

## Ex0401 : 고유진동수 해석

### 개요

#### 고유진동수 해석의 필요성

- 액츄에이터에 의해 가진되는 시스템의 안정성을 위해. (고유진동수와 가진 주파수를 피해준다.)
- 선형 버클링 현상 예측. (시스템이 충격을 받을 때 좌굴되는 양상의 예측 및 취약 지점 파악)
- 어쿠스틱 특성이 중요한 시스템. (악기, 스피커 등)

### 순서

- 우선 단일 파트 3D 모델을 준비한다.
- Mesh를 생성한다.
- 물성치, 경계조건 등을 정의한다.
- 해석 수행.
- 결과 가시화.

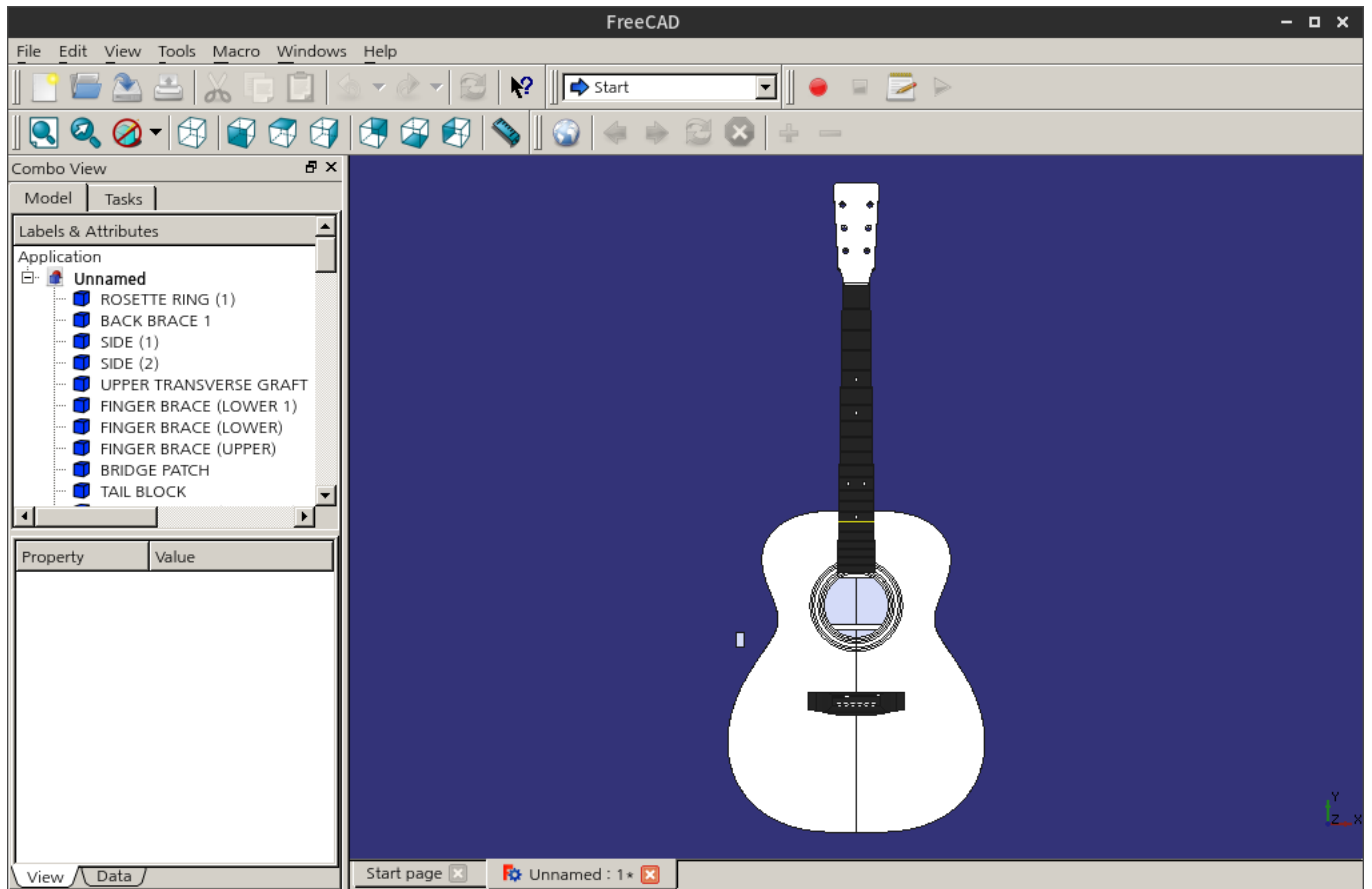
### 통기타 상판의 고유진동수 해석해 보기

- 본 예제에서는, 통기타 상판 부품의 고유진동수를 파악해서 물리적 의미를 찾아본다.
- 통기타 모델링 데이터는 GrabCad.com에 공개된 것을 사용하였다. (  
<https://grabcad.com/library/acoustic-guitar-step-file-1> (<https://grabcad.com/library/acoustic-guitar-step-file-1>) )
- 이와 같은 종류의 해석을 수행한 좋은 참고 (바이올린 해석 사례) : <http://violin-analysis.com/index.html> (<http://violin-analysis.com/index.html>)

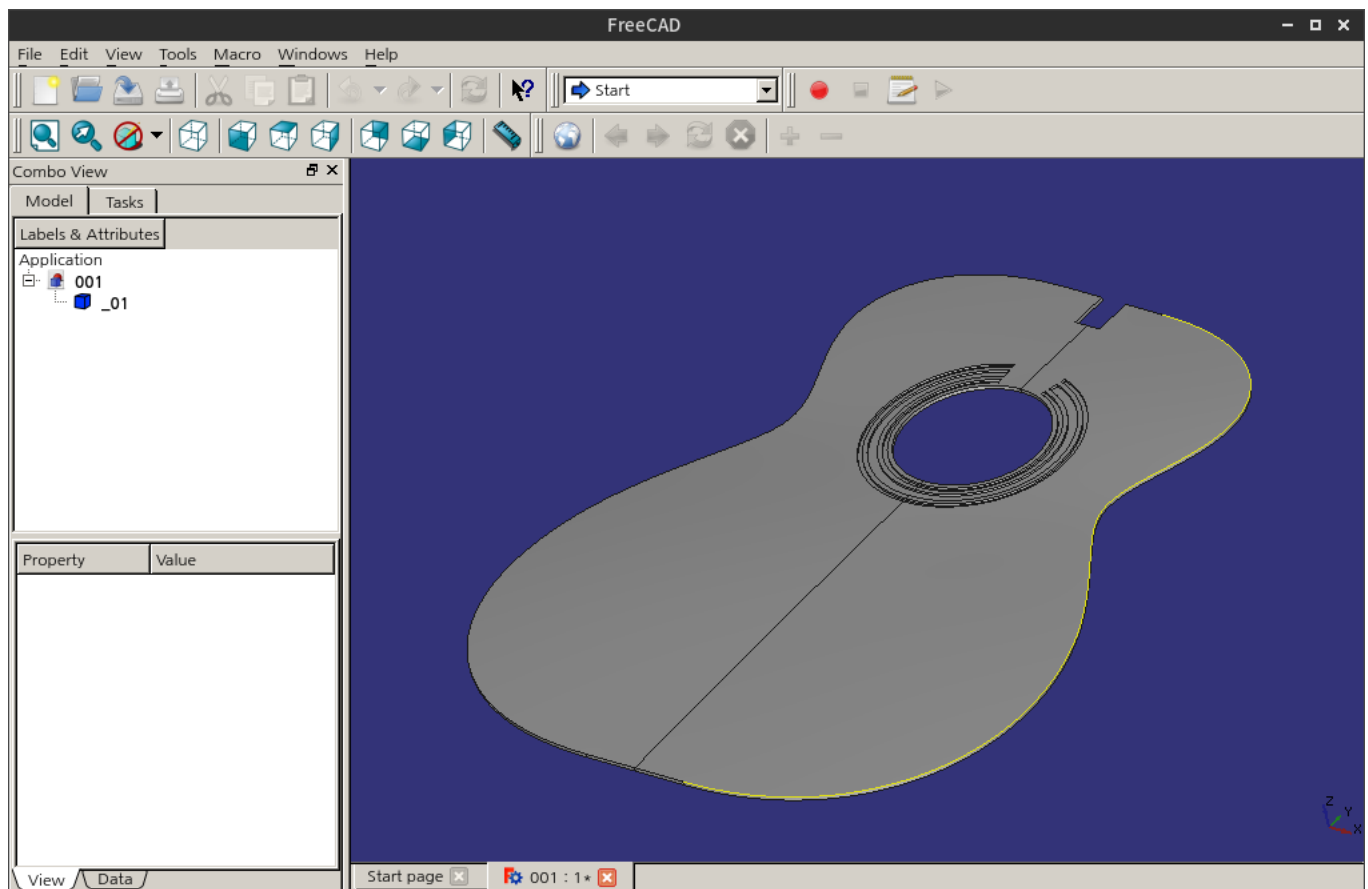
### CAD

- <https://grabcad.com/library/acoustic-guitar-step-file-1> (<https://grabcad.com/library/acoustic-guitar-step-file-1>) : 이곳에서 데이터를 내려받는다.
- 내려받은 .step 파일을 CAD로 열어보면 전체 통기타의 자세한 어셈블리가 모두 구성되어 있음을 알 수 있다.
- 그러나 통째로 해석하기에는 너무 부담이 크기 때문에, 상판 부품만 따로 떼어서 해석해 보자.

## FreeCAD로 .step 파일을 불러들인 모습.

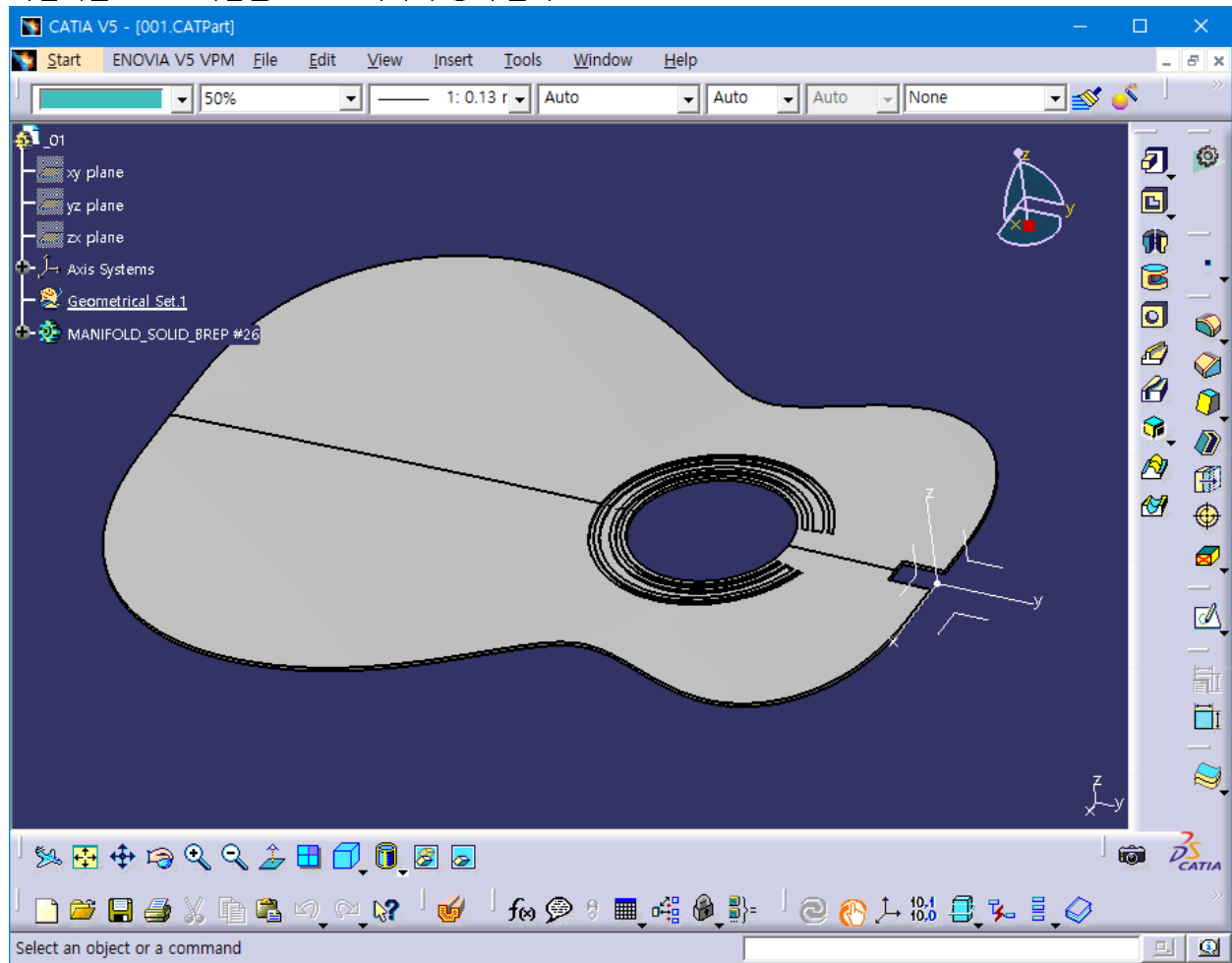


상판 부품만 따로 떼어내서 별도로 저장하자.



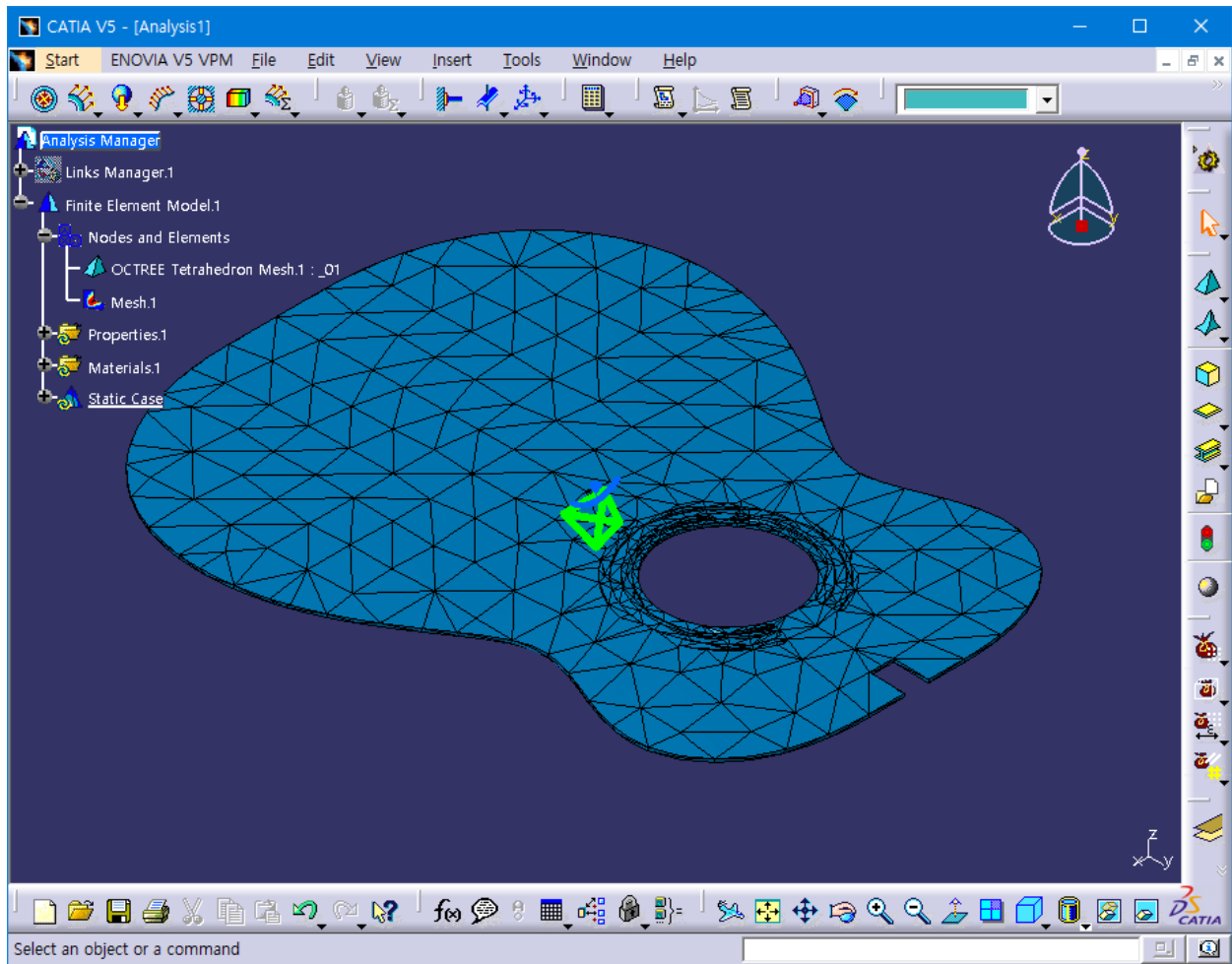
## CATIA에서 불러들이기

- 이번에는 Mesh 작업을 CATIA에서 수행해 본다.



## CATIA Generative Structural Analysis에서 Mesh 생성.

- CATIA의 Mesh 생성 기능은 잘 튜닝되어 있어, 세밀한 까다로운 형태의 모델도 잘 뭉개서(?) Mesh를 에러 없이 만들어내 준다.

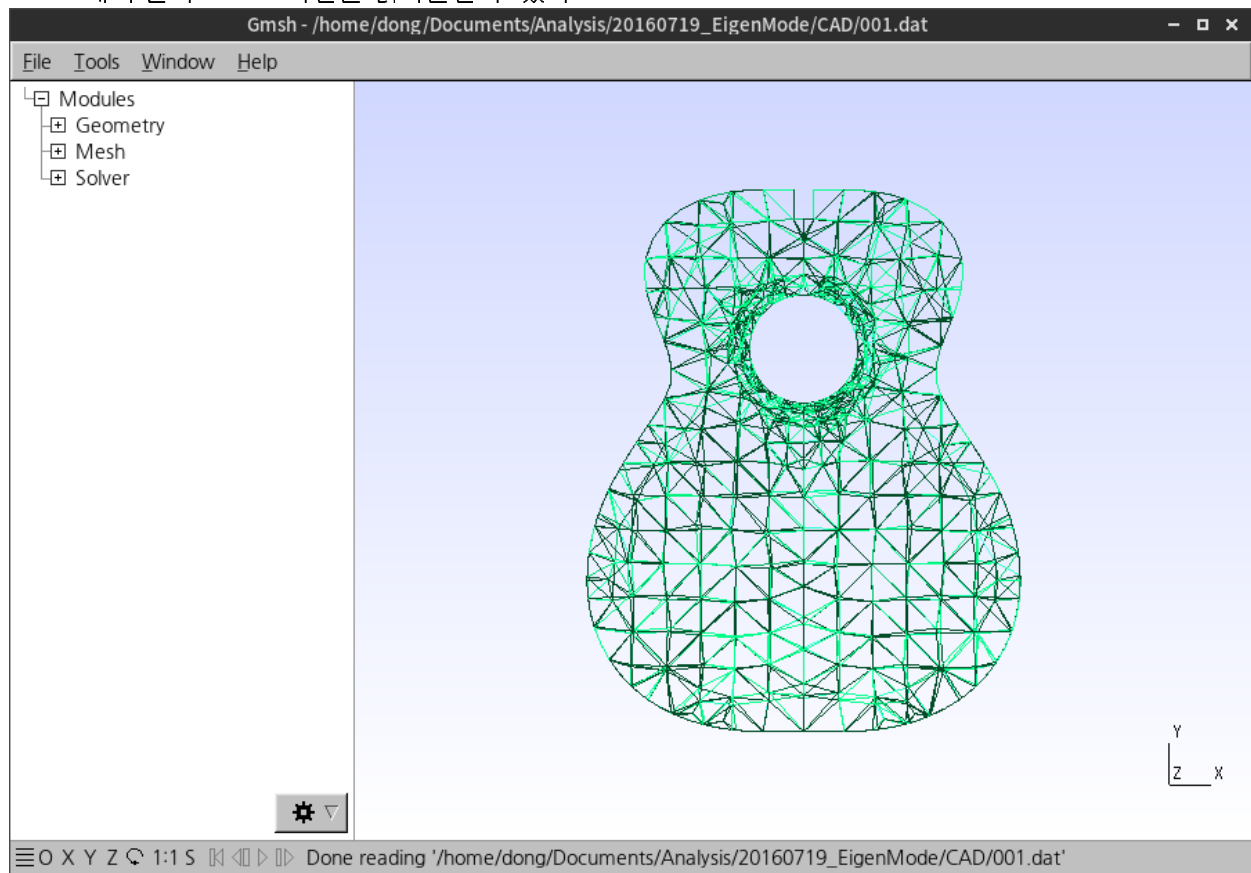


## Export Mesh

- CATIA에서는 Mesh를 별도 파일로 저장(Export)할 수 있다.
- Export Mesh 버튼은 Advanced Meshing Tools에 있기 때문에, 전환해서 Export Mesh 버튼을 눌러준다.
- 포맷은 .dat로 선택한다.

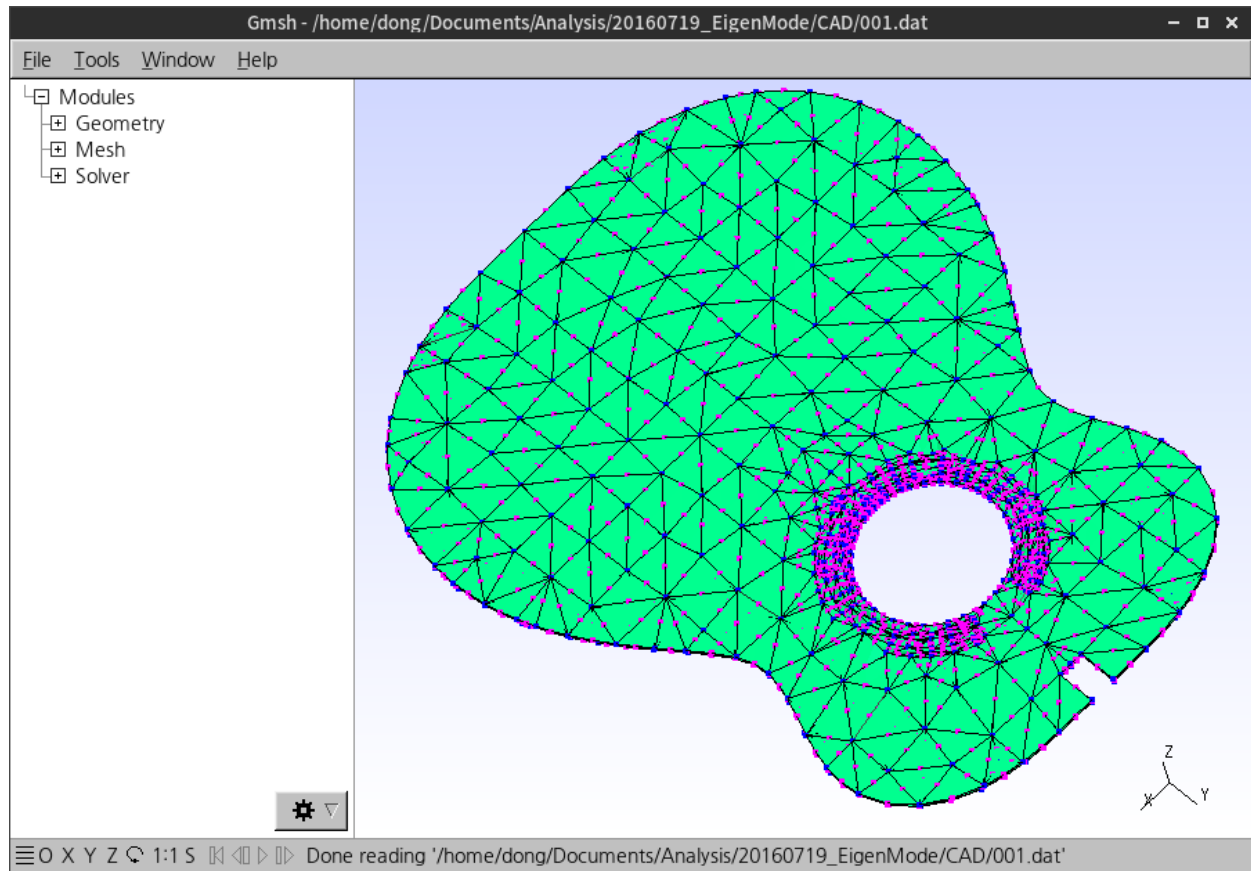
## Gmsh에서 .dat 파일 읽어들이기

- Gmsh에서 곧바로 .dat 파일을 읽어들이 수 있다.



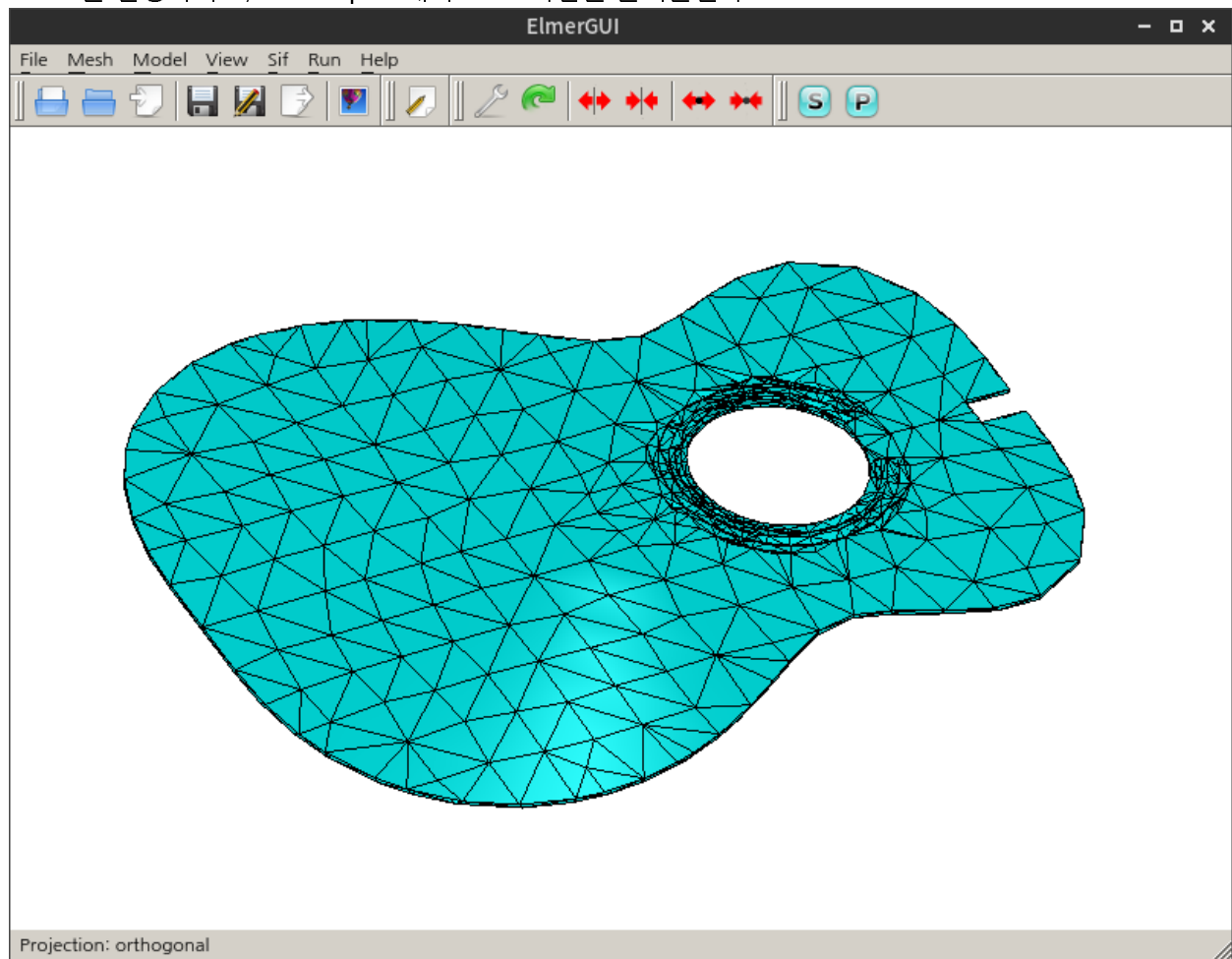
## Mesh 관찰 및 .msh 파일로 저장

- 2nd Order Edge로 잘 형성되어 있음을 확인한다.
- File - Save Mesh 메뉴를 선택해서 .msh 파일을 생성한다.



## ElmerGUI에서 읽어들이기

- Elmer를 실행시키고, File - Open 해서 .msh 파일을 불러들인다.

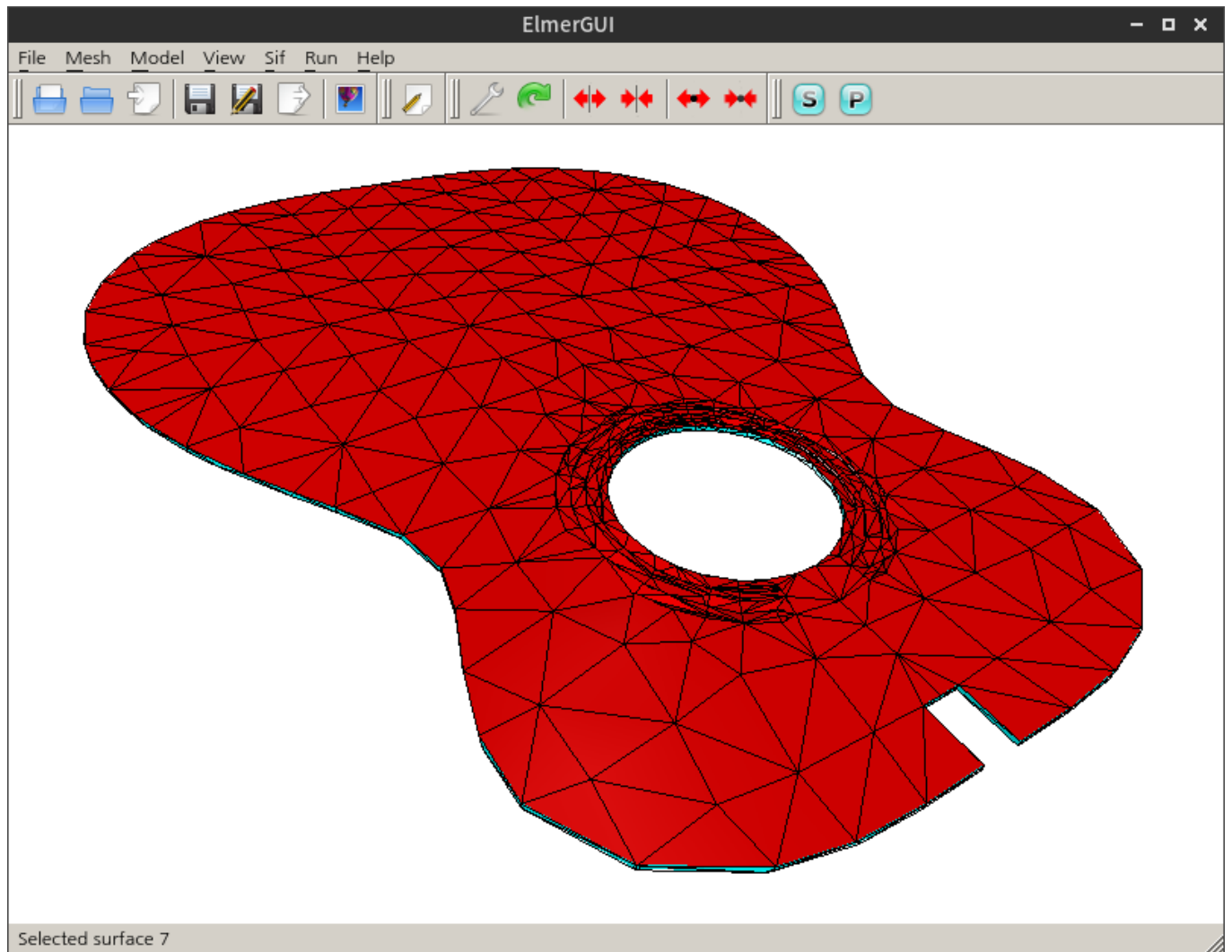


## Surface 분할하기

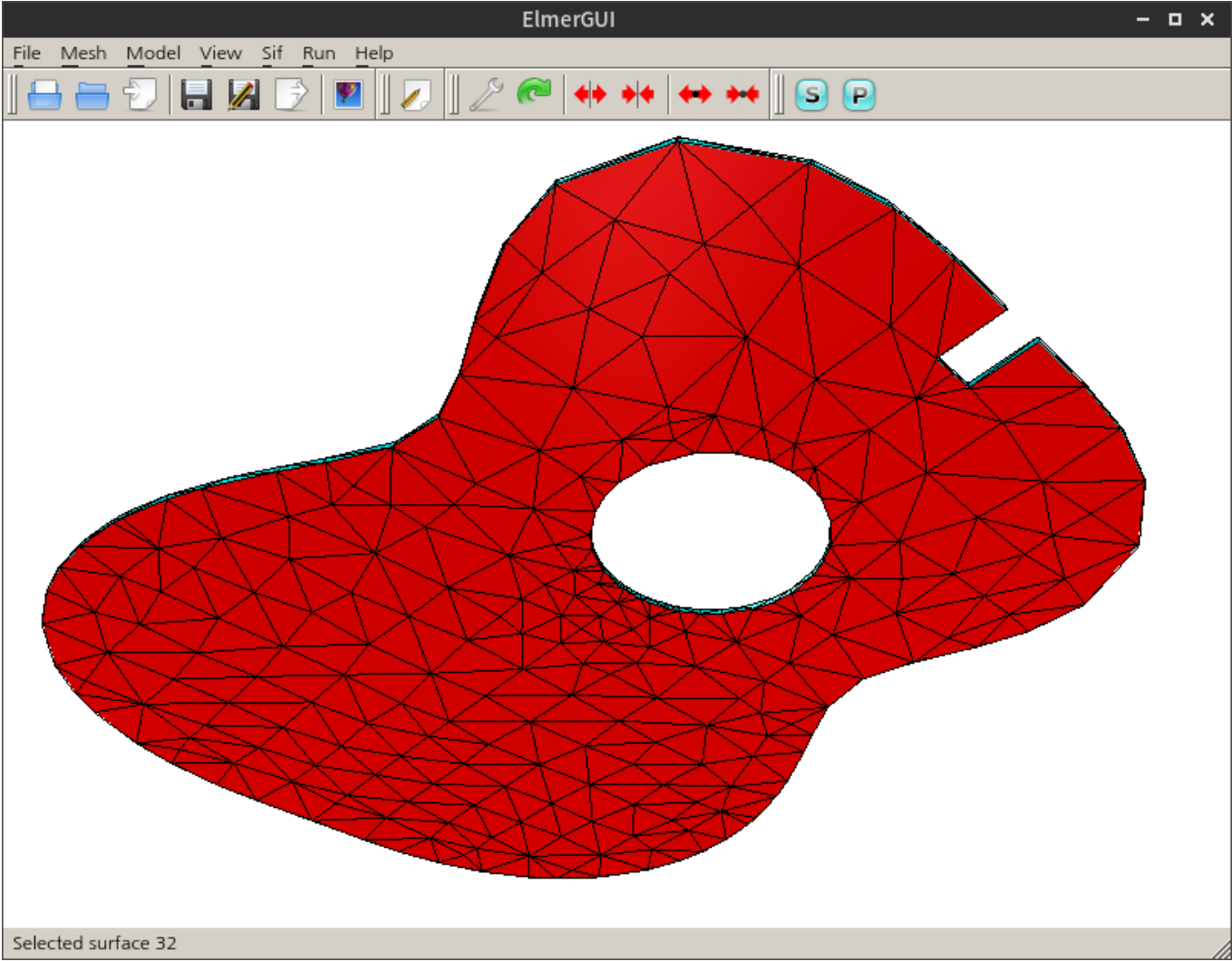
- 읽어들이는 Mesh는 Surface가 전혀 분할되어 있지 않기 때문에, ElmerGUI 상에서 수동으로 작업해 준다.
- Mesh 메뉴 안의 Divide Surface, Unify Surface 메뉴를 활용해서 작업한다.
- 여기서는 아래와 같이 분할하였다.



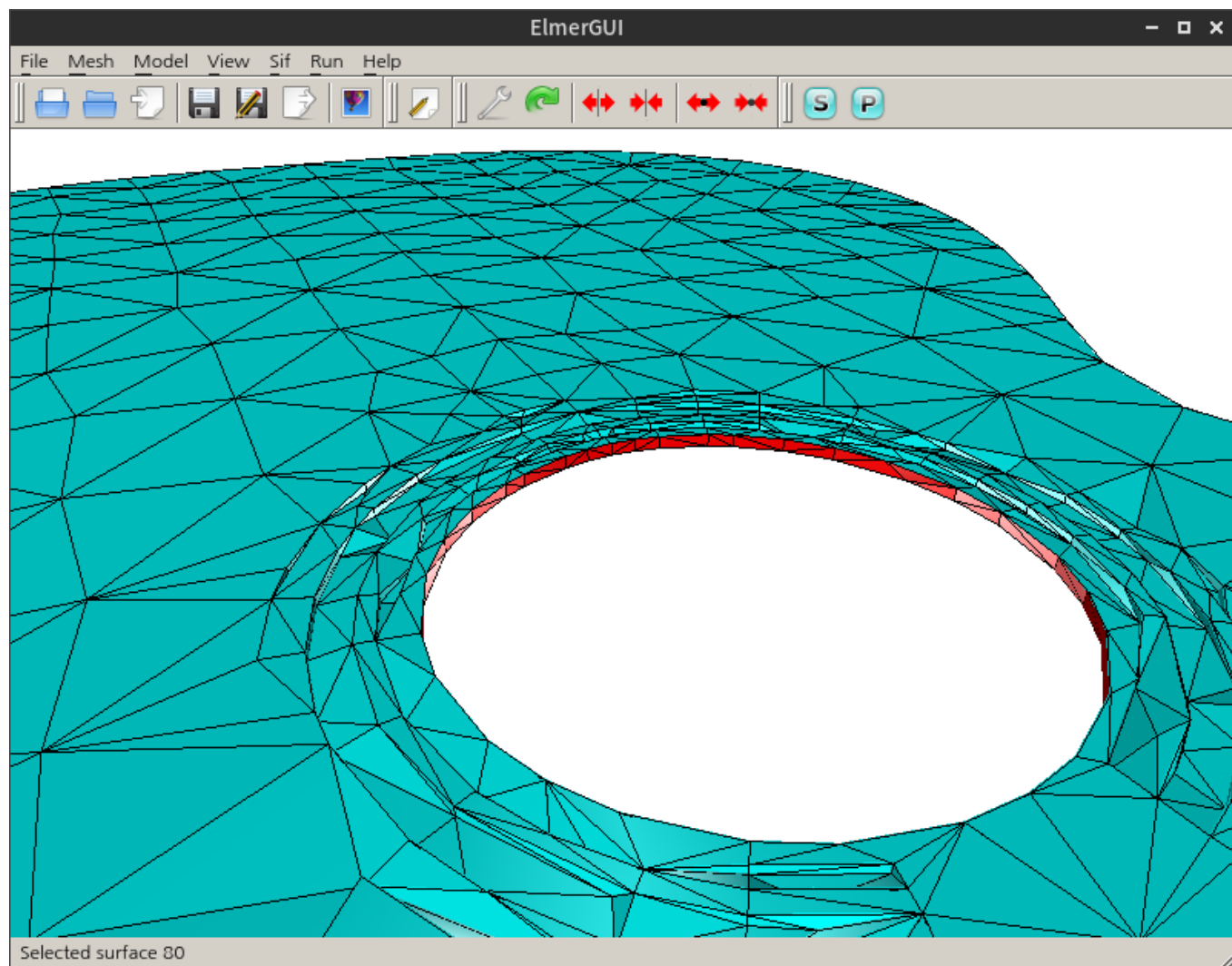
## 상면



하면

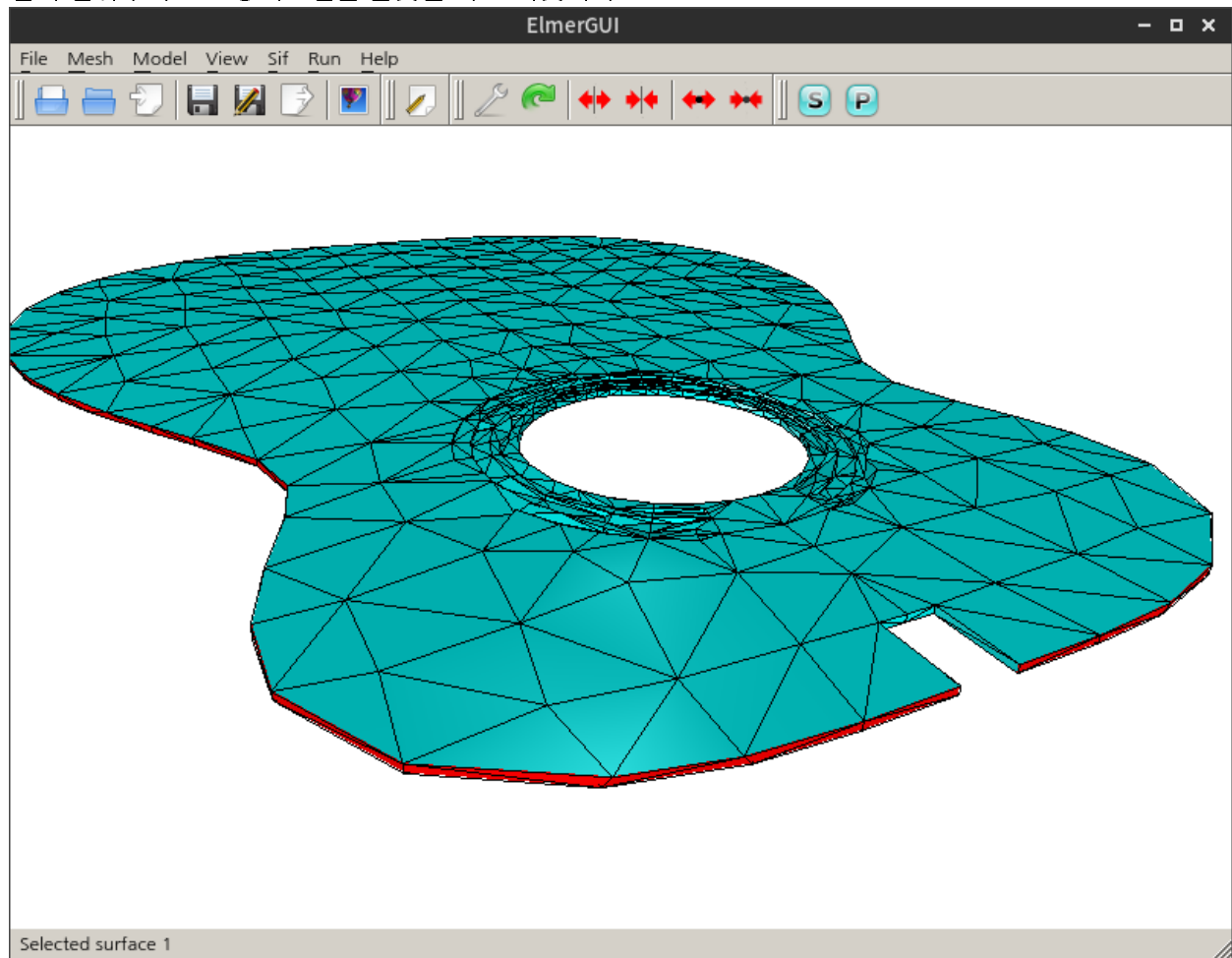


## 내측면

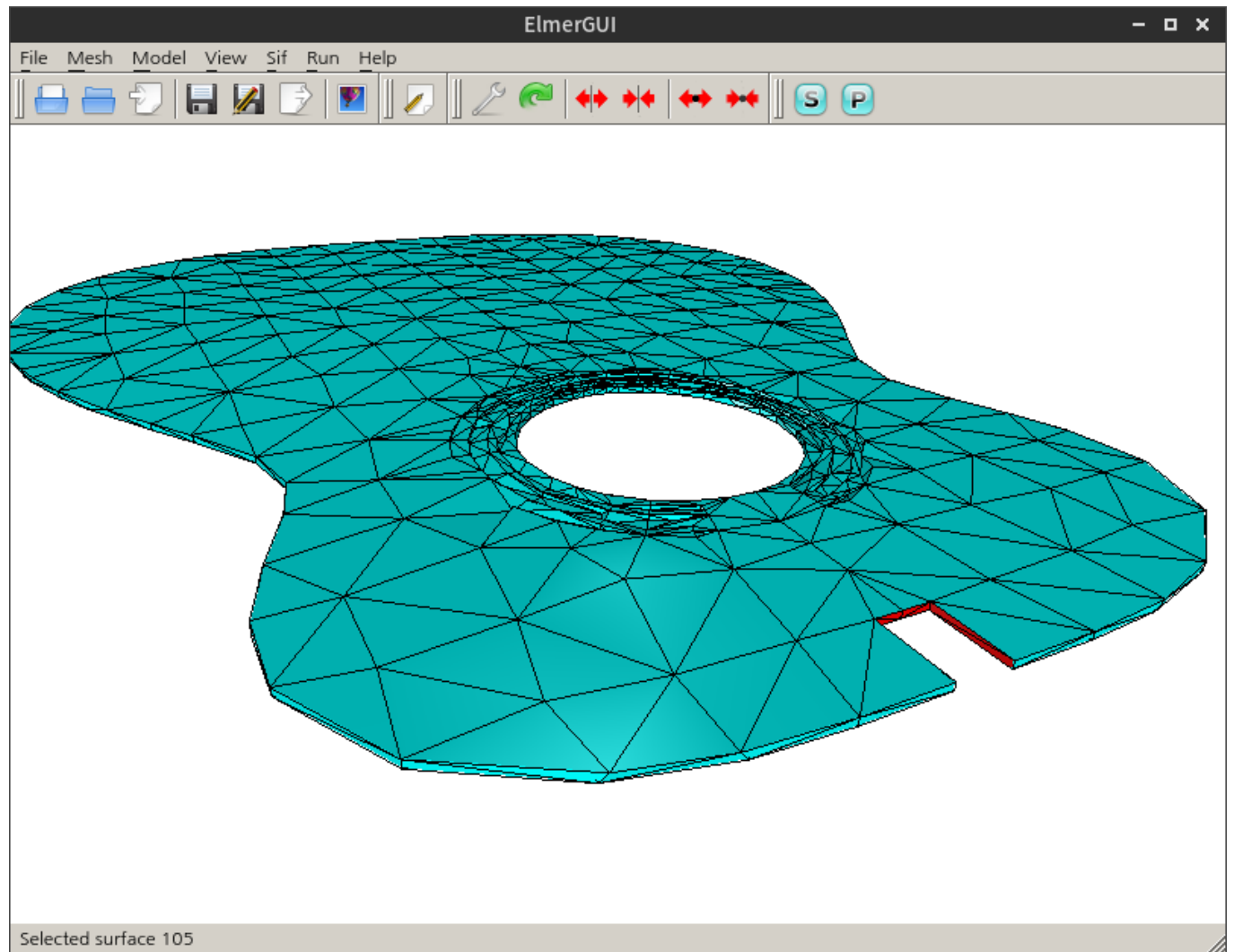


## 외측면

- 실제 변위구속으로 경계조건을 줄곳은 바로 이곳이다.



## 기타



## Model 메뉴에서 셋팅하기

- 우선 Setup에서 Coordinate Scaling을 해 준다. (mm 에서 m 단위로 변환)

Setup

Header

☒ Check keywords warn

MeshDB

Include path

Results directory

Free text

Simulation

Max. output level

5

Steady state max. iter

1

Coordinate system

Cartesian

Timestepping method

BDF

Coordinate mapping

1 2 3

BDF order

1

Simulation type

Steady state

Timestep intervals

Output intervals

1

Timestep sizes

Solver input file

case01.sif

Post file

case01.ep

Free text

Coordinate Scaling = Real 0.001

Constants

Gravity

0 -1 0 9.82

Boltzmann

1.3807e-23

Stefan Boltzmann

5.67e-08

Unit charge

1.602e-19

Vacuum permittivity

8.8542e-12

Free text

Apply

## Equation - Linear Elasticity

- 그림과 같이 체크해 준다.

**Equation**

Gradient | Electrostatics | **Linear elasticity** | Vorticity

**Activate for this equation set**

Active ☒

**Give Execution priority**

Priority

**Options**

Calculate Stresses ☒

Plane Stress ☒

**This and that**

Element Codes

**Free text input**

Apply to bodies:

☒ Body 1

Edit Solver Settings

Name:

New Update OK Remove

## Equation - Linear Elasticity - Edit Solver Setting

- 반드시 Eigen Analysis를 체크해 주고, 몇차 모드를 해석할 것인지 적어준다.
- Load 및 Stress는 체크해 줘도 되고 안해도 된다. 데이터를 굳이 얻어내고 싶다면 체크해 주면 된다.

**Solver control for Linear elasticity**

Solver specific options | General | Steady state | Nonlinear system | **Linear system** | Parallel

Procedure: "StressSolve" "StressSolver"

Variable: Displacement(cdim)

**Additional Variables**

Exported Variable 1:

**Miscellaneous options**

Calculate Loads: ☒

Calculate Stresses: ☒

**Eigen system solution**

Eigen Analysis: ☒

Stability Analysis: ☐

Geometric Stiffness: ☐

Eigen System Values: 1

Eigen System Select: Smallest magnitude

Eigen System Shift:

Eigen System Damped: ☐

Eigen System Compute Residuals: ☐

**Harmonic system solution**

Harmonic Analysis: ☐

Frequency:

Apply



- 그리고, Linear System 탭에 들어가서 Solver Method를 바꿔본다.
- 디폴트로 Iterative Method가 체크되어 있는데, 고유진동수 해석할 때는 이런 반복법이 시간이 너무 많이 소요되기 때문에 Direct Method로 변경하는 것이 낫다. 여기서는 Umfpack을 선택한다. (MUMPS의 경우에는 별도로 설치를 해 줘야 한다.)

**Solver control for Linear elasticity**

Solver specific options | General | Steady state | Nonlinear system | **Linear system** | Parallel

---

**Method**

☒ Direct    Umfpack  
☐ Iterative    BiCGStab  
☐ Multigrid    Jacobi

---

**Control**

Max. iterations: 500  
 Convergence tol.: 1.0e-7  
 Preconditioning: Diagonal  
 ILUT tolerance: 1.0e-3  
 Residual output: 1  
 Prec. recompute: 1  
 BiCGStab order: 2

☐ Abort if the solution did not converge

✔ Apply

## Equation - Result Output

- 체크해서 Paraview로 결과 데이터를 읽어들이 수 있도록 해 준다.

The screenshot shows a window titled "Equation" with three tabs: "Helmholtz Equation", "Result Output", and "Richards Equation". The "Result Output" tab is selected. Inside the tab, there are three sections:

- Activate for this equation set**: Contains a checkbox labeled "Active" which is checked.
- Give Execution priority**: Contains a text input field labeled "Priority" which is empty.
- Free text input**: Contains a large empty text area.

Below these sections, there is a section labeled "Apply to bodies:" with a checkbox labeled "Body 1" which is checked. At the bottom of the dialog, there is a button labeled "Edit Solver Settings" with a wrench icon. Below that is a text field labeled "Name:" containing the text "Equation 1". At the very bottom, there are four buttons: "New" (with a plus icon), "Update" (with a green checkmark icon), "OK" (with a green checkmark icon), and "Remove" (with a red minus icon).

## Material

- 제대로 하려면, 비등방성의 목재 재질로 물성치를 정확히 주는 것이 좋겠으나, 여기서는 간단히 하기 위해 제공되는 재질 중에서 PC 플라스틱을 적용해 보았다.

**Material**

equation | Electrostatics | **Linear elasticity** | K-Epsilon

**Properties**

Youngs modulus: 2.2e9

Poisson ratio: 0.37

Damping coefficient:

Rayleigh Damping: ☐

Rayleigh alpha:

Rayleigh beta:

Stress  $\delta$ -vector:

Strain  $\delta$ -vector:

**Material principal directions**

Rotate Elasticity Tensor: ☐

Unit Vector 1:

Apply to bodies:

☒ Body 1

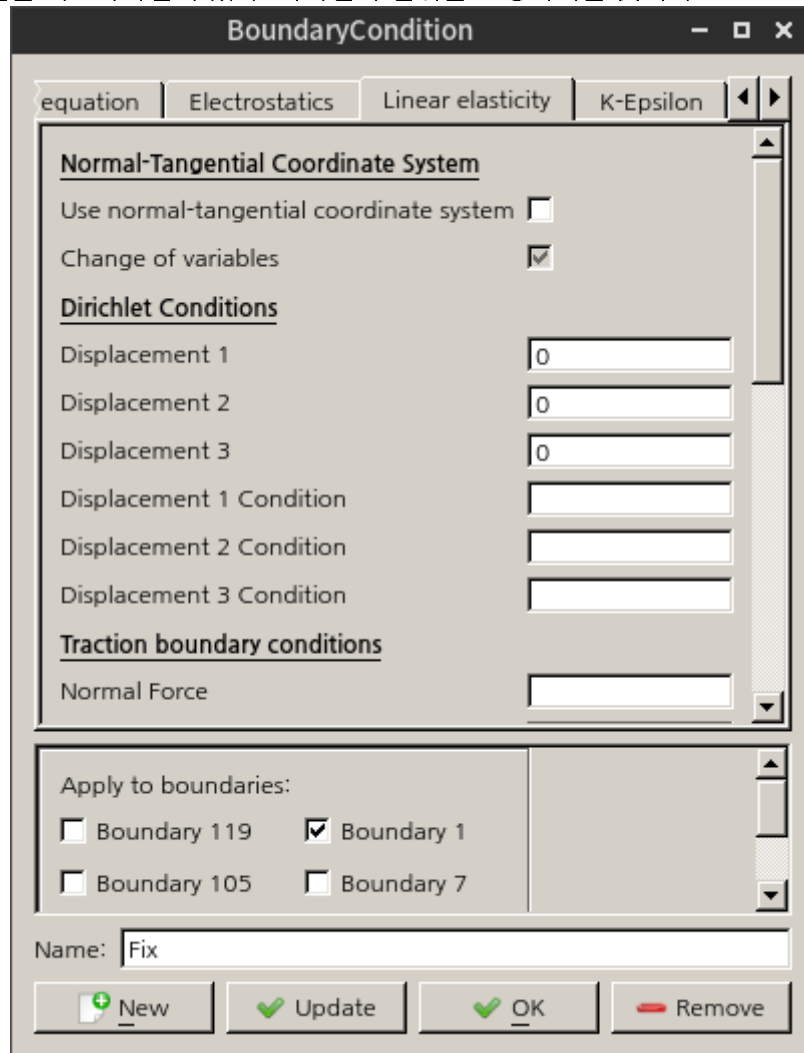
Material library

Name: Polycarbonate (generic)

+ New | ✓ Update | ✓ OK | - Remove

## Boundary Condition

- 여기서는 경계조건을 딱 1가지만 주었다. 외측면의 변위를 고정시키는 것이다.



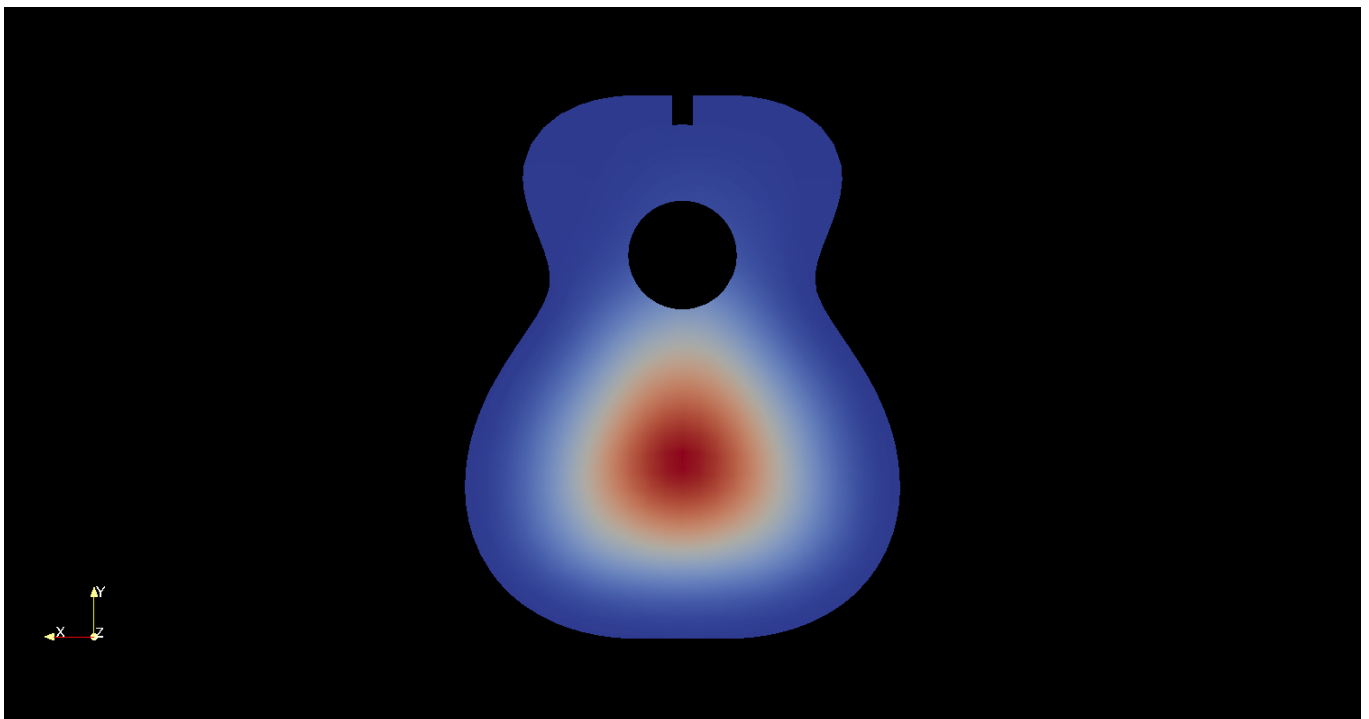
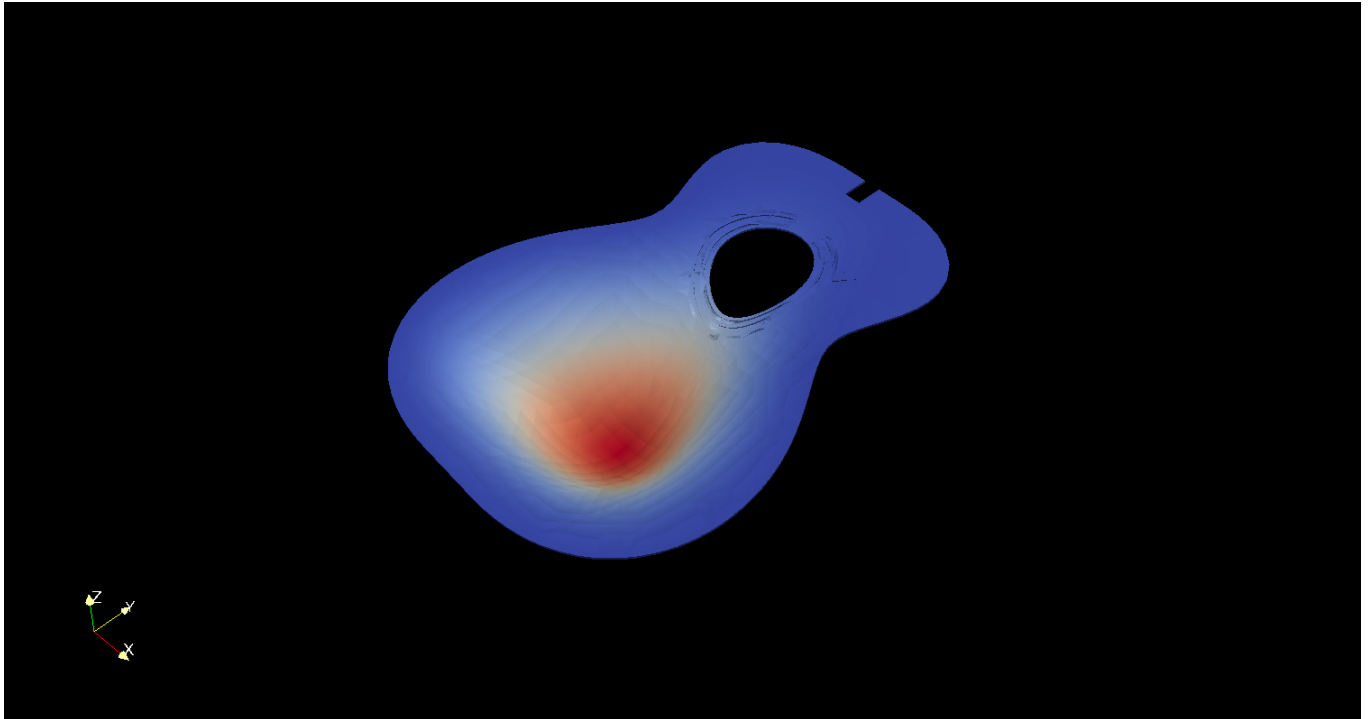
## Run Solver

- 셋팅이 다 되었으면, **sif - Generation** 해 주고, **File - Save Project** 해 준다.
- 이후에 **Run - Start Solver**를 실행한다.

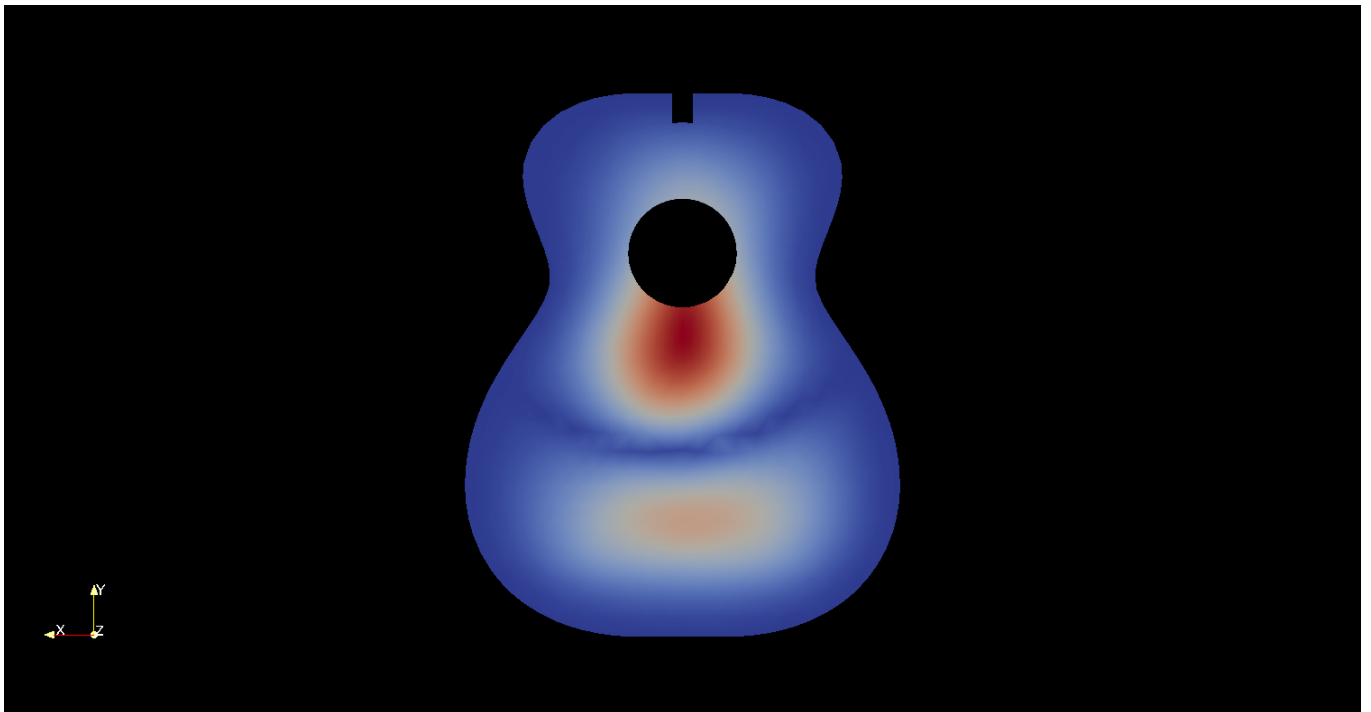
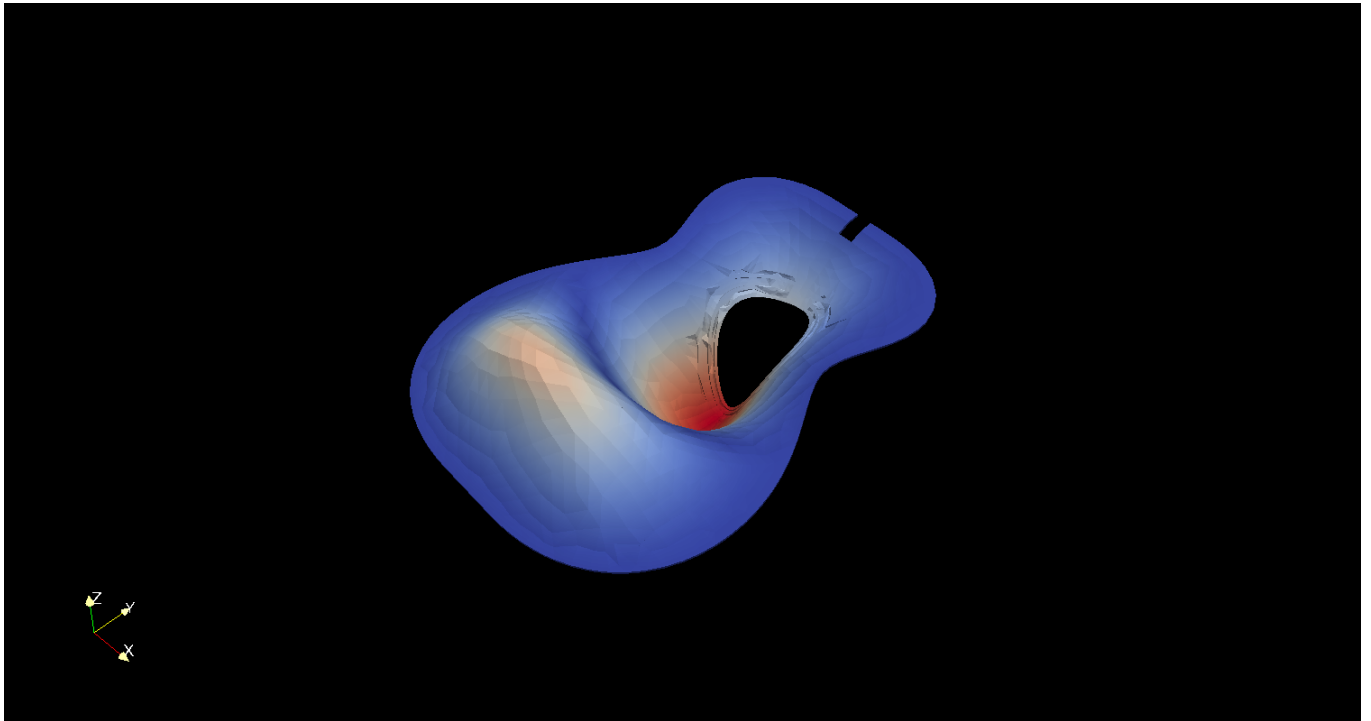
## Paraview에서 결과 데이터 보기

- Paraview에서 결과 데이터를 불러들여 볼 수 있다.
- 여기서는 10차 모드까지 해석해서 나열해 본다. (10개의 모드를 모두 해석하기 위해 간단히 배치 작업을 통해 해석을 수행하였다. 배치 작업 요령은 나중에 별도로 다루기로 한다.)
- 각 모드별 주파수 수치는, 결과 텍스트에 뜬다. 이것을 텍스트 파일로 저장해서 보관하도록 한다.
- 모드별 주파수 수치는, 0.001을 곱해서 스케일링을 해 주면 Hz 단위의 주파수를 얻을 수 있다.

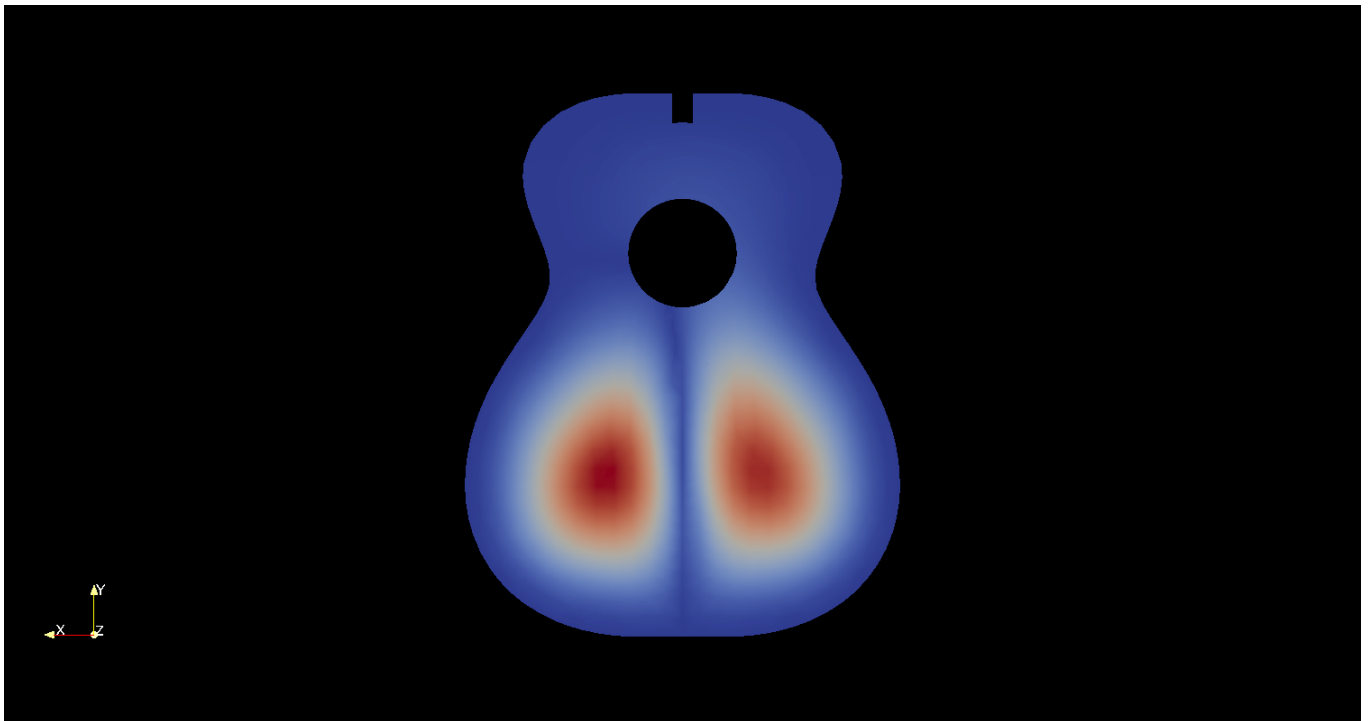
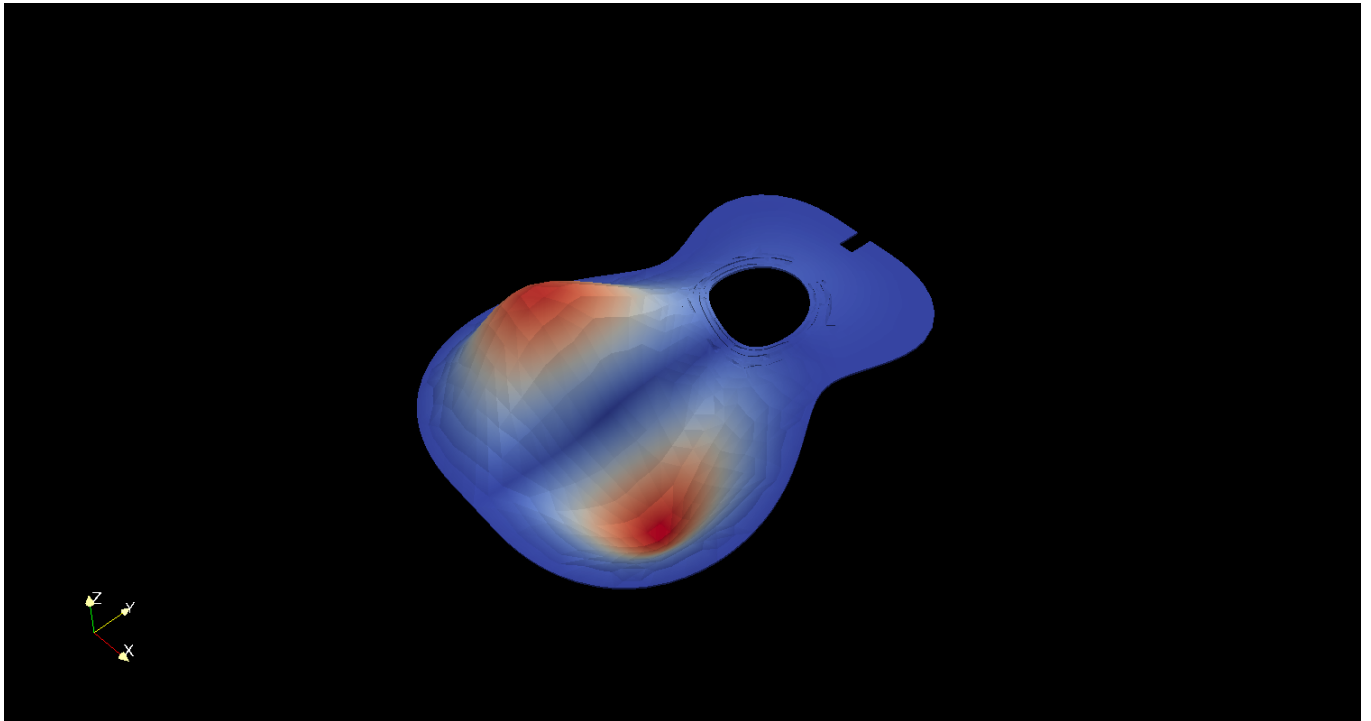
1차 모드 : 2.212950E+02 Hz



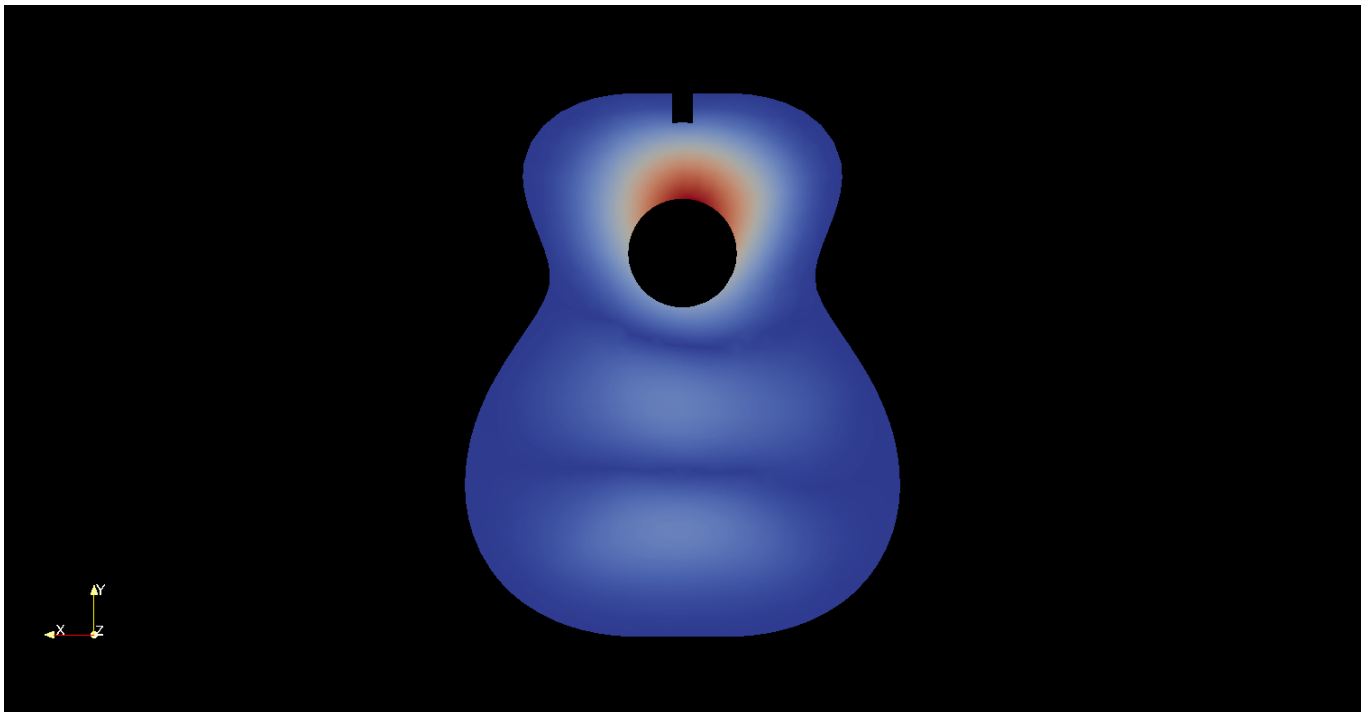
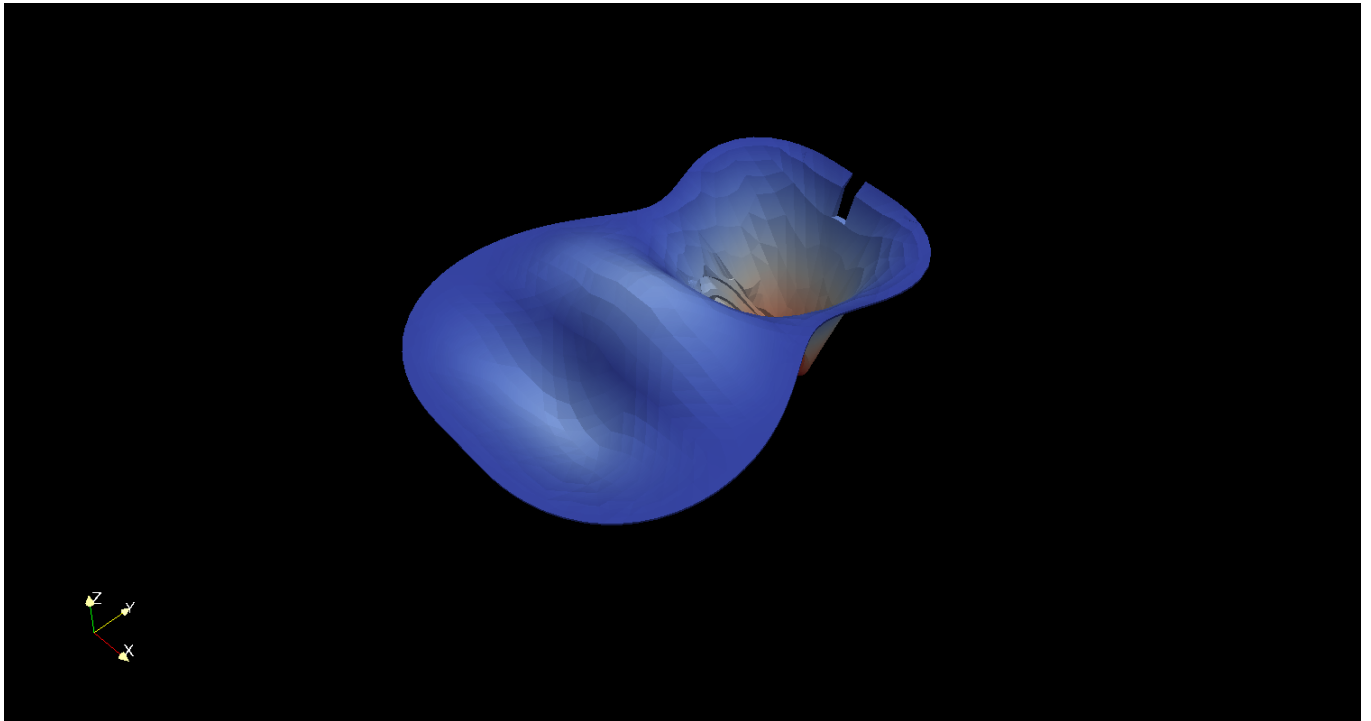
2차 모드 :  $8.593697 \times 10^2$  Hz



3차 모드 :  $9.416432 \times 10^2$  Hz

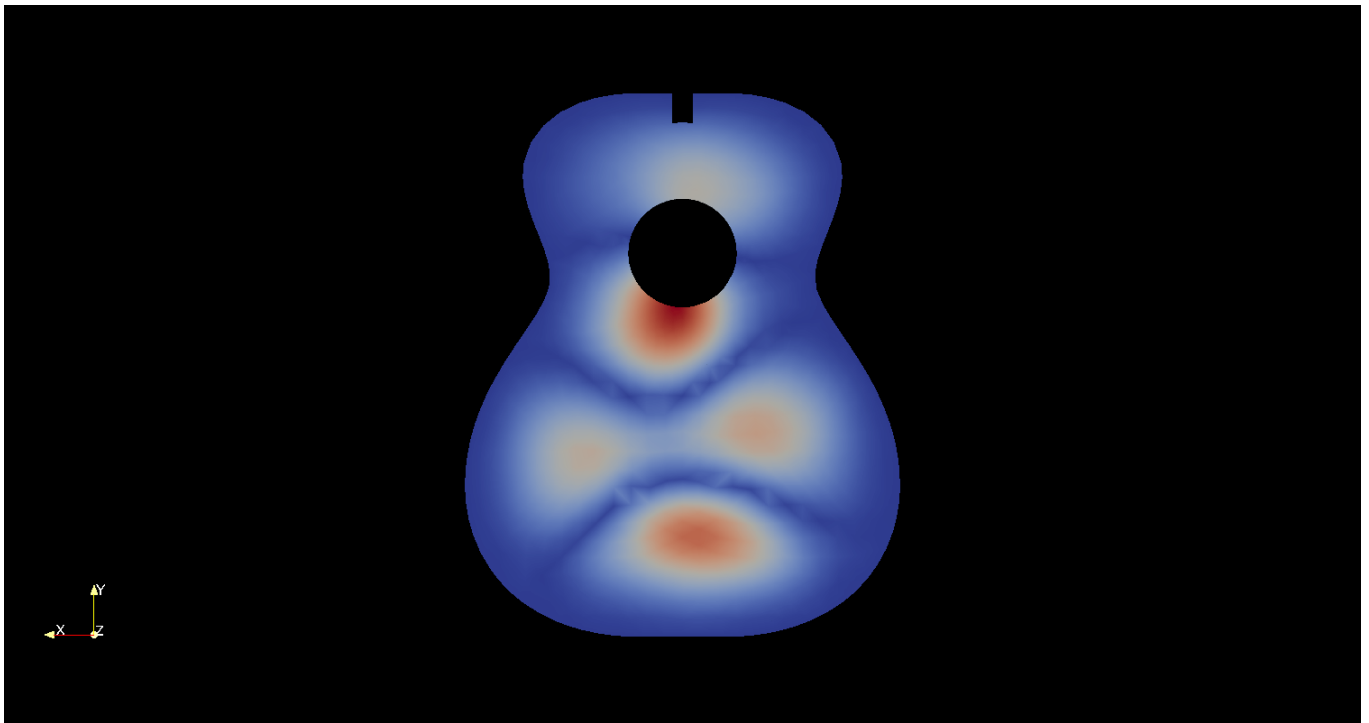
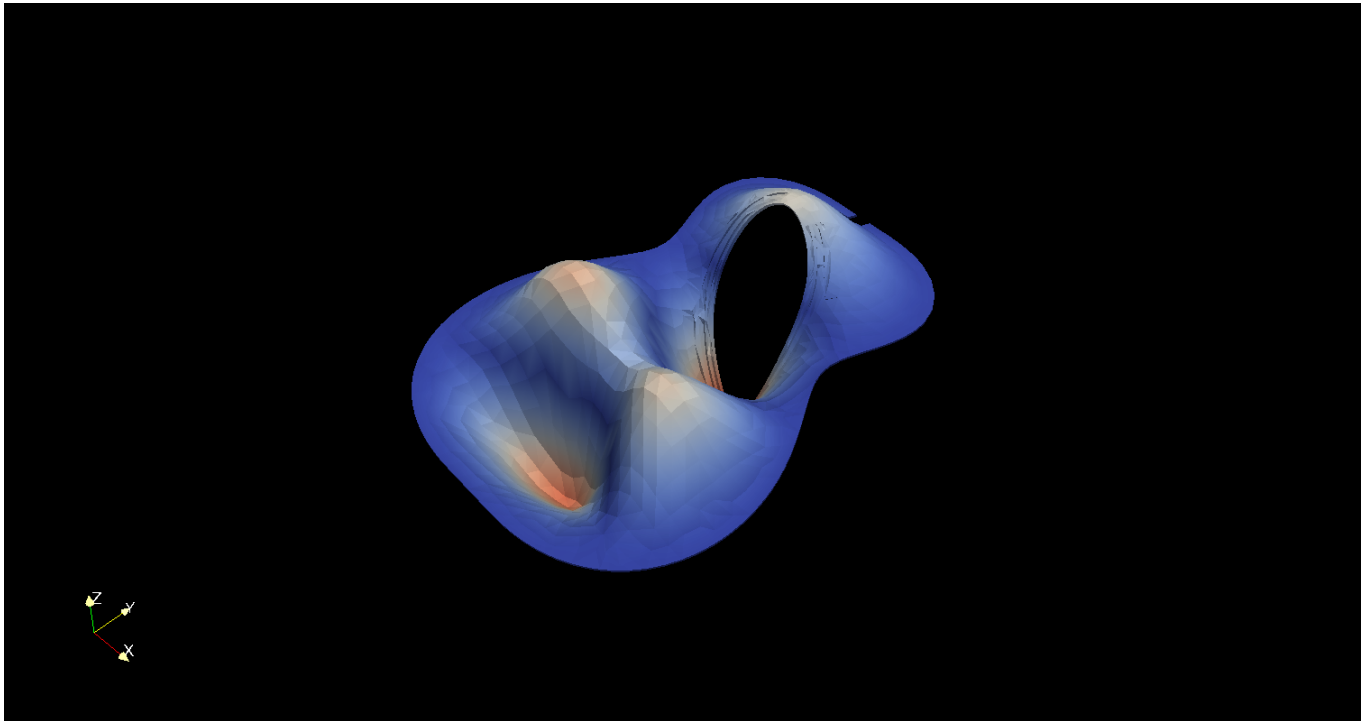


4차 모드 :  $1.604854\text{E}+03$  Hz

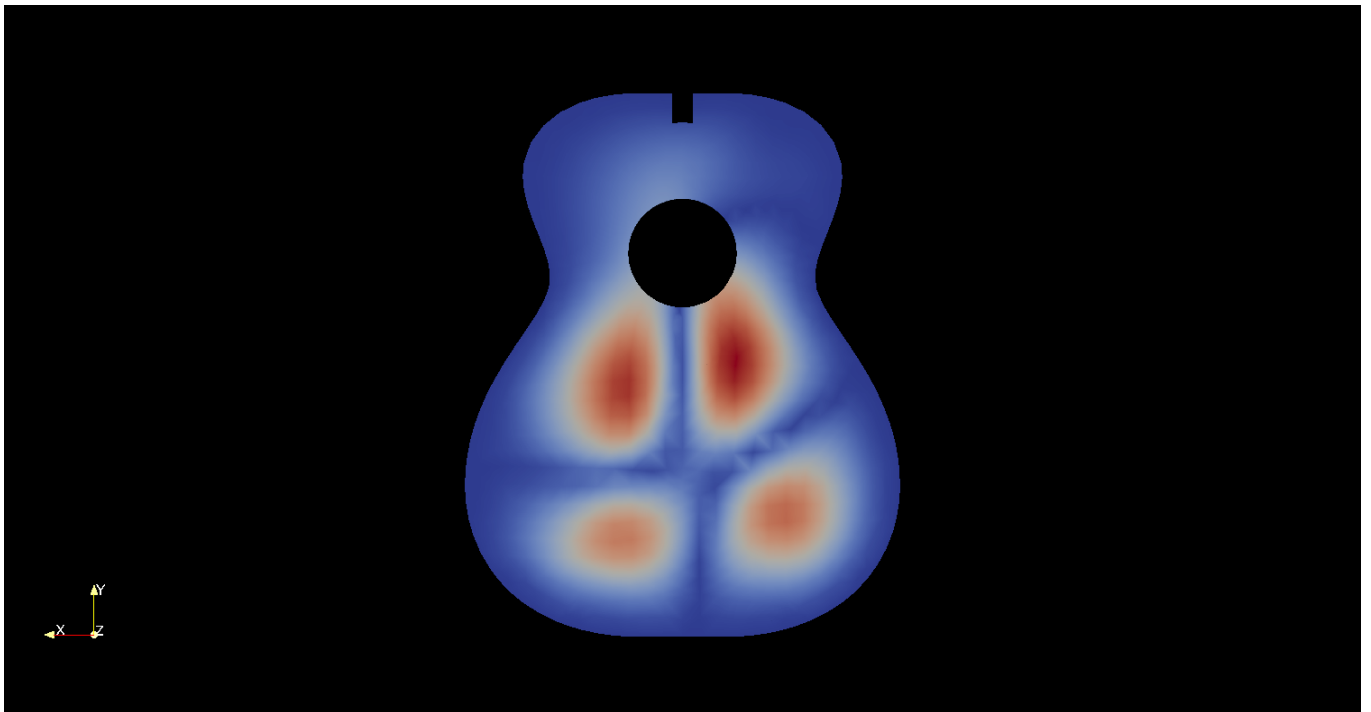
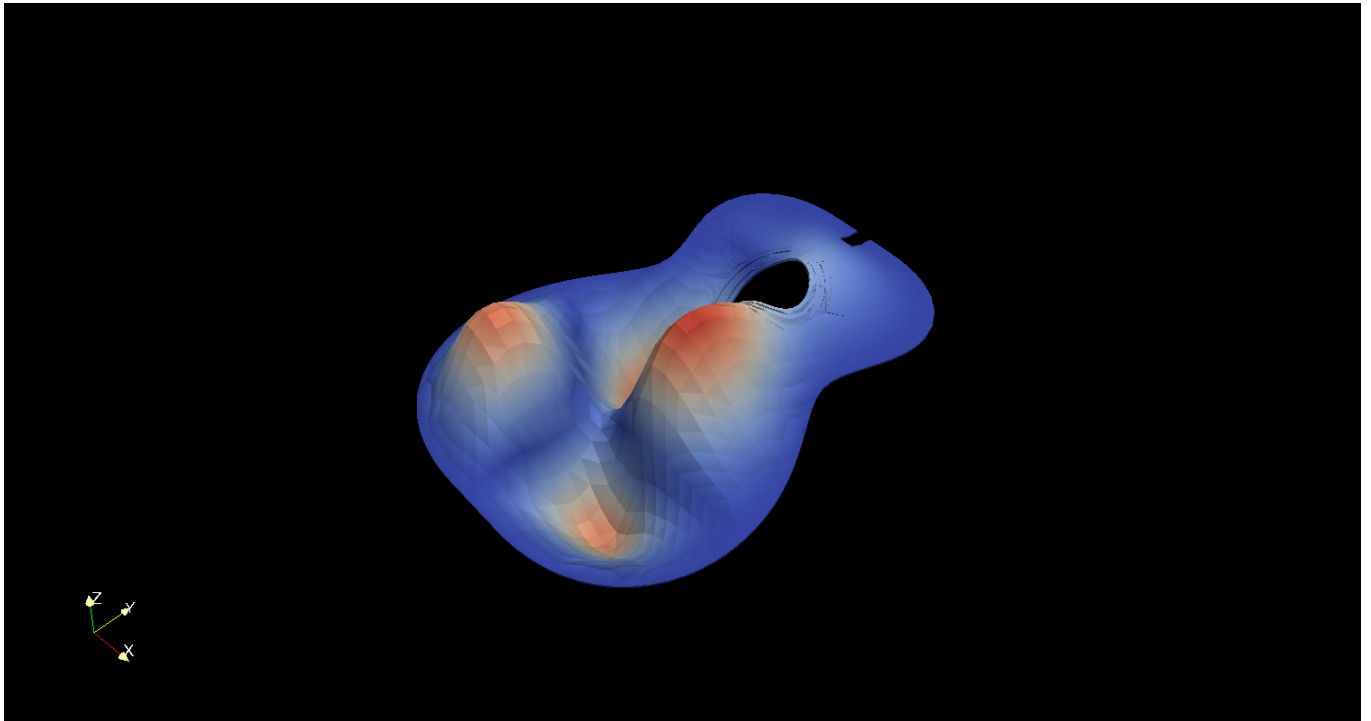




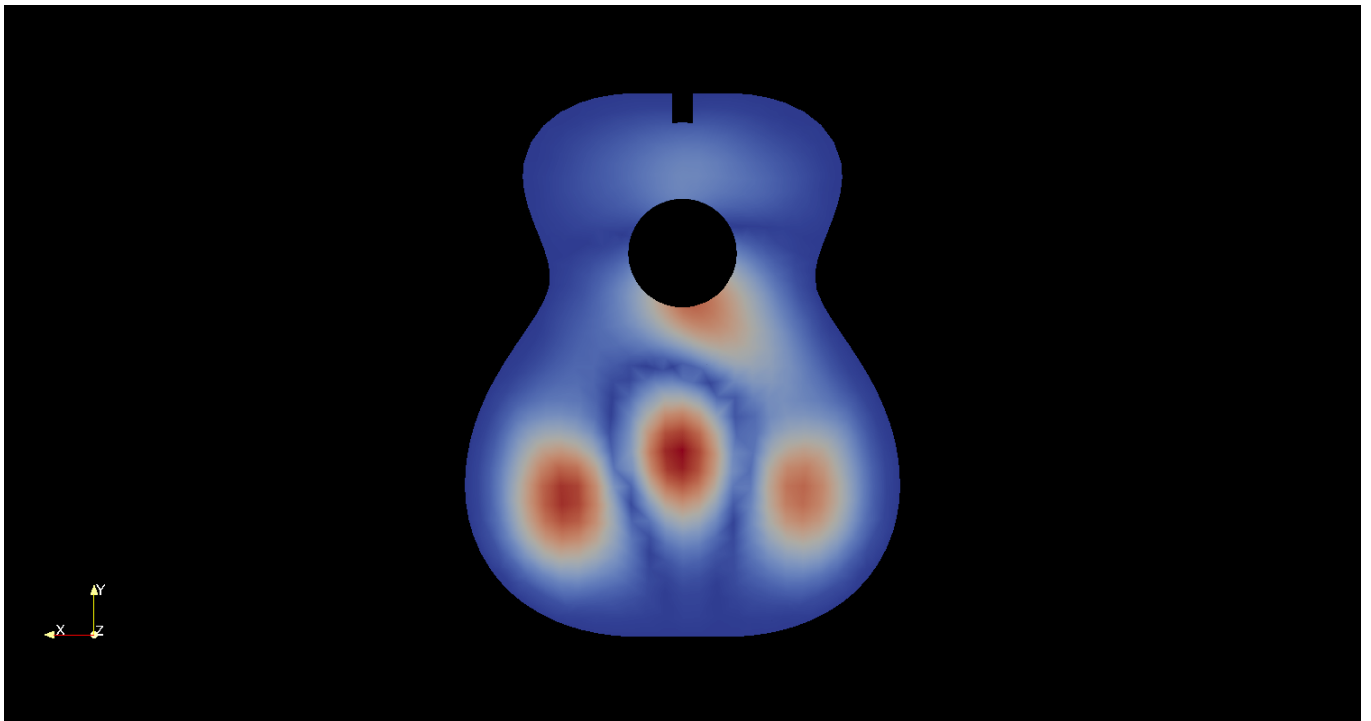
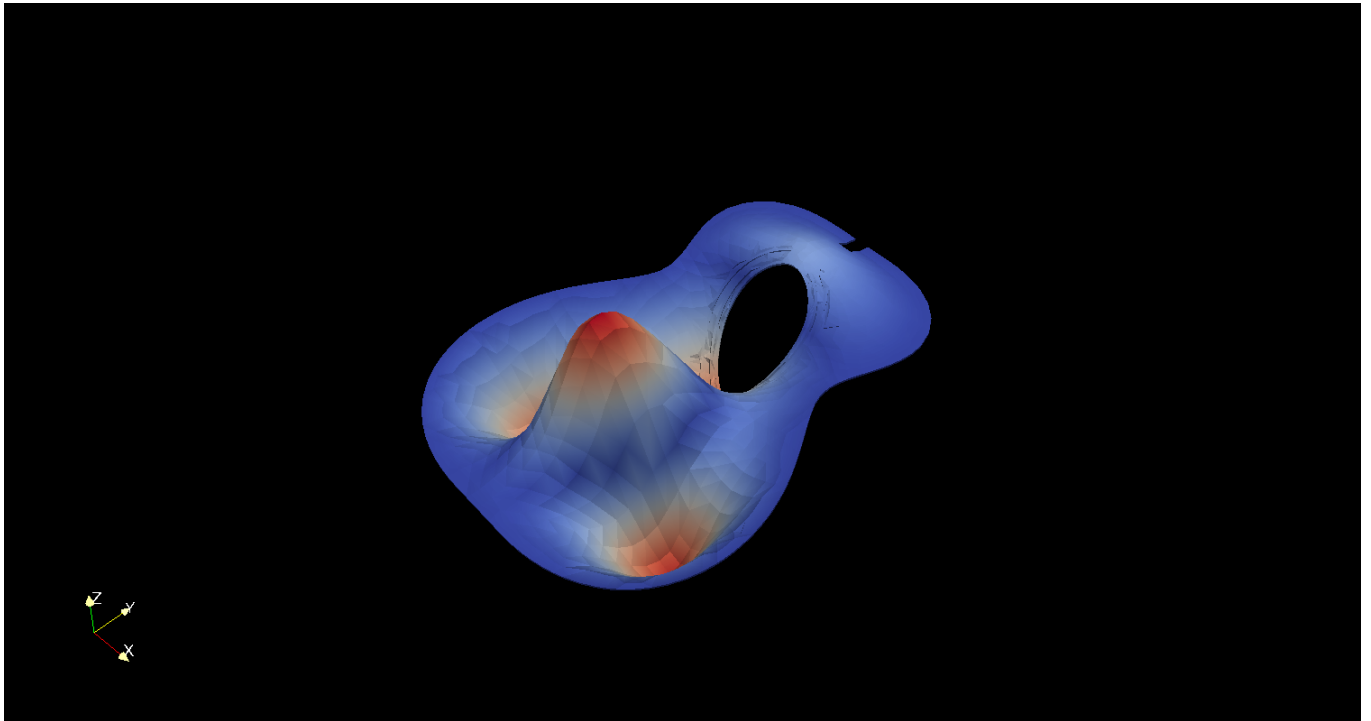
5차 모드 :  $2.912714 \times 10^3$  Hz



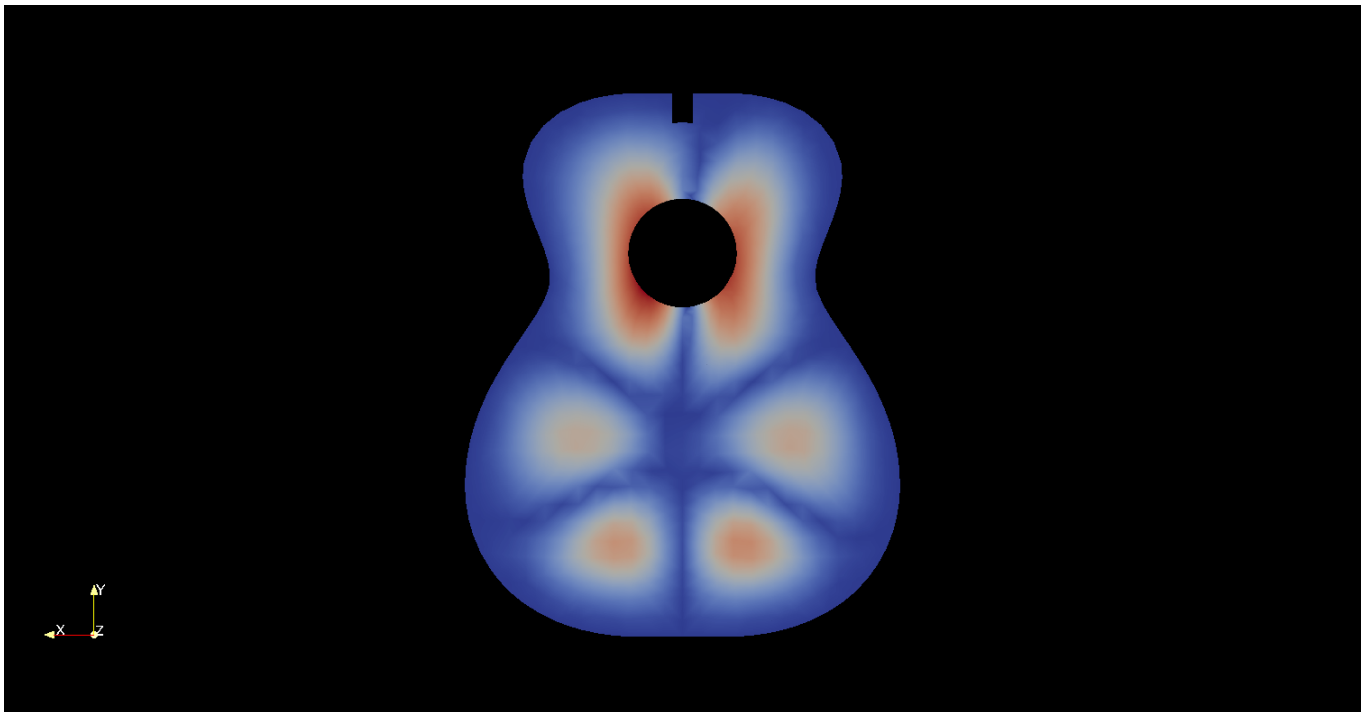
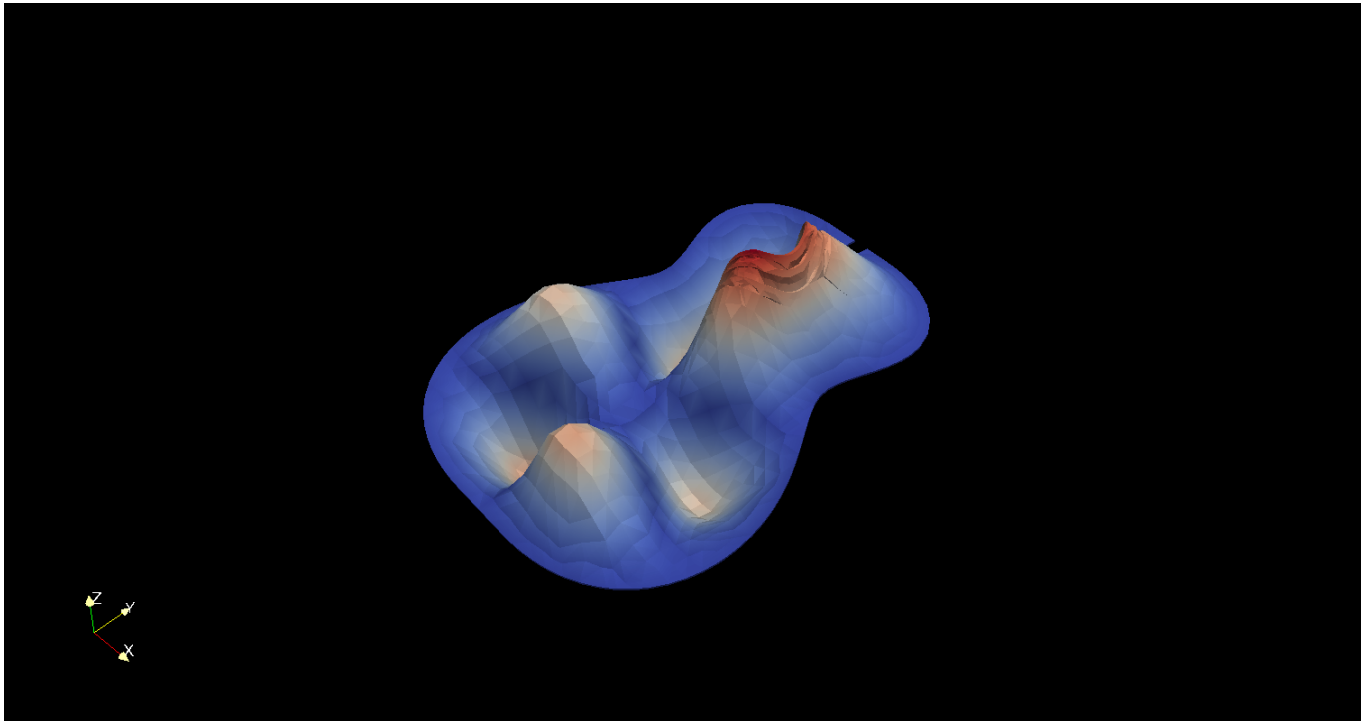
6차 모드 :  $3.116455 \times 10^3$  Hz



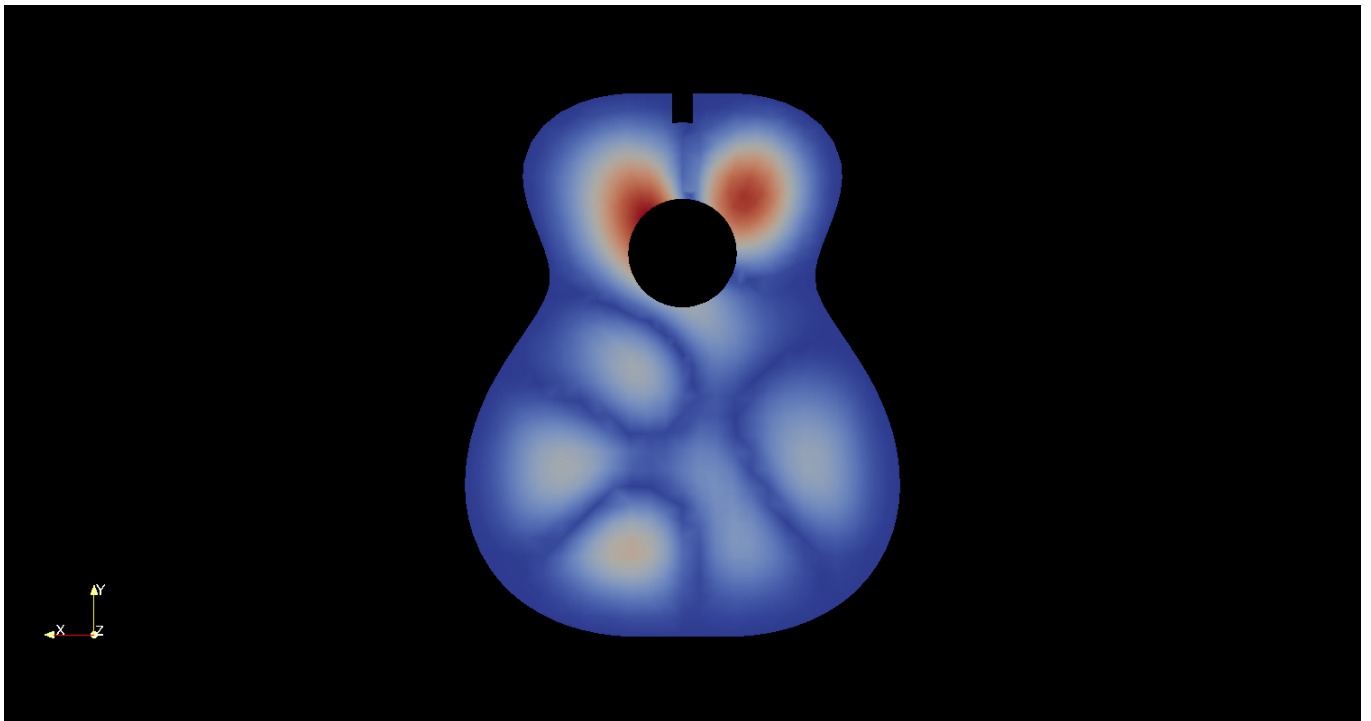
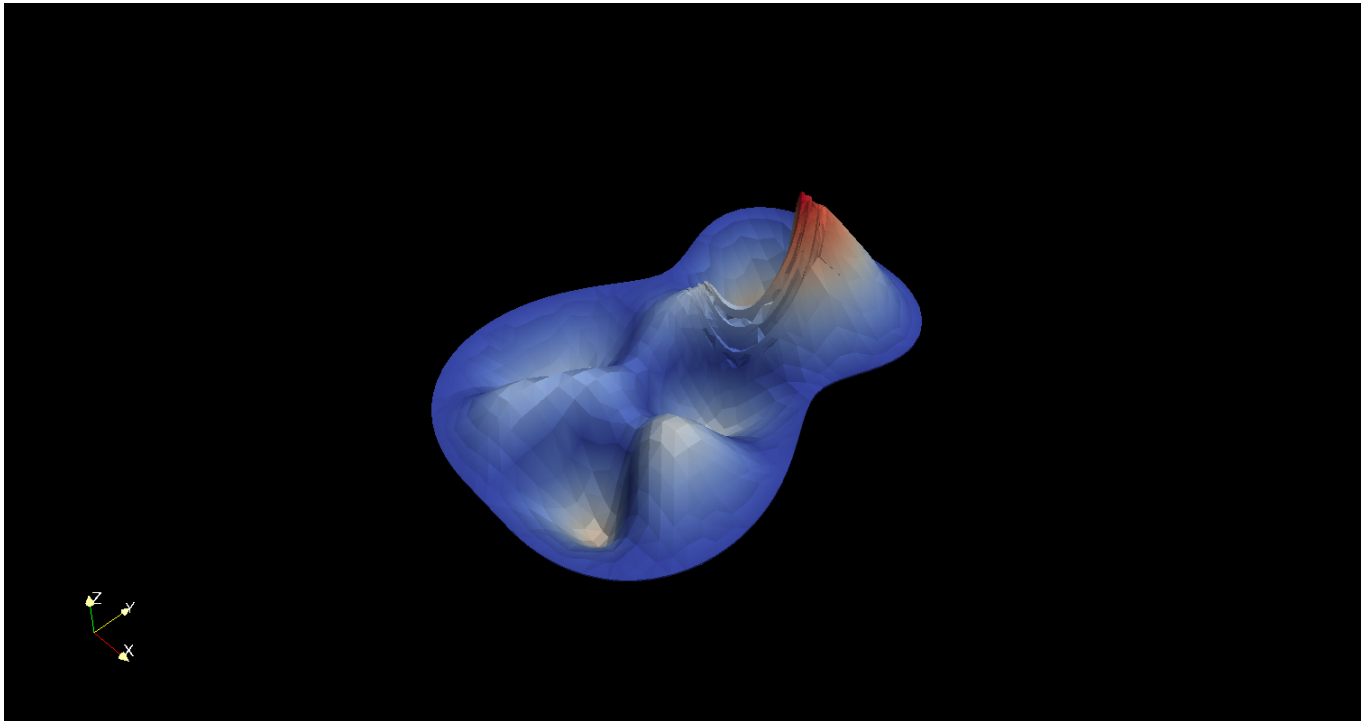
7차 모드 :  $4.055115\text{E}+03$  Hz



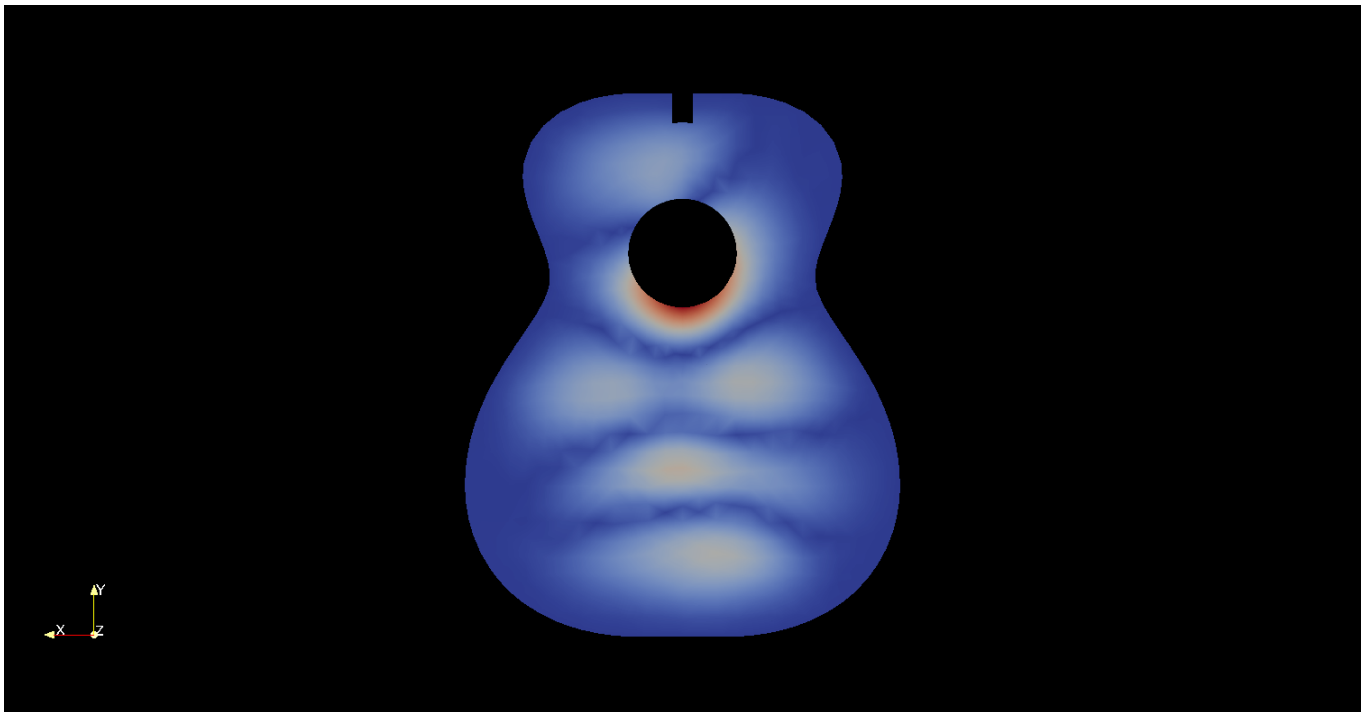
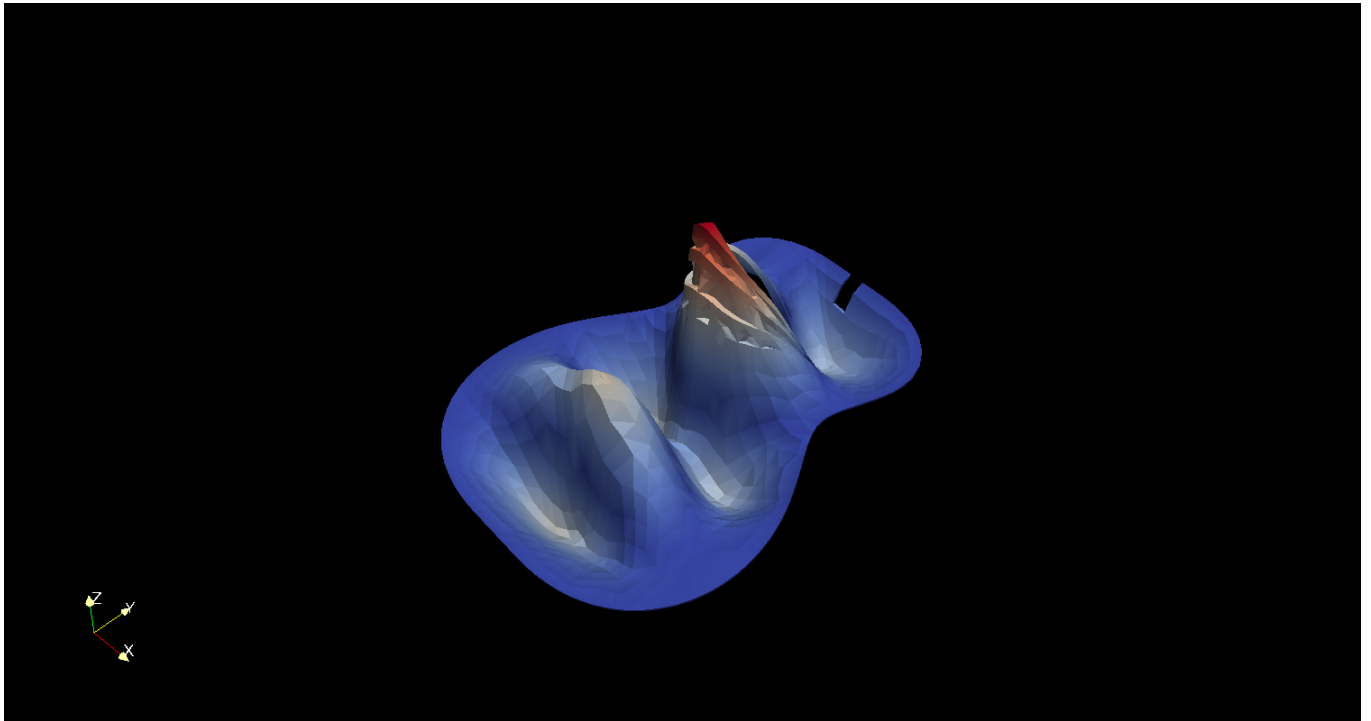
8차 모드 : 5.807159E+03 Hz



9차 모드 :  $7.130481\text{E}+03$  Hz



10차 모드 :  $9.574717\text{E}+03$  Hz



결과 강평

- 대략 1,2,3,4,5차 모드까지가 가청주파수 대역에 해당한다.
- 각 음계별 주파수를 검색해 보고 비교해 볼 수 있다. ( 예 : <http://thomson.tistory.com/638> (<http://thomson.tistory.com/638>) )

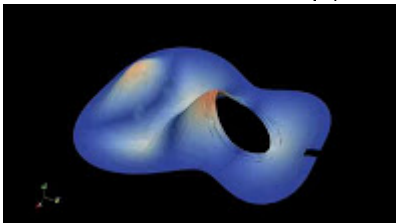
모드	주파수	비슷한 음계
1차	220Hz	4옥타브 도 (260Hz)
2차	860Hz	5옥타브 라 (880Hz)
3차	940Hz	5옥타브 라# (932Hz)
4차	1600Hz	6옥타브 솔 (1568Hz)
5차	2900Hz	7옥타브 파# (2960Hz)

추가 테크닉

- Salome-Meca를 설치한 경우, 내장된 Paraview 변형판인 Paravis를 이용하여 Animation을 간단히 만들 수 있다.
- 다만 Salome-meca는 윈도우용으로는 존재하지 않고, Salome Platform의 윈도우 버전을 구해서 설치 시도해 볼 수는 있다. 다만 안정성은 상당히 떨어질 것이다.

Animation 편집본

- <https://youtu.be/lcbD2ZhThq4> (<https://youtu.be/lcbD2ZhThq4>)



(<https://youtu.be/lcbD2ZhThq4>)

끝!