



IMDPlus 를 이용한 장대레일의 속도별 이동하중 해석

2026. 9. 02.

AGENDA

I.	해석 모델링	2
1.	개요	
2.	모델 생성	
3.	모델 수정	
4.	사용자 정의	
II.	해석 수행 및 결과 검토	10
5.	해석 수행	

해석 모델링

1. 개요

LUSAS RTA 모듈로 장대레일 축력해석 모델을 구성하면, 열차를 일정 간격으로 이동시키면서 해석을 수행할 수 있습니다. 시간이력해석을 사용하면 열차 속도를 반영할 수 있지만, 속도마다 모델을 따로 만들어야 하고 해석 시간도 오래 걸립니다. IMDPlus 기능을 사용하면 고유치해석과 차량 하중 데이터 정의만으로 여러 속도에 대한 이동하중해석을 하나의 모델에서 수행하고, 그 결과를 함께 검토할 수 있습니다. 모델링 시에는 다음과 같은 가정을 적용합니다.

1. 열차의 이동을 정의하는 이동경로(line)의 길이가 모두 동일해야 합니다.
2. 열차는 모든 패스에서 해석 내 동일한 속도로 이동해야 합니다.

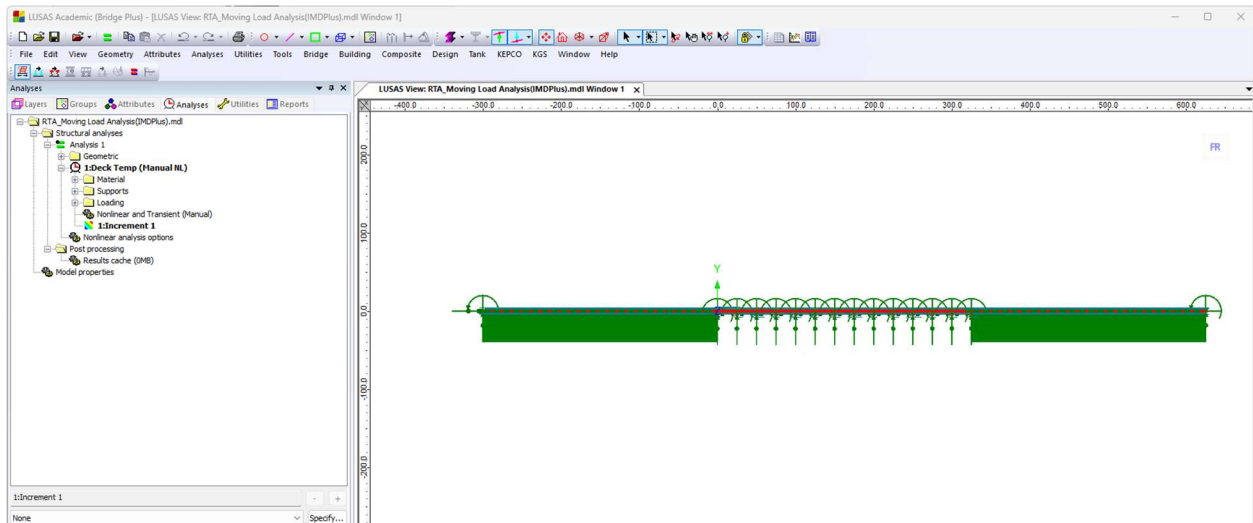
따라서 두 개의 트랙을 가진 교량을 해석하면서 두 열차가 서로 반대 방향으로, 매번 동일한 위치에서 출발하도록 설정하면, 두 열차는 항상 교량의 정확히 같은 위치에서 처음 만나게 됩니다. 열차들이 교량 위의 서로 다른 위치에서 만나도록 해석하기 위해서는, 열차 패스를 조정해야 합니다.

여기서는 두 개의 트랙을 지지하는 접속 성토 300m 를 포함한 325m 길이의 화실고가교 (Rail Track Interaction analysis model) 예제를 통해, IMDPlus 로 다중 열차 이동하중 해석을 수행하는 방법을 다룹니다.

2. 모델 생성

Bridge> Rail Track Analysis> Build UIC774-3 Model...

화실 고가교 입력 스프레드 시트로부터 온도하중만 고려한 UIC774-3 Rail Track Analysis 모델을 생성합니다.



3. 모델 수정

IMDPlus 를 이용해 이동하중 해석을 수행하기 위한 모델로 수정합니다. 다음의 내용을 수정해야 하는데, 첨부한 **ConvertToIMDPlusMDL.lvb** 스크립트를 이용하여 변경할 수 있습니다. 스크립트를 실행하면 다음의 내용을 수정합니다.

온도하중 제거

모델에 적용된 온도하중을 찾아 제거합니다.

Nonlinear Control 제거

'1: deck Temp (Manual NL)' 로드케이스에 적용된 **Nonlinear control** 을 제거합니다.

Loadcase 이름 변경

'1: deck Temp (Manual NL)' 로드케이스의 이름을 '**Loadcase 1**'로 변경합니다.

Eigenvalue Control 추가

Loadcase 1 에 **Eigenvalue Control** 을 추가합니다.

Eigenvalue

Solution

Frequency

☐ Include modal damping

Set damping...

Eigenvalues required

Range

Range specified as

☒ Frequency
☐ Eigenvalue
☐ Buckling load

Eigenvector normalisation

☐ Unity
☒ Mass
☐ Stiffness

☐ Convert assigned loading to mass

	Value
Minimum frequency	0.0
Maximum frequency	50.0
Number of eigenvalues	0

Type of eigensolver

Default

☒ Sturm sequence check for missing eigenvalues

Advanced...

OK

Cancel

Help

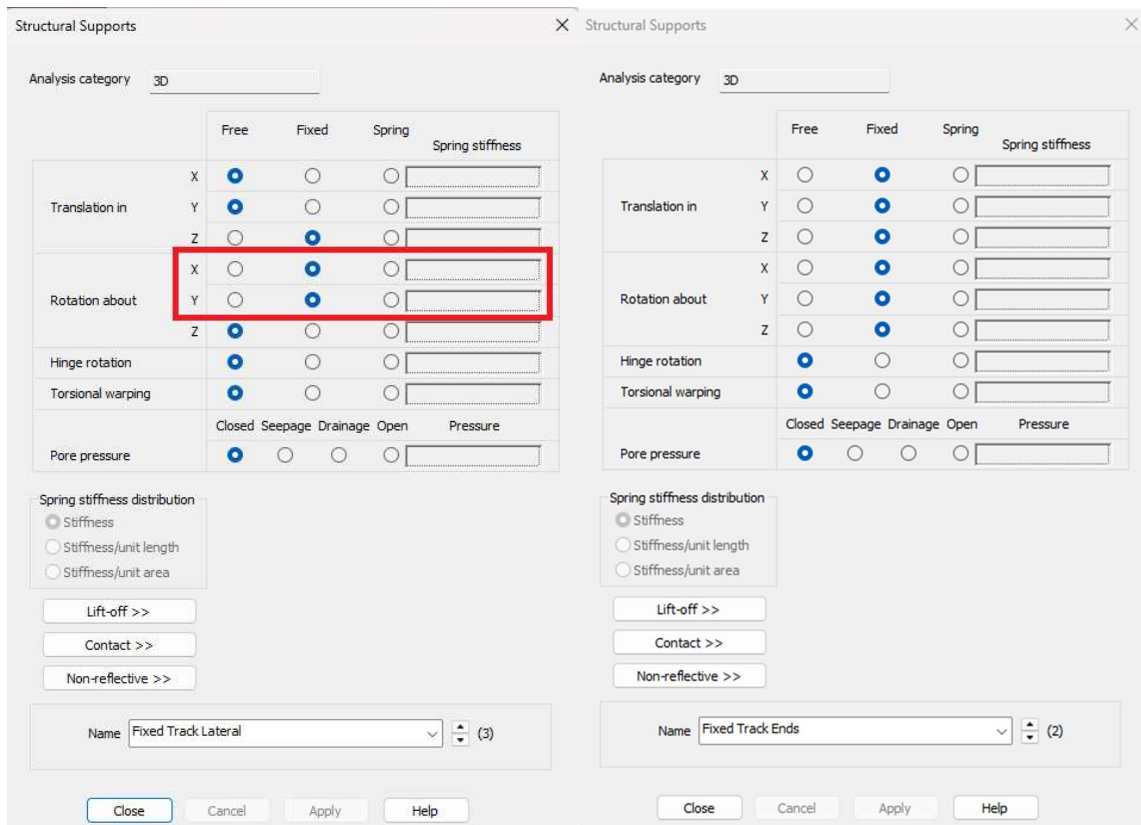
Material Properties

장대레일 모델 구성 시 실제 베어링 위치를 정의하기 위해 사용된 Rigid Offset 은 무한강성을 구현하기 위해 임의로 큰 단면과 강성값을 정의하였습니다. IMDPlus 해석에서 Rigid Offset 의 질량을 0 으로 입력하고, 각 부재들의 질량과 강성을 정확히 입력해야 이 부재들이 동적 응답을 지배하는 것을 방지할 수 있습니다.

이미 정의되어있는 레일 재료특성에 정확한 질량값을 입력합니다. 교량 상부구조(예제에서는 콘크리트)와 Rigid Offset 은 종류에따라 다른 재료특성값을 정의하여 사용자가 적용할 수 있도록 합니다.

Supports

‘Fixed Track Lateral’ 과 ‘Fixed Track Ends’ 에 추가 구속을 정의합니다.



Joint Usage Type

모델에 정의된 모든 도상 조인트의 Usage Type 을 'Rail Track'에서 'Normal'로 변경합니다.

도상 스프링의 정의 및 적용

Loaded 도상 스프링을 새로 정의합니다. 기존의 Unloaded 도상 스프링을 정의한 Loaded 도상 스프링으로 교체합니다.

Search Area 정의 및 적용

IMDPlus 이동하중에 사용할 Search Area 를 정의하고 지정합니다.

단위하중 정의

열차의 이동하중에 사용할 단위하중을 정의합니다.

Point

Analysis category 3D

☒ Arbitrary
☐ Grid x 1 y 1

Untransformed load direction
☐ X ☒ Y
☐ Z ☐ Surface normal
☐ XYZ global
☐ XYZ transformable

Projection vector
☒ Project in load direction
 X component 0.0
 Y component 1.0
 Z component 0.0

	X	Y	Z	Load
1	0.0	0.0	0.0	-1.0
2				

Name Unit Axle Load (2)

Close Cancel Apply Help

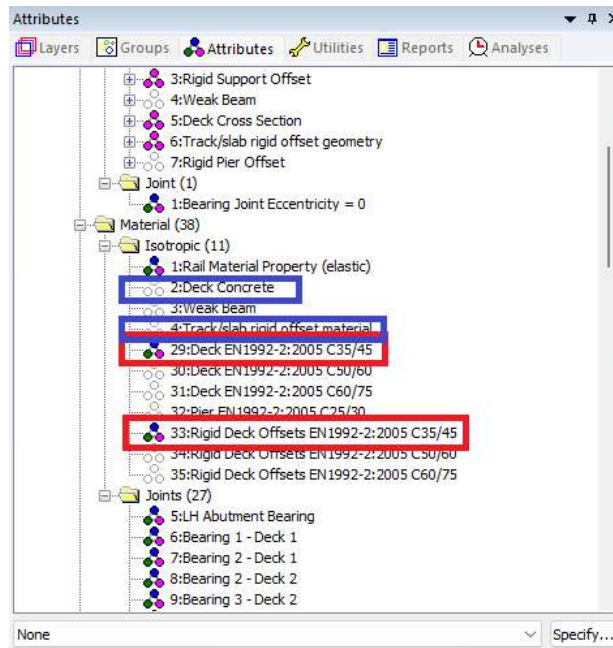
4. 사용자 정의

재료특성 적용

스크립트로 생성된 콘크리트 데크와 Rigid Offset 재료특성 데이터셋을 각 부재에 적용합니다.

‘Deck Concrete’ 재료특성 데이터 셋 마우스 우측을 클릭하고 **‘Select Assignment’**를 클릭합니다. 해당 데이터셋이 적용된 부재가 선택되면, **‘Deck EN1992-2:2005 C35/45’**를 선택된 부재에 할당합니다.

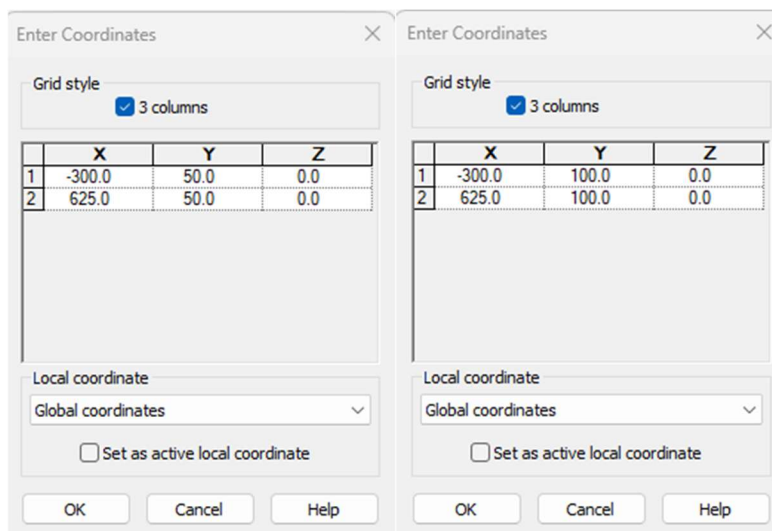
‘Track/slab rigid offset material’ 재료특성 데이터 셋 마우스 우측을 클릭하고 **‘Select Assignment’**를 클릭합니다. 해당 데이터셋이 적용된 부재가 선택되면, **‘Rigid Deck Offsets EN1992-2:2005 C35/45’**를 선택된 부재에 할당합니다.



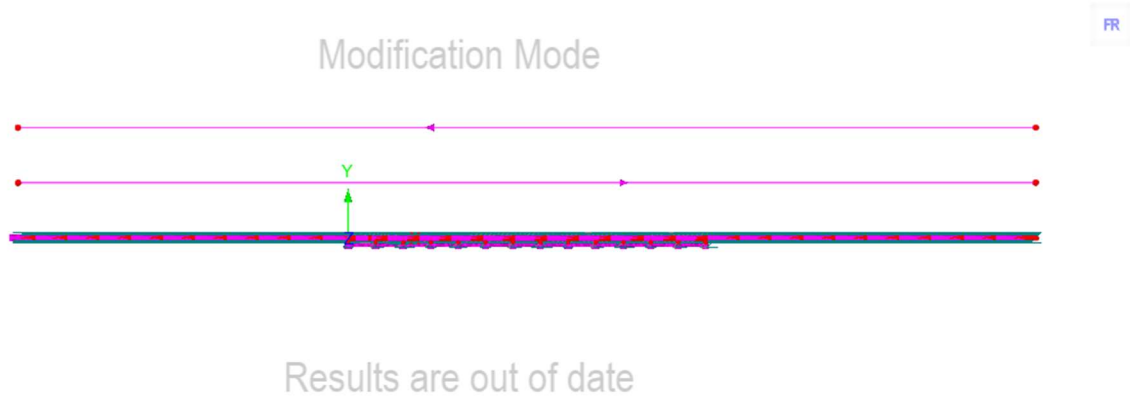
차량 이동 경로 정의

열차의 이동경로로 사용할 Path 를 정의합니다. 이때, Line 의 방향이 열차 이동 방향과 일치하도록 합니다.

모델러 상단의 New Line 아이콘을 클릭하고, Line 의 시점과 종점에 해당하는 Point 좌표를 입력합니다. 이때, Rail 과 Deck 상부구조 Line 과 구별하기 위해 Y 축 방향으로 충분히 떨어진 위치에 Path 를 정의합니다.



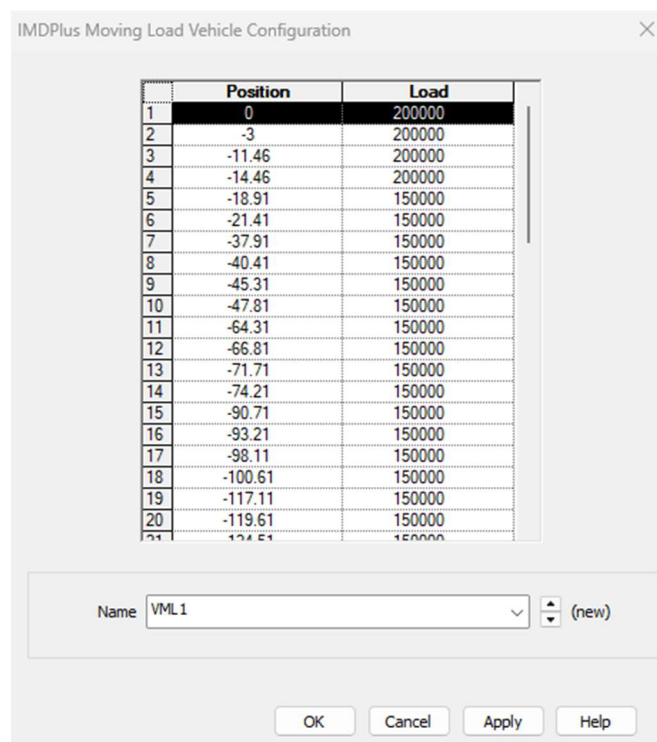
아래 이미지에서 모델 위쪽의 첫 번째 Line 은 Track 1(왼쪽에서 오른쪽으로)을 통과하는 열차의 패스이고, 두 번째 Line 은 트랙 2(오른쪽에서 왼쪽으로)를 통과하는 열차의 패스입니다.



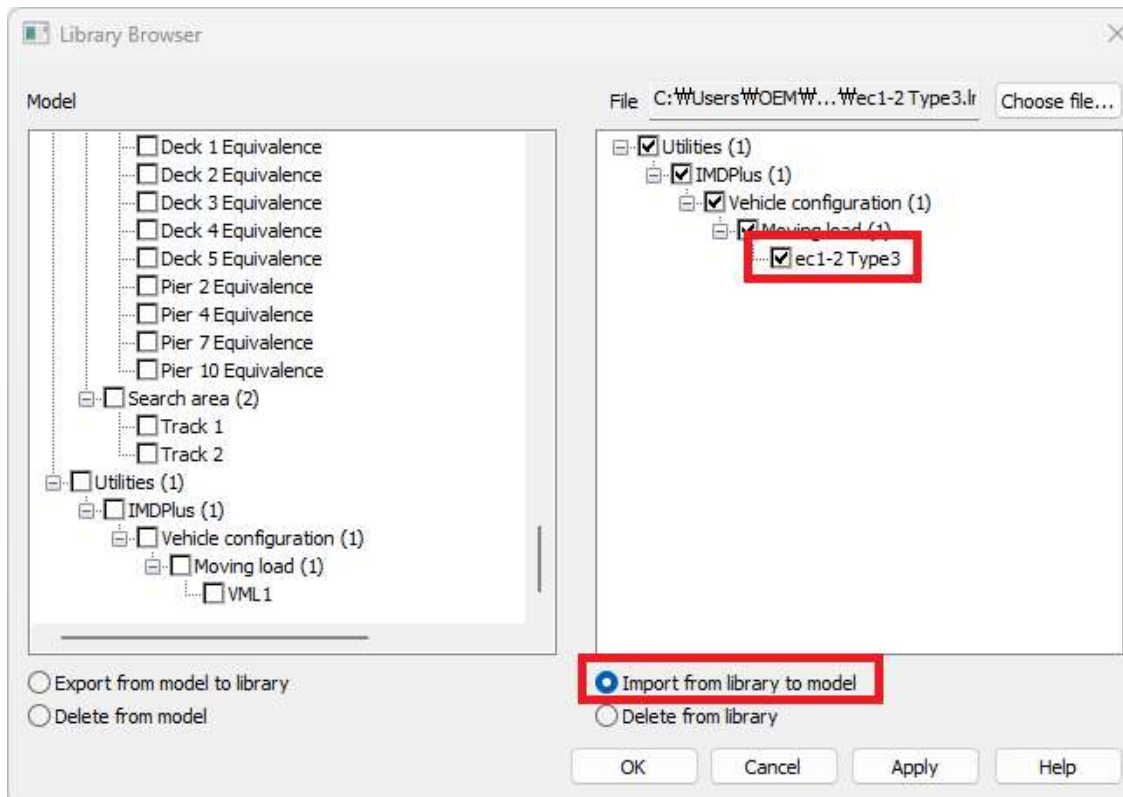
열차 하중 정의

Analyses> IMDPlus> Moving Load> Vehicle Configuration...

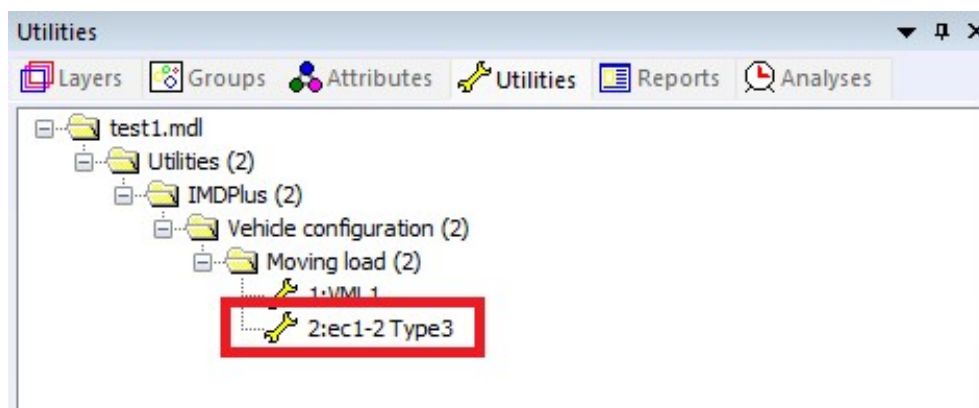
위의 메뉴를 실행하고, 제공된 **ec1-2 Type3.xlsx** 파일의 열차 바퀴 위치와 하중을 복사해서 붙여 넣습니다.



또는, File> Import/Export Model Data... 메뉴를 실행하고, 아래와 같이 **Import from library to model** 을 선택하고, Moving Load 항목에서 **ec1-2 Type2** 을 선택합니다. OK 버튼을 누르면 데이터를 현재 모델에 불러들여 사용할 수 있습니다.



모델 데이터는 Treeview> Utilities 탭에 저장됩니다.



모델 저장

위에서 생성한 모델은 기본 모델로 저장하고, Track 1 과 Track2 에 대한 이동하중을 위해 이 모델을 다른이름으로 저장합니다.

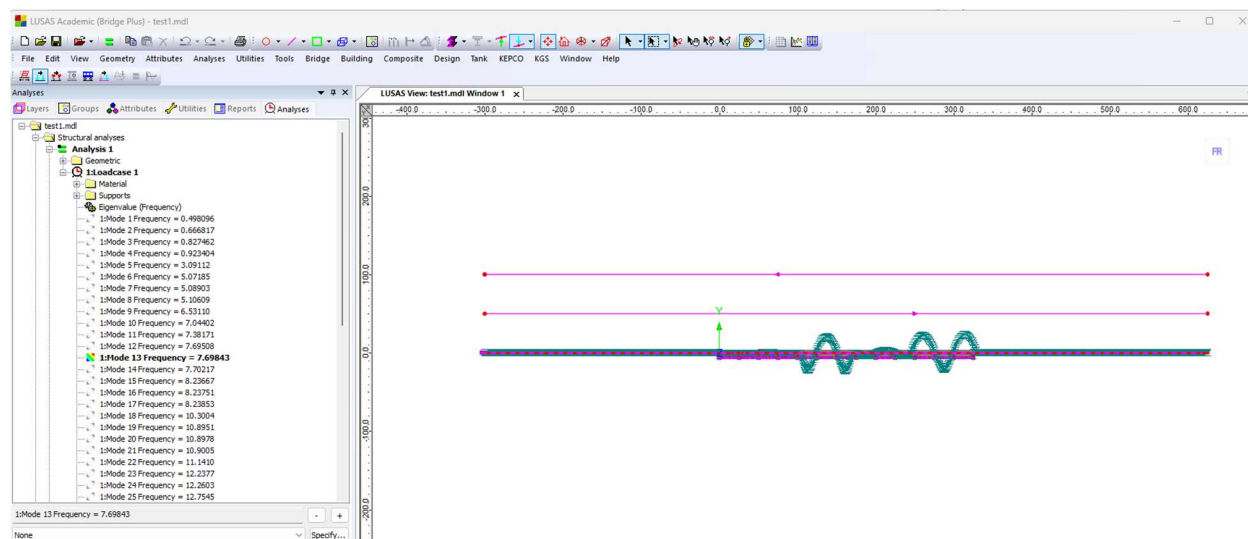
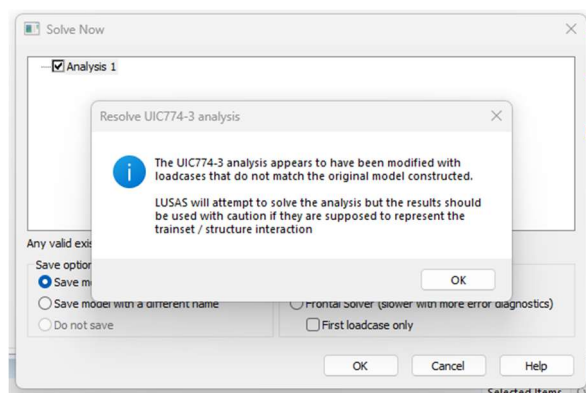
해석 수행 및 결과 검토

5. 해석 수행

Eigenvalue Analysis

베이스 모델을 복사해 "Hwashil_TrainOnTrack1At200kph.mdl"로 이름을 지정합니다. 모델을 저장하고 고유치 해석을 수행합니다.

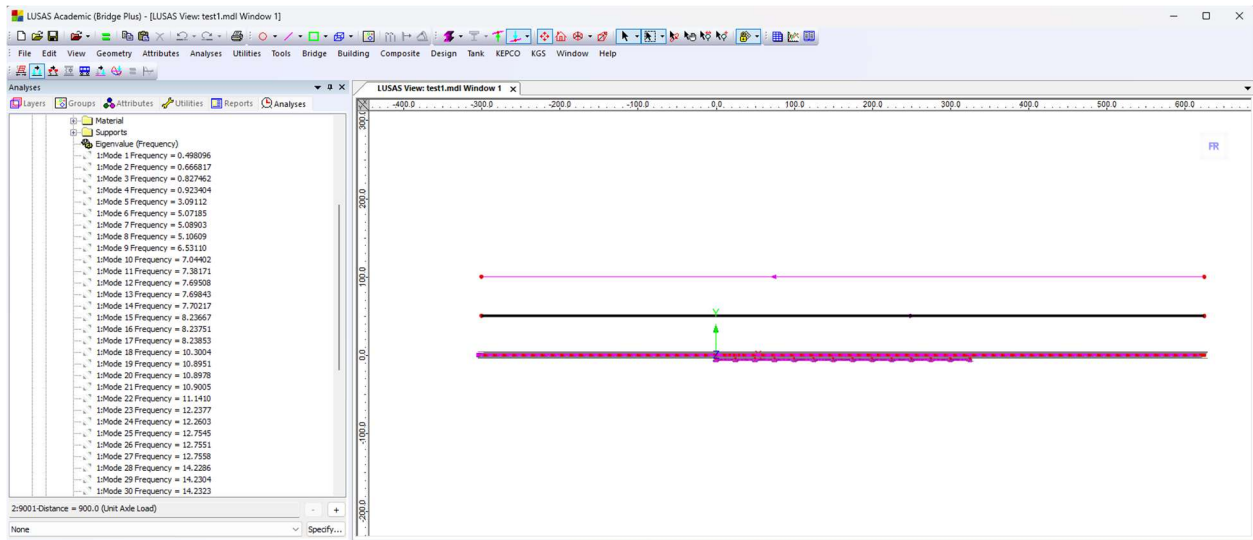
아래와 같은 메시지가 나타나면, OK 버튼을 클릭하고 해석을 계속 진행합니다.



Track 1

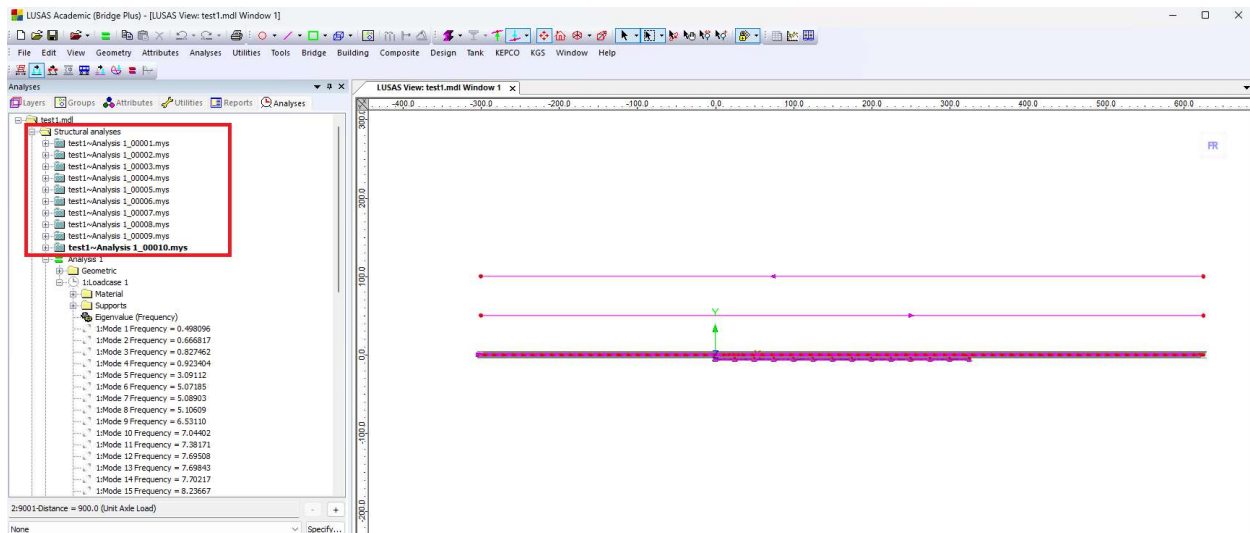
Analyses> IMDPlus> Moving Load> Moving Load Generation...

베이스 모델을 복사해 "Hwashil_TrainOnTrack1At200kph.mdl"로 이름을 지정합니다. Track 1의 이동하중을 생성하기 위해 아래 그림의 Path를 선택하고 위의 메뉴를 실행합니다.

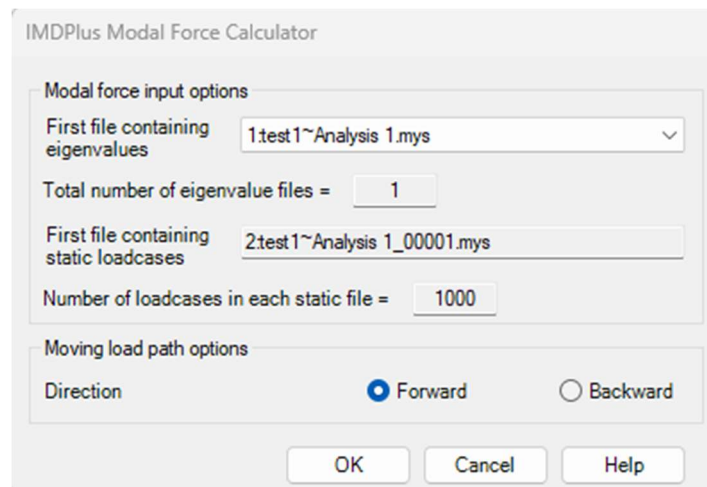


IMDPlus Moving Load Generation 대화창에서 **Moving load dataset** 은 'Unit Axle Load'를, **Search area ID** 는 'Track 1'을 선택합니다. **Incremental distance for moving load along path** 는 0.1 을 입력합니다. **Number of loadcases per analysis** 는 1000 을 입력합니다.

OK 버튼을 클릭하면 IMDPlus 가 Track1 을 따라 통과하는 **Unit Axle Load** 의 벡터 정의를 담은 데이터체크 해석 10 개를 생성합니다.



이제 모달 포스를 계산합니다. **Analyses> IMDPlus> Moving Load> Modal Force Calculator...** 메뉴를 실행합니다. 아래 그림과 같이 IMDPlus Modal Force Calculator 대화상자에서 하중 이동 방향을 정의하고 OK 버튼을 클릭합니다. 계산이 완료되면 Track 1 전체를 통과하는 단위 축에 대한 모달 포스 이력이 생성됩니다.



다음은 이동하중 해석을 수행합니다. **Analyses> IMDPlus> Moving Load>Moving Load Analysis...** 메뉴를 실행하고, IMDPlus Moving Load Analysis Control 대화창에 아래와 같이 입력합니다. **Vehicle Configuration** 옵션을 체크하고, 열차하중 데이터를 선택합니다. **Minimum, Maximum speed** 를 55.555556 m/s 를 입력하고, **Quiet time after passage of load** 는 5 를 **Solution time step** 에는 2.0e-3 을 입력하빈다. 이 단계에서는 다른 IMDPlus 모델과 마찬가지로 이 트랙만 단독으로 통과하는 열차에 대한 해석을 수행할 수 있습니다. 입력을 마치면 **Next** 버튼을 누릅니다.

IMDPlus Moving Load Analysis Control

Moving load input

☒ Vehicle configuration (Composite axle) 1.ec1-2 Type3

Mode/damping control

Included modes: All Modify...

☒ Default damping 5.0 % Modify...

Total participating mass

X-Direction	97.90	%
Y-Direction	7.20	%
Z-Direction	0.00	%

Solution control

Advanced solution options Modify...

Minimum speed	55.555556
Maximum speed	55.555556
Speed increment	0

Quiet time after passage of load	5.0
☐ IMDPlus automatic time step (Nyquist)	
Solution time step	2.0e-3

< Back Next > Cancel Help

총 질량 참여율이 75% 이하인 방향이 있음을 안내하는 메시지가 나타나면 **Yes** 를 눌러 작업을 진행합니다.

IMDPlus Moving Load Control

 Analyses using less than 75.0% total mass participation in one or more directions are likely to give erroneous results. Do you want to continue?

Yes No

다음 화면에서, **Node** 를 선택하고, **Extent** 는 **Individual**, **Node** 는 Deck 1 의 Span1 중앙 위치인 **1380** 을 입력합니다. **DX, DY, DZ** 방향의 **변위** 를 검토합니다. **Speed to graph** 는 **55.555556** 을 선택하고, **Apply** 버튼을 누릅니다.

IMDPlus Moving Load Output Control

Node/element selection

☒ Node ☐ Element Entity: Displacement

Extent: Individual Component: DX, DY & DZ

Node: 1380

☒ Individual items
☐ Sum of chosen items
☐ Average of chosen items

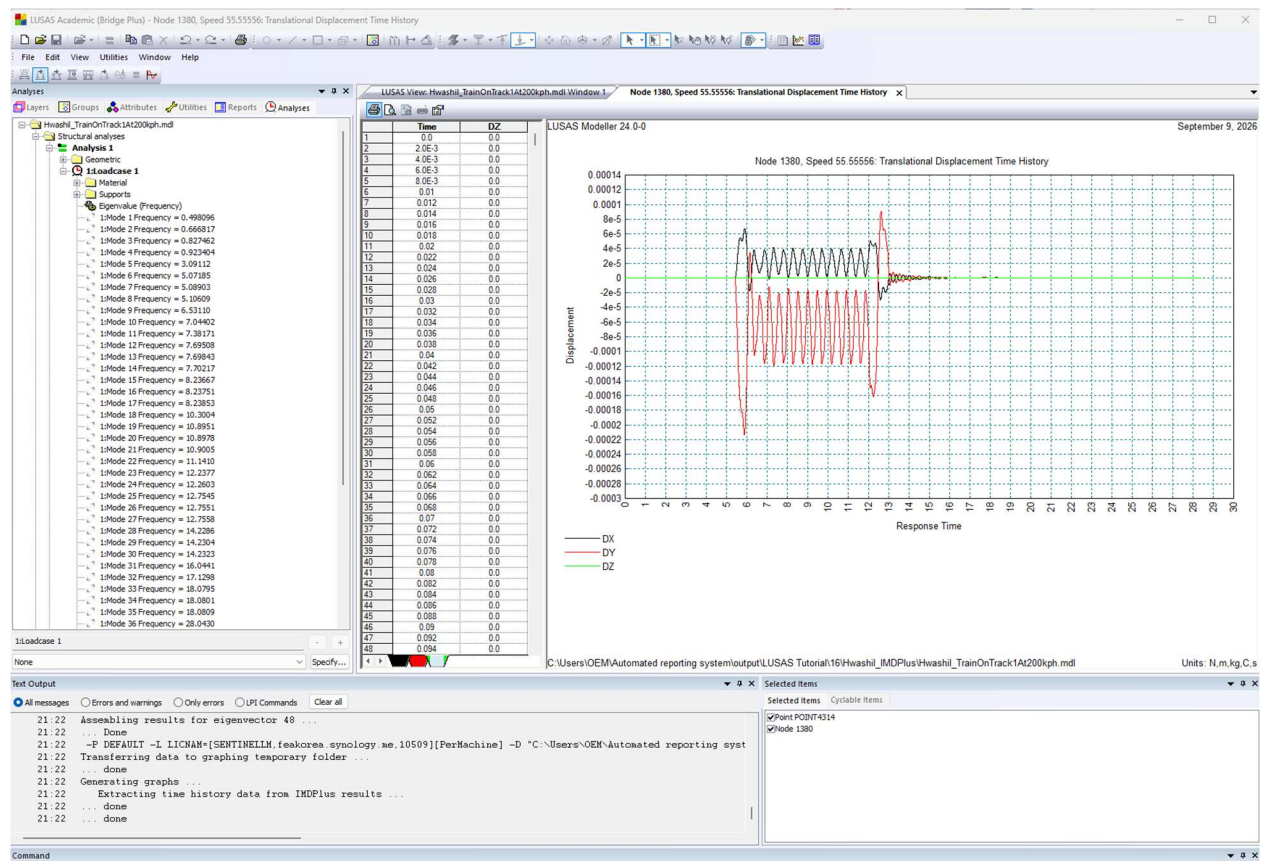
Output control

☒ Response time history
☐ Peak response summary
☐ Secondary response spectra (SRS)
☐ Modal combination/factor history
☒ Generate graphs in Modeller
☐ Generate textfile output

Speed to graph: 1:55.55556

< Back Finish Apply Cancel Help

아래와 같이 시간이력 변위 그래프가 출력됩니다.



다시 **Analyses> IMDPlus> Moving Load> Moving Load Analysis...** 메뉴 또는 모델러에서 **Analysis Control** 아이콘을 클릭해 **IMDPlus Moving Load Analysis Control** 대화상자를 실행합니다.

Node 를 선택하고, **Extent** 는 **Individual**, **Node** 는 Deck 1 의 Span1 중앙 위치인 **1380** 을 입력합니다. **AX, AY, AZ** 방향의 **가속도**를 검토합니다. **Speed to graph** 는 **55.555556** 을 선택하고, **Apply** 버튼을 누릅니다.

IMDPlus Moving Load Output Control

Node/element selection

☒ Node ☐ Element

Extent: Individual

Node: 1380

Entity: Acceleration

Component: AX, AY & AZ

☒ Individual items

☐ Sum of chosen items

☐ Average of chosen items

Output control

☒ Response time history

☐ Peak response summary

☐ Secondary response spectra (SRS)

☐ Modal combination/factor history

☒ Generate graphs in Modeller

☐ Generate textfile output

Speed to graph: 1:55.555556

< Back Finish Apply Cancel Help

아래와 같은 가속도 결과를 얻을 수 있습니다.

