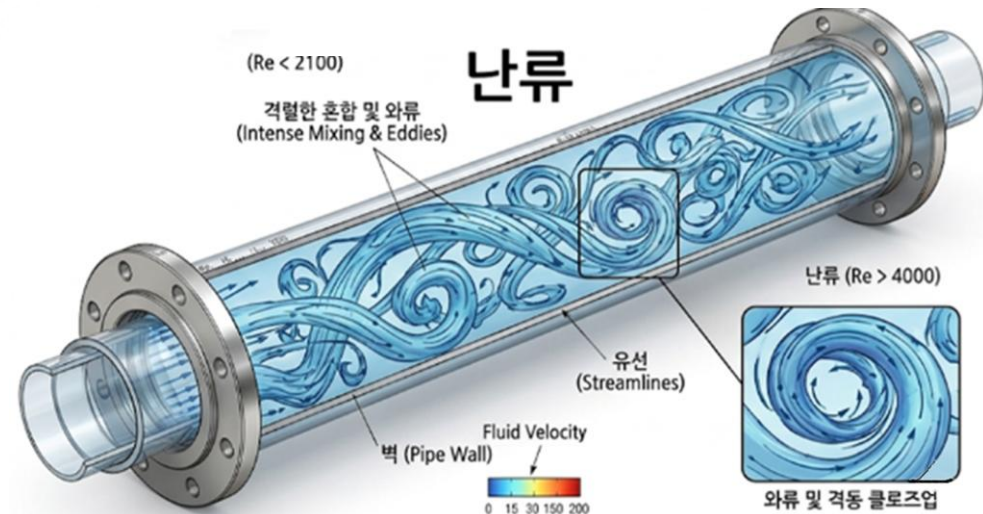
층류(Laminar Flow): 유체가 층을 이루며 질서정연하게 흐르는 상태

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

관내 층류 유동 흐름



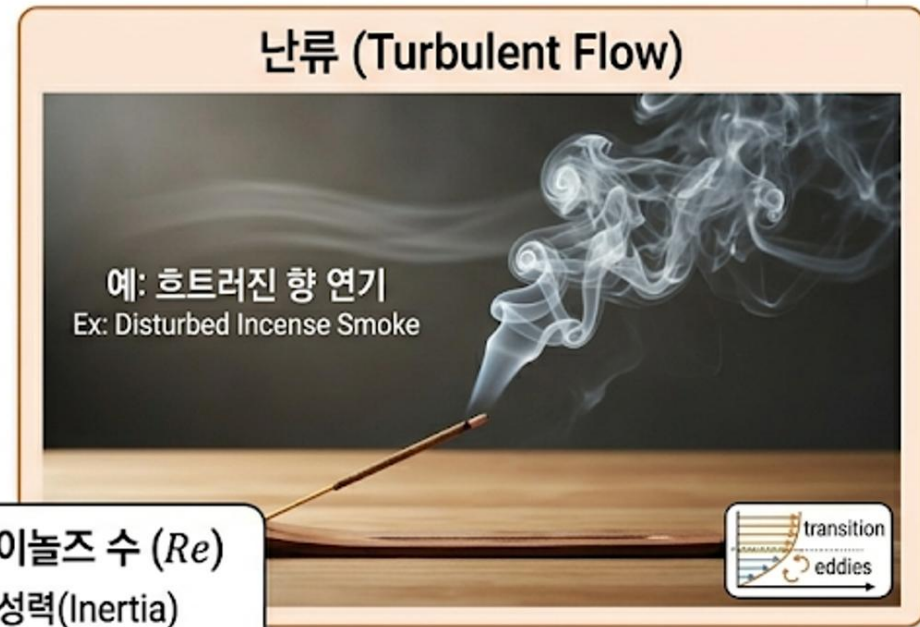
관내 난류 유동 흐름



층류(Laminar flow)와 난류(Turbulent flow)

실생활 속의 층류와 난류 예시

Examples of Laminar and Turbulent Flow in Real Life



교육적 연결: 레이놀즈 수 (Re)

$$Re \approx \frac{\text{관성력(Inertia)}}{\text{점성항(Viscosity)}}$$

점성력 지배적 (Laminar) 관성력 지배적 (Turbulent)

- 매끄럽고 정돈된 층
- 점성 효과 지배적
- Re 낮음

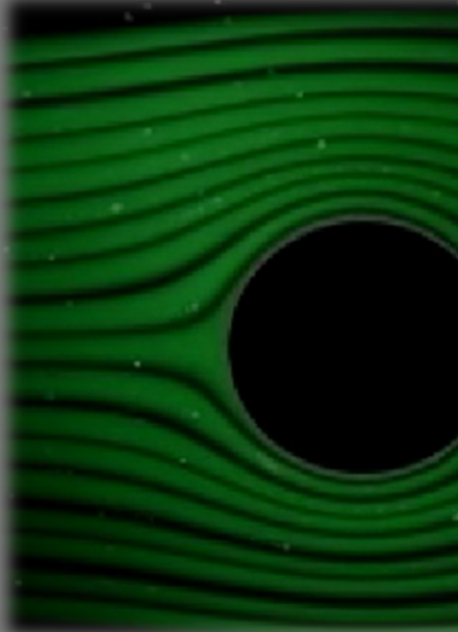
점성항이 크면
 Re 감소
Laminar Flow

관성항이 크면
 Re 증가
Turbulent Flow

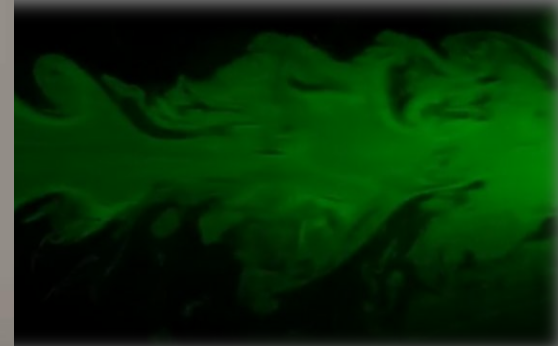
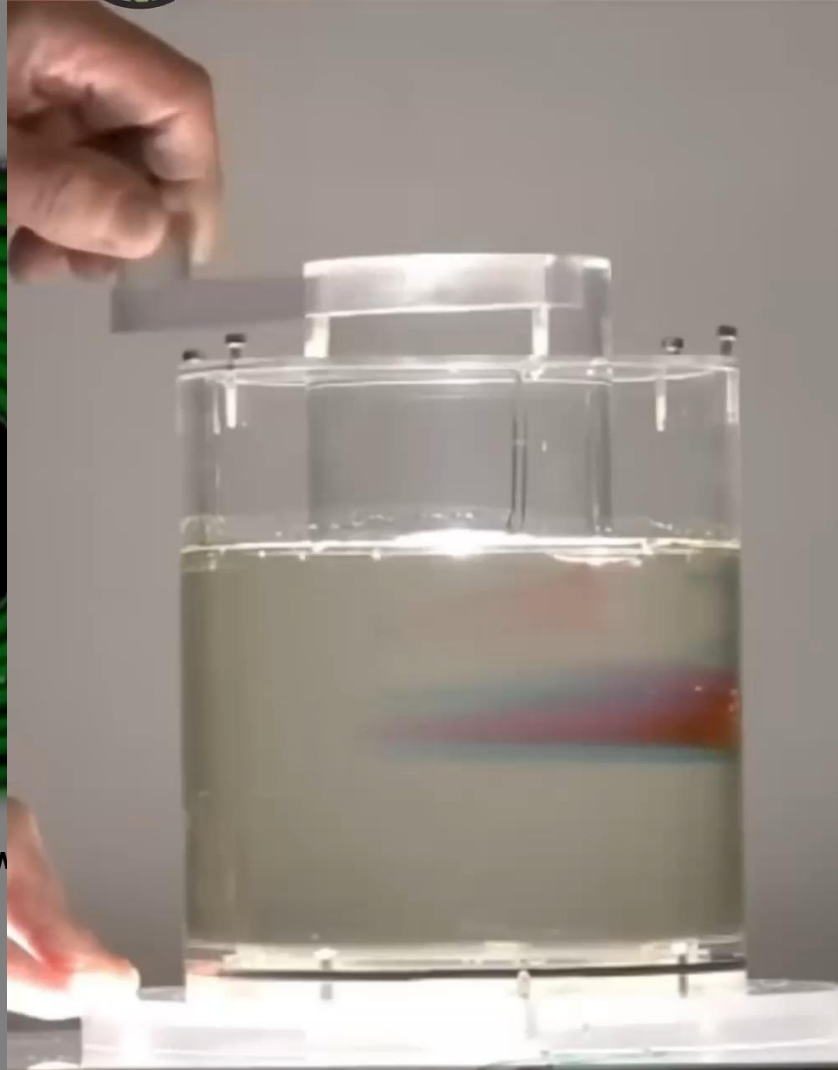
- 혼돈스러운 소용돌이 및 혼합
- 관성 효과 지배적
- Re 높음



층류(Laminar flow)



층류(Laminar Flow)

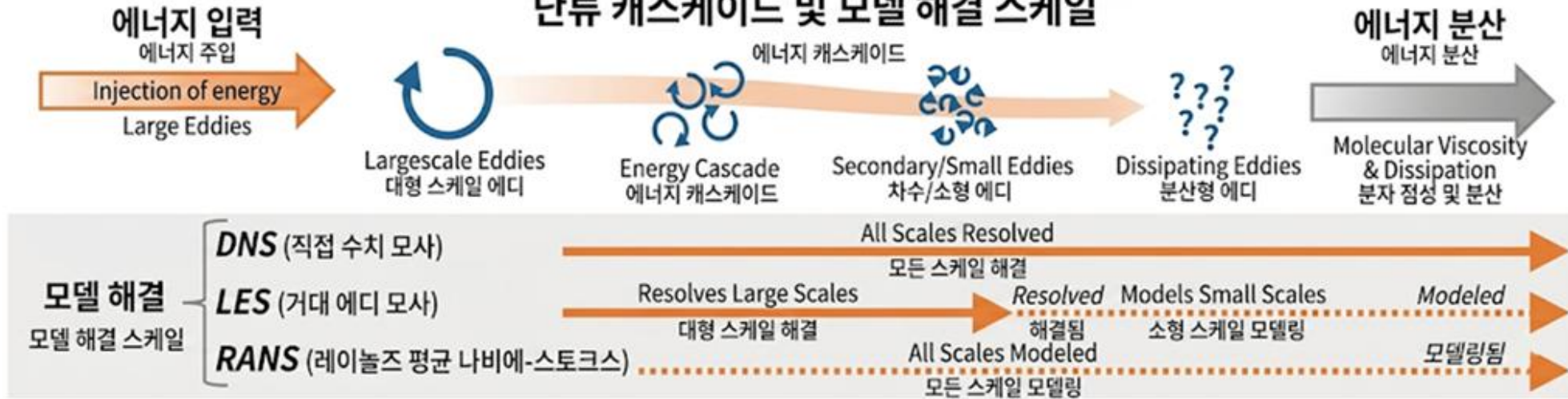


난류(Turbulent Flow)

CFD에서의 난류 모델 모사

주요 난류 모델

난류 캐스케이드 및 모델 해결 스케일

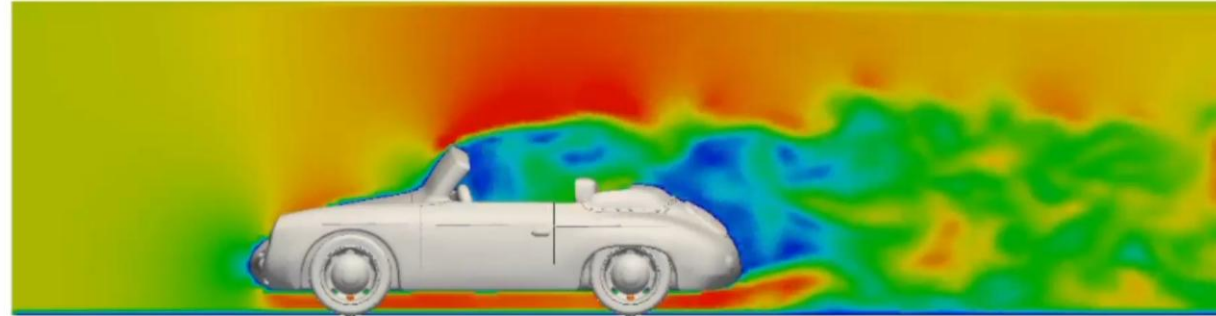


구분	RANS (레이놀즈 평균)	LES (거대 에디 모사)	DNS (직접 수치 모사)
모델 개요	<ul style="list-style-type: none"> 시간 평균 유동 해석. k-ε(자유 유동) k-ω(벽 근처) 하위 모델 사용 	<ul style="list-style-type: none"> 대형 에디는 직접 해석 소형 에디는 모델링 처리 	<ul style="list-style-type: none"> 모든 에디 스케일을 직접 해석. 가장 정밀함.
해석 범위	없음 (전체 모델링)	사용자 설정 스케일 이상 (대형 에디)	모든 스케일 (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 RANS 해석 결과의 차이

$t = 8.100 \text{ s}$

LES

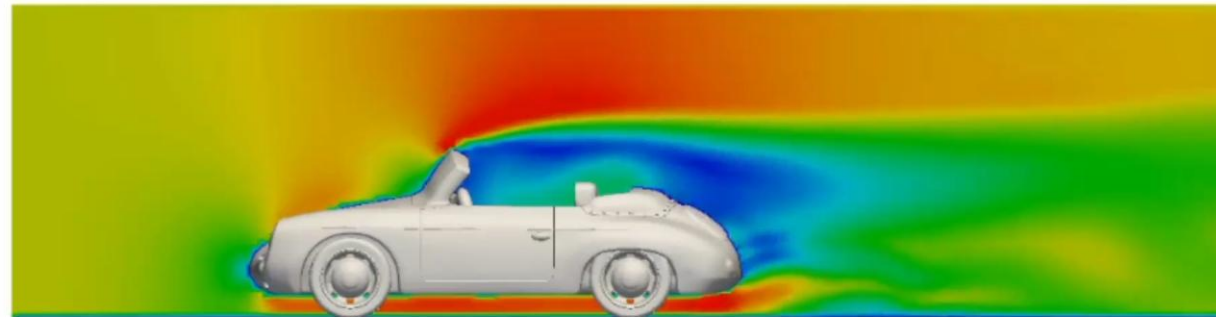


U (m/s)

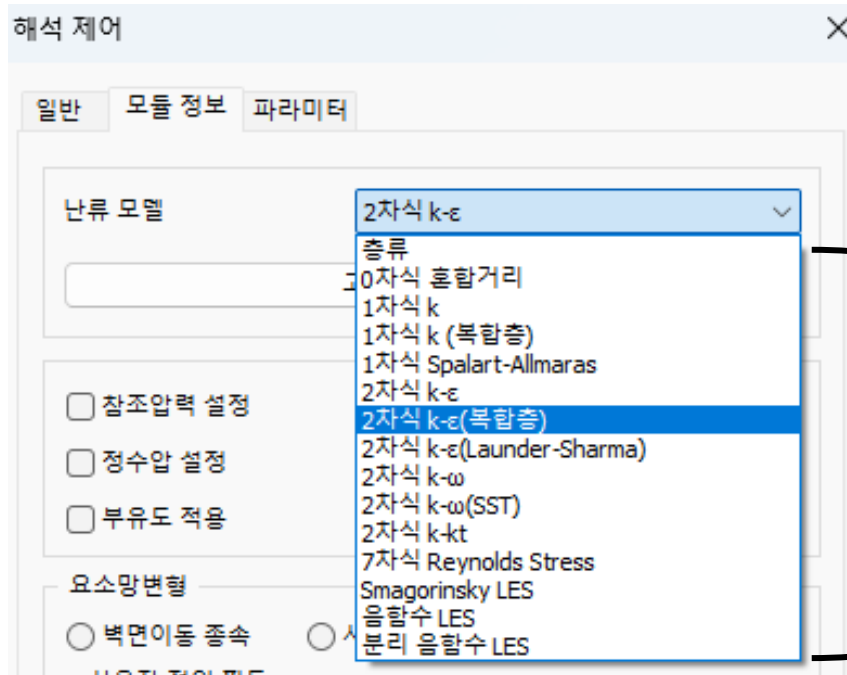
0.00 5.00 10.00 15.00 20.00 25.00 30.00 35.00



RANS



MTS NFS에서의 난류 모델 설정



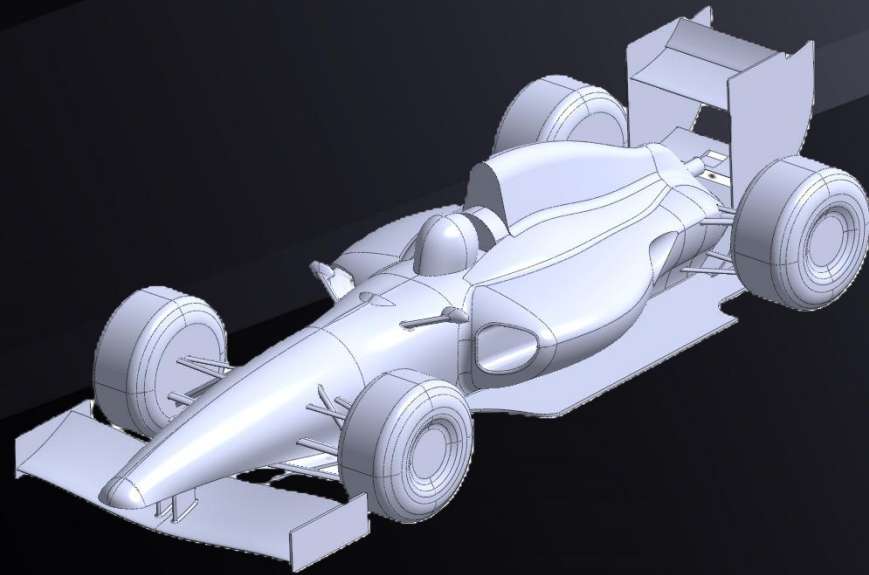
총 14개의 난류 모델 보유

해석에 맞는 다양한 난류모델 선택

유체를 시뮬레이션 한다?

어떻게 생겼나요?

형상 정의

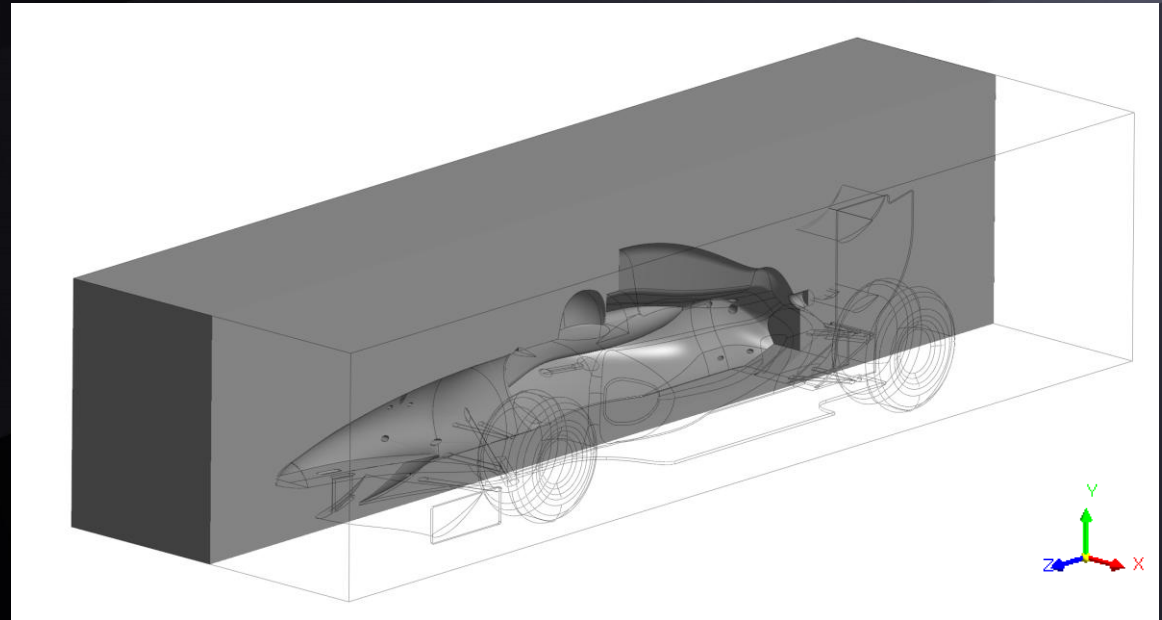


직접 생성 or CAD 파일 불러오기

유체를 시뮬레이션 한다?

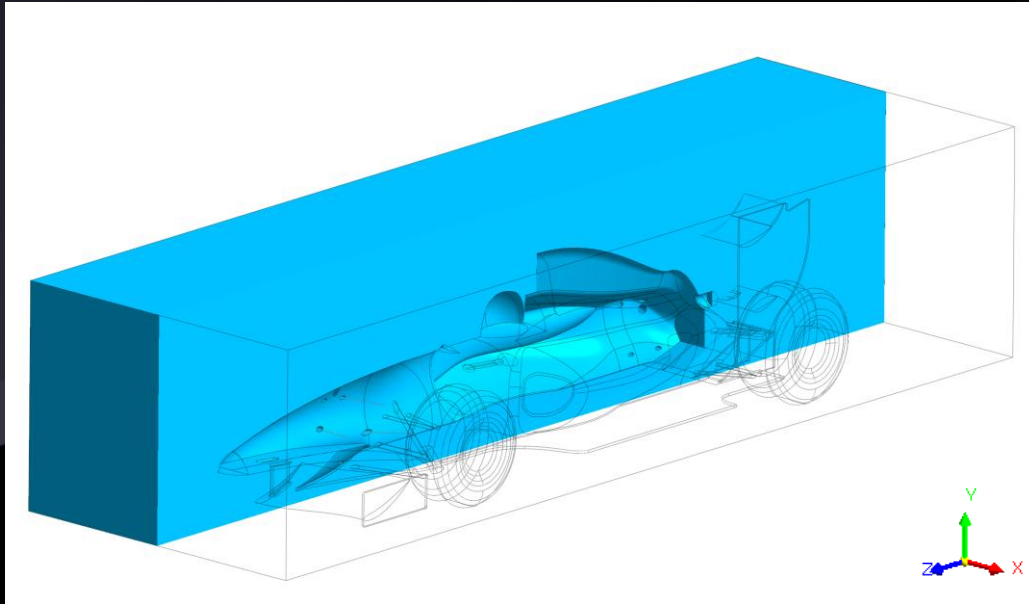
어떻게 생겼나요?

형상 정의



CFD 해석을 위한 도메인 모델링

유체를 시뮬레이션 한다?



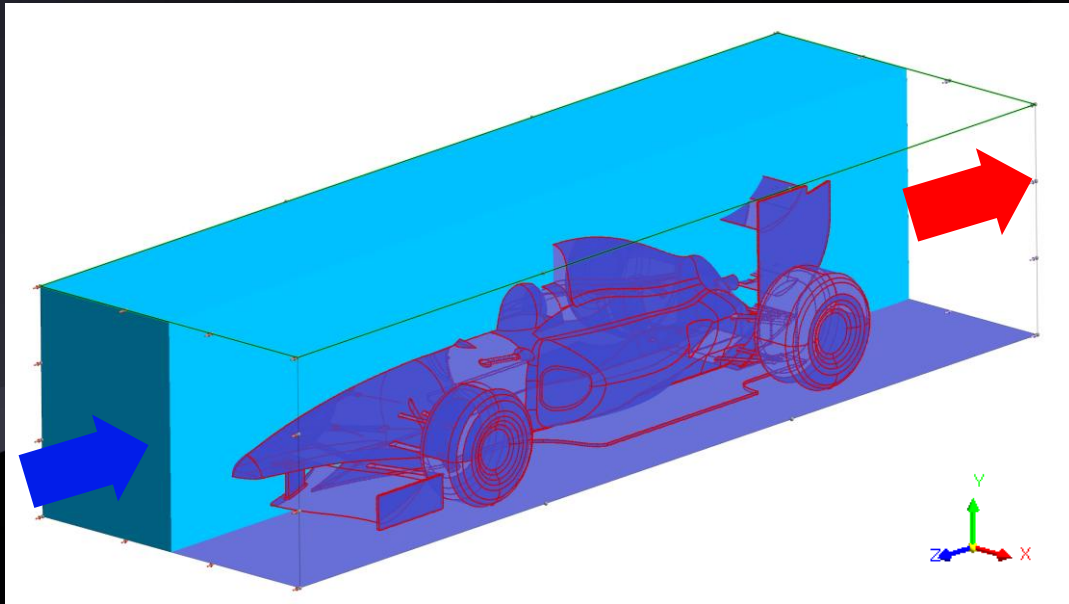
어떻게 생겼나요?

무엇으로 이루어져 있나요?

형상 정의

물성 정의

유체를 시뮬레이션 한다?



어떻게 생겼나요?

무엇으로 이루어져 있나요?

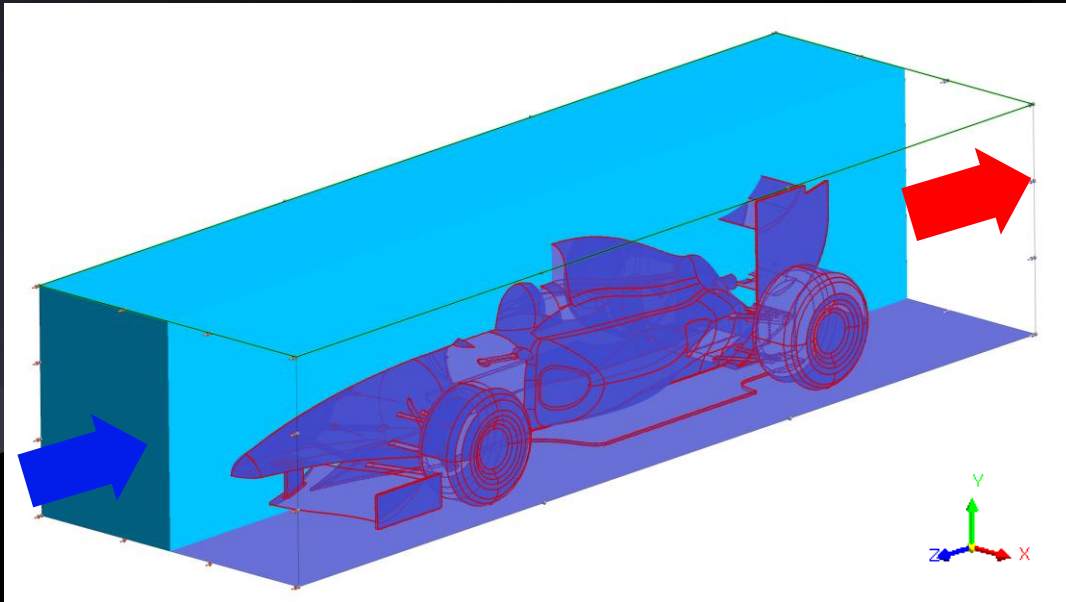
무슨 상황인가요?

형상 정의

물성 정의

조건 설정

유체를 시뮬레이션 한다?



어떻게 생겼나요?

무엇으로 이루어져 있나요?

무슨 상황인가요?

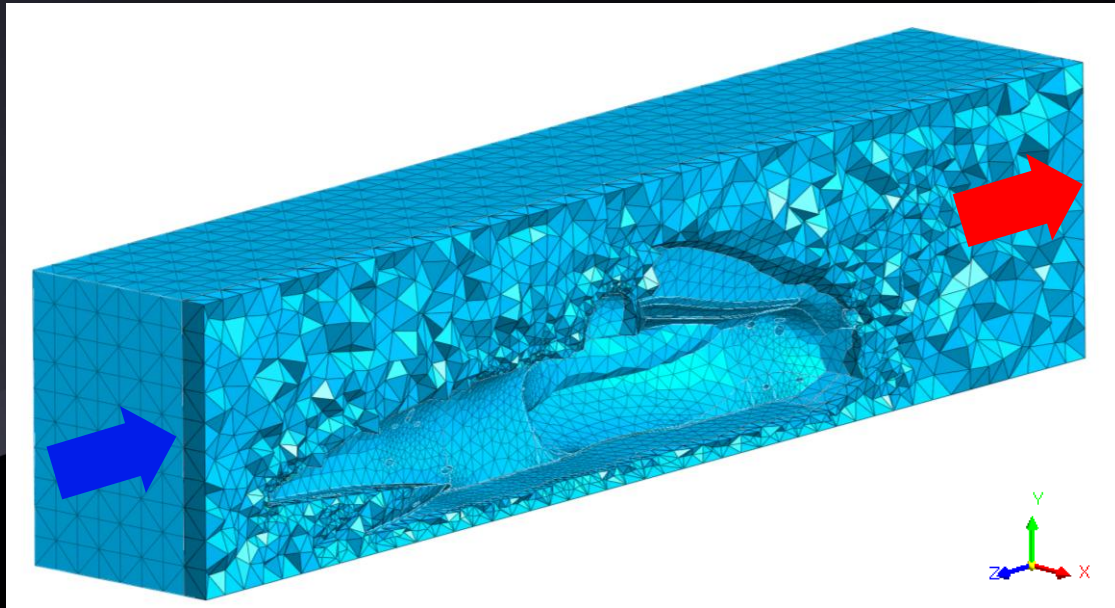
얼마나 자세히 풀까요?

형상 정의

물성 정의

조건 설정

유체를 시뮬레이션 한다?



어떻게 생겼나요?

무엇으로 이루어져 있나요?

무슨 상황인가요?

얼마나 자세히 풀까요?

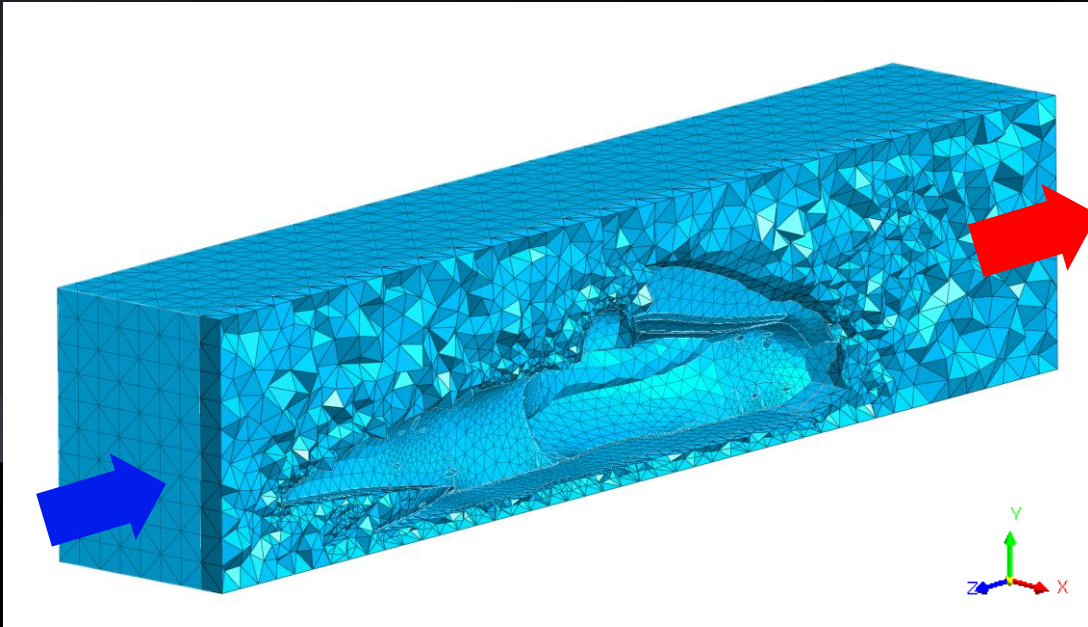
형상 정의

물성 정의

조건 설정

요소망 생성

유체를 시뮬레이션 한다?



어떻게 생겼나요?

무엇으로 이루어져 있나요?

무슨 상황인가요?

얼마나 자세히 풀까요?

어떻게 풀까요?

형상 정의

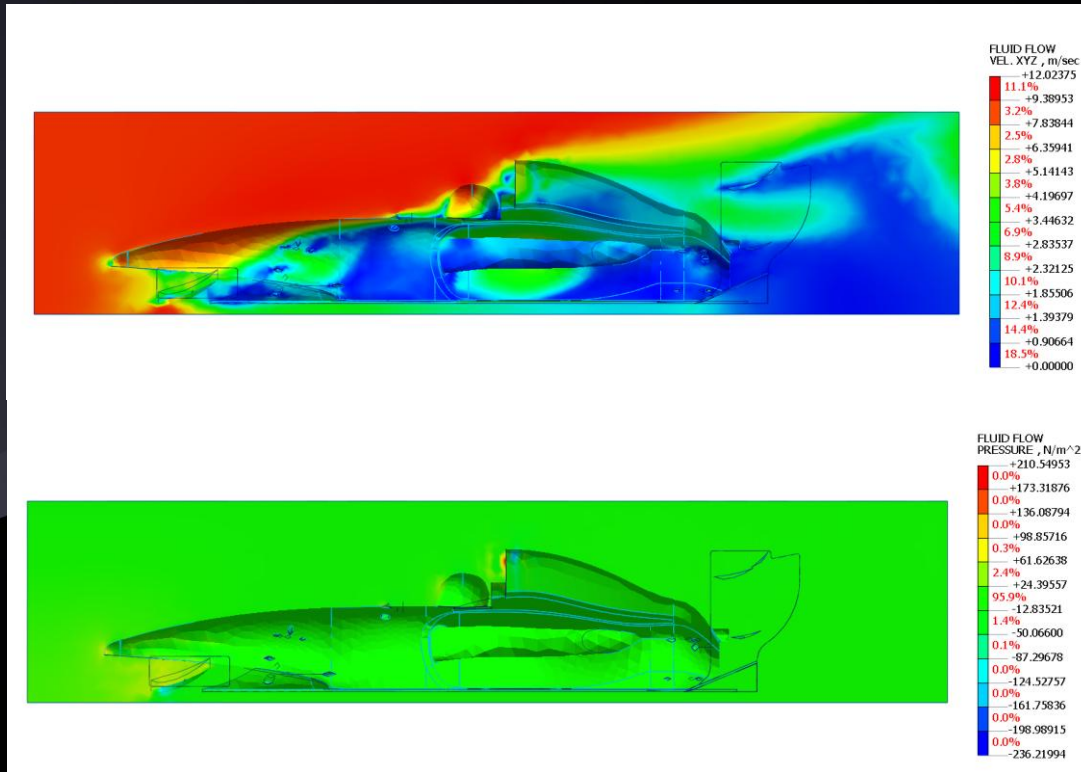
물성 정의

조건 설정

요소망 생성

솔버 설정

유체를 시뮬레이션 한다?



어떻게 생겼나요?

무엇으로 이루어져 있나요?

무슨 상황인가요?

얼마나 자세히 풀까요?

어떻게 풀까요?

무엇을 보여 드릴까요?

형상 정의

물성 정의

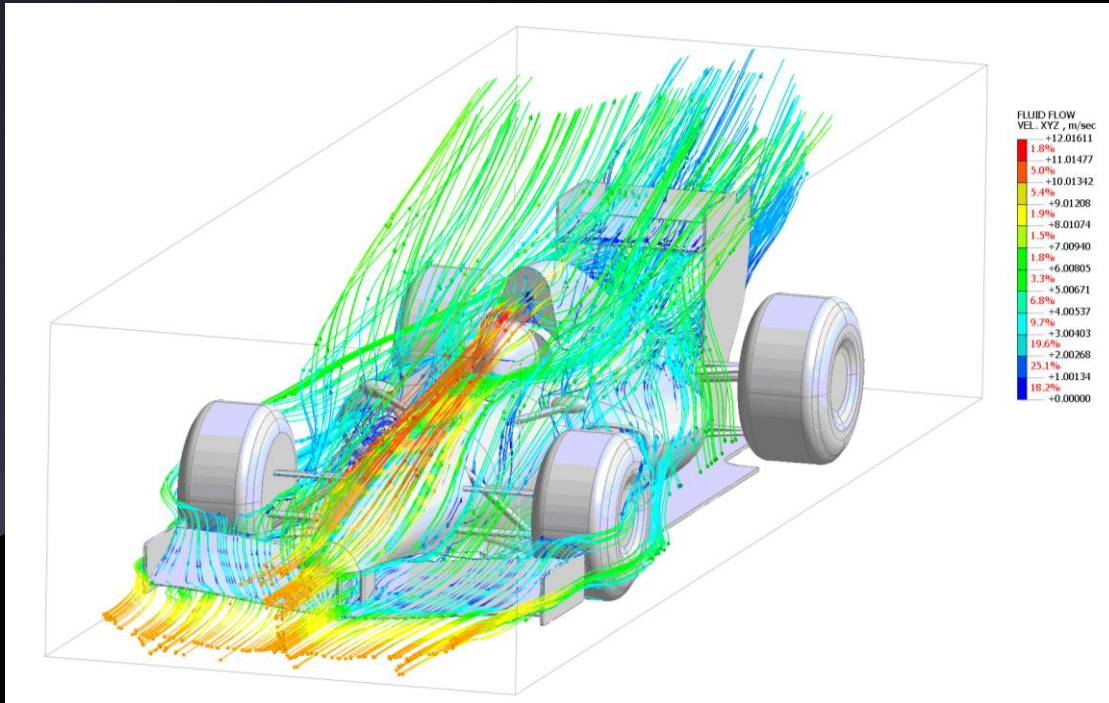
조건 설정

요소망 생성

솔버 설정

결과 생성

유체를 시뮬레이션 한다?



어떻게 생겼나요?

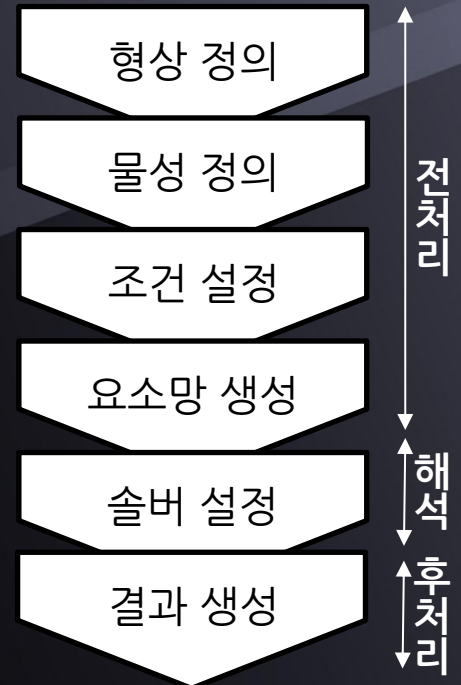
무엇으로 이루어져 있나요?

무슨 상황인가요?

얼마나 자세히 풀까요?

어떻게 풀까요?

무엇을 보여 드릴까요?



CONTENTS Day-1

유동해석의 시작과 끝

Part 1. CFD의 필요성

Part 2. Navier-Stokes equation 이해하기

Part 3. 다양한 CFD 해석 예시와 CFD의 경제성

Part 4. NFX를 활용한 CFD 실습

쿠웨이트 올림픽 경기장 풍동 해석(외부유동)

Overview

□ 해석 목적

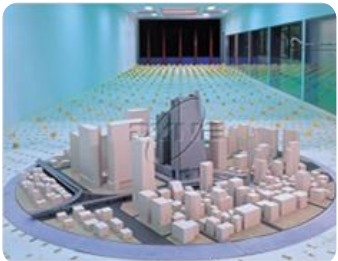
- 올림픽 경기장의 형태의 다양성에 의한 기존 풍하중 건설 코드 적용 불가
- CFD 해석을 이용하여 풍하중을 형상에 따라 산출 가능

□ 해석 조건

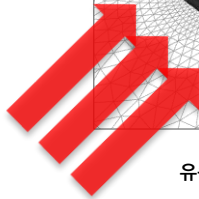
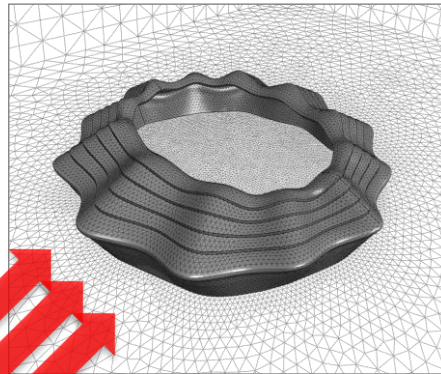
- k-ε (RANS) 난류 모델, 초기 안정화 스텝 적용
- 지면으로부터의 높이에 따른 속도 프로파일 적용

- 경기장 표면에 대한 압력 테이블 산출 가능
- 강한 풍하중에 대한 기류 흐름 분석 가능

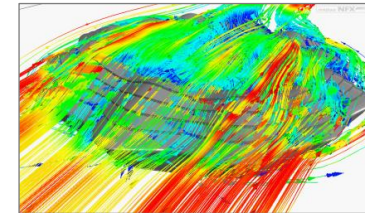
□ 해석 종류



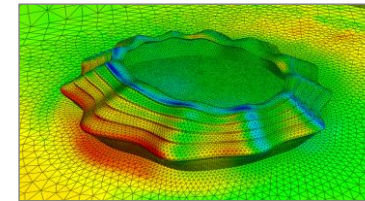
- 일반유동 해석



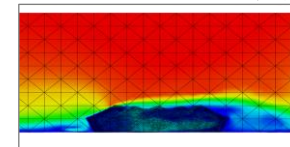
유속조건의 함수입력 가능 : 속도프로파일 입력



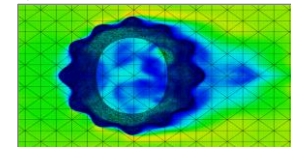
<유선 흐름 가시화>



<하중 분포>



<절단면 속도 분포>



<절단면 속도 분포>

밸브 시스템 특정 개도에 따른 성능 평가(내부 유동)

Overview

해석 목적

- 특정 개도에서의 밸브 성능 평가
- 밸브 성능 평가를 위한 차압 평가 및 유속 분석

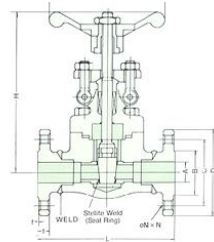
해석 조건

- k-ε (RANS) 난류 모델, 초기 안정화 스텝 적용
- 선형적정해석: 결과변환 기능을 통한 압력하중분포 입력

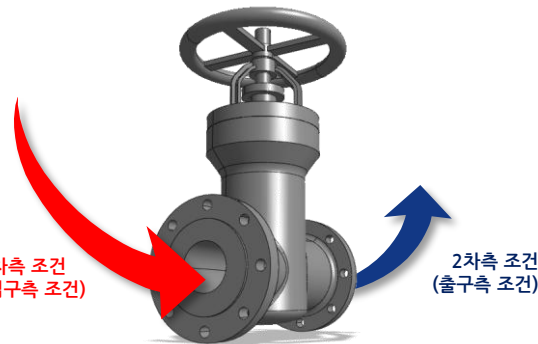
해석 종류



- 일반유동 해석



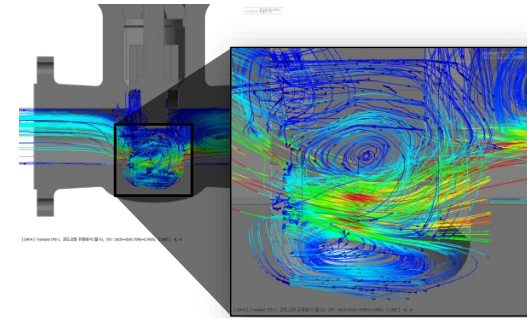
벽면 조건 설정



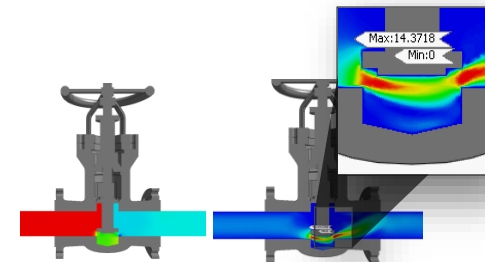
1차측 조건
(입구측 조건)

2차측 조건
(출구측 조건)

- 입구측 출구측 압력 계산을 통한 차압 평가
- 유속 분포 확인 및 유량 가시화 기능을 통한 유량 평가



<유체의 흐름 및 와류 평가>



<차압 분석>

<최대 유속 · 동압 평가>

혈류 흐름을 고려한 동맥 협착 평가(내부유동)

Overview

해석 목적

- 혈관 협착 평가
- 입구부 압력 대비 특정 위치 압력을 나타내는 FFR 값을 산출 하여 해당 값의 변화로 협착 예측 가능

해석 종류



- 일반유동 해석

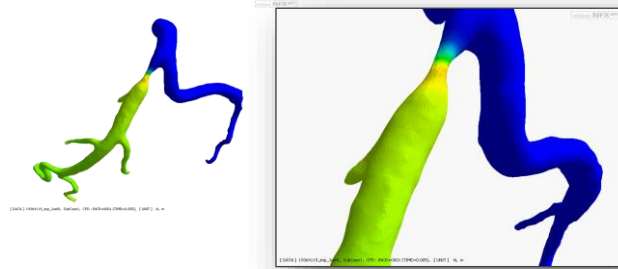
해석 조건

- 초기 안정화 스텝 적용
- 입구단 조건(유량)
- 출구단 조건(압력)
- 벽면 조건(점착) 이용

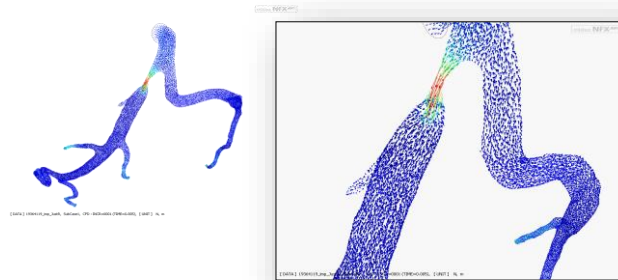
혈관조영술을 통한 해석 형상 확보



- 혈류에 대한 압력분석 (FFR : 입구부 압력 대 해당 위치 압력)
- 속도 벡터 가시화를 통한 혈류 흐름 분석



<협착 부위 유압 평가>



<협착 부위 유체흐름 평가>

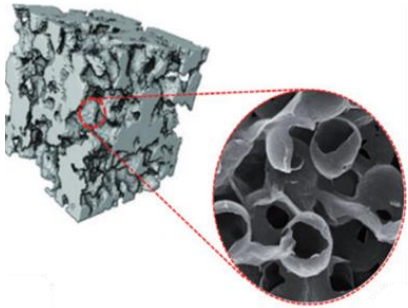
다공성 매질 특성에 따른 성능 평가(다공성 매질 유동)

Overview

□ 해석 목적

- 다공성 매질 성능 평가
- 다공성 매질의 유동 패턴 확인

□ 해석 종류

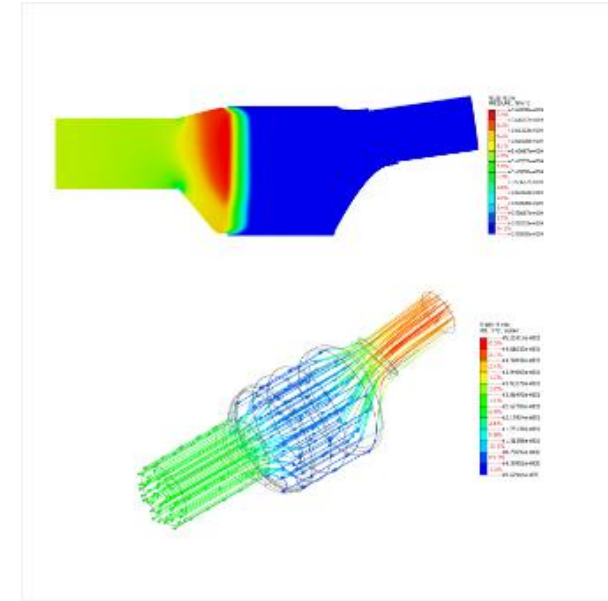


- 다공성 매질 일반 유동 해석

□ 해석 조건

- k-w (RANS) 난류 모델, 초기 안정화 스텝 적용
- 다공성 매질 모델을 이용한 유동 특성 평가

- 입구측 출구측 압력 계산을 통한 차압 평가



팬 형상 특징에 따른 팬 성능 평가(회전체 유동)

Overview

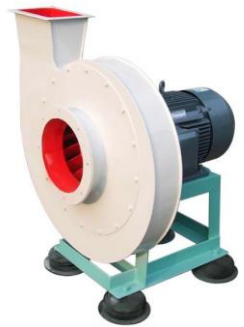
해석 목적

- 팬 회전에 따른 성능 평가
- 팬 선능 규명을 위한 토출량, 송풍량 평가

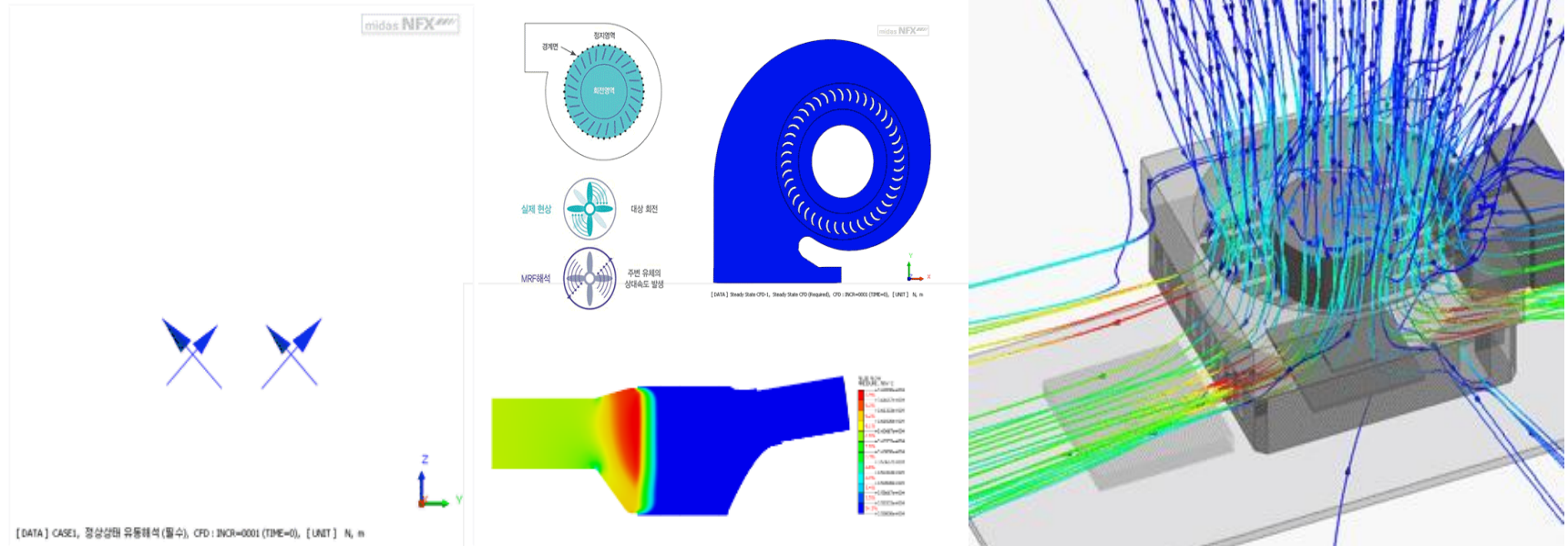
해석 조건

- k-w (RANS) 난류 모델, 초기 안정화 스텝 적용
- 팬 모델, 팬 경계조건을 이용한 해석 평가
- 입구측 출구측 압력 계산을 통한 차압 평가

해석 종류



- 회전체 일반유동 해석



교반기 유동해석(회전체 유동)

Overview

해석 목적

- 교반기 혼합성능 확인
- 배플의 위치와 크기에 따른 영향 검토

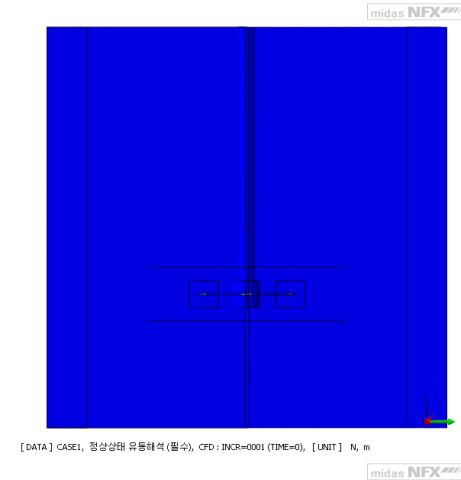
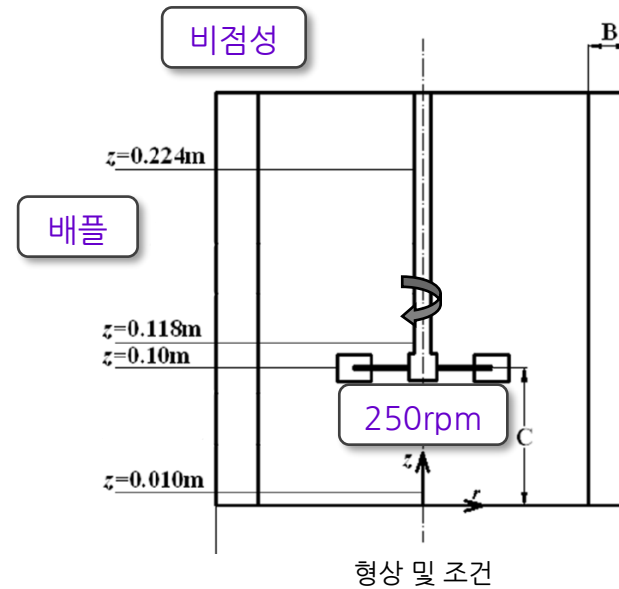
해석 조건

- 배플이 달린 교반기의 혼합 성능 해석
- MRF(Moving Reference Frame) 기법을 활용하여 계산 속도 향상

해석 종류



- 일반유동 해석
- 이동참조프레임 해석



속도분포



속도벡터

[DATA] CASE1, 정상상태 유동해석 (원속), CFD: INCR=0001 (TIME=0), [UNIT] N, m

2축 교반기 혼합성능 평가 (회전체 유동)

Overview

□ 해석 목적

- 2축 교반기 내부 유동현상 분석

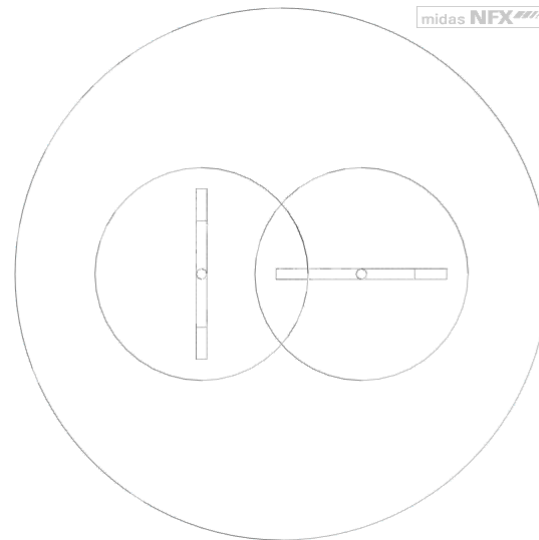
□ 해석 종류



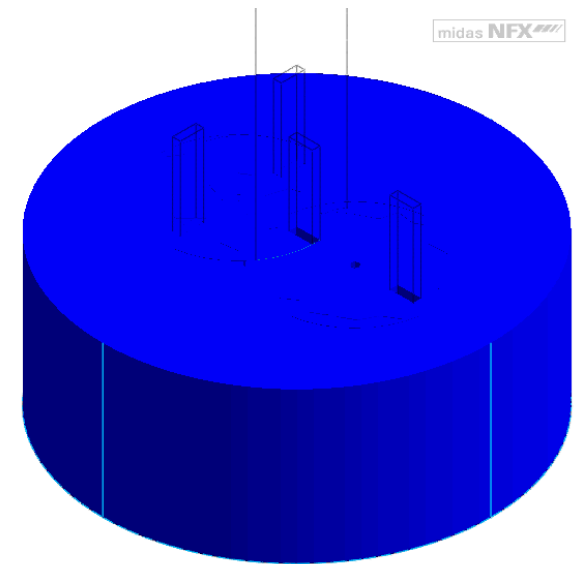
- 일반유동 해석
- 중첩요소망 해석

□ 해석 조건

- 공/자전을 하는 2축 교반기 혼합성능 평가
- 속도전파 및 임펠러간 간섭현상 분석



유속벡터



속도분포

헤어드라이어 해석 (회전체 유동)

Overview

□ 해석 목적

- 헤어드라이어 성능 분석

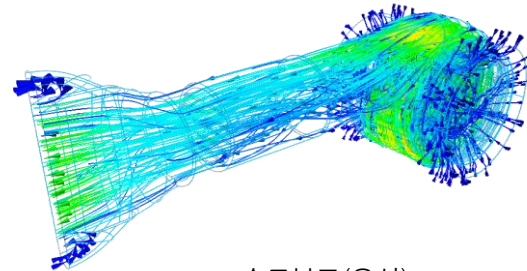
□ 해석 종류



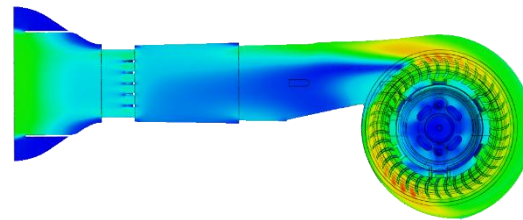
- 일반유동 해석
- 이동참조프레임 해석

□ 해석 조건

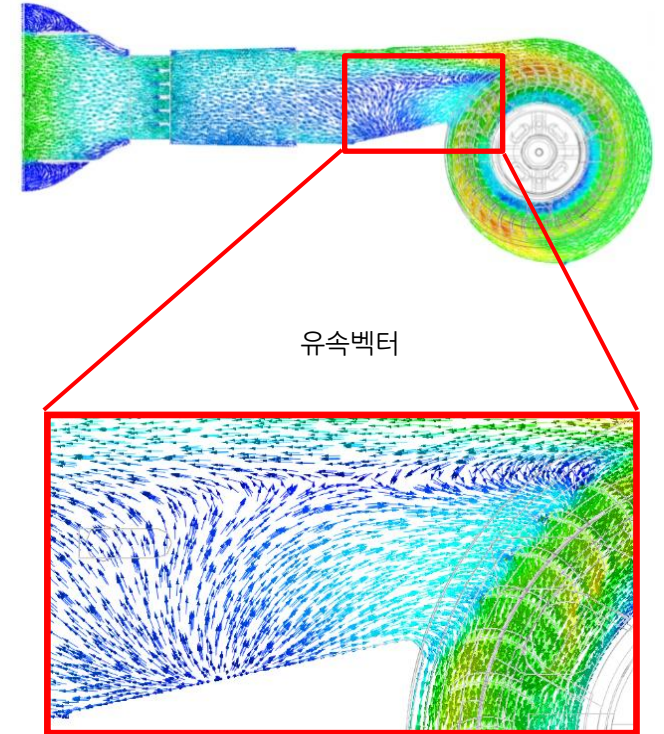
- 헤어드라이어 내부 유동해석
- 제품별 rpm에 따른 최대 토출 풍속 예측



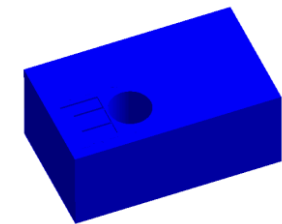
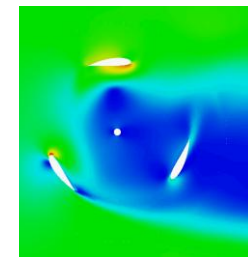
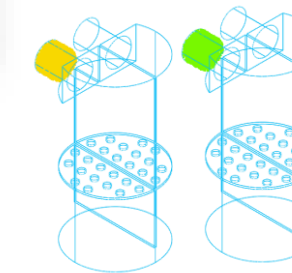
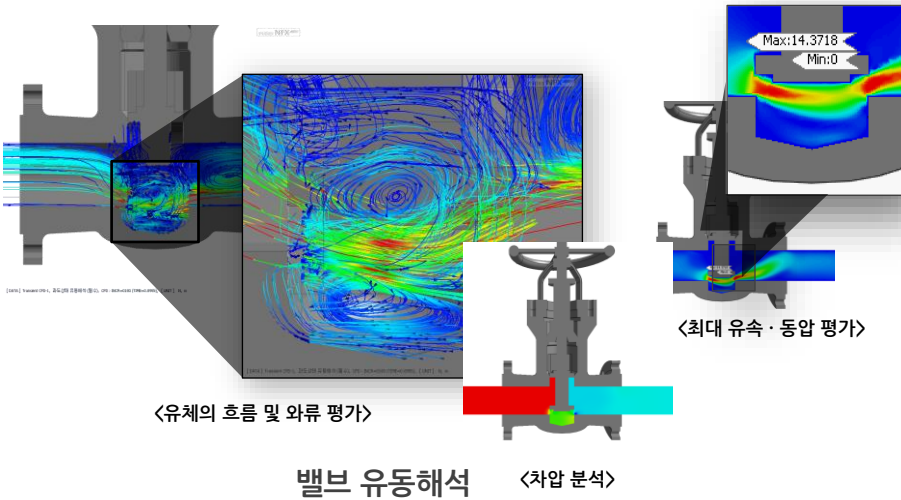
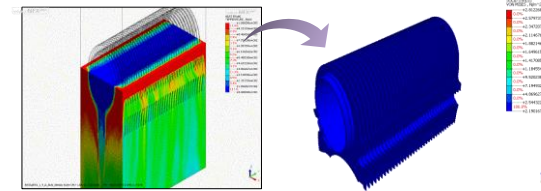
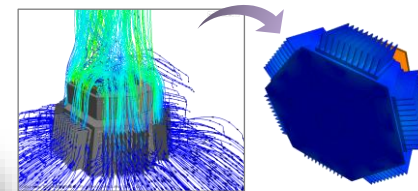
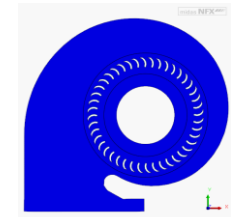
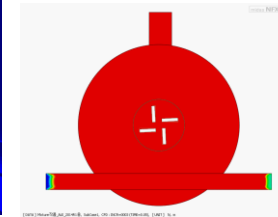
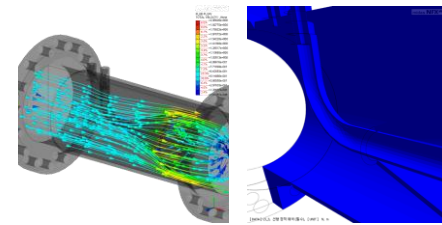
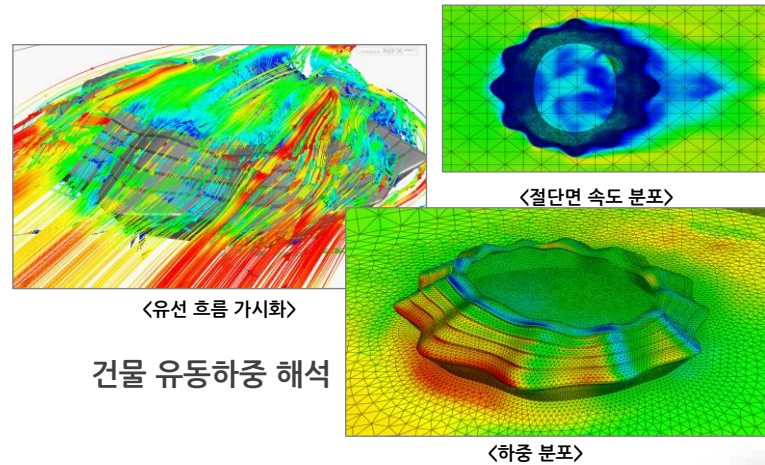
속도분포(유선)



속도분포(컨투어)



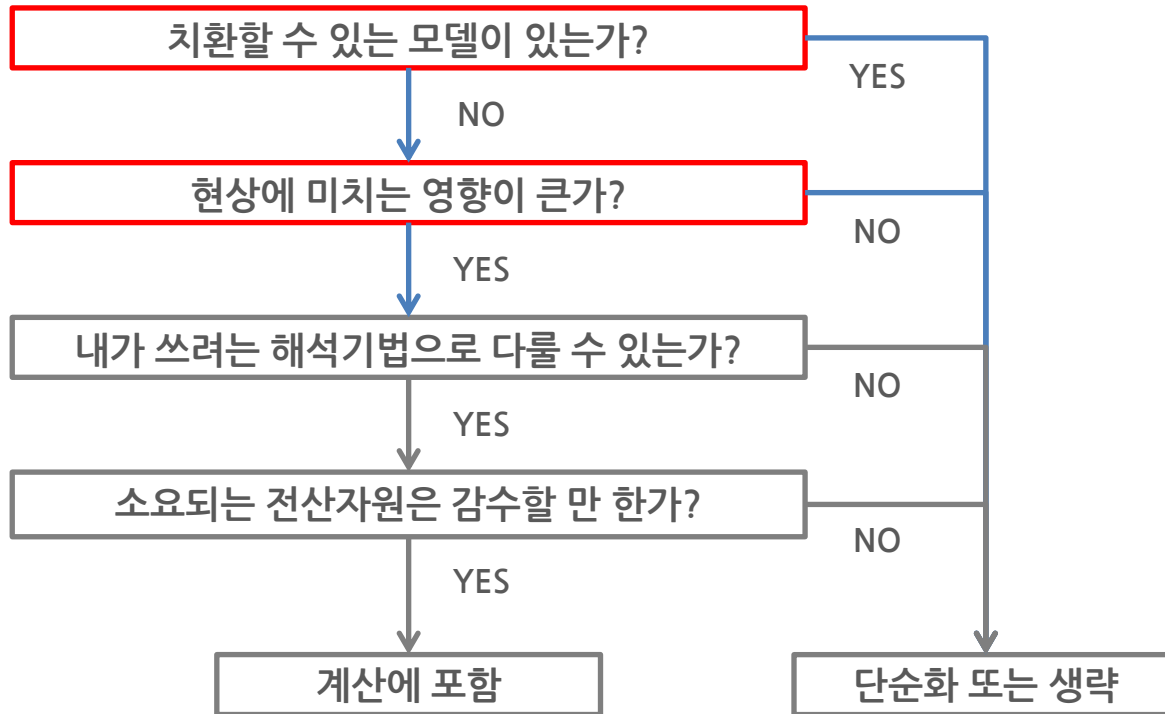
다양한 CFD 적용 분야



유동해석시 고려해야할 사항

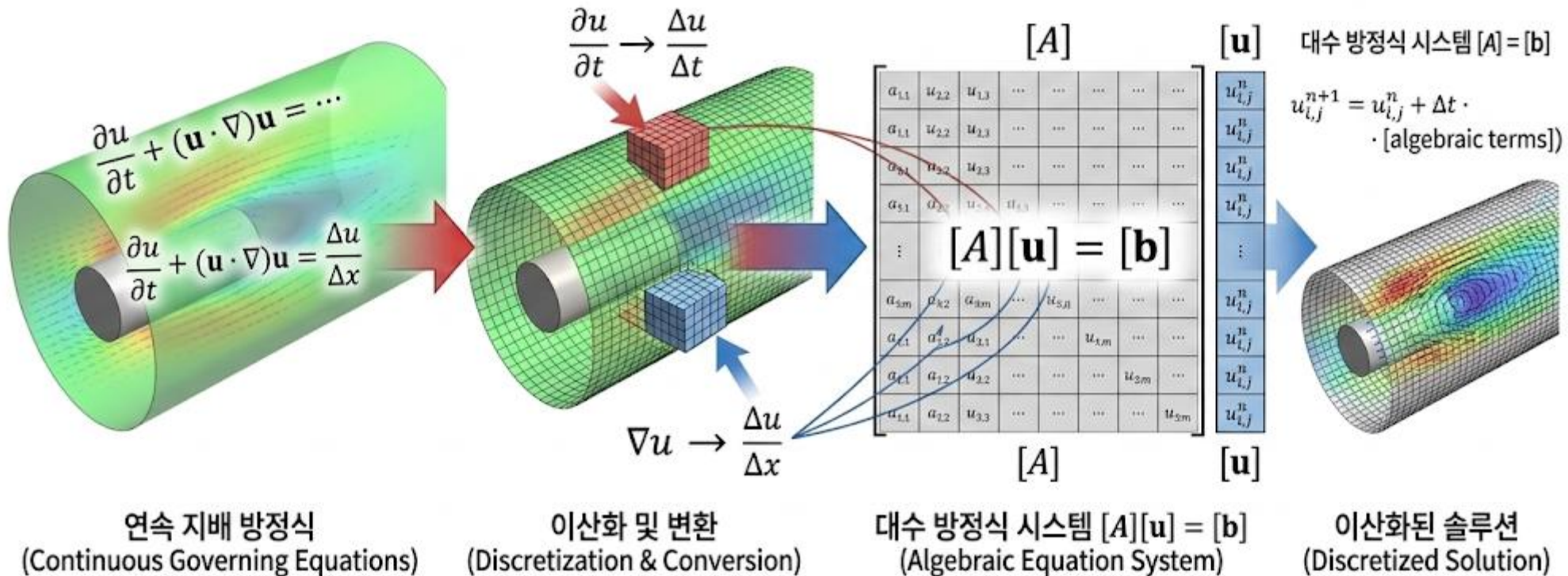


유동해석시 고려해야할 사항



CFD 해석에 대한 이해

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

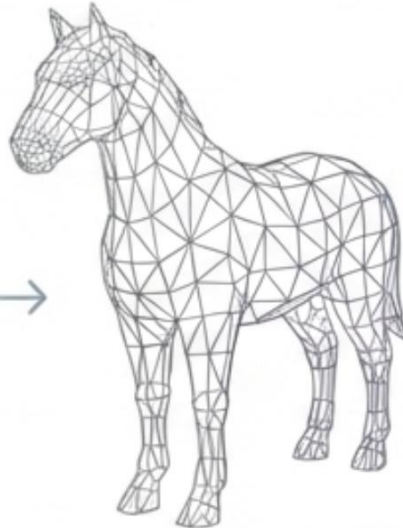


수치해석- 공간 이산화

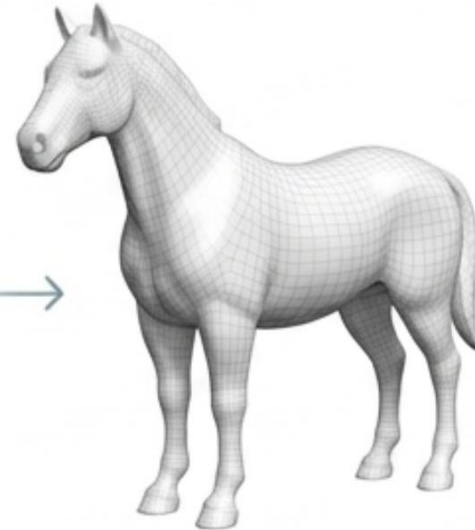
- 컴퓨터가 이해할 수 있는 공간(영역)을 삼각형(사각형)등의 다양한 요소로 분할하여 점의 형태로 만드는 작업



Abstract
(Low-Res)



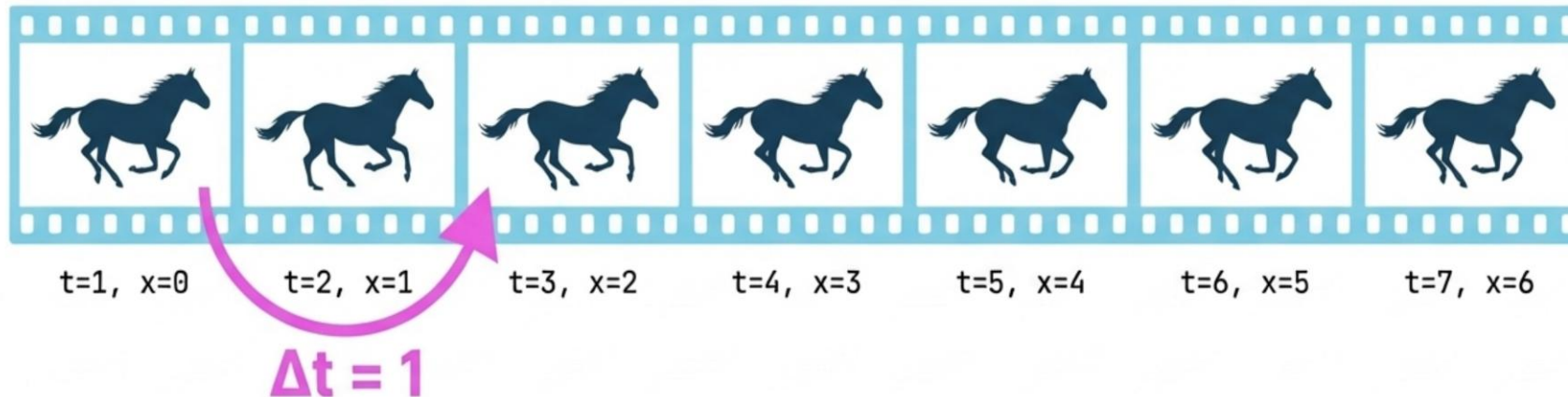
Intermediate
(Medium-Res)



Detailed
(High-Res/Mesh)

수치해석 - 시간의 이산화

시간의 이산화 (Temporal Discretization: Time Step)



- 미소 시간 총족 → 시간 간격(Δt) 설정

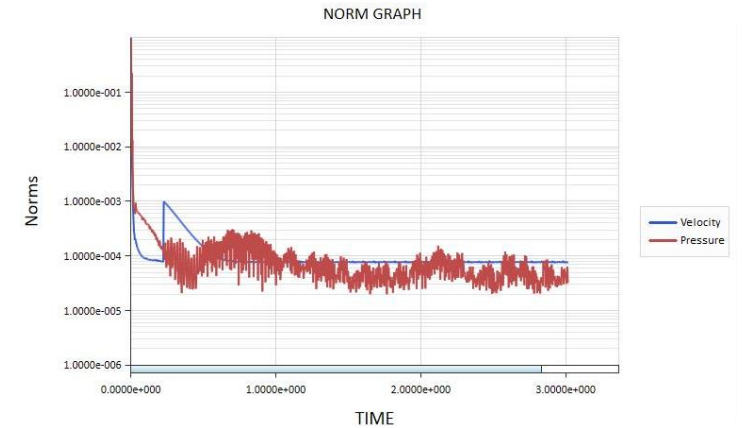
유동의 변화 속도에 맞춰 적절한 Δt 를 설정해야 합니다. 간격이 너무 크면 유체의 중요한 물리적 변화(말이 뛰는 궤적의 특정 순간)를 놓치고 결과를 왜곡하게 됩니다.

연속적인 요소에 대한 해석 과정?

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



세대 수 (n)	Node 1	Node 2	Node 3	Node 4
0	$X_{S=1,n=0}$	$X_{S=2,n=0}$	$X_{S=3,n=0}$	$X_{S=4,n=0}$
1	$X_{S=1,n=1}$	$X_{S=2,n=1}$	$X_{S=3,n=1}$	$X_{S=4,n=1}$
2	$X_{S=1,n=2}$	$X_{S=2,n=2}$	$X_{S=3,n=2}$	$X_{S=4,n=2}$
		⋮		
n_0	$X_{S=1,n=n_0}$	$X_{S=2,n=n_0}$	$X_{S=3,n=n_0}$	$X_{S=4,n=n_0}$
n_0+1	$X_{S=1,n=n_0+1}$	$X_{S=2,n=n_0+1}$	$X_{S=3,n=n_0+1}$	$X_{S=4,n=n_0+1}$



$$Norm = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n} \approx 0 \text{ (Converged)}$$

유동해석 지배방정식

- 일반적인 유체흐름에 대한 분석 (part 2 remind)

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

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

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

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

경제성 있는 유동해석 방법론1: 형상 단순화

Fin Simplification

Before

After

적용 가정: uniform T , uniform ρ , uniform c_i
 계산 물리량: P, \vec{v}, T, ρ, c_i
 계산식: Continuity, Momentum, Energy, Species transport.

Porous Media Model

Before

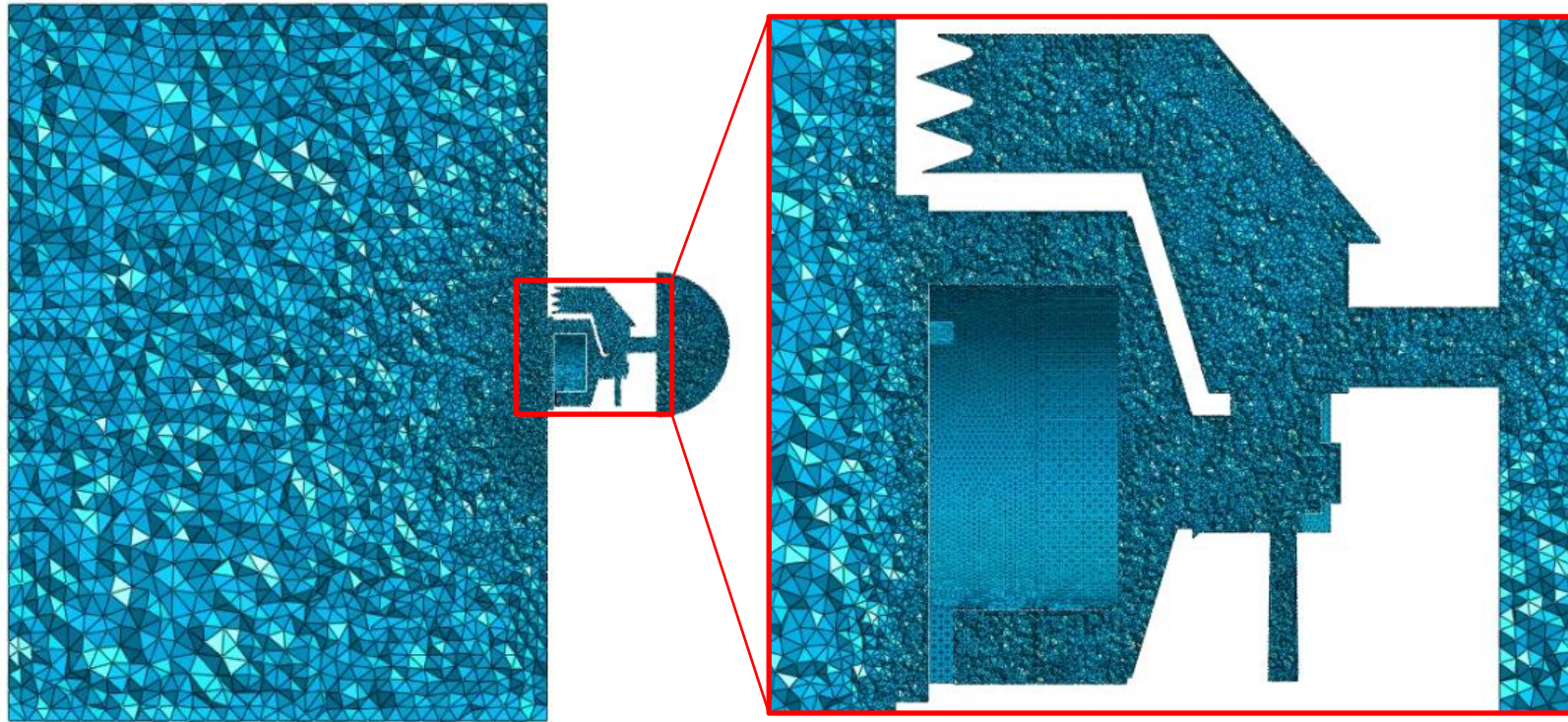
After

적용 가정: uniform ρ
 계산 물리량: P, \vec{v}, T
 계산식: Continuity, Momentum, Energy, Ideal-gas.

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

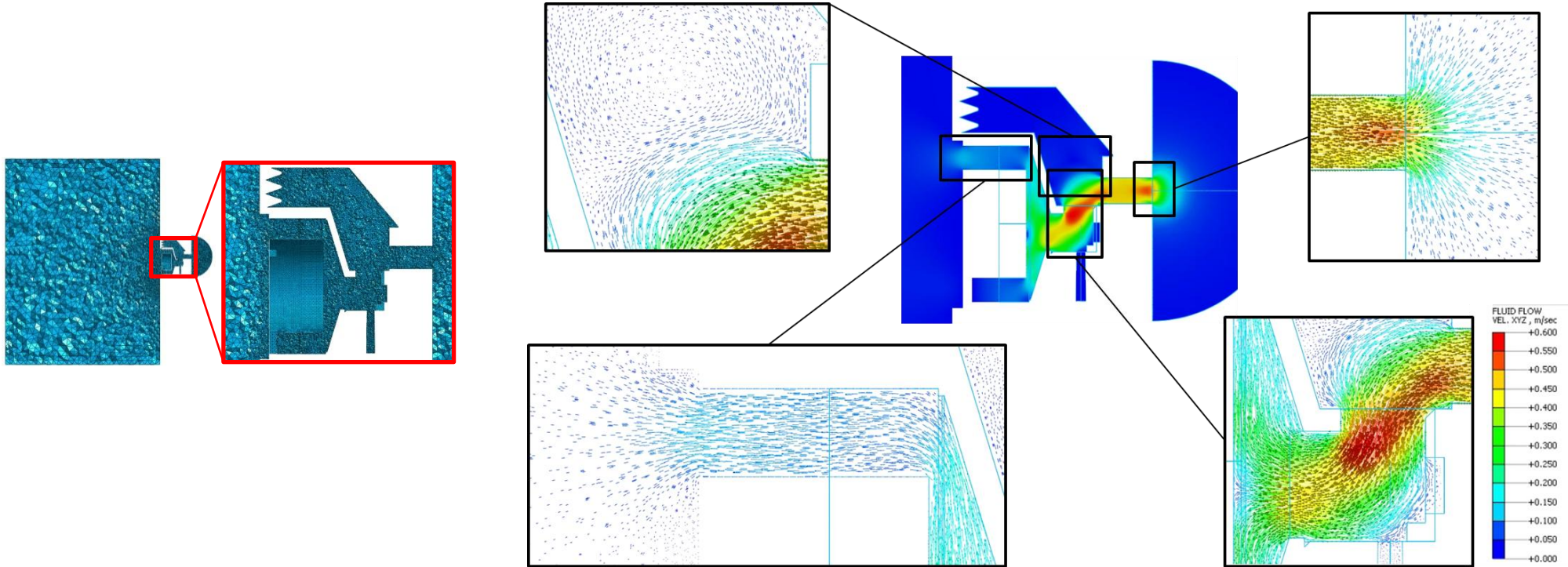
경제성 있는 유동해석 방법론2 : 요소망 집중

- 유동해석 요소망 개수 줄이기 (압력변화 큰 곳에 집중적으로)

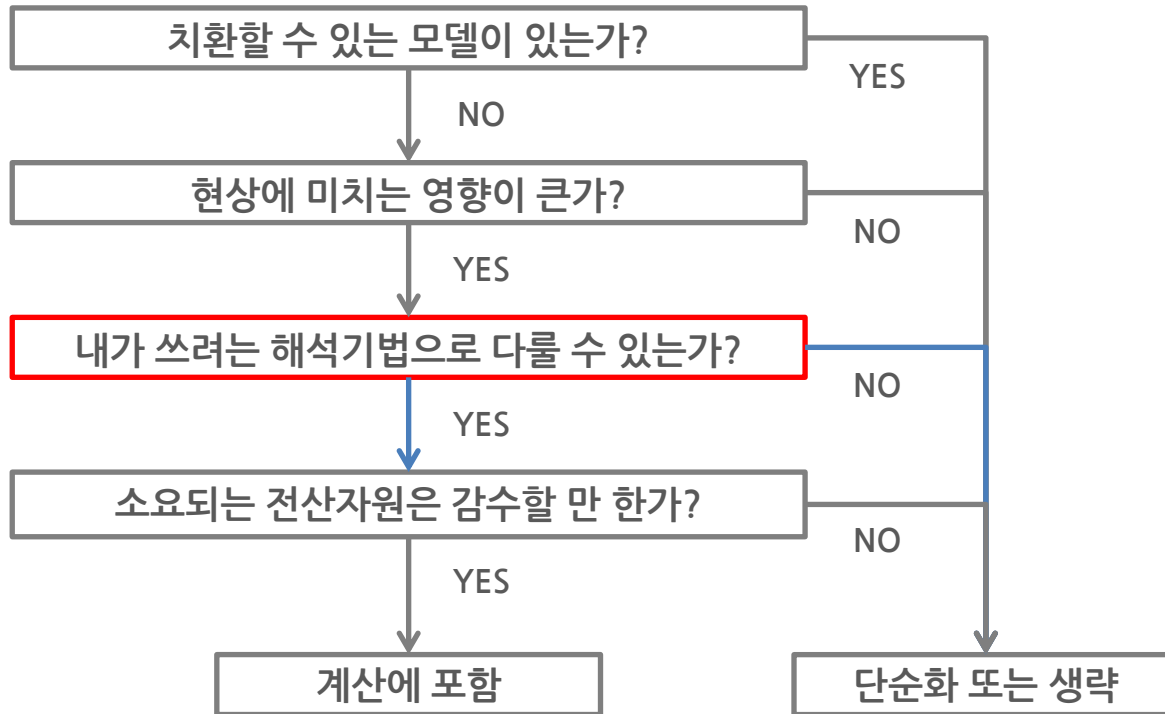


경제성 있는 유동해석 방법론2 : 요소망 집중

- 유동해석 요소망 개수 줄이기 (압력변화 큰 곳에 집중적으로)

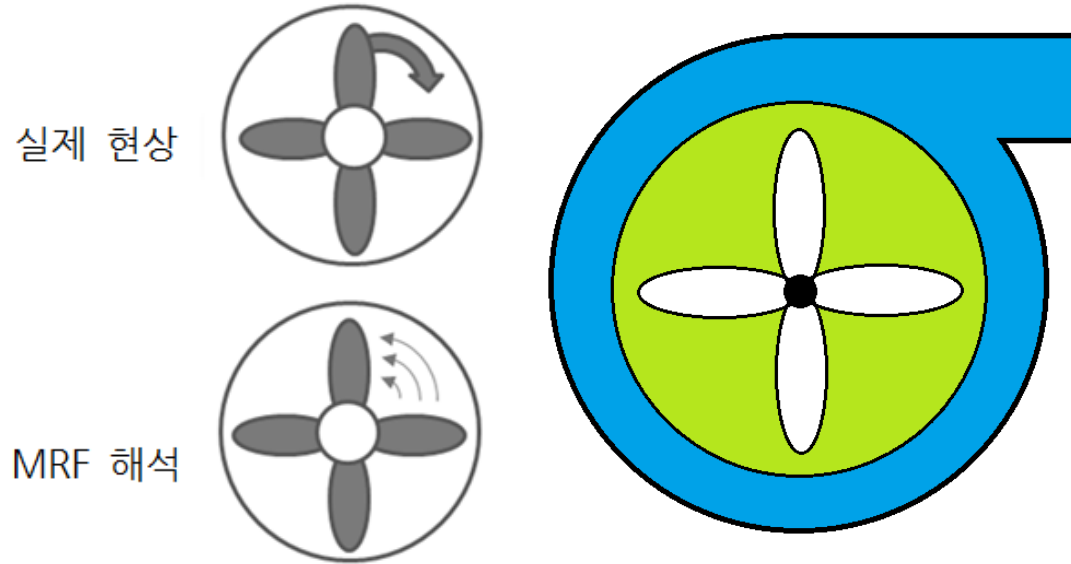


유동해석시 고려해야할 사항

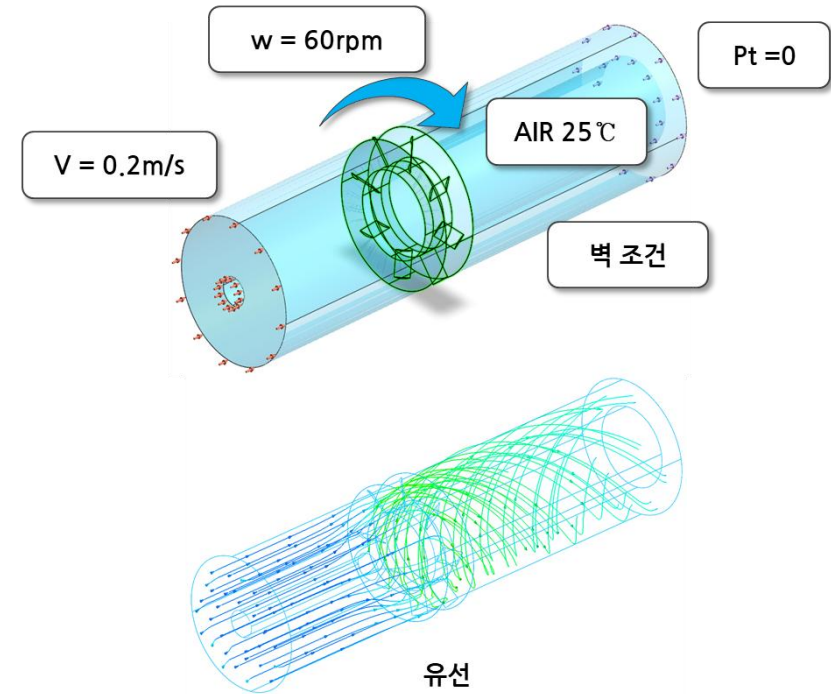


경제성 있는 유동해석 방법론3 : MRF

- 움직이는 대상을 고정된 물체로 가정하여 접근

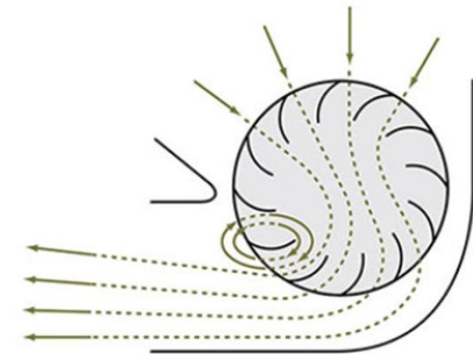
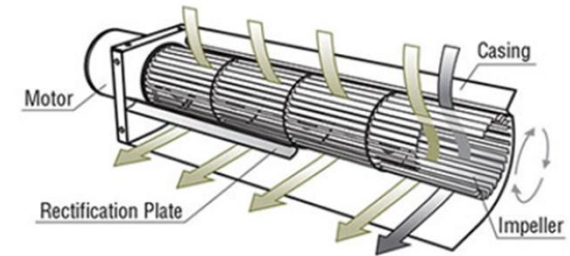
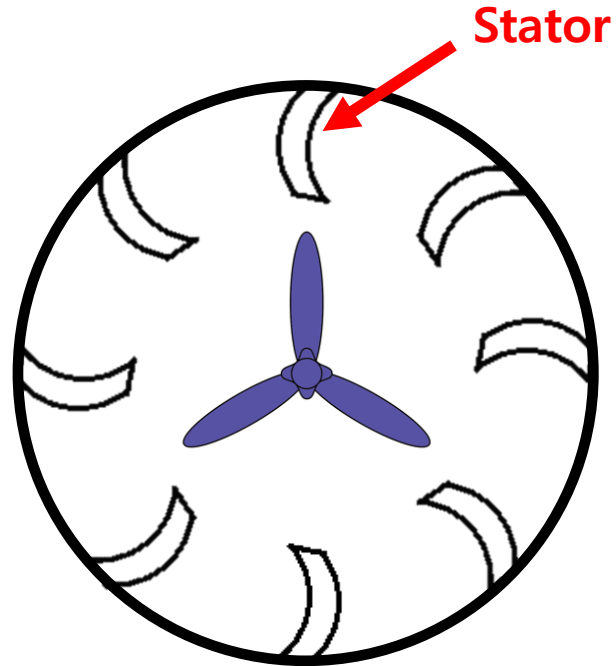
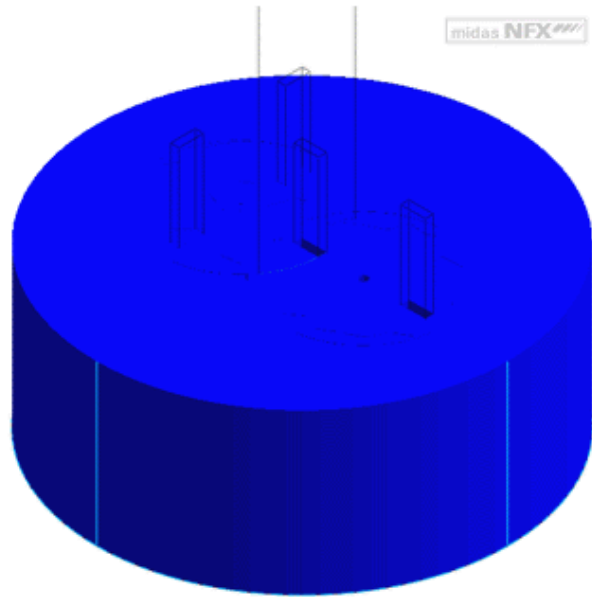


일반 유동영역(푸른색)은 기존 운동량 보존 방정식 적용,
회전영역(녹색)은 각속도 ω 에 의한 운동량 생성항이 추가됨



경제성 있는 유동해석 방법론3 : MRF

- 움직이는 대상을 고정된 물체로 가정하여 접근 (적용 불가능한 상황)



경제성 있는 유동해석 방법론3 : 팬 성능곡선

- 팬으로부터 발생하는 유체흐름만 관심이 있는 경우 함수로 가정하여 접근



출처 : 스마트PC사랑

1. 회전시 날개 주변의 변화를 확인.
: 요소망변형 해석
2. 회전의 효과를 가정하여 주변흐름 확인.
: MRF 해석 (일반유동)
3. 팬 이후에 공급되는 시스템 유체 확인.
: 팬 경계조건 (일반유동)

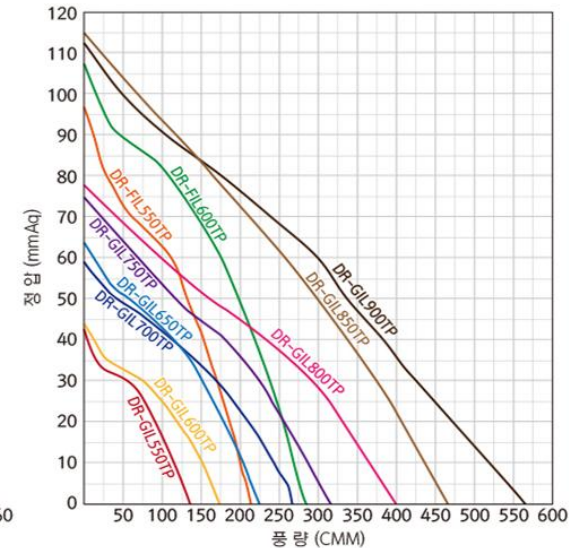
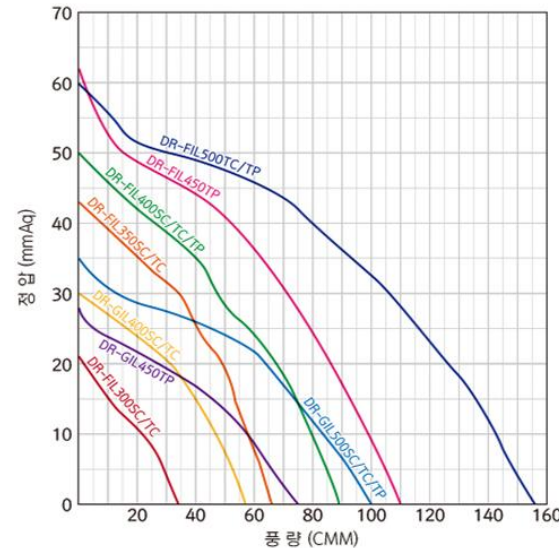
경제성 있는 유동해석 방법론4 : 팬 경계조건

- 팬으로부터 발생하는 유체흐름만 관심이 있는 경우 함수로 가정하여 접근



출처 : 바람나라

▣ 성능곡선

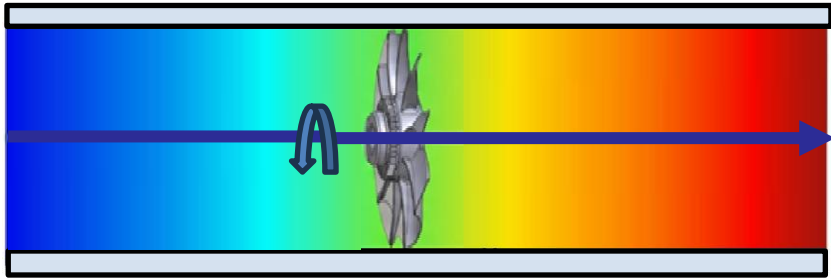


형명	날개치수 (mm)	최대풍량 (m³/h)	최대정압 (mmAq)	상·정압 (φ·V)	극수 (P)	입력 (W)	소비전력 (W)	전류 (A)	소음 (dB)	중량 (Kg)	외형도	제품 검사 성적서
DR-FIL500TC	Ø500×183	9370	60	3 φ .220/380V 60Hz	4	1300	1148	4.84/2.72	69	57	DOWNLOAD	DOWNLOAD
DR-FIL500TP	Ø500×183	9370	60	3 φ .220/380V	4	1500	1093	5.1/2.87	69	57	DOWNLOAD	DOWNLOAD

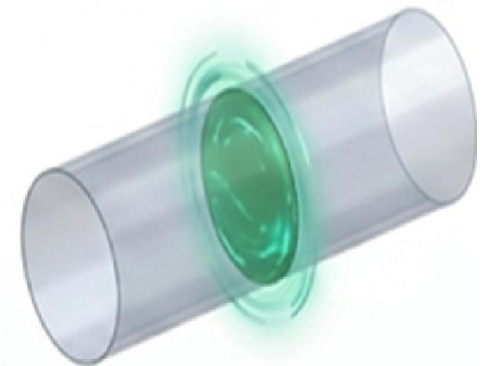
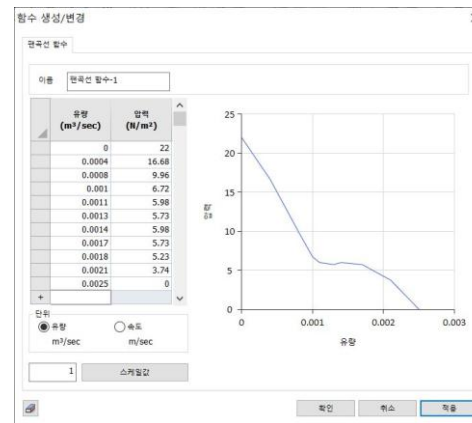
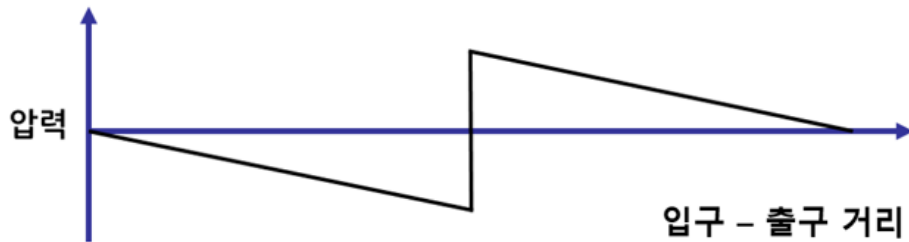
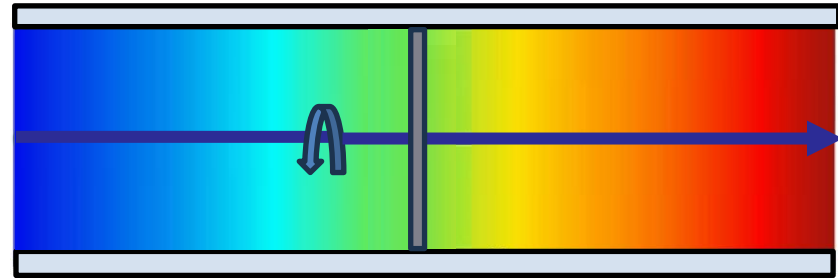
경제성 있는 유동해석 방법론4 : 팬 경계조건

- 팬으로부터 발생하는 유체흐름만 관심이 있는 경우 함수로 가정하여 접근

·팬 형상을 직접 모델링



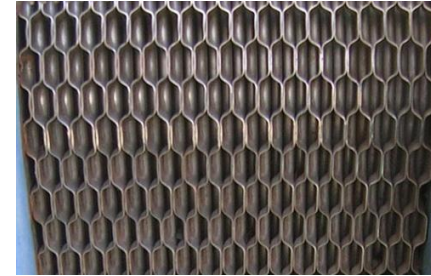
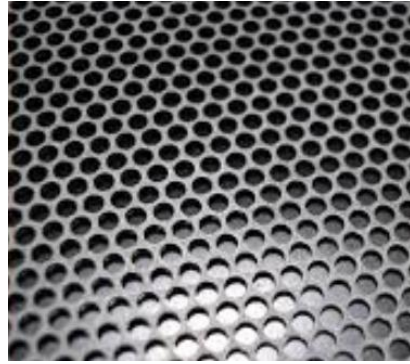
·팬의 압력차를 경계조건으로 모델링



Pipeline Application example

경제성 있는 유동해석 방법론5 : 흐름 저항성 단순화

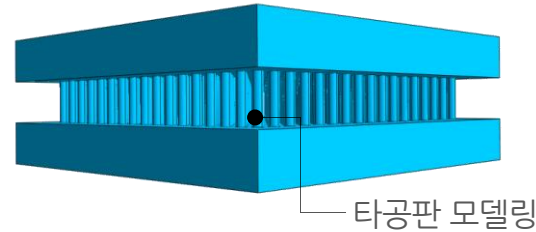
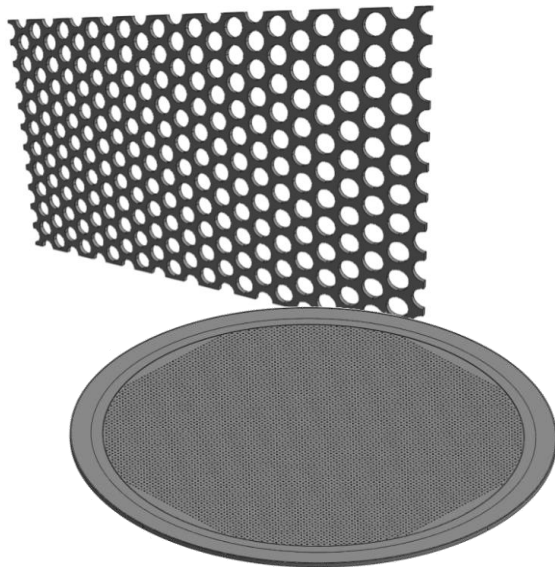
- 일정한 배열을 가진 저항체의 경우 저항계수로 가정하여 Porous Media 혹은 타공판 적용



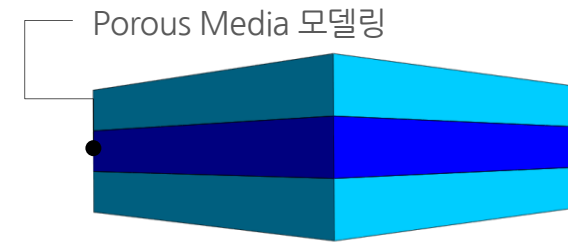
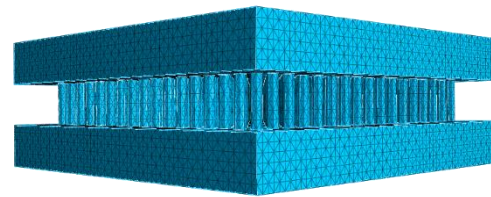
경제성 있는 유동해석 방법론5 : 흐름 저항성 단순화

- 일정한 배열을 가진 저항체의 경우 저항계수로 가정하여 Porous Media 혹은 타공판 적용

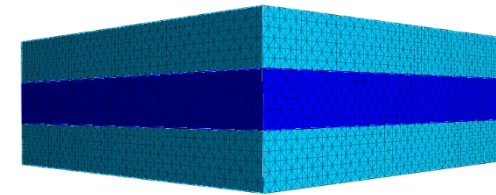
- 다공성 매질(Porous media) ★



1800 만개 요소



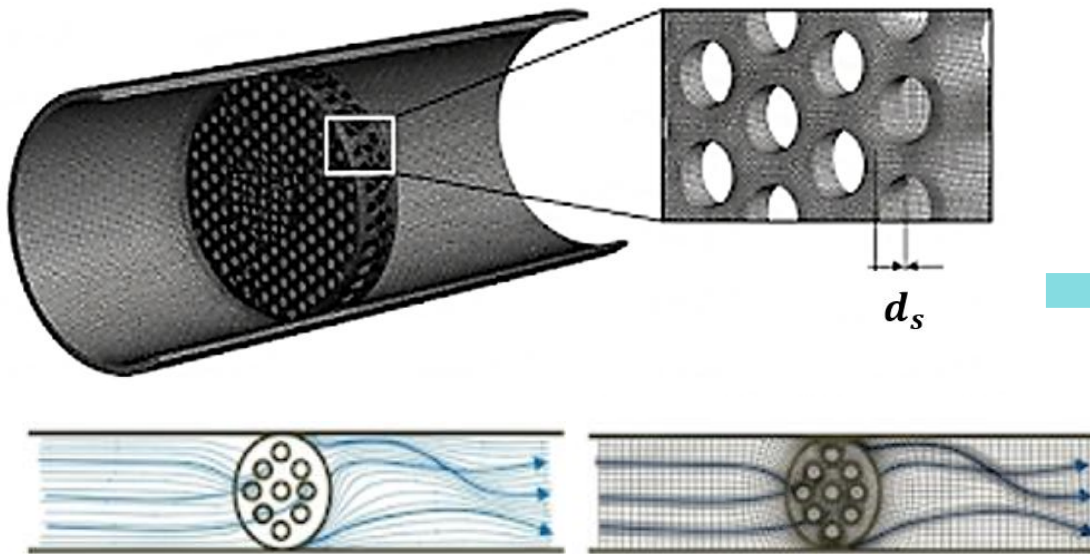
300 만개 요소



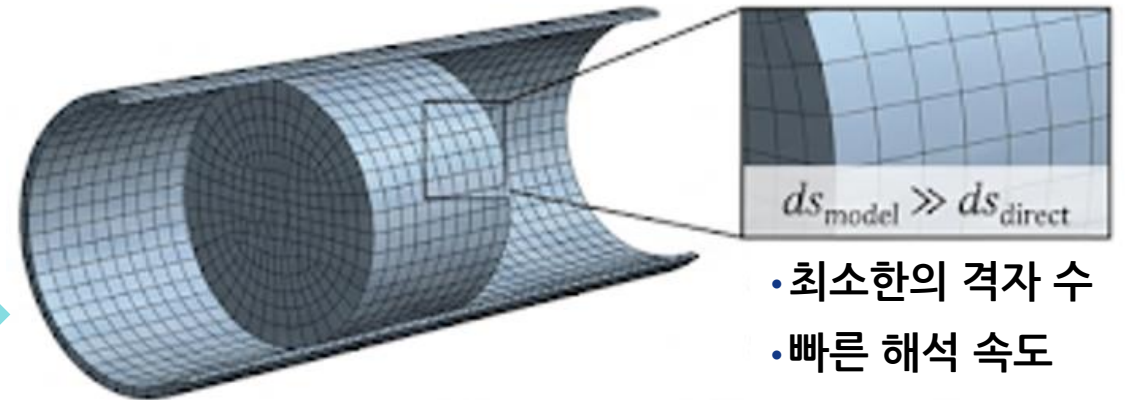
경제성 있는 유동해석 방법론5 : 흐름 저항성 단순화

- 일정한 배열을 가진 저항체의 경우 저항계수로 가정하여 Porous Media 혹은 타공판 적용

• 다공판 형상을 직접 모델링



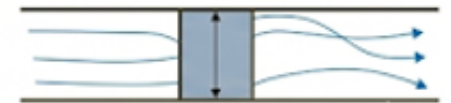
• 다공판의 압력차를 경계조건으로 모델링



- 최소한의 격자 수
- 빠른 해석 속도

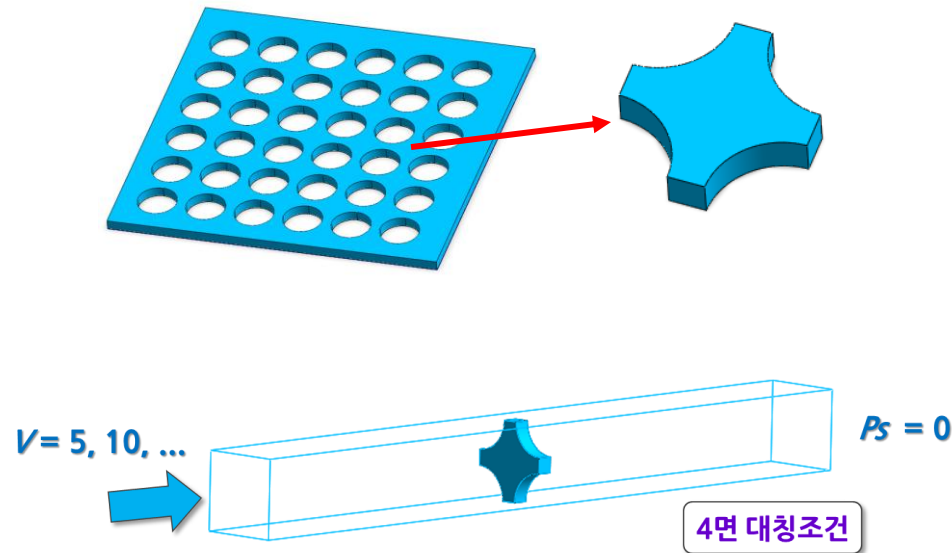
$$\Delta p = D\mu\Delta n v + \frac{1}{2}C\rho\Delta n v^2$$

D : 점성 저항
 C : 관성 저항
 Δn : 매질 두께

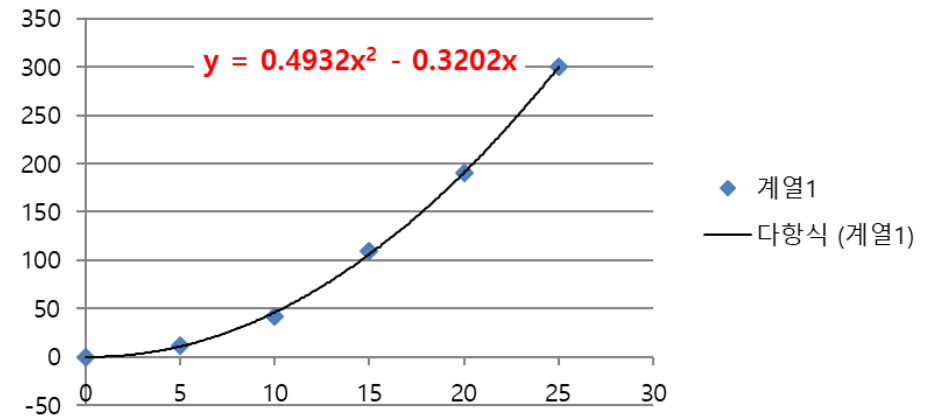


경제성 있는 유동해석 방법론5 : 흐름 저항성 단순화

- 일정한 배열을 가진 저항체의 경우 저항계수로 가정하여 Porous Media 혹은 타공판 적용

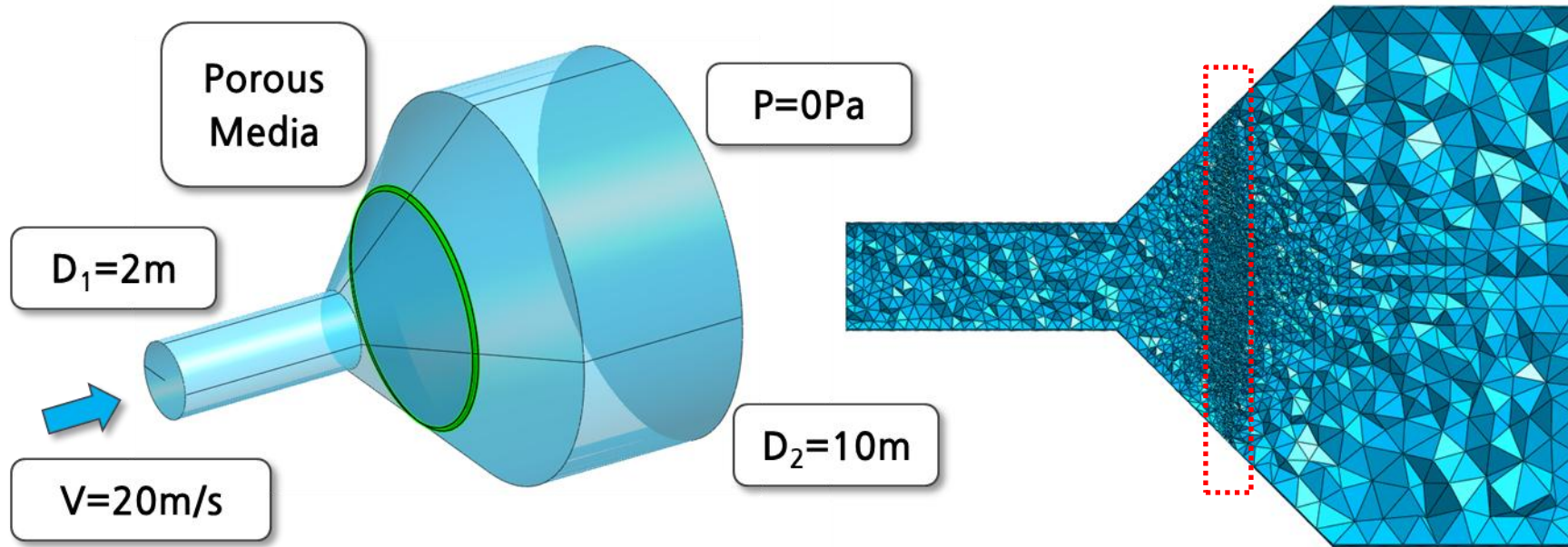


유속(m/s)	5	10	15	20	25
압력손실(Pa)	12	42	110	190	300



경제성 있는 유동해석 방법론5 : 흐름 저항성 단순화

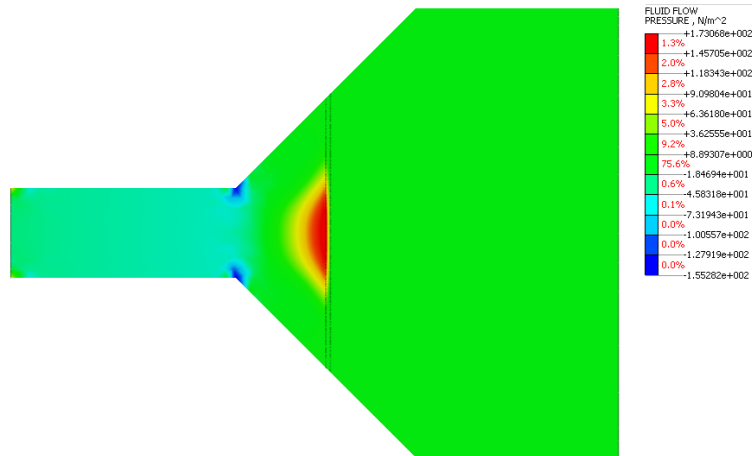
- 일정한 배열을 가진 저항체의 경우 저항계수로 가정하여 Porous Media 혹은 타공판 적용



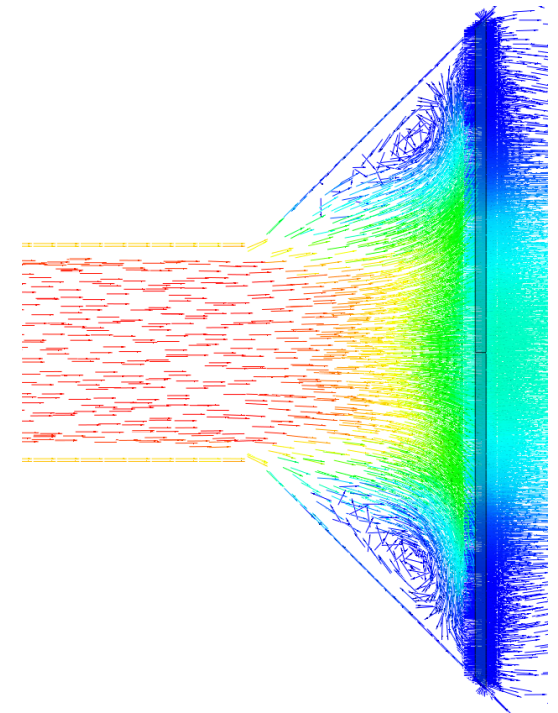
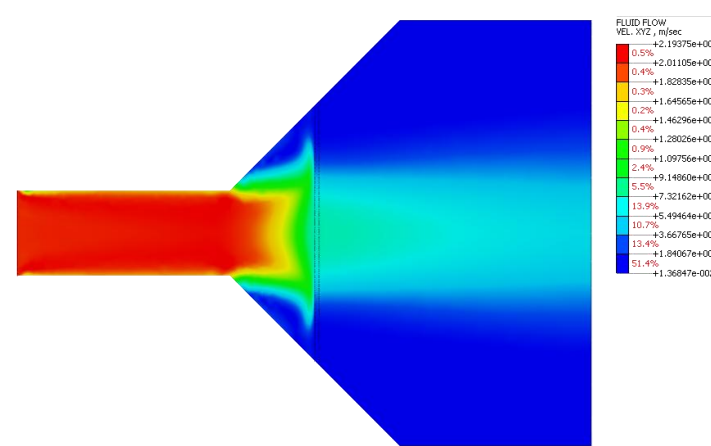
경제성 있는 유동해석 방법론5 : 흐름 저항성 단순화

- 일정한 배열을 가진 저항체의 경우 저항계수로 가정하여 Porous Media 혹은 타공판 적용

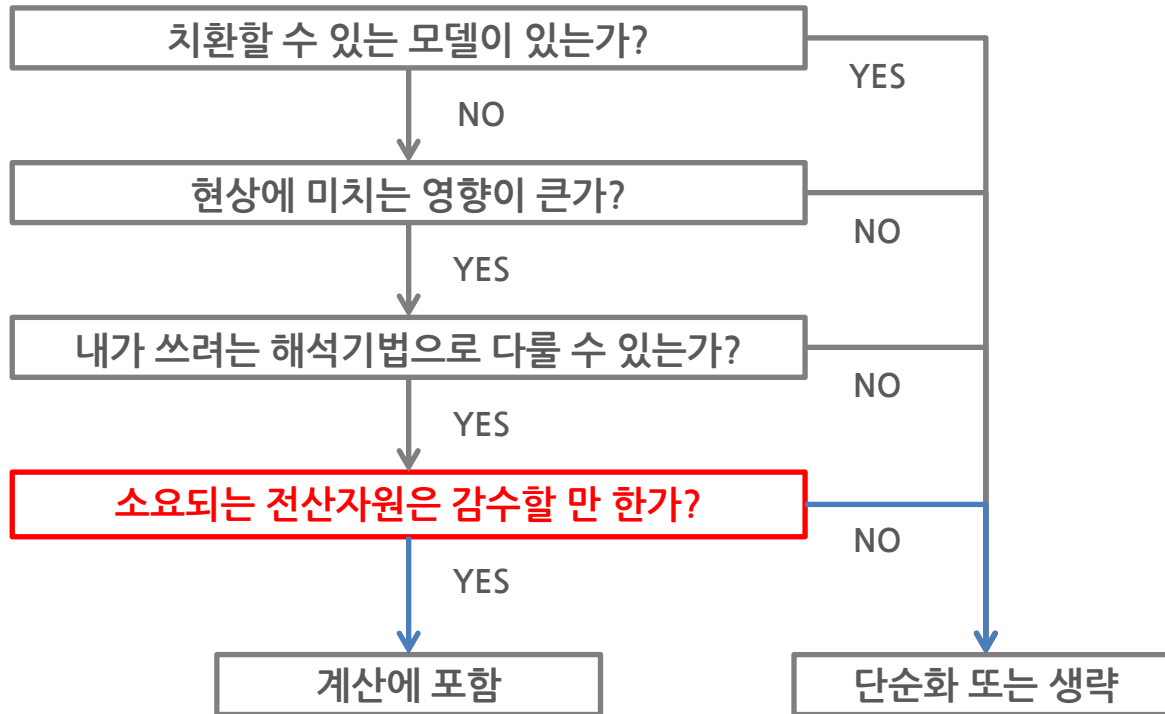
[Pressure Distribution]



[Velocity Distribution]



유동해석시 고려해야할 사항



CONTENTS Day-1

유동해석의 시작과 끝

Part 1. CFD의 필요성

Part 2. Navier-Stokes Equations 이해하기

Part 3. 다양한 CFD 해석 예시와 CFD의 경제성

Part 4. NFX를 활용한 CFD 실습

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
 - 유동장을 직접 모델링 한 경우 유동장 생성 작업 수행 불필요
- } 유동해석을 위한 내부, 외부 유동장 생성 필수

3. 재료 · 특성 정의

- 질량 밀도(density) } 일반 정상상태 유동 해석 시 필수 기입 항목
- 점성(Viscosity)
- 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 맞는 영역을 벽 경계조건을 정의
 - 외부 유동 경계조건 : 입구, 출구를 지정하고 유동장 내부의 구조물과 맞는 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

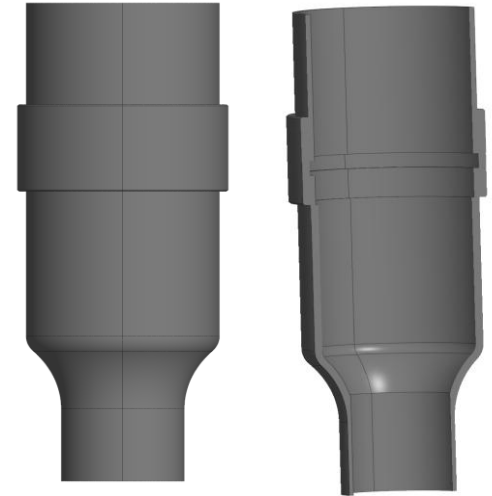
- 입구에 유입되는 유체의 물성치는? → 유체의 물성 확인하기(뉴턴/ 비뉴턴)
- 입구에서 유입되는 유체의 속도/ 압력은?? → 유입 조건
- 출구에서 유체의 속도/ 압력은? → 유출 조건
- 파이프의 재질은 무엇인가? → 벽 경계층 특성
- 파이프 내부 형상의 굴곡은 없는가? → 격자 생성시 조밀하게 생성해야 하는지 고민

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

유체 물성 : water
(50°C)
입구속도 : 0.01
m/sec

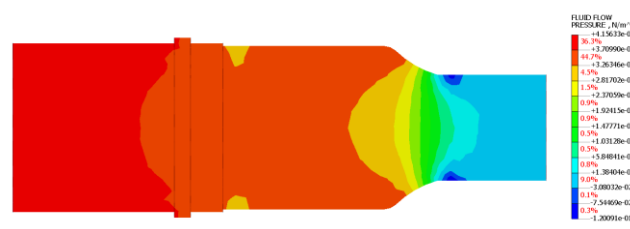
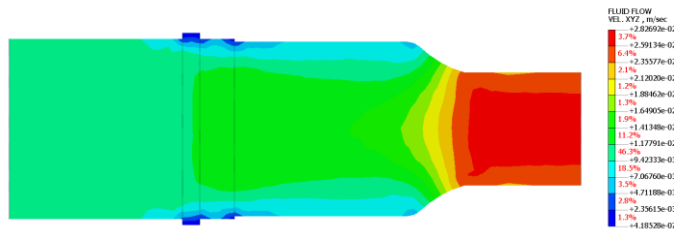


압력 : 0 (대기압)

파이프 재질 :
SUS204-1

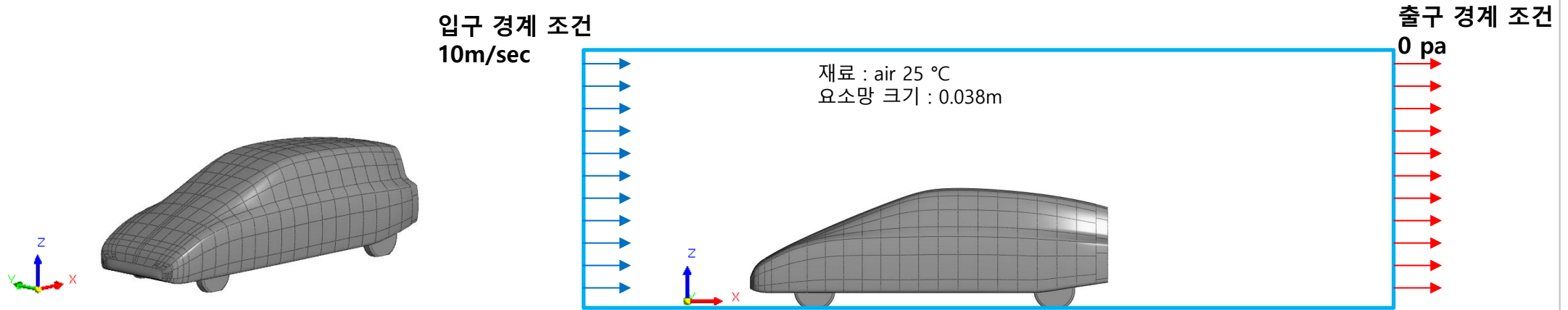
해석 도출결과 1 - 입구와 출구에서의 압력 구배 확인하기

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



실습 케이스1 - 차량 단순모델 외부 유동

차량 외부 유동 해석



문제 설명

- ✓ 단순한 자동차 형상 ASMO.x_t
- ✓ 자동차 외부 유동 해석
- ✓ 전면부에서 10m/s 풍속 발생

해석 목적

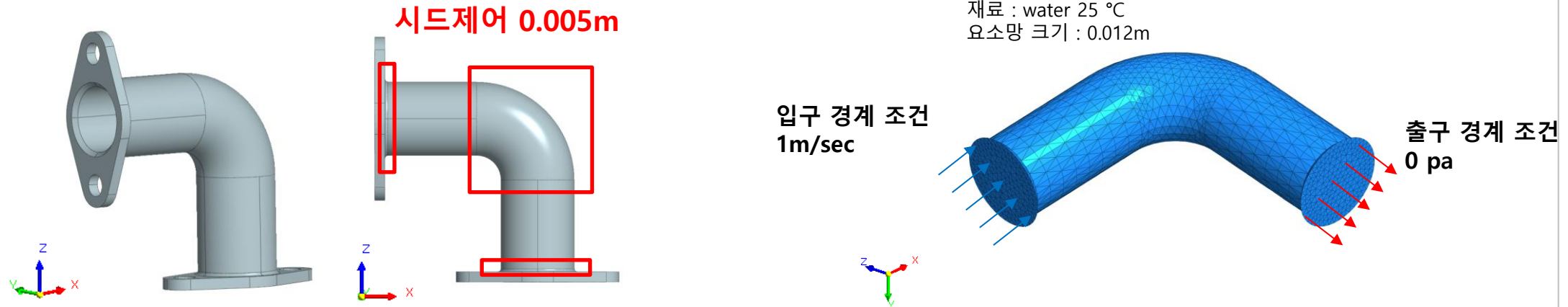
- ✓ 외부 유동장 모델링 방법(외부장 모델링)
- ✓ 차량 형상 외부 유동 특성 확인
- ✓ 차량 형상 후류 부분 속도 특성
- ✓ 유체의 가속도 특성 확인

학습 주요 아이템

- ✓ 외기 조건 입력 방법
- ✓ 정상상태 해석 수행 방법
- ✓ RANS(k-e), LES모델 비교
- ✓ 다양한 경계 조건 부여
 - 입구, 출구, 벽면, 유동압력

실습 케이스2 - L 파이프 내부유동

L 형 파이프 내부 유동



문제 설명

- ✓ L 파이프 형상 L-pipe.prt
- ✓ 파이프 내부 유동 해석
- ✓ 입구에서 1m/s 유속 발생
- ✓ 출구 압력 0

해석 목적

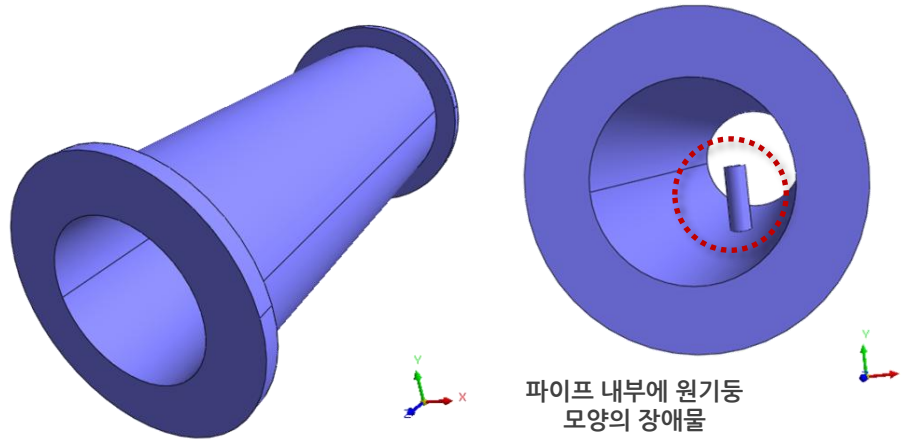
- ✓ 파이프 내부 유동 특성 확인
- ✓ 내부 유동장 모델링 방법(유동영역 추출)
- ✓ 파이프 내부 속도 특성
- ✓ 유체의 가속도 특성 확인

학습 주요 아이템

- ✓ 정상상태 해석 수행 방법
- ✓ 시드 제어
- ✓ 다양한 경계 조건 부여
 - 입구, 출구, 벽면

실습 케이스3 - 관내 구조물이 있는 경우

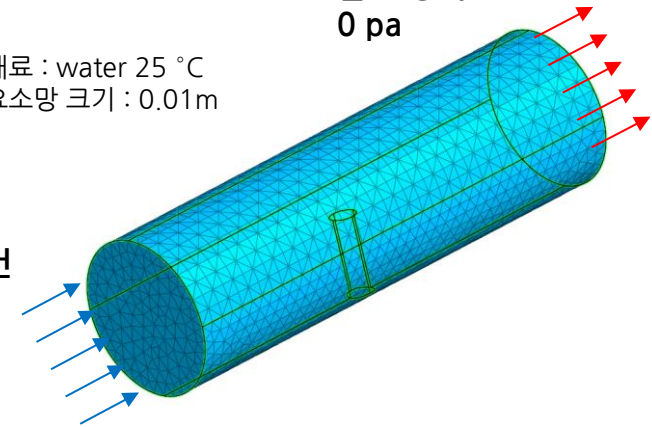
관내 구조물이 있는 경우 - 자가 학습



재료 : water 25 °C
요소망 크기 : 0.01m

입구 경계 조건
1m/sec

출구 경계 조건
0 pa



문제 설명

- ✓ 관내 유동 해석
- ✓ 내부 유동장 모델링 방법(유동영역 추출)
- ✓ 입구에서 1m/s 유속 발생

해석 목적

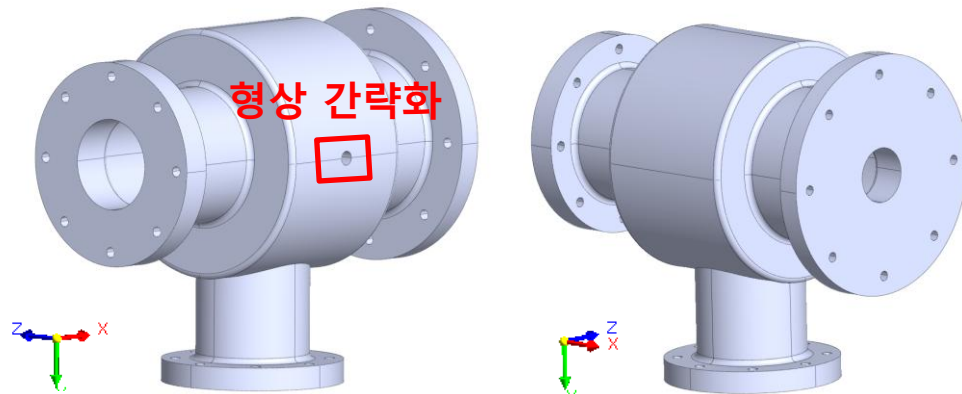
- ✓ 파이프 내부 유동 특성 확인
- ✓ 파이프 내부 속도 특성
- ✓ 유체의 가속도 특성 확인

학습 주요 아이템

- ✓ 정상상태 해석 수행 방법
- ✓ 시드 제어
- ✓ 다양한 경계 조건 부여
 - 입구, 출구, 벽면

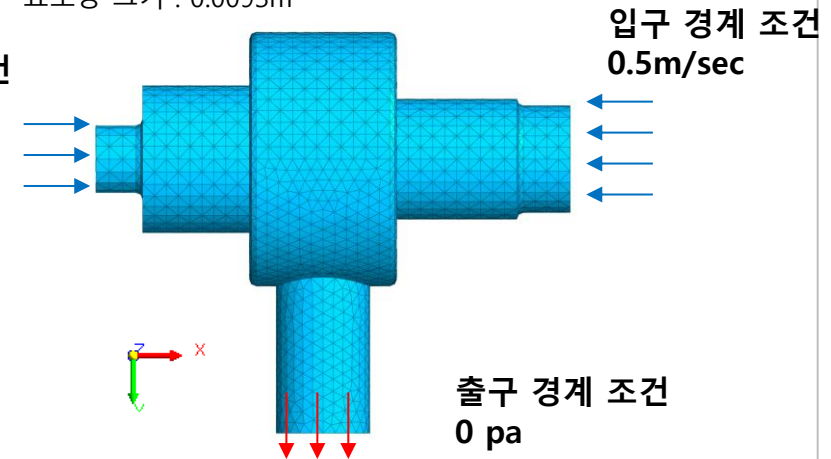
실습 케이스4 - T 파이프 내부유동

T 형 파이프 내부 유동



재료 : water 25 °C
요소망 크기 : 0.0093m

입구 경계 조건
0.5m/sec



문제 설명

- ✓ T 파이프 형상 T-pipe.SLDPRT
- ✓ 입구가 여러 개인 파이프 내부 유동 해석
- ✓ 2개의 입구에서 0.5m/s 유속 발생
- ✓ 출구 압력 0

해석 목적

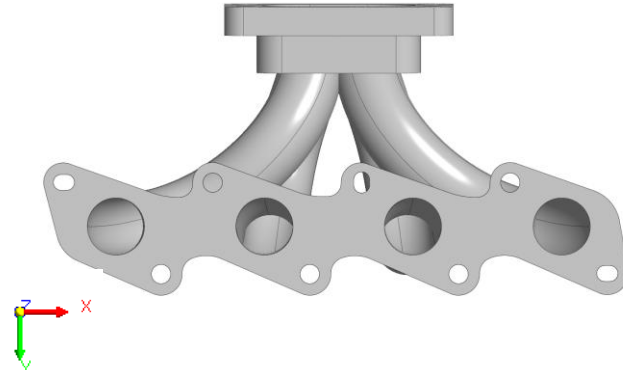
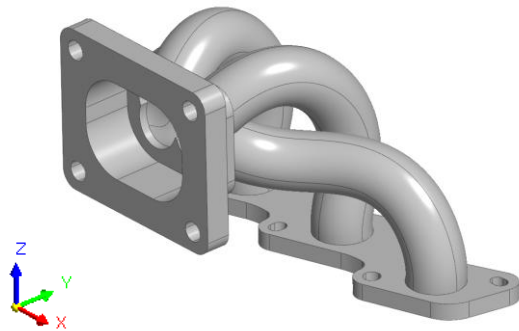
- ✓ 파이프 내부 유동 특성 확인
- ✓ 내부 유동장 모델링 방법(유동영역 추출)
- ✓ 파이프 내부 속도 특성
- ✓ 유체의 가속도 특성 확인

학습 주요 아이템

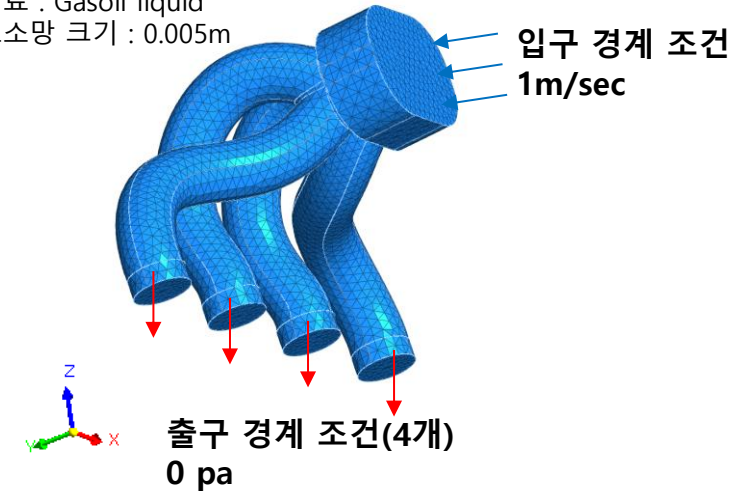
- ✓ 정상상태 해석 수행 방법
- ✓ 형상 수정
- ✓ 다양한 경계 조건 부여
 - 입구, 출구, 벽면

실습 케이스5 - 엔진 Manifold

엔진 manifold 내부 유동 - 자가 학습



재료 : Gasoil liquid
요소망 크기 : 0.005m



문제 설명

- ✓ Manifold형상 manifold.x_t
- ✓ 내부 유동장 모델링 방법(유동영역 추출)
- ✓ 입구에서 1m/s 유속 발생
- ✓ 4의 출구 경계조건

해석 목적

- ✓ 파이프 내부 유동 특성 확인
- ✓ 파이프 내부 속도 특성
- ✓ 유체의 가속도 특성 확인

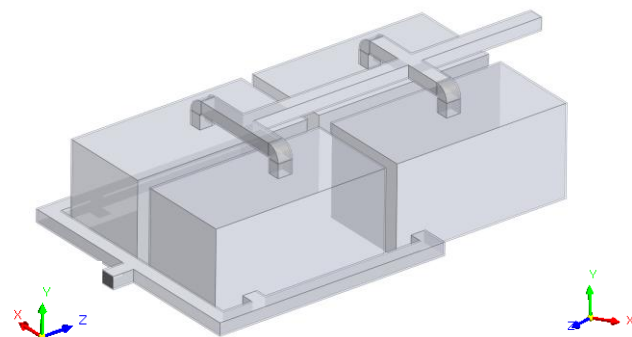
학습 주요 아이템

- ✓ 정상상태 해석 수행 방법
- ✓ 시드 제어
- ✓ 다양한 경계 조건 부여
 - 입구, 출구, 벽면

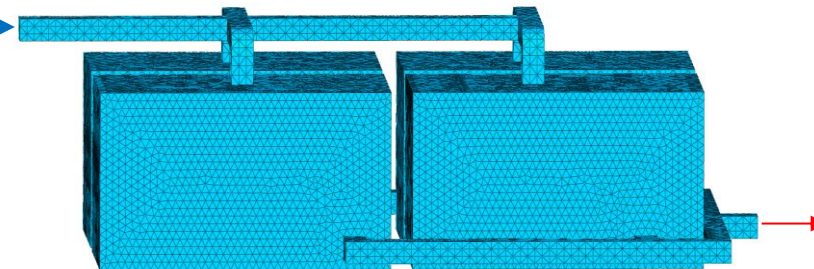
실습 케이스6 - 실내 환기 덕트

실내 환기를 위한 덕트- 자가 학습

재료 : air 25 °C
요소망 크기 : 0.038m



입구 경계 조건
0.5m/sec →



출구 경계 조건
0 pa

문제 설명

- ✓ Manifold형상 실내환기덕트.x_t
- ✓ 내부 유동장 모델링 방법(유동영역 추출)
- ✓ 입구에서 0.5m/s 유속 발생

해석 목적

- ✓ 파이프 내부 유동 특성 확인
- ✓ 파이프 내부 속도 특성
- ✓ 유체의 가속도 특성 확인

학습 주요 아이템

- ✓ 정상상태 해석 수행 방법
- ✓ 시드 제어
- ✓ 다양한 경계 조건 부여
 - 입구, 출구, 벽면

설문조사

더 개선된 세미나 환경과 교육의 품질을 올리기 위해 설문조사 부탁드립니다!
교육간 고생 많으셨습니다!

