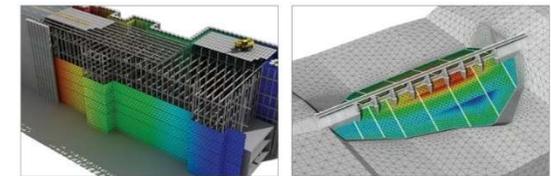


Release Notes

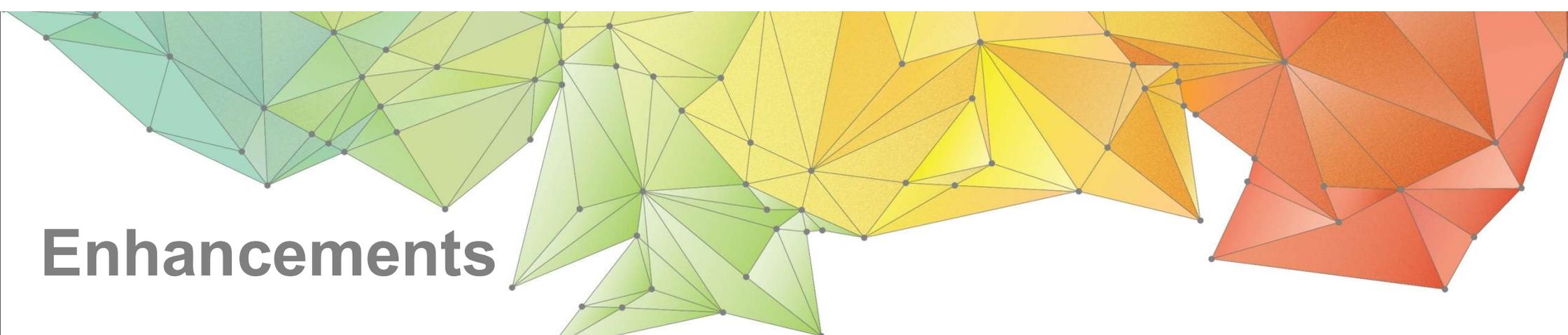
Product Ver. : GTS NX Ver.320

GTS NX
Geo-Technical analysis System New eXperience



최적화된 차세대 플랫폼과 64bit 통합솔버를 탑재한
지반분야 유한요소 해석 솔루션

MIDAS



Enhancements

1. Analysis

- 1.1 유로코드에 따른 부분계수 적용(2D only)
- 1.2 가상보 생성
- 1.3 말뚝요소에서 탄성영역(Elastic Zone) 고려옵션 추가
- 1.4 Jointed Rock Mass 재료모델 개선
- 1.5 PM4Sand 재료모델 추가
- 1.6 Rayleigh Damping 강성계산 옵션 추가
- 1.7 프리텐션 타입 추가(Multi-Stage Prestressing)
- 1.8 응답스펙트럼 해석의 모드조합결과가 부호를 가질 수 있도록 개선

2. Pre/Post Processing

- 2.1 침투해석 후처리에서 침윤선/면 출력 및 다른 결과와 동시출력
- 2.2 불포화함수(SWCC) 추정기능 추가(from 입도분포곡선)
- 2.3 SRC Section DB 추가
- 2.4 H-단면형상 BD선택시 응력계수 자동계산
- 2.5 인공지진파 생성시 결과값 제어 옵션 추가
- 2.6 Loft 기능 개선
- 2.7 동적절점하중 레이블 위치 변경 옵션 추가
- 2.8 시공단계해석 후처리 이동 바 서브케이스 선택 변경
- 2.9 강제변형율 기능 개선
- 2.10 LDF 적용기능 개선
- 2.11 소성경화함수(Plastic Hardening Function) 용어 수정
- 2.12 2차원 등가선형해석 출력부분 수정



1. Analysis

1.1 유로코드에 따른 부분계수 적용(2D Only)

- 유로코드(EN1997-1 Annex A)에 따른 부분계수를 2차원 모델에서 적용할 수 있습니다. (**※응력해석이 포함된 시공단계에서 적용이 가능하며, 점착력/내부마찰각이 적용 가능한 재료모델에서만 해당기능을 선택할 수 있습니다.**)

정적/사면 해석 > 시공단계 > 부분계수

이름: DA1C2

부분계수 재질속성 하중

데이터베이스 가져오기: Eurocode 7 - DA1, C1

재료속성

점착력 (c): 1.25

내부마찰각 (φ): 1.25

비배수 전단강도 (Su): 1.4

영구하중

유리: 1

불리: 1

변동하중

유리: 1

불리: 1.3

추가 변경 삭제

이름	재질속성	하중
DA1C2	0	0

닫기

[부분계수 - 부분계수]

이름: DA1C2

부분계수 재질속성 하중

지반물성/구조특성

재질속성
1: Clay
2: Sand

부분계수

파라미터	원물성	계수고려
점착력 (c)	7	5.6 kN/m ²
내부마찰각 (φ)	20	16.2343 [deg]
점착력증감	0	0 kN/m ³

추가 변경 삭제

이름	재질속성	하중
DA1C2	0	0

닫기

[부분계수 - 재질속성]

이름: DA1C2

부분계수 재질속성 하중

하중	계수
3: SURCHARGE	영구하중-유리

추가 변경 삭제

이름	재질속성	하중
DA1C2	0	0

닫기

[부분계수 - 하중]

1. Analysis

1.1 유로코드에 따른 부분계수 적용(2D Only)

- 유로코드(EN1997-1 Annex A)에 따른 부분계수를 2차원 모델에서 적용할 수 있습니다. (**※응력해석이 포함된 시공단계에서 적용이 가능하며, 점착력/내부마찰각이 적용 가능한 재료모델에서만 해당기능을 선택할 수 있습니다.**)

- 정적/사면 해석 > 시공단계 > **부분계수**

- **부분계수**

- 데이터베이스로부터 영구하중/변동하중/재료물성에 대한 안전율을 정의할 수 있으며, 사용자가 직접 부분계수를 지정할 수도 있습니다.
 - 재질속성에서는 정의된 부분계수에 따라 원물성과 계수를 고려하였을 때의 값을 비교할 수 있습니다.
 - 하중탭에서는 지정한 하중세트에 대한 계수특성을 정의합니다.
 - 재료와 하중의 적용유무에 따라 부분계수탭에서 O, X로 표기되어집니다.

부분계수	영구하중		변동하중		재료물성		
	유리	불리	유리	불리	점착력(c)	전단저항계수(tan Φ)	비배수 전단강도(Su)
Eurocode 7 - DA1, C1	1.000	1.350	1.000	1.500	1.000	1.000	1.000
Eurocode 7 - DA1, C2	1.000	1.000	1.000	1.300	1.250	1.250	1.400
Eurocode 7 - DA2	1.000	1.350	1.000	1.500	1.000	1.000	1.000
Eurocode 7 - DA3	1.000	1.350	1.000	1.500	1.250	1.250	1.400

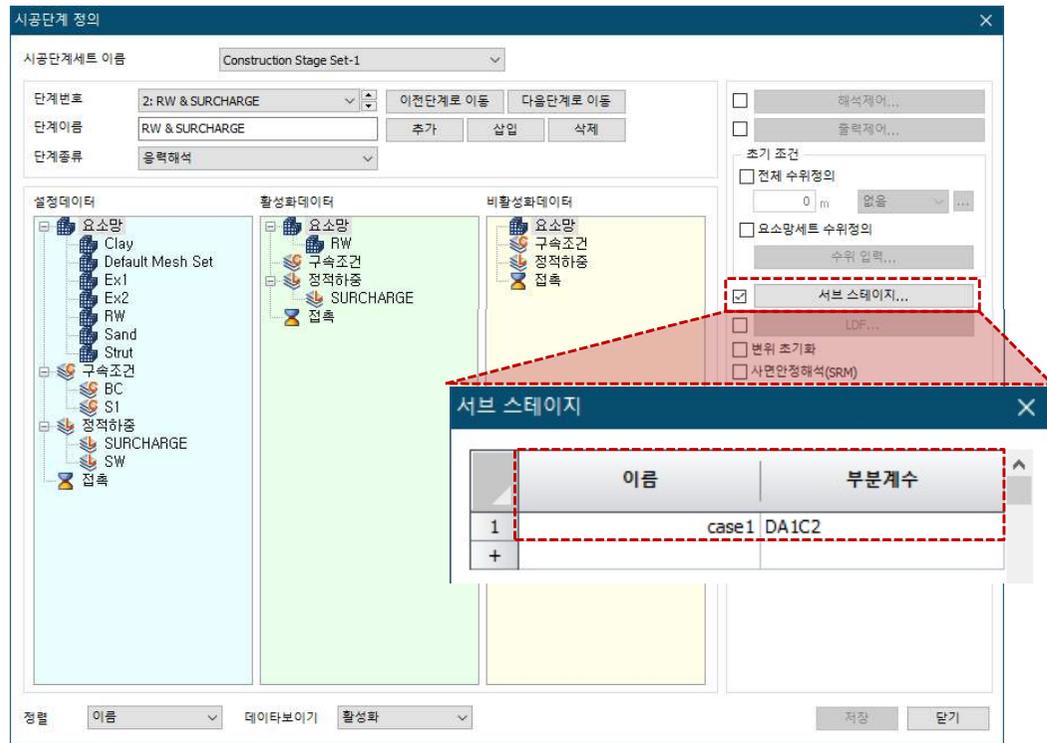
- DA1, C1 : 부분계수들이 하중에만 적용되고 지반의 강도와 저항력에는 적용되지 않음
 - DA1, C2 : 부분계수들이 지반강도와 변동하중에 적용되는 반면 영구하중과 저항력에는 적용되지 않음
 - DA2 : 지반강도에는 계수를 적용하지 않고, 하중 또는 하중의 영향과 저항력에 동시에 부분계수를 적용
 - DA3 : 구조적 하중과 재료물성에 동시에 부분계수를 적용, 지반공학적 하중 및 저항력에는 부분계수를 적용하지 않음

1. Analysis

1.1 유로코드에 따른 부분계수 적용(2D Only)

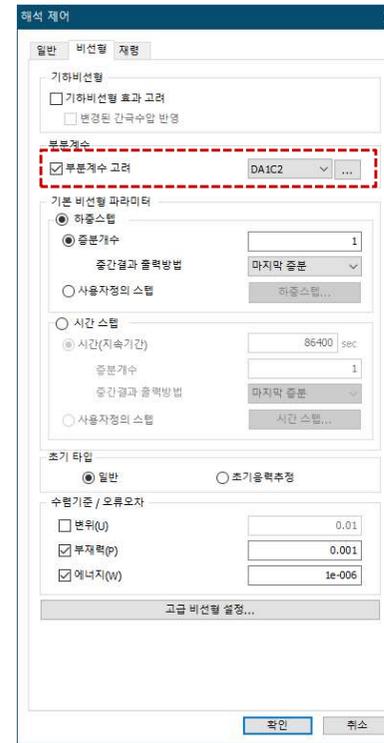
- 유로코드(EN1997-1 Annex A)에 따른 부분계수를 2차원 모델에서 적용할 수 있습니다. (**※응력해석이 포함된 시공단계에서 적용이 가능하며, 점착력/내부마찰각이 적용 가능한 재료모델에서만 해당기능을 선택할 수 있습니다.**)

정적/사면 해석 > 시공단계 > 시공단계세트 > 시공단계 정의



[시공단계 정의]

해석 > 해석케이스 > 추가 > 해석제어 > 비선형



[비선형 해석제어]

- 해석제어에서 부분계수를 정의하는 경우 해당 부분계수는 시공단계 전체에 반영되어집니다.
- 하지만 서브 스테이지에서는 서브 스테이지에서 사용자가 정의한 부분계수로 해석이 수행됩니다.

EX) 해석케이스에서 PF1을 적용하고, 시공단계의 서브스테이지에서 PF2를 적용하는 경우

Stage 1 (PF1)

↓ → Stage 1_1 (PF2)

Stage 2 (PF1)

- PF1에 적용되는 물성 : 원물성 x PF1
- PF2에 적용되는 물성 : 원물성 x PF2

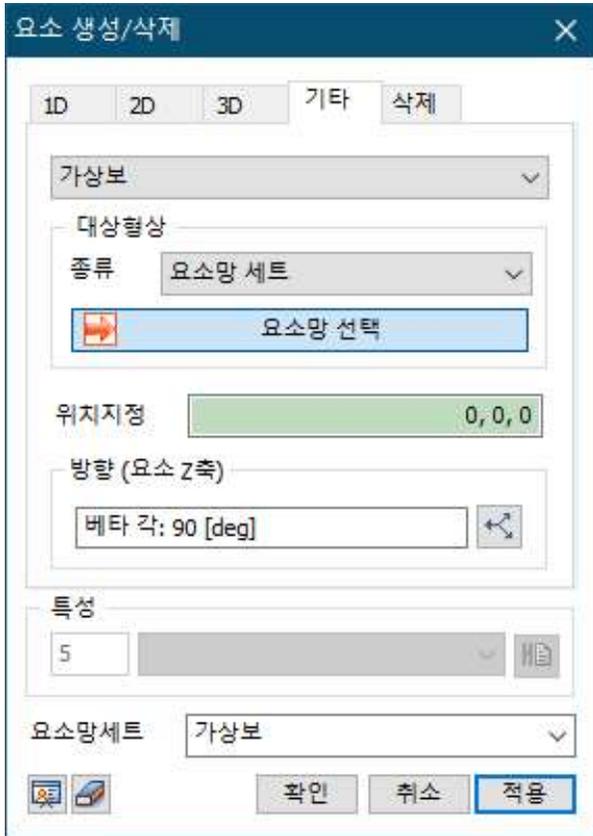
- 응력해석이 포함된 시공단계해석에서 부분계수를 정의하며, 여러 개의 서브 스테이지를 가질 수 있습니다.
- 서브스테이지를 체크한 경우 별도의 대화창을 통해, 서브 스테이지의 이름과 부분계수를 지정합니다. 서브 스테이지 단계에 정의한 이름은 해석 후 결과항목에서 시공단계명_서브스테이지명으로 출력됩니다.

1. Analysis

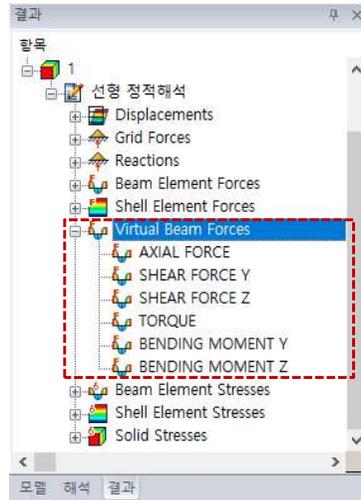
1.2 가상보 생성

- 2D/3D 모델에서 가상의 보를 생성하여, **셸/솔리드 요소를 사용한 구조물의 부재력을 다이어그램 형태로 표현**합니다. 생성된 가상보 요소망 세트를 시공단계에서 활성화시키면 해석 후 **Virtual Beam Forces**를 통해 부재력을 확인할 수 있습니다.
- 생성된 가상보의 법선방향으로 가상의 3차원 평면을 생성하여, 해당 평면을 통과하는 요소의 임의방향 부재력 합계(Local Direction force Sum) 기능을 통해 부재력을 다이어그램 형태로 출력합니다.

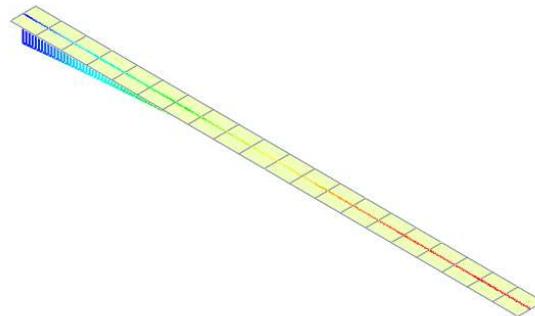
- 요소망 > 요소 > 생성 > 기타 > 가상보



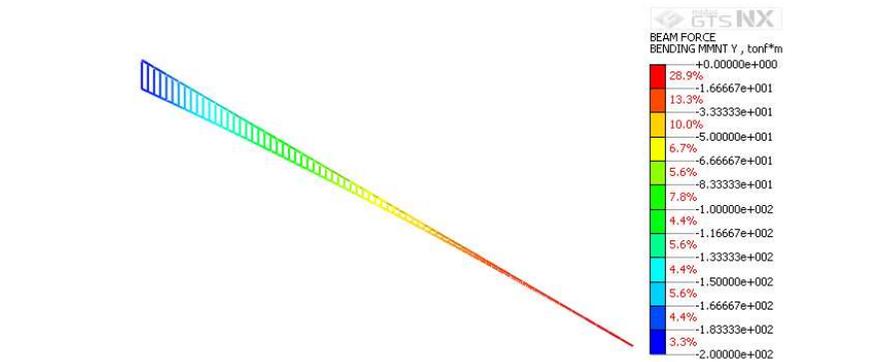
[가상보 생성]



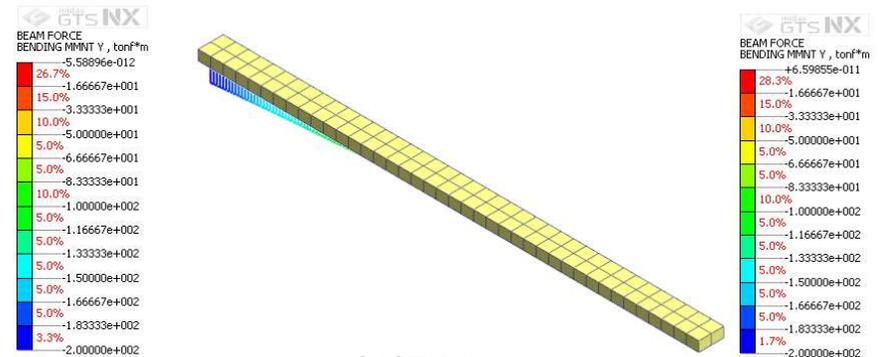
[가상보 결과항목]



[셸요소 - 2D]



[보요소 - 1D]



[솔리드요소 - 3D]

1. Analysis

1.3 말뚝요소에서 탄성영역(Elastic Zone) 고려옵션 추가

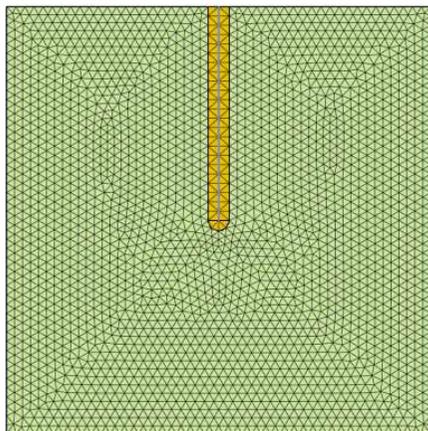
- 2D/3D 모델에서 1D 요소인 보요소에 말뚝 요소를 사용하는 경우 말뚝의 직경만큼 탄성영역(Elastic zone)을 고려합니다. Elastic Zone을 고려하지 않은 경우 말뚝 주위영역에 소성이 발생할 수 있으며, 변형이 크게 발생하는 경향이 있습니다. 이를 말뚝직경만큼을 탄성영역으로 고려하여 해당 영역에 소성이 발생되지 않도록 계산합니다.

(※이전버전에서 작성된 파일요소에서 elastic zone 기능을 사용하는 경우 말뚝 요소와 1D 요소의 연결정보가 없어, 해석이 정상적으로 수행되지 않습니다. 이 경우 말뚝요소를 삭제하시고 다시 생성하시기 바랍니다.)

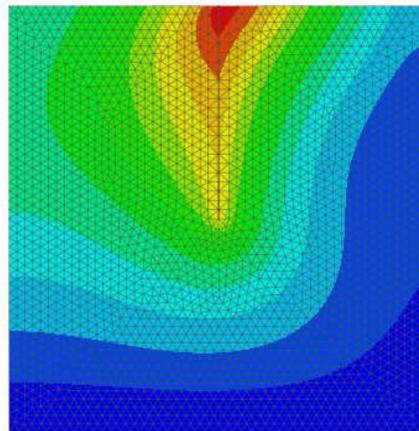
- 요소망 > 재료/좌표계/함수 > 재료 > 인터페이스/말뚝 > 말뚝



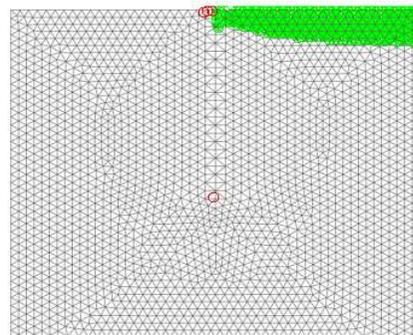
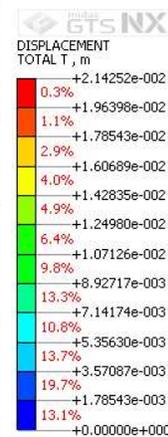
[탄성영역 고려]



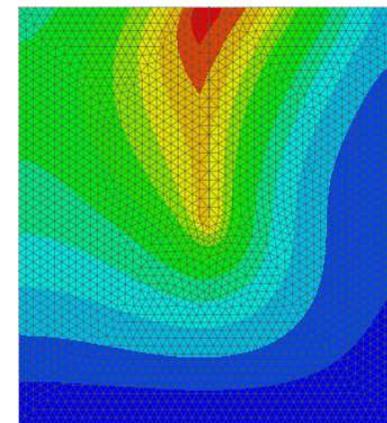
[테스트 모델]



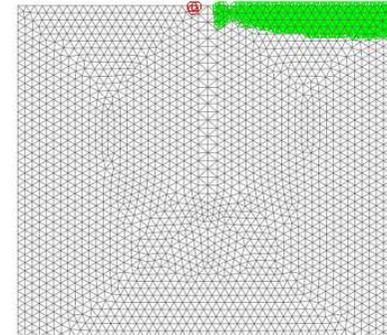
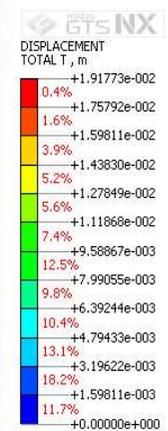
[탄성영역 미고려시 - 전체변위]



[탄성영역 미고려시 - 소성영역]



[탄성영역 고려시 - 전체변위]



[탄성영역 고려시 - 소성영역]



1. Analysis

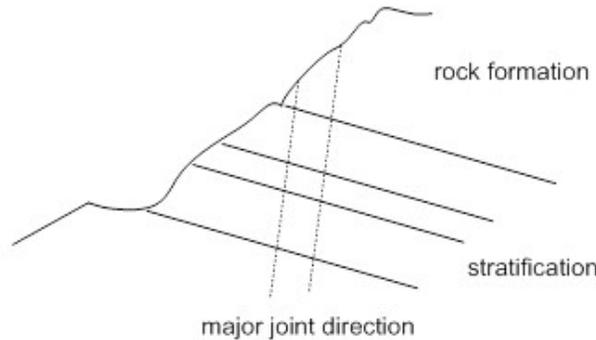
1.4 Jointed Rock Mass 재료모델 개선

- 각 절리별로 **팽창각과 인장강도 항목이 추가**되었습니다.
- **무결암(intact)에서 Mohr-Coulomb의 파괴기준을 적용**할 수 있습니다.

▪ 요소망 > 재료/좌표계/함수 > 재료 > 직교이방성 > **Jointed Rock Mass**

[Jointed Rock Mass]

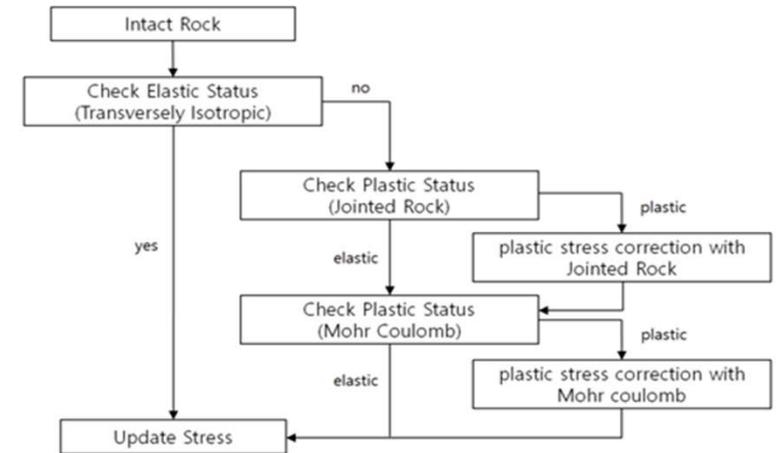
- Jointed Rock 모델은 직교 등방성 탄성(Transversely Isotropic) 모델과, 이방성 소성(Anisotropic Plastic) 모델의 특성을 함께 갖는 **이방성 탄성-완전소성 모델**입니다. Jointed Rock 모델은 아래 개념도와 같이 층이 진 접합된 암석층의 거동을 모사하는데 적합합니다.
- 탄성계수, 프아송비, 각 절리의 점착력, 마찰각, 팽창각, 인장강도는 Mohr-coulomb 모델과 동일합니다. 각 절리의 경사방향, 경사각, 편각을 정의하는 방식은 Transversely Isotropic 모델과 동일하지만 본 모델에서는 3개의 절리 입력이 가능하며, 여기서 첫 번째 절리에 정의된 alpha1과 alpha2에 의해 탄성 이등방 거동이 정의되며, 나머지 2개 절리는 소성파괴를 정의할 때에만 사용됩니다.



[Jointed Rock 모델의 개념도]

[무결암 파라미터]

- 무결암 파라미터가 체크되지 않은 경우 기존 Jointed Rock Mass 모델과 동일합니다.
- 무결암 파라미터를 체크하는 경우 점착력, 마찰각, 팽창각(선택)을 입력받습니다.



[해석 흐름도]

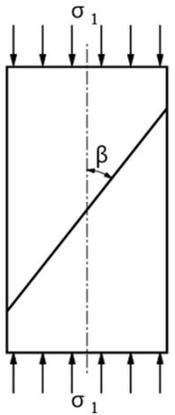
1. Analysis

1.4 Jointed Rock Mass 재료모델 개선

- 각 절리별로 **팽창각과 인장강도 항목이 추가**되었습니다.
- **무결암(intact)에서 Mohr-Coulomb의 파괴기준을 적용**할 수 있습니다.

- Reference

Jaeger's(1960) analytical solution for the effect of a single joint plane of weakness



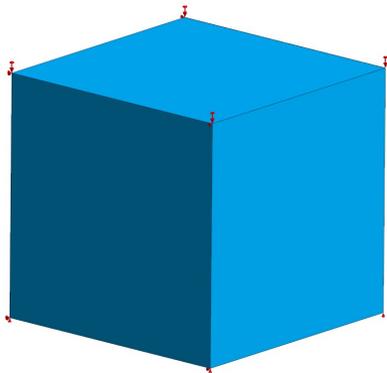
- 단축방향 압축시험(uniaxial compressive test)에서 최대응력 σ_c

$$\sigma_c = \begin{cases} \min\{2c\sqrt{N_\phi}, \frac{2c_j}{(1 - \tan \phi_j \tan \beta) \sin 2\beta}\} & \text{if } (1 - \tan \phi_j \tan \beta) > 0 \\ 2c\sqrt{N_\phi} & \text{if } (1 - \tan \phi_j \tan \beta) < 0 \end{cases}$$

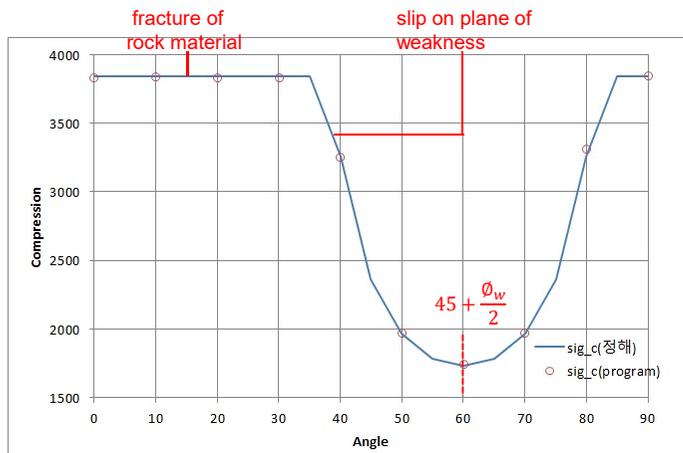
$$- N_\phi = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

c : 점착력, c_j : 절리면의 점착력, ϕ_j : 절리면의 마찰각

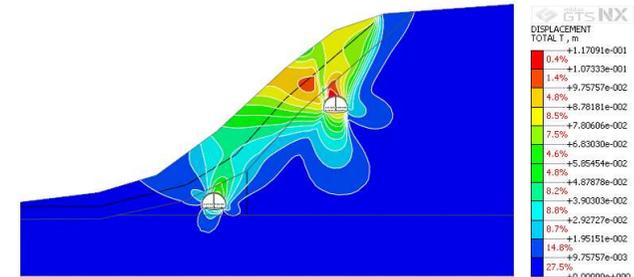
β : 주응력 방향에 대한 불연속 표면의 기울기



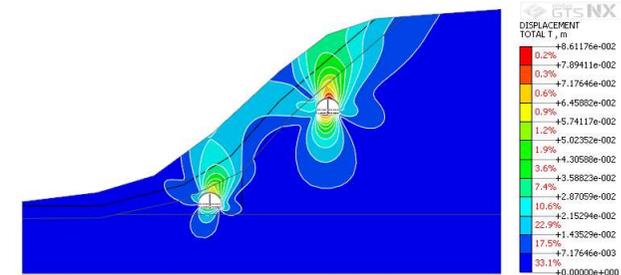
[단위모델]



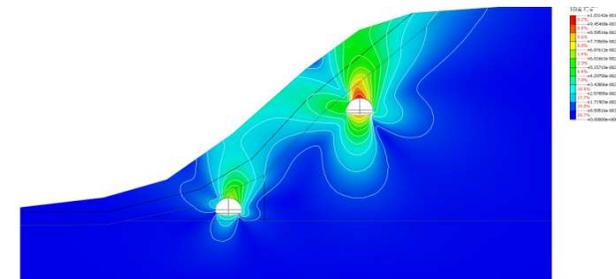
[불연속 표면 기울기에 따른 압축응력]



[Mohr-Coulomb 모델]



[Jointed Rock 모델]



[무결암 파라미터를 고려한 Jointed Rock 모델]

1. Analysis

1.5 PM4Sand 재료모델 추가

- Modified UBCSand 모델과 같이 유효응력을 기초로 한 소성이론을 활용하여 액상화 현상을 모사하기 위하여 개발된 모델입니다.
- 외연적(explicit) 방법으로 액상화 현상 모사에 적용하기 위하여 개발된 재료모델을 기초로 내연적(implicit) 비선형 해석이 가능하도록 확장하였습니다.
- 탄성영역에서는 기본적으로 압력에 대해 탄성계수가 변화하는 비선형 탄성거동을 보입니다.
- 소성흐름법칙은 비상관 소성유동법칙을 근거로 한 소성포텐셜을 활용하며, 추가로 배열효과나 지진 후 재압밀을 고려할 수 있습니다.

▪ 특성/좌표계/함수 > 재료 > 등방성 > PM4Sand



[PM4Sand]

- 비선형 탄성 : 탄성구간은 유효압력(p')에 대해 탄성계수가 변화하는 비선형 탄성 특성을 보입니다. - 포아송비는 압력에 따라 변하지 않으며, 등방성 성질이 유지된다고 가정하여 체적탄성계수는 아래와 같이 계산됩니다.

$$G = G_o p_A \left(\frac{p}{p_A} \right)^{1/2} \left(1 - C_{SR,o} \left(\frac{M}{M^b} \right)^{m_{SR}} \right) \quad K = \frac{2(1+\nu)}{3(1-2\nu)} G$$

- 배열효과 : 입자가 흔들리면서 들어지는 효과를 고려합니다.

$$C_{k\alpha} = 1 + \frac{C_{K\alpha f}}{1 + (2.5 \langle (\alpha - \alpha_{in}^{true}) : \mathbf{n} \rangle)^2} C_{p2p2} C_{zpk1} \quad G = G_o p_A \left(\frac{p}{p_A} \right)^{1/2} \left(1 - C_{SR,o} \left(\frac{M}{M^b} \right)^{m_{SR}} \right) \left(\frac{1 + \frac{z_{cum}}{z_{max}}}{1 + \frac{z_{cum}}{z_{max}} C_{GD}} \right)$$

- 지진 후 재압밀 : PM4Sand 재료 모델의 지진 이후의 재압밀을 비선형 탄성에서 고려하고 있으나 반복하중에 대해서는 보정되지 않았기 때문에 강진 이후에 사용해야 합니다.

$$G_{post-shaking} = F_{sed} G \quad K_{post-shaking} = F_{sed} K \quad F_{sed} = F_{sed,min} + (1 - F_{sed,min}) \left(\frac{p}{20 p_{sed}} \right)^2 \leq 1 \quad p_{sed} = p_{sed,o} \left(\frac{z_{cum}}{z_{cum} + z_{max}} \right) \left(1 - \frac{M^{cur}}{M^d} \right)^{0.25}$$

파라미터	항목	설명
Dr	상대밀도	$D_R = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_d}}$, $C_d=46$ $D_R = 0.465 \left(\frac{q_{c1N}}{C_{dq}} \right)^{0.264} - 1.063$, $C_{dq}=0.9$
Pa	대기압	101.3kPa
hpo	수축률 파라미터	-

Boulanger, R.W., Ziotopoulou, K. (2017). PM4sand (version 3.1): A sand plasticity model for earthquake engineering applications. Report No. UCD/CGM-17/01, March, Boulanger_Ziotopoulou_PM4Sand_V31_CGM-17-01_2017.pdf, 112pp.

[PM4Sand 모델에 대한 참고문헌]

1. Analysis

1.5 PM4Sand 재료모델 추가

특성/좌표계/함수 > 재료 > 등방성 > **PM4Sand**

고급 파라미터... X

소성 파라미터

- 항복면 파라미터(m) 0
- 경계변화함수 파라미터(nb) 0
- 체적변화함수 파라미터(nd) 0
- 임계체적 마찰각(ϕ_{cv}) 0
- 한계상태선 파라미터(Q) 0
- 한계상태선 파라미터(R) 0
- 경화 파라미터(h_0) 0
- 팽창각 파라미터(Ad_0) 0
- 최대 간극비(e_{max}) 0
- 최소 간극비(e_{min}) 0
- 배열 텐서 조정 파라미터(C_z) 0
- 회전된 체적변화함수파라미터(CDR) 0
- 변형축적 보정 파라미터(C_ϵ) 0
- 배열효과 고려시 경화보정파라미터(C_{kaf}) 0
- 배열텐서 최대값(Z_{max}) 0

탄성영역

- 전단탄성영향지수(m_{SR}) 0
- 전단탄성영향계수 (C_{SR}) 0
- 전단탄성계수(G_0) 0

지진 후 재압밀

- 지진후 재압밀 보정 파라미터($P_{sed, O}$) 0
- 지진후 재압밀 보정 파라미터($F_{sed, min}$) 0

[PM4Sand - 고급 파라미터]

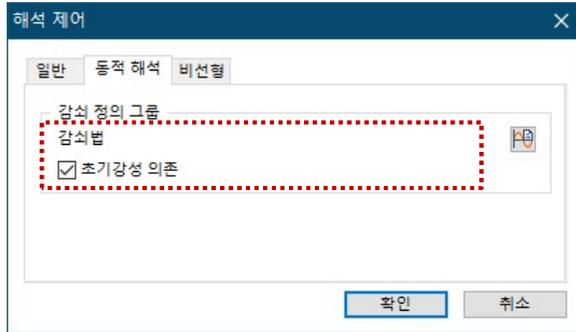
파라미터	항목	설명
소성파라미터		
m	항복면 파라미터	기본값 : 0.01
n^b/n^d	경계체적변화함수 파라미터	$M^b = M \exp(-n^b \xi_R)$ $M^d = M \exp(n^d \xi_R)$
Φ_{cv}	임계체적 마찰각	$M = 2 \sin(\phi_{cv})$
Q, R	한계상태선 파라미터	$\xi_R = R / \{Q - \ln(100p/p_A)\} - D_R$
h_0	경화 파라미터	$h_0 = \min\{(0.25 + D_R)/2, 0.3\}$
Ad_0	팽창각 파라미터	추천값 : 1.2~1.5
e_{max} / e_{min}	최대/최소간극비	기본값 : 0.8 / 0.5
배열효과 파라미터		
C_z	배열 텐서 조정 파라미터	기본값 : 250
CDR	회전된 체적변화함수 파라미터	$D_{rot} = A_d \cdot \frac{\langle -z : n \rangle}{\sqrt{2} z_{max}} \cdot \frac{(\alpha^{dR} - \alpha) : n}{C_{DR}}$
C_ϵ	변형축적 보정 파라미터	$D_R < 35, 5, 35 \leq D_R \leq 75, 5 \rightarrow 1$ 로 선형감소
Ckaf	배열효과 고려시 경화보정 파라미터	$C_{Kaf} = 5 + 220 \cdot (D_{Ro} - 0.26)^3 \in [4.0; 35.0]$
Zmax	배열텐서 최대값	$z_{max} = 0.70 \cdot \exp(-6.1 \cdot \xi_{Ro}) \leq 20$
탄성영역		
m_{SR}	전단탄성영향지수	$G = G_o p_A \left(\frac{p}{p_A}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - C_{SR,o} \left(\frac{M}{M^b}\right)^{m_{SR}}\right)$
$C_{SR, O}$	전단탄성영향계수	
G_0	전단탄성계수	
지진 후 재압밀		
$P_{sed, O} / F_{sed, min}$	지진후 재압밀 보정 파라미터	$F_{sed, min} = 0.04, P_{sed, o} = -P_{atm}/5$

1. Analysis

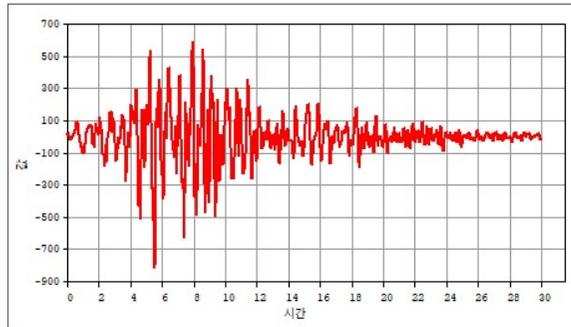
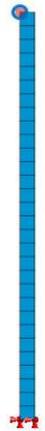
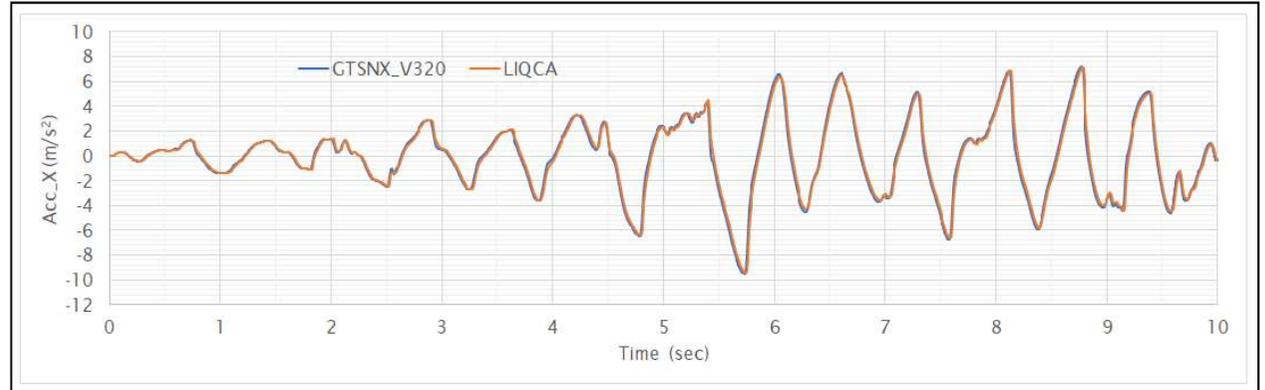
1.6 Reyleigh Damping 강성계산 옵션 추가

- 비선형 시간이력해석에서 Damping force 계산시의 재료 행렬, 즉 **Rayleigh damping** 처리시에 초기강성 의존하는 방법을 추가하였습니다.
- 기존에는 비선형시간이력에서 damping의 경우에도 반복계산 과정 중 강성을 접선강성으로 갱신하여 계산하였으나, 이 옵션을 체크하면 초기강성에 따라 계산되어집니다.

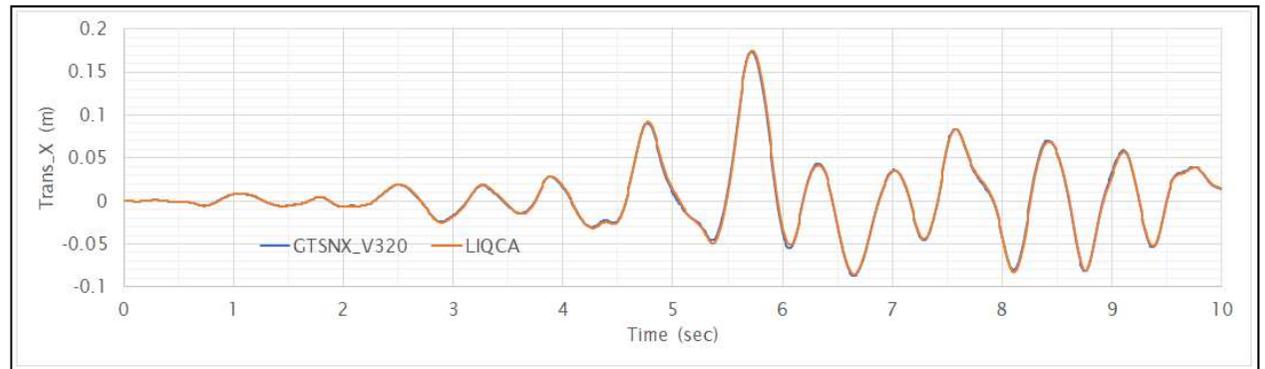
- 정적/사면 해석 > 시공단계 > 시공단계세트 > 응력-비선형 시간이력해석 > 단계종류 : 비선형시간이력해석 > 동적해석
- 해석 > 추가 > 비선형시간이력해석 > 해석제어 > 동적 해석
- 해석 > 추가 > 비선형시간이력해석 + SRM > 해석제어 > 동적 해석



[감쇠법 정의]



[단위 테스트 모델]



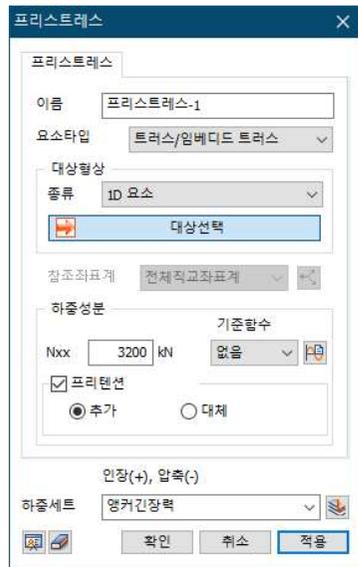
[시간에 따른 이력결과 비교]

1. Analysis

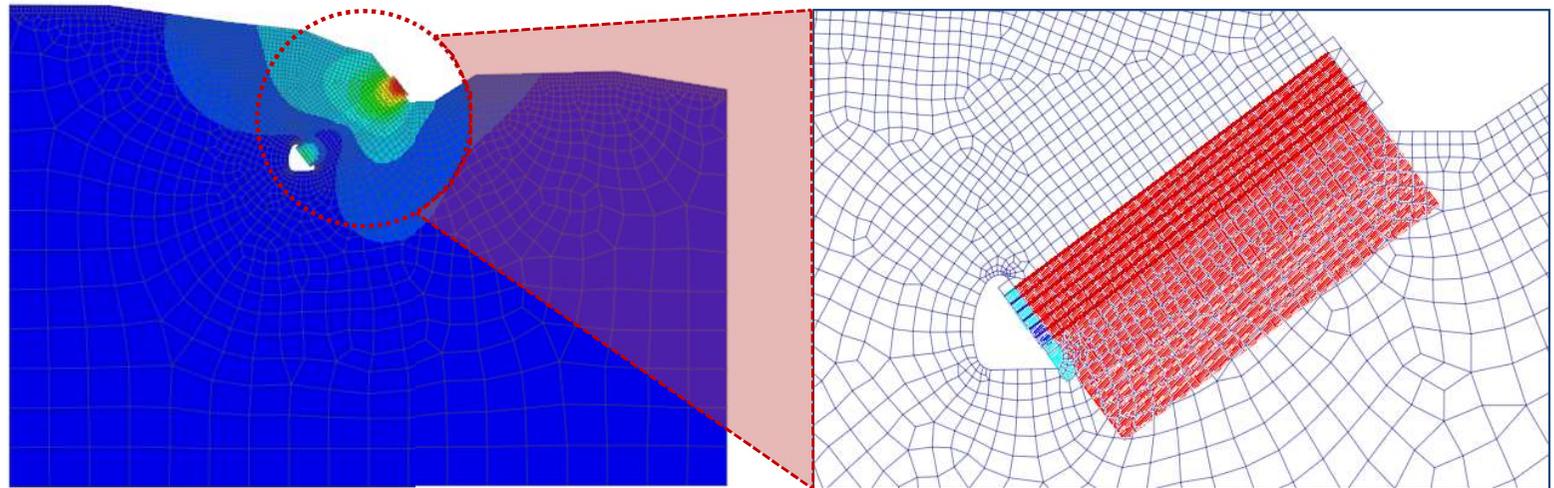
1.7 프리텐션 타입 추가(Multi-Stage Prestressing)

- 프리스트레스의 프리텐션인 경우 외력(external force)으로 해석이 진행되는데, 현재 시공단계에서의 프리텐션의 역할이 해당 요소가 활성화되는 단계에서 추가되는 형태로 계산되어지고 있습니다. 이를 사용자가 **추가 또는 대체의 방식을 설정**할 수 있도록 기능을 개선하였습니다. (ex) **앵커의 재긴장 효과 모사 가능**)

- 정적/사면 해석 > 하중 > 프리스트레스 > 프리텐션



[프리텐션]



[앵커 프리텐션 적용 - 전체 범위]

[앵커 프리텐션 적용 - 축력]

1.8 응답스펙트럼 해석의 모드 조합 결과가 부호를 가질 수 있도록 개선

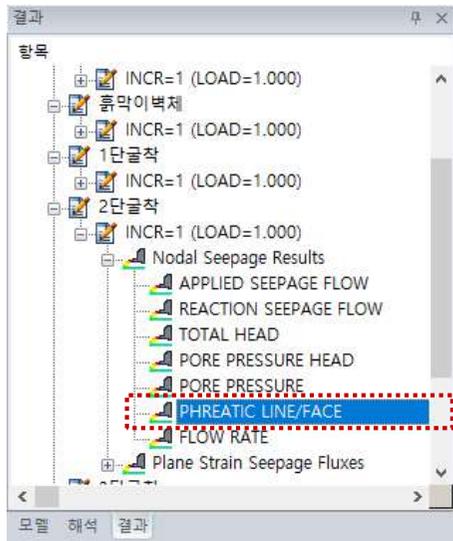
- 응답스펙트럼 해석에서 모드 조합은 각 모드별로 해당 성분(변위, 반력, 부재력 등)을 계산하고, 이 결과를 여러 조합 방법(SRSS, CQC, ...)을 통해 조합하는 과정에서 부호가 사라집니다.
- 성분별로 계산된 결과에 대해 결과 확인의 편의를 위해 특정 조건을 기준으로 부호를 붙여 주는 기능을 추가**하였습니다.
 - Option 1. 각 방향별 주모드의 부호 재생
 - Option 2. 각 모드별 최대 절대값이 큰 모드의 부호 재생

2. Pre/Post Processing

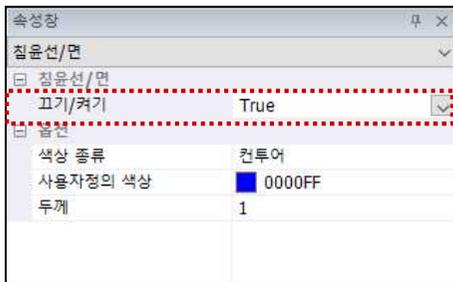
2.1 침투해석 후처리에서 침윤선/면 출력 및 다른 결과와 동시출력

- 침투해석 결과 항목에 침윤선/면 결과가 추가되었습니다.
- 해당 침윤선/면 결과는 다른 결과와 동시에 확인할 수 있습니다.

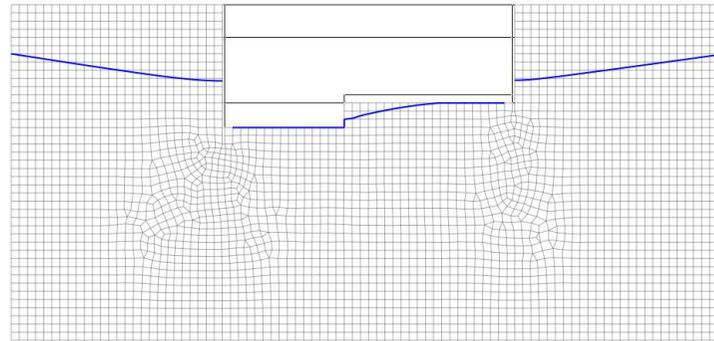
작업트리 > 결과 > Nodal Seepage Results > PHREATIC LINE/FACE



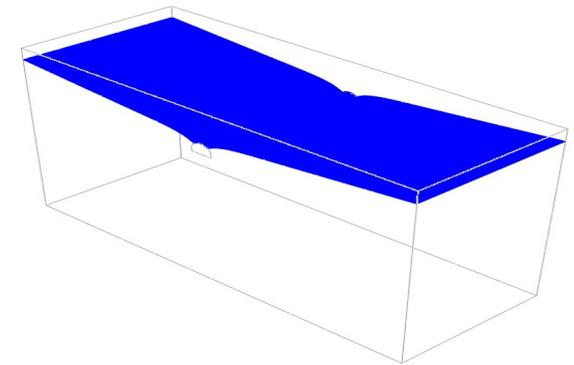
[침윤선/면 결과]



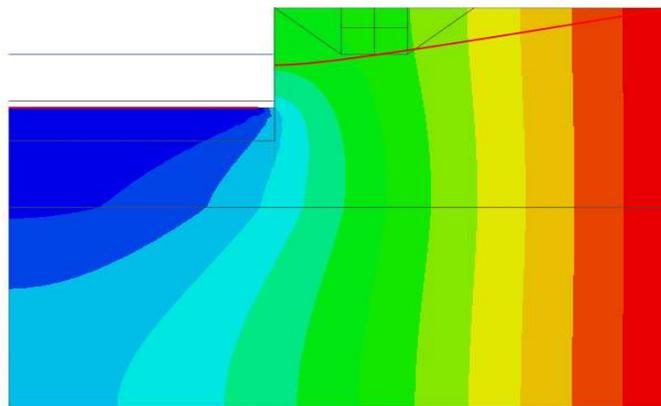
[속성창 > 침윤선/면]



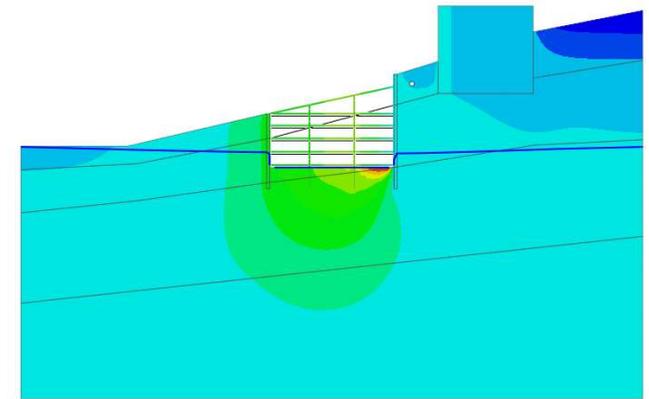
[침윤선 표현(2D)]



[침윤면 표현(3D)]



[전수두와 침윤선 동시표현(침투해석)]



[변형과 침윤선 동시표현(완전연계해석)]

2. Pre/Post Processing

2.2 불포화함수(SWCC) 추정기능 추가(from 입도분포곡선)

- 기존 불포화토 특성의 경우 제안식(Van Genuchten), 사용자 정의(실험 데이터), DataBase(Van Genuchten 논문)을 이용하여 정의하였으나, **입도분포곡선을 생성한 후 입도분포자료와 밀도, 비중 및 간극비로부터 함수특성곡선을 작도할 수 있는 기능을 추가하였습니다.**

▪ Step2) 요소망 > 특성/좌표계/함수 > 함수 > 불포화특성 함수

※ 체적함수비는 아래 식을 기준으로 계산되고 있습니다.

$$\theta_{vi} = \chi \sum_{j=1}^{j=n} \frac{V_{pj}}{V_b}; \quad i = 1, 2 \dots n,$$

여기서, $V_{vi} = \left(\frac{W_i}{\rho_s}\right) e$; V_{vi} : 입자크기, W_i : 입도분포곡선에서의 통과량, ρ_s : 입자밀도, e : 간극비

모관흡수력은

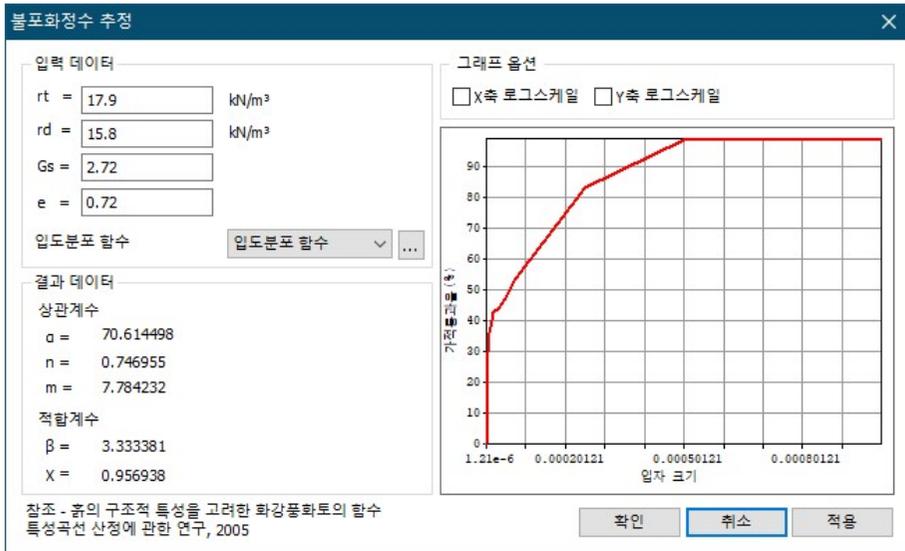
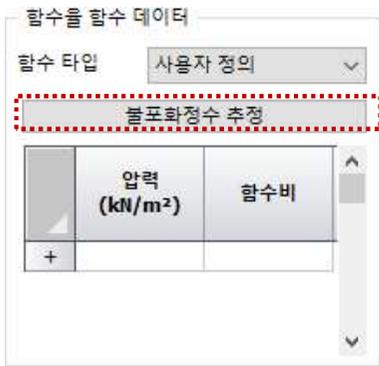
$$\psi_i = 2rcos\phi / \rho_w g r_i$$

여기서, $r_i = R_i [4en_i^{(1-\xi)} / 6]^{1/2}$; 간극반지름,
 $\xi = \beta / \log(D_t)$; $D_t \geq 100\mu m$, $\beta / \log(100)$; $D_t < 100\mu m$

식에서 사용되는 적합계수(χ, β)는 Arya & Paris식에서 국내 화강풍화토의 함수특성곡선과의 차이를 줄이기 위해 도입된 계수로 χ 는 간극비, β 는 입도분포곡선의 형태에 영향을 받고 있습니다.

불포화정수 추정 틀에서는 **단위중량, 비중 및 간극비**를 입력데이터로 받고 있으며, 미리 생성되어진 입도분포 함수를 연동해야 합니다. (생성된 입력분포 함수가 없다면 [...]을 선택해 입도분포 함수를 먼저 생성해야 됩니다.)

입도분포곡선을 기준으로 함수특성곡선을 생성할 수 있으며, 함수율함수 데이터(SWCC)의 사용자 정의에서 불포화정수 추정 틀을 선택합니다.



[불포화정수 추정]

2. Pre/Post Processing

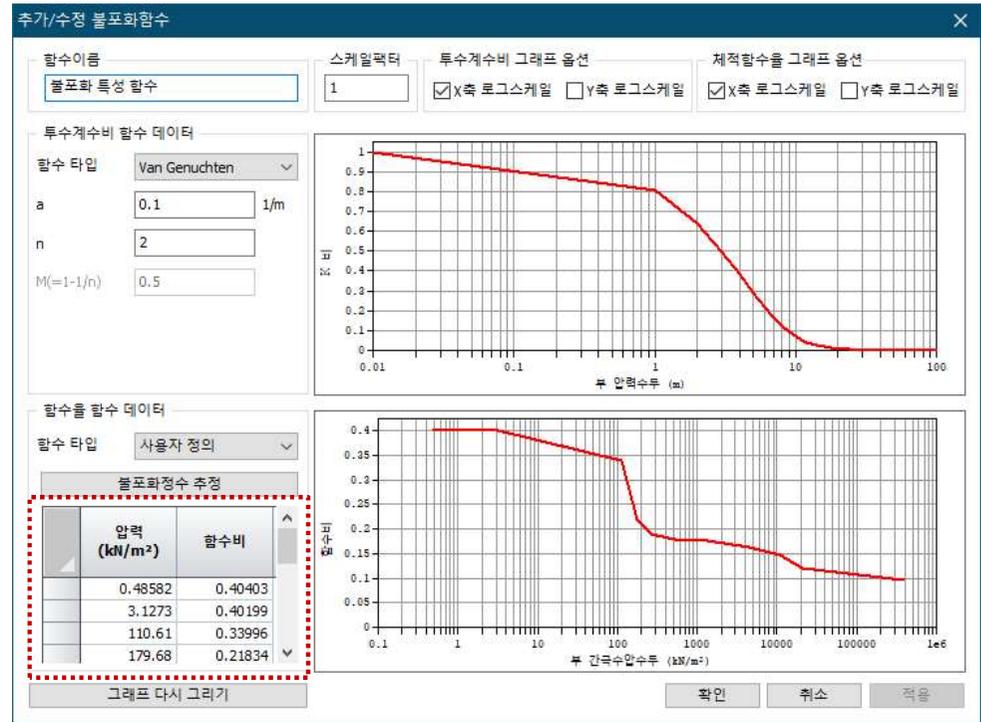
2.2 불포화함수(SWCC) 추정기능 추가(from 입도분포곡선)

- 기존 불포화토 특성의 경우 제안식(Van Genuchten), 사용자 정의(실험 데이터), DataBase(Van Genuchten 논문)을 이용하여 정의하였으나, **입도분포곡선을 생성한 후 입도 분포자료와 밀도, 비중 및 간극비로부터 함수특성곡선을 작도할 수 있는 기능을 추가하였습니다.**

- Step2) 요소망 > 특성/좌표계/함수 > 함수 > 불포화특성 함수**



[불포화정수 추정]



※ 해당 기능은 “흙의 구조적 특성을 고려한 화강풍화토의 함수특성곡선 산정에 관한 연구, 이혜지 석사논문(KAIST), 2005” 에 대한 내용으로 **입도분포곡선 산정식을 사용하여 입도분포를 구하고, Arya and Paris 모델에 보정계수를 도입하여 국내 화강풍화토에 대한 함수특성곡선을 추정**하였습니다.

※ 기본적으로 불포화토 특성은 실험데이터를 기준으로 입력되어야 하며, V320에 추가된 불포화토 툴을 기준으로 SWCC를 추정할 경우 실제 실험데이터와 오차가 발생할 수 있기 때문에 사용자께서 추정된 SWCC 및 침투결과에 대한 적정성을 최종적으로 판단해 주셔야 됩니다.

2. Pre/Post Processing

2.3 SRC Section DB 추가

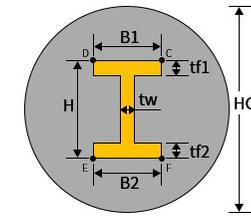
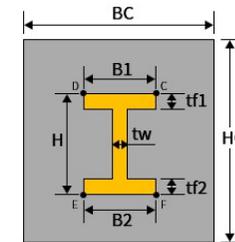
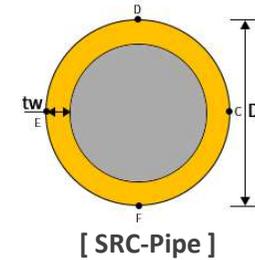
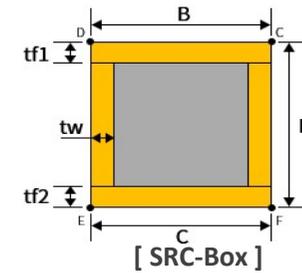
- 선요소(트러스, 임베디드 트러스, 보, 임베디드 보)에 **SRC(Steel framed Reinforced Concrete, 철골 철근 콘크리트)** 단면형상을 정의할 수 있도록 기능을 추가하였습니다.
- Concrete와 Steel의 DB를 선택하여 단면형상을 정의할 수 있습니다. (**※ 프로그램 내에서는 탄성계수가 큰 Steel로 복합단면형상이 자동계산되어집니다.**)

- 요소망 > 특성/좌표계/함수 > 함수 > 특성 > 생성 > 1D > 보 > 단면정보

[단면템플릿]

[재료특성]

- **Steel Data** : 철골 단면 테이터를 입력합니다.
- **Concrete Data** : 철골매립형 철골-철근 콘크리트 단면에서 철근콘크리트 단면의 외곽치수를 입력합니다.
- **Material** : 철골-철근 콘크리트 단면을 구성하는 철골과 콘크리트의 재료적 성질을 입력합니다.
- **Es/Ec** : 콘크리트에 대한 강재의 탄성계수비
- **Ds/Dc** : 콘크리트에 대한 강재의 중량비
- **Ps** : 철골의 포아송비
- **Pc** : 콘크리트의 포아송비
- **Conv. Stiffness Factor** : 콘크리트의 강성감소계수(기본값=1.0) - SRC 단면의 강성계산에서 RC를 Steel로 치환할 때 RC의 강성을 감소시키는 계수로 적용됩니다.

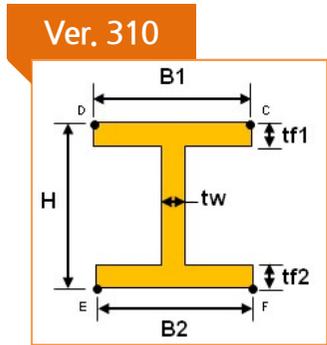


2. Pre/Post Processing

2.4 H-단면형상 DB선택시 응력계수 자동계산

- **H-단면형상에서 DB를 선택하는 경우**, 기존에는 단면적, 비틀림 상수, 단면2차모멘트만 계산되던 것을 **비틀림응력계수, 유효전단면적, 전단응력계수**를 자동계산하도록 기능을 개선하였습니다. 이로 인해 DB선택시 결과항목에서 전단응력이 출력 가능해졌습니다.
- **H 형강에서 r1, r2를 추가로 입력받아 DB선택시와 사용자 정의시 동일한 값이 출력**되도록 기능을 개선하였습니다.

- 요소망 > 특성/좌표계/함수 > 함수 > 특성 > 생성 > 1D > 보 > **단면정보**



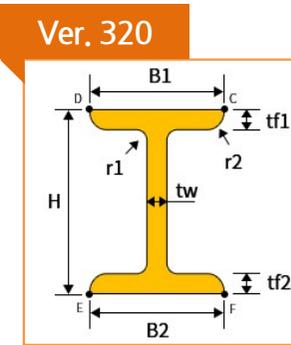
1차원 특성 생성/변경

번호	이름	색상
4	1차원 특성	[Color]

	i단면	j단면	단위
단면적(A)	0.01198	0.01198	m ²
비틀림 상수(Ix)	7.7e-007	7.7e-007	m ⁴
비틀림응력계수	0	0	m
단면 2차모멘트(Iy)	0.000204	0.000204	m ⁴
단면 2차모멘트(Iz)	6.75e-005	6.75e-005	m ⁴
유효전단면적(Ay)	0	0	m ²
유효전단면적(Az)	0	0	m ²
전단응력계수(Gy)	0	0	1/m ²
전단응력계수(Gz)	0	0	1/m ²

단면형상: H 단면

[H-단면형상]



1차원 특성 생성/변경

번호	이름	색상
4	1차원 특성	[Color]

	i단면	j단면	단위
단면적(A)	0.01198	0.01198	m ²
비틀림 상수(Ix)	7.7e-007	7.7e-007	m ⁴
비틀림응력계수	0.0270780987	0.0270780987	m
단면 2차모멘트(Iy)	0.000204	0.000204	m ⁴
단면 2차모멘트(Iz)	6.75e-005	6.75e-005	m ⁴
유효전단면적(Ay)	0.00756353098	0.00756353098	m ²
유효전단면적(Az)	0.00267420725	0.00267420725	m ²
전단응력계수(Gy)	166.426006	166.426006	1/m ²
전단응력계수(Gz)	367.42296	367.42296	1/m ²

단면형상: H 단면

[H-단면형상]

2. Pre/Post Processing

2.5 인공지진파 생성시 결과값 제어 옵션 추가

- GTS NX에 내장되어 있는 **응답 스펙트럼 데이터베이스를 이용하여 가속도 데이터로 변환**합니다. 이 때 프로그램 내부적으로 랜덤함수를 사용하여 생성할 때마다 다른 결과가 출력되었는데, 이 **랜덤함수값을 사용자가 입력할 수 있도록 기능을 추가**하였습니다.

동적 해석 > 도구 > 인공지진파

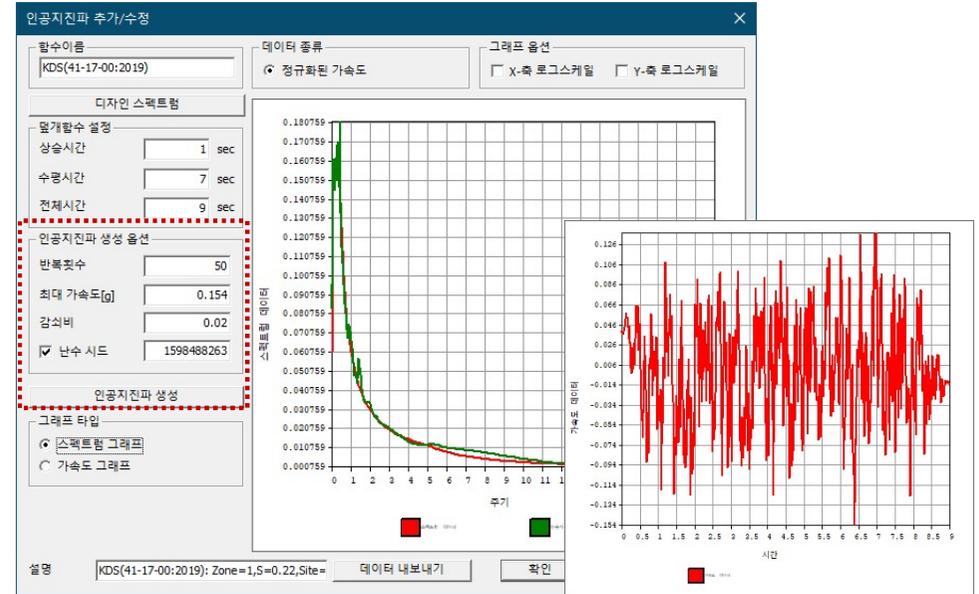
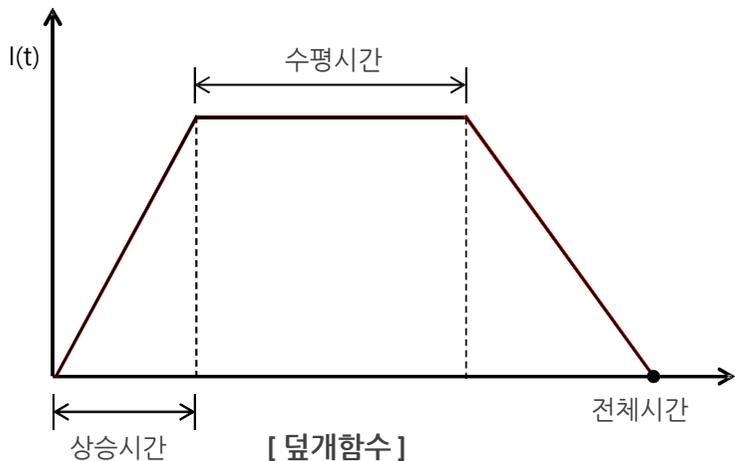
[응답스펙트럼에 상응하는 가속도 시간이력을 생성하기 위한 식]

$$z(t) = I(t) \sum_{n=1}^N A_n \cos(\omega_n t + \phi_n)$$

여기서, ω_n = 주파수, A_n = 진폭, ϕ_n = 위상각, $I(t)$ = 덮개함수

덮개함수

- 실제 지진의 일시적인(Transient) 특성을 모사하기 위해 정상운동(Steady State Motion)에 곱해지는 함수
- 덮개함수가 없는 경우 가속도 시간이력은 시작부터 끝까지 거의 일정한 크기의 형태를 가짐
- GTS NX에서는 사다리꼴(Trapezoidal) 형태의 덮개함수를 지원



[인공지진파 추가/수정]

인공지진파 생성 옵션

- 반복횟수 : 인공지진파의 응답스펙트럼 결과를 입력된 응답스펙트럼에 일치시키기 위한 최대 반복계산 횟수
- 최대 가속도(g) : 인공지진파의 최대 지진가속도
- 감쇠비 : 인공지진파로부터 응답스펙트럼을 정의할 때 적용할 감쇠비
- 난수시드 : 인공지진파로부터 응답스펙트럼을 정의할 때 적용할 값(임의의 양수값)

인공지진파 생성 : 응답스펙트럼 데이터로부터 가속도 데이터로 변환

그래프 타입

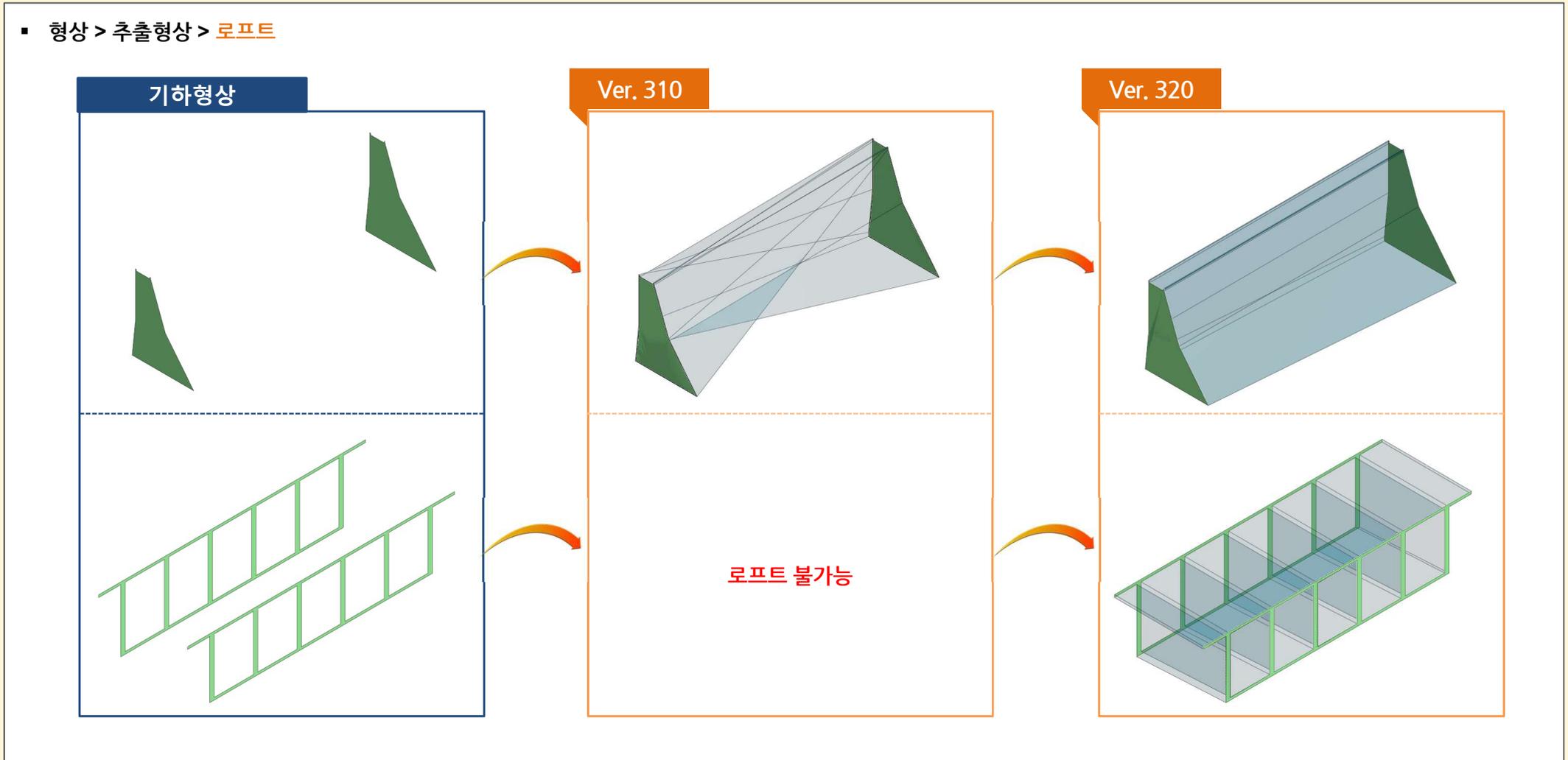
- 스펙트럼 그래프 : 스펙트럼 데이터 기준으로 가속도 데이터를 확인
- 가속도 그래프 : 가속도 데이터 기준으로 그래프를 확인

2. Pre/Post Processing

2.6 Loft 기능 개선

- 새로운 방식의 로프트 기능을 개발하여 기존 로프트가 의도했던 대로 생성되지 않던 현상을 개선하였습니다. (기존방식 : 모델간 단변 방향으로 로프트, 변경방식 : 모델의 도심방향으로 로프트)
- 기존에 구멍이 뚫린 단면에서는 로프트가 되지 않았으나, 이를 지원하도록 개선하였습니다.

- **형상 > 추출형상 > 로프트**

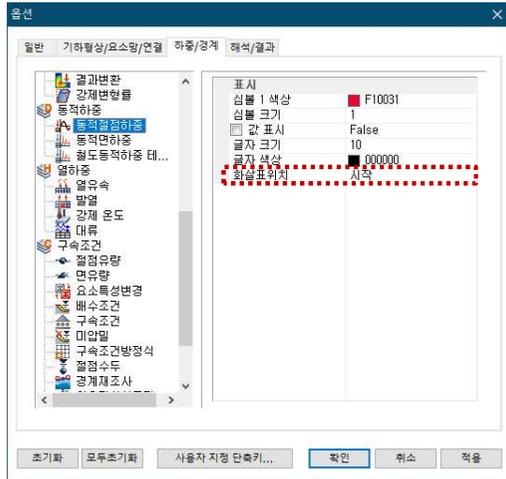


2. Pre/Post Processing

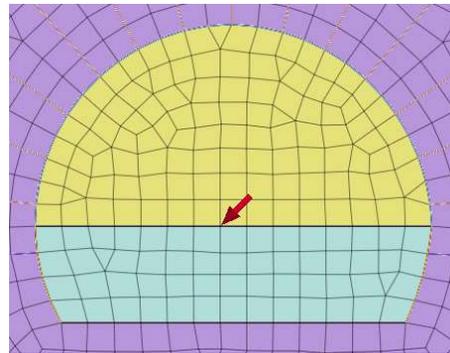
2.7 동적절점하중 레이블 위치 변경

- 화면상 표시되는 동적절점하중의 화살표 표시 위치를 사용자가 변경할 수 있도록 개선하였습니다.

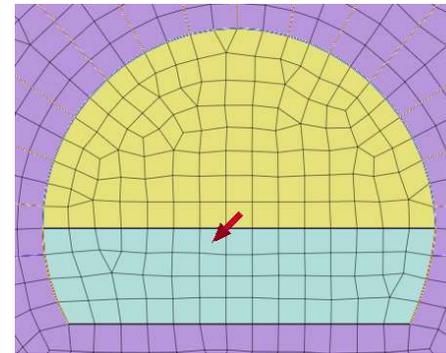
도구 > 옵션 > 하중/경계 > 동적절점하중



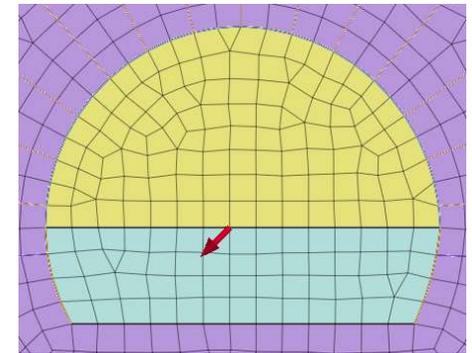
[동적절점하중]



[화살표위치 : 시작]



[화살표위치 : 중심]



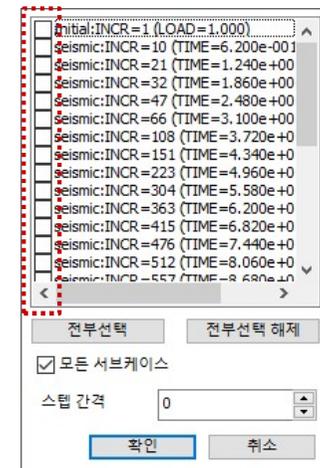
[화살표위치 : 끝]

2.8 시공단계해석 후처리 이동 바 서브케이스 선택 변경

- 후처리단계에서 시공단계가 많아지면, 후처리 기능이 느려지는 현상이 있어, 이를 개선하였습니다.
- 이로 인해 해석 후 결과를 확인할 때 하단부 이동 바 옆 서브케이스(↓) 체크가 기본값으로 체크해제 되어 있으므로, 단계에 따른 결과를 보고자 하는 경우 해당 단계를 체크해 주시기 바랍니다.



[이동바]



[서브 케이스]

2. Pre/Post Processing

2.9 강제변형을 기능 개선

- 기존에는 선형해석, 동해석에 강제변형율이 지원되지 않았으나, **선형정적해석에서도 적용**할 수 있도록 기능을 개선하였습니다.
- 셸 타입의 경우 zz방향의 자유도는 없기 때문에, 해당방향으로의 강제변형율은 입력받지 않도록 변경되었습니다.

2.10 LDF 적용 기능 개선

- 침투-응력해석의 단계구성은 침투해석에서 발생된 간극수압을 이용하여 응력해석에 반영되어집니다. 이를 반대로 설정하고, 응력단계에서 LDF를 지정하는 경우(즉, LDF가 고려된 Stress 해석단계에서 비활성화되는 요소망세트가 있고, 바로 뒤에 침투해석이 만들어지면) 해석이 수행되지 않는데, 이를 직관적으로 파악할 수 있도록 오류메시지를 변경하였습니다.
 - 예) **Step1. 침투 또는 응력** → **Step 2. 응력(요소망 비활성화 & LDF 고려)** → **Step 3. (step 2에 대한)침투해석** → **Step 4. 응력해석 : NG**
 - > [오류] 응력단계에서 요소망 세트를 비활성화하고, 다음 단계에 침투단계를 정의하는 경우 LDF를 고려할 수 없습니다.
 - > [오류] 시공단계 출력이 실패했습니다.

2.11 소성경화함수(Plastic Hardening Function)용어 수정

- 소성경화함수(Plastic Hardening Function, 기존 MMC 모델의 전단마찰각의 경화함수 정의시 사용됨)과 마찰각 경화곡선(Frictional Angle Hardening Curve) 두 개가 유사하며, 사용자들의 혼동을 방지하기 위해 하나로 통일하였습니다.
 - 요소망 > 특성/좌표계/함수 > 함수 > **소성경화함수 삭제**
 - MMC 모델의 비선형 탭 > 전단마찰각 > 경화함수 정의시 이용하고 있는 소성경화함수는 **마찰각 경화곡선으로 대체**
 - 경화곡선의 테이블 용어 변경 : 소성변형도 → **등가소성변형률**

2.12 2차원 등가선형해석 출력부분 수정

- 2차원 등가선형해석에서 **목표시간스텝의 중간결과 출력(N번째 시간스텝마다)에서 설정한 시간간격과 관련 없이, 이력결과탐색(History Output Probes)의 모든 출력스텝과 스텝이 1인 경우 모든 스텝의 결과 이력결과 그래프를 제공**하도록 개선하였습니다.
- 2차원 등가해석의 결과제어에서 출력타입이 아무것도 설정되어 있지 않아도, 이력결과탐색(History Output Probes)에 정보가 저장되어 있으면 해당 이력결과그래프를 제공합니다.
- 이력결과 탐색(History Output Probes)의 주파수(Frequency)를 선택하는 경우, 스텝간격과 시간간격으로 이력 그래프가 출력됩니다.