

터널 세그먼트 해석

AGENDA

I.	개요	3
II.	해석 모델 구성.....	4
	1. 새 모델 생성	
	2. 모델 구성	
	3. 요소의 정의 및 적용	
	4. 기하특성 정의 및 적용	
	5. 재료특성 정의 및 적용	
	6. 경계 조건 정의 및 적용	
	7. 로컬 좌표계 정의 및 적용	
	8. 하중 정의 및 적용	
III.	해석 수행	27
	1. 비선형 설정	
	2. 해석 수행	
IV.	결과 검토	28
V.	하중 조합	30
	1. 하중 조합	
VI.	부록 A: 지반 스프링 상수를 고려한 모델링	34
	1. 모델 구성	
	2. 지반 구성	
	3. 요소의 정의 및 적용	
	4. 기하특성 적용	
	5. 재료 특성의 정의 및 적용	
	6. 경계 조건 정의 및 적용	
	7. 로컬 좌표계 정의 및 적용	

8. 하중 정의 및 적용
9. 해석 수행 및 결과 검토

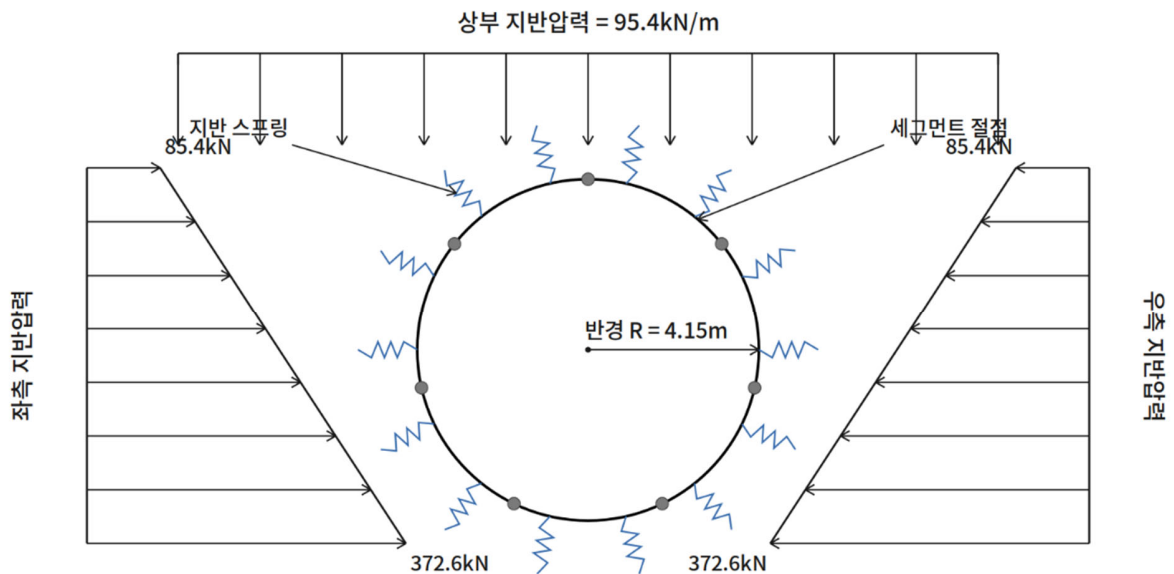
개요

보-스프링 모델을 이용하여 쉴드 터널 구조물의 내력 및 변위를 계산합니다.

세그먼트 반경은 4.15m 이며, 지반의 세그먼트에 대한 지지 특성은 압축만 받고 인장은 받지 않는 조건입니다.

세그먼트에 작용하는 하중은 다음과 같습니다.

- 자중
- 내부 수압
- 지반 압력



터널 구조물 해석에서는 두 가지 모델링 방법이 사용됩니다:

- 지반은 편저항 구속으로만 고려하고, Beam 의 End-Release 기능을 이용하여 세그먼트 연결을 모델링하는 방법
- 지반의 스프링 상수를 고려하여 구성하고, Beam 의 End-Release 기능을 이용하여 세그먼트 연결을 모델링 하는 방법 (부록 A)

해석 모델 구성

1. 새 모델 생성

- 파일명: 터널_세그먼트_분리지지
- 해석 종류: 구조(Structural)
- 해석 유형: 2D 평면(2D Inplane)
- 모델 단위: N, m, kg, s, C
- 시간 단위: 초(Sec)

설정 완료 후 OK 버튼을 클릭합니다.

The image shows a 'New Model' dialog box with the following settings:

- File name:** Tunnel
- Working folder:** C:\Users\WOEM\Documents\LUSAS230\Projects (User-defined)
- Model properties:**
 - Analysis type: Structural
 - Analysis category: 2D Inplane
 - Model units: N,m,kg,s,C
 - Timescale units: Seconds
- Optional:**
 - Startup template: None
 - Layout grid: None
 - Title: (empty)
 - Job number: (empty)

2. 모델 구성

Geometry> Point> By Coords...

위의 메뉴를 실행하고 (0,-4.15,0) 위치에 포인트를 생성합니다.

Enter Coordinates

Grid style
 3 columns

	X	Y	Z
1	0.0	-4.15	0.0

Local coordinate
 Global coordinates

Set as active local coordinate

OK Cancel Help

앞에서 생성한 포인트를 선택하고, Z 축을 기준으로 56.83 도 만큼 회전하여 Sweep 합니다.

Sweep

Translate
 Rotate
 Mirror (screen)
 Scale
 Mirror (advanced)

Angle: 56.83
 (+ve angles anti-clockwise about the axis)

About axis:

 X-axis

 Y-axis

 Z-axis

 Specified

Origin of axis:

X	Y	Z
0.0	0.0	0.0

Sweep type:

 Minor arc
 Major arc
 Straight

Order of geometry to create:

 Line
 Surface
 Volume

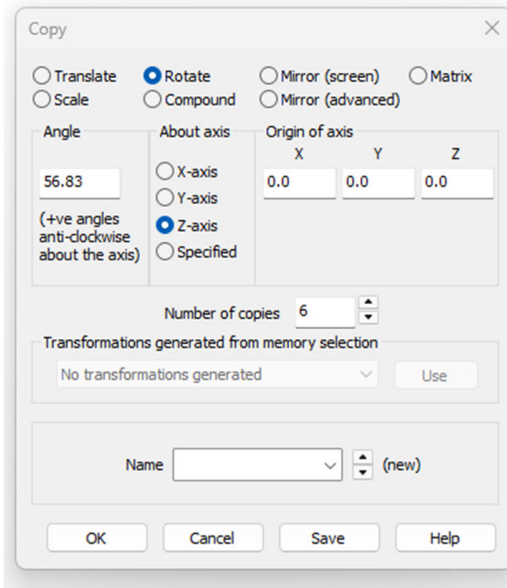
Transformations generated from memory selection:

No transformations generated Use

Name: (new)

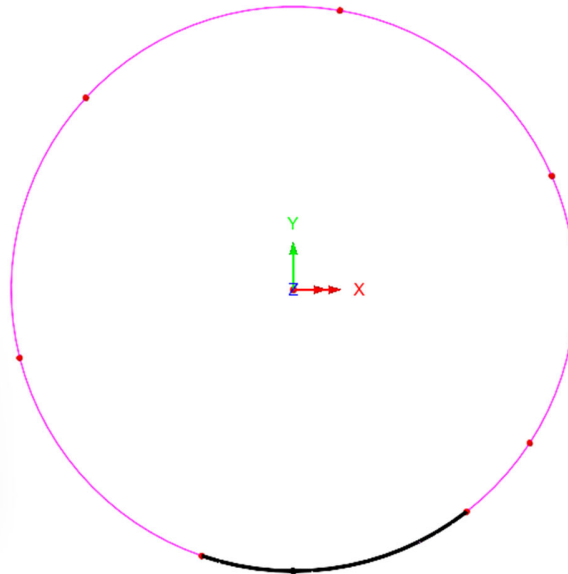
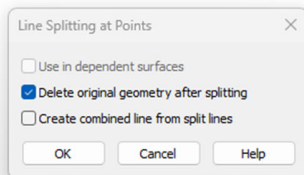
OK Cancel Save Help

생성된 원호를 회전방향으로 56.842 도 만큼 6 번 복사합니다.

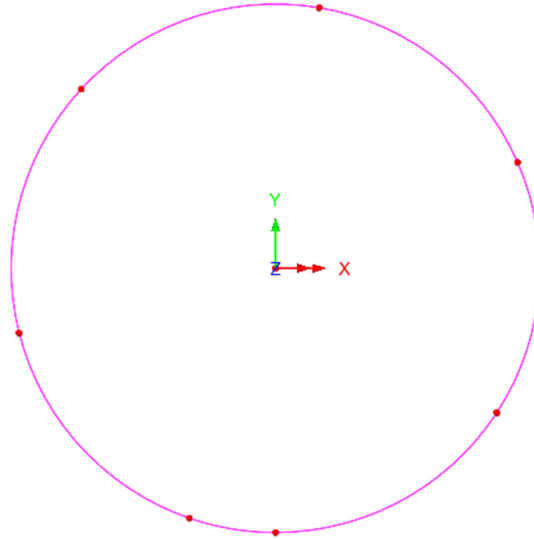


마지막으로 생성된 line 과, Line 중간에 위치한 Point 도 함께 선택합니다.

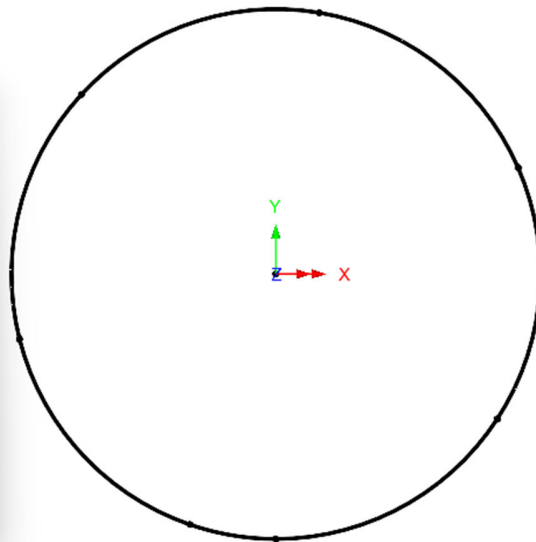
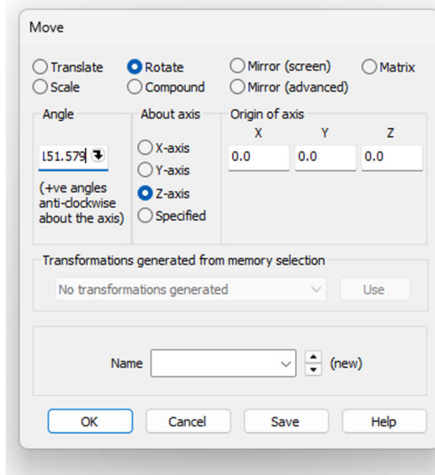
Geometry > Line > by Splitting > At a point... 메뉴를 실행하여 Line 을 선택한 Point 를 기준으로 분할하고, 중복된 위치의 Line 을 삭제합니다.



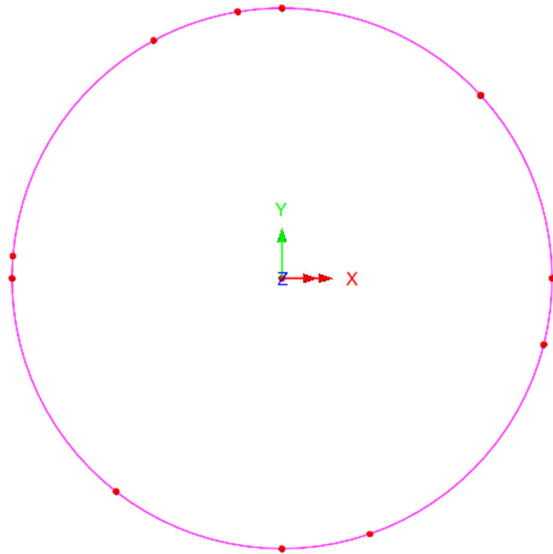
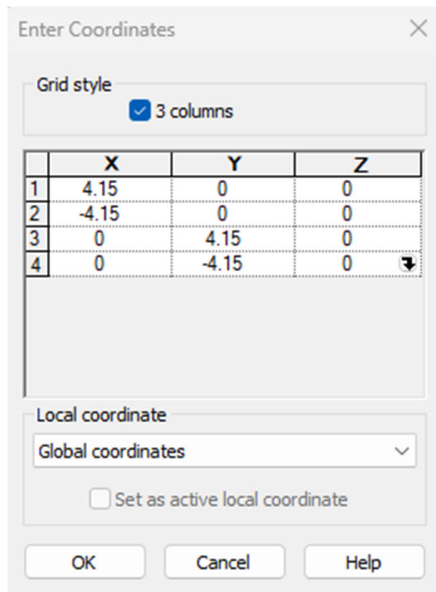
분할된 두 line 중 우측 line 을 삭제합니다.



전체 모델을 선택하여 Z 축 기준으로 -151.579 도 만큼 회전하여 이동시킵니다.

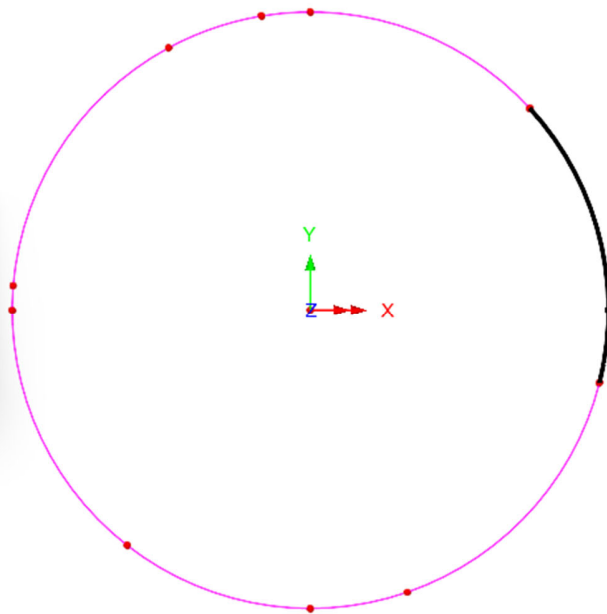
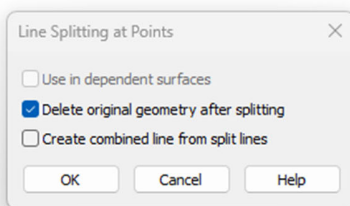


Line 을 분할할 기준점을 생성합니다. (4.15, 0, 0), (-4.15, 0, 0), (0, 4.15, 0), (0, -4.15, 0) 위치에 포인트를 생성합니다.

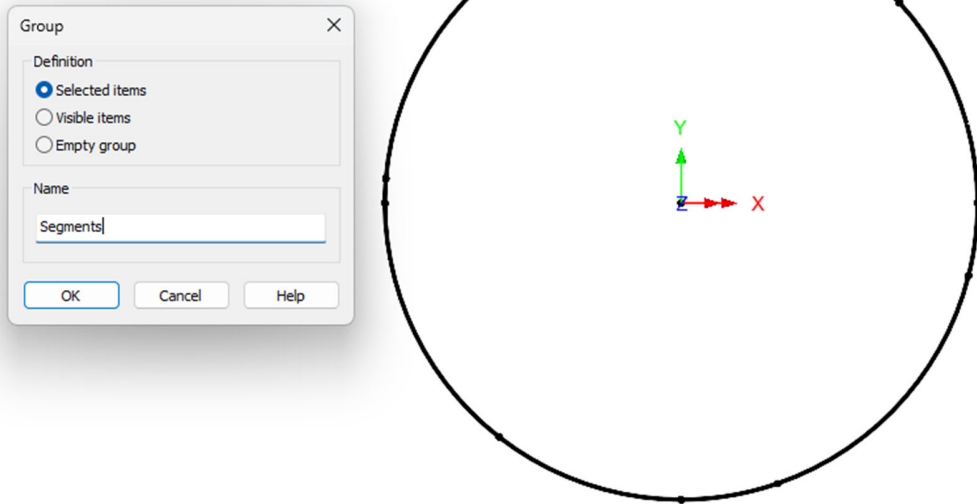


세그먼트 곡선을 세그먼트 위에 위치한 Point 를 기준으로 분할합니다.

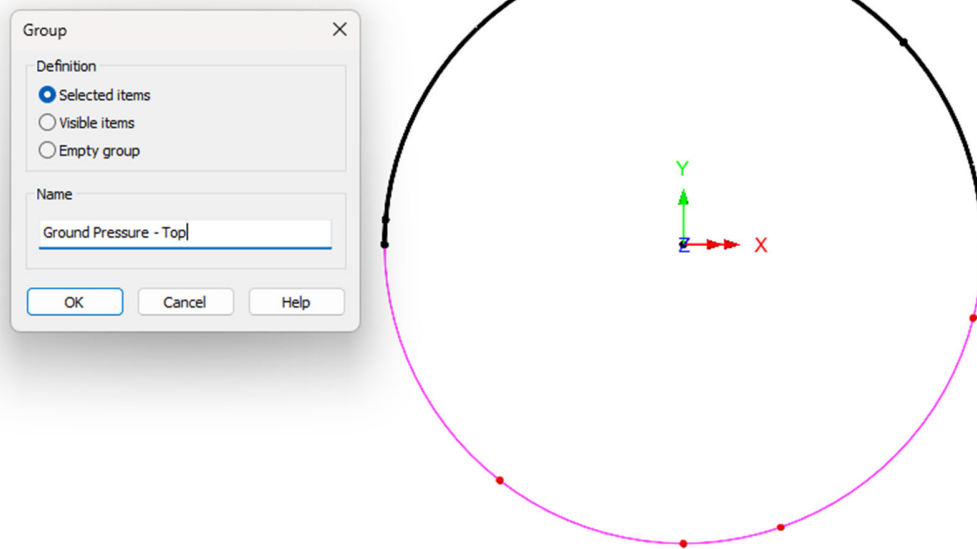
아래와 같이 우측 세그먼트에 해당하는 Line 과 위에 위치한 Point 를 선택합니다. **Geometry> Line> By Splitting> At a point...** 메뉴를 선택합니다. **'Delete original geometry after splitting'** 옵션을 체크합니다. 나머지 세그먼트도 동일하게 분할 합니다.



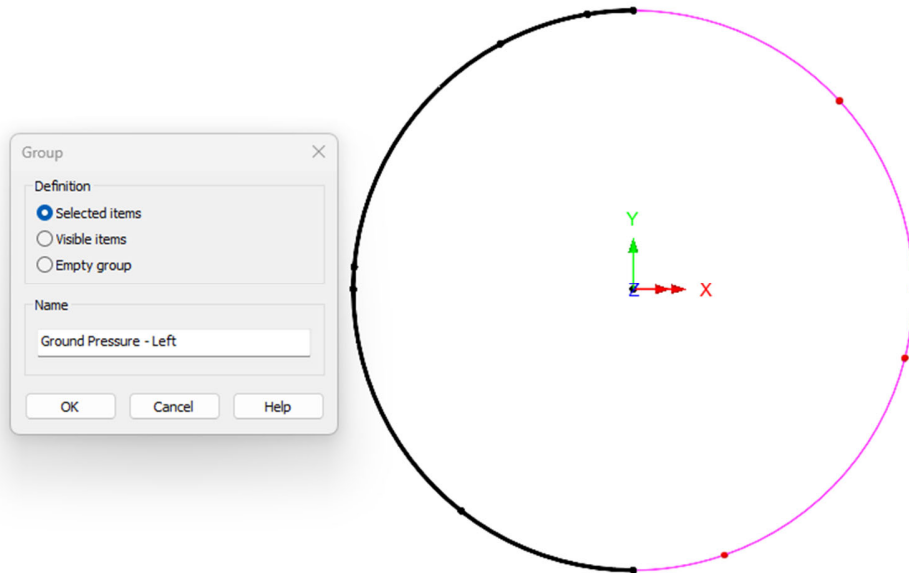
세그먼트 그룹을 정의합니다. 전체 모델을 모두 선택한 후, 모델러의 그룹 아이콘을 눌러 그룹으로 지정합니다. 그룹명은 Segments 로 정의합니다.



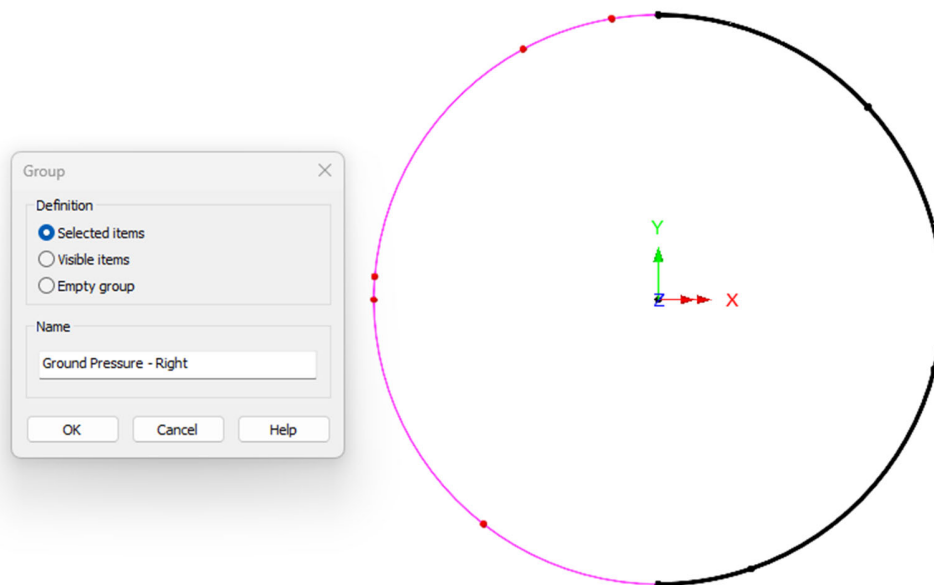
지반 압력 그룹을 정의합니다. 아래 그림에서 표시된 line 을 선택한 후, 그룹으로 지정합니다. 그룹명은 Ground Pressure - Top 을 입력합니다.



아래 그림에서 표시된 line 을 선택한 후, 그룹으로 지정합니다. 그룹명은 Ground Pressure - Left 를 입력합니다.



아래 그림에서 표시된 line 을 선택한 후, 그룹으로 지정합니다. 그룹명은 Ground Pressure - Right 를 입력합니다.



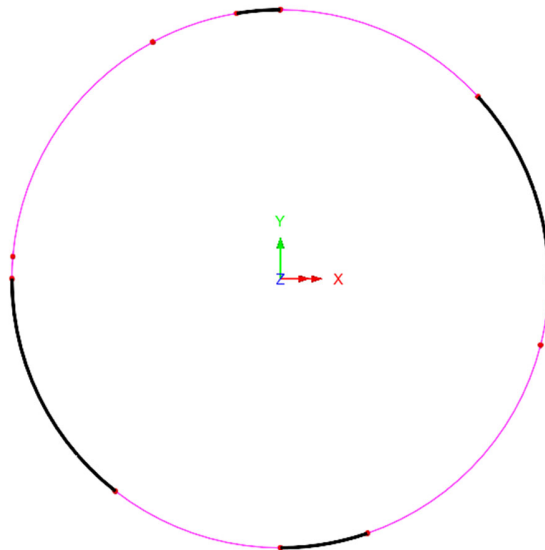
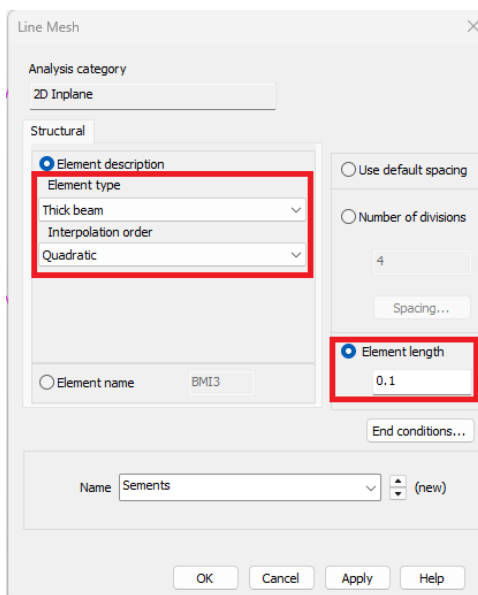
3. 요소의 정의 및 적용

3.1. 세그먼트

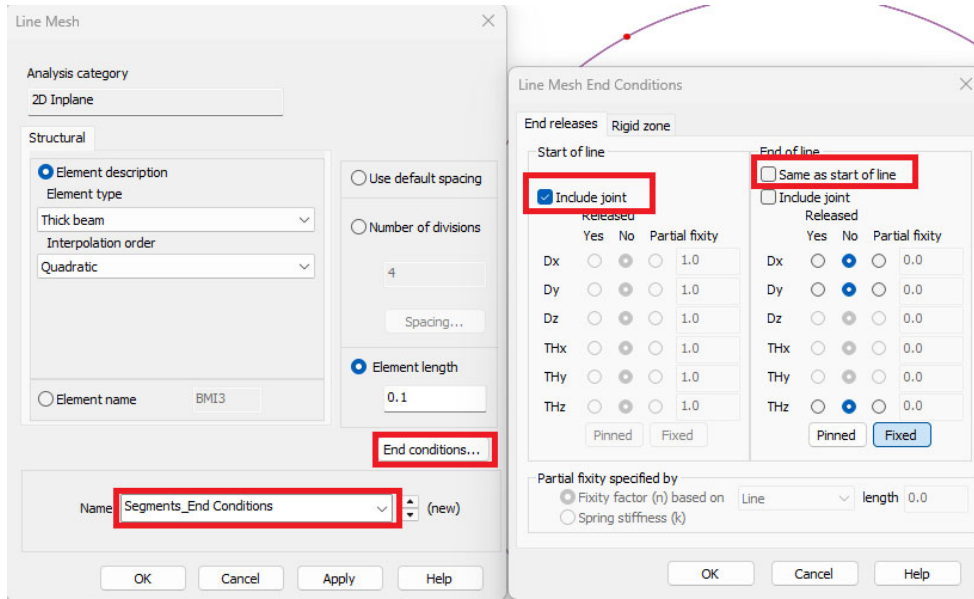
Attributes > Mesh > Line...

세그먼트 요소를 정의합니다. 위의 메뉴에서 Thick Beam 을 선택하고, Quadratic 을 선택합니다.

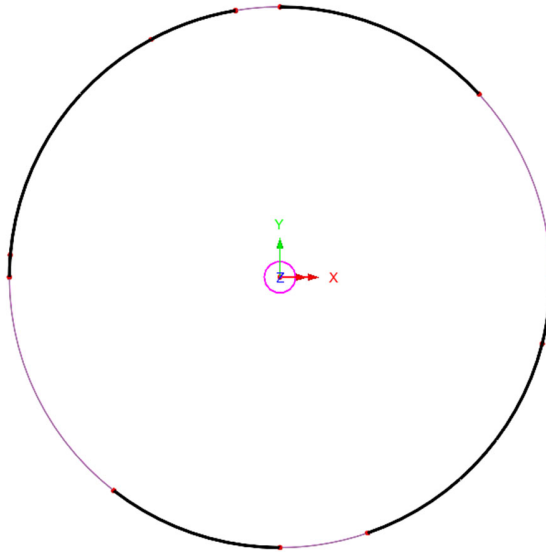
요소 길이는 0.1m 로 정의하고, 데이터셋 명은 'Segments'로 정의합니다. 아래 Line 을 모두 선택하고 정의한 Line mesh 를 적용합니다.



앞에서 정의한 **Segments** 데이터셋을 이용하여 Line 시작점에 Joint 를 포함하는 line mesh 를 정의합니다. 데이터셋을 더블클릭하여 정의된 속성을 수정합니다. **End conditions** 를 클릭합니다. '**Line Mesh End Conditions**' 대화창에서 **Start of line** 아래 **Include joint** 에 체크하고, **End of line** 의 **Same as line start** 옵션의 체크를 해제합니다. 데이터셋 명을 '**Segments_End Condition**'로 수정하고 OK 버튼을 누릅니다.



아래 Line 을 모두 선택하고 위에서 정의한 Line mesh 를 적용합니다.

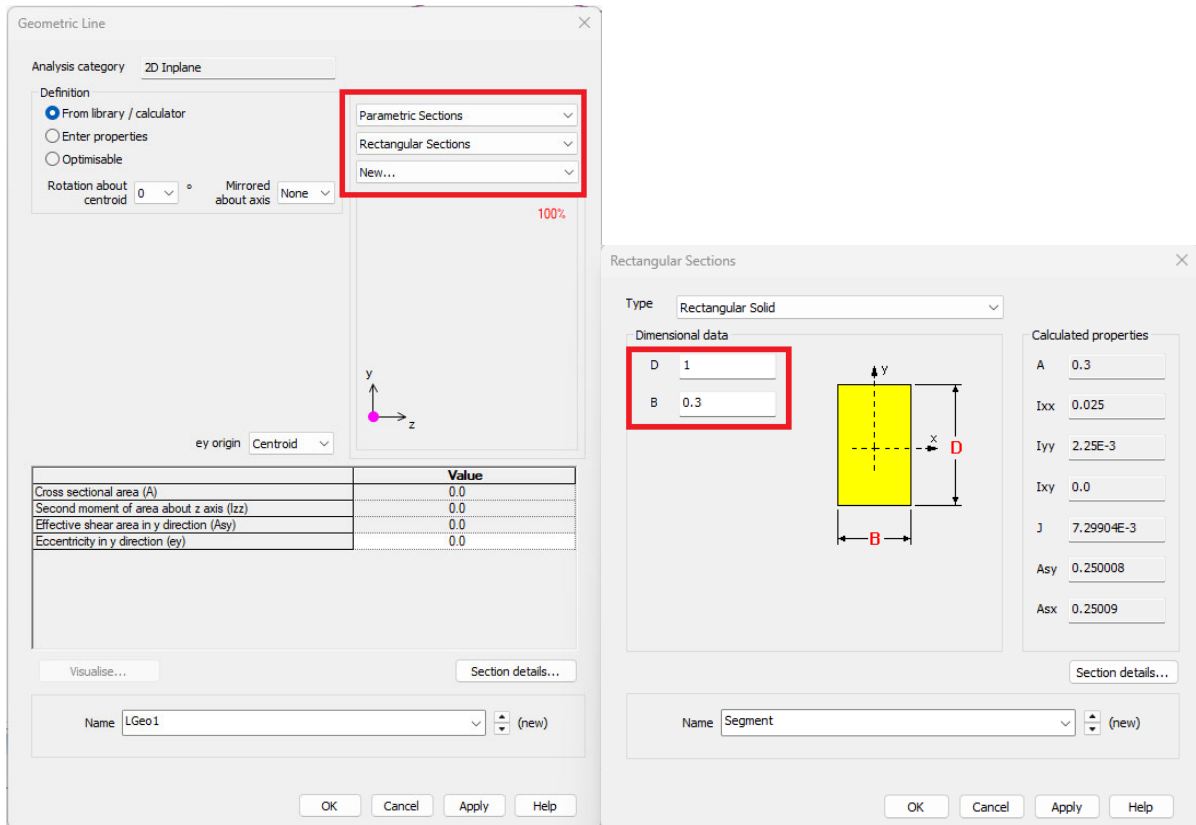


4. 기하특성 정의 및 적용

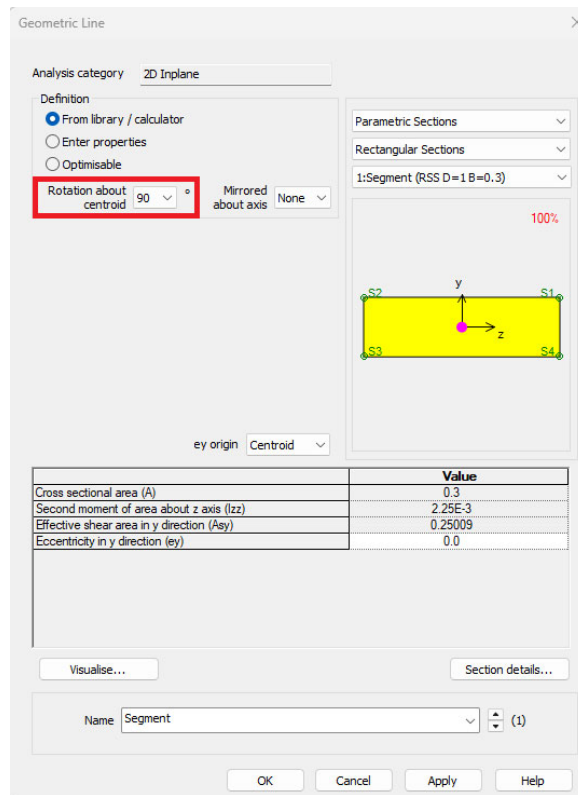
4.1. 세그먼트 단면

Attributes > Geometric > Section Calculator...

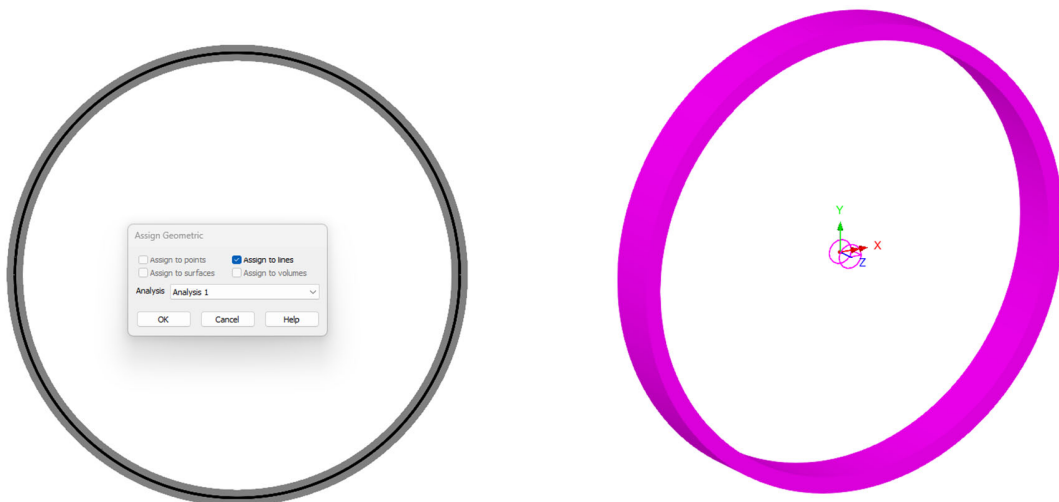
세그먼트 단면 속성을 정의합니다. 위의 메뉴를 실행하고, 우측의 **입력항목에서 'Parametric Sections', 'Regular Sections', 'New..'**를 선택합니다. 정사각형 단면 설정창에서 $D=1$, $B=0.3$ 을 입력한 후 확인버튼을 누릅니다.



Geometric Line 대화창에서 **Rotation about centroid** 항목을 90 도로 정의합니다. 데이터셋 명을 지정하고 정의를 마칩니다.



세그먼트에 해당하는 Line 을 모두 선택하고, 앞에서 정의한 Segment 기하특성을 적용합니다.

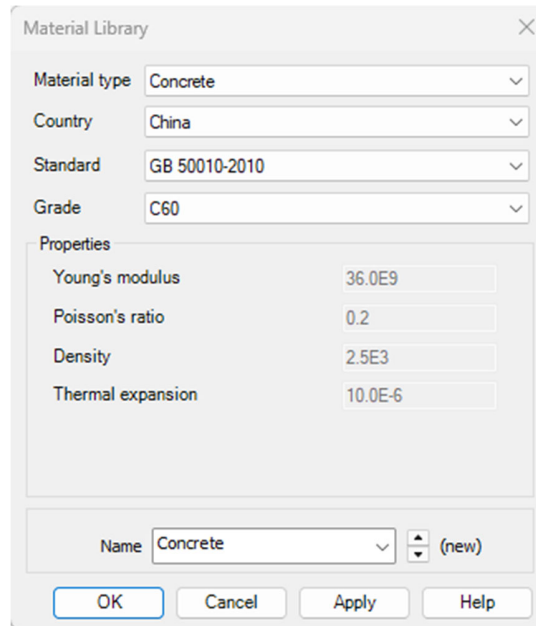


5. 재료특성 정의 및 적용

5.1. 세그먼트

Attributes > Material > Material Library...

위의 메뉴를 실행하고, **Material type** 에서 **Concrete** 를 선택합니다. 국가 및 지역, 표준과 등급을 아래와 같이 정의하고, 데이터셋 명은 **Concrete** 로 정의합니다. Material library 대신 **Attributes > Material > Isotropic..** 에서 재료특성값을 집적 입력하여도 됩니다.



The image shows a 'Material Library' dialog box with the following settings:

- Material type: Concrete
- Country: China
- Standard: GB 50010-2010
- Grade: C60
- Properties:
 - Young's modulus: 36.0E9
 - Poisson's ratio: 0.2
 - Density: 2.5E3
 - Thermal expansion: 10.0E-6
- Name: Concrete (new)

Buttons: OK, Cancel, Apply, Help

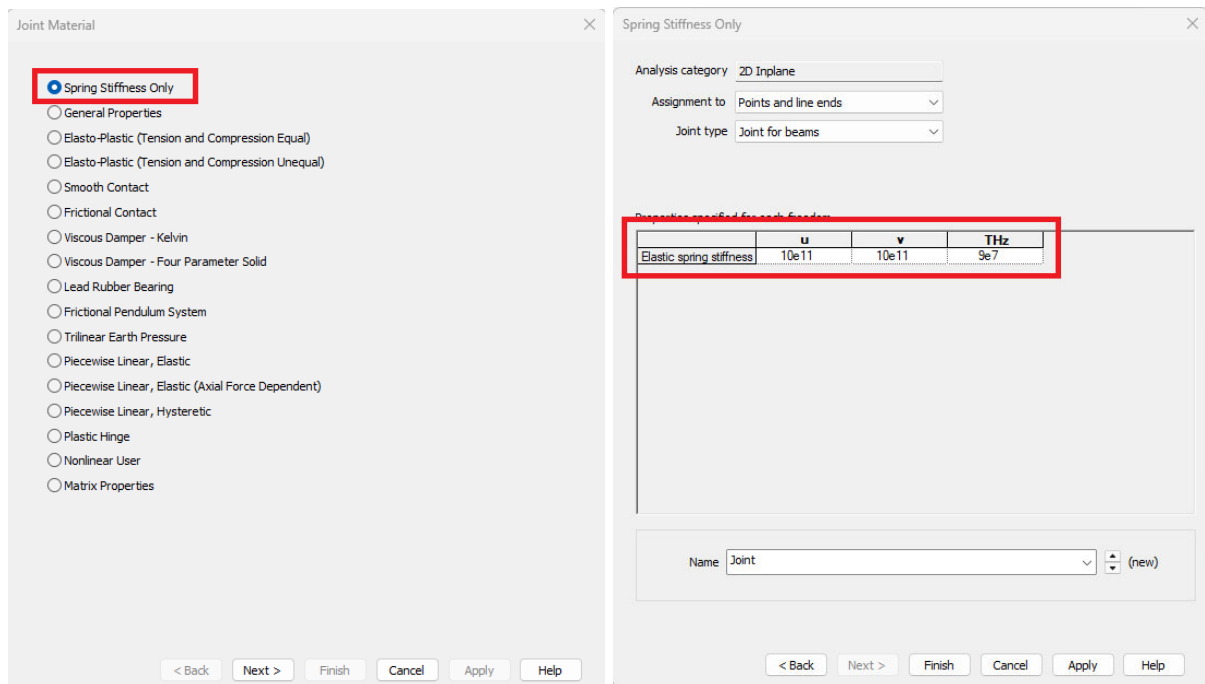
세그먼트에 해당하는 line 을 모두 선택하고, 앞서 정의한 Concrete 재료특성을 적용합니다.



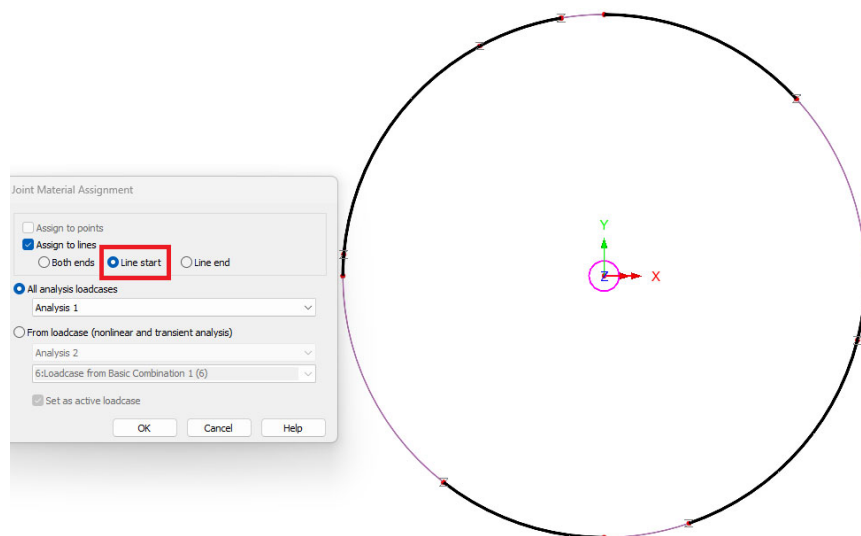
5.2. 세그먼트 연결 조인트

Attributes > Material > Joint...

위의 메뉴를 실행하고, 나타난 대화창에서 'Spring Stiffness Only' 옵션을 선택합니다. 넥스트 버튼을 누르고 새로 나타난 대화창에서 Assignment to 항목에 'Points and line ends' 를, Joint type 에 'Joint for beams'를 선택합니다. Spring stiffness 항목에 아래와 같이 정의합니다.



다음의 객체가 선택된 상태에서 기존에 정의한 Joint 재료특성 데이터셋을 적용합니다.



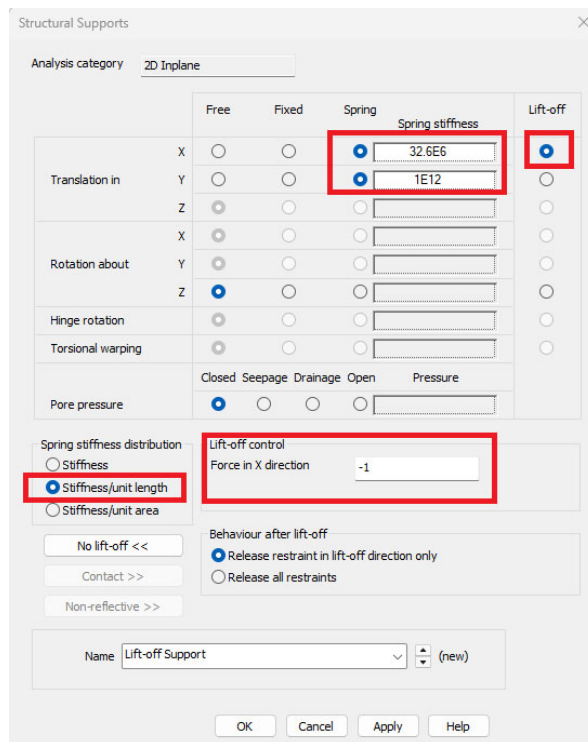
터널 세그먼트 해석

6. 경계 조건 정의 및 적용

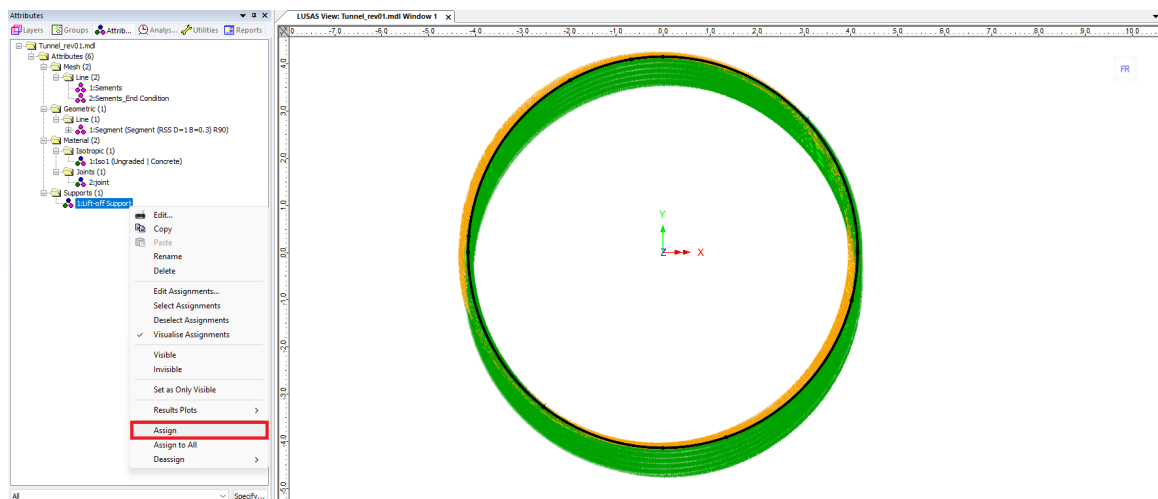
Attributes > Support...

지반이 세그먼트에 작용하는 지반 특성을 정의합니다. 지반 스프링은 압축에는 저항하나 인장에는 저항하지 않습니다. 위의 메뉴를 실행하고 병진 자유도 X와 Y에서 **Spring** 을 선택합니다. **32.6e6** 과 **1e12** 을 각각 입력합니다. **Spring Stiffness Distribution** 은 **Stiffness/unit length** 를 선택합니다.

하단의 **Lift off** 를 클릭합니다. X 축 방향에 **Lift-off** 를 선택하고, **Force in X direction** 에 **-1** 을 입력합니다. 좌표축 음의 방향으로 1 보다 큰 힘을 받으면 저항하지 않도록 작용합니다.



세그먼트의 경계조건을 적용합니다. 전체 Line 을 선택하고, 'Lift-off Support' 데이터셋을 적용합니다.

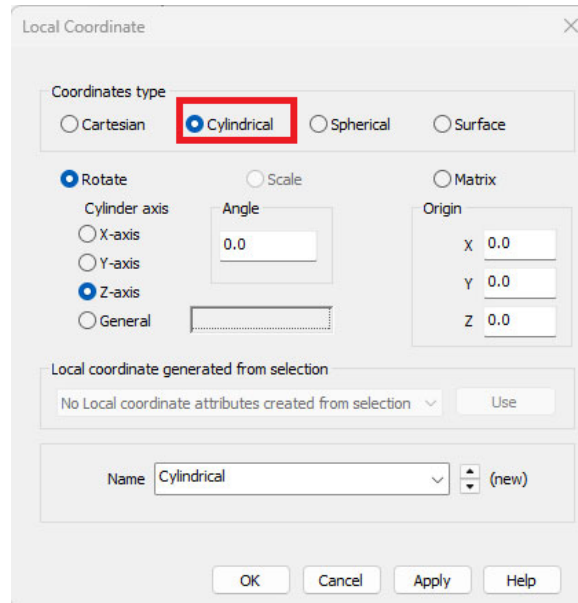


터널 세그먼트 해석

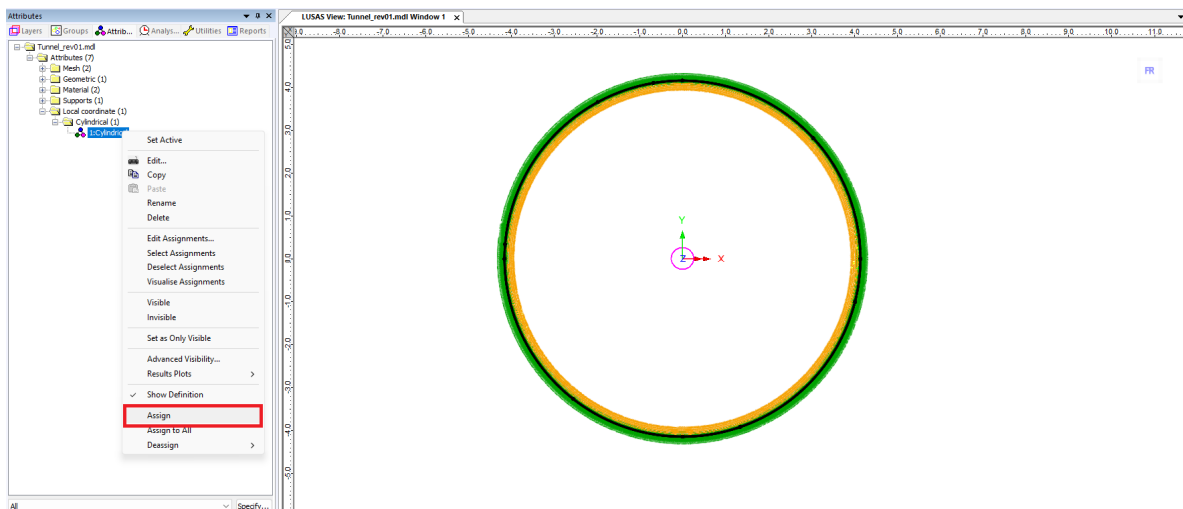
7. 로컬 좌표계 정의 및 적용

Attributes > Local Coordinate...

위의 메뉴를 실행하고 **Local Coordinate** 대화창에서 **Cylindrical** 옵션을 선택하여 원통형 좌표계를 정의합니다. 중심 좌표와 기준이 되는 축은 초기값을 그대로 사용합니다.



해석 모델에 로컬 좌표계를 적용합니다. 전체 모델을 선택하고, 앞에서 정의한 Cylindrical 좌표계를 적용합니다.



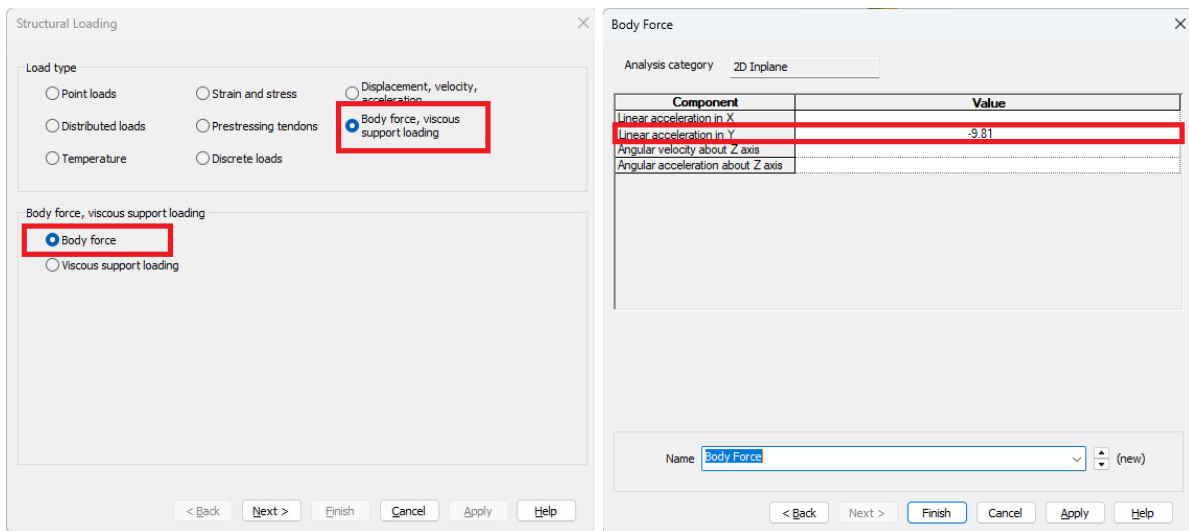
8. 하중 정의 및 적용

세그먼트에 적용하는 하중을 정의합니다. 세그먼트는 서로 다른 세 가지 유형의 하중을 각각 받는 것으로 가정합니다.

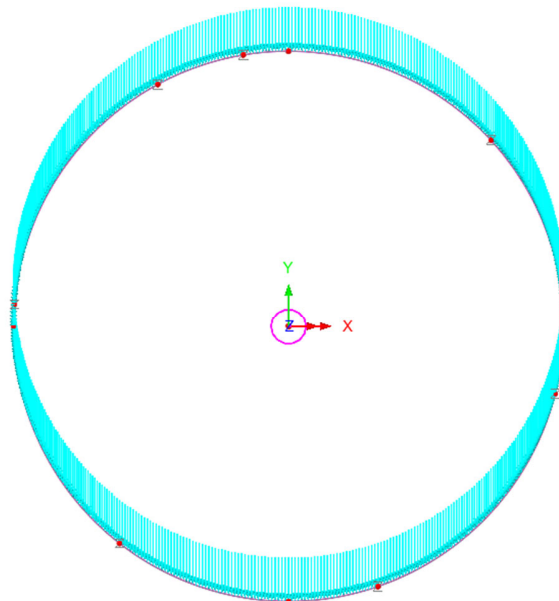
8.1. 자중

Attributes > Loading...

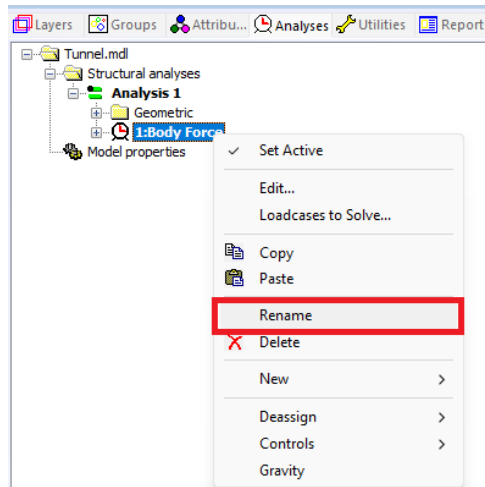
위의 메뉴를 실행합니다. 구조하중 정의 대화창에서 'Body force/ viscous support', 'Body force'를 선택합니다.



전체 모델을 선택하고 정의한 자중 데이터셋을 적용합니다.



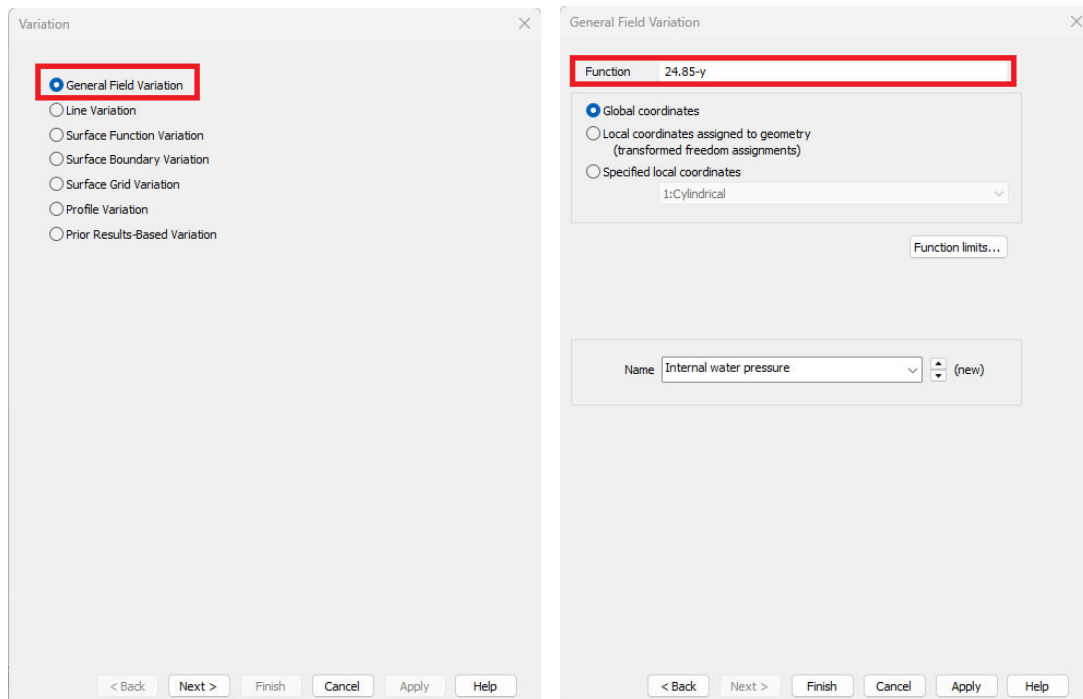
Treeview> Analyses 탭에서 Loadcase1 을 마우스 우측 클릭하여 이름을 Body force 로 변경합니다.



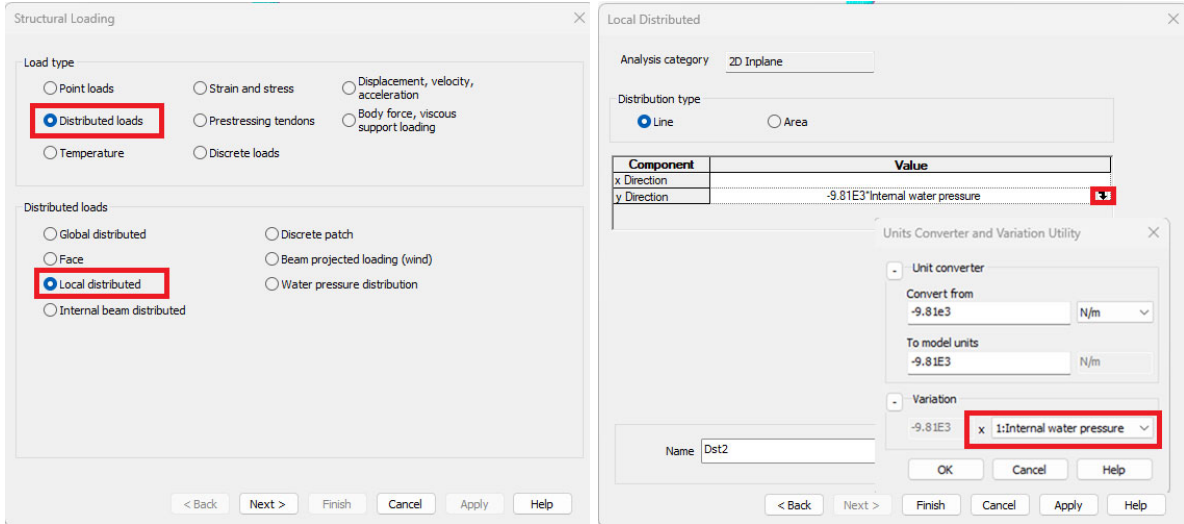
8.2. 내수압

내수압 하중을 정의합니다. 내수압은 세그먼트 높이와 선형 관계에 있으므로, 먼저 변수를 정의합니다.

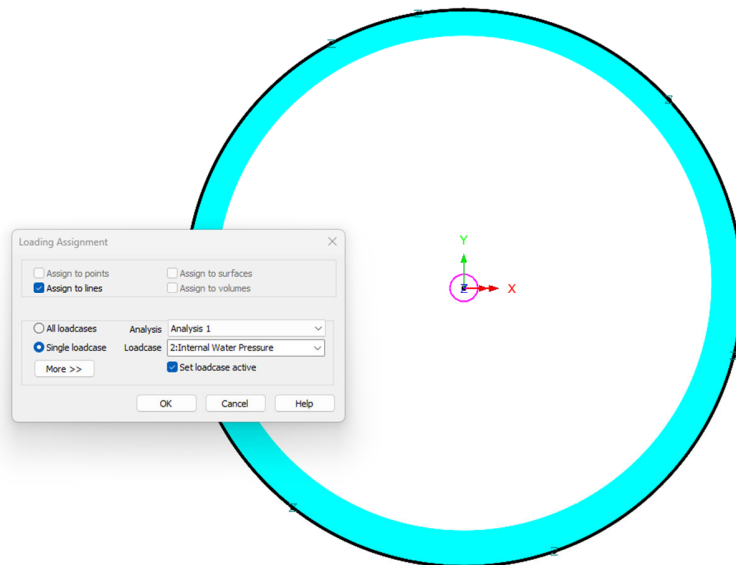
Utilities> Variation> General Field Variation 을 선택하고 Next 를 클릭합니다. 함수에 24.85-y 를 입력합니다.



Attributes > Loading... 메뉴를 실행합니다. **Distributed loads, Local distributed** 를 선택합니다. 위에서 정의한 Variation 을 이용하여 하중을 정의합니다. 하중값은 9810N/m 값에 Y 좌표 위치에 따라 24.85-y 를 곱해서 깊이에 따라 선형으로 커지는 내수압이 적용되도록 합니다.



전체 모델을 선택하고, 내수압을 적용합니다. 하중 적용시 Loadcase 명을 **Internal Water Pressure** 로 변경합니다.

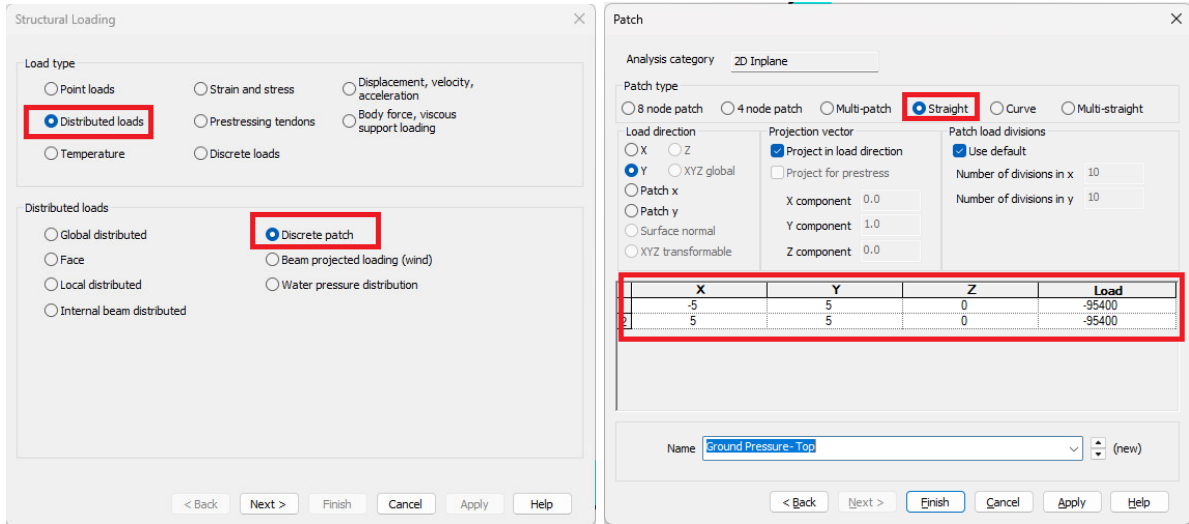


8.3. 지반 압력 하중

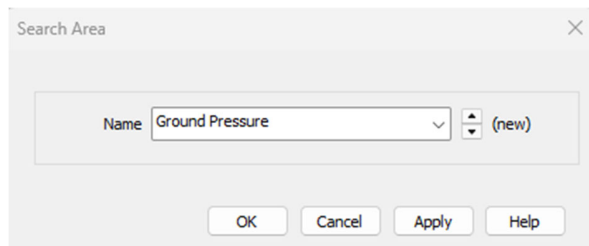
상부 지반 압력

지반압력 하중을 정의한다. 연직 방향 지반압력은 등분포 하중을 적용하며, 하중 값은 95400N/m 입니다.

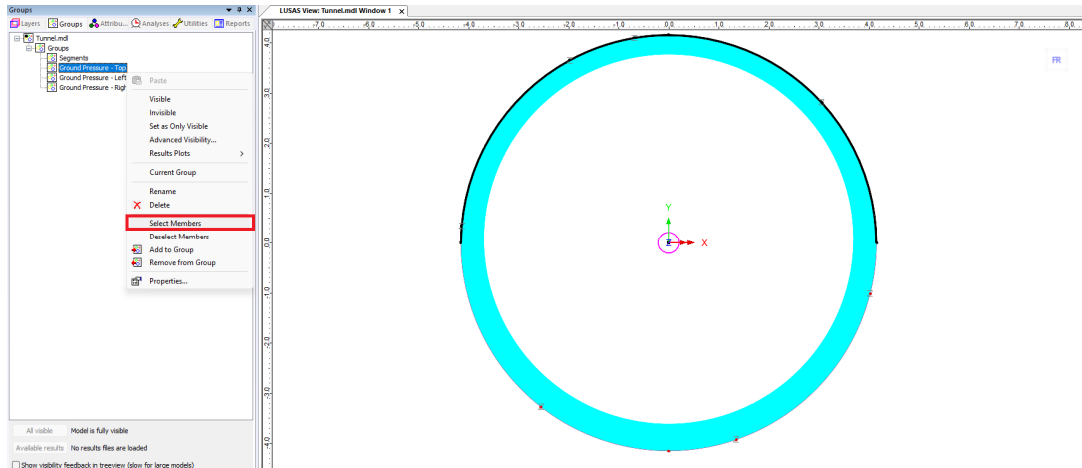
Attributes > Loading... 메뉴를 클릭하고 하중 정의 대화창에서 **Distributed loads/ Discrete patch** 를 선택합니다. Next 버튼을 누릅니다. **Patch type** 은 'Straight'을 선택합니다. 첫 번째 행과 두 번째 행에 좌표 (-5,5,0)과 (5,5,0)을 입력하고, 하중은 -95400 으로 입력합니다.



Attributes > Search Area... 메뉴를 실행하여 **Search Area** 를 정의합니다.

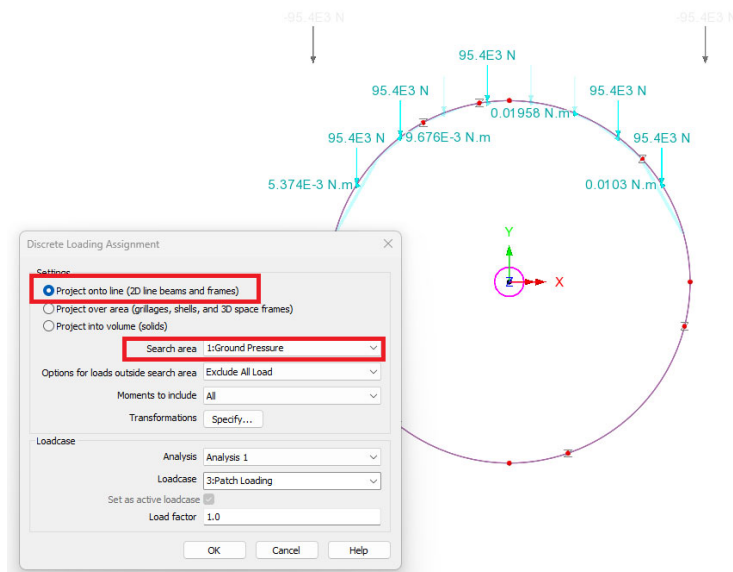


Treeview > Group 탭에서 '**Ground Pressure-Top**'에 해당하는 객체를 선택하고 앞에서 정의한 Search Area 를 적용합니다.



Patch 하중 적용을 위한 Point 를 정의합니다. (0,0,0) 위치에 Point 를 정의합니다.

정의한 Point 를 선택하고 Patch 하중을 적용합니다. 하중 적용 대화상자에서 Search Area 는 **Ground Pressure-Top** 을 선택하고, **Project onto line (2D line beams and frames)** 를 선택합니다. Loadcase 이름은 Patch Loading 으로 정의합니다.



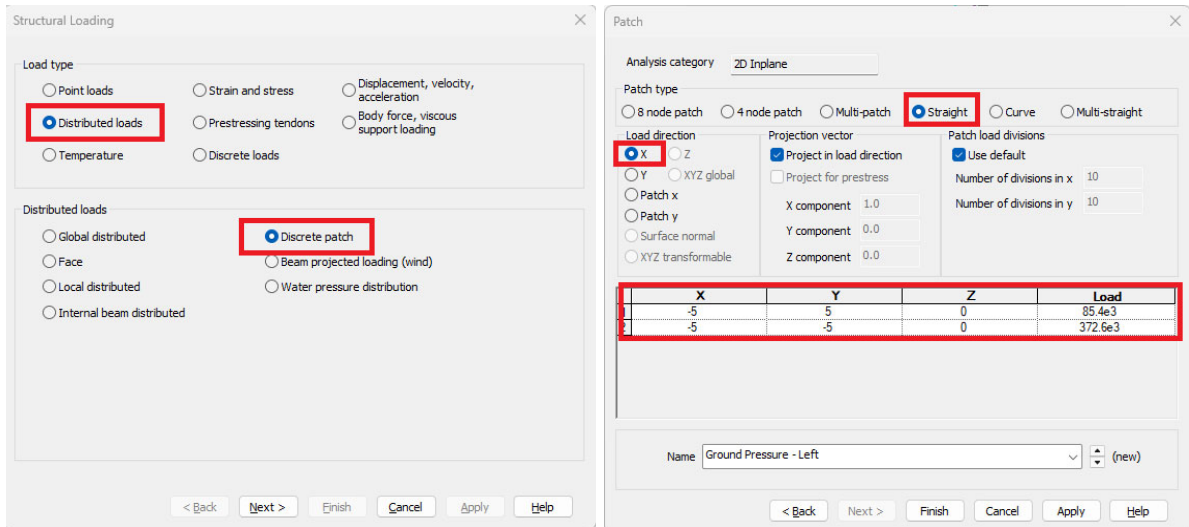
측면 지반 압력

좌, 우 지반압력 하중을 정의합니다. 지반 압력 하중은 높이에 따라 선형으로 분포하며, 높이에 다른 지반압력 분포 함수는 $229e3 + y * (109.8e3 - 348.2e3) / 8.3$ 입니다.

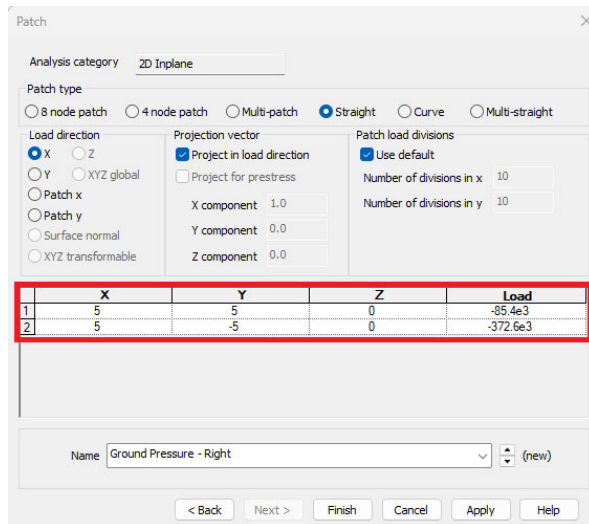
Attributes > Loading... 을 클릭하고 하중 정의 대화창에서 **Distributed / Loads, Discrete Patch** 를 선택합니다. **Patch type** 에서 **Straight** 을 선택하고, **Load direction** 은 **X** 를 선택합니다.

첫 번째 행과 두 번째 행에 좌표 (-5,5,0)과 (-5,-5,0)을 입력하고, 하중은 각각 **85.4e3, 372.6e3** 을 입력합니다. **Apply** 버튼을 누르고 이어 우측의 지반압력 하중을 정의합니다.

터널 세그먼트 해석

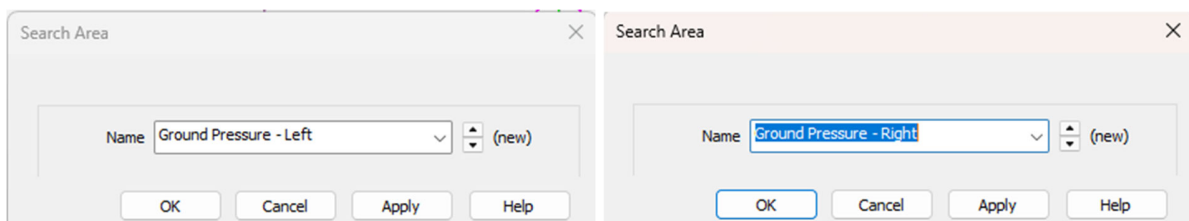


첫 번째 행과 두 번째 행에 좌표 (5,5,0)과 (5,-5,0)을 입력하고, 하중은 각각 -85.4e3, -372.6e3 을 입력합니다. 데이터셋 명을 Ground Pressure -Right 으로 정의하고, Finish 버튼을 눌러 정의를 마칩니다.



구조물의 좌, 우측에 작용하는 지반 압력 하중 재하를 위해 Search Area 를 정의합니다.

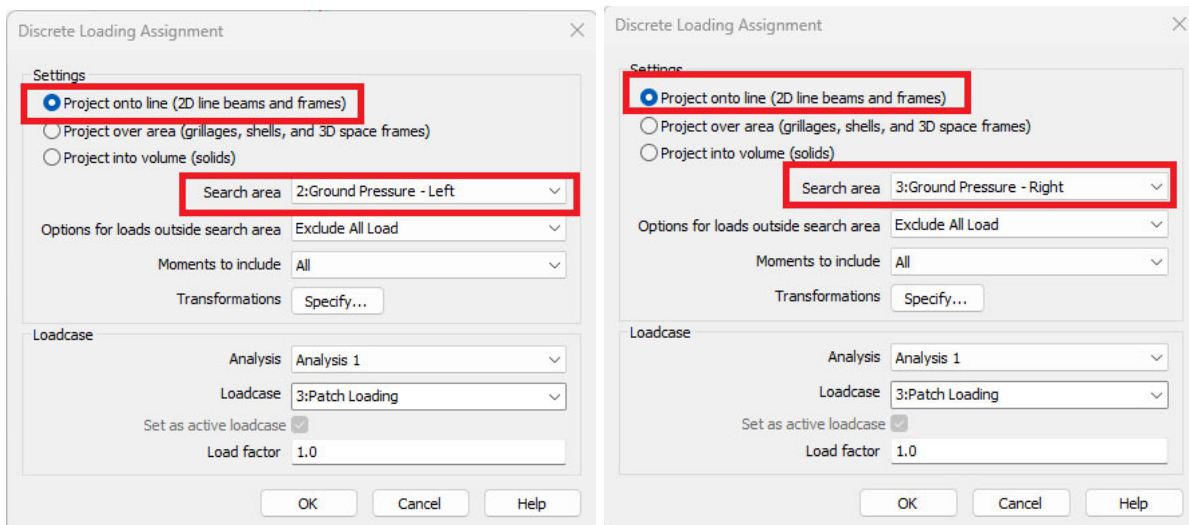
Attributes > Search Area... 메뉴를 선택하고, **Ground Pressure - Left, Ground Press - Right** 을 정의합니다.



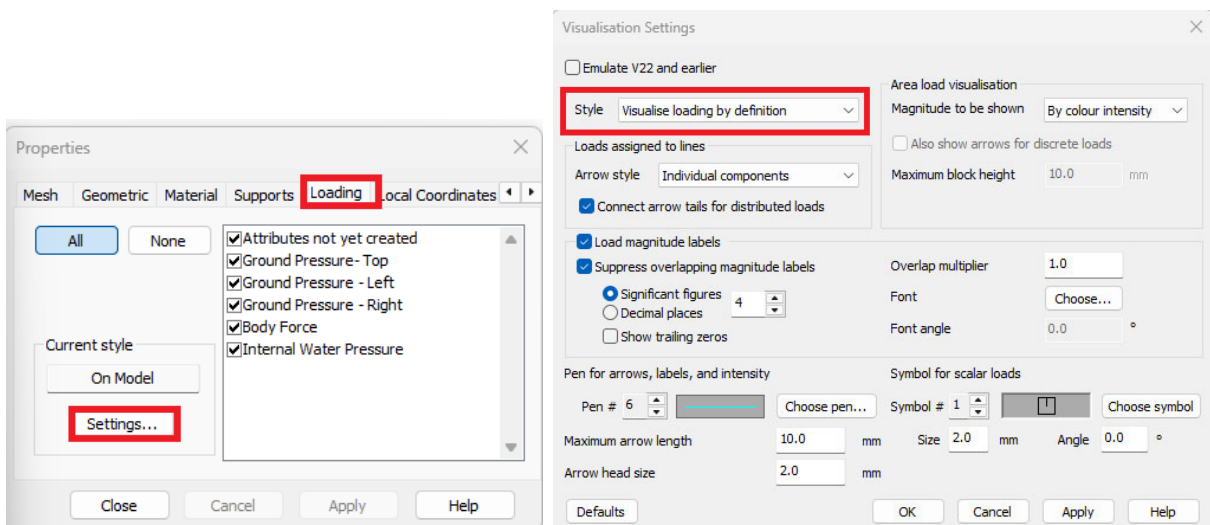
터널 세그먼트 해석

Treeview > Groups 탭에서 **Ground Pressure -Left, Ground Pressure -Right** 을 각각 선택하여 Search Area 를 적용합니다.

원점을 선택하고, Ground Pressure- Left 하중을 적용합니다. 하중 재하 대화창에서 Search Area 를 **Ground Pressure – Left** 를 선택하고, **Project onto line (2D line beams and frames)** 를 선택합니다. Loadcase 이름은 Patch Loading 으로 정의합니다. Loadcase 는 Patch Loading 를 선택합니다.



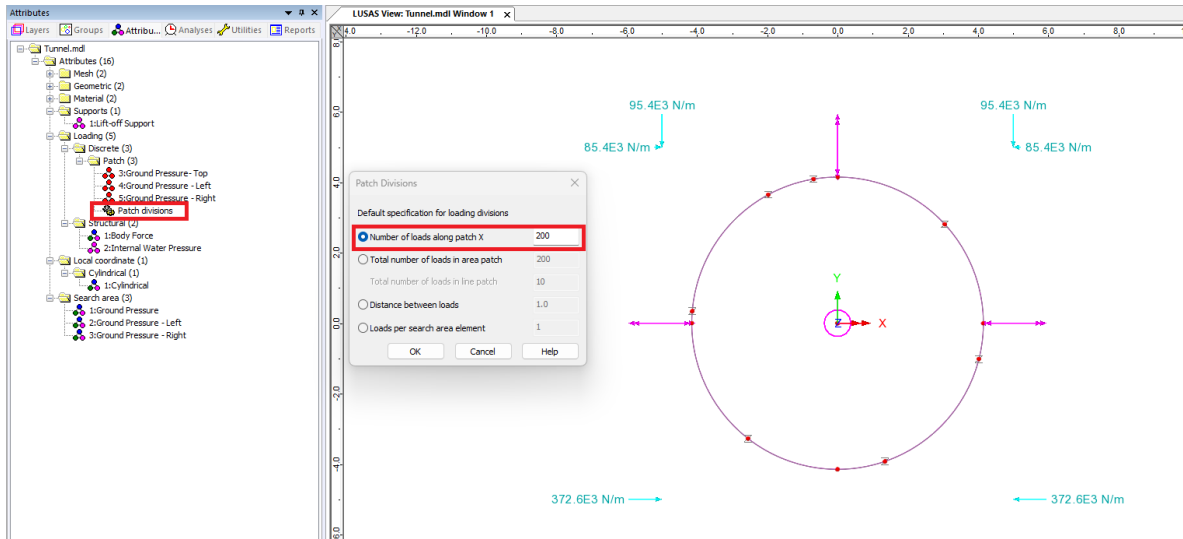
Treeview > Layers 탭의 Attributes 레이어를 더블클릭하여 속성 대화창을 엽니다. Loading 탭에서 좌측 하단의 Settings 버튼을 클릭합니다. **Visualisation Settings** 대화창에서 Style 항목에 **Visualise loading by definition** 을 선택합니다.



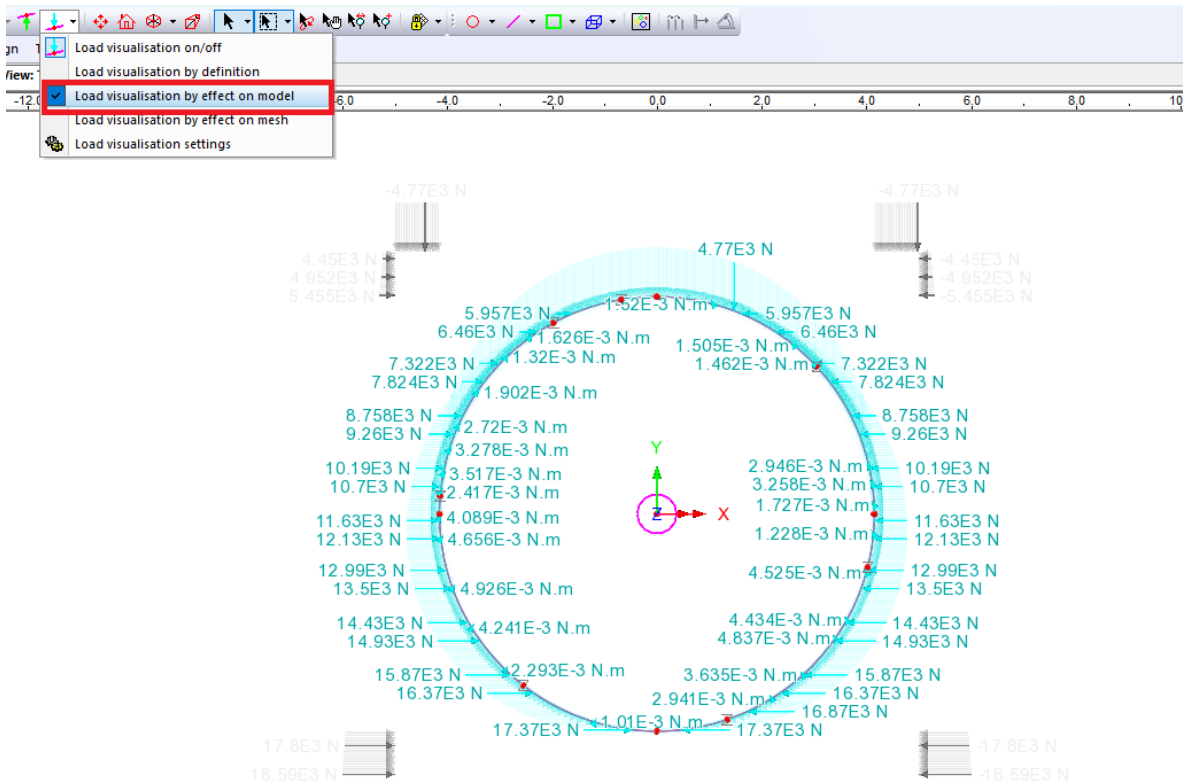
터널 세그먼트 해석

아래와 같이 하중이 표시됩니다.

Treeview > Attributes 탭에서 Patch Divisions 를 선택하고 'Number of loads along patch X' 값을 200 으로 수정합니다.



모델러 상단의 하중 재하 표시 아이콘인 'All loads on/off' 아이콘 우측의 화살표를 클릭하면 하중 표시 방법을 설정할 수 있습니다. 'Load visualization by effect on mesh' 메뉴를 선택하면 아래와 같이 투영하중이 실제 모델에 적용되는 하중 재하도를 표시할 수 있습니다.

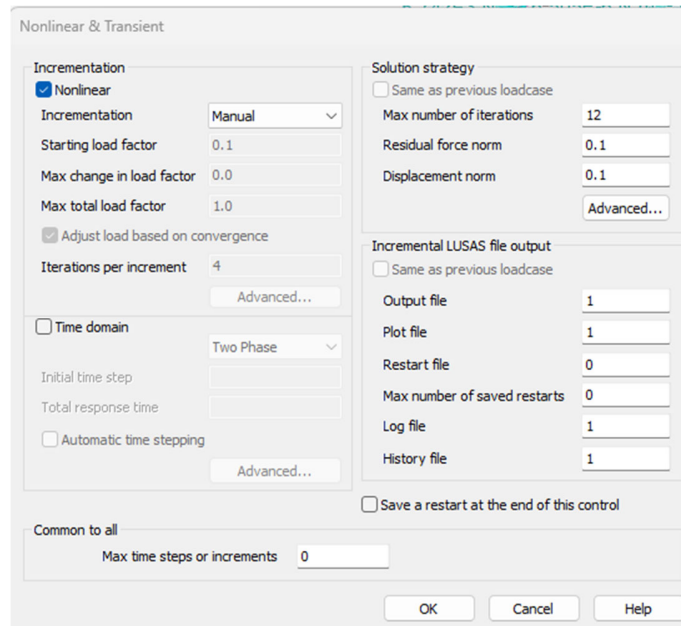


터널 세그먼트 해석


해석 수행

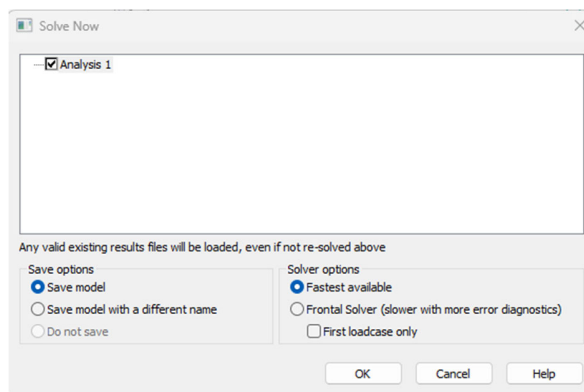
1. 비선형 설정

자중 로드케이스 우측을 클릭하고, **Controls> Nonlinear and Transient** 메뉴를 선택합니다. 'Nonlinear' 옵션을 체크하고, **Incrementation** 항목에 'Manual'을 선택합니다. 나머지는 기본설정값을 그대로 유지한채 OK 버튼을 클릭합니다.



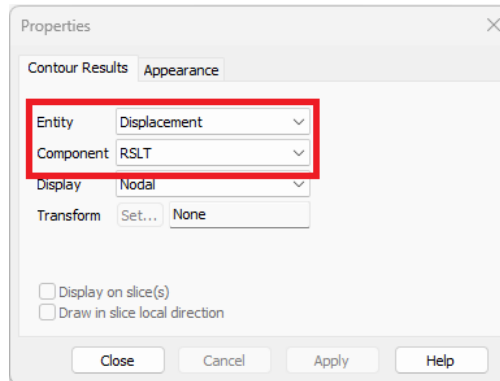
2. 해석 수행

모델 구성이 완료되었습니다. 모델을 저장하고, 모델러 상단의 Solve now  아이콘을 눌러 해석을 수행합니다. .



결과 검토

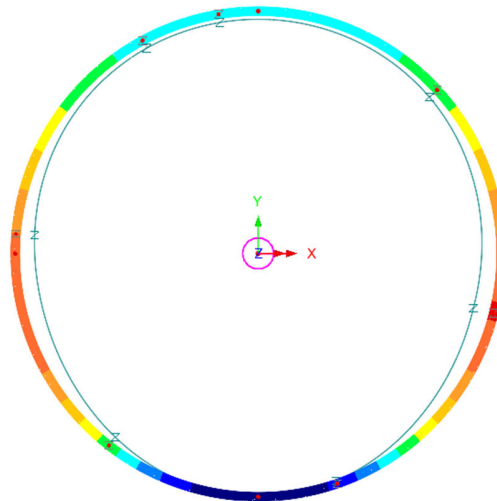
해석이 완료되면, 모델러 좌측 윈도우에서 마우스 우측 버튼을 클릭하고 **Contours** 를 선택합니다. **Entity** 에서 '**Displacement**'를, **component** 에서 '**RSLT**'를 선택한 뒤 OK 버튼을 클릭합니다. 지반 압력 하중이 적용되었을때 구조물의 변위결과를 확인합니다. **Treeview > Analyses** 탭의 하중케이스를 선택하고 **Set Active** 를 선택하면, 해당 하중 케이스의 결과를 확인할 수 있습니다.



Analysis: Analysis 1
Loadcase: 3:Patch loading, 3:Increment 3
Results file: Tunnel_rev01-Analysis 1.mys
Entity: Displacement
Component (Nodal): RSLT (Units: m)

43.4707E-6
86.9413E-6
0.130412E-3
0.173883E-3
0.217353E-3
0.260824E-3
0.304295E-3
0.347765E-3
0.391236E-3

Maximum 0.3944E-3 at node 88
Minimum 3.16432E-6 at internal point 10 of element 177

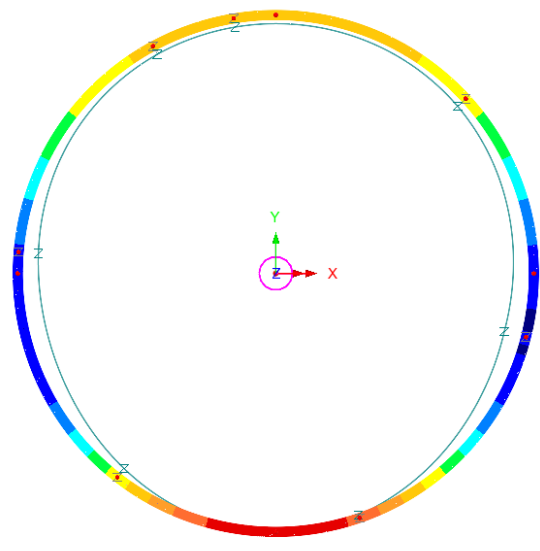
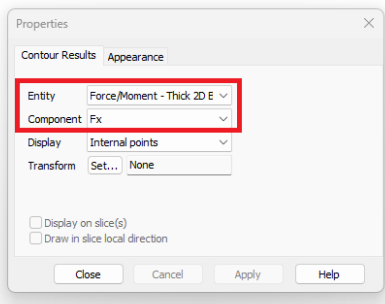


Contour 속성창에서 Entity 항목을 'Force/Moment - Thick 2D Beam', Component 는 'Fx'를 선택하여 축력을 확인합니다.

Analysis: Analysis 1
 Loadcase: 3: Patch loading, 3: Increment 3
 Results file: Tunnel_rev01-Analysis 1.mys
 Entity: Force/Moment - Thick 2D Beam
 Component (Internal point): Fx (Units: N)

■ -1.00002E6
■ -888.909E3
■ -777.795E3
■ -666.682E3
■ -555.568E3
■ -444.454E3
■ -333.341E3
■ -222.227E3
■ -111.114E3

Maximum -10.0217E3 at node 309 of element 177
 Minimum -1.01004E6 at node 210 of element 102

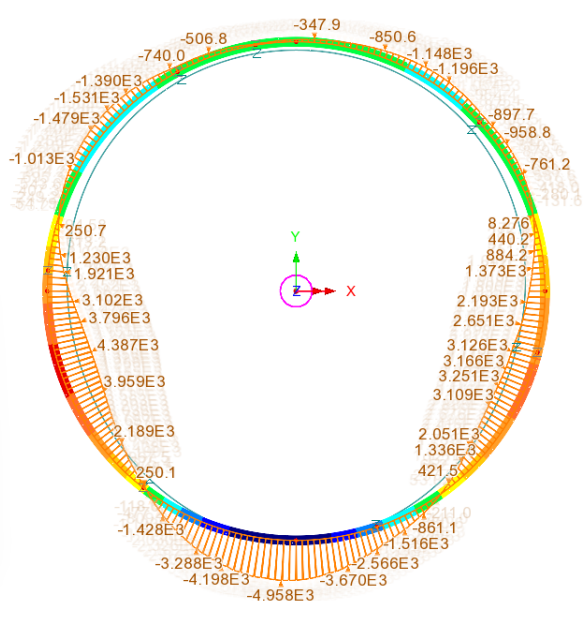
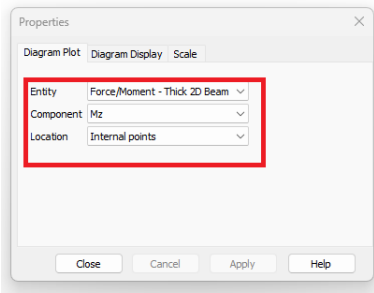


모델러 우측의 윈도우에서 마우스 우측 버튼을 클릭하고, Diagrams 를 선택합니다. Entity 에서 'Force/Moment 2D Beam'을, Component 에서 'Mz'를 선택합니다. Contour 도 동일한 Entity 와 Component 로 변경합니다.

Analysis: Analysis 1
 Loadcase: 3: Patch loading, 3: Increment 3
 Results file: Tunnel_rev01-Analysis 1.mys
 Entity: Force/Moment - Thick 2D Beam
 Component (Internal point): Mz (Units: N.m)

■ -4.15293E3
■ -3.1147E3
■ -2.07647E3
■ -1.03823E3
■ 0.0
■ 1.03823E3
■ 2.07647E3
■ 3.1147E3
■ 4.15293E3

Maximum 4.3866E3 at node 463 of element 227
 Minimum -4.9575E3 at internal point 10 of element 175



하중 조합

1. 하중 조합

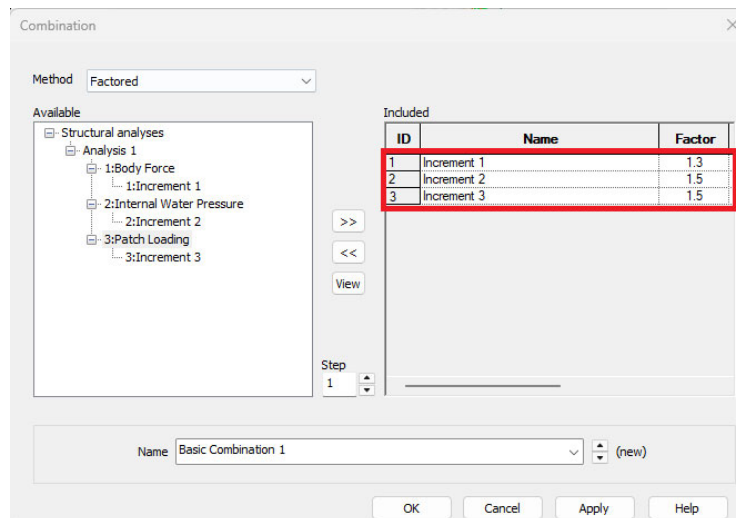
하중 조합 결과를 확인하기 위해, 모델을 다른이름으로 저장하고 해석을 다시 수행합니다. LUSAS 에서 하중조합을 고려하는 방법에는 두 가지가 있습니다.

방법 A. 선형 해석이거나 비선형 영향이 작은 비선형 해석의 경우, 후처리 단계에서 하중케이스 기본 조합(Basic Combination) 방법을 사용할 수 있으며, 이 방법은 해석을 다시 수행할 필요가 없습니다.

방법 B.비선형 영향이 큰 해석의 경우, 새 하중 케이스를 만들어 고려해야할 하중을 모두 새 하중 케이스에 적용시킨 뒤 다시 해석할 것을 권장합니다.

방법 A

첫 번째 방법으로 하중 케이스 1~3 의 결과를 후처리합니다. **Analyses > Basic Combination...** 메뉴를 실행합니다. Combination 대화창의 좌측 **Available** 목록에서 하중케이스를 클릭한 뒤 가운데의 선택버튼 >>을 클릭하여 왼쪽의 하중 케이스를 오른쪽의 **Included** 항목에 추가합니다. 자중의 하중계수(load factor)는 **1.3** 으로, 내수압과 지반압력은 **1.5** 로 정의하고, 이름에 **Basic Combination 1** 을 입력한 뒤 OK 버튼을 클릭합니다.

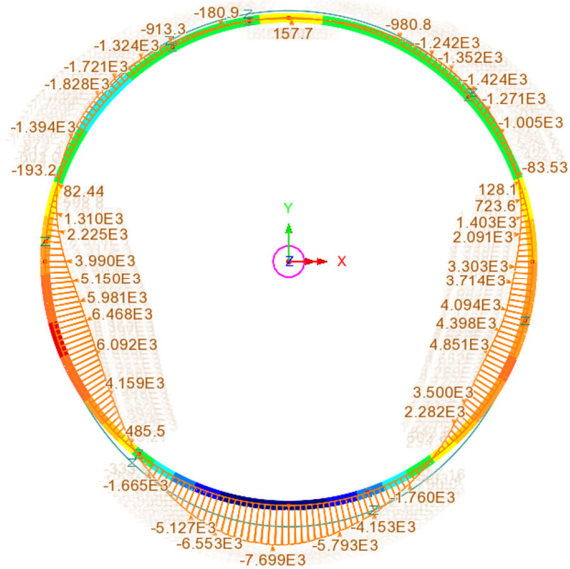


정의한 Basic Combination 을 Set active 하고 모멘트 결과를 확인합니다.

Basic Combination 1
 Entity: Force/Moment - Thick 2D Beam
 Component (Internal point): Mz (Units: N.m)

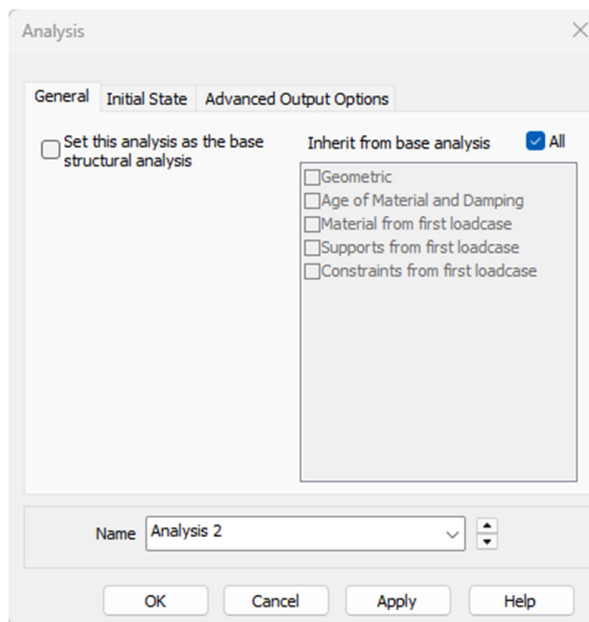
6.29647E3
4.72235E3
3.14823E3
1.57412E3
0.0
-1.57412E3
-3.14823E3
-4.72235E3
-6.29647E3

Maximum 6.46783E3 at node 463 of element 227
 Minimum -7.69922E3 at Internal point 8 of element 175



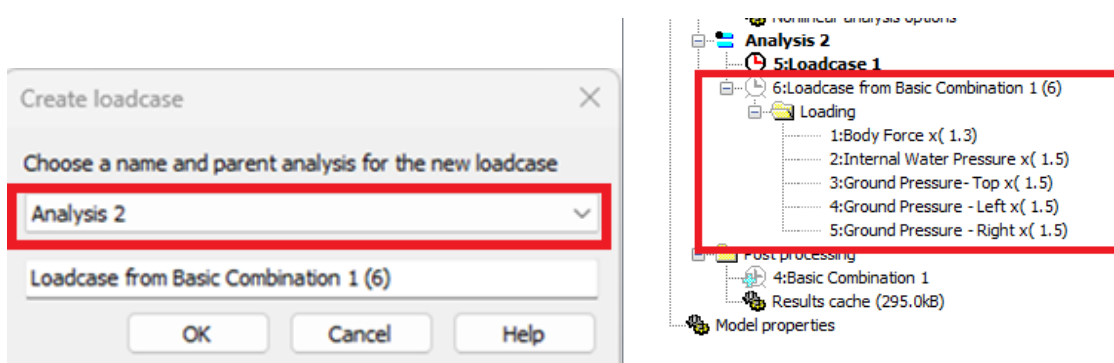
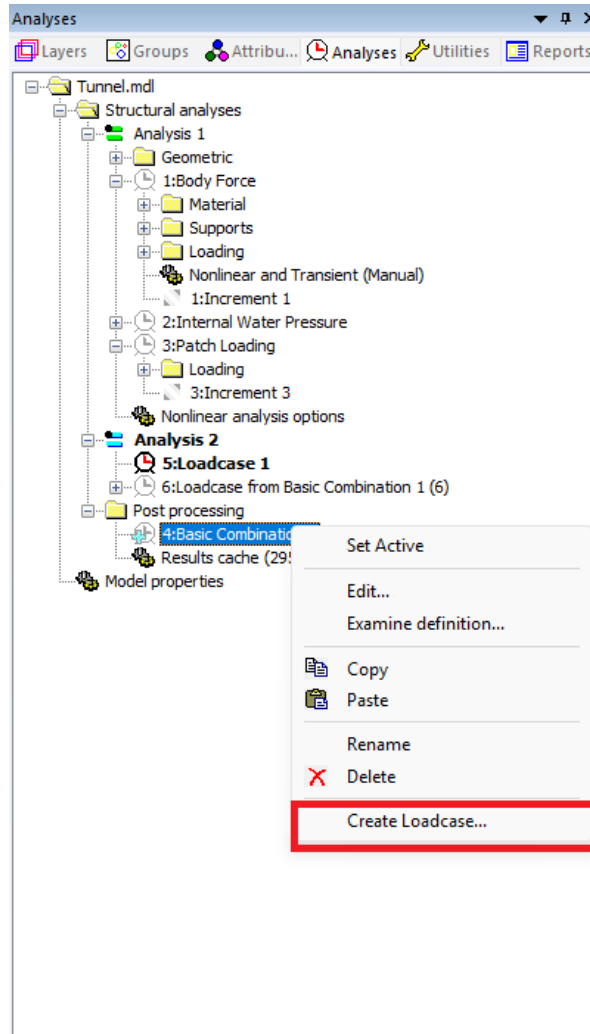
방법 B

두 번째 방법으로 하중 조합을 처리합니다. **Treeview> Analyses** 탭의 **Structural Analyses** 를 마우스 우측 클릭하고 **New> Analysis> Structural analysis** 를 선택한 뒤, 대화창에서 OK 버튼을 클릭합니다. 이 방법은 조합할 하중을 한 Loadcase 에 넣고 다시 해석을 수행하는 방식이기 때문에 새로운 Analysis 를 생성합니다.

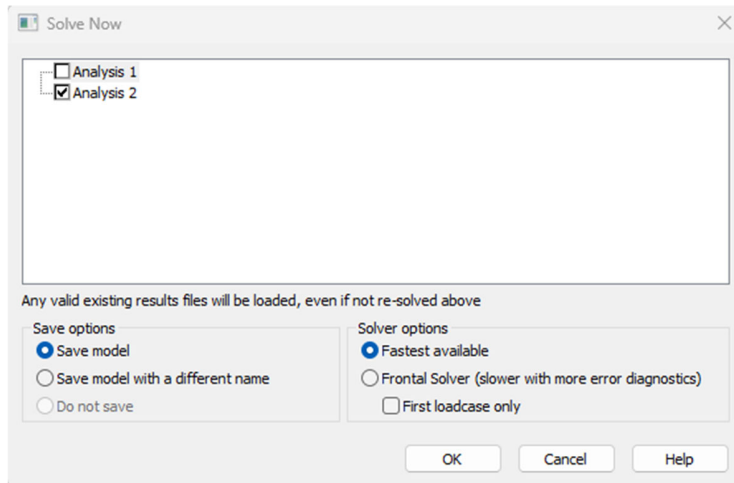


터널 세그먼트 해석

앞에서 생성한 Basic Combination 에서 마우스 우측을 클릭하고, Create Loadcase 를 선택합니다. 이어 출력된 대화창에서 'Choose a name and parent analysis for the new loadcase' 항목에 새로 추가한 Analysis 2 를 선택합니다.

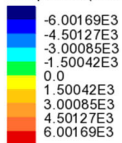


Analysis 2 의 해석을 수행하고, 모멘트 결과를 확인합니다.

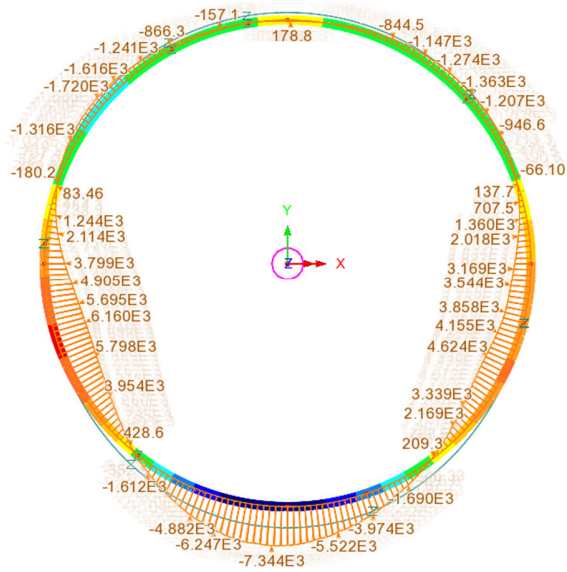


모멘트 Mz 결과를 확인합니다.

Analysis: Analysis 2
Loadcase: 6 Loadcase from Basic Combination 1 (6)
Results file: Tunnel_rev01-Analysis 2.mys
Entity: Force/Moment - Thick 2D Beam
Component (Internal point): Mz (Units: N.m)



Maximum 6.15974E3 at node 463 of element 227
Minimum -7.34407E3 at Internal point 8 of element 175

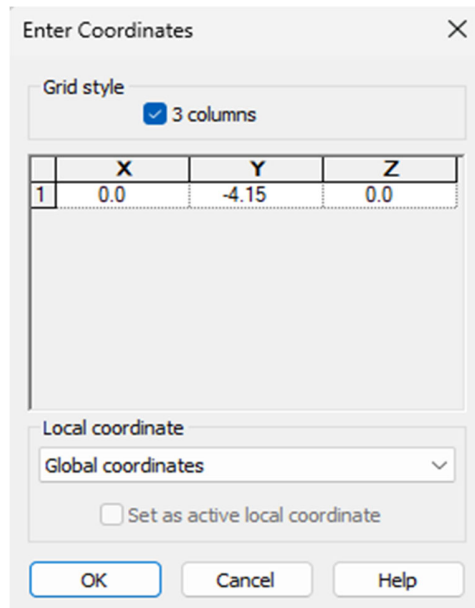


부록 A: 지반 스프링 상수를 고려한 모델링

1. 모델 구성

Geometry > Point > By Coords...

위의 메뉴를 실행하고 (0,-4.15,0) 위치에 포인트를 생성합니다.

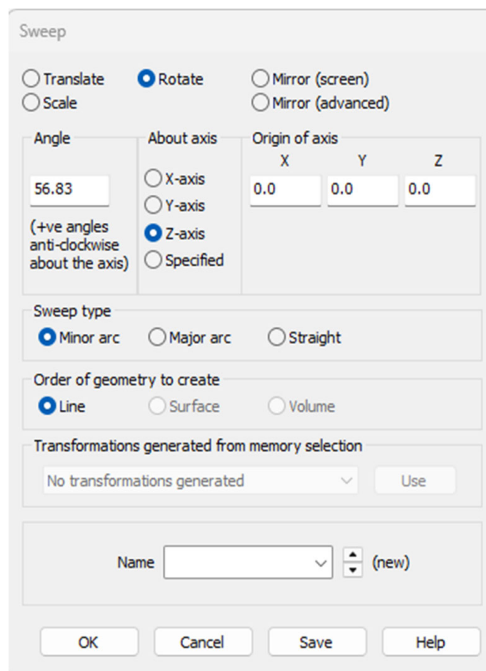


The 'Enter Coordinates' dialog box is shown with the following settings:

- Grid style: 3 columns
- Table:

	X	Y	Z
1	0.0	-4.15	0.0
- Local coordinate: Global coordinates (dropdown)
- Set as active local coordinate
- Buttons: OK, Cancel, Help

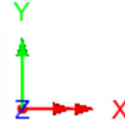
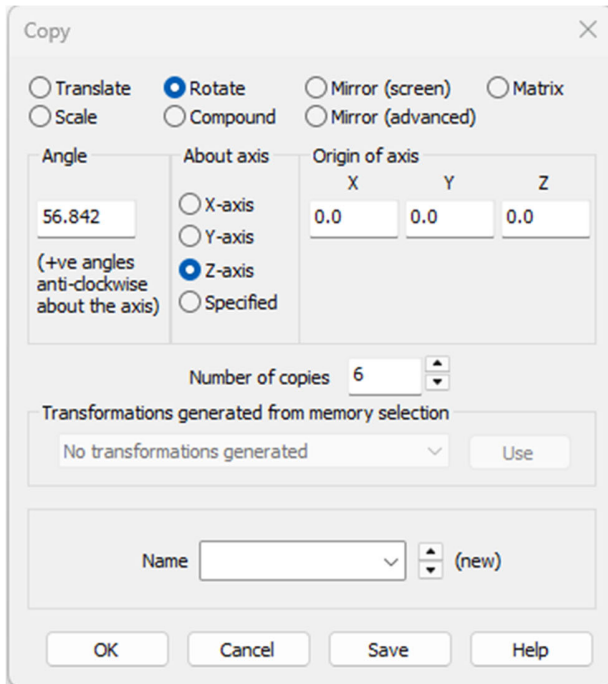
앞에서 생성한 포인트를 선택하고, Z 축을 기준으로 56.83 도 만큼 회전하여 Sweep 합니다.



The 'Sweep' dialog box is shown with the following settings:

- Options: Translate, Rotate, Mirror (screen), Scale, Mirror (advanced)
- Angle: 56.83
- About axis: X-axis, Y-axis, Z-axis, Specified
- Origin of axis: X: 0.0, Y: 0.0, Z: 0.0
- Sweep type: Minor arc, Major arc, Straight
- Order of geometry to create: Line, Surface, Volume
- Transformations generated from memory selection: No transformations generated (dropdown), Use (button)
- Name: (new) (dropdown)
- Buttons: OK, Cancel, Save, Help

생성된 원호를 회전방향으로 56.842 도 만큼 6 번 복사합니다.

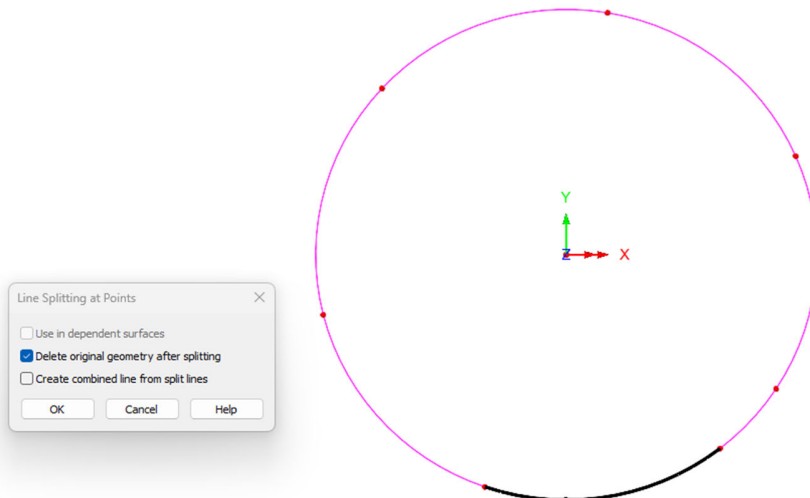


마지막으로 생성된포인트를 선택하고, 마우스 우츠을 클릭하여 Copy 를 선택합니다.

Z 축을 기준으로 회전 방향으로 -37.894 도 만큼 복사합니다.

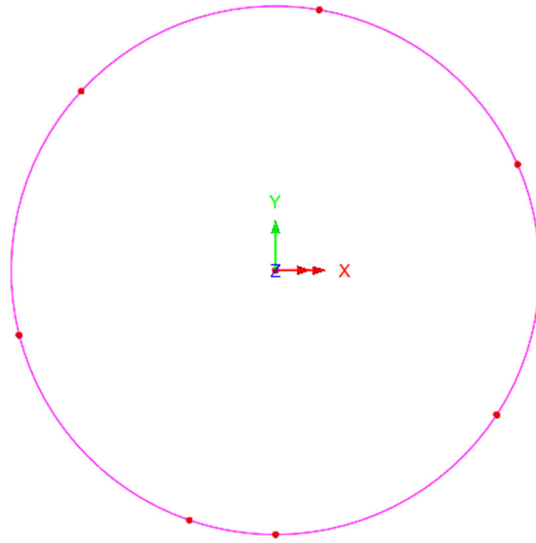
마지막에 생성된 Arc Line 과 위에서 복사된 Point 를 선택합니다.

Geometry> Line> by Splitting > At a point... 메뉴를 실행하여 Line 을 선택한 Point 를 기준으로 분할하고, 중복된 위치의 Line 을 삭제합니다.

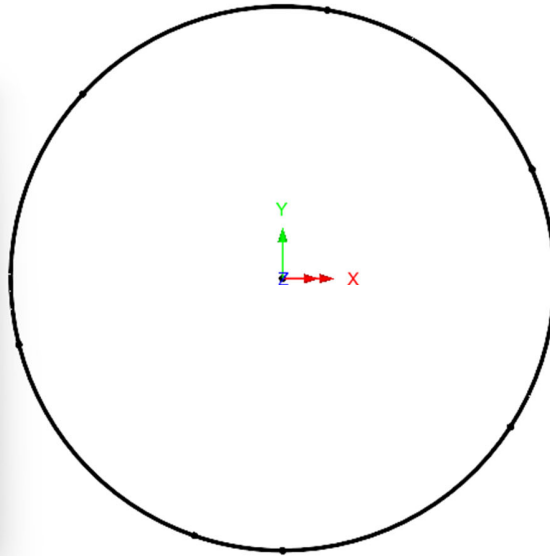
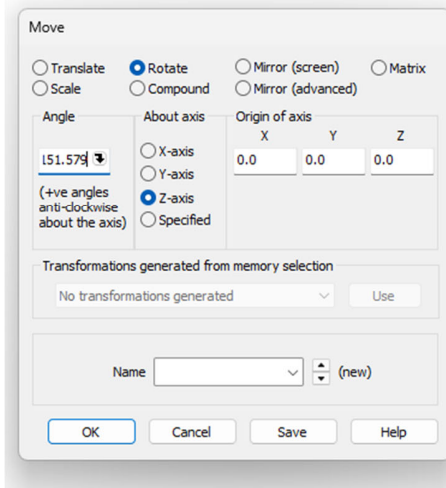


터널 세그먼트 해석

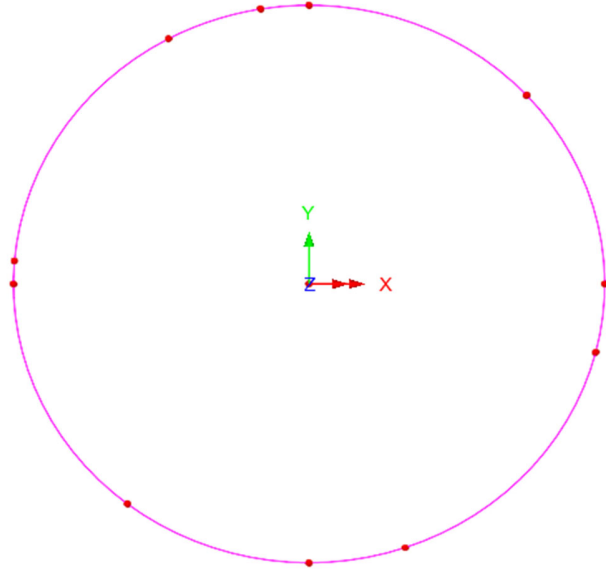
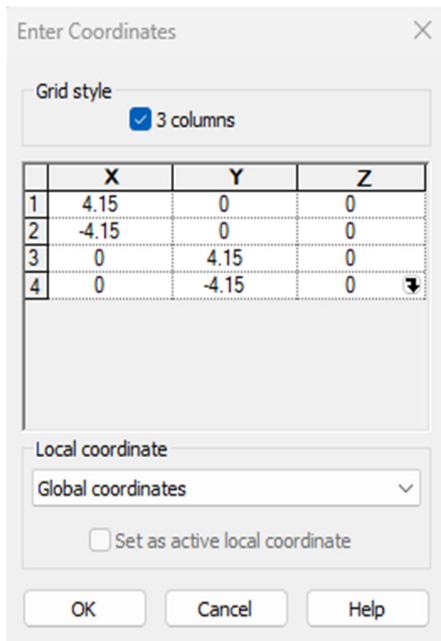
분할된 두 line 중 우측 line 을 삭제합니다.



전체 모델을 선택하여 Z 축 기준으로 -151.579 도 만큼 회전하여 이동시킵니다.

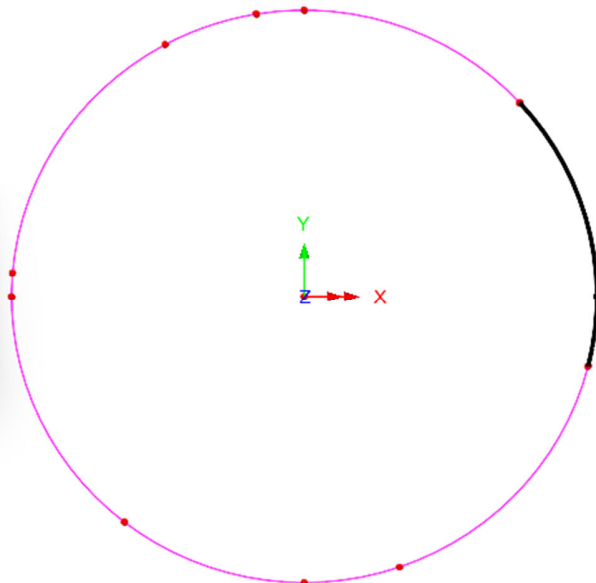
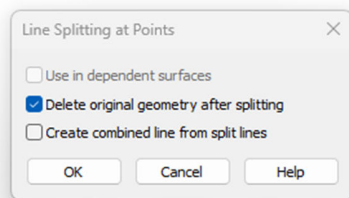


Line 을 분할할 기준점을 생성합니다. (4.15, 0, 0), (-4.15, 0, 0), (0, 4.15, 0), (0, -4.15, 0) 위치에 포인트를 생성합니다.

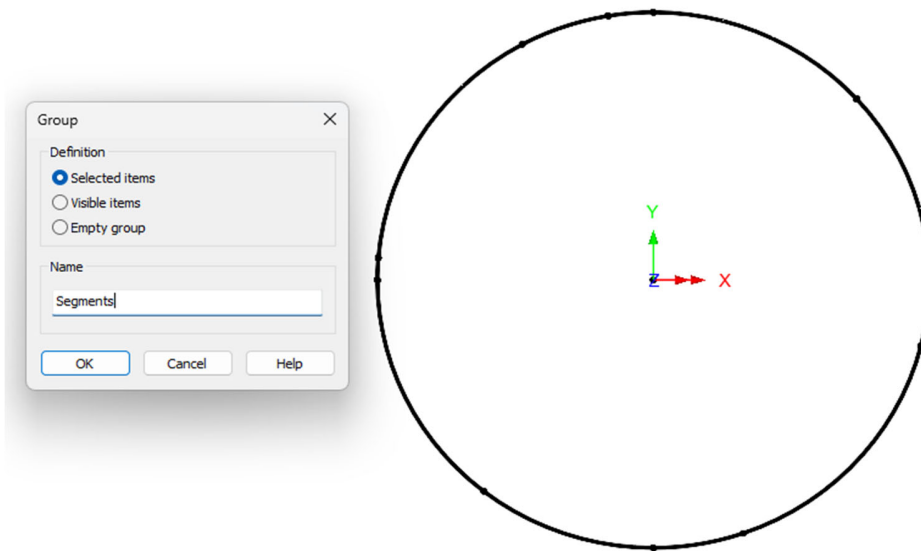


우측 세그먼트 곡선을 분할합니다.

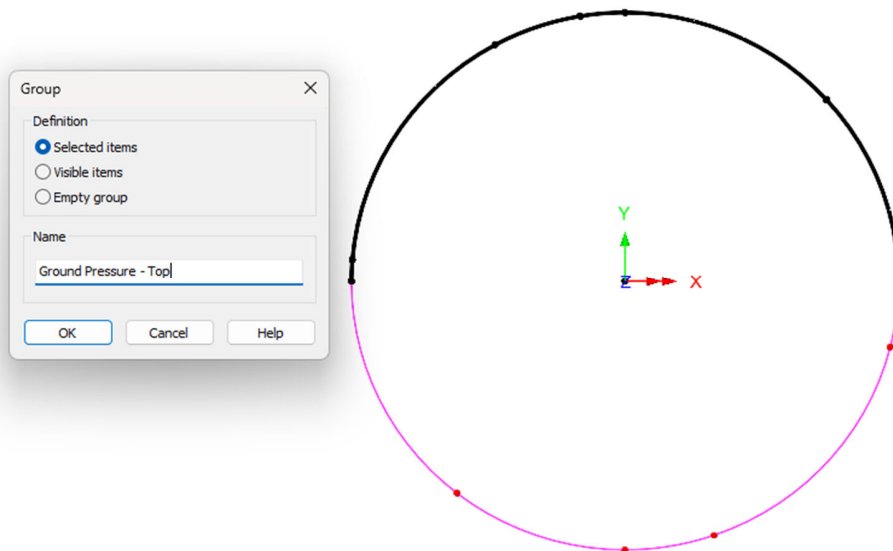
아래와 같이 우측 세그먼트에 해당하는 Line 과 위에 위치한 Point 를 선택합니다. **Geometry> Line> By Splitting> At a point...** 메뉴를 선택합니다. 'Delete original geometry after splitting' 옵션을 체크합니다. 나머지 세그먼트도 동일하게 분할 합니다.



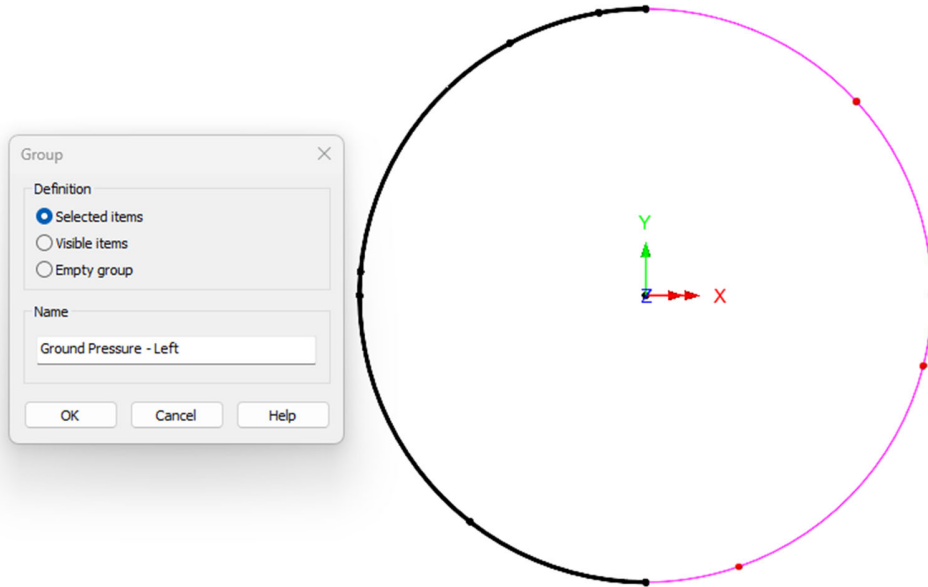
세그먼트 그룹을 정의합니다. 전체 모델을 모두 선택한 후, 모델러의 그룹 아이콘을 눌러 그룹으로 지정합니다. 그룹명은 Segments 로 정의합니다.



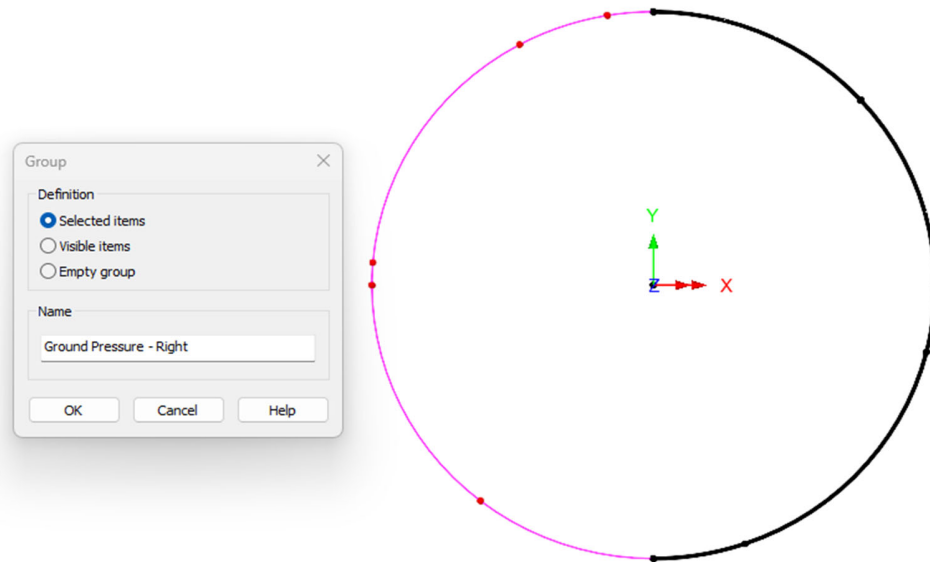
지반 압력 그룹을 정의합니다. 아래 그림에서 표시된 line 을 선택한 후, 그룹으로 지정합니다. 그룹명은 Ground Pressure - Top 을 입력합니다.



아래 그림에서 표시된 line 을 선택한 후, 그룹으로 지정합니다. 그룹명은 Ground Pressure - Left 를 입력합니다.

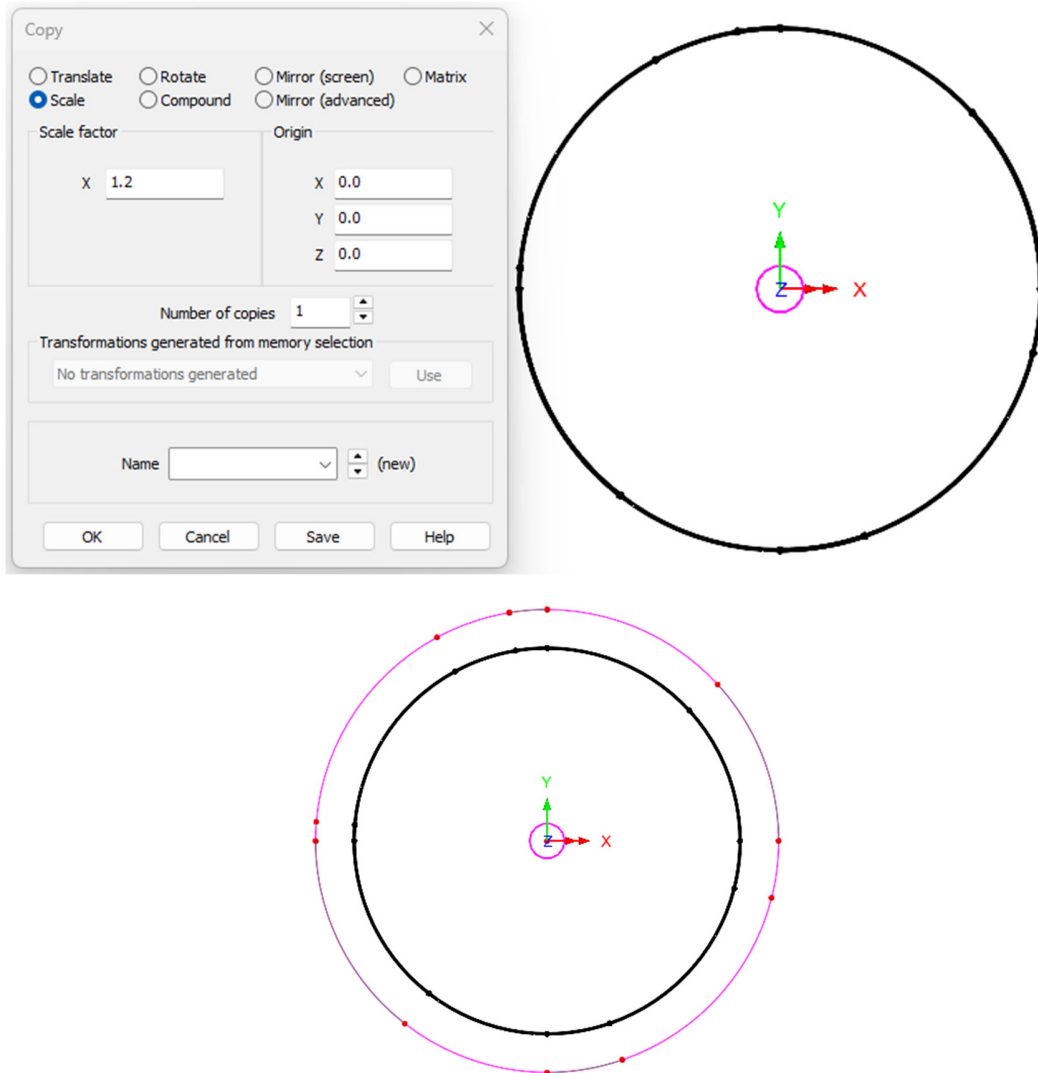


아래 그림에서 표시된 line 을 선택한 후, 그룹으로 지정합니다. 그룹명은 Ground Pressure - Right 를 입력합니다.



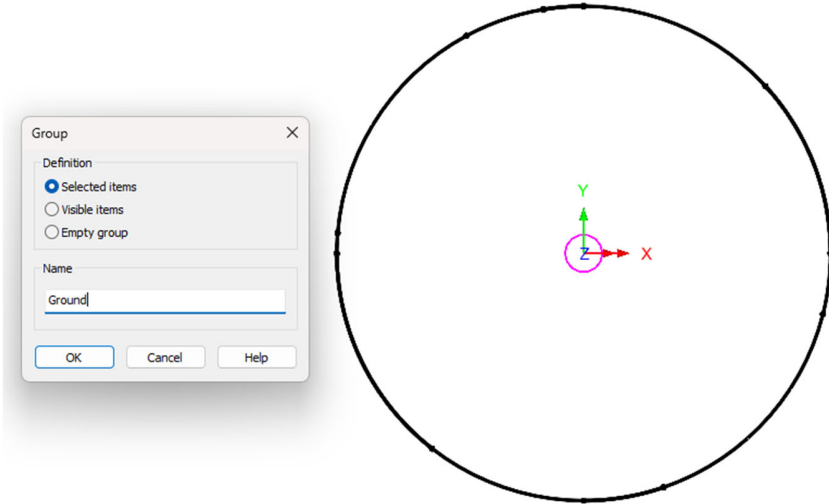
2. 지반 구성

구조물 주변 지반을 정의합니다. 전체 구조물을 선택하고, 마우스 우측 버튼을 클릭하여 **Copy** 를 선택합니다. 대화창에서 Scale 옵션을 선택하고, Scale factor 에 1.2 를 입력합니다. 세그먼트 형상을 1.2 배로 확대하고, 새로 생성된 Line 을 주변 지반이 외측 끝단에서 고정되는 위치로 사용합니다.



주변 지반 그룹을 정의합니다. **Treeview> Groups** 탭에서 '**Segments**' 그룹을 화면에서 보이지 않도록 합니다. 그룹명 마우스 우측 클릭 후, **Invisible** 메뉴를 선택합니다.

모델러 좌측의 윈도우에 남은 line 을 모두 선택하고, '**Ground**' 이라는 이름의 그룹에 추가합니다.



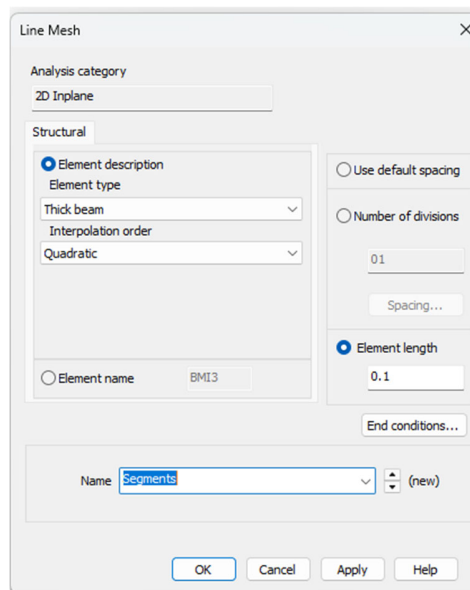
3. 요소의 정의 및 적용

3.1. 세그먼트

Attributes> Mesh> Line...

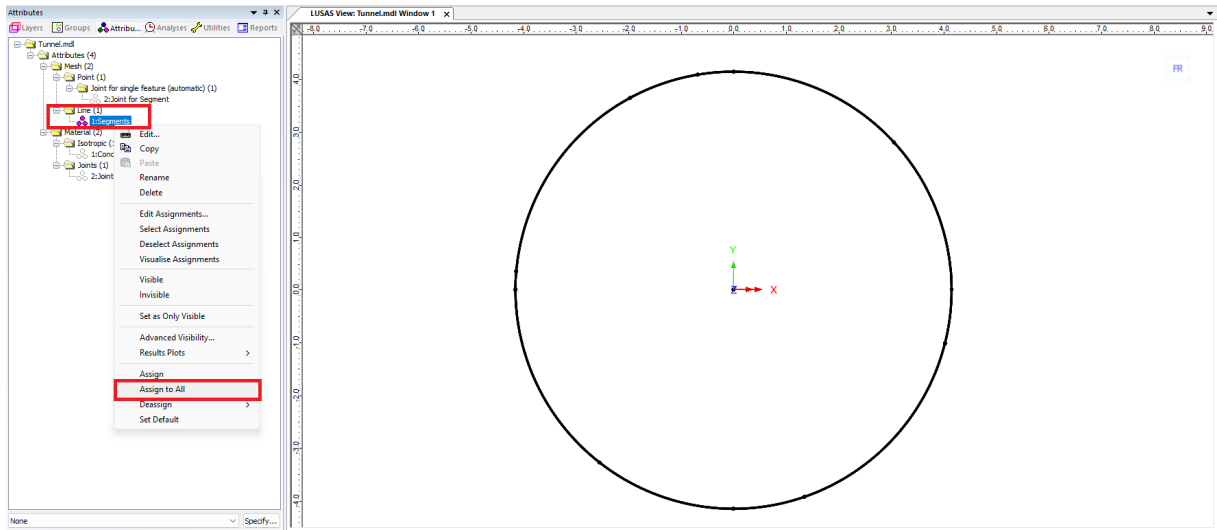
세그먼트 요소를 정의합니다. 위의 메뉴에서 Thick Beam 을 선택하고, Quadratic 을 선택합니다.

요소 길이는 0.1m 로 정의하고, 데이터셋 명은 Segments 로 정의합니다.



세그먼트에 해당하는 전체 라인을 선택하고, 앞에서 정의한 빔 요소를 적용합니다.

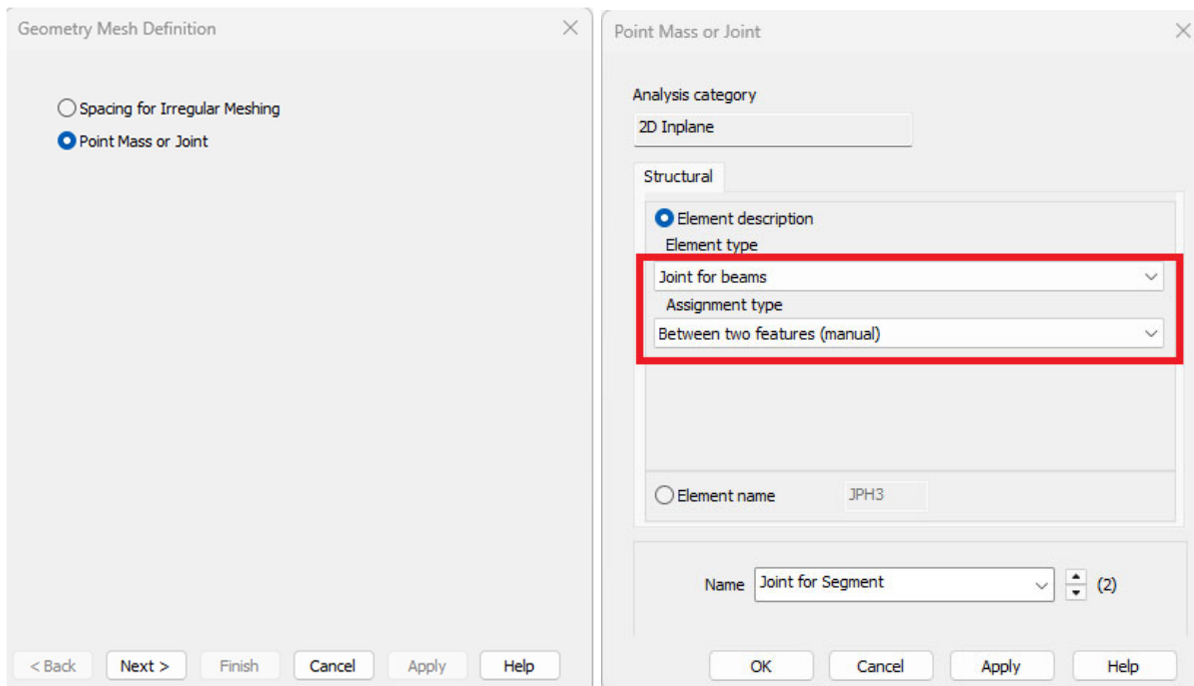
터널 세그먼트 해석



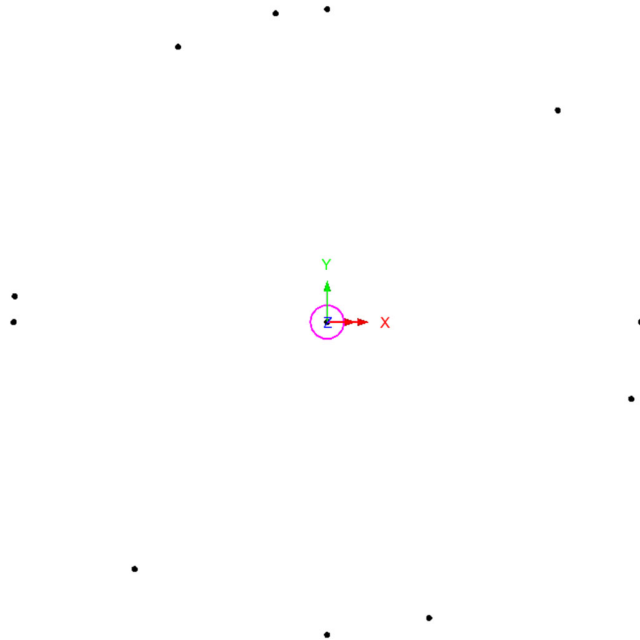
3.2. 세그먼트 연결 조인트

Attributes > Mesh > Point...

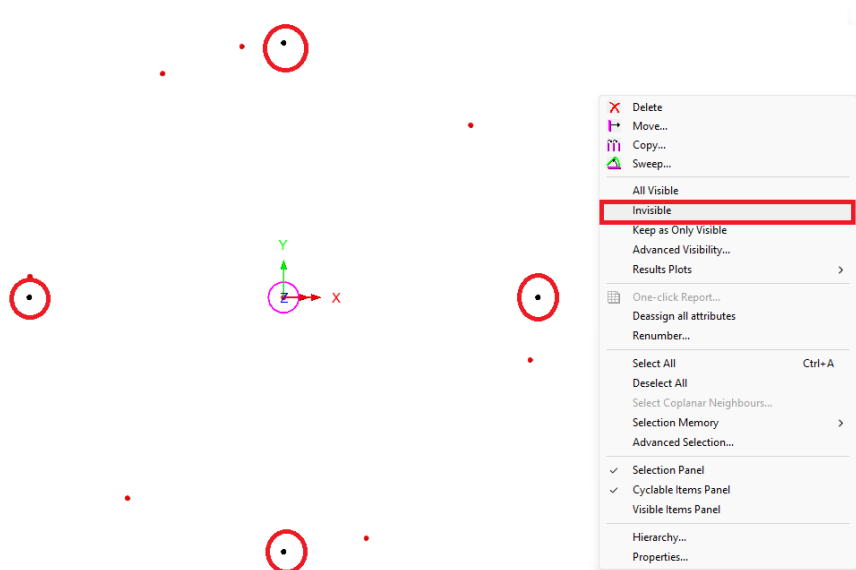
세그먼트사이를 연결하기 위한 조인트 요소를 정의합니다. 위의 메뉴를 실행하고, 이어 나타나는 대화창에서 'Point Mass or Joint'를 선택합니다. 'Next' 버튼을 누르고, Point Mass or Joint 대화창에서 Element type 은 'Joint for beams'를 선택합니다. 데이터셋 명은 Joint for Segment 로 정의합니다.



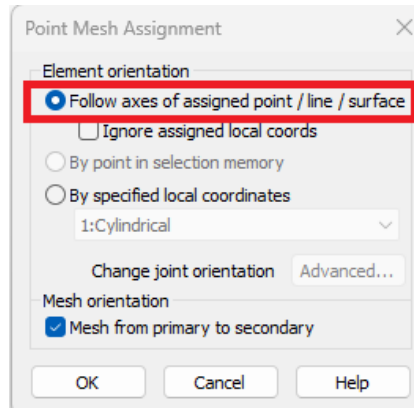
세그먼트 사이를 연결하는 조인트 요소를 적용합니다. 키보드의 **P** 키를 누른 채 모델러 우측의 윈도우에서 전체 모델을 드래그하여 선택합니다. 세그먼트의 모든 Point 만 선택됩니다. 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하고 **Keep as Only Visible** 을 선택합니다.



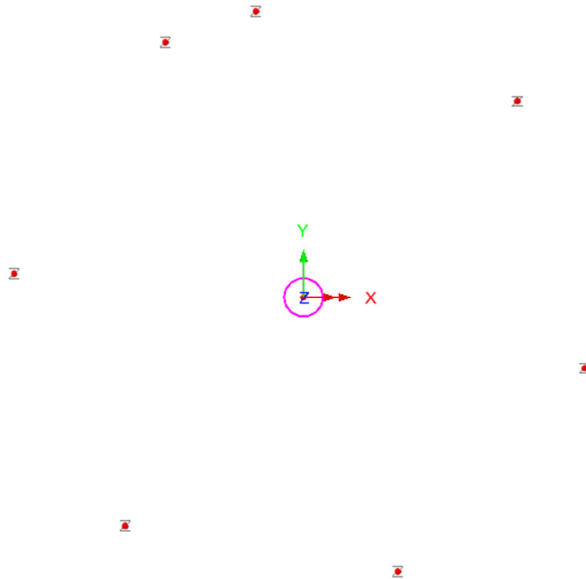
아래 그림에 표시된 Point 를 선택하고, 모델러 우측 윈도우에서 마우스 우측 버튼을 클릭한 뒤, **Invisible** 메뉴를 클릭합니다.



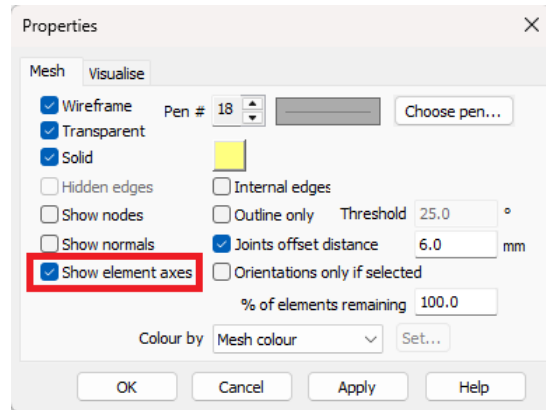
키보드의 **P** 키를 누른 채 겹쳐있는 두 Point 를 선택하고, Treeview > Attributes 의 Joint 요소를 적용합니다. **'Point Mesh Assignment'** 대화창에서 초기값 설정을 그대로 두고 OK 버튼을 클릭합니다.



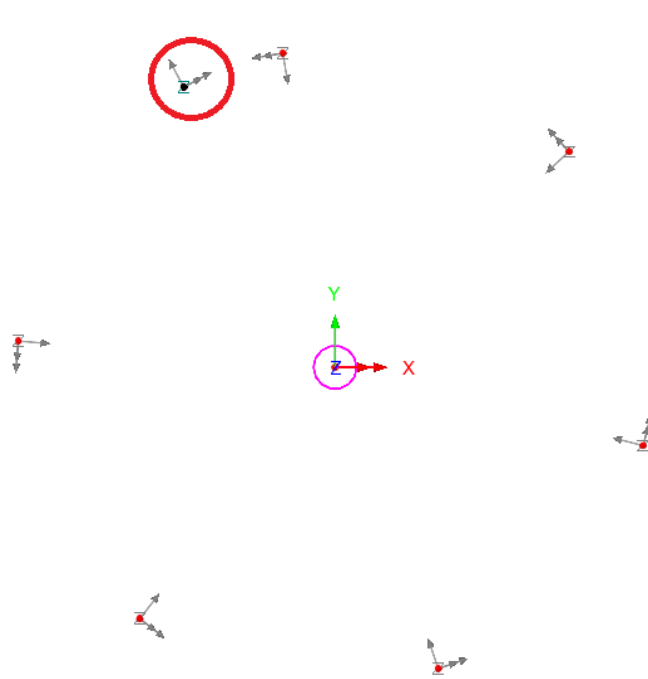
같은 방법으로 나머지 겹쳐 있는 점들을 차례로 선택하여, Joint 요소를 적용합니다.



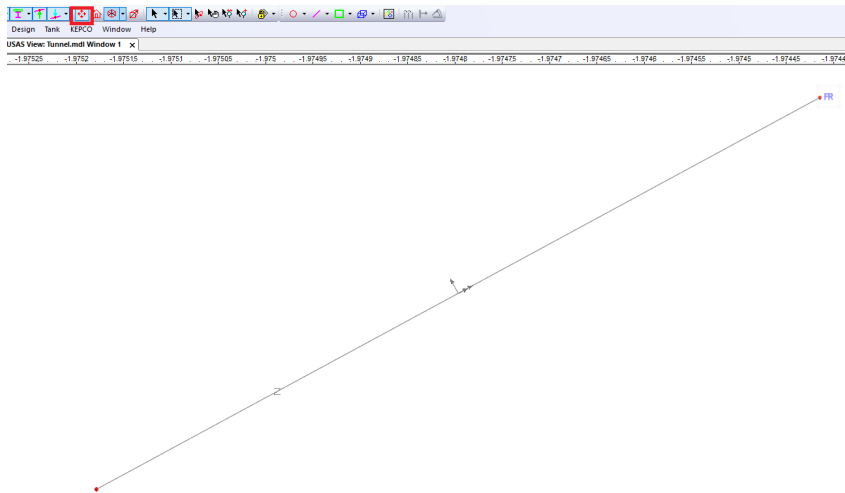
해석 결과의 정확성을 위해 정의된 Joint 요소의 요소 좌표계가 일치하는지 확인합니다. **Treeview> Layers** 탭에서 **Mesh** 레이어를 더블클릭하여 속성을 확인합니다. 대화창에서 **Show element axes** 옵션을 체크한 뒤 OK 버튼을 누릅니다.



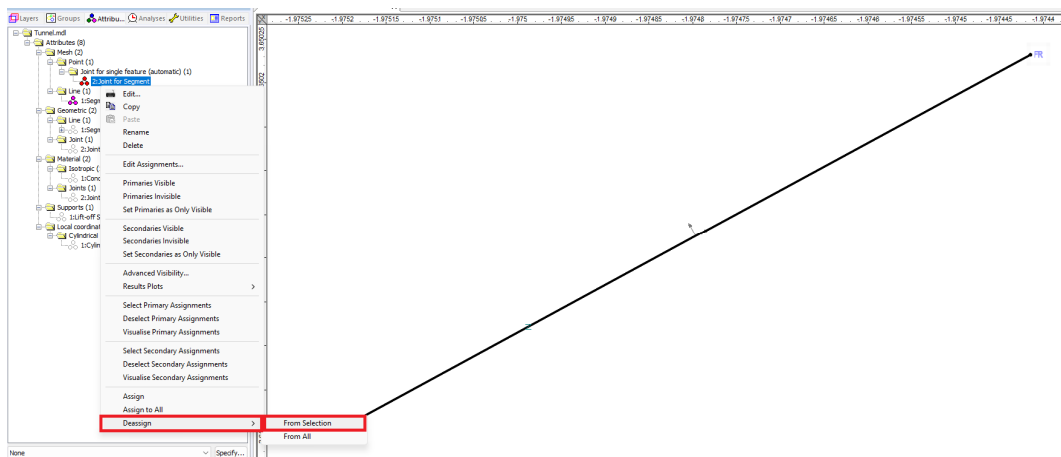
세그먼트를 연결하는 Joint 요소의 축 방향이 아래와 같이 표시됩니다. 붉은색 원으로 표시한 Joint 요소의 축 방향이 다른 Joint 요소와 일치하지 않는 것을 확인할 수 있습니다. 이 경우, 요소의 축 방향을 조정해야 합니다. 해당 두 점을 선택하고 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하여 **Set as Visible** 을 선택합니다.



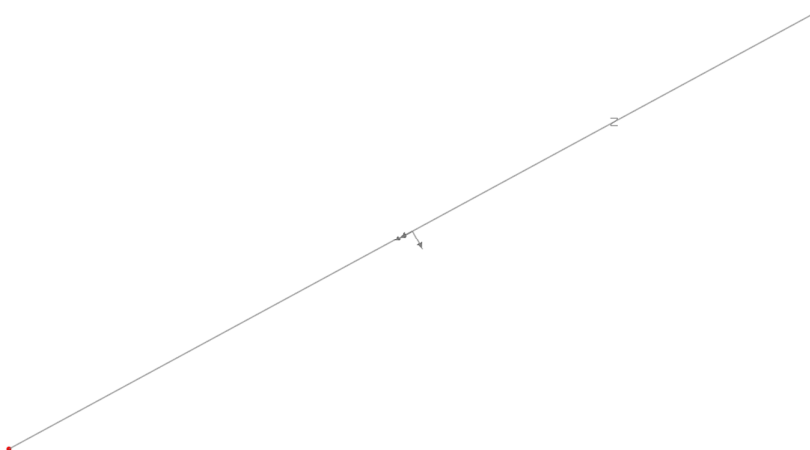
모델러 상단의 '**Resize**' 아이콘을 눌러 두 포인트가 화면에 크게 표시되도록 합니다.



두 Point 를 선택하고 **Treeview > Attributes** 탭의 Joint mesh 속성을 **Deassign** 합니다.

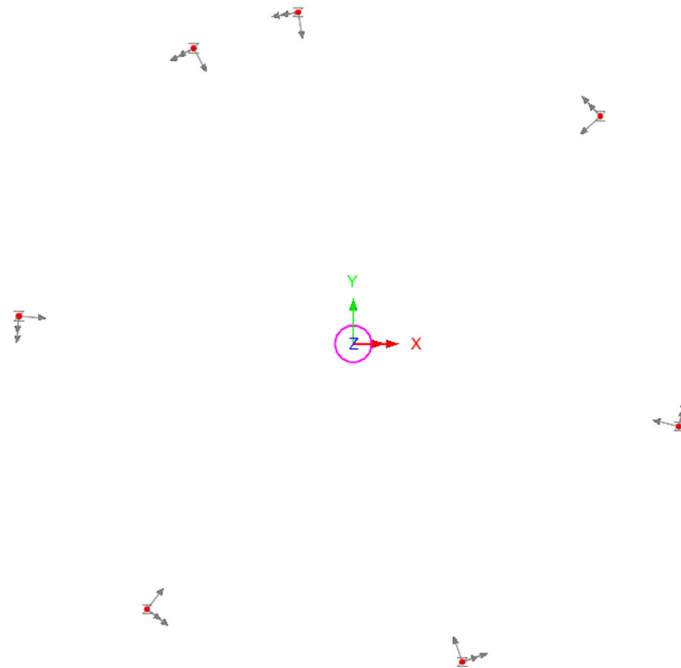


오른쪽 상단의 첫 번째 Point 를 선택하고 Shift 키를 누른 상태에서 왼쪽 하단의 Point 를 이어서 선택합니다. Joint Mesh 를 적용합니다. Joint 요소의 요소 좌표계가 다시 설정되었습니다. 다른 Joint 요소와 축 방향이 일치하는지 확인하기 위해 Joint 요소만 화면에 표시합니다.

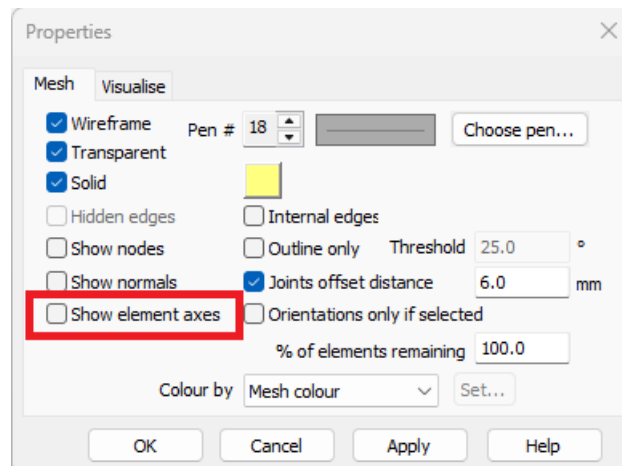


터널 세그먼트 해석

Treeview> Attributes 탭의 Joint mesh 데이터셋 마우스 우측 클릭 후, 'Set Primaries as only Visible'을 선택하고, 이어 'Secondaries visible'을 선택합니다.



Treeview> Layers 탭에서 Mesh 레이어 속성 중 'Show element axes' 옵션을 체크 해제 합니다.

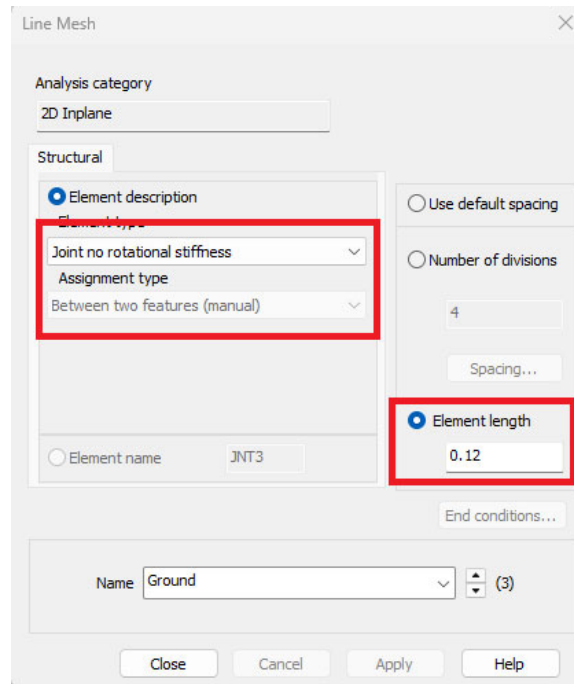


모델러 윈도우창에서 아무것도 선택하지 않은 상태에서 마우스 우측 클릭 후, **All Visible** 을 선택하여, 전체 모델을 화면에 모두 표시합니다.

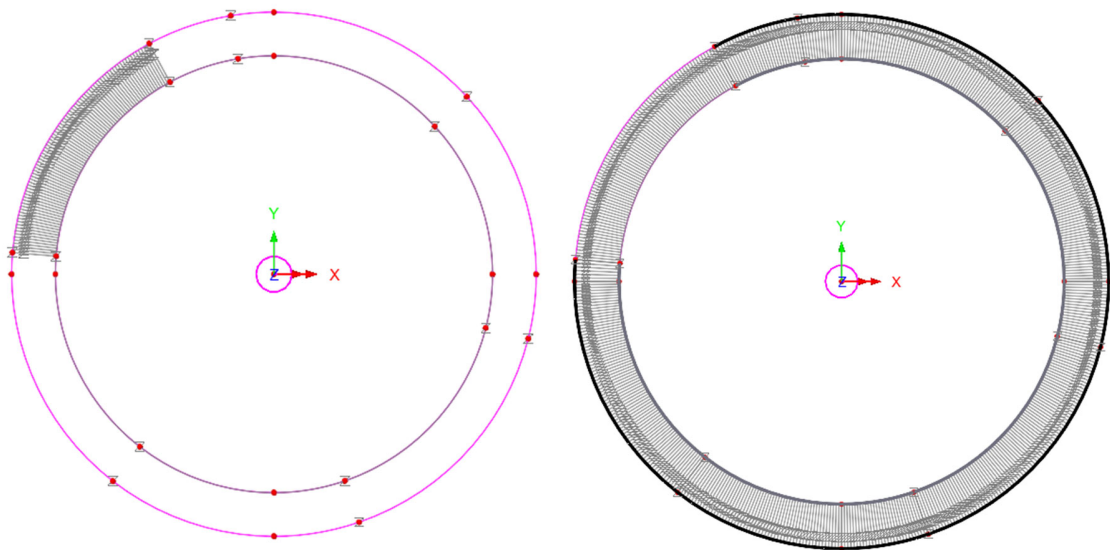
3.3. 지반

Attributes > Mesh > Line...

지반 경계와 세그먼트를 연결하는 조인트 요소를 정의합니다. 위의 메뉴를 실행하고 **Element type** 은 'Joint no rotational stiffness' 를 선택합니다. 요소 길이는 0.12 로 정의합니다. 데이터셋 명을 입력하고 OK 버튼을 누릅니다.



화면에 해석모델을 모두 표시합니다. 지반 경계에 해당하는 Line 을 선택하고, Shift 키를 누른 상태에서 그에 대응하는 터널 세그먼트의 Line 을 선택합니다. 앞에서 정의한 Mesh 데이터셋을 적용합니다. 같은 방법으로 나머지 세그먼트와 지반 경계 사이의 조인트 요소를 적용합니다.



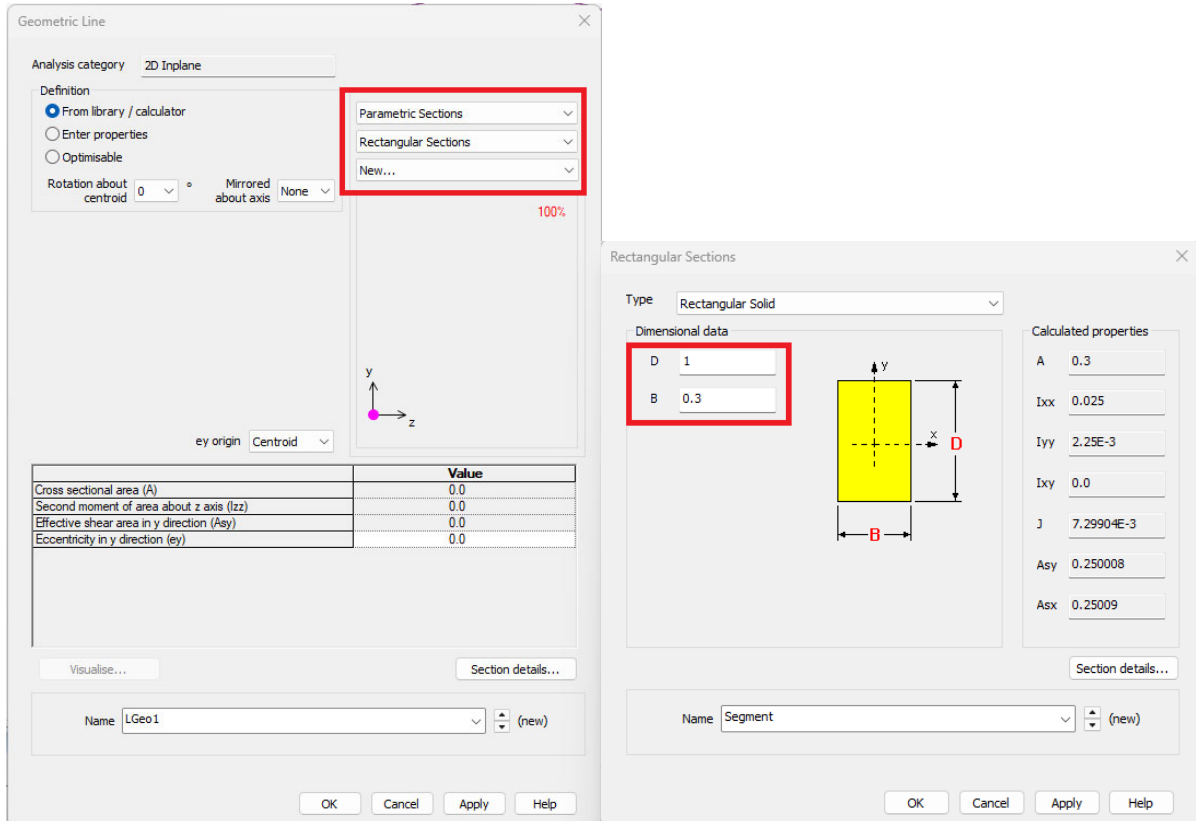
터널 세그먼트 해석

4. 기하특성 적용

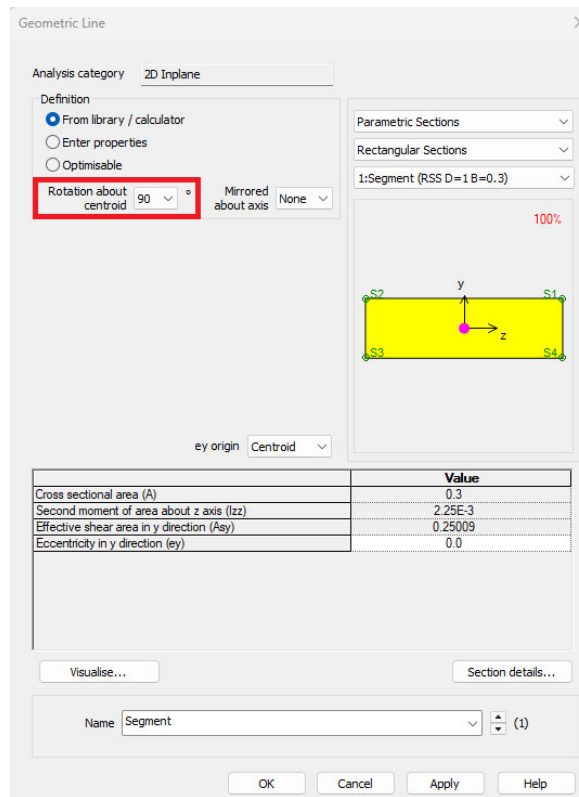
4.1. 세그먼트 단면

Attributes > Geometric > Section Calculator...

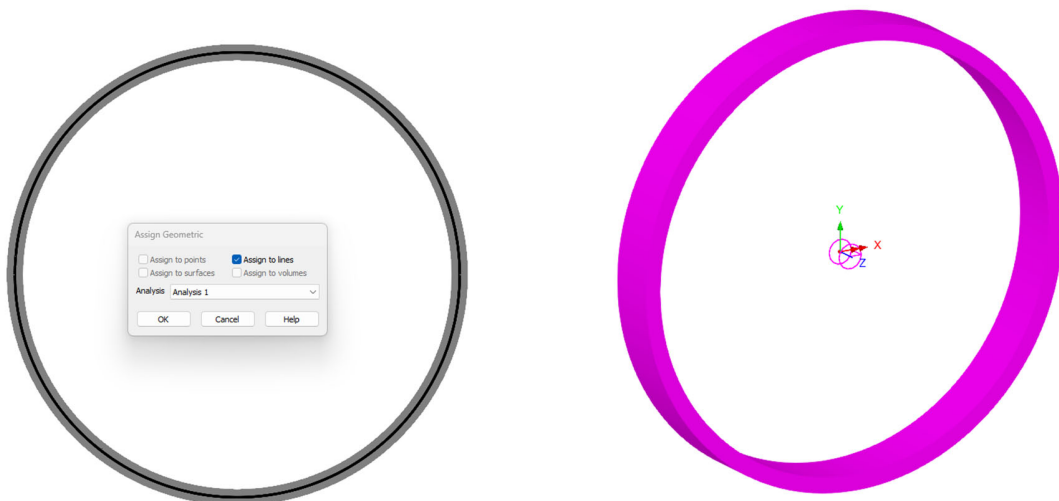
세그먼트 단면 속성을 정의합니다. 위의 메뉴를 실행하고, 우측의 **입력항목**에서 'Parametric Sections', 'Regular Sections', 'New..'를 선택합니다. 정사각형 단면 설정창에서 D=1, B=0.3 을 입력한 후 확인버튼을 누릅니다.



Geometric Line 대화창에서 **Rotation about centroid** 항목을 **90** 도로 정의합니다. 데이터셋 명을 지정하고 정의를 마칩니다.



세그먼트에 해당하는 Line 을 모두 선택하고, 앞에서 정의한 Segment 기하특성을 적용합니다.

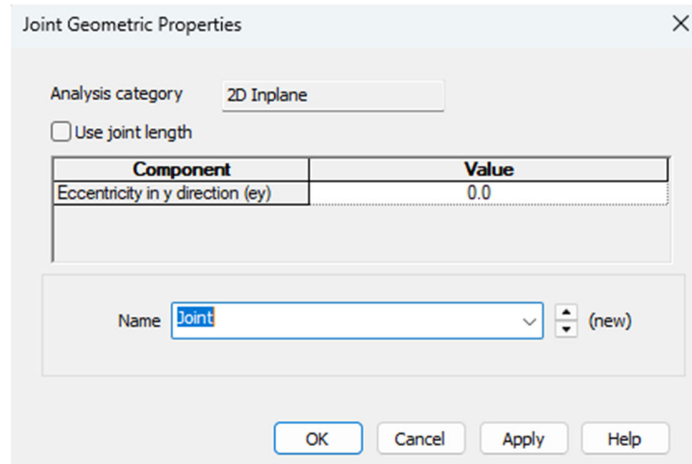


터널 세그먼트 해석

4.2. Joint

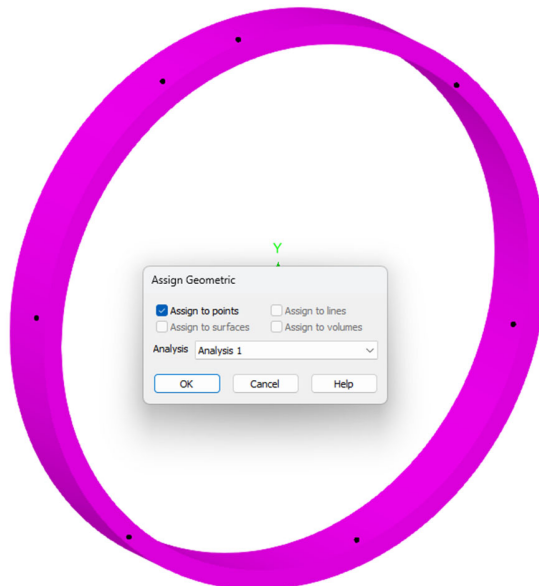
Attributes > Geometric > Joint...

세그먼트를 연결하는 조인트의 기하특성을 정의합니다. 위의 메뉴를 실행하고, 대화창에서 Eccentricity 값을 0 으로 입력합니다.



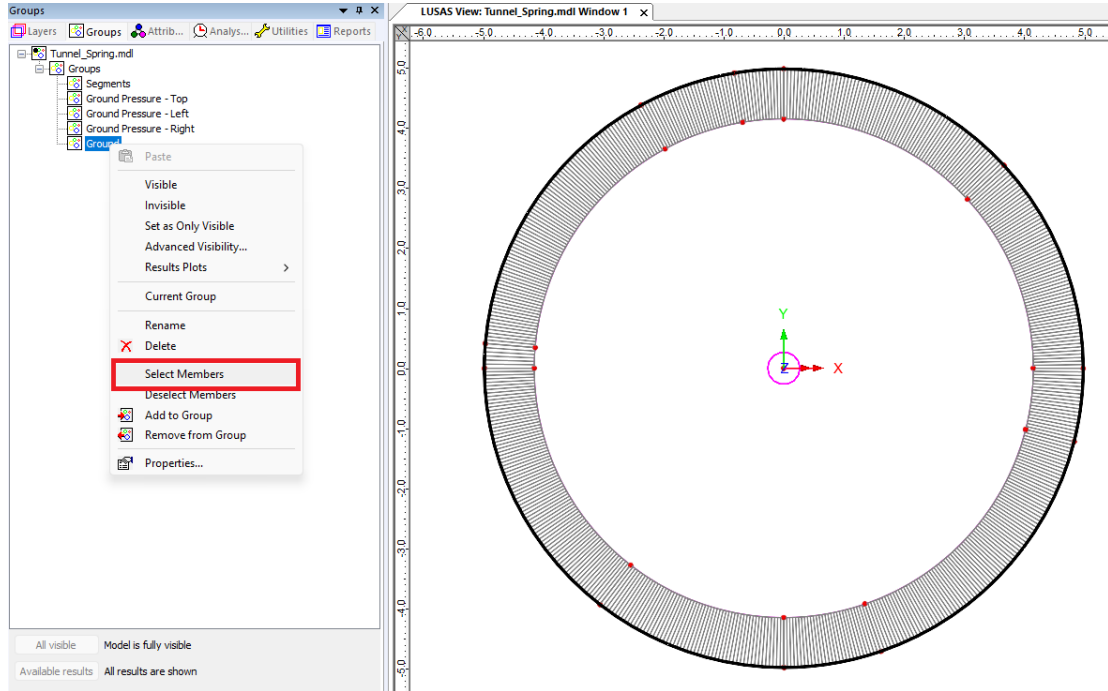
Treeview > Attributes 탭의 Joint Mesh 데이터셋 마우스 우측을 클릭하고, '**Select Primary Assignments**'를 선택합니다. Joint 로 연결된 두 객체 중, Primary 에 해당하는 객체만 선택됩니다.

앞서 정의한 Joint 기하특성값을 선택된 Point 에 적용합니다.



4.3. 지반

지반 조인트의 기하특성을 적용합니다. 주면 조인트의 기하특성은 이미 정의되어 있는 데이터셋을 활용합니다. 지반 경계에 해당하는 Line 을 모두 선택하고, Joint 기하특성을 적용합니다.

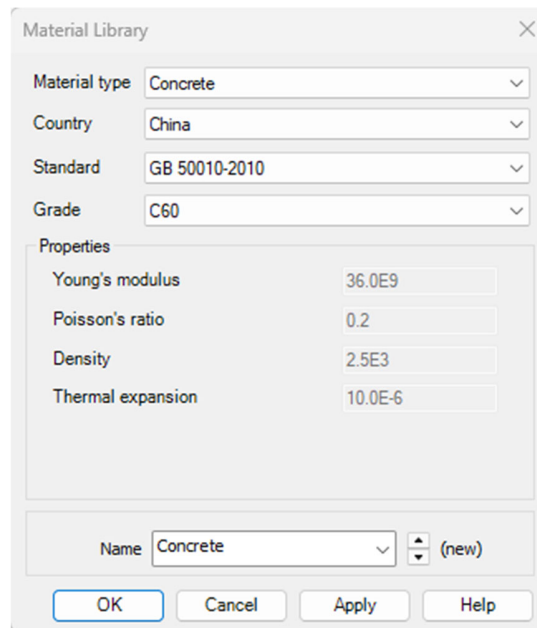


5. 재료 특성의 정의 및 적용

5.1. 세그먼트

Attributes > Material > Material Library...

위의 메뉴를 실행하고, **Material type** 에서 **Concrete** 를 선택합니다. 국가 및 지역, 표준과 등급을 아래와 같이 정의하고, 데이터셋 명은 **Concrete** 로 정의합니다. Material library 대신 **Attributes > Material > Isotropic..** 에서 재료특성값을 직접 입력하여도 됩니다.



The image shows a 'Material Library' dialog box. It has several dropdown menus: 'Material type' set to 'Concrete', 'Country' set to 'China', 'Standard' set to 'GB 50010-2010', and 'Grade' set to 'C60'. Below these is a 'Properties' section with input fields for 'Young's modulus' (36.0E9), 'Poisson's ratio' (0.2), 'Density' (2.5E3), and 'Thermal expansion' (10.0E-6). At the bottom, there is a 'Name' dropdown set to 'Concrete' and a '(new)' button. The dialog has 'OK', 'Cancel', 'Apply', and 'Help' buttons.

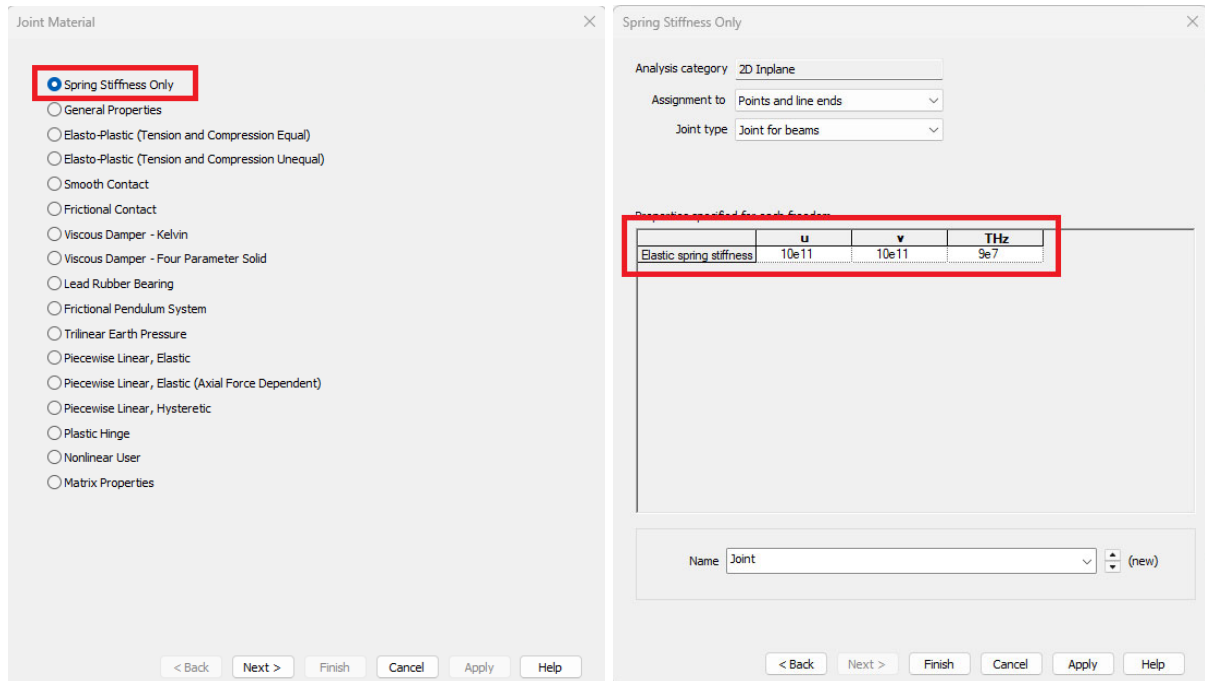
세그먼트에 해당하는 line 을 모두 선택하고, 앞서 정의한 Concrete 재료특성을 적용합니다.



5.2. 세그먼트 연결 조인트

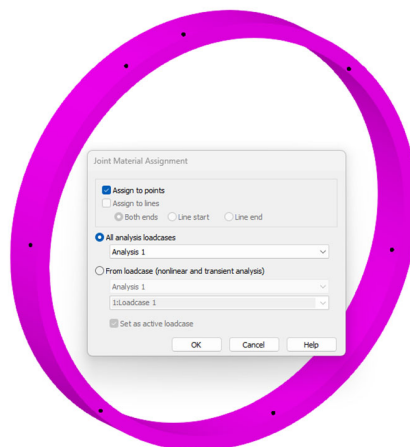
Attributes > Material > Joint...

위의 메뉴를 실행하고, 나타난 대화창에서 'Spring Stiffness Only' 옵션을 선택합니다. 넥스트 버튼을 누르고 새로 나타난 대화창에서 Assignment to 항목에 'Points and line ends' 를, Joint type 에 'Joint for beams'를 선택합니다. Spring stiffness 항목에 아래와 같이 정의합니다.



Treeview > Attributes 탭의 Joint Mesh 데이터셋 마우스 우측을 클릭하고, 'Select Primary Assignments'를 선택합니다. Joint 로 연결된 두 객체 중, Primary 에 해당하는 객체만 선택됩니다.

앞서 정의한 Joint 재료특성 데이터를 선택된 Point 에 적용합니다.

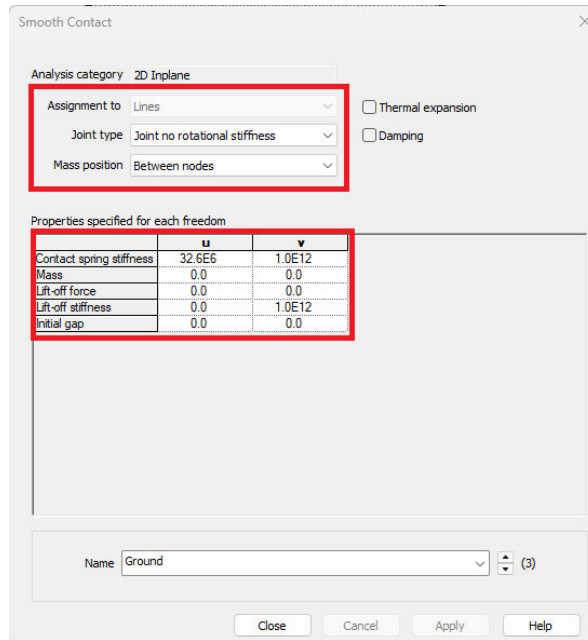


터널 세그먼트 해석

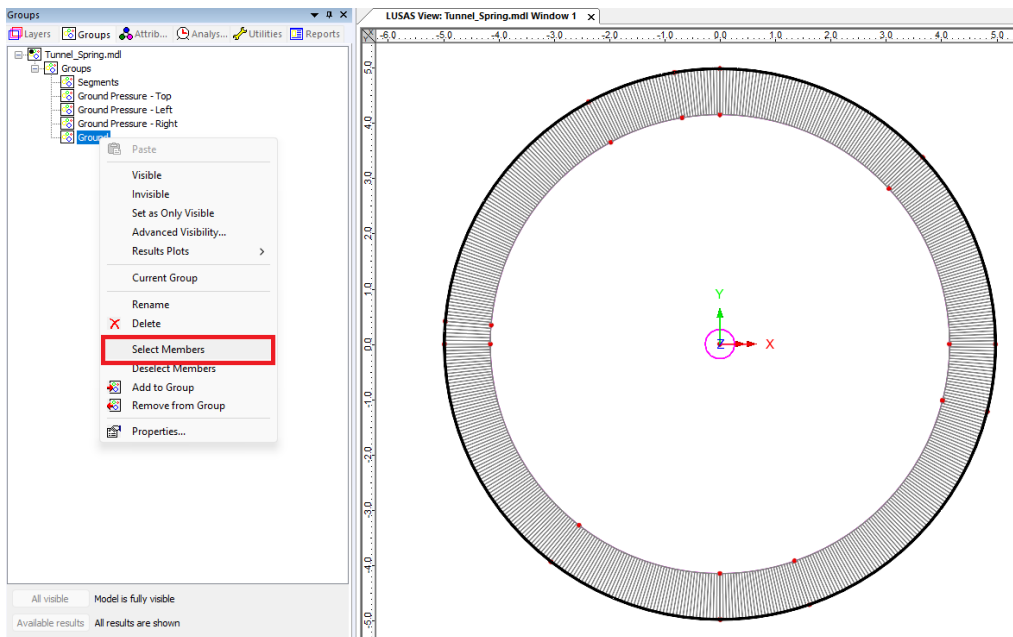
5.3. 지반

Attributes > Material > Joint...

지반을 나타내는 Joint 의 재료특성을 정의합니다. 위의 메뉴를 실행하고, 대화창에서 **Smooth contact** 를 선택하고 Next 버튼을 클릭합니다. Joint 속성 대화창에서 **Assign to lines** 를 선택하고, **Joint type** 을 **Joint no rotational stiffness** 선택합니다. **Mass location** 은 **Between nodes** 로 선택합니다. 아래에 표시된 스프링 강성(spring stiffness)을 입력합니다.



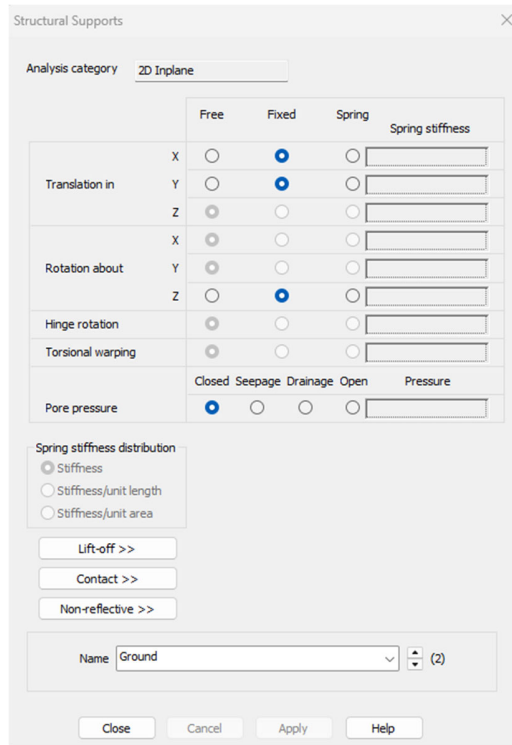
지반 경계에 해당하는 Line 을 모두 선택하고, 앞에서 정의한 재료특성을 적용합니다.



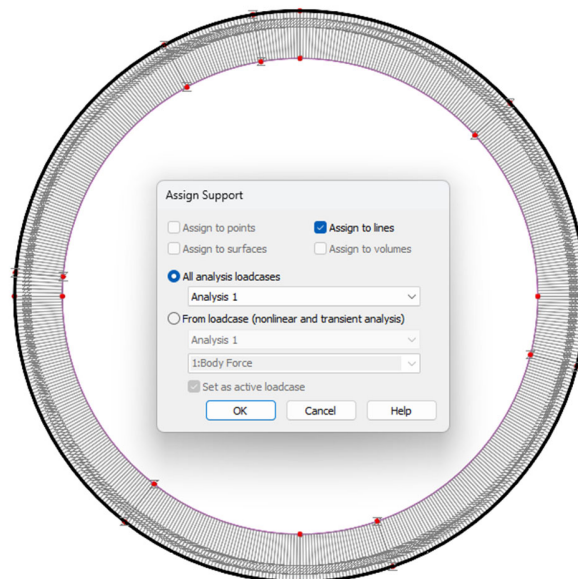
6. 경계 조건 정의 및 적용

Attributes > Support...

주변 지반의 경계조건을 정의합니다. 위의 메뉴를 실행하고 대화창에서 병진 및 회전 자유도를 모두 Fixed 로 정의합니다.



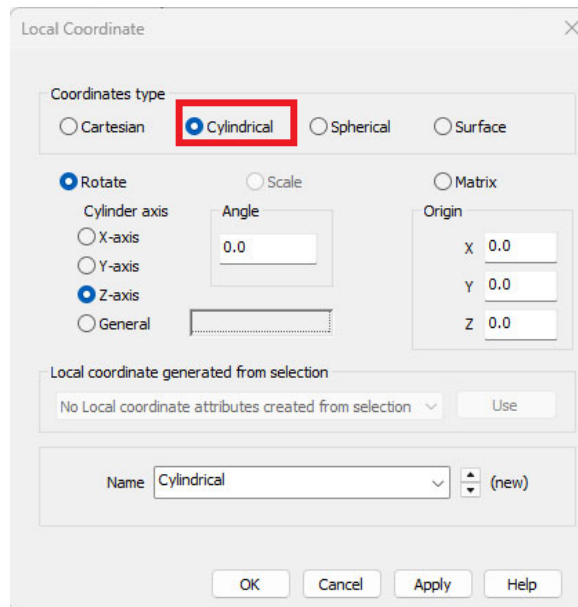
주변 지반의 경계 조건을 적용합니다. 전체 모델에서 주변 지반에 해당하는 Line 을 모두 선택합니다.
'Ground' 경계조건 데이터셋을 적용합니다.



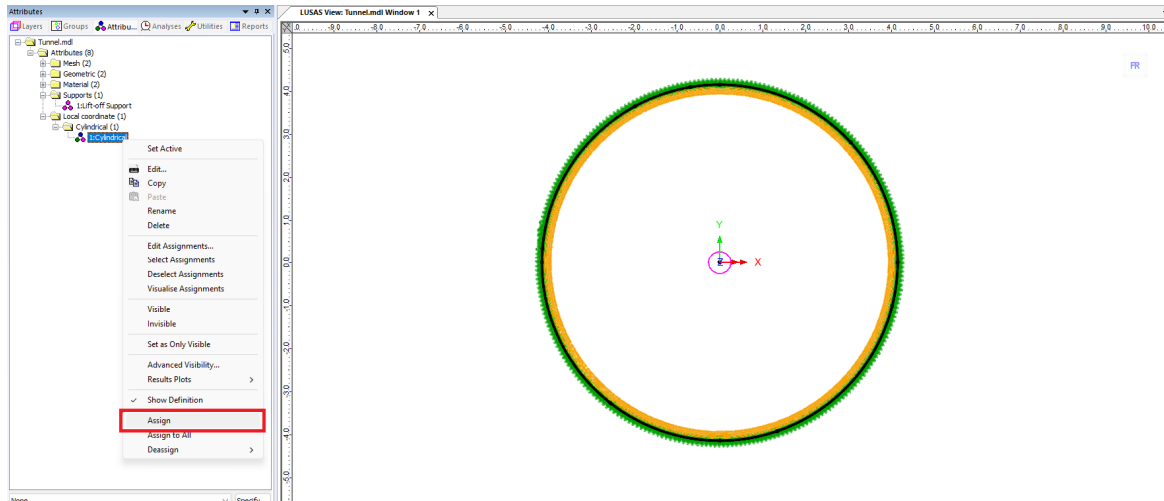
7. 로컬 좌표계 정의 및 적용

Attributes > Local Coordinate...

위의 메뉴를 실행하고 **Local Coordinate** 대화창에서 **Cylindrical** 옵션을 선택하여 원통형 좌표계를 정의합니다. 중심 좌표와 기준이 되는 축은 초기값을 그대로 사용합니다.



해석 모델에 로컬 좌표계를 적용합니다. 전체 모델을 선택하고, 앞에서 정의한 Cylindrical 좌표계를 적용합니다.



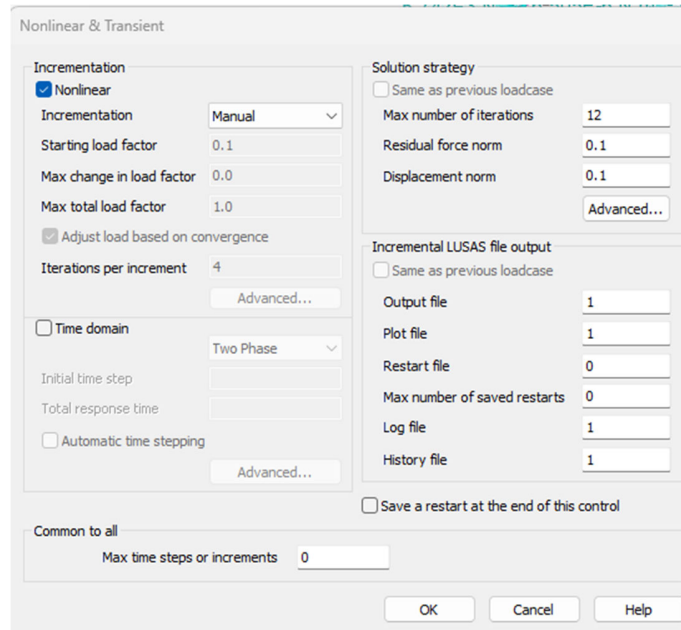
8. 하중 정의 및 적용

세그먼트에 적용하는 하중을 정의합니다. 하중은 앞의 하중 정의 및 적용과 동일합니다.


9. 해석 수행 및 결과 검토

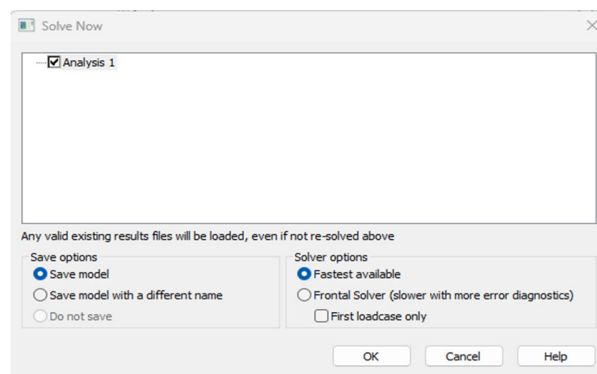
9.1. 비선형 설정

자중 로드케이스 우측을 클릭하고, **Controls > Nonlinear and Transient** 메뉴를 선택합니다. 'Nonlinear' 옵션을 체크하고, **Incrementation** 항목에 'Manual'을 선택합니다. 나머지는 기본설정값을 그대로 유지한채 OK 버튼을 클릭합니다.



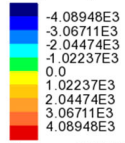
9.2. 해석 수행

모델 구성이 완료되었습니다. 모델을 저장하고, 모델러 상단의 Solve now  아이콘을 눌러 해석을 수행합니다. .



타널 세그먼트 해석

Analysis: Analysis 1
 Loadcase: 3: Patch Loading, 3: Increment 3
 Results file: Tunnel_Spring-Analysis 1.mys
 Entity: Force/Moment - Thick 2D Beam
 Component (Internal point): Mz (Units: N.m)



Maximum 4.24661E3 at Internal point 5 of element 197
 Minimum -4.95473E3 at Internal point 10 of element 162

