



FFlex Mesher Suspension Tutorial (Durability)

Durability Contour

Contour Option: Safety Factor

Band Option: Legend Type: Display, Location: Bottom, Show Text Legend: , Band Level(10-50): 10

Min/Max Option: Display:

Calculation: Min: 108.12, Max: 562.38

Show Min/Max: Enable Log Scale:

Style Option: Color Option: Edit, Colors: Spectrum, Style: Smooth, Text Color: [Yellow]

Mesh Lines:

Export, Contour View, OK

User-Defined

No	Cycle to Failure	Stress Amplitude
1	1.	820.
2	10.	650.
3	100.	470.
4	1000.	360.
5	10000.	270.
6	100000.	200.
7	1000000.	150.
8	10000000.	120.
9	100000000.	90.

Unit: mm-N

Linear

Criterion: 317.2 [Pr], 565.4 [Pr], 917. [Pr]

Close

History_1

Stress vs Time graph showing a sinusoidal wave oscillating between approximately -1.50 and 1.50.

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	5
과정	5
예상 소요 시간	5
초기 모델 불러오기	6
목적	6
예상 소요 시간	6
RecurDyn 모델 불러오기	7
초기 Suspension 모델 시뮬레이션의 실행	8
결과 보기	8
FFlex Body 생성하기	9
목적	9
예상 소요 시간	9
UCA Body Mesh 생성하기	10
LCA Body Mesh 생성하기	16
Durability Analysis 수행하기	23
목적	23
예상 소요 시간	23
UCA_FE Body 에 대한 Durability Analysis 수행하기	24
LCA_FE Body 에 대한 Durability Analysis 수행하기	36
결과 분석 및 검토	42
목적	42
예상 소요 시간	42
Durability Analysis 결과 분석하기	43

Chapter

1

개요

피로 혹은 내구해석(Durability Analysis)을 수행하는 목적은 관심이 있는 부재 즉, RecurDyn 에서 모델링된 Flexible Body 에 대하여 다양한 동적 하중으로부터 어느 시점까지 flexible body 의 특정 부위가 안정적으로 버틸 수 있는지 혹은 얼마나 안정한지를 판단하는 것입니다. 그러므로 단순히 최대 응력 및 최대 변형률에 대한 결과만을 고려하는 것과는 구분됩니다.

따라서 본 교재에서는 Flexible body 로 구성된 동역학 시스템에 대해서 RecuDyn/Durability 를 어떻게 사용하여 피로수명(Fatigue Life, Fatigue Damage)등과 같은 원하는 피로해석 결과를 얻을 수 있는지 배우게 됩니다. 또한 본 교재에서는 RecurDyn/Durability 에서 적용하고 있는 여러 기능 및 이론적 배경에 대해서도 간략히 설명함으로써, 내구해석에 대해 이론적 배경이 없는 사용자도 쉽게 사용할 수 있도록 하였습니다.

본 교재에서 사용된 모델은 실제 환경에서 실험용으로 사용 가능한 시스템을 단순화한 MBD 모델로서, 이를 바탕으로 특정 부위를 RecurDyn/Mesher 를 사용하여 쉽게 Flexible Body 로 대체하는 방법을 배우고, 이에 대해 유연체 특징 및 내구 결과를 확인할 수 있도록 구성하였습니다. 또한 특정 부분에 대한 내구 결과를 얻을 수 있게 진행하도록 하였습니다.

목적

본 교재에서 다루고자 하는 내용은 다음과 같습니다.

- RecurDyn Mesher 를 통한 Flexible Body 생성 방법
- 내구해석을 수행하기 위한 필요조건
- 내구해석을 여러 방법으로 수행하는 방법
- 내구해석 결과를 얻는 방법
- 내구해석 결과에 대한 분석 방법

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

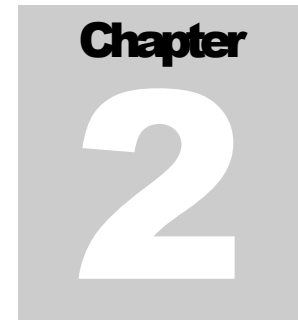
본 교재는 다음과 같은 순서로 구성되어 있으며, 수행 예상 시간은 다음과 같습니다.

과정	시간(분)
Rdyn 모델을 불러오기	10
Mesher 를 사용한 FFlexbody 만들기	15
RFlex body 교체하기	20
Fatigue 결과 확인을 위한 Patch Set 생성하기	5
Fatigue preferences 설정하기	5
Performing a fatigue evaluation 실행하기	5
Fatigue 결과 확인하기	5
총합	65



예상 소요 시간

본 교재를 수행하는 시간은 약 65 분 정도 소요될 예정입니다.



초기 모델 불러오기

목적

초기 모델을 열어 시뮬레이션을 실행하고, Suspension 모델 동작을 관찰해봅시다.



예상 소요 시간

10 분

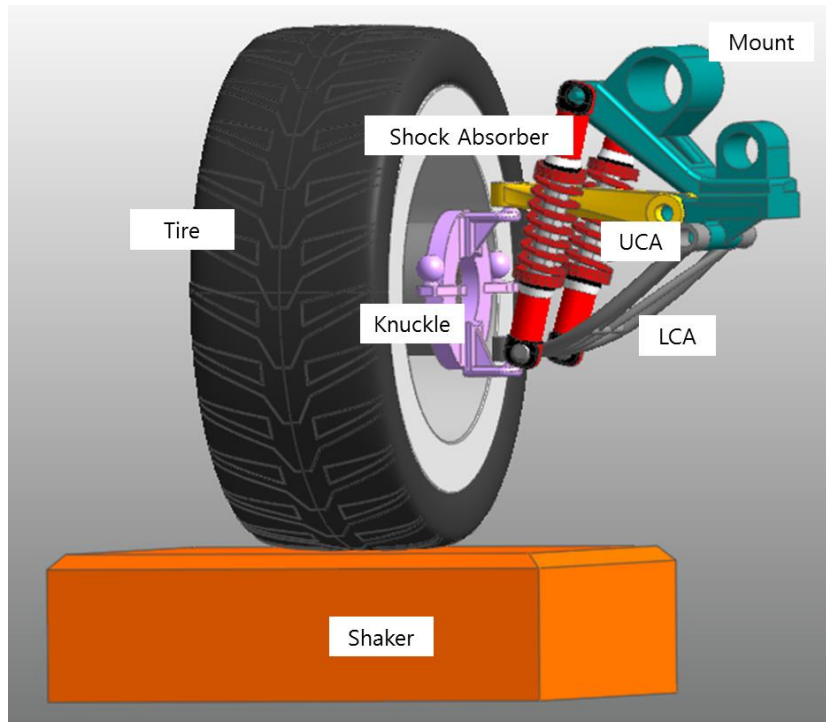
RecurDyn 모델 불러오기

RecurDyn 실행 및 초기 모델 불러오기:



1. 바탕화면에서 **RecurDyn** 아이콘을 더블클릭하면, RecurDyn 이 실행되면서 **Start RecurDyn** 다이얼로그 박스가 나타납니다.
2. **Start RecurDyn** 다이얼로그 박스가 나타나면 닫아줍니다.
3. **File** 메뉴에서 **Open** 을 클릭합니다.
4. **Durability** 튜토리얼 경로에서 **RD_Durability_Start.rdyn** 을 선택합니다. (파일 경로: <Install Dir>\Help\Tutorial\PostAnalysis\Durability\FFlexMesherSuspension).
5. **Open** 을 클릭합니다.

아래의 그림처럼 모델이 나타납니다.



모델의 구성은 다음과 같습니다.

차량의 구성 장치 중, 현가장치(Suspension)는 노면의 충격이 차체나 탑승자에게 전달되지 않도록 충격을 흡수하는 조립체입니다. 불러온 모델은 현가장치에 대해서 부분적인 내구성을 측정하기 위한 시험장치입니다. 가진기(Shaker) 위에 현가장치가 올려 놓아져 있고, 이때, 시험을 위한 가진은 Shaker 위에 맞닿아 있는 Tire 에 직접 힘을 가하도록 합니다.

Shaker 를 제외한 현가장치 모델은 하나의 Tire 와 세 개의 Subsystem 으로 이루어져 있습니다. 세 개의 Subsystem 은 Coil Spring 을 내포하고 있는 2 개의 Shock Absorber 와 하나의 Suspension

Assy 로 이루어져 있습니다. 이때, Suspension Assy 는 Mount, Knuckle, LCA(Lower Connecting Arm), UCA(Upper Connecting Arm)으로 구성됩니다. 본 교재에서 내구해석으로 관심을 가질 부분은 LCA 와 UCA 입니다.

모델 저장하기:

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

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

초기 **Suspension** 모델 시뮬레이션의 실행

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

초기 시뮬레이션 실행하기:



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

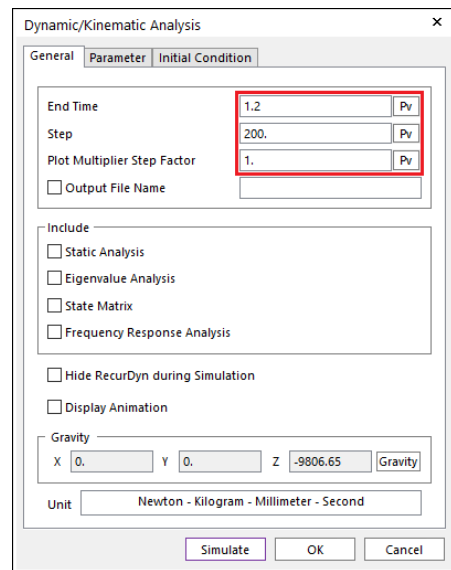
Dynamic/Kinematic Analysis 대화상자가 나타납니다.

2. 다음과 같이 **End Time** 과 **Step** 의 수를 정의합니다.

- **End Time:** 1.2
- **Step:** 200
- **Plot Multiplier Step Factor:** 1



3. **Simulate** 를 클릭합니다.



결과 보기

결과 보기:

Analysis 탭의 Animation Control 그룹에서 **Play** 버튼을 누릅니다.

Shaker 를 통해 가진된 힘이 Tire 에 전달됨으로써, 차량 주행으로 인해 발생할 수 있는 진동 및 가진 현상을 Animation 으로 확인할 수 있습니다. 이때, Shock Absorber 를 비롯한 기타 장치들의 거동을 확인할 수 있습니다.

FFlex Body 생성하기

내구해석은 강체(Rigid Body)가 아닌 유연체(Flexible Body)에 대해서만 수행할 수 있습니다. 여기서는 앞서 불러들인 모델에 구성되어 있는 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.

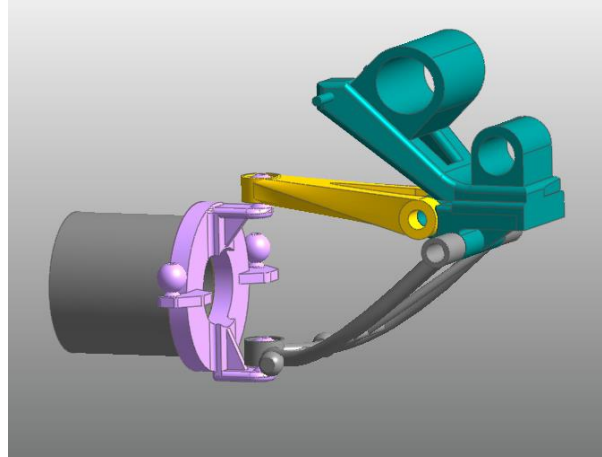
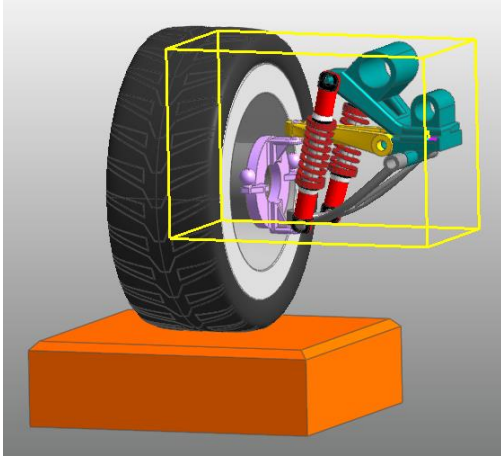


예상 소요 시간

15 분

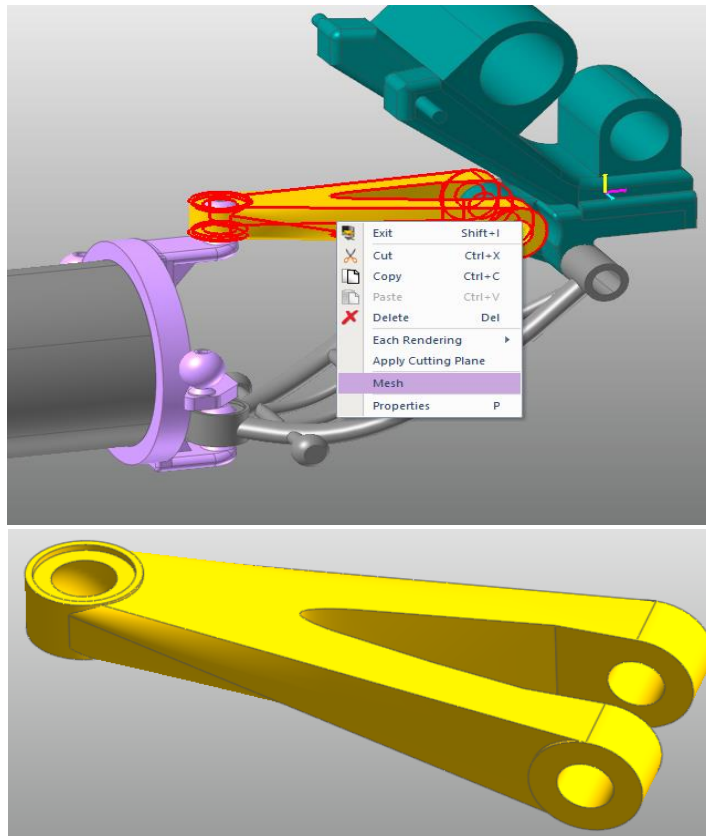
UCA Body Mesh 생성하기

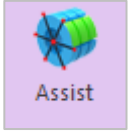
1. **Assembly** 모드에서 Subsystem 으로 만들어져 있는 **Suspension_Assy** 를 더블 클릭하여, **Subsystem** 으로 진입합니다.



2. Subsystem 모드에서 Body, **UCABody** 를 선택한 뒤, 오른쪽 그림과 같이 마우스 오른쪽 버튼 Pop-up Menu 에서 **Mesh** 를 선택합니다.

아래 그림처럼 **UCA Body** 모델이 보여집니다.



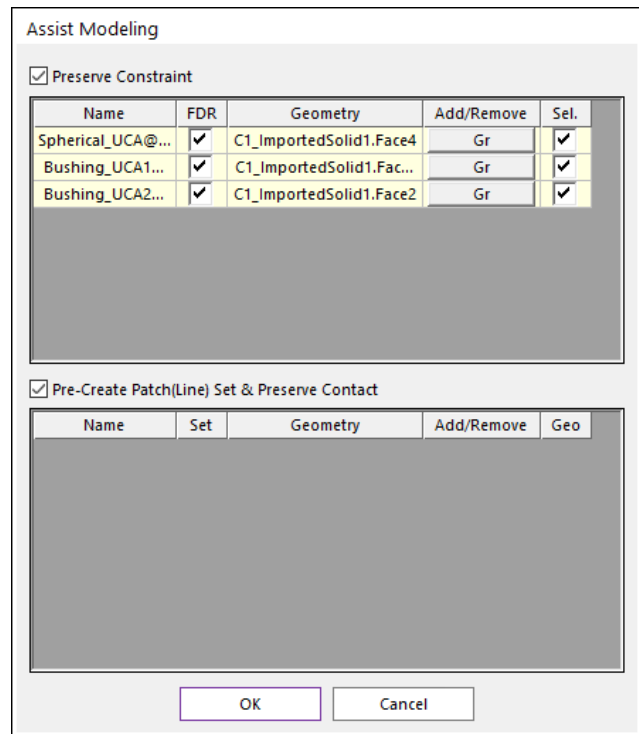


3. **Mesh** 모드로 진입한 뒤, **Mesher** 탭의 **Mesher** 그룹에서 **Assist Icon** 을 선택합니다.
그러면 **Assist Modeling** Dialog 가 나타납니다.

Tip: **Target Body** 를 선택한 후, Assist Modeling dialog 에서 **Geometries** 가 자동으로 설정됩니다. 이것은 RecurDyn V8R4 에서 Slave Nodes 가 될 **Geometries** 를 자동으로 선택하게 하는 기능이 포함되었기 때문입니다. 그러나, 본 tutorial 에서는 정확한 결과들을 도출하기 위해 아래 step 들을 수행하는 것을 권장합니다. 또한, **Geometries** 를 수정하는 기능이 RecurDyn V8R4 버전에 사용자가 **Flexible Toolbar** 에 있는 **Select State** 기능을 사용할 수 있도록 개선되었습니다. 이 기능을 이용하여 사용자는 편리하게 **Geometries** 를 수정할 수 있습니다.

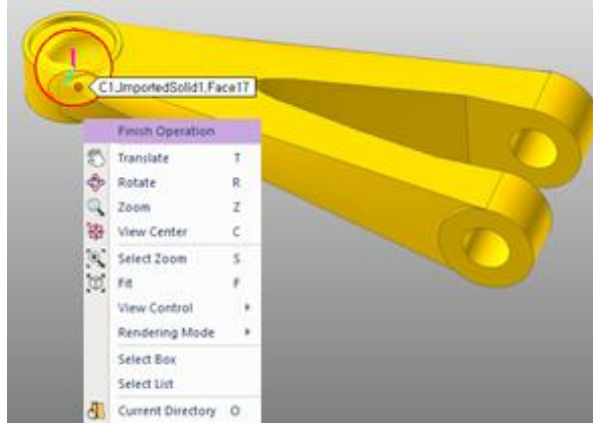
Tip: FDR Check Box 는 Mesh 이후, FDR(Force Distributed Rigid Element)의 생성 유무를 선택하는 것이고, Sel. Check Box 는 기존에 생성된 Joint 혹은 Force 를 그대로 유지할 지를 선택하는 것입니다. 본 교재에서는 본 기능들이 모두 필요하므로, 모든 체크 박스를 체크하도록 합니다.

4. Dialog 에서 **Add/Remove** 로 표기된 부분의 "**Gr**"을 선택하여 **Slave Nodes** 가 생성될 영역을 마우스로 Geometry 를 선택함으로써 미리 지정합니다. 다음 페이지를 참고하여 총 3 개의 FDR 을 위한 Slave Nodes 가 생성될 Geometry 를 선택하도록 합니다. (**Tip:** Gr 버튼을 누르면, Master Node 가 생성될 Marker 가 화면상에 표시되므로, 이를 참고하면 Slave Nodes 로 지정될 영역을 쉽게 찾을 수 있습니다.)

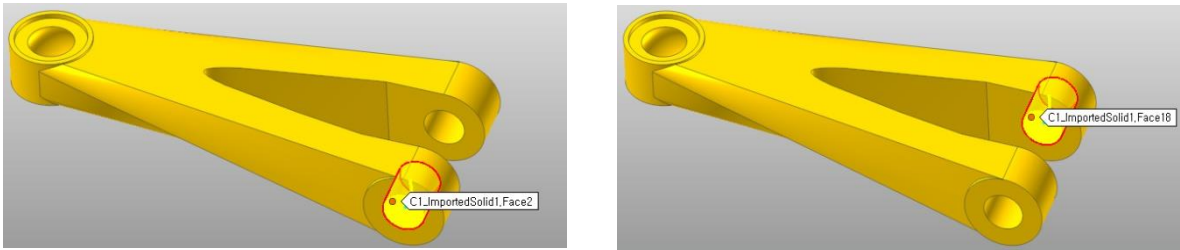


Tip: FDR 의 특성상, Master Node 는 Joint 및 Force 가 생성된 위치에 자동생성 되지만, Slave Nodes 에 대한 것은 사용자가 직접 정의해 주어야 합니다.

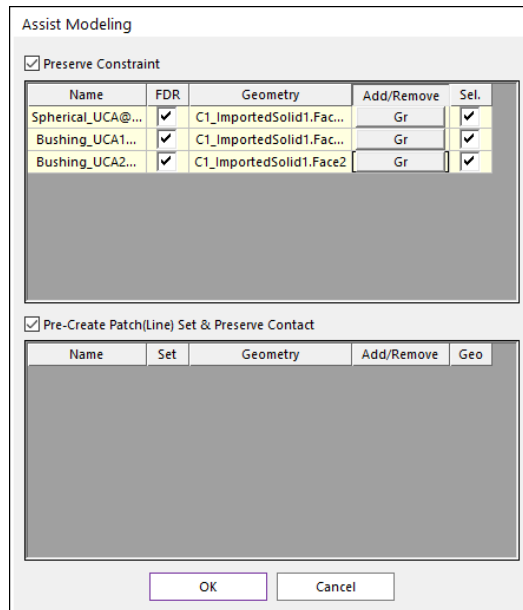
5. 지정이 완료되면 마우스 오른쪽 버튼을 눌러 **Finish Operation** 을 선택합니다.

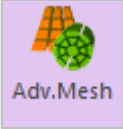


6. 나머지 두 영역에 대해서도, 아래의 그림과 같이 **Slave Nodes** 가 생성될 **Surface** 를 선택합니다.



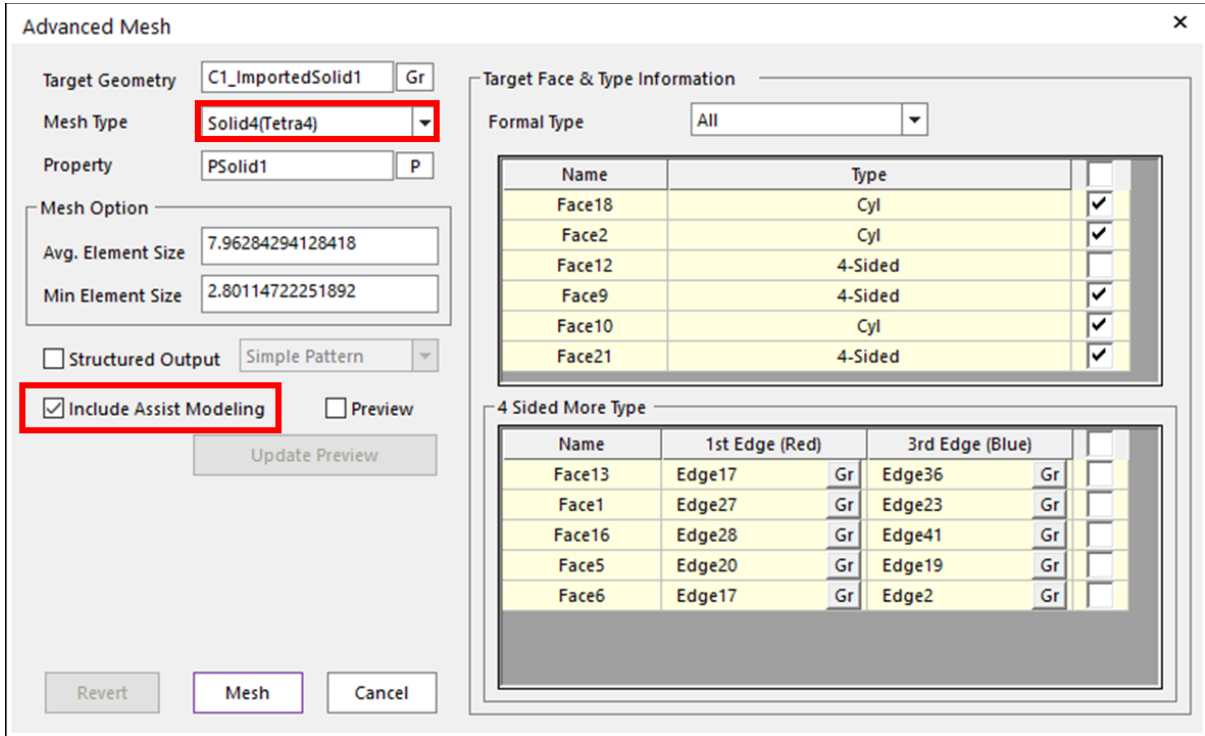
7. 각각의 Geometry 항목을 선택하고 난 후, **OK** 버튼을 누릅니다.





8. **Mesh** 탭의 **Mesh** 그룹에서 **Adv.Mesh Icon** 을 선택합니다.

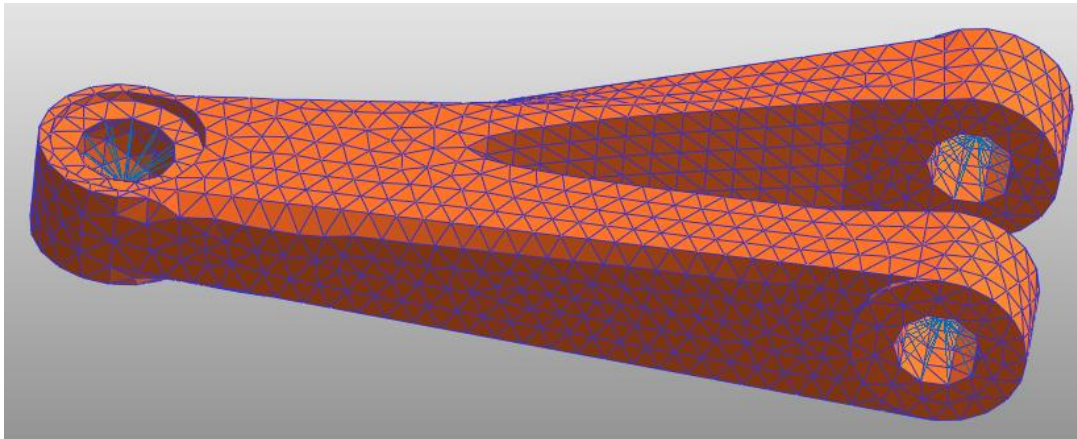
그러면 아래와 같은 Dialog 가 나타납니다.



9. **Advanced Mesh Dialog** 에서 다음과 같이 변경합니다.

- **Mesh Type** 을 그림과 같이, **Solid4(Tetra4)**로 선택합니다.
- **Include Assist Modeling** 체크 버튼을 체크합니다. (**Tip:** 반드시 이를 선택해야지만, 앞서 Assist Modeling 에서 정의한 조건에 따라 FDR 를 자동 생성됩니다.)
- **Mesh** 을 클릭합니다.
- Meshing 이 끝난 후, **Cancel** 를 클릭합니다.

UCA Body 의 Mesh 모델이 아래와 같이 생성됩니다.



Tip: RecurDyn Mesh 모드에서는 두 개의 Auto-Mesher가 존재합니다. Mesh와 Advanced Mesh로 구분되는데, Mesh는 Geometry를 Mesh를 생성하기 전에 GUI에서 한번 Tessellation 과정을 거치고 나서 Mesh 작업을 수행하고, Advanced Mesh는 Tessellation 과정을 거치지 않고 바로 Mesh를 생성합니다. 따라서, CAD Geometry의 왜곡을 최소화하고자 한다면 Advanced Mesh를 사용하도록 합니다. 하지만 Mesh 실패율이 높을 수 있음을 유념해야 합니다.

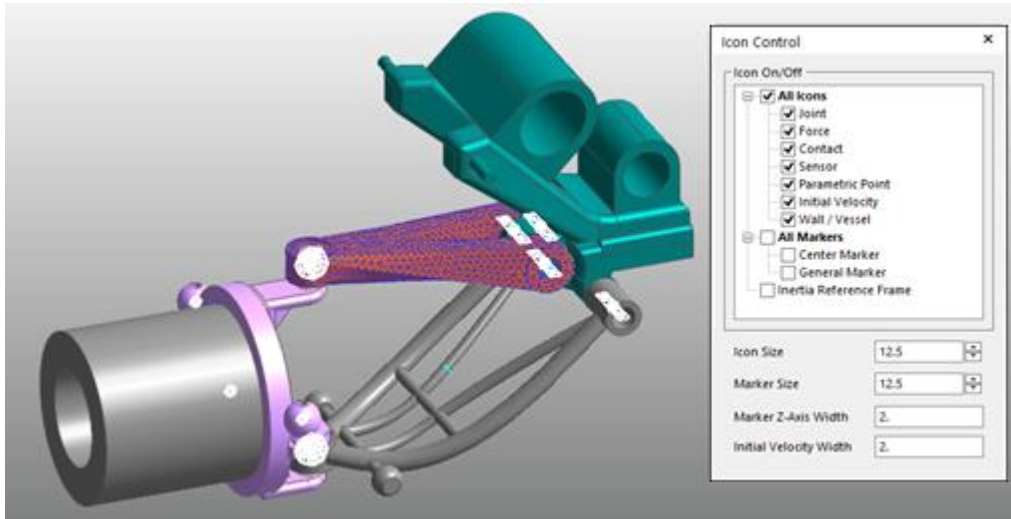
10. 다음의 방법을 이용하여 상위모드로 되돌아옵니다.

- **Working** 창에서 마우스 오른쪽 버튼을 눌러 Pop-up menu에서 **Exit**를 선택합니다.
- 또는 **Mesher** 탭의 **Mesher** 그룹에서 **Exit** Icon를 선택합니다.

아래의 그림과 같이, 기존의 **UCA Rigid Body(UCA)**가 사라지고, **UCA Flexible body(UCA_FE)**로 교체되어 있음을 확인할 수 있습니다. 또한 기존에 생성되어 있던 Joint, Force가 그대로 유지되어 있음을 GUI 상에서 확인할 수 있습니다. 이때 아이콘 확인을 위해

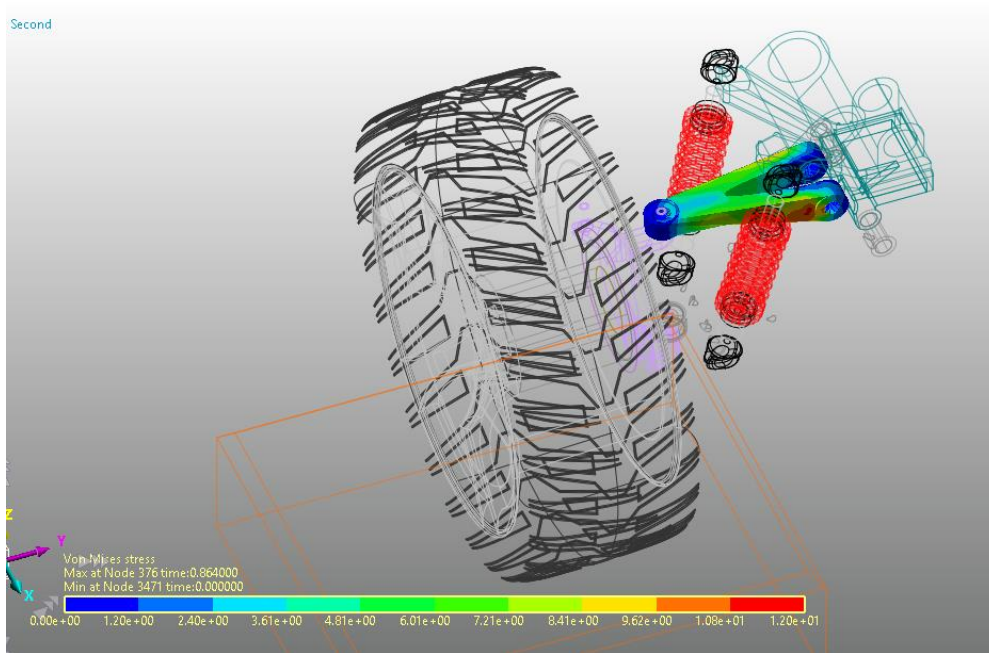


Toolbar에서 **Icon Control**을 실행하여 모두 **ON** 시키도록 합니다. (**All Icons** 클릭)



11. 생성된 **UCA Flexible body**가 모델링이 제대로 구성되었는지 확인하기 위해서, 최상위 모드로 **Exit**한 뒤, 기존 조건 그대로 **Dynamic Analysis**를 수행합니다. 오랜 시간이 걸리지 않고 해석 결과를 얻을 수 있으며, **Flexible** 탭에 위치한 **Contour Icon**를 눌러 아래와 같은 결과를 확인할 수 있습니다.

FFLEX MESHER SUSPENSION TUTORIAL (DURABILITY)

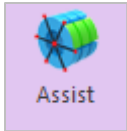
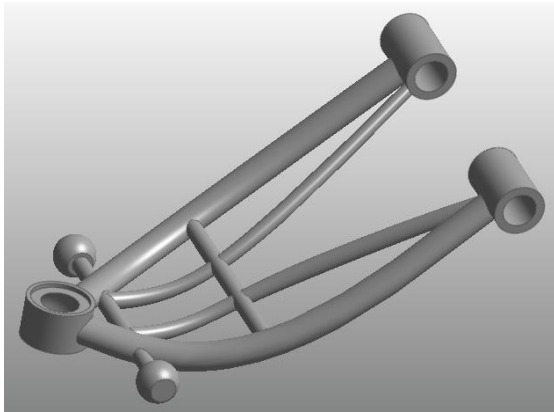


LCA Body Mesh 생성하기

1. **Assembly** 모드에서 Subsystem 으로 만들어져 있는 **Suspension_Assy** 를 마우스로 더블 클릭하여, **Subsystem** 으로 진입합니다.

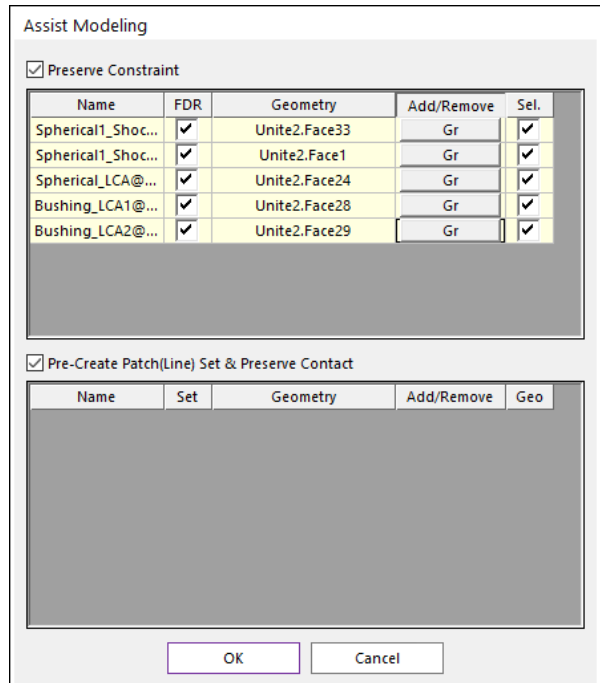
Subsystem 모드에서 body, **LCA** 를 선택한 뒤, 오른쪽 그림과 같이 Pop-up Menu 에서 **Mesh** 를 선택합니다.

2. 아래 그림처럼 **LCA Body** 모델이 보여집니다.



3. **Mesh** 모드로 진입한 뒤, **Mesher** 탭의 **Mesher** 그룹에 있는 **Assist Icon** 을 선택합니다.

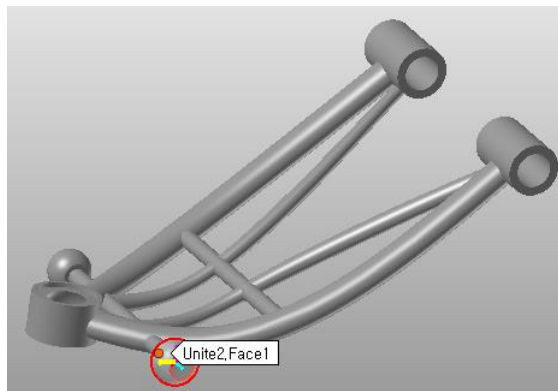
그러면, **Assist Modeling** Dialog 가 나타납니다.



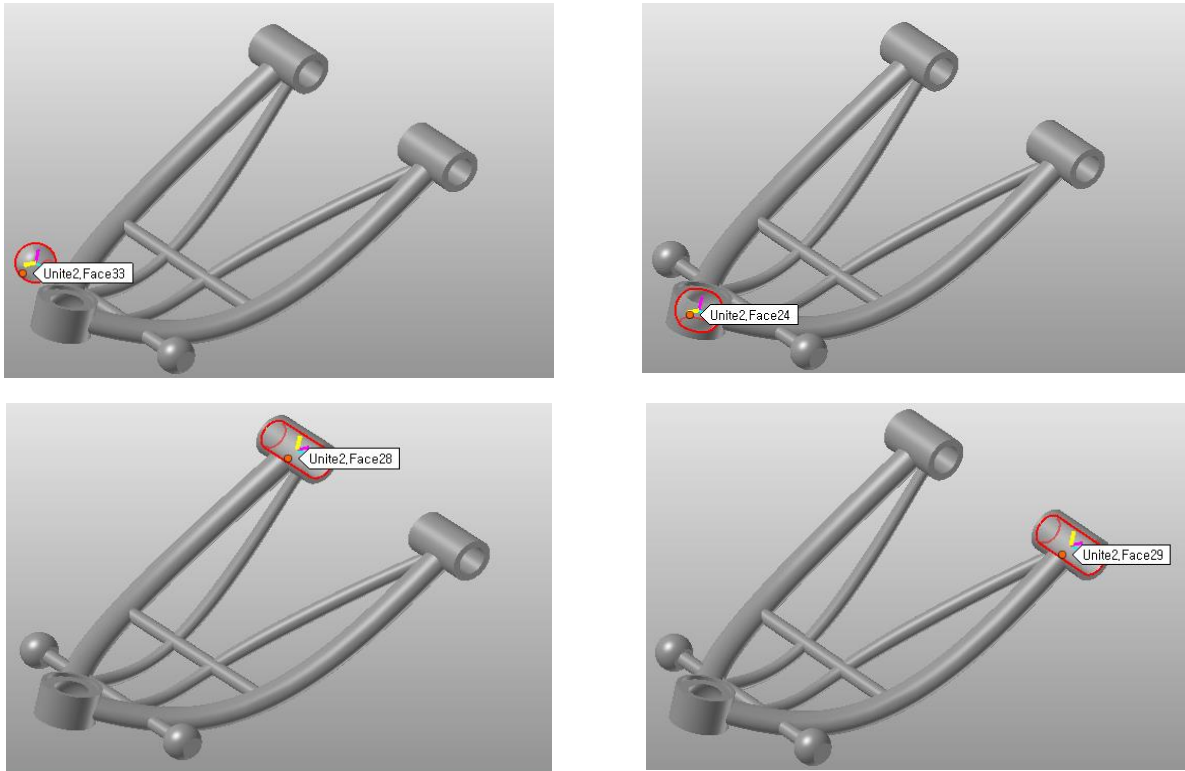
4. Dialog 에서 **Add/Remove** 로 표기된 부분의 "Gr"을 선택하여 Slave Nodes 가 생성될 영역을 마우스로 Geometry 를 선택함으로 미리 지정합니다. 다음 페이지를 참고하여 총 3 개의 FDR 을 위한 Slave Nodes 가 생성될 Geometry 를 선택하도록 합니다. (**Tip:** Gr 버튼을 누르면, Master Node 가 생성될 Marker 를 화면에 보여주기 때문에 Slave Nodes 로 지정될 영역을 쉽게 찾을 수 있습니다.)

Tip: FDR 의 특성상, Joint 및 Force 가 생성된 위치에 Master Node 가 자동생성 하면 되지만, Slave Nodes 에 대한 것은 사용자가 직접 정의해 주어야 합니다.

5. 지정이 완료되면 마우스 오른쪽 버튼을 눌러 **Finish Operation** 을 선택합니다.

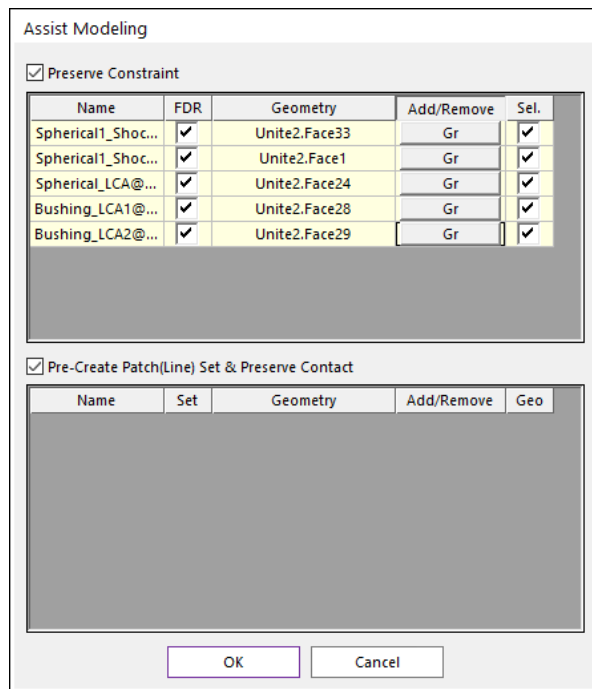


6. 나머지 네 영역에 대해서도, 아래의 그림과 같이 **Slave Nodes** 가 생성될 **Surface** 를



선택합니다.

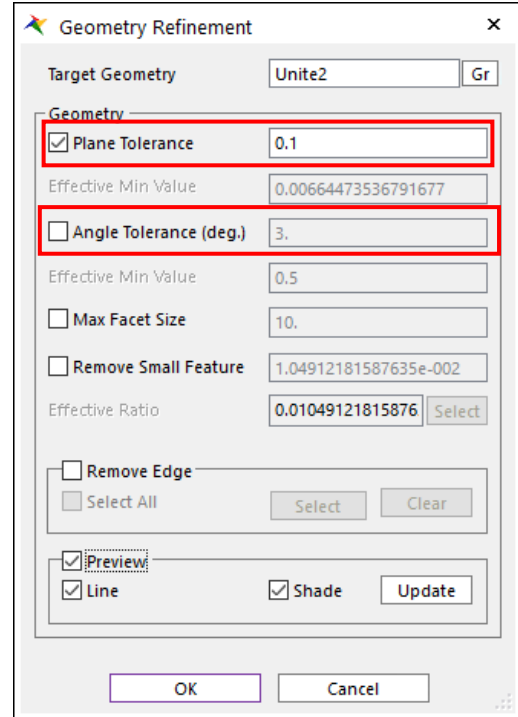
7. 각각의 Geometry 항목을 선택하고 난 후, **OK** 버튼을 누릅니다.





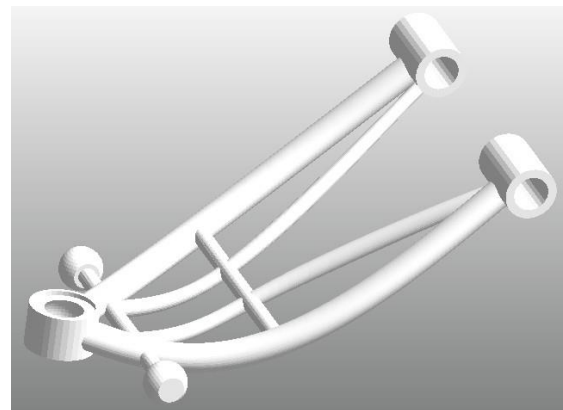
8. **Mesh** 그룹의 **Mesh** 탭에 있는 **Geo. Refine Icon** 을 선택합니다. (**Tip:** 본 기능(Geometry Refinement)은 Mesh 를 사용할 때에만 유용합니다. 즉, UCA Body 처럼 Advanced Mesh 를 사용한다면 아무런 영향을 주지 않습니다.)

그러면 **Geometry Refinement** Dialog 가 나타납니다.



9. Dialog 에서 **Plane Tolerance** 를 **0.1** 로 수정합니다.
10. Dialog 에서 **Angle Tolerance** 를 체크 해제합니다.
11. **Preview** 버튼을 체크합니다.

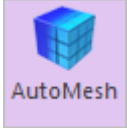
그러면 오른쪽 그림과 같이, Tessellation 된 형상을 확인할 수 있습니다.



12. **OK** 버튼을 눌러 Dialog 를 닫습니다.

Tip: RecurDyn Mesh 모드에서는 두 개의 Auto-Mesher 가 존재합니다. Mesh 와 Advanced Mesh 로 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. LCA Body 의 경우, 곡면이 많이 포함된 Geometry 로써, Node 수를 줄이기 위해서 Tessellation 과정을 거치는 Auto-Mesher 를 사용하도록 합니다. LCA Body 에 사용되는

Geometry Refinement 기능은 Tessellation 을 수행하는 기능이므로 Advanced Mesh 와는 무관합니다.

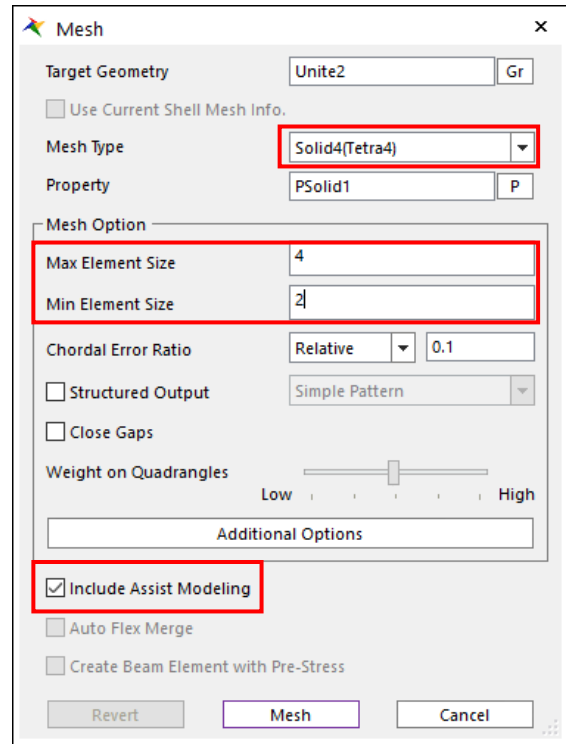


13. **AutoMesh Icon** 을 선택합니다.

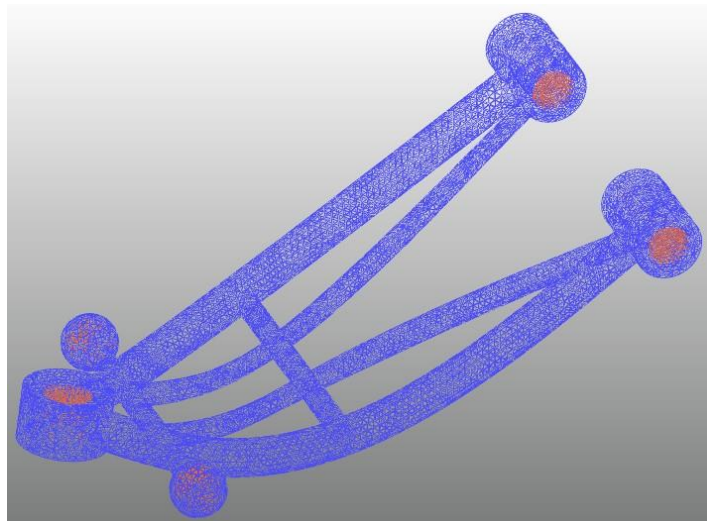
그러면 Mesh Dialog 가 나타납니다.

14. **Mesh Dialog** 에서 다음과 같이 변경합니다.

- **Mesh Dialog** 에서 **Mesh Type** 을 그림과 같이, **Solid4 (Tetra4)** 로 선택합니다.
- 반드시 **Include Assist Modeling** 체크 버튼을 선택합니다.
- Mesh Option 에서 **Max Element Size** 와 **Min Element Size** 를 각각 **4, 2** 로 설정합니다.
- **Mesh** 버튼을 누릅니다.



LCA Body 의 Mesh 모델과 FDR 이 아래와 같이 생성됩니다.

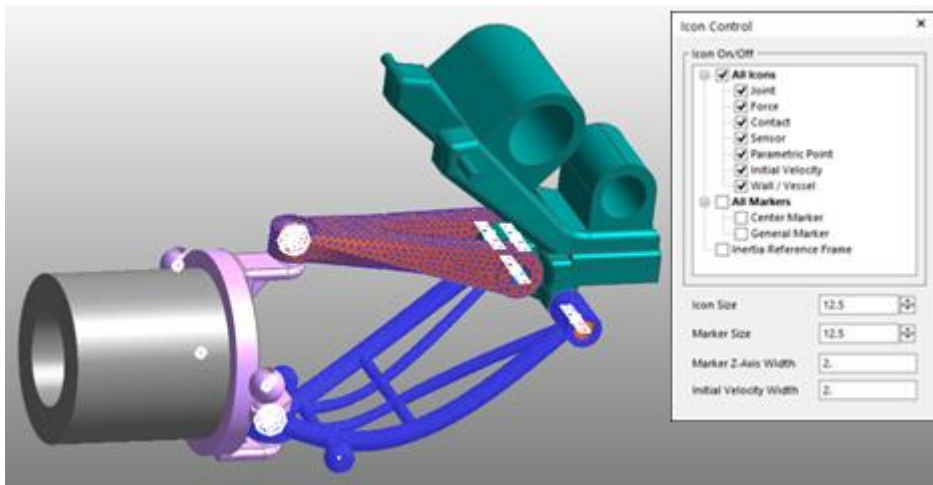


15. 다음 방법을 이용하여 상위모드로 되돌아옵니다.

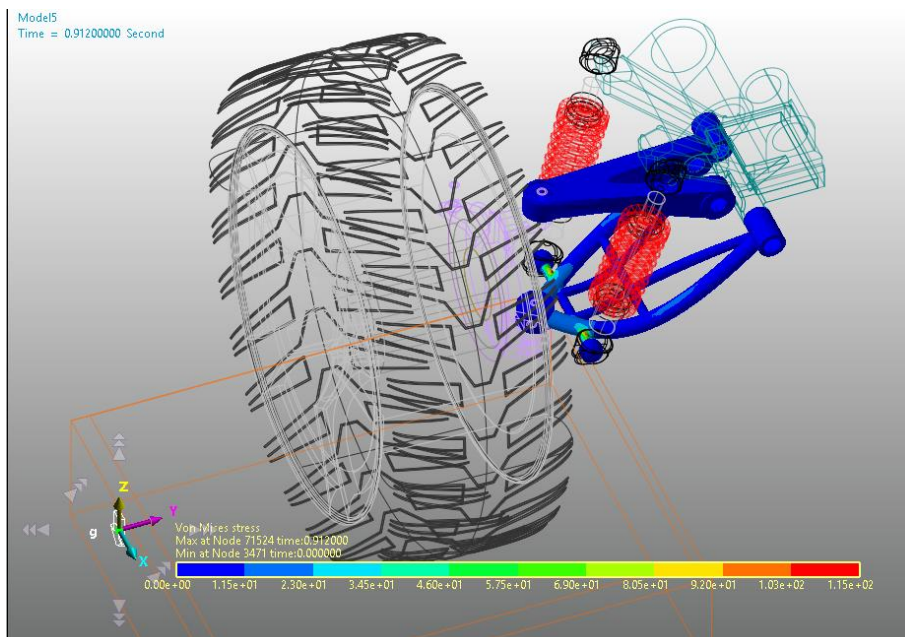
- Working 창에서 마우스 오른쪽 버튼을 눌러 Pop-up menu 에서 **Exit** 를 선택합니다.
- 또는 **Mesher** 탭의 **Mesher** 그룹에서 **Exit** Icon 를 선택합니다.



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



16. 생성된 **LCA Flexible body** 의 모델링이 제대로 구성되었는지 확인하기 위해서, 최상위 모드로 **Exit** 한 뒤, 기존 조건 그대로 **Dynamic Analysis** 를 수행합니다. 앞선 단계보다는 좀 더 해석 시간이 많이 소요되지만, 그리 오랜 시간이 걸리지 않고 해석 결과를 얻을 수 있으며, **Flexible** 탭에 위치한 **Contour Icon** 를 눌러 아래와 같은 결과를 확인할 수 있습니다.



Chapter

4

Durability Analysis 수행하기

목적

본 장에서는 완성된 Flexible body 를 어떻게 Durability Analysis 하는지를 배우게 됩니다.



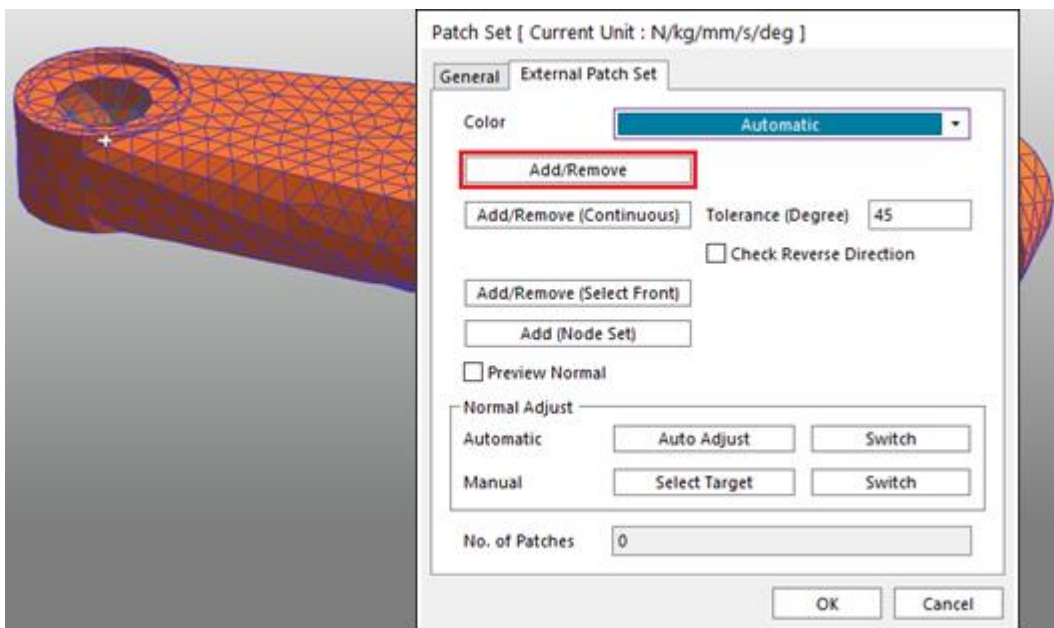
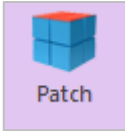
예상 소요 시간

40 분

UCA_FE Body 에 대한 Durability Analysis 수행하기

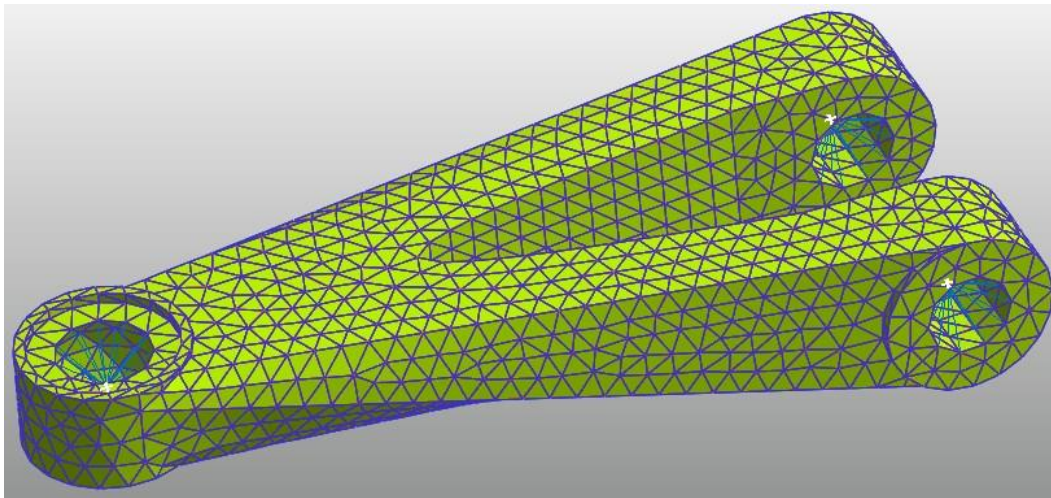
Patch Set 생성하기:

1. **Assembly** 모드에서 **Suspension_Assy** 를 마우스로 더블 클릭하여, **Subsystem** 으로 진입합니다.
2. **UCA_FE Body** 를 마우스로 더블 클릭하여, **Body Edit** 모드로 진입합니다.
3. **FFlex Edit** 탭의 **Set** 그룹에서 **Patch Set Icon** 을 선택합니다.
4. 아래의 그림과 같이 **Add/Remove** 버튼을 선택하여 Mouse 왼쪽 버튼을 누른 채 마우스를 Drag 하여 Body 전체를 선택합니다.

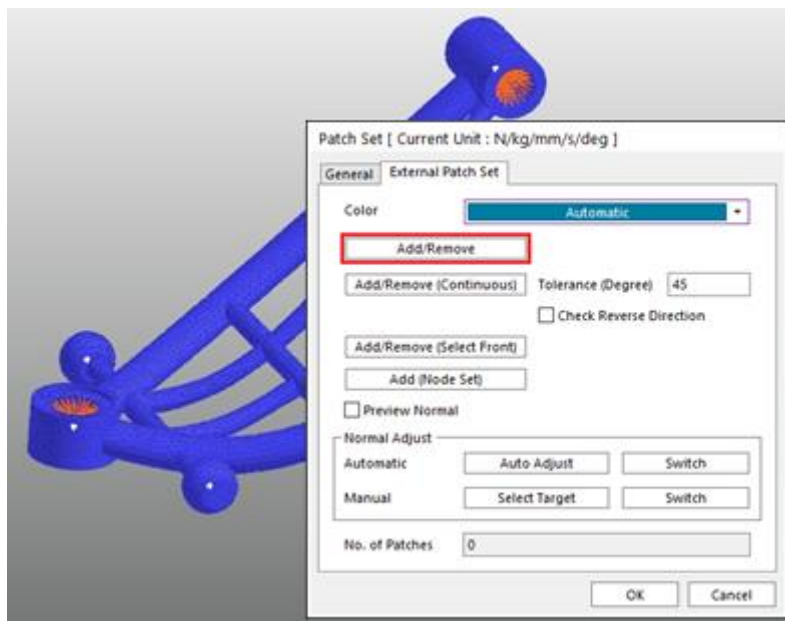


5. Mouse 오른쪽 버튼을 눌러 Pop-up Menu 에서 **Finish Operation** 을 선택합니다.
6. **Patch Set** Dialog 에서 **OK** 버튼을 누릅니다.

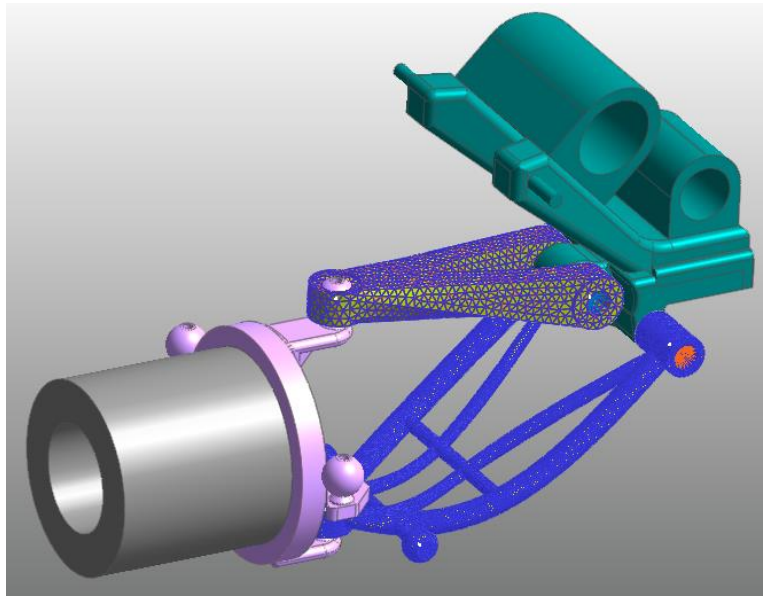
7. Patch Set 이 생성됨을 확인한 뒤, **FFlex Edit** 탭의 **Exit** 그룹에서 **Exit Icon** 을 눌러 상위 모드로 되돌아옵니다.



8. **LCA_FE Body** 에 대해서도 Patch Set 을 설정하기 위해서 2 번~7 번의 과정을 아래의 그림과 같이 동일하게 적용하여 하도록 합니다.



위의 과정을 완료하였다면, 아래의 그림과 같이 두 개의 Flexible Body 에 각각 Patch Set 이 생성된 모습을 확인할 수 있습니다.



9. Pop-up Menu 에 포함된 **Exit** 버튼을 선택하여 최상위 모드로 돌아옵니다.

Animation File 불러들이기:

Analysis 탭을 선택한 뒤, **Animation Control** 그룹에서 “**Reload the last animation file**” 버튼을 누릅니다.

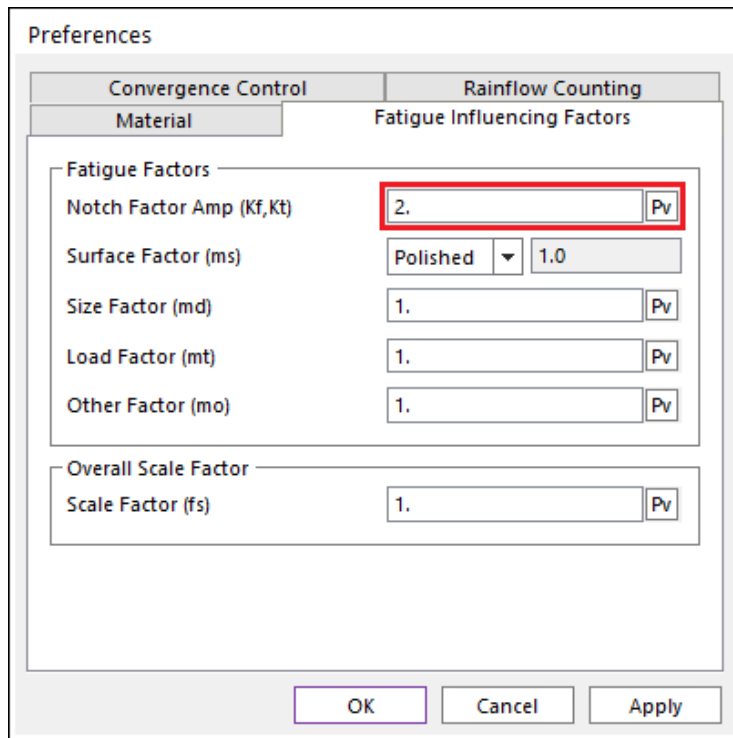
이후, Animation 과 관련된 버튼이 모두 활성화됨을 확인할 수 있습니다.

Tip: 앞서 UCA_FE 와 LCA_FE Body 에 대해서 Patch Set 을 생성하는 과정을 거치면서, 전 단계에서 해석한 결과를 사용할 수 없는 것처럼 보입니다. 하지만, 이 과정은 Dynamic 해석 결과에 아무런 영향을 주지 않으므로, 단순히 기존에 해석한 결과인 Animation file 즉, RAD file 만 다시 불러들이므로써 Dynamic Analysis 를 다시 수행할 필요가 없게 만듭니다.

Preference 설정하기:



1. **Post Analysis** 탭의 **Durability** 그룹에서 **Preference** icon 을 클릭하면 Preference Dialog 가 나타납니다.
2. **Preference** Dialog 에 포함된 **Material** 탭에서 **Fatigue Analysis** 에서 사용하게 될 **Material Library file** 의 경로를 확인합니다.
(C:\Users**<Your Windows Login ID>**\Documents\RecurDyn**<RecurDyn Version>**\Durability)
(혹은 OS 환경에 따라 이와 동등한 위치)
3. **Fatigue Influencing Factors** 탭을 선택하여 **Fatigue Factors** 에서 **Notch Factor Amp (Kf, Kt)** 의 값을 아래 그림과 같이 **2** 로 설정합니다.



이때, **Notch Factor** 의 의미는 구조물의 형상 설계 및 가공으로 인해 불가피하게 존재할 수 있는 Crack, Hole, Notch(V 자 홈) 등으로 인한 응력집중을 고려하여 해석적으로 도출된 응력 값을 보다 높게 예측하는 것입니다. 따라서 Notch Factor 의 값이 클수록 내구해석 결과는 가혹해질 것입니다.

Tip: 참고적으로, Fatigue Influencing Factors 에 포함된 값은 실제로 내구해석을 실행할 때, 실험 대상이 되는 시편의 물리적 상태를 수치적으로 나타낸 값입니다. 즉, 기본적인 값은 모두 1 이지만, 각 factor 의 값을 수정함에 따라, S-N 선도 값이 변경되어 좀 더 가혹한 상태의 내구 해석 결과를 얻게 됩니다. Notch Factor 를 제외한 나머지 값은 1 보다 작을 때, Notch Factor 값은 1 보다 클 때, 보다 가혹한 내구해석 결과를 얻게 됩니다.

4. Preference Dialog 에서 Convergence Control 과 Rainflow Counting 에 설정된 값은 그대로 두고 OK 버튼을 눌러 Dialog 를 닫습니다.

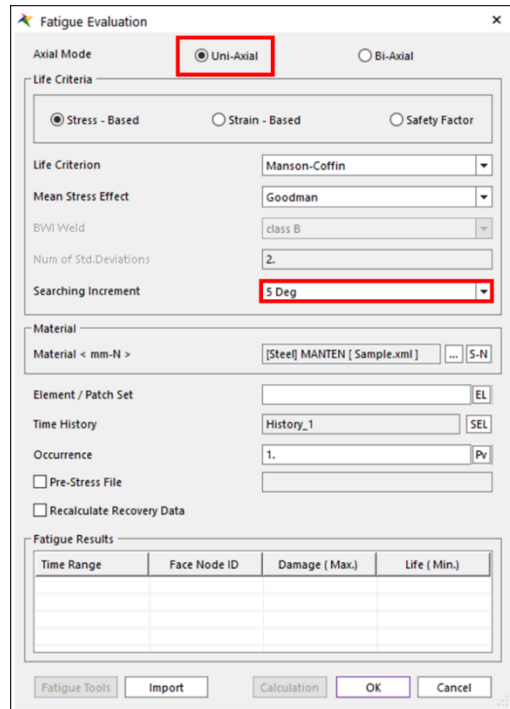


Fatigue Evaluation 실행하기:

1. Post Analysis 탭의 Durability 그룹에서 Fatigue Evaluation Icon 을 선택합니다.

그러면 Fatigue Evaluation Dialog 가 나타납니다.

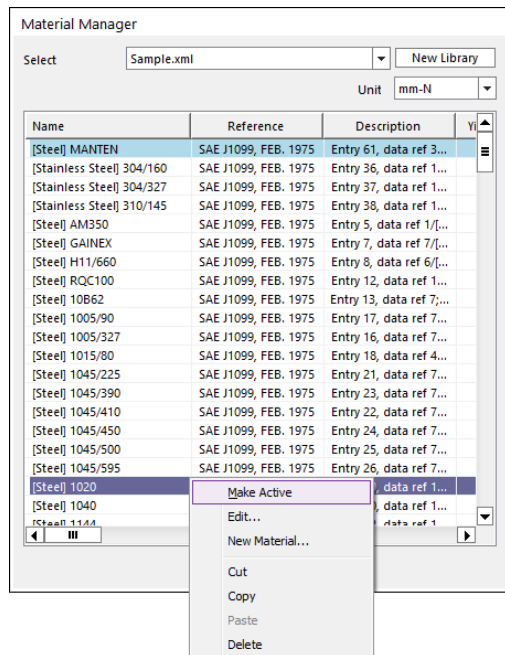
2. Fatigue Evaluation Dialog 에서 다음과 같이 변경합니다.
 - Axial Mode 를 Uni-Axial 로 선택합니다.
 - Searching Increment 는 5 Deg 로 수정합니다.



3. Material 영역에서 [...] 버튼을 선택합니다.

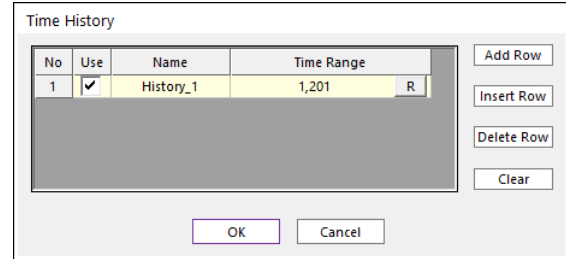
Material Manager Dialog 가 나타납니다.

4. Material Manager Dialog 에서 다음과 같이 변경합니다.
 - [Steel] 1020 을 선택하여 오른쪽 마우스 버튼으로 Pop-up Menu 를 이용하여 그림과 같이 Make Active 를 선택합니다.
 - OK 버튼을 누릅니다.
5. Element/Patch Set 에서 "EL" 버튼을 누릅니다.



6. **UCA_FE** 의 설정된 **Patch Set** 을 선택합니다.

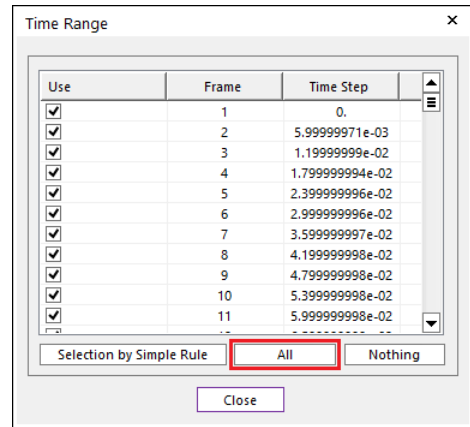
UCA_FE Body 는 "Suspension_Assy" Subsystem 에 포함되어 있으므로, 반드시 **Shift Key** 를 누른 채 **UCA_FE Body** 를 선택해야 합니다. 결과적으로 Element/Patch Set 항목에는



"UCA_FE.SetPatch1@Suspension_Assy" 가 표시됩니다.

7. **Time History** 항목에 있는 "SEL" 버튼을 클릭합니다.

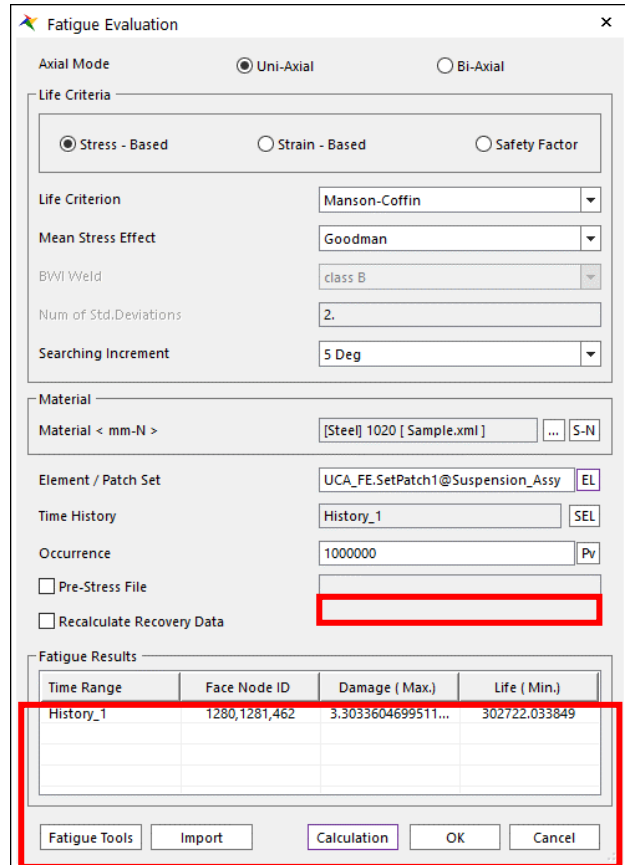
- **Time History Dialog** 을 보면 **Time History Set** 이 하나 만들어져 있습니다. 설정된 Set 의 **Time History** 를 재설정하기 위하여 "R" 버튼을 클릭합니다.
- **Time Range Dialog** 에서 "All" 선택한 후, **Close** 버튼을 누릅니다.



- **OK** 버튼을 눌러 **Time History** Dialog 을 닫습니다.

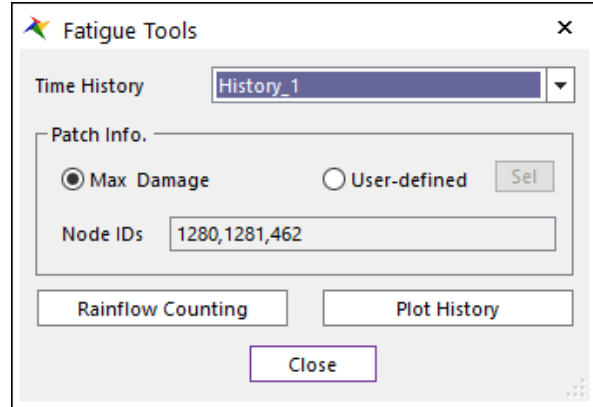
8. **Ocurrence** 항목에는 **1000000** 을 직접타이핑하여 입력합니다.
9. **Calculation** 버튼을 클릭합니다.

Fatigue Analysis 진행 상황을 알려주는 **Progress Bar** 가 나타나고, 완료가 되면 오른쪽 그림과 같은 결과를 얻을 수 있습니다.

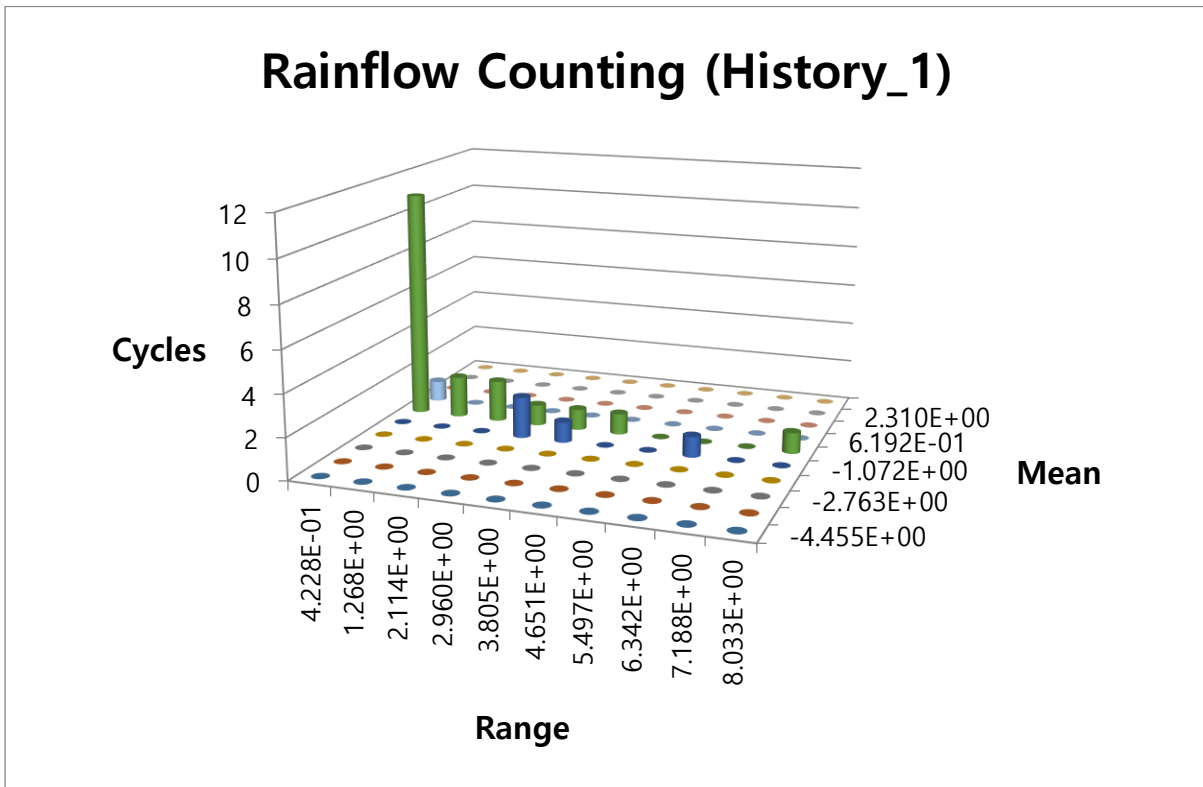


10. **Fatigue Evaluation** Dialog 에서 가장 왼쪽 좌측 하단에 위치한 **Fatigue Tools** 버튼을 눌러 Dialog 를 띄웁니다.

- **Fatigue Tools** Dialog 에서 **Rainflow Counting** 버튼을 누릅니다.

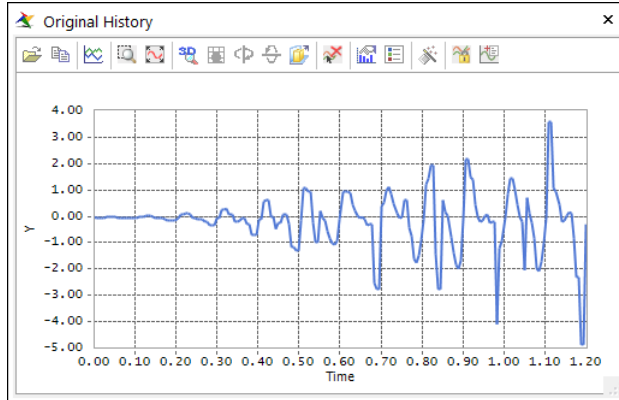


- 아래 그림과 같이, Excel file 에 Damage 가 가장 크게 나타난 Patch 영역에 적용된 **Stress Time History** 를 바탕으로 **Rainflow Counting** 을 수행한 결과를 보여줍니다. 결과는 Stress Amplitude 와 Mean Stress 에 따른 Cycle 수가 나타납니다.

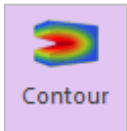


- **Fatigue Tools** Dialog 에서 **Plot History** 버튼을 누릅니다.

- 아래 그림과 같이, Damage 가 가장 크게 도출되는 Patch 영역에 적용된 Stress Time History 를 Plot 으로 확인할 수 있습니다.



Contour 결과 확인하기:

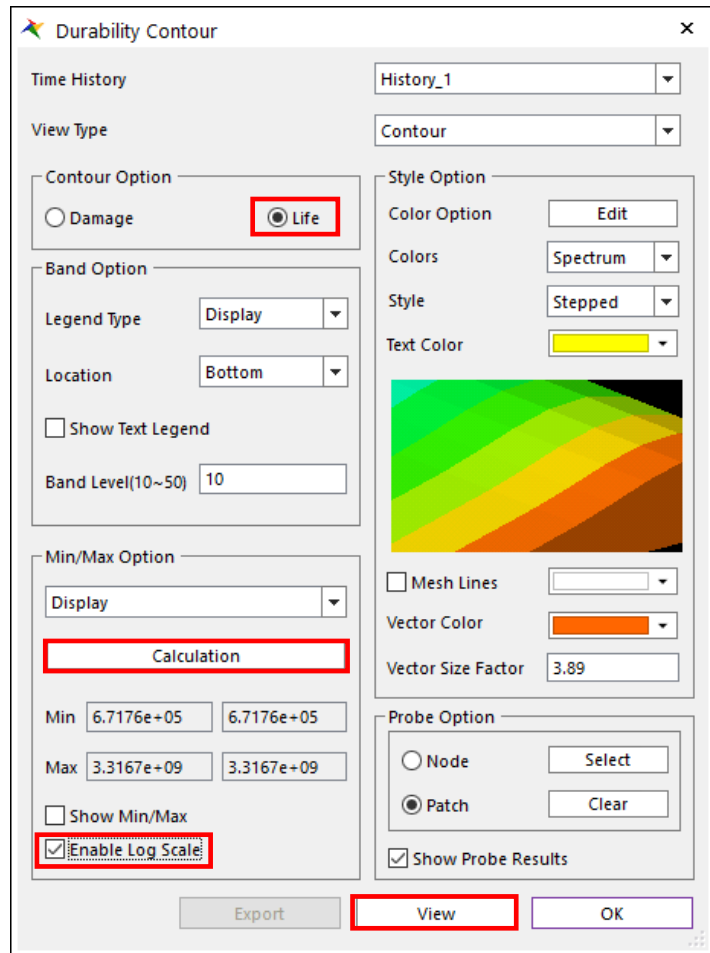


- Post Analysis** 탭의 **Durability** 그룹에서 **Contour Icon** 을 선택합니다.

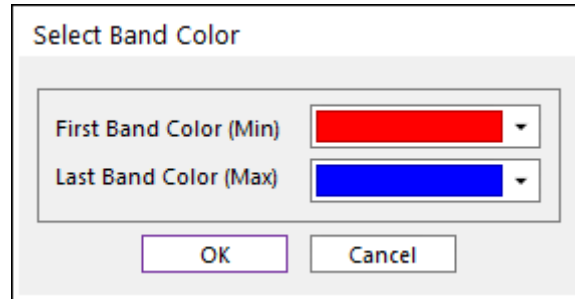
Durability Contour Dialog 가 나타납니다.

- Durability Contour Dialog** 에서 다음과 같이 변경합니다.

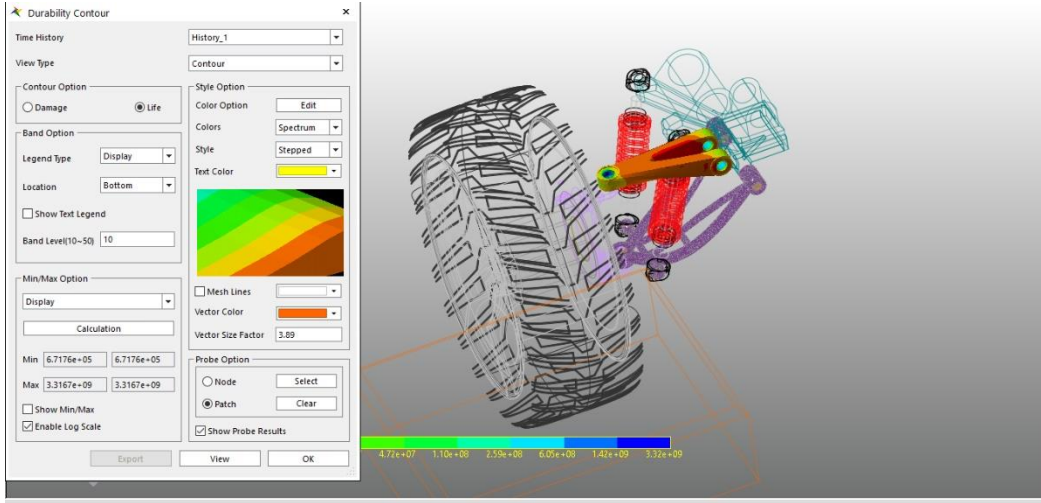
- Contour Option 에서 **Life** 를 체크합니다.
- Dialog 중간에 위치한 **Calculation** 버튼을 누릅니다
- “Enable Log Scale”를 체크합니다.
- Contour View** 버튼을 눌러 결과를 확인합니다.



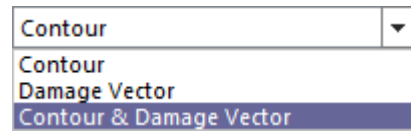
3. **Durability Contour** Dialog 에서 결과를 보다 시가적으로 판단하기 위해서 **Style Option** 의 **Edit** 버튼을 눌러 다음과 같이 변경합니다.



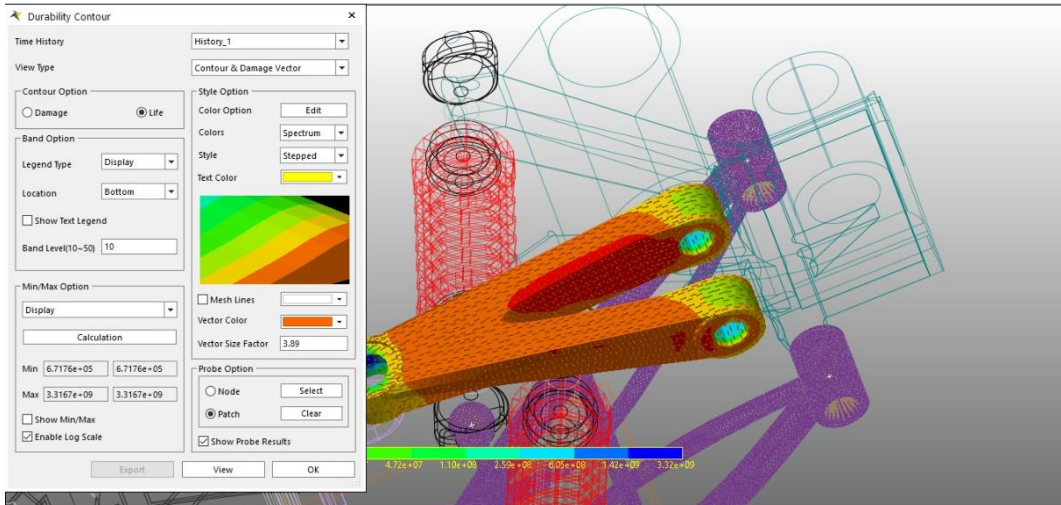
4. 다시 **Contour View** 버튼을 누르면 아래 그림과 같이, Life 가 가장 작은 부분이 붉은색으로 나타나면서 피로 수명이 상대적으로 작은 영역을 확인할 수 있습니다. (**Tip:** 이때, Contour Plot 결과를 더 자세히 보기 위해서, Toolbar 에 위치한 **Wireframe Icon** 을 선택한 뒤, 결과를 확인해야 합니다.)



5. 선택된 Patch 영역에 대해서 도출된 Damage Direction 을 확인하기 위해서 View Type 에서 **Contour & Damage Vector** 를 선택합니다.



Durability Contour Dialog 에서 **View** 버튼을 누르면 아래와 같은 결과를 확인할 수 있습니다.



LCA_FE Body에 대한 Durability Analysis 수행하기

Preference 설정하기:

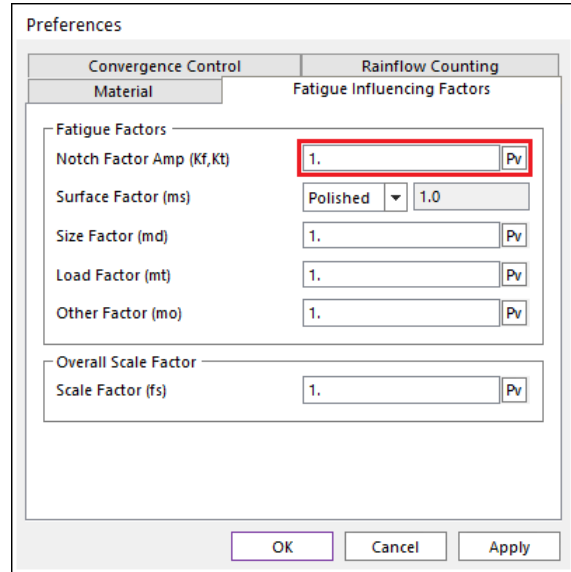


1. **Post Analysis** 탭의 **Durability** 그룹에서 **Preference Icon** 을 선택합니다.

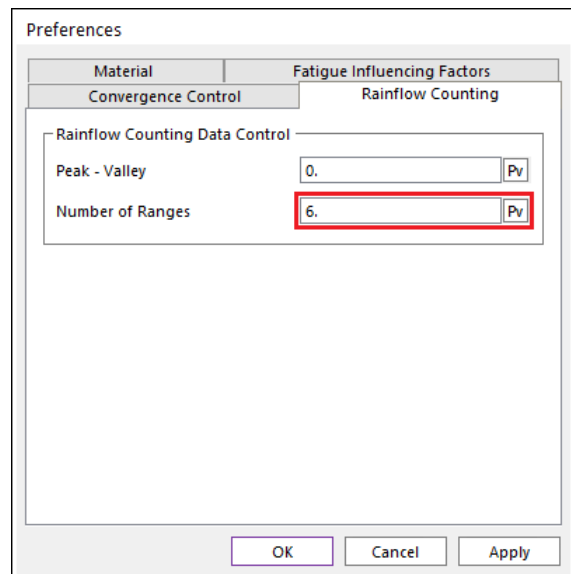
그러면 Preference Dialog 가 나타납니다.

2. Preference Dialog 에서 다음과 같이 변경합니다.

- Fatigue Influencing Factors 탭을 선택한 후, Fatigue Factors 에서 **Notch Factor Amp (Kf, Kt)** 의 값을 **2** 에서 **1** 로 변경합니다.



- Rainflow Counting 탭을 선택하여, Rainflow Counting Data Control 에서 **Number of Ranges** 의 값을 다음 그림과 같이 6 으로 변경합니다. (**Tip:** 이때, Number of Ranges 의 값을 변경하면, Fatigue Evaluation Dialog 에서 Rainflow Counting 을 실행하여, Excel 에서 Mean Stress 와 Stress Amplitude 에 대한 Cycle 수를 확인할 때, Mean Stress 와 Stress Amplitude 에 대한 범위 구간의 수가 설정된 값으로 나타나게 됩니다.)



User-Defined S-N Curve 사용하기:



1. **Post Analysis** 탭의 **Durability** 그룹에서 **Fatigue Evaluation Icon** 을 클릭합니다.
그러면 **Fatigue Evaluation Dialog** 가 나타납니다.

2. **Fatigue Evaluation Dialog** 에서 다음과 같이 변경합니다.

- **Axial Mode** 는 **Uni-Axial** 로 변경합니다.
- **Life Criteria** 에서 **User-Defined** 으로 선택합니다.
- **Searching Increment** 는 **10 Deg** 로 변경합니다.
- **Occurrence** 에 정의된 값은 **1000000** 으로 설정합니다.

The screenshot shows the 'Fatigue Evaluation' dialog box with the following settings:

- Axial Mode:** Uni-Axial (selected)
- Life Criteria:** Stress - Based (selected)
- Life Criterion:** User-Defined
- Mean Stress Effect:** Goodman
- BWJ Weld:** class B
- Num of Std.Deviations:** 2
- Searching Increment:** 10 Deg
- Material:** S-N Curve < mm-N >: User-Defined
- Element / Patch Set:** LCA_FE.SetPatch1@Suspension_Assy
- Time History:** History_1
- Occurrence:** 1000000

At the bottom, there is a 'Fatigue Results' table with columns: Time Range, Face Node ID, Damage (Max.), and Life (Min.).

3. **Material** 영역에서 "...” 버튼을 선택합니다.

User-Defined Dialog 가 나타납니다.

4. **User-Defined** Dialog 에서 다음과 같이 변경합니다.

- **Add Row** 버튼을 9 번 누르고 나서, 오른쪽 그림과 같이 주어진 값을 입력하도록 합니다.
- **Draw** 버튼을 누르면 주어진 값에 대한 **S-N** 선도를 확인할 수 있습니다.
- **Close** 버튼을 클릭합니다.

The screenshot shows the 'User-Defined' dialog box. At the top right, the 'Unit' is set to 'mm-N'. The main part of the dialog is a table with 9 rows. The columns are 'No', 'Cycle to Failure', and 'Stress Amplitude'. The data in the table is as follows:

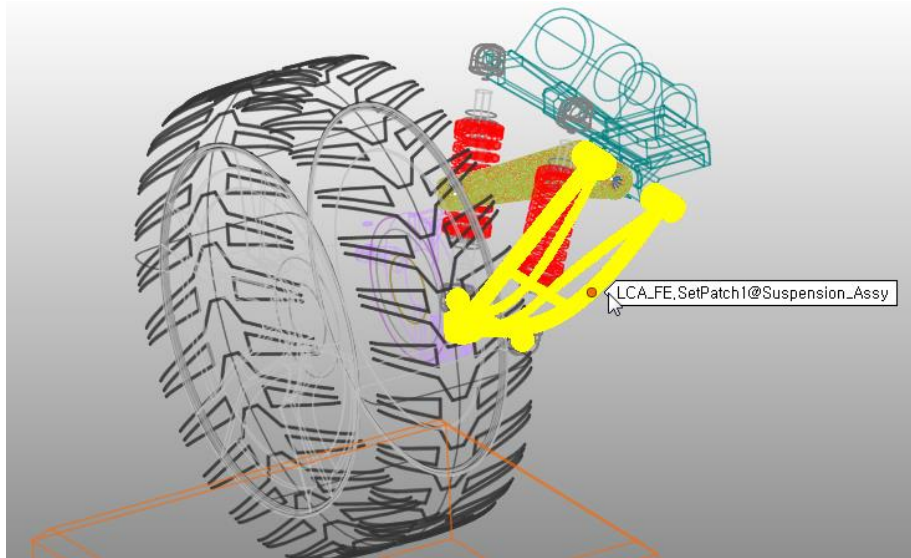
No	Cycle to Failure	Stress Amplitude
1	1	820
2	10	630
3	100	470
4	1000	360
5	10000	270
6	100000	200
7	1000000	150
8	10000000	120
9	100000000	90

To the right of the table are buttons: 'Add Row', 'Insert Row', 'Delete Row', 'Draw', 'Clear', 'Import', and 'Export'. Below the table, there is a dropdown for 'InterpolationType' set to 'Linear'. Under the heading 'Material for Stress Based Life Criterion', there are three input fields: 'Yield Stress' (317.2), 'Ultimate Strength' (565.4), and 'Fatigue Strength Coefficient' (917.). Each field has a 'Pv' button next to it. At the bottom center is a 'Close' button.

5. **Element/Patch Set** 에서 "EL" 버튼을 클릭합니다.

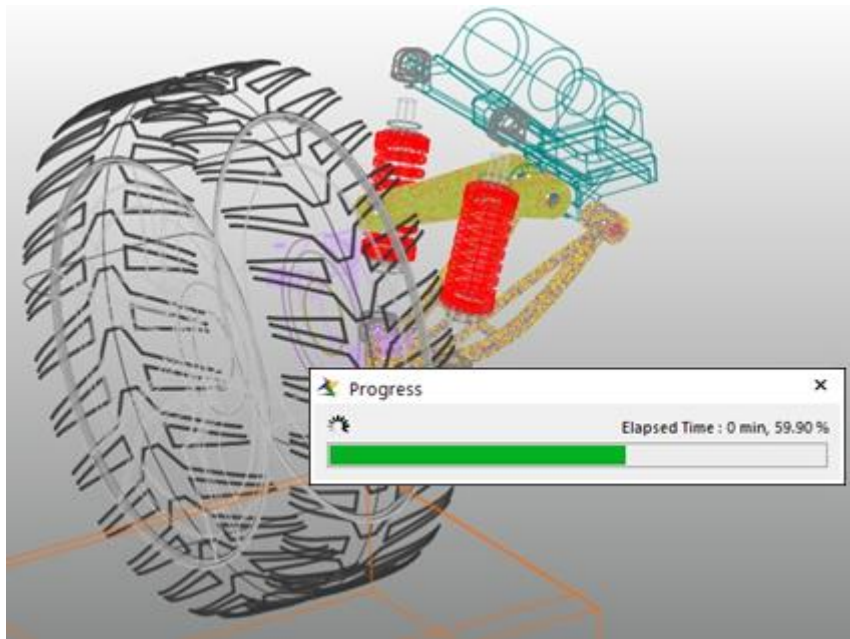
6. LCA_FE 의 설정된 Patch Set 을 선택합니다.

Fatigue Evaluation Dialog 로 되돌아온 후, Element/Patch Set 을 확인하면, 이전 단계에서 설정된 UCA_FE Body 의 Patch 정보를 그대로 가지고 있음을 확인할 수 있다. 하지만 이번 과정에서는 아래 그림과 같이, **Shift Key** 를 누른 상태에서 LCA_FE Body 에서 정의한 Patch 정보를 선택하도록 합니다.

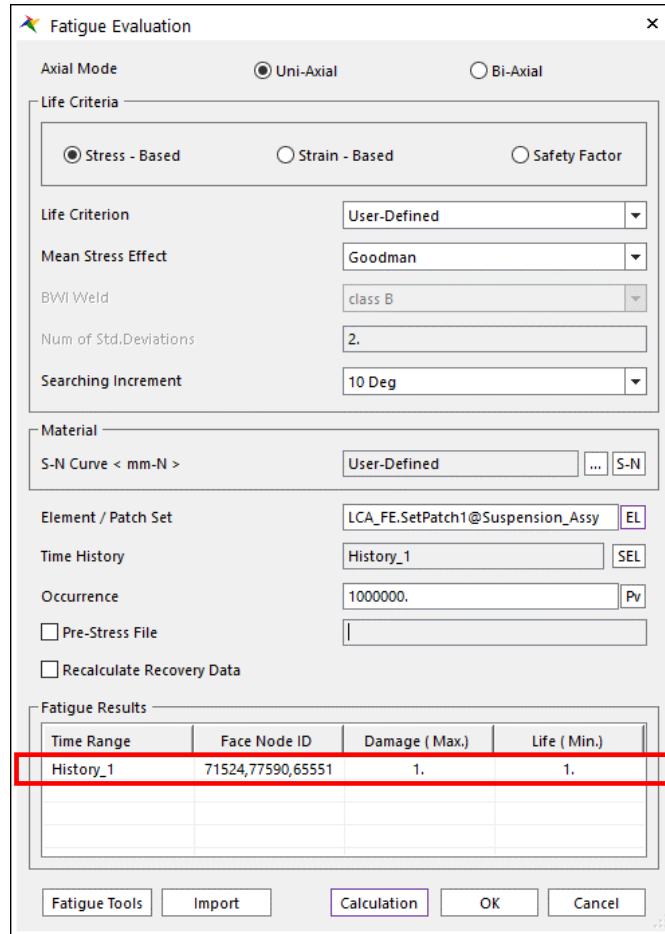


7. **Calculation** 버튼을 클릭합니다.

다음 그림과 같이, Fatigue Analysis 수행 과정이 Progress Bar 로 나타남을 확인할 수 있습니다

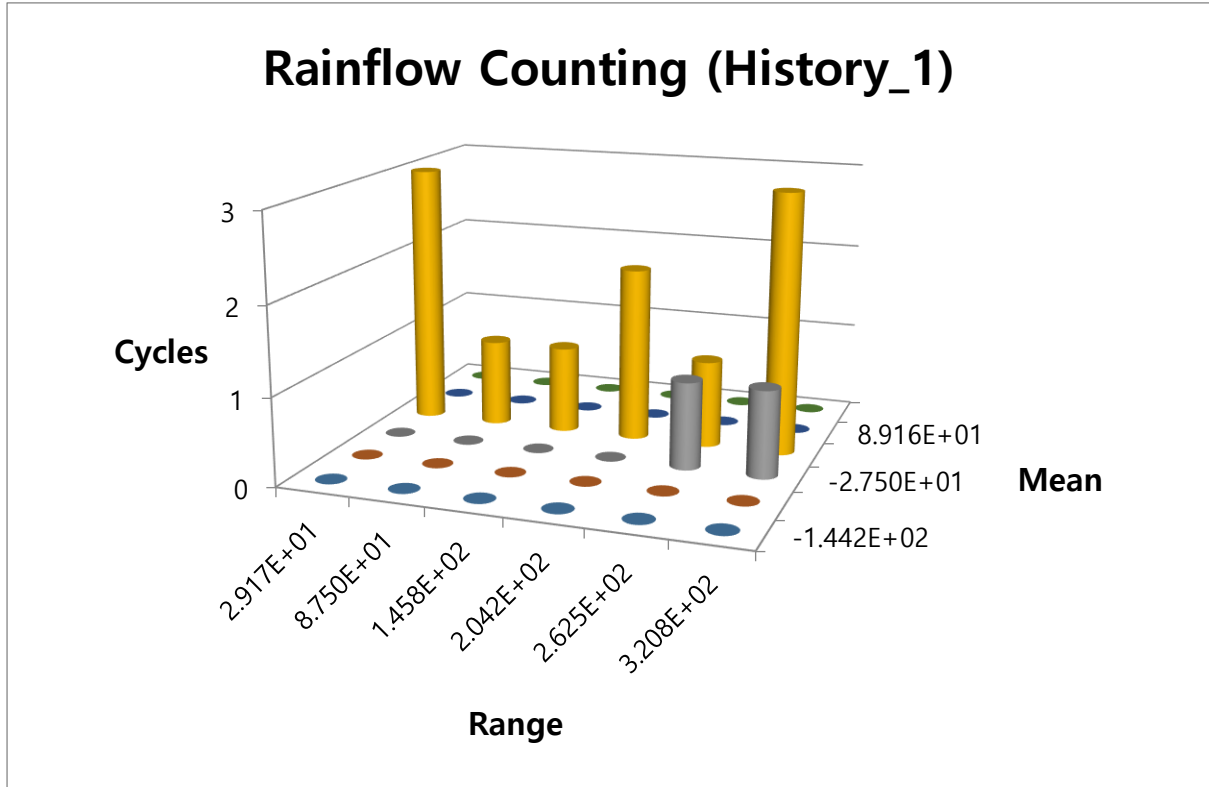


Fatigue Analysis 가 완료되면, **Fatigue Evaluation** Dialog 에서 **Maximum Damage** 와 **Minimum Life** 에 대한 결과가 표시됩니다.

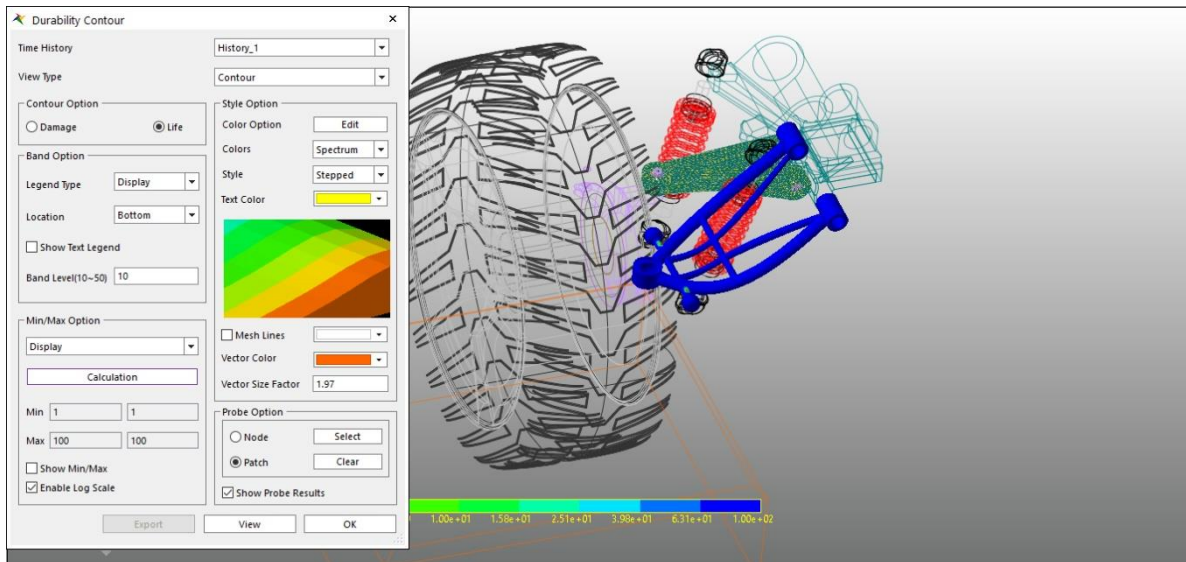


8. **Fatigue Evaluation** Dialog 에서 가장 왼쪽 좌측 하단에 위치한 **Fatigue Tools** 버튼을 눌러 **Dialog** 를 떠난 후, **Rainflow Counting** 버튼을 클릭합니다.

아래 그림과 같이, Excel file 에 Damage 가 가장 크게 나타난 Patch 영역에 적용된 Stress Time History 를 바탕으로 Rainflow Counting 을 수행한 결과를 보여줍니다. UCA_FE Body 에서 확인한 Rainflow Counting 결과와 달리, Preference 에서 설정한 Rainflow Counting Data 의 Number of Ranges 의 값을 6 으로 변경하였으므로, 아래 그림과 같이 3D 차트의 구간이 6 개로 나타남을 확인할 수 있습니다.



9. 앞선 과정에서 UCA_FE Body 에 대한 Durability 해석 결과를 확인한 과정과 마찬가지로, Contour Dialog 를 띄운 후, Contour Option 을 **Life** 로 선택하여 **Calculation** 버튼을 눌러 Dialog 상에서 Min/Max 값이 새로 계산됨을 확인합니다. 그리고 나서, **Contour View** 버튼을 누르면, 아래 그림과 같이 결과를 확인할 수 있습니다.





결과 분석 및 검토

목적

본 장에서는 모델의 내구 해석 결과를 분석하고 검토하는 방법을 살펴봅니다.



예상 소요 시간

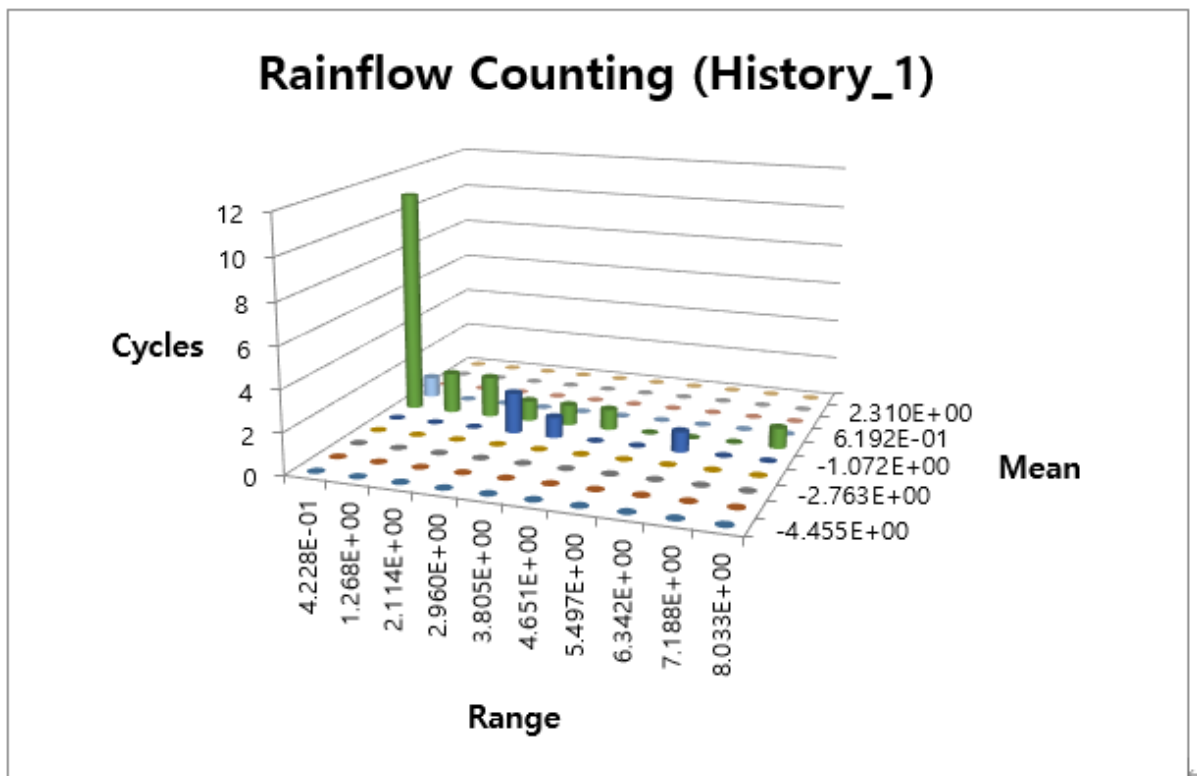
5분

Durability Analysis 결과 분석하기

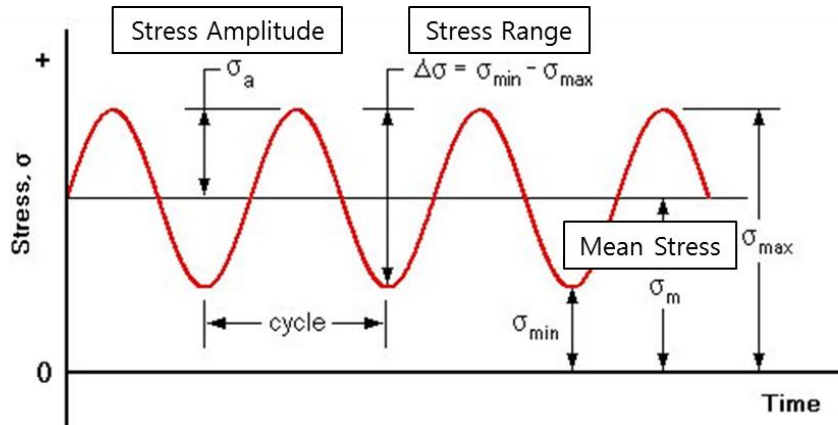
UCA_FE Body 결과 분석:

내구해석을 수행하기 전, Chapter 3 의 마지막 단계에서 UCA_FE 와 LCA_FE Body 에 대한 Von-Mises Stress 를 확인해 보면, UCA_FE 에서 발생하는 응력이 상대적으로 낮음을 확인할 수 있습니다. 따라서 내구수명에 대한 결과 또한 매우 높을 것으로 판단할 수 있습니다.

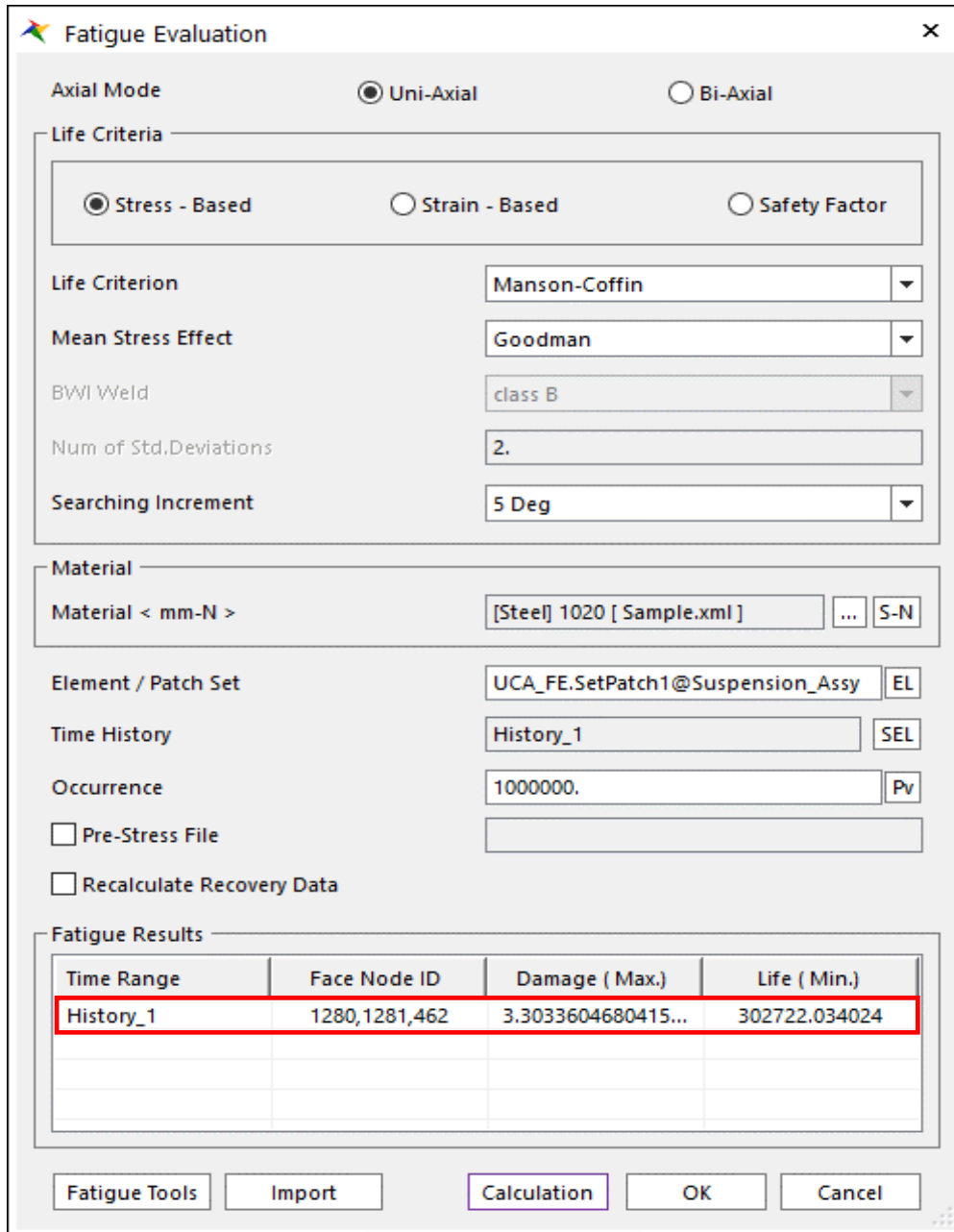
- 실제로 피로해석에서 사용된 Stress Time History 결과를 바탕으로 도출된 Rainflow Counting 결과를 확인해 보면 아래의 그림과 같습니다. 즉, 가장 취약한 지점(Patch 영역)에서 반복적으로 가해지는 가장 큰 Stress 값의 범위(Stress Range, 이때, Stress Range = 2 x Stress Amplitude)가 3Mpa 내외이고, Stress 평균값(Mean Stress)은 1Mpa 보다 작음을 확인할 수 있습니다.



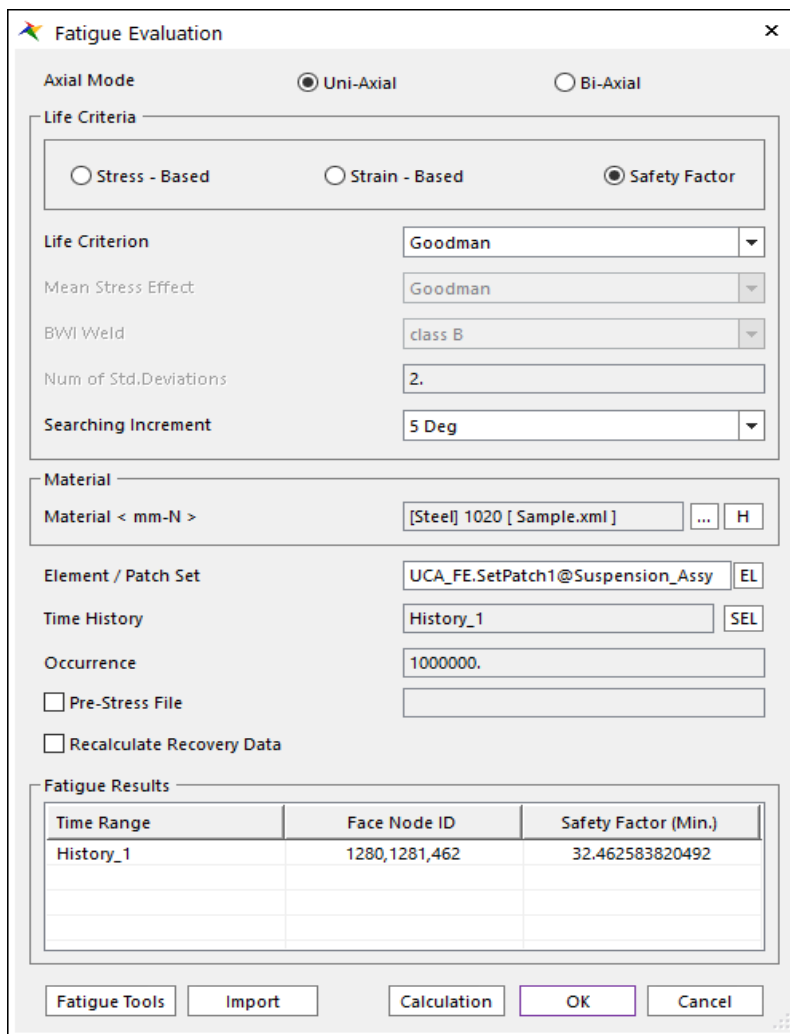
- 참고적으로, Stress Amplitude, Stress Range, Mean Stress 그리고 Cycle 에 대한 관계를 Stress Time History 로 나타내면 다음과 같습니다.



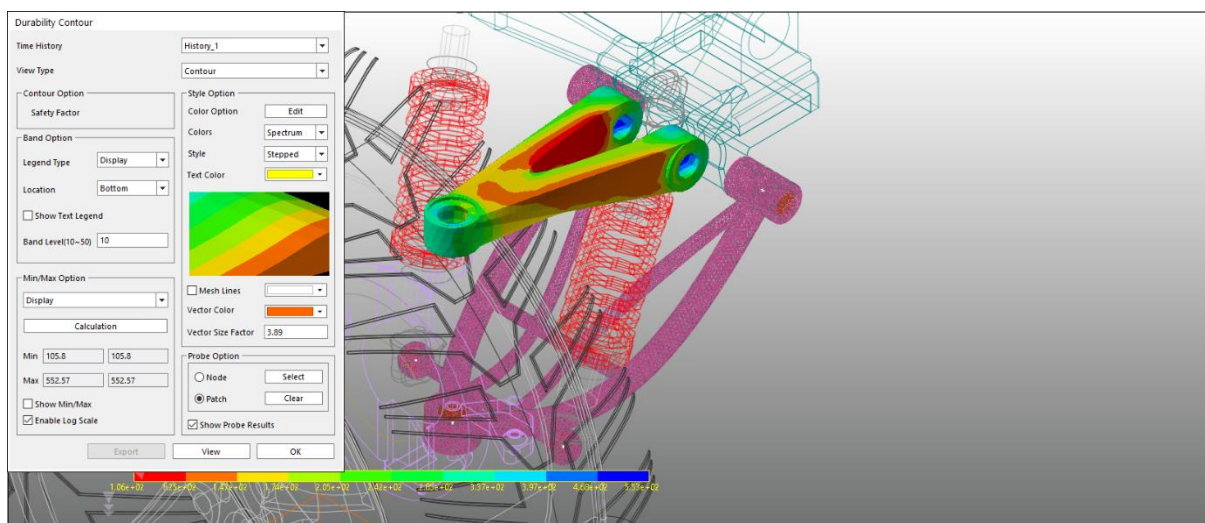
- UCA_FE Body 에 가해지는 하중은 Simulation 결과에서 확인할 수 있듯이, 변하지 않는 일정한 방향으로 반복적으로 하중이 가해지고 있으며, 내구해석에서 Axial Type 을 Uni-Axial 로 선택하였습니다. Simulation 전체 시간을 통해 가해지는 하중 조건을 백만 번 가해질 것으로 설정하였으므로 (Occurrence = 1,000,000), 고반복 수명 예측에 적합한 Stress Life Criteria 를 선택하였고, Means Stress Effect 를 적용하였습니다.
- 내구 해석을 위한 Material 은 차량구조물에 많이 적용하고 있고, Durability Material Library 에서 제공하고 있는 Steel 1020 계열을 선정하여 적용하였습니다.
- 결론적으로, Damage 가 가장 큰 영역, 즉 피로수명이 가장 짧은 영역의 반복 수가 약 5e+06 정도로 나타났습니다. 다시 말해서, Simulation 에서 주어진 하중 조건에 대해서 Occurrence 조건 (1e+06) 과 피로수명(5e+06)을 곱한 값이 Fatigue Evaluation 이 됩니다.



- 위의 피로수명 결과가 무한수명을 가지고 있다고 가정하고, UCA_FE Body 에 설계에 대해서 또 다른 피로해석 결과를 구하고자 한다 Life Criteria 에서 Safety Factor 를 적용할 수 있습니다.
- 아래 그림과 같이, Life Criteria 만 Safety Factor 로 선택하고, Searching Increment, Element/Patch Set, Material 을 아래 그림과 같이, UCA_FE 에서 적용된 부분을 그대로 사용합니다. 그러면 아래의 그림과 같은 결과를 얻을 수 있습니다. (Tip: 이때, Preference 에서 Notch Factor 의 값을 2 로 변경합니다.)



- 이를 Contour Plot 에서 확인해 보면 다음과 같습니다.

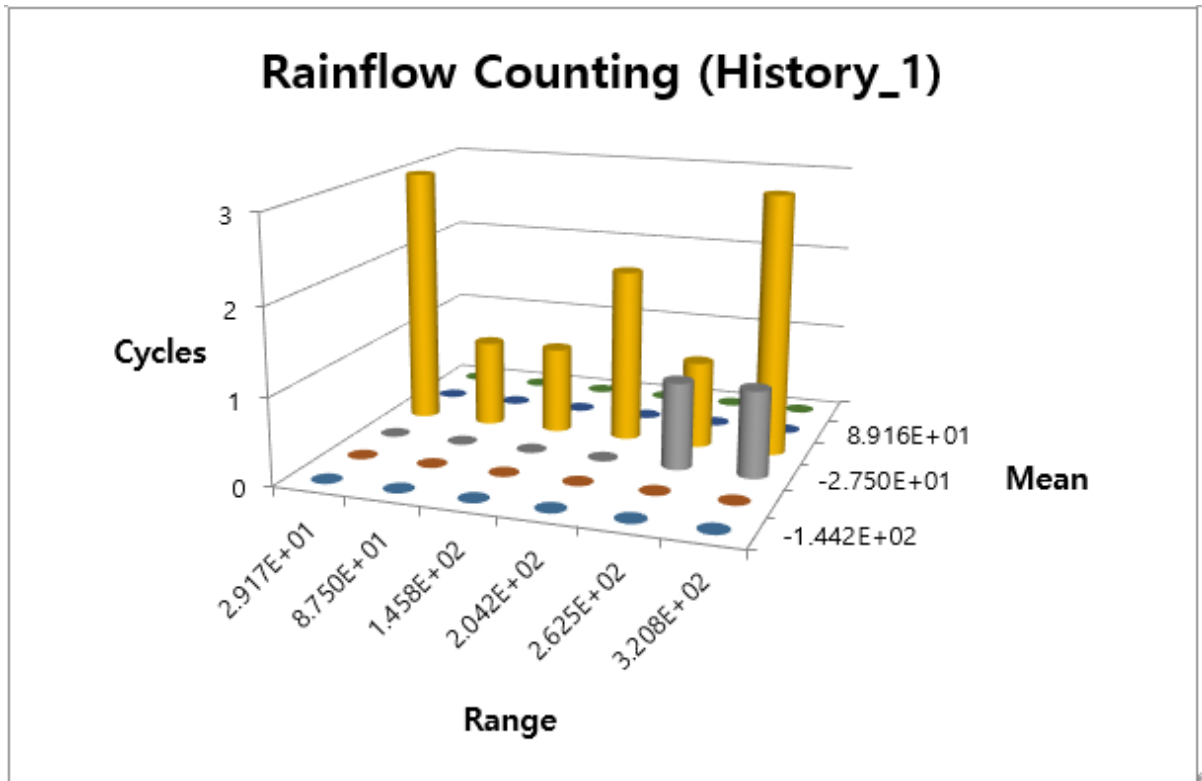


- Safety Factor 계산에서 필요한 조건은 Rainflow Counting 통해서 나온 결과 중에서 Stress Amplitude 와 Mean Stress 입니다. 따라서, Cycle 수와 관련된 Occurrence Data 는 필요로 하지 않습니다.
- 위의 결과에서 알 수 있듯이, UCA_FE 에 대한 내구해석 결과는 매우 안정적임을 확인할 수 있습니다.

LCA_FE Body 결과 분석:

LCA_FE Body 에 대한 내구해석에서는 UCA_FE 에서와 달리, Stress/Strain Life Criteria 영역에서 RecurDyn/Durability 에서 제공하고 있는 특정 S-N Curve 를 만들 수 있는 여러 공식들 대신에 사용자가 직접 입력하는 방법을 적용하였습니다. 즉, User-Defined S-N Curve 를 선택함으로써, Material 설정과정에서 외부 실험 혹은 관련 참고자료에서 구한 데이터 (Stress Amplitude vs. Cycle)를 직접 입력하여 피로해석에 적용할 수 있도록 하였습니다.

- 아래의 Rainflow Counting 결과 그래프에서도 알 수 있듯이, Stress Range, Mean Stress 값이 UCA_FE 에서 얻어진 결과보다 상대적으로 약 100 배 가량 크게 나오고 있음을 확인할 수 있습니다.
- 결론적으로, 피로해석 결과에서 알 수 있듯이, LCA Body 는 주어진 하중 조건으로 백만 번까지만 견딜 수 있음을 확인할 수 있습니다. 즉, 보다 내구성 있는 제품을 만들기 위해서는 설계 변경이 필수적임을 알 수 있습니다.
- 만약, LCA_FE Body 에 대한 안정성을 Von-Misess Stress 만을 가지고 판단한다면, 아래 그림과 같이, 도출된 Maximum Stress 가 139Mpa 정도되므로 항복응력 (262Mpa)보다 훨씬 낮게 나타나므로 안정된 설계로 판단할 수 있습니다. 하지만 내구성을 고려한다면, 설계는 변경되어야 할 것입니다.



Fatigue Evaluation

Axial Mode Uni-Axial Bi-Axial

Life Criteria

Stress - Based Strain - Based Safety Factor

Life Criterion: User-Defined

Mean Stress Effect: Goodman

BWV Weld: class B

Num of Std.Deviations: 2.

Searching Increment: 10 Deg

Material

S-N Curve < mm-N >: User-Defined ... S-N

Element / Patch Set: LCA_FE.SetPatch1@Suspension_Assy [EL]

Time History: History_1 [SEL]

Occurrence: 1000000. [Pv]

Fatigue Results

Time Range	Face Node ID	Damage (Max.)	Life (Min.)
History_1	71524,77590,65551	1.	1.

Fatigue Tools Import Calculation OK Cancel

Thanks for participating in this tutorial