



Pinball Tutorial (Professional)



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
필요 요건	6
순서	6
예상 소요 시간	6
시뮬레이션 환경의 설정	7
목적	7
예상 소요 시간	7
RecurDyn 시작하기	8
Icon 과 Marker 의 크기조정	8
Geometry 의 생성	9
목적	9
예상 소요 시간	9
Guide Geometry 생성	10
Ball Geometry 의 생성	15
모델 저장하기.....	15
Force 와 Contact 생성	16
목적	16
예상 소요 시간	16
압축 Spring 의 생성	17
Ball 과 Ball 사이의 Contact 정의.....	19
Ball 과 Guide 사이의 Contact 정의.....	20
모델 저장하기.....	26
Expression Scope 생성과 해석	27
목적	27
예상 소요 시간	27
Expression 정의.....	28
Expression Scope 생성	30
Dynamic/Kinematic 해석의 실행.....	31
Design Study 의 실행	34
목적	34
예상 소요 시간	34
Design Study 의 실행.....	35
실험 결과의 애니메이션 실행	39

더 나은 결과를 위한 생각들 41

Chapter

1

개요

목적

Body 사이에서 Contact 을 생성하고 이와 관련된 시뮬레이션을 실행하는 것은 다물체 동역학 분야에서 중요한 주제입니다. RecurDyn 은 CAD 소프트웨어에서 Import 된 Geometry 뿐만 아니라 RecurDyn 에서 만들어진 Body Geometry 에 대해 모든 형태의 Contact 을 정의하고 이와 관련된 시뮬레이션을 실행할 수 있도록 강력한 기능을 지니고 있습니다.

이 튜토리얼에서는 2D 평면에서 수직 운동을 하는 Pinball 모델을 모델링하게 될 것이며, 그 모델은 Ball 이 출발점에서 움직이기 시작하여 굴곡이 있는 경사로에 올라갔다가 내려오게 하며, 수직 장애물 위로 Ball 이 움직이도록 Spring 에 힘을 적절히 부여하는 것이 중요합니다. 이 튜토리얼에서는 Contact 의 생성에 대하여 처음으로 설명하고 있으며, 다음의 것을 배울 수 있습니다.

- Geometry 의 생성
- Body 사이에서의 Contact 생성
- 파라미터 값의 정의
- Design Study 의 실행

또한, 다음의 것을 하게 될 것입니다.

- Ball 이 서로 Contact 한 후, Guide 와 Contact 하는 Pinball 모델을 시뮬레이션으로 실행해봅니다.
- Ball Launcher 의 Driving Force 와 시스템의 반응 사이의 관계를 연구해봅니다.

필요 요건

- 이 튜토리얼은 RecurDyn 을 처음 사용하는 유저를 대상으로 합니다.
- 유저는 3D Crank-Slider 튜토리얼과 Engine with Propeller 튜토리얼 또는 그와 동등한 수준의 튜토리얼을 해본 자이어야 하며, 물리학에 대한 기초 지식이 있어야 합니다.

순서

이 튜토리얼은 다음의 과정들로 구성되어 있으며, 소요되는 시간은 다음의 표와 같습니다.

과정	시간(분)
시뮬레이션을 위한 환경 설정	5
Geometry 의 생성	5
Force 와 Contact 생성	15
Expression Scope 생성과 해석	10
Design Study 의 실행	30
총합	65



예상 소요 시간

65 분

Chapter

2

시뮬레이션 환경의 설정

목적

시뮬레이션을 실행하기 위해 Unit, Material, Gravity, Working Plane 을 설정해봅니다.



예상 소요 시간

5 분

RecurDyn 시작하기

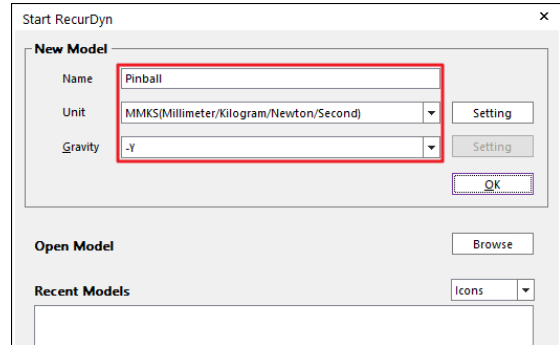
RecurDyn 시작을 위한 새로운 모델 생성하기



1. 바탕화면에서 **RecurDyn** 아이콘을 더블 클릭합니다.

RecurDyn 이 실행되면서 **Start RecurDyn** 대화상자가 나타납니다.

2. **Name** 입력란에 모델의 이름을 **Pinball** 로 입력합니다.
3. **Unit** 을 **MMKS** 로 설정합니다.
4. **Gravity** 를 **-Y** 로 설정합니다.
5. **OK** 를 클릭합니다.



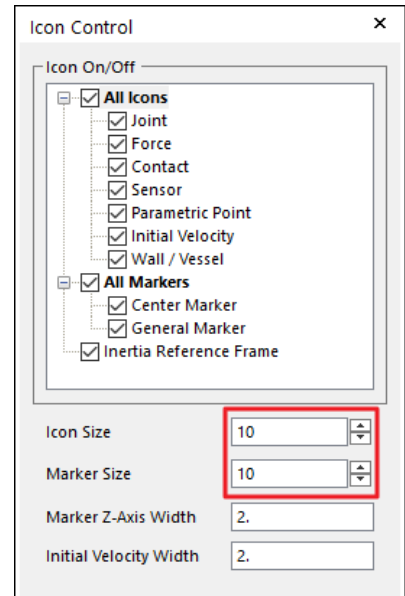
Icon 과 Marker 의 크기조정

모델을 좀 더 잘 보이게 하기 위해서 Icon 과 Marker 의 크기를 조정합니다.

아이콘과 마커의 크기를 변경하기

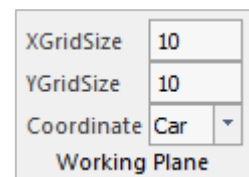


1. **View Control** 툴바에서 **Icon Control** 을 클릭합니다.
Icon Control 대화상자가 나타납니다.
2. **Icon Size** 와 **Marker Size** 를 **10** 으로 설정합니다.
3. **Icon Control** 대화상자를 닫습니다.



Grid 크기를 **10** 으로 설정하기

Home 탭의 **Working Plane** 그룹에서 오른쪽 그림과 같이 각각의 **Grid Size** 에 **10** 을 입력하고 **Enter key** 를 눌러줍니다.



Chapter

3

Geometry 의 생성

Ground Body 에 Curve Geometry 를 사용하여 Ball 의 Guide 를 정의하고 각각의 Body 로 정의된 Ball 을 정의해봅니다.

목적

아래와 같은 Geometry 를 생성해봅니다.

- Ball 의 Guide 될 Line Geometry 와 Arc Geometry
- 3 개의 Ball 을 표현할 Spherical Geometry
- Guide 와 2D Contact 을 정의하기 위한 Ball 내부의 Circle Geometry



예상 소요 시간

10 분

Guide Geometry 생성

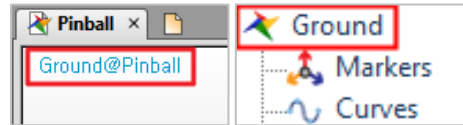
Linear Guide Geometry 생성하기



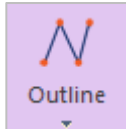
1. Ground Body 를 수정하기 위해 **Professional** 탭의 **Marker and Body** 그룹에서 **Ground** 를 클릭합니다.

Ground Edit 모드에 진입한 경우 아래와 같이 표기됩니다.

- Working Window 의 왼쪽 상단의 제목이 **Ground@Pinball** 로 변경됩니다.
- Database 창의 맨 위 항목은 **Ground** 로 나타납니다.



2. Working Plane 를 **XY Plane** 으로 변경합니다.



3. **Ground** 탭의 **Curve** 그룹에서 **Outline** 을 클릭합니다.

4. 다음의 포인트 값들을 입력합니다.

- **Point 1:** 0, 0, 0
- **Point 2:** 110, 0, 0

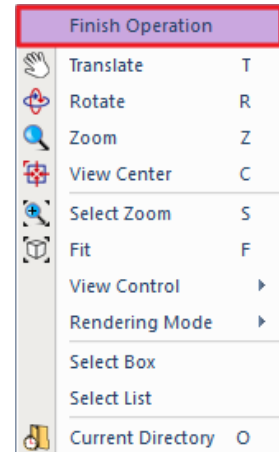
5. Outline 정의를 마치기 위해, Working Window 에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후 **Finish Operation** 를 클릭합니다.

6. **3-5** 과정을 아래 정보들을 사용하여 세 번 반복합니다.

- **Point 1:** 120, 30, 0
- **Point 2:** 120, 60, 0

- **Point 1:** 140, 30, 0
- **Point 2:** 140, 60, 0

- **Point 1:** 230, 30, 0
- **Point 2:** 450, 30, 0

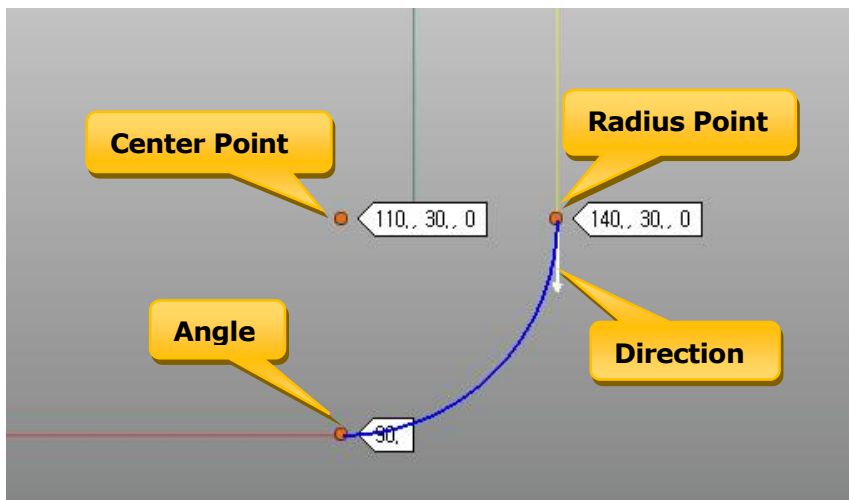


Working Window 에 아래 그림과 같이 4 개의 Outline 이 생성됩니다.



Arc Guide Geometry 생성하기

1. **Ground** 탭의 **Curve** 그룹에서 **Arc** 를 클릭합니다.
2. **Creation Method** 를 **Point, Point, Direction, Angle** 로 설정하고 아래와 같이 입력합니다.
 - **Center Point:** 110, 30, 0
 - **Radius Point:** 140, 30, 0
 - **Direction:** 0, -1, 0
 - **Angle:** 90

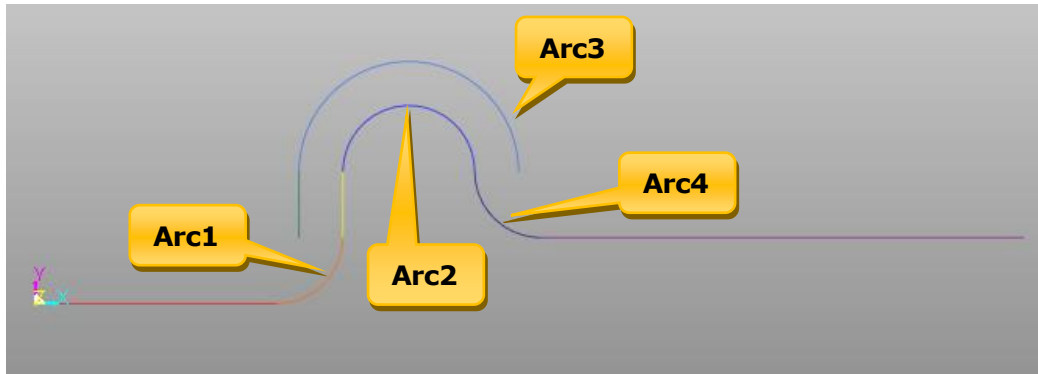


3. **1-2** 과정을 아래 정보들을 사용하여 세 번 반복합니다.
 - **Center Point:** 170, 60, 0
 - **Radius Point:** 140, 60, 0
 - **Direction:** 0, 1, 0
 - **Angle:** 180
 - **Center Point:** 170, 60, 0

- **Radius Point:** 120, 60, 0
- **Direction:** 0, 1, 0
- **Angle:** 180

- **Center Point:** 230, 60, 0
- **Radius Point:** 200, 60, 0
- **Direction:** 0, -1, 0
- **Angle:** 90

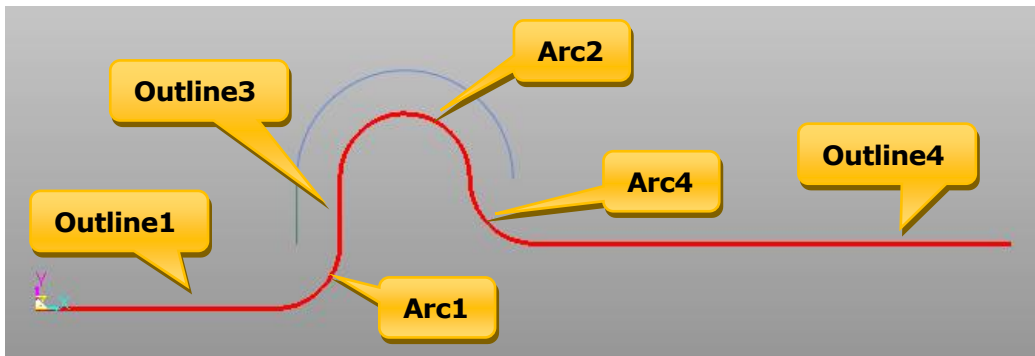
생성된 Geometry 는 다음의 그림처럼 보여집니다.



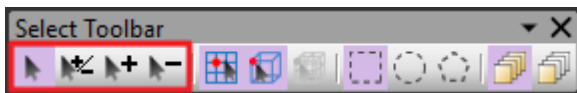
생성된 **Curve** 들을 이용하여 **EdgeCurve** 생성하기



1. **Ground** 탭의 **Curve** 그룹에서 **Edge** 를 클릭합니다.
2. Creation Method 툴바를 **MultiEdge** 로 설정합니다.
3. **Select Toolbar** 를 이용하여 아래 그림과 같이 **Outline1, Outline3, Outline4** 와 **Arc1, Arc2, Arc4** 를 선택합니다.



Tip: Select Toolbar 를 사용하여 **MultiEdge** 쉽게 선택하기

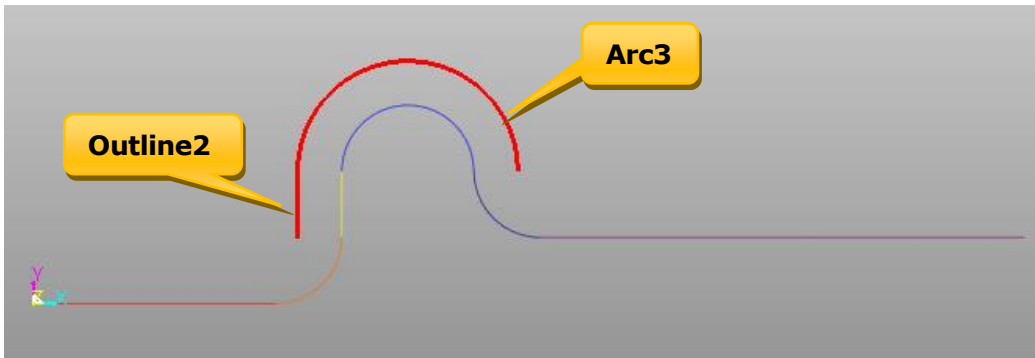


Select Toolbar 기능을 사용하면 마우스의 **Select State** 를 변경할 수 있습니다.

- **Select(Default):** 이전에 선택된 것을 초기화하고 클릭 시 항상 새로 Entity 를 선택을 합니다.
- **Add or Remove:** 클릭 시 이전에 선택된 상태를 반전시킵니다. 만약 선택되지 않은 Entity 를 클릭하면 선택이 되고, 이미 선택된 Entity 를 클릭하면 선택이 해지됩니다.
- **Add:** Entity 를 클릭 시 무조건 새로 선택합니다.
- **Remove:** Entity 를 클릭 시 무조건 해지합니다.

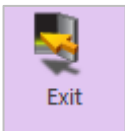
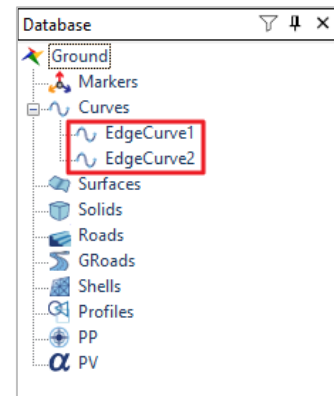
* **Select Toolbar** 에서 Select State 를 제외한 나머지 기능들은 Edit Mode 마다 다를 수 있습니다.

4. Working Window 에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후 **Finish Operation** 를 클릭합니다.
EdgeCurve1 이 생성됩니다.
5. 다시 **Ground** 탭의 **Curve** 그룹에서 **Edge** 를 클릭합니다.
6. Creation Method 툴바를 **MultiEdge** 로 설정합니다.
7. **Select Toolbar** 를 이용하여 아래 그림과 같이 **Outline2** 와 **Arc3** 를 선택합니다.

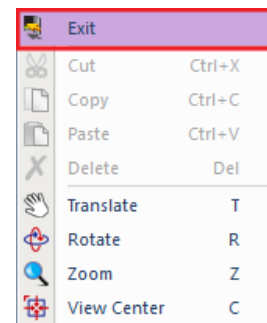


8. Working Window 에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후 **Finish Operation** 를 클릭합니다.
EdgeCurve2 이 생성됩니다.

9. Database 에서 생성된 **EdgeCurve1** 과 **EdgeCurve2** 를 제외한 나머지 모든 Curve 를 제거합니다.

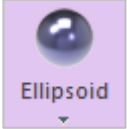


10. **Exit** 를 클릭하여, Ground 의 Edit 모드를 해제합니다. (**Exit** 는 상단 툴바에 있으며, 오른쪽 그림과 같이 Working Window 에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후 나타나는 메뉴에도 있습니다.)



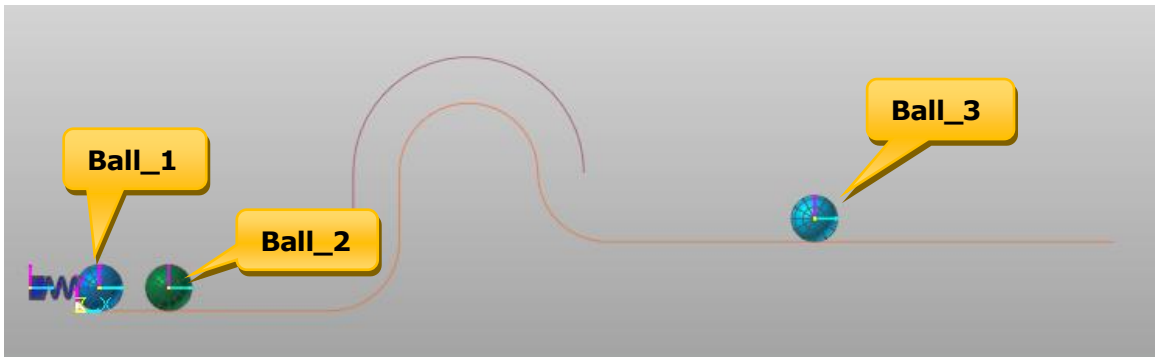
Ball Geometry 의 생성

Ball Geometry 와 Circle Geometry 생성하기



1. **Professional** 탭의 **Marker and Body** 그룹에서 **Ellipsoid** 를 클릭합니다.
2. **Creation Method** 툴바를 **Point, Distance** 로 설정하고 아래의 값을 입력합니다.
 - **Point:** 10, 10, 0
 - **Distance:** 10
3. **Body1** 의 이름을 Property 대화상자를 열어서 이름을 **Ball_1** 로 변경합니다.
4. **1-3** 과정을 아래 정보들을 사용하여 두 번 반복합니다.
 - **Point:** 40, 10, 0
 - **Distance:** 10
 - **Body Name:** Ball_2

 - **Point:** 320, 40, 0
 - **Distance:** 10
 - **Body Name:** Ball_3



모델 저장하기

다음 장으로 넘어가기 전에 현재의 모델을 저장합니다. (**Tip: File** 메뉴에서 **Save** 를 클릭합니다.)



Chapter

4

Force 와 Contact 생성

이 모델의 움직임은 Spring Force 에 의해 시작됩니다. 압축된 Spring 은 Ball_1 을 움직이게 하고 Ball_2 는 Ball_1 와의 접촉력에 의해 Guide 를 따라 움직이게 됩니다. 최종적으로는 Ball_3 가 Ball_2 와의 접촉력에 의해 움직이게 됩니다.

목적

아래와 같은 Force 와 Contact 을 생성해봅니다.

- Ball_1 을 움직이게 하는 압축 Spring Force
- Ball 과 Ball 사이에서의 Sphere To Sphere Contact
- Ball 과 Guide 사이에서의 Geo Curve Contact



예상 소요 시간

20 분

압축 **Spring** 의 생성

Spring Force 를 생성한 후, 압축 상태를 표현하기 위해서 그 Spring 의 Properties 를 수정합니다. 그 결과, Ball_1 은 시뮬레이션이 시작되면 오른쪽으로 밀려 나갈 것입니다.

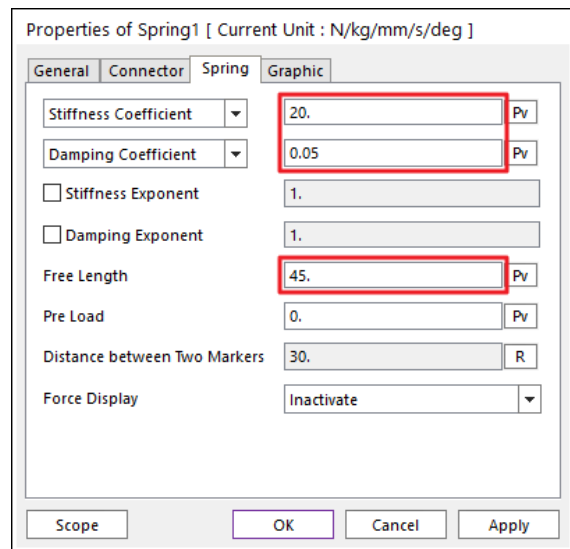
Spring 생성하기



1. **Professional** 탭의 **Force** 그룹에서 **Spring** 을 클릭합니다.
2. Creation Method 툴바를 **Body, Body, Point, Point** 로 설정합니다.
3. Spring 의 Base Body 를 Ground 로 선택하기 위해서 Working Window 의 빈 공간을 클릭합니다. (또는 Ground 를 직접 입력합니다.)
4. Spring 의 Action Body 로 **Ball_1** 을 선택합니다.
5. Spring 의 Base, Action Point 로 아래 값을 입력합니다.
 - **Point1:** -20, 10, 0
 - **Point2:** 10, 10, 0

Spring Property 수정하기

1. **Spring1** 의 Property 대화상자를 엽니다.
2. **Spring** 탭에서 다음의 값으로 변경합니다.
 - **Stiffness Coefficient:** 20
 - **Damping Coefficient:** 0.05
 - **Free Length:** 45



생성시 정의된 길이는 30mm 입니다. Free Length 를 45 로 변경하므로, Spring 은 15mm 만큼 압축된 상태로 정의됩니다. Spring Coefficient 를 20 으로 설정하여, 300N 의 하중이 시뮬레이션 초반에서 Ball 에 적용되고 Spring 의 길이가 45mm 까지 늘어나면 Force 는 0 이 됩니다.

3. **Graphic** 탭에서 **Spring Diameter** 값을 **10** 으로 변경합니다.
4. **OK** 를 클릭합니다.

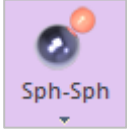
Properties of Spring1 [Current Unit : N/kg/mm/s/deg]

General	Connector	Spring	Graphic
Spring Diameter			10.
Number of Coils			5
Distance between Base Marker and Damper			0.
Distance between Action Marker and Damper			0.
Spring Color			Automatic
Each Rendering			WireFrame
<input type="checkbox"/> Simple Graphic			
<input type="checkbox"/> Length of Damper			6.
<input type="checkbox"/> Coil Radius			0.900000035762787

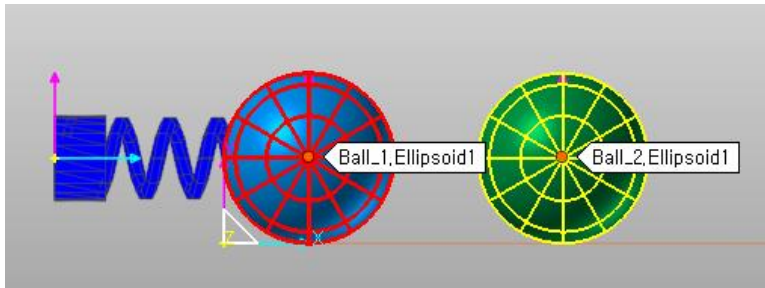
Scope OK Cancel Apply

Ball 과 Ball 사이에서의 Contact 정의

Ball 과 Ball 사이에서의 Contact 생성하기



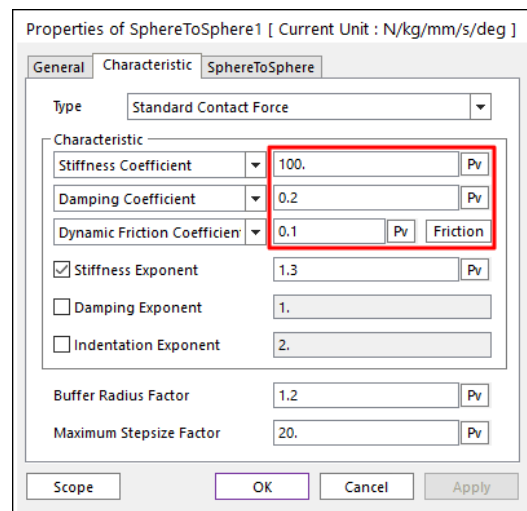
1. **Professional** 탭의 **Contact** 그룹에서 **Sph-Sph** 를 클릭합니다.
2. Creation Method 툴바를 **Sphere, Sphere** 로 설정합니다.
3. 아래의 Geometry 들을 선택합니다.
 - **Sphere:** Ball_1.Ellipsoid1
 - **Sphere:** Ball_2.Ellipsoid1



4. 다시 **Professional** 탭의 **Contact** 그룹에서 **Sph-Sph** 를 클릭하고 아래의 Geometry 들을 선택합니다.
 - **Sphere:** Ball_2. Ellipsoid1
 - **Sphere:** Ball_3. Ellipsoid1

Ball 과 Ball 사이에서의 Contact Property 수정하기

1. **SphereToSphere1** 의 Property 대화상자를 엽니다.
2. **Characteristics** 탭에서 다음과 같이 변경합니다.
 - **Stiffness Coefficient:** 100
 - **Damping Coefficient:** 0.2
 - **Dynamic Friction Coefficient:** 0.1
3. **OK** 를 클릭합니다.
4. **SphereToSphere2** 에 대한 Property 도 위와 동일한 설정으로 변경합니다.



Ball 과 Guide 사이에서의 Contact 정의

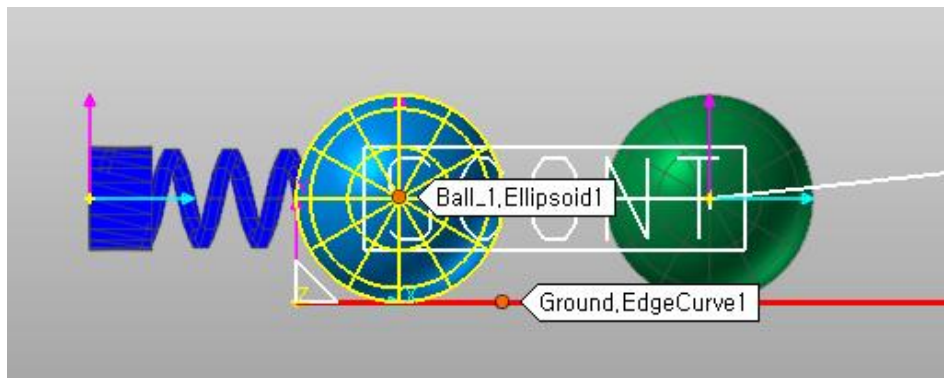
Ball_1 은 Spring 에 의해 구속되어 하단의 Guide Geometry 와 Contact 될 것입니다.

Ball_1 과 하단 Guide Geometry 사이에서의 Contact 생성하기



1. Professional 탭의 2D Contact 그룹에서 GeoCir 을 클릭하고 아래의 Geometry 들을 선택합니다.

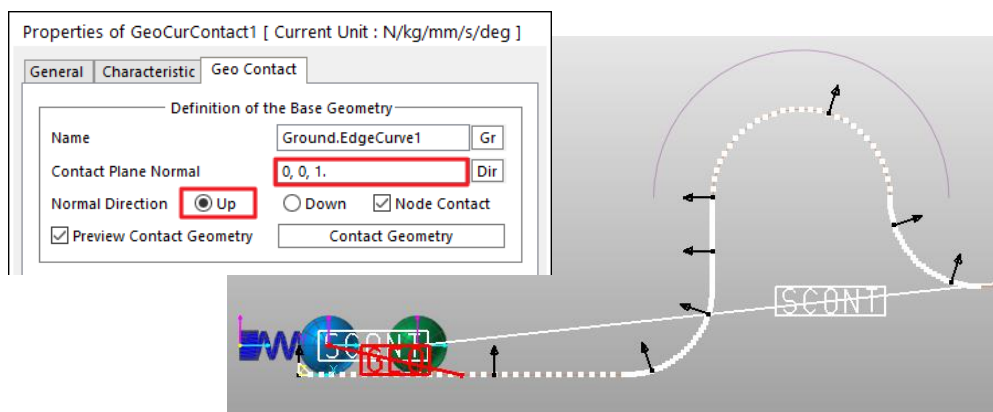
- **Curve:** Ground.EdgeCurve1
- **Circle(Sphere):** Ball_1.Ellipsoid1



2. GeoCurContact1 의 Property 대화상자를 엽니다.

3. Geo Contact 탭에서 그림과 같이 Preview 화살표가 향하도록 변경합니다.

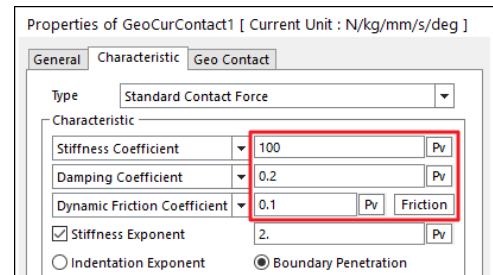
- **Contact Plane Normal(Base):** 0, 0, 1
- **Normal Direction(Base):** Up



4. **Characteristic** 탭에서 다음의 값으로 변경합니다.

- **Stiffness Coefficient:** 100
- **Damping Coefficient:** 0.2
- **Dynamic Friction Coefficient:** 0.1

5. **OK** 를 클릭합니다.

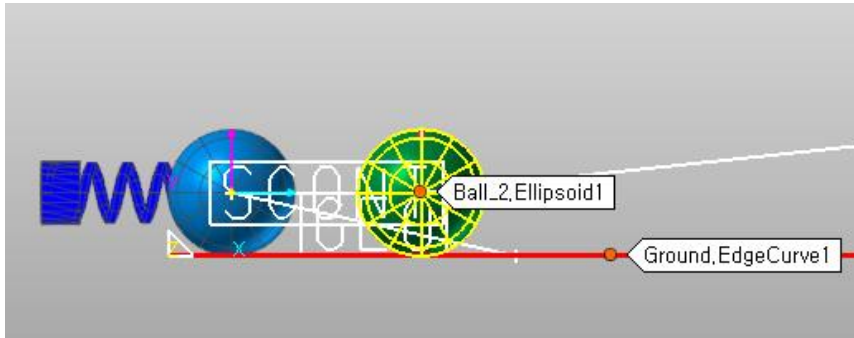


Ball_2와 하단 **Guide Geometry** 사이에서의 **Contact** 생성하기



1. **Professional** 탭의 **2D Contact** 그룹에서 **GeoCir** 를 클릭하고 아래의 Geometry 들을 선택합니다.

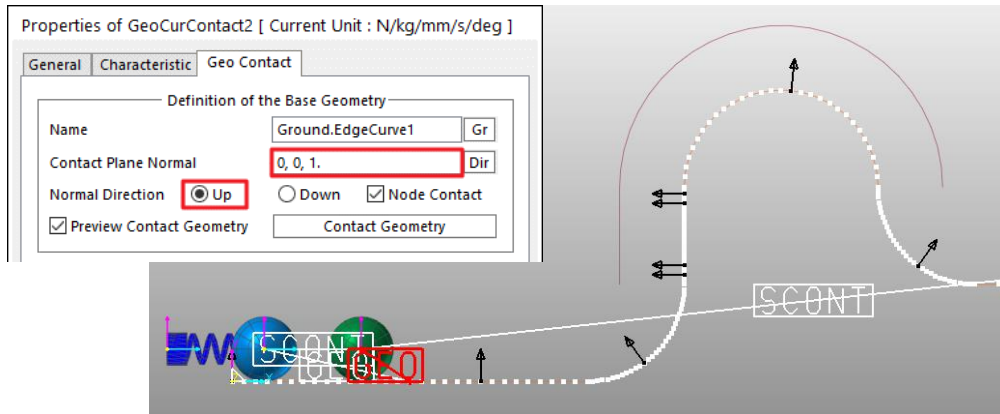
- **Curve:** Ground.EdgeCurve1
- **Circle(Sphere):** Ball_2.Ellipsoid1



2. **GeoCurContact2** 의 Property 대화상자를 엽니다.

3. **Geo Contact** 탭에서 그림과 같이 Preview 화살표가 향하도록 변경합니다.

- **Contact Plane Normal(Base):** 0, 0, 1
- **Normal Direction(Base):** Up



4. **Characteristic** 탭에서 다음의 값으로 변경합니다.

- **Stiffness Coefficient:** 100
- **Damping Coefficient:** 0.2
- **Dynamic Friction Coefficient:** 0.03

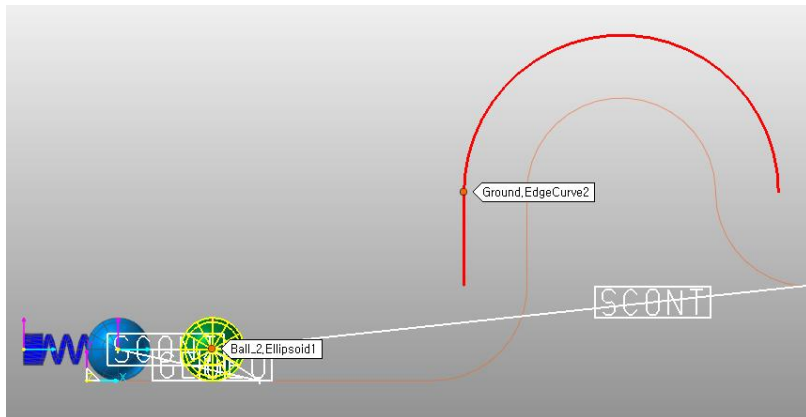
5. **OK** 를 클릭합니다.

Ball_2 와 상단 **Guide Geometry** 사이에서의 **Contact** 생성하기



1. **Professional** 탭의 **2D Contact** 그룹에서 **GeoCir** 를 클릭하고 아래의 Geometry 들을 선택합니다.

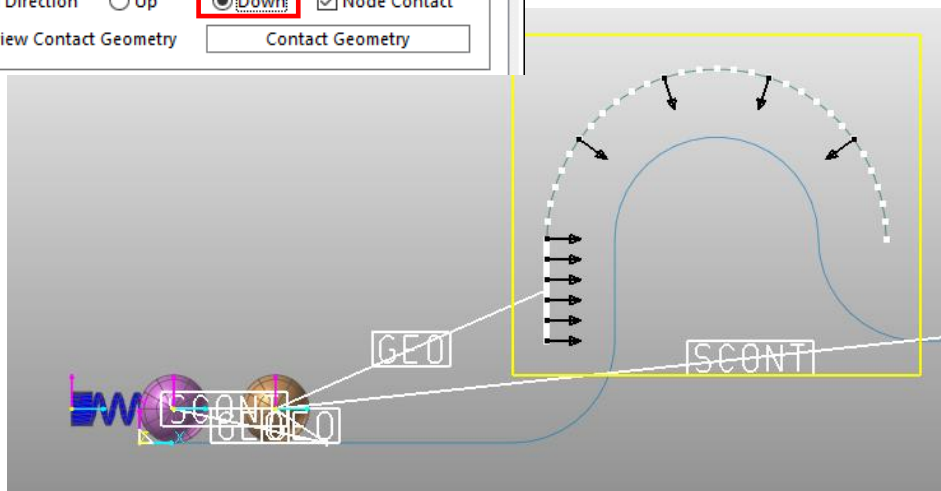
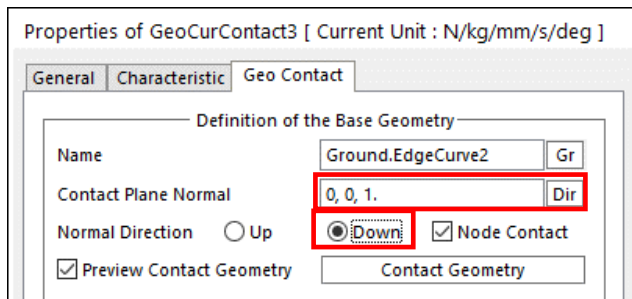
- **Curve:** Ground.EdgeCurve2
- **Circle(Sphere):** Ball_2.Ellipsoid1



2. **GeoCurContact3** 의 Property 대화상자를 엽니다.

3. **Geo Contact** 탭에서 그림과 같이 Preview 화살표가 향하도록 변경합니다.

- **Contact Plane Normal(Base):** 0, 0, 1
- **Normal Direction(Base):** Down



4. **Characteristic** 탭에서 다음의 값으로 변경합니다.

- **Stiffness Coefficient:** 100
- **Damping Coefficient:** 0.2
- **Dynamic Friction Coefficient:** 0.03

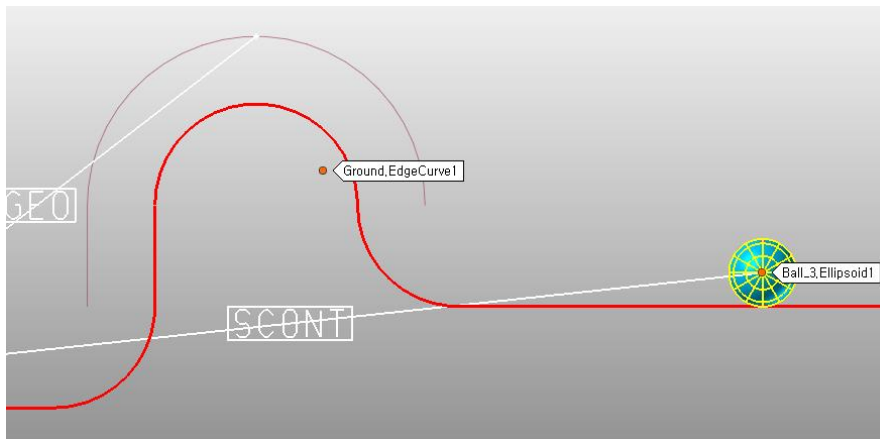
5. **OK** 를 클릭합니다.

Ball_3 와 하단 **Guide Geometry** 사이의 **Contact** 을 생성하기



1. **Professional** 탭의 **2D Contact** 그룹에서 **GeoCir** 를 클릭하고 아래의 Geometry 들을 선택합니다.

- **Curve:** Ground.EdgeCurve1
- **Circle(Sphere):** Ball_3.Ellipsoid

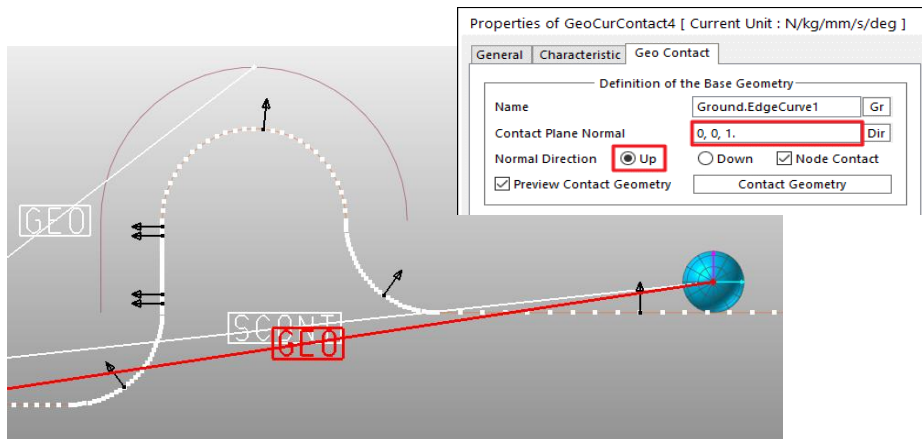


2. **GeoCurContact4** 의 Property 대화상자를 엽니다.

3. **Geo Contact** 탭에서 그림과 같이 Preview 화살표가 향하도록 변경합니다.

- **Contact Plane Normal(Base):** 0, 0, 1

- **Normal Direction(Base Geometry): Up**



4. **Characteristic** 탭에서 다음의 값으로 변경합니다.

- **Stiffness Coefficient:** 100
- **Damping Coefficient:** 0.2
- **Dynamic Friction Coefficient:** 0.1

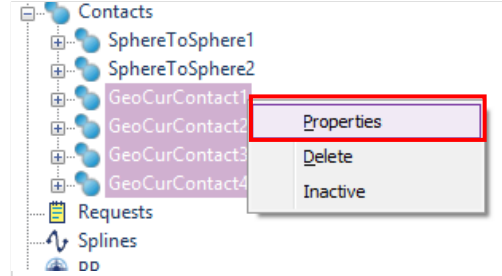
5. **OK** 를 클릭합니다.

Contact 의 Smooth 옵션과 Force Display 정의하기

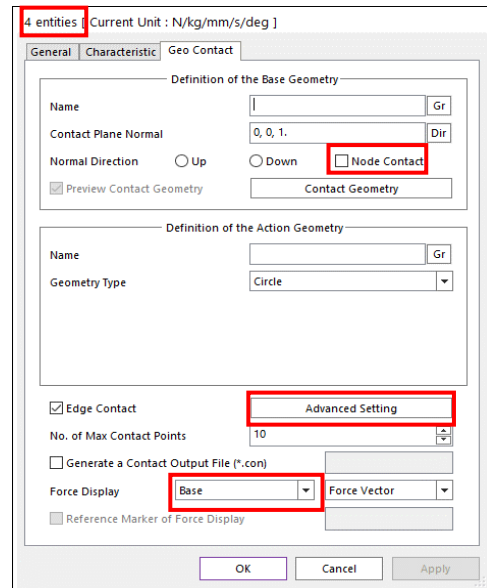
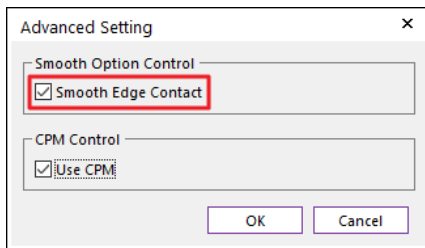
Ball 과 Guide 사이에 Smooth Contact 옵션을 적용하고 Contact 결과를 시각적으로 확인하기 위해 Force Display 와 관련된 옵션을 정의합니다.

1. Database 에서 **GeoCurContact** 4 개를 모두 선택한 후 **Ctrl Key** 를 누른 상태에서 마우스 오른쪽을 클릭하여 **Properties** 를 클릭합니다.

여러 Entity 의 Property 를 한번에 수정할 수 있는 Multi-Property 대화상자가 열립니다.



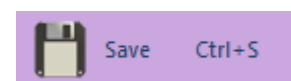
2. **Geo Contact** 탭에서 **Node Contact** 을 해지합니다.
3. **Advance Setting** 버튼을 클릭합니다.
4. **Advance Setting** 대화상자가 나타나면 **Smooth Edge Contact** 을 켭니다.



5. **OK** 를 눌러 대화상자를 닫습니다.
6. **Geo Contact** 탭에서 **Force Display** 를 **Base** 로 변경합니다.
7. Multi-Property 대화상자에서 **OK** 를 클릭합니다.

모델 저장하기

다음 장으로 넘어가기 전에 현재의 모델을 저장합니다. (Tip : File 메뉴에서 **Save** 를 클릭합니다.)



Chapter

5

Expression Scope 생성과 해석

목적

이 장에서는 두 Body 간의 거리를 측정하는 Expression 을 정의해 보고 시뮬레이션을 실행해봅니다. 또한, Expression 결과를 Scope 를 통해 확인해 봅시다.



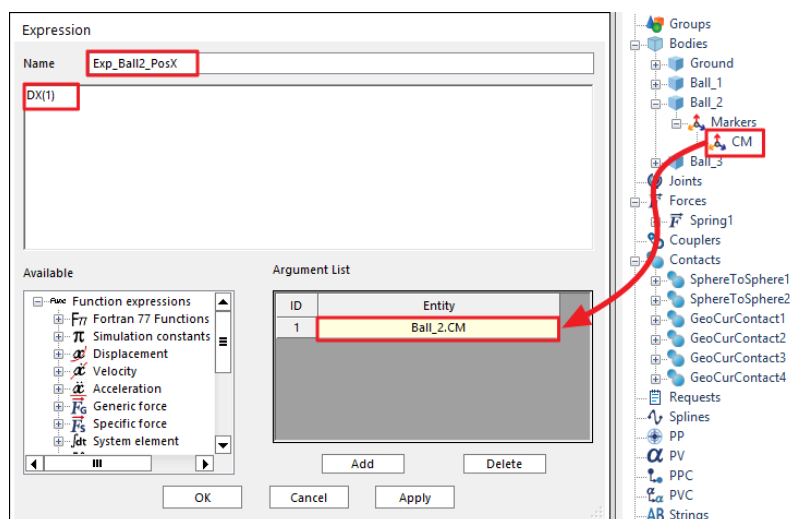
예상 소요 시간

30 분

Expression 정의

두 Body 간의 거리를 측정하는 Expression 을 정의합니다.

1. **SubEntity** 탭의 **Expression** 그룹에서 **Expression** 을 클릭합니다.
2. **Expression List** 대화상자가 나타나면 **Create** 버튼을 클릭합니다.
3. **Expression** 대화상자가 나타나면 다음과 같이 합니다.
4. **Name** 을 **Exp_Ball2_PosX** 로 변경합니다.
5. **Expression** 텍스트 상자에서 **DX(1)**를 입력합니다.
6. **Expression** 대화상자의 **Argument List** 에서 **Add** 를 클릭합니다.
7. Database 에서 **Ball_2** 목록을 펼친 후 하위에 나타나는 **Markers** 목록을 펼칩니다.
8. Database 의 **Ball_2** 아래에 있는 **Markers** 목록에서 **CM** 을 Expression 대화상자의 **Argument List** 에 빈 텍스트 박스 안으로 드래그합니다.

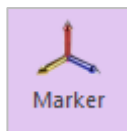


9. **Expression** 대화상자에서 **OK** 를 클릭합니다.
10. **Expression List** 대화상자에서 **OK** 를 클릭합니다.

Tip: Expression 의 Marker 변경하기

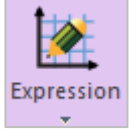
위 Expression 에서 Argument List 에 사용된 Marker 는 Body 의 Center Marker(**CM**)로 무게중심을 의미합니다. Expression 에서는 **CM** 대신에 사용자가 정의한 **General Marker** 를 사용할 수도 있습니다.

General Marker 는 **Professional** 탭의 **Marker and Body** 그룹에 **Marker** 를 클릭하면 생성할 수 있습니다.



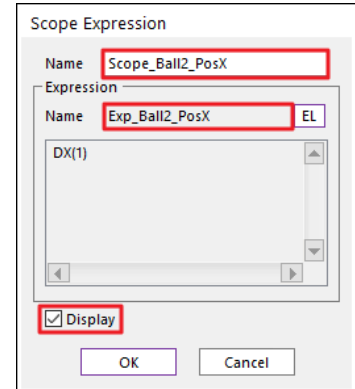
Expression Scope 생성

위에서 정의한 **Exp_Ball2_PosX** 에 대한 결과를 **Plot** 을 거치지 않고 바로 **Scope** 를 생성하여 확인할 수 있습니다.



1. **Analysis** 탭의 **Scope** 그룹에서 **Expression** 을 클릭합니다.
2. **Name** 을 **Scope_Ball2_PosX** 로 변경합니다.
3. **EL** 버튼을 클릭하여 위에서 생성한 **Exp_Ball2_PosX** 를 클릭 후 **OK** 를 클릭합니다.
4. **Display** 체크된 것을 확인 후 **OK** 를 클릭합니다.

Expression 에 대한 Scope 를 볼 준비가 되었습니다.

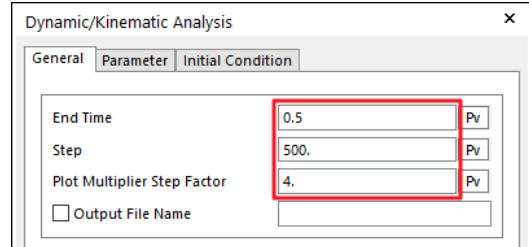


Dynamic/Kinematic 해석의 실행

방금 생성된 모델에서, Force 와 Motion 이 미치는 영향을 보기 위해 Dynamic/Kinematic 해석을 실행합니다.

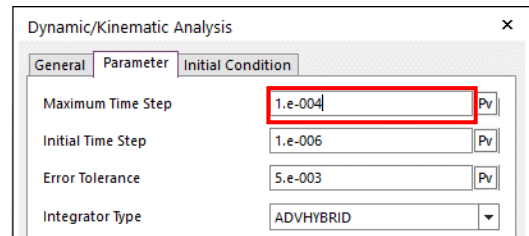


1. **Analysis** 탭의 **Simulation Type** 그룹에서 **Dyn/Kin** 을 클릭합니다.
2. **General** 탭에서 시뮬레이션의 **End Time** 과 **Step** 의 수를 정합니다.
 - **End Time:** 0.5
 - **Step:** 500
 - **Plot Multiplier Step Factor:** 4

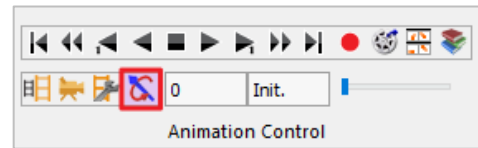


3. **Parameter** 탭에서 **Maximum Time Step** 을 **1.e-004** 로 변경합니다.
4. **Simulate** 를 클릭합니다.

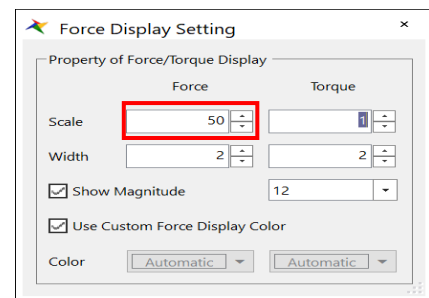
RecurDyn 은 Ball 과 Spring, Contact 들에 있는 Motion 들과 Force 들을 계산합니다. Step 의 수가 500 이고 Plot Multiplier Step Factor 가 4 이기 때문에 2000 개의 Plot 이 출력됩니다.



5. **Analysis** 탭의 **Animation Control** 그룹에서 **Force Display Setting** 을 클릭합니다.

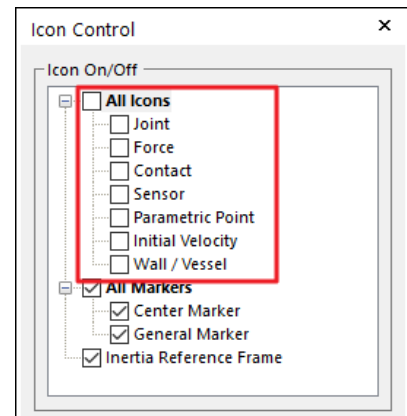


6. Contact 에 대한 Force Display 결과를 명확하게 확인하기 위해 **Scale** 을 **50** 으로 변경합니다.

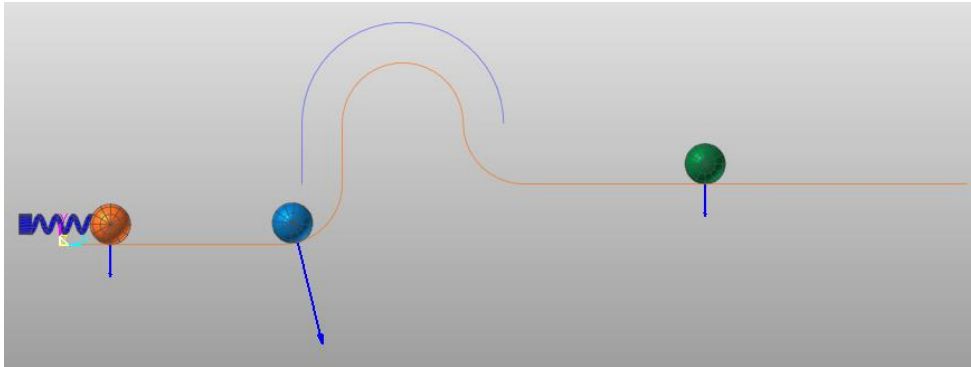




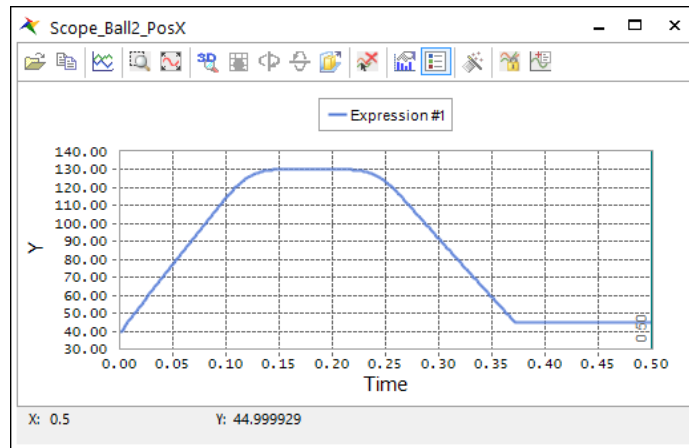
7. **View Control** 툴바에서 **Icon Control** 을 클릭합니다.
8. **All Icon** 를 체크를 해지하여 Working Window 의 모든 아이콘을 숨깁니다.
9. **Icon Control** 대화상자를 닫습니다.



10. **Analysis** 탭의 **Animation Control** 그룹에서 **Play** 버튼을 눌러 모델을 움직이게 합니다.



위에서 정의한 Expression 에 대한 Scope 결과가 아래와 같이 그려집니다.



Spring 의 **Free Length** 를 45mm 부터 54 까지 1mm 씩 키우면서 해석해보고 싶은 경우 수동으로 대화상자에서 값을 수정한 후 반복해서 해석을 진행해야 합니다. 이러한 반복 해석과정을 수동으로 하고 싶지 않을 경우 자동화된 Design Study 가 해결해 줄 것입니다.

Chapter

6

Design Study 의 실행

목적

이 장에서는 언덕 위로 Ball 이 움직일 수 있도록 Spring 에 어떻게 힘을 부여할 것인지 Design Study 를 실행하여 알아봅니다.



예상 소요 시간

30 분

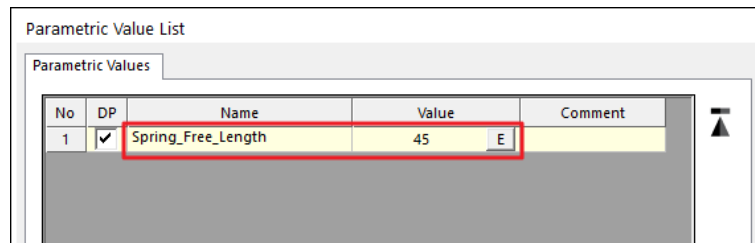
Design Study 의 실행

Design Study 과정 요약

1. **Parametric Value** 인 Spring 의 **Free Length** 를 정의합니다.
2. **Parametric Value** 로부터 **Design Variable** 를 정의합니다.
Spring 의 **Free Length** 의 범위는 **45mm** 에서 **54mm** 까지입니다.
3. **Performance Index** 를 정의합니다.
Ball_2 의 X 방향 최대값을 측정할 것이며, **Ball_2** 의 X 방향 최대값이 **170** 이상되려면 **Ball_2** 는 수직으로 된 장애물의 꼭대기를 지나가야 합니다.
4. **Number of Trials** 를 **10** 으로 설정합니다.
45mm 부터 1mm 의 간격으로 10 번 변경되어 54mm 까지 변경됩니다.
5. Design Study 를 실행합니다. Output 들은 다른 Output 파일들을 자동적으로 연결하게 될 것입니다.
6. Design Study 에서 결과를 검토하고 Plot 합니다.
7. 특정 실험을 선택하여 Animation 으로 봅니다.

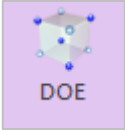
Parametric Value 정의하기

1. **Spring1** 의 Property 를 엽니다.
2. **Free Length** 옆에 있는 **Pv** 버튼을 클릭합니다.
3. Parametric Value List 대화상자가 나타나면 **Add** 버튼을 클릭하여 아래와 같이 입력합니다.
 - **Name:** Spring_Free_Length
 - **Value:** 45

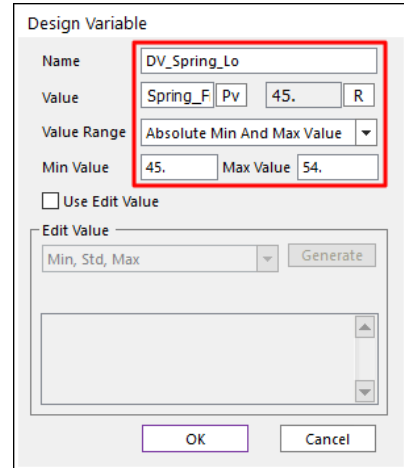


4. Parametric Value List 대화상자에서 **OK** 를 클릭합니다.
5. **Free Length** 에 **PV** 가 정상적으로 입력되었는지 확인하고 **Spring1** 의 Property 대화상자에서 **OK** 를 클릭합니다.

Design Variable 정의하기

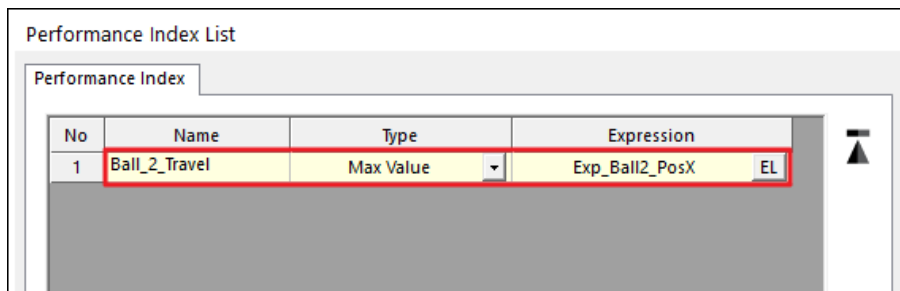


1. **Analysis** 탭의 **Simulation Type** 그룹에서 **DOE** 를 클릭하여 Design Study 대화상자를 엽니다.
2. **Design Variables** 에서 **Add** 버튼을 클릭합니다.
3. **Design Variable List** 대화상자가 나타나면 **Create** 버튼을 클릭합니다.
4. **Design Variable** 대화상자가 나타나면 다음과 같이 입력합니다.
 - **Name:** DV_Spring_Lo
 - **Value:** Spring_Free_Length
 - **Value Range:** Absolute Min And Max Value
 - **Min Value:** 45
 - **Max Value:** 54
5. **OK** 를 클릭합니다.
6. Design Variable List 대화상자에서 **OK** 를 클릭합니다.



Performance Index 를 정의하기

1. **Design Study** 대화상자의 Performance Indexes 에서 **Add** 버튼을 클릭합니다.
2. **Performance Index List** 대화상자가 나타나면 **Add** 버튼을 클릭하고 다음과 같이 입력합니다.
 - **Name:** Ball_2_Travel
 - **Type:** Max Value
 - **Expression:** Exp_Ball2_PosX



3. Performance Index List 대화상자에서 **OK** 를 클릭합니다.

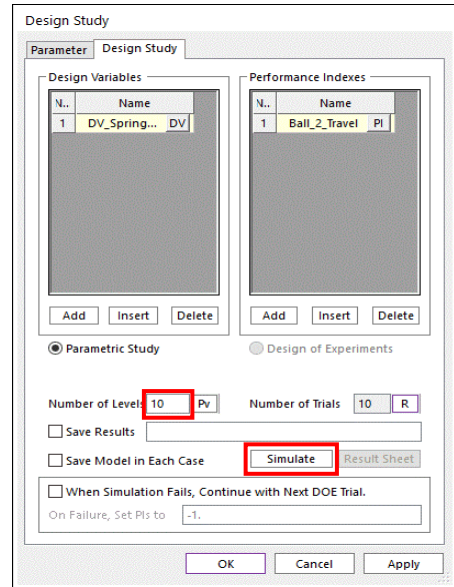
Number of Trials 설정하기

Design Study 대화상자의 **Number of Levels** 에서 **10** 을 입력합니다.

Design Study 실행하기

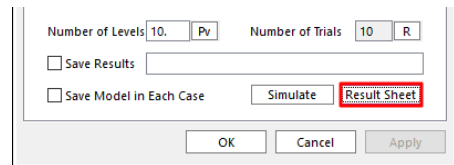
Design Study 대화상자에서 **Simulate** 버튼을 클릭합니다.

Output 윈도우에서 10 번 실행이 됨을 알 수 있으며, 실행이 완료되면 Design Study 대화상자가 다시 나타납니다.



Plot 결과 검토하기:

1. **Result Sheet** 버튼을 클릭합니다.



10 번 실행된 목록이 나타납니다.

- 첫 번째 칸은 Spring 의 Free Length 값을 보여줍니다.
- 두 번째 칸은 Ball_2 중심의 최대 X 값을 보여줍니다.

Result Sheet

Trial	DV_Spring_Lo	Ball_2_Travel
1	45.	130.064087158639
2	46.	130.089686073584
3	47.	130.20559764986
4	48.	137.342120536347
5	49.	349.743558770731
6	50.	406.589406720865
7	51.	449.779277646003
8	52.	483.719685556996
9	53.	529.416570858589
10	54.	564.989957445384

Design Variables: DV_Spring_Lo Plot

Performance Indexes: Ball_2_Travel Plot

Multi-variate: Ball_2_Travel Plot

What-if Study: Export

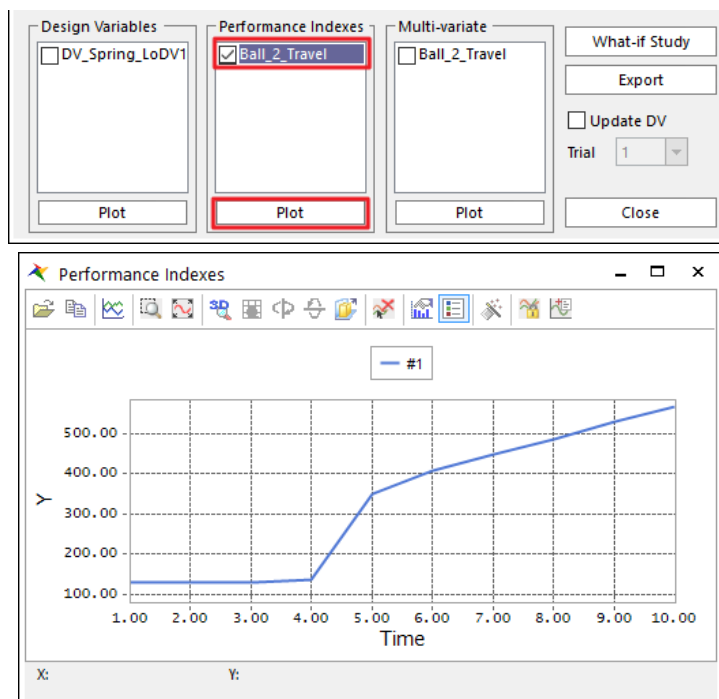
Update DV

Trial: 1

Close

2. **Performance Indexes** 제목 아래에 있는 Ball_2_Travel Performance Index 의 Plot 을 보기 위해 **Ball_2_Travel** 앞에 있는 박스를 클릭합니다.

3. **Plot** 을 클릭하면 다음과 같이 나타납니다.



4. Plot 창을 닫은 후 Result Sheet 대화상자에서 **Close** 를 클릭합니다.

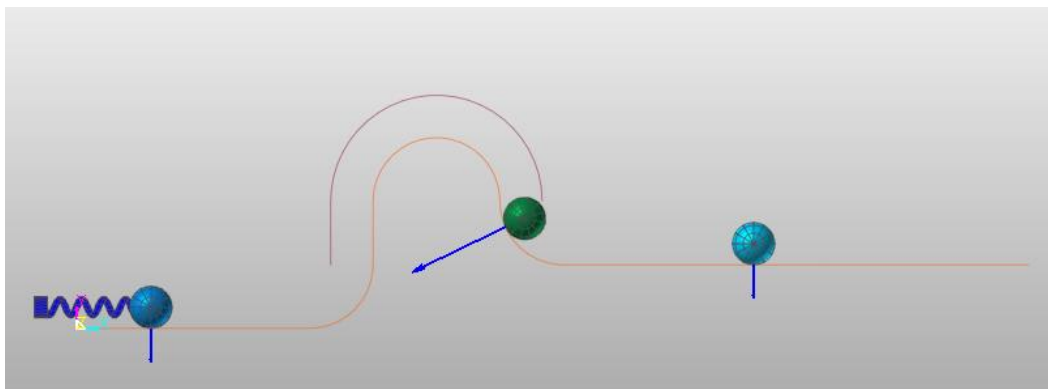
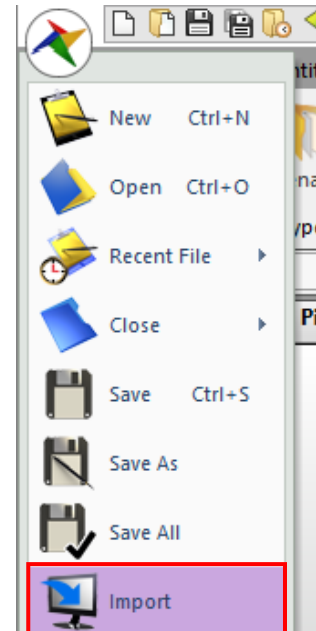
5. Design Study 대화상자에서 **OK** 를 클릭합니다.

실험 결과의 애니메이션 실행

Ball_2 가 수직으로 된 장애물을 처음으로 지나가는 실험이 5 번째 실험임을 확인할 수 있습니다.

특정 실험 결과를 애니메이션으로 실행하기

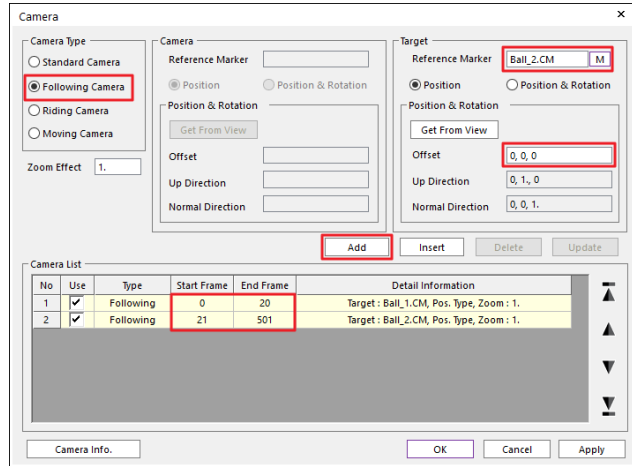
1. **File** 메뉴에서 **Import** 버튼을 클릭합니다.
2. **Files of Type** 을 **RecurDyn Animation Data File (*.rad)**으로 설정합니다.
3. 5 번째 실험의 애니메이션 결과가 담겨 있는 **Pinball_5.rad** 를 더블 클릭합니다.
4. **Animation** 툴바에서 **Play** 버튼을 누릅니다.



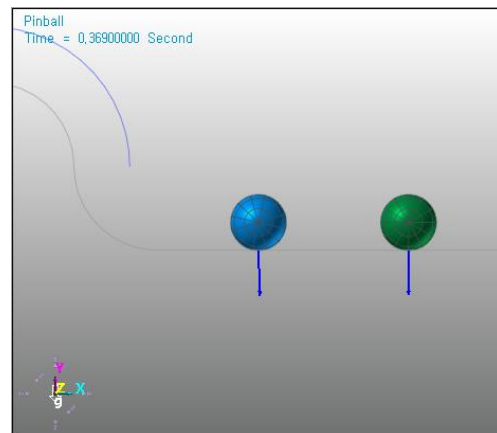
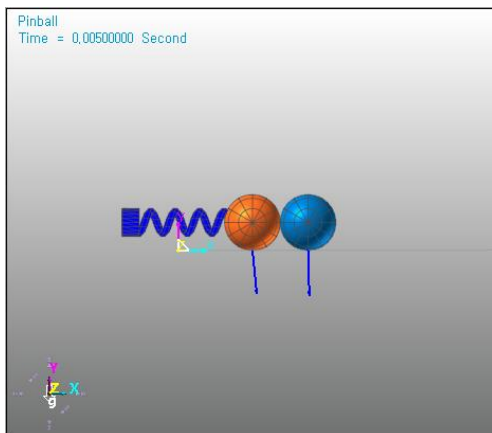
Select Camera 를 이용해서 애니메이션 재생하기



1. **Analysis** 탭의 **Animation Control** 그룹에서 **Select Camera** 를 클릭합니다.
2. **Camera** 대화상자가 나타나면 **Camera Type** 에서 **Following Camera** 를 선택합니다.
3. **Target** 의 입력란에 다음 정보를 입력합니다.
 - **Reference Marker:** Ball_1.CM
 - **Offset:** 0, 0, 0
4. **Add** 버튼을 클릭하여 **Camera List** 에 추가하고 List 에서 다음 정보를 변경합니다.
 - **Start Frame:** 0
 - **End Frame:** 20
5. 2-4 과정을 아래 정보를 이용하여 반복합니다.
 - **Reference Marker:** Ball_2.CM
 - **Offset:** 0, 0, 0
 - **Start Frame:** 21
 - **End Frame:** 501
6. **OK** 를 클릭합니다.



아래 그림과 같이 0 부터 20 까지의 Frame 에서는 Ball_1 의 CM 을 따라 애니메이션이 재생이 되다가 21 부터 501 까지의 Frame 에서는 Ball_2 의 CM 을 따라 재생됩니다. 다른 **Camera Type** 을 Frame 마다 적절하게 설정한 경우 보다 좋은 Posting 을 할 수 있습니다.



더 나은 결과를 위한 생각들

몇 번의 실험을 통해 얻은 애니메이션 결과를 보면, Pinball 모델의 움직임을 잘 이해할 수 있습니다. 여기서, 몇 가지를 더 생각해봅시다.

- 그 모델은 낮은 마찰 계수(0.1)이 사용되었고 표면에서 서로 영향을 미치고 있는 Ball의 마찰을 보여줍니다.
 - 낮은 마찰로 설정하는 것은 Pinball 모델을 위한 좋은 가설이지만, 무엇이 그 모델에 영향을 미칩니까?
 - 마찰계수는 얼마나 변경해야 합니까?
 - 이 모델에서 증가된 마찰 효과를 연구하기 위해서는 어떻게 해야 합니까?
 - 증가된 마찰은 Spring에 더 강한 힘을 부여합니까? 아니면 더 약한 힘을 부여합니까?

Thanks for participating in this tutorial!