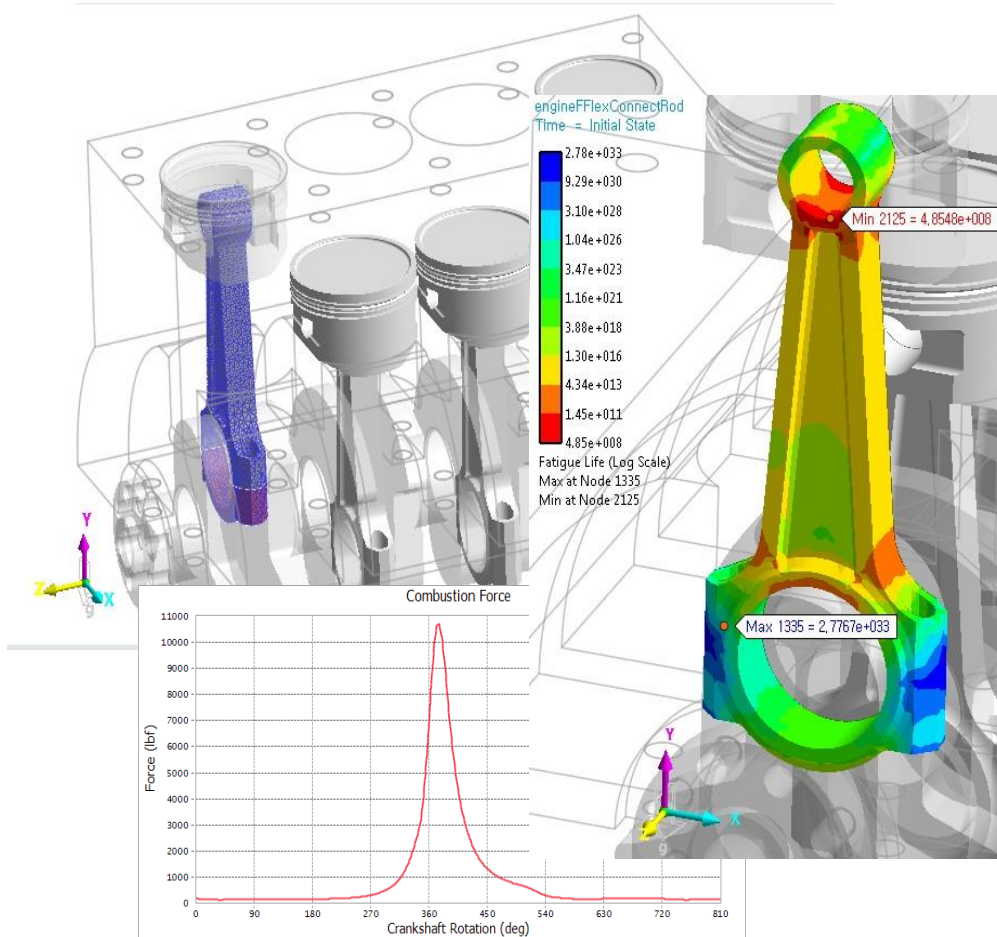


FFlex ConnectingRod Tutorial (Durability)



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 검토하기	6
목적	6
예상 소요 시간	6
Flexible 커넥팅 로드를 가진 엔진 모델	7
해석 결과 검토하기	10
피로 해석하기	13
목적	13
예상 소요 시간	13
피로 해석을 위한 표면 정의하기	14
피로 해석 설정 및 실행하기	16
피로해석 결과 보기	20
충분한 애니메이션 프레임이 선택되도록 하기	22



개요

목적

다물체 동역학 시스템에서 Flexible Body 의 모델링 및 시뮬레이션은 사용자가 좀더 정확한 결과를 얻을 수 있도록 하는 중요한 기능입니다. **RecurDyn** 은 이를 위하여 Full Flex(**FFlex**) 와 Reduced Flex(**RFlex**)로 두 가지 방법을 제공합니다. **RFlex** 는 다른 Body 가 Flexible Body 에 연결되고 flexible body 와 접촉이 없고 변형이 작고 선형 범위 내에 있는 모델을 신속하게 시뮬레이션 할 수 있습니다. 한편, **FFlex** 는 flexible body 와의 롤링 및 슬라이딩 접촉뿐만 아니라 비선형 거동을 나타내는 큰 변형을 처리할 수 있습니다.

단일 작업주기 동안 유연한 부품이 해석되면 사용자는 **RecurDyn/Durability** 를 사용하여 해당 부품의 수명을 쉽게 예측할 수 있습니다. 완벽하게 통합된 이 **RecurDyn** 모듈은 동적 분석 결과를 피로 분석으로 완벽하게 전달하여 사용자가 피로 수명을 예측하기 위해 업계에서 가장 일반적으로 사용되는 수십가지 피로 모델 중에서 선택할 수 있습니다. SAE J1099 기술 보고서를 기반으로 하는 180 개의 공통 재료를 포함하는 피로 재료 라이브러리도 포함되어 있습니다.

이 튜토리얼에서 사용된 예는 4 기통 엔진의 커넥팅 로드입니다. 이들 구성 요소는 피스톤 챔버에서 생성된 연소력으로부터 많은 사이클을 거칩니다.

필요 요건

사용자는 먼저 3D Crank-Slider, Engine with Propeller 및 Pinball (2D contact) 튜토리얼 또는 이에 상응하는 FFlex Compliant Clutch 튜토리얼을 수행해야 합니다. 물리학에 대한 기본 지식이 있다고 가정합니다.

과정

이 튜토리얼은 다음의 과정들로 구성되어 있습니다. 각 과정을 완성하기까지 걸리는 시간은 아래의 표와 같습니다.

과정	시간(분)
초기 모델 검토하기	10
피로 해석하기	20
총합	30



예상 소요 시간

30 분

Chapter

2

초기 모델 검토하기

목적

Flexible 커넥팅 로드 의 모델 및 특별히 고려해야 할 사항에 대해서 알아봅니다.

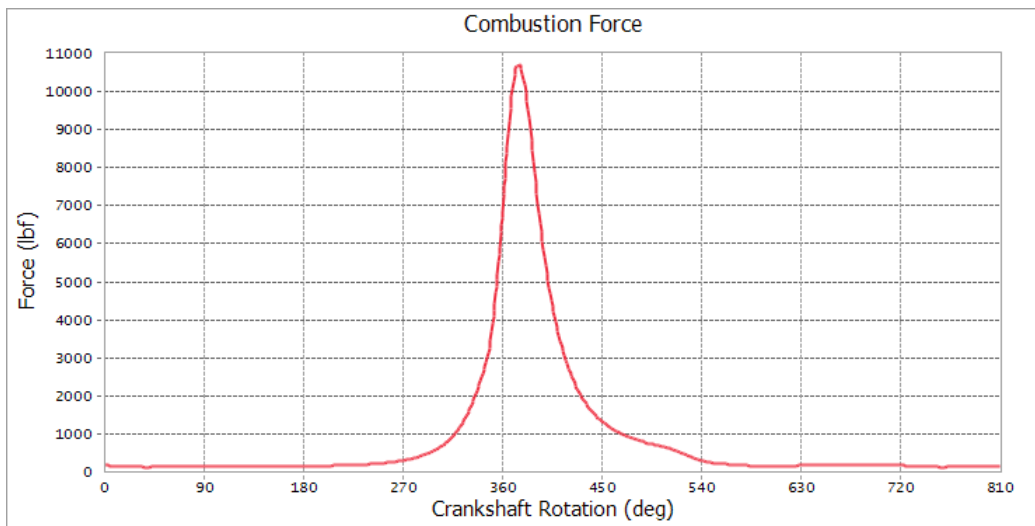
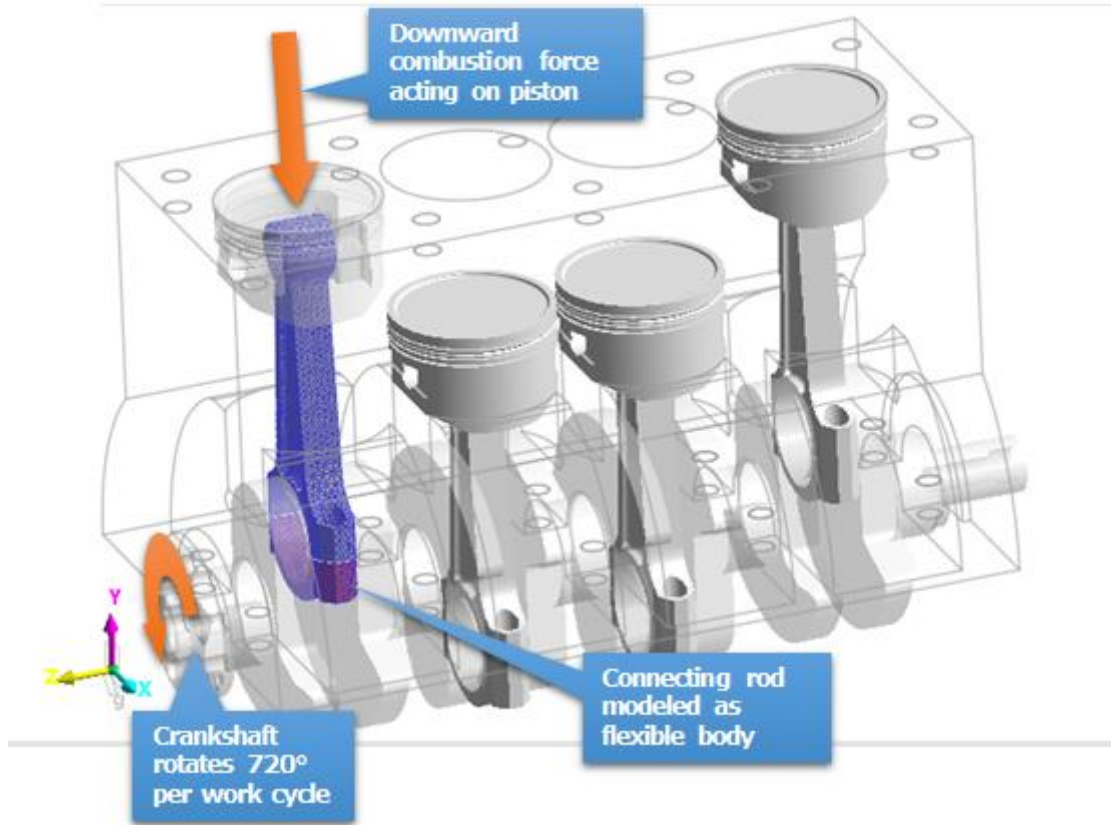


예상 소요 시간

10 분

Flexible 커넥팅 로드를 가진 엔진 모델

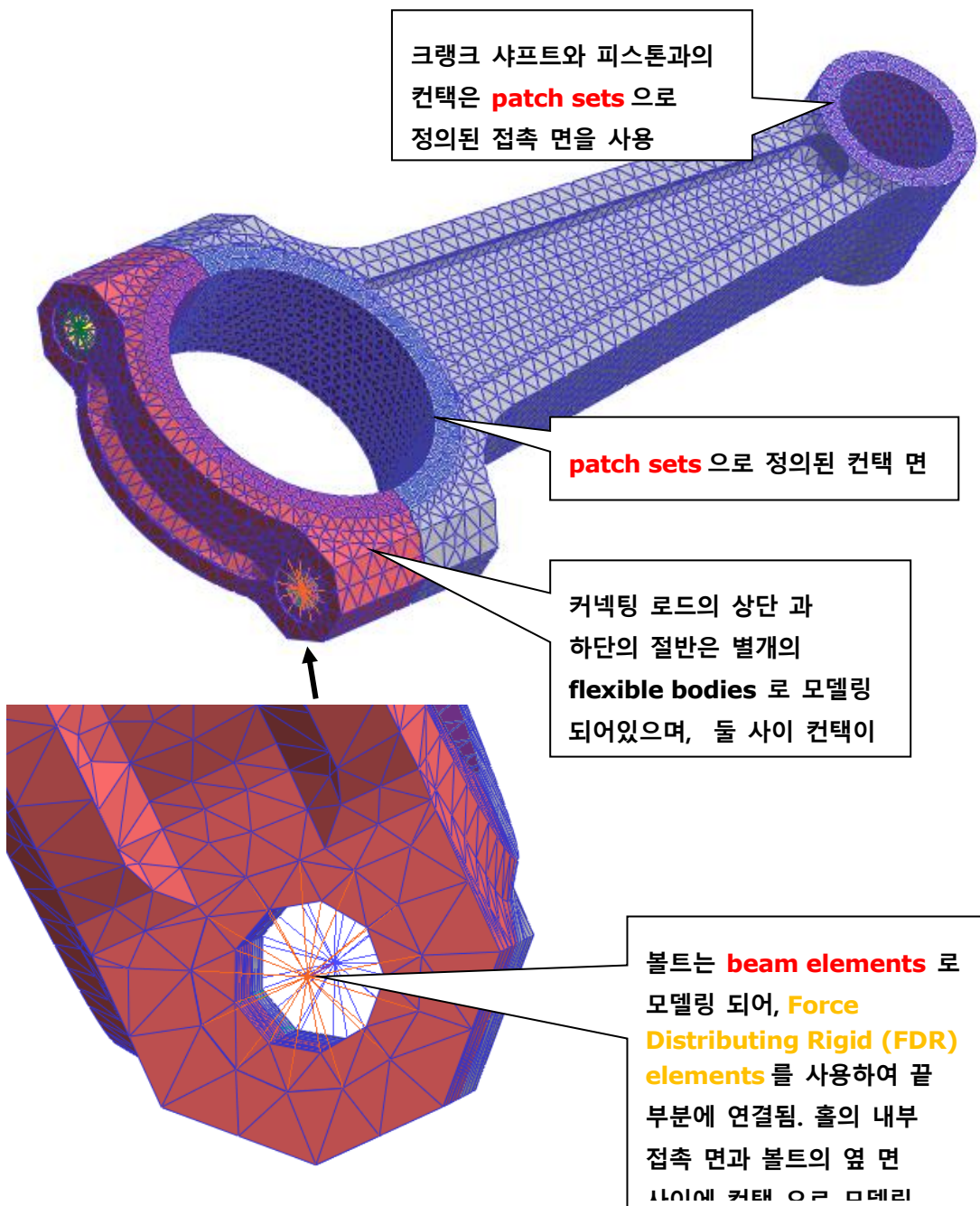
이 튜토리얼에서 사용되는 모델은 커넥팅 로드들 중 하나가 RecurDyn/FFlex 의 flexible body 로 모델링 된 내연 기관입니다.



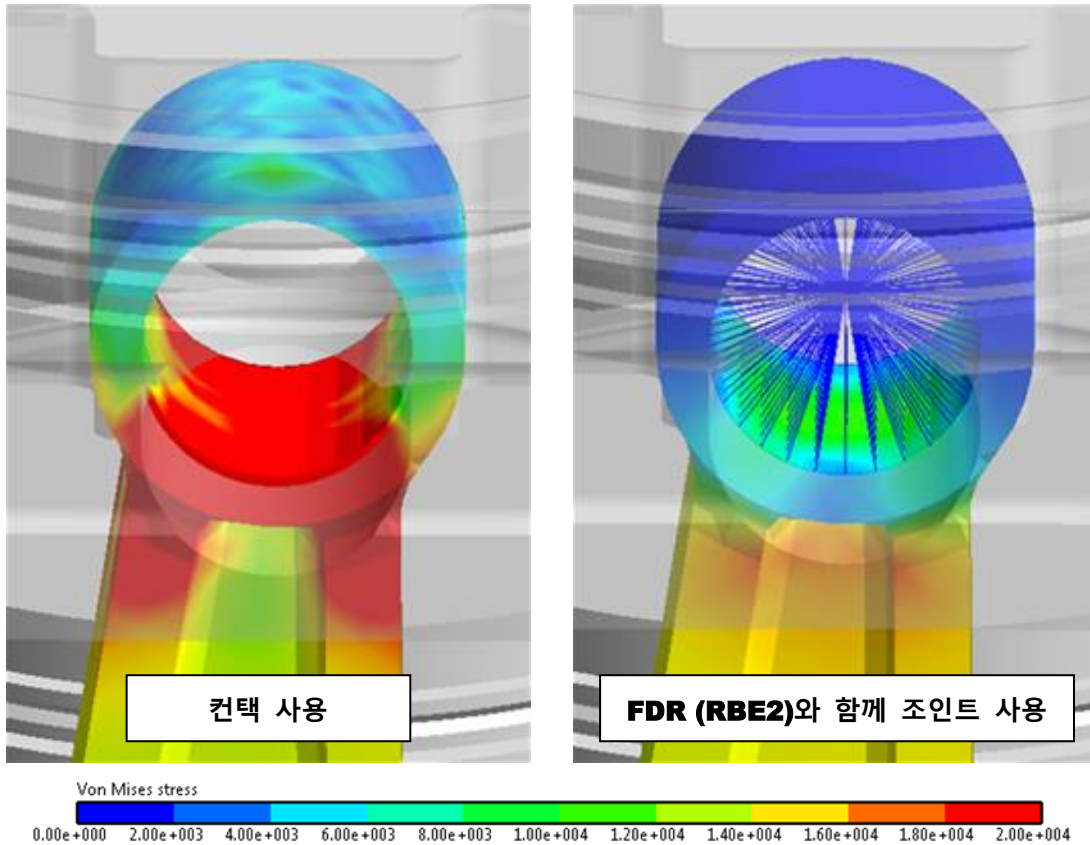
위 그림과 같이 연소력은 360 도로 크랭크 샤프트 회전직후 큰 피크를 가집니다. 크랭크 샤프트가 720 도로 회전한 후 전체 사이클이 완료됩니다. 나중에 이유를 설명하겠지만, 이 모델의 동적

해석은 약간 더 오래 작동시켜 크랭크 샤프트가 810 도 회전하게 합니다. 3,000RPM 에서는 총 0.045 초가 걸립니다.

아래는 FFlex 커넥팅 로드입니다. 이 튜토리얼의 목적 상, mesh 는 정확한 결과를 얻기 위해 권장되는 것 보다 적은 수의 요소(element)로 되어 있습니다. 현실을 보다 정확하게 반영하기 위해 커넥팅 로드는 두 개의 볼트로 연결된 두 개의 별도 부품으로 mesh 되었습니다. 상반부와 하반부 간에 접촉이 모델링 되어 있습니다. 볼트는 RBE2 요소와 유사한 Force Distributing Rigid (FDR) 요소를 사용하여 끝에 부착되며 볼트와의 접촉도 모델링 되어 있습니다.



이 body 를 크랭크 샤프트와 피스톤에 연결할 때 조인트(회전 조인트)가 사용되지 않았습니다. 대신, flexible body 와 다른 body 사이의 접촉으로만 모델링 하였습니다. 이렇게 모델링하는 것의 중요성은 다음 그림에서 볼 수 있습니다.



위의 두 이미지는 별개의 두 가지 유사한 시뮬레이션의 결과입니다 (좌측 : 컨택을 이용한 시뮬레이션 결과 / 우측: 조인트를 이용한 시뮬레이션 결과). 연소력이 최고점에 도달했을 때의 이미지이며 피스톤과 그 뒤에 커넥팅 로드에게 하향 힘이 가해집니다. 좌측 시뮬레이션에서는 피스톤과 커넥팅 로드 사이의 연결을 모델링하기 위해 접촉만 사용되었습니다. 여기서, 접촉은 힘이 원통형 표면의 바닥에 현실적으로 적용될 수 있게 합니다. 결과적으로 Von Mises 응력은 표면의 상단이 아닌 하단에 집중됩니다. 우측 시뮬레이션에서는 여러 노드에 조인트로드를 분배하는데 사용되는 FDR (Force Distributing Rigid) 요소 (및 RBE2 요소와 유사)와 함께 회전 조인트가 사용되었습니다. 이 상황에서 FDR은 인공 강성을 구조에 도입하여 관절 주변의 전체 영역에서 내부 응력의 양을 줄입니다.

따라서 이 튜토리얼에서는 응력이 높은 영역의 피로 수명을 확인하기 위해 피스톤과 커넥팅 로드 사이에 여러 접촉으로 정의된 FFlex 모델을 사용합니다.

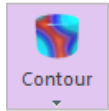
해석 결과 검토하기

이제 FFlex Contour 의 설정을 조정하고 결과 애니메이션을 재생하여 단일 작업주기 동안 커넥팅 로드에서 언제 어디서 스트레스가 발생하는지 관찰합니다.

해석 결과를 보려면:



1. **RecurDyn** 을 시작하고 **engineFFlexConnectRod.rdyn** 모델을 엽니다. (파일 위치: <Install Dir>\Help\Tutorial\Durability\FFlexConnectingRod).
2. **File** 메뉴에서 **Save As** 을 클릭합니다.
(튜토리얼 경로에서 직접 시뮬레이션 할 수 없으므로 다른 경로에 저장하십시오.)



3. **Analysis** 탭의 **Simulate Type** 그룹에서 **Dyn/Kin** 아이콘을 클릭하면 **Dynamic/Kinematic Analysis** 다이얼로그가 나타납니다. **Dynamic/Kinematic Analysis** 다이얼로그에서 **Simulation** 버튼을 눌러 해석을 진행합니다.
4. **Flexible** 탭의 **FFlex** 그룹에서 **Contour** 아이콘을 클릭합니다.

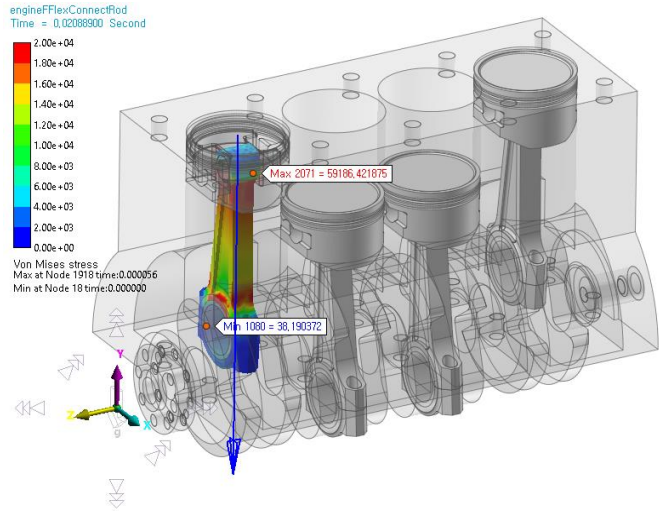
5. 아래와 같이 표시되도록 설정합니다.

6. **OK** 버튼을 클릭합니다.

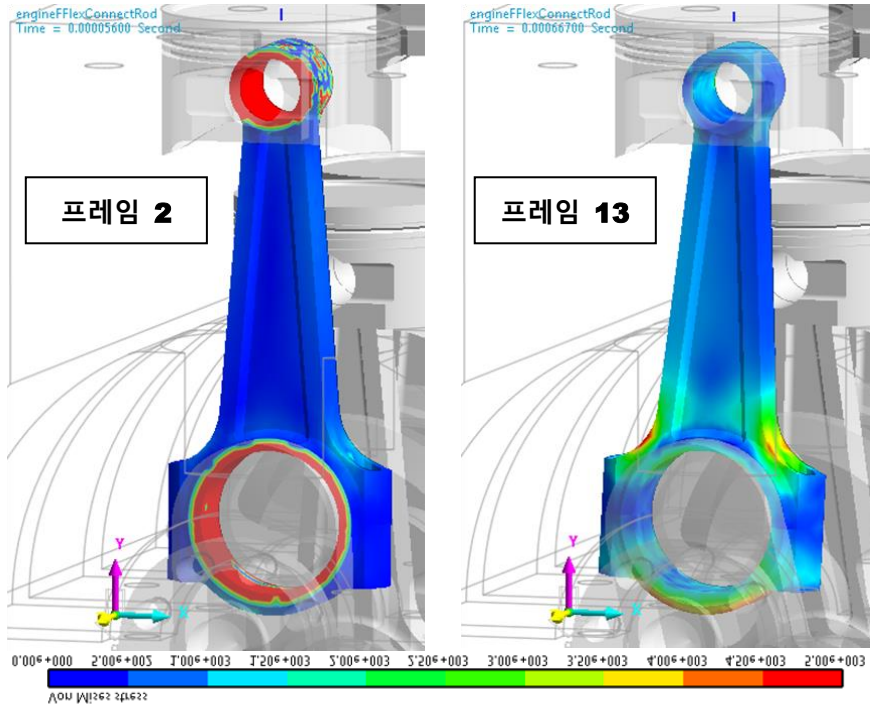


7. **Analysis** 탭의 **Animation Control** 그룹에서 **Play** 버튼을 클릭합니다.

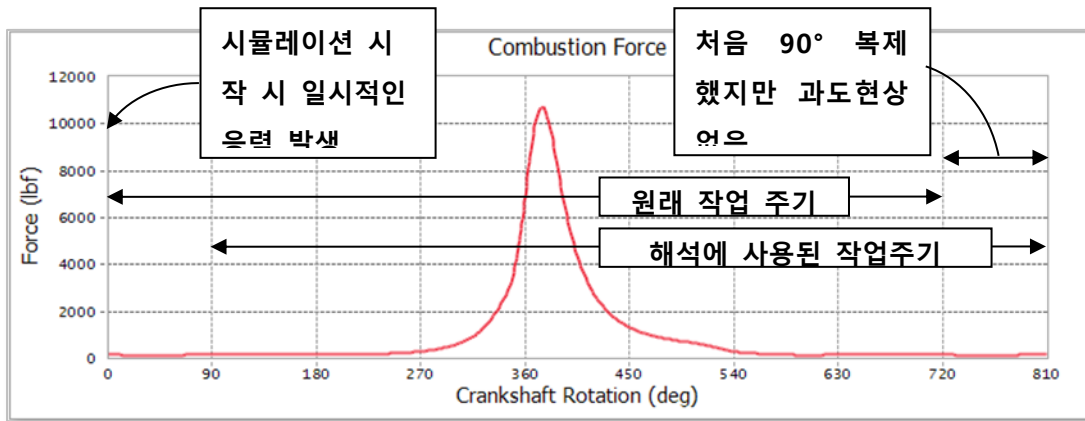
연소력이 정점에 도달한 약 377 프레임에서 응력이 급격히 증가한다는 것을 알 수 있습니다. 최대 응력 값을 20,000 (lbf/in²)으로 조정하면 오른쪽 그림과 같이 Contour 가 나타납니다.



또한 시뮬레이션 시작 시 약 프레임 13에서 커넥팅 로드 내에 소멸되는 초기 과도 응력이 있음을 알 수 있습니다. 이러한 응력은 커넥팅 로드가 피스톤과 크랭크 샤프트 사이에 접촉하는 영역에 집중됩니다 피스톤과 크랭크 샤프트로. 이 모델에서 이러한 과도 효과는 높은 초기 속도로 시작하는 메커니즘에서 FFflex body의 초기 속도 또는 가속도가 접촉하는 body의 속도와 정확히 일치하지 않기 때문에 피하기 어렵습니다. 그래서 피로 해석의 경우 다음 페이지에서 설명하는 것처럼 과도 응력이 발생하는 초기 프레임을 무시하여 결과를 버리지 않을 수 있습니다.



크랭크 샤프트 회전의 첫 90도 동안에서 발생하는 과도 현상을 피하기 위해, 시뮬레이션 종료 시간을 연장하여 크랭크 샤프트가 720도 작업 사이클 회전을 완료한 후에도 추가 90도 더 회전하도록 합니다. 이 마지막 90도 회전은 처음 90도 회전 대신 사용할 수 있는데, 이는 처음 90도 회전의 복제본이지만 시뮬레이션 시작으로 인한 과도 현상을 없앨 수 있습니다.



피로 해석하기

목적

다음 내용을 배워봅시다.

- 피로 해석 표면을 정의하기 위해 Face Surface 생성하기
- 피로 해석을 위한 Reference 설정하기
- 재료 라이브러리에서 재료 선택하기
- 피로 해석에 사용할 동적 해석 데이터 선택하기
- 피로 해석을 진행하고 contour 결과 확인하기



예상 소요 시간

20 분

피로 해석을 위한 표면 정의하기

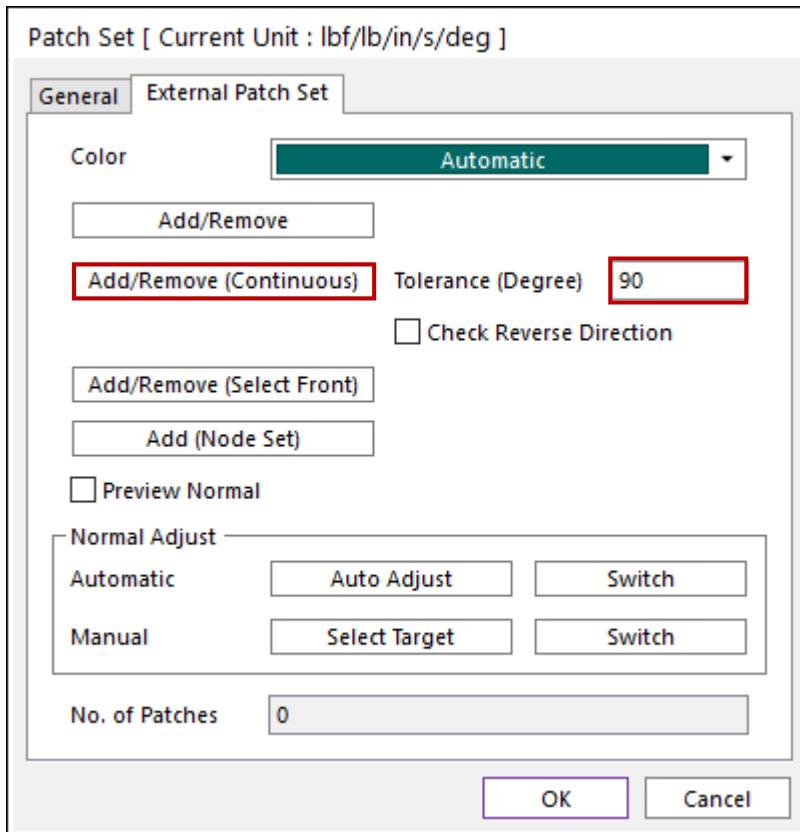
피로 해석은 부품의 전체 외부 표면에서 수행됩니다. 피로로 인한 부품 고장은 표면에서 시작된 균열의 성장에서 비롯되기 때문입니다. 전체 표면을 가지고 피로 해석을 하는 것보다 일부 표면을 선택하면 피로 해석의 계산 시간이 줄어 듭니다.

피로 해석을 위한 표면을 정의하기 위해 부품 표면에 있는 모든 요소면을 포함하는 Patch Set 을 작성합니다.

피로 해석을 위한 **Patch Set** 생성하기 위하여:



1. **FFlex_connectRod** body 을 더블 클릭하여, **Body Edit** 모드로 진입합니다.
2. **FFlex Edit** 탭의 **Set** 그룹에서 **Patch Set** 아이콘을 선택합니다.

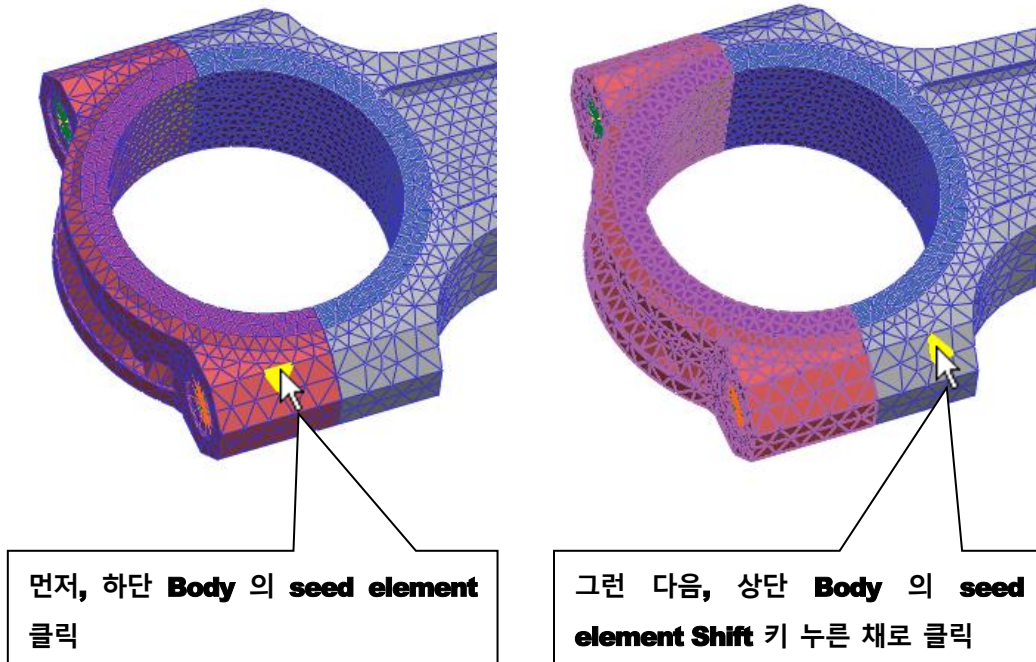


3. **Tolerance (Degree)**을 **90** 으로 정의합니다.

이 설정을 사용하면 사용자가 하나의 요소면을 선택한 후 **RecurDyn** 은 해당 초기면과 최대 90 도의 각도를 이루는 인접한 요소면을 선택한 다음 해당면에서 최대 90 도까지의 요소면을 선택합니다. 여기서는 90 도보다 작은 모서리는 없으므로 모든 외부면이 선택됩니다.

4. **Add/Remove (Continuous)** 버튼을 선택합니다.

5. 다음 그림에서 보는 것과 같이, 먼저 커넥팅 로드 body에서 요소 면 하나를 선택합니다.



6. 그 다음, Shift 키를 누른 채로, 위 body의 요소 면 하나를 클릭합니다.
 선택된 body들 사이의 요소 가장자리들이 위 그림처럼 하이라이트 됩니다.
7. 화면에서 마우스 우측 메뉴를 실행하여 **Finish Operation** 을 선택합니다.
8. **OK** 버튼을 누릅니다.
 커넥팅 로드 body들에 있는 모든 외곽 요소 면들이 포함된 Patch Set이 만들어졌습니다.
9. **Body Edit** 모드를 나와 모델 최상위로 돌아옵니다.

피로 해석 설정 및 실행하기

피로 해석 표면이 설정되었으므로 피로 해석을 수행할 수 있습니다. 그러나 동적 분석 결과가 필요하기 때문에 먼저 이전에 해석해 둔 애니메이션을 다시 가져와야 합니다. 해석 표면을 정의한 후 동역학 해석을 다시 수행할 필요는 없습니다.

애니메이션 결과를 가져오기:

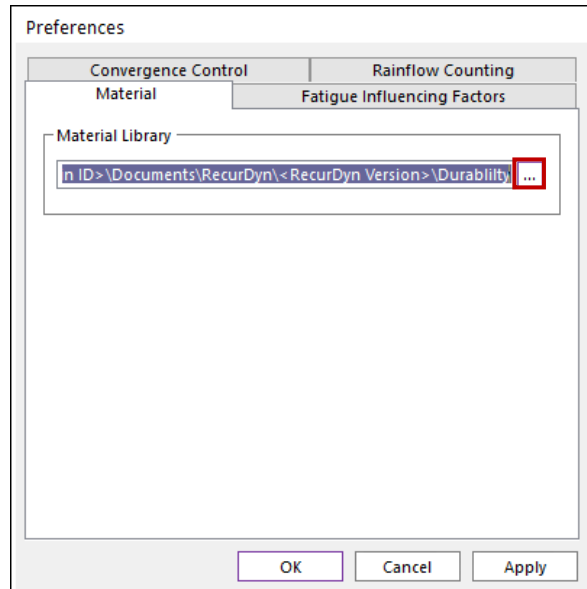


1. **Animation Control** 그룹에 있는 **Reload the last animation file** 아이콘을 클릭합니다.

피로 해석 설정 및 실행하기 위하여:



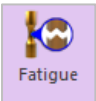
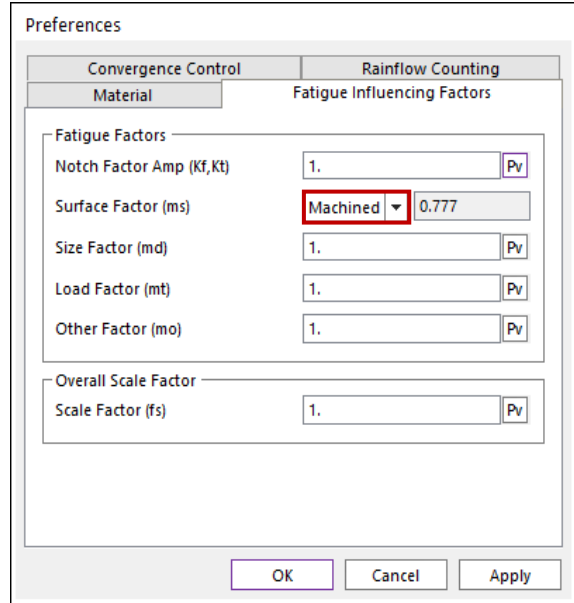
1. **Post Analysis** 탭의 **Durability** 그룹에서 **Preference** icon 을 클릭하면 **Preference** 다이얼로그가 나타납니다.
2. **Preference** 다이얼로그에 포함된 **Material** 탭에서 피로해석에서 사용하게 될 재료 라이브러리의 경로를 설정합니다.



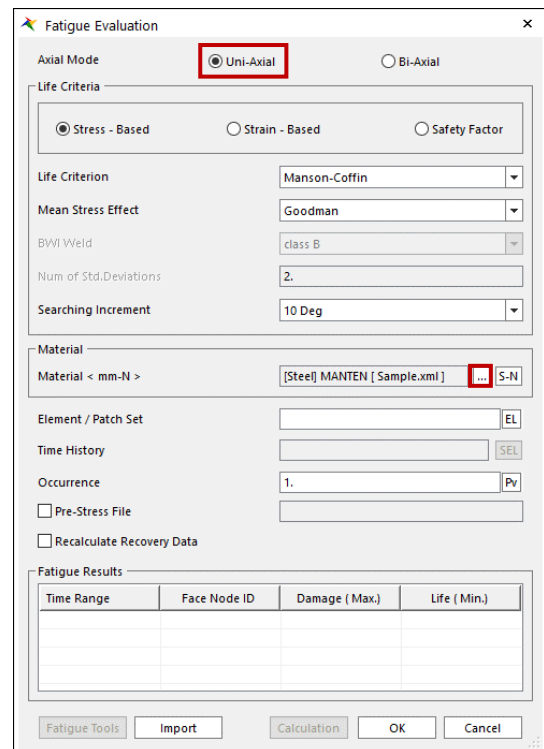
3. 다음 디렉토리로 이동합니다. **C:\Users\<Your Windows Login ID> \Documents\RecurDyn\<RecurDyn Version>** (혹은 OS 환경에 따라 이와 동등한 위치)

재료 라이브러리를 포함할 경로를 정의하려면, **Durability** 라는 새 디렉토리를 생성하고 선택합니다.

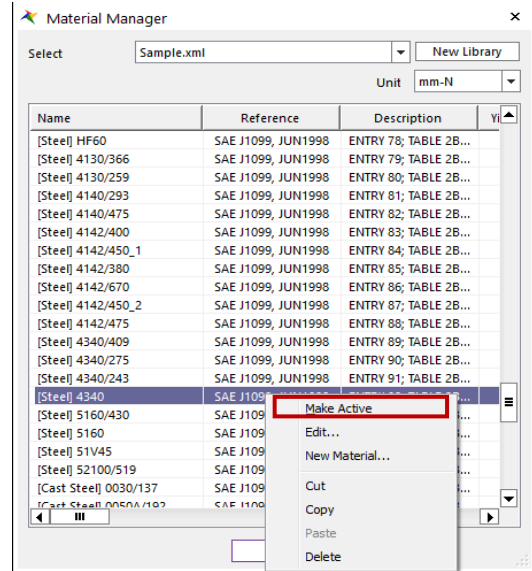
4. **Fatigue Influencing Factors** 탭을 선택합니다.
5. Set the **Surface Factor (ms)**을 **Machined** 으로 설정합니다.
6. **OK** 버튼을 누릅니다.



7. **Post Analysis** 탭의 **Durability** 그룹에서 **Fatigue** 아이콘을 선택합니다. **Fatigue Evaluation** 다이얼로그가 나타납니다.
8. 오른쪽 그림과 같이 **Axial Mode, Life Criterion, Mean Stress Effect, and Searching Increment** 을 설정합니다.
(특히, **Axial Mode** 는 **Uni-Axial** 로 정의되어야 합니다.)
9. **Material** 영역에서, '...' 버튼을 선택합니다.

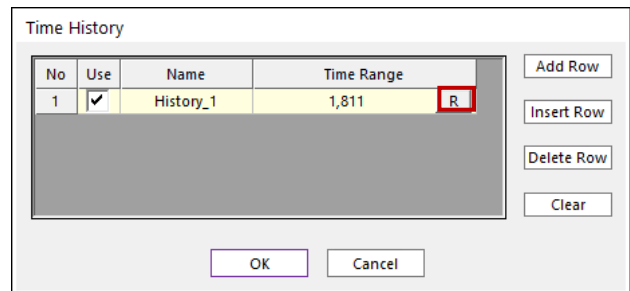


10. 스크롤을 내려 **[Steel] 4340** 을 마우스 오른쪽 버튼으로 선택하고 Pop-up 메뉴를 이용하여 그림과 같이 **Make Active** 를 선택합니다.
11. **OK** 버튼을 누릅니다.



12. **Fatigue Evaluation** 다이얼로그로 돌아와, **Element/Patch Set** 영역에서 **EL** 버튼을 선택합니다.

13. 화면에서 이전에 생성한 Patch Set 을 선택합니다. (**FFlex_connectRod.SetPatch20**).

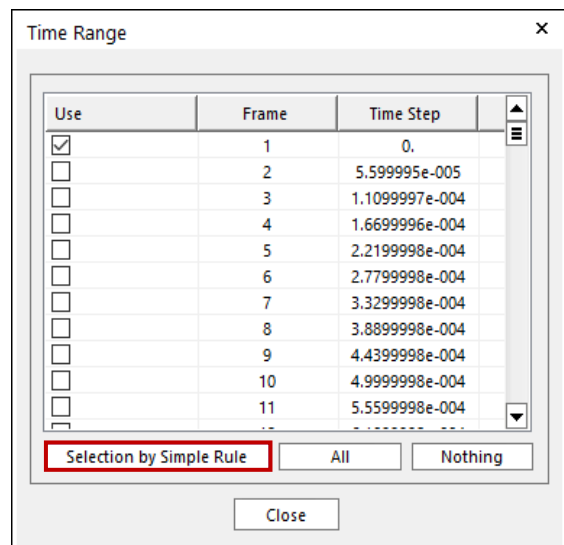


14. **Time History (Frame)** 영역에서, **SEL** 버튼을 클릭하여 **Time History Set** 을 만들고 그 Set 에 포함시킬 애니메이션 프레임들을 선택합니다.

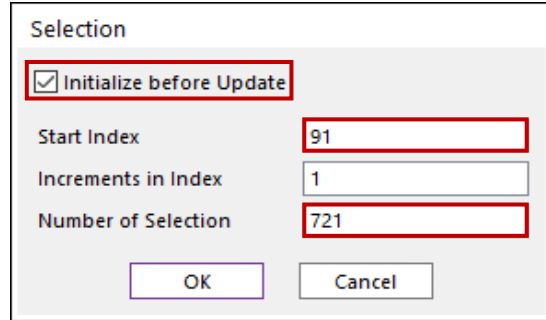
15. **Time History** 의 이름을 **History_1** 에서 **History_721** 으로 수정합니다.

16. 시간 범위를 변경하기 위해 **Time History** 다이얼로그에 있는 **R** 버튼을 누릅니다.

17. **Selection by Simple Rule** 버튼을 클릭합니다.



18. **Initialize before Update** 옆 체크박스를 체크합니다.



19. 다음과 같이 입력합니다.

- **Start Index: 91**
- **Increments in Index: 1**
- **Number of Selections: 721**

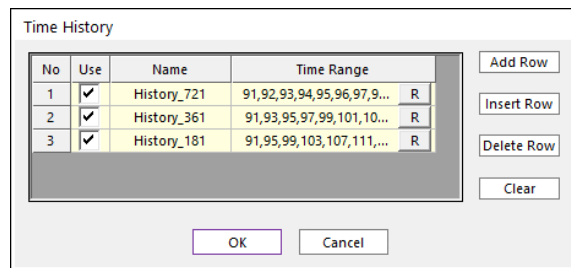
20. **OK** 버튼을 클릭한 다음, 정의된 **Time Range** 을 확인할 수 있습니다.

21. **Close** 버튼을 누릅니다.

- **Time History** 다이얼로그에서 **Add Row** 버튼을 클릭한 다음, **History_361** 이란 이름을 가진 **Time History** 을 만듭니다.

22. 17~ 19 순서를 다시 반복하면, 다음과 같이 **Time Range** 을 설정합니다.

- **Start Index: 91**
- **Increments in Index: 2**
- **Number of Selections: 361**



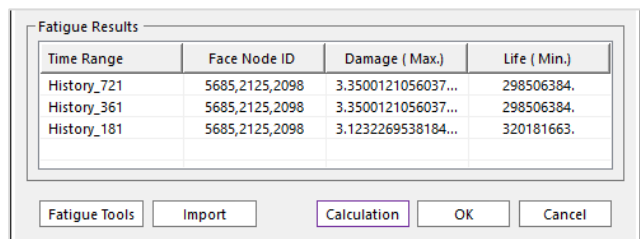
23. **History_181** 이란 이름을 가진 **Time History** 를 만들고 다음과 같이 **Time Range** 을 설정합니다.

- **Start Index: 91**
- **Increments in Index: 4**
- **Number of Selections: 181**

24. 정의된 **Time History** set 들을 확인하고 **OK** 버튼을 누릅니다.

25. **Fatigue Evaluation** 다이얼로그로 돌아가서, **Calculation** 버튼을 클릭합니다.

피로 해석이 3 번 수행되며, 몇 초 정도가 소요됩니다. 그 후 오른쪽과 같이 결과들을 확인할 수 있습니다.



26. **OK** 버튼을 누릅니다.

피로 해석 결과 보기

피로 해석 결과 보기



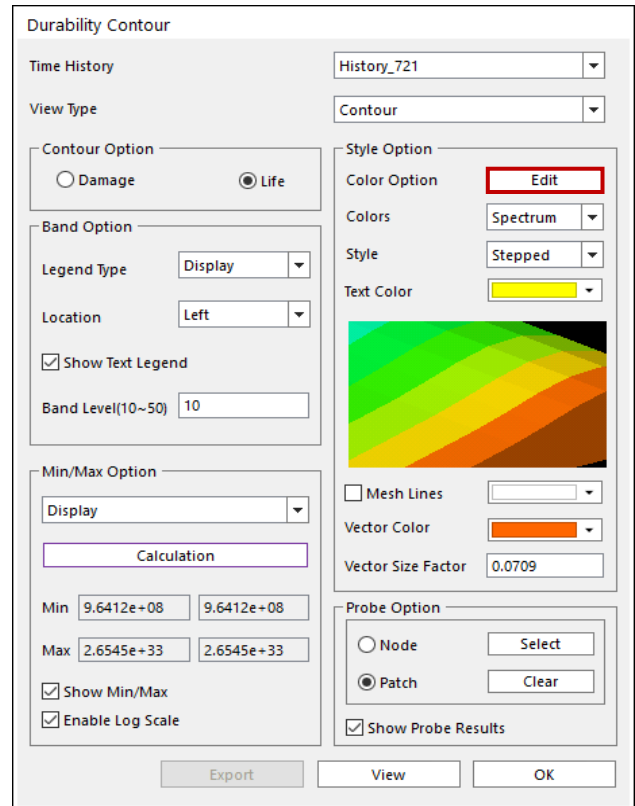
1. **Post Analysis** 탭의 **Durability** 그룹에서 **Contour** 아이콘을 선택합니다.

2. 오른쪽과 같이 셋팅을 합니다.

특히, **Time History** 는 **History_721** 로 선택해야 합니다.

3. **Style Option** 영역 아래, **Color Option** 옆에 있는 **Edit** 버튼을 클릭합니다.

수명에 대한 데이터를 보려면, color 셋팅을 변경하는 것이 좋습니다. 작은 값들이 빨간색으로 되도록 하고 큰 값들이 파란색으로 되도록 합니다.

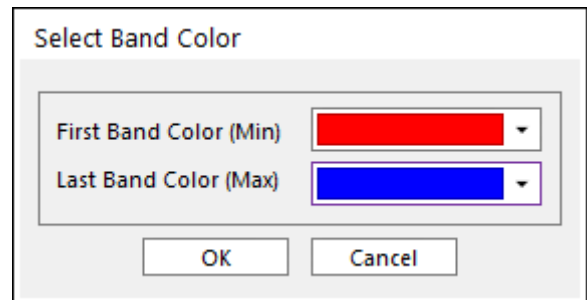


4. 오른쪽과 같이, minimum color 는 빨간색으로 maximum color 는 파란색으로 선택합니다.

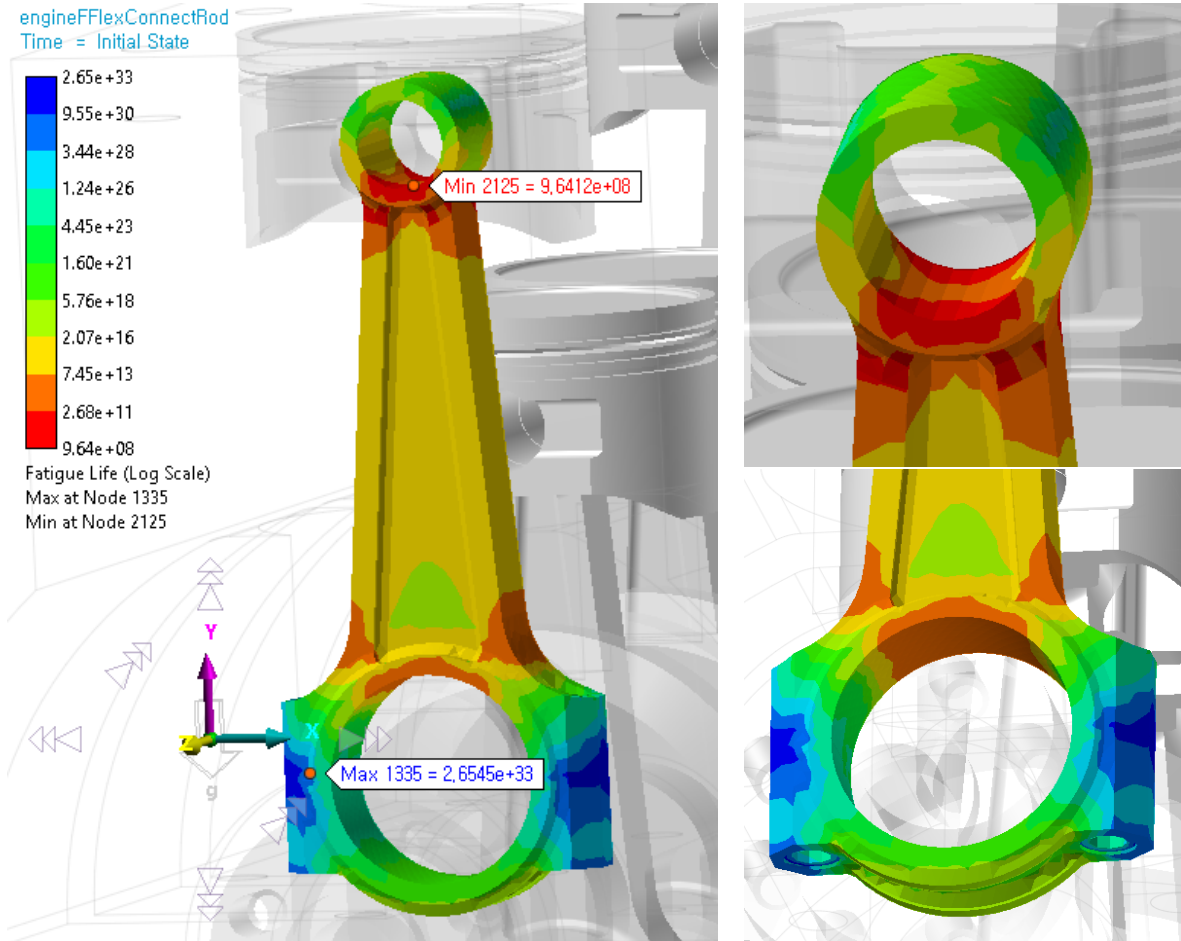
5. **OK** 버튼을 누릅니다.

6. **View** 버튼을 누릅니다.

결과가 다음 페이지에서 보여주는 것과 같이 나타납니다.



결과가 아래와 같이 나타납니다. 가장 작은 피로수명의 영역은 빨간색으로 표시되며 이는 피스톤이 부착된 구멍의 하단 가장자리에서 발생합니다. 가장 낮은 수명은 $9.6412e+08$ 주기입니다. 엔진을 이러한 조건하에서 하루 1 시간 동안 (3,000rpm 으로 1 시간마다 90,000 $(1/0.04)*3600$ 사이클)로 가동하면 약 31.9 년의 부품 수명을 가지게 됩니다.



이 피로 위치는 동작 중 발생한 실제 부품 고장과 일치합니다. 표면에 작은 균열이 생기면 아래와 같이 빠르게 전파될 수 있습니다.



충분한 애니메이션 프레임이 선택되도록 하기

앞서 언급한 바와 같이, 동적 분석에서 많은 애니메이션 프레임을 선택하여 가장 정확한 피로 분석 결과를 얻을 수 있습니다. 그러나 많은 애니메이션 프레임을 선택하면 해석 시간이 증가하기 때문에 효율적으로 프레임 수를 사용하는 것이 중요합니다. 피로 해석을 위한 충분한 프레임이 선택되었는지 확인하는 방법이 있습니다. 이 방법은 애니메이션 프레임의 수를 늘려가면서 피로 해석을 여러 번 수행하는 하여 수렴되는 현상을 확인하는 것입니다.

예를 들어, 엔진 모델의 경우 아래 표는 다른 수의 프레임을 선택할 때 얻은 결과를 보여줍니다. 361 프레임과 721 프레임의 최소 수명 결과는 정확히 동일합니다. 이는 History_361 에서도 피로 해석이 상당히 수렴된 것으로 간주될 수 있습니다.

Fatigue Life Results on the Contour Plot (% Difference from 721 Frame Results)			
Frames	181	361	721
Time History	History_181	History_361	History_721
Minimum Life	1.03E+09 (6.9%)	9.64E+08 (0%)	9.64E+08

Thanks for participating in this tutorial!