

# 전산유체해석실습 과제 (9차)

과목명 : 전산유체해석실습

담당교수 : 임동균 교수님

학과 : 항공기계공학과

학번 : 2021010530

이름 : 박진우

제출일 : 25-11-13

# Plunging

- cfg

```
% ----- DIRECT, ADJOINT, AND LINEARIZED PROBLEM DEFINITION -----%
%
SOLVER= RANS
KIND_TURB_MODEL= SA
MATH_PROBLEM= DIRECT
RESTART_SOL= NO
```

```
% ----- UNSTEADY SIMULATION -----%
%
TIME_DOMAIN= YES
TIME_MARCHING= DUAL_TIME_STEPPING-2ND_ORDER
TIME_STEP= 0.0023555025613149587
% 24 steps per period: 0.0024536485013697488
% 25 steps per period: 0.0023555025613149587
%
MAX_TIME= 0.5888756403287397
% 10 periods: 0.5888756403287397
%
INNER_ITER= 500
```

```
% ----- DYNAMIC MESH DEFINITION -----%
%
GRID_MOVEMENT= RIGID_MOTION
MOTION_ORIGIN= 0.25 0.0 0.0
PLUNGING_OMEGA= 0.0 186.69842 0.0
PLUNGING_AMPL= 0.0 1.91 0.0
```

```
% ----- COMPRESSIBLE FREE-STREAM DEFINITION -----%
%
MACH_NUMBER= 0.3
AOA= 0.0
FREESTREAM_TEMPERATURE= 288.15
REYNOLDS_NUMBER= 1000.0
REYNOLDS_LENGTH= 1.0
```

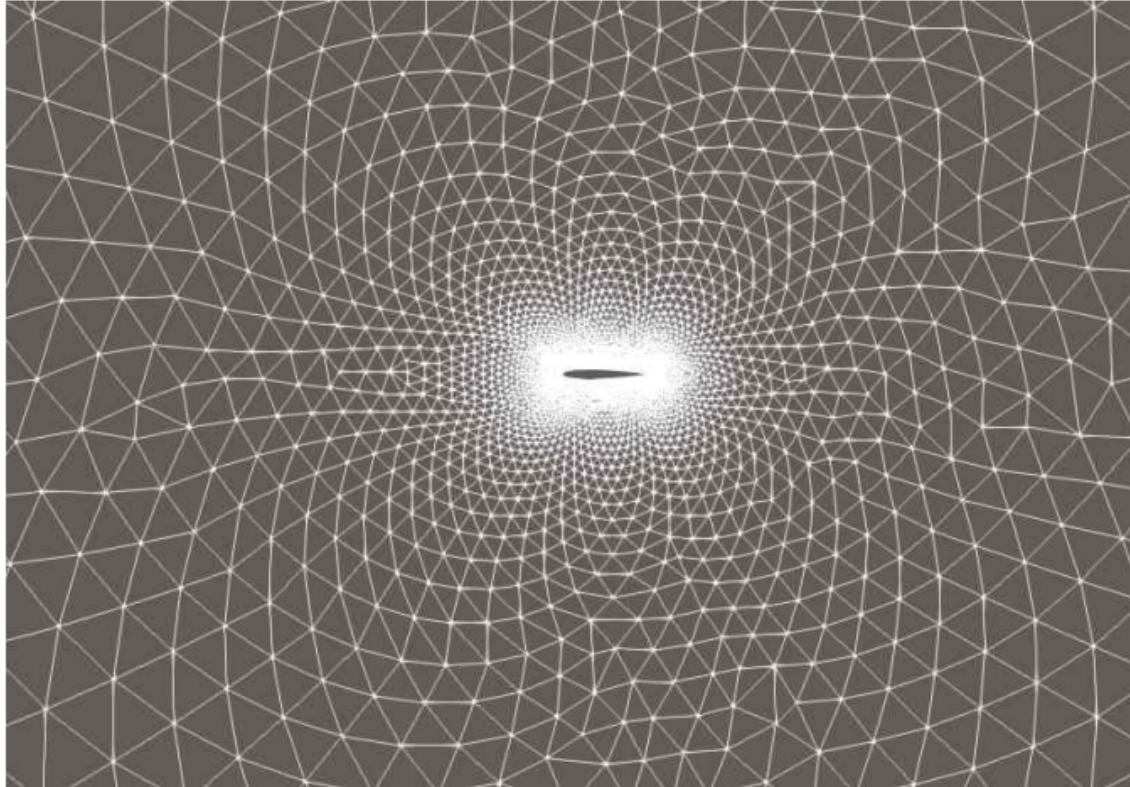
```
% ----- REFERENCE VALUE DEFINITION -----%
%
REF_LENGTH= 1.0
REF_AREA= 1.0
```

```
% ----- BOUNDARY CONDITION DEFINITION -----%
%
MARKER_HEATFLUX= ( airfoil, 0.0 )
MARKER_FAR= ( farfield )
MARKER_PLOTTING= ( airfoil )
MARKER_MONITORING= ( airfoil )
```

```
% ----- COMMON PARAMETERS DEFINING THE NUMERICAL METHOD -----%
%
NUM_METHOD_GRAD= GREEN_GAUSS
CFL_NUMBER= 1.0
CFL_ADAPT= NO
CFL_ADAPT_PARAM= ( 1.5, 0.5, 1.0, 100.0 )
RK_ALPHA_COEFF= ( 0.66667, 0.66667, 1.000000 )
TIME_ITER= 99999
```

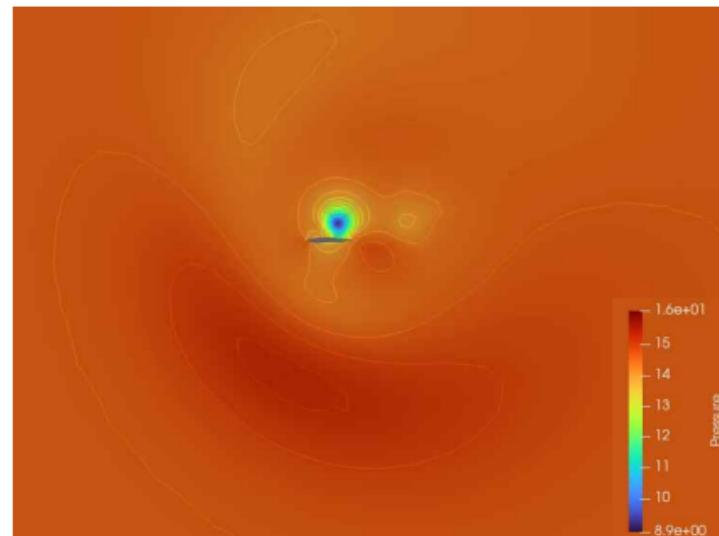
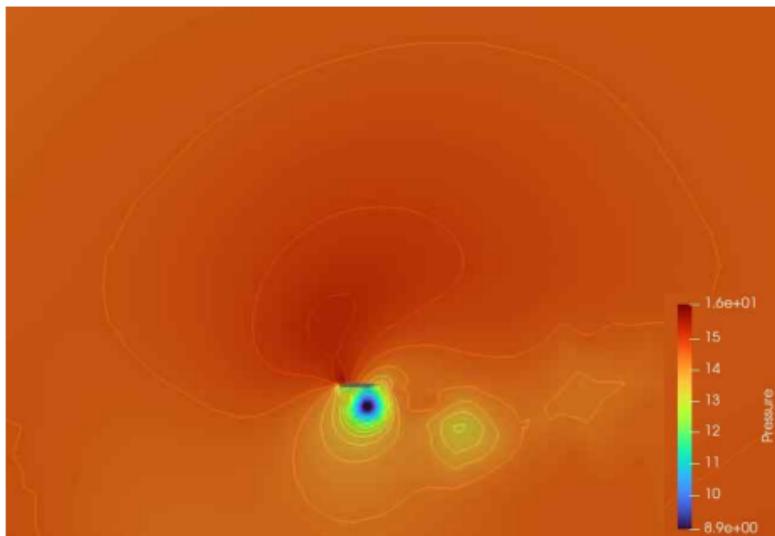
# Plunging

- Mesh



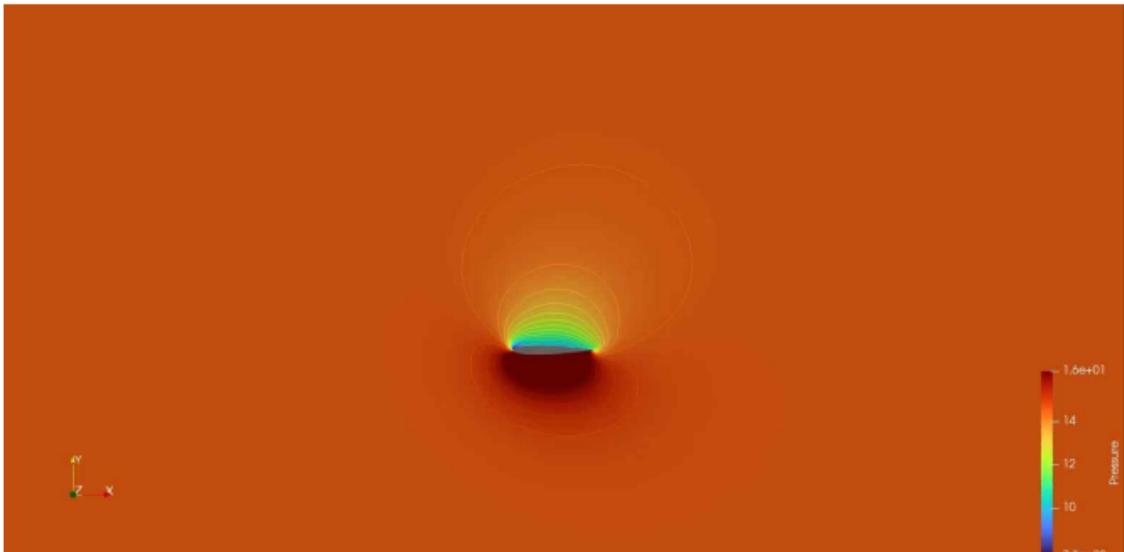
# Plunging

- pressure



# Plunging

- Plunging\_video



- 플伦징(Plunging)은 날개 전체가 흐름 속에서 수직 방향으로 왕복 운동하는 동작이다.
- 이 과정에서 앞전(Leading edge)에 강한 와류(Leading-edge vortex, LEV)가 형성되며, 순간적으로 큰 저압이 만들어지는 것을 확인할 수 있다.
- 날개가 위로 상승할 때, 윗면에 높은 고압이 발생하여 양력이 아래 방향(음의 양력)으로 작용하지만, 이는 플伦징 주기 중 상승 구간에서만 나타나는 일시적 현상이다.
- 반대로 날개가 아래로 하강할 때는 아랫면에 높은 고압이 형성되어 양력이 위 방향(양의 양력)으로 작용한다.
- 또한 날개가 위아래로 반복해서 움직일 때, 생성된 소용돌이(와류)가 뒤쪽으로 방출되면 그 반작용으로 앞쪽 방향의 힘, 즉 추력(Thrust)이 발생한다.
- 결과적으로 플伦징 운동에서는 상승 시 음의 양력, 하강 시 양의 양력이 번갈아 나타나며, 한 주기 전체로 보면 평균적으로 양력과 추력 모두가 발생하는 운동이다.

# Plunging+Wake

- cfg

```
% COMPRESSIBLE FREE-STREAM
%
MACH_NUMBER= 0.3
ADA= 17.0
FREESTREAM_TEMPERATURE= 293.0
FREESTREAM_PRESSURE= 101325.0
REYNOLDS_NUMBER= 1000.0
REYNOLDS_LENGTH= 1.0
```

```
% REFERENCE VALUES
%
REF_ORIGIN_MOMENT_X= 0.25
REF_ORIGIN_MOMENT_Y= 0.00
REF_ORIGIN_MOMENT_Z= 0.00
REF_LENGTH= 1.0
REF_AREA= 1.0
```

```
% BOUNDARY CONDITIONS
%
MARKER_HEATFLUX= ( airfoil, 0.0 )
MARKER_FAR= ( farfield )
MARKER_PLOTTING= ( airfoil )
MARKER_MONITORING= ( airfoil )
```

```
% DISCRETIZATION
%
TIME_DOMAIN= YES
TIME_MARCHING= DUAL_TIME_STEPPING-2ND_ORDER
TIME_STEP= 0.002355
%
% PITCHING MOTION PARAMETERS
%
GRID_MOVEMENT=RIGID_MOTION
MOTION_ORIGIN=(0.25,0.0,0.0)
PITCHING_AMPL=(0.0,0.0,8.0)
PITCHING_OMEGA=(0.0,0.0,14.91675)

PLUNGING_OMEGA= 0.0 106.69842 0.0
PLUNGING_AMPL= 0.0 1.01 0.0
```

※Plunging의 핵심

- PLUNGING\_OMEGA,
- PLUNGING\_AMPL

Wake의 핵심

- PITCHING\_AMPL,
- PITCHING\_OMEGA

```
% SOLUTION METHODS
%
TIME_DISCRE_FLOW= EULER_IMPLICIT
TIME_DISCRE_TURB= EULER_IMPLICIT
CFL_NUMBER= 1.0
CFL_ADAPT= NO
LINEAR_SOLVER= FGMR3
LINEAR_SOLVER_ERROR= 0.1
LINEAR_SOLVER_ITER= 10
```

```
% INNER CONVERGENCE
%
INNER_ITER= 500
CONV_FIELD= REL_RMS_DENSITY
CONV_RESIDUAL_MINVAL= -3
CONV_STARTITER= 0
```

# Plunging+Wake

- plunging에 wake 추가하는 방법

```
% =====
% PITCHING MOTION PARAMETERS
%
GRID_MOVEMENT=RIGID_MOTION
MOTION_ORIGIN=(0.25,0.0,0.0)
PITCHING_AMPL=(0.0,0.0,0.8)
PITCHING_OMEGA=(0.0,0.0,14.91675)

PLUNGING_OMEGA= 0.0 106.69842 0.0
PLUNGING_AMPL= 0.0 1.01 0.0
```

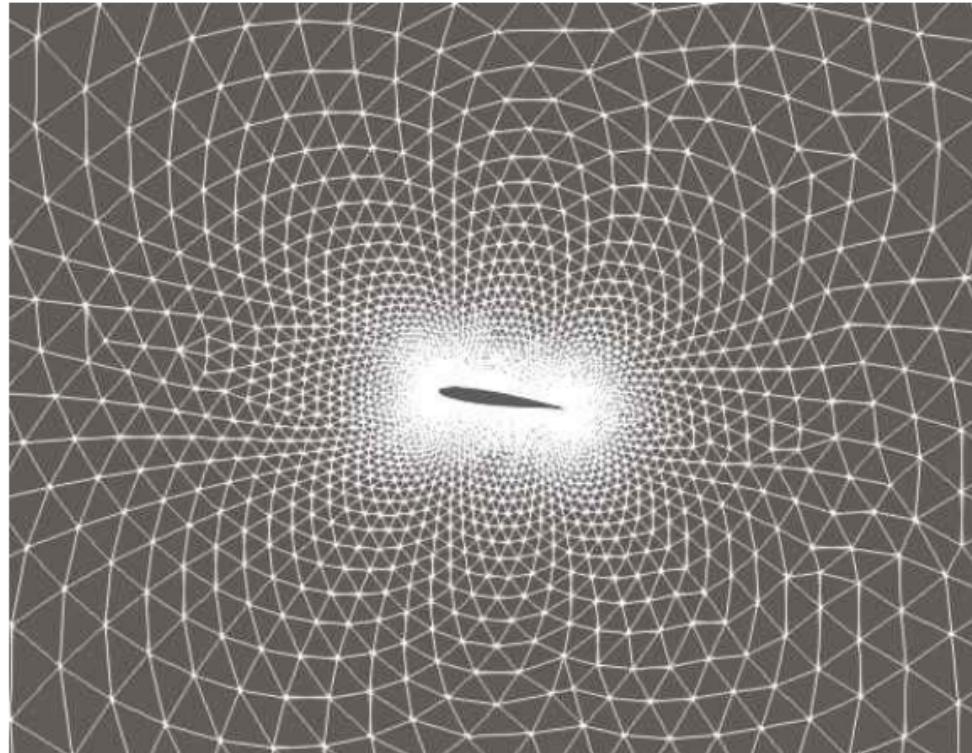
- plunging에 PLUNGING\_OMEGA와 PLUNGING\_AMPL을 추가해준다.
- 이것이 plunging에 wake 추가하는 방법이다.

```
% SOLUTION METHODS
%
TIME_DISCRE_FLOW= EULER_IMPLICIT
TIME_DISCRE_TURB= EULER_IMPLICIT
CFL_NUMBER= 1.0
CFL_ADAPT= NO
LINEAR_SOLVER= FGMRES
LINEAR_SOLVER_ERROR= 0.1
LINEAR_SOLVER_ITER= 10
```

※여기에서 CFL\_NUMBER를 1.0으로 바꾸지 않을 경우 발산하여 수렴하지 못 한다.

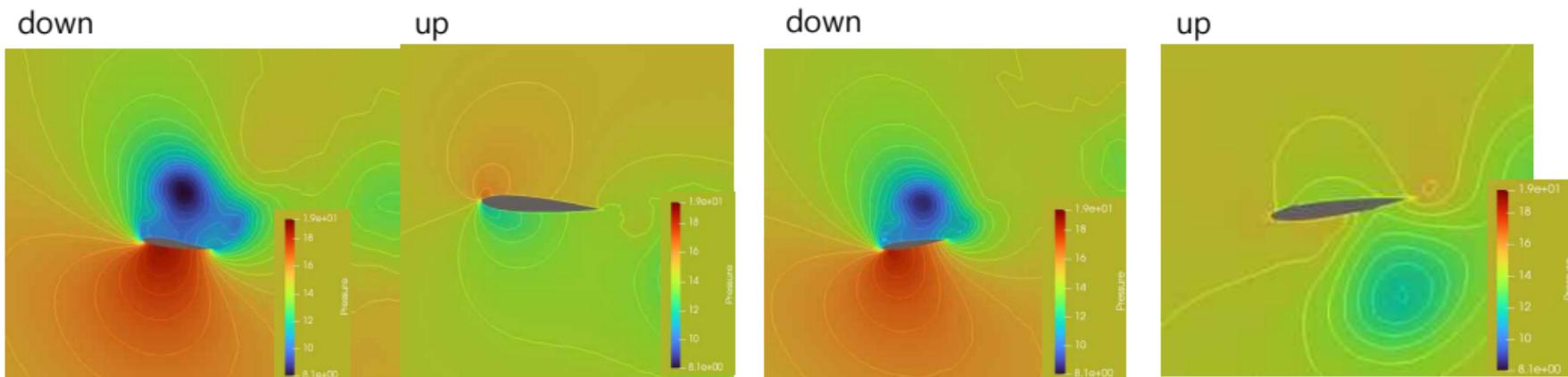
# Plunging+Wake

- Mesh



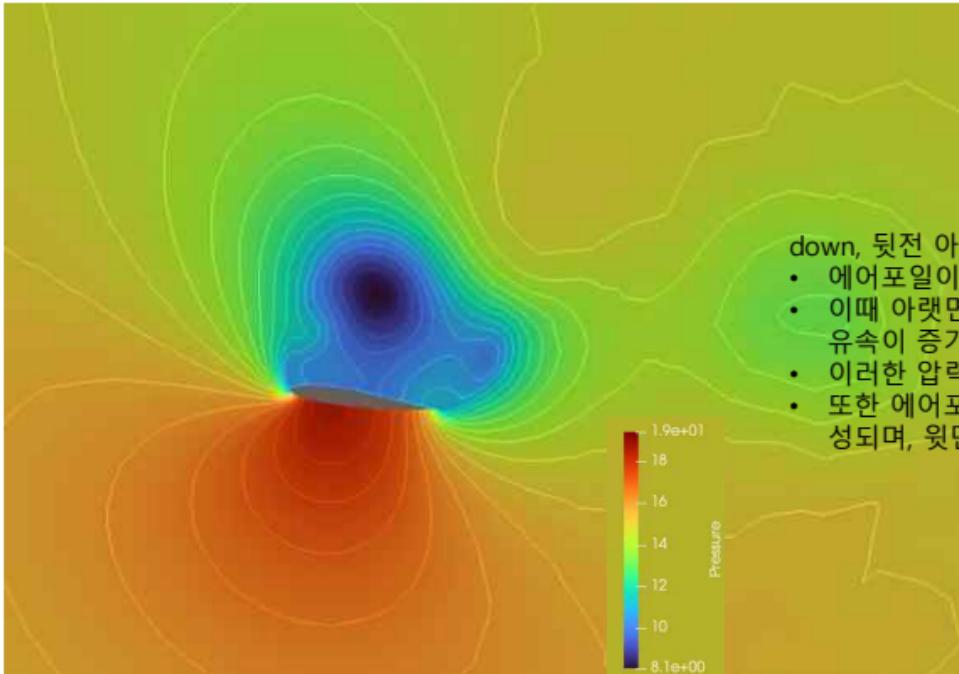
# Plunging+Wake

- Pressure



# Plunging+Wake

- down, 뒷전 아래 위치

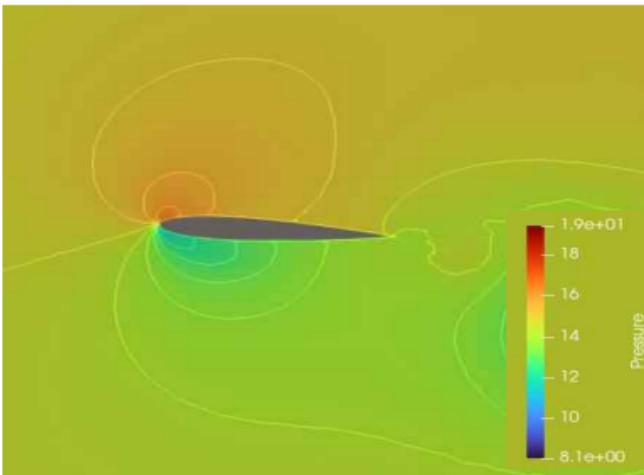


down, 뒷전 아래 위치

- 에어포일이 아래로 하강하면서 뒷전이 위로 올라가는 상태이다.
- 이때 아랫면에는 공기가 압축되어 높은 고압 영역이 형성되고, 윗면에서는 유속이 증가하여 저압 영역이 형성된다.
- 이러한 압력 차로 인해 위 방향의 양의 양력이 발생한다.
- 또한 에어포일이 하강하는 동안 윗면 앞전 부근에서 소용돌이(와류)가 형성되며, 윗면 압력이 급격히 낮아져 양력이 일시적으로 증가한다.

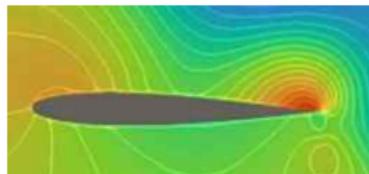
# Plunging+Wake

- up, 뒷전 아래 위치



up, 뒷전 아래 위치

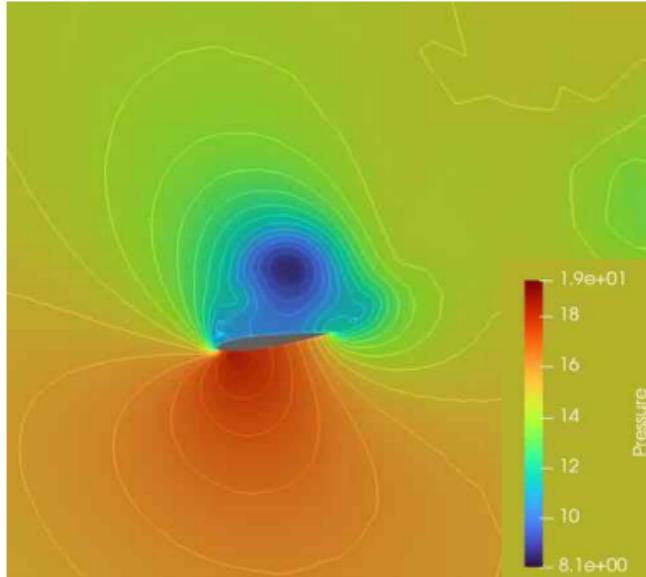
- 에어포일이 올라가고 뒷전이 위로 올라가는 상태
- 아랫면에는 저압이 형성되고 윗면에는 상대적으로 높은 압력이 형성된다.
- 아래 방향(음의 양력)으로 작용하는 일시적 구간.



- 뒷전 주변의 유동이 순간적으로 압축되어 국소적인 고압 영역이 형성된다. 이는 에어포일의 상승 운동에 따른 유동 관성 효과와 뒷전 회전으로 인한 압축 작용 때문이며, 뒷전 아래쪽의 고압 분포는 플런징 및 피칭 복합 운동에서 흔히 관찰되는 현상이다.

# Plunging+Wake

- down, 뒷전 위에 위치

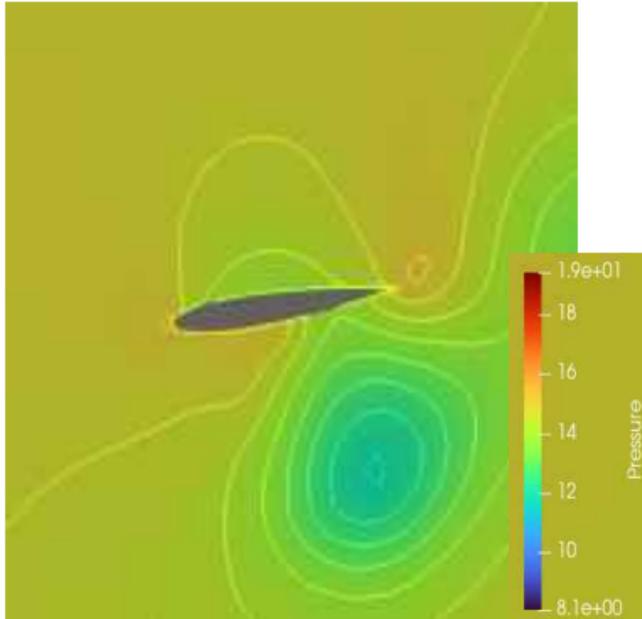


down, 뒷전 위에 위치

- 아랫면에는 높은 압력이 형성되고, 윗면에는 저압이 발생한다.
- 이에 따라 공기력이 위쪽 방향으로 작용하며 양력이 발생한다.
- 이는 플런징과 피칭이 동시에 일어나는 복합 운동 중 양력 생성이 가장 강한 구간에 해당한다.

# Plunging+Wake

- up, 뒷전 위에 위치

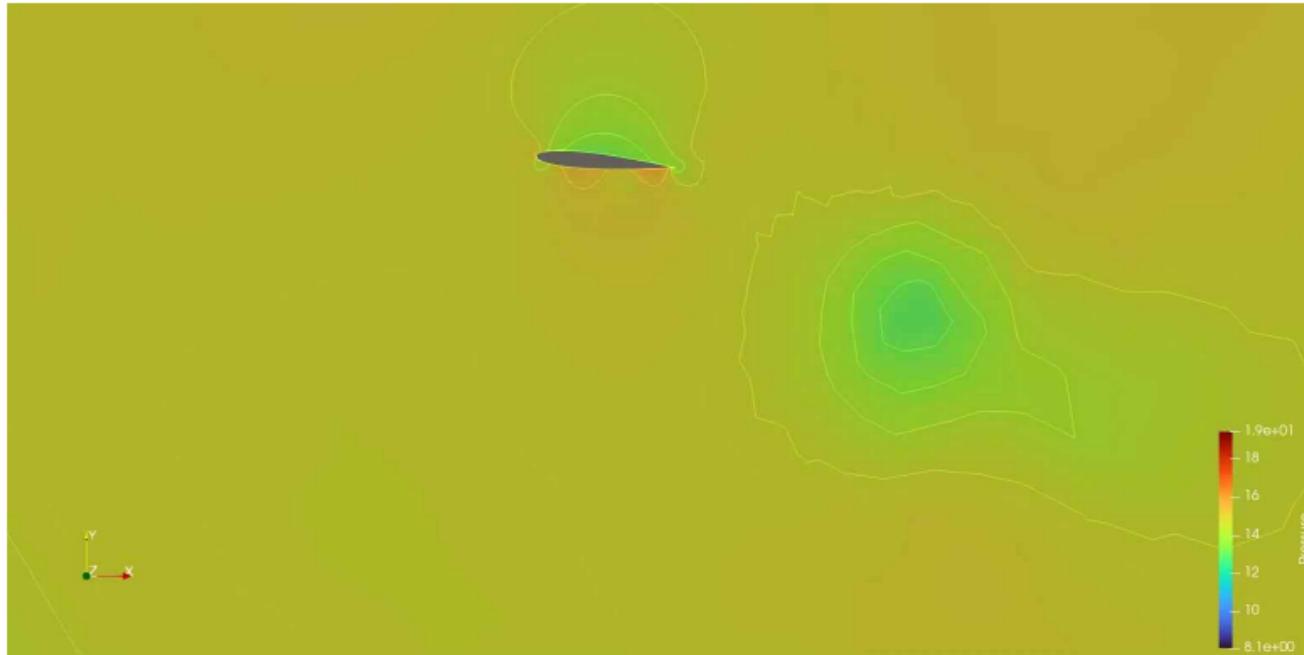


up, 뒷전 위에 위치

- 아랫면에서는 저압이 형성되고, 윗면에서는 상대적으로 높은 압력이 형성된다.
- 이로 인해 전체적으로 아래 방향(음의 양력)이 작용한다.
- 즉, 윗면의 고압과 아랫면의 저압이 반대 방향으로 작용하여 일시적인 음의 양력이 발생하는 구간이다.

# Plunging+Wake

- plunging+wake\_video



# Caradonna\_tung

- cfg

```
% ----- COMPRESSIBLE AND INCOMPRESSIBLE FREE-STREAM DEFINITION -----%
%
MACH_NUMBER= 0.0
AOA= 0.0
SIDESLIP_ANGLE= 0.0
FREESTREAM_PRESSURE= 101325.0
FREESTREAM_TEMPERATURE= 288.15
```

제자리 비행이기 때문에  
MACH\_NUMBER = 0.0,  
AOA = 0.0

```
% ----- DYNAMIC MESH DEFINITION -----%
%
GRID_MOVEMENT= ROTATING_FRAME
MACH_MOTION= 0.877
MOTION_ORIGIN= 0.0 0.0 0.0
ROTATION_RATE = 261.79938779914943 0.0 0.0
% 1250 RPM -> 130.89969389957471
% 2500 RPM -> 261.79938779914943
```

ROTATING\_FRAME : 공기를 돌리는 것  
MACH\_MOTION = 0.877인 이유는 UH-60의  
비행 속도가 0.877이기 때문  
ROTATION\_RATE : X축으로 회전, 2500RPM

※이 조건이 있기 때문에 가만히 있는 상태의  
유동을 돌릴 수 있는 것 (cfg에서 핵심 역할)

# Caradonna\_tung

- cfg

```
% ----- BOUNDARY CONDITION DEFINITION -----%
%
MARKER_EULER= ( blade_1, blade_2 )
MARKER_FAR= ( farfield )
MARKER_PLOTTING= ( blade_1, blade_2 )
MARKER_MONITORING= ( blade_1, blade_2 )
```

```
% ----- COMMON PARAMETERS DEFINING THE NUMERICAL METHOD -----%
%
NUM_METHOD_GRAD= GREEN_GAUSS
CFL_NUMBER= 1e3
CFL_ADAPT= NO
CFL_ADAPT_PARAM= ( 0.1, 2.0, 15, 1e6 )
RK_ALPHA_COEFF= ( 0.66667, 0.66667, 1.000000 )
ITER= 99999
```

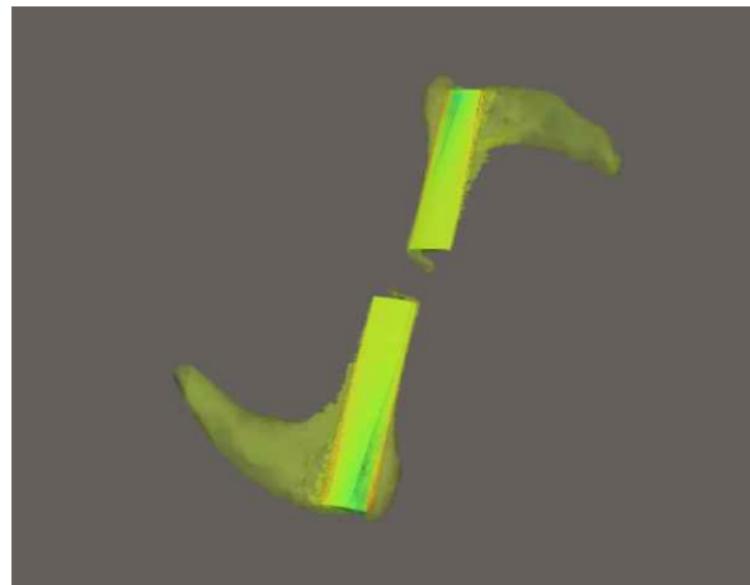
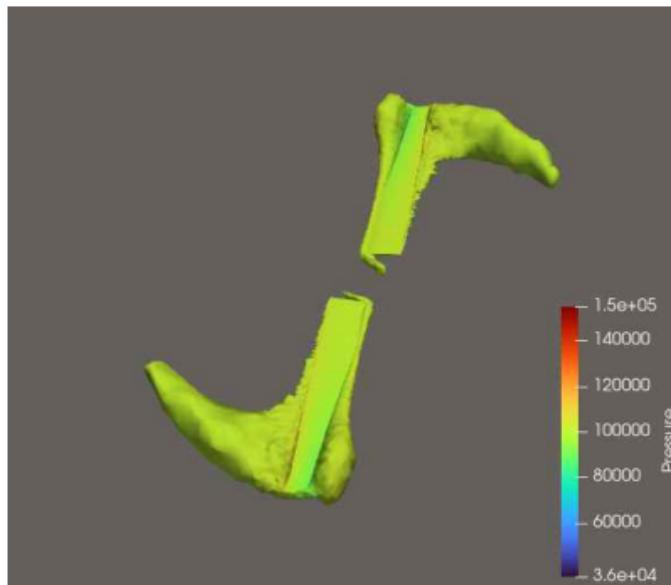
```
% ----- MULTIGRID PARAMETERS -----%
%
MGLVEL= 3
MGCYCLE= W_CYCLE
MG_PRE_SMOOTH= ( 1, 2, 3, 3 )
MG_POST_SMOOTH= ( 0, 0, 0, 0 )
MG_CORRECTION_SMOOTH= ( 0, 0, 0, 0 )
MG_DAMP_RESTRICTION= 0.9
MG_DAMP_PROLONGATION= 0.9
```

CFL\_NUMBER : 수치 해석의 안정성과 시간 간격을 결정하는 것이다.  
CFL\_NUMBER = 1000

MG\_CYCLE : 격자의 크기를 조절하며 계산하는 사이클 방식  
MGCYCLE = W\_CYCLE : 격자 수준 간의 이동이 W모양으로 이루어진다.

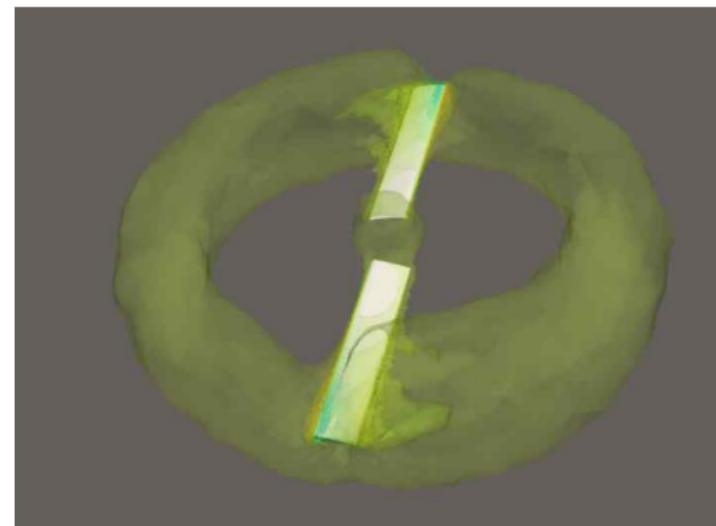
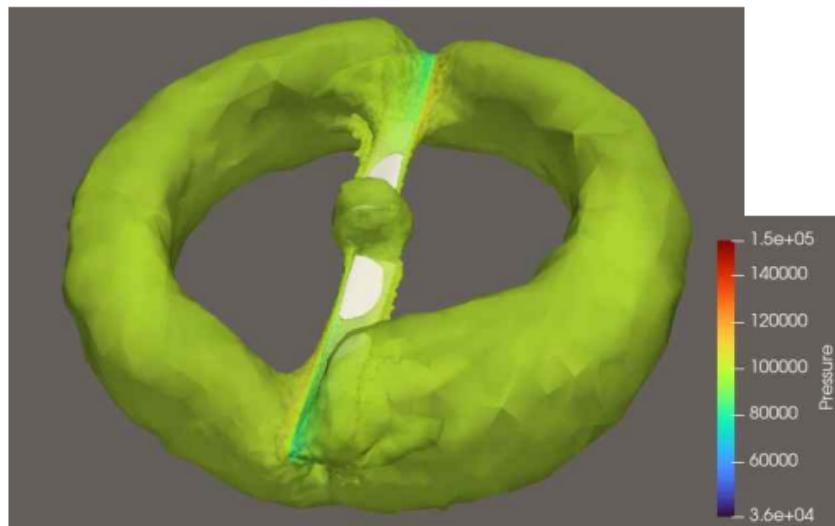
# Caradonna\_tung

- velocity



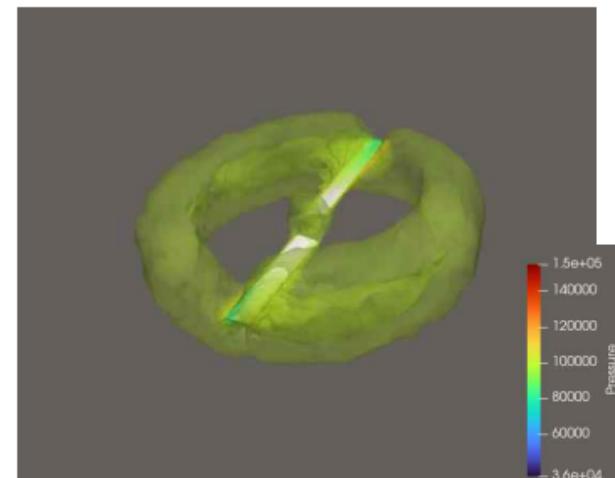
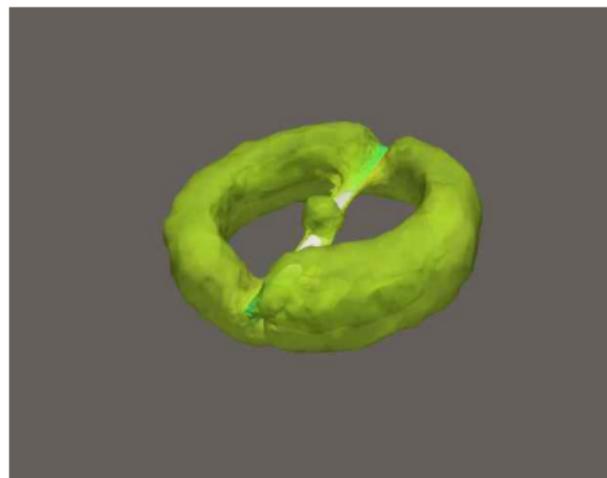
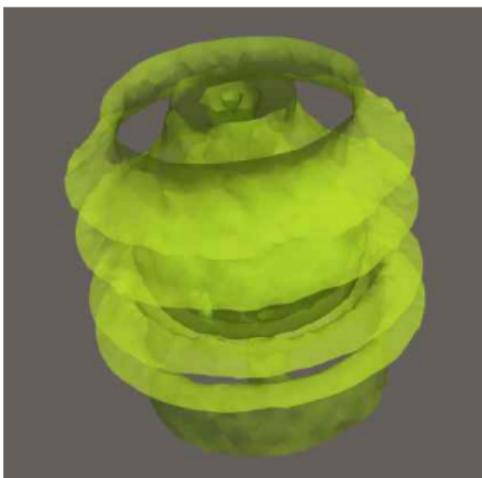
# Caradonna\_tung

- velocity



# Caradonna\_tung

- velocity\_condition1

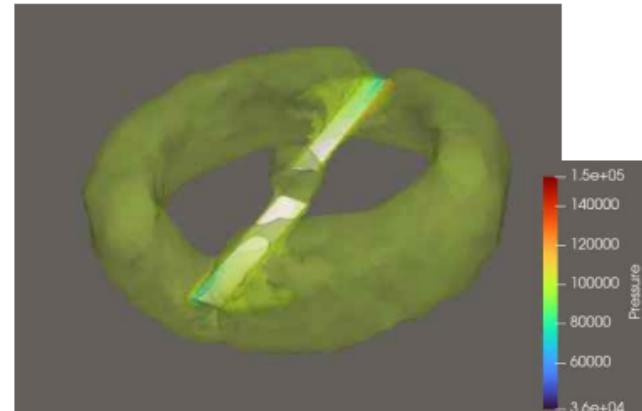
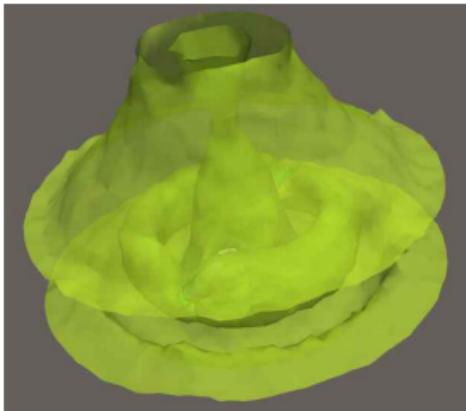
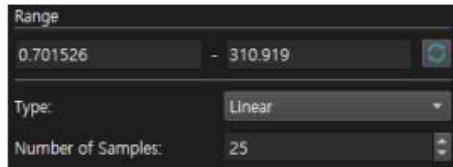


1.5e+05  
140000  
120000  
100000  
80000  
60000  
3.6e+04

Pressure

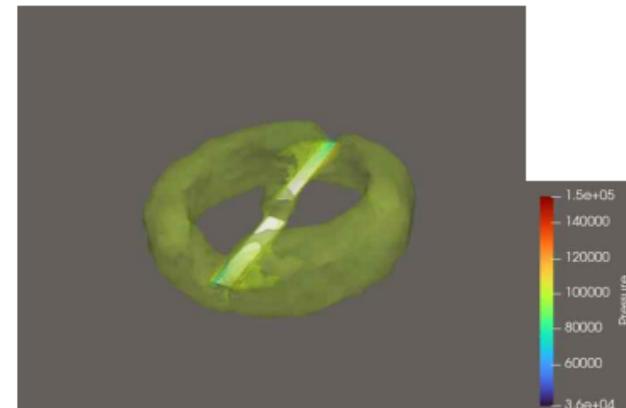
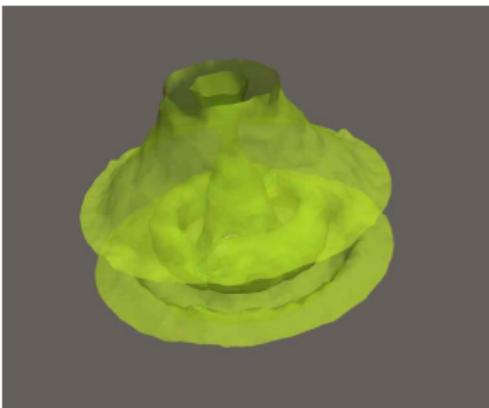
# Caradonna\_tung

- velocity\_condition2



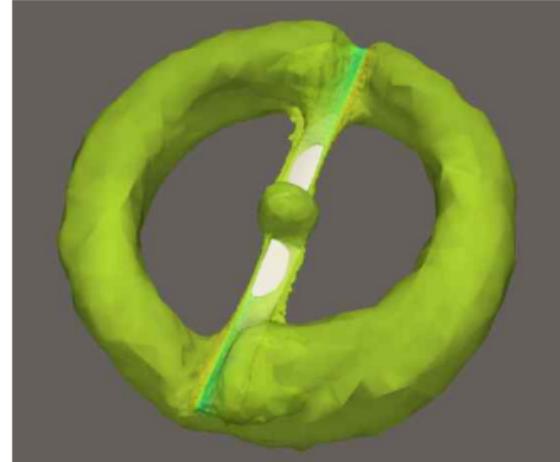
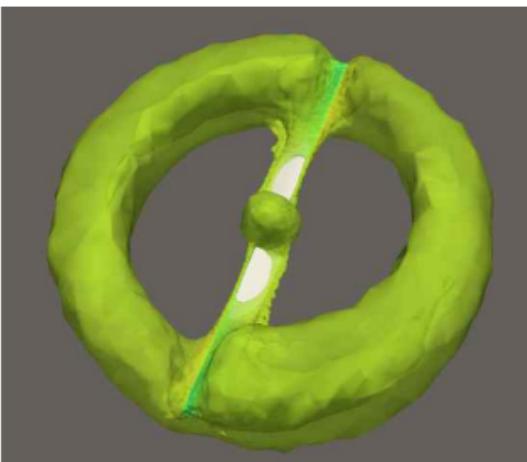
# Caradonna\_tung

- velocity\_condition3



# Caradonna\_tung

- velocity\_비교



Range와 Number of Samples의 조건을 변경하여 시뮬레이션을 수행하였으나, 결과에는 유의미한 변화가 나타나지 않았다.

# Caradonna\_tung

- VortexCores

