

SU2 보고서 (2주차)

서 보 근

전산유체 해석 실습

청주대학교 항공기계공학과

지도교수: 임동균 교수님

Due: Sep. 25, 2025



1. 2D Bump 해석

1. 2D_Bump 해석 격자 조건
2. SU2 해석 결과 (P)
3. SU2 해석 결과 (M)
4. SU2 해석 결과 (C_p)

2. 3D oneraM6 해석

1. 2D_Bump 해석 격자 조건
2. SU2 해석 결과 (P)
3. SU2 해석 결과 (M)
4. SU2 해석 결과 (C_p)



Fig. 1 SU2 logo



Fig. 2 Paraview logo

1. 2D_Bump 해석 격자 조건

❖ 해석 격자 조건 (Case #1 2D_Bump)

➤ 본 해석(예제)에서는 다음과 같은 해석 격자 조건을 적용 :

- NDIME = 2 해석 차원: 2차원
 - NELEM = 32385 격자(Cell) 수: 32385 (개)

 - SOLVER = EULER 참조 공식(Equation) = Euler (오일러)
 - MACH_NUMBER = 0.75 속도 = 마하 0.75 (마크넘버 0.75)
 - AOA = 0.0 받음각 = 0.0 (도)
 - FREESTREAM_PRESSURE = 101300.0 Freestream 압력 = 101300.0
 - FREESTREAM_TEMPERATURE = 288.0 Freestream 온도 = 288.0 (k)

 - MARKER_EULER = (upper_wall, lower_wall)
 - MARKER_INLET= (inlet, 288.6, 102010.0, 1.0, 0.0, 0.0) [x 방향으로만 분석을 진행]
 - MARKER_PLOTTING= (lower_wall)
 - MARKER_MONITORING= (upper_wall, lower_wall)

*해당 결과는 993번째 124번째 해석, 소수점 12자리 이하에서 c_l 0.000274, c_D -0.00010 으로 수렴이 완료 됨.

| 894 | 8.643e-02 | -9.806213 | 5.219434 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|------------|-------------------|----------|-----------|----------------------|-------|-----------|-----------|---------------------|----------|--------|-------------------|----------|--|--|----------|------------------|--|--|-------------------|
| 895 | 8.643e-02 | -9.812464 | 234460 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 896 | 8.643e-02 | -9.811727 | 234279 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 897 | 8.643e-02 | -9.825599 | 243992 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 898 | 8.642e-02 | -9.827023 | 235831 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 899 | 8.642e-02 | -9.831312 | 250699 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 900 | 8.642e-02 | -9.839765 | 244758 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 901 | 8.642e-02 | -9.841934 | 246034 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 902 | 8.642e-02 | -9.845905 | 252421 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 903 | 8.642e-02 | -9.850220 | 267550 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 904 | 8.642e-02 | -9.855055 | 261455 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 905 | 8.642e-02 | -9.860368 | 277729 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 906 | 8.642e-02 | -9.864896 | 268229 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 907 | 8.643e-02 | -9.869248 | 264416 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 908 | 8.643e-02 | -9.874404 | 263977 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 909 | 8.645e-02 | -9.879480 | 274500 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 910 | 8.645e-02 | -9.884031 | 286254 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 911 | 8.645e-02 | -9.888470 | 282493 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 912 | 8.645e-02 | -9.894237 | 289455 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 913 | 8.645e-02 | -9.899389 | 283800 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 914 | 8.645e-02 | -9.904700 | 286040 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 915 | 8.645e-02 | -9.908727 | 289062 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 916 | 8.645e-02 | -9.914673 | 294655 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 917 | 8.645e-02 | -9.918713 | 298985 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 918 | 8.645e-02 | -9.924754 | 303012 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 919 | 8.645e-02 | -9.929487 | 306934 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 920 | 8.645e-02 | -9.935518 | 312600 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 921 | 8.645e-02 | -9.941191 | 317238 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 922 | 8.645e-02 | -9.945747 | 321403 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 923 | 8.644e-02 | -9.950631 | 325353 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 924 | 8.644e-02 | -9.955819 | 329126 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 925 | 8.644e-02 | -9.961313 | 332751 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 926 | 8.643e-02 | -9.967107 | 340046 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 927 | 8.644e-02 | -9.971899 | 344142 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 928 | 8.644e-02 | -9.976753 | 350704 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 929 | 8.643e-02 | -9.983311 | 354649 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 930 | 8.644e-02 | -9.988560 | 355295 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 931 | 8.643e-02 | -9.993512 | 363550 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 932 | 8.643e-02 | -9.999732 | 369751 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 933 | 8.644e-02 | -10.000621 | 374530 | 0.000274 | -0.000010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Solver Exit | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| All convergence criteria satisfied. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table><tr><th>Convergence Field</th><th>Value</th><th>Criterion</th><th>Converged</th></tr><tr><td>rms[Pho]</td><td>-10.0051</td><td>< -101</td><td>Yes</td></tr></table> | | | | | | Convergence Field | Value | Criterion | Converged | rms[Pho] | -10.0051 | < -101 | Yes | | | | | | | | |
| Convergence Field | Value | Criterion | Converged | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| rms[Pho] | -10.0051 | < -101 | Yes | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table><tr><th colspan="3">File Writing Summary</th><th>Filename</th></tr><tr><td>ISL2 binary restart</td><td colspan="2"></td><td>irestart_flow.dat</td></tr><tr><td>Paraview</td><td colspan="2"></td><td>flow.vtu</td></tr><tr><td>Paraview surface</td><td colspan="2"></td><td>isurface_flow.vtu</td></tr></table> | | | | | | File Writing Summary | | | Filename | ISL2 binary restart | | | irestart_flow.dat | Paraview | | | flow.vtu | Paraview surface | | | isurface_flow.vtu |
| File Writing Summary | | | Filename | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ISL2 binary restart | | | irestart_flow.dat | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Paraview | | | flow.vtu | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Paraview surface | | | isurface_flow.vtu | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fig. 3 해석 결과

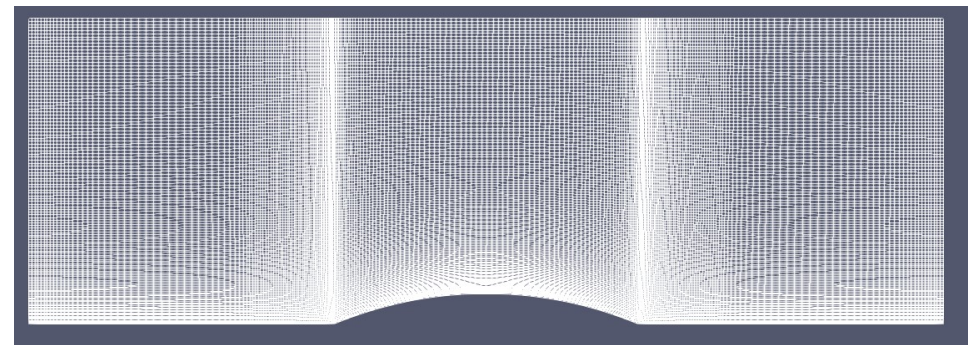


Fig. 4 해석 격자 (전체)

*본 해석은 Open AI, Chat GPT의 도움을 받아 해석되었습니다.

1. 2D_Bump 해석 결과

❖ SU2 해석 결과 (Pressure)

본 해석은 2D 상에서의 날개의 Bump의 효과를 압축성, Euler 해석을 통해 시각적으로 표현함.

Fig. 3 (Pressure 분포도) 와, Fig.4 (Pressure Polt) 을 통해 압력장의 공간적, 정량적 특성을 확인함.

1. Bump 전방 (Compression)

- 곡률로 인해 유동이 수축되면서 국소 정압이 상승함.
- 이는 오일러 방정식의 압축성 항과 연계되어, 유동이 곡면을 따라 휘어질 때 운동량 변화에서 압력의 증가로 이어짐.

2. Bump 상부 (Expansion)

- Bump 형상으로 인해 유로가 넓어지면서 유동이 가속되고 압력이 저하됨.
- 압축성 유동에서는 등엔트로피 관계식으로 설명이 가능하며, 국소 마하수 증가가 곧 정압 감소로 이어진다.
- 이로 인해 Bump 중앙부에서는 자유류보다 낮은 수준의 저압대가 형성됨.

3. Bump 후방 (Recovery + Adverse Pressure Gradient)

- Bump 후방부에서는 압력이 다시 상승되는 경향을 보임.
- Bump 전방과는 달리, 후방부에서는 불완전한 압력 회복이 존재하며, 이는 곧 불균일한 압력분포와 연결됨.
- 이 구간에서는 Adverse Pressure Gradient (역압력 구배)가 형성되며, 실제 점성 해석 시에는 경계층 박리 (Separation) 으로 이어질 수 있음.

4. Bump의 효과

- 'Bump는 충격파 근처에 설치됨으로써 압축파로 분산시켜 충격파에 의한 박리를 지연시키므로 항력을 감소시키는 효과를 가진다.' [1]

5. 정리

| 구간 | 압력 변화 | 원인 해석 | 공학적 의미 |
|--------------------|---------------|---------------------------|------------------------|
| 전방 (Compression) | 압력 상승 | 곡률로 인한 운동량 변화 | 충격파 전단의 전형적 압축 구간 |
| 상부 (Expansion) | 강한 저압대 형성 | 유로 확대, 국소 마하수 증가 | 양력 발생 가능/ 구조물 부하 영향 |
| Bump 후방 (Recovery) | 불완전 회복 | Adverse Pressure Gradient | 압력항력 발생, 점성 해석 시 박리 위험 |
| Bump 전체 | 저압 - 고압 분포 반복 | Euler 방정식, 엔트로피 관계 | 형상 최적화 및 항력 감소 연구에 필수 |

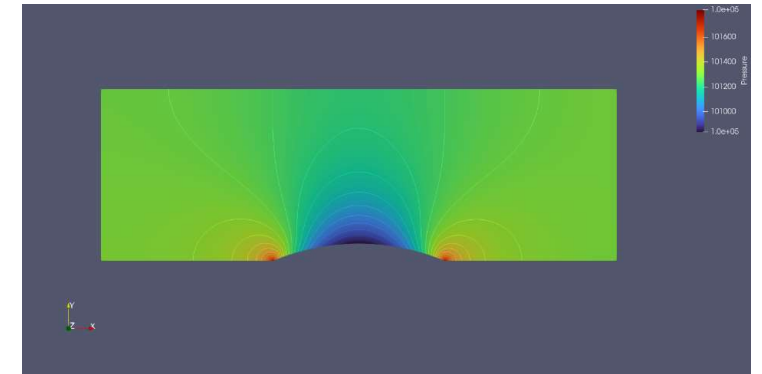


Fig. 5 Pressure 분포도

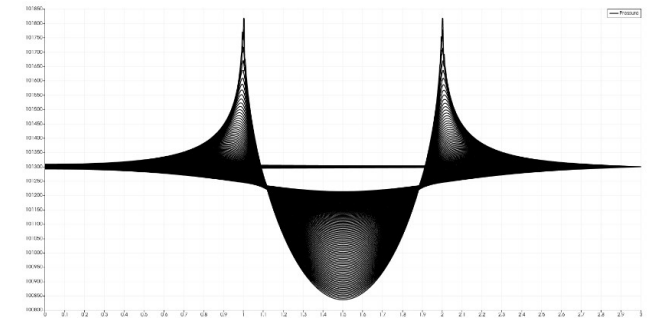


Fig. 6 Pressure Polt data

Ref:
[1] : 부산대학교 항공우주공학과, 구가람 (4), 임계마하수 향상을 위한 천음속 익형 해석 및 Bump 설계,
<https://www.koreascience.kr/article/CFKO201428433154748.pdf>

1. 2D_Bump 해석 결과

❖ SU2 해석 결과 (Mach, C_p)

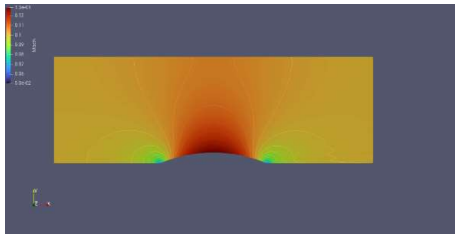


Fig. 7 Mach 분포도

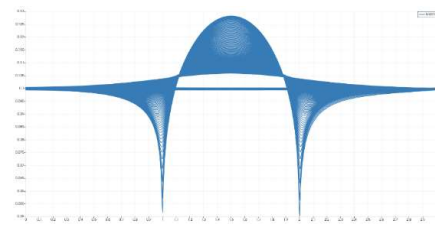


Fig. 8 Mach Polt data

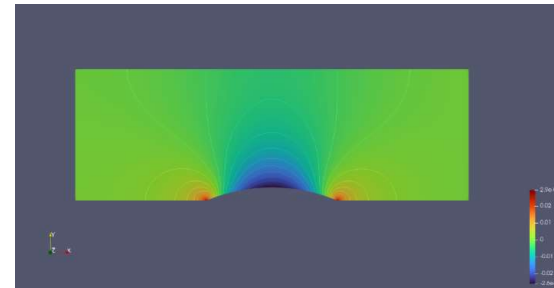


Fig. 9 Cp 분포도

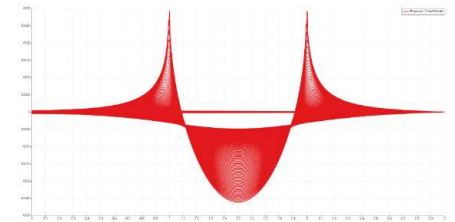


Fig. 10 Cp Plot data

➤ Mach 해석 결과

- 압력 분포에서 관찰된 저압대는 등엔트로피 관계에 의해 국소 마하수 증가로 이어지며, bump 정상부에서 속도 극대화를 야기함.
- 후방에서는 역압력 구배로 인해 감속 구간이 나타남.

➤ C_p 해석 결과

- 압력 분포를 무차원화 하면, 정상부에서 C_p 의 음의 피크가 발생하며, 이는 강한 흡입력을 의미함.
- 후방에서는 불완전 회복으로 곡선이 닫히지 않아 압력항력 성분으로 작용함.

2. 3D_oneraM6 해석 격자 조건

❖ 해석 격자 조건 (Case #2 3D_Onera M6)

➤ 본 해석(예제)에서는 다음과 같은 해석 격자 조건을 적용 :

- NDIME = 3
 - NELEM = 582752

해석 차원: 3차원
격자(Cell) 수: 582752 (개)
- SOLVER = EULER
 - MACH_NUMBER = 0.88
 - AOA = 0.2
 - FREESTREAM_PRESSURE = 101325.0
 - FREESTREAM_TEAMPERATURE = 288.15

참조 공식(Equation) = Euler (오일러)
속도 = 마하 0.88 (마크넘버 0.88)
받음각 = 0.2 (도)
Freestream 압력 = 101325.0
Freestream 온도 = 288.15 (k)
- MARKER_EULER= (UPPER_SIDE, LOWER_SIDE, TIP)
 - MARKER_FAR= (XNORMAL_FACES, ZNORMAL_FACES, YNORMAL_FACE)
 - MARKER_SYM= (SYMMETRY_FACE)
 - MARKER_PLOTTING= (UPPER_SIDE, LOWER_SIDE, TIP)
 - MARKER_MONITORING= (UPPER_SIDE, LOWER_SIDE, TIP)
- MESH_FILENAME= mesh_ONERAM6_inv_ffd.su2

*해당 결과는 124번째 해석, 소수점 12자리 이하에서 C_l 0.019913, C_D 0.004949 으로 수렴이 완료 됨.

*본 해석은 Open AI, Chat GPT의 도움을 받아 해석되었습니다.

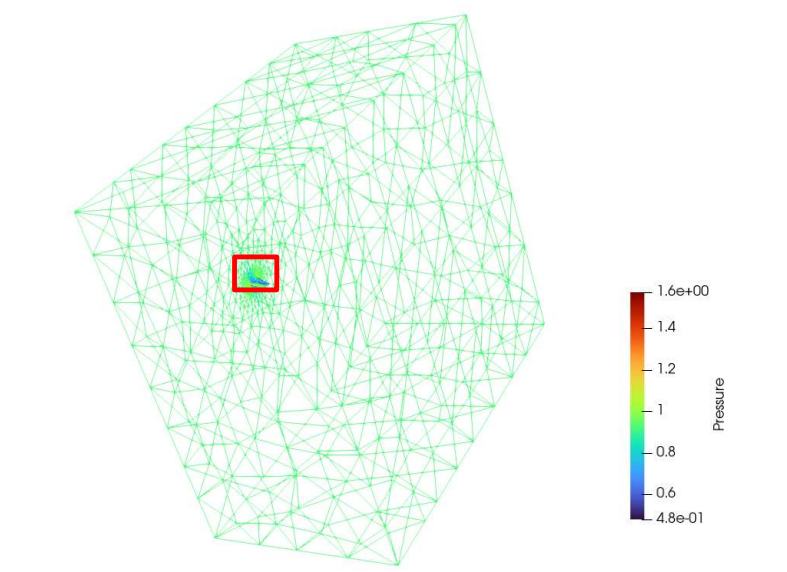


Fig. 11 해석 격자 (전체)

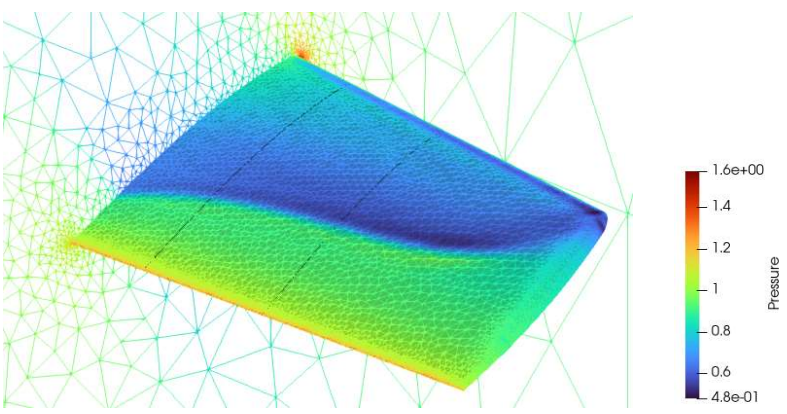


Fig. 12 해석 격자 (전체)

2. 3D_oneraM6 해석 결과

❖ SU2 해석 결과 (Pressure)

본 해석은 NACA0012 Airfoil 을 대상으로 압축성 Euler 해석을 수행한 결과이다.

Fig. 10 (Pressure 분포도) 와, Fig.11 (Pressure Polt) 을 통해 압력장의 공간적, 정량적 특성을 확인하였다.

1. 전방 (Leading Edge, Root 부근)

- 곡률이 큰 root 인근에서 유동이 급격히 휘어지며 가속하며 저압대를 형성함.
- 이는 날개 부근의 국소 마하수 상승과 연결되며, 전형적인 Transonic 압축성 효과가 관찰됨.

2. 중앙부(Mid Span)

- 압력이 비교적 안정적이며, root 대비 저압 피크가 약함.
- 이는 날개 전연부에서 root-tip 방향으로 점차 압력 구배가 분산되는 결과임.

3. 후방(Trailing edge)

- 압력 회복이 일어나지만, 대칭적이지 않음.
- 불완전 회복은 압력항력 성분으로 이어질 수 있음.

5. 정리

| 구간 | 압력장 특징 | 공학적 의미 |
|--------------------|------------|------------------|
| 전방 (Root – L.E) | 강한 저압 피크 | 국소 가속, 충격파 발생 가능 |
| 중앙부 (Mid-Span) | 완만한 압력 분포 | Root 대비 안정된 유동 |
| 후방 (Trailing edge) | 압력 회복(불완전) | 압력항력 증가 요인 |

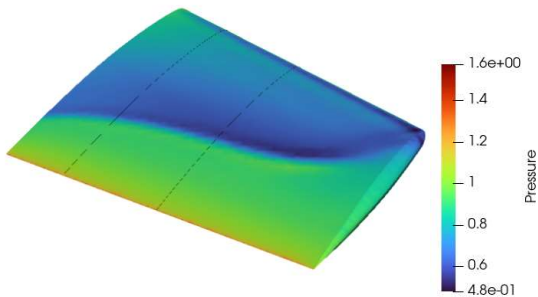


Fig. 13 Top view

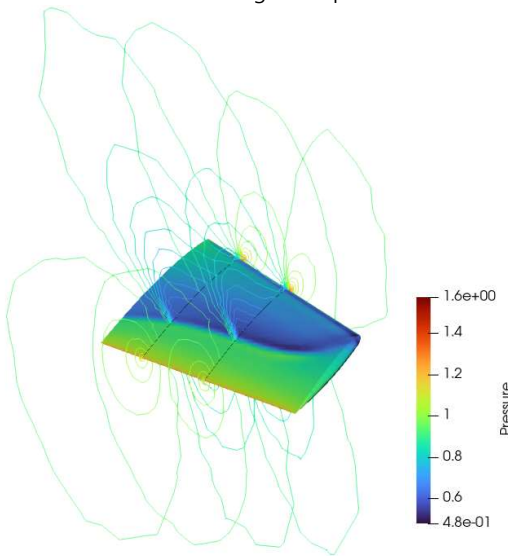


Fig. 14 Pressure 분포도

2. 3D_oneraM6 해석 결과

❖ SU2 해석 결과 비교 (Pressure)

➤ 시점에 따른 해석 결과 비교

- 시점에 따른 해석 결과 비교 (Bottom)

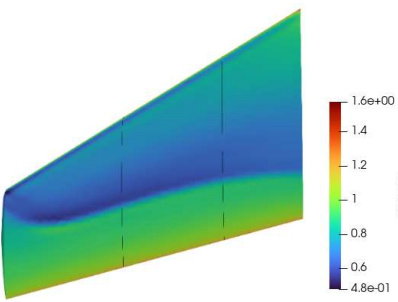


Fig. 15 Bottom view

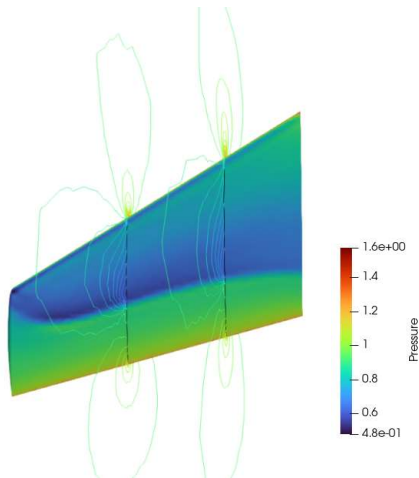


Fig. 16 Pressure 분포도

- 시점에 따른 해석 결과 비교 (Root)

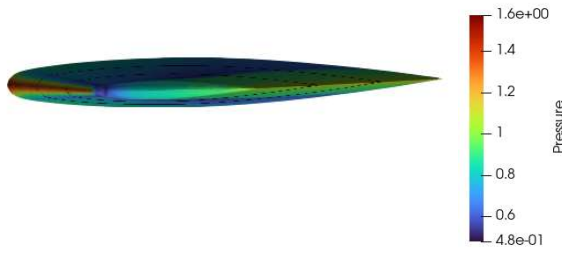


Fig. 17 Root view

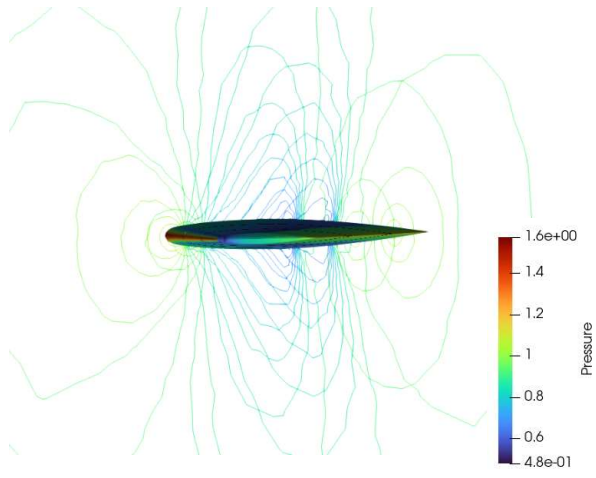


Fig. 18 Pressure 분포도

- 시점에 따른 해석 결과 비교 Wing tip



Fig. 19 Wing tip view

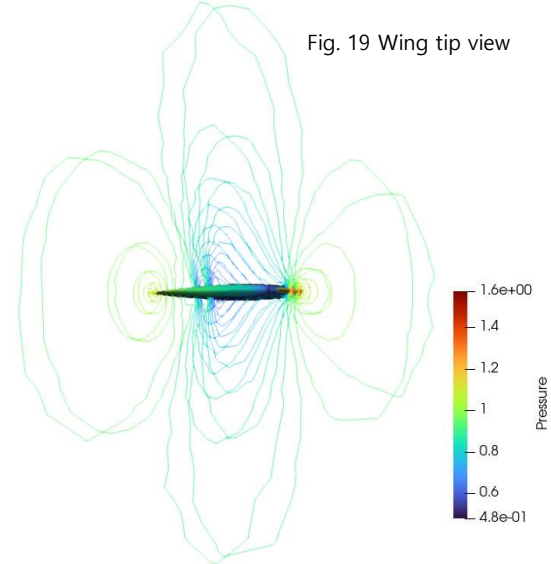


Fig. 20 Pressure 분포도

감사합니다

자세한 사항은 Git hub를 참조해 주시면 감사하겠습니다.
링크:https://github.com/Bogeuns/CFD_Class_Lecture.git