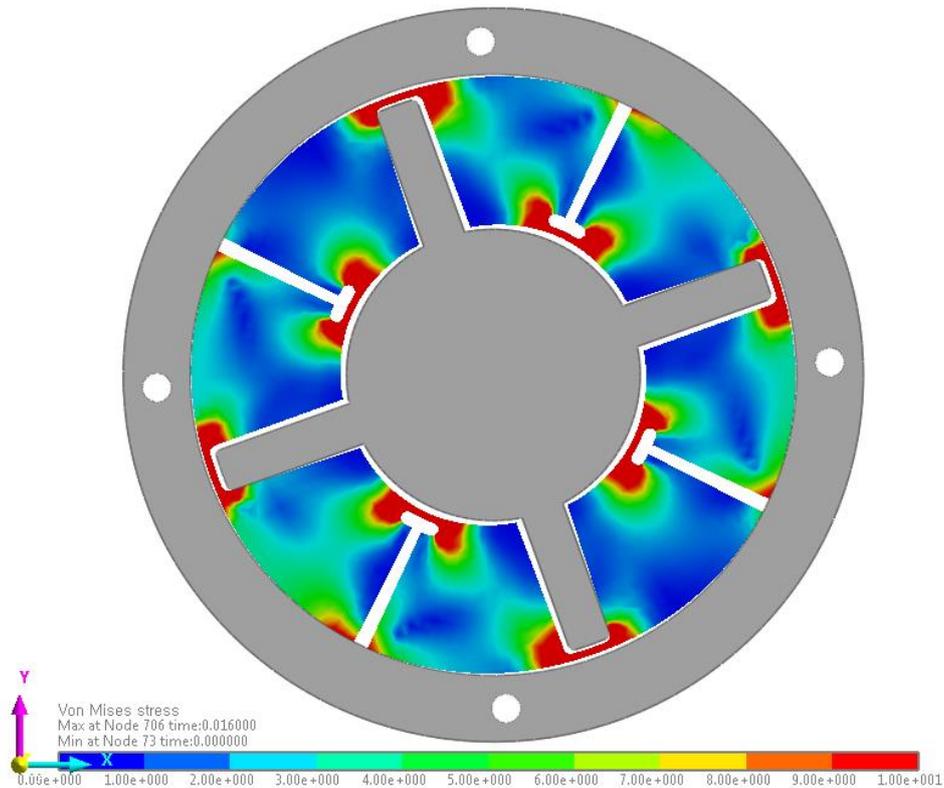




Compliant Clutch Tutorial (FFlex)



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
모델 Geometry 의 Import	7
예상 소요 시간	7
Compliant Clutch 모델	8
RecurDyn 의 시작	9
Compliant Clutch Plate 에 대한 Mesh 데이터의 Import	9
Rigid Geometry 의 Import	12
Joint 와 Force 의 추가	15
예상 소요 시간	15
Revolute Joint 의 생성	16
Torque 수식의 생성	19
Driving Torque 와 Load Torque 의 생성	21
Surface 와 Contact 의 정의	24
예상 소요 시간	24
모델의 Contact 생성	25
Patch Set 의 생성	26
Face Surface 의 생성	29
Contact 의 생성	31
Contact 의 수정	35
Boundary Condition 의 생성	39
예상 소요 시간	39
Boundary Condition 의 생성	40
모델의 시뮬레이션	42
예상 소요 시간	42
Center 에 대한 Stress Recovery 설정	43
시뮬레이션의 실행	44
Clutch Plate 의 Stress 에 대한 Contour Display	45
애니메이션 결과 보기	47
시뮬레이션 결과의 Plotting	49
부록 A: 나머지 Patch Set 의 생성	56

예상 소요 시간	56
나머지 Patch Set 의 생성	57



개요

목적

Flexible Body 사이에서 Contact 을 모델링하고, 그에 관한 시뮬레이션을 실행하는 것은 다물체 동역학 분야의 중요한 주제입니다. RecurDyn FFlex 툴킷은 다른 Body 와 Sliding Contact 또는 Rolling Contact 을 하는 Flexible Body 를 정의하고 그 Flexible Body 를 시뮬레이션하기 위한 강력한 기능들을 가지고 있습니다.

이 튜토리얼에서는 Snowmobile 의 원심 클러치를 모델로 사용하며, 클러치 내부에는 작동을 위해 유연성을 가진 채 Compliant Plate 가 있습니다. 여러 개의 요소가 각각 Spring 으로 연결되어 움직이는 기존 클러치와는 달리, Compliant Plate 를 사용한 클러치는 요소의 수가 매우 감소됩니다. 이로 인해, 제작 과정이 간단해질 뿐만 아니라 장치의 신뢰성이 증가됩니다.

이 튜토리얼에서 사용된 모델은 실제 제품이나 Design Concept 에 기초하지 않지만, *Brigham Young University Compliant Mechanisms Research Center* 에서 발행된 *Compliant Mechanism* 에 관한 제안서의 내용을 차용하였습니다.

필요 요건

- 이미 Geometry, Joint, Force Entity 의 생성 방법을 익힌 초급 단계의 유저를 대상으로 합니다.
- 유저는 3D Crank-Slider, Engine with Propeller, Pinball(2D contact) 튜토리얼 또는 그와 동등한 것을 해 본 자여야 하며, 물리학에 대한 기초 지식이 있어야 합니다.

순서

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

순서	시간(분)
Geometry 모델을 Import 하기	10
Joint 와 Force 의 추가	15
Surface 와 Contact 의 정의	20
Boundary Condition	5
모델의 시뮬레이션 실행	15
총합	65



예상 소요 시간

65 분

Chapter

2

모델 Geometry 의 Import

Compliant Clutch 모델을 생성하기 위해 Rigid Body 와 Flexible Body 를 Import 해봅니다.

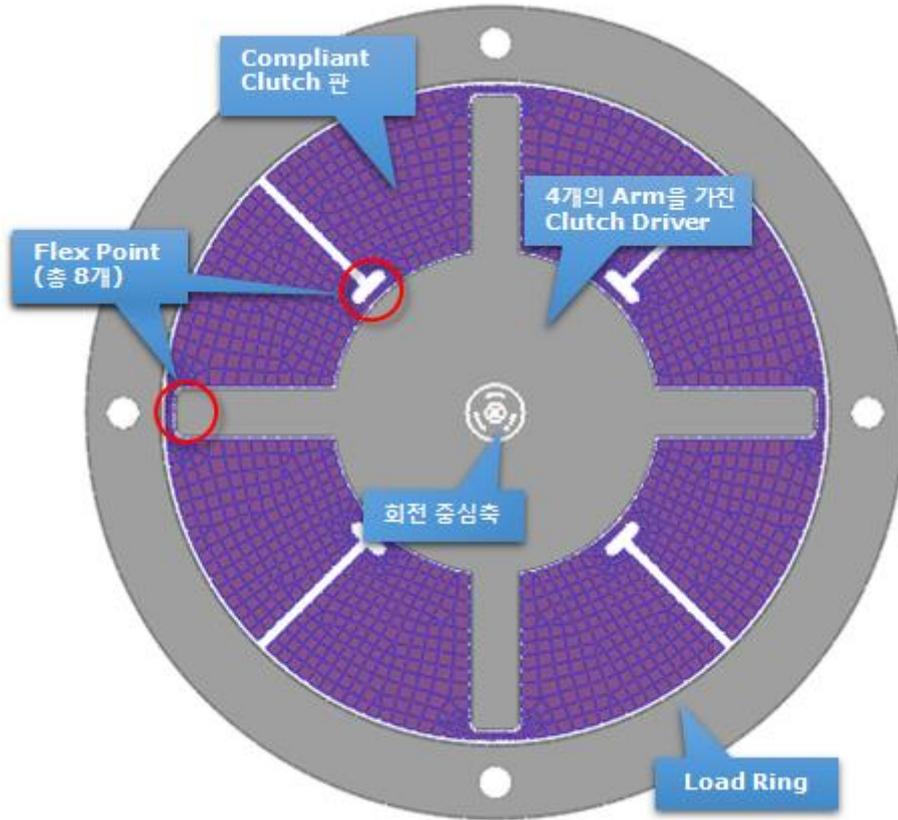


예상 소요 시간

10 분

Compliant Clutch 모델

이 튜토리얼에서 사용되는 모델은 클러치 Plate의 유연성을 이용하여 작동하는 원심력 클러치입니다. 다음의 그림은 Clutch의 구성을 설명하고 있습니다.



Power Source가 중심축에 대해서 Clutch Driver를 회전시킬 때, 4개의 Arm은 회전 방향으로 Compliant Clutch Plate을 밀습니다. 회전 속도가 증가함에 따라, 원심력은 Clutch Plate를 반경의 바깥쪽으로 밀며, Clutch Plate는 8개의 Flex point에서 구부러지는 현상이 나타납니다. Plate가 바깥쪽으로 움직이면, 그 Plate는 Load가 걸려있는 바깥쪽 Ring(Load Ring)과 Contact하게 됩니다. Clutch Plate와 Load Ring 사이의 마찰은 Load Ring을 회전하게 만들고, 결과적으로 Clutch Driver부터 Load까지 힘을 전달하게 됩니다.

여기 만들게 될, RecurDyn 모델에서, Compliant Clutch Plate는 Flexible Body로 처리되며, NASTRAN Bulk Data 파일이 Import될 것입니다. 나머지 Body는 Rigid Body로 처리되며, Geometry 파일들도 Import될 것입니다.

주의할 점: 이 튜토리얼에서 더 효과적인 시뮬레이션 결과를 보기 위해서는 실제 Clutch처럼 1 mm 두께의 단면적을 사용합니다. Driving Torque와 Load Torque의 값이 적절히 Scaling되고, 해석 결과의 값을 분석할 때도 같은 기법이 사용됩니다.

RecurDyn 의 시작

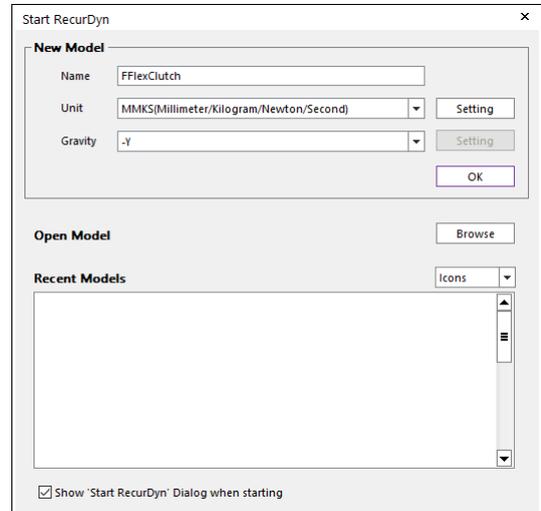
RecurDyn 실행 및 초기 모델 열기:



1. 바탕화면에서 **RecurDyn** 아이콘을 더블 클릭합니다.

RecurDyn 이 시작되면서 **New Model** 다이얼로그 박스가 나타납니다.

2. New Model 다이얼로그 박스에서 **Model Name** 을 **FFlexClutch** 로 입력합니다.
3. **OK** 를 클릭합니다.



Compliant Clutch Plate 에 대한 Mesh 데이터의 Import

모델에 Clutch Plate 의 Mesh 데이터를 Import 합니다. 이 경우에, Geometry 는 CAD 시스템에서 정확한 위치로 모델링 된 것이어야 하며, 이로 인해 그 Geometry 의 위치를 조정하지 않아도 됩니다.

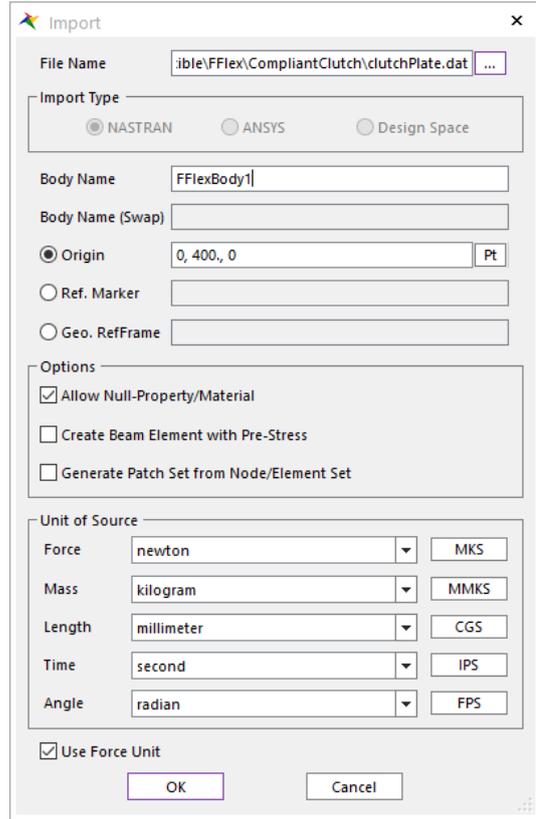


Mesh 데이터 파일 **Import** 하기:

1. **Flexible** 탭의 **FFlex** 그룹에서 **Import** 를 클릭합니다.
2. 원점으로써 (0, 0, 0)이 되는 포인트를 다음 방법 중 하나를 선택하여 정의합니다
 - **Input Window** 툴바에 **0, 0, 0** 을 입력합니다.
 - **Working** 창에서, 해당 포인트를 클릭합니다.
3. **clutchPlate.dat** 를 선택합니다. (파일 경로: <Install Dir> \Help \Tutorial \Flexible \FFlex \CompliantClutch).
4. **Open** 을 클릭합니다.

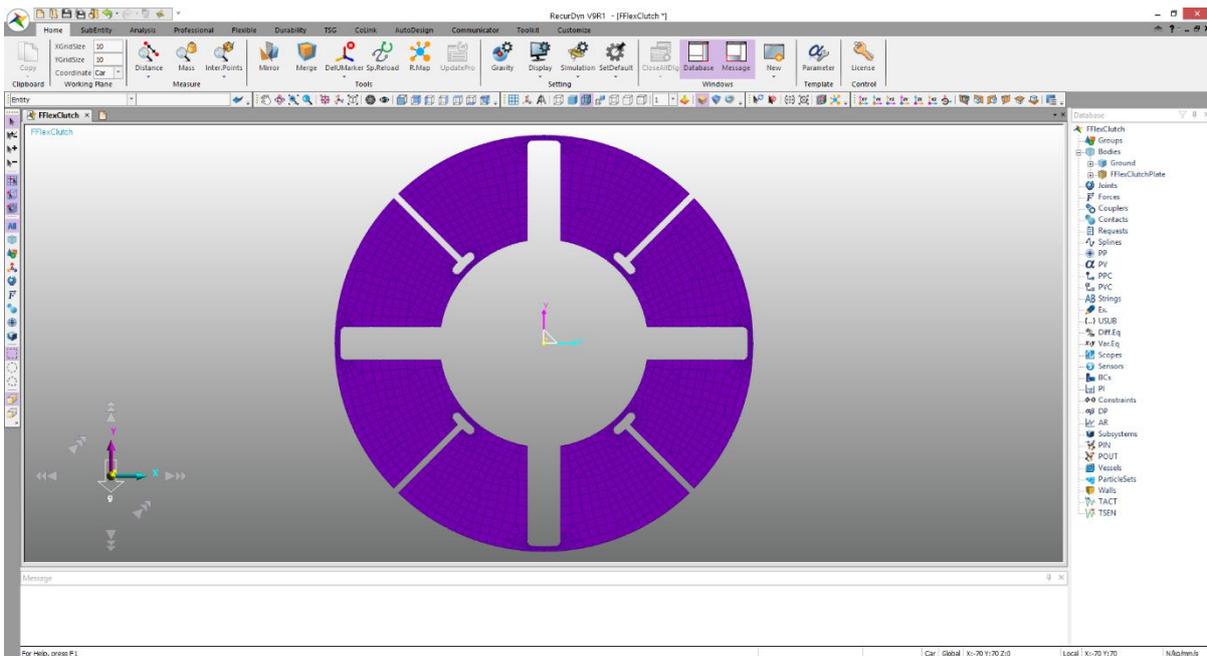
5. Import 다이얼로그 박스가 나타나면, **Body Name** 을 **FFlexClutchPlate** 로 변경합니다.
6. **OK** 를 클릭합니다.

Working 창에 Clutch Plate 가 나타납니다.
(그러나, 그 Clutch Plate 가 작게 보일
것입니다.)



7. 키보드에서 **F** 를 눌러서 Working 창에 그 Geometry 를 밀착시킵니다, 그리고 Grid 의 크기와 아이콘과 마커의 크기를 **10** 으로 변경합니다.

모델은 다음과 같이 보일 것입니다.

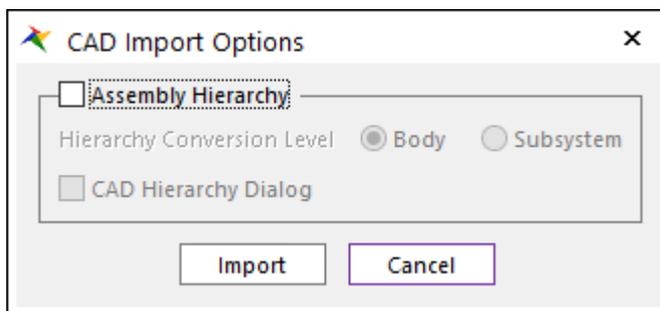


8. 렌더링모드를 **Shade** 로 변경합니다.

Rigid Geometry 의 Import

Driver 를 **Import** 하기:

1. **File** 메뉴에서, **Import** 를 클릭합니다.
2. 파일 형식을 **ParaSolid File (*.x_t,*.x_b ...)**로 설정합니다.
3. FFlex 튜토리얼 폴더에서 **clutchDriver.x_t** 를 클릭합니다. (파일 경로: <Install Dir> \Help \Tutorial \Flexible \FFlex\CompliantClutch).
4. **Open** 을 클릭하면 **CAD Import Options** 창이 나타납니다. **Assembly Hierarchy** 선택을 해제한 후, **Import** 버튼을 누릅니다.



5. **Database** 창의 **ImportedBody1** 위에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후 **Property** 를 클릭합니다.
6. **General** 탭에서 Body Name 을 **ClutchDriver** 로 변경합니다.
7. **OK** 를 클릭합니다.

Load Ring 을 **Import** 하기:

1. 위에서 했던 1~7 과정을 반복하되 이번에는 **clutchLoad.x_t** 파일을 **Import** 합니다. 그리고 **Body Name** 을 **ClutchLoad** 로 변경합니다. (파일 위치: \Help \Tutorial \Flexible \FFlex\CompliantClutch)

2. **Body** 탭을 클릭합니다.
3. **Density** 에 **8.34e-05** 를 입력합니다. 이것은 Snowmobile 의 무게를 시뮬레이션 할 때, Load 의 회전 관성을 증가시킵니다.

Properties of ImportedBody1 [Current Unit : N/kg/mm/s/deg]

General Graphic Property Origin & Orientation **Body**

Material Input Type

Density

Mass

box by

by bz

lzz lzx

Center Marker

Inertia Marker

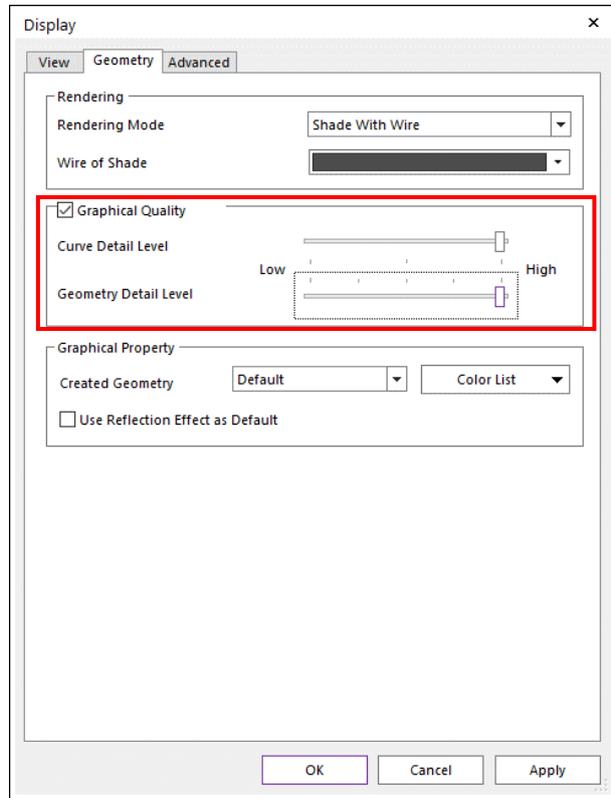
Initial Condition

여기서, Clutch 의 모든 요소들이 보여집니다. 그러나, 둥근 가장자리 부분의 Rendering 은 선명해 보이지 않습니다. 그래서, 애니메이션을 재생할 때, Surface Contact 의 상호작용을 잘 볼 수 있도록 Rendering 의 화질을 향상시킬 것입니다.

Geometry 의 Rendering 화질을 향상시키기:

1. **Home** 탭의 **Setting** 그룹에서 **Display Setting** 를 클릭합니다.
2. **Geometry** 탭을 클릭합니다.
3. **Graphical Quality** 옵션을 체크합니다.
4. **Curve Detail Level** 을 **High** 로 설정하고 **Geometry Detail Level** 도 **High** 로 설정합니다.
5. **OK** 를 클릭합니다.

모델을 저장합니다.



Chapter

3

Joint 와 Force 의 추가

모델에 Driving Torque 와 Load Torque 뿐만 아니라 Revolute Joint 를 추가해봅니다. 또한, Revolute Joint 를 생성하고 Driving Torque 와 Load Torque 에 사용될 수식을 생성해봅니다.



예상 소요 시간

15 분

Revolute Joint 의 생성

두 개의 Revolute Joint 를 생성합니다. 한 개는 Driver 에 나머지 한 개는 Load 에 붙일 것입니다. Clutch Plate 는 다른 Geometry 에 구속될 것이며, 그 Body 에는 Joint 가 추가되지 않도록 주의합니다.

Driver joint 생성하기:



1. **Professional** 탭의 **Joint** 그룹에서 **Revolute** 를 선택합니다.
2. 생성 방법을 **Body, Body, Point** 로 설정합니다.
3. 첫 번째 **Body** 로 **Ground** 를 선택하기 위해서 Working Model 윈도우에서 Body 가 위치하지 않은 빈 공간을 클릭합니다.
4. 두 번째 **Body** 를 선택하기 위해서 **ClutchDriver** 를 선택합니다.
5. **Input Window** 툴바에서 Joint 의 위치를 **0, 0, 0** 으로 입력합니다.
6. **Database** 창의 **RevJoint1** 위에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후 **Property** 를 클릭합니다.
7. **General** 탭에서 생성한 Joint 의 이름을 **Rev_driver** 로 변경합니다.
8. **OK** 를 클릭합니다.

비슷한 방법으로 Clutch Load 에 Revolute Joint 를 생성합니다. 그러나, 이번에는 Friction 을 추가할 것입니다.

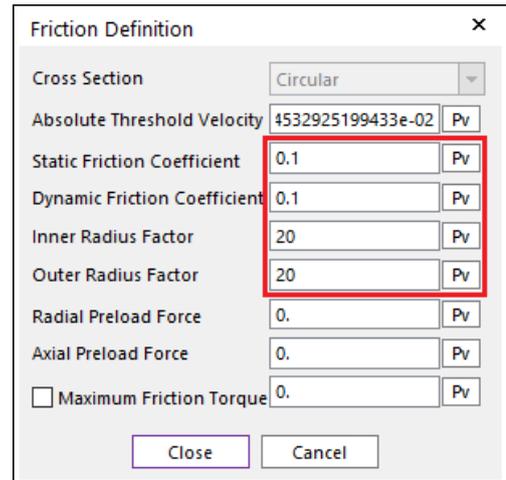
Load Joint 생성하기:



1. **Professional** 탭의 **Joint** 그룹에서 **Revolute** 를 선택합니다. 생성 방법은 여전히 **Body, Body, Point** 로 합니다.
2. 첫 번째 **Body** 로 **Ground** 를 선택하기 위해서 Working Model 윈도우에서 Body 가 위치하지 않은 빈 공간을 클릭합니다.
3. 두 번째 **Body** 를 선택하기 위해서 **ClutchLoad** 를 선택합니다.
4. **Input Window** 툴바에서 Joint 의 위치를 **0, 0, 0** 으로 입력합니다.
5. **Database** 창의 **RevJoint1** 에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후 **Property** 를 선택합니다.

6. **General** 탭에서 생성한 Joint 의 이름을 **Rev_load** 로 변경합니다.
7. **Joint** 탭을 클릭합니다.

8. **Include Friction** 옵션을 체크 한 후, **Sliding** 을 클릭합니다.
9. 설정들을 다음과 같이 변경합니다.
 - **Static Friction Coefficient:** 0.1
 - **Dynamic Friction Coefficient:** 0.1
 - **Inner Radius Factor:** 20
 - **Outer Radius Factor:** 20
10. **Close** 를 클릭합니다.
11. **OK** 를 클릭합니다.



The image shows a 'Friction Definition' dialog box with the following settings:

Parameter	Value	Unit
Cross Section	Circular	
Absolute Threshold Velocity	4532925199433e-02	Pv
Static Friction Coefficient	0.1	Pv
Dynamic Friction Coefficient	0.1	Pv
Inner Radius Factor	20	Pv
Outer Radius Factor	20	Pv
Radial Preload Force	0.	Pv
Axial Preload Force	0.	Pv
Maximum Friction Torque	0.	Pv

Buttons: Close, Cancel

Torque 수식의 생성

Driving Torque 와 Load Torque 를 위한 수식들을 생성해봅니다.

- Driving Torque 는 0.01 초가 넘으면 0 에서 10,000 N·mm 으로 변화될 것입니다.
- Load Torque 는 Driving Torque 와 반대 방향으로 힘을 부여하며, Load 에 부여되는 회전 속도의 제곱 값에 따라 변화될 것입니다. 이것은 Snowmobile 에 바람 저항으로 인하여 생성되는 Load 를 시뮬레이션에서 적용하는 것입니다.

앞서 언급했듯이, Torque 는 모델에 적합하도록 실제 값을 축소하였습니다.

Driving Torque 수식 생성하기:

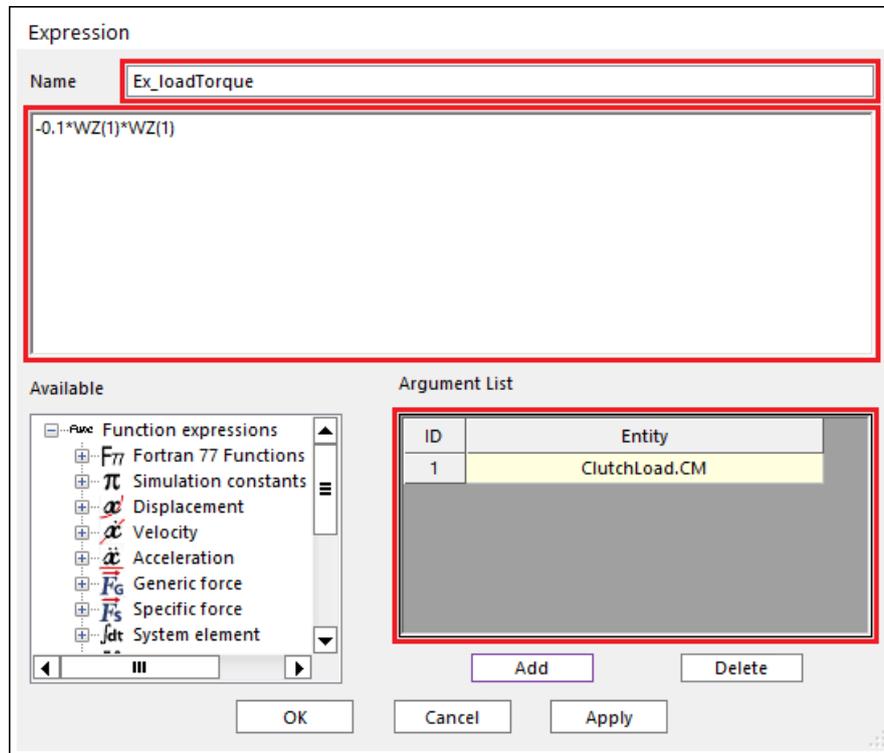


1. **Subentity** 탭의 **Expression** 그룹에서 **Expression** 을 클릭합니다.
2. **Create** 를 클릭합니다.

3. **Name** 에 **Ex_drivingTorque** 를 입력합니다.
4. **10000*STEP(TIME, 0, 0, 0.01, 1)**로 수식을 입력합니다.
5. **OK** 를 클릭합니다.

Load Torque 수식 생성하기:

1. 새 수식을 생성하기 위해서 **Create** 를 클릭합니다.



2. Name 을 **Ex_loadTorque** 으로 입력합니다.
3. **-0.1*WZ(1)*WZ(1)**으로 수식을 입력합니다.
4. **Argument List** 밑에 있는 **Add** 를 클릭합니다.
5. Database 창에서 **Bodies** → **ClutchLoad** → **Markers** → **CM** 순서로 목록을 펼칩니다.
6. 첫 번째 Argument 를 입력하기 위해 **CM** 을 클릭하여 Entity 의 빈 칸에 **CM** 을 드래그합니다.
7. **OK** 를 두 번 클릭합니다.

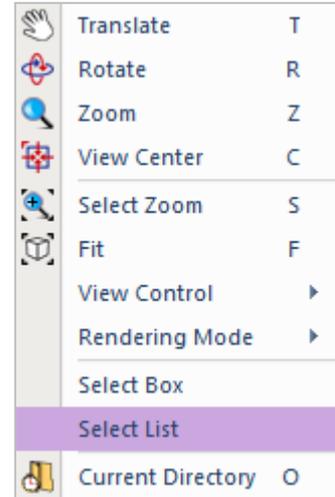
Driving Torque 와 Load Torque 의 생성

Revolute Joint 에 Clutch Driver 와 Load 에 대한 Driving Torque 와 Load Torque 를 생성하고 생성된 수식들에 그 Driving Torque 와 Load Torque 를 연결해봅니다.

Driver torque 생성하기:

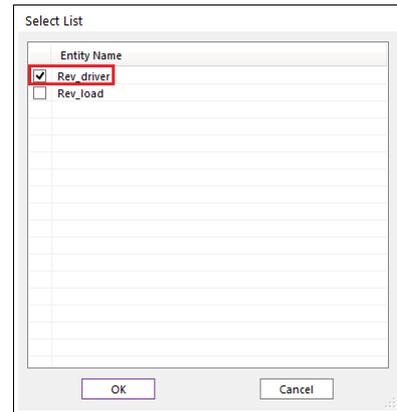


1. **Professional** 탭의 **Force** 그룹에서 **Rot.Axial** 를 선택합니다.
2. 생성 방법을 **Joint** 로 설정합니다.
3. Working Model 윈도우의 두 개의 Revolute Joint 근처에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후 **Select List** 를 선택합니다.



Select List 다이얼로그 박스에 선택될 수 있는 Entity 들의 목록이 나타납니다.

4. 목록에서 **Rev_driver** 를 선택합니다.



5. **OK** 를 클릭합니다.

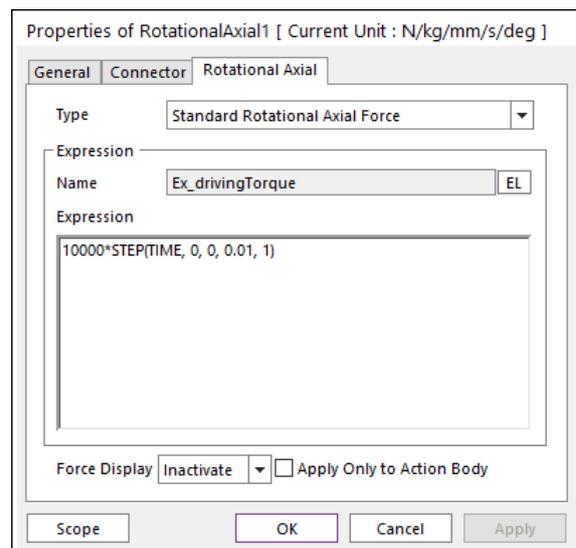
6. **Database** 창에서 **Forces** 아래에 위치한 **RotationalAxial1** 위에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후, 나타나는 메뉴에서 **Property** 를 선택합니다.

7. **EL** 을 클릭합니다.

8. **Expression List** 다이얼로그 박스에서 **Ex_drivingTorque** 를 선택합니다.

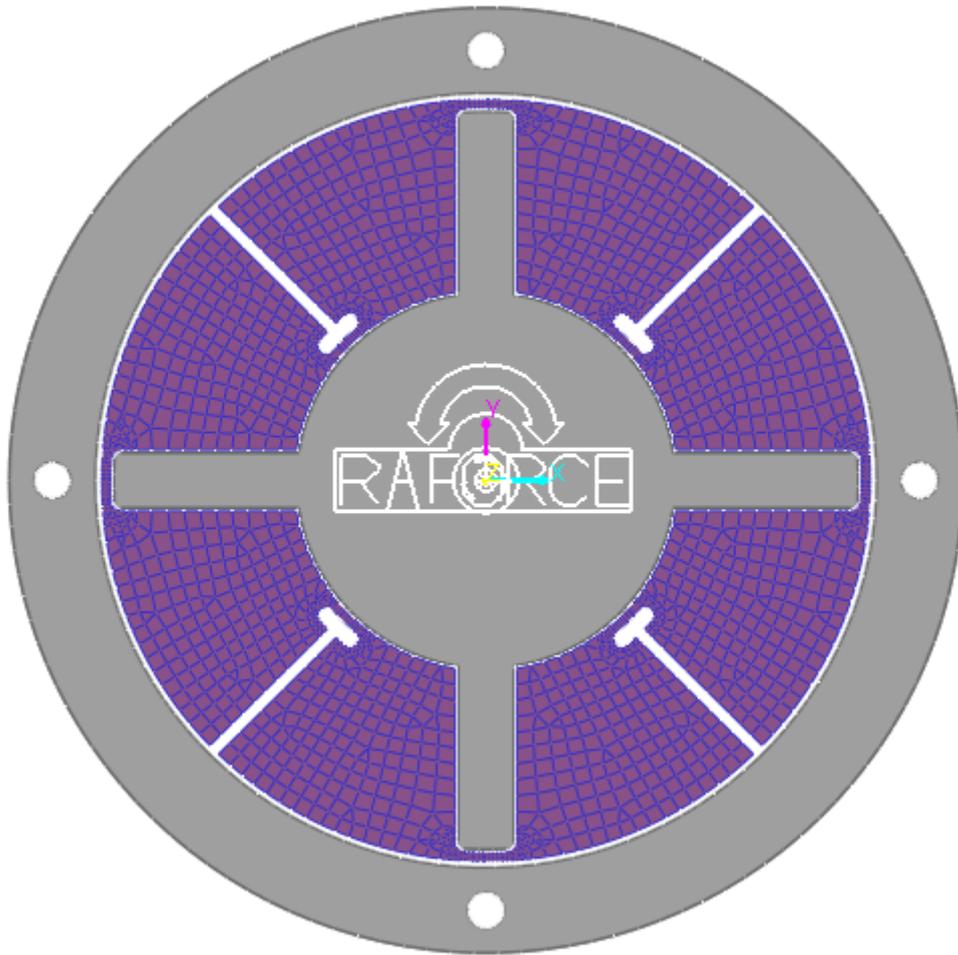
9. OK 를 클릭하면 오른쪽 그림과 같이 **Properties** 다이얼로그 박스가 나타납니다.

10. **General** 탭에서 생성한 Force 의 이름을 **RotAx_Driver** 로 변경합니다.



11. **OK**를 클릭합니다.

Driving Torque 를 생성한 후, 모델은 아래와 같이 보여집니다.



Load Torque 생성하기:

이번에도 위에서 했던 과정을 반복합니다.

- Joint 를 Rev_load 로 선택합니다.
- Expression List 다이얼로그 박스에서 Ex_loadTorque 을 선택합니다.
- 생성한 Force 의 이름을 RotAx_load 로 변경합니다.

모델을 저장합니다.

Chapter

4

Surface 와 Contact 의 정의

이 장에서는 Flexible Surface 와 Rigid Surface 의 Contact 에 필요한 Entity 를 생성해봅니다.

Flexible Body 에 Contact Surface 를 생성하고, Flexible Surface 와 Rigid Surface 사이에서 Contact 을 정의합니다.



예상 소요 시간

20 분

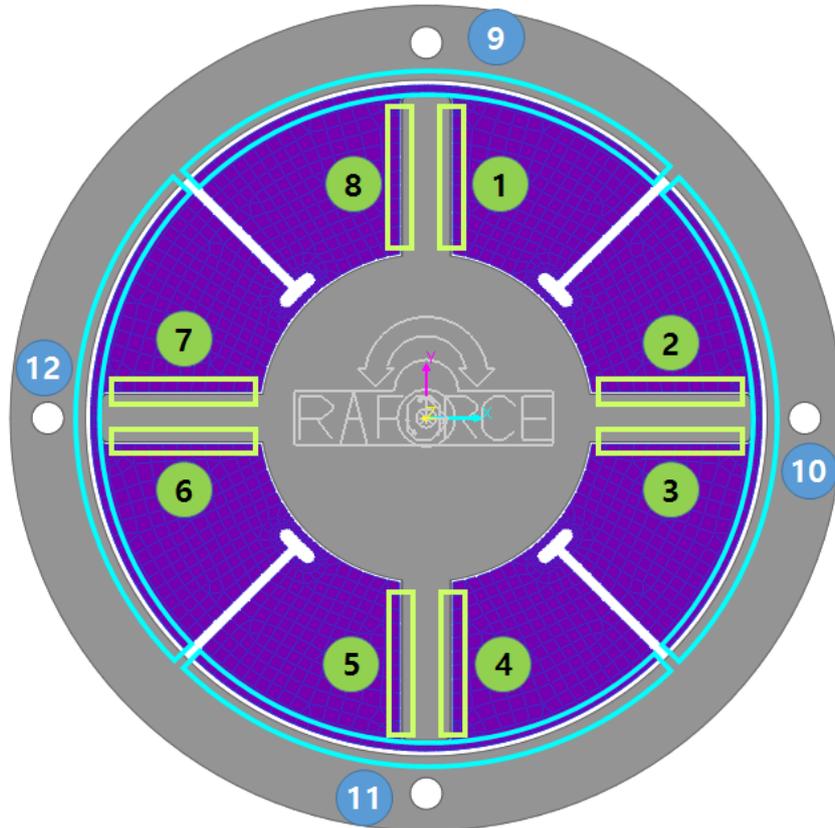
모델의 **Contact** 생성

모델에 있는 두 개의 Surface 사이에서 12 개의 Contact 을 생성해봅니다. 이 모델에서 몇 개의 Contact 은 Driver 와 Plate 의 Surface 에서 생성되고 나머지는 Plate 와 Load 사이에서 생성됩니다.

- Contact Surface 가 Plate 에 있다면 유한 요소 Mesh 로부터 한 세트의 Element Face 이 생성됩니다. 이 Element Face 세트는 Patch Set 라고 불립니다.
- Contact Surface 가 Driver 에 있다면 Face Surface 가 생성됩니다.

아래의 그림은 Contact 을 생성해야 할 12 개의 범위와 Contact 을 위한 각 Surface 의 선택 순서를 보여주고 있습니다.

Contact 구성도



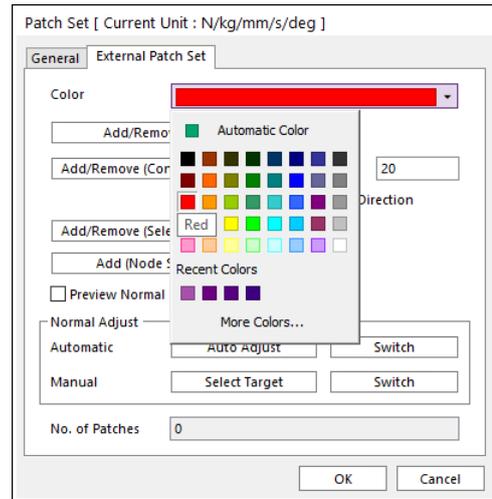
주의할 점: Clutch 위의 Contact 이 가능한 모든 범위를 선택하지 않도록 합니다. 그 이유는 Driver 가 Clutch Plate 를 회전시킬 때, 원심력은 Clutch Load 를 향한 바깥쪽으로 Plate Element 을 당기기 때문입니다. 이러한 점을 염두에 두면, Contact 의 수를 줄일 수 있으며, 시뮬레이션의 시간을 감소시킬 수 있습니다.

Patch Set 의 생성

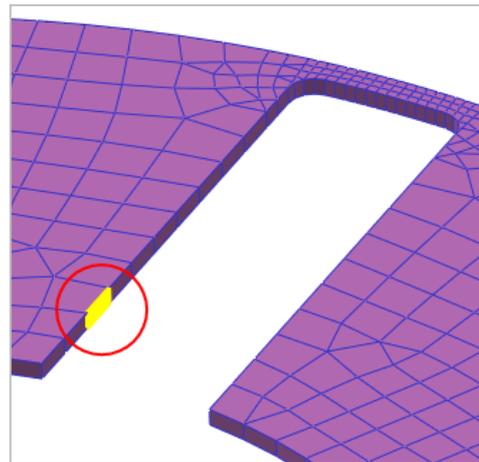
이전에도 언급했듯이, Plate 에 Surface 가 있을 경우, Contact 을 생성하기 전에 하나의 Patch Set 을 생성해야 합니다. 생성해야 할 Patch Set 은 9 개이며 그것들을 쉽게 생성하기 위해서는 첫 번째 Patch Set 을 생성한 후에 이미 생성된 Patch Set 을 가지고 있는 매개 모델을 엽니다. Patch Set 의 생성에 대해 더 자세히 알고 싶다면 부록 A: 나머지 Patch Set 의 생성을 참고하시기 바랍니다.

Flexible Body 에 Patch Set 생성하기:

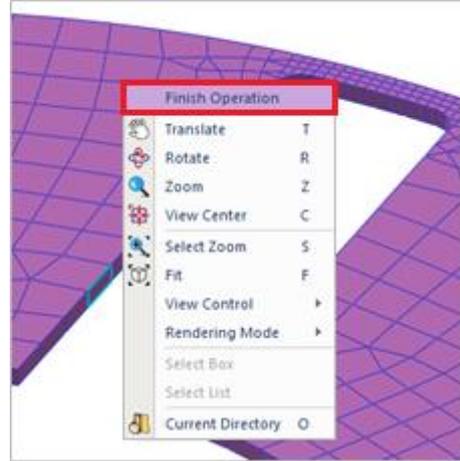
1. Database 창의 **FFlexClutchPlate** 위에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후 **Edit** 를 클릭합니다.
RecurDyn 은 현재 Clutch Plate 를 수정하기 위한 Body-Edit 모드입니다.
2. **FFlex Edit** 탭의 **Set** 그룹에서 **Patch** 를 클릭합니다.
3. 오른쪽 그림과 같이 **빨간색** 을 선택합니다.
4. **Tolerance(Degree)** 를 **20** 으로 변경합니다.
5. **Add/Remove (Continuous)** 를 클릭합니다.



6. 오른쪽 그림에서 보이는 것처럼 자세히 보기 위해 **FFlexClutchPlate Geometry** 를 확대를 합니다. 그리고 오른쪽 그림에서 노란색으로 하이라이트 되어있는 **element** 를 선택합니다.

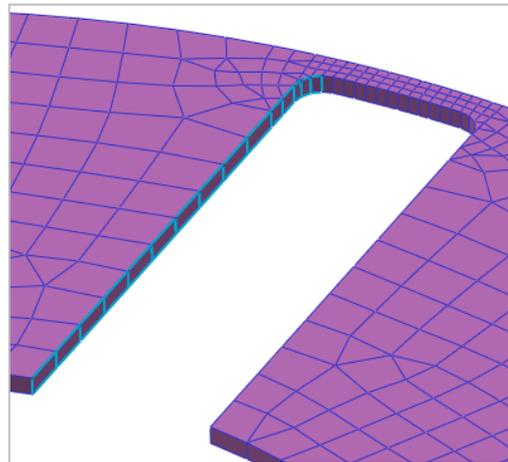


7. Working 창에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후 **Finish Operation** 을 클릭합니다.



8. **Patch Set** 다이얼로그에서 **Add/Remove (Continuous)** 를 클릭합니다.

9. **Ctrl** 키를 누른 채로 오른쪽 그림처럼 첫 번째 Contact Surface 의 하늘색으로 강조된 Element Face 를 선택합니다.



Tip: 쉽게 Face 를 선택하기:

잘못 선택한 Element 의 선택을 취소하려면 **Ctrl** 키를 누른 채로, 같은 Element 를 다시 클릭합니다. 현재의 선택모드에서 **Ctrl** 키를 누르지 않고, 또 다른 Element 를 선택한다면, 이전에 선택된 모든 Element 가 취소되고 방금 클릭한 Element 만 선택될 것입니다.

Ctrl 키를 누르지 않고 여러 아이템들을 선택하기 위해 선택 동작 변경하기:

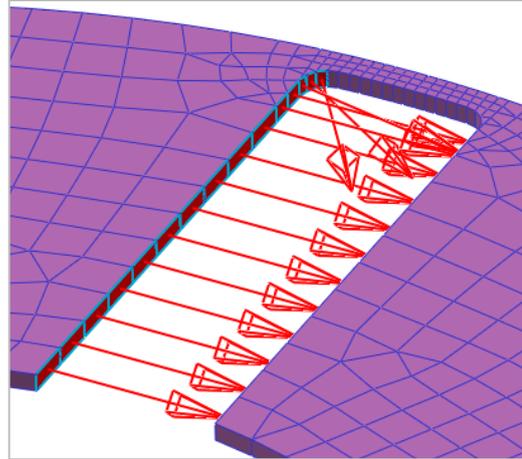
- **Flexible Toolbar** 에서 아래 그림처럼 **Add** 를 선택합니다.



- 또한, Remove 옵션에 주의합니다. 이 옵션을 선택하면 Element 를 클릭할 때, Element 의 선택은 불가능하며 Element 의 취소만 가능합니다.

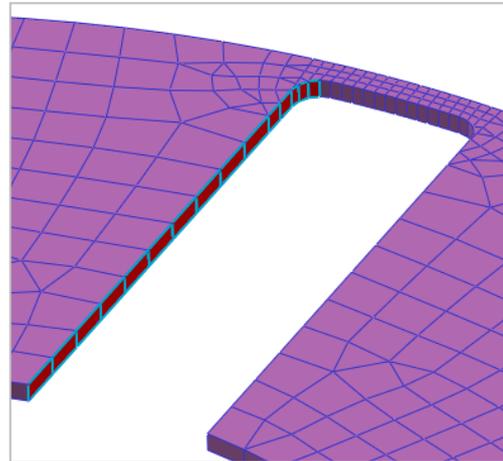
10. **Patch Set** 다이얼로그에서 **Preview Normal** 을 클릭합니다.

11. 오른쪽 그림에서 보여지는 것처럼, 모든 수직선이 Surface 바깥쪽을 가리키고 있는지 확인합니다. 그렇지 않으면, 오른쪽 그림과 동일한 방향으로 모든 수직선을 수정하기 위해 **Auto Adjust** 를 클릭합니다. 그 방향이 원하는 방향이 아니라면, 수직선을 수정하기 위해 **Switch** 를 클릭합니다.



12. **OK** 를 클릭합니다.

13. **Patch Set** 이 오른쪽 그림과 같이 나타납니다.



이제, 나머지 Patch Set 을 생성하기 위해서 다음과 같이 합니다.

- 나머지 Patch Set 이 이미 생성되어 있는 모델인 **FFlexClutch_Intermediate.rdyn** 을 열어 다음 단계인 "Face Surface 의 생성"을 이어서 진행합니다. (파일 경로: <Install Dir> \Help \Tutorial \Flexible \FFlex\CompliantClutch)
- (또는, 46 페이지의 "부록 A: 나머지 Patch Set 의 생성"의 내용에 따라 진행하여 남은 Patch Set 을 생성하고 다음 단계인 "**Face Surface** 의 생성"을 이어서 진행합니다.)

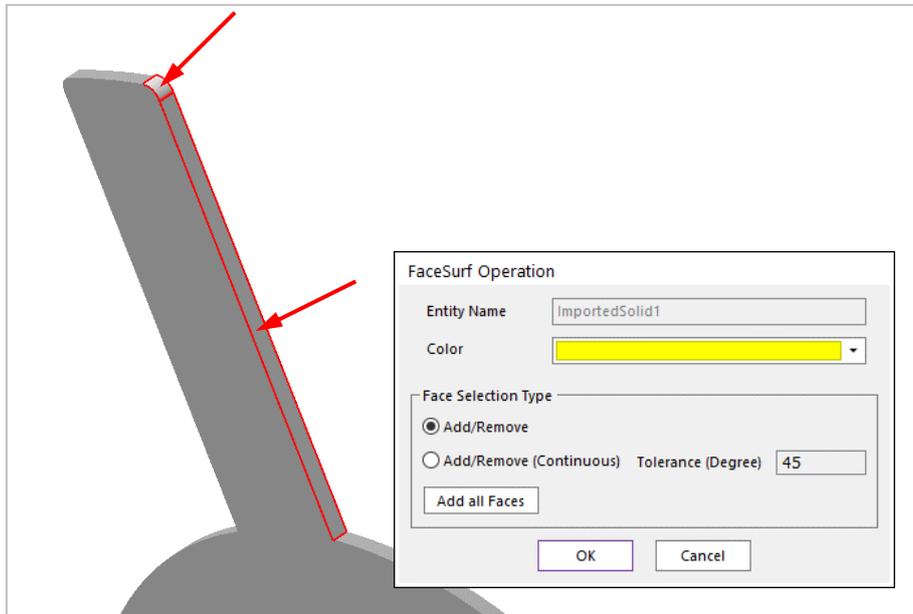
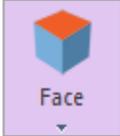
모델을 저장합니다.

- 만약 **FFlexClutch_Intermediate.rdyn** 모델을 사용하였다면 **Save As** 를 이용하여 새로 저장합니다. <Install Dir> 경로에서는 Simulation 을 할 수 없습니다

Face Surface 의 생성

Rigid body 에 **Face Surface** 생성하기:

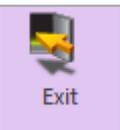
1. **Database** 창의 **ClutchDriver** 위에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후, **Edit** 를 클릭합니다. **Clutch Driver** 를 수정하기 위해 현재, **Body-Edit** 모드여야 합니다.
2. **Geometry** 탭의 **Surface** 그룹에서 **FaceSurface** 를 선택합니다.
3. 모델 생성 방법을 **Solid(Sheet), MultiFace** 로 설정합니다.
4. Working 창에서 **ClutchDriver** geometry 를 선택합니다. 그러면 **FaceSurf** Operation 대화상자가 나타납니다.
5. Arm 윗부분의 오른쪽 면에 있는 두 개의 Face 을 **Ctrl** 키를 누른 채로 아래의 그림에서 보여지는 바와 같이 선택합니다.



6. **Color** 를 노란색으로 변경합니다.
7. **OK** 를 클릭합니다.

나머지 **Face Surface** 를 생성하기:

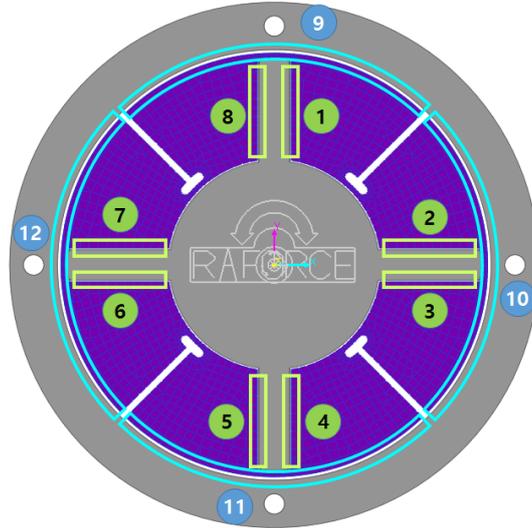
- 위의 과정을 참고하여 모두 8 개의 Face Surface 가 생성될 때까지 Clutch Driver 주위를 시계 방향에 따라 선택합니다.
- 모두 생성한 후 Body-Edit 모드에서 Exit 을 클릭하여 나옵니다.



Contact 의 생성

이제, Contact 구성도에 나타난 순서대로 Clutch Plate 와 Driver 에 필요한 Contact Surface 를 정의하여 Contact 를 생성해봅니다.

Contact 의 구성도

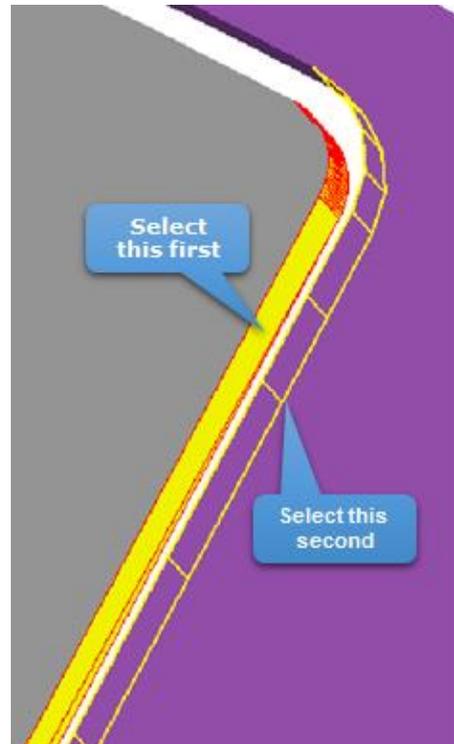


Driver Arm Contact 생성하기:

위에 그림에 나타난 1 번 부분의 Contact 을 정의합니다.



1. **Flexible** 탭의 **FFlex** 그룹에서 **FSurf.ToSurf. Contact** 을 클릭합니다.
2. 생성 방법을 **Surface, PatchSet** 으로 설정합니다.
3. 오른쪽 그림처럼 Clutch driver 에 생성해 놓은 첫 번째 **Face Surface** 를 선택합니다.
4. 오른쪽 그림처럼 Clutch plate 에 생성된 첫 번째 **Patch Set** 을 선택합니다.

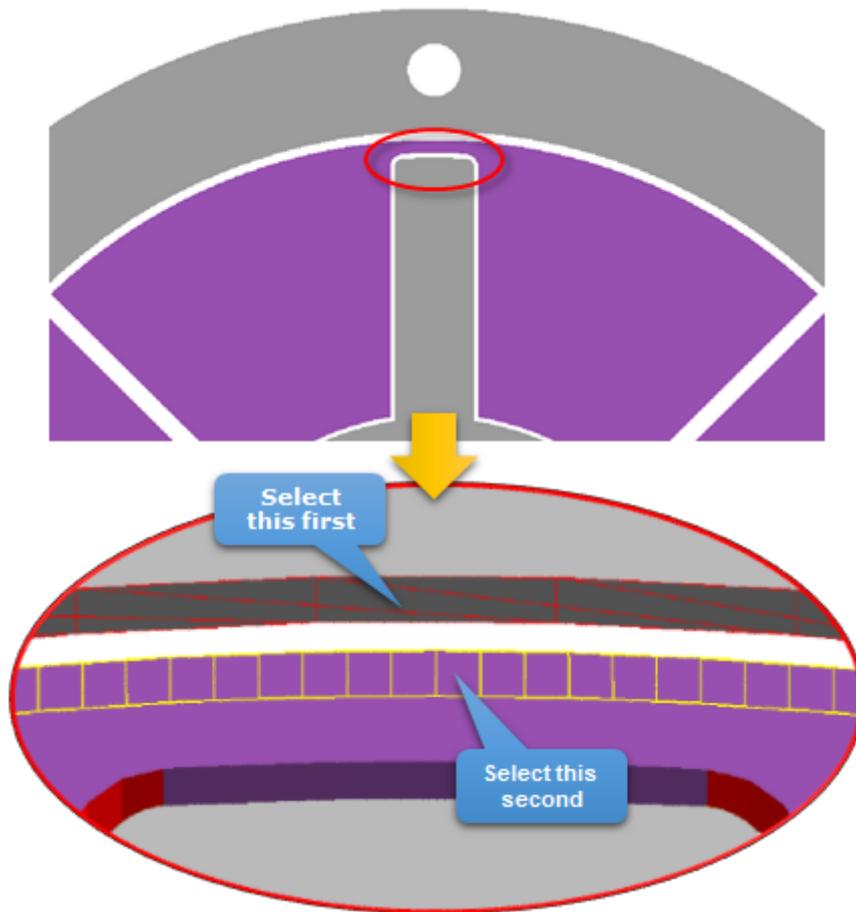


나머지 **Driver Arm Contact** 을 생성하기:

위의 과정을 참고하여, 2 번에서 8 번까지의 Driver-to-plate Contact 을 생성하기 위해 Clutch Driver 주위를 시계 방향에 따라 선택합니다.

Plate-to-Load Contact 생성하기:

1. Contact 을 생성하기 위해 위의 과정을 참고하되, 이번에는 첨부그림의 9 번과 같이 맨 위에 Plate-to-Load Contact 을 생성합니다. 아래와 같이, Load 안쪽의 둥근 Surface 를 선택합니다.

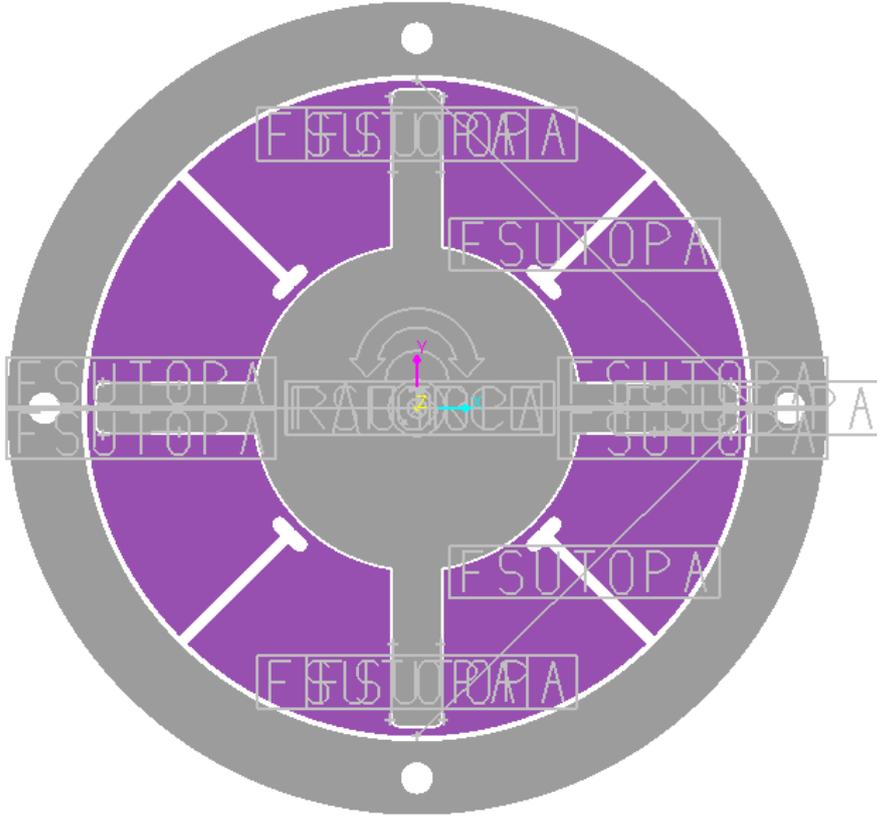


그 Surface 를 선택할 때, 그 Surface 의 모서리는 밝은 빨간색으로 보일 것입니다.

2. 맨 위의 Patch Set 을 선택합니다.

나머지 **Plate-to-Load Contact** 들 생성하기:

위의 과정을 참고하여, 10 번부터 12 번까지의 나머지 Driver-to-Plate Contact 을 생성하기 위해 Clutch Driver 주위를 시계 방향에 따라 선택합니다. 그러면, 모델은 다음과 같이 보여집니다.

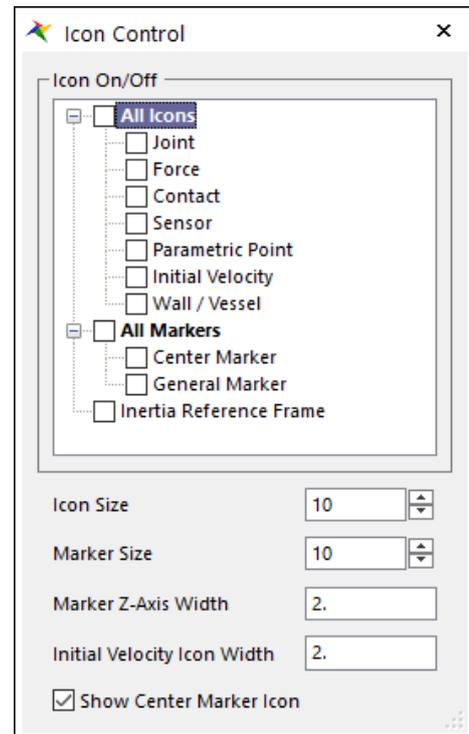


Contact 아이콘들은 Working Model 윈도우를 복잡하게 하므로, Contact 및 Revolute Joint, Rotational Axial Force 의 아이콘들을 Working 창에서 보이지 않도록 꺼둡니다.

모델의 아이콘이 보이지 않게 하기:



1. **Render** 툴바에서, **Icon Control** 을 클릭합니다.
2. 옵션 체크 상자의 체크를 모두 해제합니다.
3. 대화상자를 닫습니다.



Contact 의 수정

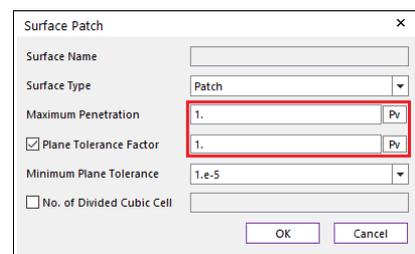
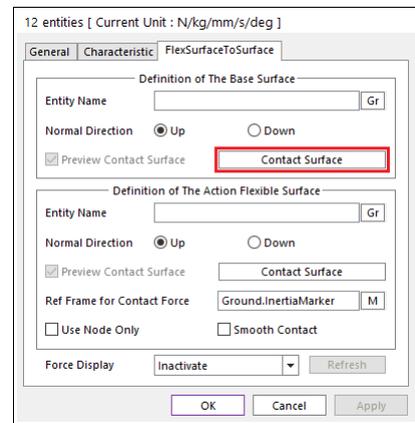
이제, 생성한 Contact 을 수정해봅니다. 먼저, 모든 Contact 에 대해서 일정한 변화를 주고, Plate-to-Load Contact 에 대해서는 마찰을 추가합니다.

Plate-to-load Contact 의 마찰 특성은 Clutch 가 Driver 에서 Load 까지 힘을 전달하기 위해 이 마찰을 이용하기 때문에 중요하며, 시뮬레이션의 시간을 단축시키기 위해 일반적인 범위보다 더 높은 마찰 계수를 사용할 것입니다.

Driver Arm Contact 에는 마찰이 거의 없게 설정하여, 시뮬레이션 시간을 단축시키기 위해서 마찰은 고려하지 않을 것입니다.

Contact 수정하기:

1. **Database** 창에서, **Shift** 키를 누른 채로 모든 12 개의 Contact 을(**FSurfaceToSurface1 - FSurfaceToSurface12**) 한번에 선택합니다.
2. 선택된 Contact 위에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후, 나타난 메뉴에서 **Property** 를 클릭합니다.
3. **FlexSurfaceToSurface** 탭을 클릭하여 오른쪽 그림에서 보이는 것처럼 **Base Surface** 를 정의하기 위해 첫 번째 **Contact Surface** 버튼을 클릭합니다.
4. Surface Patch 다이얼로그 박스에서 다음과 같이 설정합니다.
 - **Max Penetration: 1**
 - **Plane Tolerance Factor: 1**
5. **OK** 를 클릭합니다.



6. **Action Flexible Surface** 를 정의 하기 위해, 두 번째 **Contact Surface** 버튼을 클릭합니다.

12 entities [Current Unit : N/kg/mm/s/deg]

General Characteristic FlexSurfaceToSurface

Definition of The Base Surface

Entity Name Gr

Normal Direction Up Down

Preview Contact Surface

Definition of The Action Flexible Surface

Entity Name Gr

Normal Direction Up Down

Preview Contact Surface

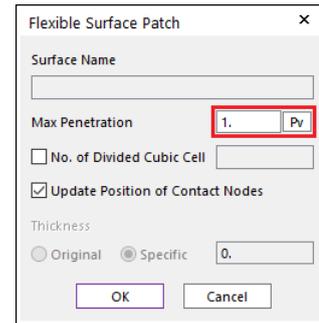
Ref Frame for Contact Force Ground.InertiaMarker M

Use Node Only Smooth Contact

Force Display Inactivate

7. **Max Penetration** 를 **1** 로 변경합니다.

8. **OK** 를 클릭합니다.



9. **Characteristic** 탭을 클릭합니다.

10. 다음과 같이 설정을 변경합니다.

- **Stiffness Coefficient:** 100
- **Damping Coefficient:** 5.e-03

11. **OK** 를 클릭합니다.

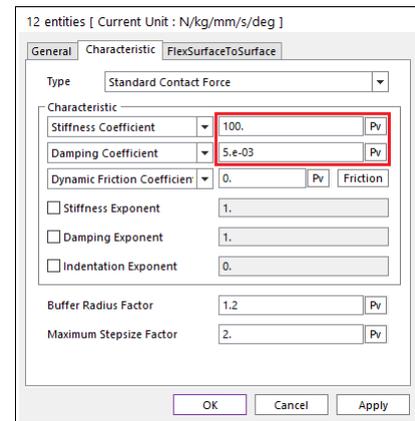
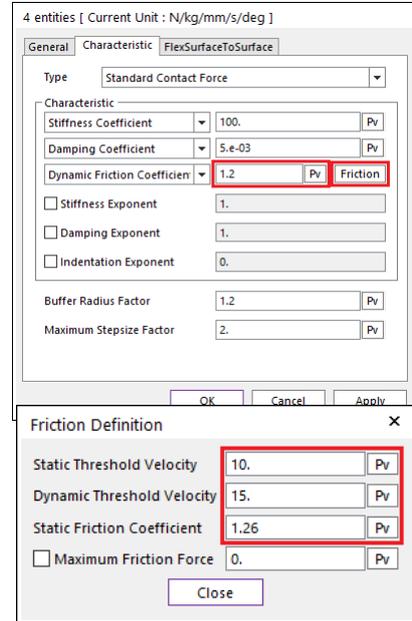


Plate-to-Load Contact 에 대해서 **Friction** 추가하기:

1. **Database** 창에서 **Shift** 키를 누른 채 **FSurfaceToSurface9** 부터 **FSurfaceToSurface12** 를 동시에 선택합니다.
2. 선택한 Contact 위에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후, 나타난 메뉴에서 **Property** 를 클릭합니다.
3. **Characteristic** 탭을 클릭합니다.
4. 다음과 같이 설정을 변경합니다.
 - **Dynamic Friction Coefficient: 1.2**
5. **Friction** 을 클릭합니다.
6. 다음과 같이 설정을 변경합니다.
 - **Static Threshold Velocity: 10**
 - **Dynamic Threshold Velocity: 15**
 - **Static Friction Coefficient: 1.26**
7. **Close** 를 클릭합니다.
8. **OK** 를 클릭합니다.



모델을 저장합니다.

Chapter

5

Boundary Condition 의 생성

이 장에서는 Clutch Plate 의 모든 유한 요소 Node 에 대해 Boundary Condition 을 생성합니다. Boundary Condition 은 Z 방향을 가진 Node 의 Motion 을 0 으로 구속할 것이며, 이는, Clutch 로부터 Clutch Plate 의 분리를 방지합니다.

또한, 이는 모든 요소들의 자유도를 줄여서 시뮬레이션의 시간을 단축하게 됩니다.



예상 소요 시간

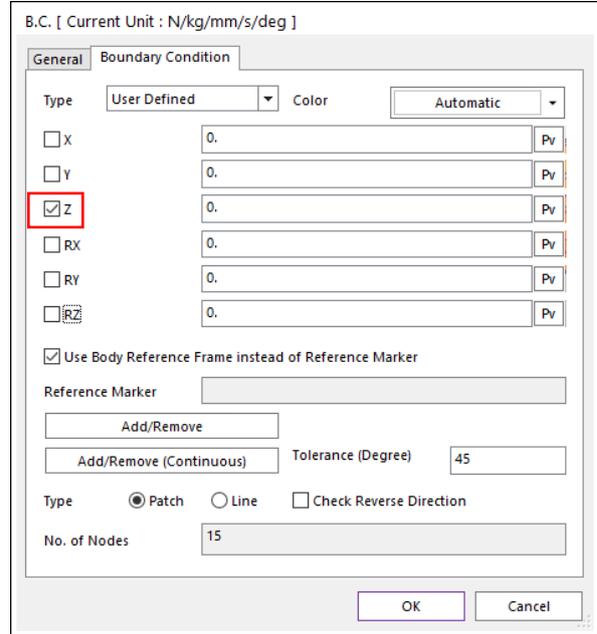
5 분

Boundary Condition 의 생성

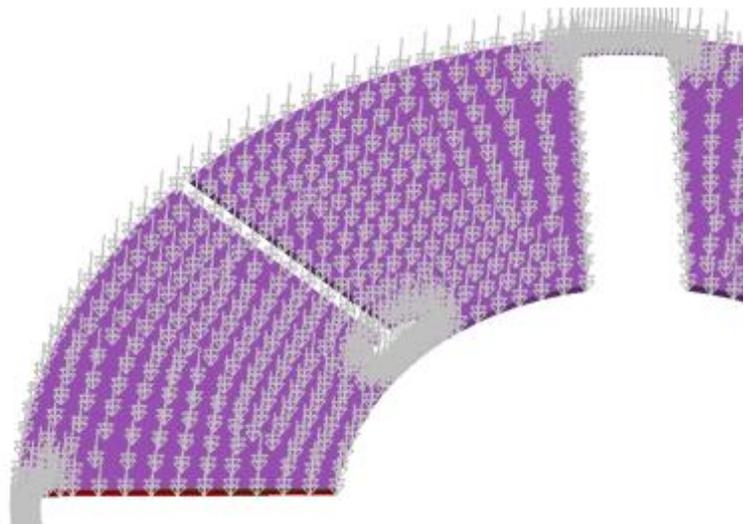
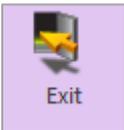
Boundary condition 구성하기:



1. **Database** 창의 **FFlexClutchPlate** 위에서 오른쪽 마우스 버튼을 클릭한 후 **Edit** 를 클릭합니다.
2. **FFlex Edit** 탭의 **FFlex Edit** 그룹에서 **B.C.**를 클릭합니다.
3. 오른쪽에 보이는 그림처럼 **Z** 를 제외하고 나머지 체크 박스의 체크를 해제합니다.
4. **Add/Remove** 버튼을 클릭합니다.



5. **Working** 창에서, 전체 Clutch Plate 주위를 클릭과 드래그 기능을 사용하여, 모든 **Node** 를 선택합니다.
6. **Working** 창에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭한 후 **Finish Operation** 을 클릭합니다.
7. **OK** 를 클릭합니다.
아래의 그림처럼 Clutch Plate 가 보여지며 **-Z** 방향으로 화살표가 향하게 됩니다.
8. **Exit** 를 클릭합니다.



모델을 저장합니다.



모델의 시뮬레이션

이 장에서는 내부 Stress의 Contour가 가능하도록 시뮬레이션을 실행시킨 후, 그 시뮬레이션의 애니메이션을 재생시켜 봅니다.



예상 소요 시간

15 분

Center 에 대한 Stress Recovery 설정

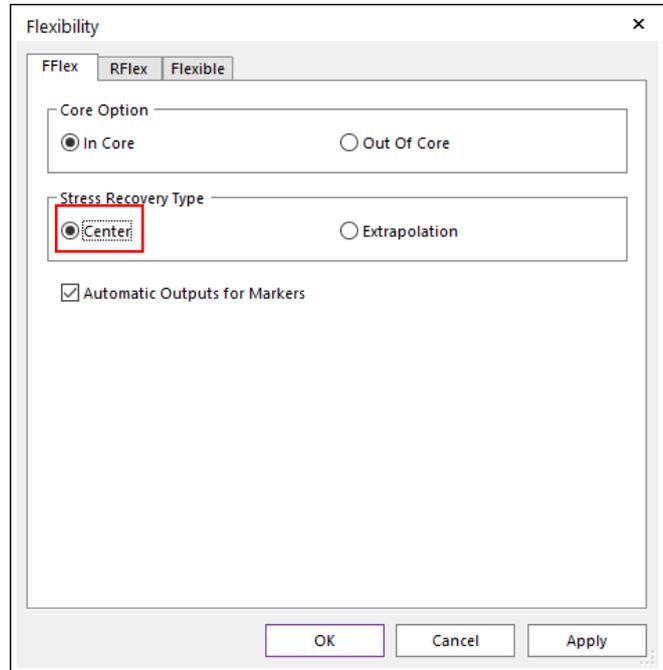
시뮬레이션을 실행하기 전에 FFlex Body 에 대한 Stress Recovery 설정을 변경합니다. 이는 정확하게 해석된 Contour Plot 의 결과 값을 얻기 위해서 설정됩니다.

Center 에 대한 Stress Recovery

설정하기:



1. **Home** 탭의 **Setting** 그룹에서 **Flexibility** 를 클릭합니다.
2. **FFlex** 탭을 선택합니다.
3. **Stress Recovery Type** 아래에 있는 **Center** 를 클릭합니다.
4. **OK** 를 클릭합니다.

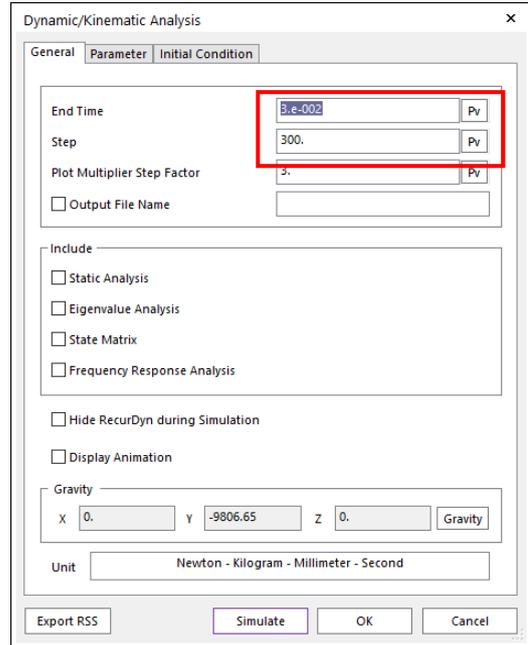


시뮬레이션의 실행

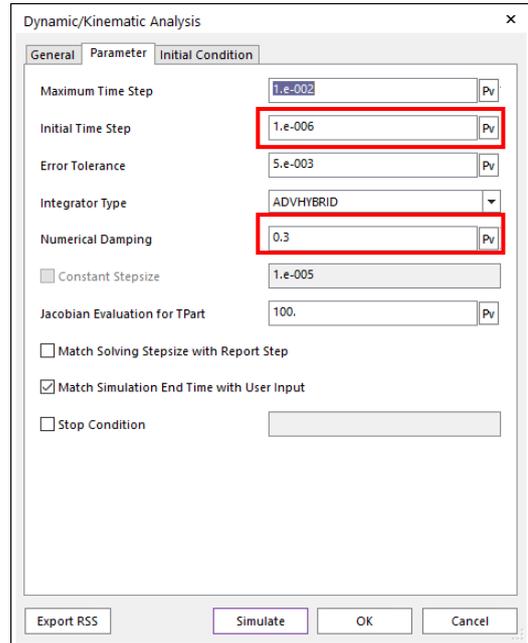
시뮬레이션 실행하기:



1. **Analysis** 탭의 **Simulation Type** 그룹에서 **Dyn/Kin** 을 클릭합니다.
2. **General** 탭에서, 다음과 같이 설정을 변경합니다.
 - **End Time:** 3.e-02
 - **Step:** 300
 - **Plot Multiplier Step Factor:** 3



3. **Parameter** 탭에서, 다음과 같이 설정을 변경합니다.
 - **Initial Time Step:** 1.e-06
 - **Numerical Damping:** 0.3
4. **Simulate** 를 클릭합니다. 1~ 5 분 동안 시뮬레이션이 실행됩니다.



Clutch Plate 의 Stress 에 대한 Contour Display

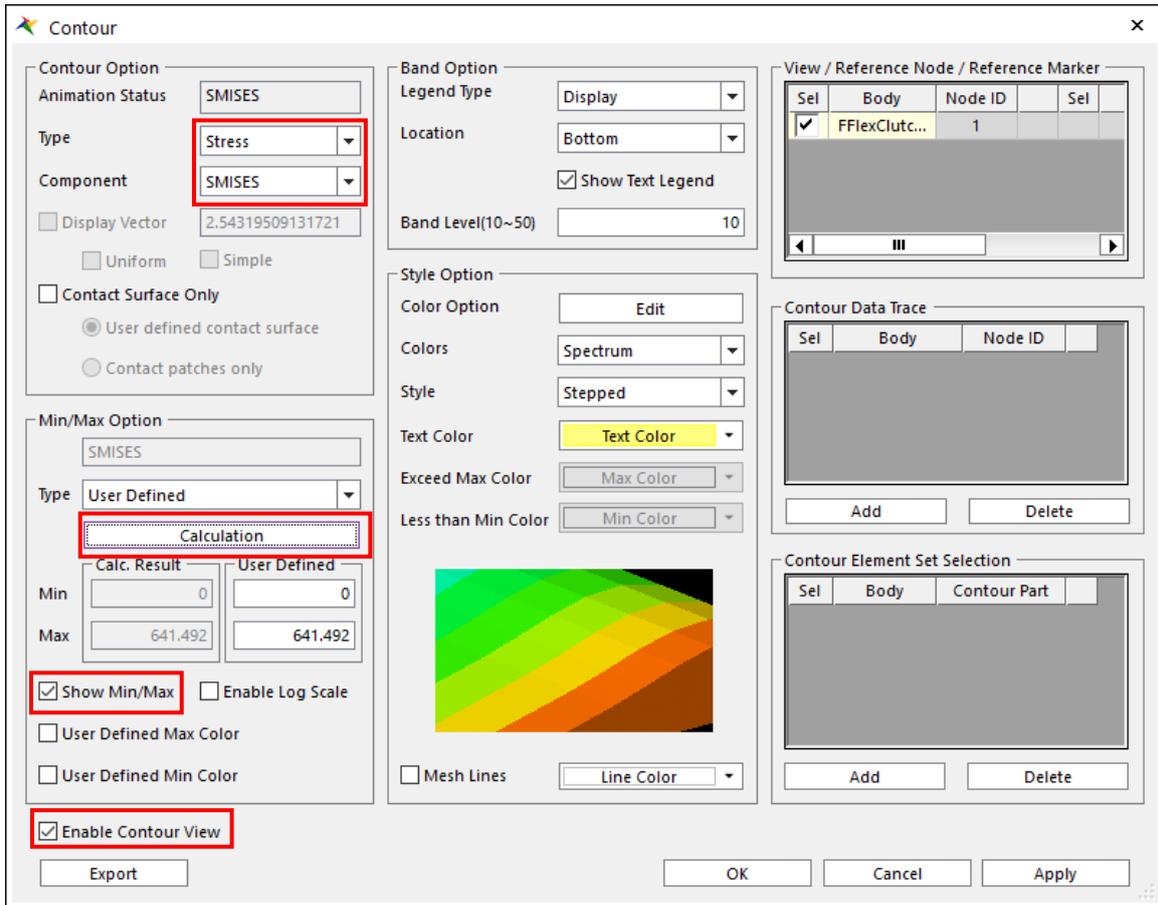
Clutch Plate 의 내부 Stress 를 보기 위해서 Contour Display 를 실행합니다.

Contour Display 실행하기:



1. **Flexible** 탭의 **FFlex** 그룹에서 **Contour** 를 클릭합니다.
2. 아래 그림에서 보이는 것처럼, 다이얼로그 상자의 하단에서 **Enable Contour View** 를 선택합니다.
3. **Contour Option** 의 **Type** 을 **Stress** 로 설정합니다.
4. 목록 끝에 있는 **SMISES** 를 클릭합니다.
5. **Calculation** 를 클릭합니다.
이것은 시뮬레이션 전체에 걸쳐 발생하는 최대와 최소 **Stress** 를 결정합니다.
6. **Show Min/Max** 옵션을 체크합니다.
7. **OK** 를 클릭합니다.

이제, 시뮬레이션을 실행한 후, Contour Display 를 실행하면 애니메이션을 재생할 수



있습니다.

애니메이션 결과 보기

애니메이션 재생하기:

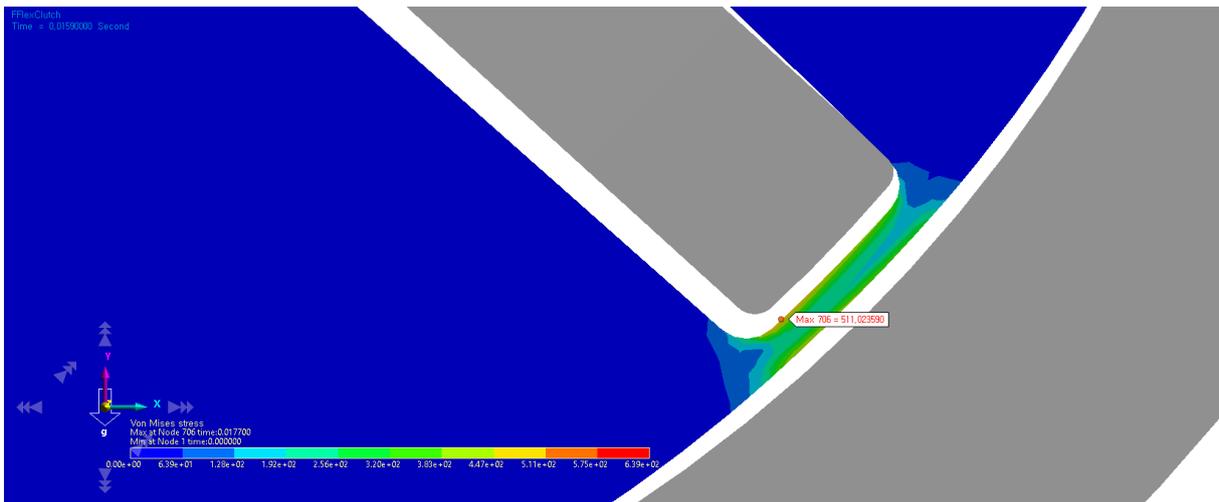


- **Analysis** 탭의 **Animation Control** 그룹에서, **Play/Pause** 를 클릭합니다.

애니메이션은 Driver 가 회전한 후에, Plate 에 Contact 하는 것을 보여줍니다. Plate 와 Driver 의 회전속도가 증가함에 따라, Plate 는 바깥쪽으로 확장되고 Load 와 Contact 하게 됩니다. 0.03 초 후반에서 Load 는 Plate 와 같이 회전하지만 속도는 일정하지 않습니다.

애니메이션의 재생이 끝났을 때:

- 가장 높은 Stress 가 있는 범위를 검토해봅시다. 아마도, 그 범위에 Flex 점이 위치할 것입니다. RecurDyn 은 가장 높은 Stress 를 가진 Flex 점의 위치를 보여줍니다.
- Clutch Plate 에서 가장 높은 Stress 를 가진 Flex 점의 위치를 확대하여 Shade 모드로 보면, 아래의 그림처럼 보여집니다.



RecurDyn 은 최대 Stress 점의 Node 번호와 Stress 를 알려줍니다. 시뮬레이션 중반에 **Node 706** 에 발생한 최대 Stress 는 **511.023N/mm²** 입니다.

예상 밖의 결과들을 통해 어떤 것을 알 수 있습니까? Clutch 의 구조가 대칭임에도 불구하고 시뮬레이션 후반에서 Plate 의 변형은 비대칭입니다. 왜 이런 결과가 발생했는지 검토하기 위해 다음과 같이 Contour Plot 의 Scale 과 Appearance 를 조정해볼 것입니다.

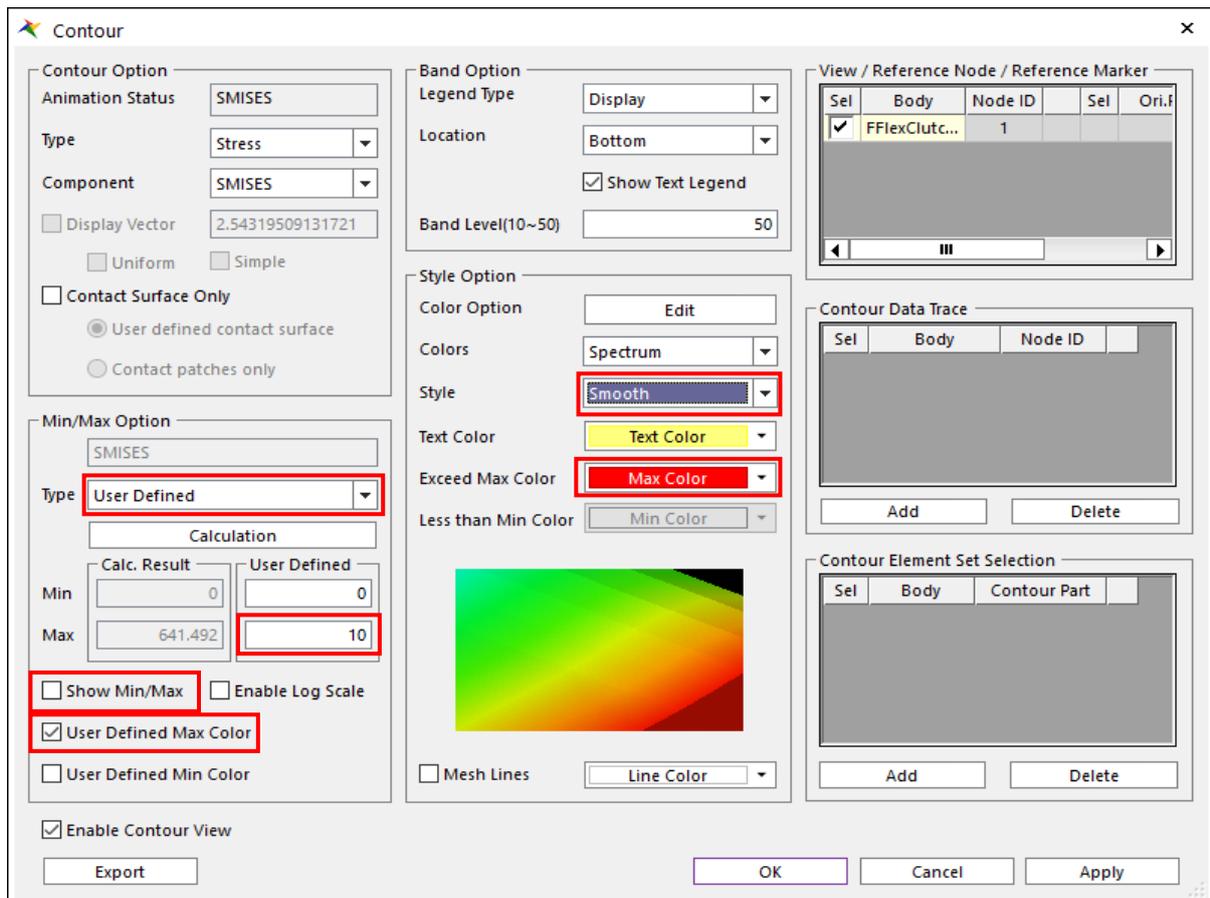
Contour Display 조정하기:

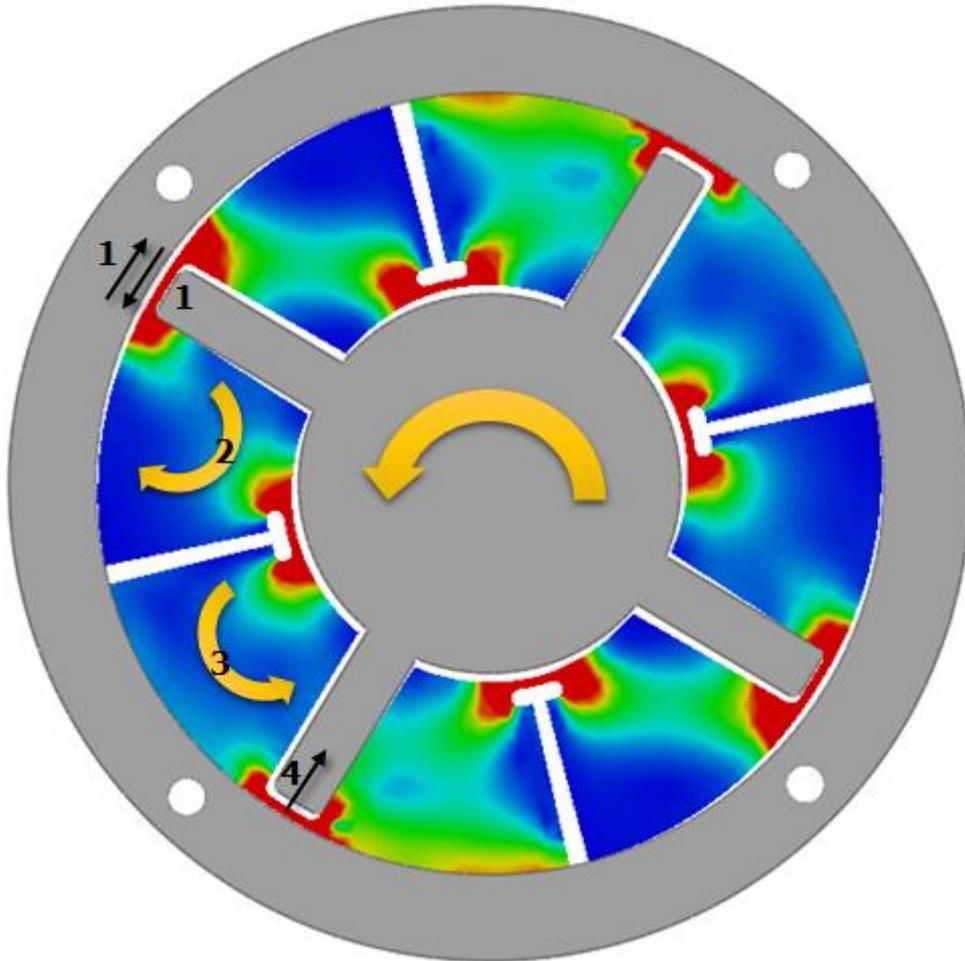


1. **Flexible** 탭의 **FFlex** 그룹에서 **Countour** 를 클릭합니다.
2. **Min/Max Option** 에서 **Type** 을 **User Defined** 로 설정합니다.
3. **Max** 를 **10** 으로 설정합니다.
4. **Show Min/Max** 옵션의 체크를 해제합니다.
5. **Style Option** 아래에서 **Style** 을 **Smooth** 로 설정합니다.
6. **User Defined Max Color** 옵션을 체크합니다.
7. **Exceed Max Color** 를 **빨간색**으로 변경합니다.
8. **OK** 를 클릭합니다.
9. 애니메이션을 다시 재생한 후, 결과를 관찰합니다.

이미 설정된 마찰로 인해, 이 설계는 비대칭 모드로 이동하는 경향을 가지며, 불안정합니다.

애니메이션이 재생되는 동안 다음과 같은 결과들을 볼 수 있습니다.





비대칭 움직임에 대해 가능한 한가지 설명은 다음과 같습니다.

왼쪽 Plate Segment 에 Clutch Driver 로부터 가해진 Force(1)과 Load 의 마찰은 Plate Segment 에 시계 방향의 Torque(2)를 발생시킵니다. 그 Torque 는 인접한 아래쪽 Segment 에 반 시계 방향의 Torque(3)으로 전달되며, Torque(3)은 Load 의 왼쪽 아래에 위치한 Flex 점을 끌어당기는 Force(4)를 발생시킵니다. 이로 인하여, 결과적으로 비대칭을 생성하게 되고. 동일한 현상은 연쇄적으로 Plate 의 반대쪽에서도 나타나게 됩니다.

시뮬레이션 결과의 **Plotting**

RecurDyn 의 Plotting 기능을 사용하면 결과를 더 쉽게 분석할 수 있습니다.

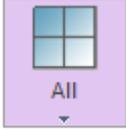
(이 튜토리얼에서는 사용자가 Plotting 하는 방법은 이미 알고 있다고 간주하고 있으므로, Plotting 하는 방법에 대한 정보는, 3D Crank-Slider 튜토리얼을 참고하시기 바랍니다.)

먼저, 실시간 애니메이션과 함께 회전 속도와 Torque 를 비교해봅시다.

애니메이션의 회전 속도와 **Torque** 관련 **Plot** 들을 비교하기:



1. **Analysis** 탭의 **Plot** 그룹에서 **Result** 을 클릭합니다.



2. **Home** 탭의 **Windows** 그룹에서 **Show All Windows** 를 클릭합니다.

3. 상단 왼쪽 윈도우에, **Tool** 탭의 **Animation** 그룹에서 **Load Animation** 을 클릭합니다.

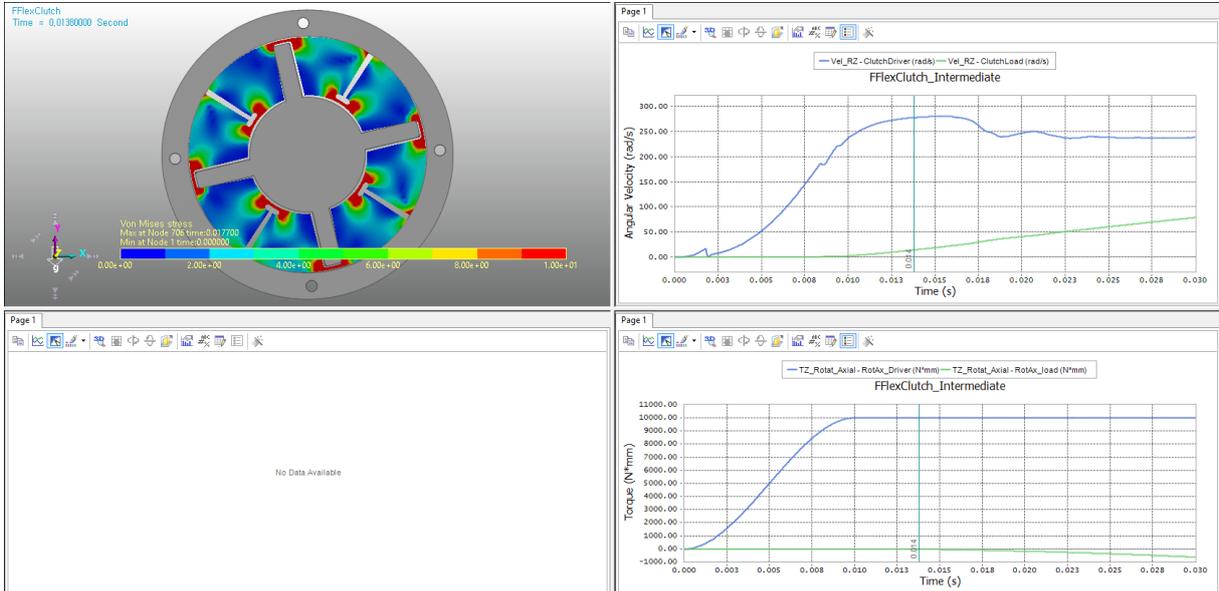
4. 상단 오른쪽 윈도우에, Clutch Driver 와 Load 의 회전 속도를 나타내는 Plot 을 다음의 목록들을 펼쳐서 그립니다.

- **FFlexClutch** → **Bodies** → **ClutchDriver** → **Vel_RZ**
- **FFlexClutch** → **Bodies** → **ClutchLoad** → **Vel_RZ**

5. 오른쪽 하단 윈도우에 Clutch Driver 와 Load 에 적용된 Torque 를 나타내는 Plot 을 다음의 목록들을 펼쳐서 그립니다.

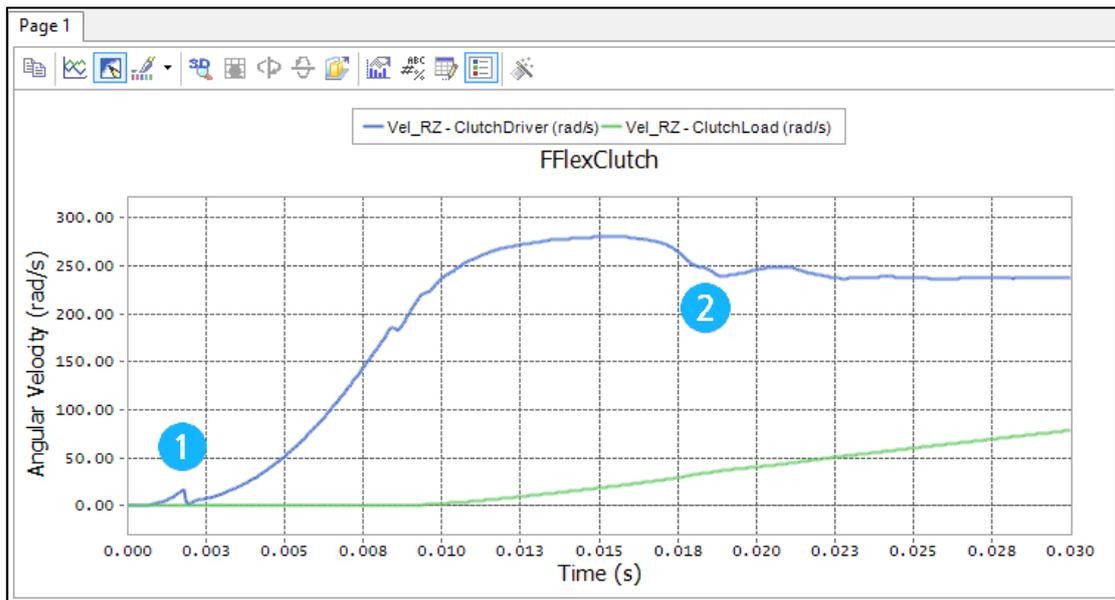
- **FFlexClutch** → **Force** → **Rotational Single (Axial) Force** → **RotAx_driver** → **TZ_Rotat_Axial**
- **FFlexClutch** → **Force** → **Rotational Single (Axial) Force** → **RotAx_load** → **TZ_Rotat_Axial**

Plot 윈도우는 아래의 그림처럼 보여집니다.



6. 애니메이션을 재생합니다.

아래의 Plot 을 보면 아마도 두 속도는 이후의 어떤 시점에서 수렴될 것이라는 것을 알 수 있습니다. 1 과 2 에서 어떤 현상이 일어납니까?



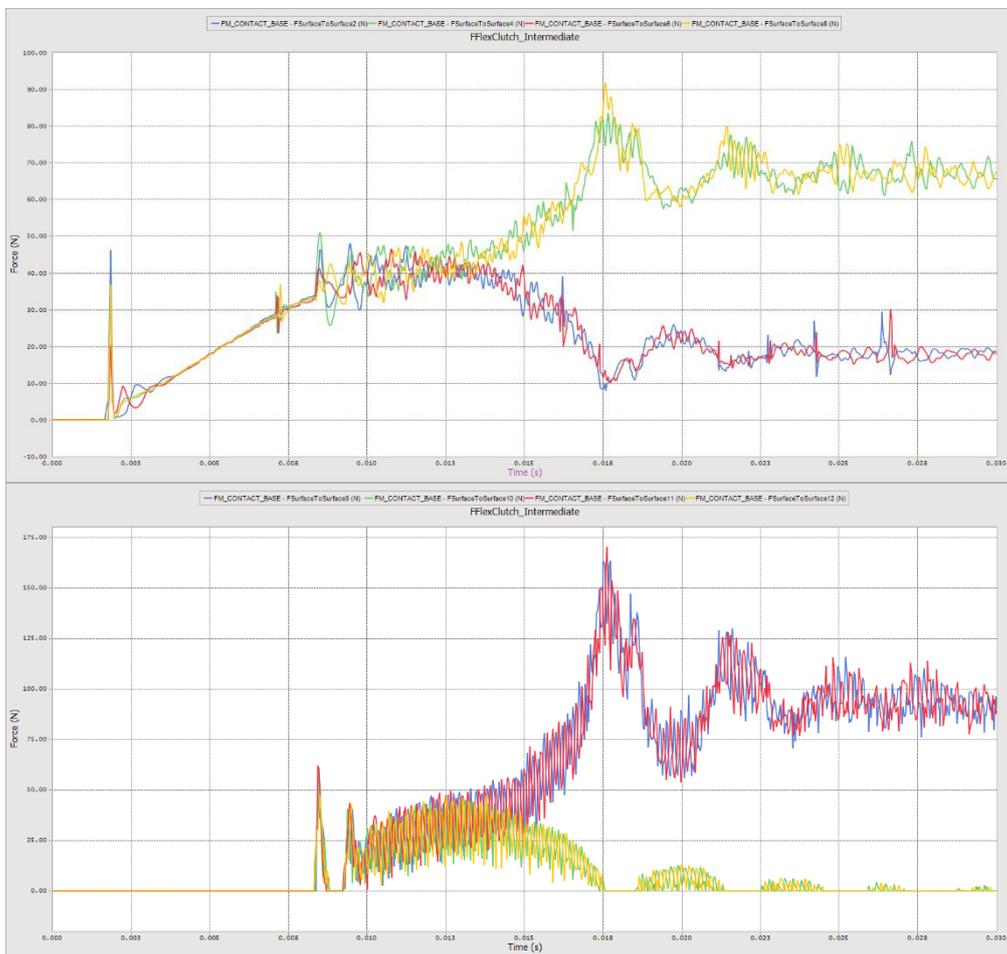
(1) Clutch Driver 는 움직임을 시작하는 초기에 Clutch Plate 와 Contact 하며, (2)Clutch Plate 는 비대칭일 것으로 추측됩니다.

Driver Arm 에 발생된 Contact Force 와 Plate-to-Load Contact 을 이제 Plot 으로 그려보겠습니다. Contact 1 에서 8 까지는 Driver Arm Contact 이고 Contact 9 에서 12 까지는 Plate-to-Load Contact 임을 염두 하시기 바랍니다.

Contact Force 를 Plot 하기:

1. 새로운 Plot 윈도우에서 시뮬레이션을 하는 동안 발생된 4 개의 Driver Arm Contact Force 의 Plot 을 그림니다. Contact 2, 4, 6, 8 을 Plot 으로 그림니다.(FFlexClutch → Contact → Flexible surface ... → FSurfaceToSurface2 → FM_CONTACT_BASE, 나머지 Contact 들도 동일할 순서로 목록을 펼칩니다.)

또 다른 Plot 윈도우에서, 4 개의 Clutch Plate-to-Load Contact Force 의 Plot 을 그림니다. Contact 9 에서 12 까지가 이에 해당됩니다. (FFlexClutch → Contact → Flexible surface → FSurfaceToSurface9 → FM_CONTACT_BASE, 나머지 Contact 도 동일할 순서로 목록을 펼칩니다.) 그러면 다음과 같이 Plot 이 그려집니다.



이 Plot 으로도 결과를 분석할 수 있지만, 더 수월하게 결과를 분석하기 위해 데이터의 노이즈를 감소시켜서 Plot 을 더 단순하게 만들어 보겠습니다. 600 Hz 로 절단된 주파수를 사용하여 데이터에 Low-Pass Filter 를 적용해봅시다.

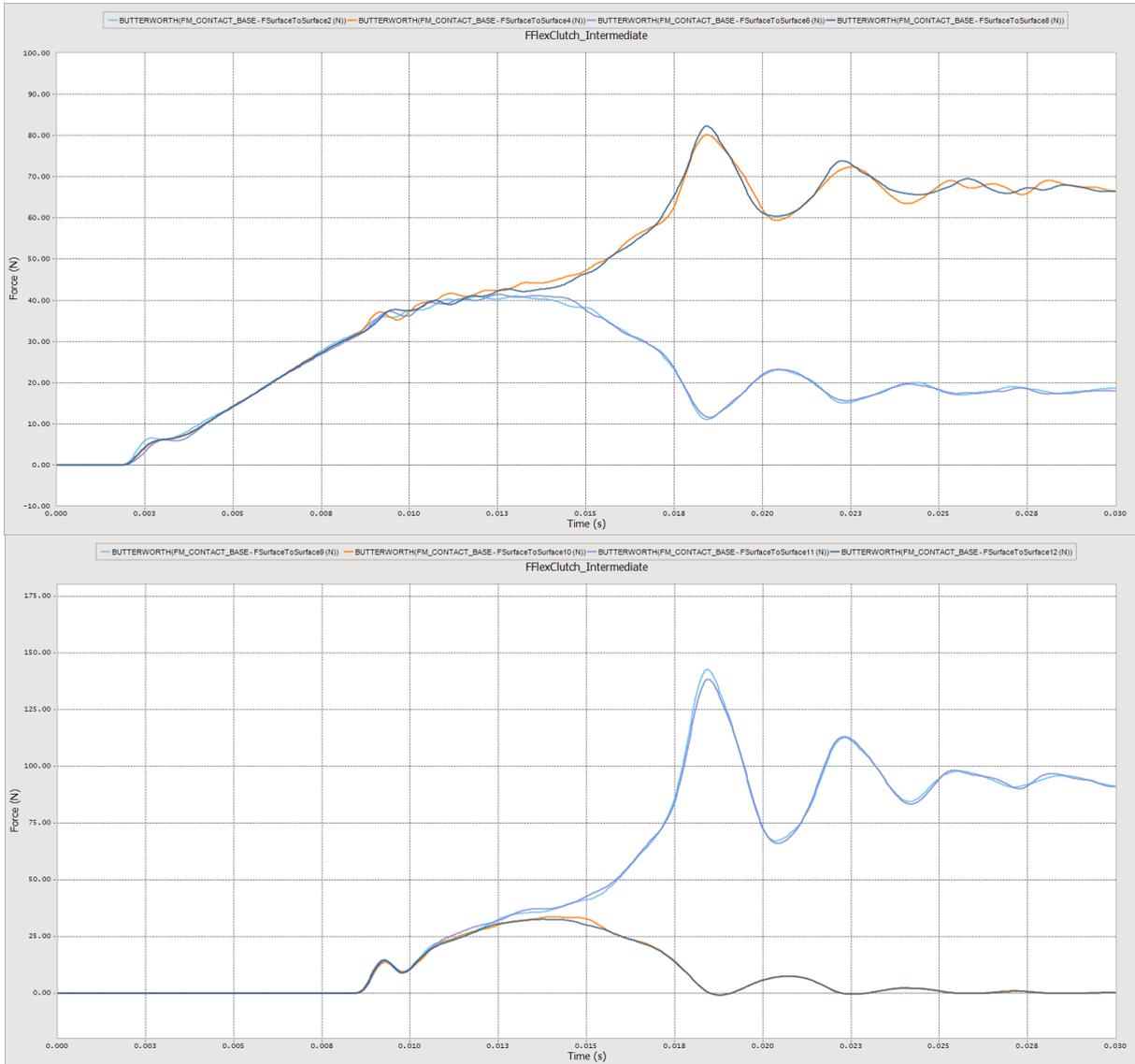
주의할 점: **FM_CONTACT_BASE** Plot 옵션은 Contact 에 발생된 총 Force 의 값을 나타내며, 이 옵션으로 인해 Plot 의 단위가 Force/Area 가 아닌 Force 인지 알 수 있습니다.

Contact Force 데이터에 **Filter** 적용하기:

1. **Home** 탭의 **Multiple Axes** 그룹에서 **At Current Axis** 옵션을 켭니다.
 2. **Tool** 탭의 **Analysis** 그룹에서 **Filter** 를 클릭합니다.
 3. 다음의 과정들을 위해 아래의 그림처럼 설정합니다.
 - **Type** 을 **Low Pass** 로 설정합니다.
 - **Cutoff (Hz)**를 **600** 으로 설정합니다
 4. **Execute** 를 실행합니다.
 5. **Curve** 를 **1: FM_CONTACT_BASE – FsurfaceToSurface2(N)**로 설정합니다.
 6. **Execute** 를 실행합니다.
 7. 세 개의 남아있는 **Curve** 들에 대해서도 위의 과정을 반복합니다.
 8. **Close** 를 클릭합니다.
- Filter 들이 적용될 때, 약간의 시간이 걸릴 수 있습니다.
9. Filter 되지 않은 Plot 의 선들은 제거하고, 각각의 선을 더욱 구별하기 쉽도록 Plot 선에 새로운 색을 적용합니다.
 10. 나머지 Contact Force 의 Plot 에도 위의 과정을 반복합니다.



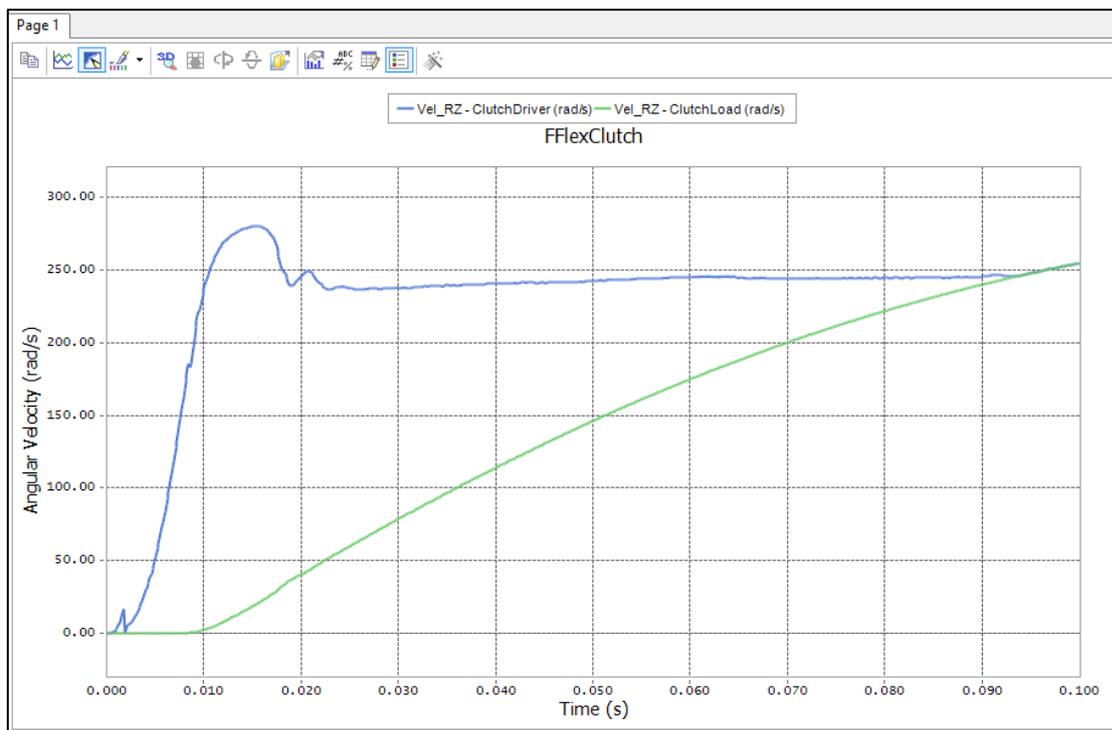
그러면 Plot 은 다음의 그림과 같이 보여집니다.



이제, Plot 을 좀 더 수월하게 분석할 수 있습니다. Driver Arm Contact 을 보면, 4 개의 모든 Contact 이 Plate 와 Load 사이에서 Contact 이 생성될 때까지 서로 유사한 Force 를 발생합니다.

여기서, Contact 2 와 Contact 6 은 더 높은 값의 Contact Force 를 유지하는 Contact 4 와 Contact 8 과 같이, Contact 4 와 Contact 8 의 반대 방향으로 진동됩니다. 이것은 Contact 4 와 Contact 8 이 Load 와 더 긴밀히 Contact 되어진 Plate Segment 로 둘러싸인 Driver Arm 과 같이 있기 때문에 타당한 것이며, 더 많은 Torque 를 전달하게 합니다. 4/8 부터 2/6 인 Contact 의 결과는 Clutch Plate 가 비대칭 형태를 나타내기 전에(~0.016 초)~0.010 초에서 일어납니다.

Clutch Plate-to-Load Contact 을 살펴보면, Contact 9 와 11 이 유사하며, Contact 10 과 12 가 유사합니다. 9/11 그룹과 10/12 그룹은 같은 방향으로 초기에 진동합니다. 그러나, 시간의 흐름에 따라 진동은 반대 방향이 변경되며, 9/11 그룹은 더 높은 Contact Force 를 갖게 됩니다. 이 Contact 은 초기에 Clutch Plate 의 위와 아래에 발생하게 되며, 시간이 지남에 따라 Load 와 더 긴밀한 Contact 을 발생합니다. 시뮬레이션을 더 오랫동안 실행한다면 0.095 초에서 Clutch 가



맞물려 잘 돌아가게 되는 다음과 같은 결과를 얻을 수 있습니다.



부록 **A**: 나머지 **Patch Set** 의 생성

이 부록은 “**Patch Set** 의 생성” 부분과 연결되는 내용으로 Surface Contact 에 필요한 나머지 Patch Set 8 개를 생성하는 법에 대해 설명하고 있습니다.



예상 소요 시간

25 분

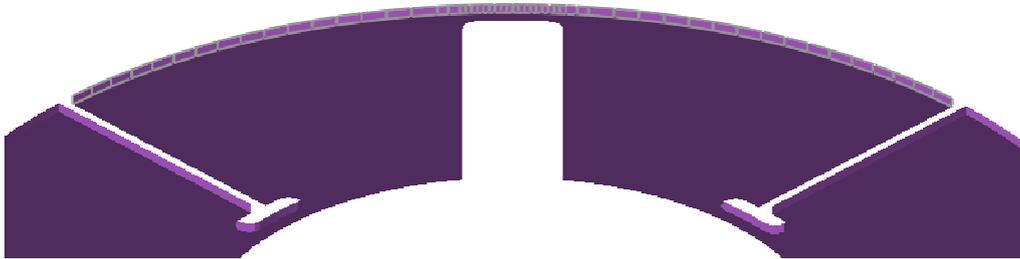
나머지 **Patch Set** 의 생성

나머지 **Patch Set** 생성하기:

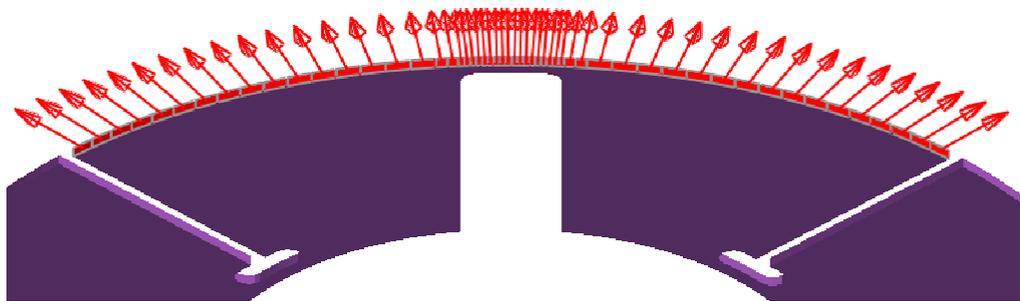
1. 이 부록의 도입부에 있는 Contact 구성도를 참고하여, 첫 번째 Patch Set 을 생성했던 방법 (**Add/Remove(continuous)**)과 동일한 방법을 사용합니다.

Clutch Plate 주위의 Surface 을 계속 선택하면 RecurDyn 은 자동적으로 Patch Set 에 SetPatch2, SetPatch3,..., SetPatch8 로 이름을 붙일 것입니다.

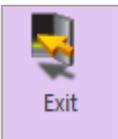
2. Clutch Plate 의 바깥쪽 Surface 에 대해서도 Contact 구성도를 참고하여, 위쪽 Surface 를 시작으로 Clutch Plate 의 주위를 시계 방향에 따라 선택합니다. 각각의 Surface 는 아래의 그림처럼 밝은 회색으로 보여집니다.



3. 아래의 그림처럼 모든 수직선들은 Clutch Load 의 바깥쪽을 향하게 됩니다.



4. **Exit** 를 클릭합니다. 이 튜토리얼의 4 장으로 돌아가서 "**Face Surface 의 생성**" 부분을 계속 진행합니다.



Thanks for participating in this tutorial!