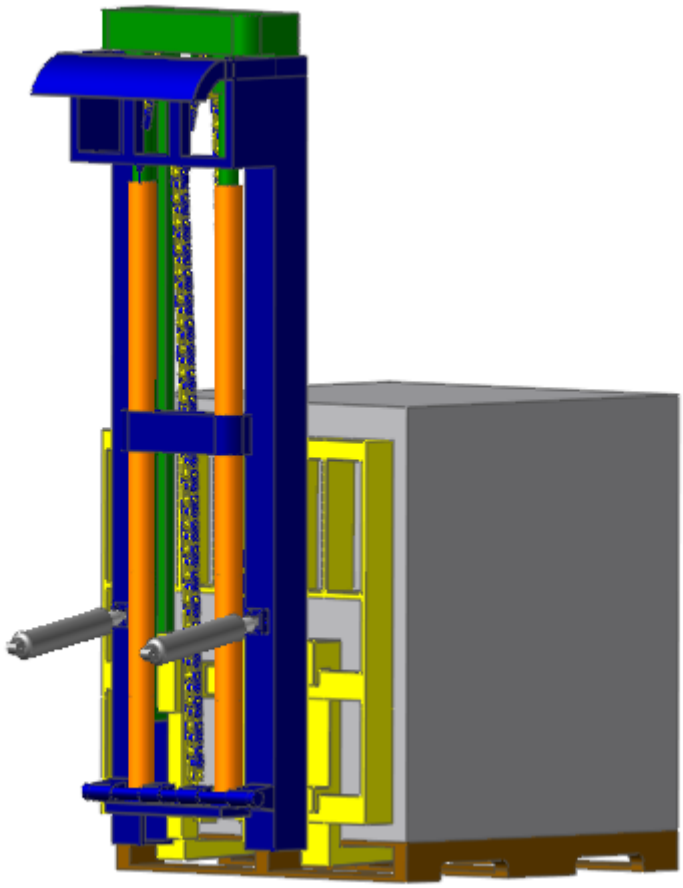
RECURDYN

Forklift with Roller Chain Tutorial (Chain)



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

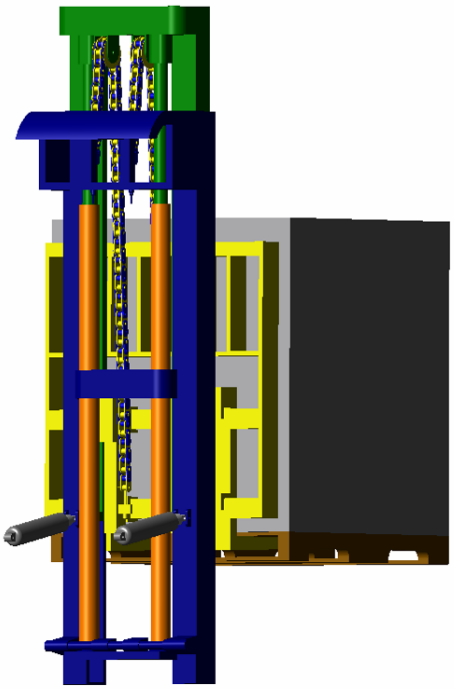
개요 4
목적 4
독자 5
필요 요건 5
시스템의 생성 6
목적 6
예상 소요 시간 6
RecurDyn 실행하기 7
체인 서브 시스템의 생성 9
모델의 시뮬레이션 실행 및 추출 23
포크 리프트와 체인 시스템의 결합 26
목적 26
예상 소요 시간 26
체인 시스템의 완성 27
체인의 복사 및 포크 리프트와의 연결 29
포크 리프트 모델에 대한 시뮬레이션의 실행 35
Plot 을 통한 결과 확인 40

Chapter 1

개요

목적

이 튜토리얼은 RecurDyn/Chain 툴킷을 이용하여 포크 리프트의 체인 전동 장치를 어떻게 시뮬레이션으로 실행하는지에 대해 설명하고 있습니다. 모델의 기능을 관찰하고 체인 시스템을 직관적으로 이해하기 위해서 애니메이션과 Plot 기능을 실행해 볼 것입니다.



이 튜토리얼의 작업을 완료한 후, 완성된 포크 리프트 시스템은 다음과 같이 보여집니다.

RecurDyn/Chain 툴킷은 다양한 형태와 구성으로 이루어진 체인과 풀리 시스템으로 되어 있으며, 이를 이용하여 모델링 할 수 있게 합니다. 이 튜토리얼에서는 롤러 링크와 롤러를 이용할 것이며, 체인 시스템을 구성할 때 엔티티(Entity) 사이에서 RecurDyn 은 접촉(Contac)을 자동으로 생성할

것입니다. 또한, RecurDyn 의 다른 바디(Body)와 조인트(Joint), 포스(Force)요소들은 체인 시스템을 모델링 하는 데에 이용되며, 체인 시스템을 구성할 때, 기존의 포크 리프트와 그 요소들을 결합시킨 후 이에 대한 시뮬레이션을 실행해 보겠습니다.

독자

이 튜토리얼은 RecurDyn 에서 지오메트리(Geometry), 조인트(Joint), 포스(Force)를 어떻게 생성하는지 배운 적이 있는 독자를 대상으로 하며, 모든 작업 과정에 대해서 자세히 설명되어 있습니다.

필요 요건

3D Crank-Slider 와 Engine with Propeller 튜토리얼 또는 이와 상응하는 레벨의 튜토리얼을 해 본 경험이 있어야 하며, 기본적인 물리적 지식이 필요합니다.

Chapter 2

시스템의 생성

목적

이 장에서는 기존의 기본 모델을 이용하여, 체인 시스템을 어떻게 생성하며 정상적 조건에 가까운 서브 시스템을 어떻게 설정해야 하는지 배워보겠습니다. 이 장의 과정을 마치면, 다음 장에서는 포크리프트에 체인을 결합한 후 이에 대한 시뮬레이션을 실행해 볼 것입니다.

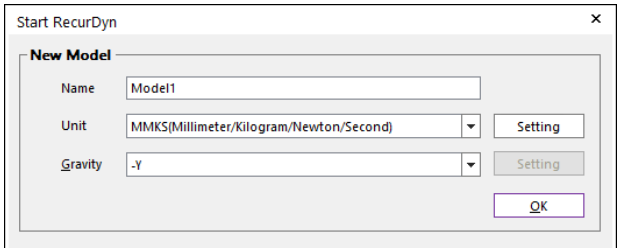
예상 소요 시간

20 분

RecurDyn 실행하기

RecurDyn 을 실행하여 기본 모델 열기**:**

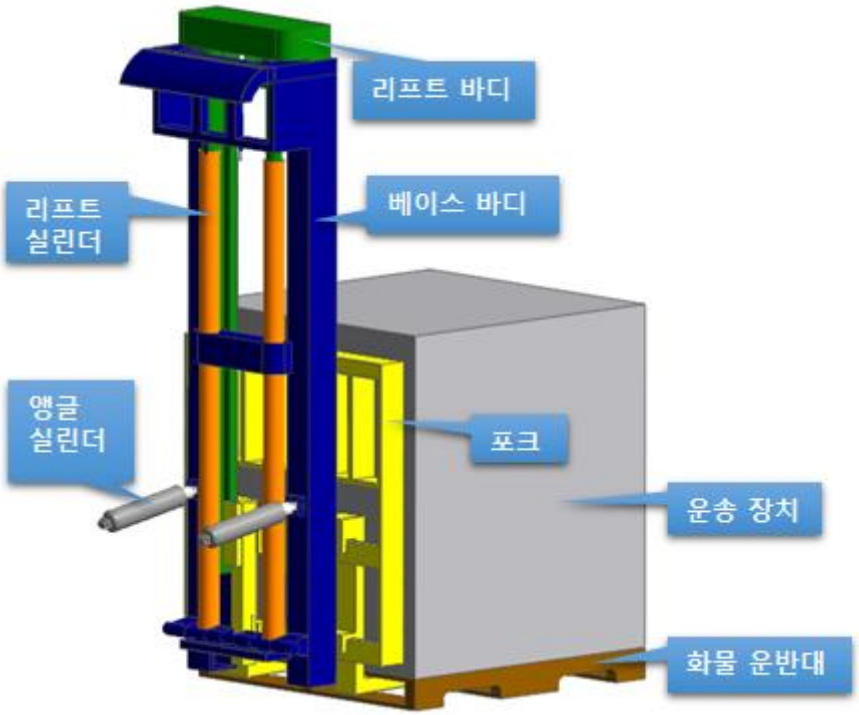
1. 바탕화면에서 **RecurDyn** 아이콘을 더블 클릭합니다.
2. RecurDyn 이 실행되고 **Start RecurDyn** 윈도우가 나타납니다. 기존에 있던 모델을 이용할 것이므로 **Start RecurDyn** 윈도우를 닫아 줍니다.



3. **File** 메뉴에서 **Open** 을 선택합니다.
4. **ForkLift_Initial.rdyn** 을 선택합니다. (The file location: <Install Dir> /Help /Tutorial /Toolkit /Chain/ForkliftWithRollerChain)

5. 렌더링 모드를 쉐이드(**Shade**)로 바꾸어 줍니다.

모델이 다음과 같이 보여집니다. 모델에서 리프트 실린더와 베이스 바디는 하나의 리지드 바디(Rigid Body)로 결합되어 있으며, 포크와 운송 장치, 화물 운반대는 고정 조인트(Fixed Joint)로 연결되어 있습니다. 이 부분에 대해 좀 더 관찰해보고 싶다면, 이 고정 조인트를 제거하고 더욱 실제적인 접촉(Contact) 모델로 이 모델을 교체해보기 바랍니다. 이 모델에서는 다음 장에서



생성하게 될 체인에 대한 부분이 빠져 있습니다.

모델 저장하기**:**

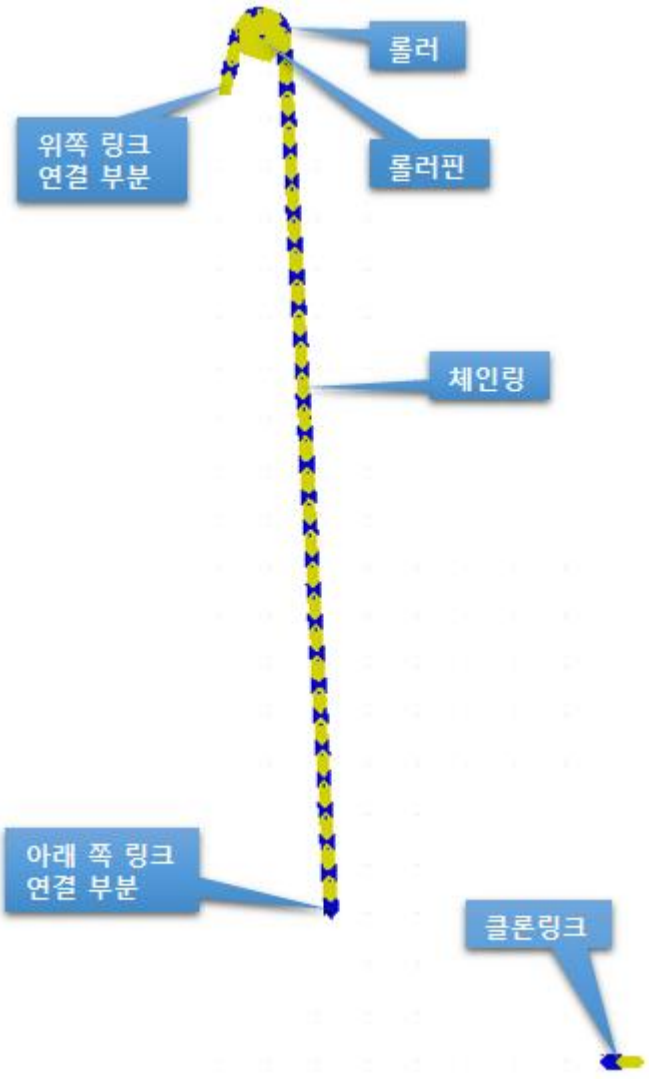
1. **File** 메뉴에서, **Save As** 를 클릭합니다.
2. Tutorial 디렉토리에서는 시뮬레이션을 할 수 없기 때문에 다른 디렉토리에 다시 저장합니다.

체인 서브 시스템의 생성

이제, 롤러 링크와 롤러를 포함하는 체인 시스템을 생성해보겠습니다.

- 체인 끝을 부싱(Bushing)을 사용하여 그라운드(Ground)에 임시로 붙여 놓았습니다.
- 포크 리프트 모델에 체인을 임포트(Import) 하여, 포크 리프트 바디에 체인의 끝을 연결해보겠습니다.

생성한 체인은 오른쪽 그림과 같이 보여집니다.



Subsystem 생성 하기**:**

1. **Toolkit** 탭의 Subsystem Toolkit 그룹에서 **Chain** 을 클릭합니다.
2. 그러면, 모델 레벨에서 지오메트리가 사라지고 모델 트리 구조 안에 아무것도 없는 Chain 서브 시스템이 있게 됩니다.

그럼, 다음으로 체인 끝에 부착할 바디를 생성해 보겠습니다.

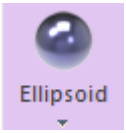
바디의 위 쪽에 부착할 링크 생성하기**:**

1. 메인 탭에서 **Professional** 을 선택합니다.

2. **Body** 에서 **Cylinder** 를 선택합니다.
3. **Point, Point, Radius** 로 생성 방법을 변경합니다.
4. Command Toolbar 에 다음 값을 입력합니다.
   - **Point: 8, 1850, -13.75**
   - **Point: 8, 1850, 13.75**
   - **Radius: 9.54**
5. 새로 생성된 바디에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후, **Properties** 를 선택합니다.
6. **Graphic Property** 탭으로 가서 **Color** 를 **Blue**(Hex={00,00,FF})로 설정합니다.
7. **General** 페이지로 가서 body 의 Name 을 **Link_Connector_T** 로 입력합니다.

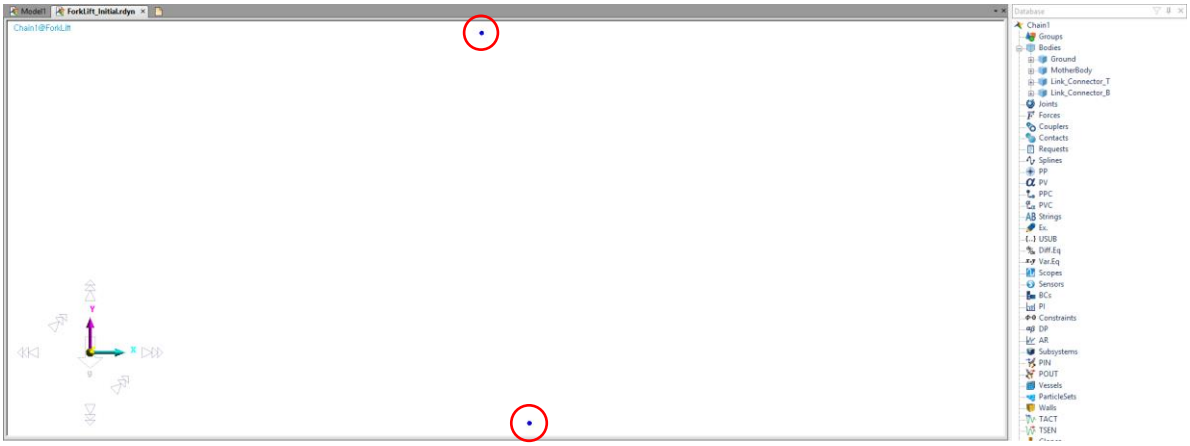
8. 변경 사항을 저장하기 위해 **OK**를 클릭한 후 Properties 다이얼로그 윈도우를 닫습니다.

바디의 아래 쪽에 부착할 링크 생성하기**:**



1. **Professional** 탭의 **Body** 그룹에서 **Ellipsoid** 를 선택합니다.
2. **Point, Distance** 로 생성 방법을 변경하고, Command toolbar 에 다음 값을 입력합니다.
   - Point: 210, 200, 0
   - Distance: 10
3. 새로 생성된 바디에서 오른 쪽 마우스 버튼을 클릭한 후 **Properties** 를 선택합니다.
4. **Graphic Property** 탭으로 가서 **Color** 를 **Blue** 로 설정합니다.
5. **General** 탭으로 가서 **body** 의 **Name** 을 **Link_Connector_B** 로 입력합니다.
6. 변경 사항을 저장하기 위해 **OK** 를 클릭한 후 Properties 다이얼로그 윈도우를 닫습니다.

이제, 다음 그림과 같이 모델이 보일 것입니다.



다음으로는 롤러와 그라운드에 고정될 롤러핀을 생성하고, 체인과 상호 작용될 롤러에 대한 접촉 파라미터를 정의해 보겠습니다.

롤러 생성 하기**:**

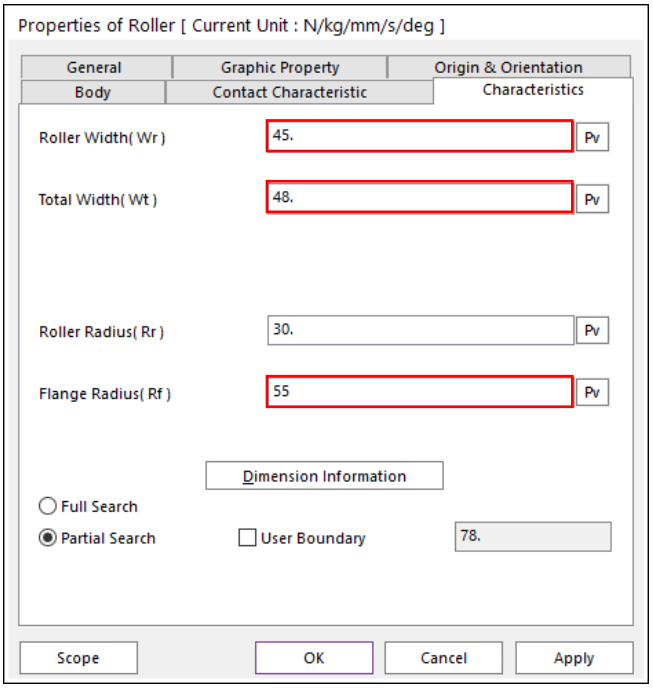
1. **Chain** 탭에서 **Roller** 를 선택합니다.
2. **Point, Distance** 생성 방법을 이용하여 롤러 중심 값으로 **85, 1970, 0** 을 입력하고, 롤러의 반지름 값으로 **30** 을 입력합니다.
3. 롤러에서 오른 쪽 마우스 버튼을 클릭하여 **Properties** 를 선택합니다.
4. **General** 페이지로 가서 **Name** 을 **Roller** 로 변경하고 **Graphic Properties** 페이지에서 **Color** 를 Yellow 로 설정합니다.

5. **Contact Characteristic** 에서 **Stiffness Coefficient** 를 **3160** 으로, **Damping Coefficient** 를 **0.75** 로, **Friction Coefficient** 를 **0.075** 로 설정합니다.

6. **Characteristics** 페이지에서 다음 값을 설정합니다.

   - **Roller Width: 45**
   - **Total Width: 48**
   - **Flange Radius: 55**

   이제, 다음과 같이 Properties 다이얼로그 윈도우가 보일 것입니다.



7. 변경 사항을 저장하기 위해 **OK** 를 클릭한 후 Properties 다이얼로그 윈도우를 닫습니다.

롤러핀 생성 하기**:**

1. 메인 탭에서, **Professional** 를 클릭합니다.
2. **Body** 그룹에서 **Cylinder** 를 클릭합니다.
3. **Point, Point, Radius** 로 생성 방법을 변경한 후 다음의 값을 입력합니다.
   - **Point: 85, 1970, -25**
   - **Point: 85, 1970, 25**
   - **Radius: 7**
4. 생성한 실린더의 **Name** 을 **Roller_Pin** 으로 입력하고 **Color** 를 **Green** 으로 변경합니다.

다음으로는 임시로 바디에 연결하고, 그라운드에 롤러핀을 연결하기 위해 고정 조인트(Fixed Joint)를 생성한 후, 부싱(Bushing)으로 롤러핀에 롤러를 연결해보겠습니다.

Fixed 조인트 생성하기**:**

1. 툴바의 **Auto Operation** 아이콘을 클릭하여 Auto Operation 기능을 실행합니다.
2. 툴킷바에서 **Joint** 를 선택한 후 **Fixed** 를 클릭합니다.
3. **Body, Body, Point** 생성 방법을 이용하여 다음 정보대로 해당 바디들 사이의 위치에 Fixed 조인트를 생성합니다.

첫 번째(Base) 바디	**두 번째 (Action) 바디**	**위치**
MotherBody*	Link_Connecter_T	5, 1850, 0
MotherBody*	Link_Connecter_B	210, 200, 0
MotherBody*	Roller_Pin	85, 1970, 0

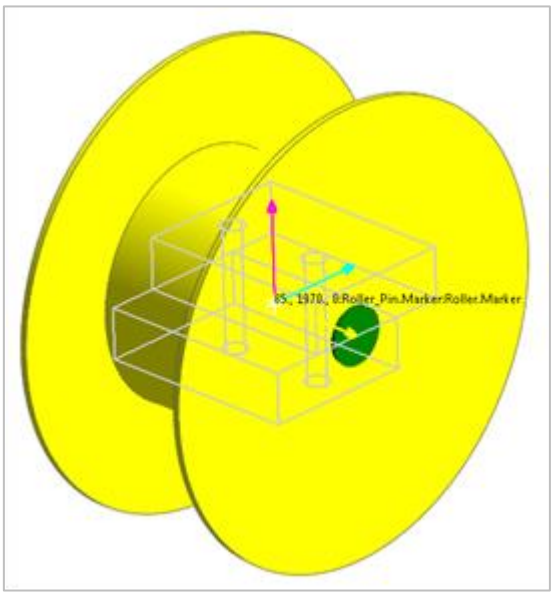
*마더 바디(MotherBody)를 선택하기 위해서는 모델링 작업 창에서 바디가 없는 곳을 클릭하면 됩니다. 어셈블리 모드에서 이것은 그라운드를 선택하게 하지만, 서브 시스템에서는 그라운드에 대해 동일한 위치(서브 시스템 에디트 모드)에 있는 마더 바디를 선택하게 합니다.

4. 3 개의 조인트를 모두 생성한 이후에는 **Auto Operation** 모드를 해제하고 **Esc** 키를 눌러서 원치 않는 조인트의 생성을 취소합니다.

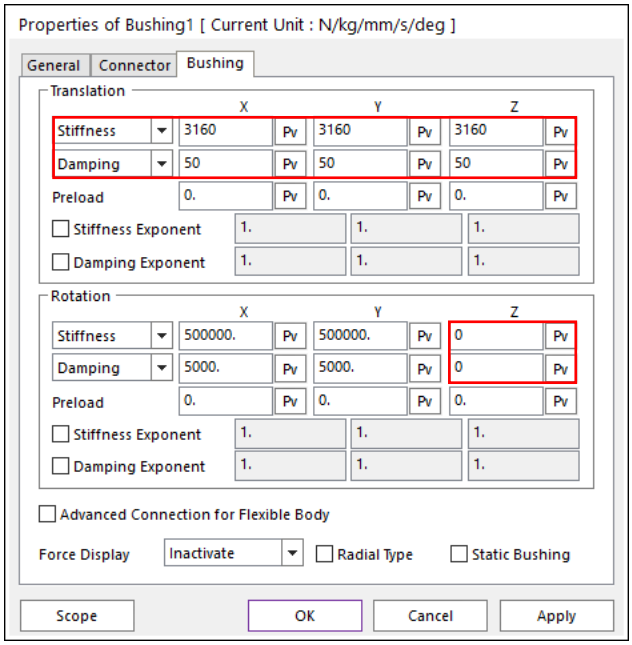
부싱 생성 하기**:**

1. 툴바에서 **Icon On/Off** 를 클릭합니다.
2. 모든 체크박스를 선택합니다.
3. 다이얼로그 박스를 닫습니다.

4. **Professional** 탭의 **Force** 그룹에서 **Bushing** 을 선택 합니다.
5. 다음 그림에서 보여지는 것처럼, 롤러를 확대하여 롤러 중심에 있는 마커를 선택합니다. 그러면 부싱이 **85, 1970, 0** 의 위치에 **Roller** 와 **Roller_Pin** 위에 생성됩니다. 이 방법이 잘 되지 않으면, **Body, Body, Point** 로 생성 방법을 변경하여 부싱을 생성하기 바랍니다.



6. Properties 다이얼로그 윈도우에서 부싱의 **Name** 을 **B_Roller_Pin** 으로 입력한 후, 다음의 그림처럼 다음의 값으로 **Stiffness** 값을 설정합니다.
   - **Translational Stiffness (X, Y, and Z): 3160**
   - **Translational Damping (X, Y, and Z): 50**
   - **Rotational Stiffness (X and Y): 기본 설정 값 그대로 남겨둡니다.**
   - **Rotational Stiffness (Z): 0**
   - **Rotational Damping (X and Y): 기본 설정 값 그대로 남겨둡니다.**
   - **Rotational Damping (Z): 0**



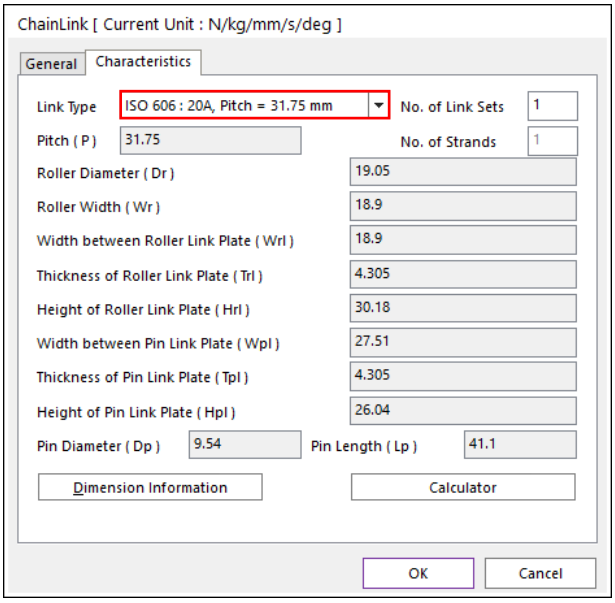
이제, 롤러 링크를 정의하여 먼저 체인을 생성하고, 체인 시스템에 결합시켜 보겠습니다.

롤러 링크 정의 하기**:**

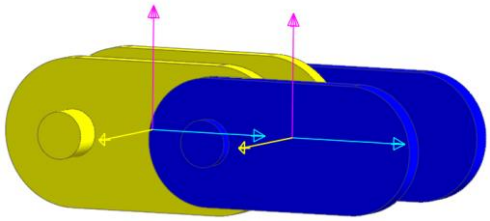
1. **Chain** 탭의 **Link** 그룹에서 **Roller Link** 을 선택합니다.
2. 링크 클론이 생성될 위치를 지정하기 위해 모델 작업 창에서 아무 지점이나 클릭합니다.

   링크를 적절한 위치에 있게 하기 위해서는 그 지점은 **800, -100, 0** 이 적당할 것입니다. 굴곡진 부분을 보기 위해서 f 키를 눌러서 모델을 스크린에 밀착시킵니다. 생성된 링크는 체인의 모든 부분을 구성하는 과정에서 사용될 것입니다.

3. 다이얼로그 윈도우가 나타나면, **ISO 606: 20A, Pitch = 31.75** 로 **Link Type** 을 설정합니다. 이것은 링크에 대한 적절한 크기를 자동으로 설정해줍니다.
4. **OK** 를 클릭하여 변경 사항을 적용한 후, 다이얼로그 윈도우를 닫습니다.

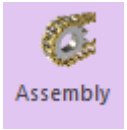


5. 링크 위에서 오른 쪽 마우스 버튼을 눌러서 **Properties** 를 클릭하여 링크의 **Color** 를 **Blue** 와 **Yellow** 로 변경합니다. 그러면, 링크는 아래 그림과 같이 보일 것입니다.



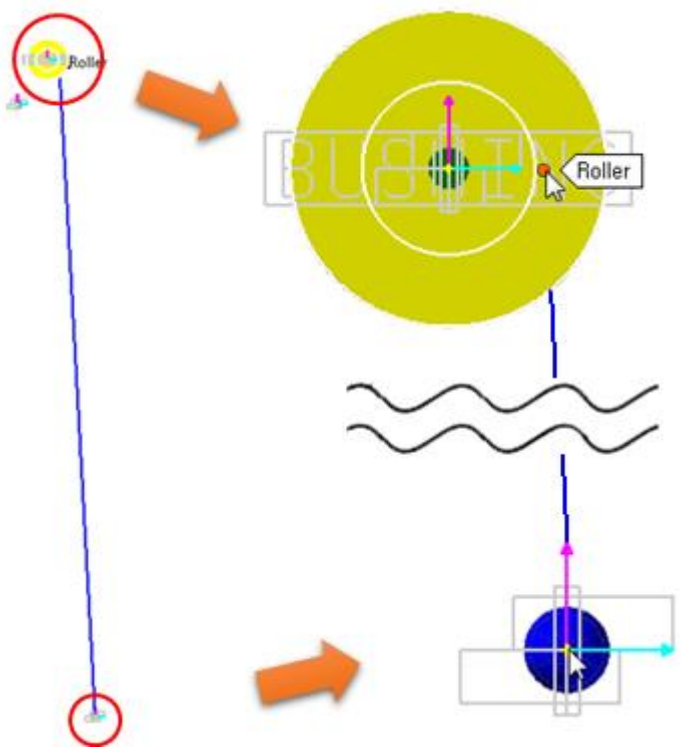
체인 어셈블리 생성하기**:**

1. 키보드에서 S 키를 눌러서 아래 쪽 링크 연결 부분(Link_Connector_B) 주변에 하나의 박스를 그려서 해당 바디를 확대합니다.
2. 아래에 표시된 그림처럼 아이콘을 클릭하여 **Snap to Grid** 를 해제합니다.

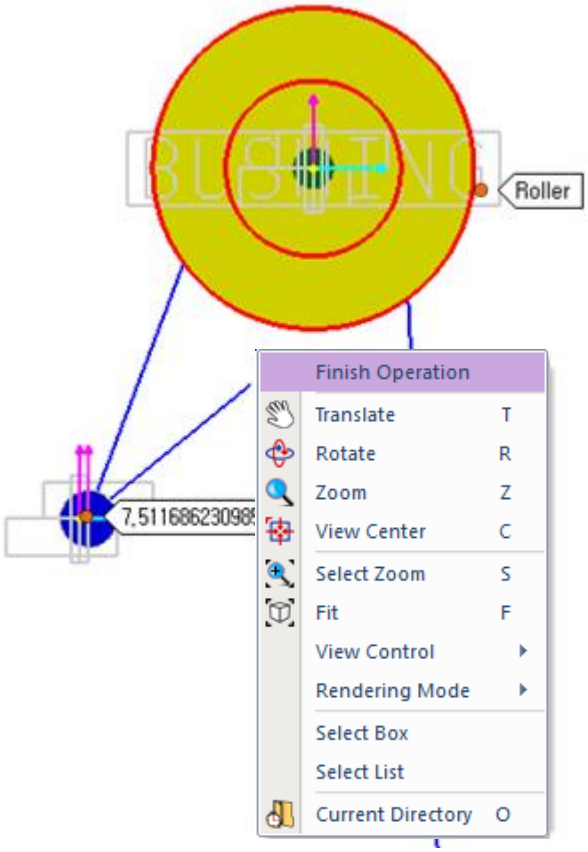


3. **Chain** 탭에서 **Assembly** 를 선택합니다.

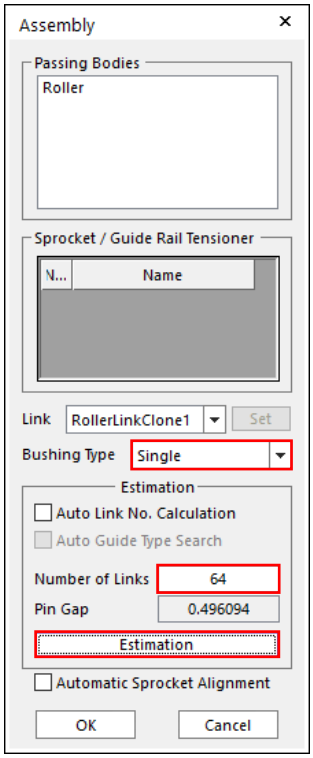
4. **Link_Connector_B** 바디의 중심을 클릭합니다.
5. F 키를 눌러서 서브 시스템의 전체로 축소합니다.
6. 가이드 선이 롤러의 오른쪽 상단에 오도록 하기 위해 롤러의 오른 쪽 상단을 클릭합니다.
7. 아무 것도 클릭하지 않은 상태에서 키보드에서 S 키를 누른 후, **Link_Connector_T** 주변에 하나의 박스를 그려서 해당 바디를 확대합니다.



8. **Link_Connector_T** 실린더의 중심을 클릭합니다.
9. 작업을 종료하기 위해 마우스 커서를 옆으로 이동하여 모델링 작업 윈도우에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후 **Finish Operation** 을 클릭합니다.



Finish Operation 을 클릭한 후에 나타나는 다이얼로그 윈도우에서 링크의 개수와 부싱의 종류를 정의합니다. 모델링 작업 윈도우에서 링크의 끝에 생성한 실린더가 직접적으로 배열되지 않았음이 보이지만 이것은 문제가 되지 않으며, 이것은 다음 부분에서 다룰 것이므로 신경 쓰지 않아도 됩니다. 이러한 현상이 일어나는 이유는 열린 체인을 생성하였기 때문입니다. 닫힌 체인의 경우 첫 번째 링크와 마지막 링크에 정확하게 배열되어 자동 생성됩니다.



10. **Bushing Type** 을 **Single** 로 변경하고 **Number of Links** 를 **64** 로 설정합니다.

Estimation 버튼을 클릭하면 Pin Gap 정보가 업데이트 될 것입니다. 이는 체인에 사용될 강성 값에 의해 Pin Gap 이 증가됨에 따라, 원하는 프리텐션(Pretension) 값을 얻기 위해서 필요한 링크의 수가 계산될 수 있음을 의미합니다.

11. Chain Assembly 의 생성을 완료하기 위해 **OK** 를 클릭합니다.

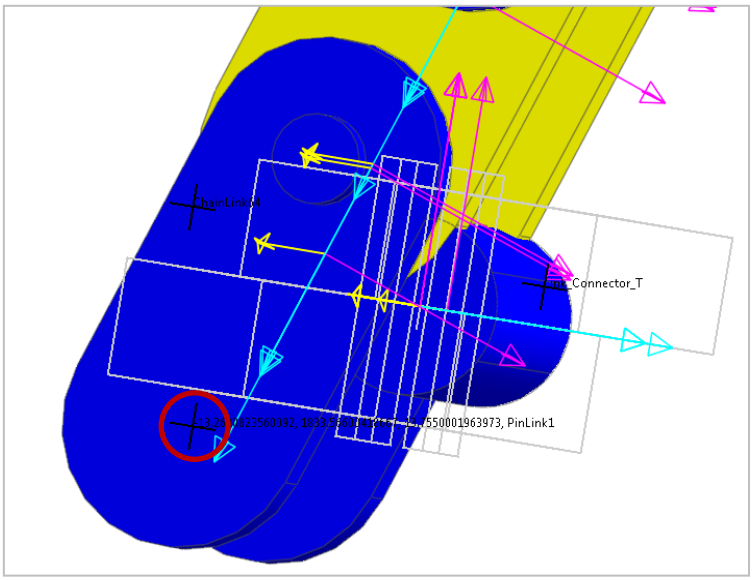
이제, 체인 끝 부분과 Link_Connector 바디 사이에서 회전을 위한 연결 부분을 생성해보겠습니다.

또한, 이 연결 부분과 체인에 대한 강성 값과 감쇠 값을 정의해보겠습니다.

위 쪽의 회전하는 연결 부분 생성하기**:**

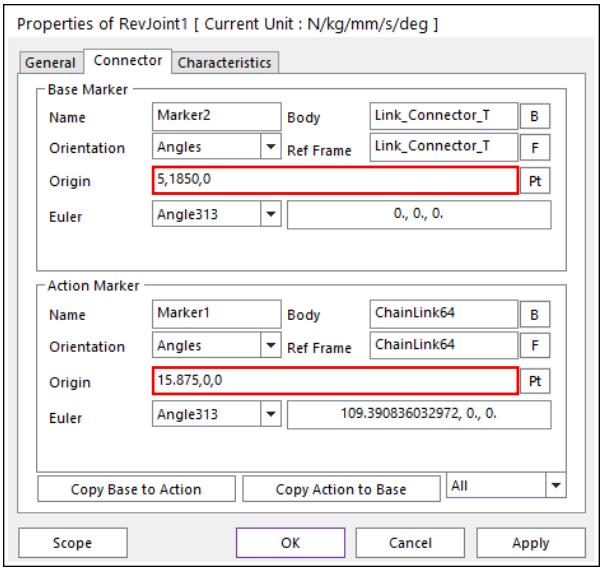
1. **Chain** 탭의 **Connector** 그룹에서 **Revolute Connector** (joint 아님) 를 클릭합니다.

2. **Body, Body, Point** 생성 방법을 이용하여 먼저 **Link_Connector_T** 를 클릭한 후 체인의 마지막 링크를 클릭합니다. 그리고 나서 Point 을 정의하기 위해 링크의 끝에 있는 둥근 모서리를 아래의 그림과 같이 클릭합니다. 이것은 링크 끝의 바깥 쪽 모서리에 있는 둥근



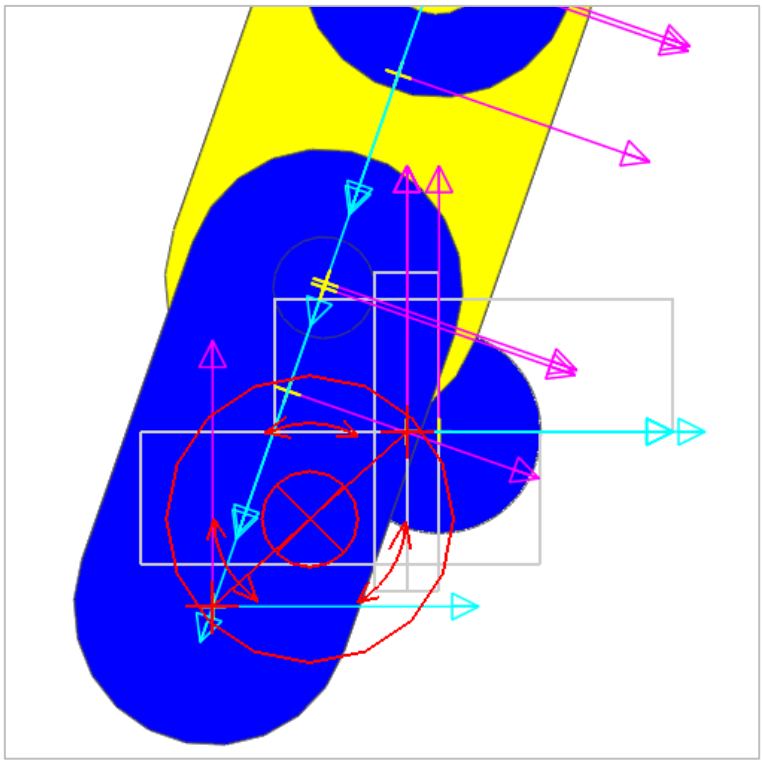
반원의 중심에 부싱을 생성하기 위한 점을 찍는 것입니다.

3. 새로 생성한 커넥터에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭하여 **Properties** 를 선택합니다.
4. **Translational Stiffness** 를 **10000** 으로 **Damping** 을 **10** 으로 변경합니다.
5. **Rotational Stiffness** 을 **10000** 으로 **Damping** 을 **500** 으로 변경합니다.
6. **General** 페이지에서 **Name** 을 **Rev_Link_Connector_T** 로 입력합니다.
7. **Connector** 페이지에서 **Base Marker Origin** 을 **5, 1850, 0** (Link_Connector_T 의 중심 위치)으로 변경하고, **Action Marker Origin** 을 **15.875, 0, 0** (링크의 중심 쪽으로 링크의



마커가 이동한 위치)으로 변경합니다. 모든 설정을 변경한 다이얼로그는 다음과 같이 보여집니다.

8. 변경 사항을 저장하기 위해서 **OK** 를 선택하고 다이얼로그 윈도우를 닫습니다.

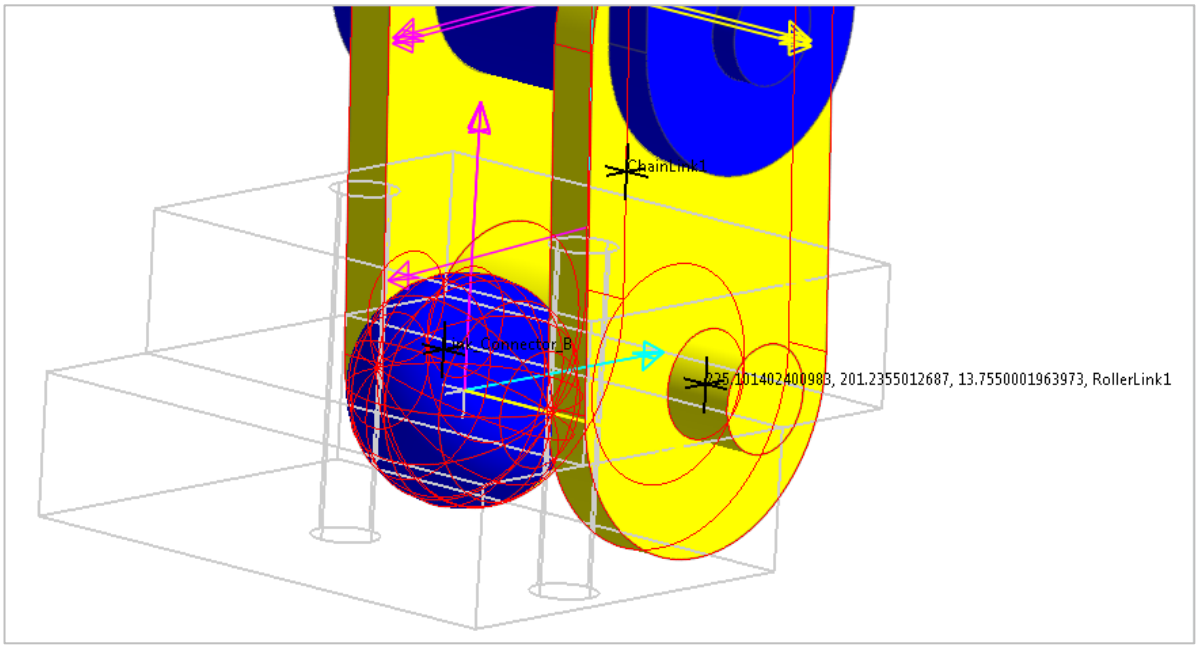


이제, 링크는 다음과 같이 보여집니다.

아래 쪽의 회전하는 연결 부분 생성하기**:**

1. 위 쪽 연결 부분을 생성할 때와 마찬가지로, **Chain** 탭의 **Connector** 그룹에서 **Revolute Connector** 를 선택합니다.

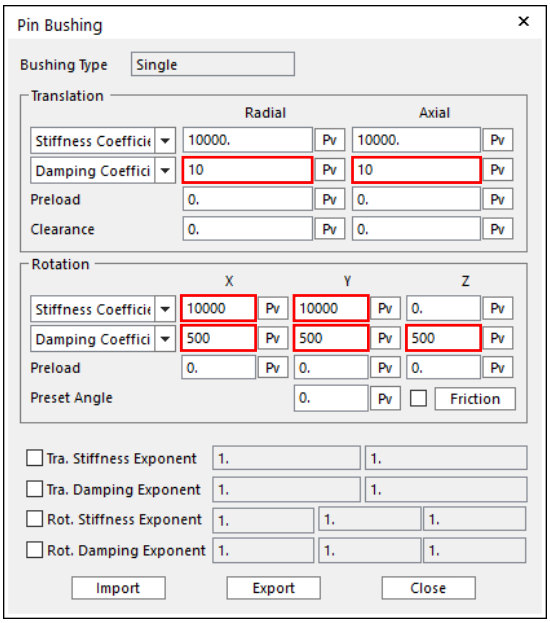
2. 먼저 **Link_Connector_B** 를 선택한 후, 아래 쪽의 체인 링크를 선택하고, 링크의 맨 밑에 있는 둥근 모서리를 클릭합니다. 이는 위 쪽 연결 부분을 생성할 때와 마찬가지로, 둥근 반원의 중심에 조인트의 위치 점을 찍는 것입니다.



3. 연결 부분에서 오른 쪽 마우스 버튼을 클릭하여 위 쪽 연결 부분을 생성할 때와 동일하게 **Stiffness** 값을 변경합니다.
4. **General** 페이지에서 **Name** 을 **Rev_Link_Connector_B** 로 입력합니다.
5. 마지막으로, **Base Marker Origin** 을 **210, 200, 0** 으로, **Action Marker Origin** 을 **-15.875, 0, 0** 로 설정한 후, 작업을 종료하기 위해 **OK** 를 클릭합니다.

체인의 강성과 감쇠 값 조절하기**:**

1. **Database** 윈도우의 **ChainAssembly1** 에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭합니다.
2. **Properties** 를 선택한 후 Characteristic 탭에 있는 **Bushing Force** 버튼을 클릭하여 Pin Bushing 다이얼로그 박스에 들어갑니다.
3. 오른쪽 그림과 같이 **Translation** 의 **Stiffness Coefficient** 는 기본 설정 값인 **10000** 으로 남겨두고, **Damping Coefficient** (**Radial** 과 **Axial** 모두)을 **10** 으로 변경합니다.
4. **Rotation** 의 **Stiffness Coefficient** 는 **X** 방향과 **Y** 방향에 대해서 **10000** 으로, **Damping Coefficient** 는 **X** 방향과 **Y** 방향에 대해서 **500** 으로 설정합니다. **Z** 방향에 대해서는 **Rotation** 의 **Stiffness Coefficient** 는 **0**, **Damping Coefficient** 는 **500** 으로 변경합니다.
5. **Close** 를 클릭한 후 변경 사항을 저장하기 위해서 **OK** 를 클릭합니다.



모델의 시뮬레이션 실행 및 추출

이제, 생성한 모델의 시뮬레이션을 실행하기 위한 준비를 해보겠습니다. 시뮬레이션을 한 후에는 새로운 방향으로 모델을 추출하여 이 장에서 배울 내용을 마치고, 다음 장에서는 포크 리프트에 체인 서브 시스템을 연결하여 시스템 전체에 대한 시뮬레이션을 실행해 볼 것입니다.

모델의 시뮬레이션 실행하기**:**

1. 서브 시스템 에디트 모드를 그대로 유지한 상태에서 **Analysis** 탭의 **Simulation Type** 그룹에서 **Dyn/Kin** 을 선택합니다.
2. 다음과 같이 파라미터를 설정한 후 시뮬레이션을 실행합니다.
   - **End Time**: 3
   - **Step**: 300
   - **Plot Multiplier Step Factor**: 10

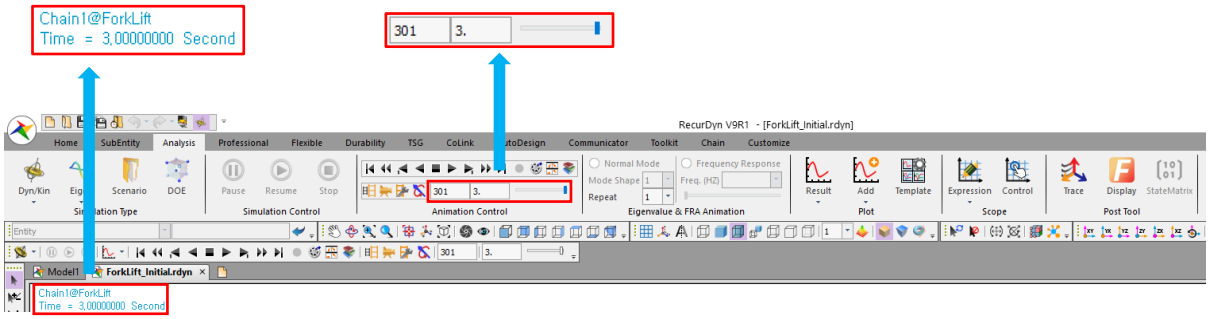
시뮬레이션은 PC 사양에 따라 걸리는 시간이 다르며, 3.4 GHz Intel Pentium 4 프로세서, 2.5 GB 램의 PC 에서는 약 3 분 정도 걸립니다.

3. **Play/Pause** 버튼을 클릭하여 시뮬레이션 결과를 확인합니다. 정확한 위치에 링크의 끝 부분이 위치해 있는지 확인하기 위해서 체인의 끝 부분을 확대하여 살펴보기 바랍니다.

시뮬레이션 끝 부분에서 체인에 대해 약간의 진동이 남아 있습니다. 하지만, 이는 문제가 되지 않으므로 신경 쓰지 않아도 됩니다. 그럼, 이제 모델을 추출해 보겠습니다.

모델 추출 하기**:**

애니메이션의 마지막 프레임을 살펴보겠습니다. 아래의 그림에서 보이는 것처럼 RecurDyn 툴바의 오른쪽 상단 모퉁이에 있는 프레임 수 **301** 와 애니메이션 타임을 통해 마지막 프레임이라는 것을 알 수 있거나 모델링 작업창의 왼쪽 상단에 보이는 **Time = 3. Second** 를 통해 마지막 프레임임을



알 수 있습니다.

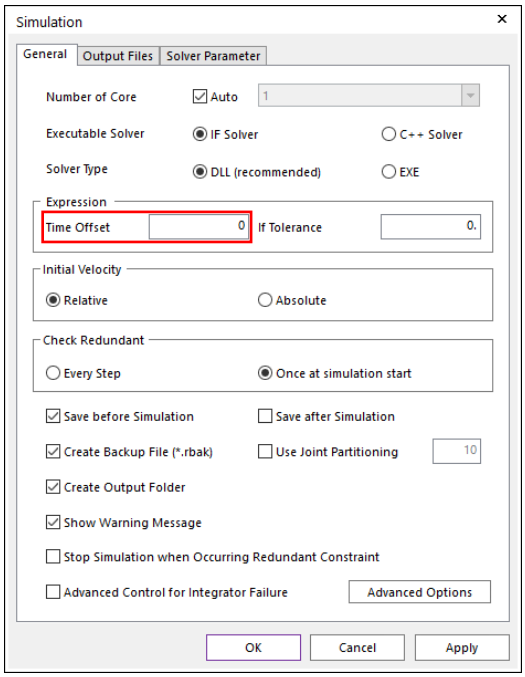
1. **File** 메뉴에서 **Extract** 를 선택합니다.
2. 추출한 모델을 **ForkLift_Step1_Extracted.rdyn** 로 저장합니다.

추출한 모델에서 RecurDyn 은 모델이 추출된 3 초라는 시간으로 설정되어 있습니다.

이는 시간 기반의 수식을 가진 모델에 대해 추출 기능 이후의 모델링 과정을 더 쉽게 할 수 있도록 해줍니다. 그러나, 시간 기반의 수식은 모두 시뮬레이션 시작 시간을 0 으로 가정하기 때문에, 이 모델에 대해, 값을 0 으로 다시 설정하기 원한다면 다음과 같이 하면 됩니다.

모델의 **Time Offset** 재설정하기**:**

1. **Home** 탭의 **Model Setting** 그룹에서 **Simulation** 을 선택합니다.
2. **Time Offset** 에서 오른 쪽 그림에서 보이는 것처럼 값을 **0** 으로 재설정합니다.
3. 변경 사항을 적용하기 위해서 **OK** 를 클릭합니다.



Chapter 3

포크 리프트와 체인 시스템의 결합

목적

이 장에서는 이전 장에서 생성한 체인 시스템을 복사하여 포크 리프트 모델에 복사한 후, 체인 시스템을 결합해보겠습니다. 그리고 나서, 그 모델에 대한 시뮬레이션을 실행해보고, 그 결과를 Plot 으로 그려보겠습니다.

예상 소요 시간

25 분

체인 시스템의 완성

이제, 포크 리프트 모델에 결합시킬 체인 서브 시스템에 대한 준비를 완료할 것입니다. 이 과정에는 클론 링크의 이동, Fixed 조인트의 비활성화, 시뮬레이션의 실행 시 저장된 데이터를 갖는 체인 링크의 정의 작업을 포함합니다.

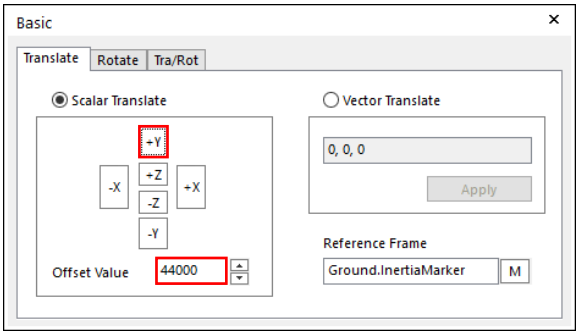
클론 링크를 이동시키기**:**

1. 키보드에서 **F** 키를 눌러서 모델이 스크린에 밀착되도록 합니다.

   화면에 클론 링크가 충분히 보이도록 하고 이전에 실행한 시뮬레이션에서 클론 링크가 중력 가속도의 영향을 받았다는 것에 유의합니다.

2. 클론 링크 주위에 선택 박스를 그려서 클론 링크를 선택합니다.

3. **Object Control** 다이얼로그 윈도우를 열어서 클론 링크를 **+Y** 방향으로 **44000** mm 이동시킵니다.



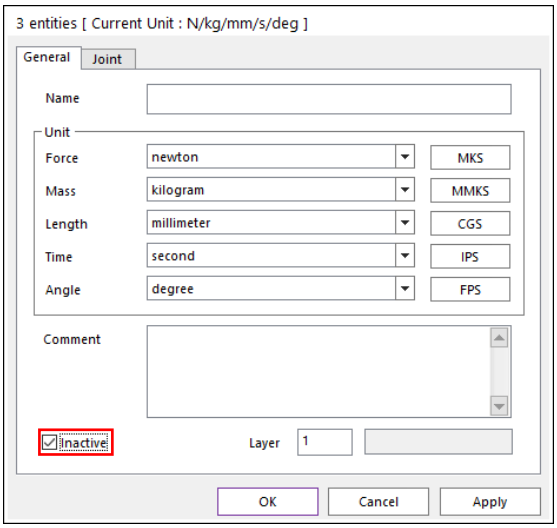
이전 장에서 생성한 Fixed 조인트는 체인의 끝 부분이 일직선으로 되도록 Link_Connector 바디를 구속하고 있습니다. 그러나 Fixed 조인트가 더 이상 필요 없으므로, Fixed 조인트를 비활성화 시킬 것입니다. 그래서 이후에는, 메인 시스템 레벨에서, 연결 부분의 바디와 포크 리프트의 바디 사이에 조인트를 새롭게 생성할 것입니다.

Fixed 조인트를 비활성화 시키기**:**

1. **Database** 윈도우에서 세 개의 모든 Fixed 조인트를 선택하기 위해서 위쪽의 Fixed 조인트를 클릭한 후, **Shift** 키를 누른 채로, 아래 쪽 Fixed 조인트를 클릭합니다.

2. 선택된 Fixed 조인트 위에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭하여 **Properties** 를 선택합니다. 이는 모든 Fixed 조인트에 대해서 동시에 수정할 수 있도록 해줍니다.

3. **General** 페이지에서 **Inactive Flag** 체크 박스를 클릭합니다. 이 체크 박스를 체크하게



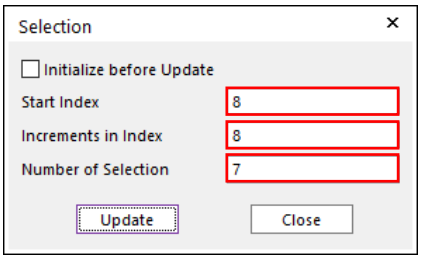
되면, 체크한 이후부터 해당 조인트가 비활성화되어 보여집니다.

4. 변경 사항을 저장하기 위해 **OK** 를 클릭한 후 다이얼로그 윈도우를 닫습니다.

이제, 선택된 링크에 대한 포스(Force)와 모션(Motion)을 살펴보기 위해서 Chain Assembly 의 출력을 설정해보겠습니다. 이는 포크 리프트 모델의 시뮬레이션을 실행한 이후에 이 값들을 플롯으로 그릴 수 있도록 해줄 것입니다. 원하는 만큼의 링크를 출력할 수 있겠지만, 간단히 체인의 길이를 좌우하는 6 개의 링크만을 선택하여 그 결과를 살펴보겠습니다.

출력할 링크 정의하기:

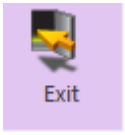
1. **Database** 윈도우의 **ChainAssembly1** 에서 오른 쪽 마우스 버튼을 클릭한 후 **Property** 를 선택합니다.
2. **Output** 페이지로 가서 **Selection by Simple Rule** 버튼을 클릭합니다.
3. **Start Index** 를 **8** 로, **Increments in Index** 도 **8**, **Number of Selection** 을 **7** 로 설정합니다.
4. **Update** 버튼을 클릭한 후 **OK** 버튼을 클릭하여 변경 사항을 저장하고 다이얼로그 윈도우를 닫습니다.



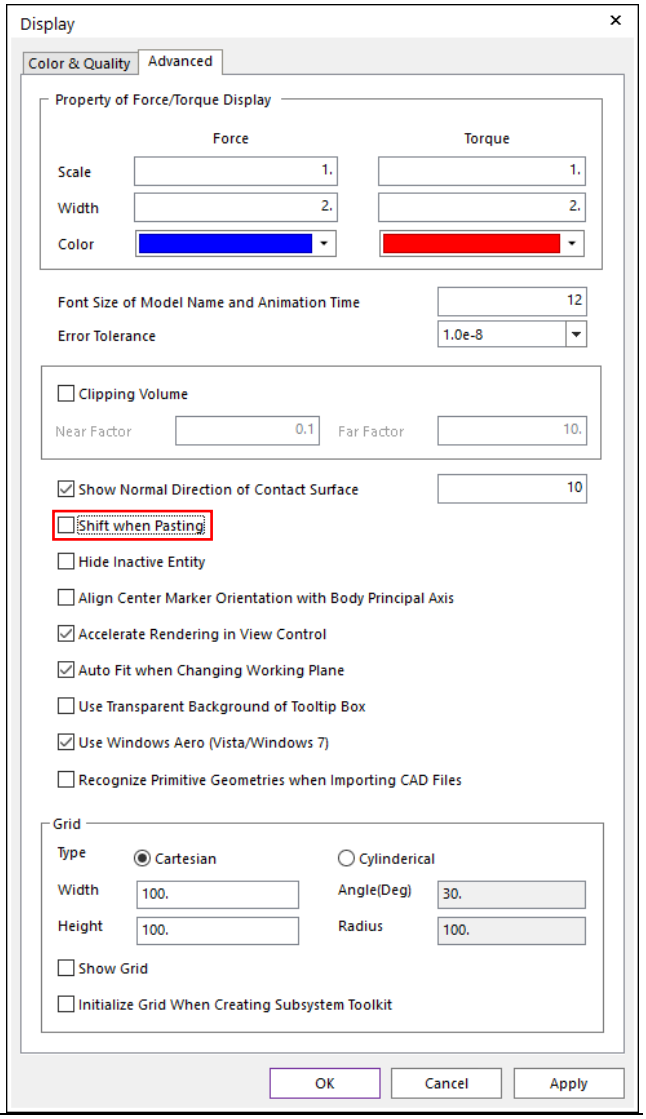
체인의 복사 및 포크 리프트와의 연결

이제, 메인 시스템으로 이동하기 위한 준비와 체인 시스템을 포크 리프트에 연결하기 위한 작업을 해보겠습니다. 먼저, 생성한 체인 서브 시스템을 복사하여 그것에 필요한 조인트를 생성한 후 시뮬레이션을 실행해 볼 것입니다.

체인 서브 시스템 복사하기:



1. 어셈블리 모드로 가기 위해서 Working window 의 빈 곳에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후 **Exit** 를 선택합니다.
2. **Home** 탭의 **Model Setting** 그룹에서 **Display** 를 선택합니다.
3. **Advanced** 탭에서 **Shift When Pasting** 의 체크를 해제합니다.

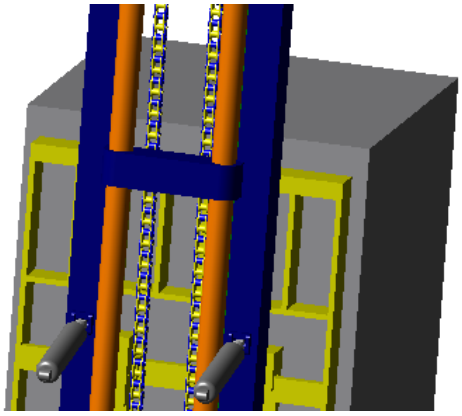


4. **Database** 윈도우에서 **Chain1** 을 클릭하고, **Ctrl-c** 를 눌러서 복사한 후 **Ctrl-v** 를 눌러서 같은 모델에 대해 복사한 것을 붙여 넣습니다. 이제 체인 서브 시스템은 두 개가 되었으며 모델의 중앙에 원래의 체인 시스템이, 오른쪽에는 새로 복사한 체인 시스템이 위치하게 되었습니다.

이제, 이 서브 시스템들을 정확한 위치에 두기 위해서 이름을 다시 정의하고 필요한 조인트를 생성해보겠습니다.

서브 시스템을 이동시킨 후 이름 재정의 하기**:**

1. **Database** 윈도우에서 **Chain1** 을 선택합니다. **Basic Object Control** 다이얼로그 윈도우를 열어서 **Chain1** 을 **–Z** 방향으로 **80** mm 이동시킵니다.
2. 나머지 체인 시스템 **C1_Chain1** 에 대해서도 같은 과정을 반복하되, **+Z** 방향으로 **80** mm 를 이동시킵니다. 이제, 두 개의 서브 시스템은 다음 그림에서 보여지는 것처럼 평행을 유지하게



   될 것입니다.

3. **Database** 윈도우의 **Chain1** 과 **C1_Chain1** 에서 오른 쪽 마우스 버튼을 클릭하여 **Property** 를 선택한 후, **Chain1** 서브 시스템의 이름을 **Chain_L** 로, **C1_Chain1** 서브 시스템의 이름을 **Chain_R** 로 각각 변경합니다.

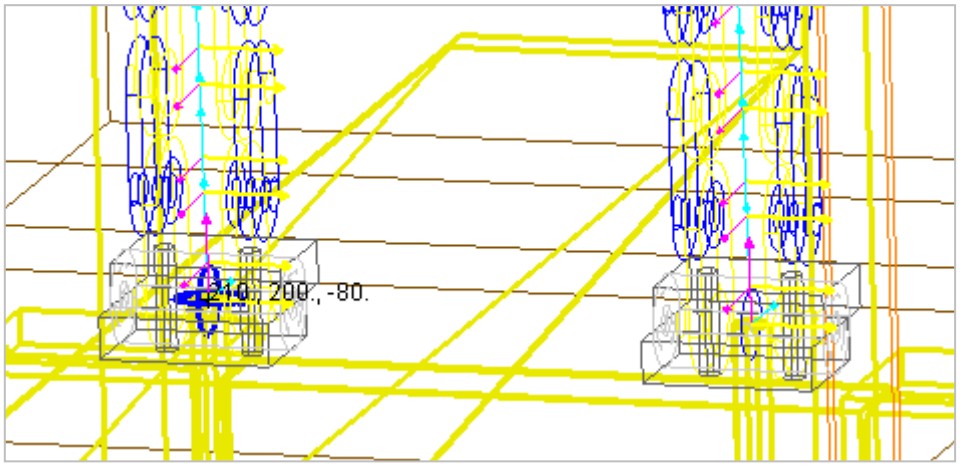
이제, 체인의 아래 쪽에 위치할 조인트를 생성하고 체인의 윗 부분의 끝과 롤러에 대해서도 조인트를 생성해 볼 것입니다. 생성한 각각의 조인트들은 서브 시스템 레벨에서 생성한 연결 부분의 바디와 포크 리프트의 바디를 연결하기 위한 고정 조인트가 될 것입니다.

아래 쪽의 **Fixed** 조인트 생성하기**:**

1. 체인의 하단 끝을 확대하여 **Wireframe with Silhouettes** 모드로 보기 모드를 변경합니다.

2. **Professional** 탭을 클릭합니다.
3. **Joint** 에서 **Fixed** 를 클릭합니다.

4. **Body, Body, Point** 생성 방법을 이용하여, 먼저 노란색 포크 바디를 선택한 후, **Shift** 키를 누른 상태에서 왼쪽 체인 시스템에 있는 **Link_Connector_B** 로 지정된 파란색 구를 선택합니다. 그리고 나서, 아래의 그림에서 보이는 것처럼, 그 위치에 조인트를 생성하기 위해

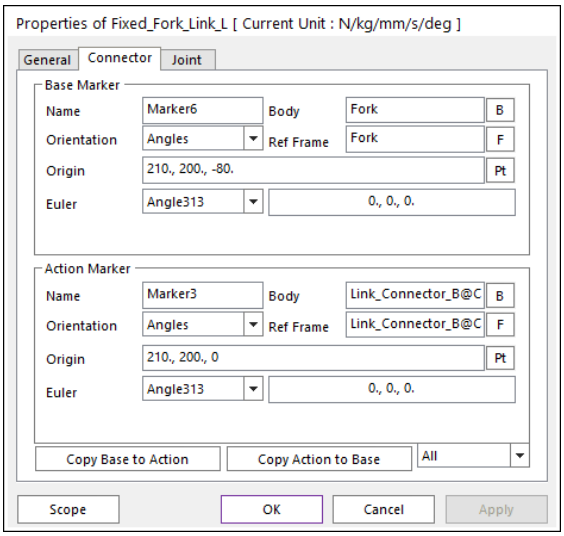


구의 중심을 클릭합니다.

Tip: 메인 시스템 레벨에서 서브 시스템에 있는 엔티티를 선택하려면 Shift 키를 누른 채로 원하는 요소를 클릭하면 됩니다.

---

5. 오른 쪽에 보여지는 것처럼 Base Marker 의 Body 에 **Fork** 를 설정하고 **Base Marker Origin** 을 **210, 200, -80** 로 설정합니다. 또한, **Action Marker** 의 **Body** 에 **Link_Connector_B@Chain_L** 을 설정하고 **Action Marker Origin** 를 **210, 200, 0** 로 설정합니다.



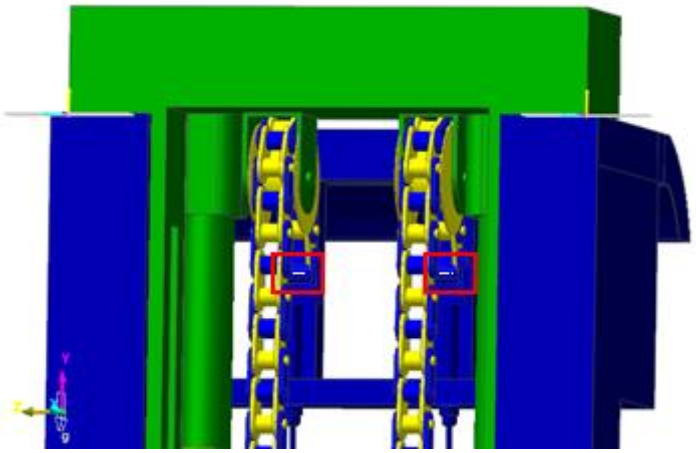
6. 오른 쪽의 바디에도 동일한 과정을 반복하되, 이번에는 조인트의 위치를 **210, 200, 80** 로 하고, **Action Marker** 의 **Body** 를 **Link_Connector_B@Chain_R** 로 설정합니다.

7. 고정 조인트의 이름을 각각 **Fixed_Fork_Link_L** 과 **Fixed_Fork_Link_R** 로 입력합니다.

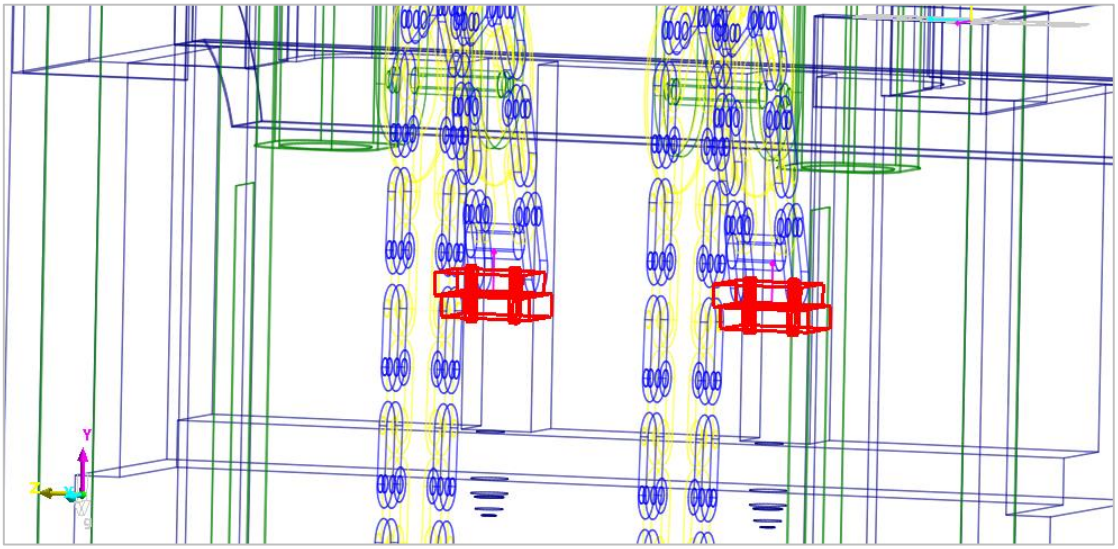
위 쪽의 **Fixed** 조인트 생성하기**:**

1. 체인의 상단을 확대합니다. 포크 리프트를 살펴보기 위해서 모델을 회전시킵니다.

   이 때, 아래의 설명에 나오는 파란색 실린더를 살펴볼 수 있도록 회전시켜야 합니다.



2. **Professional** 탭의 **Joint** 그룹에서, **Fixed** 를 클릭합니다. **Body, Body, Point** 생성 방법을 이용하여 먼저, **Base_Body** 를 클릭한 후, **Command Toolbar** 에 **Link_Connector_T@Chain_L** 을 입력합니다. 이 것은 **Chain_L** 서브시스템 속에서 체인 끝에 붙어있는 파란색 실린더를 의미합니다. 그리고 나서, **5, 1850, -80** 를 입력합니다. 위와

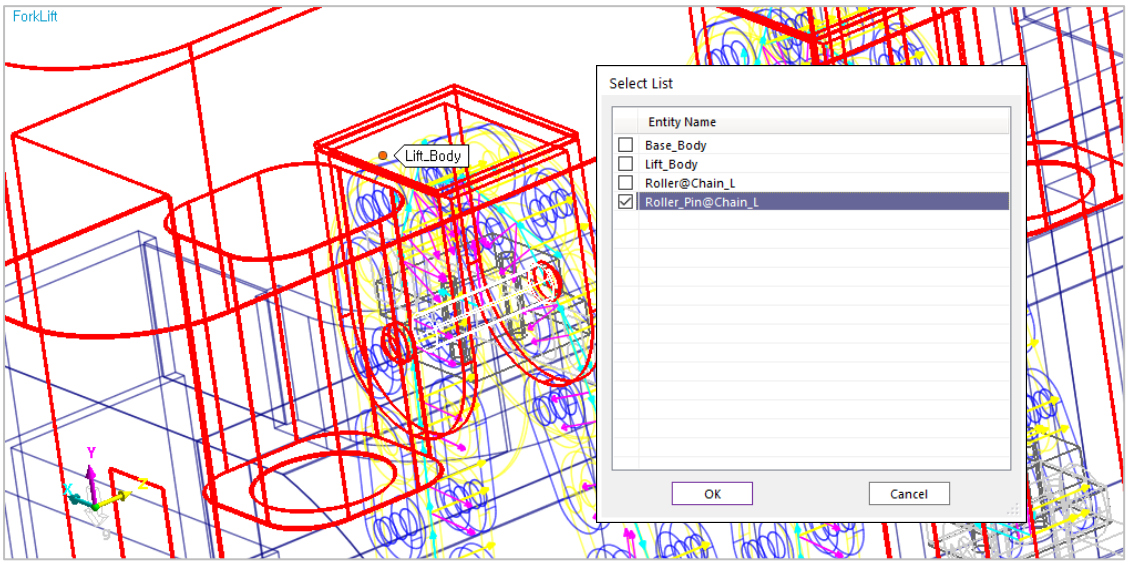


   같은 방법으로 **5, 1850, 80** 에 **Fixed** 조인트를 생성합니다.

3. 조인트의 이름을 **Fixed_Base_Link_L** 과 **Fixed_Base_Link_R** 로 정의합니다.

롤러핀에 대한 **Fixed** 조인트 생성하기**:**

1. **Professional** 탭의 **Joint** 그룹에서 **Fixed** 를 클릭합니다.
2. 베이스 바디로 **Lift_Body** 를 선택합니다.
3. **Shift** 키를 누른 채로 체인시스템에 마우스를 갖다 놓습니다. 그리고 나서 초록색 실린더에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후, **Select List** 를 클릭합니다.
4. 액션 바디로 **Roller_Pin@Chain_L** (또는 **Roller_Pin@Chain_R**)을 선택하기 위해서 옆의 체크박스를 클릭합니다.
5. 마지막으로, **85, 1970, -80** (또는 **85, 1970, 80**) 이 되는 지점이 보일 때까지 마우스 커서를 움직여서 실린더 중앙에 놓습니다. 이 방법을 사용하지 않고 Command Toolbar 에 이



지점의 위치를 입력해도 됩니다.

6. 이제, 베이스 바디인 **Lift_Body** 와 액션 바디인 **Roller_Pin@Chain_L** 또는 **Roller_Pin@Chain_R** 에 Fixed 조인트가 생성되었습니다.
7. 각 조인트의 이름을 **Fixed_Lift_Roller_L** 과 **Fixed_Lift_Roller_R** 로 입력합니다.

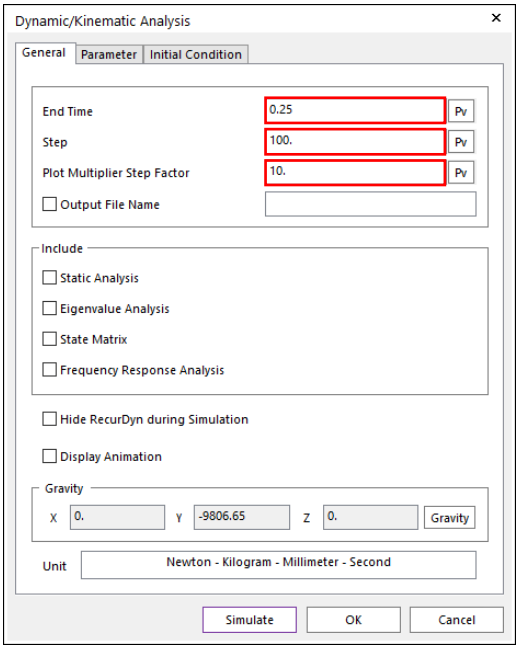
포크 리프트 모델에 대한 시뮬레이션의 실행

이제, 포크 리프트 모델에 대한 시뮬레이션을 실행하고 그 결과를 Plot 으로 확인해보겠습니다.

3 초간의 시뮬레이션을 실행하기 전에 모델이 정확하게 결합되어 작동하는지를 보기 위한 테스트로 시뮬레이션을 실행해보겠습니다.

모델의 시뮬레이션 실행하기**:**

1. **Analysis 탭의 Simulation Type** 그룹에서 **Dyn/Kin** 아이콘을 클릭합니다.
2. **End Time** 은 **0.25**, **Step** 은 **100** 으로 **Plot Multiplier Step Factor** 는 **10** 으로 설정하여 시뮬레이션을 실행합니다.



모델이 제대로 작동한다면 운송 장치가 짧은 거리를 내려가기 시작하여 수직으로 올라올 것입니다. 이 시뮬레이션은 운송 장치가 1 초간 내려갔다가 종료될 것입니다.

모델이 제대로 시뮬레이션 된다고 가정할 때, 2 초동안 동일한 시뮬레이션을 재실행하고 모델을 반평형 위치에서 추출하게 될 것이며, 유압 실린더에 대해 원하는 위치를 정의한 이후에 시뮬레이션을 다시 실행해보겠습니다.

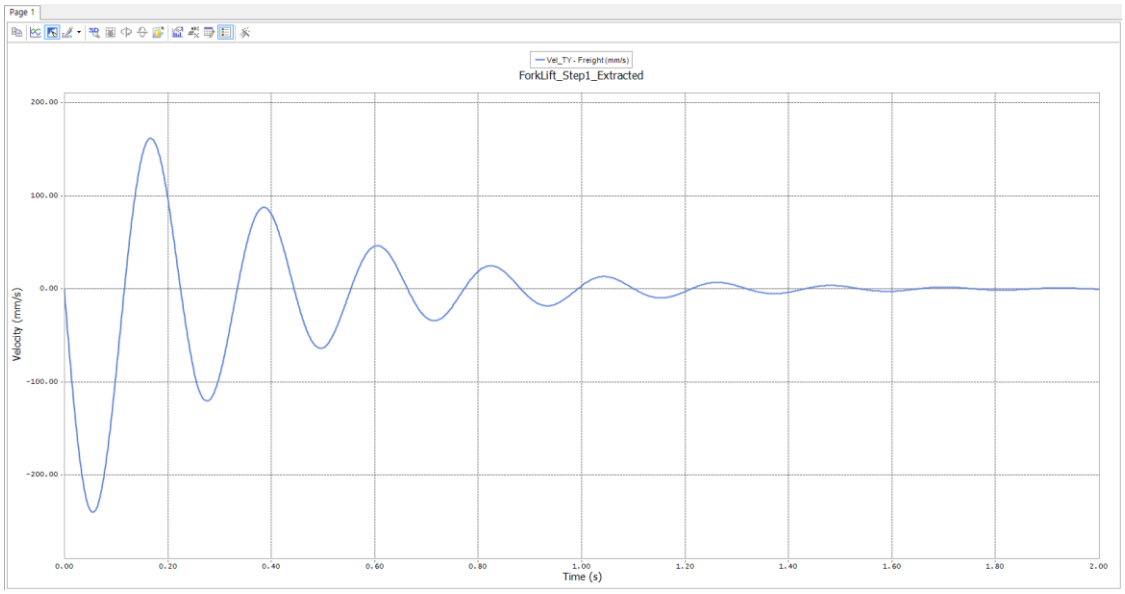
시간이 시뮬레이션의 2 초대에서 하나의 요인으로 작용한다면 모델 추출은 생략할 수 있습니다. 이로 인해 더 많은 순간 진동을 포함하는 마지막 시뮬레이션의 초기 환경에 영향이 가겠지만, 모델의 기능을 이해하는 데는 문제가 되지 않습니다.

모델의 시뮬레이션 실행하기**:**

1. 이전과 동일한 과정대로 시뮬레이션을 실행하되 이번엔 **2** 초간의 시뮬레이션으로 시뮬레이션을 실행합니다.
2. Step 과 **Plot Multiplier Step Factor** 는 이전과 동일한 값으로 설정합니다.

시뮬레이션이 완료되기까지 약 6 분 정도 걸립니다.

3. **Plot** 윈도우를 열기 위해 **Plot Result** 를 클릭합니다.



4. **Database** 윈도우에서 **Bodies > Freight > Vel_TY** 를 차례로 클릭한 후 운송 장치에 대한 수직 속도를 Plot 으로 그리기 위해서 **Vel_TY** 를 더블 클릭합니다.

이 Plot 은 평형 위치에 가깝게 시스템을 유지하기 위해 2 초에서 곡선이 길게 나타나고 있습니다.

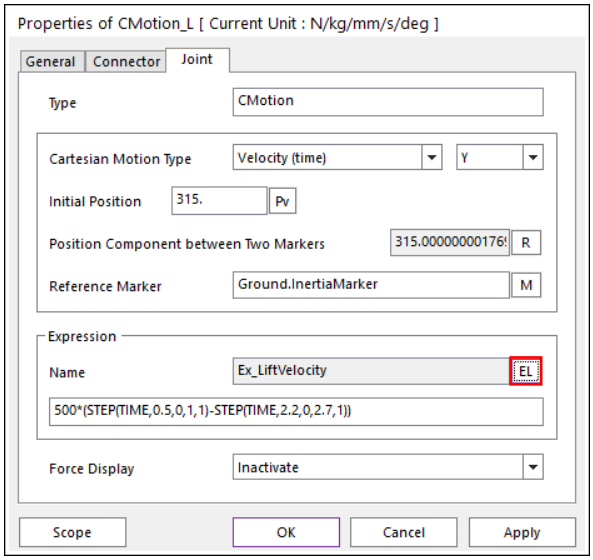
이제, 모델을 추출하는 과정을 진행하겠습니다.

모델 추출하기**:**

1. 이 튜토리얼에서 이전에 했던 대로, 시뮬레이션의 마지막 프레임을 확인하여 **File** 메뉴에서 **Extract** 를 클릭합니다.
2. **Forklift_Step2_Extracted.rdyn** 또는 본인이 원하는 이름으로 모델을 저장합니다.
3. 이전에 했던 것처럼, **Time Offset** 을 **0** 으로 재설정합니다.

다음으로는 정확한 모션을 주기 위해 유압 실린더에 대한 설정을 해보겠습니다. 먼저 드라이브 실린더에 리프트 속도를 적용한 후, 조절 가능한 앵글 실린더에 위치를 설정해보겠습니다.

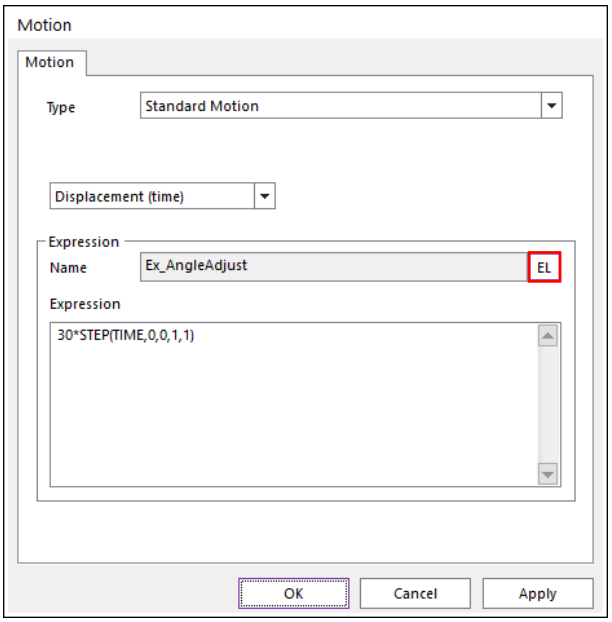
리프트 속도 설정 하기**:**



1. **Database** 윈도우의 **CMotion_L** 에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후, **Properties** 를 선택합니다.
2. Velocity 를 정의하기 위한 새로운 수식을 선택하기 위해 **EL** 버튼을 클릭합니다.
3. **Expression List** 다이얼로그 윈도우가 나타나면 **Ex_LiftVelocity** 를 선택합니다.
4. 새로운 수식을 적용하기 위해 **OK** 를 클릭한 후, 변경 사항을 저장하기 위해 다시 **OK** 를 클릭하고 **CMotion Properties** 다이얼로그 윈도우를 닫습니다.
5. 오른쪽 드라이브 실린더에 동일한 모션을 정의하기 위해 **CMotion_R** 에도 같은 과정을 정확하게 반복합니다.

조정 가능한 앵글의 위치 설정하기**:**

1. **Database** 윈도우의 **Tra_Piston_Cyl_L** 에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭합니다.
2. 조인트에 대한 모션을 정의하기 위해 **Motion** 버튼을 클릭합니다.
3. **Motion** 다이얼로그 윈도우가 나타나면 **EL** 을 클릭한 후 Expression List 에서 **Ex_AngleAdjust** 를 선택합니다.
4. 변경 사항을 저장하기 위해 **OK** 를 클릭한 뒤 해당 다이얼로그 윈도우를 닫습니다.
5. **Tra_Piston_Cyl_R** 에도 동일한 과정을 정확하게 반복합니다.

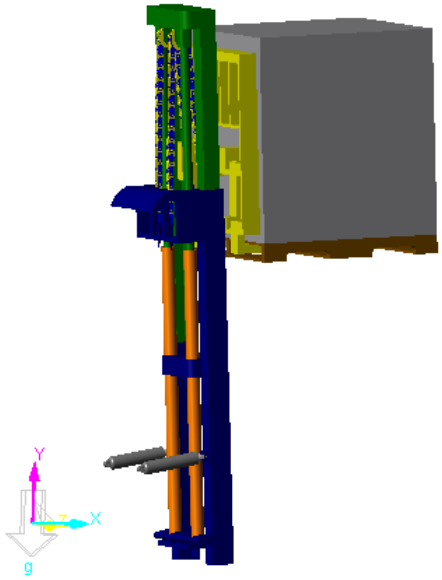


이제 모델은 시뮬레이션을 실행할 준비가 되었습니다. 이제, 포크 리프트가 뒤로 기울여지고 드라이브 실린더 모두가 연장되는 시뮬레이션이 3 초 동안 실행될 것입니다.

마지막 시뮬레이션 실행하기**:**

1. **Analysis** 아이콘을 클릭하여 **End Time** 이 **3, Steps** 가 **300, Plot Multiplier Step Factor** 가 **10** 인 시뮬레이션을 실행합니다.

   그러면 포크 리프트의 마지막 위치가 다음과 같이 보여집니다.



Plot 을 통한 결과 확인

이제, Plot 윈도우로 가서 부싱과 체인 링크의 포스뿐만 아니라 운송 장치 속도에 대한 그래프를 생성해보겠습니다.

원하는 **Plot** 생성하기**:**

1. Analysis 탭에서 **Plot Result** 를 클릭합니다.
2. 이전에 했던 것처럼 **Bodies > Freight > Vel_TY** 를 차례로 클릭하여 **Vel_TY** 를 더블 클릭합니다.
3. 동일한 Plot 에 대한 결과를 추가하기 위해 **Bodies > Lift_Body > Vel_TY** 를 차례로 클릭하여 **Vel_TY** 를 더블 클릭합니다.

   이 Plot 은 시스템에서 체인이 미치는 영향을 보여줍니다. 리프팅하는 동안 운송장치의 일정한 값은 리프트 바디의 값의 거의 두 배입니다. 이는 또한 체인과 롤러핀의 탄력성에 대한 영향을 보여줍니다.

4. 이 Plot 의 이름을 **Freight and Lift_Body Vertical Velocity** 로 변경합니다.
5. Plot 윈도우를 네 개의 Pane 으로 보기 위해서 **Show All Windows** 를 클릭합니다.
6. 오른쪽 상단 Pane 을 클릭하여 해당 Pane 을 활성화시킵니다.
7. 포크 리프트의 오른 쪽에 있는 B_Roller_Pin 의 부싱 포스를 Plot 으로 그리기 위해 **Force > Bushing Force > B_Roller_Pin@Chain_R > FM_Bushing** 을 차례로 클릭한 후 **FM_Bushing** 을 더블 클릭합니다.
8. **Rev_Link_Connector_T@Chain_R** 과 **Rev_Link_Connector_B@Chain_R** 에 대해서도 같은 과정을 반복합니다.
9. 이 Plot 의 이름을 **Bushing Forces in the Chain Connectors** 로 변경합니다.
10. 오른쪽 하단 Pane 을 클릭하여 해당 Pane 을 활성화시킵니다.
11. 포크 리프트의 오른 쪽에 있는 ChainLink32 의 부싱에 대한 장력을 Plot 으로 그리기 위해서 **Chain-Force > Link > ChainLink32@Chain_R > BushingTension** 을 차례로 클릭한 후 **BushingTension** 을 더블 클릭합니다.
12. **ChainLink40**, **ChainLink48**, **ChainLink56** 에 대해서도 동일한 과정을 반복합니다.

주의:

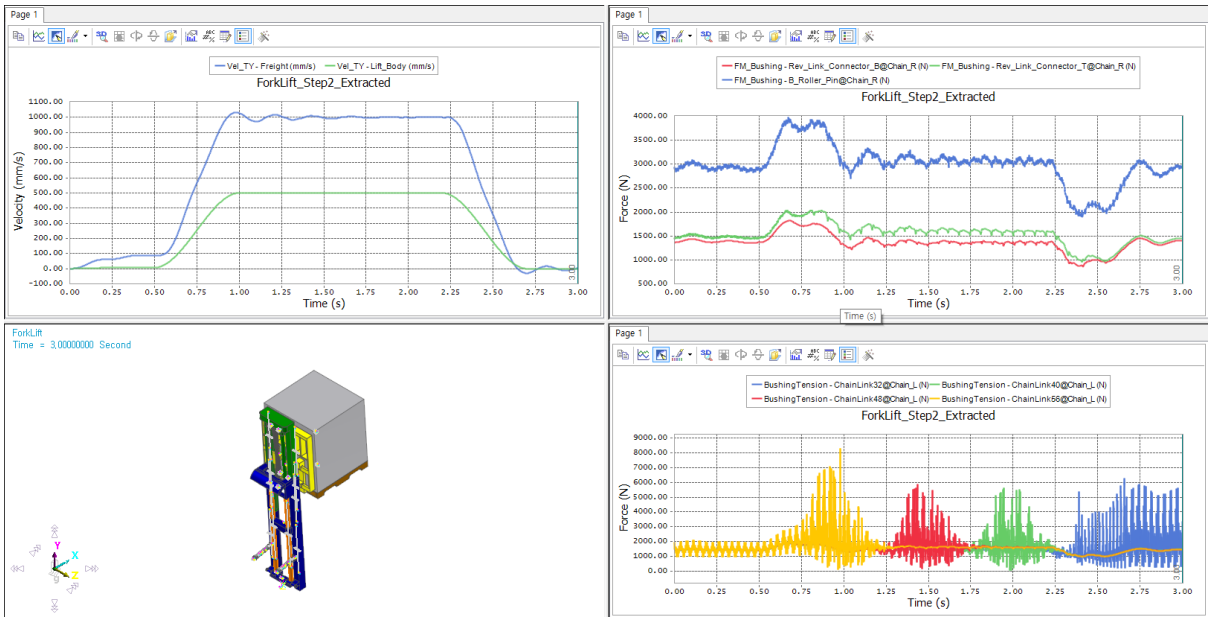
제일 높은 숫자의 링크가 움직이기 시작하면서 부싱의 장력이 잇따라 연이어져 있는 링크에서 급등한다는 것에 주목하십시오. 체인이 아래에서 움직이기 시작하여 위에서 움직임이 끝났기 때문에 제일 높은 숫자의 링크가 체인의 윗부분에 있으므로 이는 직관적입니다. 따라서, 그 체인 링크들은 롤러 전체를 제일 먼저 지나게 됩니다. 롤러 표면의 상대적으로 낮은 감쇠는 높은 접촉 강성과 결합되며, 링크의 작은 질량은 롤러 전체를 지나는 링크의 진동을 포함합니다.

---

13. Plot 의 이름을 **Tension in the Chain Links** 로 재지정합니다.
14. 왼쪽 하단 Pane 을 클릭하여 해당 Pane 을 활성화시킵니다.
15. 이 Pane 에 포크 리프트의 스크린샷을 넣기 위해서 **Tool** 탭의 **Animation** 그룹에서 **Load animation** 아이콘을 클릭합니다. 해당 Pane 에 지워야 할 데이터가 없으므로 경고 윈도우에서 Yes 를 클릭합니다.
16. 위치와 앵글에 대한 이미지를 조정합니다.

17. **Save** 아이콘을 클릭하여 저장한 후 파일 이름을 지정합니다.

그러면, Plot 이 아래 그림처럼 보여집니다.



이 모델에 대해 더 탐구해보고 싶다면, 다음과 같은 추가적인 작업을 하여 이 모델을 더 실제적으로 만들어보기 바랍니다.

- 운송 장치와 포크 사이의 고정 조인트를 제거하고 운송장치에 대해 안정적인 리프트 속도 값을 설정하여 관찰해 보기 위해 운송 장치를 Contact 모델로 교체해봅시다.
- 시스템의 진동에서 체인 감쇠와 강성의 효과를 관찰해 보기 위해 Design Study 를 실행해봅시다.
- 고주파 노이즈와 표면 변형 사이의 상관 관계를 측정하기 위해 롤러에 대한 접촉 파라미터 값을 다양하게 설정해봅시다.

Thanks for participating in this tutorial!