



EecurDyn/EHD 튜토리얼

피스톤 윤활

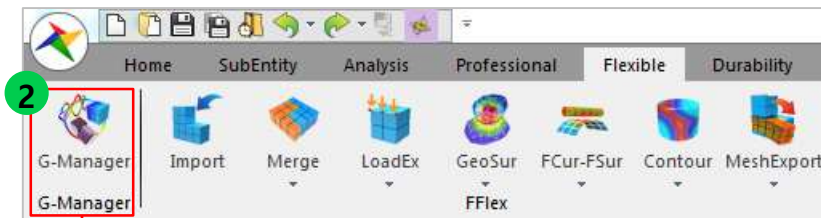
FunctionBay, Inc.

Step 01 – RFlex 바디 Import

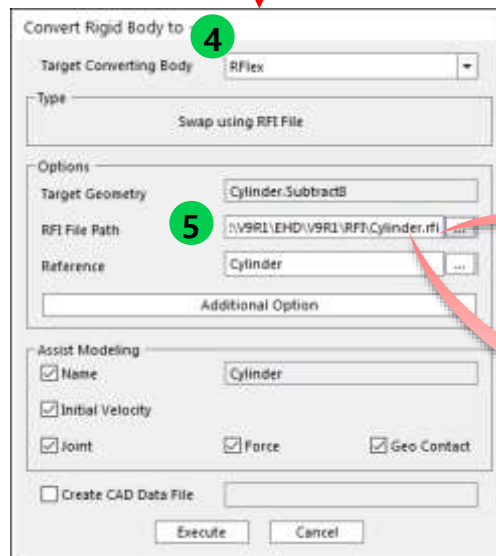
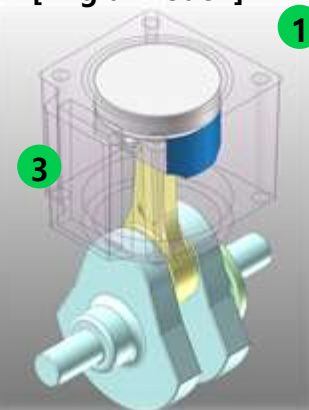
Steps

- ① "PistonLubricationEHD_Tutorial_Start.rdyn" 파일을 RecurDyn V9R1에서 오픈.
- ② Flexible탭의 G-Manager그룹에서 **G-Manager**를 선택
- ③ **Cylinder** 바디를 선택.
- ④ G-Manger 다이얼로그에서 "Target converting body" 를 "RFlex"로 변경
- ⑤ "RFI File Path" 입력창에서 제공된 "Cylinder.rfi" 를 선택한 후, **Execute** 버튼 클릭
- ⑥ **Piston** 바디를 위의 Step2~5와 동일한 과정으로 **Swap**. ("Piston.rfi" 파일 사용)
- ⑦ 모델을 아래의 이름으로 **Save** "PistonLubricationEHD_Tutorial_R flex.rdyn"

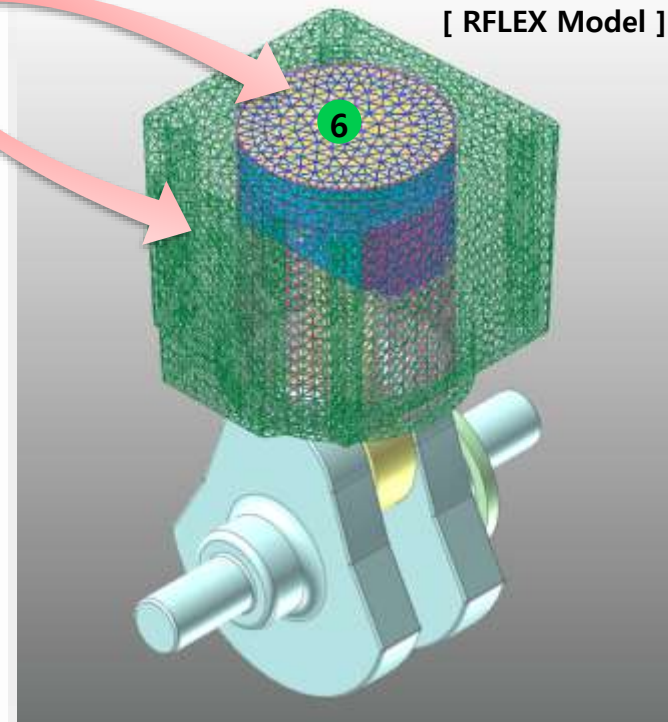
※ 강체 모델에 대한 EHD 모델은 PistonLubricationEHD_Tutorial_Rigid.rdyn 입니다.



[Rigid Model]



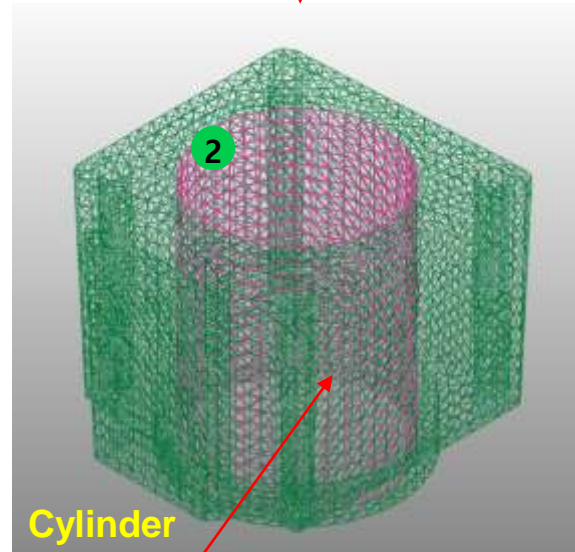
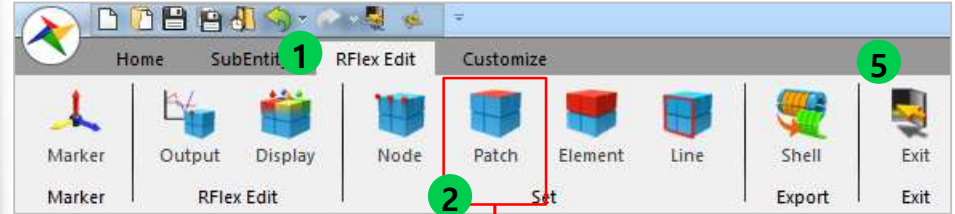
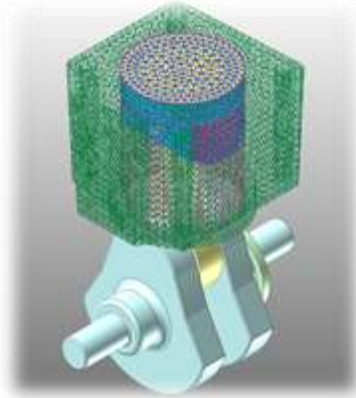
[RFLX Model]



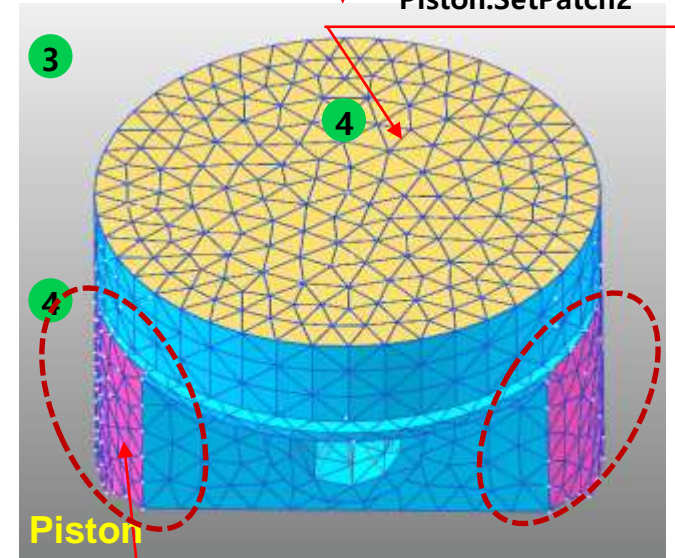
Step 02 – PatchSet 만들기

Steps

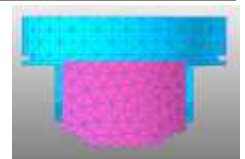
- ① Cylinder의 에디트 모드로 진입
- ② 우측 그림과 같이 실린더에 1개의 PatchSet을 생성 (Add/Remove (Continuous)를 활용)
- ③ 에디트 모드를 빠져나온 후(Exit) Piston의 에디트 모드로 진입.
- ④ 피스톤에 2개의 PatchSet을 생성(SetPatch1에는 EHD를 적용하게 되며, SetPatch2에는 Gas-Force Pressure를 적용하게 됨)
- ⑤ 에디트 모드를 빠져나옴(Exit).



Cylinder.SetPatch1



Piston.SetPatch1

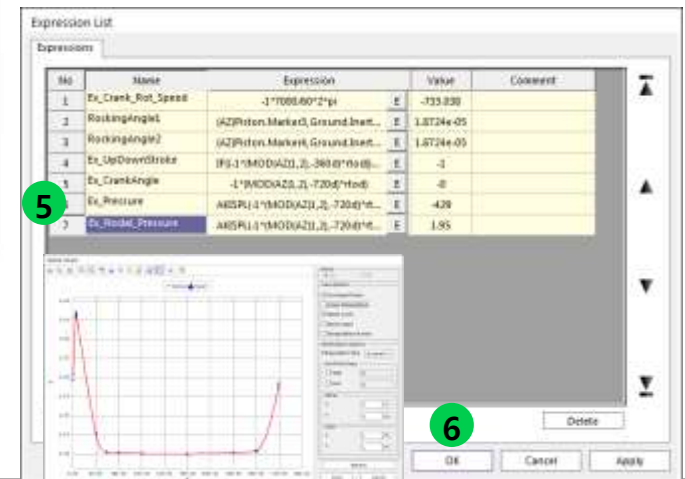
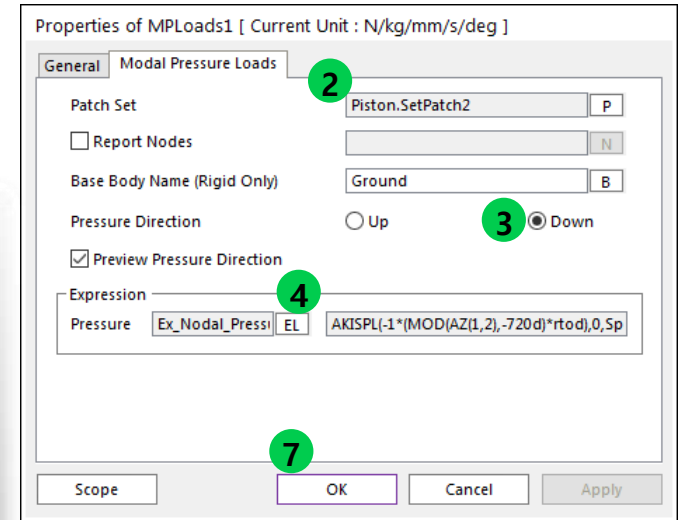
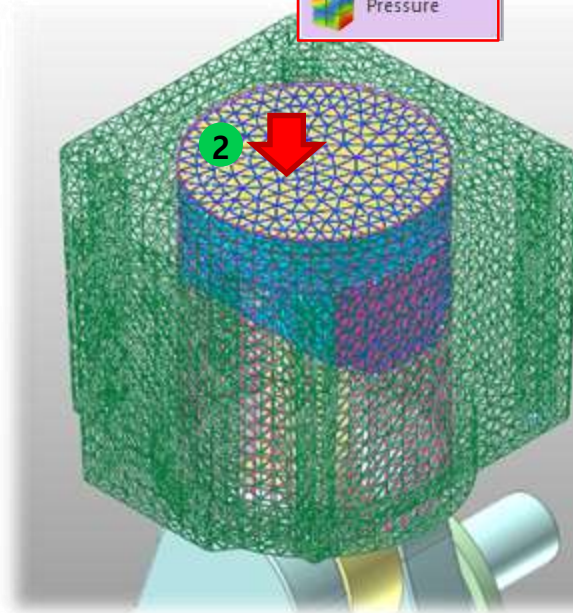


Step 03 – Piston에 Modal Pressure 적용

Steps

- ① Flexible 탭의 RFlex그룹에서 "Pressure" 아이콘 선택 (Modal Pressure Load)
- ② Modal Pressure Load 다이얼로그에서 Piston Set 입력란에 Piston.SetPatch2 입력
- ③ Pressure Direction 을 "Down" 으로 설정
- ④ [Expression]-[Pressure]의 EL 버튼 클릭
- ⑤ Expression List 다이얼로그에서, "Ex_Nodal_Pressure" 선택.
- ⑥ Expression List 다이얼로그 닫기
- ⑦ "OK" 를 눌러 다이얼로그 닫기

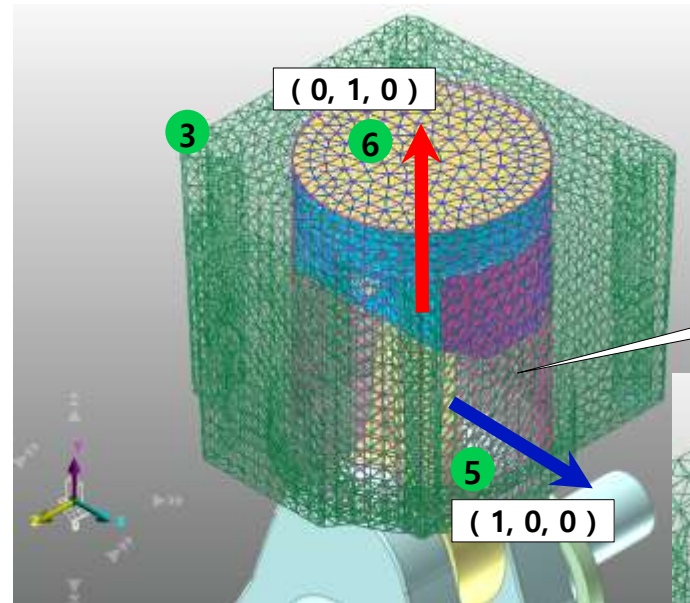
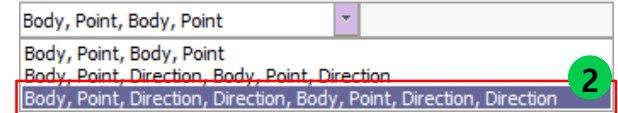
※ 피스톤에 가해지는 gas force는 expression으로 정의되며, 이 때의 힘은 Crank Angle vs. Gas Force 간의 관계를 이용한 spline 커브로 정의



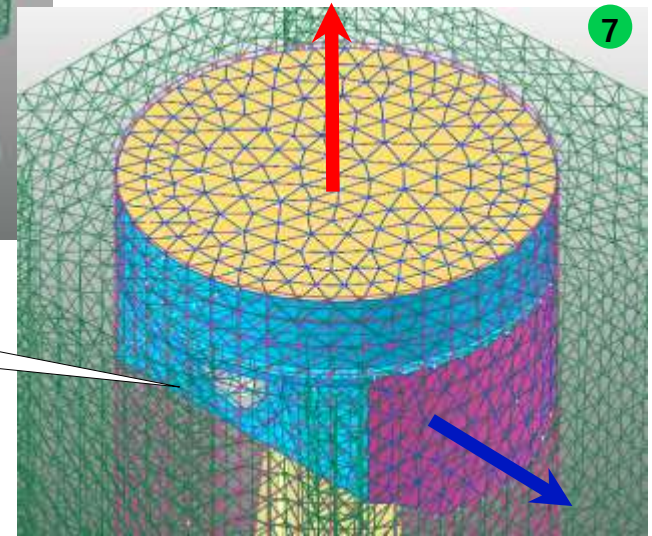
Step 04 – Piston에 Lubrication 엔티티 만들기 (EHD 생성)

Steps

- ① 툴킷탭의 Toolkit 그룹에서 **PistonLub** 아이콘 선택.
- ② **Creation** 옵션을 아래와 같이 변경
**“Body,Point,Direction,Direction,
 Body,Point,Direction,Direction”**
 (이 옵션으로 입력하는 것이 편리)
- ③ EHD의 **Base** 바디로 **Cylinder**
 (RFlex Body)를 선택
- ④ **Cylinder** 바디의 중심점을 선택.
 여기서는 **“0,-46.5,0”**
- ⑤ **Direction #1**은 글로벌 **Y** 방향을
 선택 (**0, 1, 0** 방향)
 → Base Marker의 Y축 방향벡터 결정
- ⑥ **Direction #2**는 글로벌 **X** 방향을
 선택 (**1, 0, 0** 방향) → Base
 Marker의 X축 방향벡터 결정
- ⑦ **Action** 바디를 위의 Step3~6과
 동일한 방식으로 아래와 같이
 설정
 - Action Body: Piston
 - Center Point: 0,-29.5,0
 - Direction #3: Global Y Axis
 - Direction #4: Global X Axis
- ⑧ Lubrication1 이 생성됨



④ **Cylinder EHD Position:**
 (0, -46.5, 0)



Piston EHD Position:
 (0, -29.5, 0)

**X, Y Axis Directions of
 both bodies MUST BE SAME!**

Step 05 – EHD 형상 관련 설정 및 Mesh Grid 설정

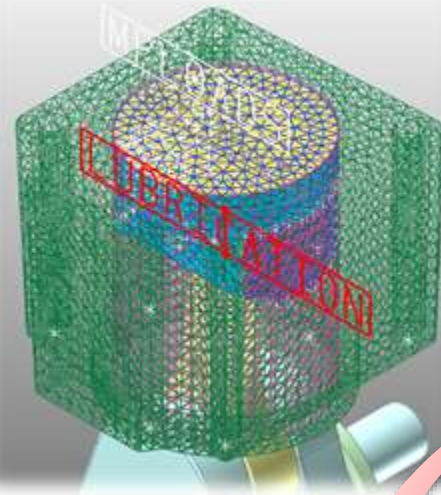
Steps

[EHD 형상 관련 설정]

- ① Lubrication1 (PistonLub EHD) 의 다이얼로그 오픈
- ② 형상 관련 입력값을 아래와 같이 입력:
 - Piston Diameter: 70
 - Piston Height: 29
 - Cylinder Diameter: 70.045
 - Cylinder Height: 95
- ③ Piston의 Patch Set 입력 창에 "Piston.SetPatch1" 입력.
- ④ Cylinder의 Patch Set 입력 창에 "Cylinder.SetPatch1" 입력.

[Mesh Grid 설정]

- ⑤ "Mesh Grid Setting" 버튼 클릭.
- ⑥ Mesh Grid Setting 다이얼로그에서 아래와 같이 입력
 - Circumference Node No.: 44
 - Axial Node No.: 19
- ⑦ "Oil Hole_Groove Effect Setting" 버튼을 클릭 후, 다이얼로그에서 "View Nodes"를 체크하면, Mesh Grid의 Preview를 확인 가능
- ⑧ 다이얼로그를 모두 닫음



1 Properties of Lubrication1 [Current Unit : N/kg/mm/s/deg]

General Connector Lubrication

Piston Diameter 70. Pv

Piston Height 29. Pv

Cylinder Diameter 70.045 Pv

Cylinder Height 95. Pv

Dynamic Viscosity[Pa.s] 6.e-03 Pv

5 Mesh Grid Setting Adjust Node Position

Additional Options Solver Setting

Piston Patch Set (RFlex) Piston.SetPatch1 P 3

Profile Output Point for Clearance

Cylinder Patch Set (RFlex) Cylinder.SetPatch1 P 4

Profile Film Thickness

Mesh Grid Setting

Circumference Node No. 44

Axial Node No. 6 19

Oil Hole_Groove Effects Setting

7

Close

팁: Mesh Grid의 개수 결정 방법

RecurDyn/EHD 의 해석 성능 향상을 위해서는 mesh Grid의 개수를 정할 때, mesh의 둘레 방향 길이와 축방향 길이를 비슷하게 해주는 것이 좋습니다.

예를 들어, grid의 길이를 54.mm로 하고 싶다면, circumference length 는 $\pi \times 70.045 = 220.05$ 이고 (축방향) height 는 "95" 이므로

추천 개수는 아래와 같습니다.

- Circumference Node No. = 44 ($5 \times 44 = 220$)
- Axial Node No. = 19 ($4.5 \times 19 = 94.5$)

Oil Hole & Groove Effects Setting

No	start	i - end	j - start	j - end	Pressure [FL*2]

View Nodes Update Selected Nodes

Add Delete Delete All

Mesh Grid Preview

Step 06 – EHD 재료 속성 설정

Steps

- ① Lubrication1의 다이얼로그에서, Dynamic Viscosity를 "6e-3"로 설정.
- ② "Additional Options" 버튼 클릭
- ③ Asperity Contact Information에서 "Direct Input"로 변경
- ④ 아래와 같이 값 입력:
 - Roughness: 0.001
 - Composite Elastic Modulus: 68000
 - Elastic Factor: 0.003
 - Friction Coefficient: 0.5
- ⑤ 다이얼로그를 모두 닫음

Properties of Lubrication1 [Current Unit : N/kg/mm/s/deg]

General Connector Lubrication

Piston Diameter	70.	Pv
Piston Height	29.	Pv
Cylinder Diameter	70.045	Pv
Cylinder Height	95.	Pv
Dynamic Viscosity[Pa.s]	6.e-03	Pv

Mesh Grid Setting Adjust Node Position

Additional Options Solver Setting

Piston Patch Set (RFLex) Piston.SetPatch1 P

Profile Output Point for Clearance

Cylinder

Additional Options

Viscosity Information

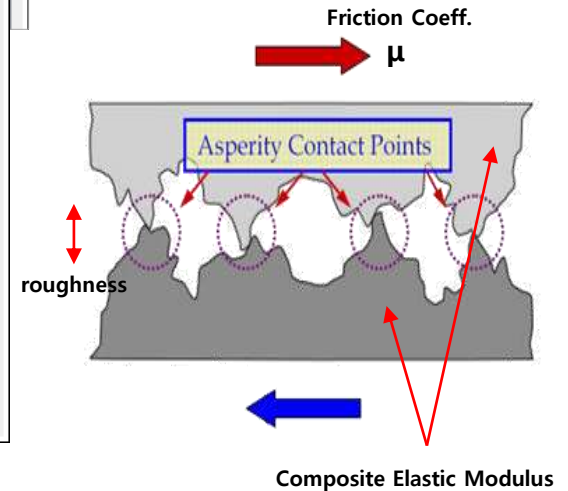
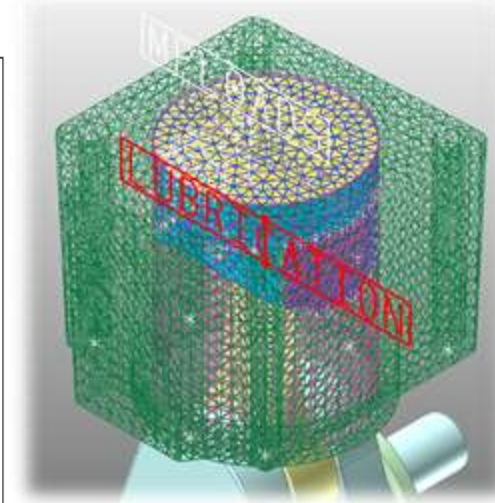
Pressure-Viscosity Coefficient[1/Pa] 0. Pv

Asperity Contact Information

Direct Input Each Parameter

Roughness[L]	1.e-03	Pv
Composite Elastic Modulus[F/L ²]	68000.	Pv
Elastic Factor	3.e-03	Pv
Friction Coefficient	0.5	Pv Friction

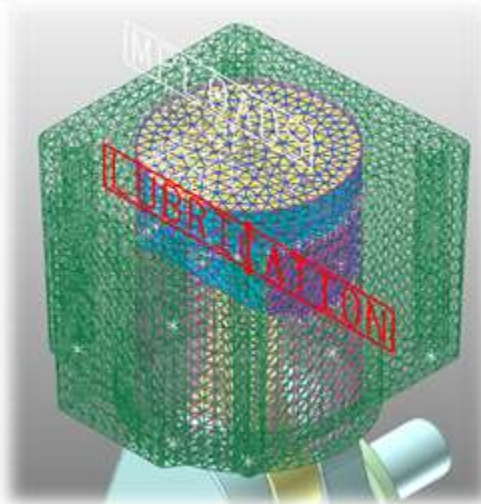
Close



Step 07 – EHD Solver 관련 설정

Steps

- ① Lubrication1 다이얼로그에서, "Solver Setting" 버튼 클릭
- ② "Maximum Iteration"를 "200"으로 설정
- ③ "Maximum Error"를 "1e-2"로 설정
- ④ "Under Relaxation Factor"를 "0.7"로 설정
- ⑤ "Hydro. Force Jacobian Interval"를 "10"으로 설정 (더 큰 값을 입력하면, 해석 속도가 빨라질 수 있으나, 정확도는 떨어질 수 있음)
- ⑥ 다이얼로그를 모두 닫음



Properties of Lubrication1 [Current Unit : N/kg/mm/s/deg]

General Connector Lubrication

Piston Diameter	70.	Pv
Piston Height	29.	Pv
Cylinder Diameter	70.045	Pv
Cylinder Height	95.]	Pv
Dynamic Viscosity[Pa.s]	6.e-03	Pv

Mesh Grid Setting Adjust Node Position

Additional Options **Solver Setting**

Piston Patch Set (RFLex) Piston.SetPatch1 P

Output Point for Clearance

Cylinder.SetPatch1 P

Film Thickness

Contour Setting

Output Data Export

Scope OK Cancel Apply

Solver Setting

Maximum Iteration 200.

Maximum Error 1.e-02

Under Relaxation Factor 0.7

Hydro. Force Jacobian Interval 10.

Close

Step 08 – Dynamic Analysis 실행

Steps

- ① Cylinder 바디의 속성창을 열고, 5개의 모드 형상 (seq 7~ seq 11) 만을 선택하고 닫아 줌
- ② Piston 바디의 속성창을 열고 5개의 모드 형상 (seq 7 ~ seq 11) 만을 선택하고 닫아 줌

※ 더 많은 모드 형상을 선택하면, 해석속도가 느려 질 수 있음

- ③ Analysis탭의 Simulation Type그룹에서 Dyn/Kin아이콘 선택
- ④ End Time을 "3.e-2"로 설정
- ⑤ Step을 "1000"로 설정
- ⑥ "Simulate" 버튼 클릭

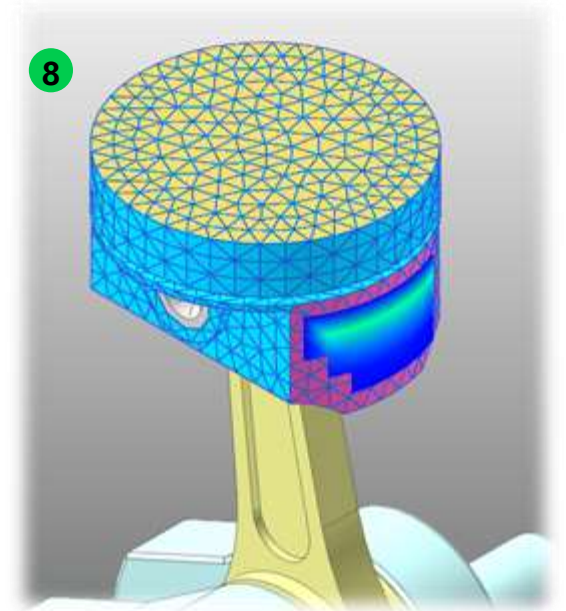
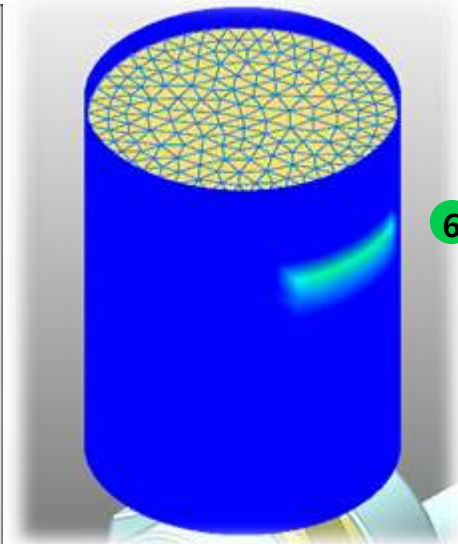
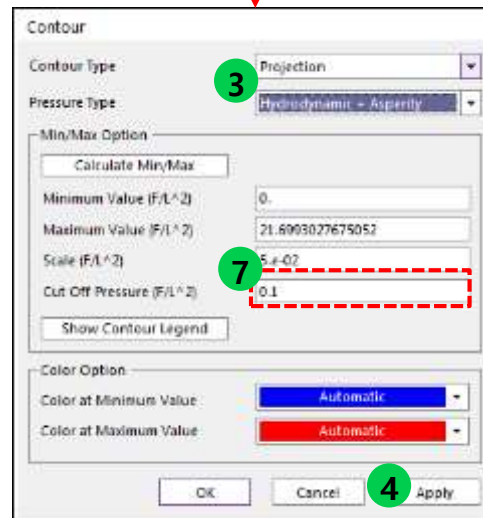
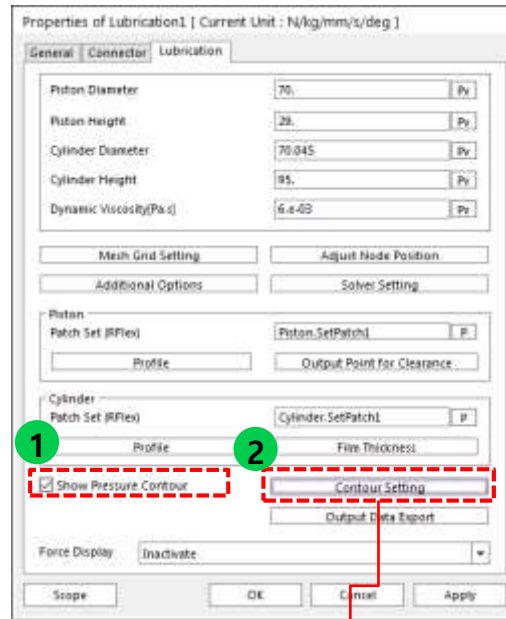
The image shows the RecurDyn V9R1 software interface. The main window displays a 3D model of a piston and cylinder assembly. A 'Dynamic/Kinematic Analysis' dialog box is open, showing the 'General' and 'Parameter' tabs. The 'End Time' is set to 3.e-02, 'Step' is 1000, and 'Unit' is Newton-Kilogram-Millimeter-Second. Two inset windows show the 'Properties of Cylinder' and 'Properties of Piston' dialog boxes, where mode shapes are selected. A status bar at the bottom right indicates CPU: 4.0 GHz, RAM: 32.0 GB, and CPU Time: 34 min.

Step 09 – EHD 해석 결과 확인 (1)

Steps

[EHD 컨투어 결과]

- ① Lubrication1의 속성창을 열고, "Show Pressure Contour" 체크
- ② "Contour Setting" 버튼 클릭
- ③ Pressure Type을 변경 "Hydrodynamic + Asperity"
- ④ Apply 버튼 클릭
- ⑤ 애니메이션 플레이
- ⑥ EHD force 의 컨투어(Contour)를 확인 가능
- ⑦ Cut Off Pressure를 "0.1"로 변경한 후, Apply 클릭.
- ⑧ 애니메이션을 플레이하면, Cut Off Pressure보다 작은 값은 제외된 Contour를 확인 가능



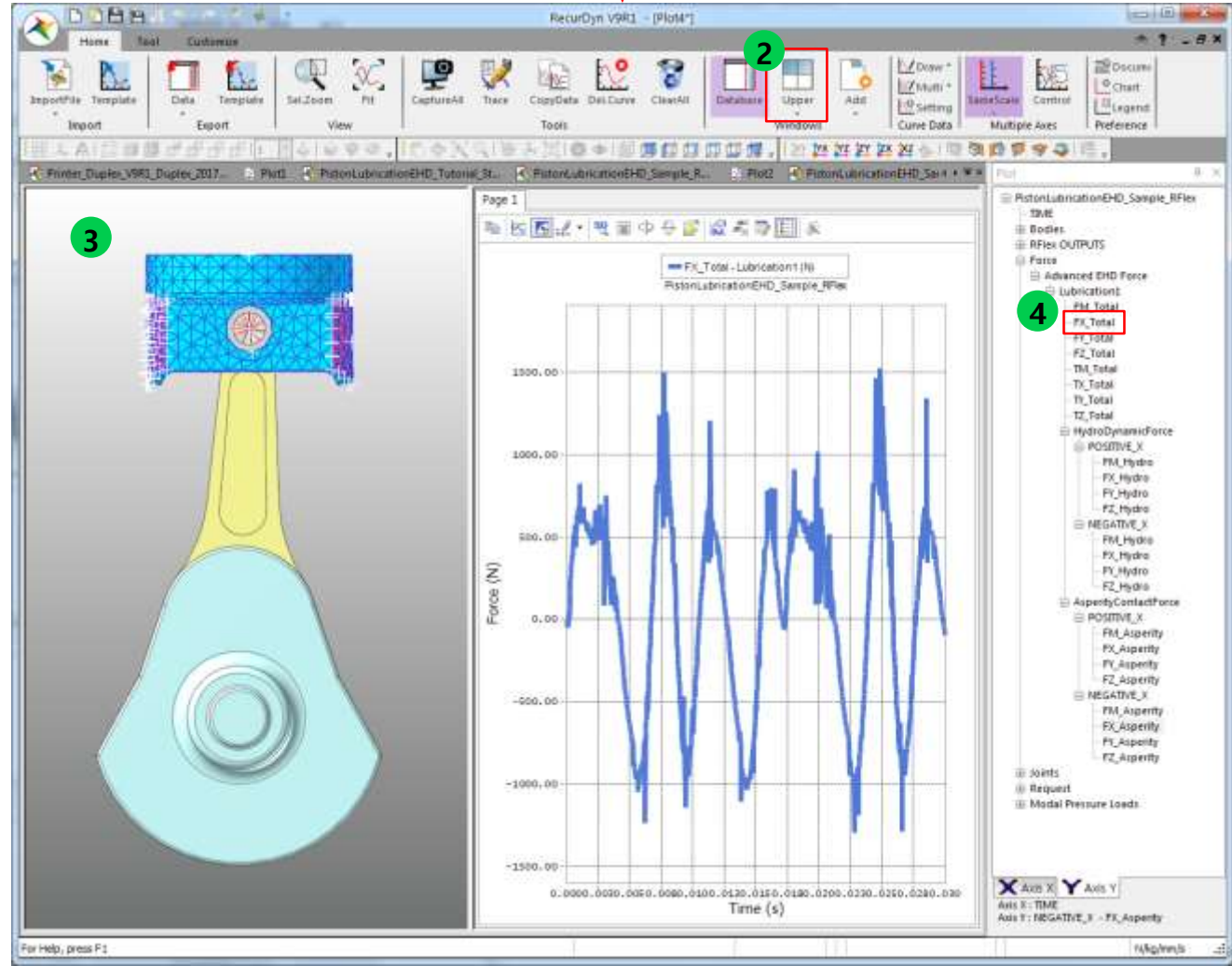
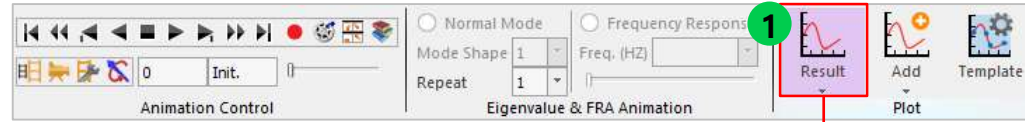
Step 10 – EHD 해석 결과 확인 (2)

Steps

[EHD Plot 결과]

- ① Analysis 탭의 Plot그룹에서 “Result” 아이콘 선택.
- ② Plot 윈도우를 나누기 위해, Home탭의 Windows그룹에서 “Upper” 아이콘 선택
- ③ 왼쪽 윈도우에서 애니메이션을 로드 (Load animation). ([Tool]-[Animation]-[LoadAni])
- ④ 우측 윈도우에서 다음의 항목에 대한 그래프를 그림 (“Force/Advanced EHD Force/Lubrication1/FX_Total”)

※ Piston과 Cylinder간의 “the Hydro+Asperity Total Lubrication Force”를 확인 가능
 한편 좌측 애니메이션을 통해 접촉영역을 확인 가능



Step 11 – EHD 해석 결과 확인 (3)

Steps

[EHD Plot 결과]

① 아래의 결과를 Plot

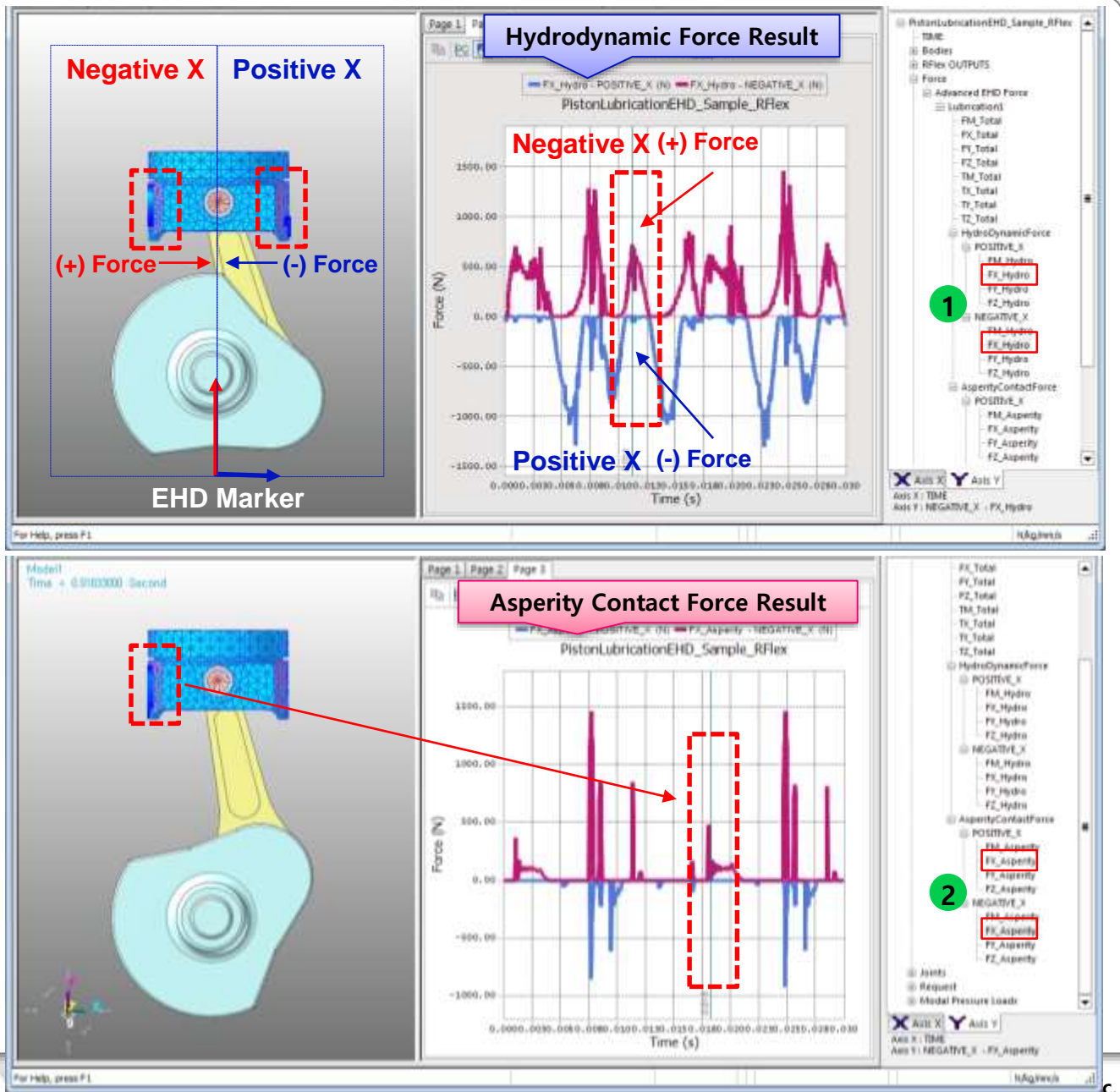
".../Lubrication1/HydroDynamicForce/Positive_X/FX_Hydro" and
 ".../Lubrication1/HydroDynamicForce/Negative_X/FX_Hydro".

② 새 페이지를 추가 ([Home]-[Windows]-[Add])

③ 새 페이지에 아래의 결과

".../Lubrication1/AsperityContactForce/Positive_X/FX_Asperty" and
 ".../Lubrication1/AsperityContactForce/Negative_X/FX_Asperty".

※ 접촉 영역과 접촉력의 크기를 확인 가능



Step 12 – Output Points for Clearance 활용

Steps

- ① RecurDyn의 Working Window로 돌아가서 **Lubrication1** (EHD property) 속성창 열기
- ② **"Output Point for Clearance"** 버튼 클릭
- ③ **reference marker**를 **"Piston.Marker1"** (Action Marker of Lubrication1)로 설정
- ④ 4개의 **Output Gap points** 추가
- ⑤ **Height / Angle**를 아래와 같이 입력:
 - 1) 14, 0
 - 2) -14, 0
 - 3) 14, 180
 - 4) -14, 180
- ⑥ 다이얼로그 닫기

Properties of Lubrication1 [Current Unit : N/kg/mm/s/deg]

General Connector Lubrication

Piston Diameter: 70.
 Piston Height: 29.
 Cylinder Diameter: 70.045
 Cylinder Height: 95.
 Dynamic Viscosity[Pa.s]: 6.e-03

Mesh Grid Setting Adjust Node Posit
 Additional Options Solver Setting
 Piston Patch Set (RFlex) Piston.SetPatch1
 Profile Output Point for Clearance
 Cylinder

Output Gap Point

No	Height	Angle
1	14.	0.
2	-14.	0.
3	14.	180.
4	-14.	180.

Reference Marker: Piston.Marker1
 Close

Point 3 Point 1
 Point 4 Ref. Marker Point 2

Model
 Time = 0.01833000_Secend

Page 1

Length (mm)

Time (s)

Force

Advanced EHD Force

Lubrication1

FM_Total
 Ft_Total
 Fy_Total
 Fz_Total
 TM_Total
 Tx_Total
 Ty_Total
 Tz_Total

HydroDynamicsForce

MeasurePoints

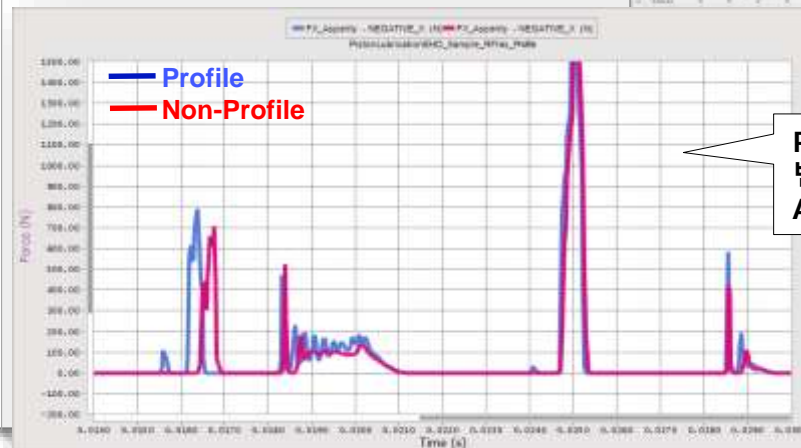
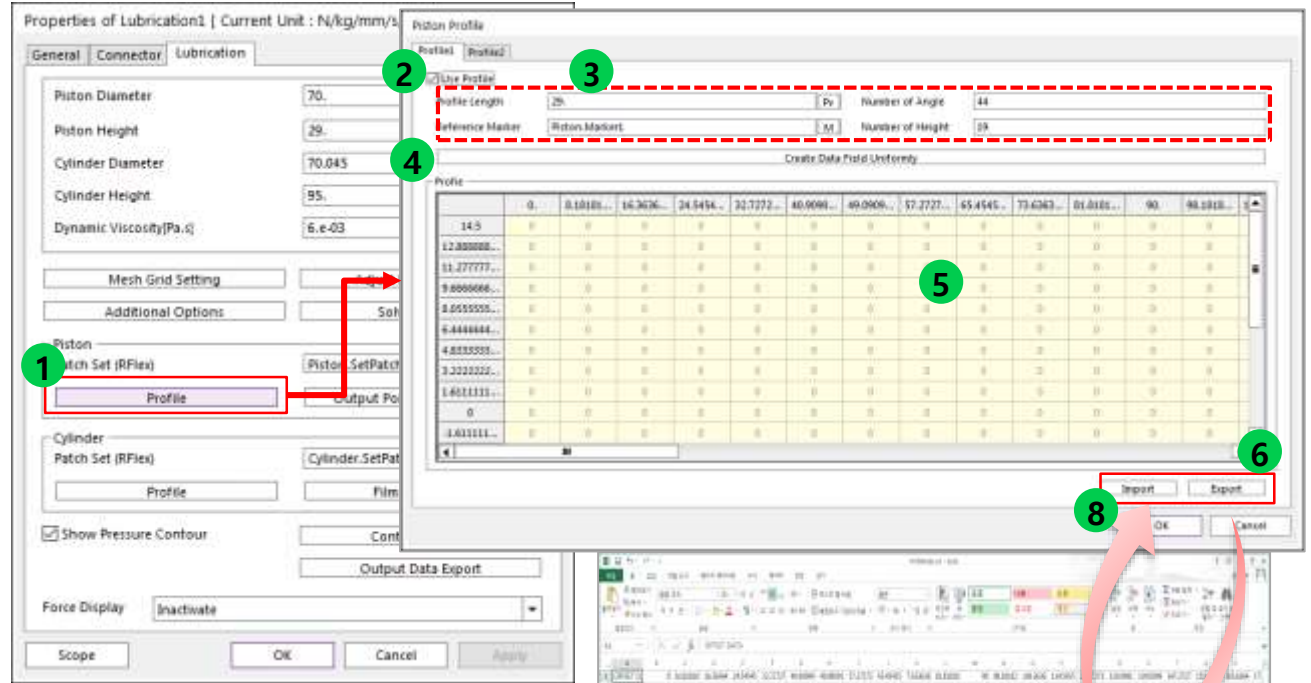
MeasurePoint1
 Point1_Gap
 MeasurePoint2
 Point2_Gap
 MeasurePoint3
 Point3_Gap
 MeasurePoint4
 Point4_Gap

Step 13 – 피스톤 프로파일 수정

Steps

[피스톤 프로파일 수정]

- ① "Profile" 버튼 클릭.
- ② Piston Profile 다이얼로그에서 "Use Profile" 옵션 체크
- ③ 아래와 같이 값 설정:
 - 1) Profile Length: 29
 - 2) Number of Angle: 44
 - 3) Ref. Marker: Piston.Marker1
 - 4) No. of Height: 19
- ④ "Create Data Field Uniformly" 버튼 클릭
- ⑤ Profile 은 자동으로 입력 (이 다이얼로그에서 직접 수정하는 것은 지원되지 않으므로 아래의 방법으로 수정)
- ⑥ *csv 형식으로 데이터 Export
- ⑦ Excel에서 생성된 *.csv를 열어서 데이터 수정.
- ⑧ Piston Profile다이얼로그에서 수정한 *.csv를 Import (이 튜토리얼에서는 미리 만들어둔 "ProfileData.csv" 사용)
- ⑨ 다이얼로그를 닫고 새로운 설정으로 시뮬레이션 수행.



Profile모델의 변경 전 (Non-Profile), 변경후 (Profile)의 Asperity Contact Force 비교



감사합니다.

5F, Pangyo Seven Venture Valley 1 danji 2dong, 15, Pangyo-ro 228beon-gil,
Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13487, Korea
Tel: +82-31-622-3700, Fax +82-31-622-3704, <http://www.functionbay.co.kr>