

US NRC 완벽한 응답스펙트럼 해석

Complete Response Spectrum Analysis

1. Abstract

응답스펙트럼(Response Spectrum) 해석은 지진하중과 같이 과도적인 시간에 따라 급격하게 변하는 가진력이 작용할 때 대형 구조물의 최대 응답을 효과적으로 구하는 해석입니다. 건설 분야에서는 지진에 의한 빌딩 내부 각 부위의 최대 응답 예측에 응용되고, 항공 산업 분야에서는 비행기에 충격 하중이 가해질 때의 비행기 내부 각 장비의 최대 응답을 예측하는데 사용됩니다. 응답스펙트럼 해석은 내진설계를 할 때 사용하는 가장 보편화된 해석방법입니다.

응답스펙트럼해석 자체는 단자유도계의 응답을 조합하여 사용하므로 누락될 수 있는 강성응답이나 잔여 질량 등에 대해 상세하게 반영하는 것이 필요하며, 미국 원자력 규제 위원회 등에서는 해석절차와 함께 모드조합 방법 등을 법규로 제시하고 있으며, 해당 기준에서 이야기하는 완벽한 응답스펙트럼 해석법에 대해 알아보고자 합니다.

2. 응답스펙트럼 해석

지진은 범지구적인 차원에서의 지반 활동, 화산, 지질판의 충돌 등 다양한 원인에 의해서 발생하고 있습니다. 지진이라고 하는 것에 대해 표면적으로 봤을 때 건물의 무너짐, 바닥의 갈라짐, 교량의 무너짐 등 큰 규모의 붕괴 피해에 대해서 인상적으로 남게 되고 모든 내진검증해석이 붕괴를 막기 위한 노력으로 오해하기 쉽습니다.

실질적으로 지진에 대한 피해를 보게 되면, 붕괴에 의해 큰 구조물이 전도되거나 깔리는 등 1차 피해도 존재하지만 전력 공급중단, 통신 중단, 스프링쿨러 미작동, 병원 설비 미작동, 가스 누출, 화재 발생 등 2차 피해에 의해서 막대한 피해가 발생하게 됩니다. 후속 되는 문제에 대해서 전혀 대응할 수 없는 상태가 되면서 기하급수적으로 피해가 증가하는 것입니다.

응답스펙트럼해석법은 동적해석 중 가장 보편화된 방법으로, 내진설계에서는 매우 유용하게 사용됩니다. 기상청 설립된 이래로 계속된 지역의 데이터를 취합하여 FFT(Fast Fourier Transform) 변환을 통해 시간 도메인의 값을 주파수 도메인의 값으로 변환하여 각 단자유도계에서의 최대 응답값을 산출하여 사용합니다. 모드중첩법의 원리를 이용해 다자유도계의 응답을 근사적으로 구하는 방법으로, 고유주기, 주파수 형태로 표현된 함수를 응답스펙트럼 곡선, 사용된 해석이 응답스펙트럼 해석으로 구분합니다.

일반적인 구조물에서 붕괴방지(Safe Shutdown Earthquake) 수준과 기능수행(Operating Basis Earthquake) 수준으로 구분해서 하중조건을 제시하게 되며, 각각에 대치되는 감쇠비 수준을 제공합니다. 일반적인 기계장비에 대해 붕괴방지 수준의 경우 2% 근사한 수준으로 제시하며, 기능수행 수준의 경우 데이터가 존재하는 경우 3% 근사한 수준 혹은 붕괴방지의 1/2 수준으로 적용합니다.

이러한 모드중첩에 의한 응답스펙트럼의 장점은 각 모드별로부터 구성되는 단자유도계에 대한 독립적인 해석이 가능하다는 점으로서 동적거동을 지배하는 몇 개의 주요(저차)모드에 대한 해석만으로도 비교적 정확한 해에 근접하게 계산이 가능합니다. 이 장점의 반대로 어떤 구조계의 특정 응답치가 누락이 될 수 있으므로 변이구간에 대한 강성 응답여부와 해석에 미적용된 강성 모드 질량에 대한 고려가 필요합니다.

하중의 수준 외에도 응답스펙트럼해석 자체는 단자유도계의 응답을 조합하여 사용하므로 누락될 수 있는 강성응답이나 잔여 질량 등에 대해 상세하게 반영하는 것이 필요하며, 미국 원자력 규제 위원회 등에서는 해석절차와 함께 모드조합 방법 등을 법규로 제시하고 있습니다.

3. U.S. NRC 제시하는 완벽한 응답스펙트럼 해석 방법



U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION

October 2012
Revision 3

REGULATORY GUIDE

OFFICE OF NUCLEAR REGULATORY RESEARCH

REGULATORY GUIDE 1.92

(This is an administratively changed version of Revision 2, issued July 2006)

COMBINING MODAL RESPONSES AND SPATIAL COMPONENTS IN SEISMIC RESPONSE ANALYSIS

지진하중은 지반에서 오는 큰 수평하중의 형태로 적용되며, 질량이 큰 구조물일수록 파손에 대한 위험이 크게 다가오며, 기계 분야에서는 기능 오작동에 의한 통신, 화재 등의 2차 피해를 유발하는 문제가 생깁니다.

미국 원자력 규제위원회(U.S. Nuclear Regulatory Commission)에서는 Regulatory Guide 1.92 문서를 통해 증폭구간에 대한 단자유도계 응답결과를 SRSS, CQC, Rosenbluth Correlation 등 요구조건에 따른 모드조합 방법에 대해 제시하고 있습니다.

개별 모드에 대한 조합시 최근 가장 보편적으로 사용되는 CQC(Complete Quadratic Combination) 조건의 경우 고유주기의 밀집도를 고려하여 계수를 이용하여 적용하게 됩니다.

$$R_{pI} = \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \varepsilon_{ij} R_{p_i} R_{p_j} \right]^{1/2} \quad (1)$$

where: R_{pI} = combined periodic response for the I^{th} component of seismic input motion ($I = 1, 2, 3$, for one vertical and two horizontal components),

ε_{ij} = the modal correlation coefficient for modes i and j ,

R_{p_i} = periodic response or periodic component of a response of mode i ,

R_{p_j} = periodic response or periodic component of a response of mode j , and

n = number of modes considered in the combination of modal responses.

이전에 가장 많이 사용되었던 SRSS 의 경우 밀집된 고유주기에서 응답이 증폭되는 문제가 발생할 수 있으며, Damping ratio 수준의 따라 사용이 가능한 밀집도를 별도로 제시하고 있습니다.

$$\varepsilon_{ij} = 1.0 \quad \text{for} \quad i = j$$

and

$$\varepsilon_{ij} = 0.0 \quad \text{for} \quad i \neq j$$

and Equation 1 reduces to the following:

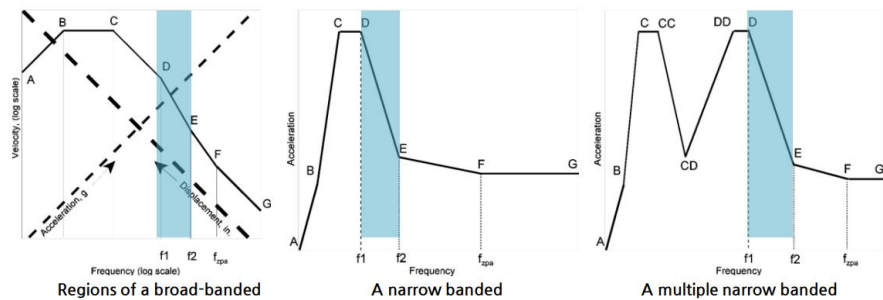
$$R_{pt} = \left[\sum_{i=1}^n R_{pi}^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

If modes with closely spaced frequencies exist, the SRSS method is not applicable, and one of the two methods in Regulatory Positions C.1.1.2 and C.1.1.3 (below) should be used instead. The definition of modes with closely spaced frequencies is a function of the critical damping ratio (Ref. 8, page 66):

- (1) For critical damping ratios $\leq 2\%$, modes are considered closely spaced if the frequencies are within 10% of each other (i.e., for $f_i < f_j, f_j \leq 1.1 f_i$).
- (2) For critical damping ratios $> 2\%$, modes are considered closely spaced if the frequencies are within five times the critical damping ratio of each other (i.e., for $f_i < f_j$ and 5% damping, $f_j \leq 1.25 f_i$; for $f_i < f_j$ and 10% damping, $f_j \leq 1.5 f_i$).

이외에도 Rosenblueth Correlation Coefficient, Der Kiureghian Correlation Coefficient 등에 대한 조합방식과 제한사항에 대해 명시하고 있습니다.

추가적으로 각 단자유도계의 모드응답을 조합하는 방법 뿐 아니라 한정된 고유주기, 진동수 값으로 인해 누락될 수 있는 천이 구간에 대한 강성 응답과 ZPA(Zero Period Acceleration) 값 이후 고려되지 못한 강성모드 질량 누락치를 모두 고려하는 방법을 나타내고 있습니다.



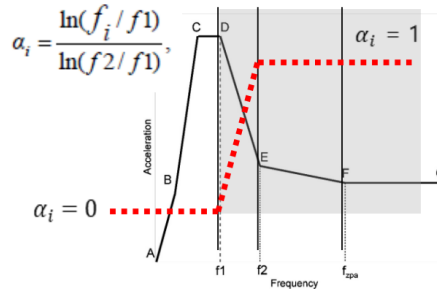
응답스펙트럼 응답에 대해서 AB 구간, BC 구간, CD 구간에서는 각각 변위, 속도, 가속도에 대한 증폭구간이 발생하며, DE 구간에 대해서는 증폭과 강성모드의 변이구간, F(ZPA) 이후에서는 강성모드가 지배적인 구간으로 구분합니다.

변이구간에서 증폭(Periodic) 응답과 강성(Rigid) 응답이 혼합되어 나타나며, 한정된 개수의 모드에서 반영되지 않은 강성모드에 대해서는 Rigid response method 로 Gupta, Lindley-Yow method 2 가지 방식으로 강성 응답 계수를 반영하는 방법에 대해 제시하고 있습니다. Gupta method 의 경우 주파수(Frequency) 기반, Lindley-Yow method 의 경우 가속도(Acceleration) 기반으로 계수를 고려하여 적용하며, 상세 방법은 아래 참고 가능합니다.

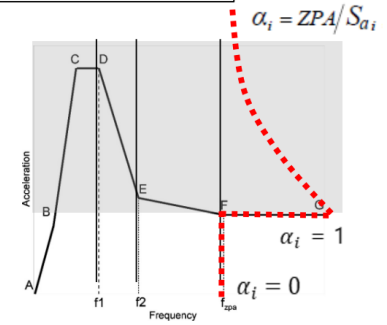
► rigid response coefficient α_i

- 1) $\alpha_i = 0$: Periodic response
- 2) $0 < \alpha_i < 1$: Periodic + Rigid response
- 3) $\alpha_i = 1$: Rigid response

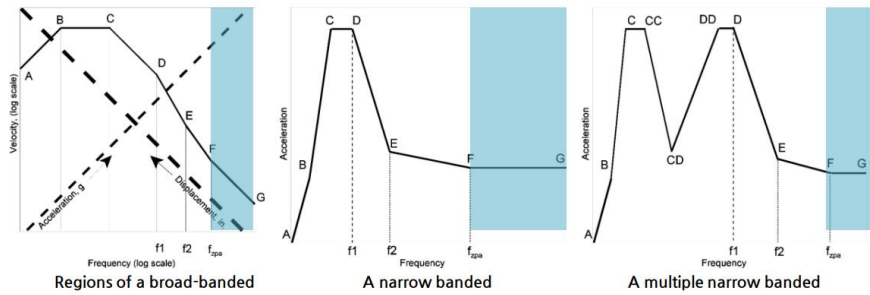
Gupta method



Lindley-Yowmethod



원자력 기계분야에서는 유효한 지진 응답 평가를 위해 주요방향별 90% 이상의 질량참여율을 요구하고 있습니다. 하지만, Local mode 가 많이 발생하는 구조물의 경우 해당 기준을 만족하기 위해서는 매우 많은 모드 차수를 요구하고 해석적인 리소스가 매우 높게 요구되고 있습니다.



ZPA 이후 증폭이 없는 누락된 강성모드에 대하여 Reg. guide 1.92 에서 Missing mass method 를 제시하고 있으며, Static ZPA method 를 통해 참여되지 않은 질량값에 대비되는 지진 응답을 계산하도록 요구하고 있습니다.

Percentage Modal Effective Mass						
MODE NUMBER	T1	T2	T3	R1	R2	R3
1	18.17%	0.00%	0.00%	0.00%	28.60%	57.92%
2	16.22%	0.00%	0.00%	0.00%	11.28%	1.56%
...						
16	2.36%	3.08%	36.94%	0.05%	1.91%	0.67%
17	15.54%	0.43%	5.25%	0.01%	13.61%	5.48%
18	0.00%	8.48%	20.10%	13.29%	0.00%	0.00%
TOTAL	84.08%	81.73%	87.01%	68.19%	64.80%	84.02%
Residual mass	15.02%	18.27%	12.99%	30.81%	35.20%	15.98%
Static ZPA	Static Analysis = Residual mass percentage x ZPA (Zero Period Acceleration)					

특히, 기존 Periodic(중폭) 응답과 Rigid(강성) 응답에 대한 조합에 대해 1.5 절 Complete Solution for Response Spectrum Analysis 에서 제시하고 있으며, midas NFX 에서는 모든 과정에 대해 사용자 옵션 선택에 따라 자동으로 조합하도록 정의하고 있습니다.

▶ Complete Combination Method (Gupta, Lindley-Yow, Missing mass)

$$R_{pj} = [1 - \alpha_i^2]^{1/2} R_i$$

$$R_{ij} = \alpha_i R_i \quad \text{Rigid Response method (Gupta, Lindley-Yow)}$$

$$R_{pjt} = \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_i \alpha_j R_{pi} R_{pj} \right]^{1/2}, \text{ where } n = \text{number of modes below } f_{spa}$$

$$R_{jt} = \sum_{i=1}^n R_{ij} + R_{MissingMassjt}$$

$$R_j = [R_{jt}^2 + R_{pjt}^2]^{1/2} \quad \text{Missing Mass method (Static ZPA)}$$

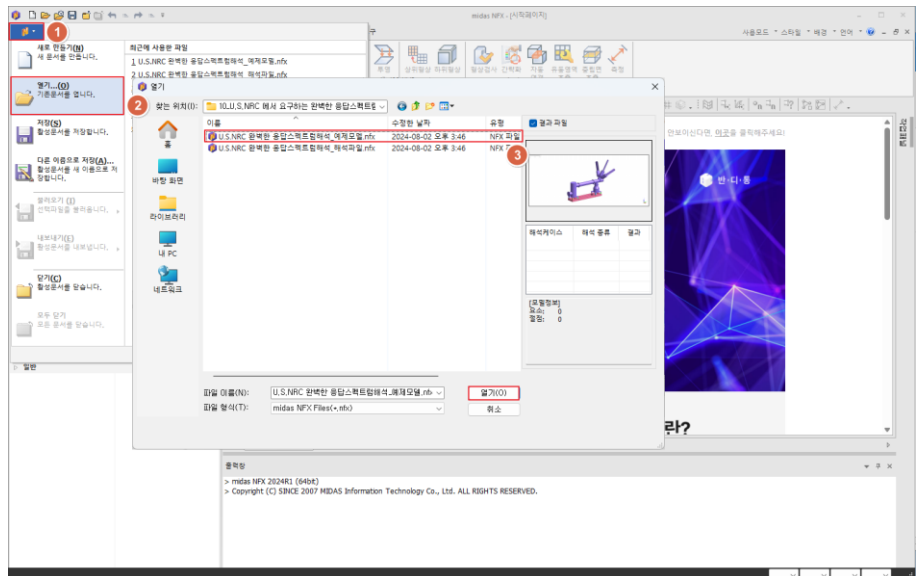


4. 예제 1 따라하기

4-1. 해석모델

<해석모델 열기>

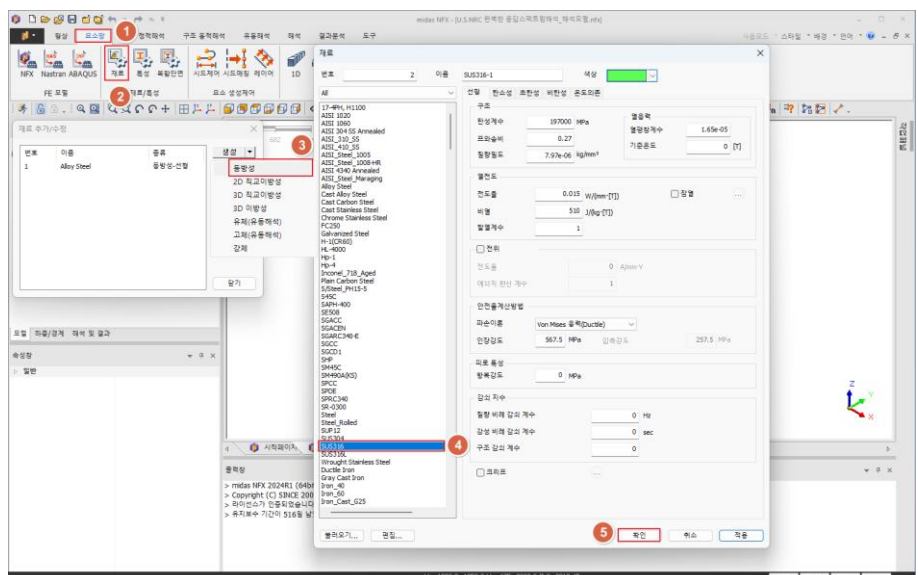
- 1) 좌측상단의 NFX 아이콘 클릭합니다.
- 2) 열기 버튼 선택
- 3) "U.S.NRC 완벽한 응답스펙트럼해석_예제모델.nfx" 파일을 엽니다.



4-2. 재료물성치

<재료물성치 추가>

- 1) 리본메뉴 내 요소망탭 선택
- 2) 첫번째 재료버튼 선택
- 3) 생성 우측 화살표 선택 후 등방성재질 선택
- 4) DB LIST 에서 SUS316 선택
- 5) 확인 버튼 클릭하여 생성 완료



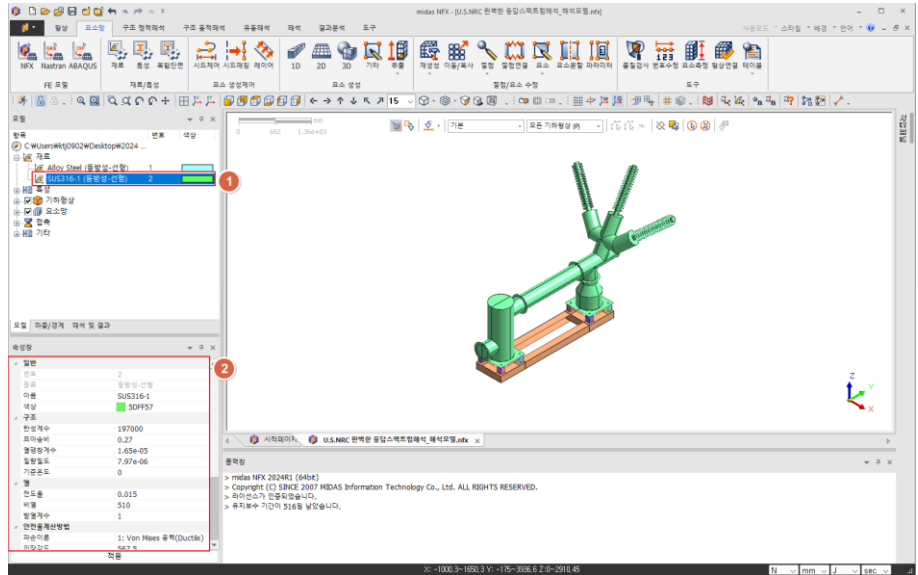


속성창은 사용자가 선택한 대상에 대한 상세정보가 표기됩니다.

재료 물성치 선택시 재료에 대한 상세 정보값을 출력하며, 특성, 요소망세트, 결과 등 선택 대상에 따라 정보가 변경되어 나타납니다.

<재료물성치 리스트 확인>

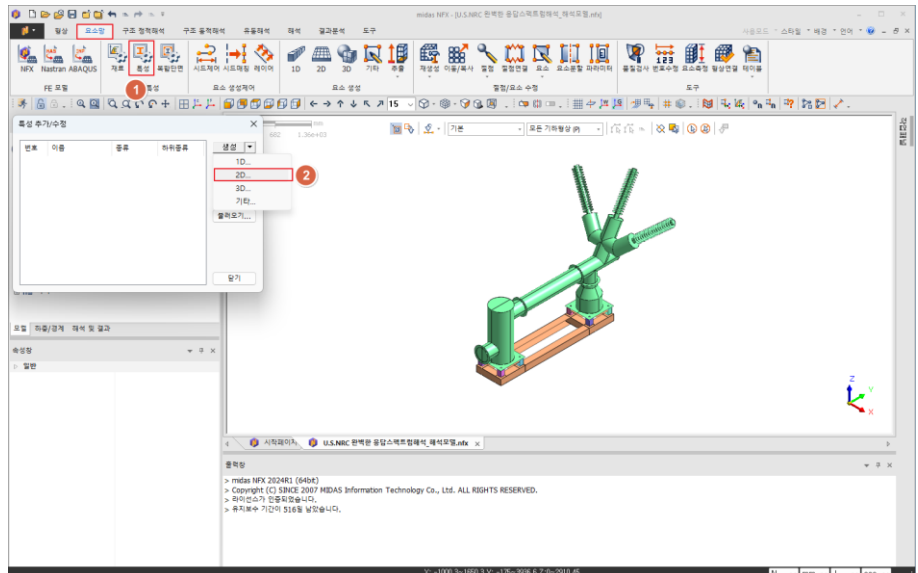
- 1) 트리메뉴 모델탭에서 재료 항목에 추가된 SUS316 확인
- 2) SUS316 선택 후 속성창에서 관련 정보 DOBULE-CHECK



4-3. 특성 정의

<2D 특성 추가>

- 1) 특성 버튼 선택
- 2) 생성 우측 화살표 선택 후 2D.. 선택



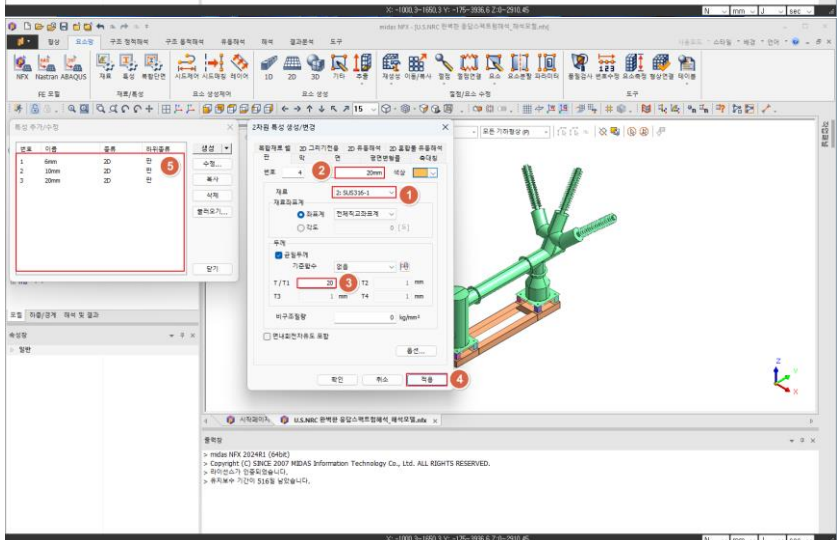
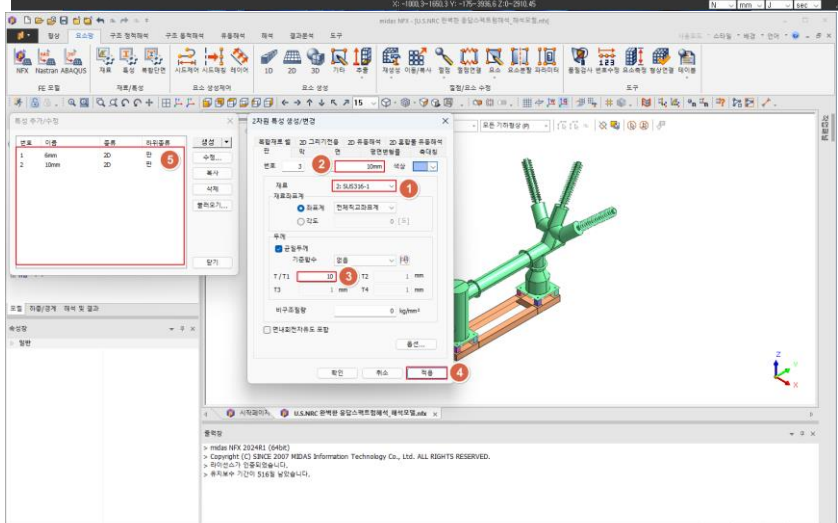
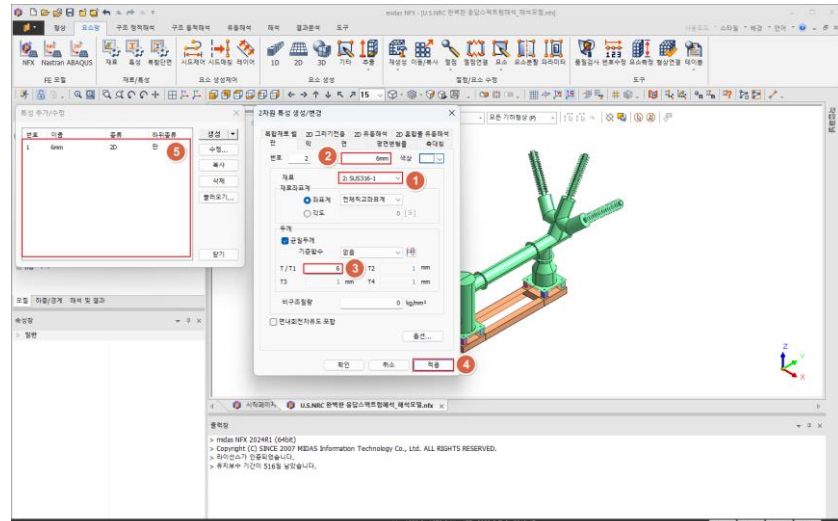


2D 해석에서는 재료물성치 뿐 아니라 두께값에 대한 정보를 입력해야 합니다.

재료별, 두께별 특성 데이터가 달라질 수 있으므로 주요부재의 위치별 상세 데이터 확인 후 개별적인 생성이 필요합니다.

트리메뉴 내 추가된 특성을 선택하여 속성창을 통해 빠른 정보 확인이 가능합니다.

- 1) 재료 항목에 대하여 SUS316 선택
- 2) 특성 이름에 대하여 두께값에 맞춰 "6mm" 작성
- 3) 베이스 플레이트 두께값 "6" 입력
- 4) 적용버튼 클릭
- 5) 2 ~ 4 과정을 반복하여 10mm, 20mm 2D 특성 추가 생성하고 특성창 내 추가여부 확인합니다.



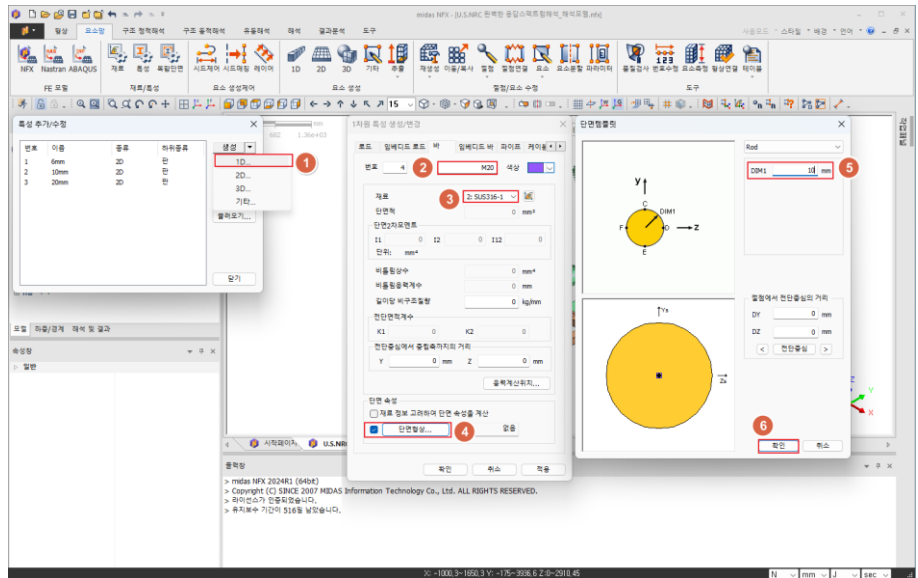


볼트의 경우 일반적으로 강재 +1D 요소로 적용하여 축력 및 전단력이 적용가능한 Bar element 로 사용해야 합니다.

NFX 에서 기본으로 제공하는 단면 템플릿을 활용하여 쉽게 적용할 수 있습니다.

<연결볼트를 위한 1D 특성 추가>

- 1) 생성 오른쪽 화살표 버튼 선택 후 1D... 클릭
- 2) 1D 특성 이름에 대하여 M20 작성 (볼트 제원 입력)
- 3) 재료 SUS316 적용
- 4) 단면 템플릿 활성화 후 클릭
- 5) Rod 형상에 대하여 반지름 DIM1 값 10 입력 (지름 20 mm)
- 6) 정보값 입력후 확인 및 추가 작업 완료





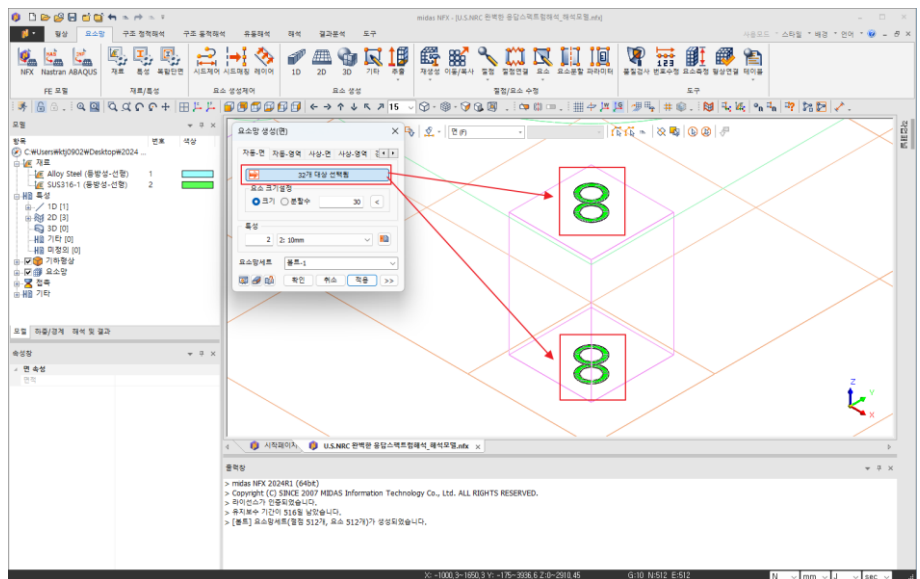
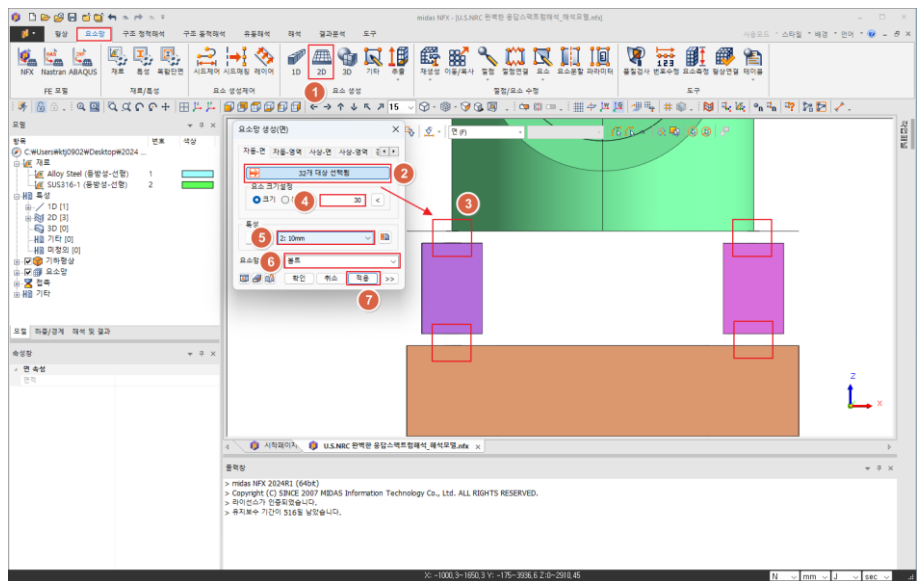
방향 뷰 기능이나 표시모드 등을 바꿔서 선택이 편한 상태로 변경하면서 진행이 필요합니다.

볼트 헤드, Washer 등 고려하여 생성된 Offset 영역을 선택하여 별도 지정하면 추후 자동 볼트 생성 기능을 편리하게 사용할 수 있습니다.

4-4. 요소망 세트 생성

<2D shell element 생성>

- 1) 요소망 탭 내 2D 요소 생성 클릭
- 2) 대상선택 클릭
- 3) 프레임 위치를 확대 후 볼트 생성영역을 선택합니다. (32 개 확인)
- 4) 요소 크기 30 mm 입력 합니다.
- 5) 위치에 맞는 두께 10 mm 특성을 선택합니다.
- 6) 요소망세트 이름에 "볼트" 로 입력합니다. (인지하기 편한 이름으로 추천)
- 7) 생성을 완료 합니다.

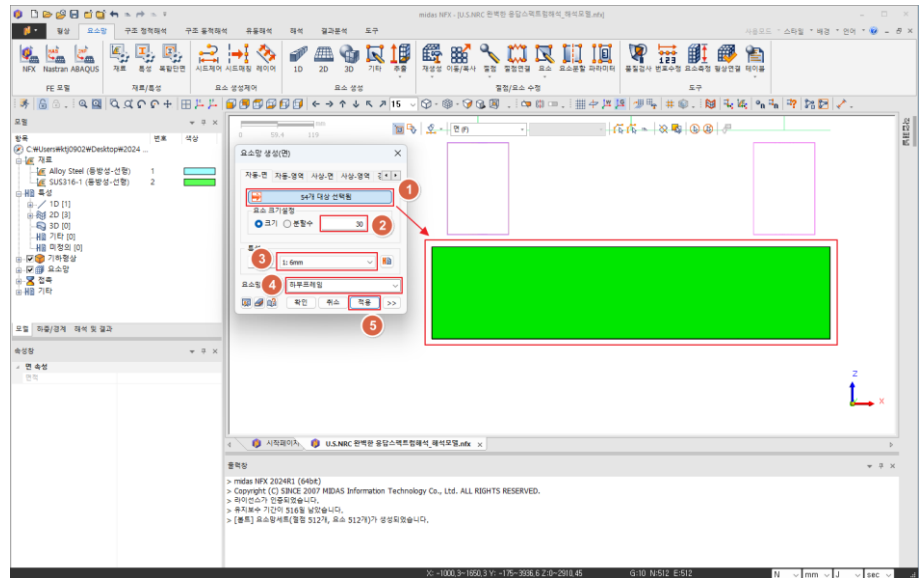




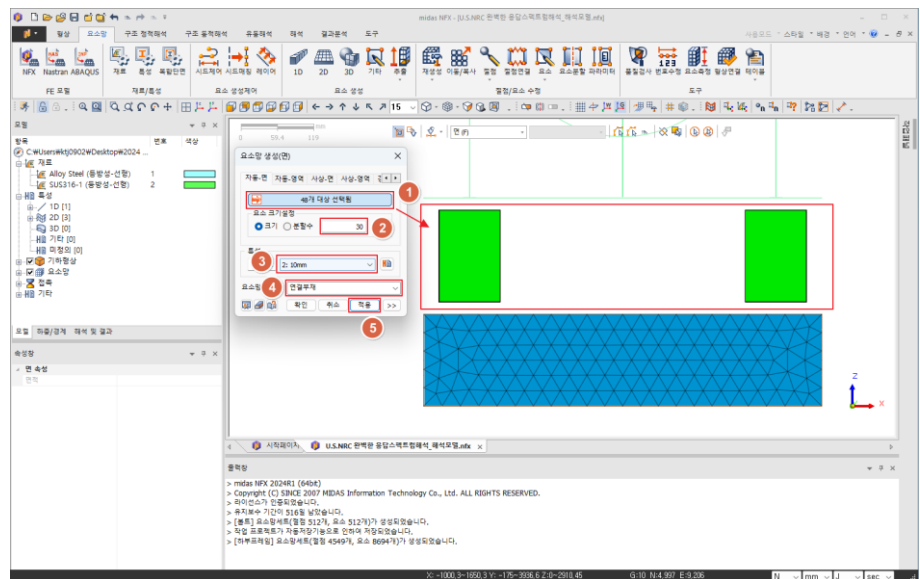
2D 요소 생성시 기본옵션으로 요소망 존재하는 면은 대상에서 제외하도록 설정되어 있습니다.

기준에 요소를 만든 영역을 중복 선택해도 자동 무시하니 작은 단위부터 생성 후 편하게 일괄 선택해도 무방합니다.

- 1) 하부 프레임 위치에 대해 대상 선택합니다 (54 개 확인)
- 2) 요소 크기 30 mm 입력 합니다.
- 3) 위치에 맞는 두께 6 mm 특성을 선택합니다.
- 4) 요소망세트 이름에 “하부프레임” 로 입력합니다. (인지하기 편한 이름으로 추천)
- 5) 생성을 완료 합니다.



- 1) 연결부재 위치에 대해 대상 선택합니다 (48 개 확인)
- 2) 요소 크기 30 mm 입력 합니다.
- 3) 위치에 맞는 두께 10 mm 특성을 선택합니다.
- 4) 요소망세트 이름에 “연결부재” 로 입력합니다. (인지하기 편한 이름으로 추천)
- 5) 생성을 완료 합니다.

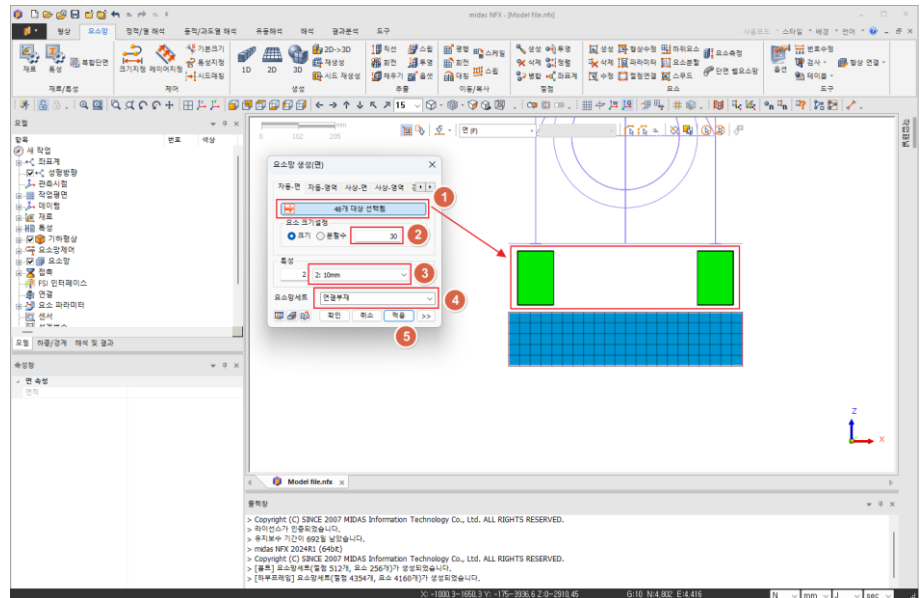




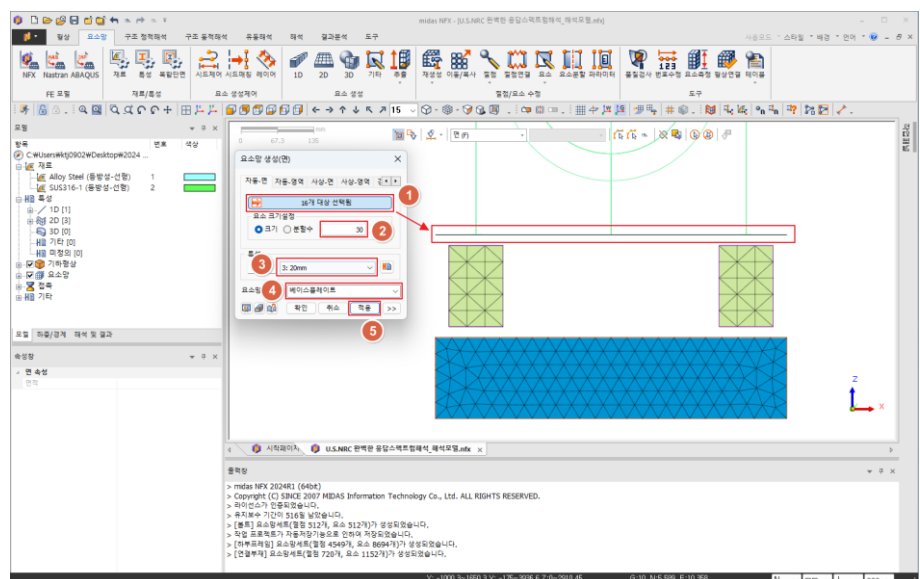
2D 요소 생성시 기본옵션으로 요소망 존재하는 면은 대상에서 제외하도록 설정되어 있습니다.

기존에 요소를 만든 영역을 중복 선택해도 자동 무시하니 작은 단위부터 생성 후 편하게 일괄 선택해도 무방합니다.

- 1) 연결부재 위치에 대해 대상 선택합니다 (48 개 확인)
- 2) 요소 크기 30 mm 입력 합니다.
- 3) 위치에 맞는 두께 10 mm 특성을 선택합니다.
- 4) 요소망세트 이름에 “연결부재” 로 입력합니다. (인지하기 편한 이름으로 추천)
- 5) 생성을 완료 합니다.



- 1) 베이스플레이트 위치에 대해 대상 선택합니다 (12 개 확인)
- 2) 요소 크기 30 mm 입력 합니다.
- 3) 위치에 맞는 두께 20 mm 특성을 선택합니다.
- 4) 요소망세트 이름에 “베이스플레이트” 로 입력합니다. (인지하기 편한 이름으로 추천)
- 5) 생성을 완료 합니다.

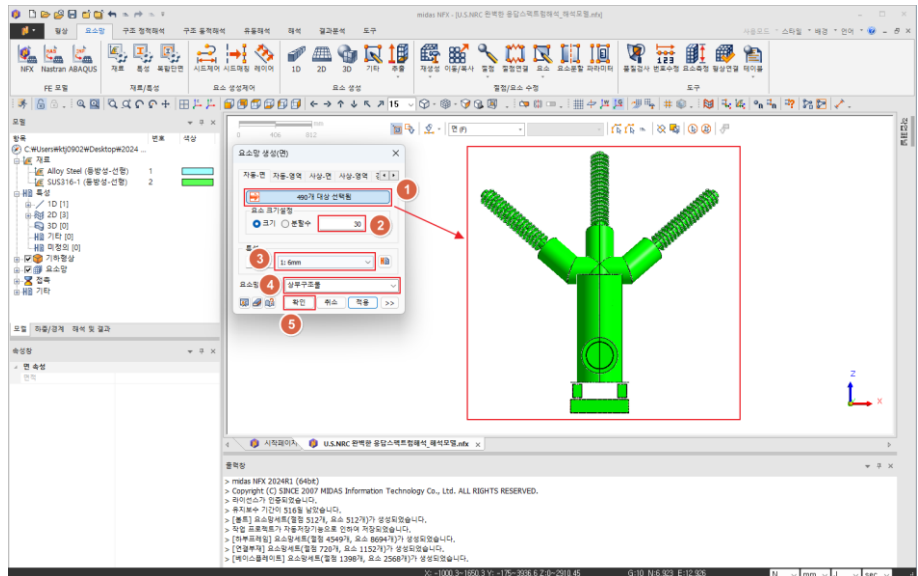




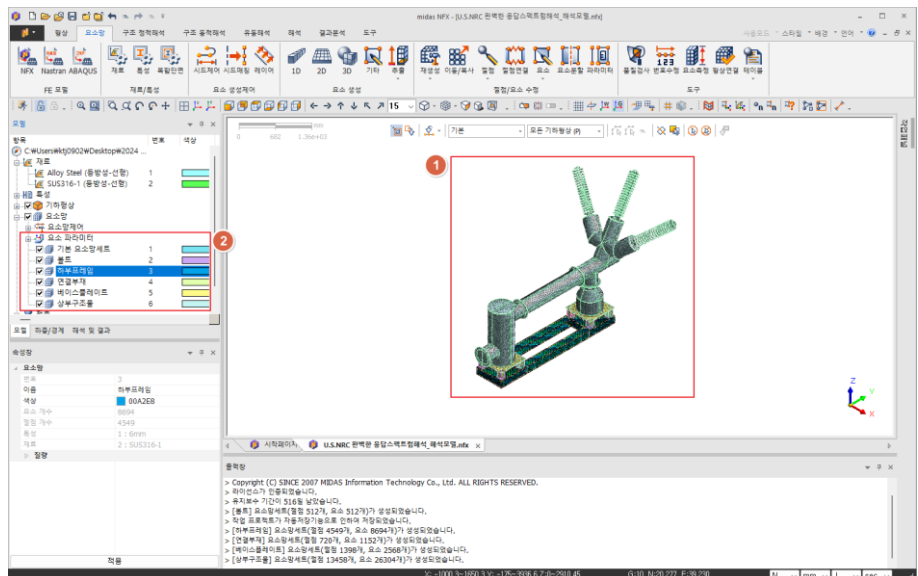
2D 요소 생성시 기본옵션으로 요소망 존재하는 면은 대상에서 제외하도록 설정되어 있습니다.

기존에 요소를 만든 영역을 중복 선택해도 자동 무시하니 작은 단위부터 생성 후 편하게 일괄 선택해도 무방합니다.

- 1) 전체구조물에 대해 대상 선택합니다 (490 개 확인)
- 2) 요소 크기 30 mm 입력 합니다.
- 3) 위치에 맞는 두께 6 mm 특성을 선택합니다.
- 4) 요소망세트 이름에 "상부구조물" 로 입력합니다. (생성된 면 자동 제외)
- 5) 생성을 완료 합니다.



- 1) 생성된 요소의 형상을 확인합니다.
- 2) 생성된 요소의 리스트를 확인합니다.



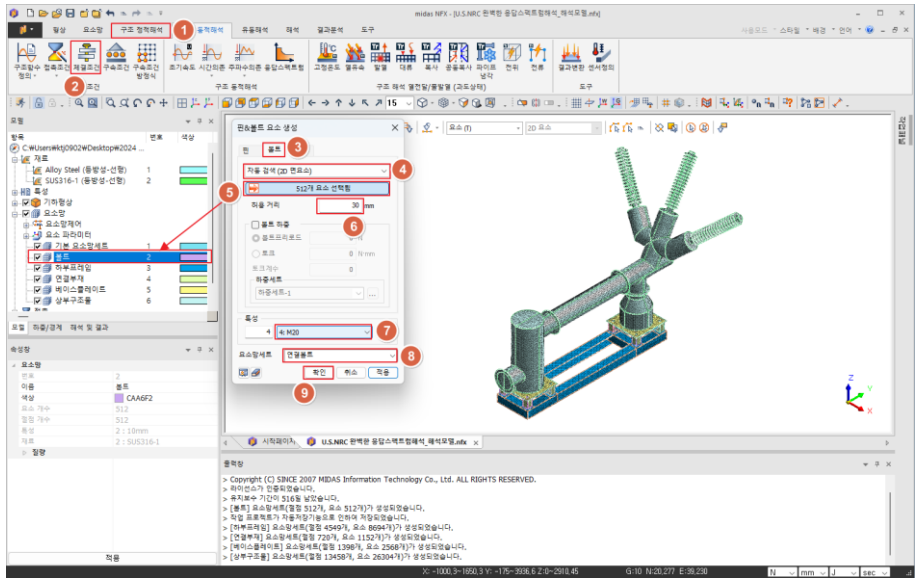


2D 요소 생성시 볼트 영역에 대해서 사전에 요소망 세트로 구분해놨으면 공차 범위 이내 강체 + 1D bar element 형태로 자동 생성이 가능합니다.

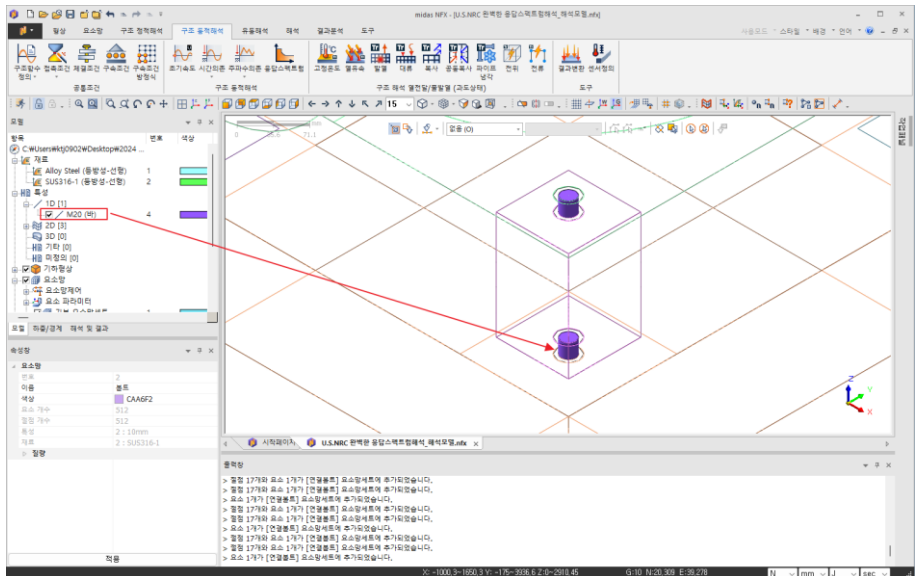
요소망 세트가 미 구분된 경우 형상 면 기준으로 생성이 가능합니다.

<볼트 자동생성(강체+1D bar element)>

- 1) 리본메뉴 중 구조 동적해석 탭으로 이동합니다.
- 2) 핀/볼트 기능을 선택합니다.
- 3) 볼트 탭을 선택합니다.
- 4) 생성 기능 중 자동 검색(2D 면요소) 선택합니다.
- 5) "볼트" 로 명칭한 요소망 세트 선택합니다. (512 개 확인)
- 6) 허용 거리 30 mm 입력합니다.
- 7) 1D bar element 특성 M20 선택합니다.
- 8) 요소망세트 이름으로 "연결볼트" 입력합니다. (인지하기 쉬운 이름으로 작성)
- 9) 생성을 완료합니다.



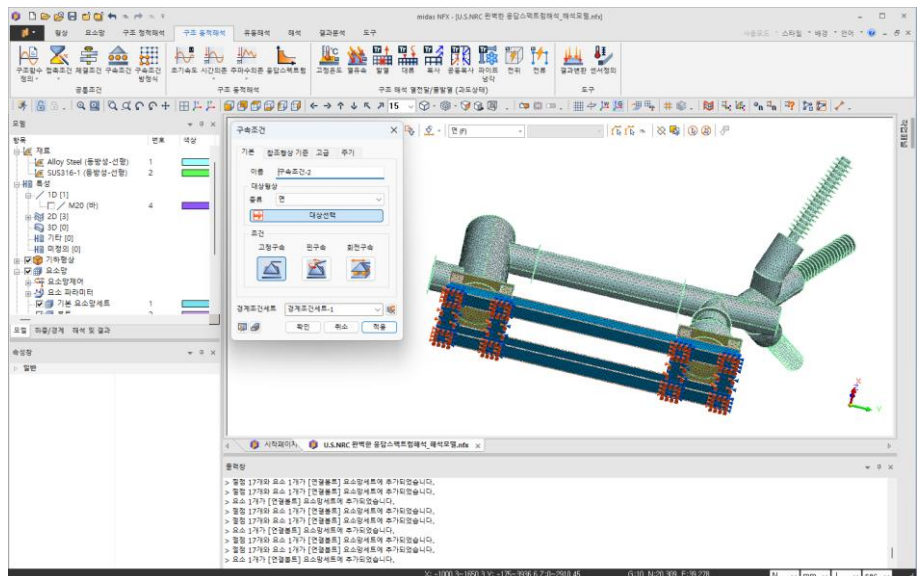
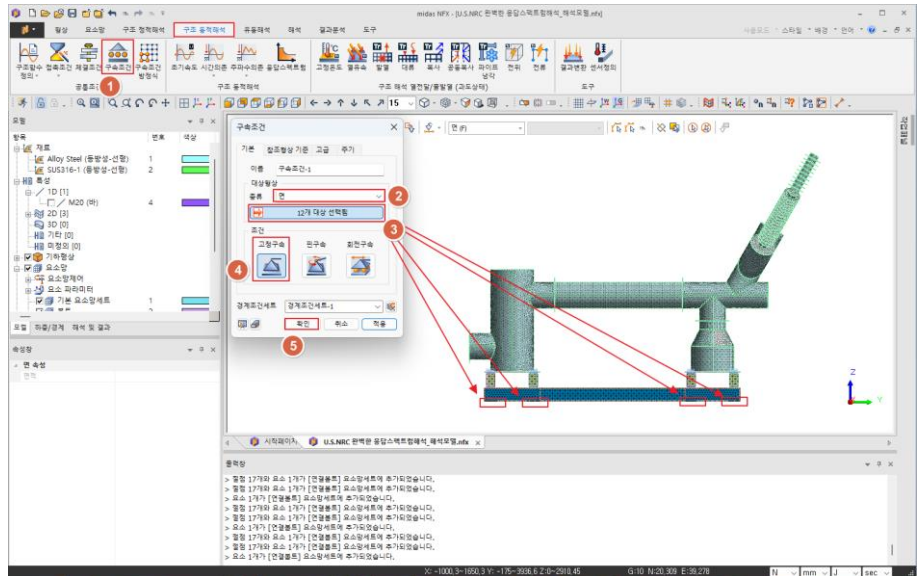
* 연결볼트 요소망 세트 및 1D 특성 출력하여 확인 가능합니다.



4-5. 해석조건 정의

<경계조건 정의>

- 1) 구속조건을 선택합니다.
- 2) 대상형상의 종류를 면으로 변경합니다.
- 3) 하부프레임 최하단 위치에 대해서 용접면을 선택합니다. (12 개 확인)
- 4) 고정구속을 선택합니다.
- 5) 조건 정의를 완료합니다.



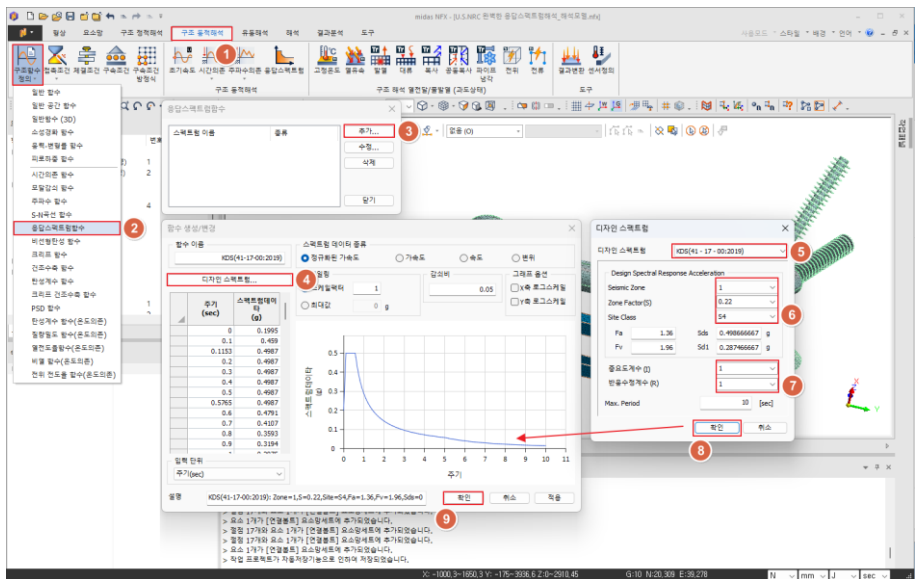


midas NFX 에서 주요 국가별 제공하는 설계기준의 디자인 스펙트럼 자동생성 기능을 기본으로 제공합니다.

국내의 경우 KDS 41 17 기준을 따라 정의하며, 별도 지반데이터가 없는 경우 S4 or S5 Site class 선택을 추천하며, 실험데이터가 없는 기기의 경우 반응수정계수 R 은 1.0 으로 적용합니다.

<응답스펙트럼 곡선 정의>

- 1) 구조 동적해석 탭을 선택합니다.
- 2) 함수 기능 중 응답스펙트럼함수를 선택합니다.
- 3) 추가 버튼을 누릅니다.
- 4) 디자인 스펙트럼을 선택합니다.
- 5) 국내 내진설계기준인 KDS(41 17 00:2019) 선택합니다.
- 6) Seismic Zone 1 구역, Zone Factor 0.22, Site class S4 기준으로 적용합니다.
- 7) 중요도계수 1.0, 반응수정계수 1.0 으로 적용합니다.
- 8) 확인을 눌러 자동 생성된 값을 확인합니다.
- 9) 응답스펙트럼곡선 생성을 완료합니다.



응답스펙트럼 곡선은 각 방향에 대한 영향성을 확인하고 평가가 필요하며, 별도 생성이 필요합니다.

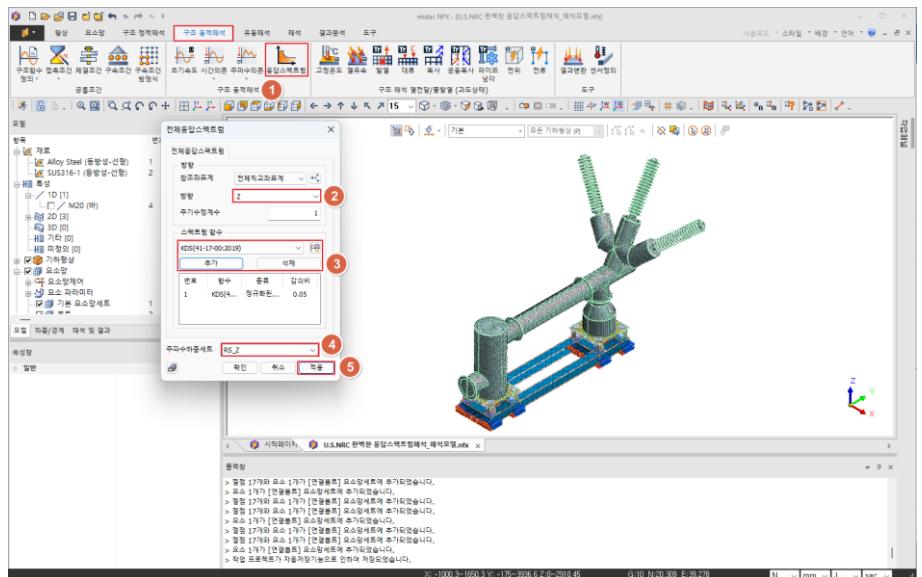
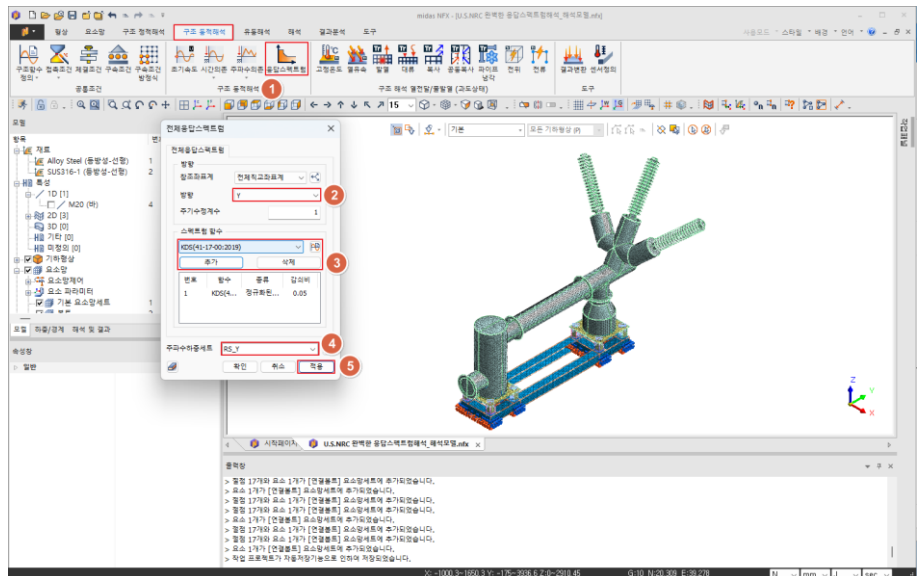
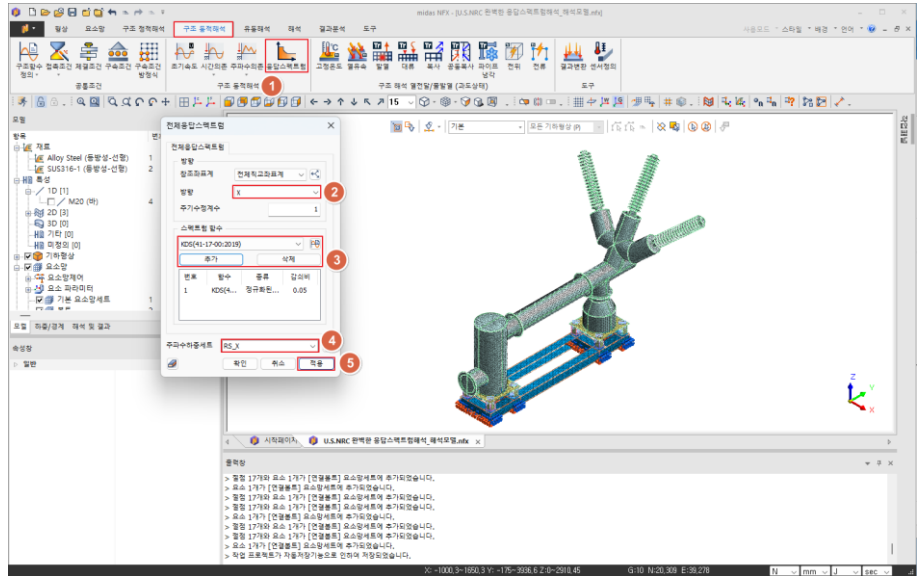
최종 내진 안전성 평가시에는 Reg. Guide 1.92 에서 제시된 방향 조합 방식인 100:40:40 Rule 혹은 SRSS 조합법 중 선택하여 적용합니다.

<응답스펙트럼 곡선 정의>

- 1) 전체응답을 선택합니다.
- 2) 방향에 대해 X 선택합니다.
- 3) 정의한 스펙트럼 함수 KDS(41 17 00:2019) 선택 후 추가합니다.
- 4) 주파수하중세트 이름을 RS_X 입력합니다. (인지하기 쉬운 이름으로 정의)
- 5) X 방향 생성을 완료하고 Y, Z 방향에 대해 동일한 과정으로 진행합니다.

TIP

일반적으로 지진하중의 경우 수평하중이 수직하중보다 매우 크게 발생하며, 계속된 값 혹은 설계기준에서 각 방향별 응답스펙트럼 곡선을 다른 값으로 제시할 수 있습니다.





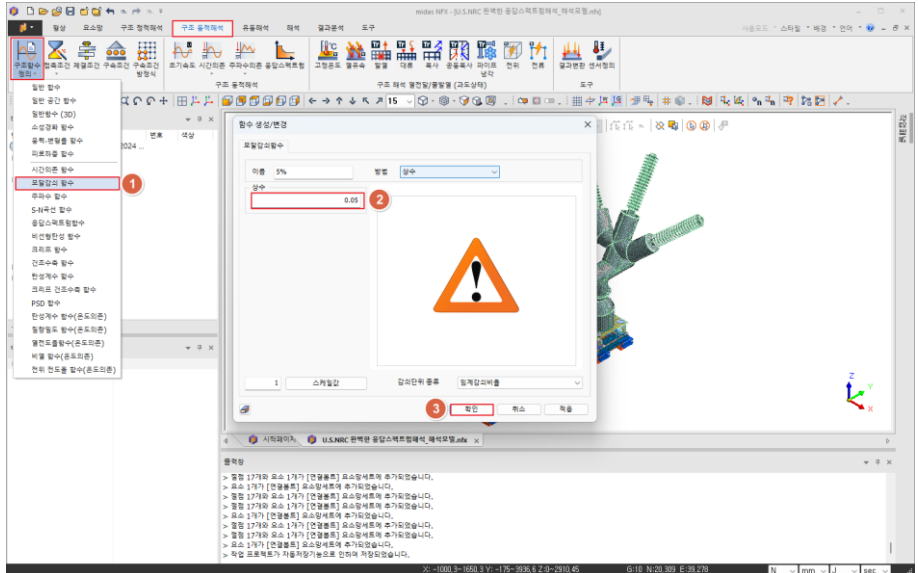
모달감쇠함수는 모드해석에서 적용하는 구조 시스템계의 평균적인 감쇠비를 정의합니다.

응답스펙트럼 곡선에서 정의된 계측 시점의 감쇠비와 동일할 시 곡선 및 하중을 그대로 정의하며, 차이가 존재할 시 구조 시스템계의 감쇠비 수준에 따라 자동으로 변환하여 적용합니다.

주요 구조물에 따른 감쇠비는 Reg. Guide 1.61 에서 참고할 수 있습니다. 상세값 정의를 위해서는 실험을 통한 응답값 비교가 필요합니다.

<모달 감쇠함수 정의>

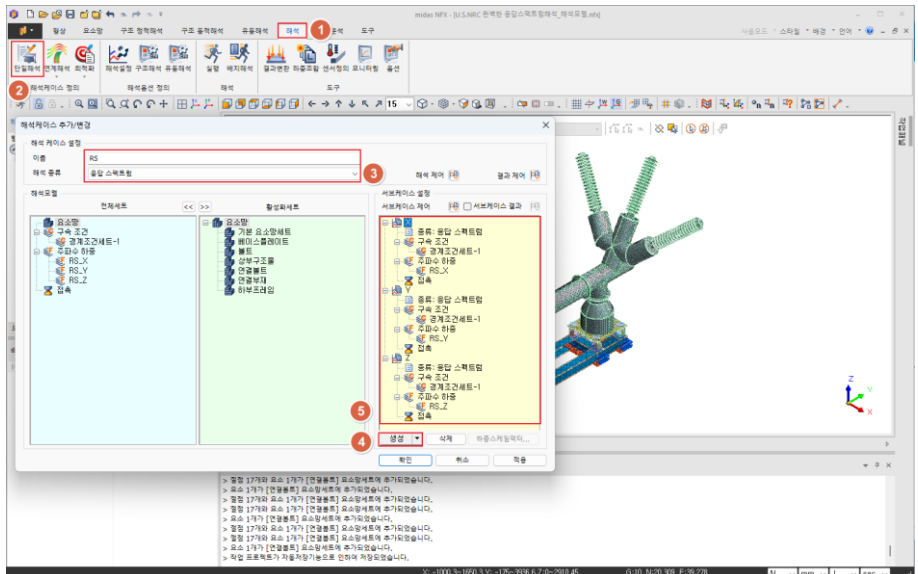
- 1) 함수 기능 중 모달감쇠 함수를 선택합니다.
- 2) 상수값으로 감쇠비 0.05(5%) 입력합니다.
- 3) 생성을 완료합니다.



4-6. 해석케이스 정의

<응답 스펙트럼 서브케이스 정의>

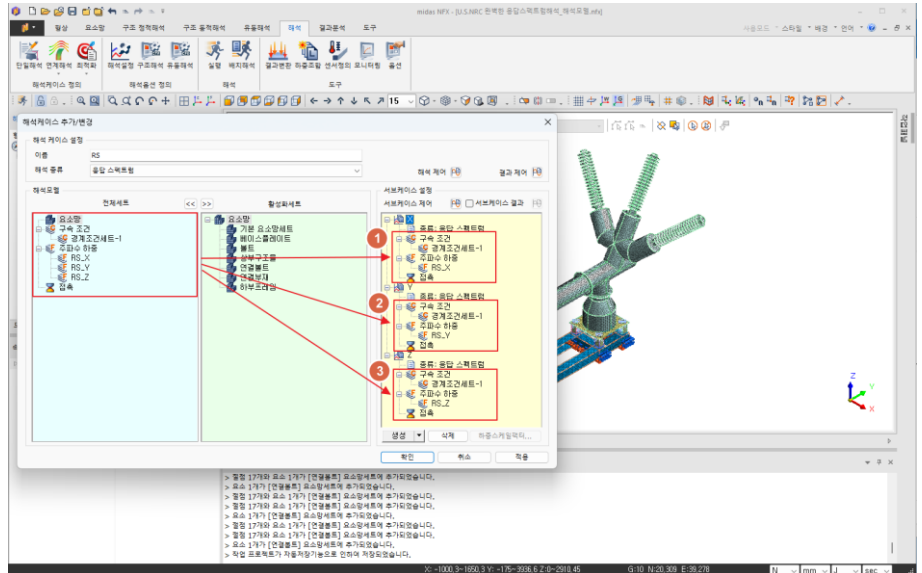
- 1) 해석탭을 선택합니다.
- 2) 해석케이스 중 단일해석을 선택합니다.
- 3) 해석케이스의 이름을 RS 입력 후 응답 스펙트럼으로 변경합니다.
- 4) 방향별 해석을 위해 응답스펙트럼 서브케이스 2 개를 추가합니다.
- 5) 각각의 서브케이스에 대해 F2 키를 통해 이름을 X, Y, Z 로 변경합니다.





다중 서브케이스 해석을 위해 "전체세트"에 표기되며, 실제 해석에 반영되는 것은 "활성화 세트" 및 "서브케이스 설정" 영역에 존재하는 조건이므로 주의가 필요합니다.

- 1) 구속조건과 RS_X 하중을 마우스 드래그를 통해 적용합니다.
- 2) 동일하게 구속조건과 RS_Y 하중을 마우스 드래그를 통해 적용합니다.
- 3) 동일하게 구속조건과 RS_Z 하중을 마우스 드래그를 통해 적용합니다.



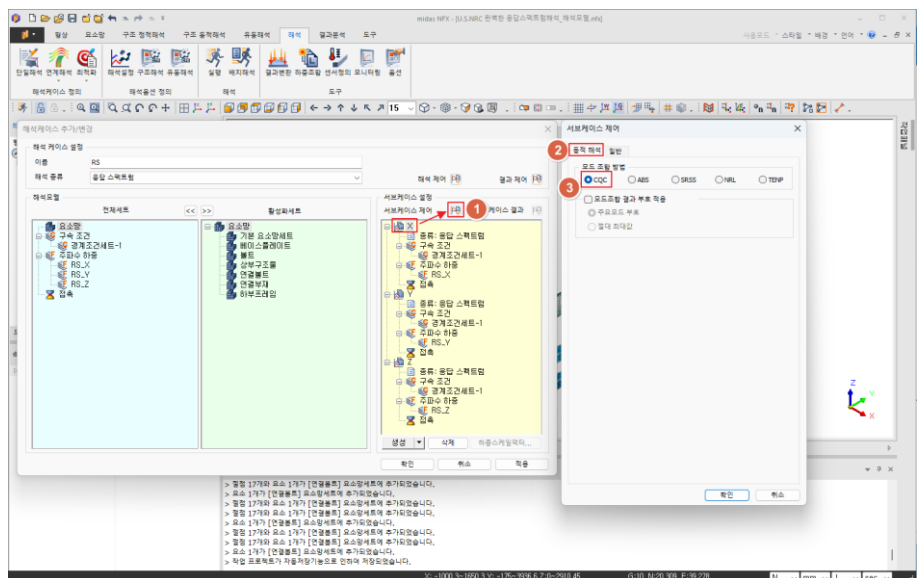
개별 모드 결과에 대한 조합 방법을 정의합니다.

고전적으로 SRSS 조합방법을 많이 사용하였으며, 밀집된 고유진동수 영역에서 응답이 증폭되는 문제가 발생하여 CQC 등 다양한 방법이 제시되고 있습니다.

Reg. Guide 1.92 준하여 적용에 대한 제한조건 등 참고해서 진행해보시는 것 추천드립니다.

<응답 스펙트럼 서브케이스 제어 정의>

- 1) 서브케이스 제어 선택합니다.
- 2) 동적 해석 탭 선택합니다.
- 3) 개별 모드에 대한 조합 방법을 CQC 로 선택합니다.



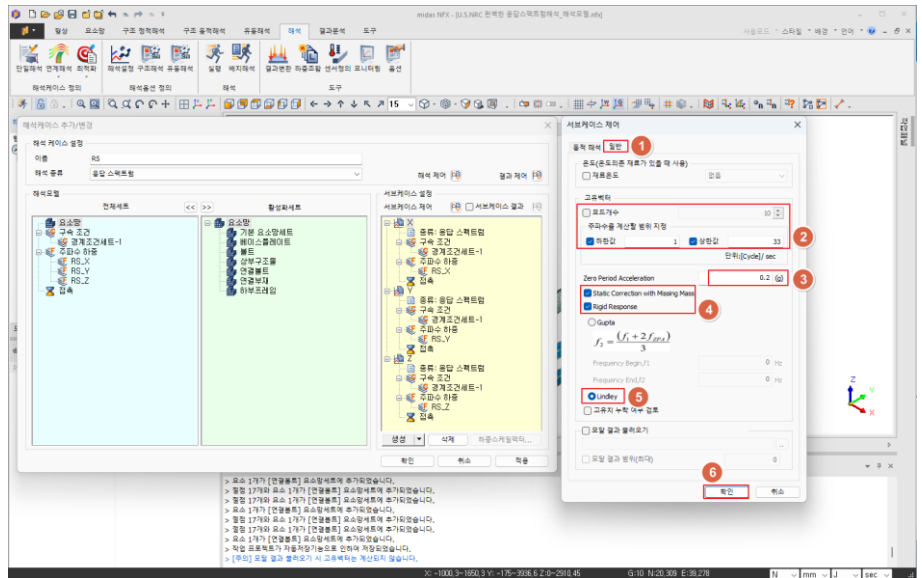


고유진동수 계산시 1순위는 모드개수를 따라가며, 필요시 비활성화 후 상/하한값을 만족하는 개수를 자동으로 산정할 수 있습니다.

두가지 조건 모두 활성화 시 상/하한값을 만족하지 않더라도 개수에 도달하면 모드해석은 중단됩니다.

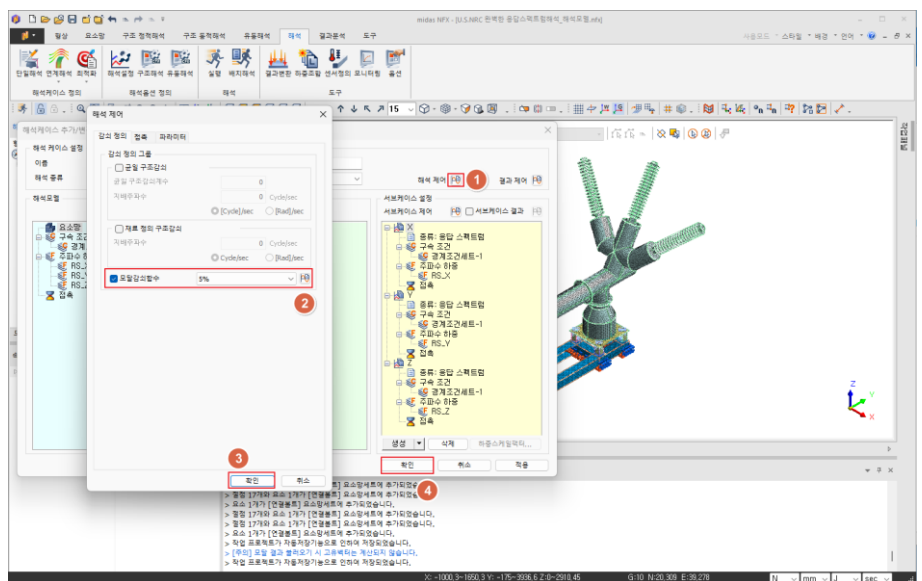
천이구간의 Rigid response 및 ZPA(33 Hz, 가변적) 이후 누락구간에 대한 자동계산 기능을 제공하고 있습니다.

- 1) 일반 탭을 선택합니다.
- 2) 모드개수 비활성화 후 하한값/상한값에 대해 1, 33 Hz 로 정의합니다.
- 3) Rigid response/Static ZPA 계산을 위한 영주기가속도(ZPA) 값을 0.2 g 입력합니다.
- 4) Static ZPA, Rigid response 기능 모두 활성화 합니다.
- 5) Rigid response 관련하여 Lindley-yow method 선택합니다.
- 6) 확인을 눌러 서브케이스 제어 설정을 완료합니다.



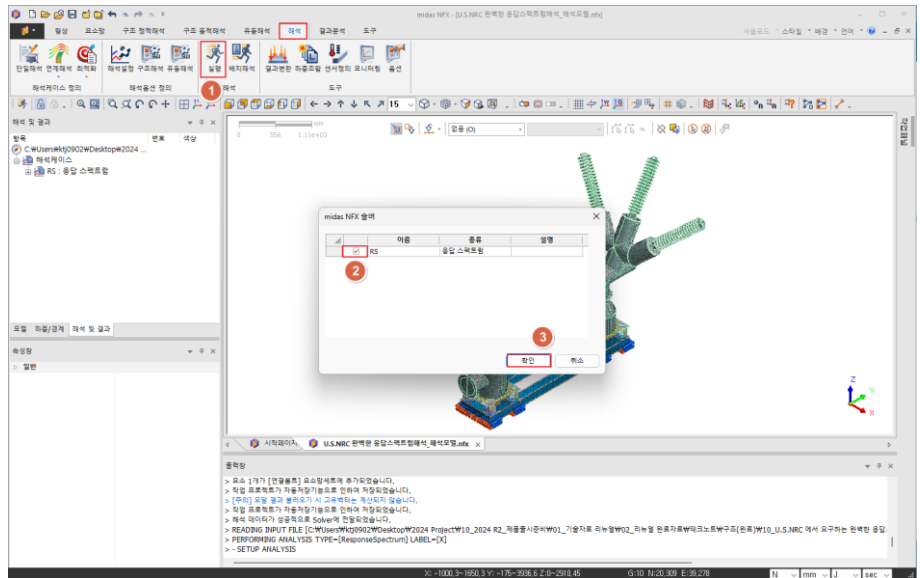
<응답 스펙트럼 해석 제어 정의>

- 1) 해석 제어 선택합니다.
- 2) 모달감쇠함수 활성화 후 기준에 정의한 모달감쇠함수를 선택합니다.
- 3) 확인을 눌러 해석케이스 제어 설정을 완료합니다.
- 4) 해석케이스 전체 설정에 대해 완료합니다.



4-7. 해석 실행

- 1) 해석 실행 버튼을 선택합니다.
- 2) 해석을 원하는 해석케이스에 대하여 체크표시 합니다.
- 3) 확인을 눌러 해석을 실행 합니다.



4-8. 결과 확인

- 1) 결과분석 탭을 선택합니다.
- 2) 해석 및 결과 트리메뉴에서 원하는 결과에 대해 확인합니다.
(각 해석/서브케이스에서 우클릭 > 해석결과추가 가능)
- 3) 작업 화면 내 출력되는 결과에 대해 컨투어와 값으로 상세 확인합니다.

