

LUSAS 기술자료

철도교량의 열차 주행 중 진동해석

(Train Induced Vibration of a Bridge)

에프이에이코리아(주)

〈목 차〉

1. 개요	1
2. 모델러 시작	2
3. Geometry 구성	3
4. Eigenvalue Controls의 정의	6
5. 해석의 수행	7
6. 결과보기	9
6.2. 진동모드형상의 도시	11
7. 이동하중 해석	13
7.1. 이동하중의 경로 지정	14
7.2. 해석의 수행	15
7.2.1. 하중이동 경로의 설정	15
7.2.2. 이동하중을 위한 Modal Force History의 생성	16
7.2.3. 이동하중 Parameter의 정의	16
8. 이동하중 해석을 통한 절점과 부재의 결과출력	18
8.1. 변위와 가속도 그래프	18
8.2. 판(Shell)에 대한 단면력 결과보기	23
8.2.1. 시간에 따른 Nx 결과 확인	23
8.2.2. 시간에 따른 Mx 결과 확인	24
8.2.3. Absolute Mx 결과 확인	25
8.3. Text결과 출력	26

1. 개요

본 해석 예제는 열차가 일정 속도를 가지고 교량 위를 주행할 때 각 속도에 따른 교량의 진동 응답을 구하는데 있습니다.

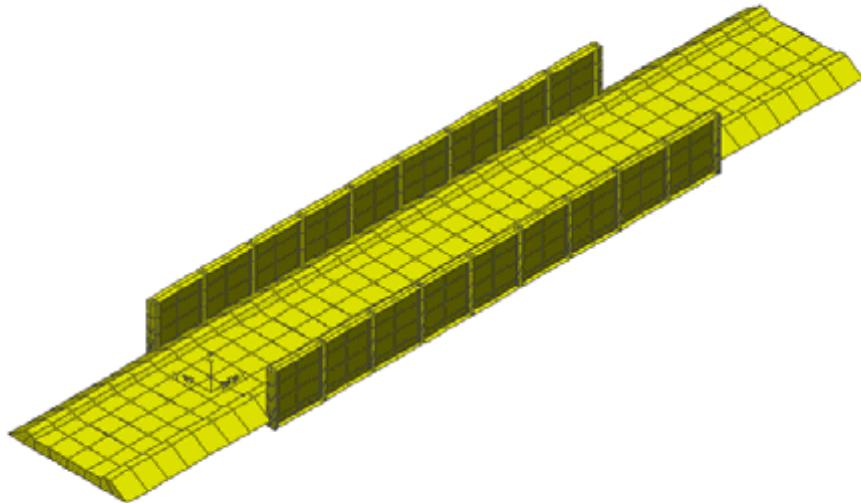


그림 1. 해석 대상 모델

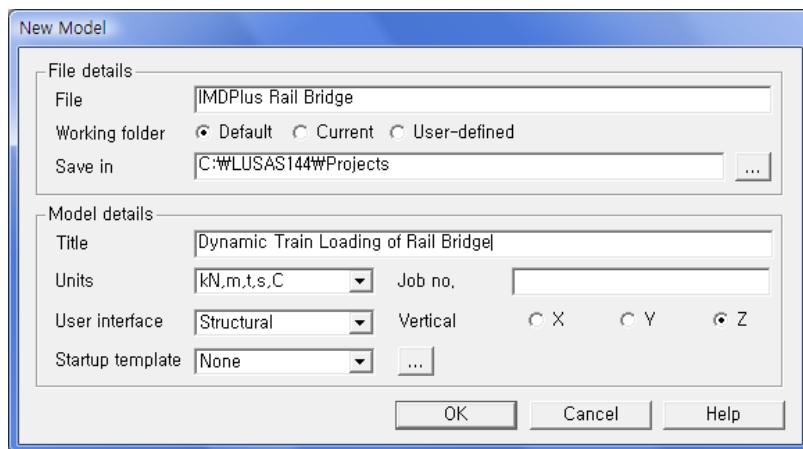
□ 해석의 목적

해석 후 아래와 같은 결과를 얻고자 합니다.

- 열차가 15m/s, 70m/s로 주행할 때의 X,Y 그리고 Z방향에 대한 최대 처짐 및 가속도
- 열차가 15m/s~70m/s로 주행할 때의 5m/s 속도간격에 대하여 수직방향에 대한 처짐과 가속도 peak
- 주 거더에 발생하는 단면력

2. 모델러 시작

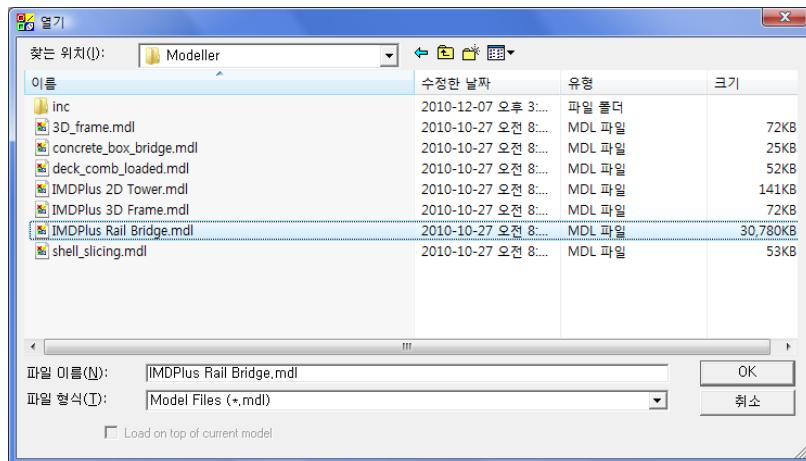
File / New...



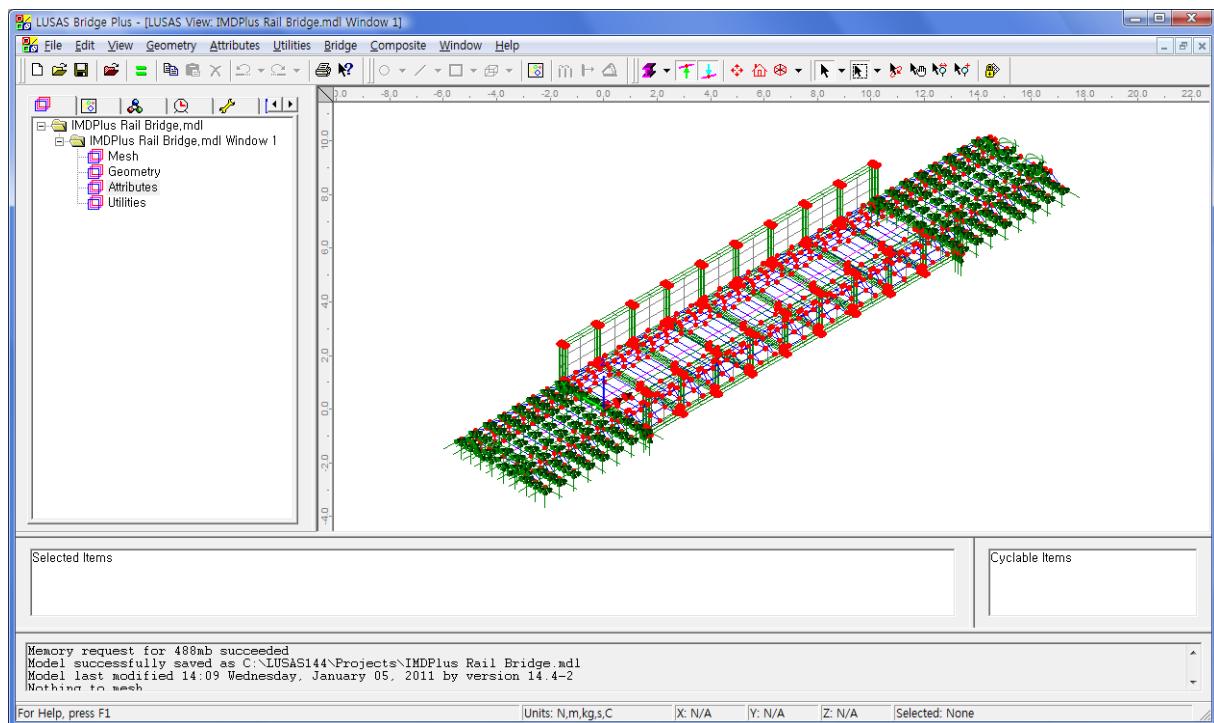
- ① File : 파일명
- ① Title : 모델에 대한 설명 (생략가능)
- ① Units : 모델링에 사용할 단위계. 내장 DB (단면제원, 재료특성 등) 사용 시 초기값 설정에 영향
- ① User Interface :
 - ① Structural - 구조해석 모델에 용이한 환경 구성
 - ① Thermal - 열해석 모델에 용이한 환경 구성
 - ① Coupled - 열해석 결과를 바탕으로 하는 구조해석, 또는 그 반대의 상호 작용 해석 환경 구성
- ① Startup template : 자주 사용하는 데이터셋 정의. 필요시 사용자 고유의 Script를 작성하여 등록 가능

3. Geometry 구성

File/ Open...



- ① 미리 정의된 모델을 이용하여 해석을 수행합니다. C:\LUSAS144\Examples\Modeller 디렉토리에서 IMDPlus Rail Bridge.mdl 파일을 실행 합니다.
- ② isometric 버튼을 눌러 3차원으로 모델을 돌려서 보면 다음과 같습니다.

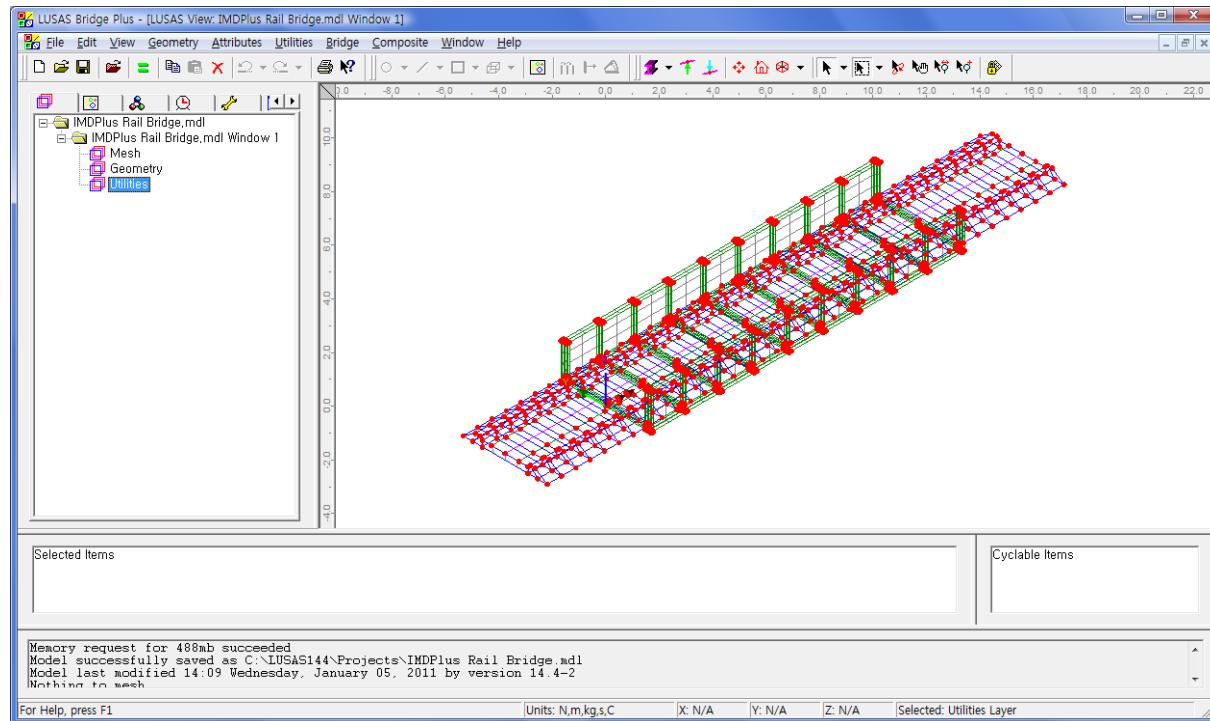


철도교량의 열차 주행중 진동해석 (Train Induced Vibration of a Bridge)

File/ Save as..

① 작업 폴더에 모델을 저장합니다.

② Treeview/ Layer 탭에서 'Attribute'를 지워 모델에 적용된 attributes 특성이 화면에 나타나지 않도록 합니다.



Tip.

본 해석에서는 정적하중에 대하여 고려하지 않으며 동적인 하중에 대해서만 고려합니다.

교량 제원을 살펴보면 경간 16.5m이며 교폭은 4.75m이며 도상과 콘크리트 sleeper위에 단선철도가 있는 교량으로 주 부재는 철재이며 Shell부재로 모델링되어있습니다. 도상과 궤도 사이는 3차원 solid 요소를 사용하였으며 도상위에 놓여있는 침목(sleeper)은 thick beam으로 모델링되어있습니다. sliding-only slideline을 이용하여 도상위의 침목(sleeper)과 Thick beam으로 모델링된 궤도를 연결하였습니다. 교량과 도상은 부재간격이 조밀하지 않게 분할되었으므로 정확한 결과를 얻을 수는 없을 것입니다. 교량의 진동모드와 하중에 대한 거동에 대하여 좀 더 정확한 결과를 얻기 위해서는 조밀한 부재분할이 요구됩니다.

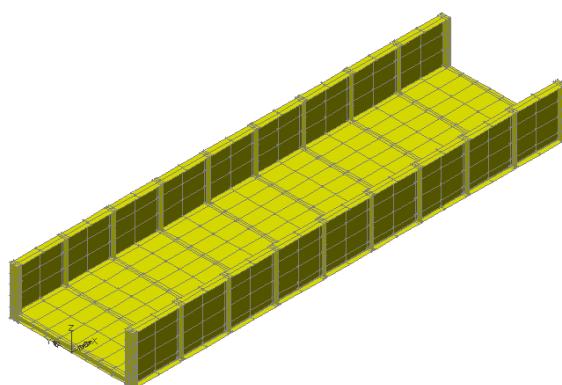


그림 2. 해석 대상 모델 - 교량(Bridge)

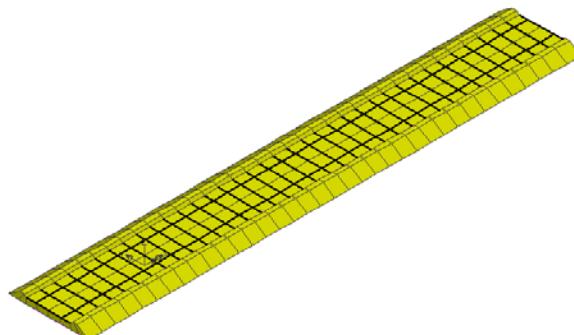


그림 3. 해석 대상 모델 - 도상(Ballast)

Discrete point 하중을 이용하여 3차원 solid 요소에 분포하중을 재하하기위하여 무게가 없는 약한 shell 부재를 보요소로 모델링된 궤도사이에 사용하였습니다. 모델링된 궤도를 보면 아래와 같습니다. (궤도사이에 있는 선(선번호 12000)은 열차가 주행하는 중심선이며 후에 사용하게 됩니다.)

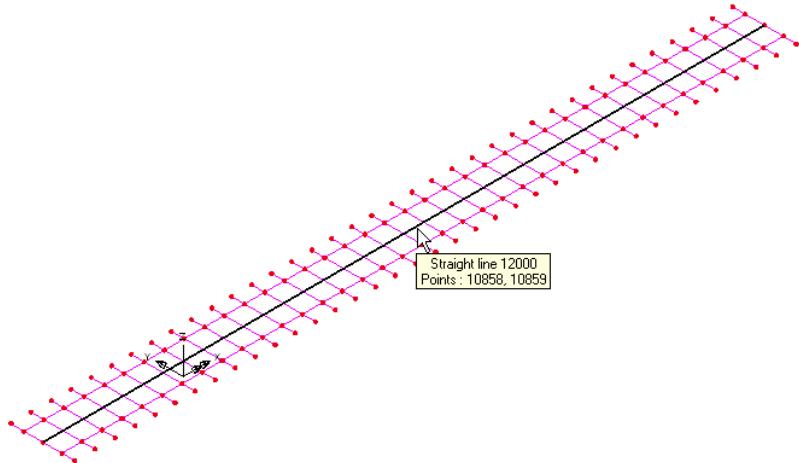
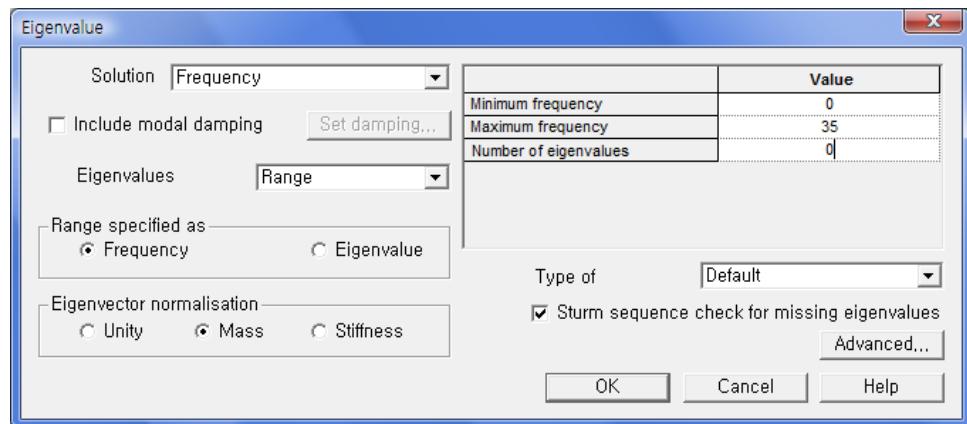


그림 5. 해석 대상 모델 - 궤도(침목+레일)

4. Eigenvalue Controls의 정의

- ① Treeview/ Loadcase탭의 loadcase1에서 마우스 우측을 클릭하고 Controls/ Eigenvalue를 선택하여 정의합니다.
- ② 아래 그림과 같이 고유진동수 범위를 정의할 수 있도록 'Range'를 선택합니다. 고유진동수 범위는 최소 주기:0, 최대 주기:35로 정의하고 모든 주기 범위내의 Eigenvalues of Number는 '0' 으로 설정합니다.



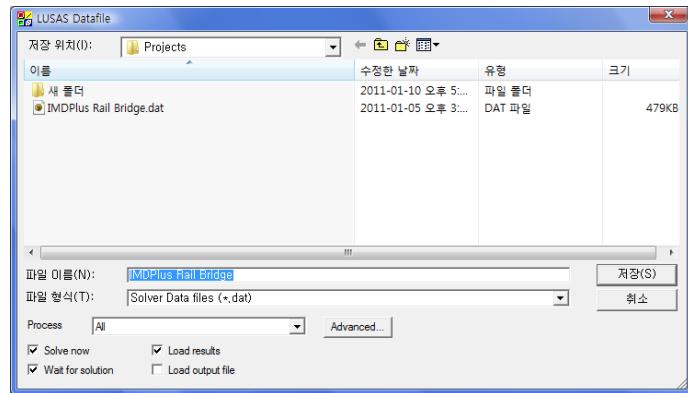
- ③ Eigenvalue normalization은 초기값인 'Mass'로 정의하였는데, 이후 IMD 해석에 Eigenvector를 사용하는 경우에는 반드시 'Mass'로 정의하여야 합니다.

5. 해석의 수행

5.1. 데이터 파일 생성

File / LUSAS Datafile...

LUSAS는 모델링 작업을 하는 모델러와 해석을 수행하는 Solver로 구성되며, 모델러 작업을 통해 솔버가 해석을 수행할 수 있도록 데이터 파일을 생성하게 됩니다. 데이터 파일의 확장자는 *.dat로 텍스트 파일입니다.



① Process :

모델링 내용 중 해석을 수행할 대상 지정

② Solve now :

데이터 파일 생성 후 바로 해석 수행

③ Wait for solution :

해석 수행하는 동안 모델러 작업 보류

④ Load results :

해석 수행 후 결과파일 바로 읽기

⑤ Load output file :

해석 수행 후 텍스트 결과 띠우기

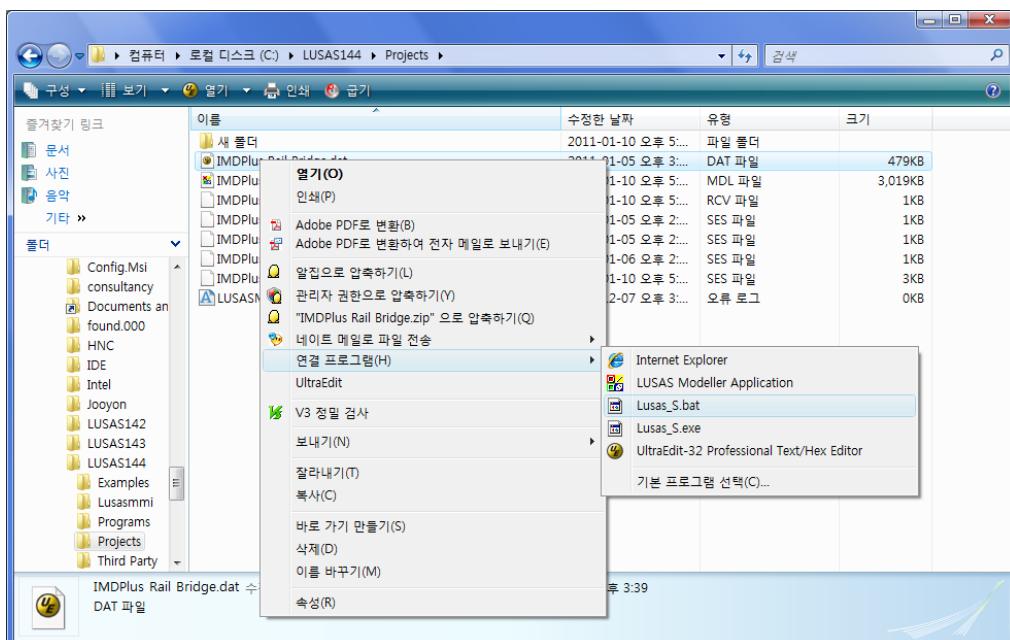
LUSAS Model의 정보로부터 data 파일을 추출하게 되며 LUSAS Solver가 이 파일을 가지고 해석을 수행합니다.

5.2. 해석의 수행

앞 단계에서 'Solve now'를 선택하였다면, 데이터 파일 생성 후 바로 해석이 수행되지만, 데이터 파일만을 생성한 경우는 아래와 같은 방법으로 해석을 수행시킬 수 있습니다.

□ 연결프로그램 설정

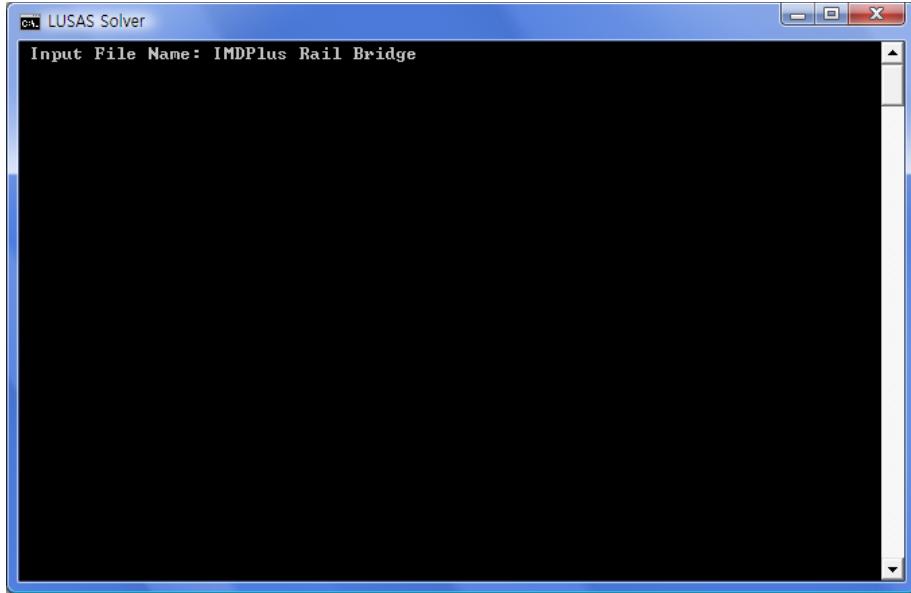
데이터 파일 선택 후 팝업에서 연결프로그램으로 Lusas_S.bat를 지정하면 해석이 수행됩니다.



철도교량의 열차 주행중 진동해석 (Train Induced Vibration of a Bridge)

□ 솔버 실행

[시작 메뉴 Windows 시작 / 프로그램 / LUSAS 14 for Windows/LUSAS Solver]에서 솔버를 실행하고, 데이터 파일명을 입력하면 해석이 수행됩니다. C:\LUSAS14\Project 폴더가 기본 작업 폴더이므로, 이 폴더가 아닌 곳에 파일이 있다면 경로명을 포함해서 입력합니다.



□ 드래그 & 드롭

C:\LUSAS14\Programs 폴더를 열고, 데이터 파일을 마우스로 끌어서 Lusas_S.bat 파일 위에 놓으면 해석이 수행됩니다.

6. 결과보기

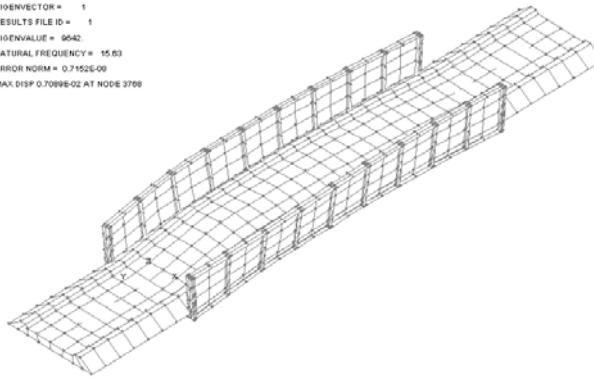
LUSAS Modeller 내부에서 해석을 수행하면 해석이 끝난 후에 현재 모델과 함께 결과가 화면에 표시되며, 처음에 결과의 'Loadcase 1'이 초기값으로 활성화됩니다.

6.1. 질량 기여도(Mass Participation Factor)의 확인

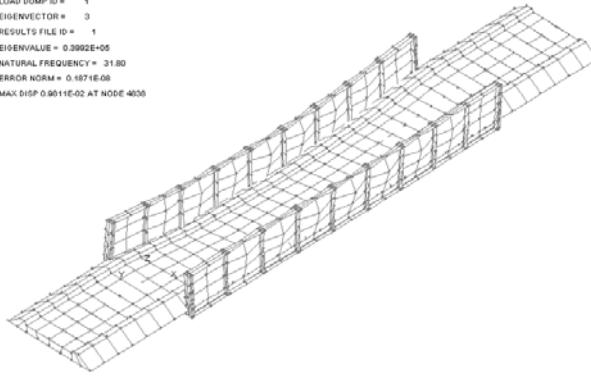
Utilities / Print Result Wizard...

IMDPlus 해석을 성공적으로 수행하기 위하여 전체 질량의 상당부분이 해석에서 기여해야 합니다. 이는 전체좌표계에 대하여 90%의 질량기여도가 확보되어야 한다는 의미입니다. 만일 90%의 질량기여도가 확보되지 못했다면 이는 구조물의 상당한 부분이 구속됨으로 인하여 진동모드에서 충분히 기여되지 못하므로 중요 진동모드가 반영되지 않을 수도 있습니다.

```
SCALE 10.1217E-01
EYE X=-577.3 Y=-577.3 Z=577.3
EIGENVALUE ANALYSIS
LOAD DUMP ID = 1
EIGENVECTOR = 1
RESULTS FILE ID = 1
EIGENVALUE = .0640.
NATURAL FREQUENCY = 15.63
ERROR NORM = 0.71525E-09
MAX DISP 0.70998E-02 AT NODE 2708
```



```
SCALE 10.1224E-01
EYE X=-577.3 Y=-577.3 Z=577.3
EIGENVALUE ANALYSIS
LOAD DUMP ID = 1
EIGENVECTOR = 3
RESULTS FILE ID = 1
EIGENVALUE = 0.3992E+05
NATURAL FREQUENCY = 31.80
ERROR NORM = 0.1871E-08
MAX DISP 0.9011E-02 AT NODE 4036
```



- ① 위의 메뉴에서 'Sum Mass Participation Factors'를 Combo Box에서 선택하고 'Finish'를 누르면 질량 기여도의 합을 볼 수 있습니다.

이 해석에서는 Z 방향에 대하여 기여도가 90%에 미치지 못함을 알 수 있습니다.

주기 0-35Hz 의 진동모드에 대하여만 고려하고자 하는 해석이기 때문에 그 이상의 값은 이 예제에서는 중요하지 않은 값입니다. 방향별 기여도를 보면 X방향에 대하여 93.8%, Y방향은 94%, Z방향에 대하여는 88.2%의 질량기여도를 보이고 있습니다.

철도교량의 열차 주행중 진동해석 (Train Induced Vibration of a Bridge)

Results File = C:\Lusas144\Projects\IMDPlus_Rail_Bridge.mys ID 0 Eigenvalues

MODE	SUM MASS X	SUM MASS Y	SUM MASS Z
1	1.11E-02	1.18E-05	0.70792
2	1.22E-02	1.34E-05	0.708029
3	1.26E-02	0.182964	0.708274
4	1.32E-02	0.182989	0.769089
5	2.90E-02	0.352634	0.770999
6	4.32E-02	0.813529	0.77196
7	1.78E-01	0.890132	0.806536
8	1.78E-01	0.892043	0.831905
9	1.88E-01	0.893014	0.832302
10	2.07E-01	0.893215	0.833539
11	8.65E-01	0.893542	0.861563
12	9.01E-01	0.938795	0.86283
13	9.01E-01	0.939785	0.86283
14	9.21E-01	0.940199	0.864118
15	9.21E-01	0.94036	0.881332
16	9.38E-01	0.940366	0.882002
17	9.38E-01	0.940637	0.882002
18	9.38E-01	0.940642	0.882003
19	9.38E-01	0.940708	0.882003

- ① 이번에는 Utilities/ Print Result wizard...에서 'Mass Participation Factors'를 Combo Box에서 선택하고 'Finish'를 선택해 각 모드의 기여도를 확인 합니다.

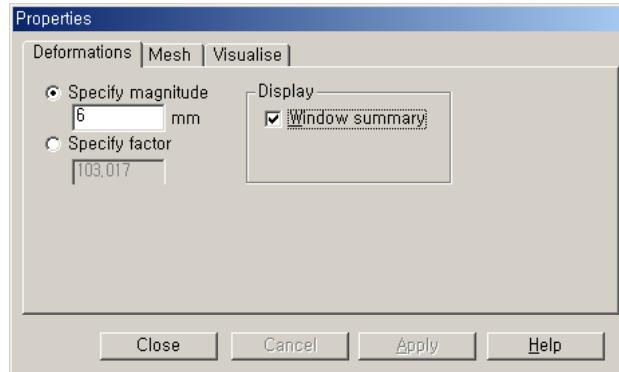
Results File = C:\Lusas144\Projects\IMDPlus_Rail_Bridge.mys ID 0 Eigenvalues

MODE	SUM MASS X	SUM MASS Y	SUM MASS Z
1	1.11E-02	1.18E-05	0.70792
2	1.10E-03	1.63E-06	1.09E-04
3	3.64E-04	0.182951	2.45E-04
4	6.30E-04	2.42E-05	6.08E-02
5	1.59E-02	1.70E-01	1.91E-03
6	1.40E-02	4.61E-01	9.61E-04
7	1.35E-01	7.66E-02	3.46E-02
8	2.98E-04	1.91E-03	2.54E-02
9	1.03E-02	9.71E-04	3.97E-04
10	1.88E-02	2.01E-04	1.24E-03
11	6.57E-01	3.27E-04	2.80E-02
12	3.64E-02	4.53E-02	1.27E-03
13	1.33E-04	9.90E-04	1.31E-08
14	1.97E-02	4.13E-04	1.29E-03
15	7.97E-07	1.62E-04	1.72E-02
16	1.74E-02	5.18E-06	6.70E-04
17	1.01E-05	2.71E-04	7.28E-07
18	3.84E-05	4.73E-06	4.79E-08
19	1.86E-05	6.67E-05	6.65E-08

결과를 보면 수직방향(Z축)에 대하여는 1차 모드가 주 진동모드이며 횡방향(Y방향)은 3, 5, 6 모드가 주 진동모드임을 알 수 있습니다.

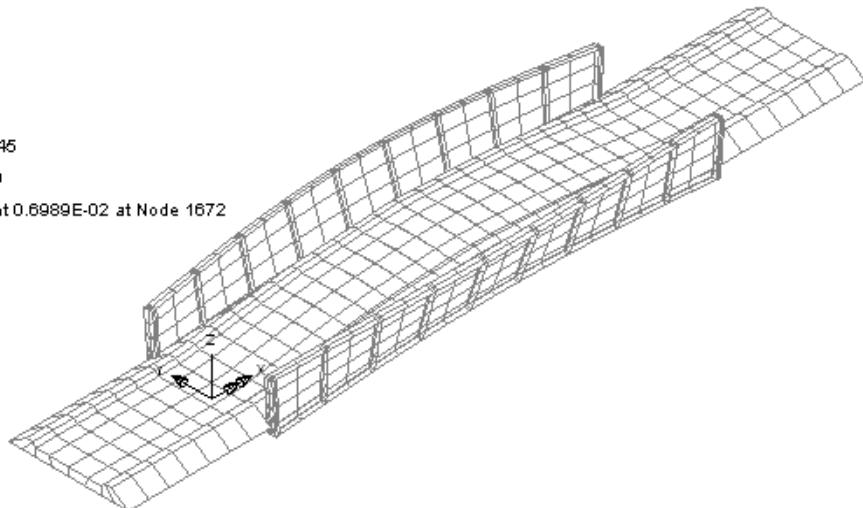
6.2. 진동모드형상의 도시

- ① Treeview / Layer 탭에서 'Mesh' 'Geometry'를 지워 화면상에 나타나지 않도록 합니다. 아무것도 없는 상태에서 그래픽 윈도우 위에서 마우스 오른쪽 버튼을 눌러 'Deformed shape'을 선택합니다. 'Windows Summary'를 선택하고 나머지 값은 초기값으로 그대로 둔 상태에서 'OK'버튼을 누릅니다.



그래픽윈도우 화면상에 1차 모드의 변형된 형상이 그려집니다. 이 모드가 수직방향에 대한 주 진동모드입니다.

```
Scale=1:146.844  
Zoom: 100.0  
Eye: (-0.57735, -0.57735, 0.57735)  
Eigenvalue Analysis  
Dump: 1  
Eigenvector: 1  
Results File: 0  
Eigenvalue: 1590.  
Natural Frequency: 6.345  
Error Norm: 0.1872E-10  
Maximum Displacement 0.6989E-02 at Node 1672
```

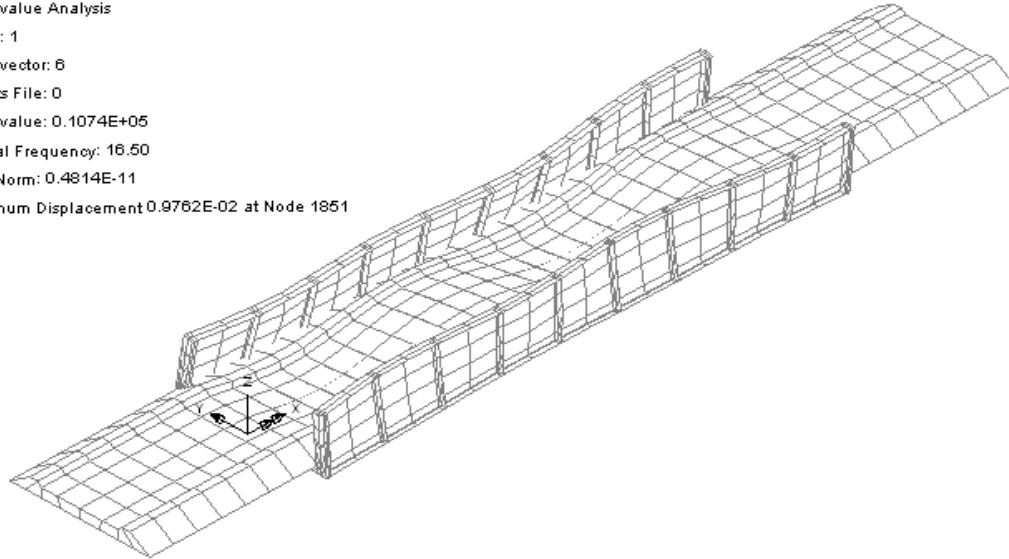


철도교량의 열차 주행중 진동해석 (Train Induced Vibration of a Bridge)

같은 방법으로 각 모드에 대한 변형형상을 확인할 수 있습니다.

- ⑦ Treeview / Loadcase 탭에서 'Eigenvalue 6'을 선택한 후 마우스 오른쪽 버튼을 눌러 "Set Active" 시킵니다. 횡방향(Y방향)에 대해 질량기여도가 가장 높은 모드입니다.

```
Scale=1:118.951
Zoom: 100.0
Eye: (-0.57735, -0.57735, 0.57735)
Eigenvalue Analysis
Dump: 1
Eigenvector: 6
Results File: 0
Eigenvalue: 0.1074E+05
Natural Frequency: 16.50
Error Norm: 0.4914E-11
Maximum Displacement 0.9762E-02 at Node 1851
```



Tip.

그래픽윈도우에서 변형형상과 함께 나타나는 'Windows Summary'에서는 고유진동수와 함께 절점 중에서 최대 처짐값과 절점번호를 함께 확인할 수 있습니다. 주의해야 할 사항은 처짐이 극히 작으며 이것은 특정한 모드에 대하여 사용된 'mass normalization 기법'에 따라 계산된 질량의 크기에 따라 결정된다는 점입니다. 그러므로 Eigenvalue 해석 후에 주기와 진동모드 형상을 보고 주요 모드를 결정할 수 있습니다.



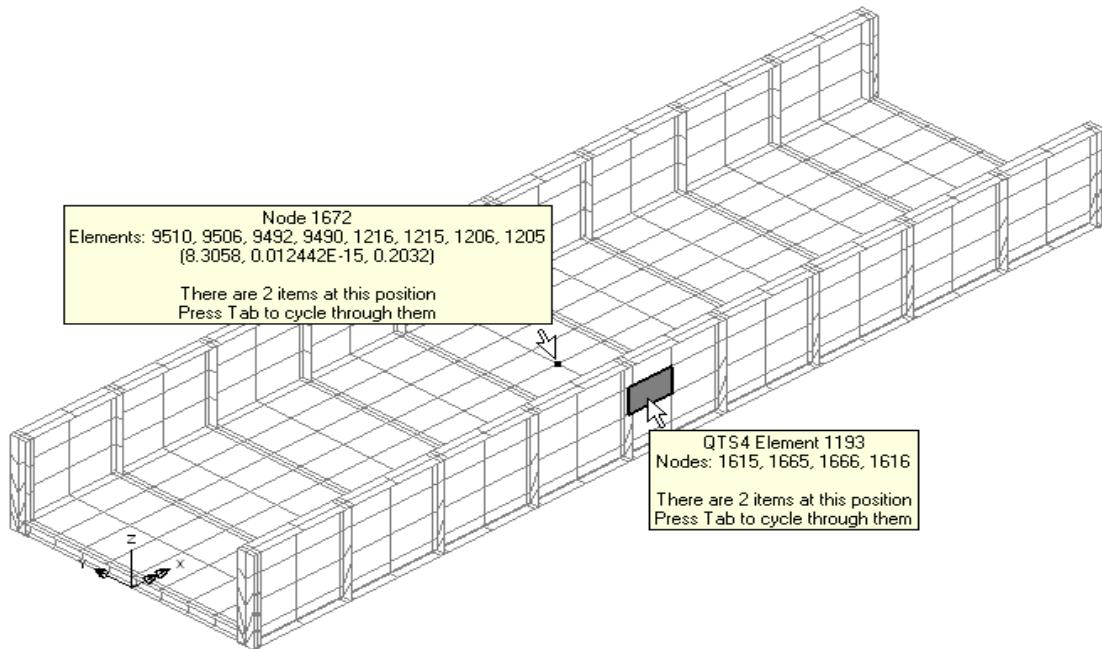
Tip.

모드형상은 방향이 반대로 바뀔 수 있는데 이는 변형형상이 진동하는 동안에 반대되는 두 방향으로 움직이기 때문입니다.

7. 이동하중 해석

IMDPlus를 이용하여 이동하중해석을 수행할 수 있습니다. 해석을 수행하기 전, 결과 확인이 필요한 구조물의 절점 및 요소의 이름을 확인해야 합니다. 절점과 요소의 이름은 해당 위치를 마우스로 클릭하면 확인할 수 있습니다.

- ① Treeview/ Layer 탭에서 Deformed mesh와 Annotation을 삭제하여 화면상에 나타나지 않도록 합니다.
- ② Treeview/ Layer 탭에서 Mesh를 화면상에 표시하도록 정의합니다.
- ③ 화면상에 교량에 대한 모델만 나타나도록 Treeview/ Group 탭의 그룹명 Bridge_Structure에서 마우스 우측을 클릭하여 'Set as only visible'을 선택합니다.



원하는 위치를 마우스로 클릭하거나 그 위치에 마우스를 가져다 대면 위의 그림과 같이 요소와 절점의 번호를 확인할 수 있습니다. 본 예제에서는 교량 데크의 중심에 있는 절점 1672번과 측면 거더의 중간부분에 위치한 요소 1193번에 대한 결과를 확인하도록 하겠습니다.

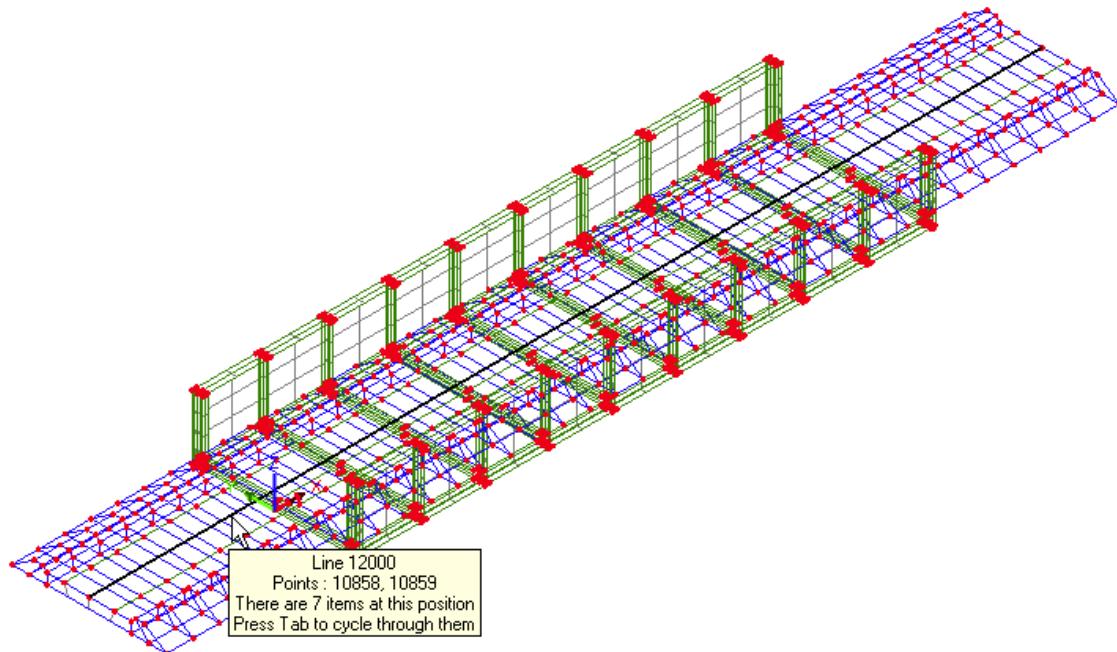
IMDPlus 해석을 수행하기 전, Discrete Point 또는 Discrete Patch하중을 이용하여 구조물 위를 통과하는 하중을 정의하여야 합니다. 본 예제에서는 Discrete Point하중을 이용한 일축(single axle) 단위하중이 미리 정의되어 있습니다. IMDPlus는 단일 축 하중에 대한 결과를 이용하여 여러 하중이 이동하는 것으로 'composite axle definition method'를 이용하여 결과를 조합 할 수 있도록 합니다. 열차는 보통 하중 간격과 폭이 일정하기 때문에 보통 이 방법을 사용합니다. 만일 하중축이 각기 다른 폭을 가지고 있는 경우에는 전체 하중이 이동하중 경로를 따라 재하되어야 합니다.

- ① 전체 모델을 화면에 표시하기 위해 Treeview/ Group 탭에서 모델파일명 IMDPlus Rail Bridge.mdl을 선택하고 마우스 우측을 클릭하여 Visible을 선택합니다.
- ② Treeview / Layer 탭에서 마우스 오른쪽 버튼을 눌러 'Geometry'를 선택하여 화면에 표시합니다.

철도교량의 열차 주행중 진동해석 (Train Induced Vibration of a Bridge)

7.1. 이동하중의 경로 지정

이동하중에 대한 해석을 위해 하중이 이동하는 경로를 정의해 주어야합니다. 이동경로는 Line으로 정의하는데 본 해석예제에서는 'Line 12000'을 하중의 이동경로로 정의합니다.



① 위의 그림과 같이 Line을 선택합니다.



Tip.

하중이 이동하는 경로는 여러 개의 선이나 곡선으로 이루어져도 상관없으나 반드시 분기가 없는 연결선이어야 한다.

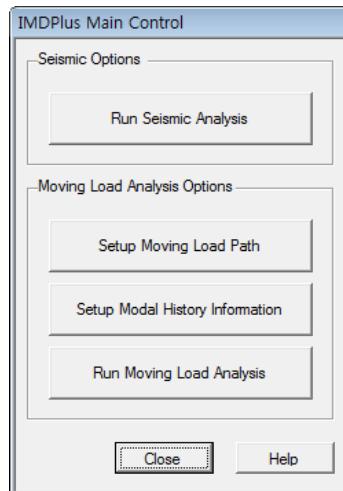
교량에 열차가 통과하는 해석을 수행하기 위하여 다음 3단계가 필요합니다.

1. 하중이 이동할 경로를 지정해 주어야 합니다.
2. IMDPlus 해석을 위하여 경로에 따른 하중을 Modal Force로 변화시켜 주어야 합니다.
3. IMDPlus를 실행하여 교량의 구조응답을 계산합니다.

7.2. 해석의 수행

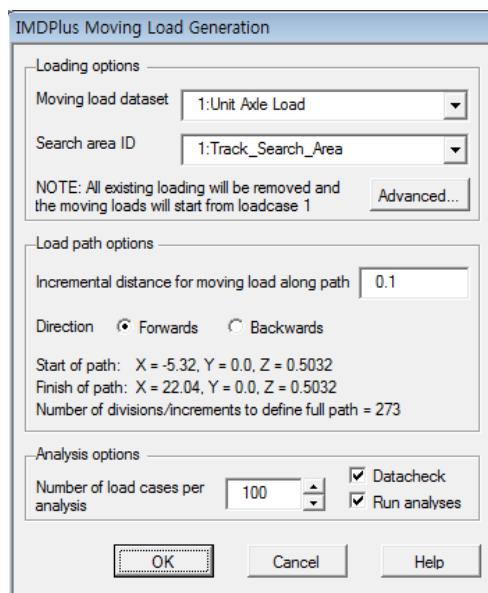
Utilities/ IMDPlus...

위의 메뉴를 실행하면 아래 그림과 같은 설정창이 나타납니다. 이동하중 해석에 필요한 세가지 옵션을 차례로 정의합니다.



7.2.1. 하중이동 경로의 설정

'Setup Moving Load Patch'



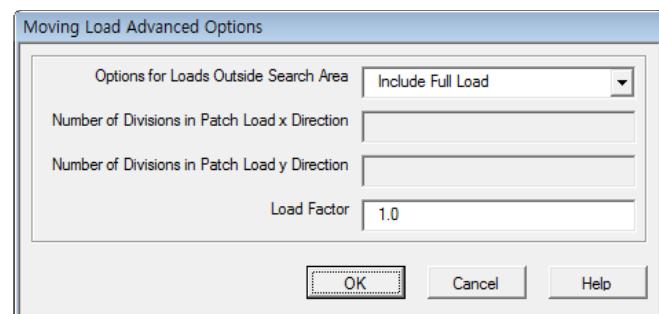
IMDPlus 설정 창에서 'Setup Moving Load Patch'를 선택합니다.

좌측의 이동하중을 정의 창에서 하중(Moving load dataset)과 하중이 부여될 구역을 정의합니다.

이 해석예제에서는 단위하중이 교량의 중심을 따라 이동하도록 설정하며 하중이 부여될 구역은 중량이 없는 shell 구역입니다.

하중이동간격은 0.1m이며 모두 273등분으로 하중경로가 나누어져 274개의 하중경우가 발생하게 되므로 3개의 모델로 나누어 해석하도록 한 개의 모델에는 100개의 하중경우를 갖도록 설정하였는데 이는 모델분할을 통하여 해석에 소요되는 전체시간을 절감하기 위함입니다.

위 창에서 'Advanced' 버튼을 눌러 Search Area로 정의된 구역 밖에 재하되는 하중에 대한 설정을 할 수 있습니다. 여기서는 모든 하중이 재하되도록 'Include Full Load'를 선택합니다.

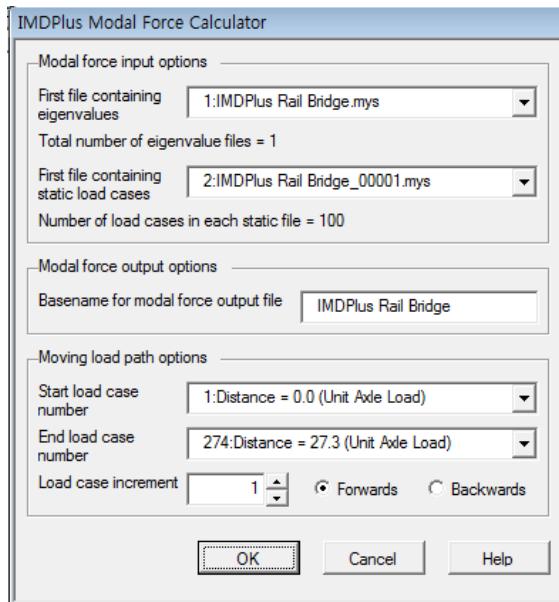


철도교량의 열차 주행중 진동해석 (Train Induced Vibration of a Bridge)

7.2.2. 이동하중을 위한 Modal Force History의 생성

'Setup Modal History Information'

이전 단계에서 구조물을 통과하는 하중의 이동경로를 설정하였습니다. 두 번째 단계에서는 Modal Force Calculator를 이용하여 각 이동경로에 대한 Modal force를 계산합니다.



IMDPlus Main Control 설정 창에서 'Setup modal History Information'을 눌러서 해석을 진행합니다.

OK 버튼을 누르면 시작합니다.

이 작업은 몇 분 정도 걸리는데 한번만 수행하면 되며 하중의 경로나 구성이 바뀌지 않을 경우를 제외하고 반복하지 않아도 됩니다.

7.2.3. 이동하중 Parameter의 정의

'Run Moving Load Analysis'

IMDPlus 해석에 대한 이동하중의 모든 기본적인 정보를 정의하였습니다. 이번 단계에서는 해석에 고려하는 모드와 댐핑, 해석에 사용될 속도를 정의합니다.

IMDPlus Main Control 설정 창에서 'Run Moving Load Analysis'를 눌러서 해석을 진행합니다.

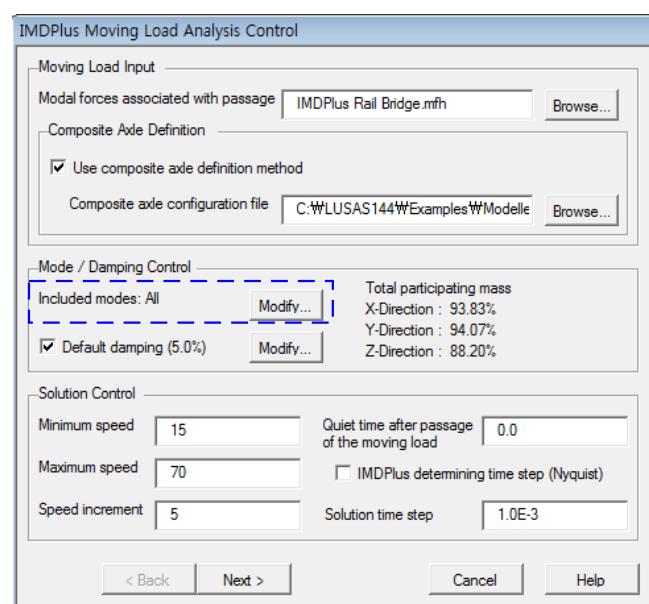
경로에 따른 Modal Force는 IMDPlus Rail Bridge.mph 파일이 포함하고 있으며 만일 이 파일이 아니라면 Browse를 눌러 맞는 파일을 불러들이면 됩니다.

단위하중을 이동하여 해석을 수행하였기 때문에 실제 해석에 사용될 열차하중을 불러와야 합니다.
'Use Composite axle definition method'옵션을 선택하고 열차하중이 정의된 파일(ec1-3_Type3.prm)을 지정 합니다. (Lusas144\Examples\Modeller...)

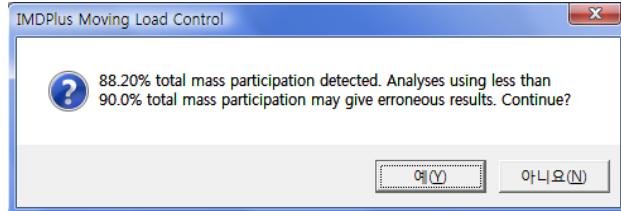
모든 진동모드가 포함이 되도록 설정 합니다.(included modes:All)한다. 만일 일부 모드를 제외하거나 특정한 모드만을 포함시키고자 한다면 우측의 'Modify'를 눌러 해당 모드를 선택합니다.

Damping은 초기값인 5%(Default)로 정의합니다.

IMDPlus determining time step(Nyquist)의 옵션을 끄고 Solution time step을 1.0e-3으로 정의합니다.



Next 버튼을 누르면 아래 그림과 같이 총 질량기여도가 90%를 넘지 않는 곳이 있어 해석결과가 정확하지 않을 수 있다는 경고 메시지를 확인할 수 있습니다. 본 해석에서는 35Hz내의 진동 모드에 대한 기여도만 고려하는 것이므로 해석을 계속 진행하도록 Yes를 선택합니다.



위에서 입력한 값은 Eurocode ENV 1991-3의 Type 3열차가 교량위를 5m/s 간격으로 15m/s~70m/s로 주행할 때 동적응답 해석을 수행하도록 정의한 것입니다. 'Quiet Time'은 열차가 교량을 완전히 빠져나간 후 어느 정도의 시간을 더 고려할 것인지에 대한 입력값입니다.

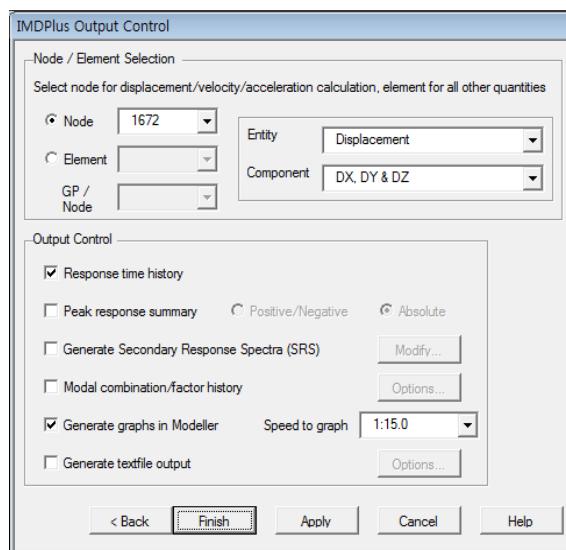
8. 이동하중 해석을 통한 절점과 부재의 결과출력

이어서 나타나는 Output Control 창을 통하여 해석결과를 출력할 수 있습니다.

8.1. 변위와 가속도 그래프

교량의 중앙경간의 동적응답을 출력합니다. 먼저 15m/s로 주행할 때 중앙경간에서의 처짐을 그래프로 출력하도록 합니다.

- ① 중앙경간의 절점번호1672를 입력합니다.
- ② Entity는 Displacement를 선택하고 Componenet는 DX,DY,DZ를 모두 선택합니다.
- ③ 'Response time history'를 선택합니다. Modeller에서 그림으로 'Generate graphs in Modeller'를 선택합니다.
- ④ 속도는 1:15를 선택합니다.

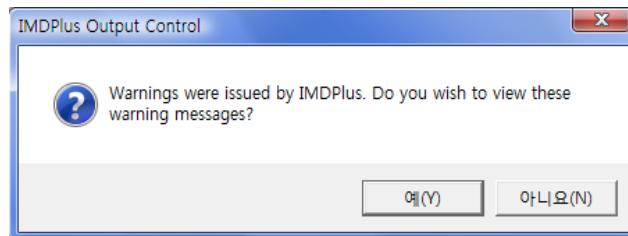


Tip.

위의 사항을 정의한 후 Finish 버튼 대신 Apply버튼을 누르면 그 이후의 그래프 출력에 대한 설정이 가능합니다.

IMDPlus 해석이 진행되면서 text 출력창에 ***WARNING*** 메시지가 보일 것입니다. 해석이 끝나면 아래와 같은 메시지를 확인할 수 있는데 'Yes'를 누르면 ***Warning*** 메시지의 내용을 확인할 수 있습니다. 내용은 다음과 같습니다.

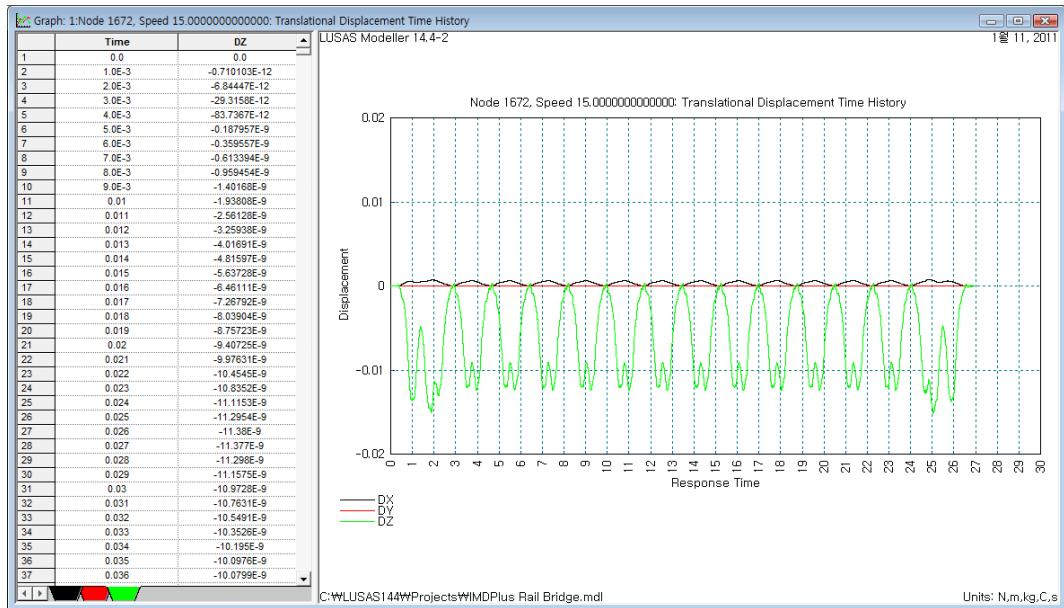
WARNING Results may be unreliable with high oversamples



오류메시지의 수가 너무 많이 발생하면 하중을 이동시키는 거리를 줄여야 합니다. 이 예제에서는 무시하고 진행합니다.

확인 후에 바로 결과를 그래프로 그려보기 위해서는 반드시 열린 'warning message'창을 닫아야 합니다.

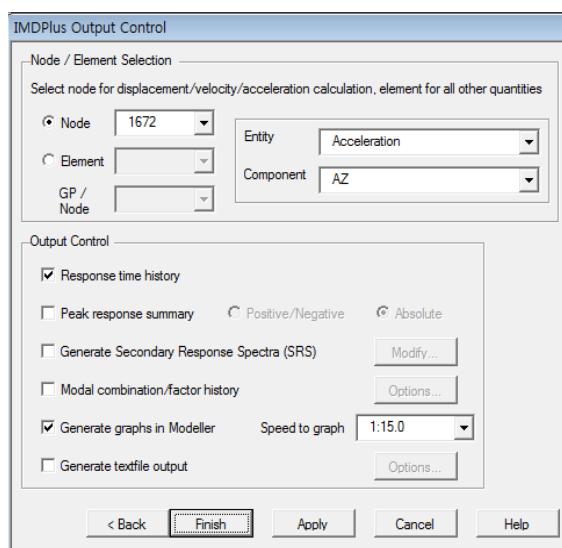
제8장 이동하중 해석을 통한 절점과 부재의 결과출력



위와 같이 절점 1672에 대하여 15m/s로 주행할 때의 X,Y,Z 방향에 대한 처짐을 시간에 따라 도시하였다. 왼쪽에 보이는 데 이터는 각 방향에 대한 변위값으로 복사하여 Excel등 기타 다른 Spread sheet 프로그램으로 복사하여 가져갈 수 있습니다.

다른 결과를 그려보기 위하여 'IMDPlus output control'버튼을 눌러 결과 확인창으로 돌아갑니다.

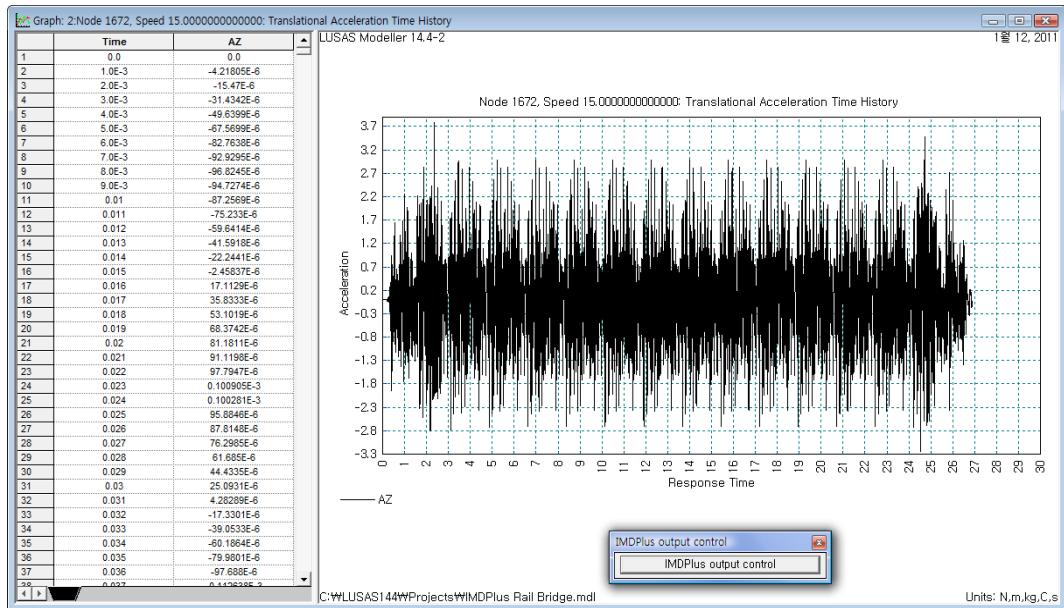
이번에는 중앙경간에서 열차가 15m/s 주행할 때 수직방향에 대한 가속도를 구해보도록 합니다.



Tip.

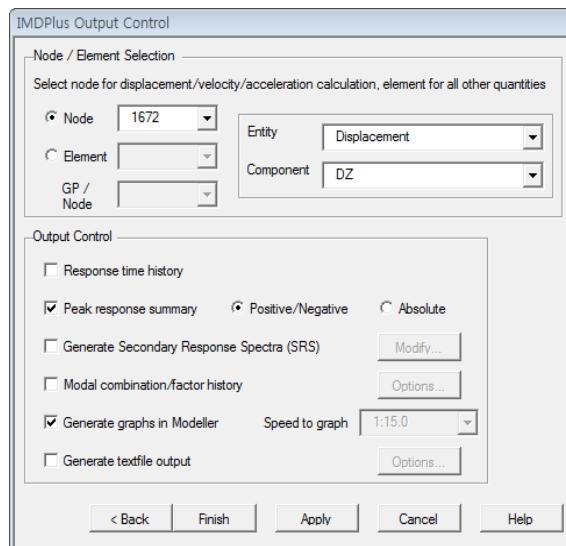
IMDPlus는 한번 계산으로 모든 응답(변위, 가속도 등)에 대하여 결과를 확인할 수 있습니다.

철도교량의 열차 주행중 진동해석 (Train Induced Vibration of a Bridge)



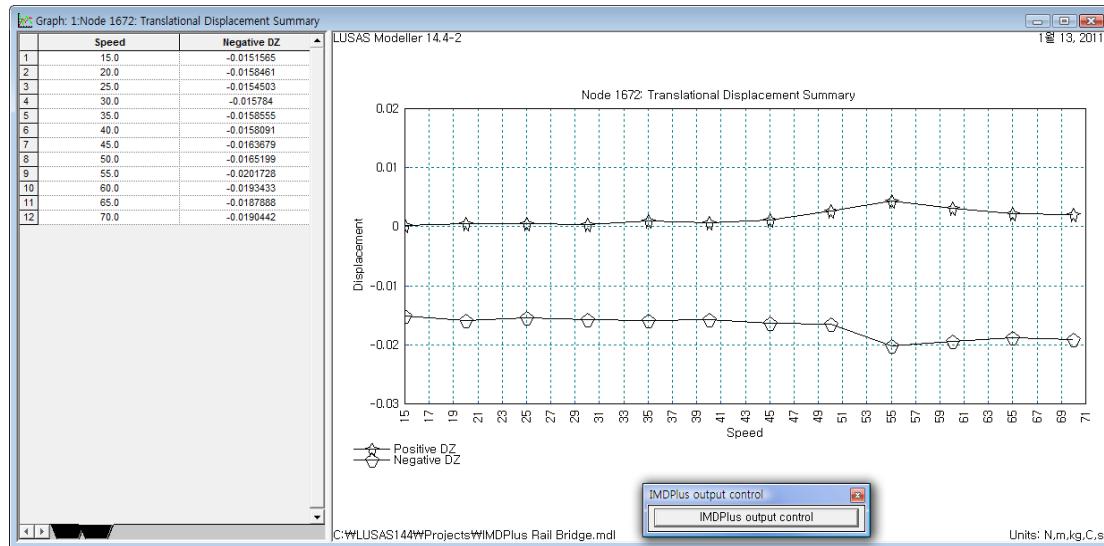
그려진 그레프를 닫고 다시 'IMDPlus output control' 버튼을 눌러 결과보기 창으로 돌아갑니다. 지금까지는 중앙경간부에서 단일 속도에 대하여 변위와 가속도 응답을 그래프로 도시하여 보았습니다. 이제 15m/s~70m/s의 모든 속도에 대하여 변위와 가속도 최대/최소값을 구해보고자 합니다.

- ① 보고자하는 결과는 수직변위(DZ)만을 선택합니다.
- ② 선택되었던 'Response time history' 옵션을 해제합니다.
- ③ 'Peak response summary'를 선택하고 'Positive/Negative'를 선택합니다.
- ④ 'Apply'버튼을 누르면 화면에 중앙경간의 각 속도에 대한 수직처짐을 도시하게 됩니다. 이전에서처럼 warning message 확인 창이 뜨면 '아니오'를 선택하여야 그레프를 바로 도시합니다.

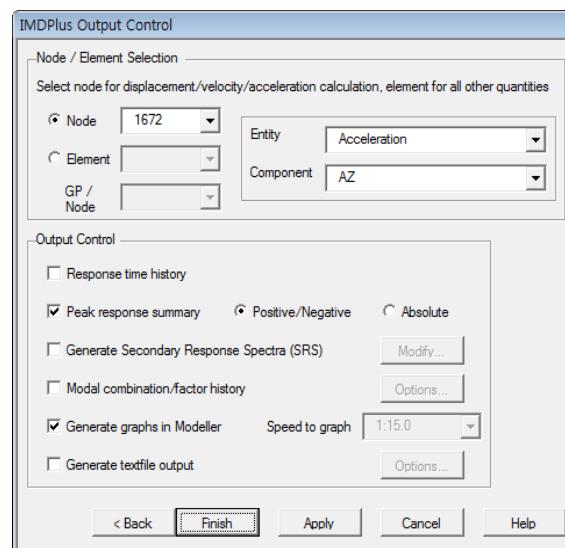


제8장 이동하중 해석을 통한 절점과 부재의 결과출력

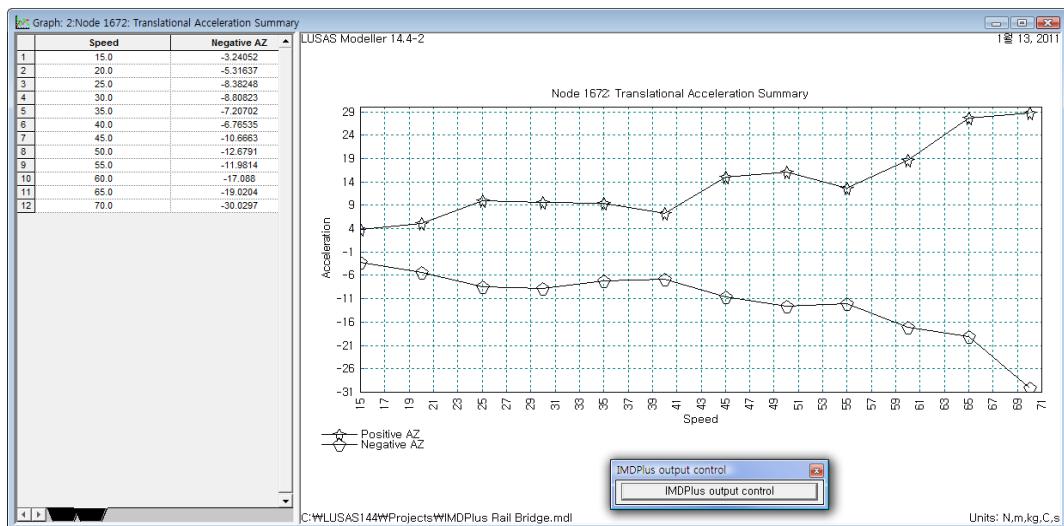
① 아래와 같이 절점 1672번에서의 속도 변화에 따른 처짐에 대한 그래프를 확인할 수 있습니다.



② 이번에는 속도에 대한 가속도 그래프를 출력합니다. IMDPlus output control창에서 'Acceleration' 'AZ'를 선택합니다.



철도교량의 열차 주행중 진동해석 (Train Induced Vibration of a Bridge)

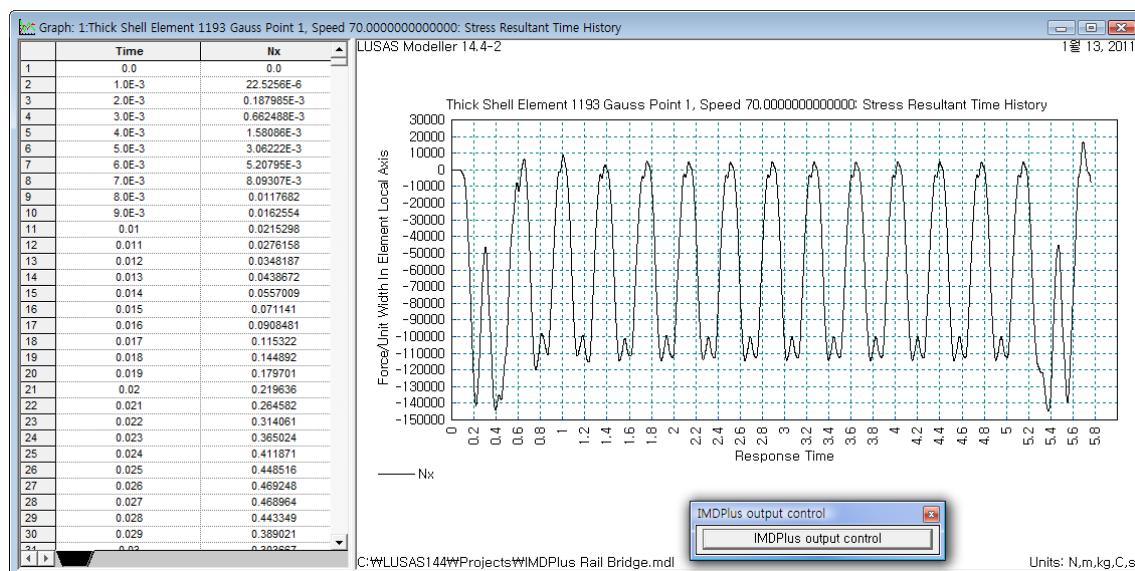
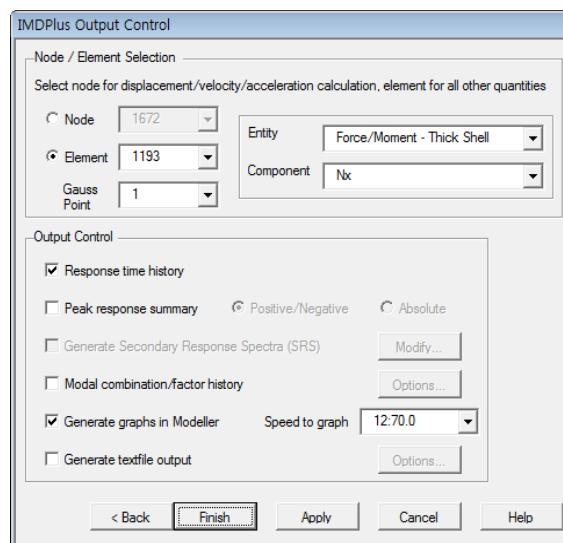


8.2. 판(Shell)에 대한 단면력 결과보기

이제까지는 중앙경간의 변위와 가속도에 대한 결과를 보았는데 지금은 주거더의 단면력을 확인해보고자 합니다. 거더의 중앙 판넬부의 중심부에 해당하는 부재 1193번에 대한 결과를 확인하도록 합니다.

8.2.1. 시간에 따른 Nx 결과 확인

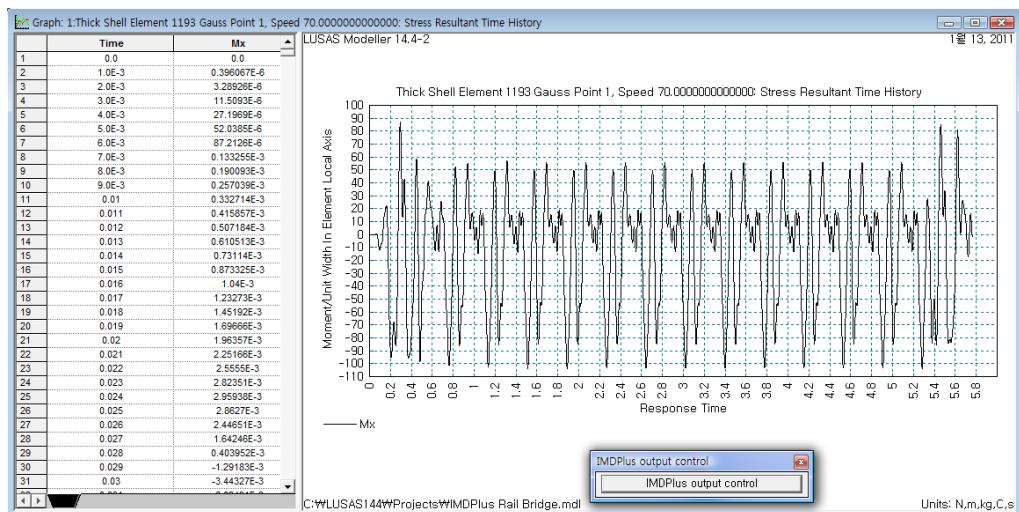
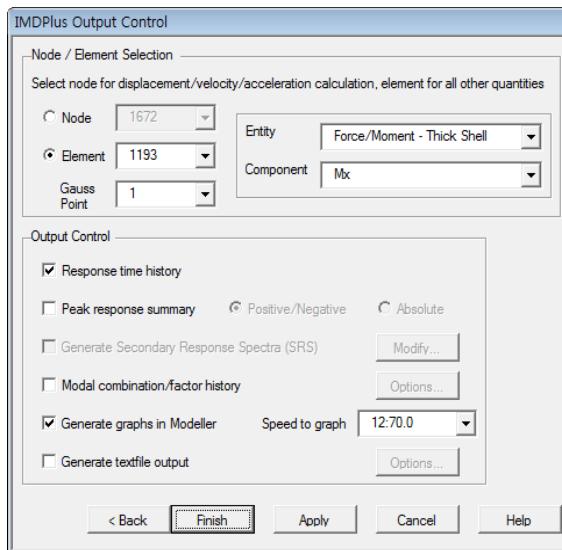
- ① 'Element'를 선택하고 1193번을 입력합니다. Gauss point는 '1'을 입력합니다.
- ② 'Force/Moment-Thick Shell' 'Nx'를 선택하여 교축방향에 대한 축력을 확인합니다.
- ③ 'Response time history'를 선택합니다.
- ④ 선택된 'Peak response summary'를 해제합니다.
- ⑤ 속도(Speed to Graph)는 '12:70'을 선택합니다. 이는 열차가 12번째이자 마지막 속도인 70m/s로 주행할 때의 결과입니다.
- ⑥ 'Apply'버튼을 누르면 Element 1193번(Gauss 1)의 주행시간에 따른 Nx 결과가 그래프로 출력됩니다. (Warning 보기는 '아니오'를 눌러 생략합니다.)



철도교량의 열차 주행중 진동해석 (Train Induced Vibration of a Bridge)

8.2.2. 시간에 따른 Mx 결과 확인

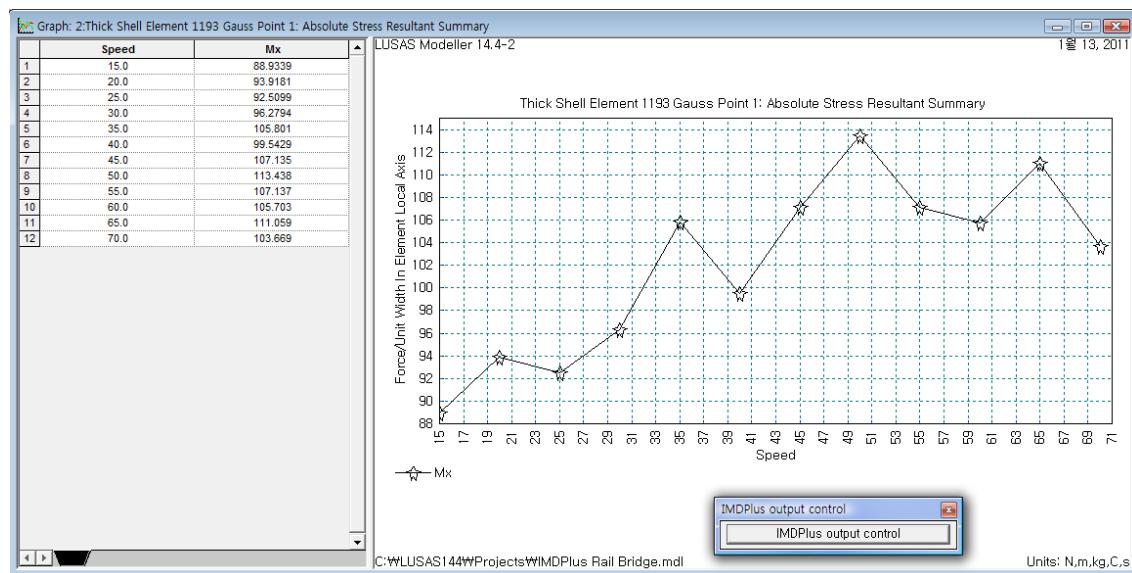
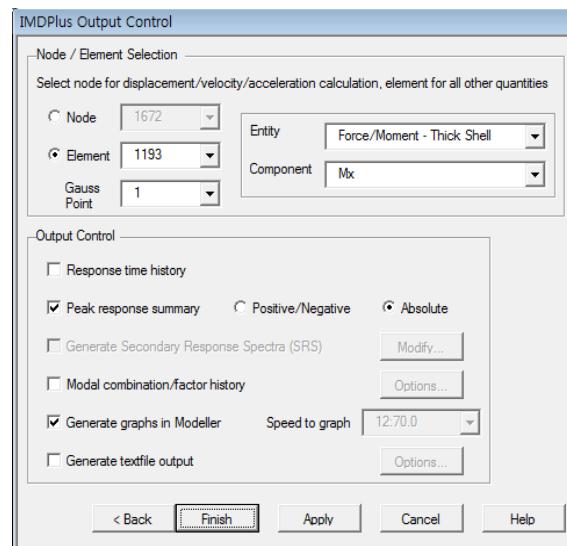
- ① 같은 방법으로 단면력 'Mx'를 선택합니다.
- ② 'Apply'버튼을 누르면 Element 1193번(Gauss 1)의 주행시간에 따른 Mx 결과를 그래프로 출력합니다. (Warning 보기는 '아니오'를 눌러 생략합니다.)



그래프 확인 후 그레프를 닫고 'IMDPlus output control' 버튼을 눌러 결과보기 창으로 돌아갑니다.

8.2.3. Absolute Mx 결과 확인

- ① 단면력 Mx가 선택된 상태에서, 'Response time history' 옵션을 해제합니다.
- ② 'Peak response summary' 'Absolute'를 선택합니다.
- ③ 'Finish'버튼을 누르면 Element 1193번에 대하여 각 속도에 대한 Mx 절대최대값이 그래프로 출력됩니다. (Warning 보기는 '아니오'를 눌러 생략합니다.)



8.3. Text 결과 출력

결과를 텍스트 파일로 출력하기 위하여 다음과 같이 입력합니다.

아래는 절점 1672번의 속도에 대한 각 방향의 변위에 대한 결과를 파일로 출력하기 위함으로 'Generate textfile output' 을 선택하고 오른쪽 'Option'을 누르면 출력되는 파일의 종류를 선택할 수 있습니다.

