엘머로 해 보는 구조(Mechanical Structure) 해석 (중)

DymaxionKim

2017-11-17

Table of Contents

## 1. 개요

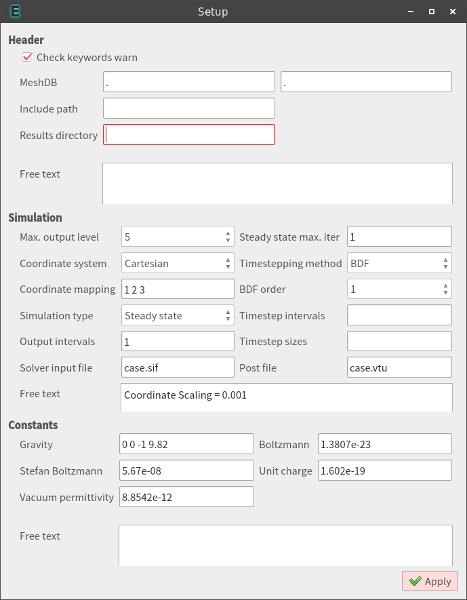
지난 상편에서 진행한 전처리에 이어서, 본 하편에서는 다음 조건을 적용하여 해석을 실시해 본다.

1. 별도의 외력 없이 중력만 인가하여 자중에 의한 스트레스와 변형량을 본다.

## 2. 자중에 의한 변형과 스트레스 해석

* 다시 엘머를 시작하고, File - Load project를 하고 직전에 작업하던 디렉토리로 가서 Open하면 원래 작업하던 상태 그대로 로딩되는 것을 확인할 수 있다.
* 이제 시뮬레이션 인풋 조건들을 지정해 줘 보자.

### (1) Model - Setup



* Header 카테고리의 항목들은 다음과 같은 의미를 가지고 있다.

|  |  |
| --- | --- |
| 항목명 | 내용 |
| MeshDB | 항목이 2개 보이는데, 앞의 것은 상위 디렉토리이고 뒤의 것은 하위 디렉토리명을 넣는 것이다. 즉 ./mesh일 경우에, 앞에 .을 넣고 뒤에 mesh라고 따로 써넣는다. 본 예제에서는 그냥 현재 디렉토리(.)에 있으므로 둘 다 .,.으로 되어 있다. |
| Include Path | 특정 계산을 위해 만들어진 별도 라이브러리가 있을 경우, Include 시킬 경로를 써 넣어줄 수 있다. 본 예제에서는 사용하지 않는다. |
| Result directory | 계산 결과 파일들이 저장될 장소이다. 아무것도 없으면 그냥 현재 디렉토리에 저장된다. |

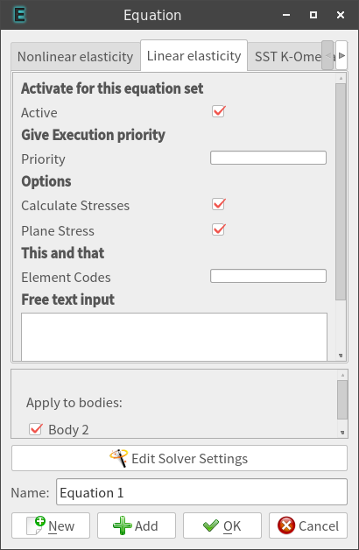
MeshDB, Include Path, Result directory는 원래 그대로 둔다. 매쉬파일들은 당연히 현재 작업 디렉토리에 있으므로 .으로 되어 있고, 결과 파일의 출력 장소도 별도 지정되지 않았으므로 현재 디렉토리에 저장될 것이다. \* Free text 부분은 임의의 주석이나 추가 명령들을 직접 써넣어 줄 수 있는 곳이다. 주석을 넣을 때는 앞에 !를 넣어주면 된다. \* Simulation 카테고리에서의 항목들은 대략 다음과 같은 의미를 가지고 있다.

|  |  |
| --- | --- |
| 항목명 | 내용 |
| Max. output level | 계산 진행 도중, 텍스트로 출력되는 메시지를 얼마나 자세하게 할 것인지 정하는 것이다. 1을 주면 메시지가 최소화되고, 10을 주면 온갖 정보들이 수다스럽게 출력된다. 그냥 기본값 5 정도면 충분하다. |
| Coordinate system | 좌표계를 고를 수 있다. 일반적인 Cartesian 뿐만 아니라, Axi Symmetric, Cylindric Symmetric도 선택할 수 있다. |
| Coordinate Mapping | 위에서 선택해 준 좌표계의 축 번호를 정해준다. Cartesian좌표계일때 1 2 3이라면, x y z로 대응된다. |
| Simulation type | Steady state, Transient, Scanning 중 택일 가능하다. Transient는 시간에 대한 변화를 보고자 할 때 선택한다. Scanning은 시간이 아닌 다른 변수, 예컨데 외력을 특정 함수나 테이블을 이용하여 여러 케이스별로 줘 보고 싶을 때 하나씩 전부 다 계산해서 결과를 내놓는 것이다. |
| Output intervals | Transient,Scanning 해석일 때, 예컨데 100개의 결과를 계산했는데 전부 다 저장하면 용량이 너무 커지니까 1번씩 걸러서 저장하고 싶다면 2를 넣으면 된다. 모든 결과를 다 저장하려면 디폴트값이 1로 한다. |
| Solver input file | 현재 설정하고 있는 내용이 저장될, 시뮬레이션 인풋 파일(sif)의 파일 이름을 정해준다. 여러가지의 조건으로 다양하게 해석해 보고자 한다면, 기본값인 case.sif 말고 다른 이름으로 지정하면 될 것이다. |
| Steady state max. iter | Steady state 해석을 할 때만 유효한 변수이다. 이때 하나의 샷(Shot)만 얻어내고자 할 때는 1로 해 주면 된다. 만일 여러개의 샷을 얻어내고자 할 때는, 예컨데 여기에 10을 넣어주고 아래의 Free text란에 Steady State Min Iterations = 5를 해 주면, 결과 파일이 단계별로 5개 생긴다. 이를 이용해 Steady state 해석을 하고서 손쉽게 애니메이션을 만들어낼 수도 있다. |
| Timestepping method | Transient 해석시 사용되는 적분알고리즘을 선택하는 것이다. 일단 기본값인 BDF(Backward Differentiation Formula)만 선택되도록 되어 있다. |
| BDF order | BDF 알고리즘의 차수를 설정한다. 기본값은 가장 단순한 1차로 지정되어 있고, 차수를 높여갈 수록 정밀도는 더 높아질 것이다. 이론상 최고값은 6 정도로 두는 것이 맞을 것이다. |
| Timestep intervals | Transient 해석시 전체 시간을 정해준다. 10초 동안의 변화를 계산하고 싶다면 10을 넣어주면 된다. |
| Timestep size | Transient 해석시 몇 초 간격으로 끊어주는지 정해준다. 0.1초 간격으로 계산하고 싶다면 0.1을 넣어주면 된다. |
| Post file | 결과 파일의 이름을 넣어준다. 확장자는 .ep와 .vtu 중에 선택할 수 있다. .ep 포멧은 ElmerGUI에 내장된 ElmerPost 및 ElmerVTK에서 읽어서 가시화할 때 사용하고, .vtu 포멧은 Paraview 등 표준 VTK 포멧을 지원하는 후처리기로 가시화할 때 사용하면 된다. |
| Free text | Simulation 카테고리 안의 이곳에 기본 조건을 추가할 수 있다. 본 예제에서는 Coordinate Scaling = 0.001을 써 넣어 주었다. 이것은 불러들인 매쉬파일은 원래 CAD에서 그린 mm 단위의 형상을, 강제로 0.001배 해서 m 단위로 스케일링(단위변환)을 해 준 것이다. 엘머는 기본적으로 단위계가 따로 정해져 있지는 않으나, ElmerGUI에서 기본으로 제공하는 상수 및 물성치들이 모두 MKS단위계로 맞추어져 있기 때문에 길이 단위는 m(미터)로 맞추는 것이 편하다. |

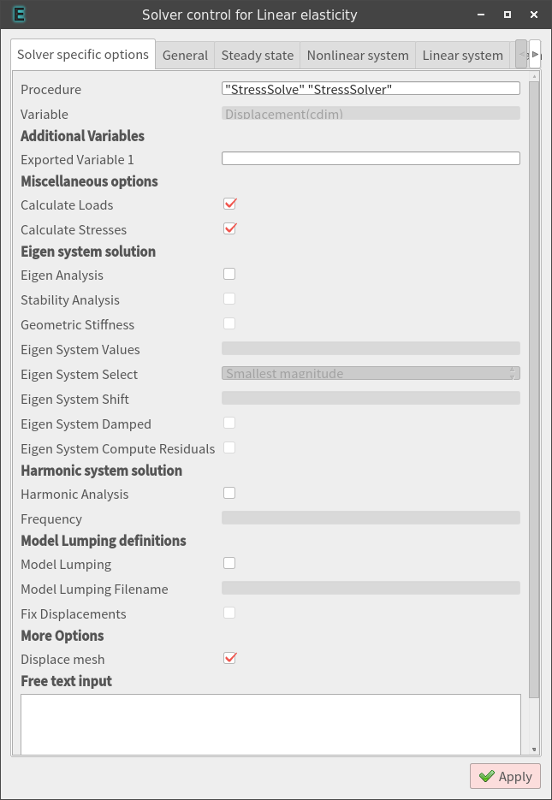
* Constants 카테고리는 기본적인 물리상수들을 써준다. 기본 제공된 것 이외의 다른 물리상수나 변수를 추가해 주려면, 이 카테고리의 Free text란에 넣어주면 된다. 단, 이때 그냥 Diameter = 0.2와 같이 쓰면 안되고, $Diameter = 0.2와 같이 변수명 앞에 $기호를 써줘야 엘머가 정상적으로 인식한다.
* 특히 Gravity는 중력가속도임을 쉽게 알 수 있는데, 여기서 기본값은 0 -1 0 9.82로 표기되어 있어 y축 아래쪽 방향으로 중력이 작용한다고 되어 있다. 중력 방향이 -z축으로 가정하고 모델링 되어 있었다면 0 0 -1 9.82로 변경해 주면 될 것이다.
* 이상 본 예제에서는 위 그림과 같이 정의해 둔다.

### (2) Model - Equation

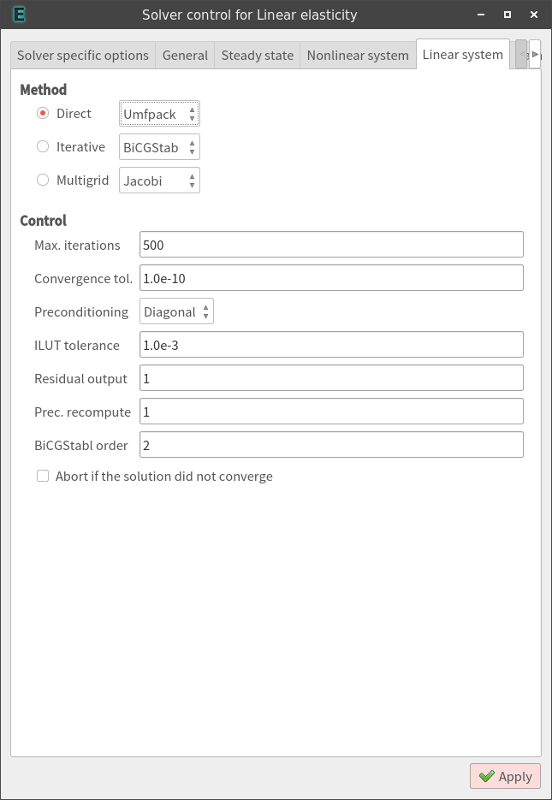
* Add해서 새로운 Equation을 정의해 주자.



* 30여개의 탭으로 다양한 물리방정식(Equation)이 제공된다. 본 예제에서는 위 그림과 같이, Linear elasticity만 Active 체크해서 활성화 시킨다. 아울러 옵션으로 스트레스 계산도 활성화해 준다.
* Apply to bodies: 항목에는 현재 모델에서 구분된 물체(Body)가 표시된다. 본 예제에서는 1개의 물체만 있기 때문에 혼동될 염려가 없으므로 직접 체크해 준다.
* Edit Solver Settings에서는 물리방정식을 푸는 해석자에 관한 옵션들이 들어있다. 눌러서 들어가 보자.



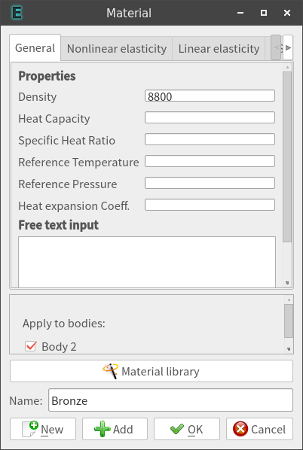
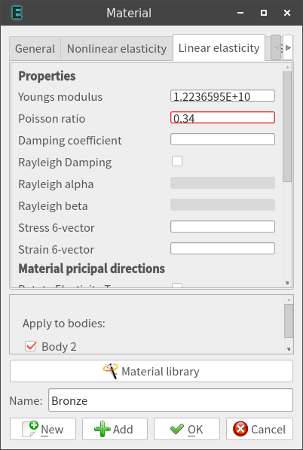
* 첫번째 탭인 Solver specific options에서 위 그림과 같이 필요한 기능만 체크해 준다. 본 예제에서는 Calculate loads를 체크해서 외력을 관한 정보를 결과에 포함시키고, Calculate stresses로 응력도 결과에 포함시키는 것으로 한다. 그리고 Displacement mesh로 변형까지 결과에 포함시키자.



* 그리고 Linear system 탭에서 Method를 Umfpack Direct Solver로 선택해 주었다. 이것으로 계산이 잘 된다면 디폴트였던 BiCGStab Iterative Solver보다 훨씬 빠르게 계산을 마칠 수 있을 것이다.

### (3) Model - Material

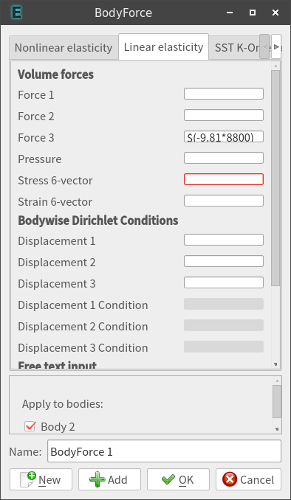
* Add해서 새로운 Material을 정의해 주자.

* Material library에 들어있는 기본적인 것을 선택해도 되지만, 여기서는 청동(Bronze) 소재의 물성을 사용해보고 싶다. 위 그림과 같이 그에 해당하는 구조해석을 위한 물성치를 넣어준다.
* 정의된 재료의 물성치를 적용할 물체(Body)도 체크해 준다.

### (4) Model - Body force

* 여기서는, 물체(Body)에 적용되는 힘을 넣어준다.



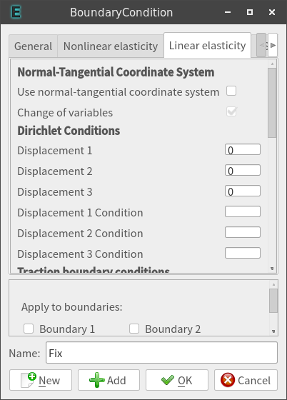
* 본 예제의 해석 목표는 자중에 의한 응력을 알아보는 것이므로, 중력가속도(Gravity)와 밀도(Density)를 곱해준다. 물론 -z축 방향이므로, z축에 해당하는 Force 3란에 기입하고 마이너스(-)부호를 넣는다. 아울러, 곱셈 수식을 엘머가 인식해서 적용할 수 있도록 $기호도 앞에 넣어주는 것을 잊지 않는다.
* 정의된 Body Force가 적용할 물체(Body)도 체크해 준다.

### (5) Model - Initial condition

* 본 예제는 Steady state 해석이므로, 초기조건(Initial condition)은 불필요하기 때문에 생략한다.

### (6) Model - Boundary condition

* 경계조건은, 모델의 고리 부분을 고정했다고 가정하고 그 부위의 변위를 0으로 만들어주기 위해 하나 설정해 준다.



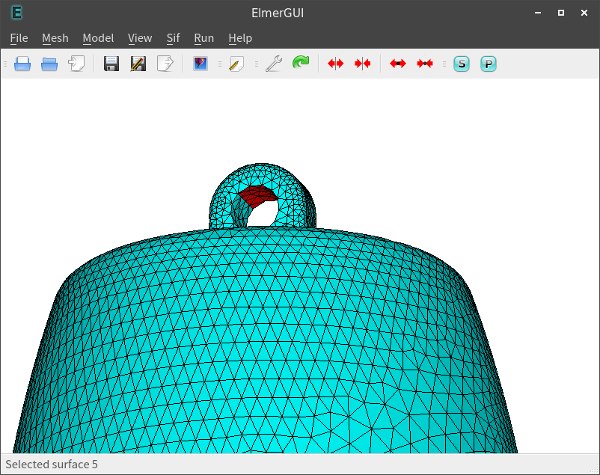
* x,y,z 모두 변위를 0으로 해서 고정하였다.
* Apply to boundaries: 부분은 체크하지 않고 일단 보류한다. 이유는 물체(Body)의 경우와는 달리, 경계면이 여러가지 많이 있기 때문에 어느 번호가 고정하기를 원하는 경계면인지 알 수 없기 때문이다.

### (7) Model - Set body properties

* 물체(Body)는 이미 모두 선택되었기 때문에 생략한다.

### (8) Model - Set boundary properties

* 경계면(Boundary)를 선택하기 위해 이 메뉴를 눌러서 체크해 준다.
* 이후 그래픽 화면에서, 아래의 그림에서 붉은 부분의 경계면을 더블클릭해서 선택해 준다.



* 팝업창이 뜨면, 조금 전에 설정해 둔 경계조건을 선택해서 Apply해 주면 적용이 된다.
* 이제 Model 메뉴에서 필요한 설정은 모두 끝났다.

### (9) Sif - Generate

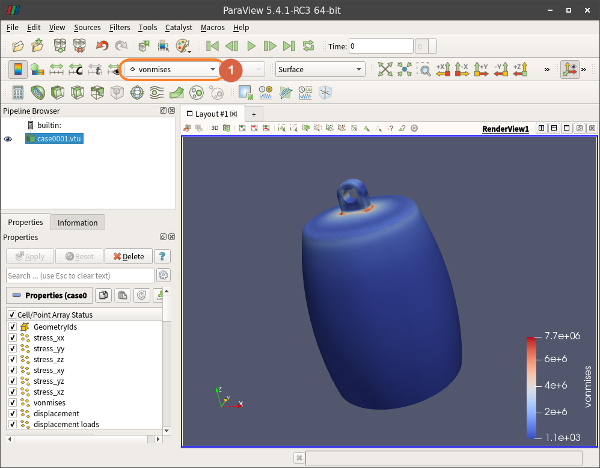
* 이 메뉴를 누르면, 앞서 Model에서 설정된 사항들을 적용하여 시뮬레이션 인풋 파일이 생성된다.
* Sif - Generate로 생성된 내용을 확인해 보자.
* 생성된 내용을 프로젝트로 갱신 저장하기 위해, File - Save project를 해 준다.

### (10) Run - Start solver

* 이 메뉴를 누르면 곧바로 계산이 시작된다. 메시지창과 수렴 그래프창이 뜨는데, 현재는 Direct solver로 계산하기 때문에 수렴 그래프창은 별 의미가 없다.
* 계산이 완료되면, 결과파일인 case.vtu가 생성되었음을 알 수 있다.

### (11) Paraview 후처리

* 이제 Paraview 프로그램을 실행하고, case.vtu 파일을 불러들여 본다.
* 좌측 Properties 탭의 Apply 버튼을 누르면 형상이 화면에 나타난다.



* 그리고 위 그림에 표시된 부분에서 vonmises등을 선택해서 확인해 본다.
* Von Mises 응력의 경우, 최고값(Max)이 7.7e+06으로 나온다. 현재 MKS단위계로 맞추어져 있으므로, 단위는 당연히 [kgf/m^2]일 것이다. 일반적으로 사용하는 단위로 환산하면, 75.511205[MPa]이 된다.
* Paraview의 좀 더 자세한 사용법은 추후에 알아보자.
* 이상 자중에 의한 응력을 해석해서 확인해 보았다.

## 2. 맺음말

* 이번 편에서는 가장 기본적인 선형 정적 응력해석 중에서, 중력에 의한 자중을 고려하여 수행해 보았다.
* 본 편의 모델링 데이타는 다음 장소에서 다운로드 받으면 된다.

https://github.com/dymaxionkim/Elmer\_Examples\_for\_CADG/tree/master/CADG\_03\_Elmer\_Structure

## 3. 참고 자료

* 성덕대왕신종의 부분명칭과 크기

http://blog.daum.net/\_blog/BlogTypeView.do?blogid=03Pdg&articleno=15960218

* 이장무, 新羅 鐘의 設計에 관한 연구, 학술원논문집 제55집 1호 (2016)

http://www.nas.go.kr

* 김석현,이중혁, 등가 종 모델을 이용한 맥놀이 주기 조절법, 한국음향학회지 제31권 제8호 (2012)

http://ocean.kisti.re.kr/downfile/volume/ask/GOHHBH/2012/v31n8/GOHHBH\_2012\_v31n8\_561.pdf

* J.M.LEE, A STUDY ON THE VIBRATION CHARACTERISTICS OF A LARGE SIZE KOREAN BELL, Journal of Sound and Vibration (2002)

http://sci-hub.bz/10.1006/jsvi.2002.5092