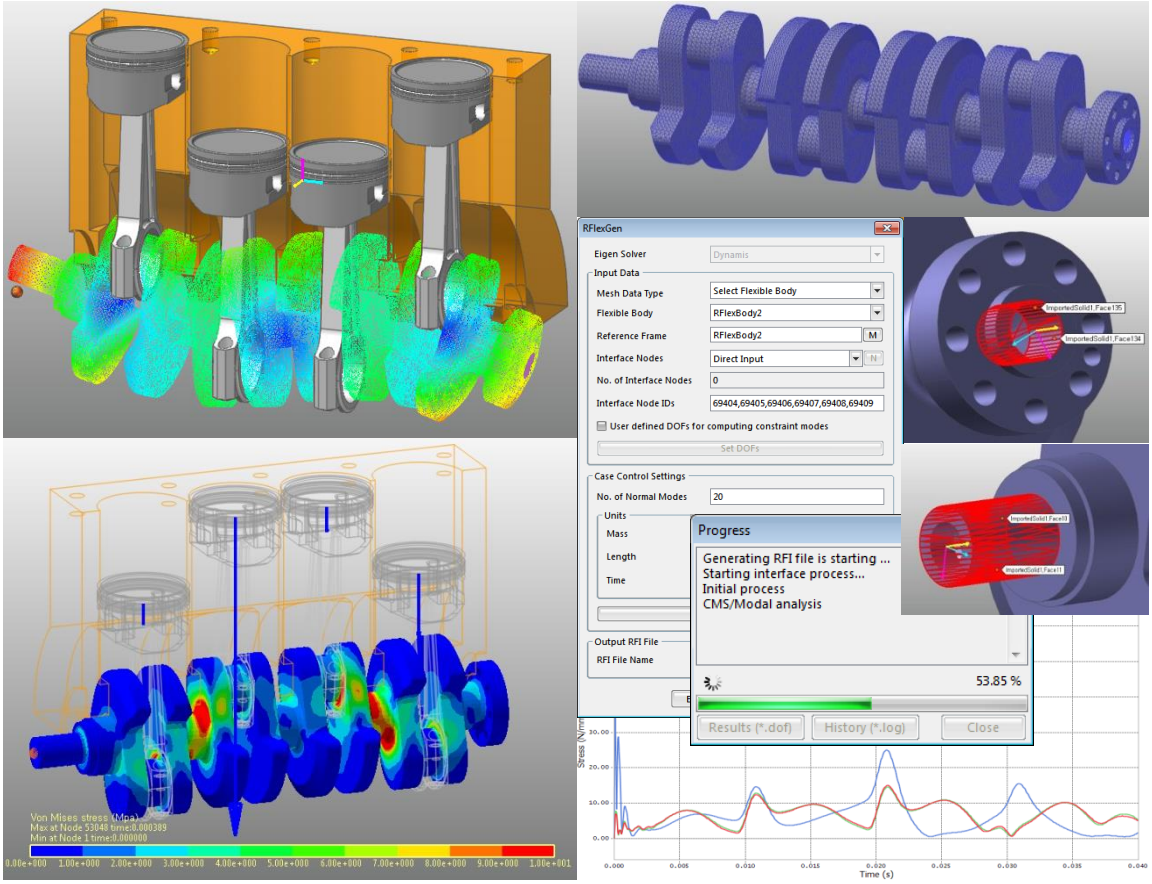
RECURDYN

RFlexGen Crankshaft Tutorial (RFlexGen)



FunctionBay

Copyright © 2020 FunctionBay, Inc. All rights reserved.

User and training documentation from FunctionBay, Inc. is subjected to the copyright laws of the Republic of Korea and other countries and is provided under a license agreement that restricts copying, disclosure, and use of such documentation. FunctionBay, Inc. hereby grants to the licensed user the right to make copies in printed form of this documentation if provided on software media, but only for internal/personal use and in accordance with the license agreement under which the applicable software is licensed. Any copy made shall include the FunctionBay, Inc. copyright notice and any other proprietary notice provided by FunctionBay, Inc. This documentation may not be disclosed, transferred, modified, or reduced to any form, including electronic media, or transmitted or made publicly available by any means without the prior written consent of FunctionBay, Inc. and no authorization is granted to make copies for such purpose.

Information described herein is furnished for general information only, is subjected to change without notice, and should not be construed as a warranty or commitment by FunctionBay, Inc. FunctionBay, Inc. assumes no responsibility or liability for any errors or inaccuracies that may appear in this document.

The software described in this document is provided under written license agreement, contains valuable trade secrets and proprietary information, and is protected by the copyright laws of the Republic of Korea and other countries. UNAUTHORIZED USE OF SOFTWARE OR ITS DOCUMENTATION CAN RESULT IN CIVIL DAMAGES AND CRIMINAL PROSECUTION.

Registered Trademarks of FunctionBay, Inc. or Subsidiary

RecurDyn is a registered trademark of FunctionBay, Inc.

RecurDyn/Professional, RecurDyn/ProcessNet, RecurDyn/Acoustics, RecurDyn/AutoDesign, RecurDyn/Bearing, RecurDyn/Belt, RecurDyn/Chain, RecurDyn/CoLink, RecurDyn/Control, RecurDyn/Crank, RecurDyn/Durability, RecurDyn/EHD, RecurDyn/Engine, RecurDyn/eTemplate, RecurDyn/FFlex, RecurDyn/Gear, RecurDyn/DriveTrain, RecurDyn/HAT, RecurDyn/Linear, RecurDyn/Mesher, RecurDyn/MTT2D, RecurDyn/MTT3D, RecurDyn/Particleworks I/F, RecurDyn/Piston, RecurDyn/R2R2D, RecurDyn/RFlex, RecurDyn/RFlexGen, RecurDyn/SPI, RecurDyn/Spring, RecurDyn/TimingChain, RecurDyn/Tire, RecurDyn/Track_HM, RecurDyn/Track_LM, RecurDyn/TSG, RecurDyn/Valve

are trademarks of FunctionBay, Inc.

Edition Note

This document describes the release information of **RecurDyn V9R4**.

목차

개요 4
목적 4
필요 요건 6
과정 6
예상 소요 시간 6
초기 모델 불러오기 7
목적 7
예상 소요 시간 7
RecurDyn 모델 불러오기 8
초기 4 기통 엔진 모델 시뮬레이션 실행 9
FFlex body 생성하기 11
목적 11
예상 소요 시간 11
Crankshaft Mesh 생성하기 12
FFlex Body 가 포함된 Dynamic 해석 및 결과 확인 18
RFlexGen 기능을 사용한 RFlex Body 생성하기 21
목적 21
예상 소요 시간 21
RFlexGen 수행하기 22
RFlex Body 생성하기 25
RFlex Body 가 포함된 Dynamic 해석 및 결과 확인 27
RFlexGen 다시 수행하기 34
RFlex Body 교체하기 37
RFlex Body 가 포함된 Dynamic 해석 및 결과 확인 39
결과 분석 및 검토 40
목적 40
예상 소요 시간 40
Dynamic Analysis 결과 분석하기 41

Chapter 1

개요

RecurDyn 은 Body 의 Flexibility 를 고려하기 위해서 다물체 동역학 모델을 구성함에 있어 FFlex Body 또는 RFlex Body 를 포함시킬 수 있도록 지원하고 있습니다. RecurDyn 에서 FFlex Body 를 사용하기 위해서는 변환하고자 하는 Rigid Body 에 대해서 FFlex/Mesher 를 통해 RecurDyn 인 내부에서 자체적으로 쉽게 Mesh 를 생성함으로써 FFlex Body 로의 변환을 쉽게 이룰 수 있었습니다. 하지만 RecurDyn V8R2 버전까지 RFlex Body 를 사용하기 위해서는 RecurDyn 이 아닌 FE Software 에서 제공하는 Eigen Solver 를 사용하여 RFlex Body 생성을 위한 결과 파일을 생성한 후, RecurDyn 에서 추가적인 다른 작업을 통해야지만 RFlex Body 를 생성할 수 있었습니다.

이와 같이, RFlex Body 에 대한 결과를 RecurDyn 내부에서 자체적으로 결과를 얻을 수 없었기 때문에, V8R3 버전부터 RecurDyn 내부 Eigen Solver 를 사용하여 자체적으로 RFlex Body 를 생성할 수 있는 결과 파일 즉, RFI(Reduced Flexible Body Interface) file 을 생성할 수 있는 기능을 추가하였습니다.

그러므로 본 튜토리얼에서는 새로운 기능인 RFlexGen 를 사용하여 어떻게 다물체 동역학 모델에서 RFlex Body 를 사용할 수 있고, 이에 따른 장점은 무엇인지 설명하고자 합니다.

본 교재에서 사용된 모델은 단순화된 4 기통 직렬형 내연기관 모델로서, 4 개의 피스톤에서 발생한 연소 폭발 과정을 모사하고 있습니다. 이때, 크랭크 축(Crankshaft) Body 를 FFlex/RFlex Body 로 대체하였을 때 나타나는 동적 특성을 바탕으로 앞서 설명한 교재의 목적을 달성하고자 합니다.

목적

본 교재에서 다루고자 하는 내용은 다음과 같습니다.

- RecurDyn Mesher 를 통한 FFlex body 생성 방법
- RecurDyn/FFlex 를 통한 유연체 동특성 파악
- RecurDyn/RFlexGen 를 통한 FFlex body 로부터 RFI file 생성 방법
- RecurDyn/RFlex 를 통한 RFlex body 교체 방법 및 동특성 파악

- RecurDyn/RFlexGen 를 통한 RFlex body 로부터 RFI file 생성 방법
- FFlex/RFlex body 를 사용한 동특성 비교
- RFlexGen 기능을 이용함에 따른 장점

필요 요건

본 교재는 RecurDyn 에서 제공되고 있는 Basic Tutorial 및 FFlex 와 RFlex Tutorial 을 숙지한 사용자를 위한 것입니다. 따라서 본 교재를 사용하기 위해서는 앞서 언급된 교재를 선행해야 본 교재의 이해를 높일 수 있습니다. 또한 Dynamics 및 Finite Element Method 에 대한 이해를 필요로 합니다.

과정

본 교재는 다음과 같은 순서로 구성되어 있으며, 수행 예상 시간은 다음과 같습니다.

과정	시간(분)
Rdyn모델을 불러오기	10
Mesher를 사용한 FFlex body 만들기	15
FFlex body를 통한 동특성 결과 확인하기	10
RFlexGen 기능을 사용하여 RFI File 생성하기	10
RFlex body로 교체하기	5
RFlex body를 통한 동특성 결과 확인하기	5
RFlexGen 기능을 사용하여 다시 RFI File 생성하기	5
RFlex body를 통한 동특성 결과 확인하기	5
결과 비교를 통한 고찰	10
총합	70

예상 소요 시간

70 분

Chapter 2

초기 모델 불러오기

목적

초기 모델을 열어 시뮬레이션을 실행하고, 4 기통 엔진 모델 동작을 관찰해봅시다.

예상 소요 시간

10 분

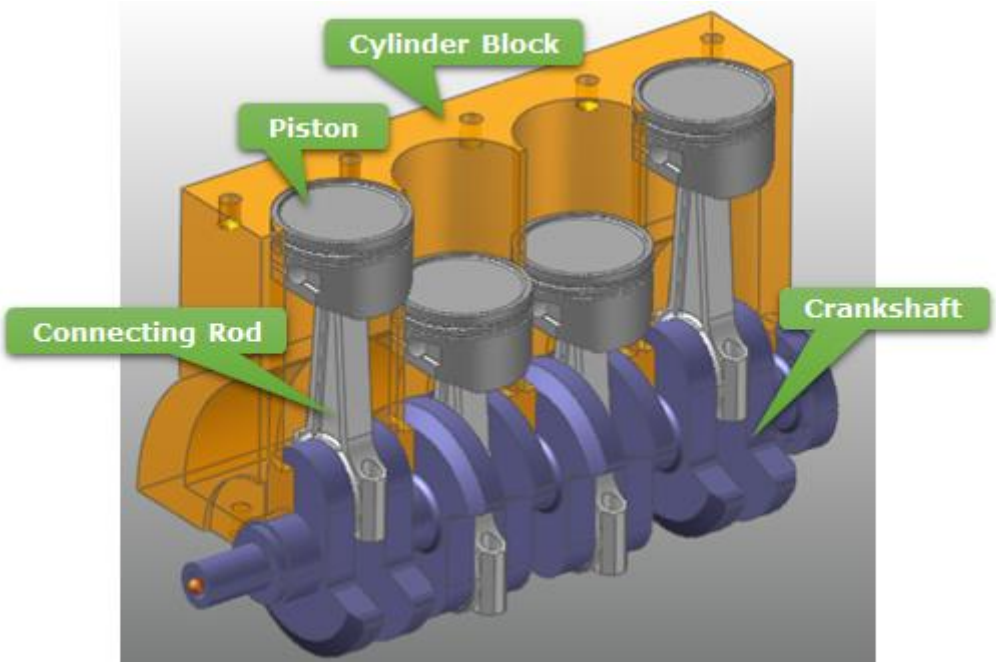
RecurDyn 모델 불러오기

RecurDyn 실행 및 초기 모델 불러오기**:**

1. 바탕화면에서 **RecurDyn** 아이콘을 더블 클릭하면, RecurDyn 이 실행되면서 Start RecurDyn 다이얼로그 박스가 나타납니다.

2. Start RecurDyn 다이얼로그 박스가 나타나면 닫아줍니다.
3. **File** 메뉴에서 **Open** 을 클릭합니다.
4. **RFlexGen** 튜토리얼 경로에서 **RD_RFlexGen_4Cyl_Engine_Start.rdyn** 을 선택합니다. (파일 경로: <Install Dir> \Help \Tutorial \Flexible \RFlexGen).
5. **Open** 을 클릭합니다.

   아래의 그림처럼 모델이 보여집니다.



모델의 구성은 다음과 같습니다.

위의 그림은 4 기통 직렬형 엔진 모델을 나타내고 있으며, 실린더 블록(Cylinder Block), 피스톤(Piston), 커넥팅 로드(Connecting Rod), 크랭크 축(Crankshaft) 등으로 크게 구성되어 있습니다. 실제 내연기관에서 발생하는 가스 폭발력은 4 개의 Piston 이 Cylinder Block 안에서 수직 방향으로 구동하게 만들고, 이는 Connecting Rod 를 통해 Crankshaft 를 회전시킵니다. 따라서, 이와 같은 과정을 RecurDyn 에서 모사하기 위해 4 개의 Piston 에서 발생되는 가스 폭발력을 시간에 대한 Force Profile 로 변환하여 직접 Piston Body 에 가진 힘으로 부여합니다.

모델 저장하기**:**

1. **File** 메뉴에서, **Save As** 를 클릭합니다.

   (튜토리얼 경로에서는 직접 시뮬레이션 실행이 불가하므로 다른 경로에 본 모델을 다시 저장해야 합니다.)

초기 **4** 기통 엔진 모델 시뮬레이션 실행

불러들인 모델의 동작이 실행되는 것을 이해하기 위해서 모델에 대한 초기 시뮬레이션을 실행합니다.

초기 시뮬레이션 실행하기**:**

1. **Analysis** 탭의 **Simulation Type** 그룹에서, **Dyn/Kin** 를 선택합니다.

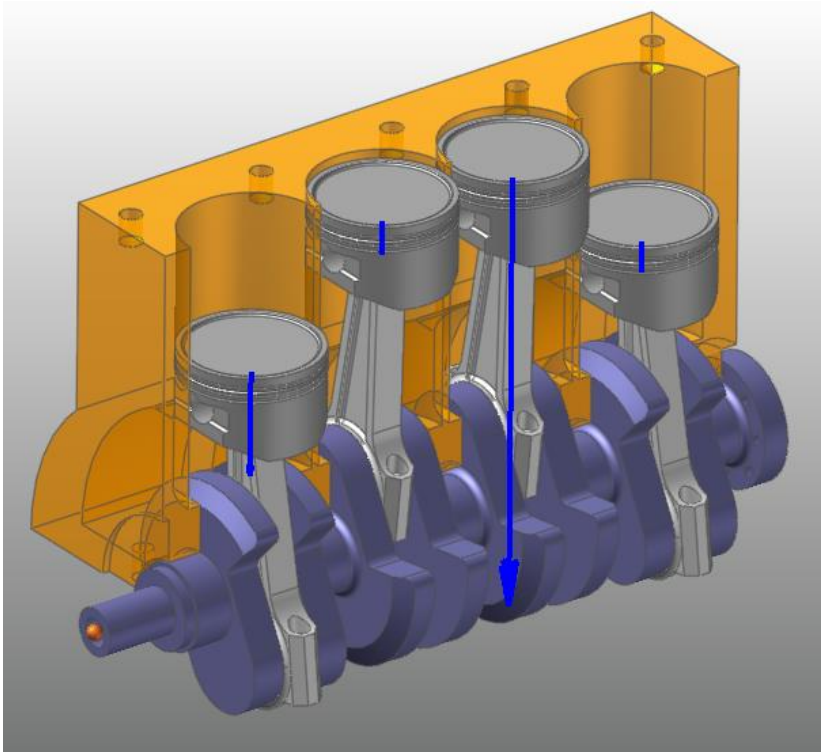
   Dynamic/Kinematic Analysis 대화상자가 나타납니다.

2. 설정된 상태를 확인한 뒤, **Simulation** 버튼을 클릭합니다.

결과보기**:**

Analysis 탭의 **Animation Control** 그룹에서 **Play** 버튼을 눌러 아래 그림과 같이 4 기통 엔진이 작동하는 것을 확인합니다.

이때, 모델링 작동에 대해서 보다 자세히 살펴보면, 4 개의 Piston 에서 일어나는 가스 폭발은 Piston_1 ➔ Piston_3 ➔ Piston_4 ➔ Piston_2 순으로 발생합니다. 이는 Animation 상에서 Force Display 를 나타내는 화살표의 크기로 확인할 수 있습니다. 각각의 Piston 에서는 일반적인 4 행정, 흡입 ➔ 압축 ➔ 폭발 ➔ 배기 과정이 일어나지만, 본 튜토리얼에서 사용된 동역학 모델에 있어서는 폭발에 의해 발생되는 가스 폭발력만이 의미를 가지므로, 폭발력을 시간에 대한 Force Profile 로 생성하여 각각의 Piston 에 순차적으로 힘을 부여할 수 있도록 모델링 되었습니다.



Chapter
3

FFlex body 생성하기

MFBD(Multi-Flexible Body Dynamics) 해석을 위해서 4 기통 엔진모델에서 크랭크 축을 유연체 즉, FFlex Body 로 변경해야 합니다. 여기서는 앞서 불러들인 모델에 구성되어있는 모델링 요소 즉, Joint, Force 등은 그대로 유지한 채, 특정 Rigid Body 만 Flexible body 로 교체함으로써 모델링의 효율성을 배가시키도록 하였습니다.

목적

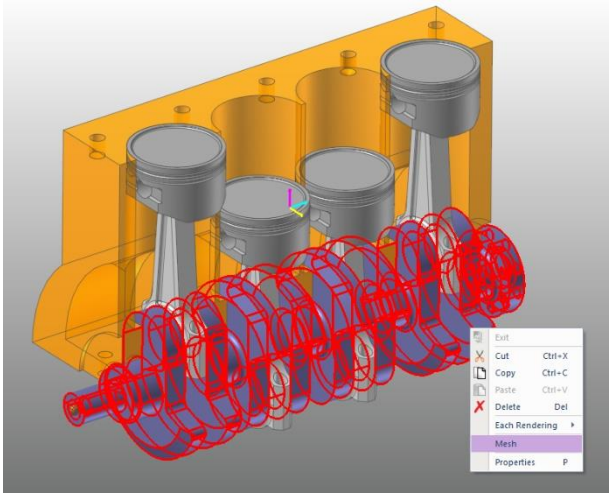
본 장에서는 RecurDyn FFlex(Full Flex)에서 제공하는 Mesher 를 사용하여 기존의 Rigid Body 를 Flexible body 로 변경하는 방법을 배우게 됩니다.

예상 소요 시간

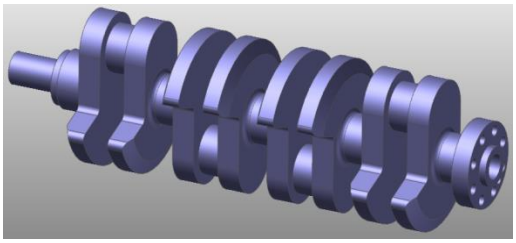
15 분

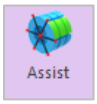
Crankshaft Mesh 생성하기

1. **Assembly** 모드에서 **Crankshaft Body** 를 선택한 뒤, 아래 그림과 같이 마우스 오른쪽 버튼 Pop-up Menu 에서 **Mesh** 를 선택합니다.



아래 그림처럼 Mesh 모드로 진입하여 **Crankshaft Body** 만이 보여집니다.



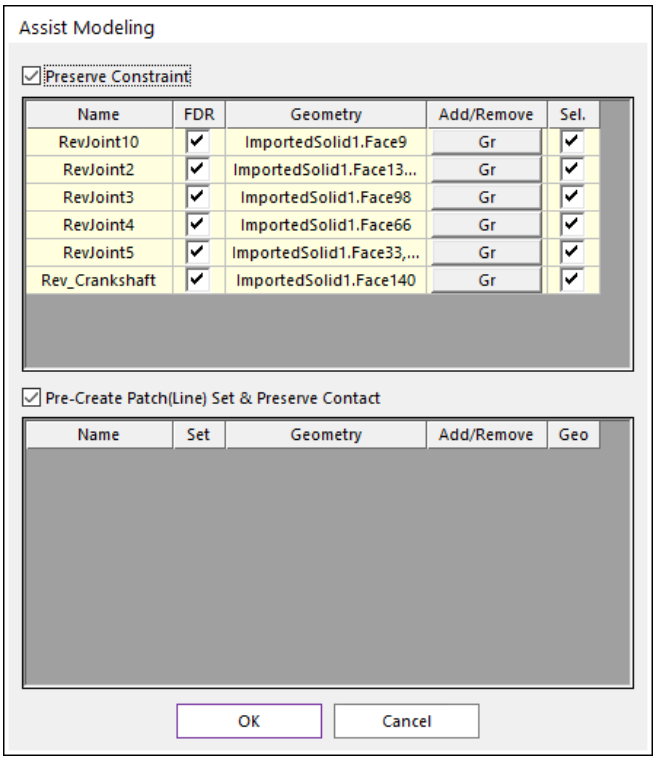


2. **Mesh** 모드로 진입한 뒤, 오른쪽 그림과 같이, **Mesher** 탭의 **Mesher** 그룹에 있는 **Assist Modeling Icon** 을 선택합니다.

그러면 Assist Modeling Dialog 가 나타납니다.

3. **Preserve Constraint** 버튼을 체크합니다.

Preserve Constraint 버튼이 기본적으로 체크되며 현재 Body 와 연결되어 있는 Joint 에 대한 내용이 오른쪽 그림과 같이 표시됩니다.

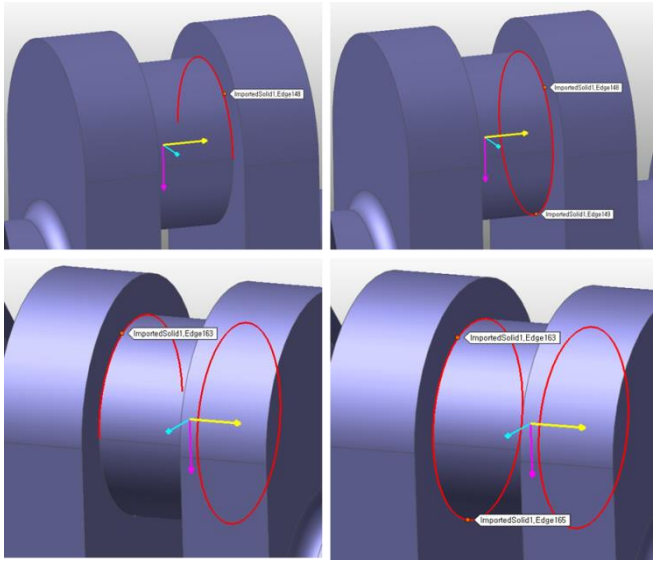


Tip: Target Body 를 선택한 후, Assist Modeling dialog 에서 **Geometries** 가 자동으로 설정됩니다. 그러나, 본 tutorial 에서는 정확한 결과들을 도출하기 위해 각각의 Constraints 의 Geometries Information 을 delete 하는 것과 아래 step 들을 수행하는 것을 권장합니다.

4. 위의 Dialog 에서 **FDR** 과 **Sel.**에 표기된 체크 박스를 모두 체크하도록 합니다.

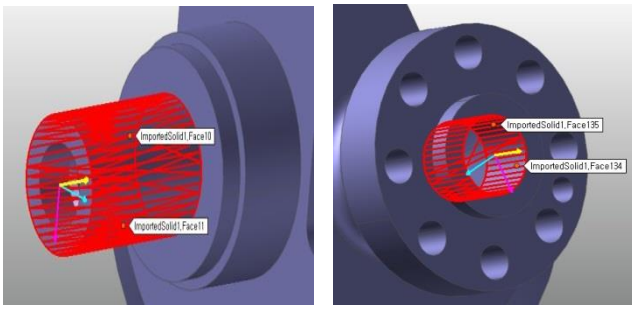
   FDR Check Box 는 Mesh 이후, FDR(Force Distributed Rigid Element)의 생성 유무를 선택하는 것이고, Sel. Check Box 는 기존에 생성된 Joint 혹은 Force 를 그대로 유지할 지를 선택하는 것입니다. 본 교재에서는 본 기능들이 모두 필요하므로, 모든 체크 박스를 체크하도록 합니다.

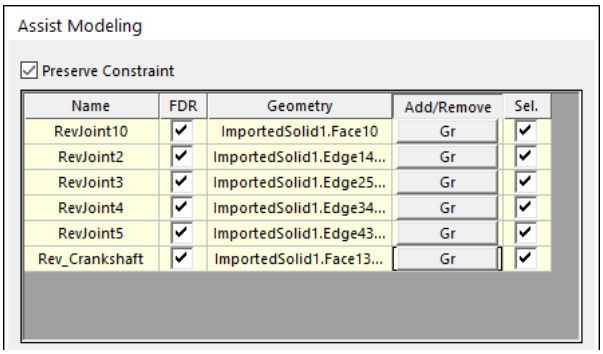
5. Dialog 에서 **Add** 열의 "**Gr**"버튼을 클릭한 후 **Slave Nodes** 가 생성될 영역을 마우스로 Geometry 를 선택함으로 미리 지정합니다. 먼저, **RevJoint2** 에 대한 Slave Nodes 가 생성될 영역은 Master Node 주위의 Edge 들이 될 것이므로, 아래 그림과 같이, 총 4 개의 Edge 를 선택한 뒤, 마우스 오른쪽 버튼을 눌러 **Finish Operation** 을 선택합니다. (**Tip**: Gr 버튼을 클릭하면, Master Node 가 생성될 Marker 가 화면상에 표시되므로, 이를 참고하면 Slave Nodes 로 지정될 영역을 쉽게 찾을 수 있습니다.)



Tip: Edge 를 선택하였을 때, 위의 그림과 같이 선택된 Edge 에 ToolTip 이 정확한 위치에 생성되게 하기 위해서는 ToolBar 에서 제공하고 있는 Snap to Grid 버튼을 눌러 비활성화해야 합니다.

6. 앞선 단계에서 제시한 방법대로 RevJoint3, RevJoint4, RevJoint5 에 대해서도 Slave Nodes 가 생성될 **4 개의 Edge** 를 선택합니다. 그러나, 나머지 RevJoint10 과 **Rev_Crankshaft** 에 대해서는 아래의 그림과 같이, 각각 **2 개의 Surface** 를 선택하도록 합니다. (**Tip:** 형상이 복잡하여 선택하기 어려운 경우에는 선택할 Edge 의 위치에서 마우스 오른쪽 클릭으로 **Select List** 기능을 사용하여 선택합니다.)

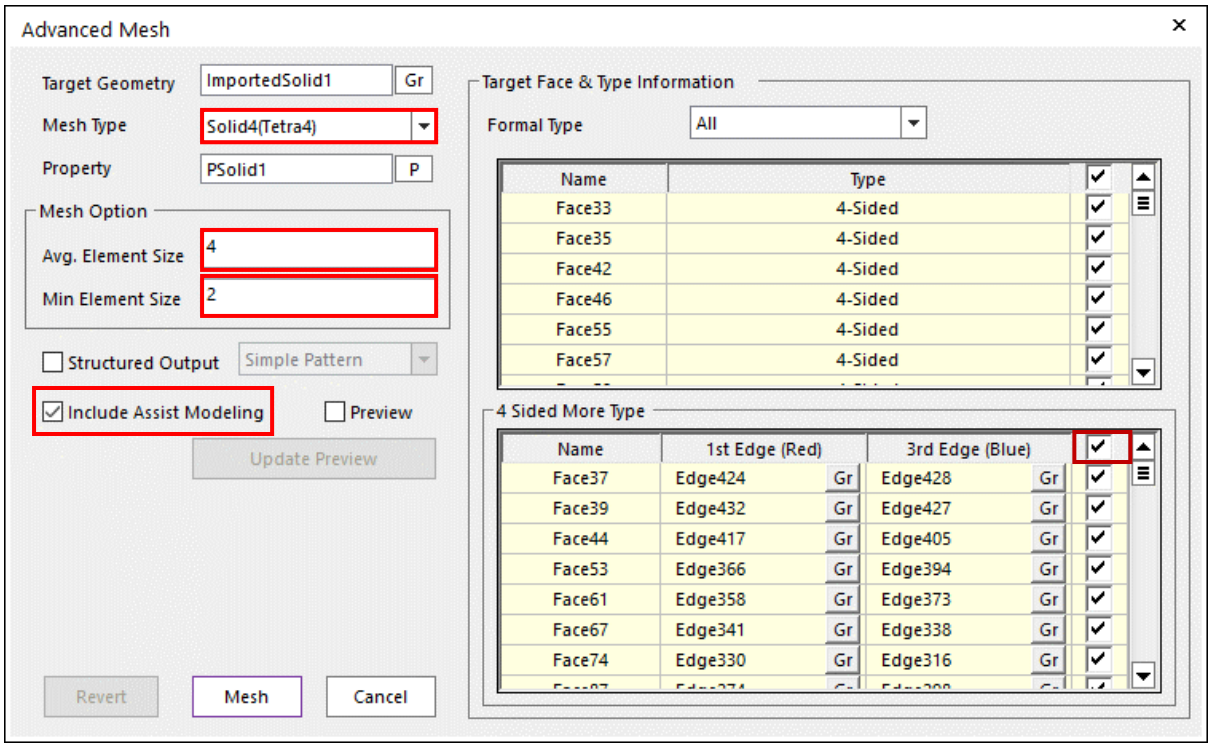




7. 오른쪽 그림과 같이, 각각의 Geometry 항목에서 Edge 정보가 선택됨을 확인한 후, **OK** 버튼을 누릅니다.

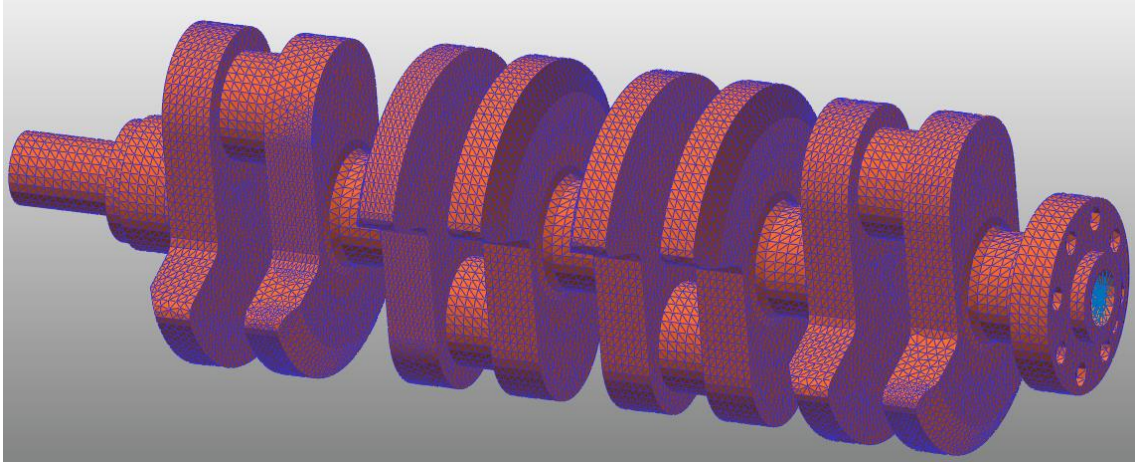
8. **Mesher** 탭의 **Mesh** 그룹에서 **Advanced** 를 선택합니다

그러면 아래와 같은 Dialog 가 나타납니다.



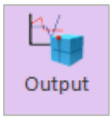
9. **Advanced Mesh Dialog** 에서 다음과 같이 변경합니다.
   - **Mesh Type** 을 그림과 같이**, Solid4(Tetra4)**로 선택합니다.
   - Mesh Option 에서 **Avg. Element Size** 를 **4** 로, **Min Element Size** 를 **2** 로 설정합니다.
   - **4 sided More Type** 에 포함된 Face 들을 4 Side Type 으로 변경하기 위해서 **3rd Edge** 오른쪽에 위치한 체크 버튼을 체크하여 전체 Face 를 선택합니다.
   - **Include Assist Modeling** 체크 버튼을 체크합니다. (**Tip:** 반드시 이를 선택해야만, 앞서 Assist Modeling 에서 정의한 조건에 따라 FDR 이 자동 생성됩니다.)
   - **Mesh** 을 클릭합니다.
   - Meshing 이 끝난 후, **Cancel** 을 클릭합니다.

Crankshaft Body 의 Mesh 모델이 아래와 같이 생성됩니다.

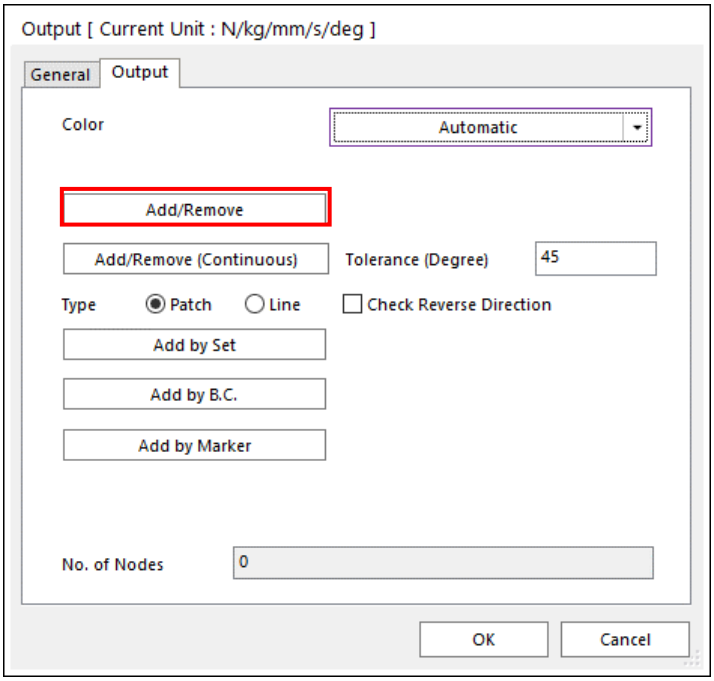


Assist Modeling 기능을 적용하여 자동으로 생성된 FDR 정보를 확인하기 위해서는 먼저, View Mode 를 Wireframe 으로 변경하고, Database 에서 Property Components 에 포함된 PFDR_1 을 마우스로 선택하면 아래 그림과 같이, Crankshaft 에 생성된 모든 FDR 를 쉽게 확인할 수 있습니다.

Tip: RecurDyn Mesh 모드에서는 두 개의 Auto-Mesher가 존재합니다. Mesh와 Advanced Mesh로 구분되는데, Mesh 는 Geometry 를 Mesh 를 생성하기 전에 GUI 에서 한번 Tessellation 과정을 거치고 나서 Mesh 작업을 수행하고, Advanced Mesh 는 Tessellation 과정을 거치지 않고 바로 Mesh 를 생성합니다. 따라서, CAD Geometry 의 왜곡을 최소화하고자 한다면 Advanced Mesh 를 사용하도록 합니다. 하지만 Mesh 실패율이 높을 수 있음을 유념해야 합니다.
추가적인 정보로, Advanced Mesh 를 사용할 때, 보다 Mesh Quality 를 향상시키기 위해서는 튜토리얼에서 제시한 방법처럼 GUI 에서 자동으로 지정하여 준 4-Side More Type 의 FACE 를 4-Side Type 으로 변경하는 옵션을 사용할 것을 추천합니다.



10. Crankshaft Flexible Body 의 특정 노드에 대한 Stress 결과를 Plot 에서 확인하기 위해서, **Mesher** 탭의 **FFlex Edit** 그룹에서 **Output Icon** 을 선택합니다. 아래와 같은 Dialog 에서 다음과 같은 절차를 수행합니다.



- **Add/Remove** 버튼을 누릅니다.
- **Command Input Toolbar** 의 Input Window 에 노드 번호 **438** 을 직접 입력하고,

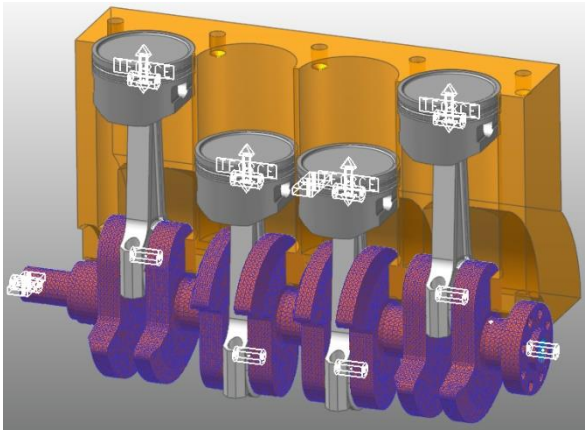
Keyboard 의 Enter 키를 누릅니다.

- **Working** 창에서 마우스를 우 클릭 후, Pop-up Menu 에서 **Finish Operation** 을 선택합니다.
- **Output** Dialog 의 **OK** 버튼을 선택하면, **Database** 창에 **Output1** 이 생성됩니다.

11. 다음의 방법을 이용하여 상위모드로 되돌아옵니다.

- **Working** 창에서 마우스 오른쪽 버튼을 눌러 Pop-up menu 에서 **Exit** 를 선택합니다.
- 또는 **Mesher** 탭의 **Mesher** 그룹에서 **Exit** Icon 를 선택합니다.

아래의 그림과 같이, 기존의 **Crankshaft Rigid Body** 가 사라지고, **Crankshaft Flexible body(Crankshaft_FE)**로 교체되어 있음을 확인할 수 있습니다. 또한 기존에 생성되어 있던 Joint, Force 가 그대로 유지되어 있음을 GUI 상에서 확인할 수 있습니다. 이때 아이콘 확인을 위해 Toolbar 에서 **Icon Control** 을 실행하여 모두 **ON** 시키도록 합니다. (**All Icons** 클릭)

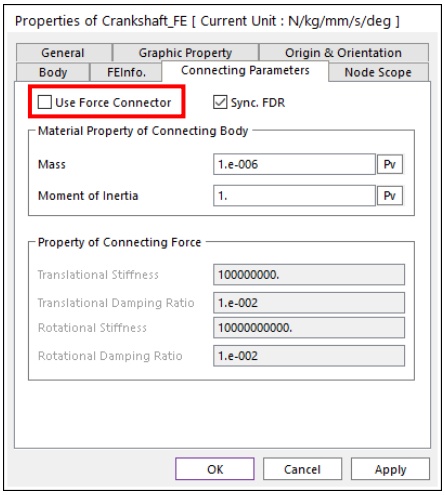


FFlex Body 가 포함된 **Dynamic** 해석 및 결과 확인

FFlex Body 가 포함된 **Dynamic** 해석하기**:**

1. **RD_RFlexGen_4Cyl_Engine_FFlex.rdyn** 으로 모델을 저장합니다.
2. **Crankshaft_FE** 를 선택한 뒤, 마우스 오른쪽 버튼을 눌러 **Properties** 를 선택합니다.

   Properties of Crankshaft_FE Dialog 가 나타납니다.
3. Properties of Crankshaft FE Dialog 에서 **Connecting Parameters** 탭을 선택한 뒤, 아래의 그림과 같이, **Use Force Connector** 의 체크 버튼을 해제합니다. 그리고 나서 **OK** 버튼을 눌러 Dialog 를 닫습니다.



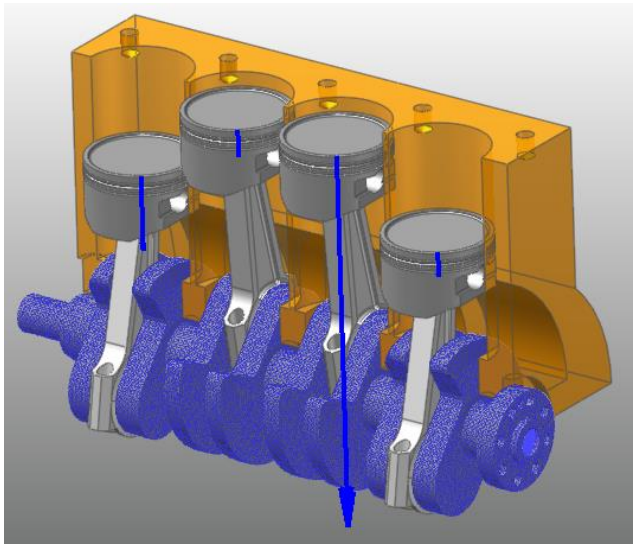
Tip: 일반적으로 Flexible body 에 Joint 및 Force 가 연결되게 되면, RecurDyn Solver 내부에서는 계산의 효율성을 위해서 Joint 혹은 Force 관련 Marker 가 생성되는 지점에 Dummy Body 개념을 적용하고 있습니다. 즉, Dummy Body 와 Flexible Body 를 임의의 강성이 높은 Force 요소로 연결되도록 설정되어 있습니다. 하지만, 본 교재에서는 Rigid Body 인 Connecting Rod 와 Flexible Body 인 Crankshaft 가 Joint 로 연결된 지점에서 Dummy Body 와 연결된 Force 의 영향을 최소화하기 위해서 Force 요소를 사용하지 않고 완전 구속하도록 합니다. 참고적으로, FDR 요소도 Force 와 Constraint 요소로 구분할 수 있는데, 본 교재에서는 Force 요소를 배제시키도록 합니다.

이와 같은 설정은 Flexible Body 의 거동을 보다 사실적으로 나타낼 수 있는 장점이 있으나, 해석 시간이 더 소요되는 단점이 있을 수 있습니다.

4. **Analysis** 탭의 **Simulation Type** 그룹에서 **Dyn/Kin Icon** 을 선택하여 열린 Dialog 에서 다른 설정 변경 없이 **Simulation** 버튼을 눌러 해석을 수행합니다.

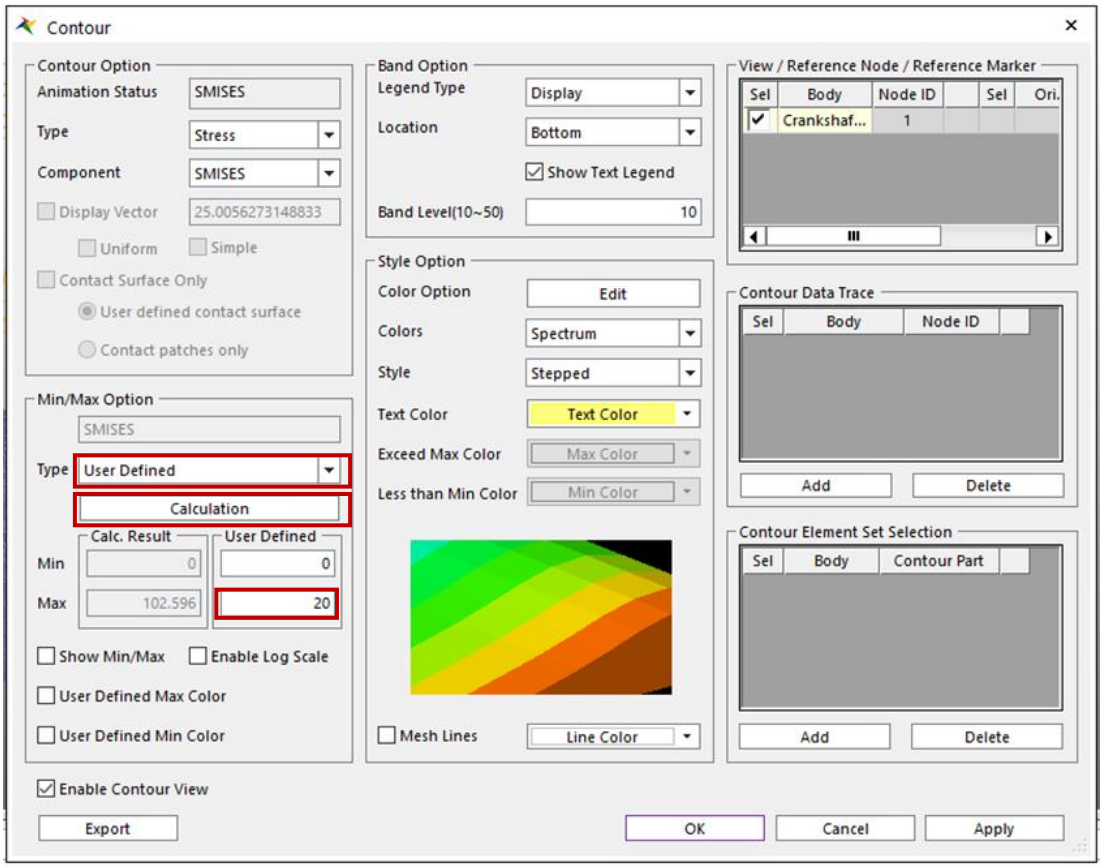
   PC 의 사양에 따라 해석 시간은 다를 수 있겠지만, 약 1 시간 40 분의 시뮬레이션 시간이 소요됩니다. 완료 후, Animation 을 확인하면, Crankshaft 가 Rigid Body 일 때와 크게 다르지 않는 결과를 보여줍니다.

   (만약, 본 교재의 목적인 RFlexGen 기능만을 익히고자 하는 사용자라면, 본 과정은 생략하고 Chapter 4 로 넘어가도 무방합니다.)



5. **Flexible** 탭의 **FFlex** 그룹에서 **Contour Icon** 을 선택합니다.

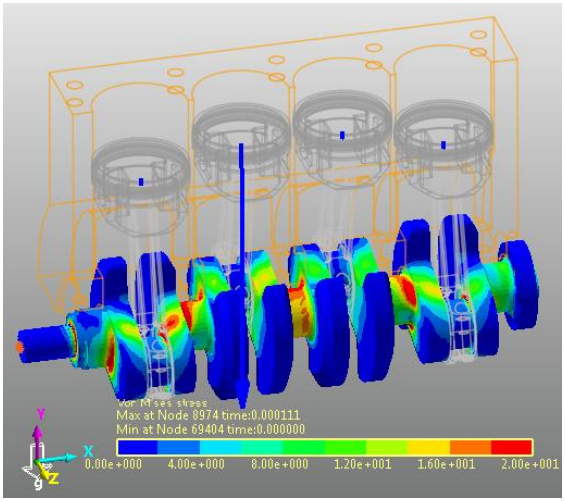
아래와 같이, **Contour** Dialog 가 나타나면 아래의 절차를 따릅니다.



- **Min/Max Option** 의 **Calculation** 버튼을 누릅니다.
- **Min/Max Option** 의 **Type** 을 **User Defined** 으로 변경합니다.
- **Max** 값에 **20** 을 입력합니다.
- **OK** 버튼을 눌러 Dialog 를 닫습니다.

6. Animation Play 버튼을 누릅니다.

오른쪽 그림과 같은 결과를 확인할 수 있습니다.



Chapter

4

RFlexGen 기능을 사용한 RFlex Body 생성하기

목적

본 장에서는 Mesher 를 통해 생성된 FFlex body 를 RFlexGen 기능을 사용하여 RFlex Body 로 변환하는 과정을 배우게 됩니다.

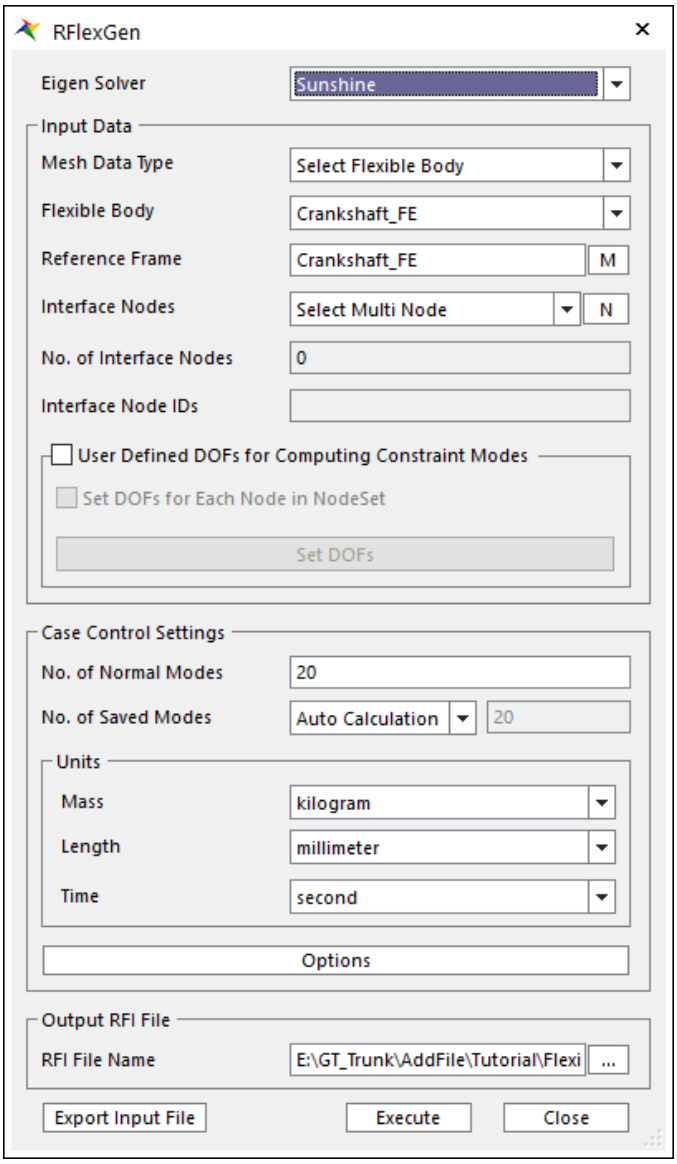
예상 소요 시간

40 분

RFlexGen 수행하기

RFlexGen 실행하기:

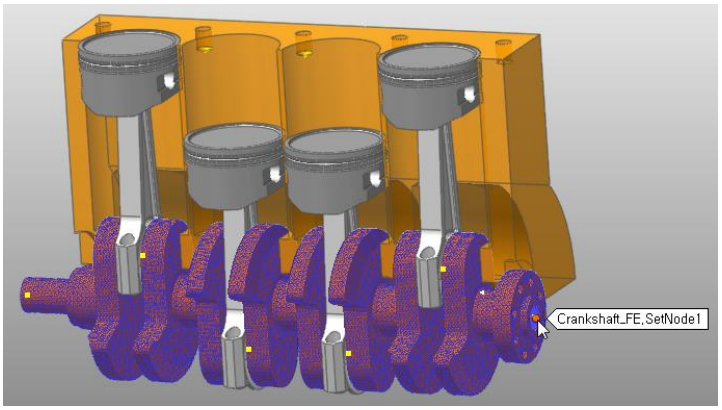
1. **Flexible** 탭의 **Flex Interface** 그룹에서 **RFlexGen Icon** 을 클릭하면 아래와 같이, RFlexGen Dialog 가 나타납니다.



본 교재에서 사용되는 FFlex Body 는 **Crankshaft_FE** 한개이므로, 위의 그림과 같이, **FFlex Body, Reference Frame** 에 대한 정보가 자동으로 지정되어 있는 것을 확인할 수 있습니다.

2. **Interface Nodes** 항목에 있는 Pull-down Menu 에서 **Select Multi FDR** 을 선택한 뒤, **N** 을 눌러 해당 바디가 포함되도록 Working Window 상에서 FDR element 들을 선택합니다.

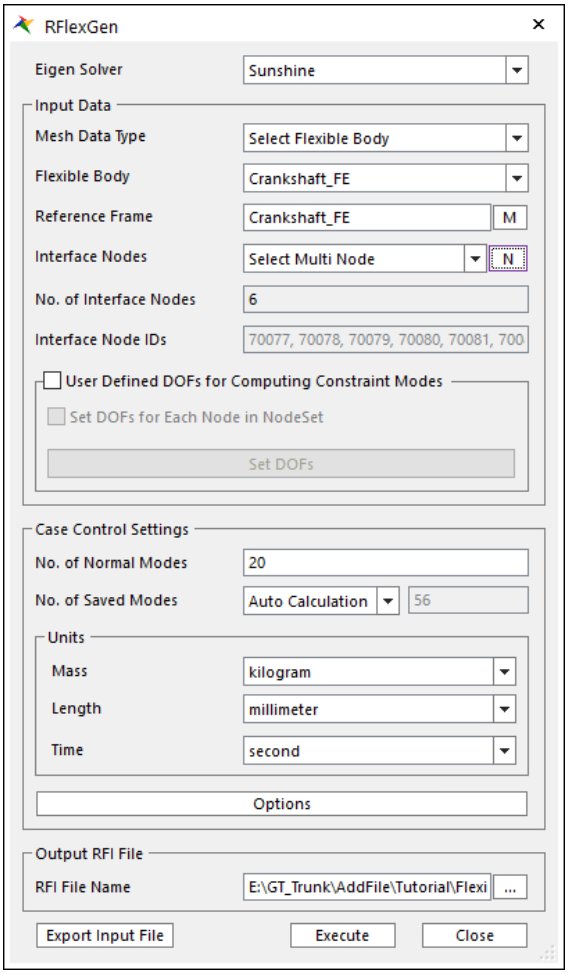
3. 마우스 우측 메뉴에서 Finish Operation 을 선택합니다. 그러면 선택된 FDR element 의



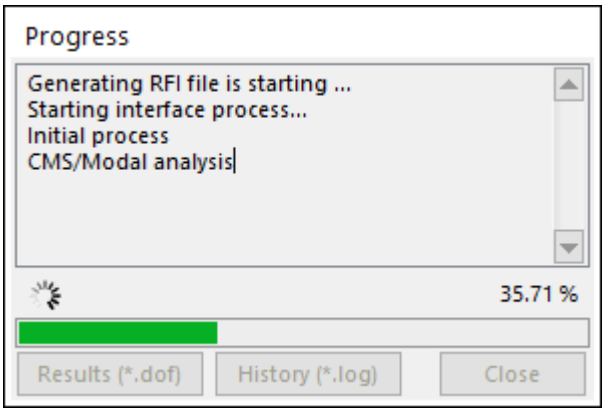
Master Node 들이 Interface Node 가 됩니다.

4. **RFlexGen** Dialog 에 입력해야 할 여러 설정 값들은 다음과 같이 지정하도록 합니다.

   - **Case Control Settings** 의 **No. of Normal Modes** 의 값은 **20** 으로 지정합니다.
   - **Units** 에 대해서는 Default 설정을 그대로 유지하도록 한다. 이때 FFlex Body 가 RecurDyn/Mesher 를 사용한 경우라면 Unit 을 변경할 필요가 없습니다.
   - 생성될 RFI file 이 생성될 폴더 위치 및 생성 이름 지정은 **...** 버튼을 눌러 사용자가 원하는 곳으로 지정하도록 합니다. 이 때, 파일명까지 포함되어야 합니다.
   - 설정이 완료된 상태는 오른쪽 그림과 같습니다



5. 설정이 완료되었다면, **Execute** 버튼을 클릭합니다. 그러면 아래 그림과 같이 Eigen Solver 를 사용하여 **CMS(Component Mode Synthesis) Analysis** 가 수행되는 과정을 확인할 수 있습니다.



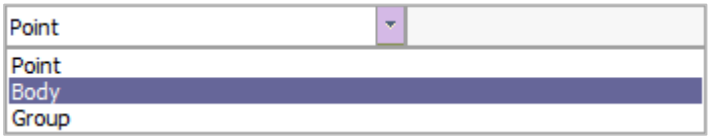
Tip: History(*.log) 버튼을 클릭하면 CMS Analysis 수행과정을 시간 별로 어떤 해석 과정을 수행하였는지 포괄적으로 정보를 제공하고 있습니다. 따라서 만약, 해석에 문제가 있었다면 Log File 을 열어 확인해 보실 것을 추천합니다. Results (*.dof) 버튼을 클릭하면 해석이 완료된 뒤, 계산된 Eigen Value 값을 각 모드 별로 확인할 수 있습니다.

6. 해석이 완료되면 **Close** 버튼을 눌러 **RFlexGen** 수행을 종료합니다.

RFlex Body 생성하기

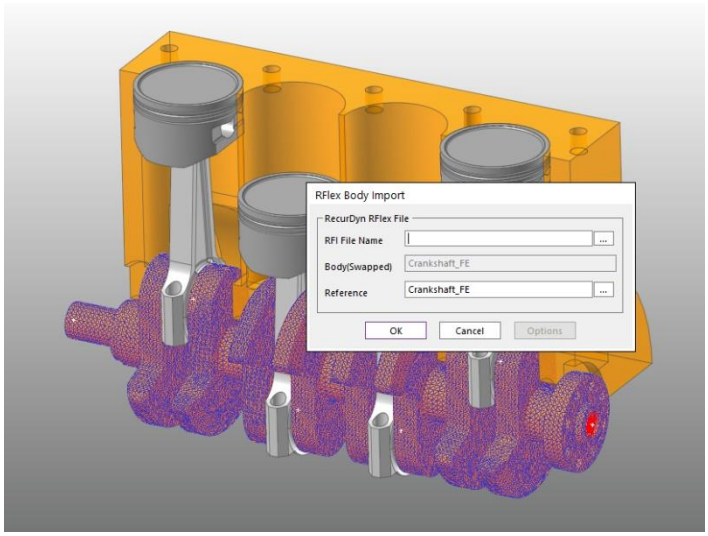
RFlex Body 생성하기**:**

1. **Flexible** 탭의 **RFlex** 그룹에서 **Import RFI Icon** 을 선택합니다.
2. 모델링 옵션에서 **Body** 로 변경합니다.



3. Window 창에서 아래 그림과 같이, **Crankshaft_FE** 를 마우스로 선택합니다.

   RFlex Body Import Dialog 가 나타납니다.

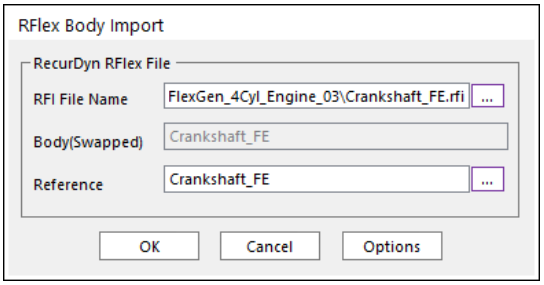


4. **RFlex Body Import** Dialog 에서 다음과 같이 작업합니다.
   - **RFI File Name** 영역의 "**...**" 버튼을 클릭합니다:
   - **RFlexGen** 수행하기에서 생성한 RFI File 을 선택합니다.
   - **Reference** 영역에서 "**...**" 버튼을 클릭한 뒤, Crankshaft_FE 를 선택합니다. (Reference 영역에 표기된 이름이 Crankshaft_FE 로 변경되었는지 확인합니다.)

Tip: Reference 에서 FFlex Body 혹은 RFlex Body 의 이름을 그대로 설정하면, Flexible Body 의 Body Reference Frame 이 자동으로 설정하게 됩니다. 따라서 위에서 수행한 과정은 Crankshaft FFlex Body 의 Body Reference Frame 을 Body 의 CM(Center Marker)이 아닌 Flex body 에서 실제로 사용되는 Reference Frame 을 설정하는 것입니다.

---

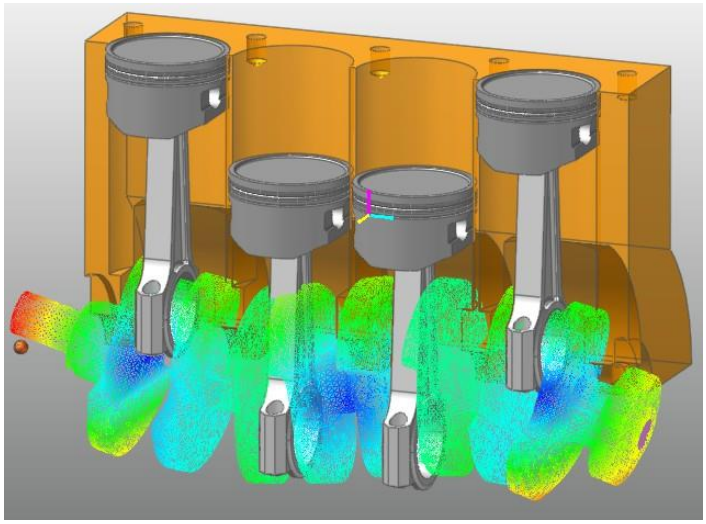
5. 오른쪽 그림과 같이, 최종적으로 선택된 상황이 올바르게 선택되었는지 확인한 후, **OK** 버튼을 클릭합니다.

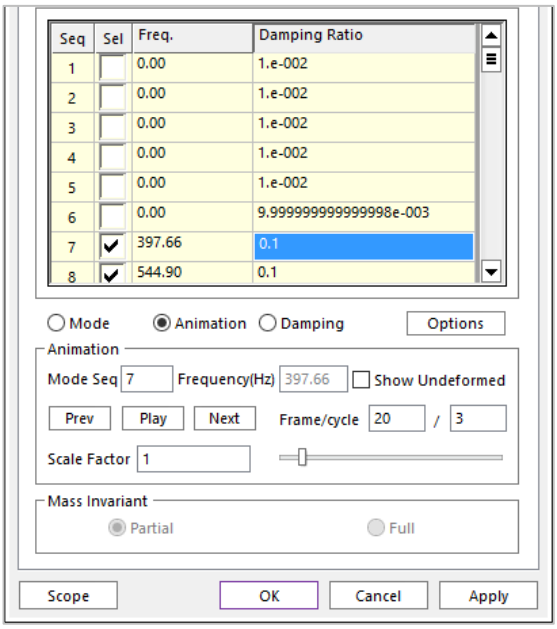


6. Toolbar 에서 **Icon Control** 버튼을 눌러, All Icons 을 모두 체크한 뒤, 결과를 확인하면, 기존 Crankshaft 에 적용된 모든 Joint 들이 **RFlex Body** 에도 그대로 적용됨을 확인할 수 있습니다. 확인이 완료되었으면, 다시 체크를 해제하도록 합니다.

7. 변경된 RFlex Body 를 마우스로 클릭한 후, 오른쪽 Pop-up Menu 를 이용하여 Property Dialog 를 띄웁니다.

   - 오른쪽 그림과 같이, **7 번째 모드를** 마우스로 클릭합니다.
   - 다이얼로그 중간에 위치한 **Play** 버튼을 눌러 선택된 모드의 움직임을 관찰합니다. 아래 그림과 같이 모드의 움직임을 Animation 으로 확인할 수 있습니다.
   - 나머지 관심이 있는 모드에 대해서도 위의 방법으로 확인이 가능합니다.





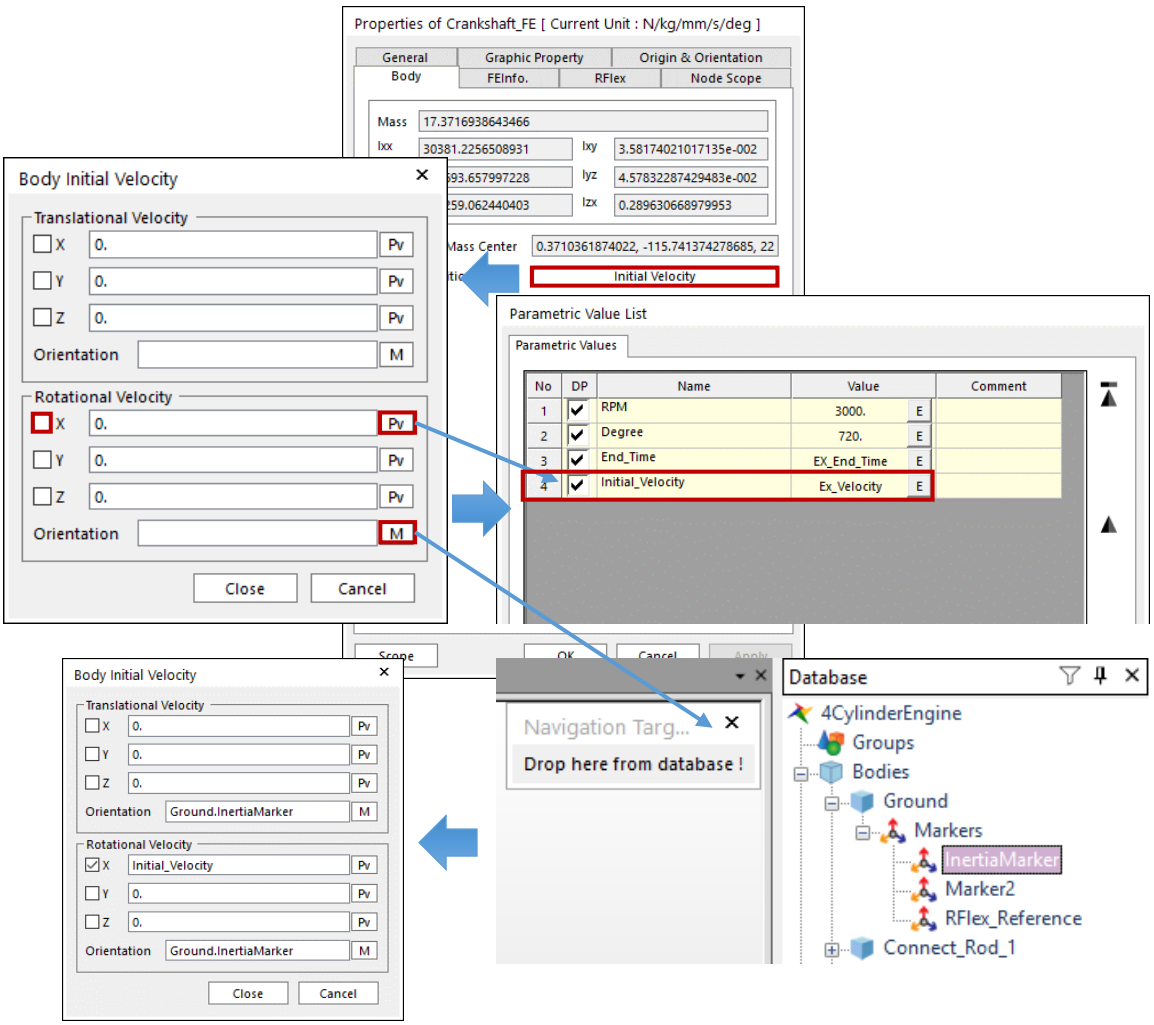
RFlex Body 가 포함된 **Dynamic** 해석 및 결과 확인

RFlex Body 가 포함된 **Dynamic** 해석하기**:**

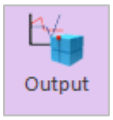
1. **RD_RFlexGen_4Cyl_Engine_RFlex.rdyn** 으로 모델을 저장합니다.
2. **Crankshaft_FE** 를 선택한 뒤, 마우스 오른쪽 버튼을 눌러 **Properties** 를 선택합니다.

   Properties of Crankshaft_FE Dialog 가 나타납니다.
3. **Properties of Crankshaft_FE** Dialog 에서 **Body** 탭을 선택한 뒤, **Initial Velocity** 버튼을 클릭합니다.
4. Body Initial Velocity Dialog 에서 다음과 같이 작업합니다.
   - **Rotational Velocity** 에서 **X** 를 체크하고, **PV** 버튼을 클릭합니다.
   - Initial_Velocity 를 선택합니다.
   - Reference Marker 영역의 M 버튼을 클릭합니다.
   - Database 창에서 **Ground.Inertia Marker** 를 마우스로 **Navigation Target** 창으로 Drag&Drop 을 한 후, **Close** 를 눌러 Dialog 를 닫습니다.

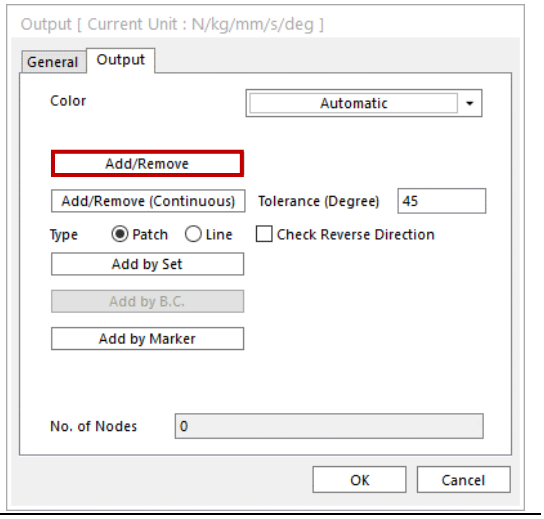
전체 과정은 아래 그림과 같습니다.



5. **Crankshaft_FE** 을 마우스로 더블 클릭하여, **RFlex Edit mode** 로 진입한다.



6. **Crankshaft_FE** 의 특정 노드에 대한 Stress 결과를 Plot 에서 확인하기 위해서, **RFlex Edit** 탭의 **RFlex Edit** 그룹에서 **Output Icon** 을 선택합니다. 아래와 같은 Dialog 에서 다음과 같은 절차를 수행합니다.

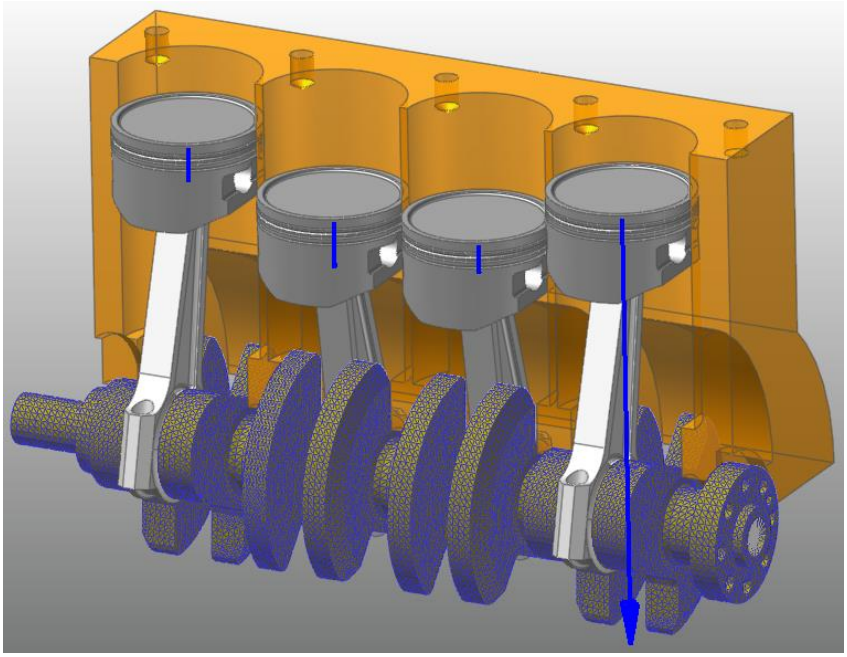


- **Add/Remove** 버튼을 클릭합니다.
- **Command Input Toolbar** 의 Input Window 에 노드 번호 **438** 을 직접 입력하고, Keyboard 의 Enter 키를 클릭합니다.

- **Working** 창에서 마우스를 우 클릭 후, Pop-up Menu 에서 **Finish Operation** 을 선택합니다.
- **Output** Dialog 의 **OK** 버튼을 선택하면, **Database** 에 **Output1** 이 생성됩니다.

7. 다음의 방법을 이용하여 상위모드로 되돌아옵니다.
   - **Working** 창에서 마우스 오른쪽 버튼을 눌러 Pop-up Menu 에서 **Exit** 를 선택합니다.
8. **Analysis** 탭의 **Simulation Type** 그룹에서 **Dyn/Kin Icon** 을 선택하여 열린 Dialog 에서 다른 설정 변경 없이 **Simulation** 버튼을 눌러 해석을 수행합니다.

   약 10 초 간의 해석 수행이 완료되면, Animation 상에서 이전 Crankshaft Body 가 존재했을 때와 유사한 결과를 확인할 수 있습니다. 이처럼 FFlex body 를 이용한 해석과 RFlex Body 를 이용한 해석의 해석 시간이 크게 차이가 나기 때문에 목적에 맞는 해석수행을 하면 보다

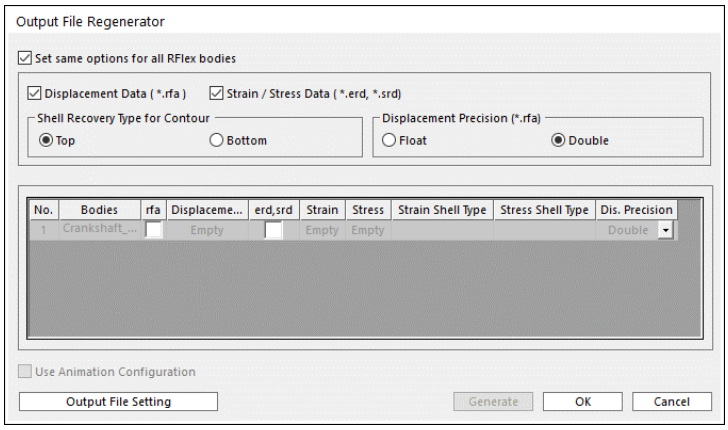


   효율적인 시뮬레이션이 가능합니다.

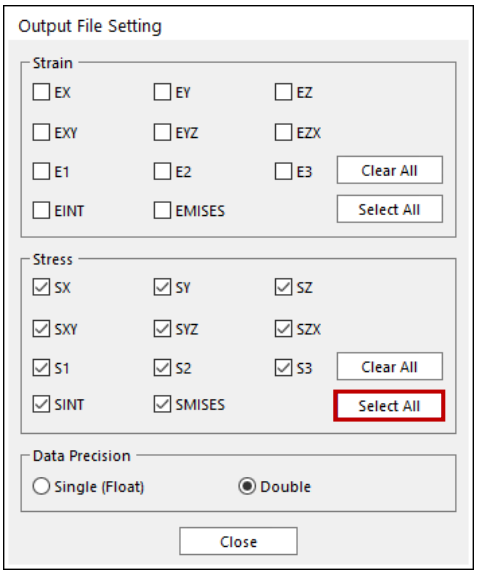
RFlex Body 의 **Stress** 분포 확인하기**:**

1. **Contour Icon** 아래에 위치한 **Output Regenerator Icon** 버튼을 선택합니다.

   오른쪽 그림과 같이 **Output File Regenerator** Dialog 가 나타납니다.



2. Dialog 좌측 하단의 **Output File Setting** 버튼을 클릭하면 아래 그림과 같이 Output File Setting Dialog 가 나타납니다.

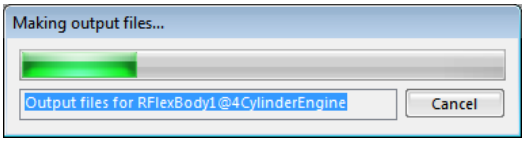


3. **Stress** 영역의 **Select All** 버튼을 클릭합니다.
4. **Close** 버튼을 클릭합니다.

Tip: Output File 생성 시, File Size 를 줄이기 위해서 기본적으로 Von-Mises, Sx, Sy, Sz 성분만 결과를 생성하도록 되어있지만, 다른 Stress Component 에 대한 결과를 Contour 에서 확인하고자 할 때에는 모든 성분을 체크해 주어야 합니다.

---

5. **Output File Regenerator** Dialog 에서 **Generate** 버튼을 클릭합니다.

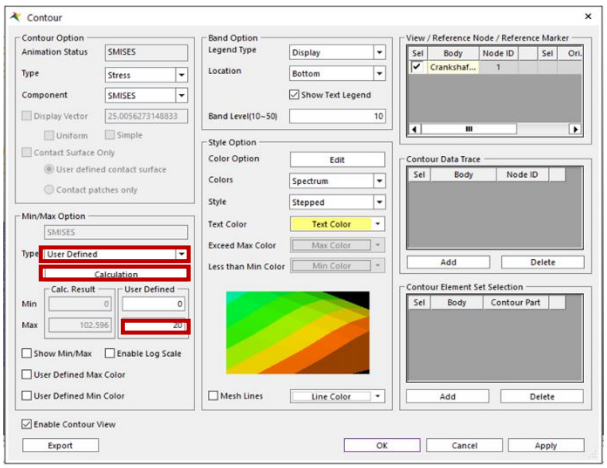


Progress Bar 가 표시되며 진행이 완료되고 나면, Information 영역에 표시된 Stress 정보가 **Empty** 에서 **Full** 로 변경됩니다. (Tip: 기본 설정으로 Output File 을 생성하였다면, Stress 정보는 Full 이 아닌 Partial 로 표기될 것입니다. 왜냐하면 Stress Component 11 가지 결과 중, Von-Mises, Sx, Sy, Sz 만 생성되기 때문입니다.)

6. **Flexible** 탭의 **RFlex** 그룹에서 **Contour** 를 클릭하면 아래 그림과 같이, Contour Dialog 가 나타납니다.

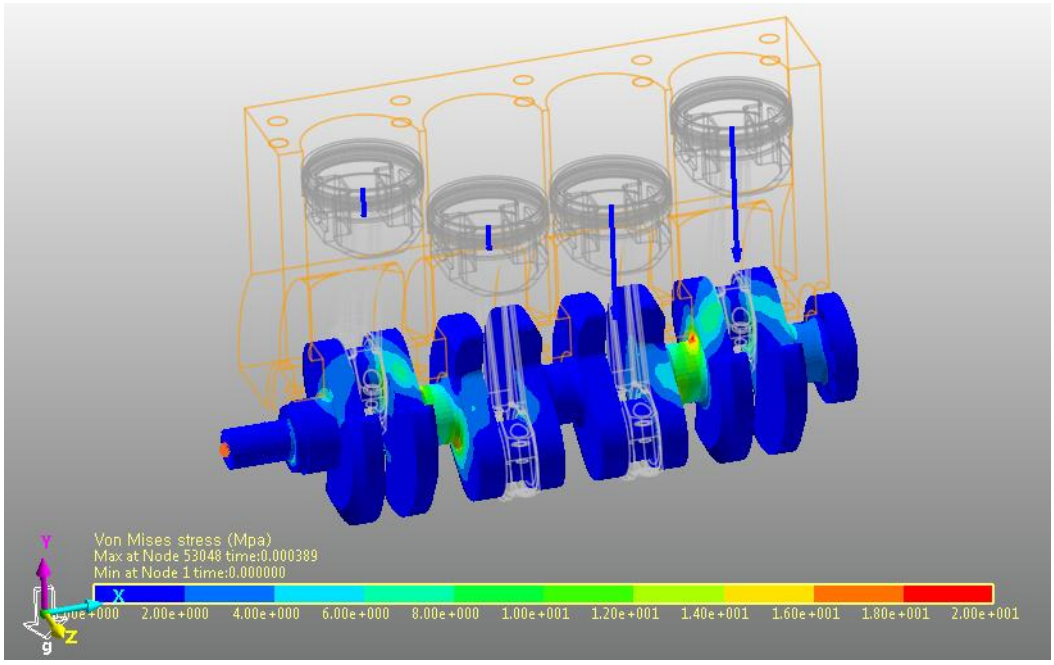
7. **Contour** Dialog 에서 다음과 같이 변경합니다.

   - **Min/Max Option** 의 **Calculation** 버튼을 클릭합니다.
   - Min/Max Option 의 **Type** 을 User Defined 으로 변경합니다.
   - **Max** 값에 **20** 을 입력합니다.
   - **OK** 버튼을 눌러 Dialog 를 닫습니다.



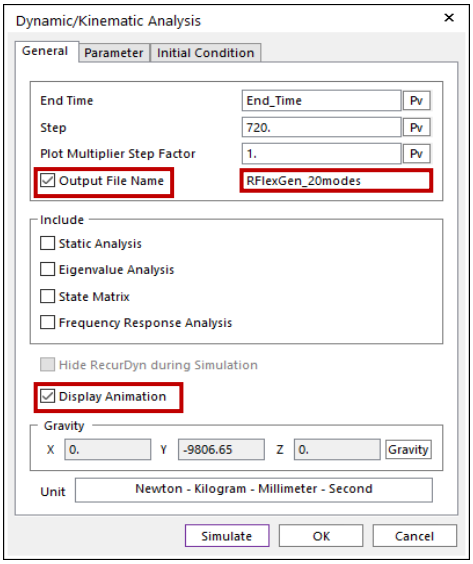
8. **Animation Play** 버튼을 클릭합니다.

   아래 그림과 같은 결과를 확인할 수 있습니다.



9. **Analysis** 탭의 **Simulation Type** 그룹에서 **Dyn/Kin Icon** 을 선택하여 열린 Dialog 에서 오른쪽 그림과 같이 설정합니다.

   - **Output File Name** 옵션을 선택한 뒤, 이름을 RFlexGen_20modes 로 기입합니다.
   - 해석이 진행되는 동안 해석 결과를 Animation 으로 확인하기 위해서, **Display Animation** 옵션을 체크하도록 합니다.



Tip: 이전 단계에서 Analysis 를 수행하였으므로, Simulation 결과를 확인하기 위해서 또 다시 해석을 수행할 필요는 없습니다. 하지만, 다음 단계에서 RFlex Body 의 특정 Output Node 에 대해서 Stress 결과를 Plot 으로 확인하기 위해서는 또 다시 Analysis 를 수행해야만 합니다. 왜냐하면, RFlex Body 에서 Stress Shape 이 없는 상태에서 Analysis 를 수행하게 되면 Plot 결과를 보여주는 *.rplt file 에 Stress 결과가 포함되지 않기 때문입니다. 따라서, 사용자가 RFlex Body 의 Output Node 를 지정하여 Stress 혹은 Strain 관련 결과를 Plot 에서 확인하기 위해서는, 해석을 수행하기 전에 RFlex body 에 먼저 Stress 혹은 Strain Mode 를 포함시켜야 합니다.

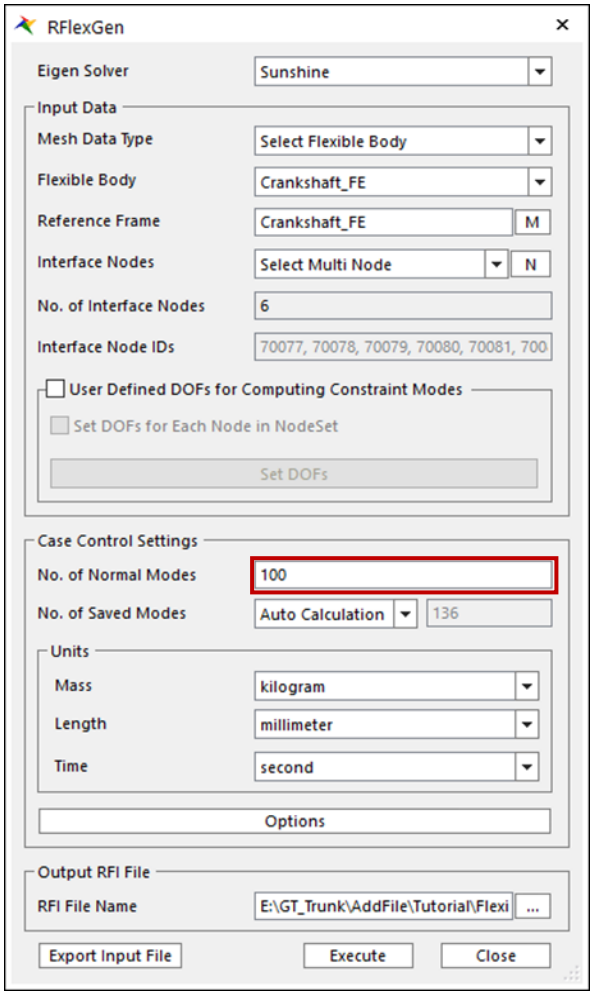
RFlexGen 다시 수행하기

RFlexGen 실행하기**:**

앞 절에서 RFlex Body 를 포함한 해석 결과를 바탕으로 RFlex Body 의 Mode 수를 증가시켜 다시 해석을 수행하여 결과를 확인하고 싶다면, RFlexGen 기능을 사용하여 다음과 같은 절차에 따라 원하는 바를 이룰 수 있습니다

1. **Flexible** 탭의 **Flex Interface** 그룹에 속한 **RFlexGen Icon** 을 클릭하면 아래와 같이, RFlexGen Dialog 나타납니다.

   이때, 앞 절에서 처음 RFlexGen Dialog 을 실행했을 때와는 달리, **Flexible Body, Reference Frame** 에 대한 정보가 현재 생성된 RFlex Body 에 관한 것으로 지정되어 있음을 확인할 수 있습니다.

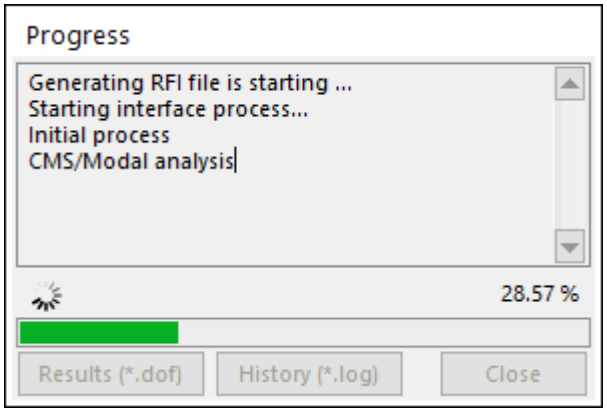


2. **Interface Nodes** 옵션의 Pull-down Menu 에서 **Select Multi FDR** 을 선택한 뒤, N 을 눌러 해당 바디가 포함되도록 Working Window 상에서 FDR element 들을 선택 후 마우스 우측 메뉴에서 **Finish Operation** 을 선택합니다. 그러면 선택된 FDR element 의 Master Node 들이 Interface Node 가 됩니다.

3. **RFlexGen** Dialog 에 입력해야 할 여러 설정 값들은 다음과 같이 지정하도록 합니다.

   - **No. of Normal Modes** 에는 **100** 을 입력합니다.
   - **Units** 에 대해서는 Default 설정을 유지합니다.
   - 생성될 RFI file 이 생성될 폴더 위치 및 생성 이름 지정은 **...** 버튼을 눌러 원하는 이름을 입력합니다.

4. 설정이 완료되었다면, **Execute** 버튼을 클릭합니다. 그러면 오른쪽 그림과 같이 Eigen Solver 를 사용하여 **CMS (Component Mode Synthesis) Analysis** 가 수행됩니다.



5. 해석이 완료되면 Close 버튼을 눌러 **RFlexGen** 수행을 종료합니다.

RFlex Body 교체하기

RFlex Body 교체:

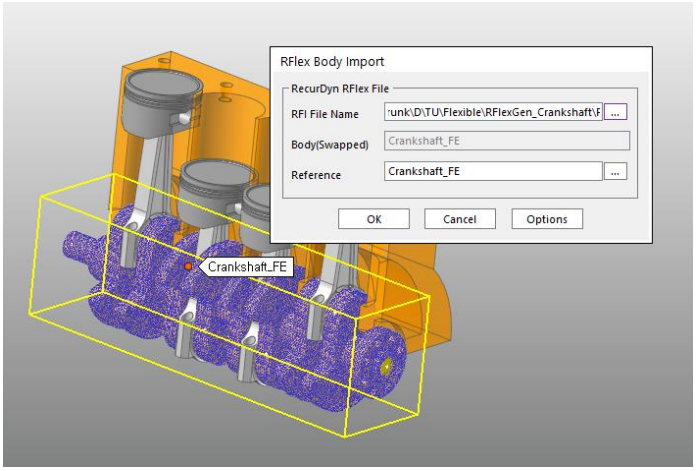
1. **Flexible** 탭의 **RFlex** 그룹에서 **Import RFI Icon** 을 선택합니다.
2. 모델링 옵션에서 **Body** 로 변경합니다.

3. **Window** 창에서 아래 그림과 같이, **Crankshaft_FE** 을 마우스로 선택합니다.

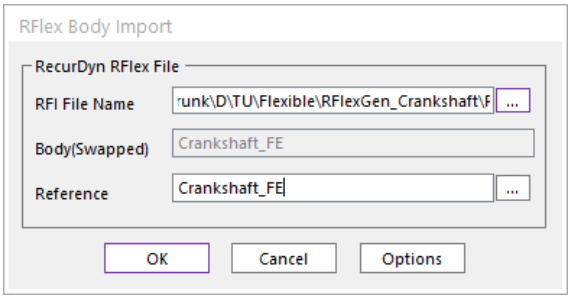
   RFlex Body Import Dialog 가 나타납니다.

4. **RFlex Body Import** Dialog 에서 다음과 같이 작업합니다.

   - **RFI File Name** 의 "**...**" 버튼을 클릭합니다.
   - 앞절의 **RFlexGen** 수행하기에서 설명한 바와 같이, 사용자가 지정한 위치와 RFI File 을 선택하도록 합니다.
   - **Reference** 의 "**...**" 버튼을 클릭한 뒤, Reference 에 표기된 이름이 **Crankshaft_FE.CM** 에서 **Crankshaft_FE** 으로 변경되었는지 확인합니다.

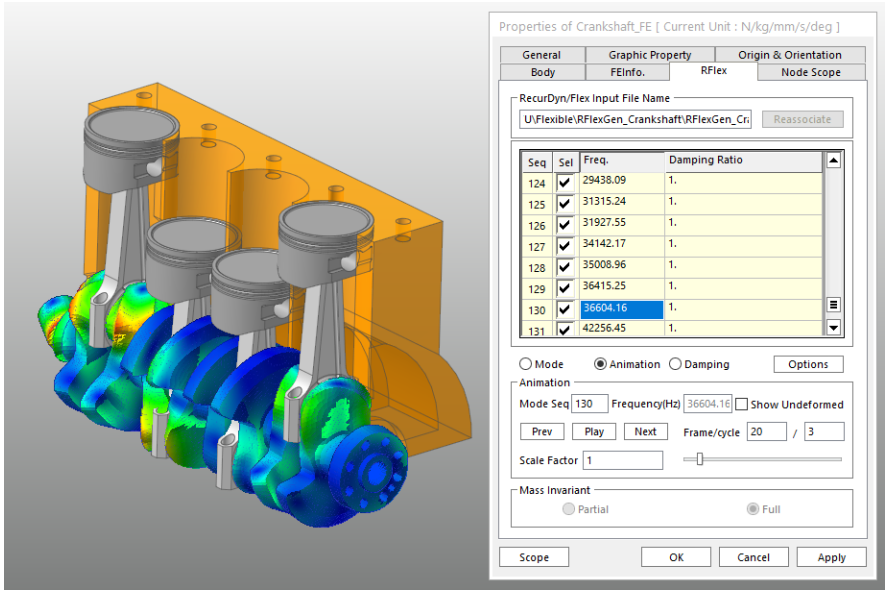


5. 오른쪽 그림과 같이, 최종적으로 선택된 상황이 올바르게 선택되었는지 확인한 후, **OK** 버튼을 클릭합니다.



6. 변경된 **Crankshaft_FE** 를 마우스로 클릭한 후, 오른쪽 Pop-up Menu 에서 Property Dialog 를 띄웁니다.

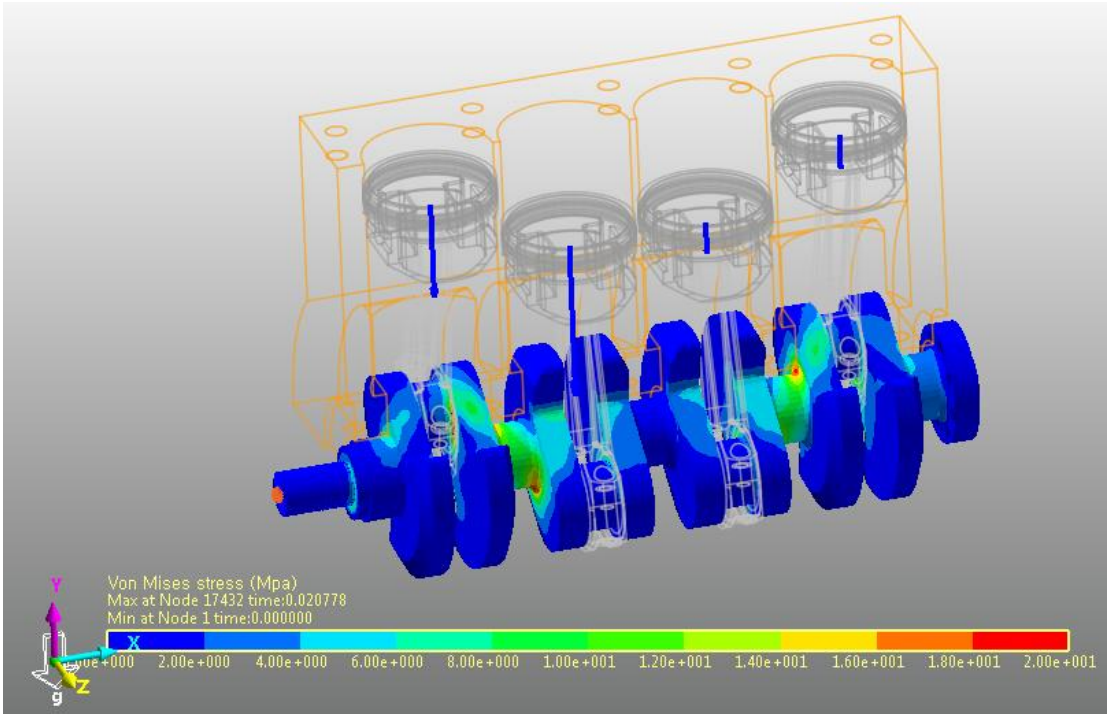
- 오른쪽 그림과 같이, **130 번째 모드**에 마우스를 클릭합니다.
- 중간에 위치한 Play 버튼을 눌러 선택된 모드의 움직임을 관찰합니다.



RFlex Body 가 포함된 **Dynamic** 해석 및 결과 확인

RFlex Body 가 포함된 **Dynamic** 해석하기**:**

Page 25 부터 Page 30 까지의 내용을 동일한 방법으로 수행합니다



Chapter 5

결과 분석 및 검토

목적

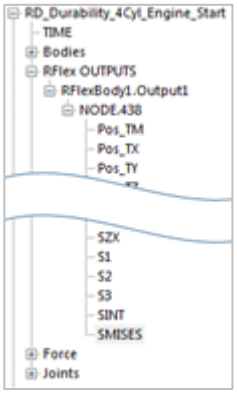
본 장에서는 FFlex Body 를 포함한 모델과 RFlex Body 를 포함한 모델로 MFBD (Multi Flexible Body Dynamic) 해석을 수행하여 얻어진 결과에 대한 분석을 바탕으로 RFlexGen 기능을 사용하여 얻을 수 있는 장점에 대해 살펴봅니다.

예상 소요 시간

5 분

Dynamic Analysis 결과 분석하기

Mesher 기능을 사용하여 생성된 **FFlex Body** 결과 분석

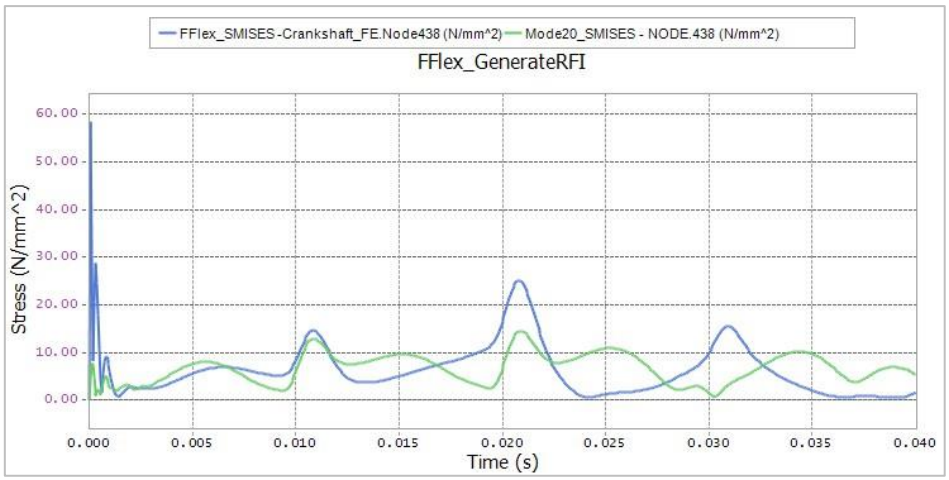


본 튜토리얼의 앞부분에서는 Crankshaft Rigid Body 를 FFlex/Mehser 를 사용하여 Flexible Body 로 변경한 후, 해석을 수행하였습니다. 이때 사용된 Flexible Body 는 노드의 수가 약 5 만개입니다. (약 15 만 자유도) 이로 인해, Dynamic 해석을 하는 데, 약 1 시간 정도의 오래 시간이 소요되었습니다. (PC 의 성능에 따라 시간은 상이할 수 있습니다.)

다음의 그림은 해석 결과로부터 얻은 관심 영역에 포함된 Node 의 Von-Mises Stress 결과를 Plot 에서 확인한 결과입니다. (앞 단계에서 Output 을 정의하였으므로, Plot 데이터에 해당 결과가 저장됩니다.)

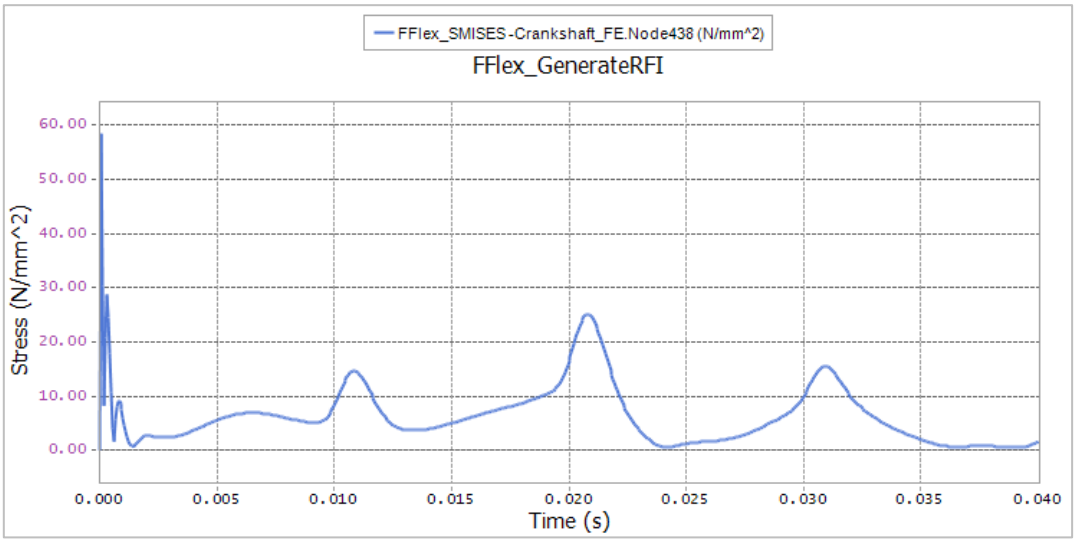
RFlexGen 기능을 실행하여 생성된 **Rflex Body** 결과와의 비교 분석**:**

다음은 본 튜토리얼을 통해서 배운 RFlexGen 기능을 사용하여 기존 FFlex Body 를 RFlex Body 로 변환한 해석 결과로부터 얻은 관심 영역에 포함된 Node 의 Von-Mises Stress 결과를 FFlex



Body 일 때와 RFlex Body 때로 구분하여 비교한 결과입니다.

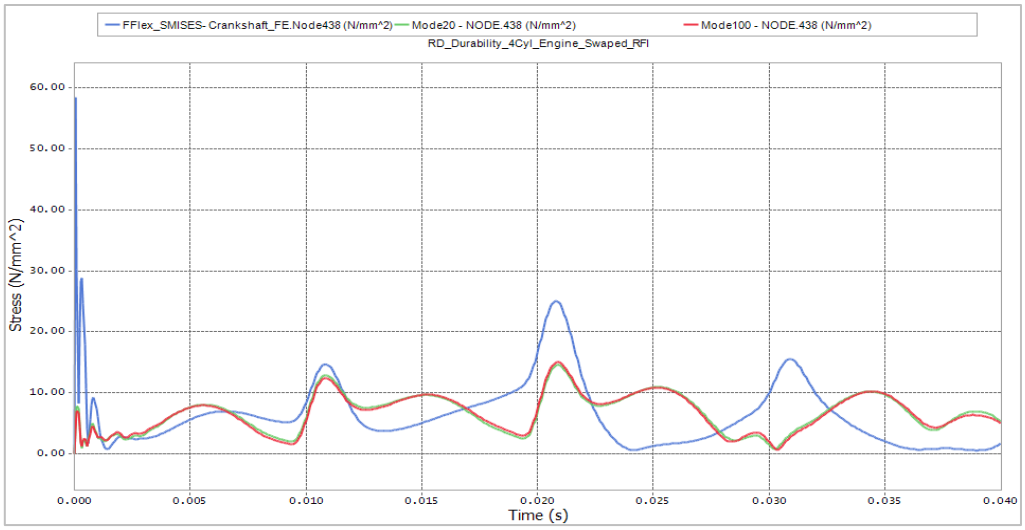
본 튜토리얼에서 사용된 Crankshaft 의 경우 다른 Body 와 아무런 접촉 문제를 고려하지 않아도 되고, 단지 Joint 로만 구속되어 있으므로, FFlex Body 가 아닌 RFlex Body 로도 충분히 Crankshaft 의 Flexibility 를 고려할 수 있습니다. 즉 Flexible Body 의 노드 수가 많고 Contact 조건이 필요하지 않은 해석 조건에서, 정확한 결과보다는 빠른 해석을 통해 설계 변경을 위한 빠른 피드백을 필요로 하는 경우에는 RFlex Body 를 이용하는 것이 유리할 수 있습니다.



위의 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이, Crankshaft 를 FFlex Body 로 변환하였을 때와 RFlex Body 로 변환하였을 때 결과 차이가 크지 않음을 확인할 수 있습니다. 따라서 RFlex Body 를 사용하였을 때의 해석 시간이 10 초 내외인 것과 FFlex Body 를 사용하였을 때의 해석 시간이 1 시간 가량인 점을 고려한다면, 다소의 해석 결과의 차이를 감수하고도 RFlex Body 를 사용하였을 때 얻을 수 있는 장점은 크다고 판단할 수 있습니다.

Normal Mode 수를 증가시킨 **RFlex Body** 결과와의 비교 분석**:**

다음으로 RFlex Body 의 Normal Mode 수를 5 배 증가시킨 경우, 결과에 미치는 영향을 확인해보도록 하겠습니다.



위의 결과 그래프에서 확인할 수 있는 바와 같이, Mode 수를 증가시켰을 때 기존과 비교해서 크게 다른 결과를 보이고 있지 않습니다. 이와 같은 결과에서 확인할 수 있듯이, 본 튜토리얼에서 사용된 Engine 시스템에서는 저주파수의 Normal Mode 만으로도 원하는 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있습니다.

RFlexGen 기능을 통한 **RFlex Body** 적용의 장단점

본 튜토리얼을 통한 결과를 바탕으로 FFlex Body 와 RFlex Body 를 구분하여 MFBD 모델링에 적용함에 있어 각각의 장단점은 다음과 같습니다.

먼저, FFlex Body 를 사용함으로써 얻을 수 있는 장점은 해석을 통해 결과를 얻고자 하는 대상의 비선형 거동을 포함하고 있으므로 보다 정확한 해석 결과를 얻을 수 있는 점입니다. 특히, 해석하고자 하는 대상에 여러 Contact 조건이 부여되었을 때에는 FFlex Body 를 사용해야 결과를 얻을 수 있습니다. 그러나 FFlex Body 를 구성하는 Node 수가 많을수록, 비선형 특성이 크게 나타날수록 해석 시간은 많이 소요되게 됩니다.

반면, RFlex Body 를 사용함으로써 얻을 수 있는 장점은 FFlex Body 에 적용된 것과 같이 구성된 전체 Node 의 자유도를 사용하는 것이 아닌 RFlex Body 에 포함된 전체 Normal Mode 의 수를 자유도로 사용하기 때문에 계산시간을 상당히 줄일 수 있다는 점입니다. 또한 해석을 통해 얻고자 하는 물체의 거동이 대변형을 야기하는 비선형 특성이 없다면 RFlex Body 를 적용함으로써 유연체 특성을 충분히 고려할 수 있습니다. 하지만 비선형 결과가 요구되는 MFBD 모델에서는 해석의 결과에서 FFlex Body 를 사용한 경우에 비해 정확도가 낮아질 수 있습니다. 만약 비선형 특성을 고려하지 않는다면, 앞서 언급한 바와 같이, 빠른 결과 계산을 통해 빠른 시간 안에 실질적인 제품 설계 등에 반영할 수 있습니다.

Thanks for participating in this tutorial