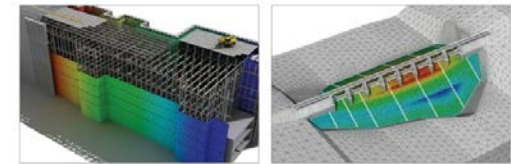




Release Note

Product Ver. : GTS NX Ver.280

GTS NX
Geo-Technical analysis System New eXperience



최적화된 차세대 플랫폼과 64bit 통합솔버를 탑재한
지반분야 유한요소 해석 솔루션

MIDAS



Enhancements

1. Pre Processing

- 1.1 이력결과 탐색 기능 개선
- 1.2 결과값 추출 기능 개선
- 1.3 선택투수요소 기능 추가
- 1.4 비선형 재료모델 K_0 와 K_0^{nc} 입력기능 개선
- 1.5 특이수압 입력 기능 추가
- 1.6 Gen/Civil 결과연동 기능 추가

2. Post Processing

- 2.1 유량계산 방식 추가
- 2.2 재료모델 : **Modified UBC SAND** 액상화 결과 출력 (MODS)



최적화된 차세대 플랫폼과 64bit 통합솔버를 탑재한
지반분야 유한요소 해석 솔루션

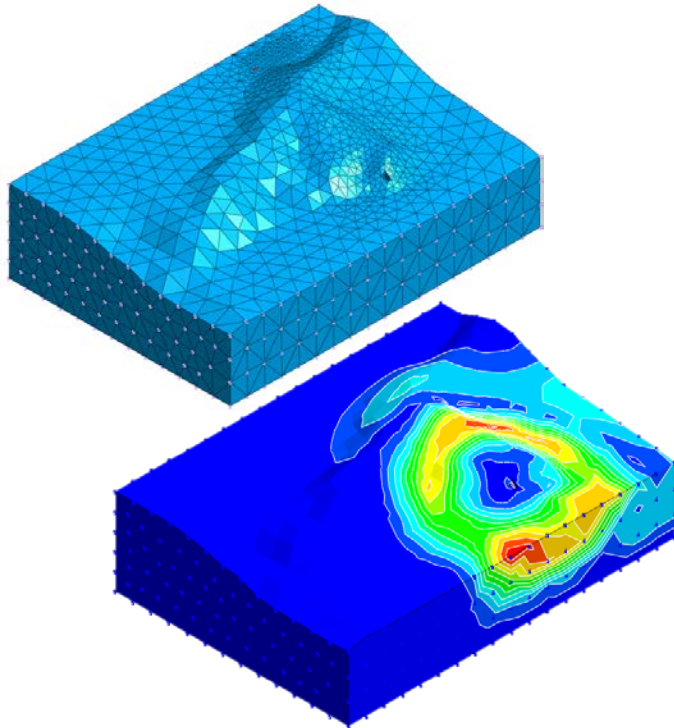


1. Pre Processing

1.1 이력결과 탐색 기능 개선

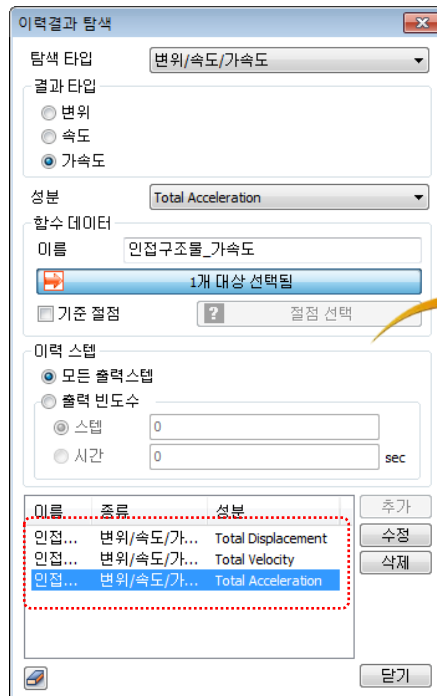
- 이력결과 탐색 기능은 시간이 존재하는 해석케이스에서 특정 위치의 결과를 그래프로 출력하기 위한 함수를 정의하는 기능입니다.
- 이력결과 탐색을 추가한 경우 해석 케이스 > 결과제어에서 수동으로 탐색 종류를 활성화하던 기존 방식이 해석 케이스 > 결과에서 **자동으로 활성화 되도록 기본값을 변경하였습니다.**
- (※ 기존에 결과제어 > 이력에서 탐색 종류를 등록한 모델파일을 불러올 경우 적용되지 않습니다.)

해석 > 이력 > 이력결과 탐색

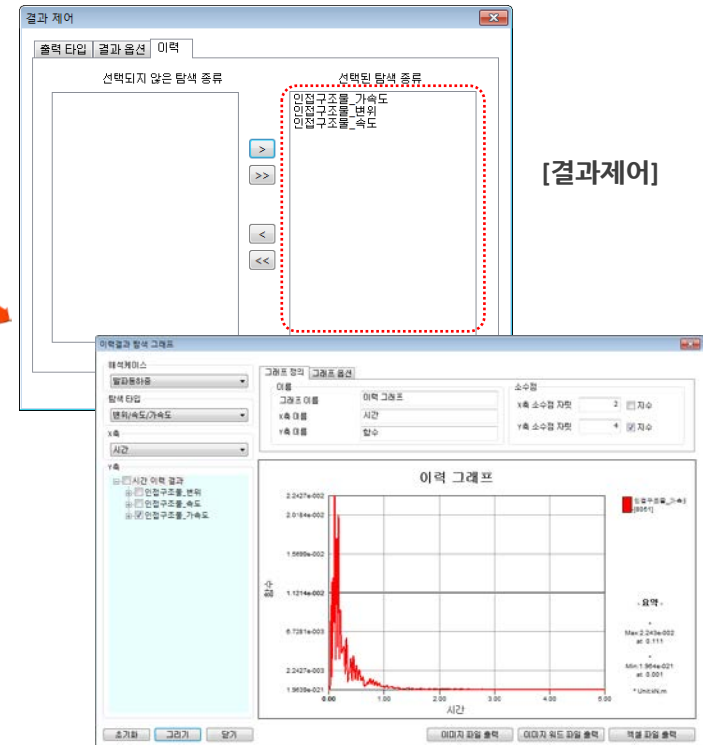


[3D 모델]

해석케이스 > 해석제어 > 결과 제어 > 이력



[이력결과 탐색]



[이력결과 탐색 그래프]

1. Pre Processing

1.2 결과값 추출 기능 개선

- 동일한 해석 케이스에서 결과추출 시 결과 종류를 변경할 때 시공 단계 체크상태가 초기화 되었던 기존 방식이 결과종류 변경 시에도 **시공 단계 체크상태가 유지되도록 개선** 하였습니다.

(※ 결과 항목의 변경으로 시공 단계 조건이 달라 질 경우에도 변경되지 않는 시공 단계에 대해서는 체크상태가 유지됩니다.)

결과 분석 > 고급 > 결과 추출



[결과 종류 변경 - 시공 단계 유지]



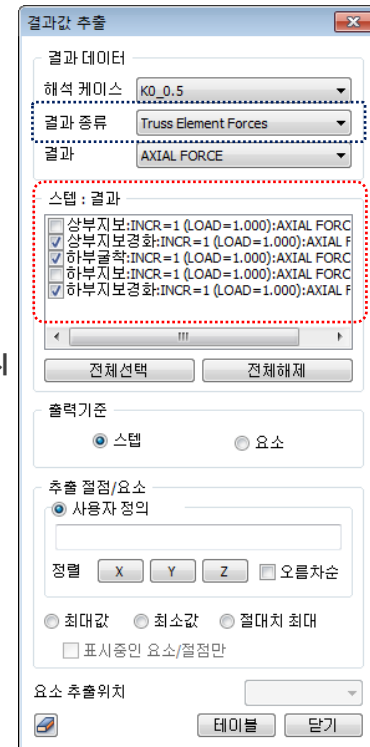
시공 단계 체크선택
활성화 상태 유지



[결과값 추출]



유지되는 시공단계에서
체크선택 활성화 상태 유지



[결과 종류 변경 - 시공 단계 변경]

1. Pre Processing

1.3 선택 투수 요소 기능 추가

- 선택투수요소는 실제 현장에서 사용되는 **차수성 구조부재를 모사할 수 있는 기능**으로 **선 또는 면에 대한 침투흐름자유도를 제어하는 경계조건을 생성**할 수 있습니다.
- 2차원 해석에서는 선 요소(요소 경계/트러스/보 요소)를 선택하여 차수를 고려할 수 있으며, 3차원 해석에서는 면 요소(요소 경계/셸 요소)를 선택하여 차수를 고려할 수 있습니다.
- 선택투수요소 생성 시 **침투흐름자유도의 체크여부**를 통해 투수/불투수 특성을 제어할 수 있습니다. (체크 시 : 투수 효과 고려, 미체크시 : 차수 효과 고려)
 (※유효두께 :침투흐름에 대한 계산 시 사용되는 가상 크기의 유효두께이며, 일반적으로 구조 부재의 폭 두께로 설정합니다.)

▪ 요소망 > 요소 > 선택투수요소

[선택투수요소 생성]

선택투수 요소 생성

선 면

요소 번호 1

방법 종류 **트러스/보 요소이용**

파라미터 요소 선택

특성 1: 기타 특성

요소망세트 선 불선택투수요

확인 취소

[기타 특성 생성/변경]

기타 특성 생성/변경

선택투수

번호 7 이름 기타 특성 색상

침투흐름자유도

유효두께 1 m

확인 취소 적용

[선택투수요소 적용 2D모델]

[2D 모델 전체수두 결과]

[2D 모델 유선망 작도]

[선택투수요소 적용 3D모델]

[3D모델 전체수두 결과]

[3D모델 유선망 작도]

1. Pre Processing

1.4 비선형 재료모델 K_0 와 K_0^{nc} 입력기능 개선

- 비선형 재료모델의 초기응력을 모사하는 K_0 값이 사용자가 직접 입력하는 기존 방식에서 **입력된 지반 물성(내부마찰각(ϕ), 과압밀비(OCR), 포아송비(ν))을 통한 자동계산이 가능하도록 기능이 추가되었습니다.**
 - 수동계산 선택 시 기존의 작업 방식과 동일하게 사용자가 직접 입력한 값을 사용할 수 있으며, 자동계산 선택 시 입력된 지반 물성을 통해 자동으로 계산 되도록 사용자가 계산 방식을 설정할 수 있습니다.
- (※ 입력한 K_0 값을 해석에 적용하기 위해서는 해석케이스 > 해석 제어 > 일반에서 초기단계 > 응력해석 초기시공단계를 설정한 후, K_0 조건 고려를 체크하여야 합니다.)

■ 요소망 > 특성/좌표계/함수 > 물성 > 일반 > 초기응력

재료모델	자동 계산시 K_0 입력 방식
Mohr-Coulomb	$K_0^{nc} = 1 - \sin\phi$
Ducker-Prager	※ 입력된 ϕ 를 사용하여 K_0^{nc} 를 자동으로 계산합니다. → 계산된 K_0^{nc} 를 K_0 로 사용합니다.
Hyperbolic (Duncan-Chang)	
Modified Mohr-Coulomb	$K_0^{nc} = 1 - \sin\phi$
Soft Soil	※ 입력된 ϕ 를 사용하여 K_0^{nc} 를 자동으로 계산합니다.
Soft Soil Creep	$K_{0,x} = \frac{\sigma_{xx}^0}{\sigma_{yy}^0}$ $= K_0^{nc} OCR - \frac{\nu_{ur}}{1 - \nu_{ur}} (OCR - 1)$
Hardening Soil (small strain stiffness)	※ K_0^{nc} 와 입력된 OCR, ν 를 사용하여 K_0 계산합니다.
Generalized SCLAY 1S (MODS)	$K_{0,x} = \frac{\sigma_{xx}^0}{\sigma_{yy}^0}$ $= K_0^{nc} OCR - \frac{\nu_{ur}}{1 - \nu_{ur}} (OCR - 1)$ ※ K_0^{nc} 를 사용자가 직접 입력해야 합니다. ※ 입력된 K_0^{nc} , OCR, ν 를 사용하여 K_0 를 계산합니다.

[자동 계산시 K_0 입력 방식]

변경 전 K_0 입력 방식

[변경 전 K_0 입력 방식]

변경 후 K_0 입력 방식

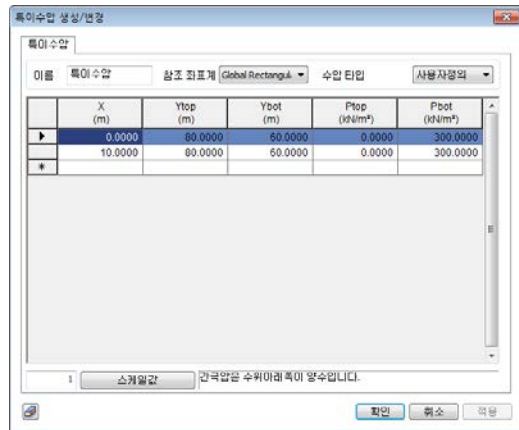
[변경 후 K_0 입력 방식]

1. Pre Processing

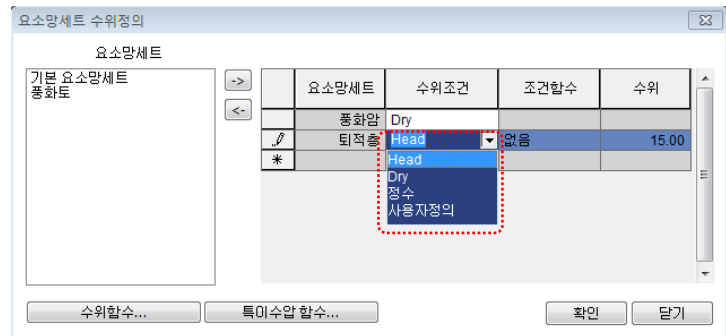
1.5 특이수압 입력기능 추가

- 요소망 세트에 대하여 개별적으로 수위를 정의할 때 사용되는 수위조건 중 특이수압 기능이 추가되었습니다.
 - 1) Head : 할당된 요소망에 전체 수두 조건으로 수위를 정의할 때 사용하는 기능입니다. 조건함수는 수위함수를 이용하여 정의할 수 있습니다.
 - 2) Dry : 할당된 요소망에 작용하는 수압을 제거하는 기능입니다.
 - 3) 정수 : 할당된 요소망의 최상부의 수압을 정수로 정의할 때 사용하는 기능입니다. 조건함수는 특이수압 함수를 이용하여 정의할 수 있습니다.
 - 4) 사용자정의 : 할당된 요소망의 상부와 하부의 수압을 사용자가 직접 특이수압 함수를 이용하여 정의할 수 있습니다.

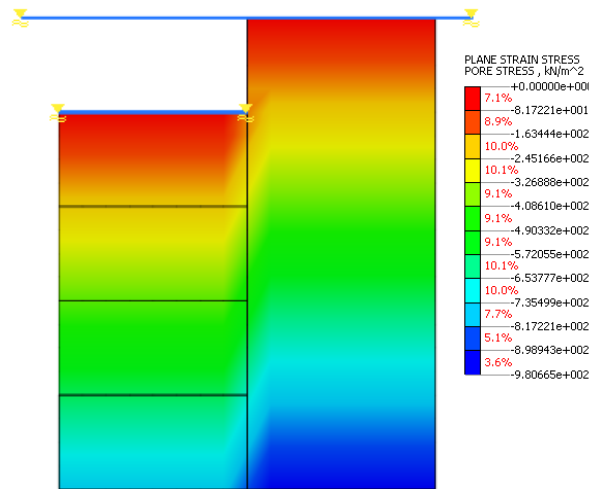
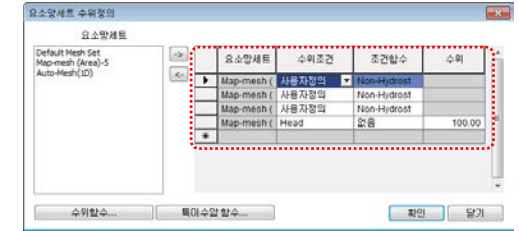
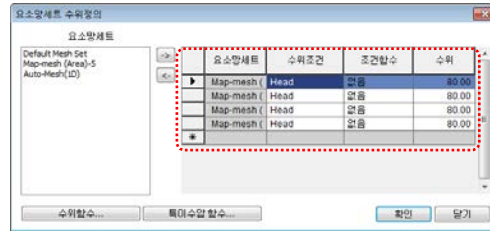
■ 해석케이스 > 해석제어 > 수위 > 요소망세트 별 수위 정의



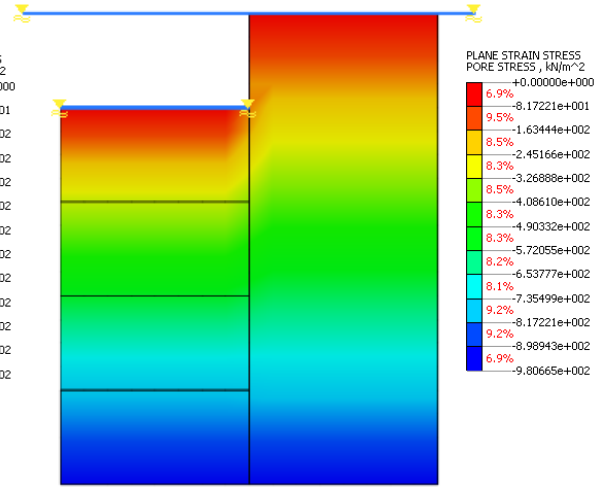
[특이수압 함수]



[요소망세트 수위정의]



[일반 수위를 적용한 굴착 모델]
간극수압의 불연속성



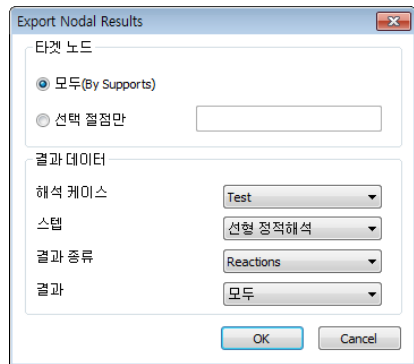
[사용자정의를 적용한 굴착 모델]
간극수압의 연속성

1. Pre Processing

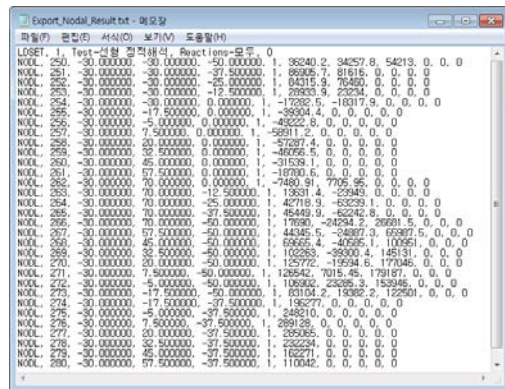
1.6 Gen/Civil 결과연동 기능 추가

- 기존의 Gen/Civil의 모델에 대한 정보는 GTS NX 모델로 연동(*.mxt)할 수 있었습니다. 모델 정보 이외에 Gen/Civil에서 해석된 절점 결과와 GTS NX의 해석된 절점 결과를 프로그램 간 상호 호환될 수 있도록 기능을 추가하였습니다. (단, 절점 번호는 같아야합니다.) **(※ Gen v865, Civil v865 이상 버전에서 지원됩니다.)**
- 추출의 경우, 지점조건이 정의된 모든 절점 또는 사용자가 임의로 절점을 선택하여 추출할 수 있습니다. 또한, 해석케이스, 스텝(시공단계), 결과종류, 결과성분을 선택하여 추출할 수 있습니다.
- 반력의 경우 절점력 (F_x, F_y, F_z)와 모멘트 (M_x, M_y, M_z)를 불러올 수 있으며, 변위의 경우 회전이 포함된 선행변위 (T_x, T_y, T_z)에 대하여 불러올 수 있습니다.

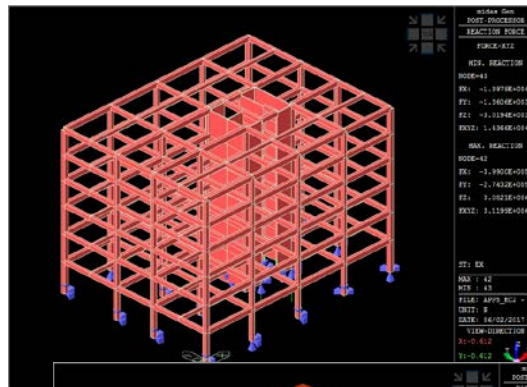
■ 메뉴 > 불러오기 > Export Nodal Result(*.txt) & 메뉴 > 불러오기 > Import Nodal Result(*.txt)



[절점 결과 추출]



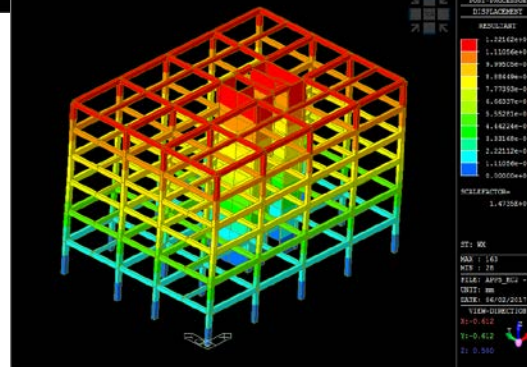
[.txt 포맷의 추출 결과]



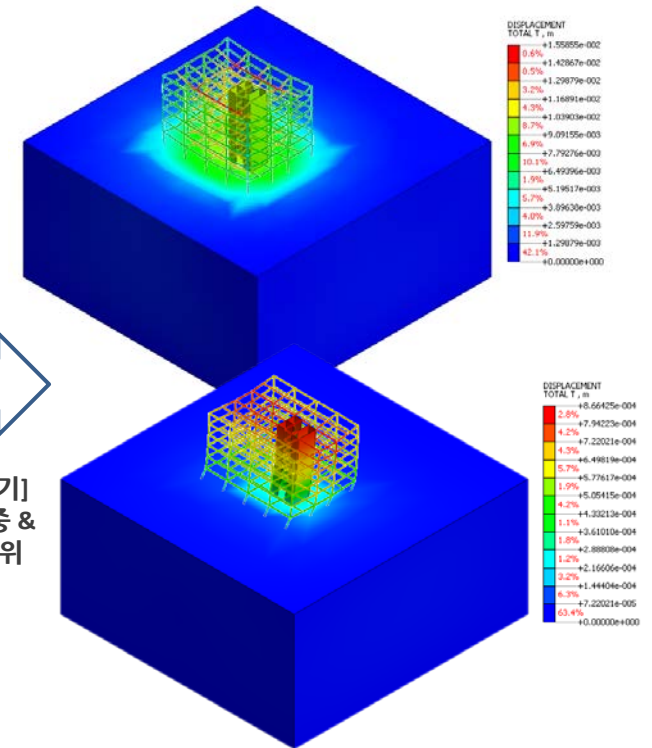
[추출]
반력 & 변위



[불러오기]
절점 하중 & 선행 변위



[Gen/Civil의 해석결과]



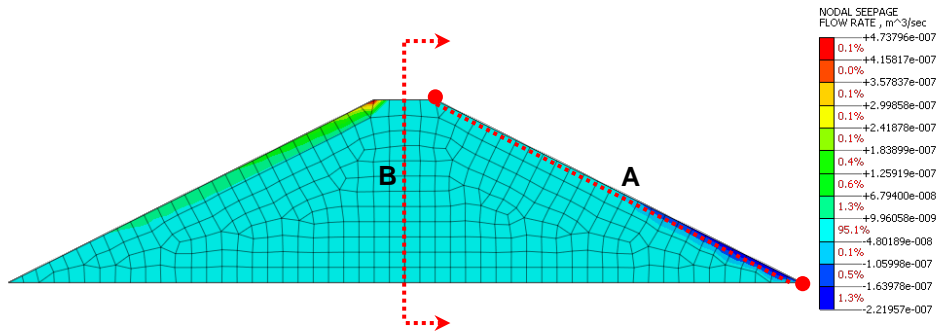
[절점 결과를 적용한
GTS NX의 해석 결과]

2. Post Processing

2.1 유량계산 방식 추가

- 후처리에서 유량 계산시 **임의의 선이나 면을 통과하는 요소들의 유량을 계산**할 수 있도록 기능을 추가하였습니다.
- 기존에는 선택된 절점에서 발생하는 유입/유출량이 같은 경우 유량이 0으로 계산되었으나, 임의분할타입에서는 **임의의 단면에 대해서도 유량을 계산할 수 있도록 기능을 강화**하였습니다.

도구 > 특수후처리 > 침투결과 >



- 노드/분할타입 - 유출이나 유입이 발생하는 위치의 절점을 직접 선택 혹은 입력하여 유량 계산, 절점에서 계산되어진 유출입량(flow rate)의 합으로 계산
- 임의분할타입 - 임의의 선이나 면을 통과하는 요소들의 유량을 계산
(※ 임의분할타입 선택시 최외곽 지점을 선택하는 경우 유량이 정상적으로 계산되지 않을 수 있으니, 요소 내부로 지점 위치를 설정해 주시기 바랍니다.)

유량

해석 케이스 1

스텝 침투(정상류)해석:INCR=1 (LOA)

정의 리스트

- A_node
- B_node
- A_divide
- B_divide
- A_arbitrary
- B_arbitrary

유량 -2.41364812e-006 m³/sec

절점번호 762to789

탐색공차 1e-005 m

유입(+)/유출(-)

[Section A -노드타입]

유량

해석 케이스 1

스텝 침투(정상류)해석:INCR=1 (LOA)

정의 리스트

- A_node
- B_node
- A_divide
- B_divide
- A_arbitrary
- B_arbitrary

유량 0 m³/sec

절점번호 586to598

탐색공차 1e-005 m

유입(+)/유출(-)

[Section B -노드타입]

유량

해석 케이스 1

스텝 침투(정상류)해석:INCR=1 (LOA)

정의 리스트

- A_node
- B_node
- A_divide
- B_divide
- A_arbitrary
- B_arbitrary

유량 -2.41364812e-006 m³/sec

절점번호 762to789

탐색공차 1e-005 m

유입(+)/유출(-)

[Section A -분할타입]

유량

해석 케이스 1

스텝 침투(정상류)해석:INCR=1 (LOA)

정의 리스트

- A_node
- B_node
- A_divide
- B_divide
- A_arbitrary
- B_arbitrary

유량 0 m³/sec

절점번호 586to598

탐색공차 1e-005 m

유입(+)/유출(-)

[Section B -분할타입]

유량

해석 케이스 1

스텝 침투(정상류)해석:INCR=1 (LOA)

정의 리스트

- A_node
- B_node
- A_divide
- B_divide
- A_arbitrary
- B_arbitrary

유량 -2.36618644e-006 m³/sec

절점번호

탐색공차 1e-005 m

유입(+)/유출(-)

[Section B -임의분할타입]

2. Post Processing

2.2 재료모델 Modified UBCSAND 액상화 결과 출력 (MODS) : 재료모델 기본사항

- Modified UBCSAND는 유효응력을 기초로 한 소성이론을 활용하여 액상화 현상을 모사하기 위해 개발된 재료모델로 GTS NX V200에서 적용되었습니다.
- 탄성 영역에서는 압력에 대한 비선형 탄성 거동을 보이며, 소성 거동은 전단, 압축, 압력 차단의 3가지 항복함수로 결정됩니다. 특히, 전단항복함수는 반복하중(cyclic loading)에 대한 재료의 고밀도화(densification)를 고려합니다.

특성/좌표계/함수 > 재료 > 등방성 > Modified UBCSAND

The screenshot shows the '재료' (Material) configuration window for 'Modified UBCSAND(MODS)'. It includes fields for material number, name, color, and model type. The '일반' (General) tab is active, showing parameters like '기준압' (100 kN/m²), '탄성' (Elastic) properties (shear modulus, Poisson's ratio), '소성/전단' (Plastic/Shear) properties (friction angle, cohesion, hardening), and '소성/압력차단' (Plastic/Pressure cutoff) properties (initial void ratio, compression index).

[재료거동에 대한 표현 식]

- 비선형 탄성 : 유효응력에 대한 지수함수로 표현

$$G^e = K_G^e p_{ref} \left(\frac{p' + p_t}{p_{ref}} \right)^{ne}$$

$$K^e = \frac{2(1 + \nu)}{3(1 - 2\nu)} G^e$$

- 소성 / 전단
 - 항복함수(Yield function) : Mohr-Coulomb
 - 흐름 법칙(Flow rule) : Menetrey-Willam (non-associated)
 - 경화 거동(Hardening behavior) : Hyperbolic hardening

$$\sin \psi_m = \sin \phi_m - \sin \phi_{cv}$$

$$\Delta \kappa_s = |\Delta \epsilon_1^p - \Delta \epsilon_3^p|$$

$$\Delta \sin \phi_m = \frac{G^p}{p'} \Delta \kappa_s = K_G^p \left(\frac{p'}{p_{ref}} \right)^{np-1} \left\{ 1 - \left(\frac{\sin \phi_m}{\sin \phi_p} \right) R_f \right\}^2 \Delta \kappa_s$$

- 소성 / 압축
 - 항복함수(Yield function) : Modified Mohr-Coulomb Cap
 - 흐름 법칙(Flow rule) : Same with yield function (Associated flow)
 - 경화 거동(Hardening behavior) : Hardening of allowable compression per volumetric strain

$$f_2 = (p + \Delta p)^2 + \alpha \left(\frac{q}{R_2(\theta)} \right)^2 - p_c^2 = 0$$

$$K^e = \frac{2(1 + \nu)}{3(1 - 2\nu)} G^e$$

- 소성 / 압력차단
 - 항복함수(Yield function)와 흐름 법칙(Flow rule)을 아래의 식으로 표현합니다.
 - 경화 거동(Hardening behavior)에 대해 고려하지 않습니다.

$$f_{pr} = p_{cut} - p'$$

Beatty, M. and Byrne, PM., "An effective stress model for predicting liquefaction behaviour of sand," Geotechnical Special Publication 75(1), 1998, pp. 766-777.

Puebla, H., Byrne, PM., and Phillips, R., "Analysis of CANLEX liquefaction embankments: prototype and centrifuge models," Canadian Geotechnical Journal, 34, 1997, pp 641-657.

[UBCSAND 모델에 대한 참고문헌]

2. Post Processing

2.2 재료모델 Modified UBCSAND 액상화 결과 출력 (MODS) : 재료모델 기본사항

- Modified UBCSAND는 유효응력을 기초로 한 소성이론을 활용하여 액상화 현상을 모사하기 위해 개발된 재료모델로 GTS NX V200에서 적용되었습니다.
- 탄성 영역에서는 압력에 대한 비선형 탄성 거동을 보이며, 소성 거동은 전단, 압축, 압력 차단 3가지 항복함수로 결정됩니다. 특히, 전단항복함수는 반복하중(cyclic loading)에 대한 재료의 고밀도화(densification)를 고려합니다.

특성/좌표계/함수 > 재료 > 등방성 > Modified UBCSAND

파라미터	항목	설명
Pref	기준압	현장 토사층 중간 깊이의 수평응력
선형탄성 / 역법칙		
K_G^e	무차원 전단탄성계수	무차원
n_e	전단탄성계수	무차원
소성 / 전단		
ϕ_p	최대 마찰각	MC 모델의 강도정수
ϕ_{cv}	등체적 마찰각	
C	점착력	MC 모델의 강도정수
K_G^p	무차원 전단소성계수	무차원
n_p	전단소성 지수	무차원
R_f	파괴비 (qf / qa)	0.7~0.98 (< 1), 상대다짐도 증가에 따라 감소
F_{post}	액상화 후 조정계수	잔류 전단계수
F_{dens}	지반 고밀도화 조정계수	반복 거동
고급 파라미터		
P_{cut}	소성/압력차단 (인장강도)	
K_B^p	무차원 캡체적계수	100
mp	소성캡 지수	1-sinφ (< 1)
OCR	과압밀비	

[입력변수와 보정관계 식]

$$K_G^e = 21.7 \times 20.0 \times (N_1)_{60}^{0.333}$$

$$30^\circ < \phi_{cv} < 34^\circ$$

$$\nu = 0.0163$$

$$K_G^p = K_G^e (N_1)_{60}^2 \times 0.003 + 100.0$$

$$n_e = 0.5$$

$$n_p = 0.4$$

$$\phi_p = \begin{cases} \phi_{cv} + \frac{(N_1)_{60}}{10.0} & ((N_1)_{60} < 15.0) \\ \phi_{cv} + \frac{(N_1)_{60}}{10.0} + \max\left(0.0, \frac{(N_1)_{60} - 15}{5}\right) & ((N_1)_{60} \geq 15.0) \end{cases}$$

$$R_f = 1.1 \times (N_1)_{60}^{-0.15}$$

2. Post Processing

2.2 재료모델 Modified UBCSAND 액상화 결과 출력 (MODS)

- Modified UBCSAND 재료 모델의 액상화 영역에 대한 결과를 출력할 수 있는 후처리 기능을 추가하였습니다.
- 액상화 가능성은 Pore pressure ratio와 Normalized max stress ratio 두 지표로 측정할 수 있습니다.

특성/좌표계/함수 > 재료 > 등방성 > Modified UBCSAND

[액상화를 평가하는 결과 종류]

■ Pore Pressure Ratio (PPR)

- 과잉간극수압 변화량에 대한 초기 유효 압력의 비

$$PPR = - \frac{\Delta p_w}{p'_i} = \frac{p'_i - p'_c}{p'_i}$$

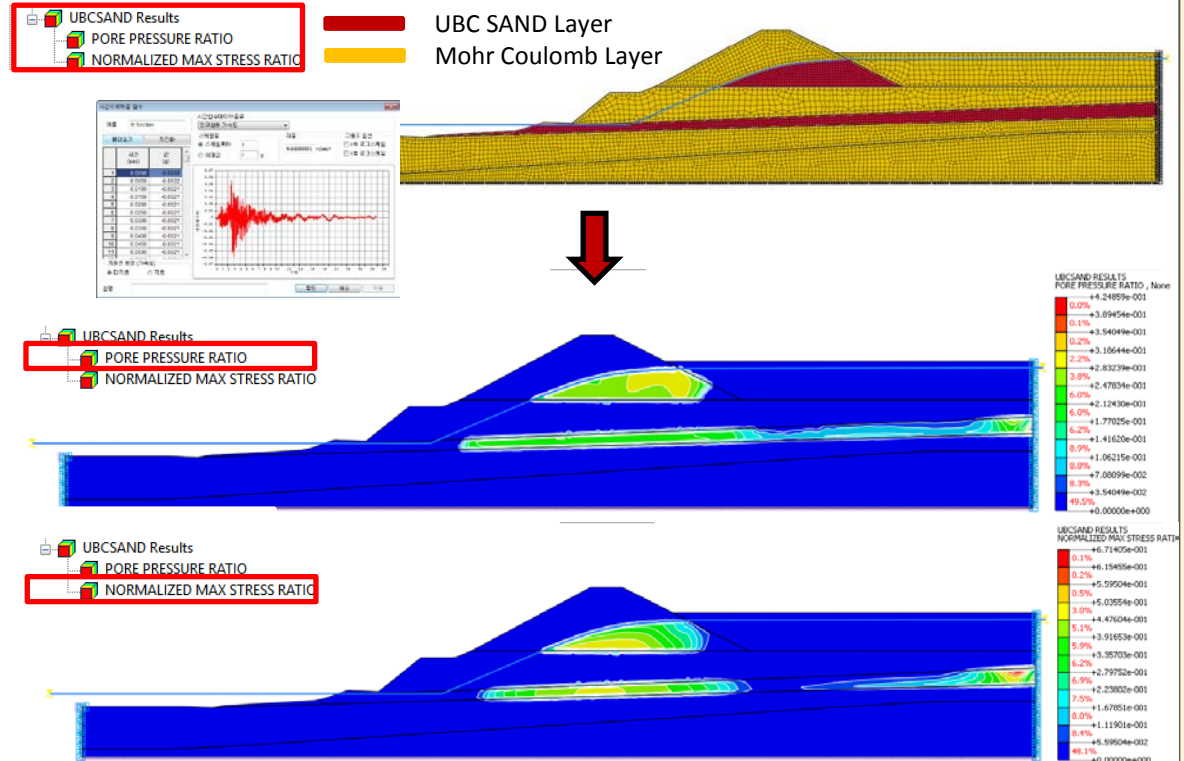
Δp_w	과잉간극수압 변화량 (Excessive pore pressure change)
p'_i	초기 유효 압력 (Initial effective pressure)
p'_c	현재 유효 압력 (Current effective pressure)

■ Normalized Max Stress Ratio

- 유동마찰각에 대한 극한 마찰각의 비
- 최대 응력비에 가까워 질 때 유동 마찰각은 극한 마찰각에 근접하며, 이 때 액상화가 유발됩니다. (1 = 액상화)

$$\max\left(\frac{\sin\phi_m}{\sin\phi_p}\right)$$

ϕ_m	유동 마찰각(Mobilized friction angle)
ϕ_p	극한 마찰각(Peak friction angle)



[지진시 비선형 시간이력해석 결과]

2. Post Processing

2.2 재료모델 Modified UBCSAND 액상화 결과 출력 (MODS) : 검증 예제

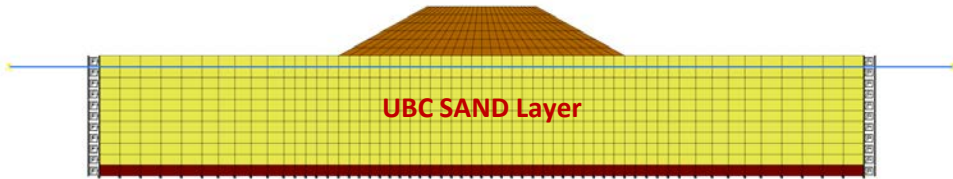
특성/좌표계/함수 > 재료 > 등방성 > Modified UBCSAND

Normalized Max Stress Ratio

최대 응력비에 도달할 때 액상화 현상이 유발되며, K_G^p 가 감소합니다.

$$K_G^p = K_{G0}^p \times fac_{pos}$$

여기서 fac_{pos} 는 액상화 조정 계수입니다.



추가/수정/보기 시간이력함수

함수 이름: Sinusoidal

시간함수데이터종류: 정규화된 가속도

스케일링: 스케일팩터 1, 최대값 0 g

자중: 9.80665 m/sec²

그래프 옵션: X축 로그스케일, Y축 로그스케일

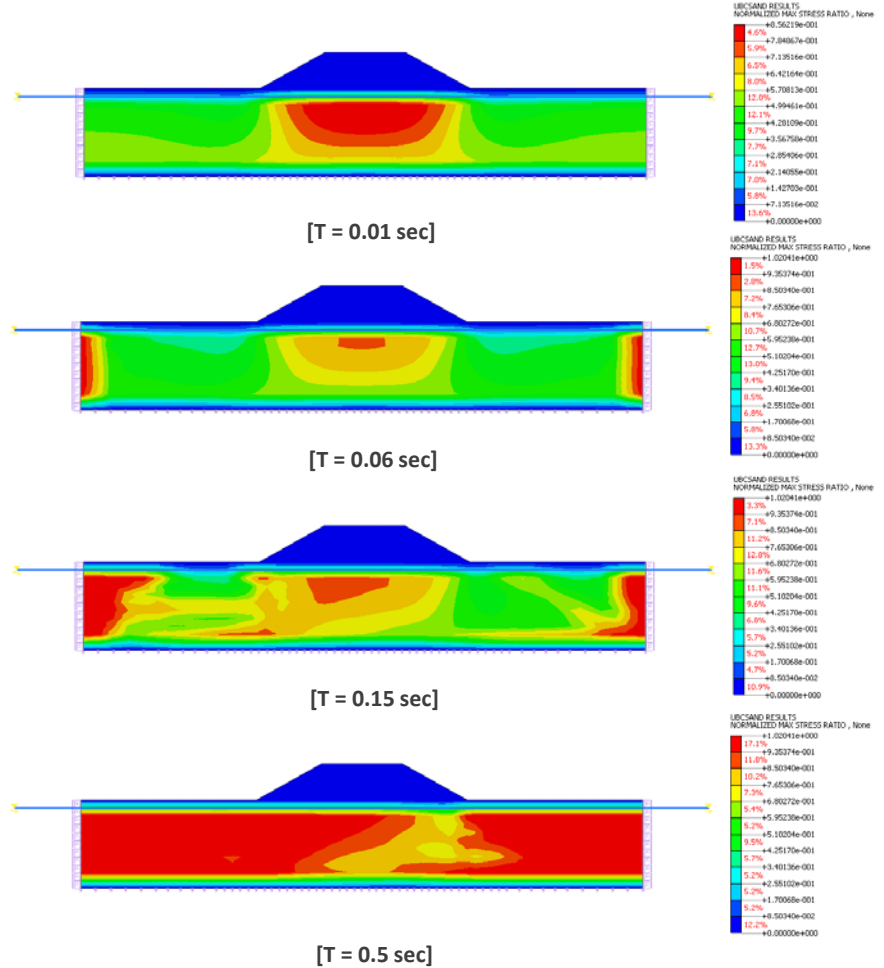
where f = Frequency(cps)
D = Damping Factor

A: 1 g
C: 0 g/sec
f: 2 Cycle/sec
D: 0
P: 0 [deg]

그래프 그리기: 계산된 파라미터 사용
시간간격: 0.1
드로잉 시간(sec): 10

시간이력 그래프: 시간(초) vs 시간이력(가) showing a sinusoidal wave.

확인 취소 적용



[반복하중(cyclic loading) 조건에서의 비선형 시간이력 해석 결과]