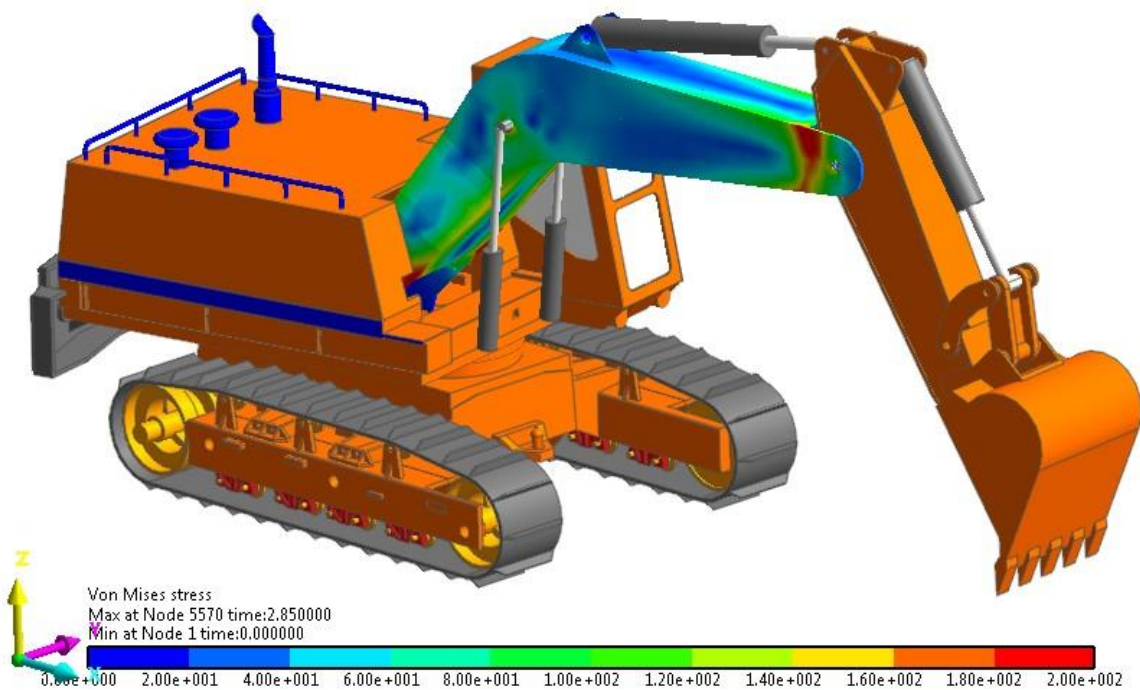


Excavator Tutorial (RFlex)



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	5
목적	5
시작 전 준비 사항	6
필요 요건	6
순서	7
예상 소요 시간	7
초기 모델 열기	8
목적	8
예상 소요 시간	8
RecurDyn 시작하기	9
Rigid Boom 이 포함된 초기 시뮬레이션의 실행	10
결과 보기	11
RFlex Body 의 교체	12
목적	12
예상 소요 시간	12
RecurDyn RFlex Body 의 교체	13
Stress Contour 에 대한 Plot 보기	15
Plotting	18
목적	18
예상 소요 시간	18
Dripper Stick 의 경사각(Out-of-Plane Tilt)에 대한 Plotting	19
RFlex Body 의 검토 및 수정	23
목적	23
예상 소요 시간	23
RFlex Body 의 검토	24
시뮬레이션 해석 속도 향상	29
부록 A : RecurDyn RFlex Input (RFI) 파일의 생성	33
예상 소요 시간	33
Nastran Bulk Data 파일의 준비	34
Component Mode Reduction 방법	34
Superelement 방법	37
부록 B: 지원되는 FE Element	42
Ansys Element Library	42
MSC/NASTRAN Element Library	43
I-DEAS Element Library	43



개요

목적

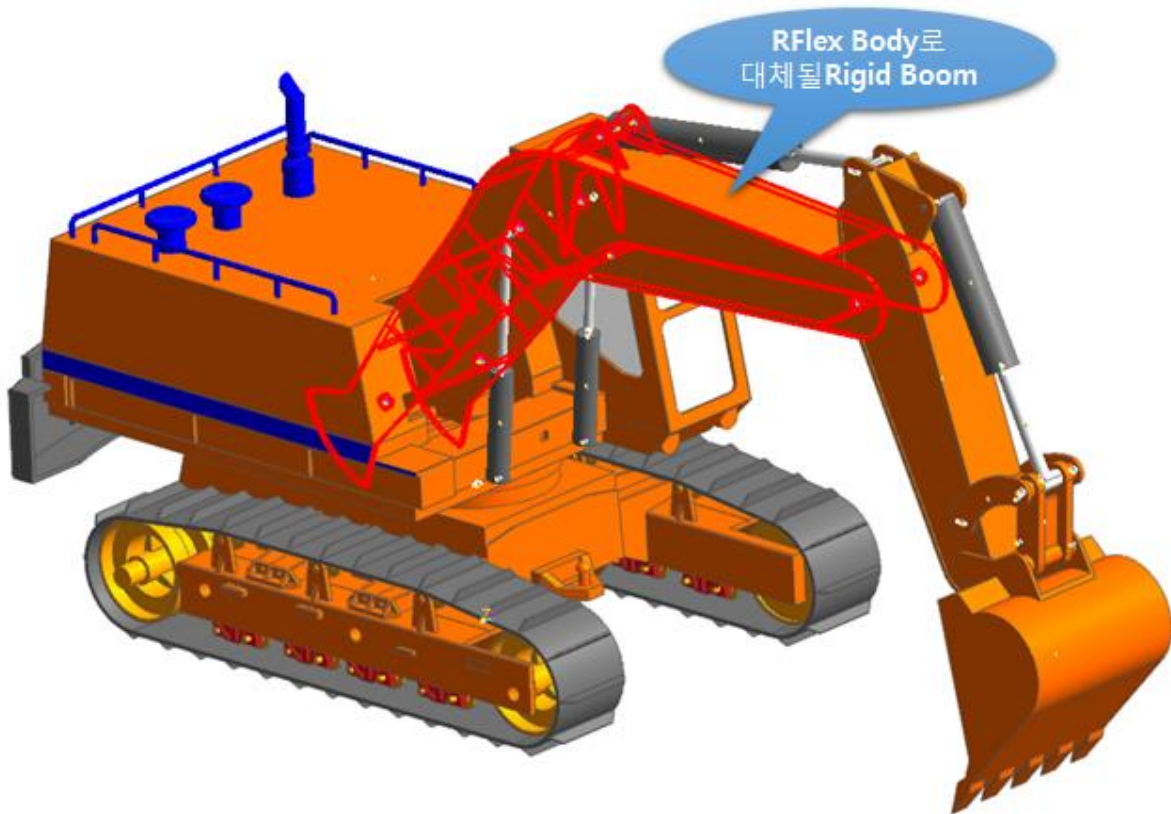
이 튜토리얼에서는 Flexible Body 를 가지고 있는 모델을 어떻게 시뮬레이션 하는지 배우게 됩니다. 먼저, Rigid Body 로만 구성된 기존의 모델을 로드하고, 그 Rigid Body 중 하나를 RecurDyn RFlex Body 로 대체합니다. RecurDyn RFlex 는 Body 의 유연성을 모사하기 위해 Modal 의 방식을 사용합니다. 즉, Body 고유의 Modal Shape 의 중첩과 접합점에서의 Constraint Mode 를 이용합니다. 이 방식은 Flexible Body 가 다른 Body 에 대해 오직 고정된 연결점들을 가질 때 효과적입니다. 만약 Flexible Body 가 Sliding Contact 또는 Rolling Contact 를 가질 경우는, Nodal 방식(또는 Mesh 방식)인 RecurDyn FFlex 가 사용되어야 합니다.

시작 전 준비 사항

먼저, 아래와 같은 모든 기계적 요소를 포함하고 있는 포크레인 모델을 로드하게 됩니다. 이 모델은 모두 Rigid Body 로 구성되어 있고, 수직축 주위를 회전하는 Cab 과 함께 포크레인의 굴착 동작을 수행하도록 설정되어 있습니다.

그 후, Flexible Boom 에 해당하는 RecurDyn RFlex Input(RFI)파일을 Import 하게 됩니다. RFI 파일을 생성하는 한가지 방법은 NX 시뮬레이션을 사용하여 Boom Geometry 를 Mesh 하고 Nastran Bulk Data 파일로 Export 합니다. 그리고 나서 그 Bulk Data 파일을 NX Nastran 을 사용하여 읽은 후, RFI 파일을 생성합니다.

RFI 파일은 이 튜토리얼과 함께 제공됩니다. Nastran Bulk Data 파일을 이용한 RFI 파일 생성에 대한 더 자세한 정보는 부록 A 를 참고하십시오.



필요 요건

- 이미 Geometry, Joint, Force Entity 의 생성 방법을 익힌 중급 단계의 유저를 대상으로 합니다.

- 3D Crank-Slider and Engine with Propeller 튜토리얼 또는 그와 동등한 수준의 튜토리얼을 해본 자여야 하며 물리학에 대한 기본 지식을 가지고 있어야 합니다. 또한 RecurDyn 의 RFlex 모듈의 라이선스가 필요합니다.

순서

이 튜토리얼은 다음의 순서로 구성되어 있으며 소요되는 시간은 각 순서마다 다음의 표와 같습니다.

순서	시간(분)
초기 모델 열기	10
RFlex Body 의 Import 및 연결	20
Plotting	5
RecurDyn RFlex Input (RFI)의 생성	10
총합	45



예상 소요 시간

45 분

Chapter
2

초기 모델 열기

목적

초기 모델을 열어 시뮬레이션을 실행하고, 포크레인의 굴착 동작을 관찰해봅시다.



예상 소요 시간

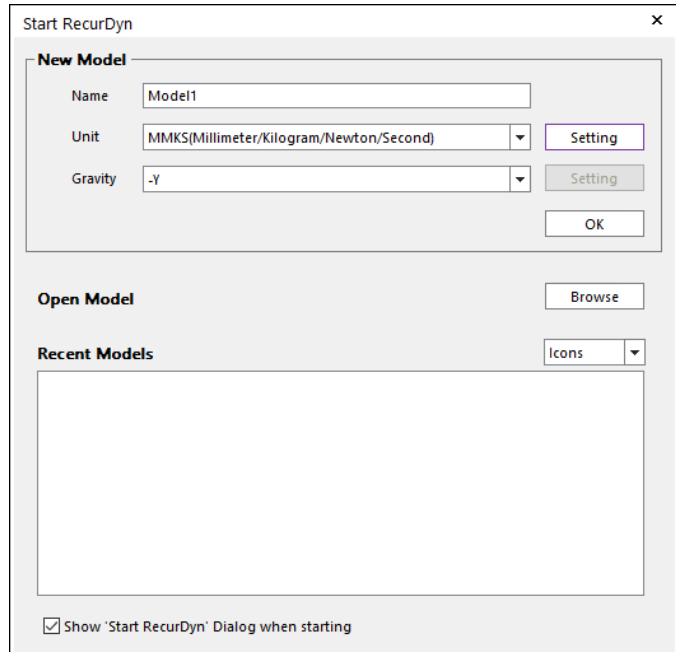
10 분

RecurDyn 시작하기

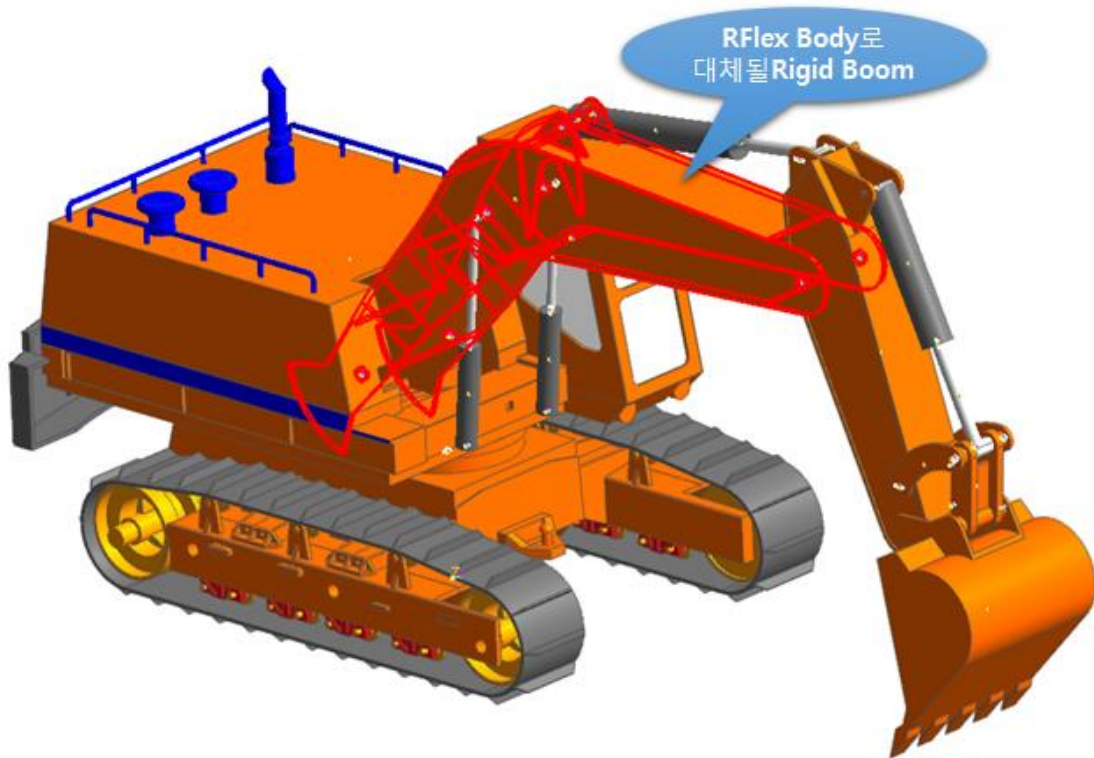
RecurDyn 실행 및 초기 모델 열기:



1. 바탕화면에서 **RecurDyn** 아이콘을 더블 클릭합니다.
2. **Start RecurDyn** 다이얼로그 박스가 나타나면 닫아 줍니다.
3. **File** 메뉴에서 **Open** 을 클릭합니다.
4. **RFlex** 튜토리얼 경로에서 **RD_Excavator_Start.rdyn** 을 선택합니다. (파일 경로: <Install Dir> \Help \Tutorial \Flexible \RFlex \Excavator).
5. **Open** 을 클릭하면 모델은 다음과 같이 보여집니다.



아래에서 보여지는 Cab 과 Dipper Stick 사이에 위치한 Boom 은 나중에 이 모델에서 Flexible Body 로 만들어지는 Rigid Body 입니다.



모델 저장하기:

1. **File** 메뉴에서, **Save As** 를 클릭합니다.
2. Tutorial 디렉토리에서는 시뮬레이션을 할 수 없기 때문에 다른 디렉토리에 다시 저장합니다.

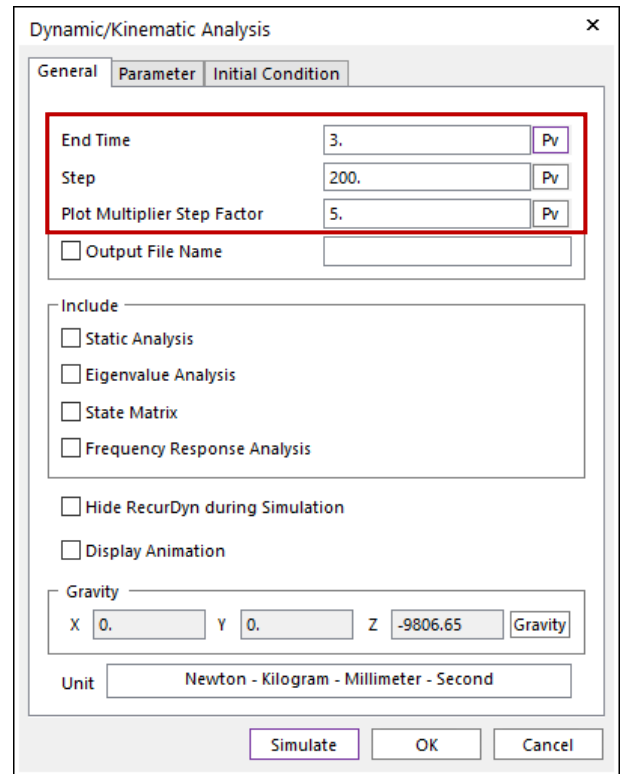
Rigid Boom 이 포함된 초기 시뮬레이션의 실행

이제, 동작이 실행되는 것을 이해하기 위해서 모델에 대한 초기 시뮬레이션을 실행해봅니다.

초기 시뮬레이션 실행하기

1. **Analysis** 탭의 **Simulation Type** 그룹에서, **Dyn/Kin** 를 클릭합니다.
2. 다음과 같이 설정을 변경합니다.
 - **End Time: 3**
 - **Step: 200**
 - **Plot Multiplier Step Factor: 5**
3. **Simulate** 를 클릭합니다.

이 시뮬레이션은 약 10 초 이내로 실행되며, 컴퓨터의 속도에 따라 차이가 있을 수 있습니다.



결과 보기

결과 보기:



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

포크레인이 수직 축에 대해서 회전하며, 굴착 동작을 수행하게 됩니다. 이것은 회전하는 Cab 주위의 Revolute Joint 와 Hydraulic Cylinder 에 위치한 Translational Joint 에게 입력한 Motion 에 의해 움직이게 됩니다.

Chapter

3

RFlex Body 의 교체

목적

이 장에서는 Flexible Boom 으로 표현된 RFlex Body 를 어떻게 Import 하는지 배워봅니다.
RFlex 의 "Flexible Body Swap"기능을 사용하여 Rigid Body 를 대체하고, 새로운 Flexible Boom Body 에 대한 시뮬레이션을 실행하여 Stress Contour 의 Plot 을 살펴봅니다.

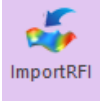


예상 소요 시간

20 분

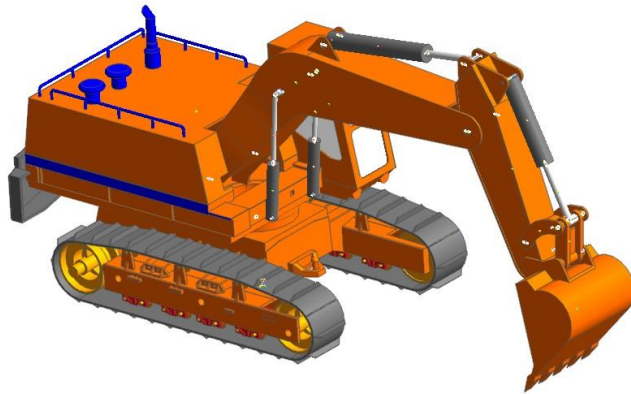
RecurDyn RFlex Body 의 교체

Flexible Boom 을 나타내는 RecurDyn RFlex Input (RFI) 파일을 Import 해봅시다. 또한, Rigid Body 를 교체해봅시다.

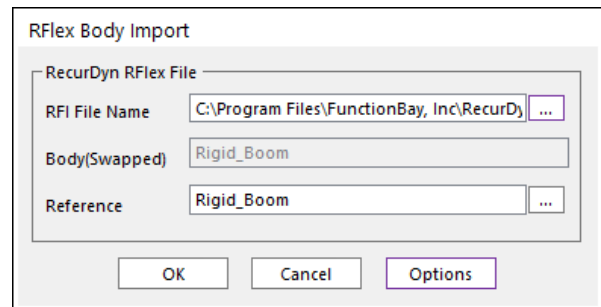


RFlex body 를 교체하기:

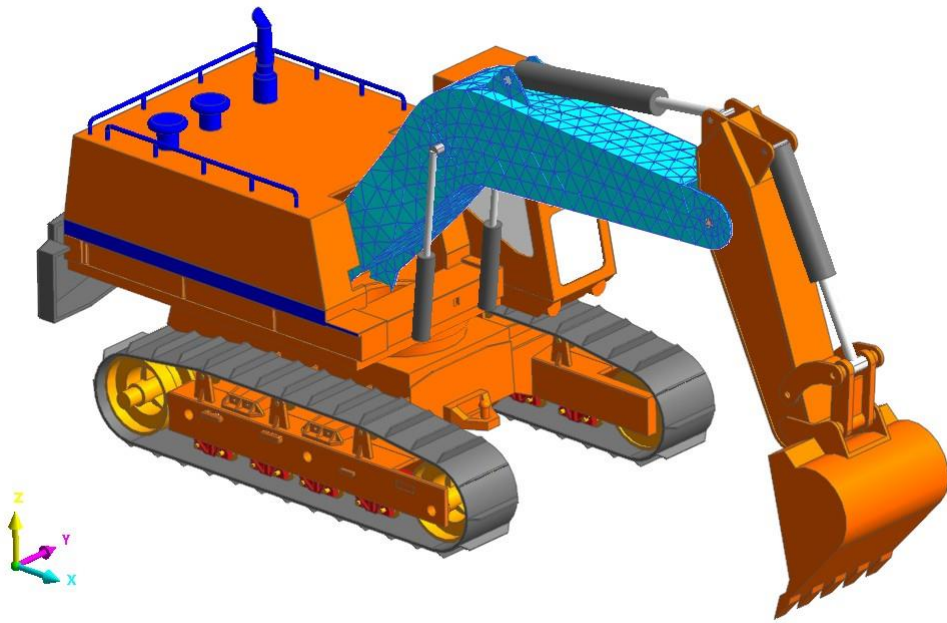
1. **Flexible** 탭의 **RFlex** 그룹에서, **Import RFI** 를 선택합니다.
2. **Command** 툴바에서 **Creation Method** 로 **Body** 를 선택합니다.
3. **Working** 창에서, **Rigid_Boom** body 를 선택합니다.



4. **RFlex Body Import** 다이얼로그 박스에서, 찾기 버튼(...)을 클릭합니다.
5. **RFlex** 튜토리얼 경로에서 **Boom_tet_mesh_rfi_0.rfi** 의 이름을 가진 파일을 선택한 후 **Open** 을 클릭합니다.
(파일 경로: <Install Dir> /Help /Tutorial /Flexible /RFlex /Excavator)
6. Body 를 Import 하기 위해 **OK** 를 클릭합니다.



아래에서 보이는 것처럼, Rigid Boom Body 는 이제 RFlex Boom Body 로 교체되었습니다. (교체된 RFlex Boom Body 는 녹색이 아닌 다른 색일 수도 있습니다.) Rigid Boom Body 가 더 이상 Model 에 없다는 것을 Database 창을 통해 확인합니다.



주의할 점: 새로운 파일과 이전 파일의 결과를 비교하기 위해서, 다음 단계에서는 다른 파일이름으로 모델을 저장하는 것이 중요합니다.

7. **RD_Excavator_RFflex.rdyn** 으로 모델을 저장합니다.
8. 새로운 시뮬레이션을 실행합니다. 이것은 컴퓨터의 속도에 따라 다를 수 있으며, 약 2 분 정도 걸립니다.

Stress Contour 에 대한 Plot 보기

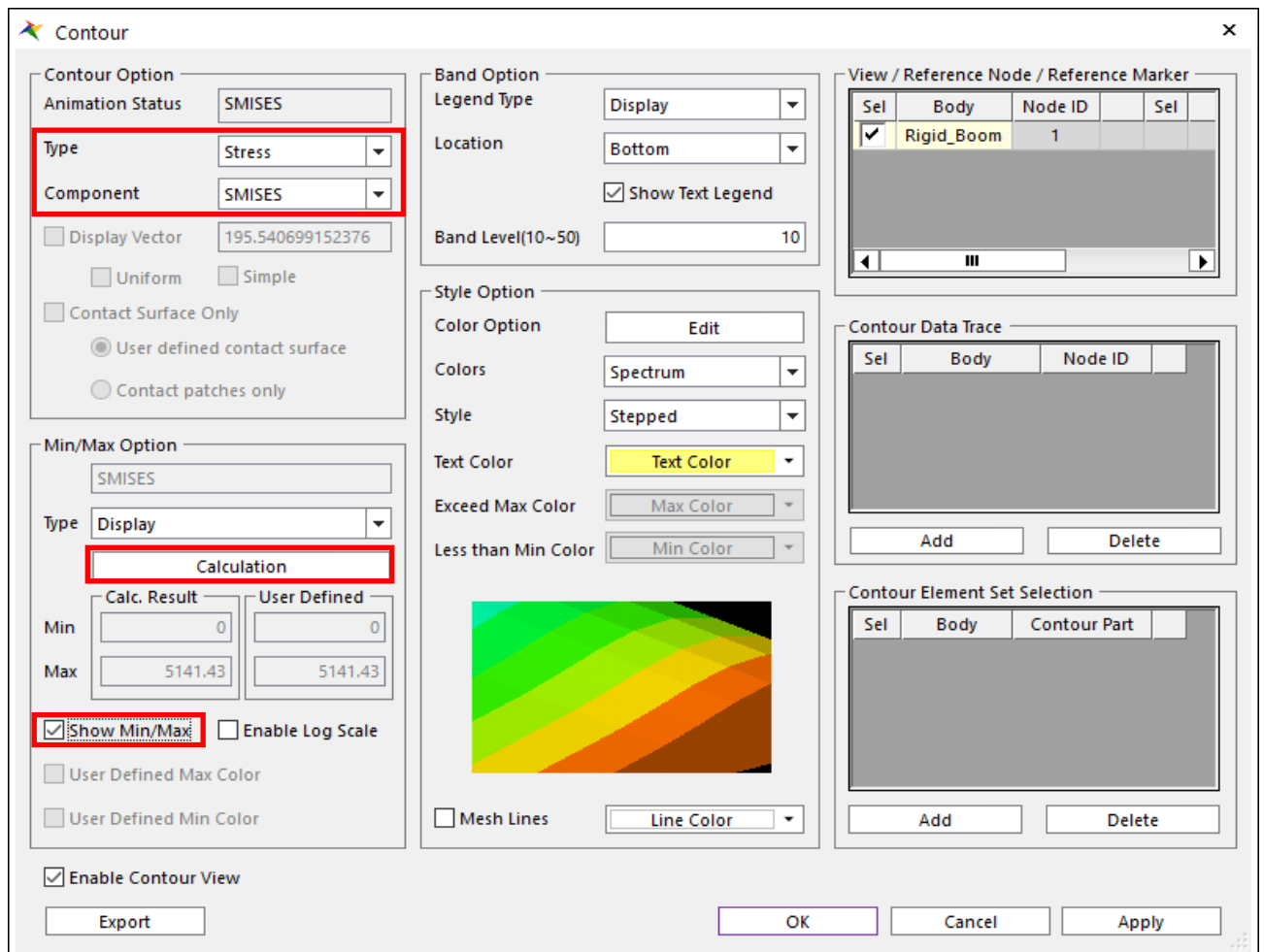
이제, 굴착 동작을 할 때, Flexible Boom 안에서 높은 Stress 가 발생하는 위치를 보기 위해 RecurDyn 을 사용해봅시다.

Stress Contour 에 대한 **Plot** 보기:



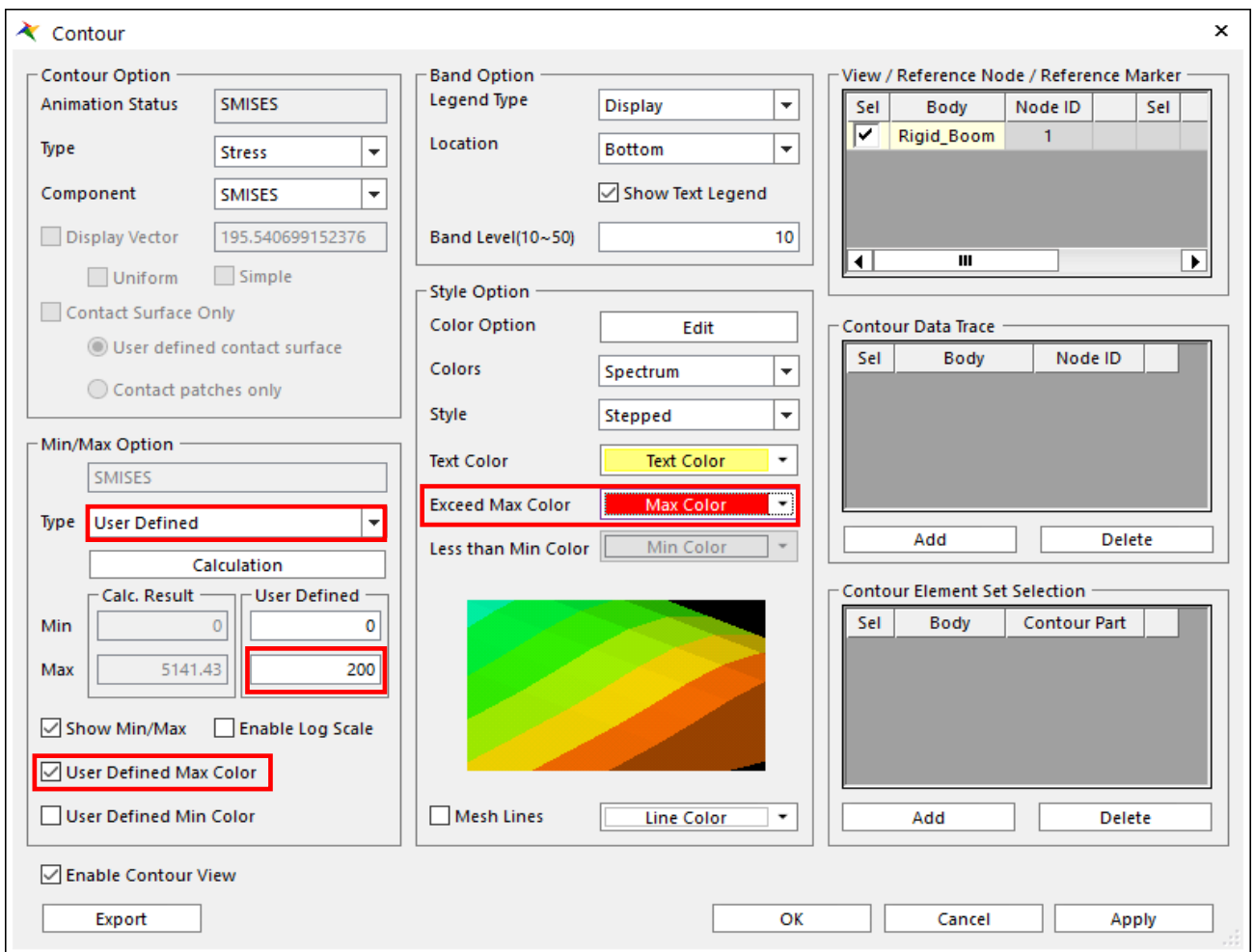
1. **Flexible** 탭의 **RFlex** 그룹에서, **Contour** 를 클릭합니다.
2. Contour 다이얼로그 박스의 하단 왼쪽에 위치한 **Enable Contour View** 옵션을 체크합니다.
3. **Contour Option** 에서 **Type** 을 **Stress** 로 선택합니다.
4. Type 옵션 아래에 위치한 목록에서 **SMISES** 를 선택합니다.
5. **Min/Max** 옵션에서 **Calculation** 버튼을 클릭합니다.

이것은 Flexible Boom 에서 시뮬레이션을 하는 동안 일어난 최소 Stress 와 최대 Stress 를 결정합니다. Min 과 Max 의 값들은 아래 그림처럼 갱신되어야 합니다.



6. 더 낮은 범위에 있는 Stress 들을 보여줄 Contour Display 에 대해 최대값을 조정해봅시다.

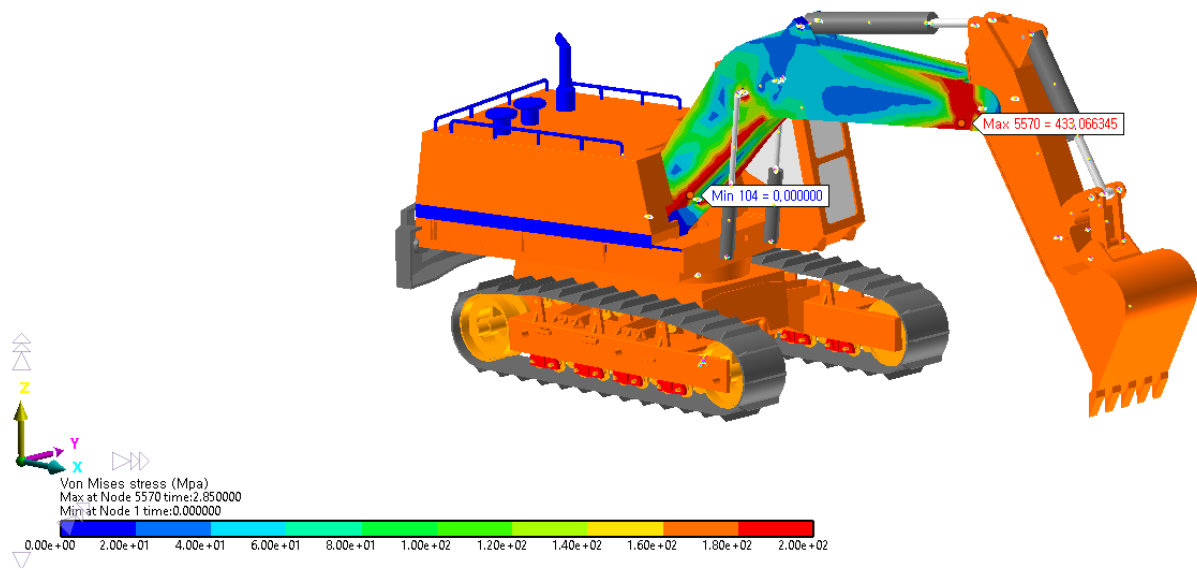
- **Type** 을 **User Defined** 로 변경합니다.
- **Max** 값을 200 으로 입력합니다.
- **Show Min/Max** 옵션을 체크합니다.
- **User Defined Max Color** 옵션을 체크합니다.
- **Exceed Max Color** 를 **빨간색**으로 변경합니다.




7. **OK** 를 클릭합니다.

8. 애니메이션을 재생시킵니다.

Flexible Boom 에 대한 Contour Plot 들을 확인합니다. (애니메이션 프레임 14 에서 아래의 그림처럼 보여집니다.)



9. 애니메이션이 컴퓨터에서 천천히 재생된다면 다음의 방법 중에 하나를 실행합니다.

- 매 다섯 번째 프레임을 보기 위해서 빠른 재생  버튼을 사용합니다.
- AVI 파일로 애니메이션을 녹화한 후, Windows 미디어 플레이어 또는 AVI 파일을 재생시킬 수 있는 다른 소프트웨어로 애니메이션을 봅시다.

Chapter

4

Plotting

목적

이 장에서는 모델에 유연성을 추가할 경우, 그 유연성이 모델에 어떠한 영향을 주는 지 그 결과를 Plot 해봅니다. Plot 을 실행한 후, 다른 모델들과 결과를 비교하여 Flexible Body 로 모델링 된 Boom 에는 어떤 결과가 나타나는지 관찰해봅니다.



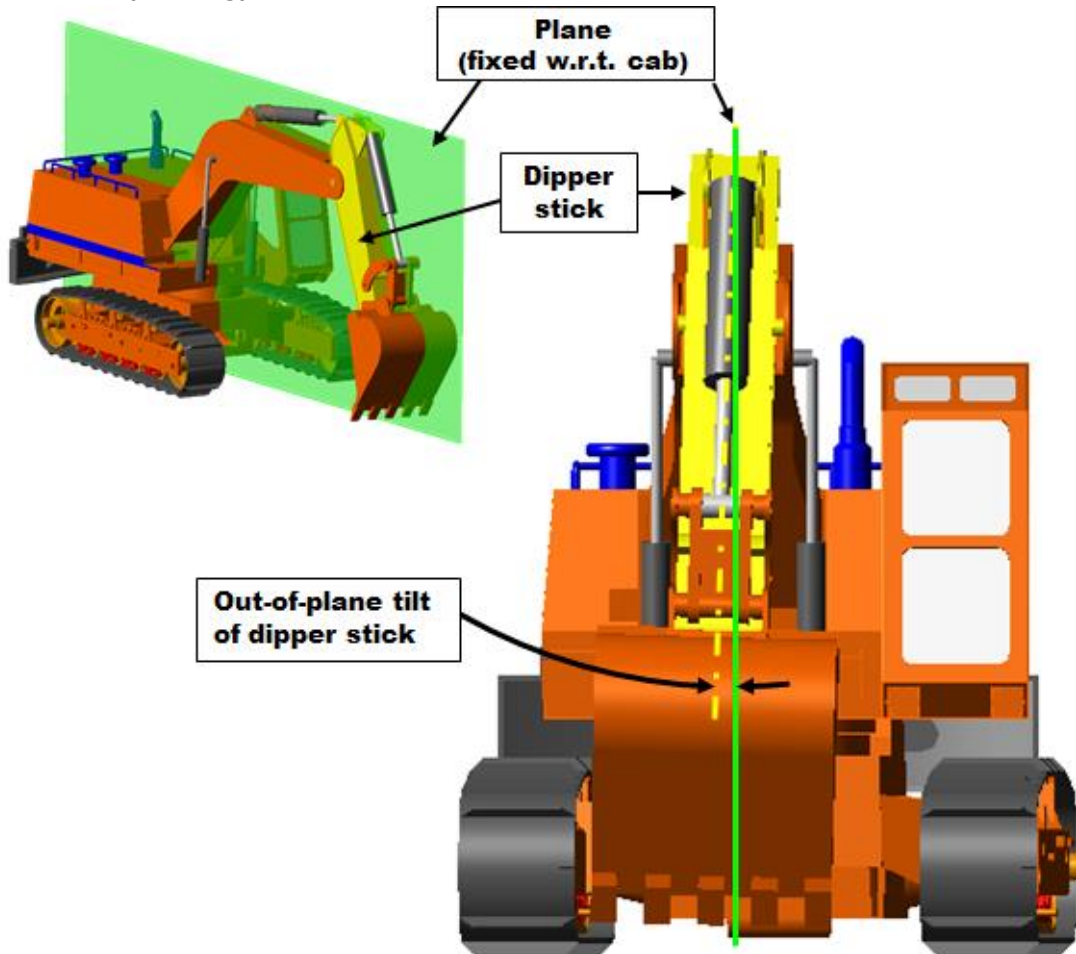
예상 소요 시간

5 분

Dripper Stick 의 경사각(Out-of-Plane Tilt)에 대한 Plotting

포크레인의 Cab 이 사시 주변을 회전할 때, Bucket 과 Dipper Stick 의 질량으로 인해 아래의 그림과 같이 Dipper Stick 이 기울어지게 됩니다(Out-of-Plane Tilt). 비록 포크레인 모델의 모든 Body 가 Rigid 임에도 불구하고, 그 Body 가 Bushing 과 연결되어 있기 때문에 결과적으로 어느 정도의 유연성을 갖게 됩니다.

아래의 그림에서 Dipper Stick 은 노란색 부분이며, Cab 에 대한 평면은 초록색 부분입니다. Boom 과 Joint(Bushing)가 더욱 유연하게 되면, 이 경사는 더 커질 것입니다.



경사각(Out-of-Plane Tilt)에 대한 Plot 보기:



1. **Analysis** 탭의 **Plot** 그룹에서, **Plot Result** 를 선택합니다. 현재 모델의 결과는 자동적으로 오른쪽의 Database 윈도우에 나타납니다. 이제 강제로만 만들어진 이전 모델을 로딩해봅시다.

2. **File** 메뉴에서 **Import -> Import file** 순으로 선택합니다. **RD_Excavator_Start.rplt** 를 선택합니다. 예전 모델의 결과들이 Database 창의 **RD_Excavator_RFflex** 아래에 나타납니다.

3. 다음의 결과들을 Plot 합니다.

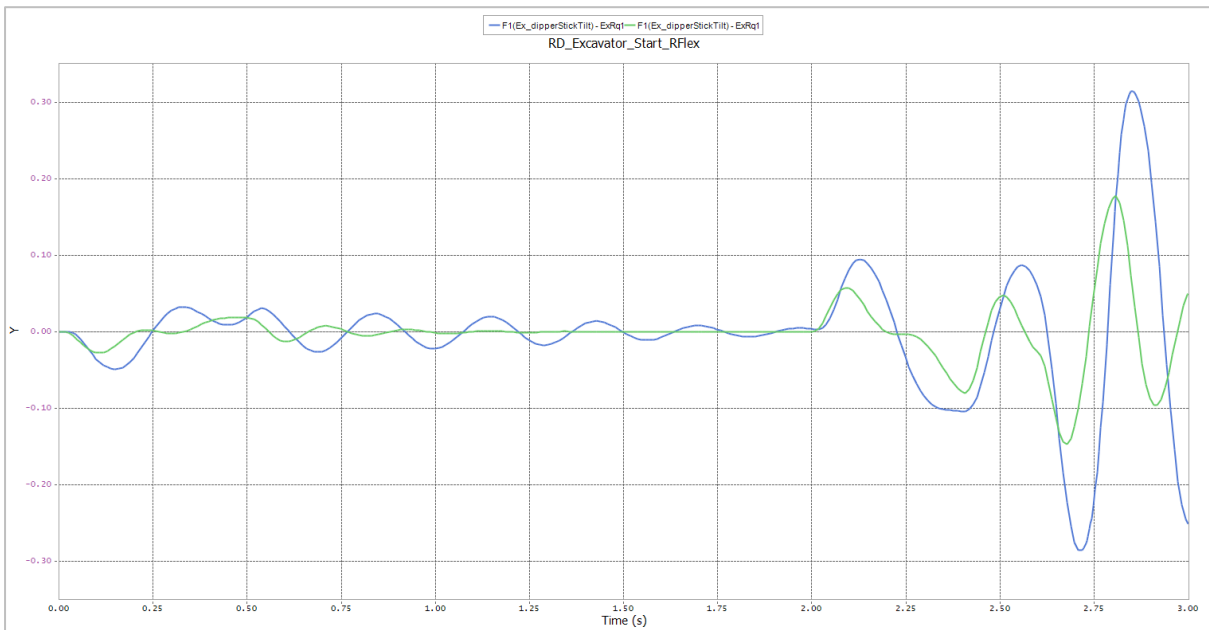
- **RD_Excavator_RFlex → Request → Expressions → ExRq1 → F1(Ex_dipperStickTilt)**
- **RD_Excavator_Start → Request → Expressions → ExRq1 → F1(Ex_dipperStickTilt).**

주의할 점: Expression 의 Plot 데이터를 생성하기 위해 Request 를 사용했기 때문에 Request 항목들이 Plot Database 윈도우에 나타납니다. 모델로 다시 돌아간다면, 다음 형식을 가진 Ex_dipperStickTilt 라는 이름의 Expression 을 볼 수 있습니다.

- **AX(DipperStick.CM, Cab.CM)**

이 Expression 은 Cab 의 CM 마커에 대한 X 축 방향의 Dipper Stick 의 CM 마커의 회전량을 측정합니다.

4. 아래의 Plot 과 유사하게 Plot 이 그려져야 합니다.



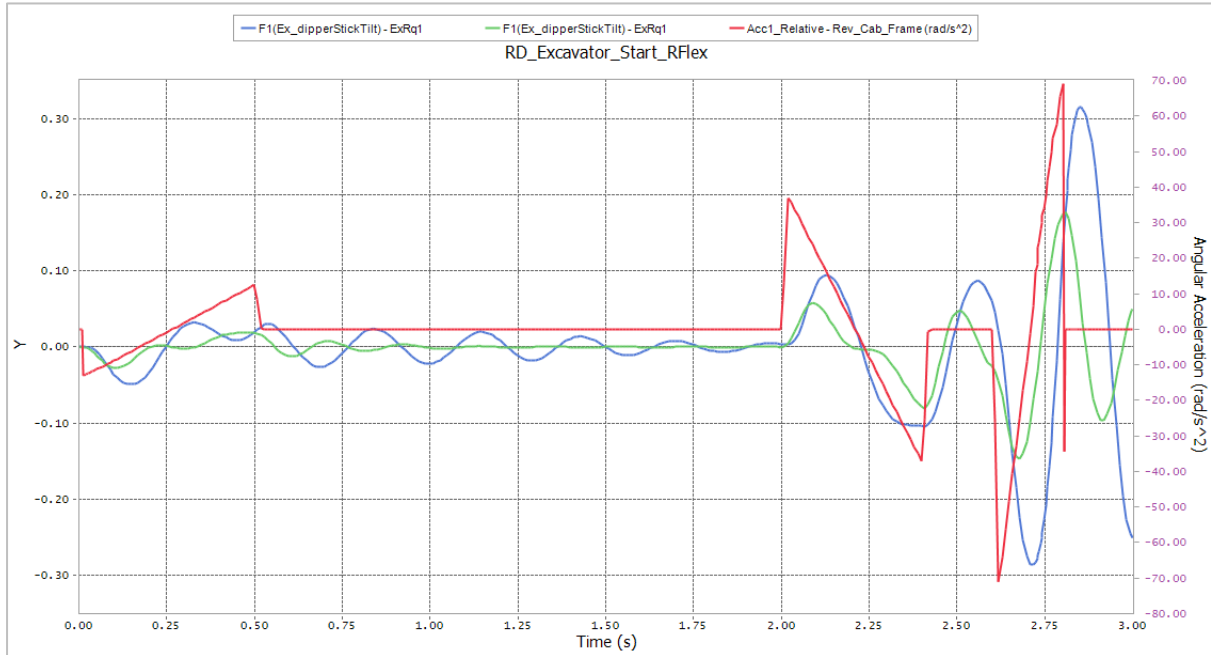
위의 Plot 은 Flexible Boom 을 가진 모델의 경사의 크기가 Rigid Boom 을 가진 모델의 경사의 크기보다 더 크며, 시스템의 고유 주파수(최고치 사이에서 시간 간격이 반영된)는 Flexible Boom 이 Rigid Boom 보다 더 낮음을 보여줍니다.

더 명확한 결과 비교를 위해 Dipper Stick 의 경사의 원인이 된 Cab 의 회전 가속도를 추가로 Plotting 해보도록 합니다. 그 전에 먼저, 경사각과 가속도 데이터를 비슷한 스케일의 Plot 으로 그리기 위해서 추가적인 Y 축을 생성하게 될 것입니다.

Cab 의 회전 가속도에 대한 **Plot** 그리기:

- **RD_Excavator_RFlex** → **Joints** → **Rev_Cab_Frame** → **Acc1_Relative** 순으로 Database 창의 목록을 펼칩니다.

그러면 아래와 유사하게 Plot 이 그려집니다.



이제, 입력된 Motion 과 그 입력에 대한 Flexible Boom 과 Rigid Boom 의 반응 결과를 살펴볼 수 있습니다. 0.5 초부터 2.0 초까지 Flexible Boom 의 진동은 Rigid Boom 의 반응보다 소멸되기까지 더 오래 지속됩니다. 이로부터 포크레인 모델에 Boom 의 유연성을 포함하는 것이 중요함을 알 수 있습니다.

Cab 의 회전 가속도 곡선에서 약간의 노이즈가 생기는 것에 주목하십시오. 이 노이즈는 작은 Integration Step 환경에서 Step Function 을 사용했기 때문입니다. 이 노이즈는 Dynamic/Kinematic Analysis 창에서 Parameter 탭 하단의 Maximum Time Step 을 감소시킴으로 인해 거의 완전하게 제거될 수 있습니다. 그러나 이 경우, 시뮬레이션은 해석하기 위해 2-3 배 더 오래 걸립니다. 그러므로, 이 튜토리얼의 목적(빠른 시뮬레이션)을 위해 기본적인 Solver 파라미터들이 그대로 사용될 것입니다.

Chapter

5

RFlex Body 의 검토 및 수정

목적

이 장에서는 RFlex Body 의 Modal Shape 들을 살펴보는 법과 시뮬레이션의 성능을 향상시키는 법에 대해 배워봅니다.



예상 소요 시간

20 분

RFlex Body 의 검토

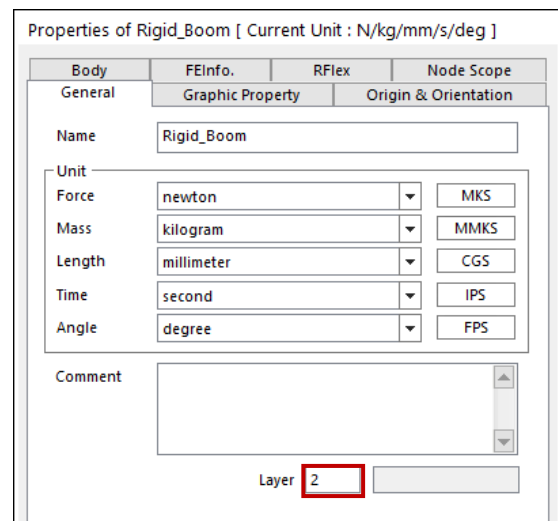
이전에 언급했듯이, RFlex 는 FEA Modal 분석으로부터 얻는 Flexible Body 의 Modal Shape 에 대한 Linear 중첩에 의존합니다. 명확하게 말하자면, 두 가지 종류의 Mode 가 사용됩니다. Constraint Normal Mode 는 모든 부착된 Node 가 고정되어 있을 때의 결과인 Normal Mode 들이고, Constraint Mode(또는 Craig-Bampton Mode)는 다른 부착된 Node 가 고정되어 있는 동안 각각의 6 자유도 방향으로 각각의 Node 의 단위 변위를 적용하여 얻어진 것입니다. Constraint Mode 들은 그 부착된 Node 에게 적용된 Load 와 변위에 대해 정확한 요소 반응을 제공하기 위하여 필요합니다.

RecurDyn 은 Normal Mode 와 Constraint Mode 에 대한 직교화된 경로에 적용됩니다. 이로 인해, RecurDyn 에서 Flexible Body 의 Mode 를 검토할 때 Modal Shape 은 위에서 언급한 Constraint Normal Mode 들과 Constraint Mode 들에 대해 정확히 일치하지 않을 수 있습니다. 그러나, 해석을 위해 특정 Mode 를 포함할 지 말 지에 대한 결정은, Modal Shape 의 형상을 보고, 어느 정도의 공학적 직관력으로 판단할 수 있습니다.

Flexible Body 의 Mode 를 살펴보기 전에, Flexible Body 에 해당하는 Layer 만 분리시키는 것이 도움이 될 것입니다.

Flexible Body 의 Layer 를 분리시키기:

1. **Modeling** 창으로 다시 돌아옵니다.
2. Flexible Boom Body 인 **Rigid_Boom** 의 **Properties** 다이얼로그 박스를 엽니다.
3. **General** 탭에서, **Layer Number** 를 **2** 로 설정합니다.
4. **OK** 를 클릭합니다.

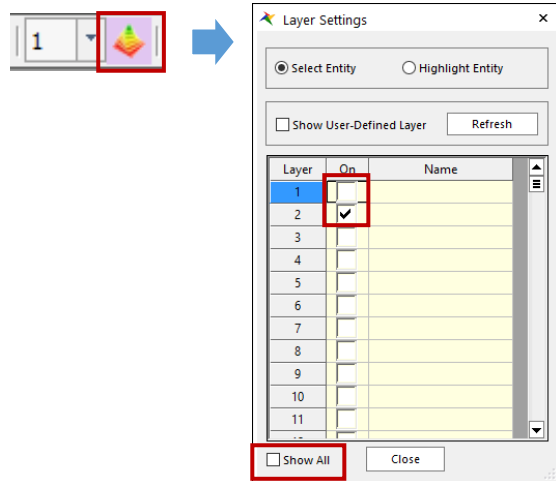


5. 툴바에서 **Layer Setting** 버튼을 클릭합니다.

- **Layer 2** 에 대한 체크, **Layer 1** 에 대한 체크 해제
- **Show All** 체크 해제

그러면, Flexible Boom Body 만이 보여집니다.

오직, Flexible Body 만이 보이면 이제 더 쉽게 Flexible Body 의 Mode 를 살펴볼 수 있습니다.

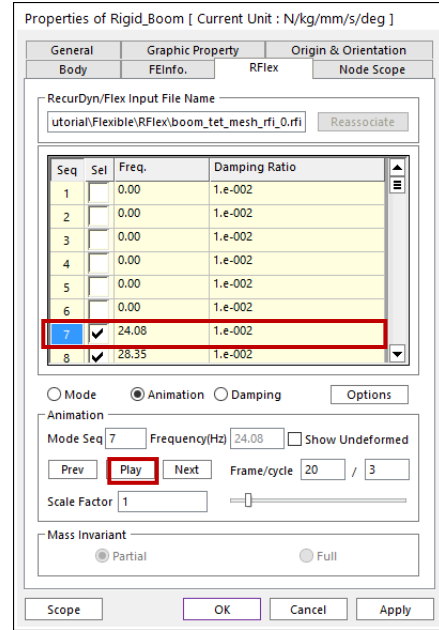


RFlex Body 의 **Mode** 살펴보기:

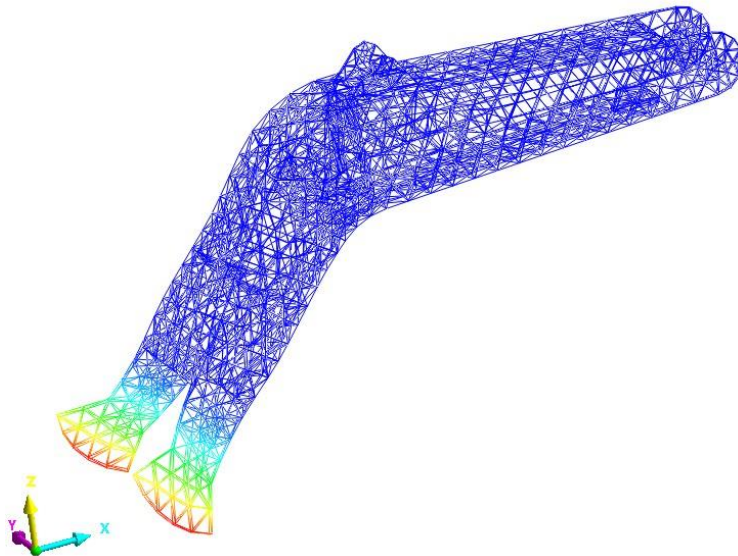
1. Rigid_Boom 의 **Properties** 다이얼로그 박스를 다시 엽니다.

Mode 들은 그것들의 주파수와 임계 감쇠율(Critical Damping Ratio)에 대한 목록으로 나타내어집니다. 처음의 6 개 Mode 는 Rigid Body Mode 이며 기본값을 포함하지 않습니다.

2. 오른쪽 그림에 보이는 것처럼 7 번 Mode 를 선택합니다.
3. **Play** 버튼을 클릭합니다.



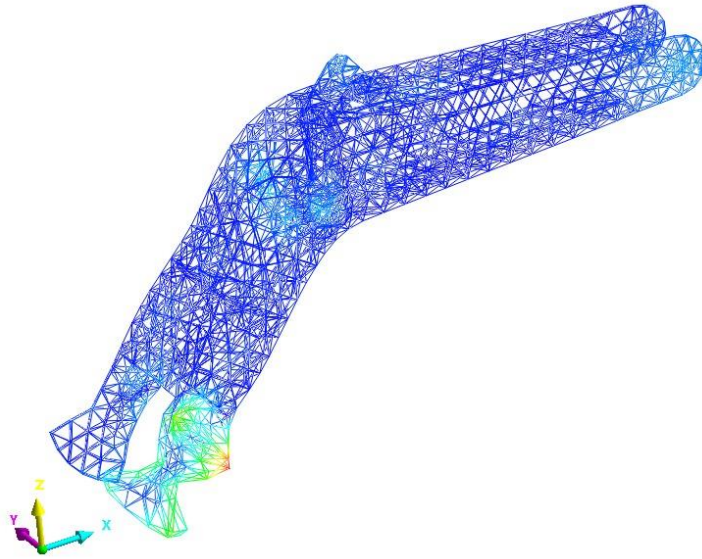
7 번 Mode 의 애니메이션이 아래의 그림처럼 보여집니다.



낮은 주파수의 Mode 에 대한 검토로 인해, 어느 구조의 부분이 가장 약하며 진동하는 경향이 있는지 볼 수 있습니다.

4. 68 번 Mode 를 선택한 후 **Play** 버튼을 클릭합니다.

버튼을 클릭하면, 아래와 같이 Mode 가 나타납니다.



이 경우 보이는 바와 같이, 가장 높은 변형이 있는 지역은 매우 국부적이며, 구조는 매우 왜곡됩니다. 또한, 이 Mode 의 주파수는 1007.28 Hz 에서 매우 높습니다. 만약 이 Mode 가 실험적으로 볼 때, 현실적이지 않다면, 시뮬레이션의 성능을 높이기 위해 이 Mode 를 제거하는 것이 적절할 것입니다.

또한, 이 Mode 의 감쇠율(Damping Ratio)이 상대적으로 높은 1 이라는 것에 유의합니다. 감쇠율은 각각의 Mode 가 얼마나 Flexible Body 의 전체적인 동작에 영향을 미칠지를 결정합니다. 낮은 값으로 설정되어 있다면 Mode 는 전체적인 동작에 실질적으로 영향을 줍니다. 반대로, 높게 설정되어 있다면 Mode 는 빠르게 감쇠하게 할 것이고 전체적인 동작에 실질적으로 영향을 주지 않습니다. 모델은 7 번 Mode 를 시작으로, 감쇠율이 0.01 이 됩니다. 13 번 Mode (107.46 Hz)에서는 감쇠율을 0.1 로 증가시킵니다. 마지막의 68 번 Mode(1007.28 Hz)에서 감쇠율은 1 로 증가되고, 이는 곧, 68 번 Mode 의 경우 구조의 전체적인 동작에 많은 영향을 주지 않는 것을 의미합니다.

기본 설정에 의해 RecurDyn 은 다음과 같이 Modal 주파수를 기준으로 감쇠율의 값들을 할당합니다.

- $0 < f < 100$ Hz: 감쇠율= 0.01
- $100 \leq f < 1000$ Hz: 감쇠율= 0.1
- 1000 Hz $\leq f$: 감쇠율= 1

이러한 설정은 건설 장비와 자동차에서 보여지는 거대한 구조에서 자주 적용됩니다. 그러나, 높은 주파수를 중요시하는 곳에서 작은 어플리케이션을 갖도록 하거나 감쇠율을 직접 할당하고 싶다면 Field 를 편집할 수 있어야 합니다.

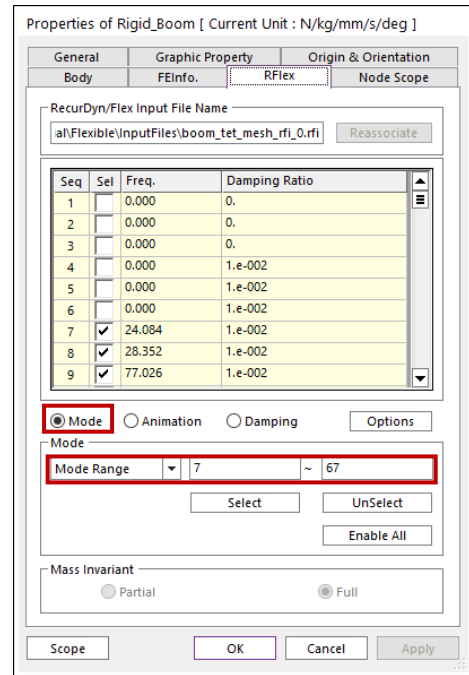
또한, 모든 Mode 를 위해 감쇠율이 포함된 하나의 파일을 Import 할 수 있습니다. 이에 대한 더 많은 정보는 RFlex User's Guide 를 참고하십시오.

시뮬레이션 해석 속도 향상

하나의 Mode 가 특별히 정해지지 않았더라도 구조에 대한 전체적인 동작을 결정할 때, RecurDyn 은 여전히 Mode 를 고려해야 하기 때문에, 포함되어 있는 많은 Mode 로 인해 시뮬레이션의 속도가 떨어집니다. 그러므로, 시뮬레이션의 성능을 높이기 해서 불필요한 Mode 는 제거할 것입니다. 이 모델을 위해 1000 Hz 이상의 모든 Mode 를 제거합니다.

시뮬레이션 해석 속도 향상시키기:

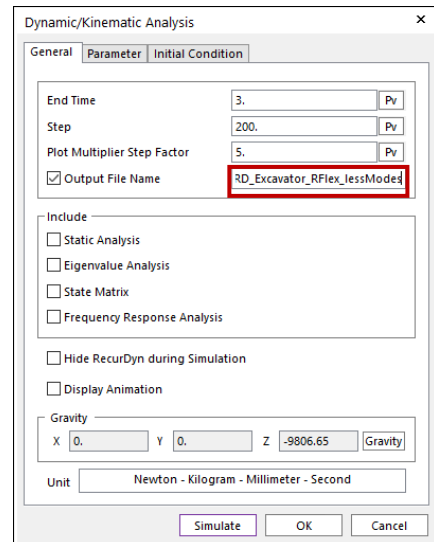
1. **Mode** 를 선택합니다.
2. **Mode Range** 를 선택합니다.
3. 모드들에 대한 현재의 선택을 해제합니다.
 - **Enable All** 버튼을 클릭합니다. (그 버튼은 **Disable All** 로 변경될 것입니다.)
 - **Disable All** 버튼을 클릭합니다.
4. Mode Range 를 7 부터 67 로 입력합니다.
5. **Select** 를 클릭합니다.
6. **OK** 를 클릭합니다.



7. 또 다른 시뮬레이션을 실행합니다.

이번에는 **RD_Excavator_RFlex_lessModes** 라는 이름의 Output 파일을 저장합니다. 시뮬레이션은 이전보다

2 배 빠르게 실행될 것입니다.



이 시뮬레이션의 결과를 이제 원래의 결과와 비교해 보겠습니다. 특별한 변화가 없다면 Mode 에 대한 현재의 설정을 나중의 시뮬레이션에 사용할 수 있습니다.

새로운 결과들과 이전의 결과들을 비교하기:

1. **Plotting** 창으로 돌아옵니다.
2. 가장 최근에 만든 RecurDyn Plot 파일인 **RD_Excavator_RFlex_lessModes.rplt** 을 Import 합니다.
3. Database 창에서 **RD_Excavator_RFlex_lessModes** → **Request** → **Expressions** → **ExRq1** → **F1(Ex_dipperStickTilt)** 순으로 목록을 펼치면 다음과 같이 Plot 이 그려집니다.

아래와 같이, 유사한 Plot 결과를 확인할 수 있습니다.



이 Plot 은 Dipper Stick 의 경사에 대한 가장 최근의 결과가 원래의 결과와 잘 부합되는 것을 보여줍니다. (노란선은 파란선에 덮입니다.) 사실상, 2.85 초에서 최고 경사에 대한 값을 비교하면 1%보다 작은 차이를 보게 됩니다. 그러므로, 1000 Hz 이상의 Mode 를 제거하는 것은 좋은 결과를 유지하면서 시뮬레이션의 시간을 효과적으로 줄여줍니다.

Thanks for participating in this tutorial!



부록 A : RecurDyn RFlex Input

(RFI) 파일의 생성

이 장에서는 Nastran Bulk Data 파일을 이용하여 RecurDyn RFlex Input (RFI) 파일을 생성하는 방법에 대해서 살펴봅니다.

NX Nastran 에서 처리되려면 Nastran Bulk Data 파일에 무엇이 추가되어야 Stress Contour 정보를 가진 RFI 파일이 생성되는지에 대해 배워봅니다. 또한 Ansys Output 파일에서 RFI 파일을 생성할 때도 비슷한 과정을 따른다는 것에 유의합니다. 이 과정은 RecurDyn Help 의 RFlex 에 자세히 나와 있습니다.



예상 소요 시간

10 분

Nastran Bulk Data 파일의 준비

RecurDyn RFlex Input (RFI) 파일을 생성하기 위해서, 파일 처리과정 전에 특별 코드를 Nastran 파일에 추가합니다. 이를 위해서는 Component Mode Reduction (CMR) 방법과 Superelement 방법, 총 두 가지 방법이 사용되며, 서로 다른 코드를 요구합니다.

Component Mode Reduction 방법

다음의 코드는 CMR 방법을 이용하여 RFI 파일을 생성하기 위해 GRID CARDS 부분 전의 Nastran 파일에 추가되어야 합니다. Key 명령어에 대해서는 **빨간색으로 된 명령어**를 보시기 바랍니다.

```

$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$*
$* EXECUTIVE CONTROL
$*
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$*
ID,NASTRAN,recurdyn_rfi_create_cmr
$ - Set the solution type to SEMODES, solving for the normal modes.
SOL 103
$ - Set the maximum CPU time to 999 sec.
TIME 999
CEND
$*
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$*
$* CASE CONTROL
$*
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$*
$ - Define a Set which contains all of the node IDs.
SET 1 = 1 THRU 9008
$ - Define a Set which contains all of the element IDs.
SET 2 = 1 THRU 4086
$ - Generate and assemble all superelements.
SEALL = ALL
$ - Assign the subcase to all superelements and loading conditions.
SUPER = ALL
$ - Turn printing of bulk data off.
ECHO = NONE

```

\$ - Output grid point stress and strain for all SURFACE and VOLUME commands.

GPSTRAIN=ALL

GPSTRESS=ALL

\$ - Generate RecurDyn RFlex Input (RFI) file. Here, DMAP solution is turned

\$ off, and grid point stress and strain are output to the RFI file.

\$ - If your version of NX Nastran is 6.1 or later, use the following command:

MBDEXPORT RECURDYN FLEXBODY=YES,FLEXONLY=YES,OUTGSTRS=YES,OUTGSTRN=YES

\$ - Otherwise, if your version of NX Nastran is earlier than 6.1, use this

\$ command:

RECURDYNRFI FLEXBODY=YES,FLEXONLY=YES,OUTGSTRS=YES,OUTGSTRN=YES

\$*

\$ - Select the real eigenvalue extraction parameters for component mode

\$ reduction.

RSMETHOD = 100

\$ - Select the real eigenvalue extraction parameters.

METHOD = 101

\$ - Output displacement of all points.

VECTOR(SORT1,REAL)=ALL

\$ - Output all single-point forces of constrain

SPCFORCES(SORT1,REAL)=ALL

\$ - Define Set 5 as the same as Set 2 defined above.

SET 5 = 1 THRU 4086

\$ - Output stress and strain for elements defined in Set 5, above.

STRESS=5

STRAIN=5

\$*

\$ - Indicate beginning of surface or volume commands.

OUTPUT(POST)

\$ - Define Set 6 as the same as Set 2 defined above.

SET 6 = 1 THRU 4086

\$ - Set the volume for which strains and stresses are calculated. Here, direct

\$ stresses and strains are requested.

VOLUME 1 SET 6,DIRECT,SYSTEM CORD 0

\$ - NOTE: If shell elements are used in the mesh, the SURFACE command should

\$ be used instead, as shown below:

\$

\$ SURFACE 1 SET 6,FIBRE ALL,SYSTEM CORD 0

\$

\$ If you will be displaying contour plots, though, it is recommended that

\$ solid meshes be used to create RFlex bodies. This is because, for shell
 \$ elements, RecurDyn only displays contour plots for midplane stress, strain,
 \$ and displacement – data for the top or bottom surfaces cannot be displayed.

\$*

\$*\$

\$*

\$*\$

\$*

\$* BULK DATA

\$*

\$*\$

\$*

BEGIN BULK

\$ - Define the units of measurement to be used.

DTI,UNITS,1,KG,MN,MM,S

\$

\$ - Select nodes as the connection points to the flexible body. Here, nodes

\$ 9001 – 9008 are all master nodes of RBE2 elements in the mesh.

\$

ASET1,123456,9001,THRU,9008

\$*

\$*

\$* SOLUTION CARDS

\$*

\$ - First modal solution:

\$ - Specify the frequency range or number of constrained normal
 \$ modes desired.

\$ - Frequency range should be at least 2x the range of interest in the MBD
 \$ solution.

\$ - In this solution, ASET DOF are constrained.

\$ - This is selected by RSMETHOD in the Case Control section, above.

\$

EIGRL 100 40 0 7 MASS

\$

\$ - Modal reduction DOFs:

\$ - Number of SPOINTs requested (ns) should be as follows:

\$ $ns \geq n + (6 + p)$

\$ where:

\$ n = number of modes requested in first modal solution (in this case,

```

$           the EIGRL solution above)
$           p = number of load cases = (number of ASET DOFs)*(number of ASET nodes)
$ - Extra SPOINTs are ignored.
$ - SPOINT DOFs need to be selected into the Q set.
$ - ID numbers for SPOINT and QSET should be higher than any node or element
$   IDs.
$
SPOINT,200001,thru,200100
QSET1,,200001,thru,200100
$
$
$ - Second modal solution:
$ - Modal solution of the reduced system.
$ - Important: ALL modes must be solved for:
$   - Ask for at least:
           (number of modes found in first solution) + (number of ASET DOFs)
$   - It is not a problem to ask for too many.
$ - This is selected by METHOD in the Case Control section, above.
$
EIGRL      101                1000      0      7      MASS
$*
$* PARAM CARDS
$*
PARAM  AUTOSPC  YES
PARAM  GRDPNT   0
PARAM  K6ROT   100.0
PARAM  MAXRATIO 1.0+8
PARAM  POST    -2
PARAM  POSTEXT YES
PARAM  RESVEC  YES
PARAM  USETPRT 0
$*

```

Superelement 방법

다음의 코드는 Superelement 방법을 이용하여 RFI 파일을 생성하기 위해서 GRID CARDS 부분 전의 Nastran 파일에 추가되어야 합니다. Key 명령어의 설명에 대해서는 빨간색으로 된 명령어를 보시기 바랍니다.

```

$*$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$*
$* EXECUTIVE CONTROL
$*
$*$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$*
ID,NASTRAN,recurdyn_rfi_create_se
$ - Set the solution type to SEMODES, solving for the normal modes.
SOL 103
$ - Set the maximum CPU time to 999 sec.
TIME 999
CEND
$*
$*$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$*
$* CASE CONTROL
$*
$*$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$*
$ - Define a Set which contains all of the node IDs.
SET 1 = 1 THRU 9008
$ - Define a Set which contains all of the element IDs.
SET 2 = 1 THRU 4086
$ - Generate and assemble all superelements.
SEALL = ALL
$ - Assign the subcase to all superelements and loading conditions.
SUPER = ALL
$ - Turn printing of bulk data off.
ECHO = NONE
$ - Output grid point stress and strain for all SURFACE and VOLUME commands.
GPSTRAIN=ALL
GPSTRESS=ALL
$ - Generate RecurDyn RFlex Input (RFI) file. Here, DMAP solution is turned
$ off, and grid point stress and strain are output to the RFI file.
$ - If your version of NX Nastran is 6.1 or later, use the following command:
MBDEXPORT RECURDYN FLEXBODY=YES,FLEXONLY=YES,OUTGSTRS=YES,OUTGSTRN=YES
$ - Otherwise, if your version of NX Nastran is earlier than 6.1, use this
$ command:
RECURDYNRFI FLEXBODY=YES,FLEXONLY=YES,OUTGSTRS=YES,OUTGSTRN=YES

```


\$ - Define the units of measurement to be used.

DTI,UNITS,1,KG,MN,MM,S

\$

\$ - Define interior nodes for the superelement of the flexible component. This

\$ set should include all the nodes of the flexible body EXCEPT those chosen

\$ as the connection nodes. In other words, this set is the inverse of the

\$ node set that would be specified in the ASET1 command if the CMR method

\$ were used (see CMR example, above).

\$

SESET 2 1 THRU 8999

\$

\$ - Modal reduction DOFs:

\$ - Number of SPOINTs requested (ns) should be as follows:

\$ $ns \geq n + (6 + p)$

\$ where:

\$ n = number of modes requested in first modal solution (in this case,

\$ the EIGRL solution below)

\$ p = number of load cases = (number of ASET DOFs)*(number of ASET nodes)

\$ - Extra SPOINTs are ignored.

\$ - SPOINT DOFs need to be selected into the Q set for the superelement.

\$ - ID numbers for SPOINT and QSET should be higher than any node or element

\$ IDs.

\$

SPOINT 200001 THRU 200100

SEQSET1 2 0 200001 THRU 200100

\$

\$

\$ - Superelement modal solution:

\$ - Specify the frequency range or number of constrained normal modes

\$ desired.

\$ - Frequency range should be at least 2x the range of interest in the MBD

\$ solution.

\$ - This is selected by METHOD in the Case Control section, above.

\$

EIGRL 100 40 0 7 MASS

\$*

\$* PARAM CARDS

\$*

PARAM AUTOSPC YES


```
PARAM   GRDPNT    0
PARAM   K6ROT    100.0
PARAM   MAXRATIO  1.0+8
PARAM   POST      -2
PARAM   POSTEXT   YES
PARAM   RESVEC    YES
PARAM   USETPRT   0
$*
```

이제, Nastran 파일은 NX Nastran 을 이용하여 RecurDyn 모델로 Import 될 수 있는 RFI 파일을 생성할 준비가 되었습니다.



부록 B: 지원되는 FE Element

이 장에서는 RecurDyn 에서 지원되는 FE Element 에 대해 소개하고 있습니다. 더 자세한 정보는 RecurDyn Help 에 있는 RFlex 의 내용을 참고하십시오.

Ansys Element Library

Type	ANSYS elements
1D Element	Link1, Link8, Link10, Link11, Beam3, Beam4, Beam23, Beam24, Beam44, Beam54, Beam188 Pipe16, Pipe20, Pipe59, Pipe288, Pipe289 Elbow290
2D Element	Plane2, Plane25, Plane42, Plane82, Plane83, Plane182, Plane183 Shell28, Shell41, Shell43, Shell63, Shell91, Shell93, Shell99, Shell181
3D Element	Solid45, Solid46, Solid64, Solid65, Solid72, Solid73, Solid92, Solid95, Solid185, Solid186, Solid187
Rigid Element	Combin14, Combin37, Combin39, Combin40
Mass Element	Mass 21

MSC/NASTRAN Element Library

Type	MSC/NASTRAN elements
1D Element	CBAR, CBEAM, CBEND, CONROD, CROD, CTUBE
2D Element	CTRIA3, CTRIA6, CQUAD4, CQUAD8, CSHEAR
3D Element	CTETRA, CPENTA, CHEXA, CPYRAM
Rigid Element	RBAR, RBE2, RBE3, RROD, CBUSH, CBUSH1D, CELAS1, CELAS2
Mass Element	CONM1, CONM2

I-DEAS Element Library

Type	MSC/NASTRAN elements
1D Element	Rod, Linear Beam, Tapered Beam, Curved Beam
2D Element	Thin Shell Linear Triangle, Thin Shell Parabolic Triangle, Thin Shell Linear Quadrilateral, Thin Shell Parabolic Quadrilateral, Plane Stress Linear Triangle, Plane Stress Parabolic Triangle, Plane Stress Linear Quadrilateral, Plane Stress Parabolic Quadrilateral, Plane Strain Linear Triangle, Plane Strain Parabolic Triangle, Plane Strain Linear Quadrilateral, Plane Strain Parabolic Quadrilateral
3D Element	Solid Linear Tetrahedron, Solid Parabolic Tetrahedron, Solid Linear Wedge, Solid Parabolic Wedge, Solid Linear Brick, Solid Parabolic Brick
Rigid Element	Rigid, Rigid Bar, Node To Node Translational Spring, Node To Node Rotational Spring
Mass Element	Lumped Mass