

LUSAS 기술자료

철근콘크리트 보의 균열해석 (3D, 재료비선형)

2025.

에프이에이코리아(주)

<목 차>

1. 개요	1
2. 모델러 시작	2
3. Geometry 구성	3
3.1. 수직축 설정	3
3.2. 콘크리트 보 작도	3
3.3. 철근 작도	4
3.4. 띠철근 정의	5
4. 그룹 정의	9
5. Meshing (요소망 구성)	11
5.1. 요소의 정의	11
5.2. 요소의 적용	13
5.3. Parasitic line mesh 적용	15
6. 기하특성 정의 및 적용	17
6.1. 기하특성의 정의	17
6.2. 기하특성 적용	20
6.3. 기하특성 적용 상태 확인	21
7. 재료특성 정의 및 적용	22
7.1. 재료 특성 정의	22
7.2. 재료 특성 적용	24
7.3. 재료 특성 적용 상태 확인	25
8. 구속조건 정의 및 적용	26
8.1. 구속 조건 정의	26
8.2. 구속 조건의 적용	27
9. 하중조건 정의 및 적용	28
9.1. 하중 정의	28
9.2. 하중의 적용	28
9.3. Nonlinear Control의 설정	29
10. 해석 수행	32
10.1. 모델파일 저장	32
10.2. 해석의 수행	32

11. 후처리 과정	34
11.1. 하중케이스 선택	34
11.2. 처짐도	34
11.3. 하중에 대한 변위 그래프	37
11.4. 단면력 / 응력 콘타	41
11.5. 균열 Pattern 확인	41
11.6. 균열 진전 Animation	42
11.7. Animation 저장	43
11.8. 균열 폭 Contour	44
11.9. 균열 폭 결과 출력	46
11.10. 철근 응력	46

1. 개요

For software product(s):	Any Plus version
With product option(s):	Nonlinear

재료비선형 해석은 재료의 탄성영역에서의 특성과 소성 이후 영역에서의 특성을 모두 고려하여, 하중의 변화에 따른 항복의 발생과 항복발생 이후 하중이 경감될 때 재료의 탄성영역 회귀 특성, 또는 항복 이후 하중의 추가적인 증가로 발생하는 응력의 재분배로 인한 균열 또는 항복 영역의 확대 및 파괴에 이르는 과정 등을 검토하고자 할 때에 적용하게 됩니다.

일반적으로 재료비선형해석은 적용되는 하중의 크기에 따라 재료의 특성이 달라지며, 현재 검토하는 하중 이전단계가 탄성 영역이었는지, 비탄성 영역이었는지에 따라라도 재료의 특성이 달라지므로, 검토하고자 하는 하중크기에 대해서만 한 번의 해석을 수행함으로써 결과를 얻어낼 수 없습니다. 그러므로 재료에 하중이 가해지지 않은 상태에서부터 하중이 가해지기 시작하고 재료의 특성이 하중의 도입과 이에 따른 변형에 따라 달라져가는 과정들이 도입 되어야 하는 것입니다.

따라서 일정 하중크기 상태에서의 구조의 거동을 예측하고자 하면, 아주 미소한 하중으로부터 원하는 하중에까지 점진적으로 하중을 증가시키고, 이 과정 동안 매회 재료의 특성을 전단계 해석의 결과에 따라 수정해 가며 해석이 진행되어야 하는 것입니다. 이러한 것은 LUSAS에서는 Loadcase의 특성에서 제공하는 Nonlinear Control 옵션에서 Automatic 하중증가를 지정 하면 쉽게 정의하고 해석을 수행해 낼 수 있습니다.

철근을 고려한 단순 콘크리트 보의 재료비선형 해석을 통하여 균열이 발생하는 하중의 크기를 예측하며 하중의 증가로 인한 균열의 양상을 살펴보고 이를 위하여 전체 응력분포도 및 균열 보 높이 방향 단면의 응력 분포도, 하중 대 전체 처짐 그래프 등을 출력해 봅니다.

해석되는 모델은 아래와 같이 단순 지지된 철근 콘크리트보로 전체의 1/2만을 모델링하여 중심에서 45cm 떨어진 곳에 하중을 점차로 증가시켜 철근으로 보강된 콘크리트 보의 균열발생시점과 하중이 증가됨에 따른 균열의 양상을 예측할 수 있습니다.

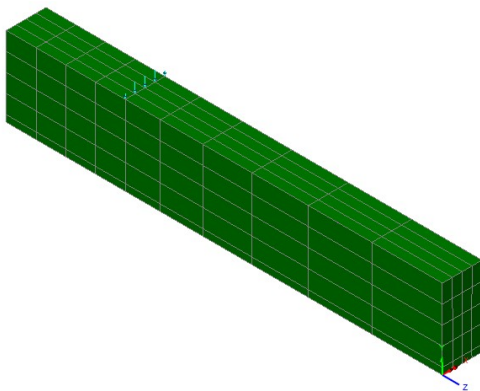


그림 1. 해석대상

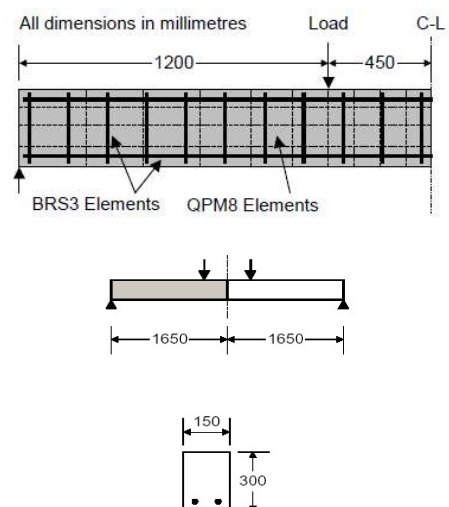
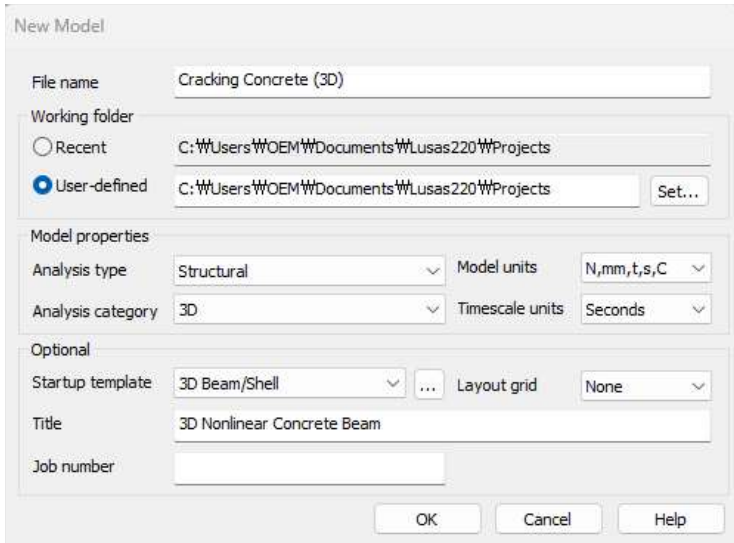


그림 2. 해석대상 단면

2. 모델러 시작

File / New...



The 'New Model' dialog box is shown with the following settings:

- File name: Cracking Concrete (3D)
- Working folder: ☐ Recent (C:\Users\WOEM\Documents\Lusas220\Projects), ☒ User-defined (C:\Users\WOEM\Documents\Lusas220\Projects) [Set...]
- Model properties:
 - Analysis type: Structural
 - Model units: N,mm,t,s,C
 - Analysis category: 3D
 - Timescale units: Seconds
- Optional:
 - Startup template: 3D Beam/Shell [...]
 - Layout grid: None
 - Title: 3D Nonlinear Concrete Beam
 - Job number: [empty]

Buttons: OK, Cancel, Help

🕒 File : 파일명

🕒 Working folder : 작업폴더

🕒 Analysis type: 해석 종류

- Structural - 구조해석 모델에 용이한 환경 구성
- Thermal - 열해석 모델에 용이한 환경 구성
- Coupled - 열해석 결과를 바탕으로 하는 구조해석, 또는 그 반대의 상호 작용 해석 환경 구성

🕒 Model units : 모델링에 사용할 단위계. 내장 DB (단면제원, 재료특성 등) 사용 시 초기값 설정에 영향

🕒 Analysis category : 모델에서 수행할 해석 유형의 범위를 정의.

🕒 Timescale units : 대화창에서 시간이 어떻게 표시되는지, 해석 결과를 처리할 때 어떤 단위로 출력되는지 결정

🕒 Startup template : 자주 사용하는 데이터셋 정의. 필요시 사용자 고유의 Script를 작성하여 등록 가능

🕒 Title : 모델에 대한 설명 (생략가능)

3. Geometry 구성

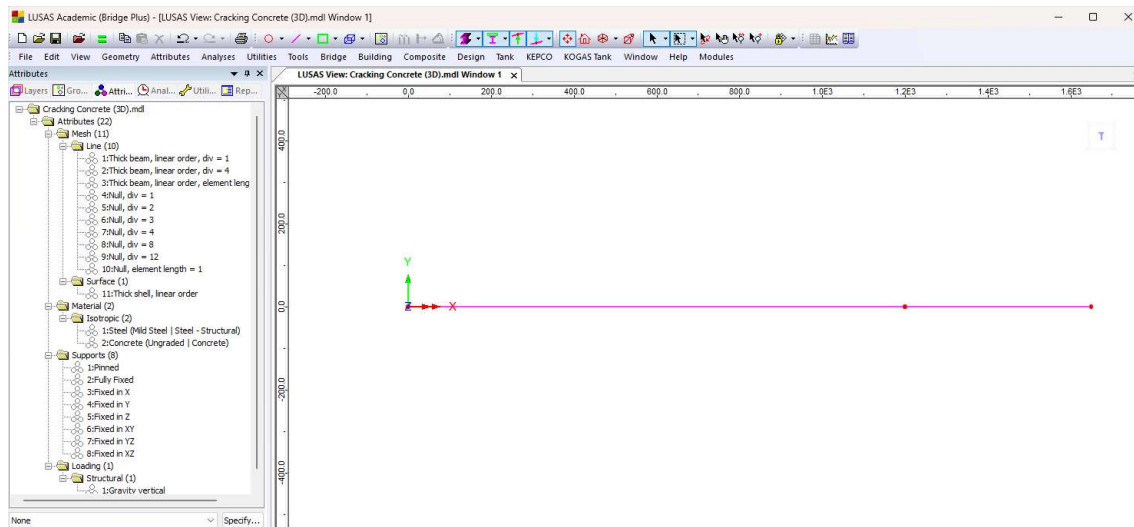
3.1. 수직축 설정

LUSAS에서 3D 모델 구성시 수직 축은 Z-축으로 정의됩니다. 하지만 본 예제에서는 수직 축을 Y 축으로 설정합니다.

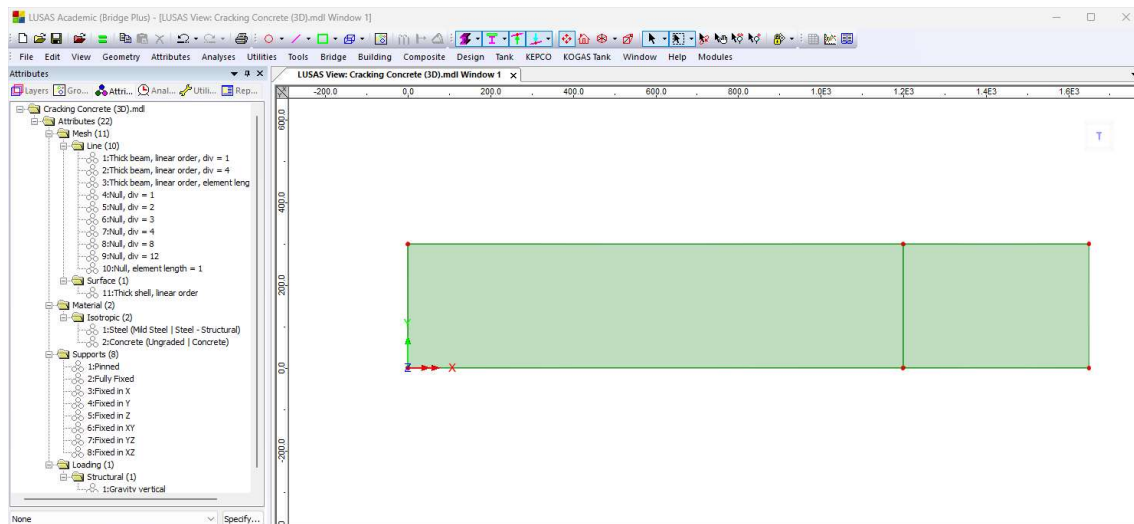
3.2. 콘크리트 보 작도

Geometry / Line / By Coords ...

⌚ (0, 0, 0), (1200, 0, 0)과 (1650, 0, 0)을 잇는 두 Line을 정의합니다.

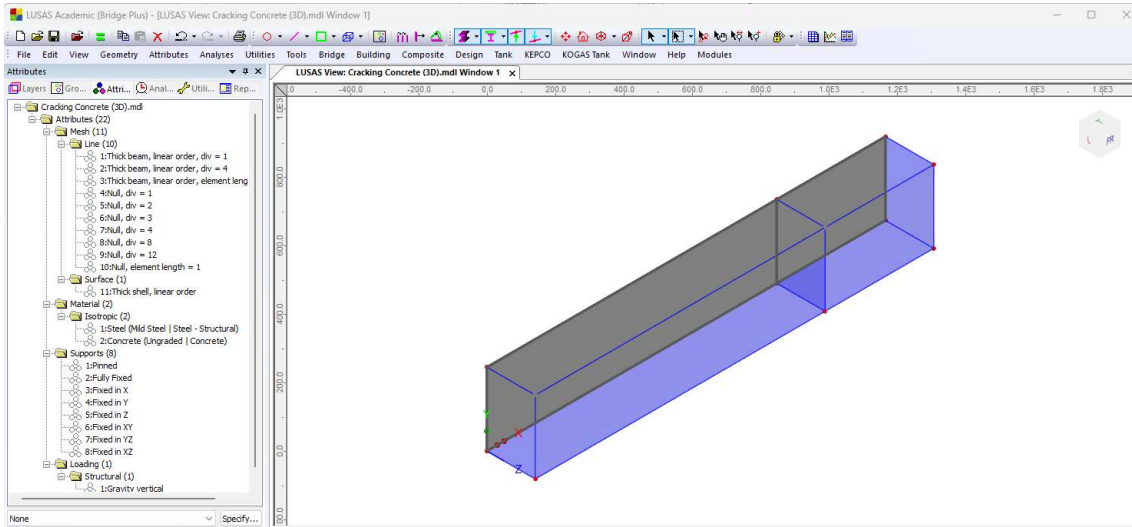


⌚ 생성된 Line을 모두 선택하고 Y방향으로 300만큼 Sweep 하여 빔의 측면을 나타내는 Surface를 구성합니다.



철근콘크리트 보의 균열해석(3D, 재료비선형)

⌚ 앞에서 생성된 두 Surface를 선택합니다. Z 축 방향으로 200만큼 Sweep 하여 Volume을 생성합니다.

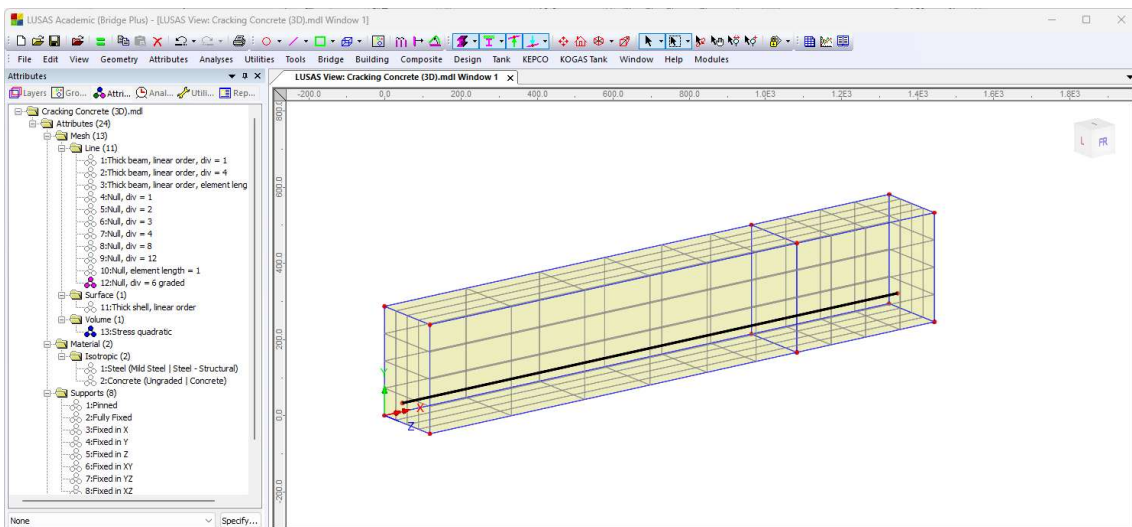


3.3. 철근 작도

⌚ 철근은 보의 좌측 끝단에서 30mm 피복을 가지며, 모델 우측의 중간지점까지 연장됩니다. 철근은 중심선을 기준으로 모델링합니다.

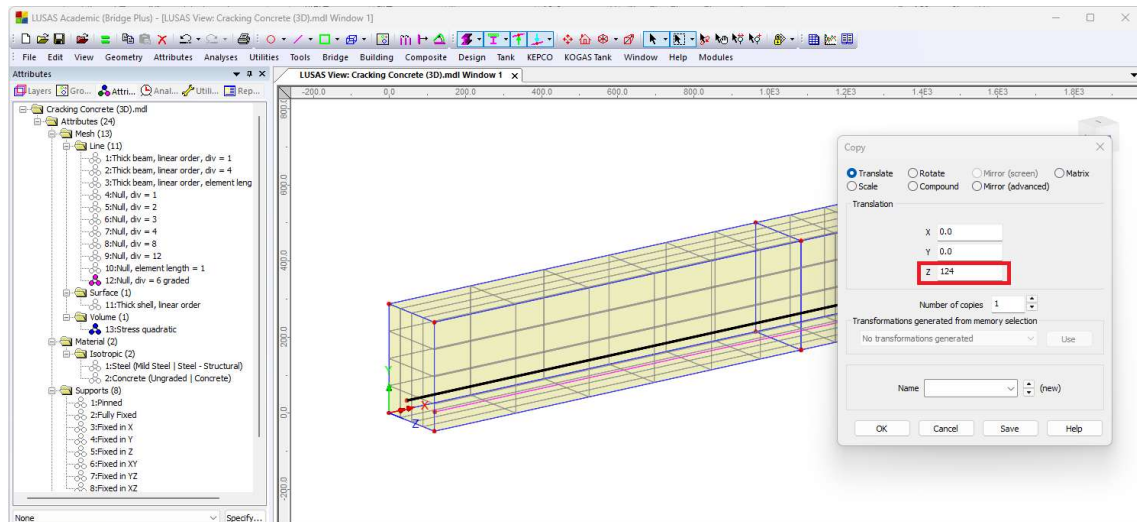
Geometry> Line> By Coords...

⌚ (30, 38, 38) 과 (1650, 38, 38)을 잇는 Line을 정의합니다.

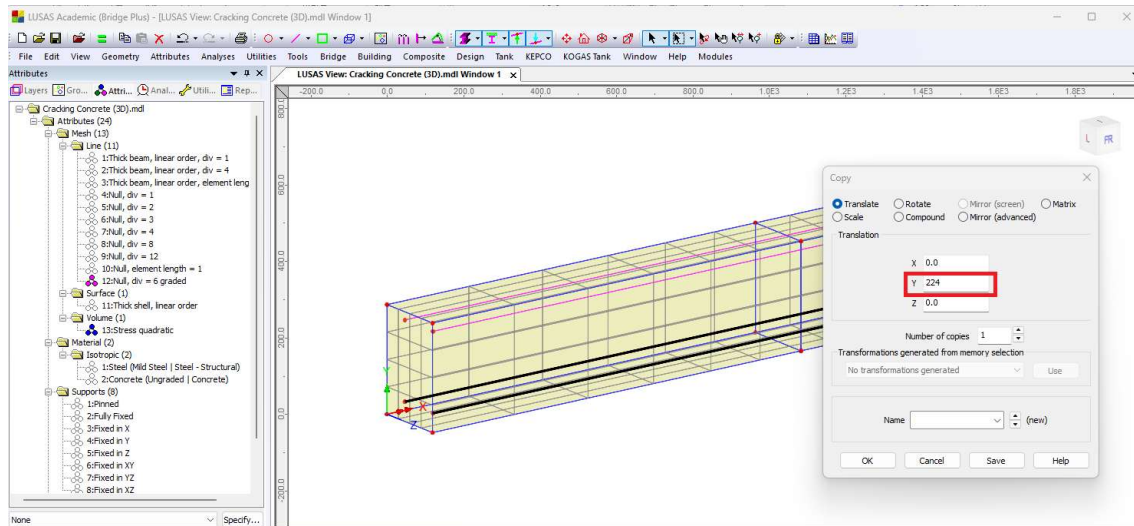


⌚ 위에서 생성한 Line을 선택합니다. Z 축 방향으로 124mm만큼 떨어진 위치에 복사합니다.

Geometry> Line> Copy...



㉠ 앞에서 작도한 철근을 Y 축방향으로 224mm 만큼 복사하여 상부 철근을 작도합니다.

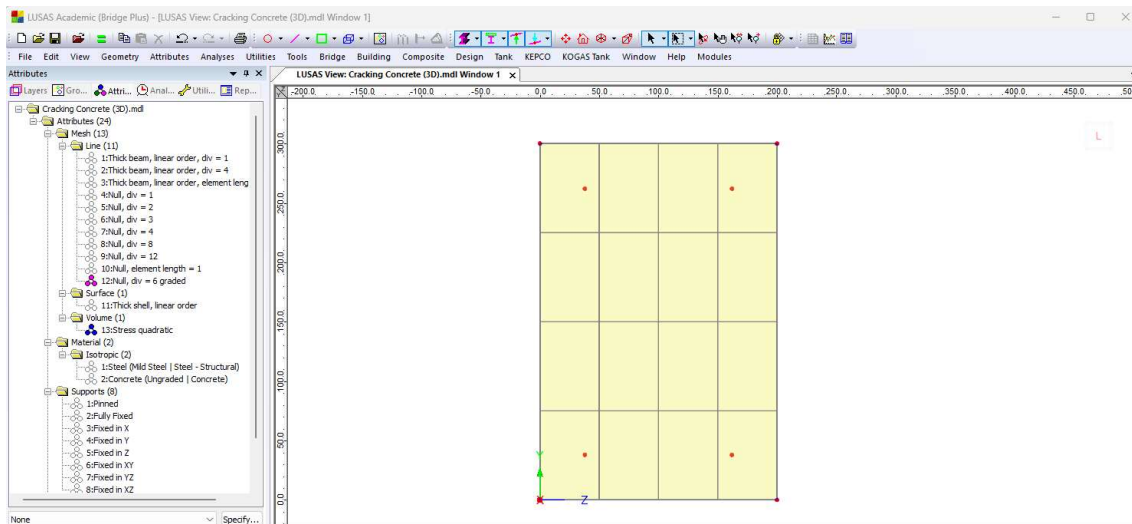


3.4. 띠철근 정의

㉠ 띠철근은 보의 좌측 끝단에서 75mm 떨어진 위치에서 시작하여, 150mm 간격으로 배치합니다. 하나의 띠철근만 정의한 후, 이를 보의 길이 방향으로 복사하여 반복 배치합니다.

㉠ Shift 키를 누른 상태에서 모델러 하단의 **X: N/A** 를 함께 선택하여 보의 좌측 단면을 확인합니다.

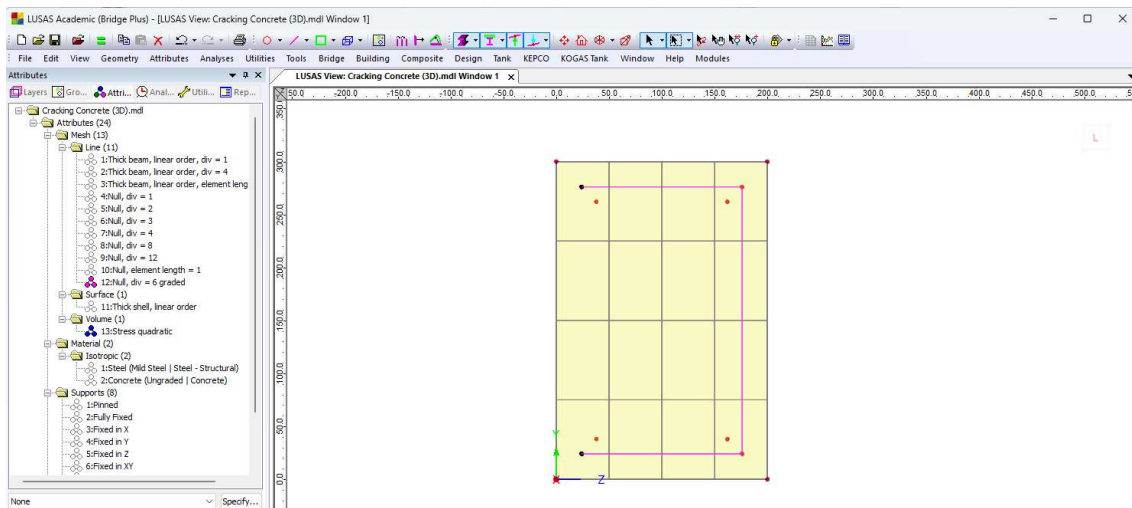
철근콘크리트 보의 균열해석(3D, 재료비선형)



다음의 4개 Point를 있는 Line을 생성합니다.

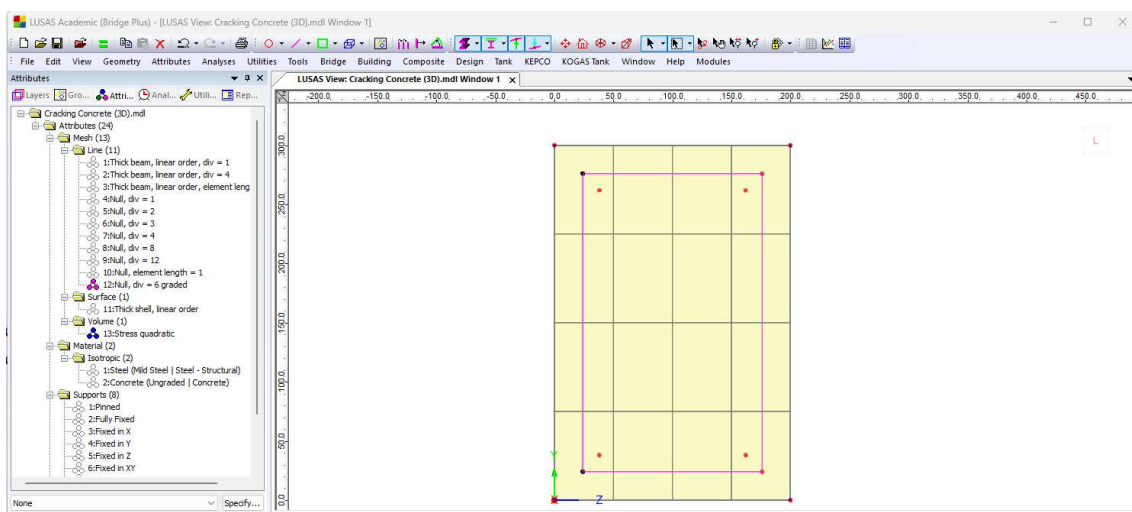
(75, 24, 24) (75, 24, 176) (75, 276, 176), (75, 276, 24)

Geometry> Line> By Coords...



좌측 두 Point를 선택하고, 이를 잇는 Line을 정의합니다.

Geometry> Line> By Points...

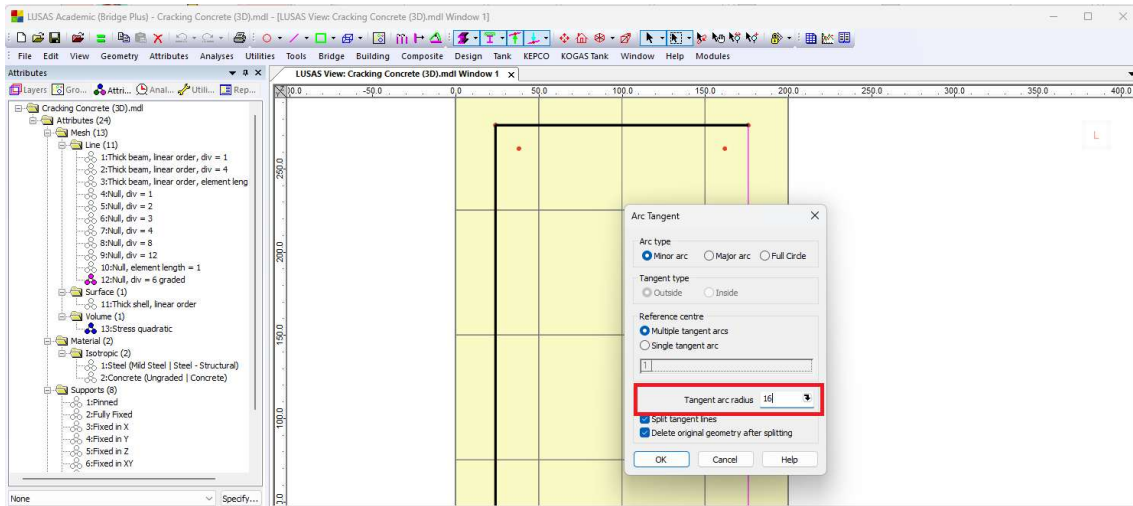




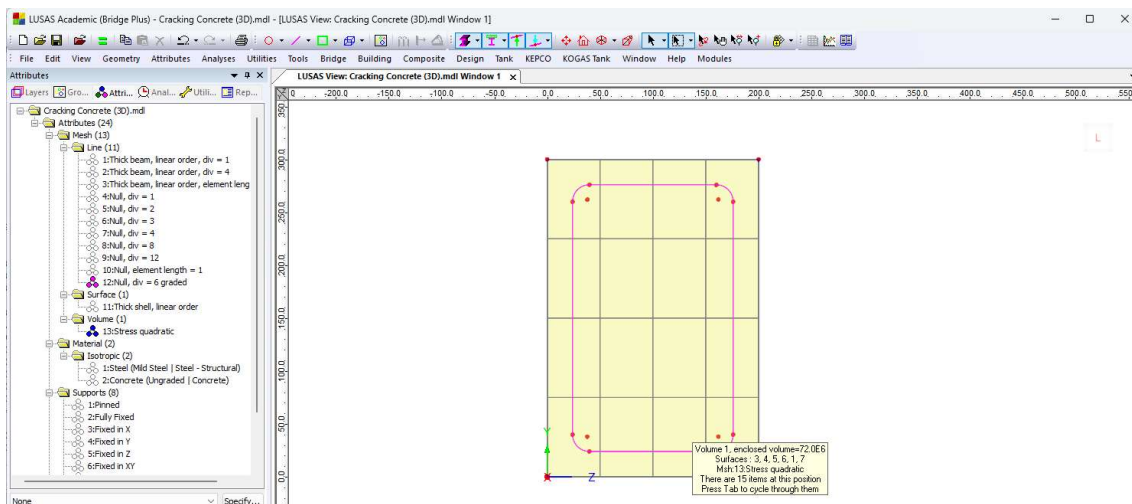
Tip.

결과의 정밀도에 따라, 띠철근의 모서리에 곡률을 적용하지 않고, 직각 형태로 남겨둘 수 있습니다. 이 예제에서는 띠철근의 실제 형상을 보다 정확하게 반영하기 위해 곡률을 추가합니다.

⌚ 아래와 같이 띠철근의 곡률을 적용할 모서리를 구성하는 두 line을 선택합니다. **Geometry> Line> Arc/Circle Tangent to Lines...** 메뉴를 실행합니다. **Tangent arc radius**는 16으로 입력하고 나머지 입력값을 초기 정의된 입력값을 사용합니다.

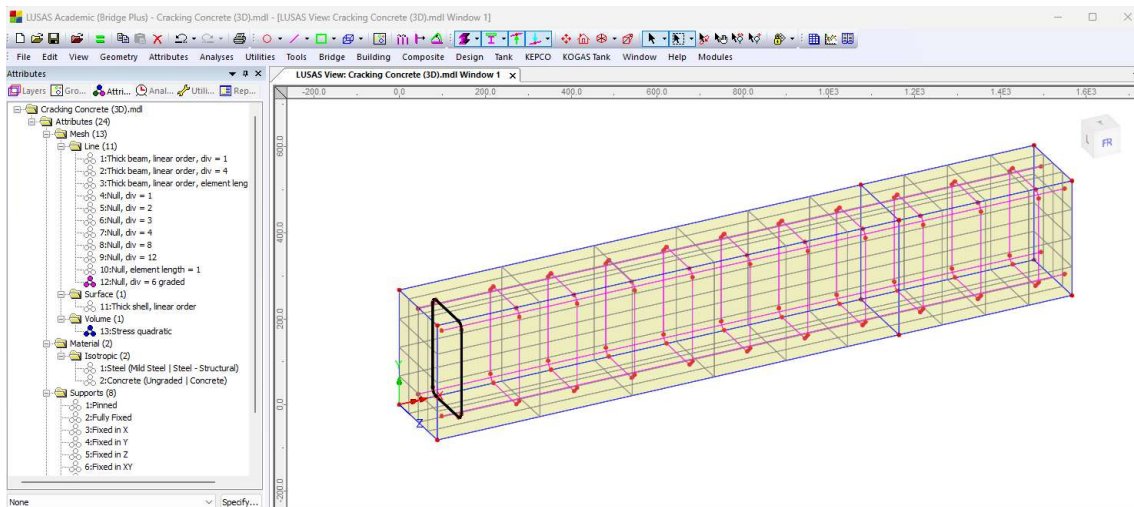
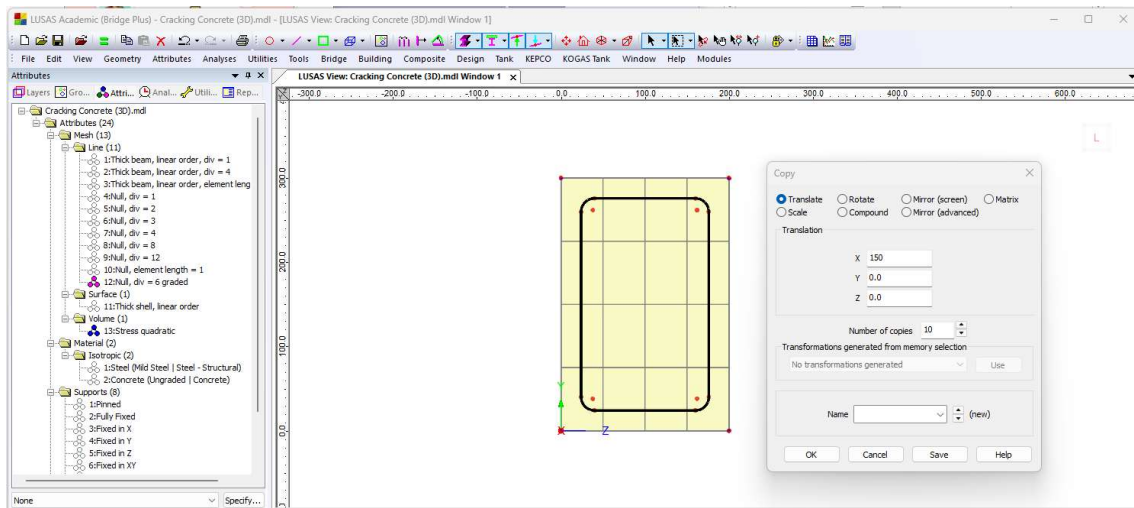


⌚ 나머지 세 개의 모서리에 대해 위의 작업을 반복하여 아래와 그림과 같은 곡선 모서리를 갖는 띠철근을 완성합니다. 곡률을 추가한 모서리마다 남아있는 불필요한 직선을 삭제합니다.



⌚ 생성한 띠철근을 모두 선택하고, **Geometry> Line> Copy...** 메뉴를 이용하여 X축 방향으로 150mm 간격으로 10회 복사합니다.

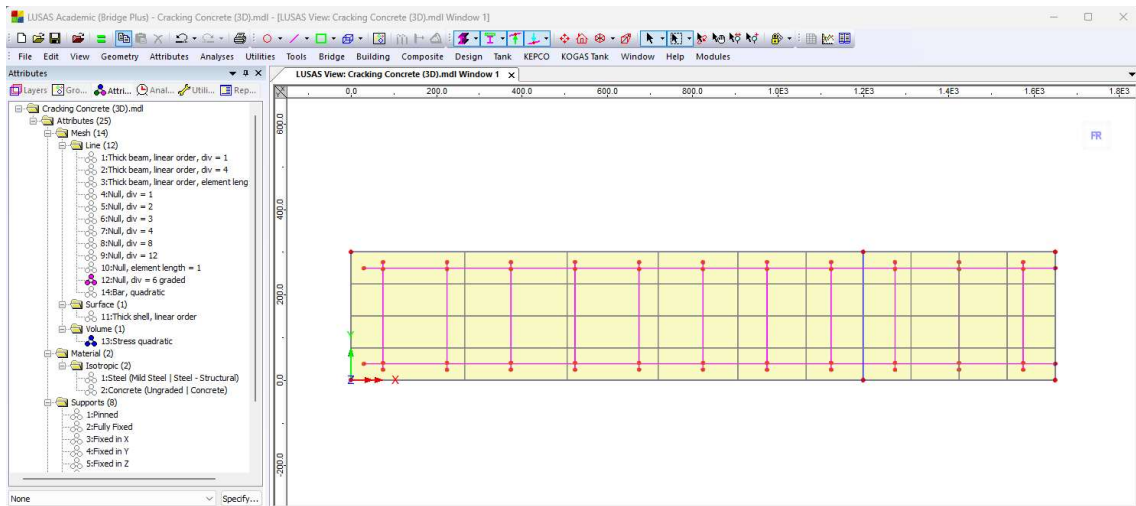
철근콘크리트 보의 균열해석(3D, 재료비선형)



4. 그룹 정의

모델의 속성을 효율적으로 적용하기 위해 부재별로 그룹을 정의합니다.

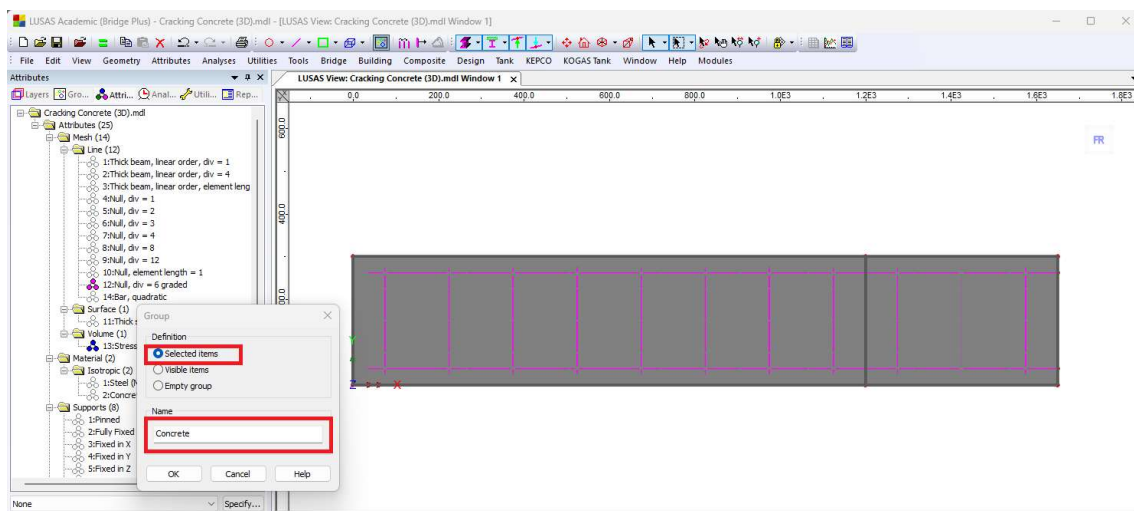
⌚ 모델러 하단의 Z축 버튼, **Z: N/A** 을 클릭하여 Beam의 측면 뷰를 확인합니다.



□ Concrete 그룹 정의

⌚ 콘크리트에 해당하는 Volume을 모두 선택하고, **Geometry> Group> New Group...** 메뉴 실행 후, **Concrete**로 그룹명을 지정하여 해당 그룹에 추가합니다.

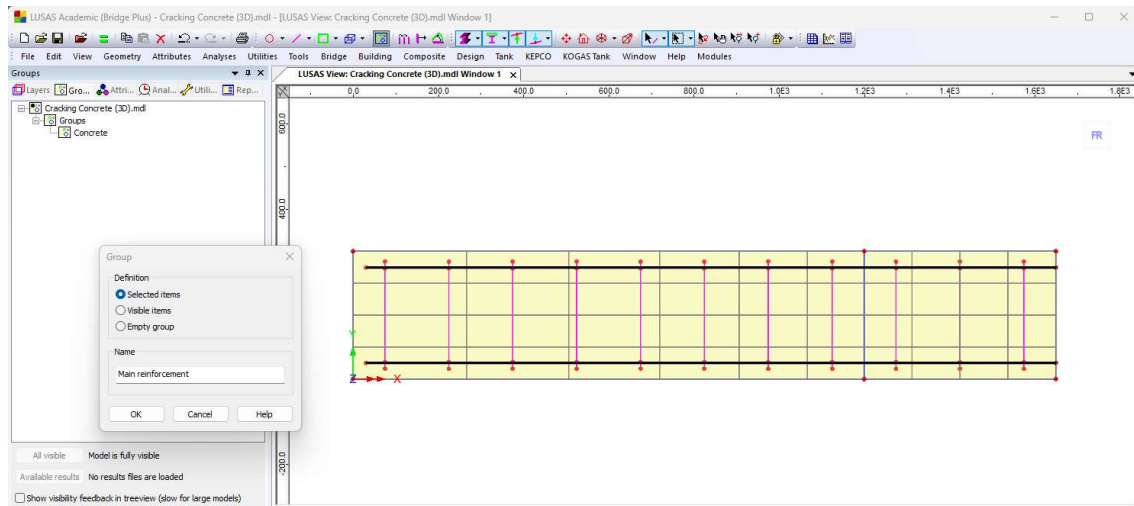
모델러 하단의 Z축 버튼, **Z: N/A** 을 클릭하여 Beam의 측면 뷰를 확인합니다.



□ 주철근 그룹 정의

⌚ 아래와 같이 주철근에 해당하는 Line을 선택합니다. 이 때, 피 철근은 선택하지 않도록 주의합니다. **Geometry> Group> New Group...** 메뉴 실행 후, **Main reinforcement**로 그룹명을 지정하여 해당 그룹에 추가합니다.

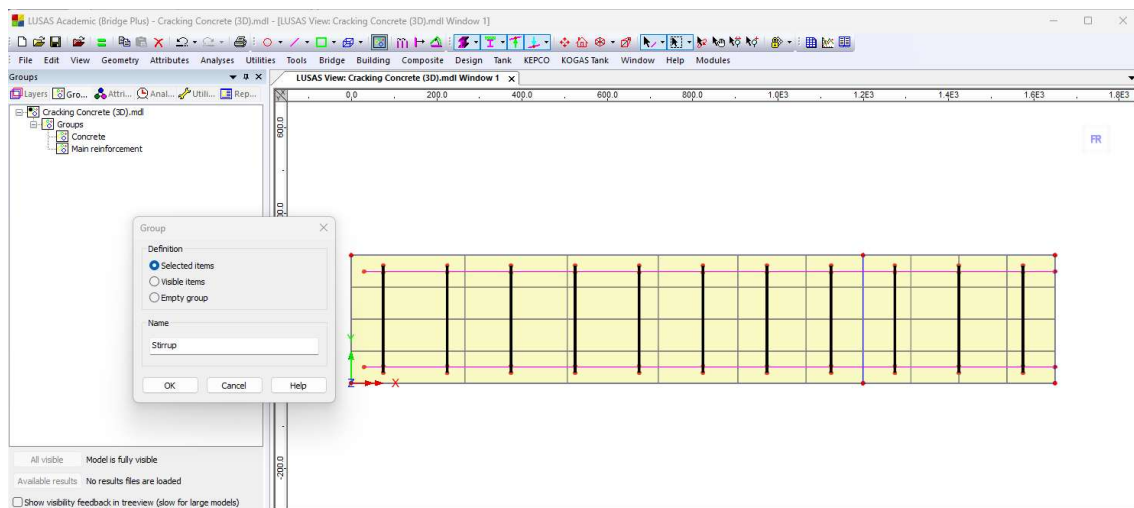
철근콘크리트 보의 균열해석(3D, 재료비선형)



□ 띠철근 그룹 정의

⌚ Line만 선택되도록 모델러 상단에서  아이콘을 선택한 뒤, 띠철근에 해당하는 Line을 선택합니다.

Geometry> Group> New Group... 메뉴 실행 후, **Stirrup**으로 그룹명을 지정하여 해당 그룹에 추가합니다.



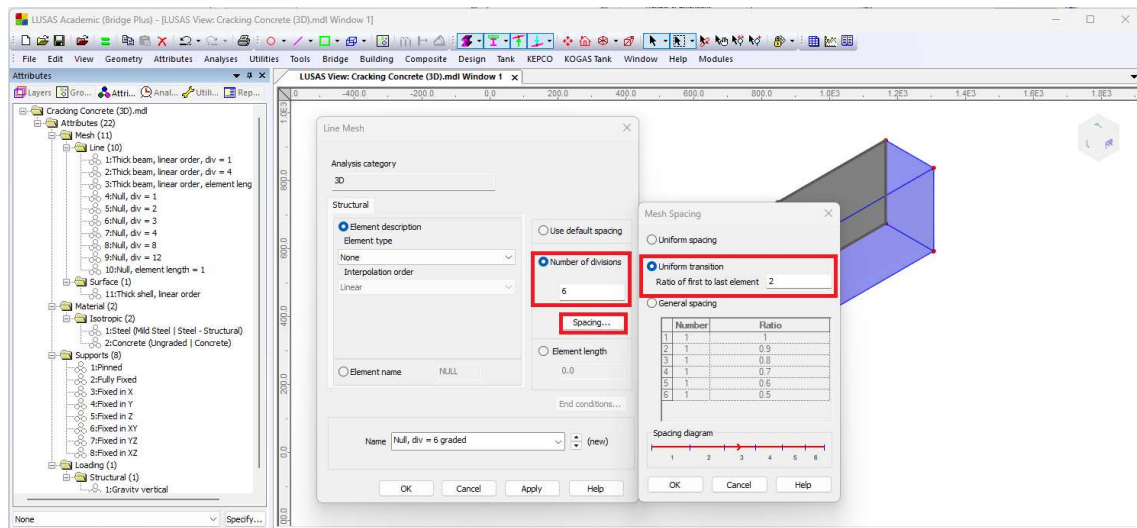
5. Meshing (요소망 구성)

5.1. 요소의 정의

□ Null Line Mesh 정의

Attribute / Mesh / Line ...

⌚ 전체 보를 외측에는 조밀하지 않게 분할하고 중앙부로 갈수록 조밀하게 부재를 분할하기 위해 **Graded Mesh**를 사용합니다. Element는 **None**을 선택하고, 요소 분할수(**Number of divisions**)를 6으로 입력합니다. 우측의 **Spacing** 버튼을 눌러, 아래와 같이 **Uniform transition**을 선택하고, **Ratio of first to last element**를 2로 정의하여 처음 분할이 제일 마지막으로 분할되는 부재의 2배가 되도록 설정합니다.



□ Line Mesh 정의 (철근)

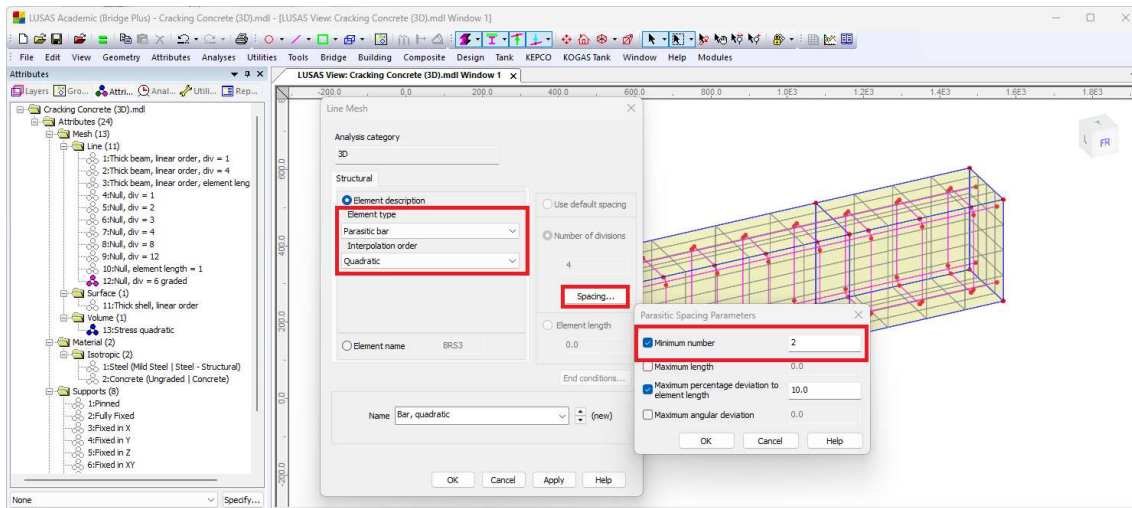
Attribute / Mesh / Line ...

⌚ 철근은 Parasitic bar elements를 사용하여 모델링합니다. 이 요소는 주 요소(host element) 내부에 완전히 포함된 형태로 정의됩니다. 속성이 적용된 Line의 요소 분할수 및 요소 간격은 해당 line이 통과하는 host 요소의 면 (Face) 과의 교차를 기반으로 자동 결정됩니다. 필요에 따라 각 line을 따라 생성되는 요소의 개수를 사용자가 조정할 수도 있습니다.

⌚ 요소의 종류를 'Parasitic bar' 로 정의하고, Interpolation order는 Quadratic으로 설정합니다.

⌚ Spacing 버튼을 눌러 Minimum number of the element divisions를 2로 정의하고, 나머지 설정은 기본값으로 유지한 뒤 OK 버튼을 누릅니다.

철근콘크리트 보의 균열해석(3D, 재료비선형)

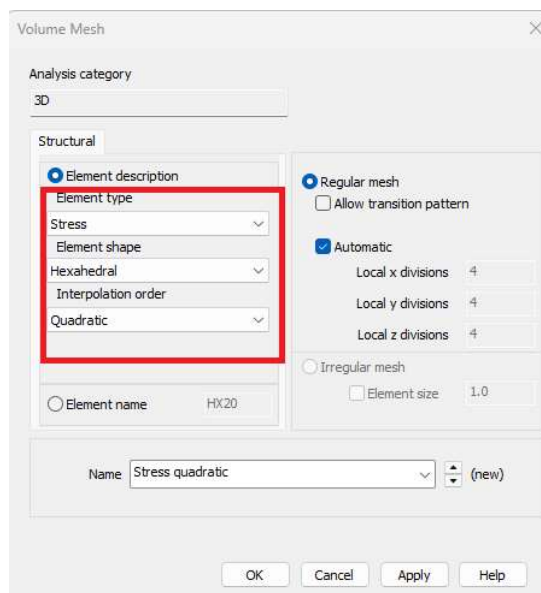


□ Volume Mesh 정의

Attribute / Mesh / Volume ...

🕒 콘크리트보는 Volume 요소와 Line mesh를 혼용하여 정의합니다.

🕒 Stress, Hexahedral, Quadratic을 선택합니다. 요소명은 HX20이 됩니다.



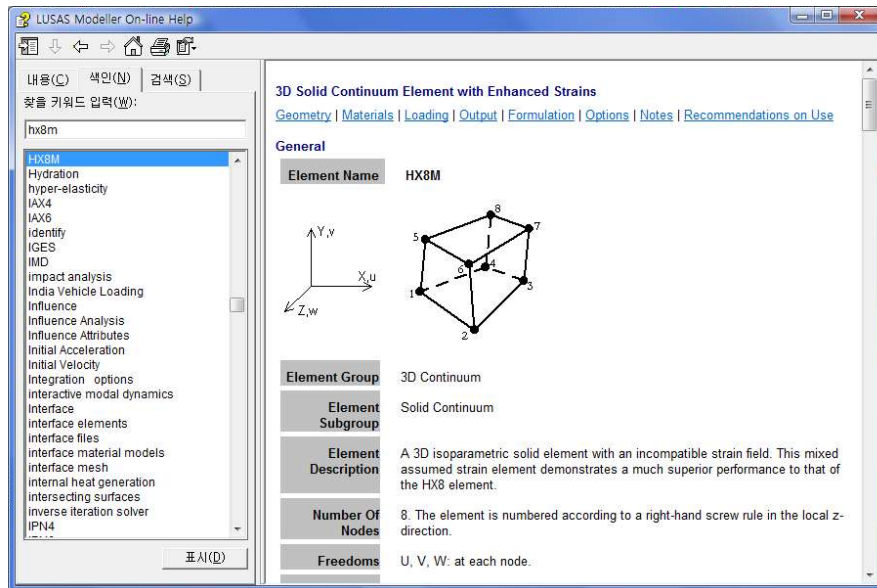
Tip.

Element Description을 통하지 않고, Element Name을 바로 입력하여 정의함으로써, 자주 사용되지는 않지만 LUSAS Element Library에서 확인할 수 있는 다른 요소를 직접 선택할 수 있습니다.



Tip.

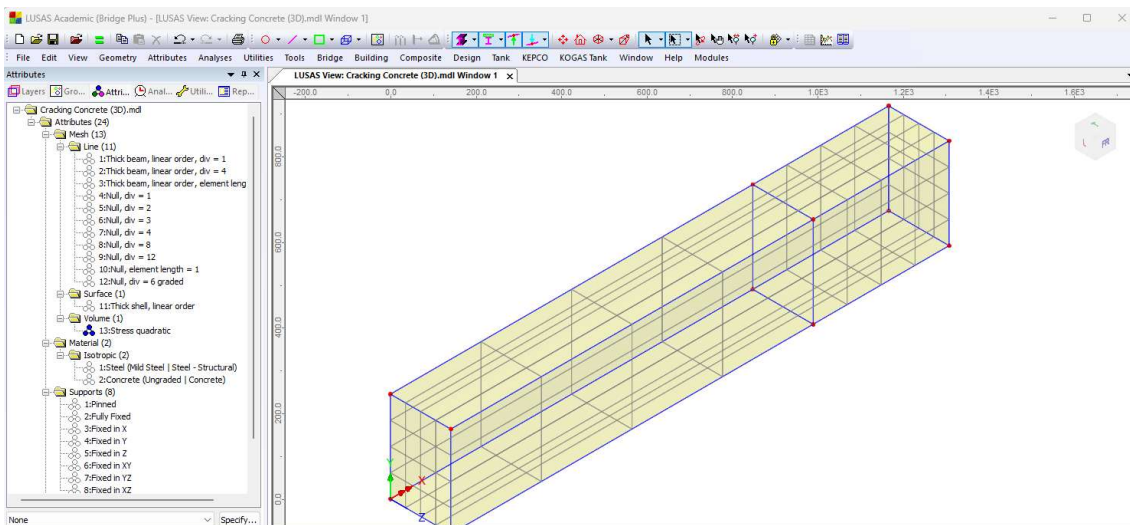
Help를 눌러 QPM8을 검색하면, 해당 요소의 자유도, 해석 가능한 재료 특성, 얻어낼 수 있는 결과의 종류, 부호 규약 등을 참조할 수 있습니다.



5.2. 요소의 적용

□ Volume Mesh 적용

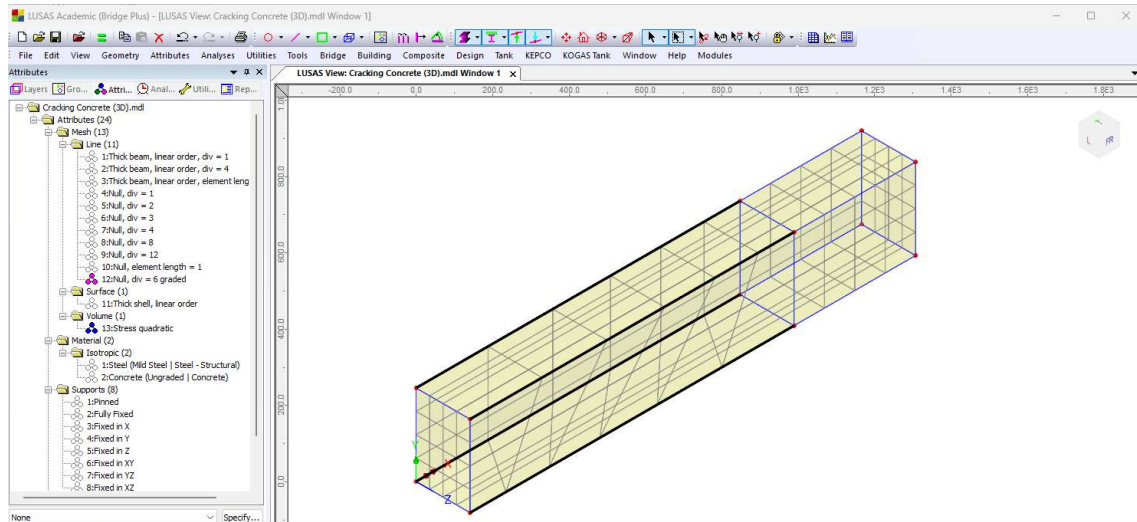
⌚ 화면상에서 정의된 Volume 을 모두 선택(**Ctrl** +**A**)한 후 **Stress quadratic** 데이터셋을 마우스로 끌어다가 화면 위에 놓거나, 데이터셋을 선택(마우스 우측 클릭)하여 팝업창을 열어 **Assign**을 선택합니다.



□ Null Line Mesh 적용

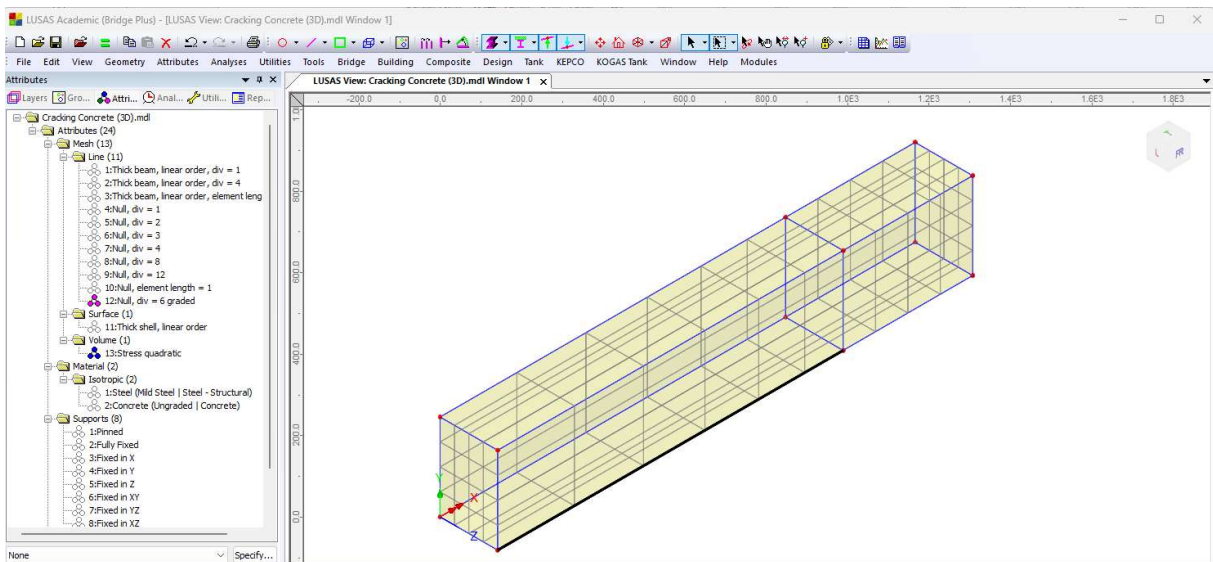
⌚ 아래와 같이 4개의 Line을 선택하고 데이터셋 '**Null, div=6 graded**'를 마우스로 끌어다가 화면위에 놓거나, 데이터셋을 선택 (마우스 우측 클릭)하고 팝업창을 열어 **Assign**을 선택합니다.

철근콘크리트 보의 균열해석(3D, 재료비선형)



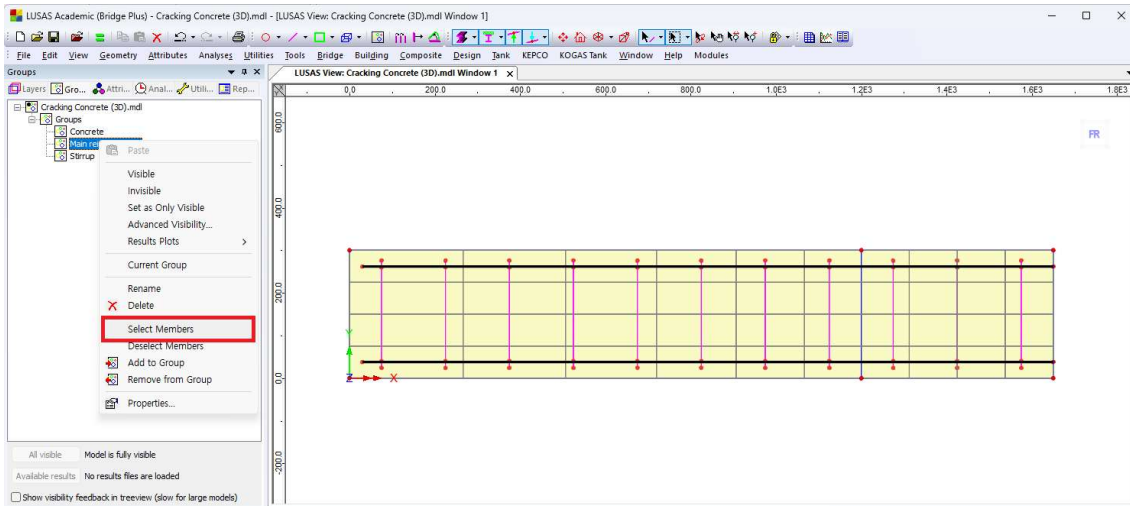
⌚ 아래와 같이 모델 앞쪽 하단 line을 선택하고, Line direction을 변경하면, 요소 배열이 업데이트됩니다.

Geometry> Line> Reverse Direction...

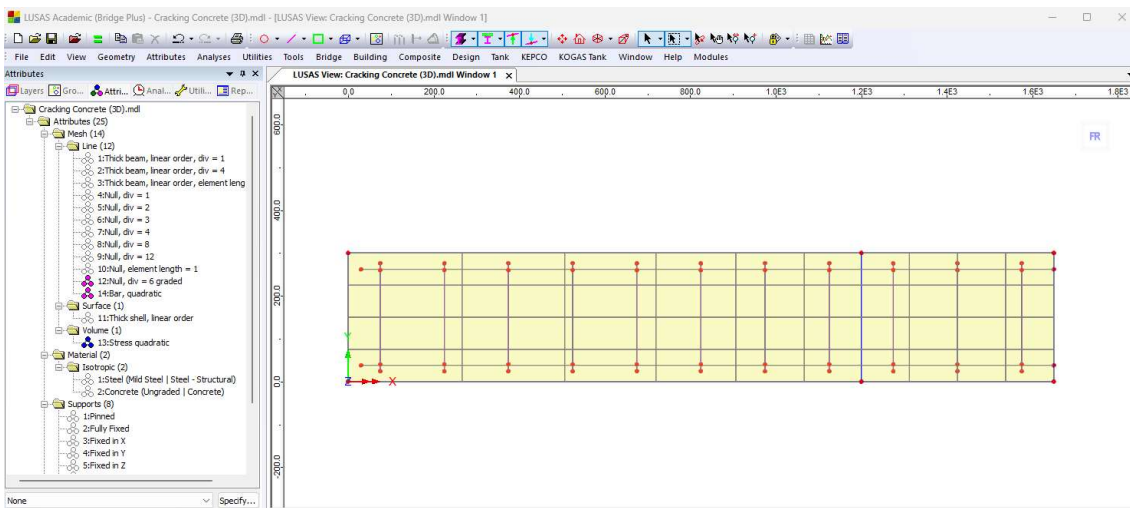


□ 철근 Line Mesh 적용

⌚ 모델러 좌측 Treeview> 그룹 탭에서 Main reinforcement 그룹명 우클릭 합니다. Select Members 메뉴를 선택하고 철근 Line 요소인 Bar, quadratic 데이터셋을 적용합니다.



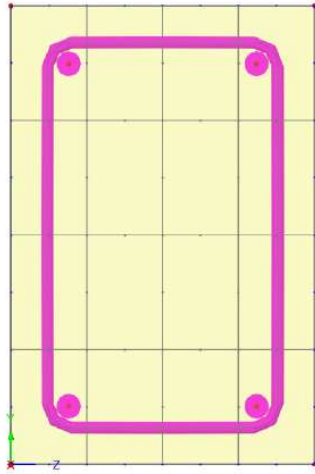
☎ 위와 같은 방법으로 **Stirrup** 그룹에 해당하는 Line을 선택하고, 철근 Line 요소인 **Bar, quadratic** 데이터셋을 적용합니다.



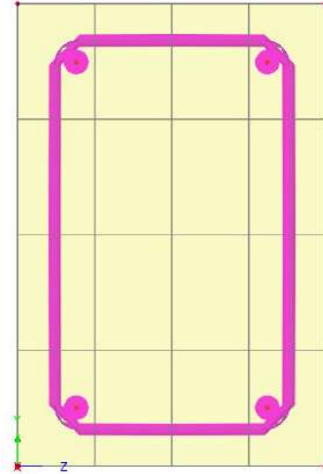
5.3. Parasitic line mesh 적용

Parasitic line mesh와 Host Volume 요소와의 교차점에 Parasitic line 위의 고정 절점 위치가 결정됩니다. 이 절점의 위치는 사용자가 임의로 변경할 수 없지만, **Line mesh spacing options**를 통해 추가 요소를 삽입하는 것은 가능합니다.

Shift 키를 누른 상태에서 모델러 하단의 **X: N/A** 버튼을 클릭하여 콘크리트 빔의 좌측 끝 단면부를 확인합니다. 이전 단계에서 **Parasitic line mesh**의 간격을 **최소 2개**, **quadratic element**를 사용하도록 지정한 경우, 띠철근의 형상은 좌측 그림과 같이 부드러운 곡률 형태로 나타납니다. 반면, 기본 설정을 그대로 사용하면 각 곡선 모서리마다 **단일 quadratic element**만 사용되어 우측 그림과 같이 곡선 형상으로 표시됩니다. Parasitic line mesh의 요소수가 증가할수록 모델 수정 시 Mesh 재생성 시간도 증가합니다.



Parametric spacing의 minimum number = 2 로 지정



Parametric spacing을 초기 설정값으로 지정

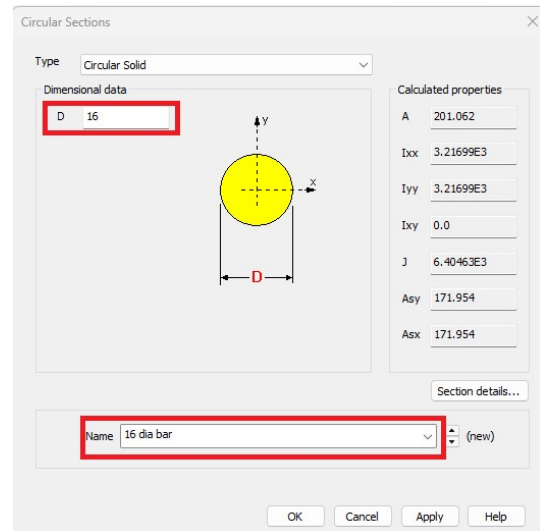
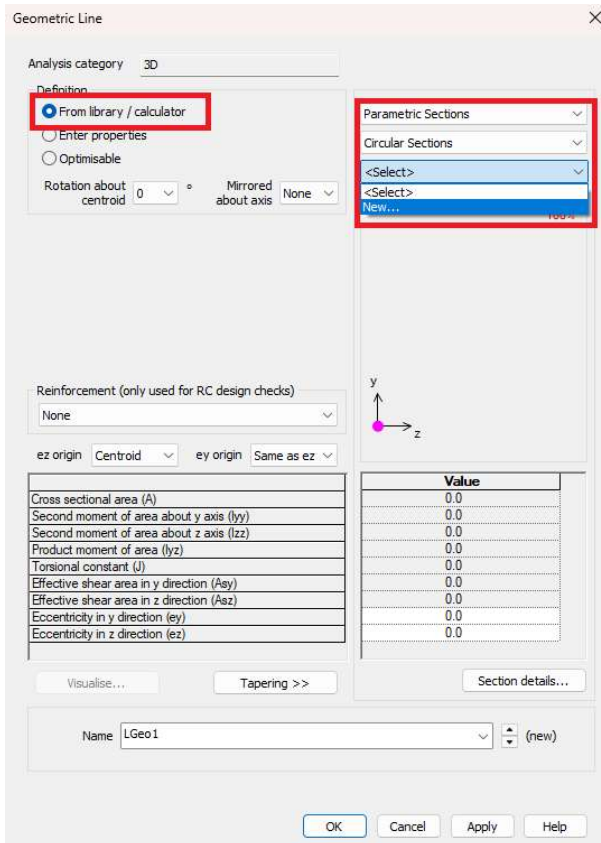
6. 기하특성 정의 및 적용

6.1. 기하특성의 정의

□ 주철근의 기하특성 정의

Attribute / Geometric / Line ...

⌚ 기하특성 정의 창에서 From library/ calculator를 선택하고, Parametric Sections, Circular Sections, New...를 차례로 선택합니다. 직경을 16mm로 정의하고, 단면속성 이름을 16 dia bar로 정의합니다.



철근콘크리트 보의 균열해석(3D, 재료비선형)

⌚ 다음과 같이 단면 상수가 자동으로 계산되어 정의됩니다.

Geometric Line

Analysis category: 3D

Definition

- ☒ From library / calculator
- ☐ Enter properties
- ☐ Optimisable

Rotation about centroid: 0 ° Mirrored about axis: None

Reinforcement (only used for RC design checks)

None

ez origin: Centroid ey origin: Same as ez

Visualise... Tapering >> Section details...

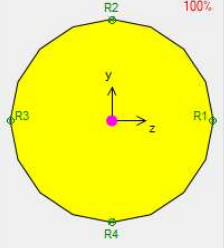
Name: 16 dia bar (new)

Parametric Sections

Circular Sections

1:16 dia bar (CSS D=16)

100%



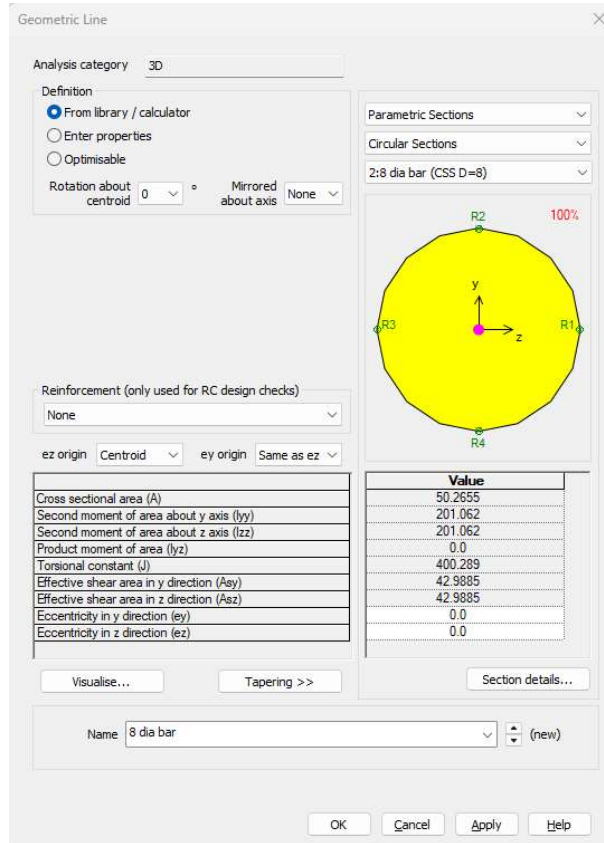
	Value
Cross sectional area (A)	201.062
Second moment of area about y axis (Iyy)	3.21699E3
Second moment of area about z axis (Izz)	3.21699E3
Product moment of area (Iyz)	0.0
Torsional constant (J)	6.40463E3
Effective shear area in y direction (Asy)	171.954
Effective shear area in z direction (Asz)	171.954
Eccentricity in y direction (ey)	0.0
Eccentricity in z direction (ez)	0.0

OK Cancel Apply Help

□ 띠철근의 기하특성 정의

Attribute / Geometric / Line ...

🕒 기하특성 정의 창에서 From library/ calculator를 선택하고, Parametric Sections, Circular Sections, New...를 차례로 선택합니다. 직경을 8mm로 정의하고, 단면속성 이름을 8 dia bar로 정의합니다.



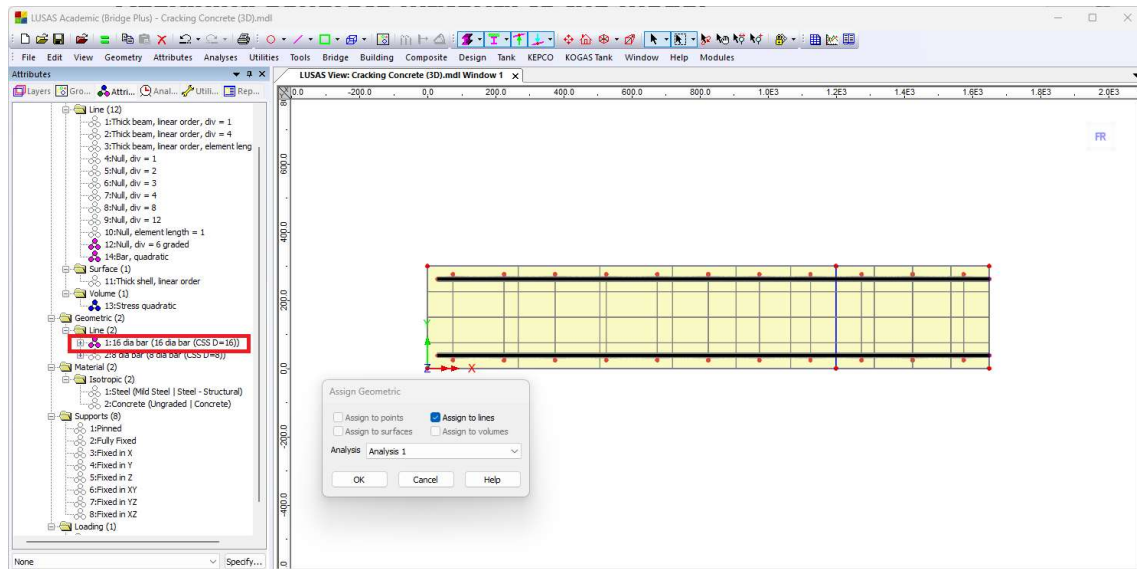
□ 콘크리트 보의 기하특성 정의

🕒 Volume으로 정의된 콘크리트 보는 기하특성을 따로 정의하지 않습니다.

6.2. 기하특성 적용

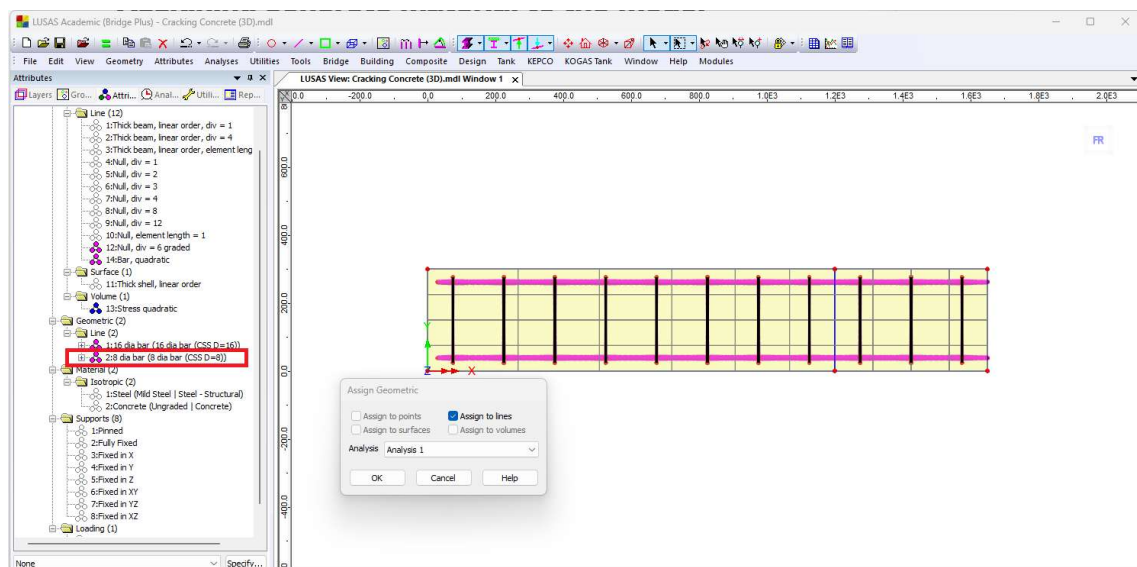
□ 주철근의 기하특성 적용

🕒 Treeview / Group 탭에서 그룹명 'Main reinforcement'를 선택하고 마우스 우측을 클릭합니다. 'Select members'를 선택하여 해당 그룹에 속한 부재만 선택합니다. 기하특성 데이터셋 '16 dia bar'를 적용합니다.



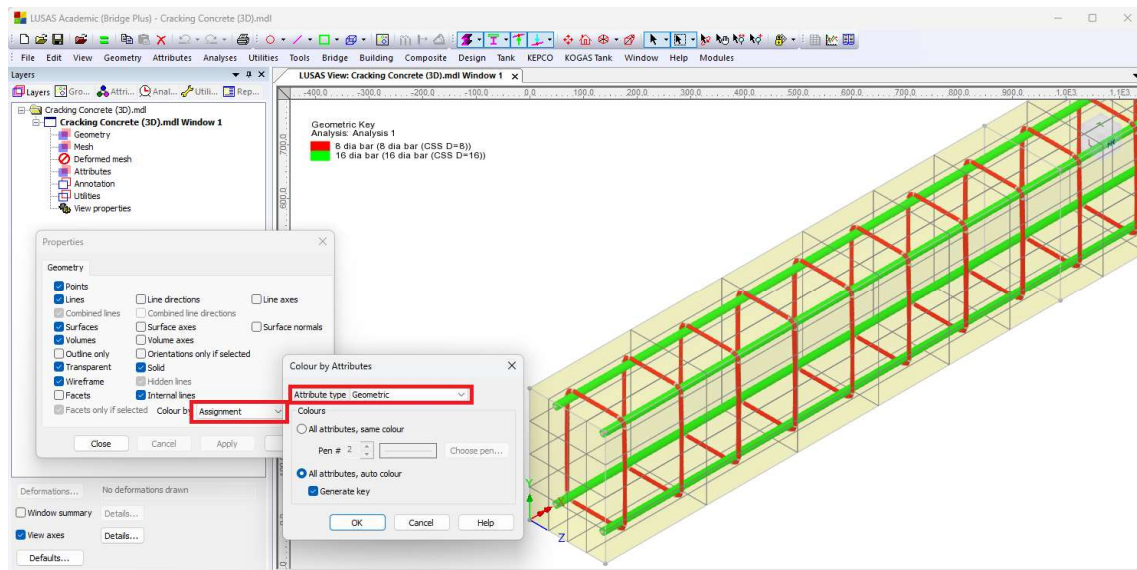
□ 피철근의 기하특성 적용

🕒 Treeview / Group 탭에서 그룹명 'Stirrup'을 선택하고 마우스 우측을 클릭합니다. 'Select members'를 선택하여 해당 그룹에 속한 부재만 선택합니다. 기하특성 데이터셋 '8 dia bar'를 적용합니다.



6.3. 기하특성 적용 상태 확인

⌚ Treeview / Layer 탭의 Geometry 속성에서 Color by를 Own color 대신 Assignment에 따라 다르게 보이도록 아래와 같이 설정하면 기하특성의 적용 상태를 확인할 수 있습니다.



7. 재료특성 정의 및 적용

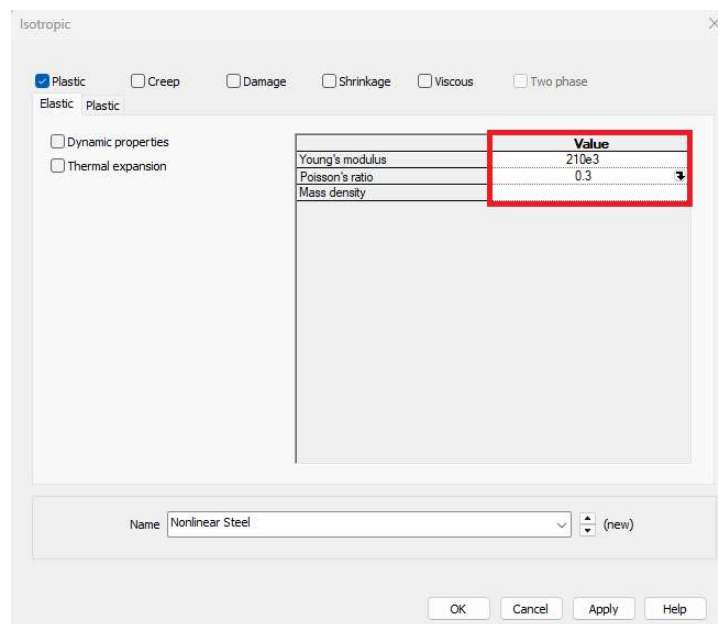
7.1. 재료 특성 정의

□ 철근의 재료특성 정의

Attribute / Material / Isotropic ...

⌚ 재료특성값을 입력합니다. 단위는 N/mm 단위계를 사용하였습니다. 재료비선형 해석이므로 대화창 상단의 Plastic 옵션을 체크하고, 소성영역에서의 특성을 입력합니다.

철근	
Young's modulus	210e3 N/mm ²
Poisson's ratio	0.3
Initial uniaxial yield stress	300 N/mm ²
Hardening slope	2121
Plastic Strain	1



Isotropic

☒ Plastic ☐ Creep ☐ Damage ☐ Shrinkage ☐ Viscous ☐ Two phase

Elastic Plastic

Stress potential: Value: 300

Stress potential type: Von Mises

☐ Heat fraction

☒ Hardening

☐ Total strain ☐ Plastic strain ☒ Hardening gradient

Tension		Compression	
	Slope	Plastic strain	
1	2121	1	

Name: Nonlinear Steel (new)

OK Cancel Apply Help

□ 콘크리트의 재료특성 정의

Attribute / Material / Concrete (Nonlinear)...

🕒 Concrete 모델은 Smoothed multi-crack (model109)를 선택합니다. Creep 과 Shrinkage 모두 None을 선택합니다. Strain at end of softening curve 옵션을 선택하고 속성 데이터셋의 이름을 정의합니다.

Concrete (Nonlinear)

Concrete: Smoothed multi-crack (model 109) Advanced...

Creep: None Options...

Shrinkage: None

Component	Value
Young's modulus	36.75E3
Poisson's ratio	0.2
Mass density	2.5484E-9
Uniaxial compressive strength	48.0
Uniaxial tensile strength	3.5
Strain at peak uniaxial compression	2.2E-3
Strain at end of softening curve	3.5E-3

☐ Thermal properties ☐ Dynamic properties

☐ Fracture energy ☒ Strain at end of softening curve

Component	Value
-----------	-------

Name: Nonlinear Concrete (new)

OK Cancel Apply Help



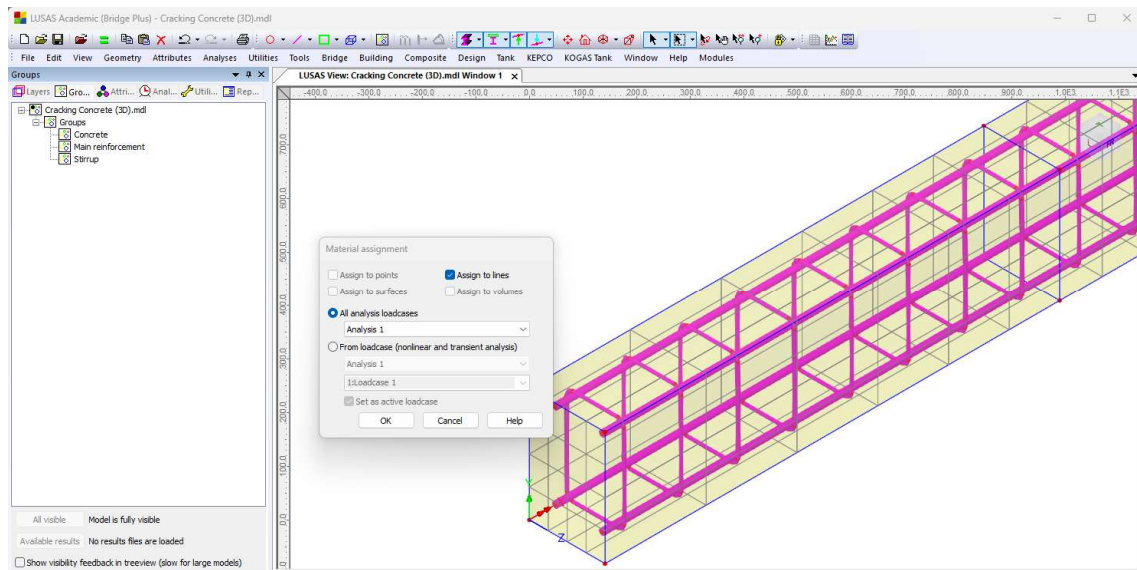
Tip.

단위계는 어떤 단위계를 사용하여도 무방하나, 모델링 전반에 걸쳐 동일한 단위계를 유지하여야 합니다.
예를 들어 탄성계수 단위를 N/m^2 로 사용하였다면, 하중단위도 N 단위를 사용하여야 합니다.

7.2. 재료 특성 적용

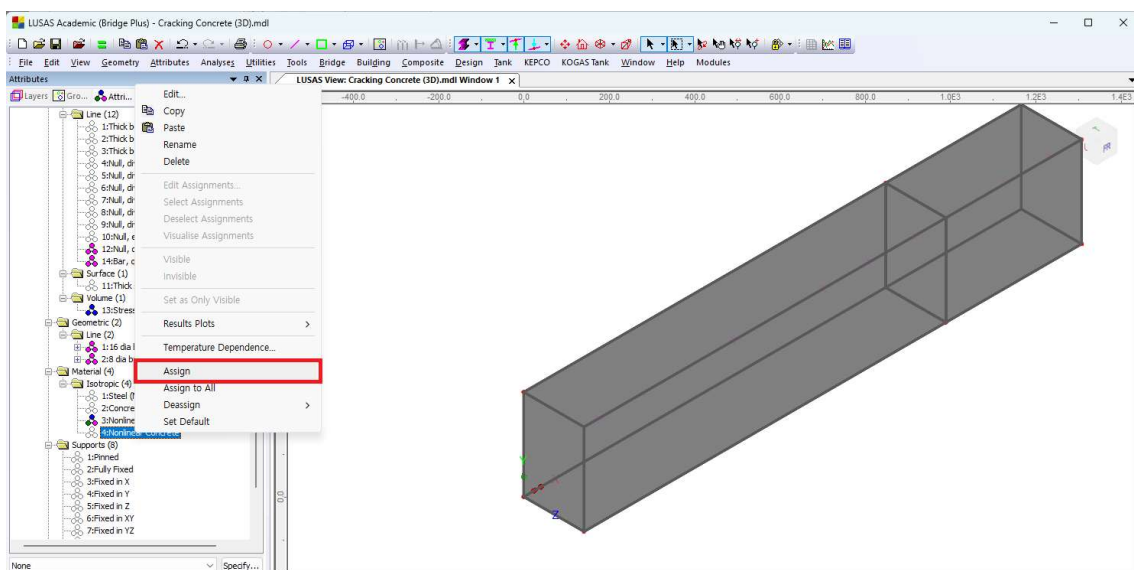
□ 철근 재료특성 적용

- ⌚ 철근의 재료특성 데이터셋 'Nonlinear steel' 을 선택하고 복사(**Ctrl** +**C**)한 후, Treeview / Group탭의 철근을 나타내는 그룹 Main reinforcement와 Select Members에 붙여넣어(**Ctrl** +**V**) 재료특성을 적용합니다.



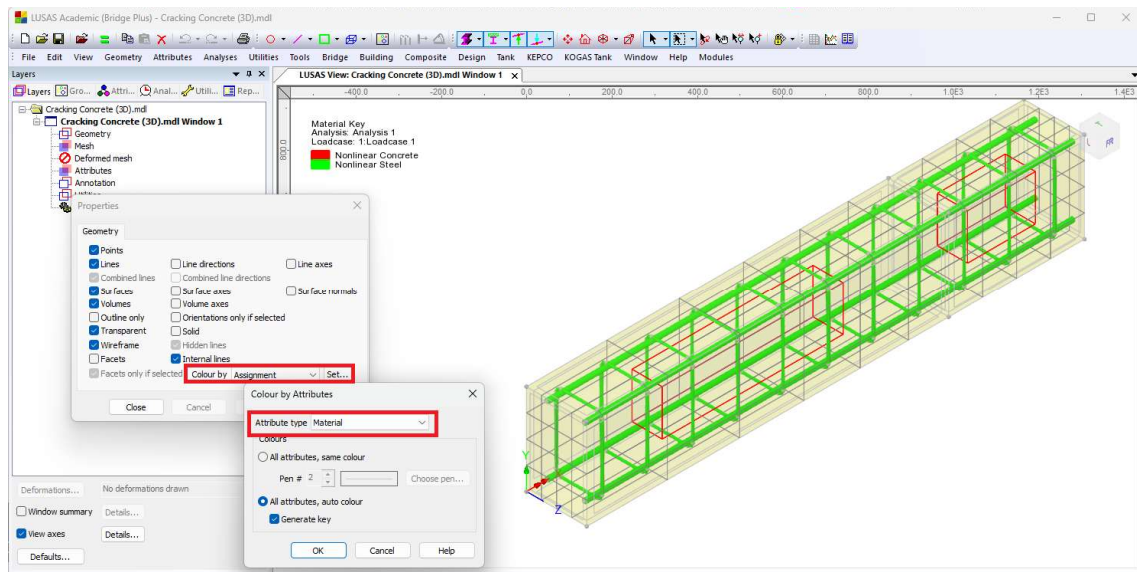
□ 콘크리트 재료특성 적용

- ⌚ 모든 Volume을 선택하고 콘크리트의 재료특성을 정의한 데이터셋 'Nonlinear concrete'의 마우스 우측 클릭 후, Assign을 선택합니다.



7.3. 재료 특성 적용 상태 확인

🕒 Treeview / Layer Tab / Geometry의 속성을 아래와 같이 설정하면, 적용된 부분별로 색상을 달리하여 확인할 수 있습니다.



8. 구속조건 정의 및 적용

8.1. 구속 조건 정의

Attribute / Support...

🕒 구속 조건을 아래와 같이 정의합니다.

🕒 별도의 Local Coordinate를 정의하지 않는다면 구속방향은 Global 좌표계¹⁾를 기준으로 합니다.

The image shows two instances of the 'Structural Supports' dialog box. Both have 'Analysis category' set to '3D'.
 Left dialog: 'Name' is 'Fixed in Z', showing 5 locked degrees of freedom (Translation X, Y, Z and Rotation X, Y, Z).
 Right dialog: 'Name' is 'Fixed in X', showing 3 locked degrees of freedom (Translation Y, Z and Rotation X, Y).
 Both dialogs include a 'Spring stiffness distribution' section with radio buttons for 'Stiffness', 'Stiffness/unit length', and 'Stiffness/unit area'. Below this are buttons for 'Lift-off >>', 'Contact >>', and 'Non-reflective >>'. At the bottom are 'Close', 'Cancel', 'Apply', and 'Help' buttons.



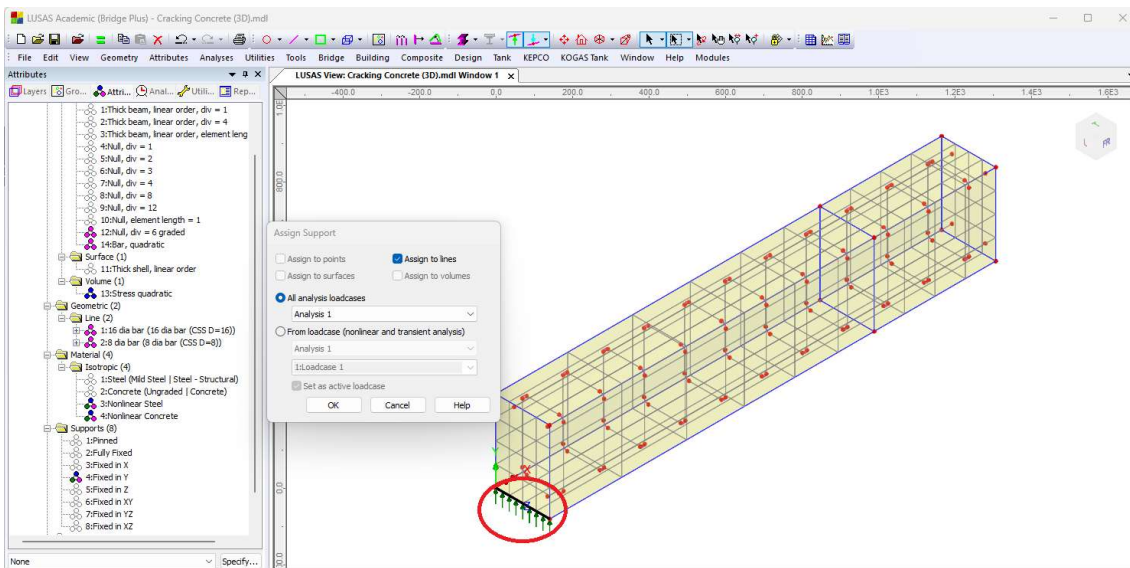
Tip.

Apply 버튼을 누르면, 창을 닫지 않고 계속하여 다른 데이터를 정의할 수 있습니다.

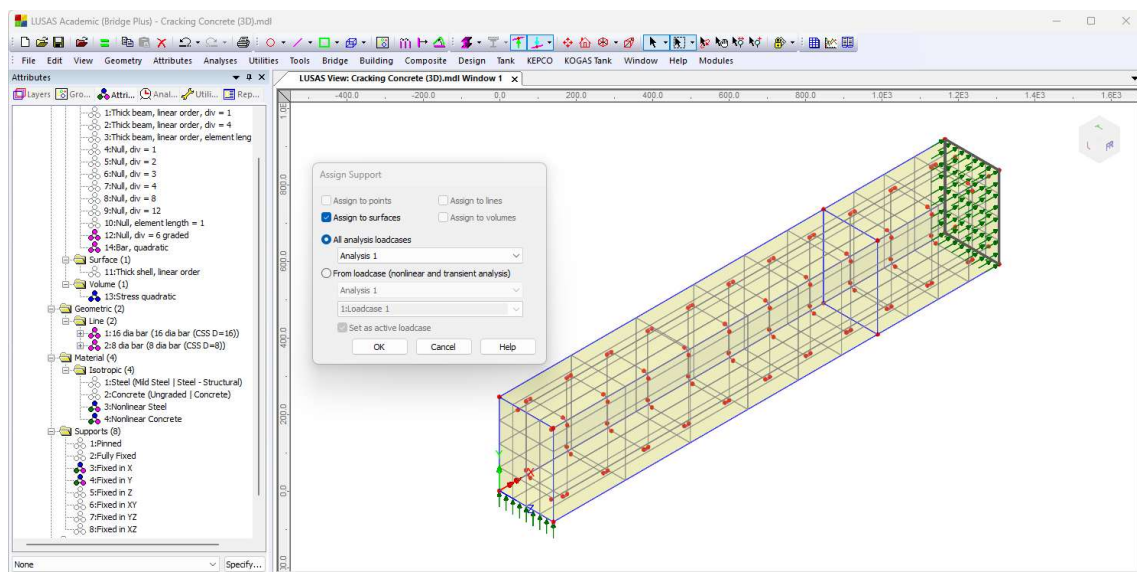
1) 작업창 기본 평면을 XY평면으로 하는 좌표계를 의미합니다.

8.2. 구속 조건의 적용

⌚ 아래와 같이 Line을 선택하고 데이터셋 'Fixed in Y'를 마우스로 끌어다 놓아 Assign 시킵니다.



⌚ 보의 중앙부는 수평방향에 대하여 구속하기 위하여 두 Surface를 선택하고 데이터셋 'Fixed in X'을 마우스로 끌어다 놓아 Assign 시킵니다.



Tip.

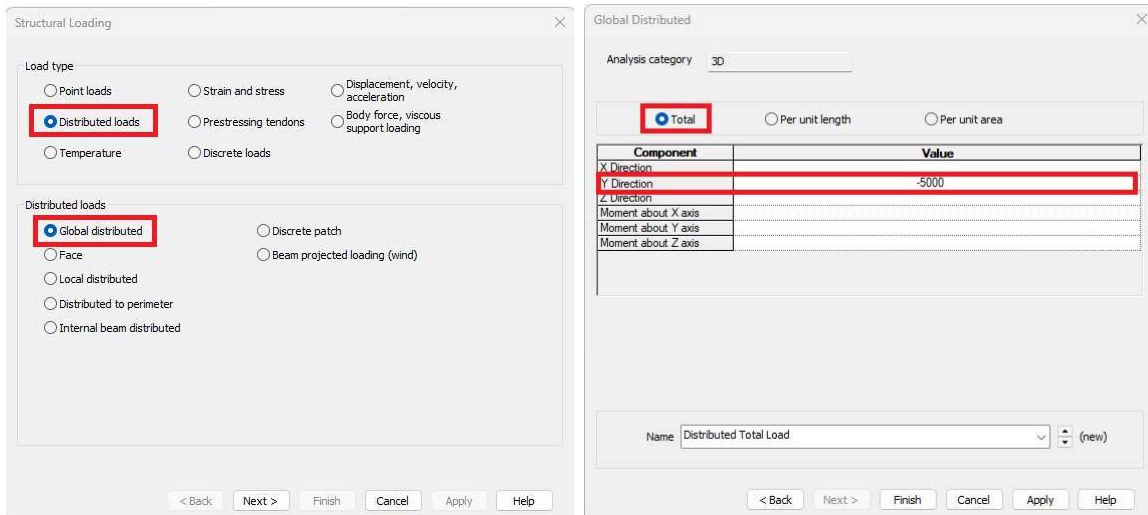
Treeview / Layer / Attribute에서 구속을 표시하는 화살표의 색깔이나 길이를 변경할 수 있습니다.

9. 하중조건 정의 및 적용

9.1. 하중 정의

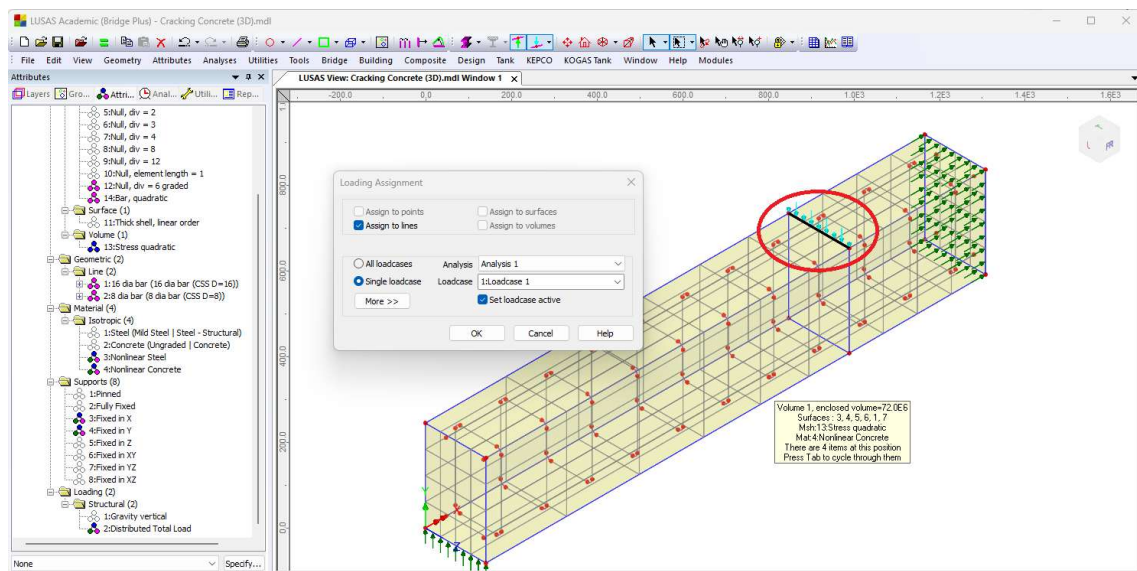
Attribute / Loading...

Global Distributed 하중을 이용하여 Y 방향으로 총 -5000N을 정의합니다.



9.2. 하중의 적용

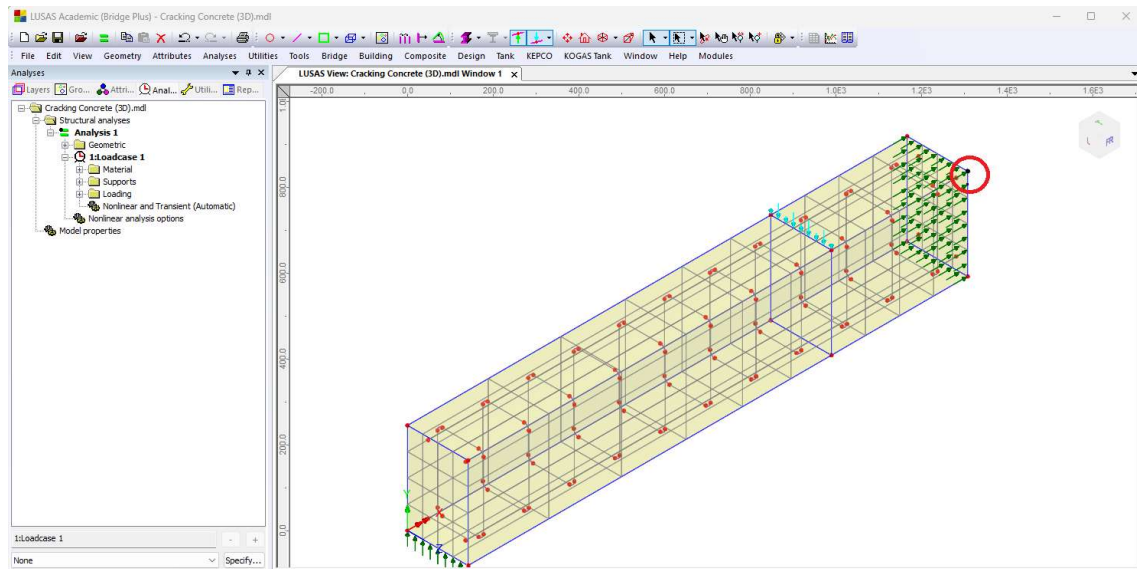
아래와 같이 상단의 중앙 Line을 선택하고, 하중 데이터셋 'Distributed load'를 적용 시킵니다. 하중케이스²⁾ 제목과 하중계수를 지정할 수 있습니다.



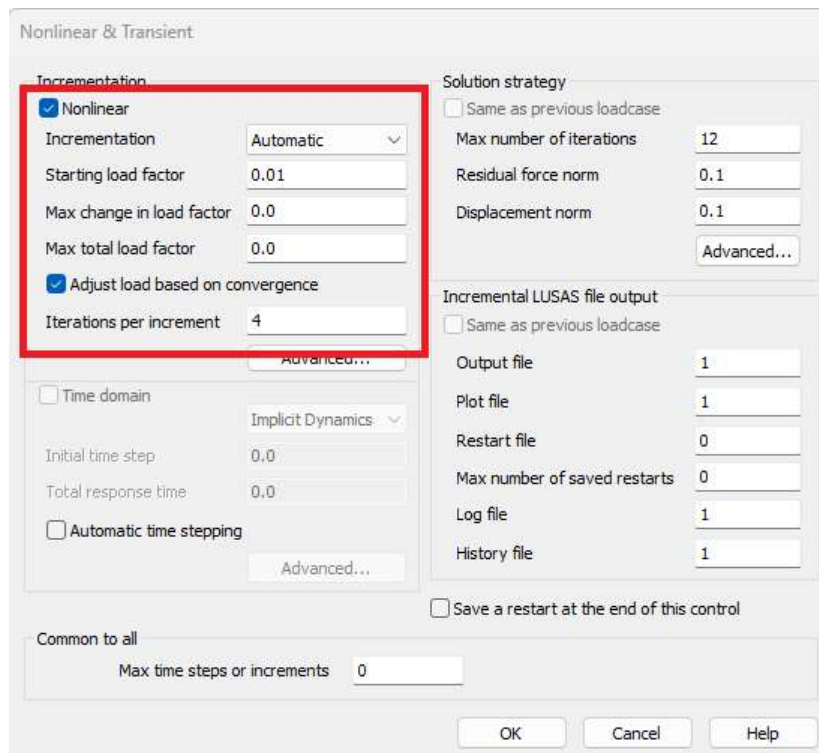
2) 해석결과를 보고자 하는 하중들의 집합을 의미합니다. 여러 가지 하중을 하나의 하중케이스로 묶을 수 있으며, 해석결과는 하중케이스 단위로 추출합니다. 하중의 종류별로 각각 결과를 보고자 하면, 하중케이스도 각각 다른 이름으로 지정합니다.

9.3. Nonlinear Control의 설정

- ⌚ 비선형해석을 수행하기 위하여 비선형 Control을 설정합니다. Control을 설정하기에 앞서 모델에서 아래와 같이 상단의 Point를 선택합니다. 이는 후에 Control을 정의할 때 해석을 마치는 조건을 설정하기 위해서입니다.
- ⌚ Treeview / Loadcase 탭에서 Loadcase 1을 선택하고 마우스 우측을 클릭하여 Control / Nonlinear and Transient를 선택합니다.



- ⌚ 하중은 5000N이 재하되어 있는 상태로 **Starting load factor**를 0.01을 입력하여 초기에는 매우 작은 하중이 적용 되도록 설정합니다. **Max change in load factor** 값을 0으로 설정합니다. 이는 하중 계수 변화량의 제한을 없앤다는 의미이며, Lusas Solver가 수렴 상황에 따라 적절히 하중 중복을 조절할 수 있도록 합니다. **Max total load factor** 값 역시 0으로 설정합니다. 이는 중간 지점의 변위가 설정된 한계값에 도달하면 해석을 종료하라는 의미입니다. **Iterations per increment** 값을 4로 설정하여 각 하중 단계에서 최대 4회 반복을 수행하여 수렴을 시도합니다.

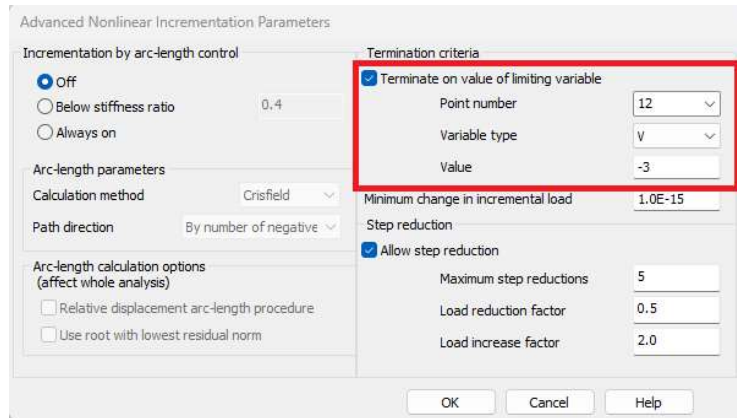


철근콘크리트 보의 균열해석(3D, 재료비선형)

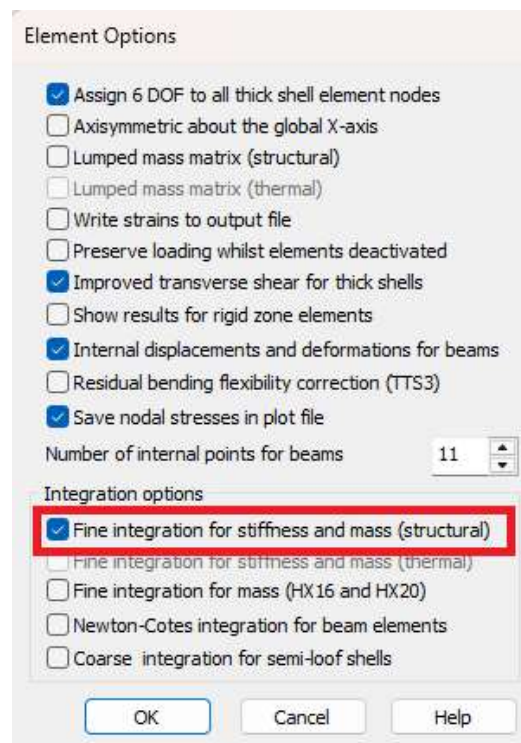
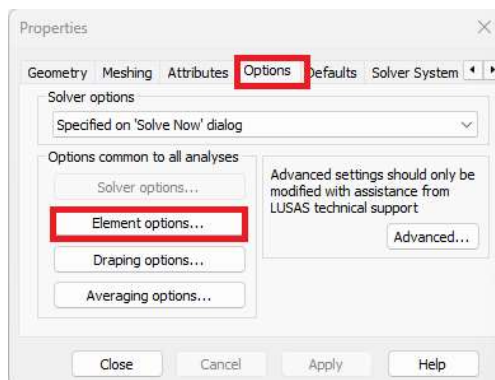
① 대화창의 Incrementation 섹션에서 Advanced 버튼을 선택합니다.

② Incrementation by arc-length control을 Off로 설정합니다. Termination criteria에서 Terminate on value of limiting variable을 체크합니다. 앞서 선택한 Point의 번호가 Point number에 자동으로 출력됩니다. Variable type은 V로 설정하여 선택한 Point의 Y 방향 변위를 검토하도록 합니다. Value는 -3을 입력하여 하중이 증가하며 적용되고, 이로 인해 보의 중앙부 수직 처짐이 3mm에 도달하면 해석을 종료하도록 합니다.

③ Allow step reduction 옵션을 체크합니다.



④ File / Model Properties의 Options 탭을 선택하고 Element options...를 누릅니다. Integration options에서 Fine integration for stiffness and mass에 체크합니다.



10. 해석 수행

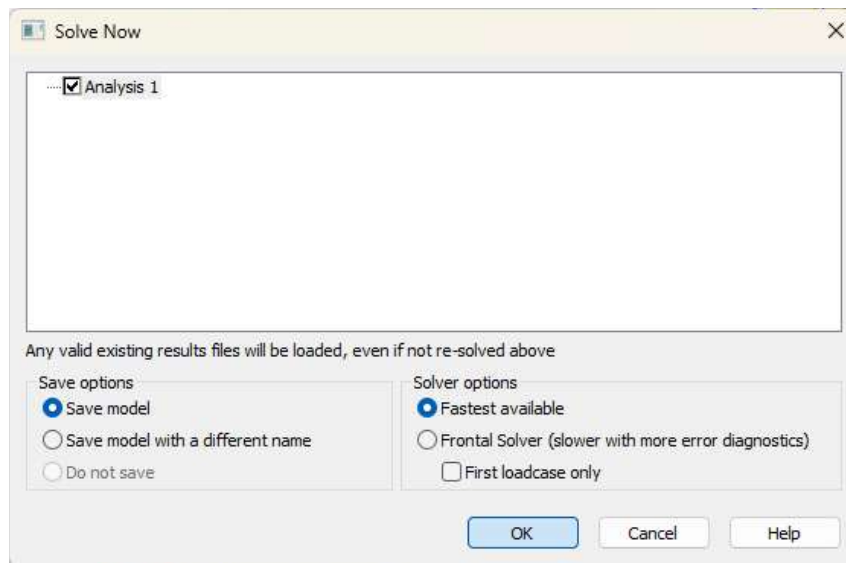
10.1. 모델파일 저장

File / Save..

LUSAS Solver를 이용하여 해석을 수행하기 전, 모델 데이터를 저장합니다.

10.2. 해석의 수행

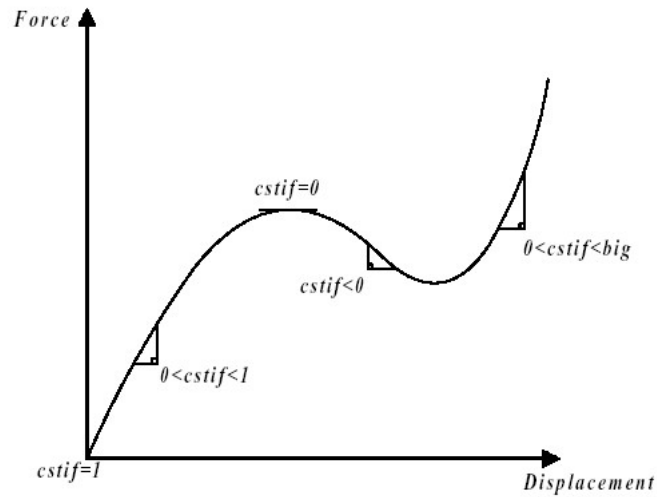
'Solve now'를 선택하여 해석을 수행합니다.





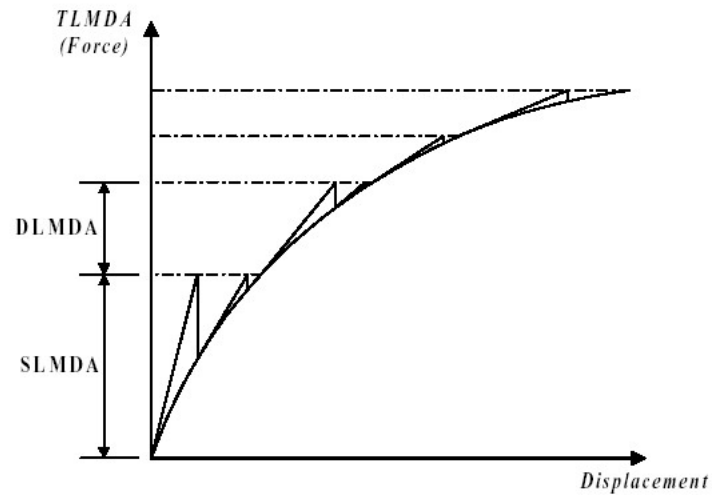
Tip.

CSTIF값을 가지고 현재 해석의 단계를 파악하기 위해 다음 그림을 참조합니다.



- $cstif=1$: 선형 탄성영역 상태 (초기상태)
- $0 < cstif < 1$: 재료항복이후의 변형이거나 좌굴이전상태
- $cstif=0$: 재료파괴, 좌굴하중도달
- $cstif < 0$: 하중제거, 좌굴이후 거동,연화

또한 TLMDA는 재하된 하중의 크기를 파악할 수 있는 변수로 그래프로 보면 다음과 같습니다.



- DLMDA : 하중 Factor의 증분
- SLMDA : 초기 하중 Factor
- TLMDA : 현재 하중 Factor
- 재하된 하중 = TLMDA * 하중CASE에서 재하된 하중의 크기

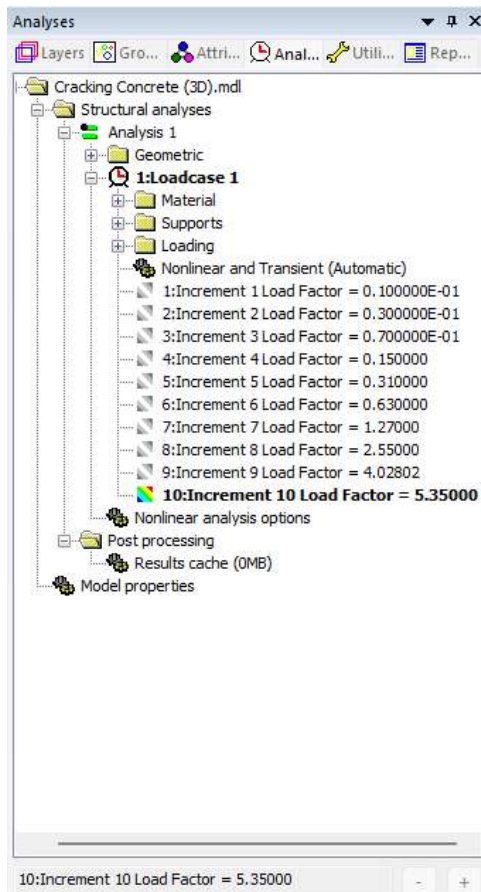
11. 후처리 과정

LUSAS는 모델링을 하는 전처리 과정과 해석 결과를 검토하는 후처리 과정이 모두 모델러에서 이루어지는 통합 환경을 제공하므로, 해석된 결과를 모델러로 불러와서 후처리 작업을 진행하게 됩니다.

11.1. 하중케이스 선택

해석을 수행한 후, Treeview / Loadcase 탭이 아래와 같이 구성됩니다.

결과를 추출할 Load Increment를 선택하고, Set Active를 지정합니다.



11.2. 처짐도

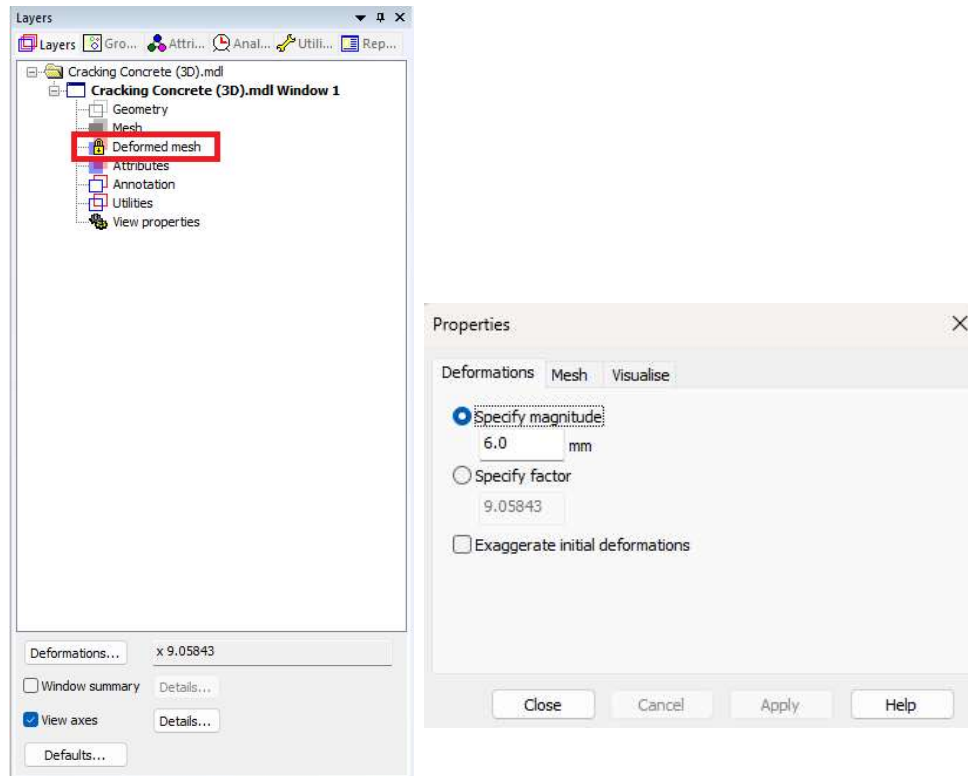
화면상에 표시하는 내용은 Treeview / Layer에서 지정합니다.

팝업을 띄워 보면 아래와 같이 화면상에 표시할 수 있는 아이템의 목록을 확인할 수 있습니다.

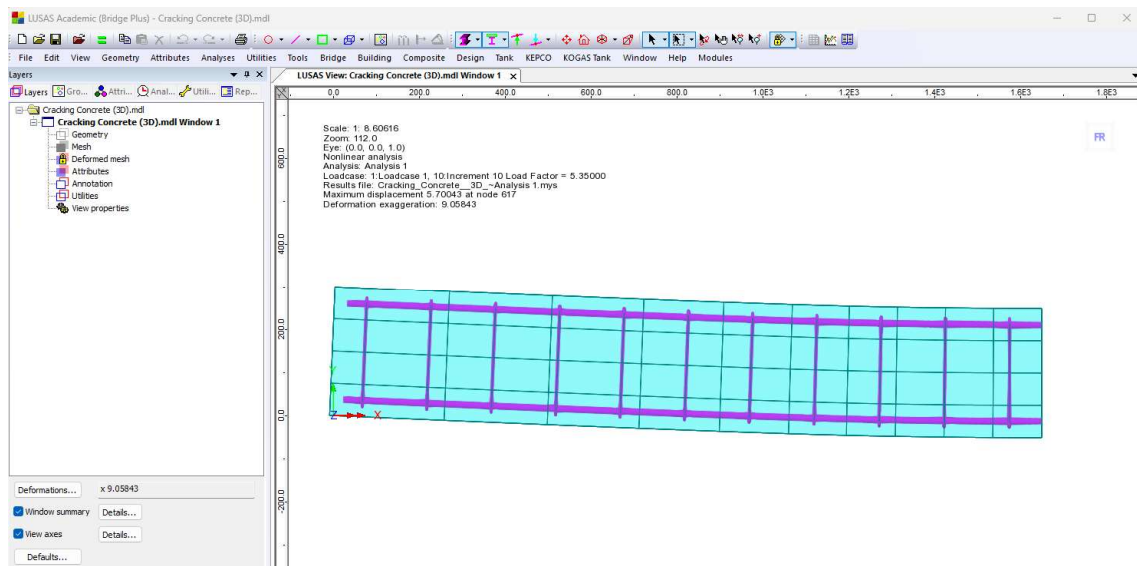
작업창에서 팝업을 띄워도 동일한 목록을 확인할 수 있습니다.

⌚ 현재 설정을 모두 지우고, Deformed Mesh를 선택합니다.

철근콘크리트 보의 균열해석(3D, 재료비선형)



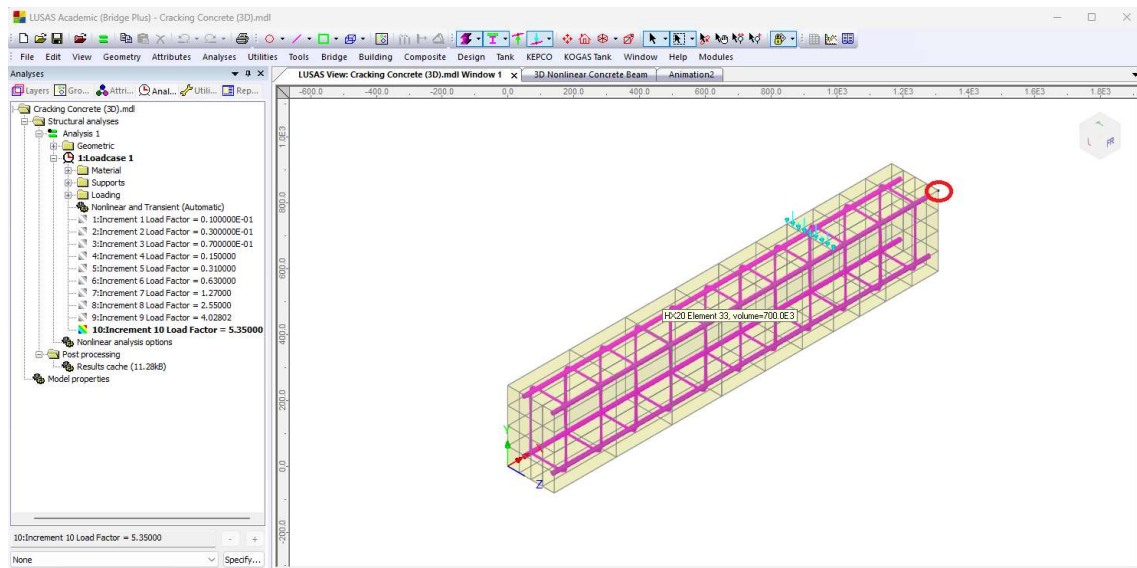
⌚ 'Specify Factor' 값을 1로 설정하여 실제 축척으로 처짐 형상을 표시하게 하거나, 형상의 변화를 잘 보기 위해 축척을 확대하여 변위를 과장시켜 그릴 수 있습니다.



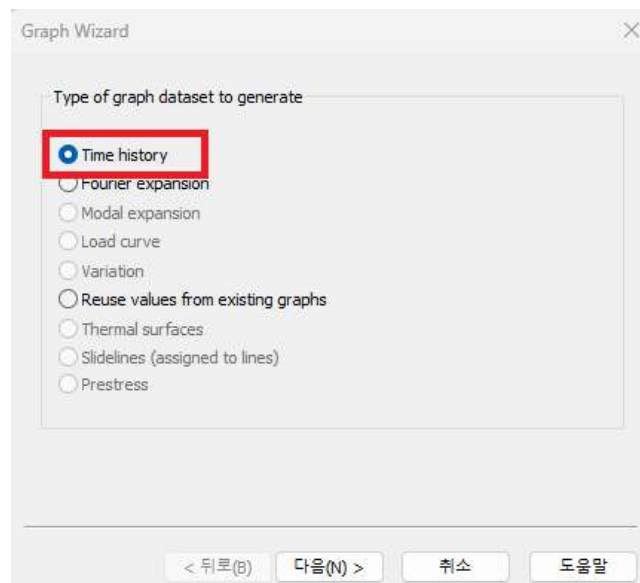
11.3. 하중에 대한 변위 그래프

Utilities / Graph Wizard...

⌚ 콘크리트보의 중간지점에 대한 처짐이력을 도시기 위하여 먼저 절점을 선택합니다.

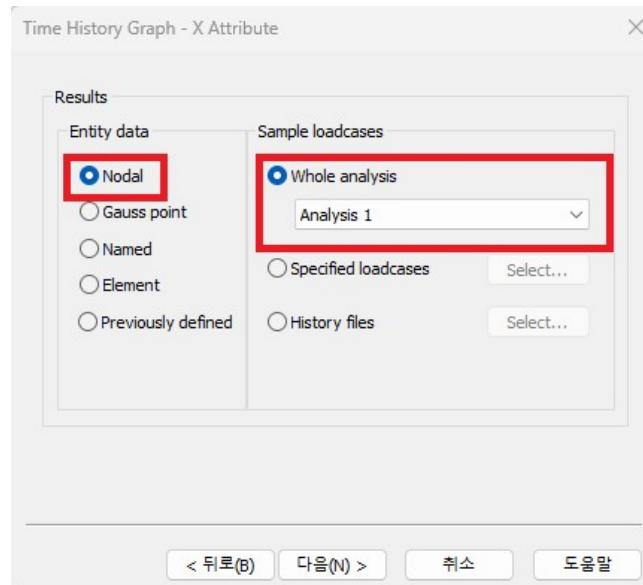


⌚ 전체하중에 대한 결과를 보기 위하여 'Time history'를 선택합니다.

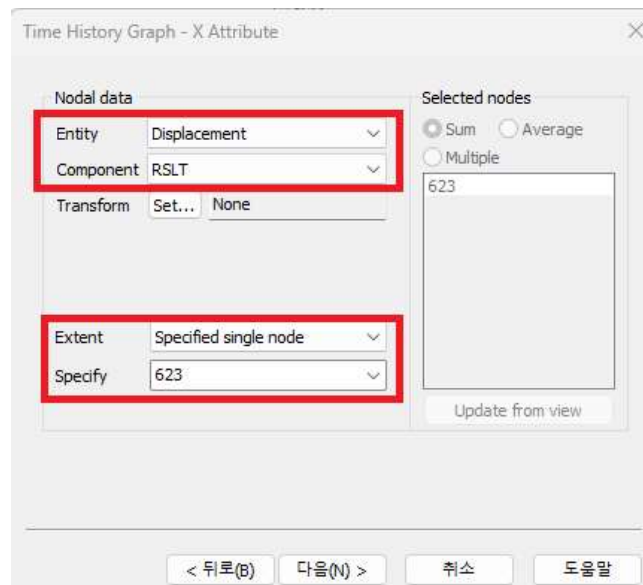


철근콘크리트 보의 균열해석(3D, 재료비선형)

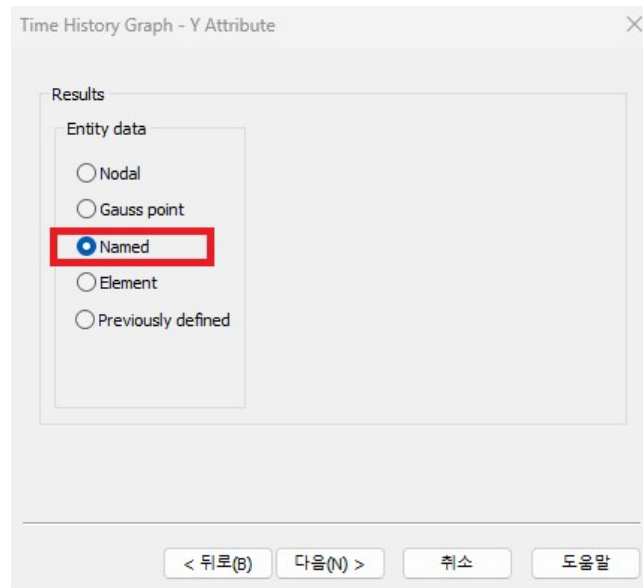
⌚ 먼저 정의하는 데이터가 X축에 해당됩니다. 여기에서는 중앙부의 처짐에 관한 사항을 도시해 볼 것이므로 'Nodal'을 선택 합니다. 우측의 Sample loadcases는 결과를 가져올 하중케이스를 선택하는 곳으로 여기서는 전체해석을 대상으로 설정합니다.



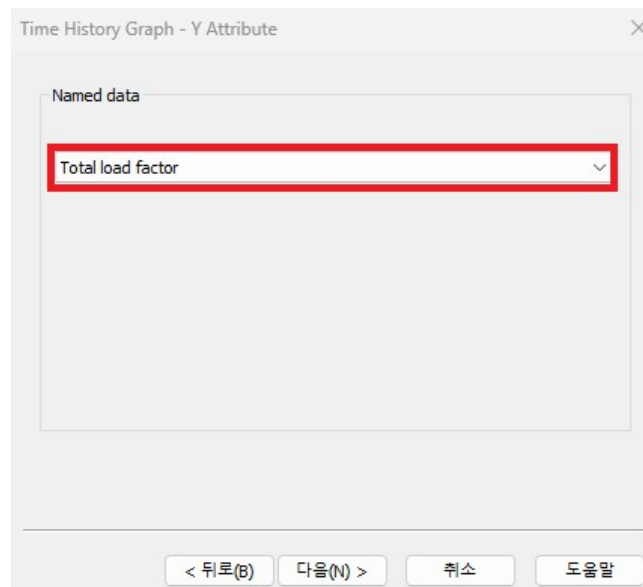
⌚ 선택된 보의 중앙부절점 (287)이 자동으로 결과를 도시할 절점으로 설정됩니다. Entity를 'Displacement'로 설정합니다.



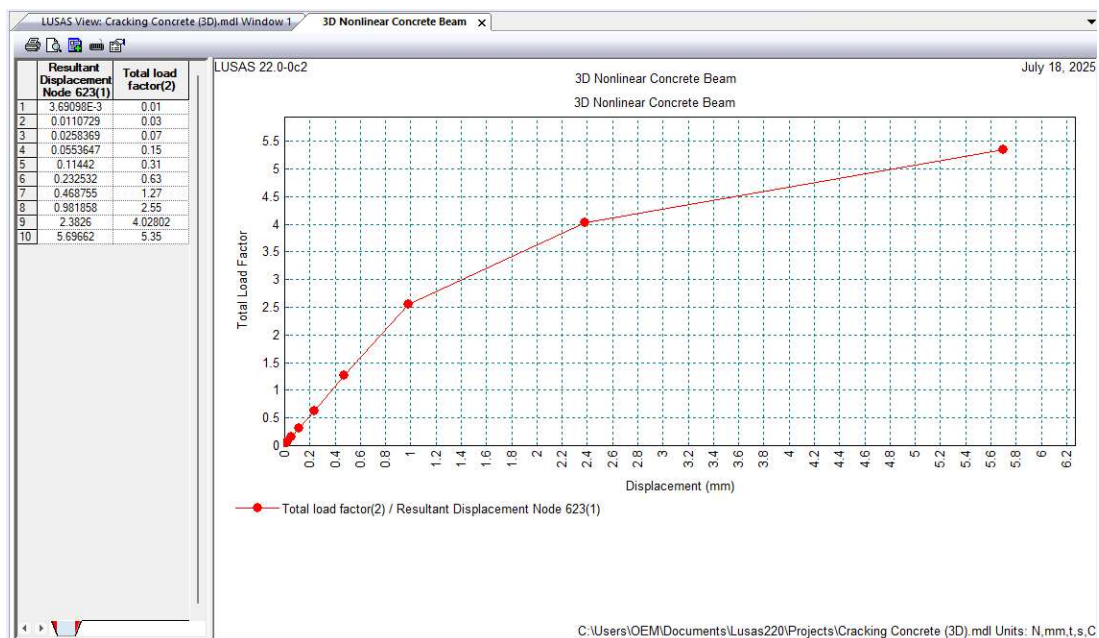
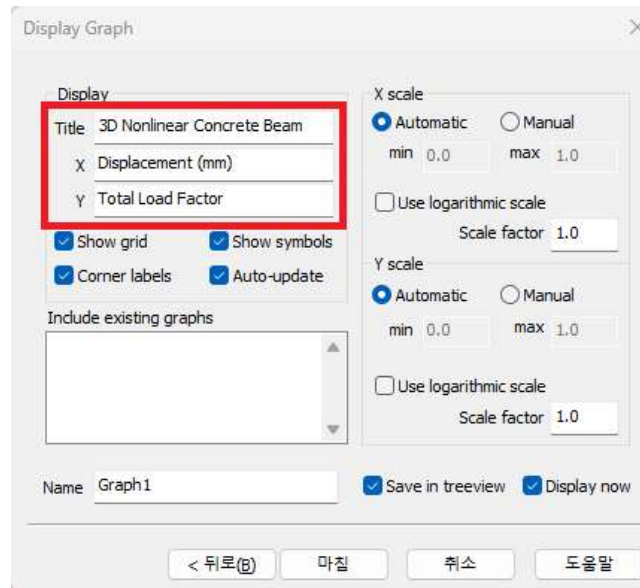
⌚ 여기에서는 재하된 하중을 설정하고자 합니다.



⌚ 하중케이스에 재하된 하중 상수를 Y축 데이터로 설정합니다.



⌚ 그려질 그래프에 대한 제목 등을 설정합니다.



Tip.

이 해석모델은 두 가지 Type의 부재가 섞여 있기 때문에 부재의 결과를 보기위해서는 한 가지 형식의 부재의 결과만을 화면에 보이도록 설정한 후에 결과를 볼 수 있습니다. 이렇게 하기 위하여 먼저 설정해 놓은 Group을 잘 활용하여야 합니다. **Treeview / Group** 탭에서 상단의 모델파일명을 선택한 후 마우스 우측을 클릭합니다. **'Results plots..'**를 선택하면 아래와 같이 설정 창이 뜹니다. 여기서 **'Specified group'**을 선택하고 group을 선택하면 해당 그룹에 대한 결과를 확인할 수 있습니다. Display도 현재 화면에 보이는 모델(visible model), 전체 모델(Whole model), 특정 그룹(Specified group)등 으로 설정할 수 있습니다.

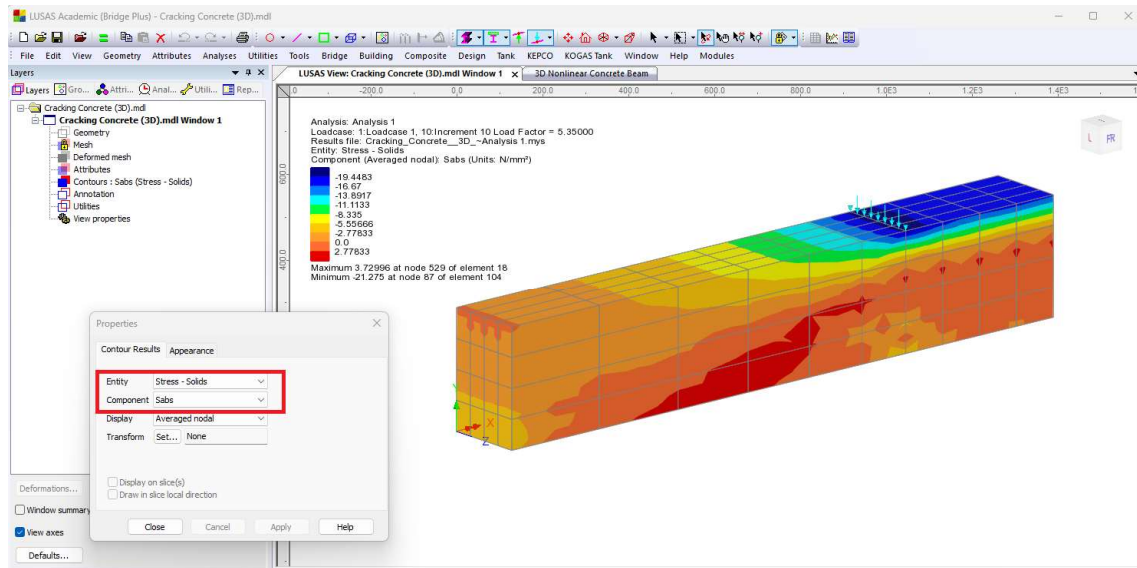


Tip.

그래프는 Copy&Paste로 윈도우 응용프로그램(HWP, Word, Excel 등)에서 활용할 수 있으며, 그래프 왼쪽에 표시된 데이터를 Excel로 옮겨 활용할 수도 있습니다.

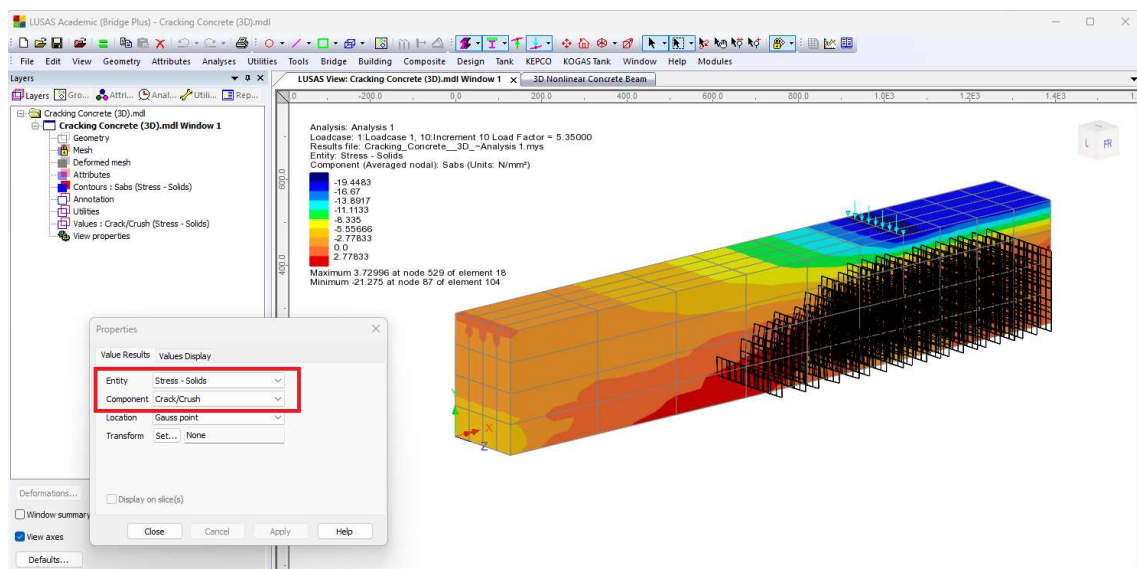
11.4. 단면력 / 응력 콘타

- ⌚ Treeview/ Layer 탭에서 'Deformed mesh'를 삭제(마우스 우측클릭 Delete) 합니다.
- ⌚ 아무것도 선택되지 않은 상태의 화면에서 마우스 우측을 클릭하여 'Contour'를 선택합니다. 아래와 같이 단면력을 콘타로 표시할 수 있습니다.



11.5. 균열 Pattern 확인

- ⌚ 아무것도 선택되지 않은 상태의 화면에서 마우스 우측을 클릭하여 'Value'를 선택합니다.
- ⌚ Properties 창에서 Entity - Stress - Solids, Type - Crack/Crush 를 선택합니다.

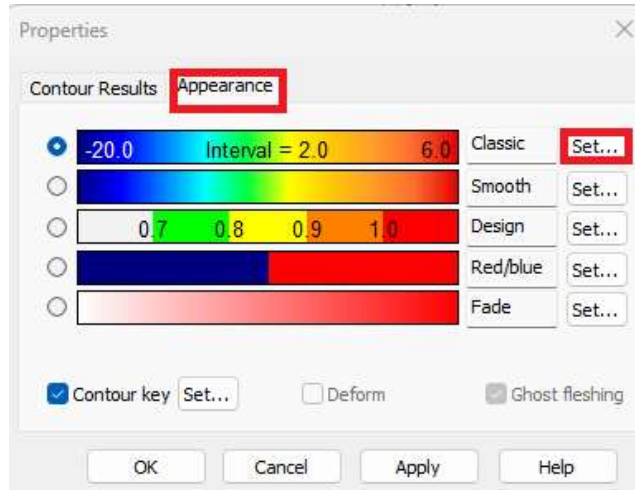


11.6. 균열 진전 Animation

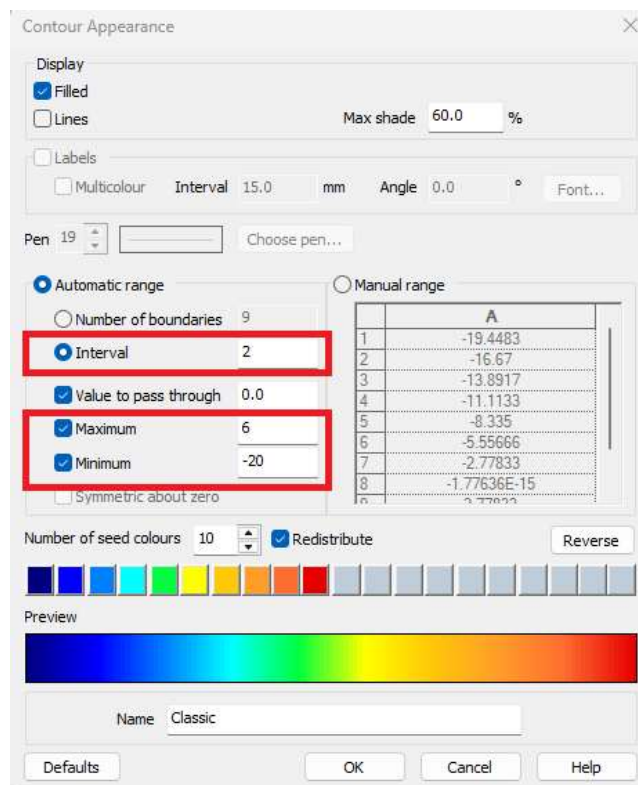
Tools/ Animation Wizard...

⌚ 10단계에 걸쳐서 하중을 증가시켜가면서 해석을 수행하였는데 이와 같이 여러 단계에 걸친 해석의 경우에는 동영상으로 해석결과를 확인할 수 있습니다. 동영상을 만들기 전에 표시되는 값의 Contour의 범위와 단계를 설정해야 합니다.

⌚ Treeview / Layer 탭의 Contour를 더블클릭하여 설정창을 엽니다. Appearance 탭을 선택하고, Classic Contour 범위의 Set 버튼을 클릭합니다.

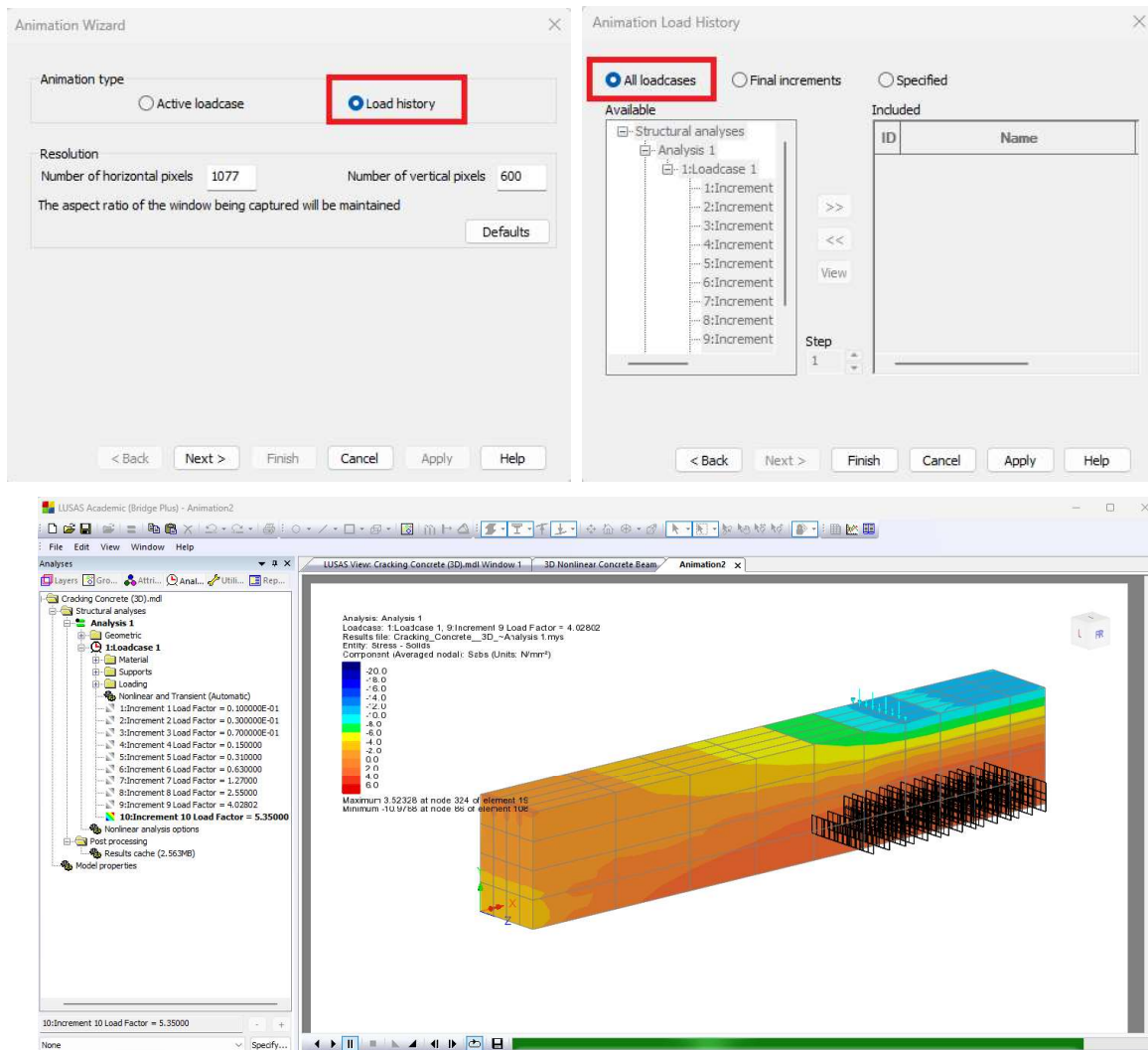


⌚ Automatic Range에서 Interval - (2), Maximum - (6), Minimum - (-20)과 같이 각각의 값을 입력합니다.



⌚ Tools/ Animation Wizard..메뉴에서 'Load history'를 선택한 후 Next를 누릅니다.

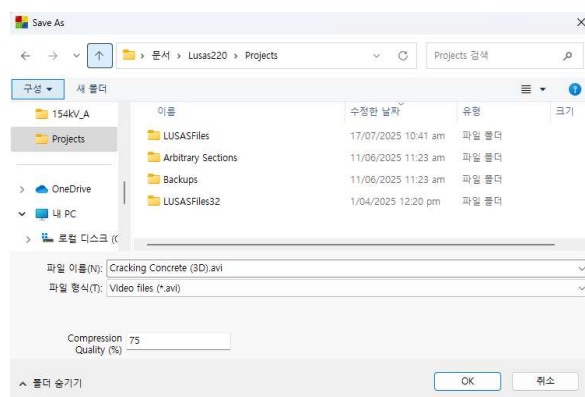
⌚ 좌측 상단의 All loadcases를 선택합니다.



11.7. Animation 저장

File / Save as AVI...

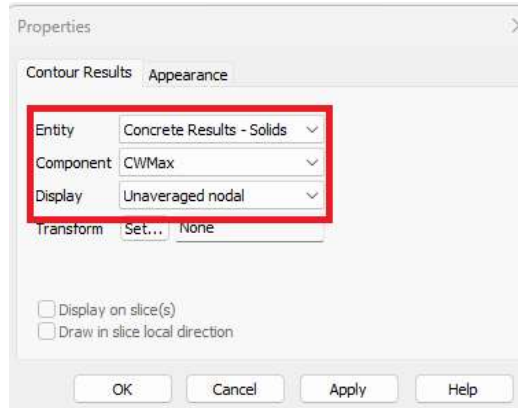
조금 전 확인한 균열 진전 동영상상을 파일로 저장할 수 있습니다.



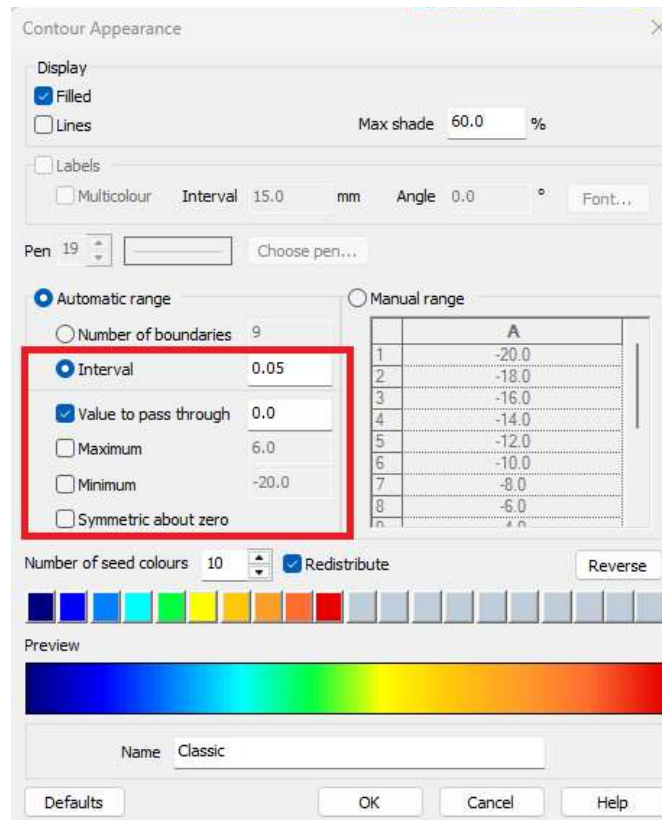
11.8. 균열 폭 Contour

① Smoothed Multi-crack Concrete Model을 사용하여 계산된 균열 폭 값은 Contour 및 Value 형태로 시각화할 수 있습니다.

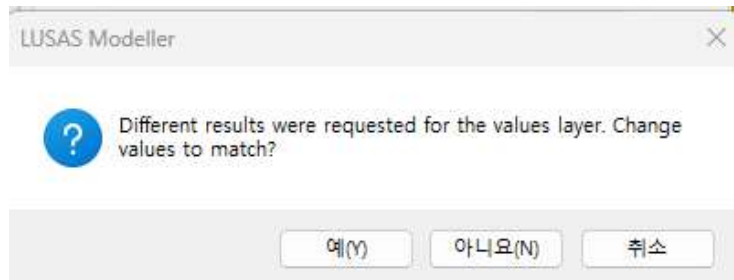
① Treeview> Layer 탭에서 Contours 레이어를 더블 클릭합니다. 속성 대화창에서 Entity는 Concrete Results - Solids, Component는 CWMMax(최대 균열 폭), Display는 Unaveraged nodal을 선택합니다.



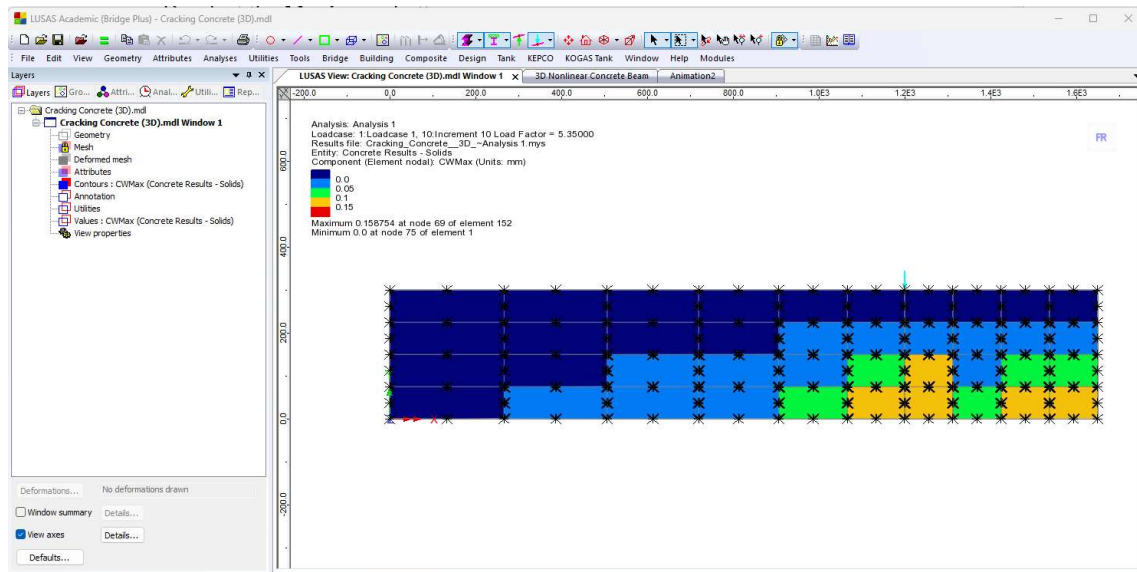
① Appearance 탭에서 Classic Contour 영역의 Set 버튼을 클릭합니다. Maximum, Minimum 체크박스를 해제합니다. Contour Interval 값을 0.05로 설정합니다. Value to pass through를 0으로 설정합니다.



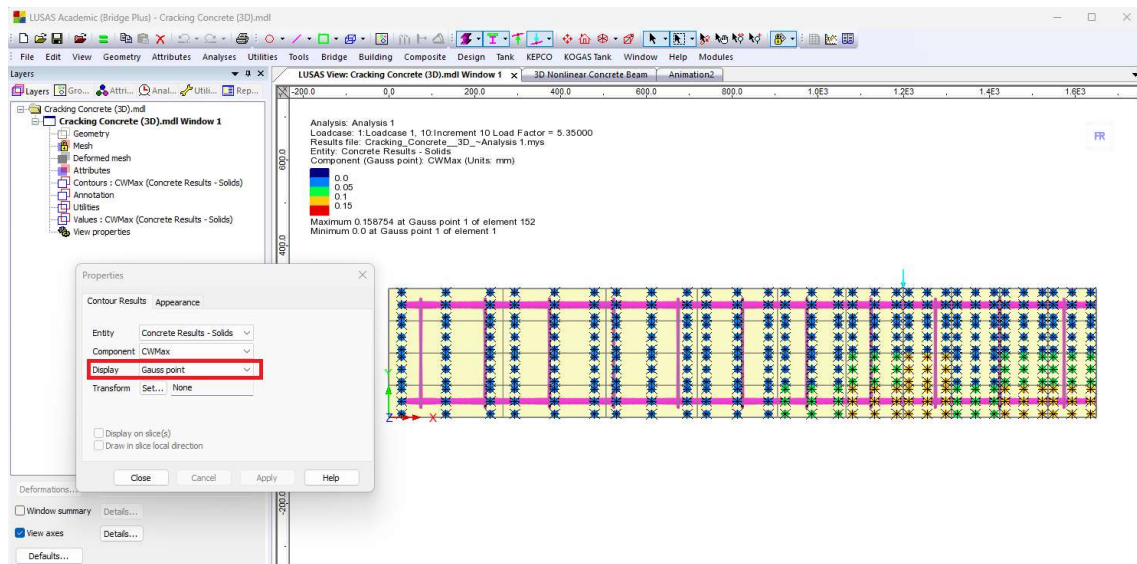
① Value 레이어도 동일한 범위로 조정할지 여부를 묻는 창이 나타나면, Yes를 클릭하여 일치시킵니다.



⌚ 모델러 우측 하단의 Z 축 버튼 **Z: N/A** 을 눌러 모델을 Z축 View로 위치시킵니다.

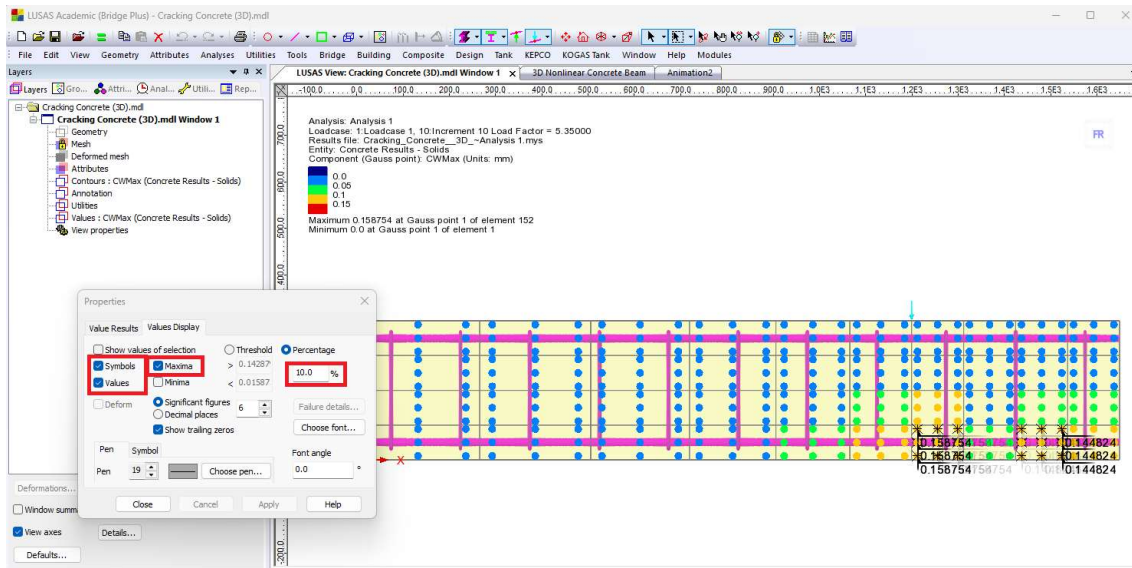


⌚ Gauss point 결과를 표시해 요소 내 실제 균열폭을 확인할 수 있습니다.



11.9. 균열 폭 결과 출력

🕒 Treeview> Layer 탭에서 Value 레이어를 더블클릭합니다. Symbols, Values, Maxima 옵션에 체크하고, percentage에 10%를 입력하여 상위 10%의 결과값을 출력하도록 합니다.



11.10. 철근 응력

🕒 Contour 레이어를 더블클릭하여 속성 대화창에서 다음과 같이 정의합니다. Entity는 Stress-Bar를 Component는 Sx(Fx)를 선택합니다.

