LUSAS 기술자료

철근콘크리트 보의 균열해석
(2D, 재료비선형)

2026. 02

에프이에이코리아(주)

<목 차>

1. 개요 ····· 1

2. 모델러 시작 ····· 2

3. Geometry 구성 ····· 3

4. 재료특성 정의 및 적용 ····· 4
  4.1. 재료 특성 정의 ····· 4
  4.2. 재료 특성 적용 ····· 5

5. Nonlinear Control의 설정 ····· 7

6. 해석 수행 ····· 9

7. 후처리 과정 ····· 11
  7.1. 처짐도 ····· 11
  7.2. 하중에 대한 변위 그래프 ····· 11
  7.3. 단면력/응력 콘타 ····· 14
  7.4. 균열 Pattern 확인 ····· 14
  7.5. 균열 진전 Animation ····· 15
  7.6. Animation 저장 ····· 16
  7.7. 단면력 선도 ····· 16
  7.8. 균열폭 콘타 출력 ····· 17

1. 개요

For software product(s):	Standard / Lite
With product option(s):	Basic

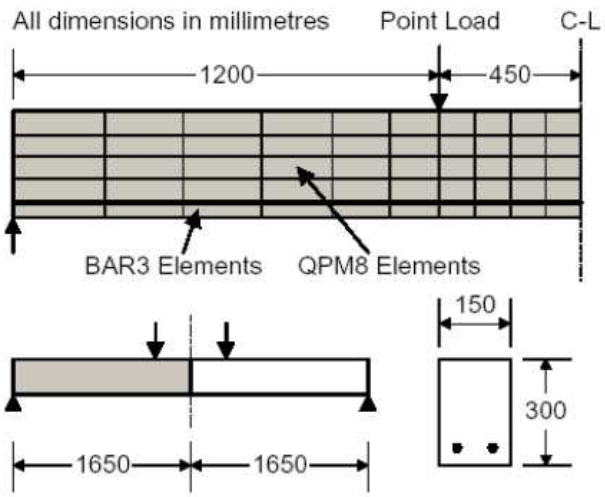
재료비선형 해석은 재료의 탄성영역에서의 특성과 소성 이후 영역에서의 특성을 모두 고려하여, 하중의 변화에 따른 항복의 발생과 항복발생 이후 하중이 경감될 때 재료의 탄성영역 회귀 특성, 또는 항복 이후 하중의 추가적인 증가로 발생하는 응력의 재분배로 인한 균열 또는 항복 영역의 확대 및 파괴에 이르는 과정 등을 검토하고자 할 때에 적용하게 됩니다.

일반적으로 재료비선형해석은 적용되는 하중의 크기에 따라 재료의 특성이 달라지며, 현재 검토되는 하중 이전 단계가 탄성영역이었는지, 비탄성 영역이었는지에 따라서도 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 도입되어야 하는 것입니다.

따라서 일정 하중크기 상태에서의 구조의 거동을 예측하고자 하면, 아주 미소한 하중으로부터 원하는 하중까지 점진적으로 증가시켜 해석을 수행하는데, 이 과정 동안 매회 재료의 특성을 전단계 해석의 결과에 따라 수정해 가며 해석이 진행되어야 하는 것입니다. 이것은 LUSAS의 Nonlinear Control\ Automatic 설정에서 하중 증가를 정의하여 해석에 반영할 수 있습니다.

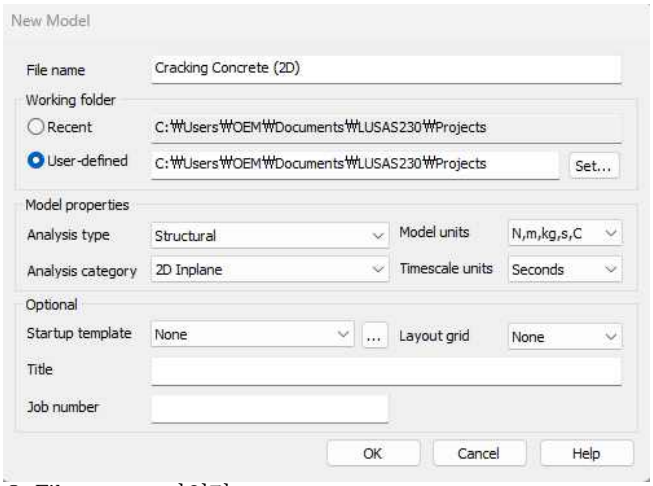
철근을 고려한 단순 콘크리트 보의 재료비선형 해석을 통하여 균열이 발생하는 하중의 크기를 예측하며 하중의 증가로 인한 균열의 양상을 살펴보고 이를 위하여 전체 응력분포도 및 균열 보 높이 방향 단면의 응력 분포도, 하중 vs 전체 처짐 그래프 등을 출력해 봅니다.

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



2. 모델러 시작

File> New...

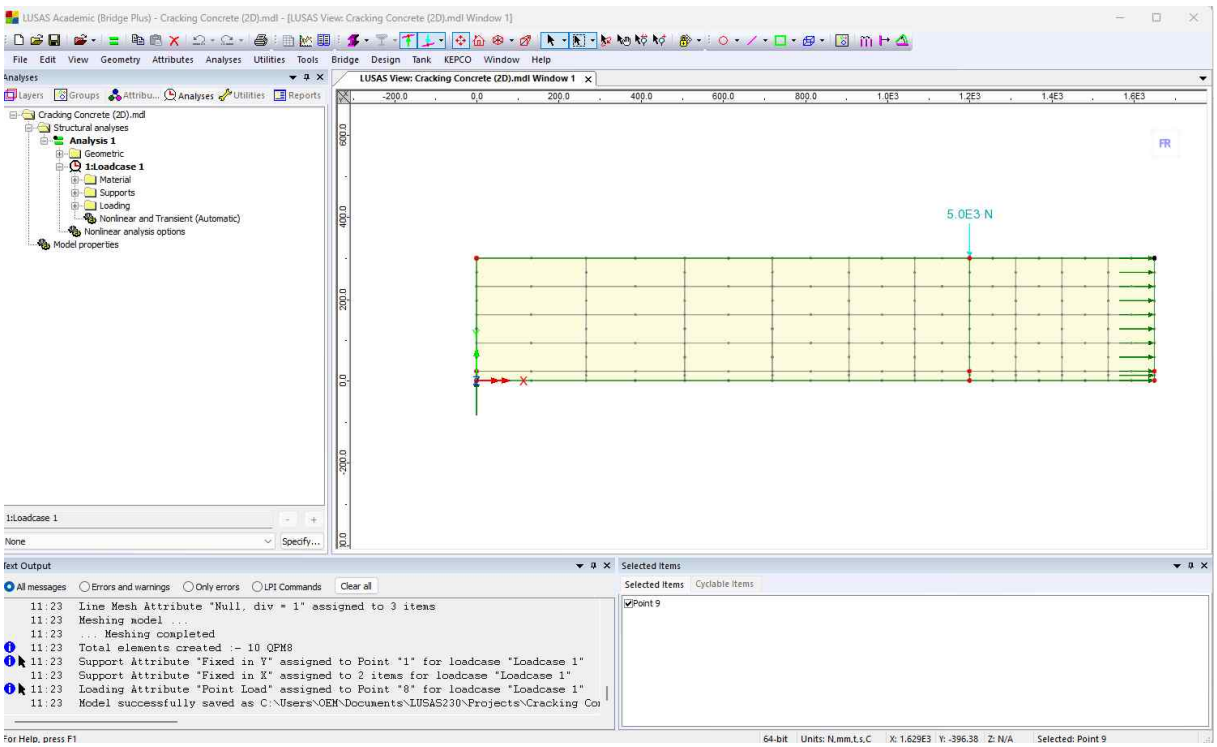


- File name: 파일명
- Analysis type :
  - Structural - 구조해석 모델에 용이한 환경 구성
  - Thermal - 열해석 모델에 용이한 환경 구성
  - Coupled - 열해석 결과를 바탕으로 하는 구조해석, 또는 그 반대의 상호 작용 해석 환경 구성
- Model units : 모델링에 사용할 단위계. 내장 DB (단면제원, 재료특성 등) 사용 시 초기값 설정에 영향
- Timescale Units : 해석에 사용할 시간 단위
- Analysis category : 해당 카테고리에 적합한 메뉴 항목, 대화 상자 설정 및 선택 사항들만 나타나도록 사용자 인터페이스 변경
- Startup template : 자주 사용하는 데이터셋 정의. 필요시 사용자 고유의 Script를 작성하여 등록 가능
- Title : 모델에 대한 설명 (생략가능)

3. Geometry 구성

다음 링크에서 예제 스크립트를 다운 받아주세요. (예제 스크립트 다운로드 링크)

File> Script> Run Script..에서 **2d_beam_nl_modelling.vbs** 파일을 실행합니다.



4. 재료특성 정의 및 적용

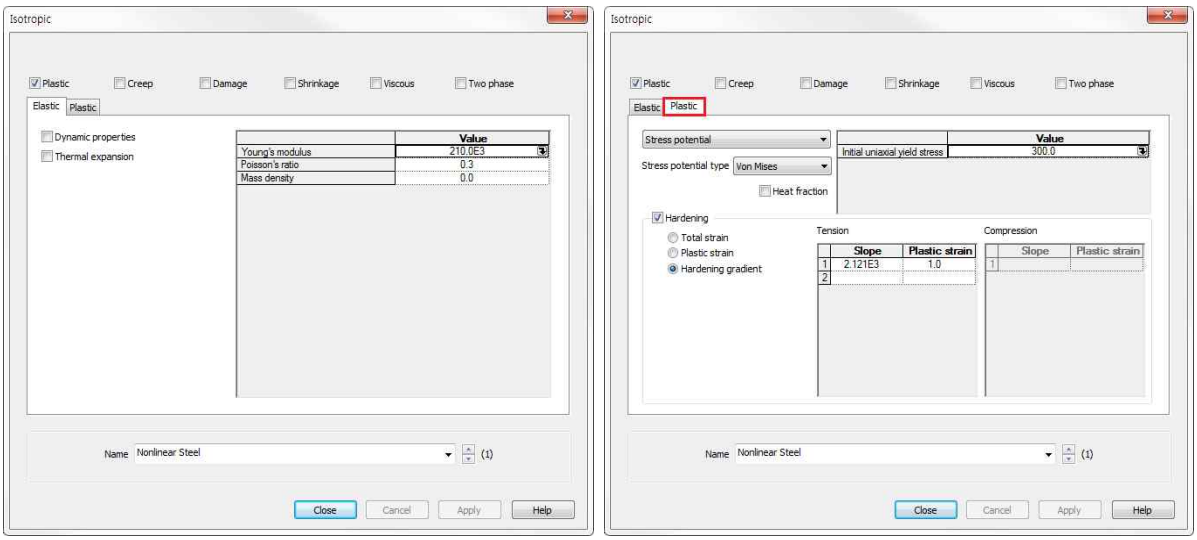
4.1. 재료 특성 정의

콘크리트		철 근	
Young's modulus	42000 N/mm^2	Young's modulus	210e3N/mm^2
Poisson's ratio	0.2	Poisson's ratio	0.3
Mass density	0	Initial uniaxial yield stress	300 N/mm^2
Uniaxial compressive strength	31.58 N/mm^2	Hardening slope	2121
Uniaxial tensile strength	3.158 N/mm^2	Plastic Strain	1
Strain at end of softening curve	0.003		

❑ 철근의 재료특성 정의

Attributes> Material> Isotropic ...

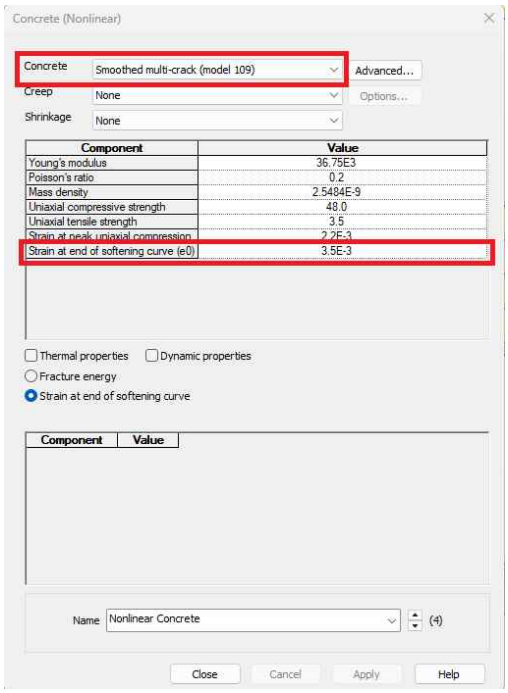
🕐 재료특성값을 입력합니다. 단위는 **N,mm** 단위계를 사용하였습니다. 재료비선형 해석이므로 소성영역에서의 특성을 입력하기위해 상단의 **Plastic**을 체크합니다.



❑ **콘크리트의 재료특성 정의**

Attributes> Material> Concrete(Nonlinear) ...

🕐 콘크리트 재료 모델중 Smoothed multi-crack (model 109)를 선택합니다. Creep과 Shrinkage는 해석에 고려하지 않는 것으로 가정합니다.

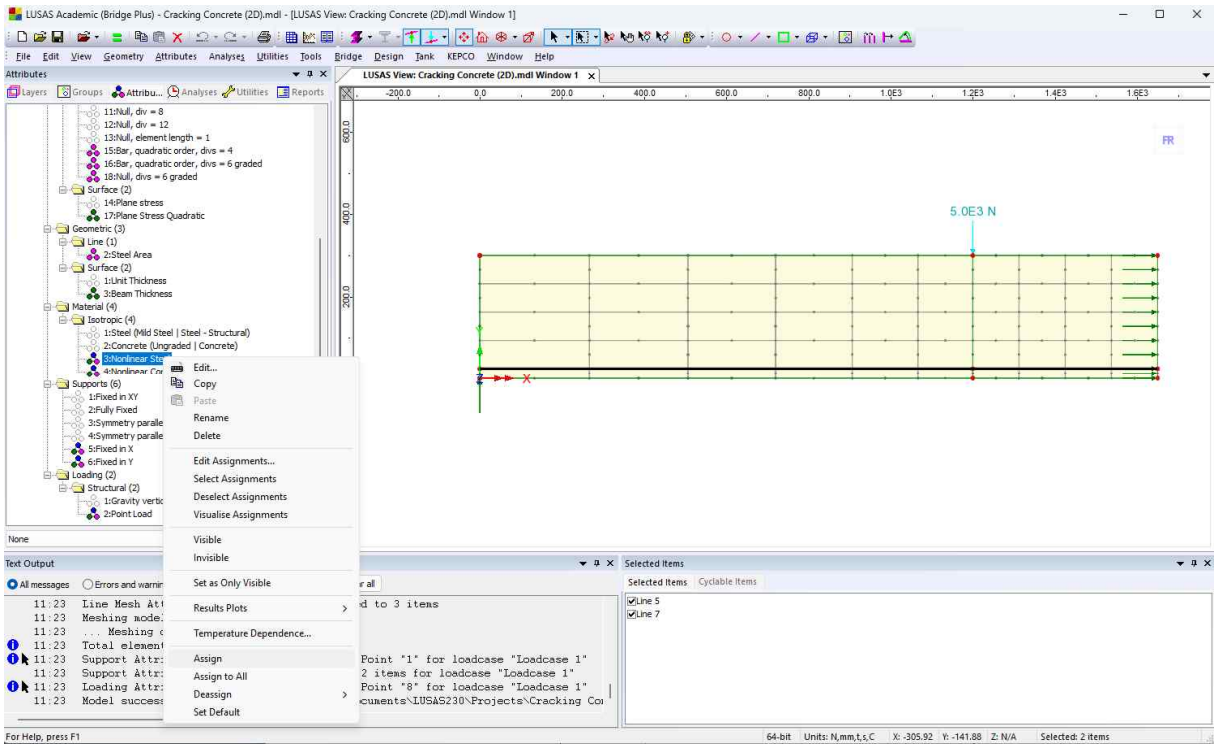


Tip.

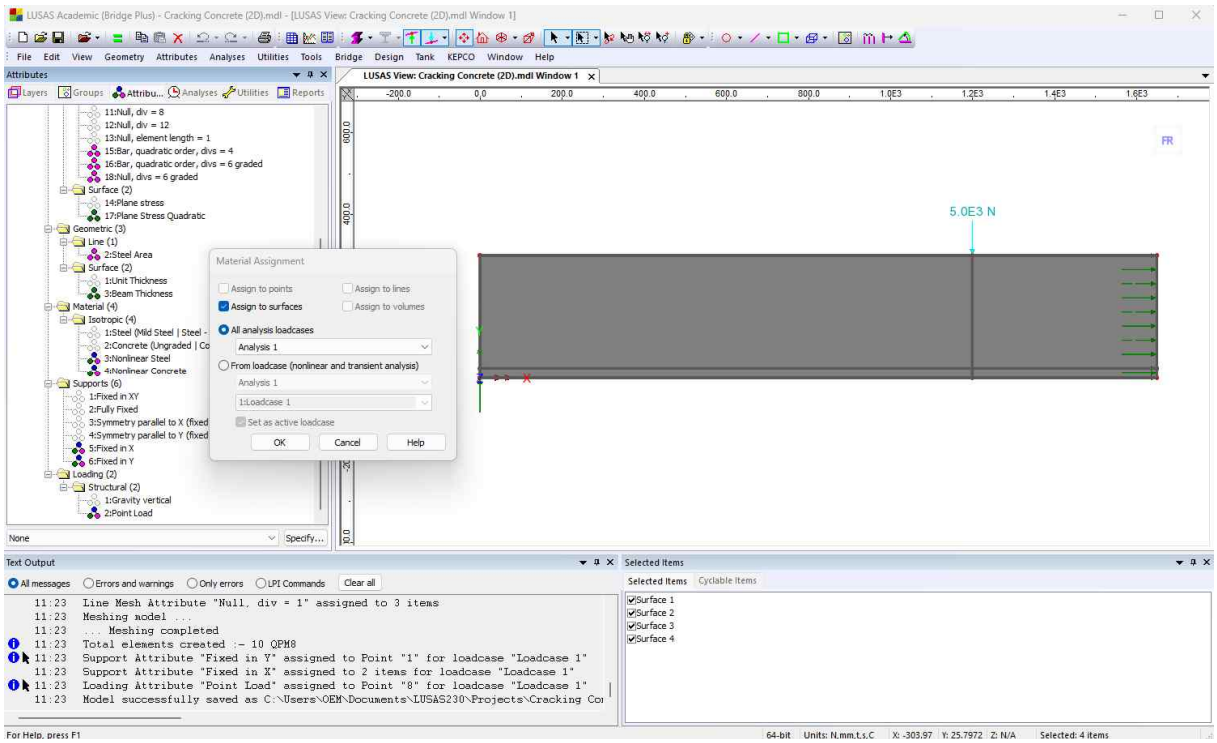
단위계는 어떤 단위계를 사용하여도 무방하나, 모델링 전반에 걸쳐 동일한 단위계를 유지하여야 합니다.
예를 들어 탄성계수 단위를 N/m^2 로 사용하였다면, 하중단위도 N 단위를 사용하여야 합니다.

4.2. 재료 특성 적용

🕐 철근에 해당하는 Line을 선택한 후, 철근의 재료특성 데이터셋 '**Nonlinear steel**' 을 적용합니다.



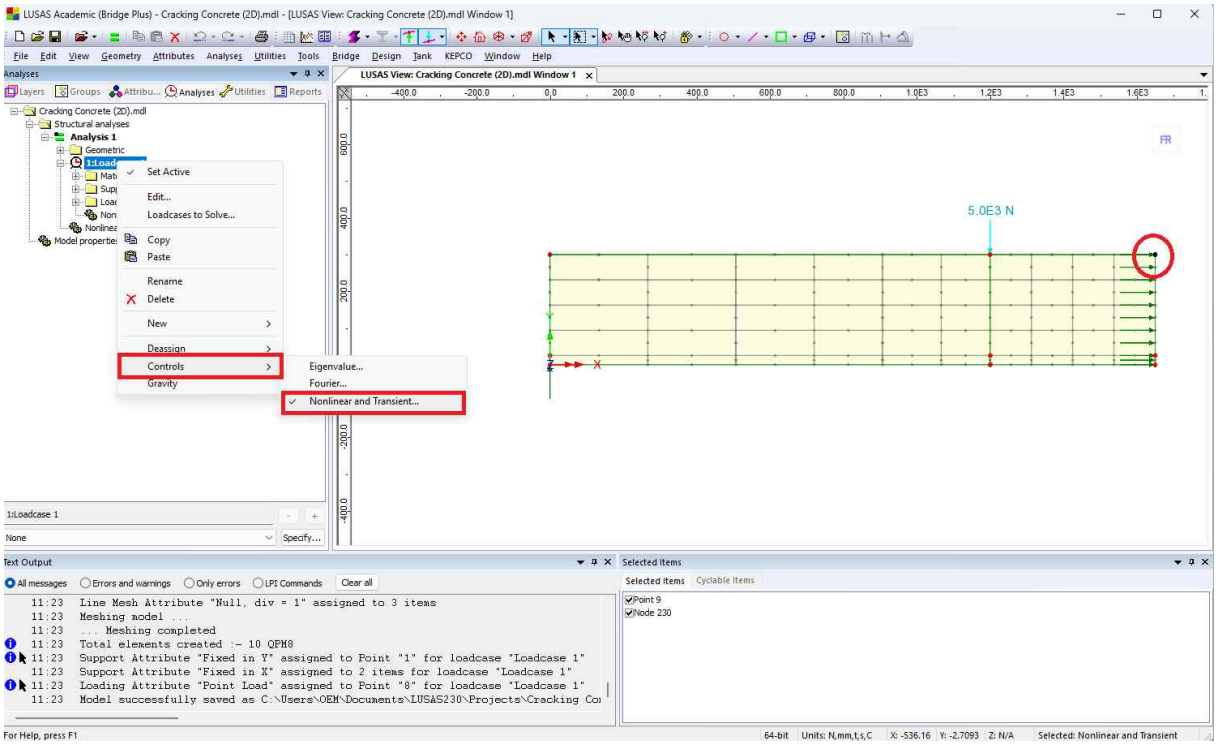
① 콘크리트에 해당하는 Surface를 모두 선택한 후, 콘크리트의 재료특성을 정의한 데이터셋 '**Nonlinear Concrete**'를 적용합니다.



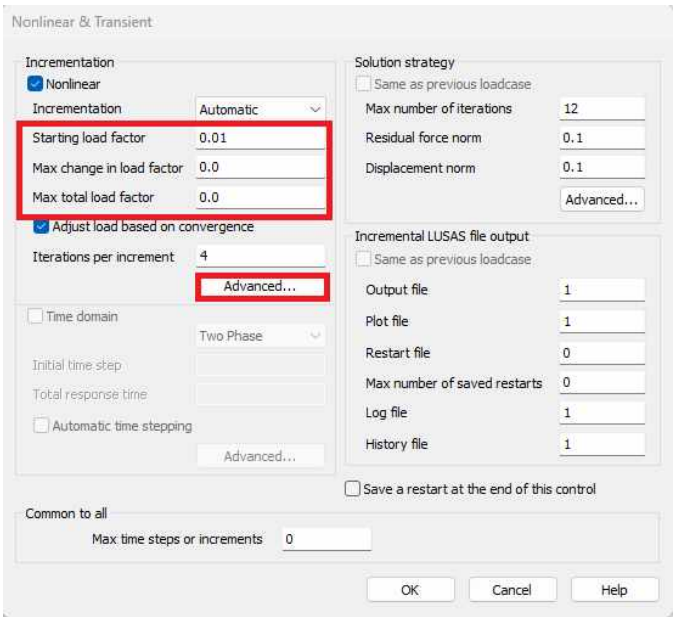
5. Nonlinear Control의 설정

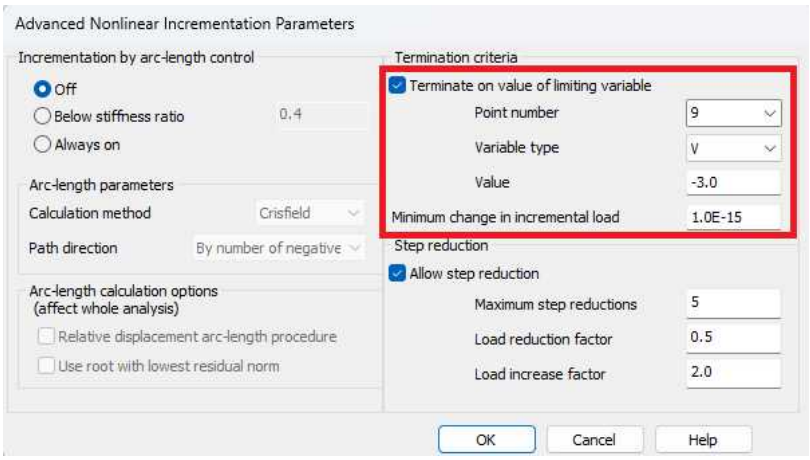
① 비선형해석을 수행하기 위하여 Nonlinear control을 설정합니다. Control을 설정하기에 앞서 모델에서 아래와 같이 상단의 **Point**를 선택합니다. 이는 후에 Control을 정의할 때 해석을 마치는 조건을 설정하기 위해서입니다.

② **Treeveiw>Loadcase** 탭에서 **Loadcase 1**을 마우스 우측을 클릭하여 **Controls>Nonlinear and Transient**를 선택합니다.

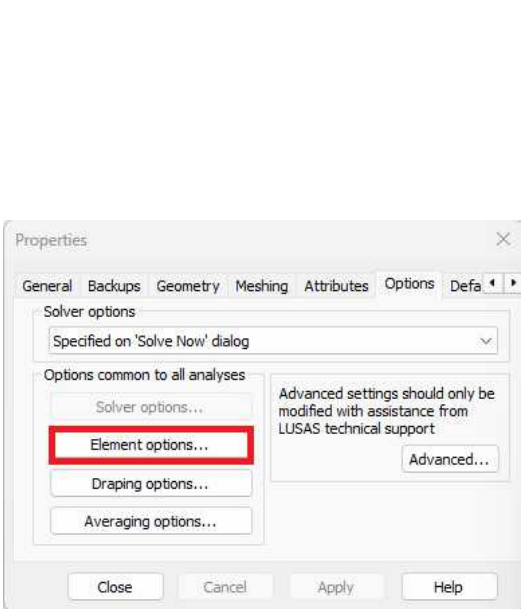


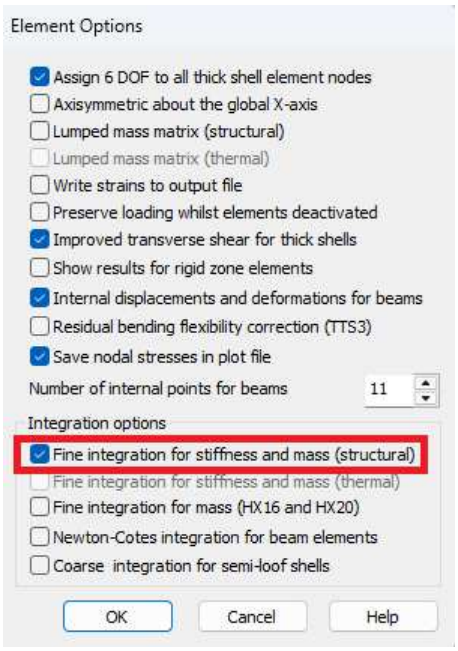
③ 하중은 5000N이 재하되어 있는 상태로 하중 증가분을 **50N(Starting load factor=** 0.01)으로 정의하고 최대로 증가시킬 수 있는 하중의 크기는 따로 설정하지 않았습니다. 해석을 진행하면서 최대로 재하되는 하중도 따로 지정하지 않았으며 선택한 오른쪽 상단절점의 변위가 **Y방향(V)**으로 **3mm**를 초과하게 되면 해석을 중단하도록 설정합니다.





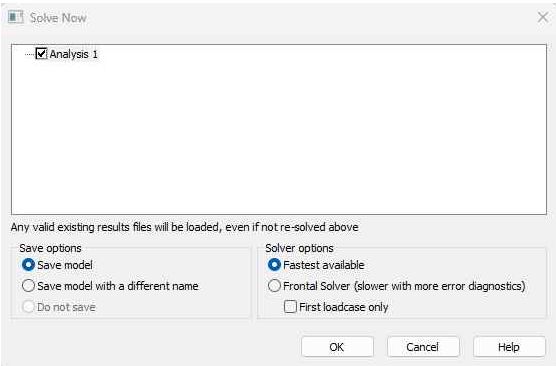
① File> Model Properties의 Option 탭을 선택하고 Element options...를 누릅니다. Integration options에서 Fine Integration for stiffness and mass에 체크되어 있는지 확인합니다.

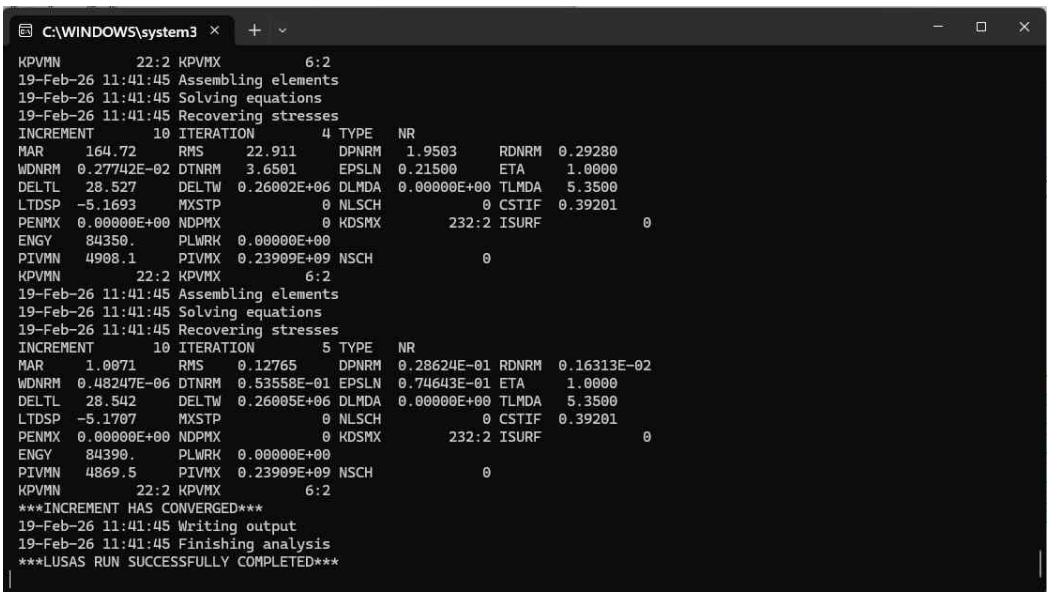


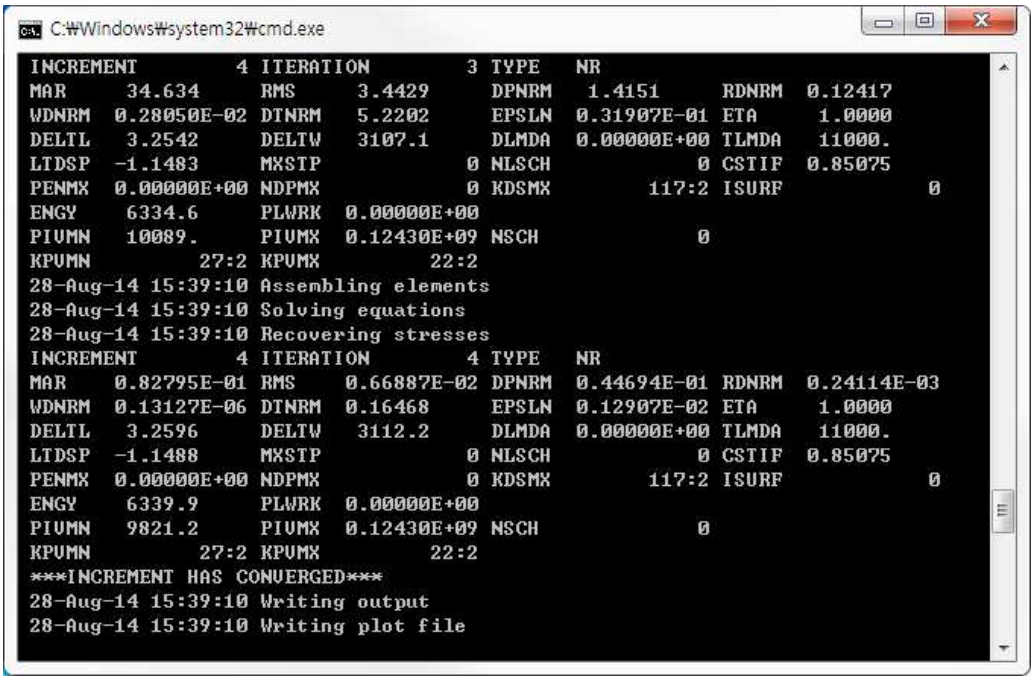


6. 해석 수행

'Solve now' 아이콘을 이용하여 자동으로 해석을 수행합니다.



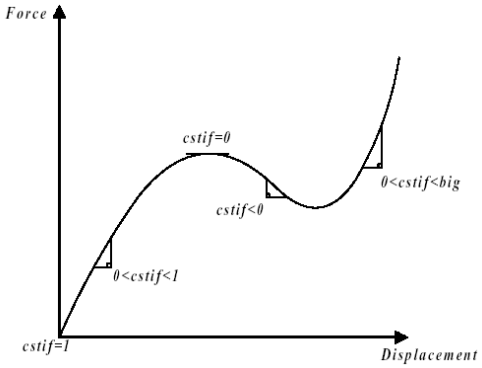




위 그림은 비선형 해석이 수행되어 가고 있을 때의 화면입니다. 각 Increment의 iteration 단계의 정보를 표시합니다. 표시된 구역 내의 정보를 살펴보면 하중증가 10단계중 5번째 Iteration을 의미하며 해석 Type은 Newton Rapson법을 이용합니다. 이 단계에서 적용되는 하중의 크기는 TLMDA(5.35)값을 보면 알 수 있으며, 현재 상태가 선형탄성구역 내에 있는지 비탄성 구역 내에 있는지를 판단하기 위해서는 CSTIF(0.39201)값을 참조하면 됩니다. 현재는 CSTIF=0.39102로 선형탄성구역 내에 있는 것으로 판단되며 TLMDA가 5.35으로 모델링에서 재하된 하중의 5.35배가 재하되고 있음을 알 수 있습니다.

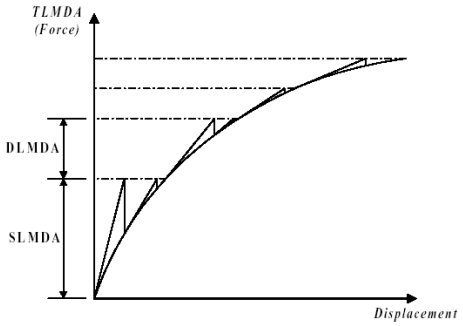
Tip.

CSTIF값을 가지고 현재 해석의 단계를 파악하기 위해 다음 그림을 참조합니다.



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

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



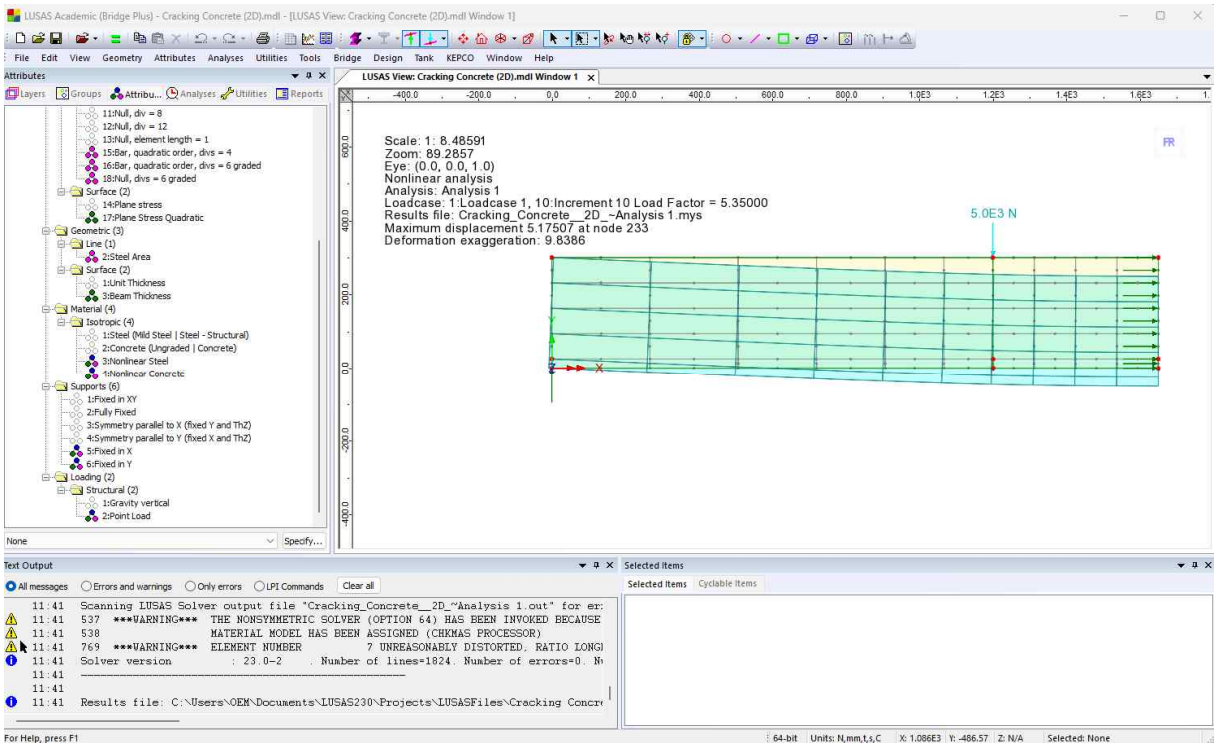
DLMDA : 하중 Factor의 증분
SLMDA : 초기 하중 Factor
TLMDA : 현재 하중 Factor
총 재하된 하중 = TLMDA*Loadcae에서 재하된 하중의 크기

7. 후처리 과정

7.1. 처짐도

① 결과를 추출할 Load Increment를 선택하고, **Set Active**를 지정합니다.

② 화면에서 마우스 우측 클릭하여 **Deformed Mesh**를 선택합니다. **'Specify Factor'** 값을 **1** 로 설정하여 실제 축척으로 처짐 형상을 표시하게 하거나, 형상의 변화를 잘 보기 위해 축척을 확대하여 변위를 과장시켜 그릴 수 있습니다.



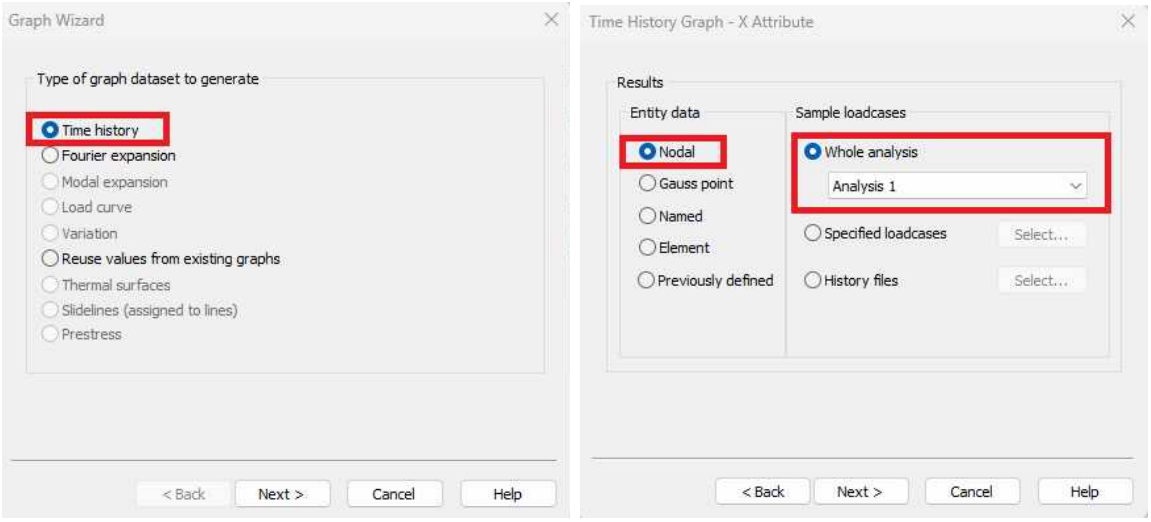
7.2. 하중에 대한 변위 그래프

Utilities> Graph Wizard...

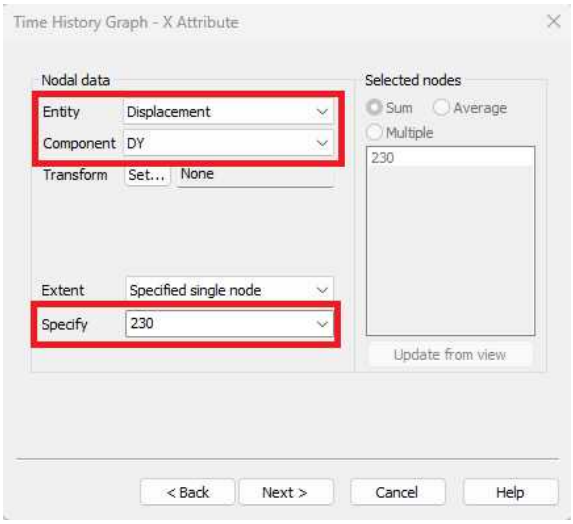
① 콘크리트보의 중간지점에 대한 처짐이력을 도시하기 위하여 먼저 절점(**node 230**)을 선택합니다.

② 전체하중CASE에 대한 결과를 보기 위하여 **'Time history'**를 선택합니다.

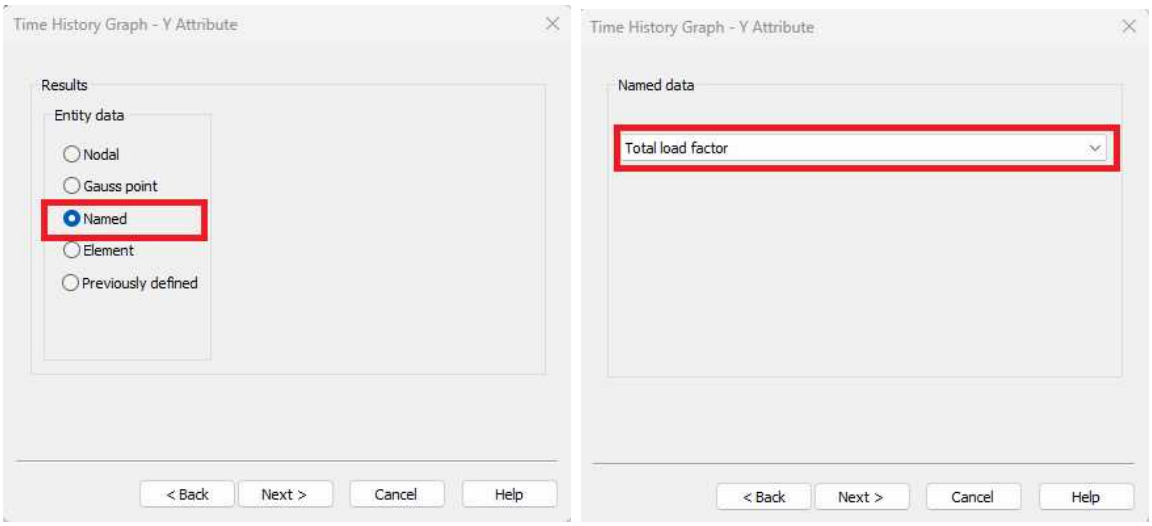
③ 먼저 정의하는 데이터가 X축에 해당됩니다. 여기에서는 중앙부의 처짐에 관한 사항을 도시해 볼 것이므로 **'Nodal'**을 선택합니다. 우측의 Sample loadcases는 결과를 가져올 하중CASE를 선택하는 곳으로 여기서는 전체를 대상으로 설정합니다.



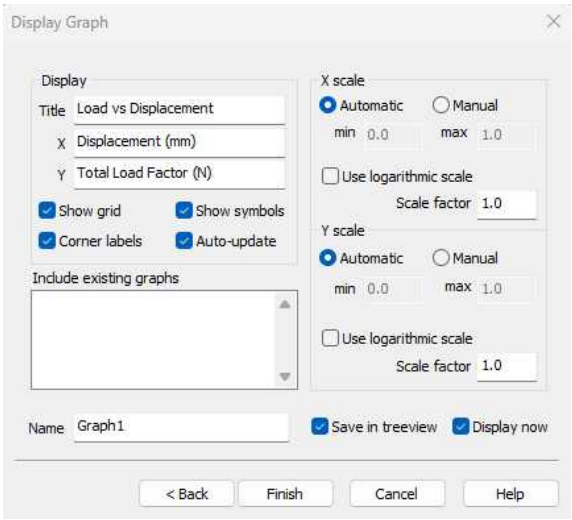
🕐 선택된 보의 중앙부절점 (230)이 자동으로 결과를 도시할 절점으로 설정됩니다. Entity를 'Displacement'로 설정합니다.



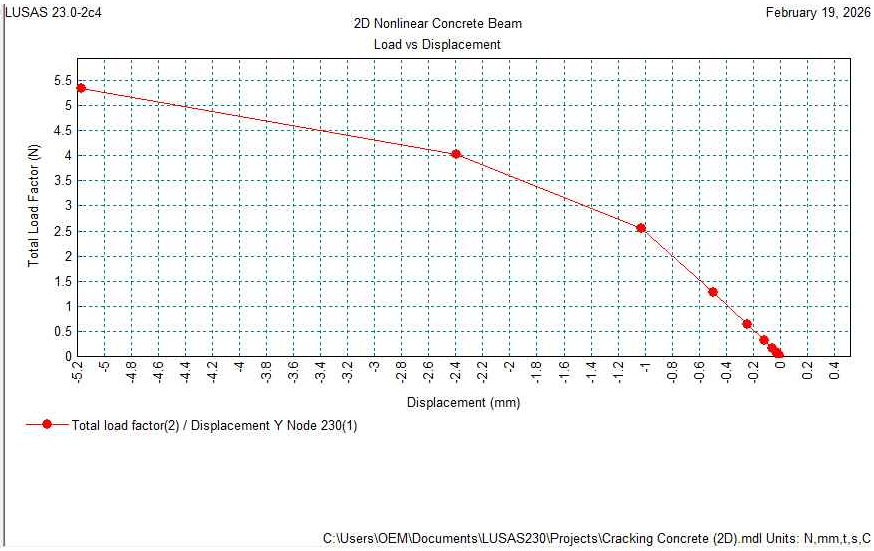
🕐 다음, 재하된 하중을 설정하기 위해 'Named', 'Total load Factor'를 차례로 선택합니다.



🕐 하중 CASE에 재하된 하중에 대한 Factor를 Y축 데이터로 설정하고 그래프 제목 등을 설정합니다.



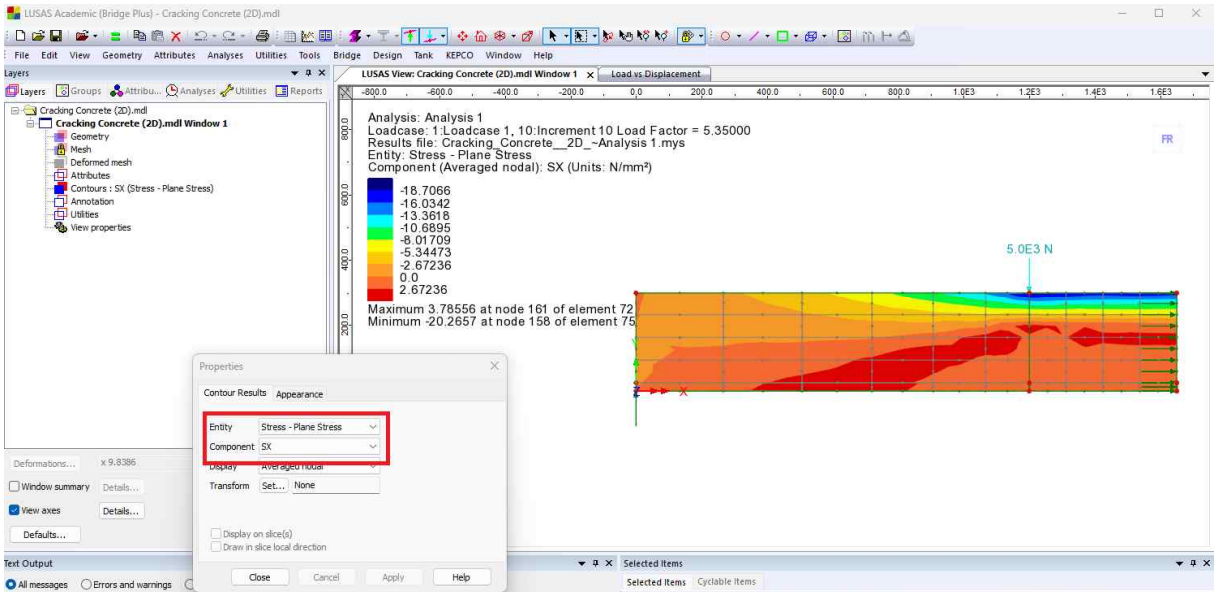
	Displacement Y Node 230(1)	Total load factor(2)
1	-3.86298E-3	0.01
2	-0.0115889	0.03
3	-0.0270409	0.07
4	-0.0579447	0.15
5	-0.119752	0.31
6	-0.243368	0.63
7	-0.490598	1.27
8	-1.02865	2.55
9	-2.39657	4.02802
10	-5.17072	5.35



7.3. 단면력/응력 콘타

① **Treeview> Layer** 탭에서 '**Deformed mesh**'를 삭제(마우스 우측클릭 Delete) 합니다.

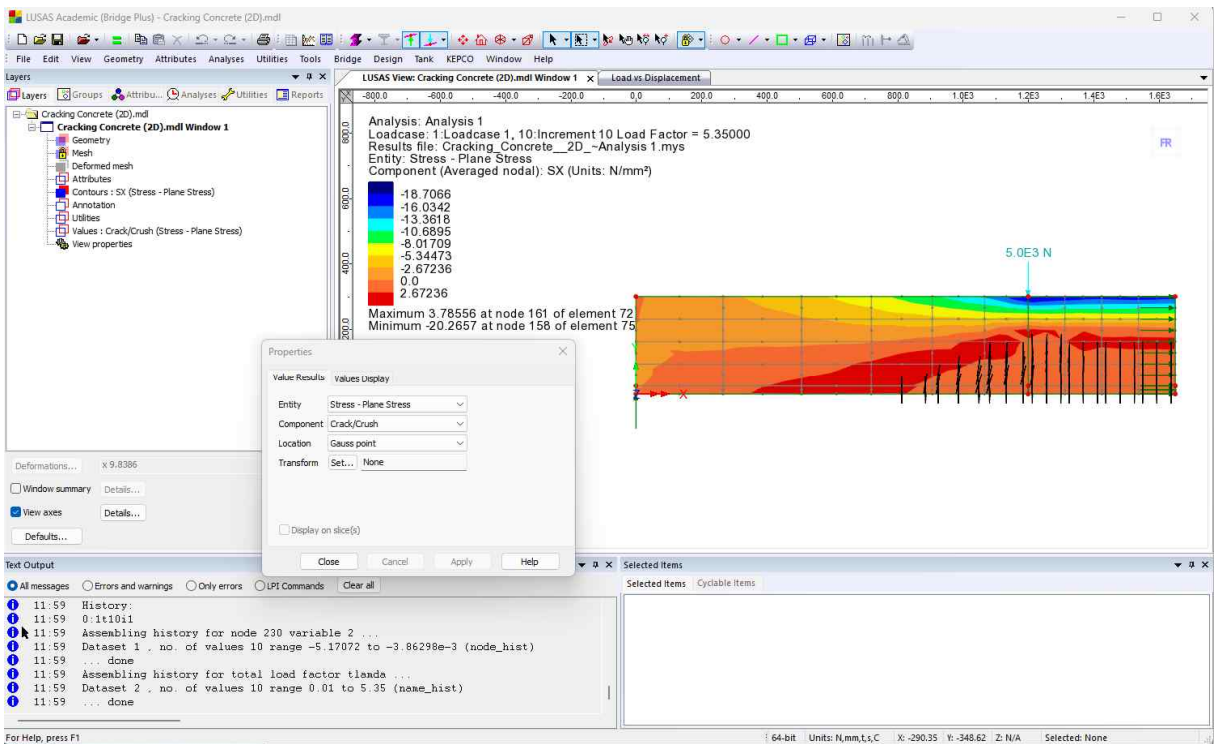
② 아무것도 선택되지 않은 상태의 화면에서 마우스 우측을 클릭하여 '**Contour**'를 선택합니다. 아래와 같이 응력(단면력)을 콘타로 표시할 수 있습니다.



7.4. 균열 Pattern 확인

① 아무것도 선택되지 않은 상태의 화면에서 마우스 우측을 클릭하여 '**Value**'를 선택합니다.

② Properties 창에서 **Entity - Plane Stress, Component - Crack\Crash**를 선택합니다.



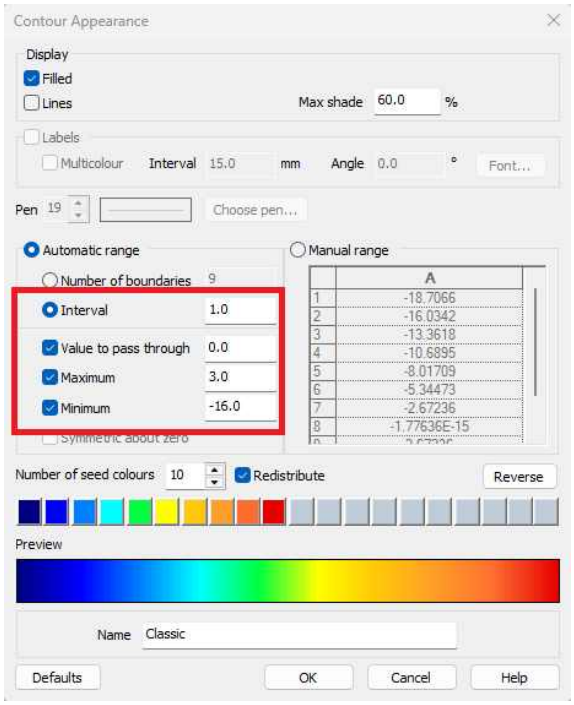
7.5. 균열 진전 Animation

Tools> Animation Wizard...

① 9단계에 걸쳐서 하중을 증가시켜 가면서 해석을 수행하였는데 이와 같이 여러 단계에 걸친 해석의 경우에는 동영상으로 해석결과를 확인할 수 있습니다. 동영상을 만들기 전에 표시되는 값의 Contour의 범위와 단계를 설정해야 합니다.

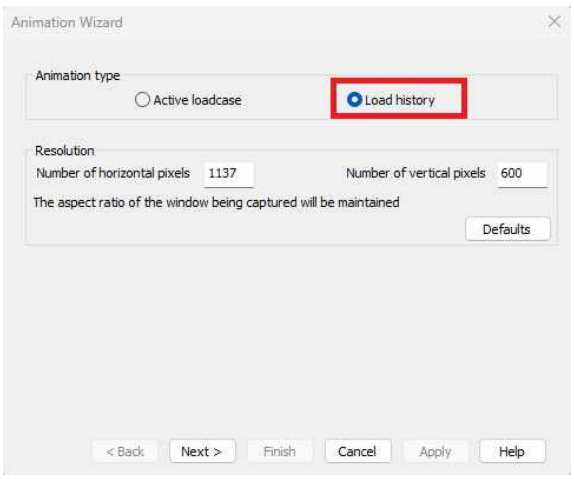
② **Contour** 설정창에서 **Appearance** 탭을 선택하고, **'Contour Key'**의 선택을 해제합니다.

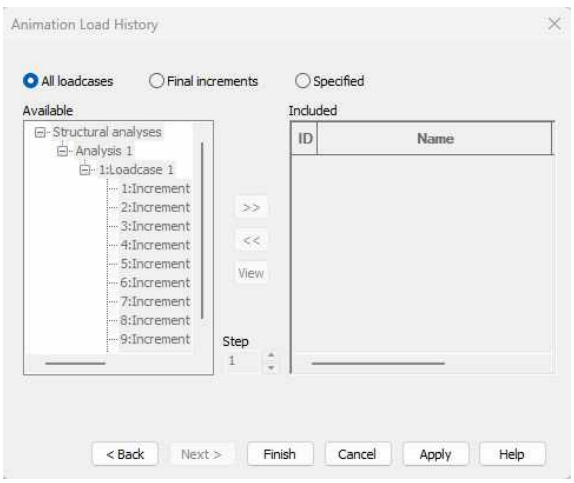
③ **Classic** 옵션의 **Set** 버튼을 눌러 **Interval - (1), Maximum - (3), Minimum - (-16)**과 같이 각각의 값을 입력합니다.

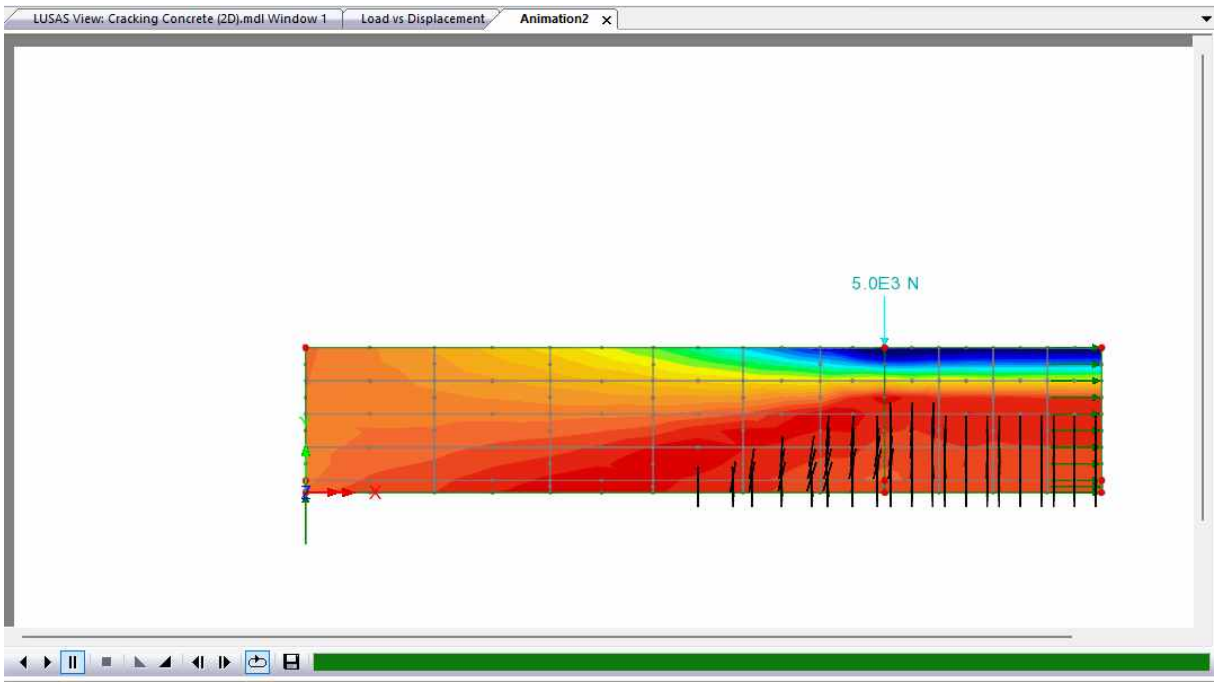


① **Tools> Animation Wizard..**메뉴에서 **'Load history'**를 선택한 후 Next를 누릅니다.

② Drop-down list에서 해당모델의 결과 파일인 **.mys** 파일을 선택하고, 우측 상단의 **All loadcases**를 선택합니다.







7.6. Animation 저장

File> Save as AVI...

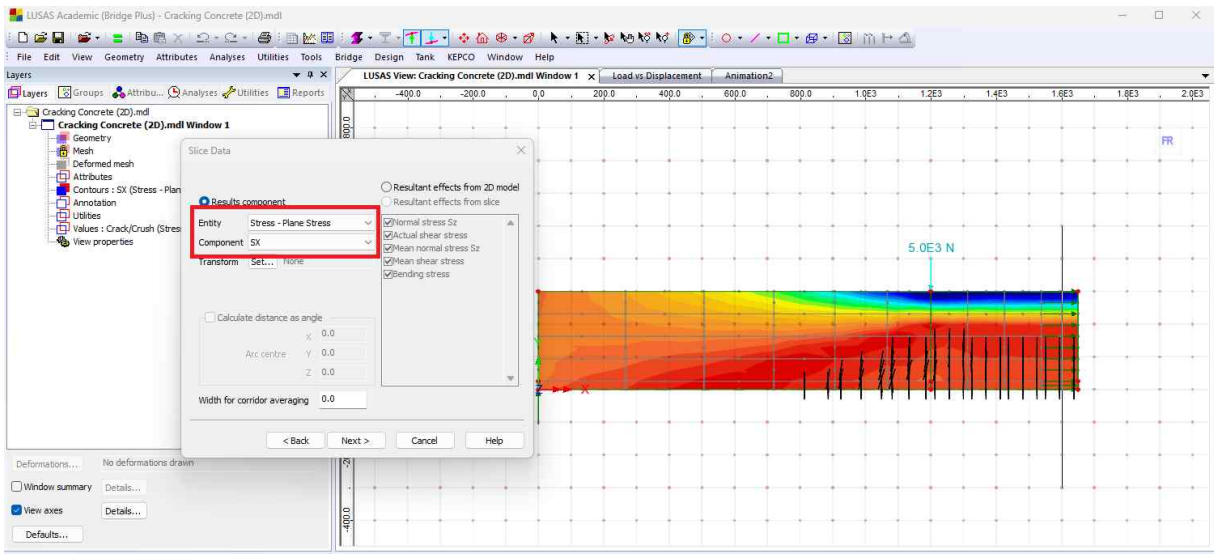
조금 전 확인한 균열 진전 동영상을 파일로 저장할 수 있습니다.

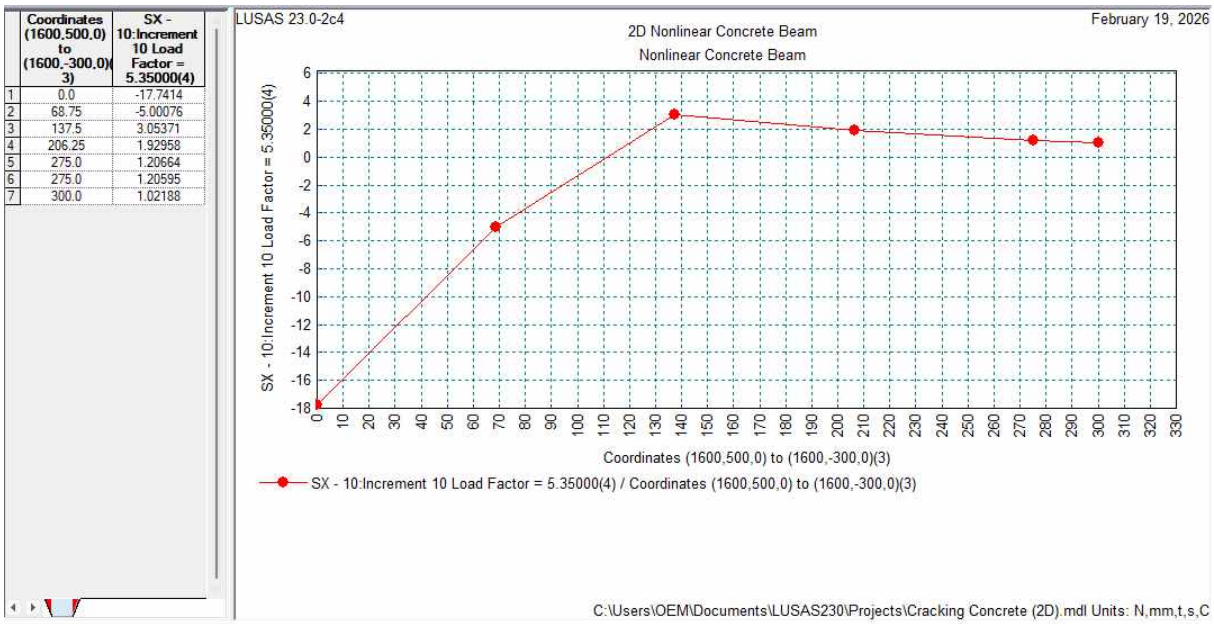
7.7. 단면력 선도

Utilities> Graph through 2D...

① 절단된 단면의 결과를 그래프로 그리기 위해 위의 메뉴를 실행하고 Grid size를 **100**으로 설정합니다.

② 화면상에서 1600mm 떨어진 곳을 Slicing 하고 **Stress, SX**를 선택합니다.

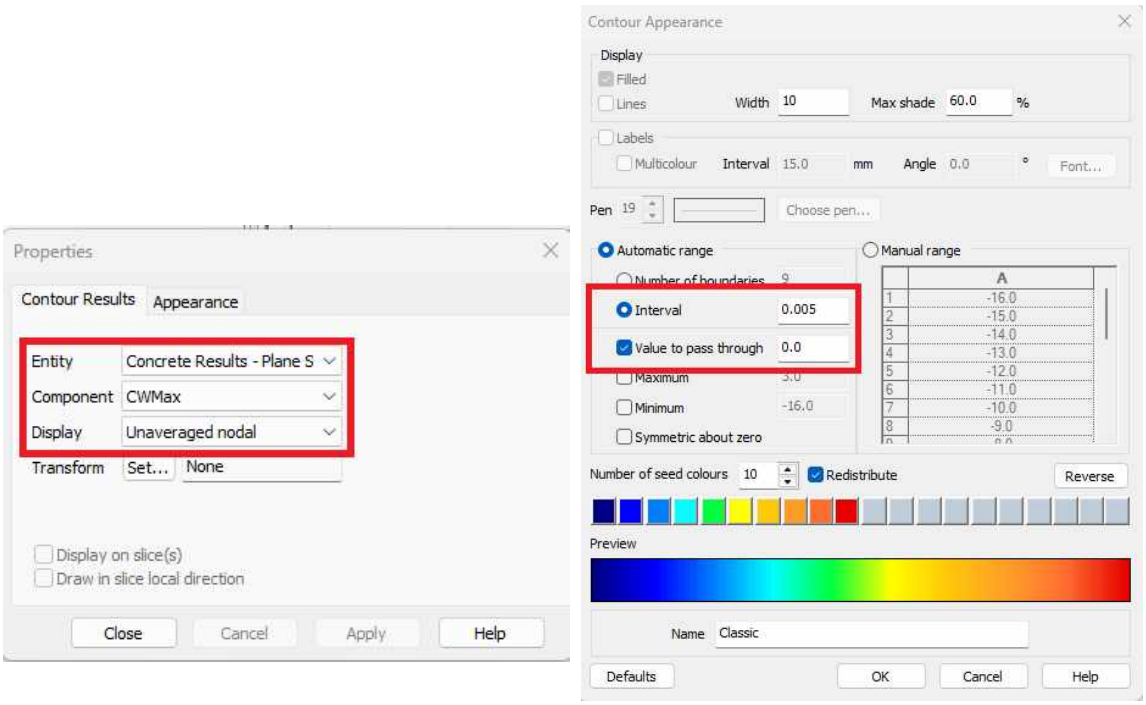


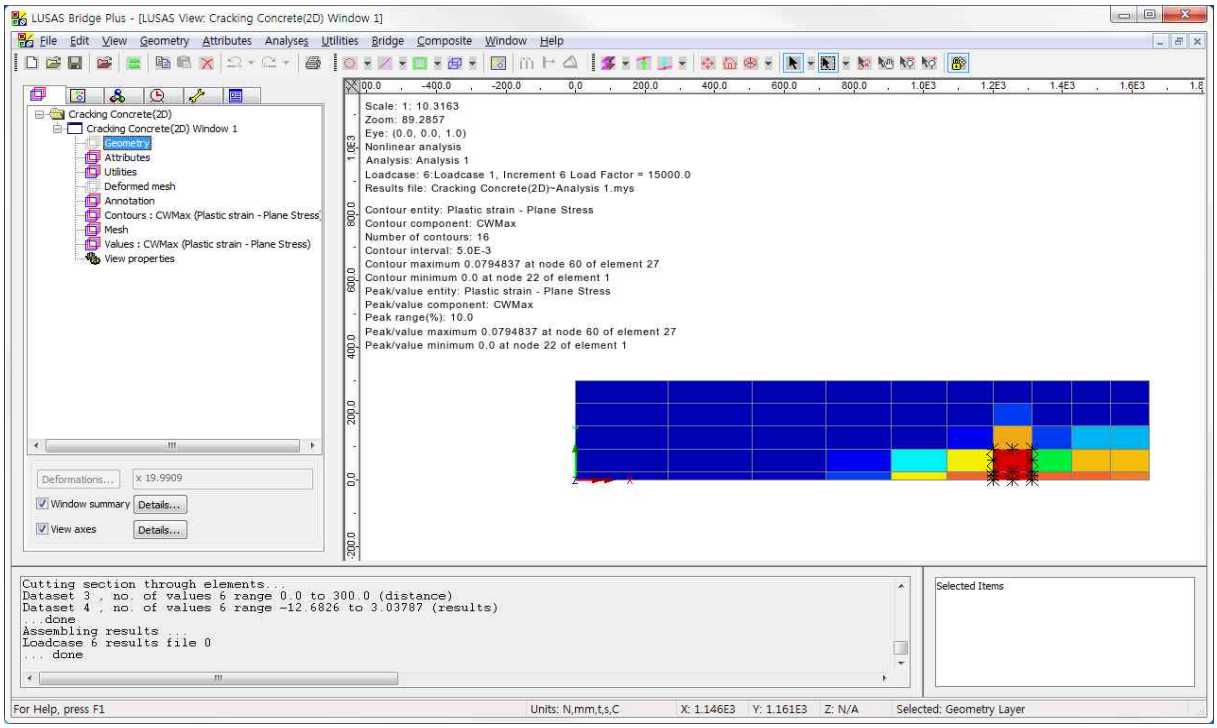
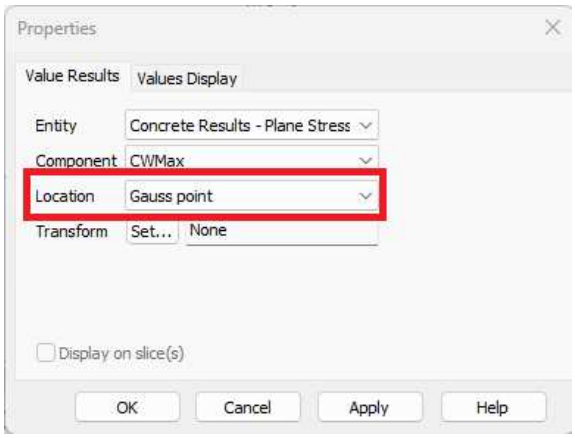
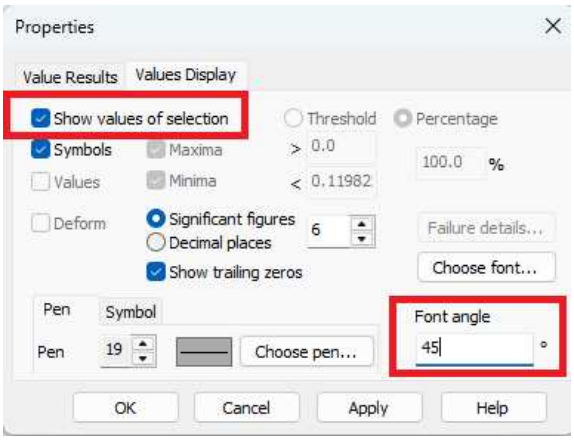
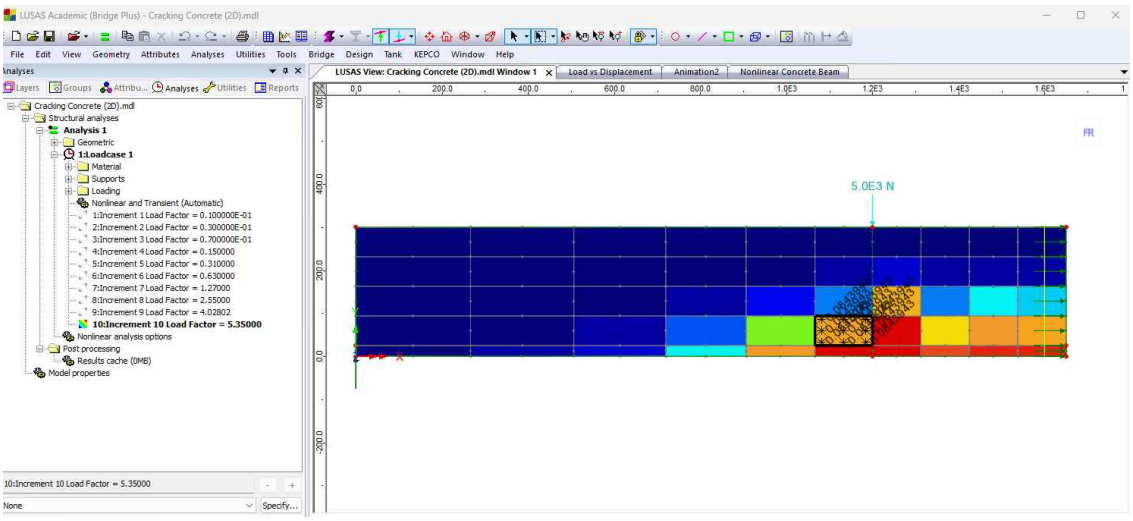


7.8. 균열폭 콘타 출력

Smoothed Multi Crack Concrete Model의 사용으로 계산된 균열폭 결과를 Contour로 출력할 수 있습니다.

- **Treeview> Layer** 탭의 **Contour**를 더블 클릭하고 **Concrete REsults - Plane Stress/ CWMax**를 선택합니다.
- **Appearance** 탭에서 **Classic** 옵션의 **Set** 버튼을 눌러 **'Maximum','Minimum'**선택을 해제하고 **Interval**은 **0.005**를 입력합니다.





① Treeview>Value 레이러를 더블클릭하여'Value Results'탭에서'At Gauss points'를 선택하면 가우스 포인트에서의 결과를 확인할 수 있습니다. Value Display 탭에서 Font angle을 45도로 입력합니다.