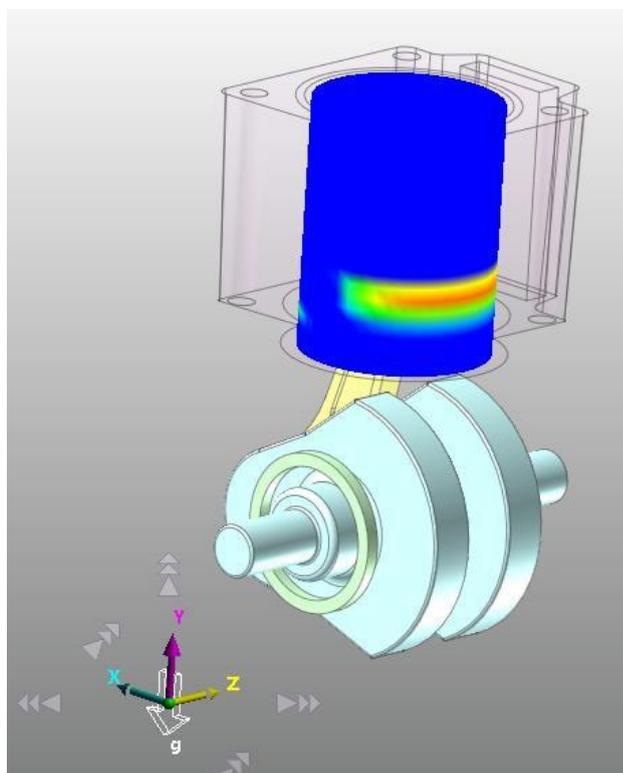




## 活塞润滑 (EHD)



## **FunctionBay 版权所有，保留所有权利。**

FunctionBay 的用户和培训文档受大韩民国以及其他国家和地区的版权法保护，并遵守许可协议中禁止任何形式的对这类文档的复制，披露和使用。对于软件媒介，FunctionBay 特此授予许可用户以本文档的印刷形式复制的权利，但仅限于内部/个人使用，且仅适用于许可协议中规定的可应用软件。任何副本中应包括 FunctionBay 的版权声明和 FunctionBay 提供的其他任何所有权声明。本文档不得披露，转载，修改或简化为任何形式，包括未经 FunctionBay 事先同意在网络媒体上公布或者转载包括，不得以任何方式授权为此目的制作副本。

此上所述信息仅供一般参考，如有更改，恕不另行通知，且不被解释为 FunctionBay 的担保或承诺。FunctionBay 对于此文档中可能出现的任何错误或不准确之处不承担任何责任或义务。

本文档中描述的软件是根据书面许可协议提供的，包含商业机密和专有信息，受大韩民国和其他国家/地区的版权法保护。未经授权使用该软件或其文档可能导致民事损害赔偿和刑事诉讼。

## **FunctionBay 或其子公司的注册商标**

**RecurDyn** 是 FunctionBay 的注册商标。

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

都是 FunctionBay 的商标

## **版注**

本档介绍了 **RecurDyn V9R2** 的发布信息。

---

# 目录

概述 .....	1
任务目标 .....	1
前提 .....	2
任务 .....	2
预计完成时间 .....	2
打开初始模型 .....	3
任务目标 .....	3
预计完成时间 .....	3
打开 RecurDyn 模型 .....	4
执行模拟 .....	5
用刚体分析活塞润滑 .....	6
任务目标 .....	6
预计完成时间 .....	6
创造活塞润滑 .....	7
定义活塞润滑 .....	8
活塞润滑动态分析及检测结果	10
用 RFlex 体分析活塞润滑 .....	14
任务目标 .....	14
预计完成时间 .....	14
创造 RFlex 体 .....	15
创造 PatchSet .....	16
定义活塞的模态压力负荷 .....	17
配置用于活塞润滑的 RFlex 体的 PatchSets .....	18
活塞润滑动态分析及检测结果	19
分析结果 .....	20
任务目标 .....	20
预计完成时间 .....	20
查看轮廓结果 .....	21
查看绘图结果 .....	22
检查所需点的油膜厚度 .....	24

---

修改活塞轮廓和分析活塞润滑 .....	26
任务目标 .....	26
预计完成时间 .....	26
修改活塞配置文件 .....	27
分析与比较 .....	28



## 概述

### 任务目标

固体物质之间的接触会产生摩擦，而流体润滑剂的目的是渗透到固体之间，并形成薄薄的油膜以减少由摩擦引起的磨损和摩擦热。该油膜使两个固体的表面避免直接接触，减少它们之间的摩擦和热量，并使它们平滑地运动。

润滑理论的历史始于一个方程，该方程来自两个固体物体之间狭窄间隙中存在的流体流动。这个方程式由 O. Reynolds 在 1886 年提出。这个方程式以提出者的名字命名，被称为雷诺 (Reynolds) 方程。它建立了润滑理论的基础。

在本教程中，基于雷诺方程开发的 EHD 元件（弹性，液压和动态）被运用于模拟发动机系统中的气缸和活塞之间的相互接触。此外，考虑到气缸和活塞的润滑特性，EHD 元件还被运用于对气缸和活塞进行动力学分析。

- 用刚性模型配置活塞润滑。
- 使用 RFlex 体替换刚体，执行活塞润滑分析，并检查润滑动作的结果。

## 前提

本教程适用于已完成 RecurDyn 提供的基本教程的用户。如果您还没有掌握上述教程，那么您应该在继续本教程之前完成上述教程的学习。

## 任务

本教程包含以下任务，每个任务所需时间在下面的表中列出。

步骤	时间（分钟）
打开初始模型	10
用刚体分析活塞润滑	30
用 RFlex 体分析活塞润滑	30
分析结果	10
修改活塞轮廓和分析活塞润滑	10
总计	90



### 预计完成时间

90 分钟



## 打开初始模型

### 任务目标

打开并观察初始模型。



### 预计完成时间

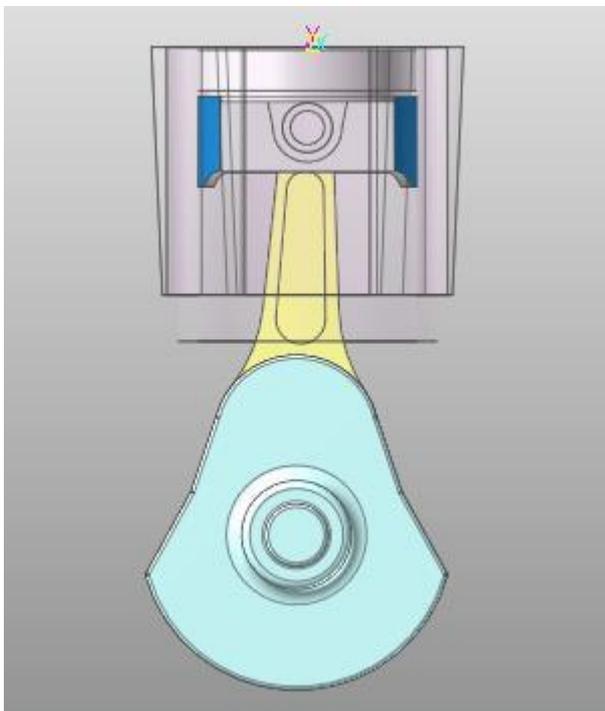
10 分钟

## 打开 RecurDyn 模型

### 运行 RecurDyn 并打开初始模型



1. 在桌面上，双击“RecurDyn”图标以打开 RecurDyn。
2. 出现“Start RecurDyn”对话框窗口时，将其关闭。
3. 在“File”菜单中，单击“Open”。
4. 导航到教程文件夹，然后选择“PistonLubricationEHD\_Start.rdyn”。（文件路径：< Install Dir > \ Help \ Tutorial \ Toolkit \ EHD \ PistonLubrication）。
5. 单击“Open”按钮。打开下图所示的模型。



下面介绍该模型的配置。

发动机缸体由 Cylinder, Piston, 活塞销(piston pin), 连杆(connecting rod)和曲柄(crank)组成。活塞移动原理：气体通过曲柄角度传递动力，进而使活塞移动。活塞和气缸通过平移接头连接，因此活塞仅上下移动。

### 保存模型

1. 在“File”菜单中，单击“Save As”。

(如果模型位于本教程路径中，则用户无法执行模拟操作。因此，用户必须将模型保存在其他路径中。)

## 执行模拟

本节将教您如何使用模型执行初始模拟，进而了解其中的动作。

### 执行初始模拟:

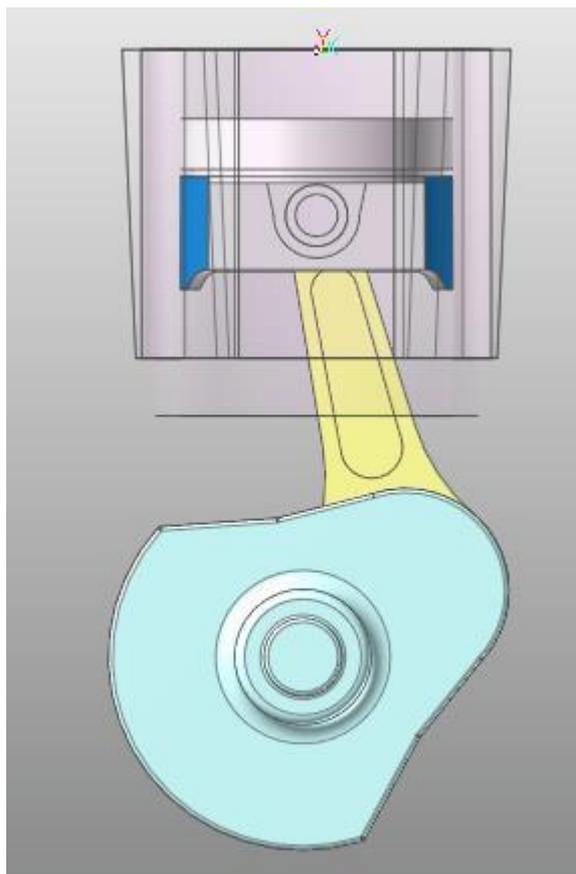


1. 在“Analysis”选项卡上的“Simulation Type”组中，单击“Dyn / Kin”图标，将出现“Dynamic/Kinematic Analysis”对话框。
2. 验证模拟条件后，单击“Simulation”。

### 查看结果:



在“Analysis”选项卡下的“Animation Control”组中，单击“Play”按钮，检查连杆是否如下图所示移动。





## 用刚体分析活塞润滑

### 任务目标

对于使用 EHD 的润滑分析，您应将气缸和发动机系统的活塞定义为活塞润滑力。在本章中，我们将保持建模元素，如关节和力，在先前打开的模型中按原样配置，并定义活塞润滑用于模拟和分析刚体的润滑作用。

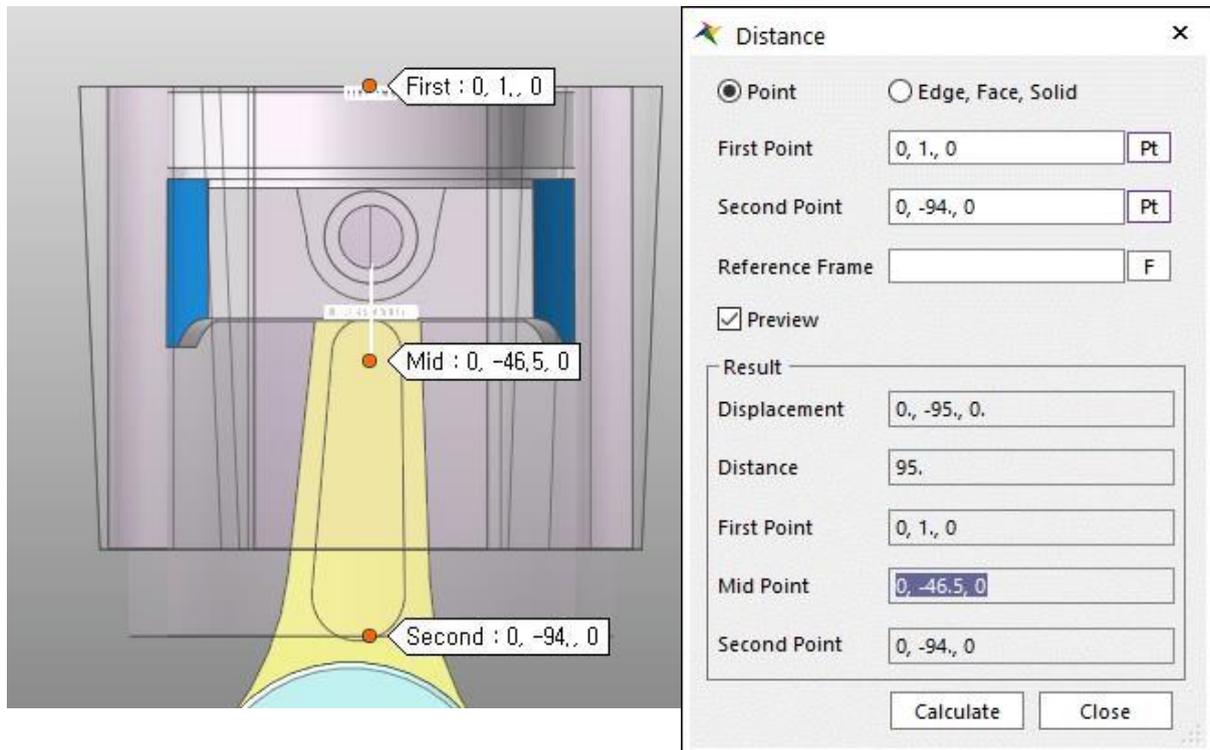


### 预计完成时间

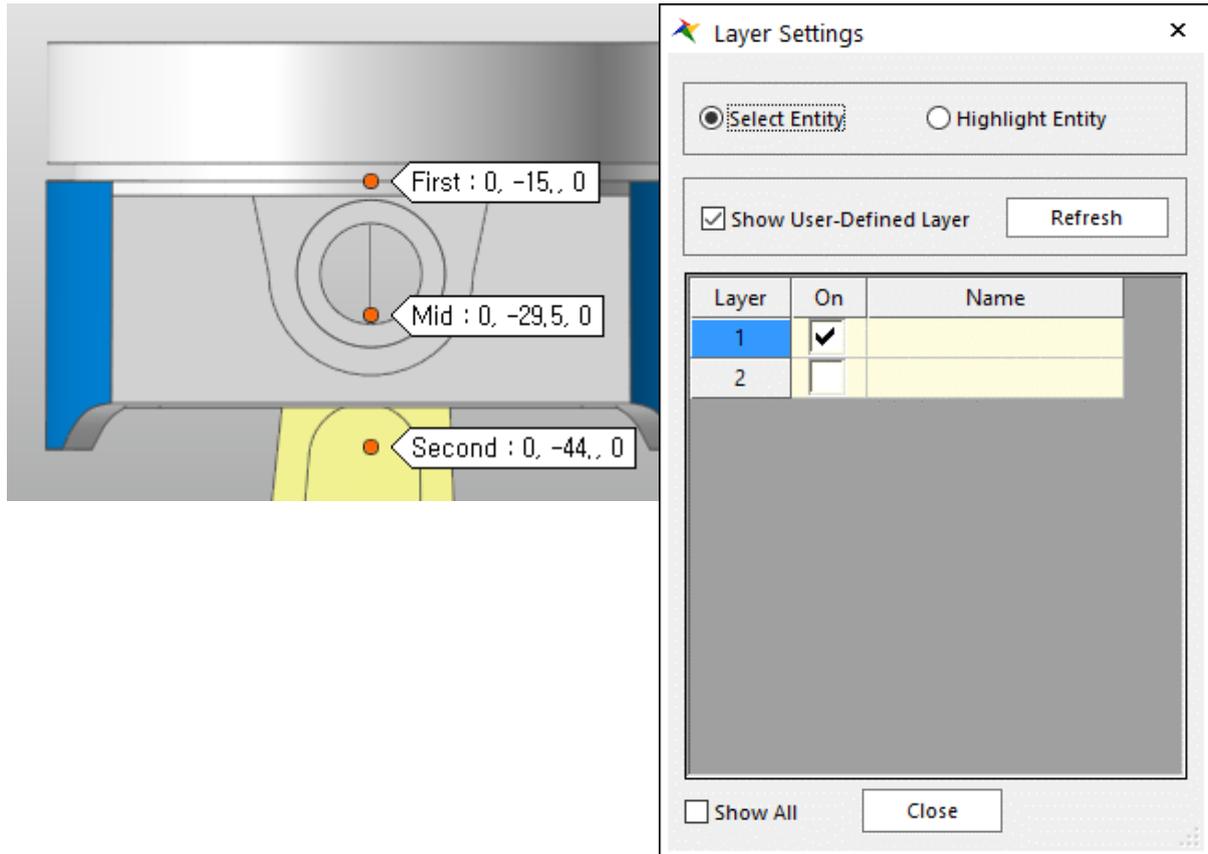
30 分钟

## 创造活塞润滑

1. 从上一个模型中，删除被定义为移动的“TraJoint1”。
2. 在“Toolkit”选项卡的“Toolkit”组中，单击“Piston Lubrication”图标。
3. 对于“Creation Method”，选择“Body”，“Point”，“Direction”，“Direction”，“Body”，“Point”，和“Direction”，“Direction”。
4. 对于第一个主体，选择“Cylinder”，将它作为“Base Body”，然后单击“0, -46.5, 0”，这是整个缸的中间部分。
  - 使用“Distance Measure”功能进行检查。



5. 为基体移动的轴输入“0,1,0”，为其旋转方向输入“1,0,0”。
6. 对于第二个主体，选择“Piston”即活动主体，然后单击“0, -29.5,0”，这是接触缸的区域的中间部分。
  - 在“Layer Settings”窗口中，取消选中“Show All”并取消选中缸所属的图层，以便您可以轻松选择活塞主体。

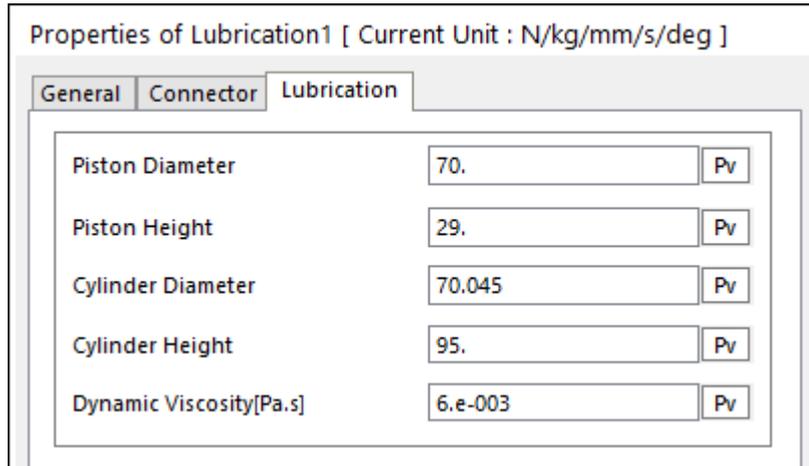


7. 为动作主体移动的轴输入“0,1,0”，并为其旋转方向输入“1,0,0”。您应该将方向设置为与缸体设置相同的方向。
8. 确保已在“Database Window”中创建了力。

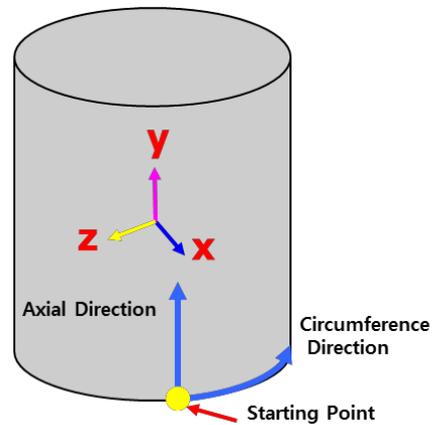
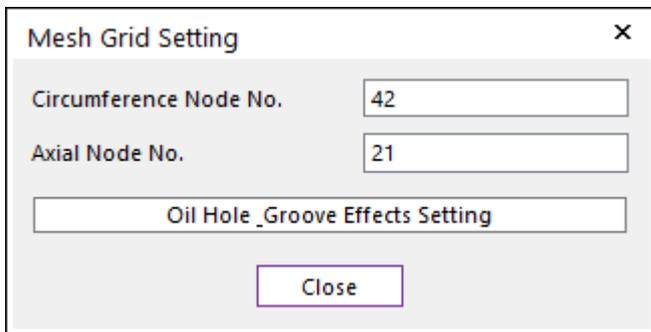
## 定义活塞润滑

在之前创建的活塞润滑中，我们不考虑缸和活塞的实际几何形状就设置默认值。现在，您应该再次使用几何的值设置它们。

1. 右键单击“Lubrication1”，然后在上下文菜单中选择“Property”。
2. 在“Piston Diameter”字段中输入“70”，在“Piston Height”字段中输入“29”，在“Cylinder Diameter”字段中输入“70.045”，在“Cylinder Height”字段中输入“95”。
  - 缸和活塞之间的初始间隙值是两个直径之差除以 2。在本教程中，它是 0.0225。



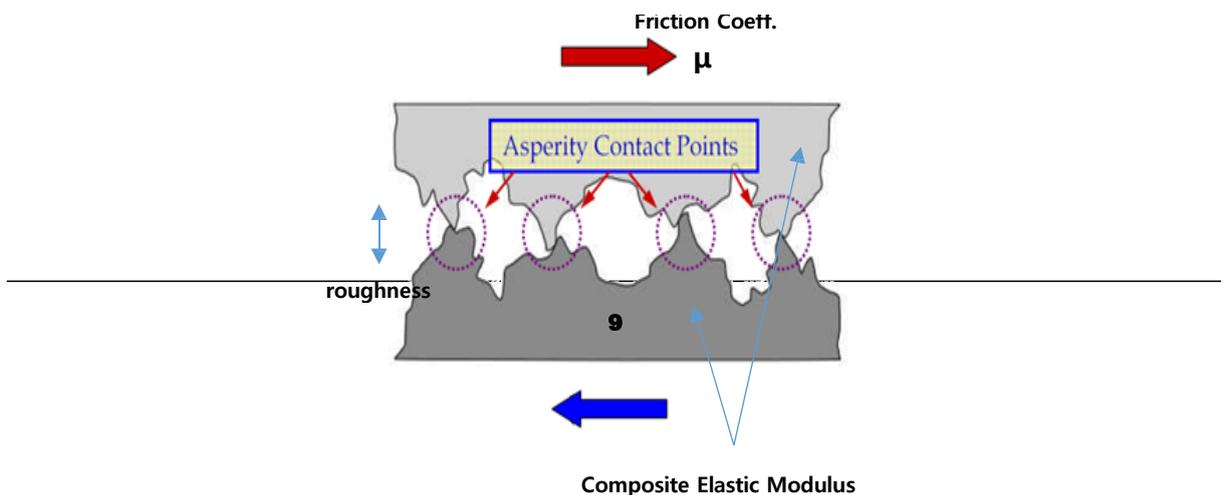
3. 单击“Mesh Grid Setting”以调整网格大小。在“Circumference Node No.”字段中输入“42”，在“Axial Node No.”字段中输入“21”。



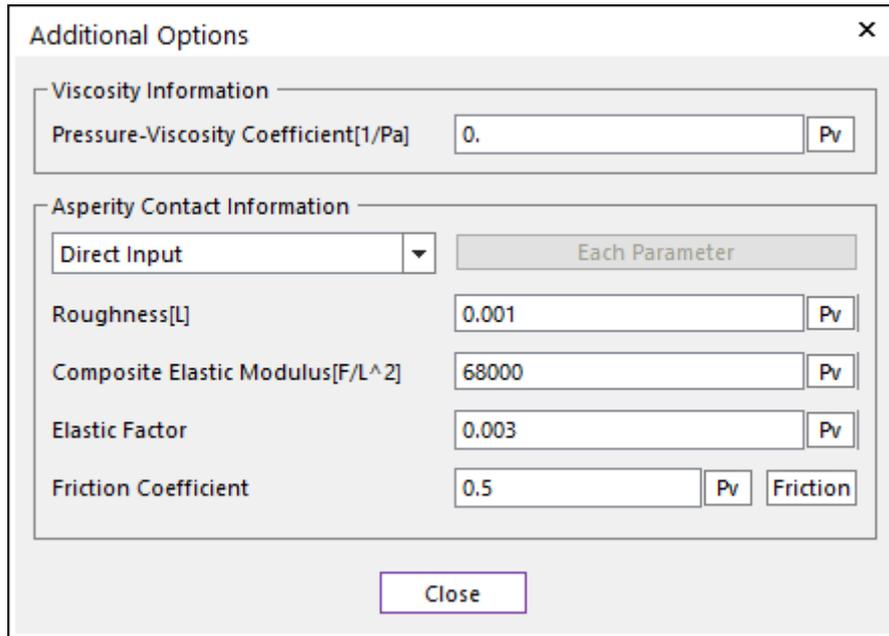
- 对于每个方向，请参阅右图。

- 如果圆周和轴向的网格尺寸相似，则可以更有效地执行 EHD 分析。
- 在本教程中，圆周长度之和为  $70.045 * \pi = 220.05$ ，高度为 95。因此，如果要使用大小约为 5mm 的网格，则圆周方向上的适当数量为 44 而轴向是 19。

4. 对于粗糙接触 (asperity contact)，单击“Additional Options”以配置其他设置。如果在润滑作用期间油膜的厚度变得小于粗糙度乘以 4，则发生粗糙接触。



- 输入参数值以计算粗糙接触，如下所示：
  - Roughness: 0.001
  - Composite Elastic modulus: 68000
  - Elastic Factor: 0.003
  - Friction Coefficient: 0.5



5. 单击“Close”按钮关闭窗口，然后单击“Lubrication1”的“Properties”对话框中的“OK”按钮将其关闭。

## 活塞润滑动态分析及检测结果

### 运行活塞润滑模拟：



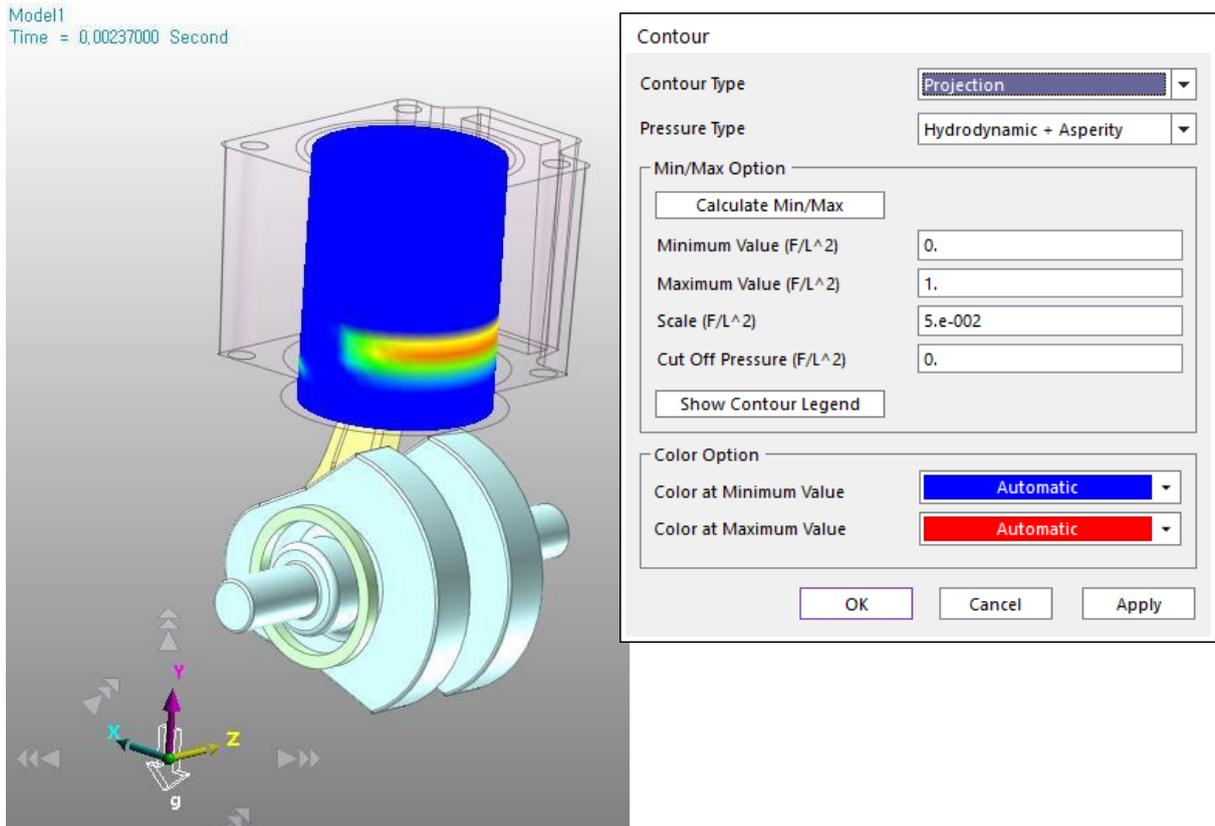
1. 将模型保存为“PistonLubricationEHD\_Rigid.rdyn”。
2. 在“Analysis”选项卡上的“Simulation Type”组中，单击“Dyn / Kin”图标。将出现“Dynamic/Kinematic Analysis”对话框。
3. 验证模拟条件后，单击“Simulation”。

### 查看结果：

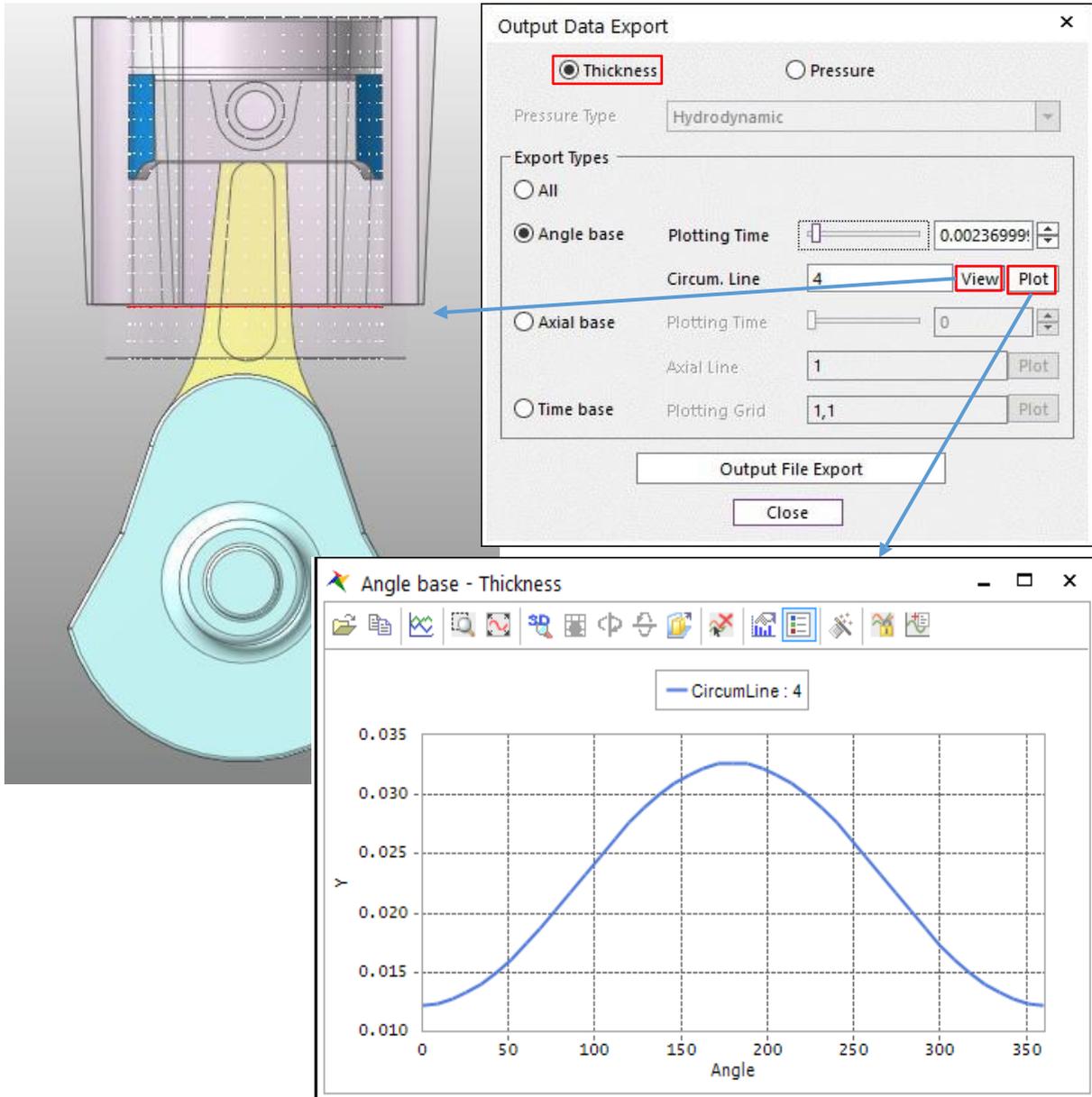


1. 在“Analysis”选项卡上的“Animation Control”组中，单击“Play”按钮以查看动画。

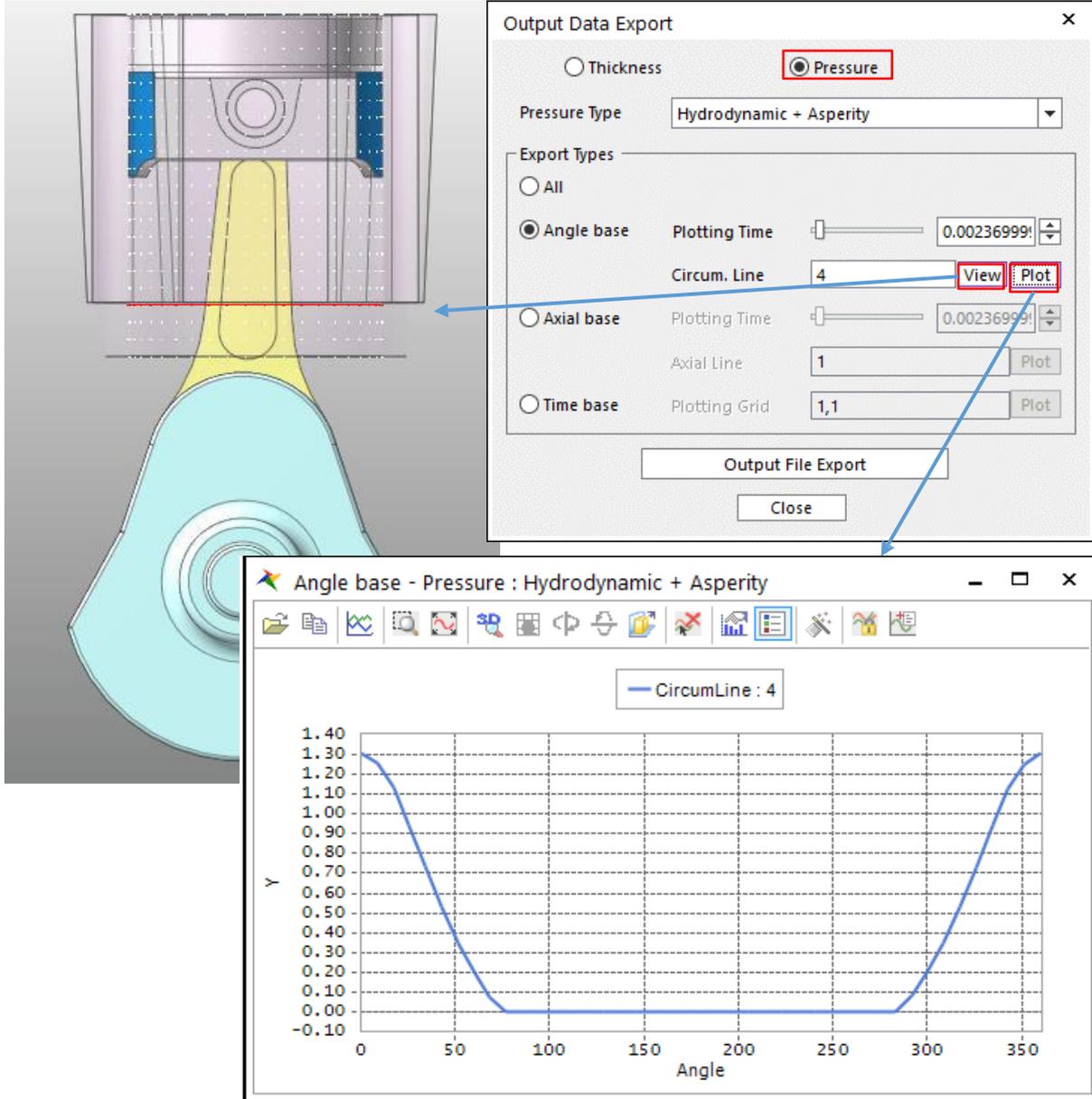
2. 右键单击 “Lubrication1”，然后在上下文菜单中选择 “Property” 。
3. 单击 “Contour Setting”，然后选择 “Pressure Type” 的 “Hydrodynamic + Asperity” 。
  - 您能检查总润滑力。
4. 将 “Maximum Value” 字段更改为 “1”，然后单击 “OK” 按钮以关闭窗口。
  - 再次播放动画，看到最大值出现在两侧活塞。



5. 单击 “Lubrication1” 的 “Properties” 对话框窗口中的 “Output Data Export” 按钮。
6. 您可以使用图表从顶部查看润滑厚度和压力。
  - a. 选择厚度。在 “Angle base” 中，在 “Plotting Time” 字段中输入 “0.00237”，在 “Circum. Line” 中输入 “4” 字段。
  - b. 单击 “View” 按钮以选中 “Circumference Line”，然后单击 “Plot” 按钮。



- c. 你可以看到油膜的厚度沿着第 4 行变化。
- d. 选择 “Pressure” 并单击与之前相同的 “Plot” 按钮。



e. 你可以看到油膜薄的点压力增加。



## 用 RFlex 体分析活塞润滑

### 任务目标

在本章中，将先前定义的刚性模型中的缸和活塞定义为 RFlex 体，并考虑变形分析活塞润滑。



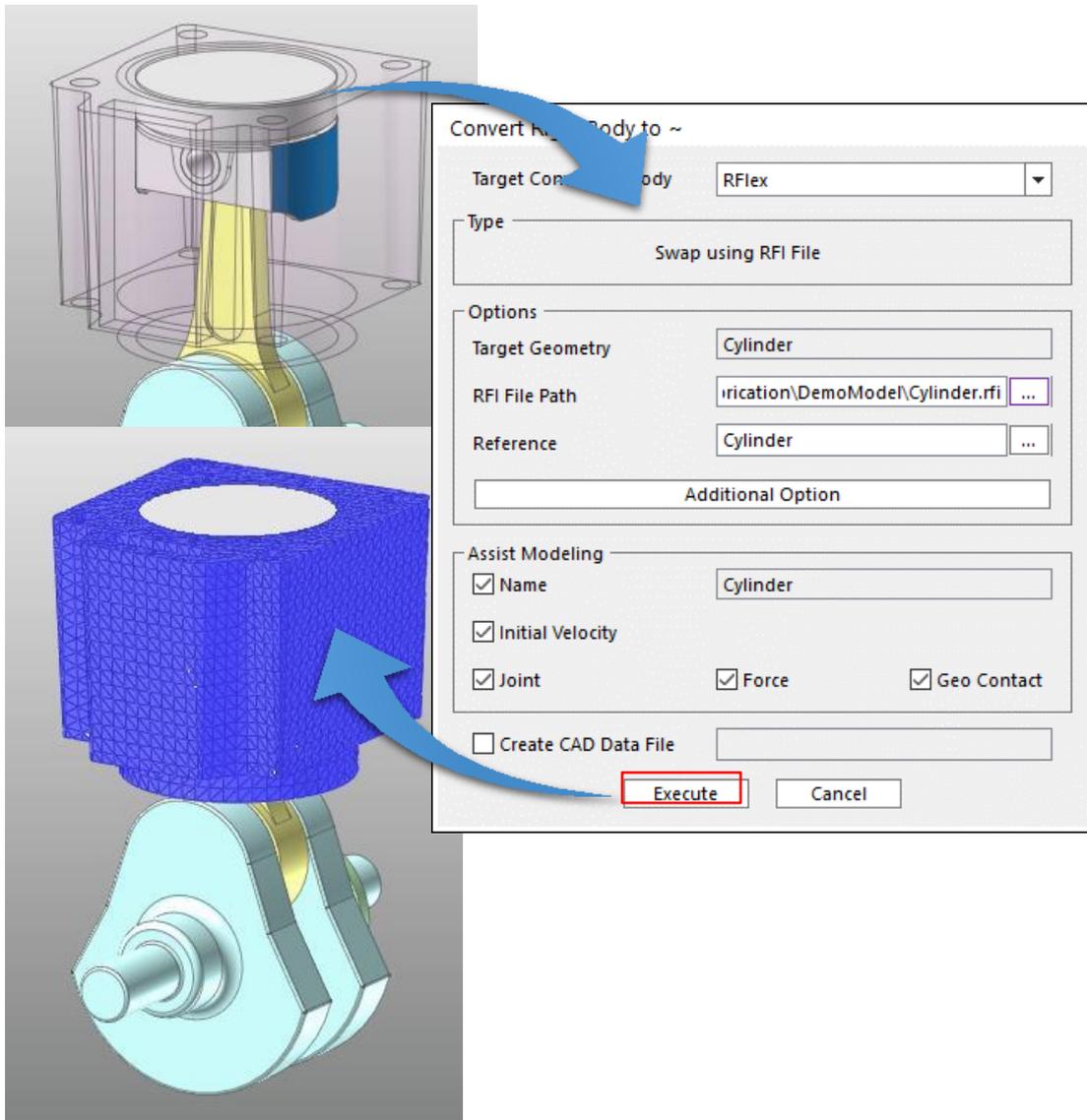
### 预计完成时间

30 分钟

## 创造 RFlex 体



1. 点击“Flexible”选项卡下“G-Manager”组中的“G-Manager”图标。
2. 从“Working Window”中，选择“Cylinder Body”以显示“G-Manager”对话框。
3. 为“Target Converting Body”字段选择“RFlex”，并将Type字段设置为“Swap using RFI File”。
  - 出于本教程的目的，RFI文件在“<Install Dir> \ Help \ Tutorial \ Toolkit \ EHD”文件夹中提供。
4. 将“RFI File Path”字段设置为“Cylinder.rfi”。
5. 使用“Cylinder”作为“Reference”字段。
  - 单击“G-Manager”对话框中的“Execute”按钮。“Cylinder”将被“RFlex Body”取代，如下图所示。

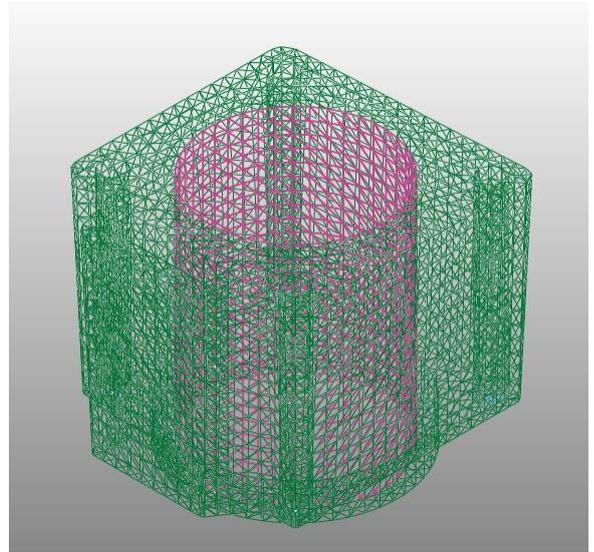


- 此外，对于“Piston”，使用“Piston.rfi”文件，并以与上述相同的方式将活塞更换为“RFlex Body”。

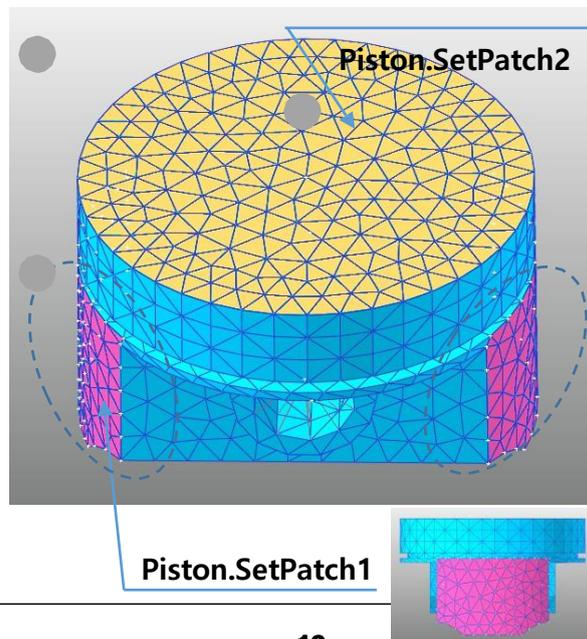
## 创造 PatchSet



- 从“Working Window”中，选择“Cylinder Body”并双击它。
- 进入“Flex Edit Mode”后，单击“RFlex Edit”选项卡下“Set”组中的“Patch Set”图标以创建 PatchSet。
- 从“Patch Set”对话框窗口中，单击“Add/Remove (Continuous)”按钮，然后选择放置在缸内侧的补丁之一。
- 从右键单击时出现的上下文菜单中单击“Finish Operation”，然后按“OK”按钮关闭“Patch Set”对话框窗口。您将看到“SetPatch1”已被创建。
- 单击“Exit”图标返回“Assembly Mode”，再次选择“Piston Body”并双击它。



- 创建“PatchSet”，单击“RFlex Edit”选项卡下“Set”组中的“Patch Set”图标。
- 对于“Piston Body”，创建两个贴片组，一组在顶部，其中将会施加气体爆炸压力，另一组用于活塞润滑。



- 单击 “Exit” 图标返回 “Assembly Mode” 。

## 定义活塞的模态压力负荷

- 删除用于刚体模型的 “Translational1” 。



- 单击 “Flexible” 选项卡的 “RFlex” 组下的 “Modal Pressure Load” 图标。
- 对于补丁集, 从 “Modal Pressure Loads” 对话框窗口选择 “Piston.SetPatch2 (PatchSet at the top of the piston) ”, 这是之前创建好的。
- 改变 “Pressure Direction” 选项到 “Down”, 向活塞施压
- 单击 “EL” 按钮。在 “Expression List” 对话框窗口, 选择 “EX\_Modal\_Pressure” 字段, 并设定压力值。

Properties of MPLoads1 [ Current Unit : N/kg/mm/s/deg ]

General Modal Pressure Loads

Patch Set  P

Report Nodes  N

Base Body Name (Rigid Only)  B

Pressure Direction  Up  Down

Preview Pressure Direction

Expression

Pressure  EL

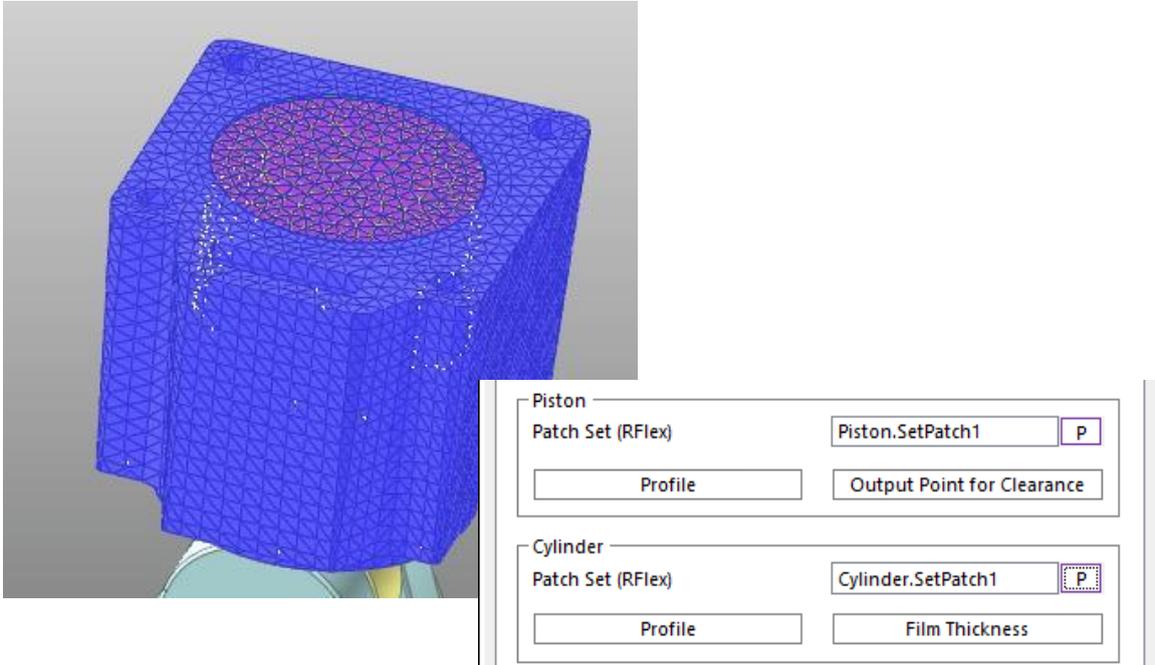
Use Converged Results

Step Size Criteria  Pv

Scope OK Cancel Apply

## 配置用于活塞润滑的 RFlex 体的 PatchSets

1. 打开“Lubrication1”的“Properties”对话框窗口。
2. 分别输入缸和活塞的“Patch Sets”

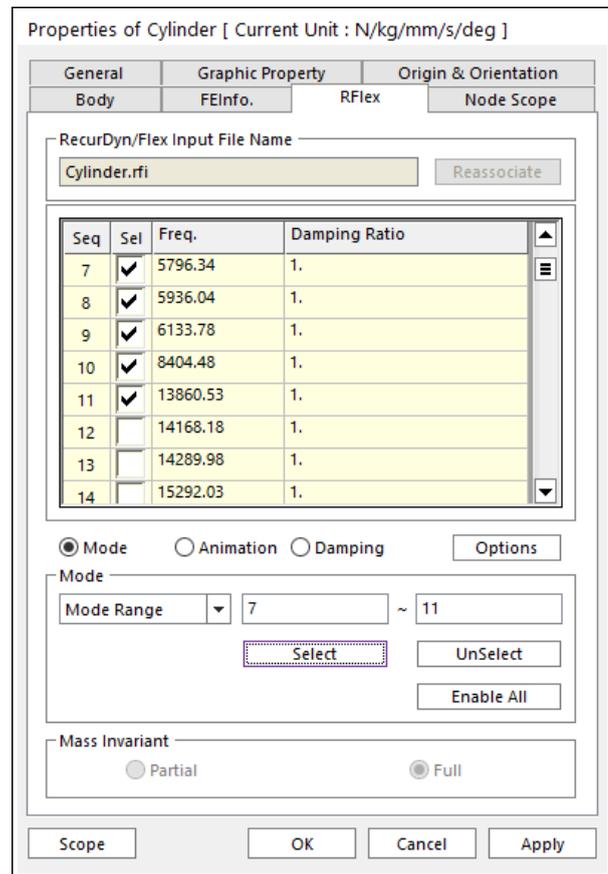


## 活塞润滑动态分析及检测结果

### 减少 Rflex 体的数量:

每个 Rflex 体存在 10 种或更多种模式。为缩短分析时间，每个体仅使用 5 种模式。

1. 右键单击 “Cylinder Body” ，  
然后在上下文菜单中选择 “  
Property” 。
2. 在 “Cylinder Body” 的 “Properties”  
对话框窗口的 “RFlex” 选项卡下选择  
“Mode” 选项。
3. 为 “Mode Type” 选择 “Mode Range” ，  
然后单击 “UnSelect” 按钮以取消选择所有模  
式。
4. 输入 “7 至 11” ，单击 “Select” 按钮，  
确保从第 7 个开始保证连续勾选 5 个模  
式。
5. 此外，对于 “Piston Body” ， 以与上述相同  
的方式选择 5 种模式。



### 运行活塞润滑的模拟:



1. 将模型保存为 “PistonLubricationEHD\_RFlex.rdyn” 。
2. 在 “Analysis” 选项卡上的 “Simulation Type” 组中，单击 “Dyn / Kin” 图标。将出现  
“Dynamic/Kinematic Analysis” 对话框。
3. 将 “End Time” 字段更改为 “0.03” ，将 “Step” 字段更改为 “1000” ，然后单击 “Simulation” 按钮。
  - 分析大约需要 34 分钟。



## 分析结果

### 任务目标

本章将检查之前定义的模块的分析情况。

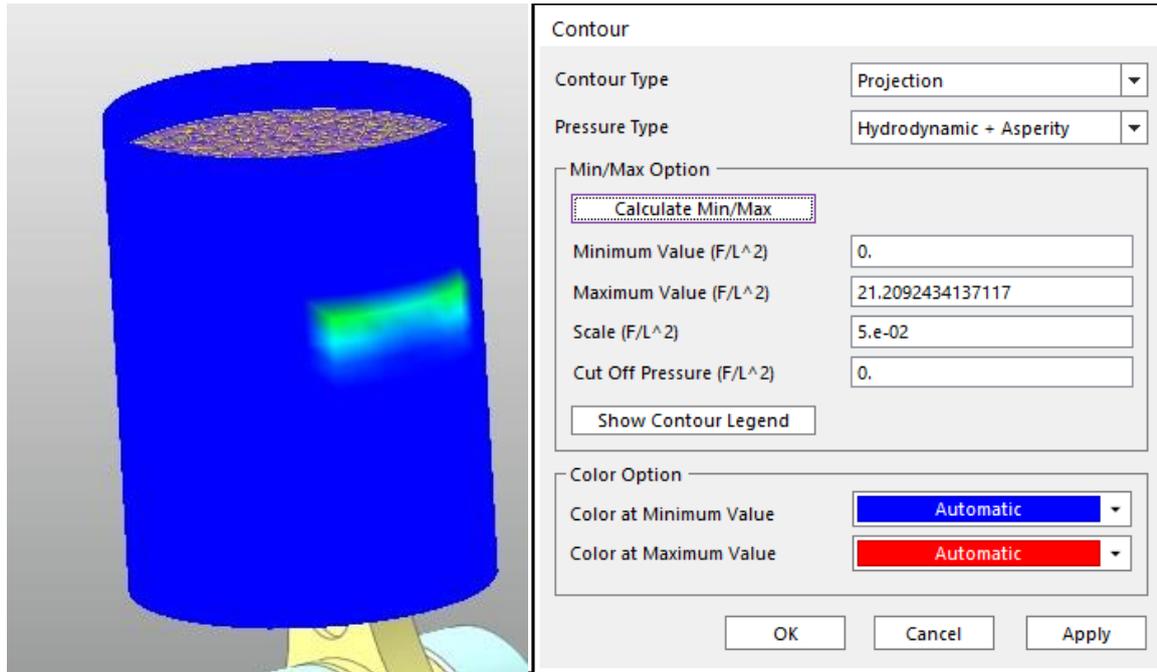


### 预计完成时间

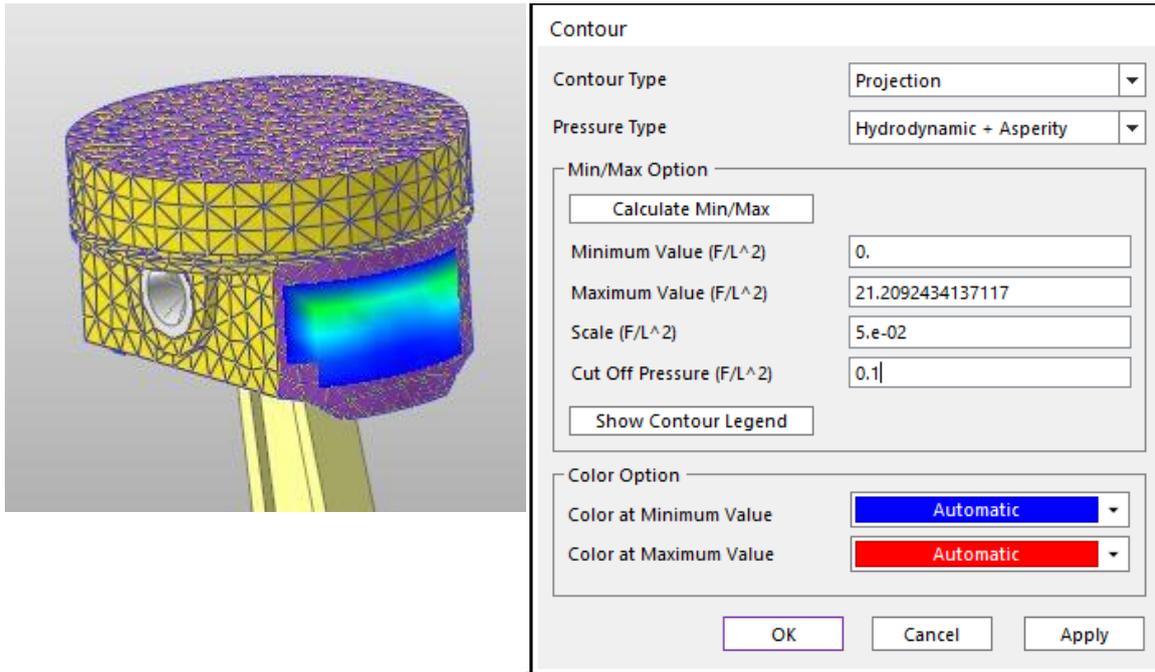
10 分钟

## 查看轮廓结果

1. 取消选中 “Layer Settings” 对话框窗口中的 “Show All” 选项以隐藏缸，并仅显示 “Layer 1” 。
2. 右键单击 “Lubrication1” ，然后在上下文菜单中选择 “Property” 。
3. 选中 “Show Pressure Contour” 选项，然后单击 “Contour Setting” 按钮。
4. 在 “Pressure Type” 字段中选择 “Hydrodynamic + Asperity” 以检查润滑的所有力，然后单击 “Apply” 按钮以检查 “Contour” 。

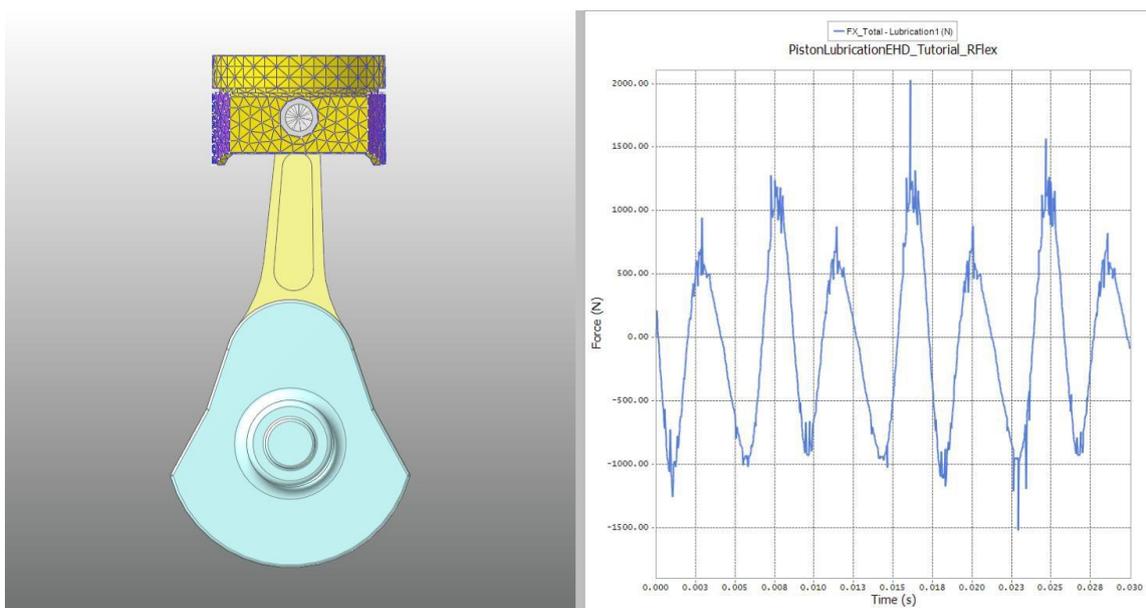


5. 只查看活塞的裙部，请在 “Contour” 对话框窗口的 “Cut Off Pressure” 字段中输入 “0.1” ，然后单击 “Apply” 按钮以检查 “Contour” 。



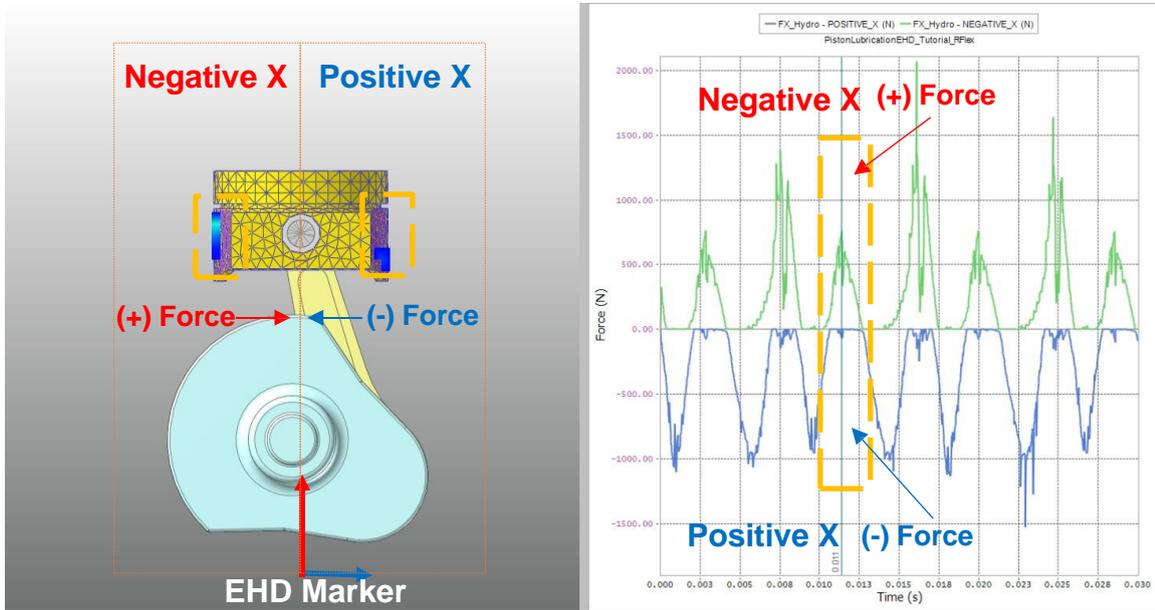
## 查看绘图结果

1. 单击“Analysis”选项卡下“Plot”组中的“Plot Result”图标。
2. 在“Plot Window”中，单击“Home”选项卡下“Windows”组中的“Show Upper Windows”图标。
3. 在左侧的窗口中，单击“Tool”选项卡下“Animation”组中的“Load Animation”图标。在右侧的窗口中，选择“Plot Database”中的“Force/Advanced EHD Force/Lubrication1/FX\_Total”选项以绘图。



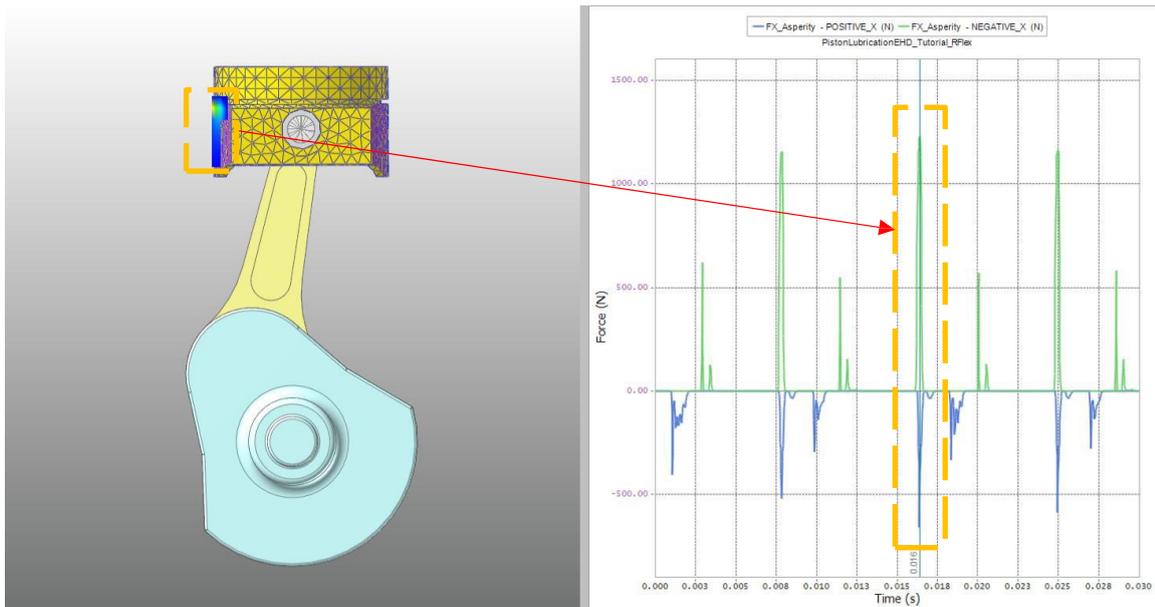
4. 清除之前绘制的图。从“Plot Database”中，选择以下两个数据项来绘制它们：

- **Force/Advanced EHD  
Force/Lubrication1/HydroDynamicForce/POSITIVE\_X/FX\_Hydro**
- **Force/Advanced EHD  
Force/Lubrication1/HydroDynamicForce/NEGATIVE\_X/FX\_Hydro**



5. 单击“Home”选项卡下“Windows”组中的“Add Page”图标，将页面添加到“Plot Database”。从绘图数据库中，选择以下两个数据项来绘制它们：

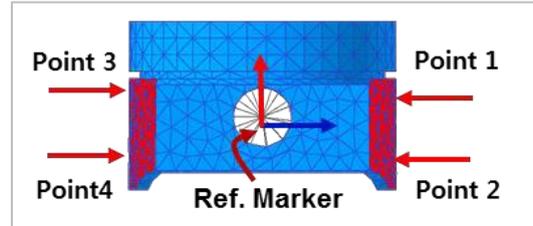
- **Force/Advanced EHD  
XForce/Lubrication1/AsperityContactForce/POSITIVE\_X/FX\_Asperty**
- **Force/Advanced EHD Force/Lubrication1/AsperityContactForce  
/NEGATIVE\_X/FX\_Asperty**



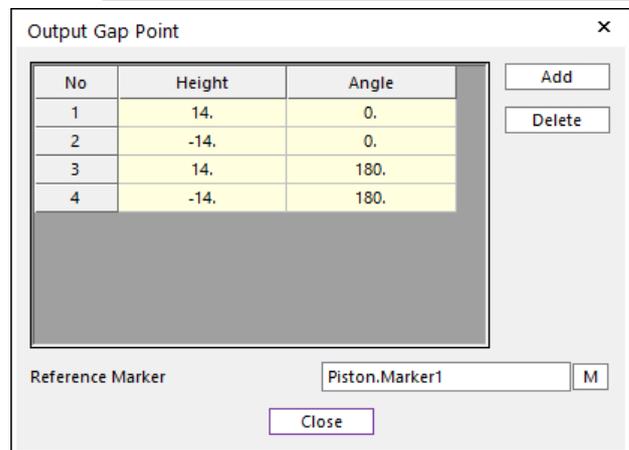
- 根据绘图和轮廓结果，您可以检查随时间变化接触点和力的大小。

## 检查所需点的油膜厚度

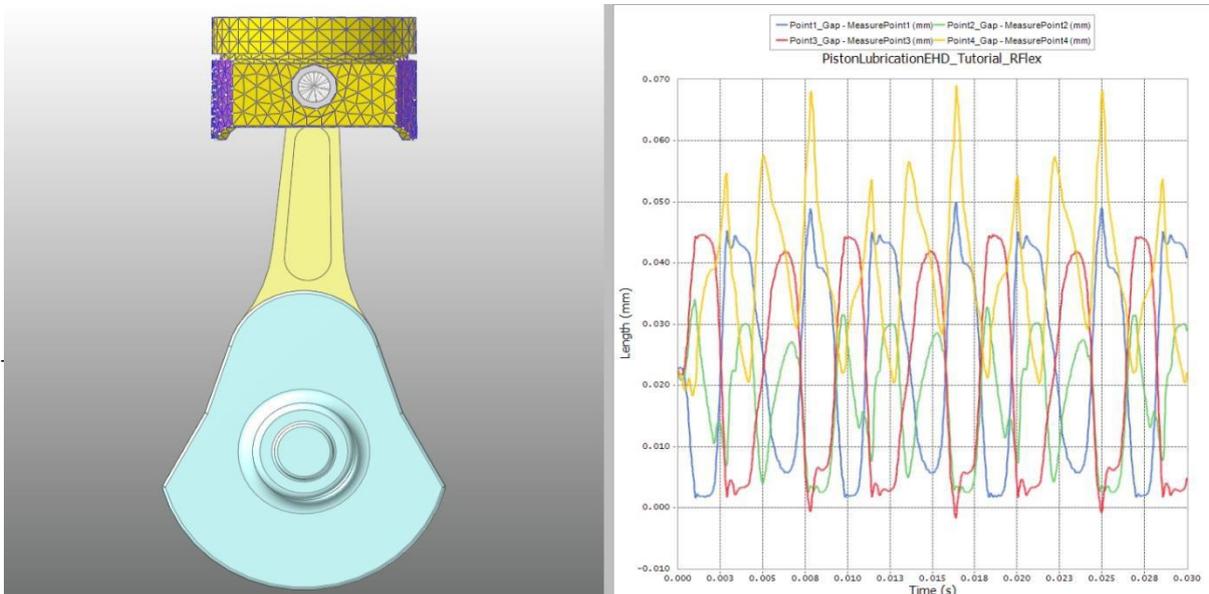
1. 返回 “Modeling Window” ，右键单击 “Lubrication1” 并从上下文菜单中选择 “Property” 。
2. 单击 “Properties” 对话框窗口中的 “Output Point for Clearance” 按钮，找到 “Lubrication1” 。
3. 要检查右图所示点的润滑深度，请按如下方式设置 “Output Gap Point” 对话框窗口：



- a. 在 “Reference Marker” 字段中输入 “Piston.Marker1” 。
- b. 单击 “Add” 按钮几次，输入如下信息：
  - Height: 14, Angle: 0
  - Height: -14, Angle: 0
  - Height: 14, Angle: 180
  - Height: -14, Angle: 180
- c. 单击 “Close” 按钮以关闭对话框窗口。



4. 检查值，请再次执行分析。
5. 单击 “Analysis” 选项卡下 “Plot” 组中的 “Plot Result” 图标。
6. 在 “Plot Window” 中，单击 “Home” 选项卡下 “Windows” 组中的 “Show Upper Windows” 图标。
7. 在左侧窗口中，单击 “Tool” 选项卡下 “Animation” 组中的 “Load Animation” 图标。在右侧窗口中，选择绘图数据库中 “Force / Advanced EHD Force / Lubrication1 / MeasurePoints” 选项下的 4 个数据项以绘制所有数据项。





## 修改活塞轮廓和分析活塞润滑

### 任务目标

在本章中，您将学习如何通过更改活塞轮廓来分析活塞润滑，而无需修改先前定义的 RFlex 模型。

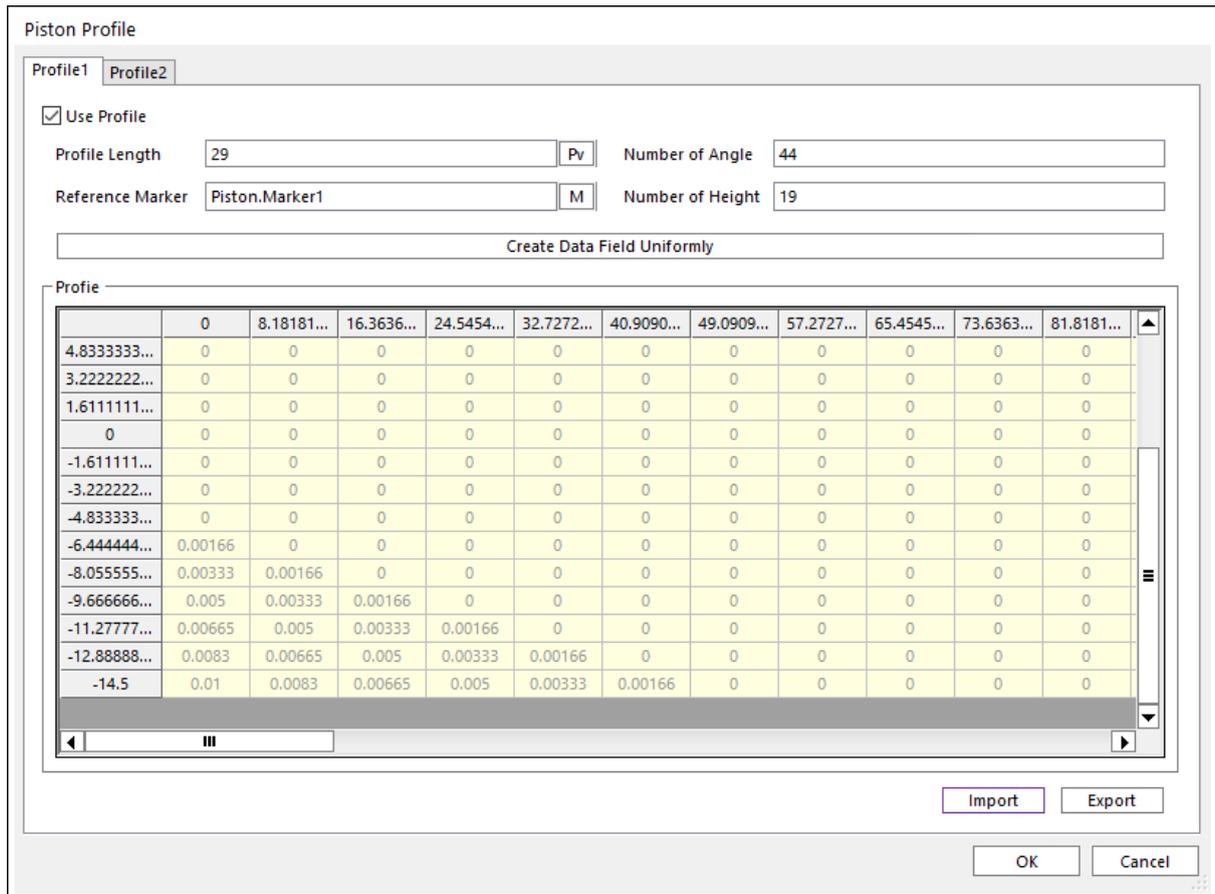


### 预计完成时间

10 分钟

## 修改活塞配置文件

1. 右键单击“Lubrication1”，然后在上下文菜单中选择“Property”。
2. 单击“Properties”对话框窗口下“Piston”组中的“Profile”按钮“Lubrication1”。
3. 出现“Piston Profile”对话框窗口时，选中“Use Profile”选项，然后输入参数值以设置配置文件，如下所示：
  - 文件长度（**Profile Length**）：**29**
  - 角度数（**Number of Angle**）：**44**
  - Reference Marker: **Piston.Marker1**
  - 高度（**Number of Height**）：**19**
4. 在“Piston Profile”对话框窗口中，单击“Create Data Field Uniformly”按钮，将自动为每个角度和高度生成数据。
5. 单击“Export”按钮以导出生成的数据。
  - 您无法在“Piston Profile”对话框窗口中修改数据。将数据导出到文件并使用 Excel 或文本编辑器修改文件中的数据。
6. 单击“Import”按钮以导入本教程中提供的“ProfileData.csv”文件。（文件路径：<Install Dir>\Help\Tutorial\Toolkit\EHD\PistonLubrication



7. 单击“Piston Profile”对话框窗口中的“OK”按钮将其关闭，并将数据应用于模型。“Lubrication1”的“Properties”对话框窗口中的“OK”按钮。

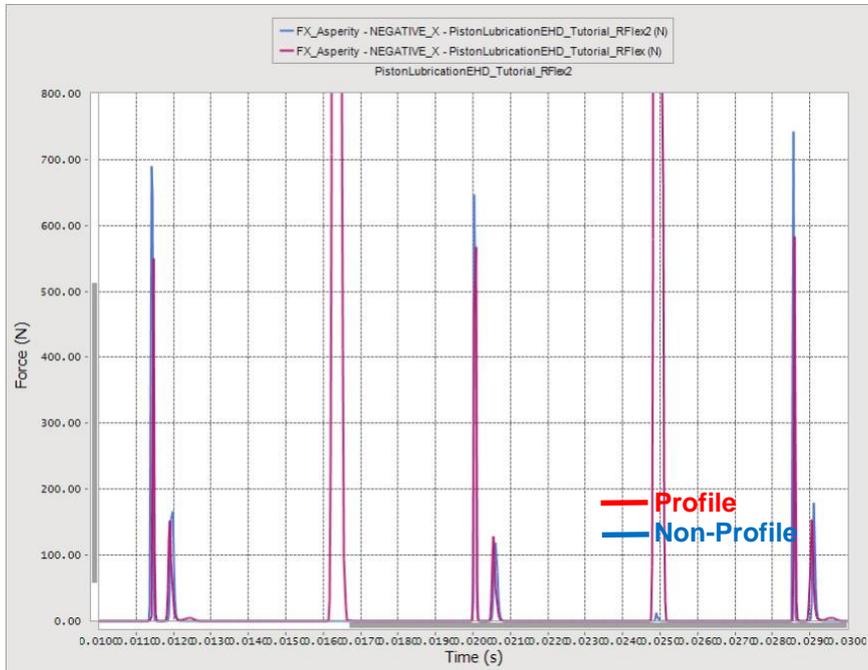
## 分析与比较

1. 将模型保存为“PistonLubricationEHD\_RFlex2.rdyn”。
2. 在“Analysis”选项卡上的“Simulation Type”组中，单击“Dyn / Kin”图标。将出现“Dynamic/Kinematic Analysis”对话框。  

3. 验证模拟条件后，单击“Simulation”。
4. 单击“Analysis”选项卡下“Plot”组中的“Plot Result”图标。  

5. 从“Plot Window”中，导入“rplt”文件，这是先前分析的结果。

- 右键单击“Plot Database”中的“Force / Advanced EHD Force / Lubriation1 / AsperityContactForce / NEGATIVE\_X / FX\_Asp erity”数据，然后从上下文菜单中单击“Multi Draw”。



- 您将看到结果根据活塞轮廓而变化。

感谢您参与此次教程!