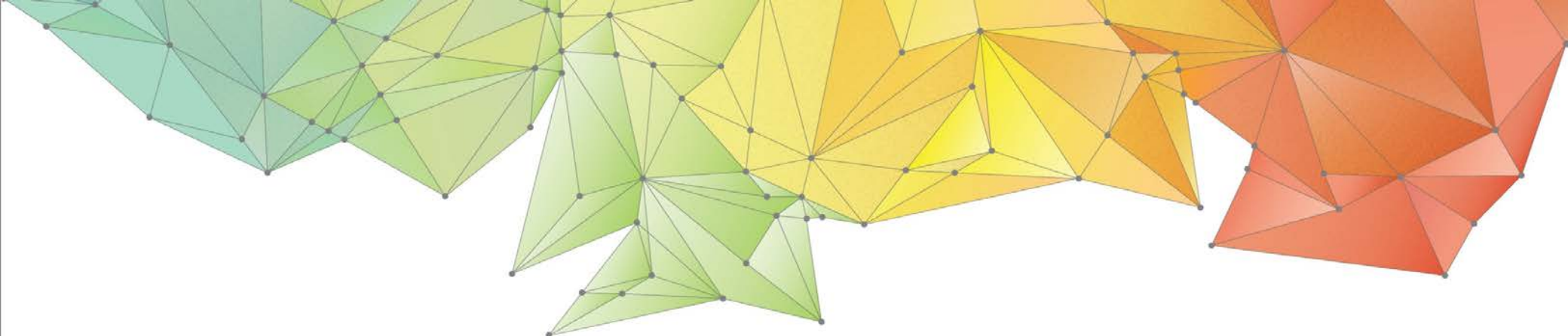
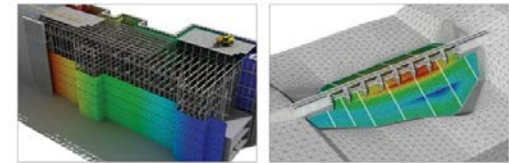




Release Note

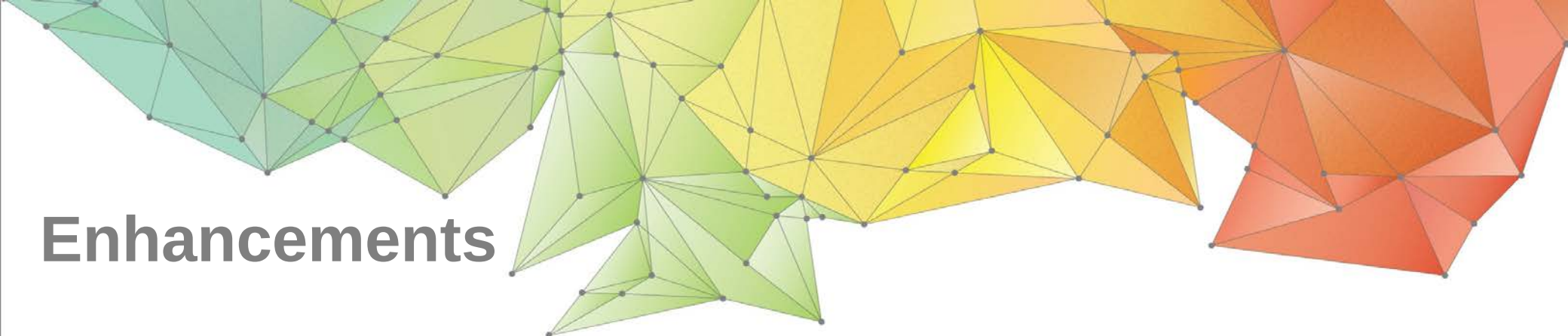
Product Ver. : GTS NX Ver.280

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

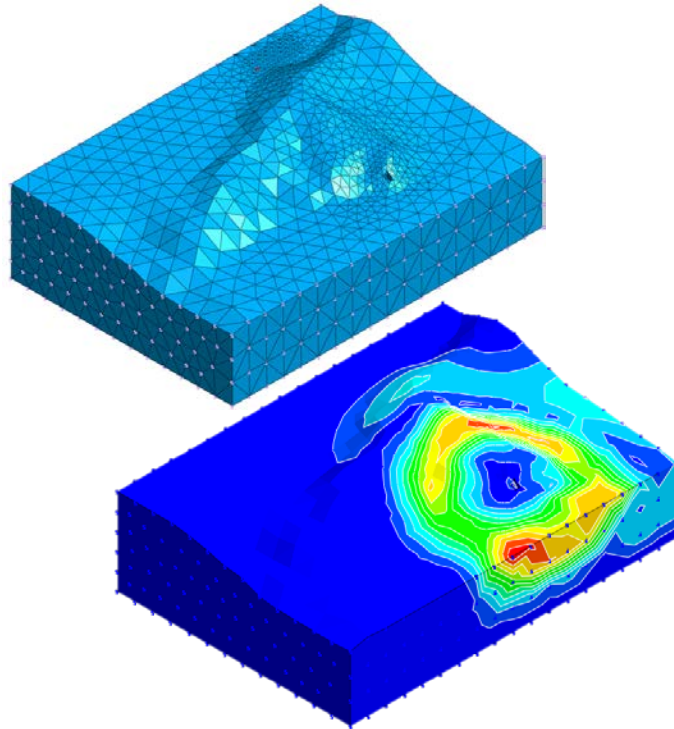


1. Pre Processing

1.1 이력결과 탐색 기능 개선

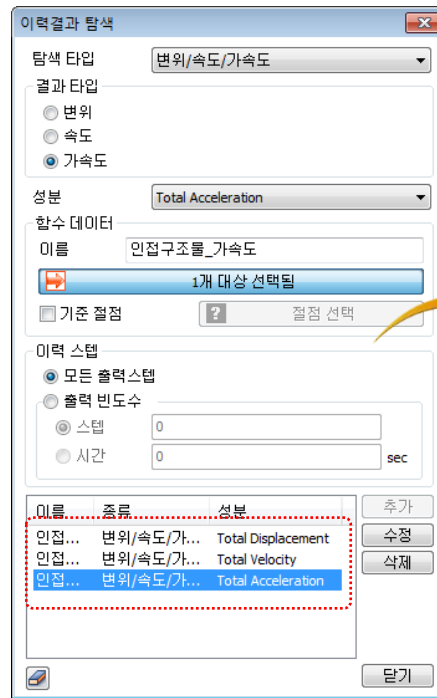
- 이력결과 탐색 기능은 시간이 존재하는 해석케이스에서 특정 위치의 결과를 그래프로 출력하기 위한 함수를 정의하는 기능입니다.
- 이력결과 탐색을 추가한 경우 해석 케이스 > 결과제어에서 수동으로 탐색 종류를 활성화하던 기존 방식이 해석 케이스 > 결과에서 **자동으로 활성화 되도록 기본값을 변경하였습니다.**
(※ 기존에 결과제어 > 이력에서 탐색 종류를 등록한 모델파일을 불러올 경우 적용되지 않습니다.)

■ 해석 > 이력 > 이력결과 탐색

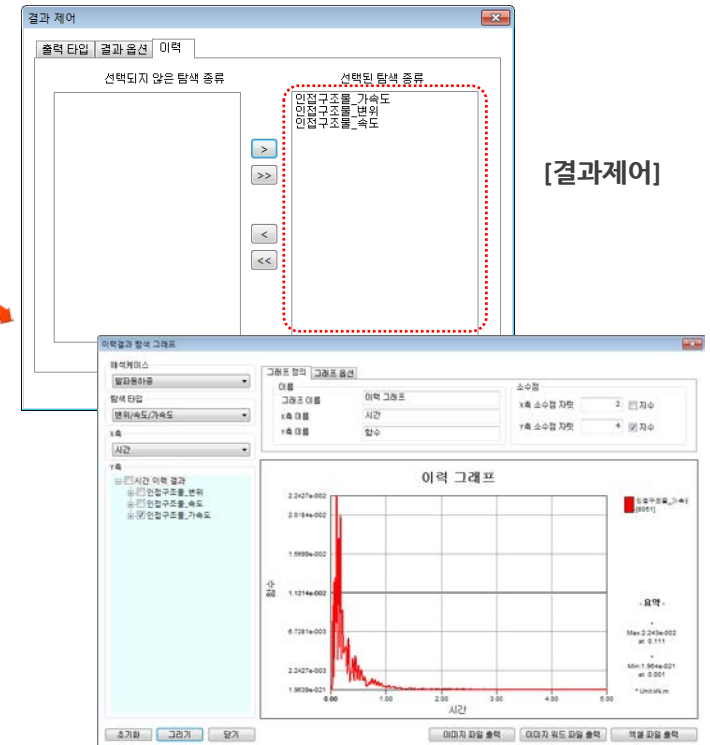


[3D 모델]

■ 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

결과값 추출

결과 데이터

해석 케이스 KO_0.5

결과 종류 Plane Strain Stresses

결과 S-XX TOTAL

시스템 결과

- ☒ 원지반:INCR=1 (LOAD=1.000):S-XX TOTAL
- ☒ null stage:INCR=1 (LOAD=1.000):S-XX TOT
- ☒ 상부굴착:INCR=1 (LOAD=1.000):S-XX TOT
- ☒ 상부지보강:INCR=1 (LOAD=1.000):S-XX TOT
- ☒ 상부지보강화:INCR=1 (LOAD=1.000):S-XX
- ☒ 하부굴착:INCR=1 (LOAD=1.000):S-XX TOT
- ☒ 하부지보강:INCR=1 (LOAD=1.000):S-XX TOT
- ☒ 하부지보강화:INCR=1 (LOAD=1.000):S-XX

전체선택 전체해제

출력기준

☒ 스텝 ☐ 요소

추출 절점/요소

☒ 사용자 정의

정렬 X Y Z ☐ 오름차순

☐ 최대값 ☐ 최소값 ☐ 절대치 최대

☐ 표시중인 요소/절점만

요소 추출위치

☐ 테이블 닫기

[결과 종류 변경 - 시공 단계 유지]

결과값 추출

결과 데이터

해석 케이스 KO_0.5

결과 종류 Displacements

결과 TY TRANSLATION (V)

시스템 결과

- ☒ 원지반:INCR=1 (LOAD=1.000):TY TRANSL
- ☒ null stage:INCR=1 (LOAD=1.000):TY TRAN
- ☒ 상부굴착:INCR=1 (LOAD=1.000):TY TRAN
- ☒ 상부지보강:INCR=1 (LOAD=1.000):TY TRAN
- ☒ 상부지보강화:INCR=1 (LOAD=1.000):TY T
- ☒ 하부굴착:INCR=1 (LOAD=1.000):TY TRAN
- ☒ 하부지보강:INCR=1 (LOAD=1.000):TY TRAN
- ☒ 하부지보강화:INCR=1 (LOAD=1.000):TY TRAN

전체선택 전체해제

출력기준

☒ 스텝 ☐ 절점

추출 절점/요소

☒ 사용자 정의

정렬 X Y Z ☐ 오름차순

☐ 최대값 ☐ 최소값 ☐ 절대치 최대

☐ 표시중인 요소/절점만

요소 추출위치

☐ 테이블 닫기

[결과값 추출]

결과값 추출

결과 데이터

해석 케이스 KO_0.5

결과 종류 Truss Element Forces

결과 AXIAL FORCE

시스템 결과

- ☒ 상부지보:INCR=1 (LOAD=1.000):AXIAL FORC
- ☒ 상부지보강:INCR=1 (LOAD=1.000):AXIAL F
- ☒ 하부굴착:INCR=1 (LOAD=1.000):AXIAL FORC
- ☒ 하부지보:INCR=1 (LOAD=1.000):AXIAL FORC
- ☒ 하부지보강:INCR=1 (LOAD=1.000):AXIAL F
- ☒ 하부지보강화:INCR=1 (LOAD=1.000):AXIAL F

전체선택 전체해제

출력기준

☒ 스텝 ☐ 요소

추출 절점/요소

☒ 사용자 정의

정렬 X Y Z ☐ 오름차순

☐ 최대값 ☐ 최소값 ☐ 절대치 최대

☐ 표시중인 요소/절점만

요소 추출위치

☐ 테이블 닫기

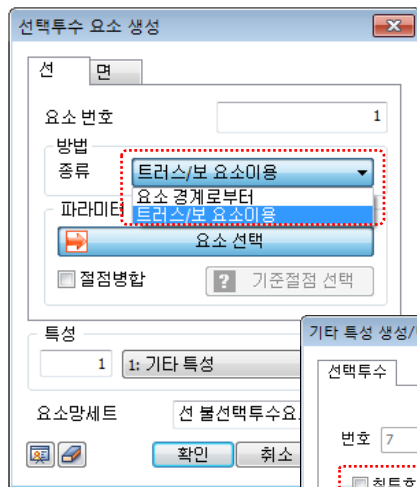
[결과 종류 변경 - 시공 단계 변경]

1. Pre Processing

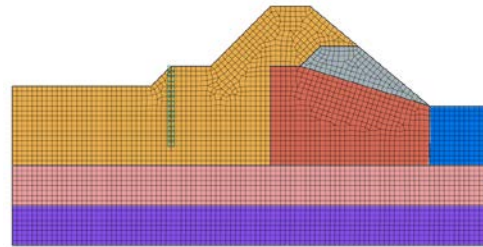
1.3 선택 투수 요소 기능 추가

- 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/셀 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.)

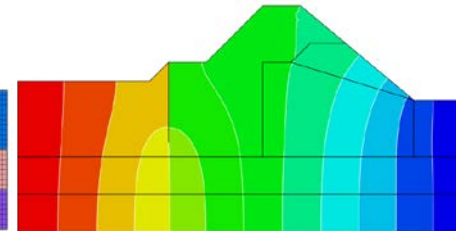
■ 요소망 > 요소 > 선택투수요소



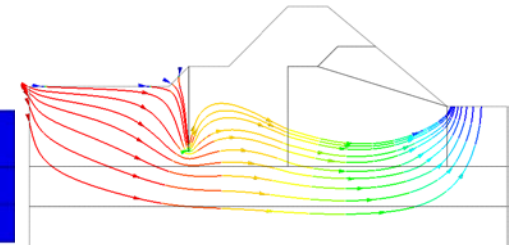
[선택 투수요소 생성]



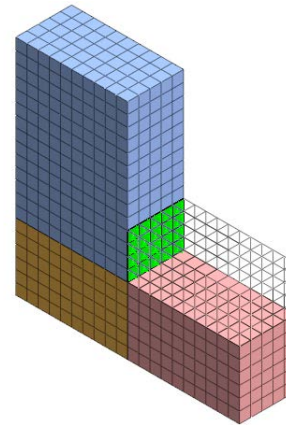
[선택투수요소 적용 2D모델]



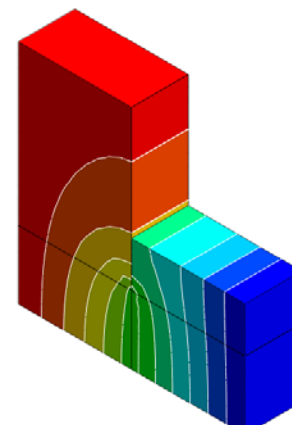
[2D 모델 전체수두 결과]



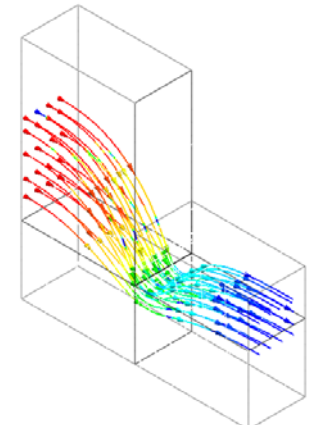
[2D 모델 유선망 작도]



[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.
Hyperbolic (Duncan-Chang)	→ 계산된 K_0^{nc} 를 K_0 로 사용합니다.
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]

변호 1 이름 등방성 색상 [선택]
 모델 타입 Mohr-Coulomb 구조 [선택]
 일반 다공성 재료 비선형 시간 응축
 탄성계수(E) 50000 kN/m²
 탄성계수 종감량 0 kN/m²
 침조 높이 0 m
 포아송비(ν) 0.3
 단위중량(γ) 20 kN/m³
 초기응력
 Ko 이방성 1
 온도 파라미터
 온도계수 1e-006 1/[T]
 감쇠비(동적) 0.05
 [] 안전을 계산(Mohr-Coulomb)
 점착력(C) [선택]
 마찰각(ϕ) [선택]
 [] 인장강도

$K_0^{nc} = 1 - \sin\phi$
 $= 1 - \sin 30^\circ$
 $= 0.5$

[변경 전 K_0 입력 방식]

변호 1 이름 등방성 색상 [선택]
 모델 타입 Mohr-Coulomb 구조 [선택]
 일반 다공성 재료 비선형 시간 응축
 탄성계수(E) 50000 kN/m²
 탄성계수 종감량 0 kN/m²
 침조 높이 0 m
 포아송비(ν) 0.3
 단위중량(γ) 20 kN/m³
 초기응력
 Ko 결정 0.5
 자동계산 [선택]
 수동계산 [선택]
 이방성 [선택]
 온도 파라미터
 온도계수 1e-006 1/[T]
 감쇠비(동적) [선택]
 감쇠비 [선택]
 [] 안전을 계산
 점착력(C) [선택]
 마찰각(ϕ) [선택]
 [] 인장강도

[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

	X (m)	Ytop (m)	Ybot (m)	Ptop (kN/m²)	Pbot (kN/m²)
▶	0.0000	80.0000	80.0000	0.0000	300.0000
*	10.0000	80.0000	80.0000	0.0000	300.0000

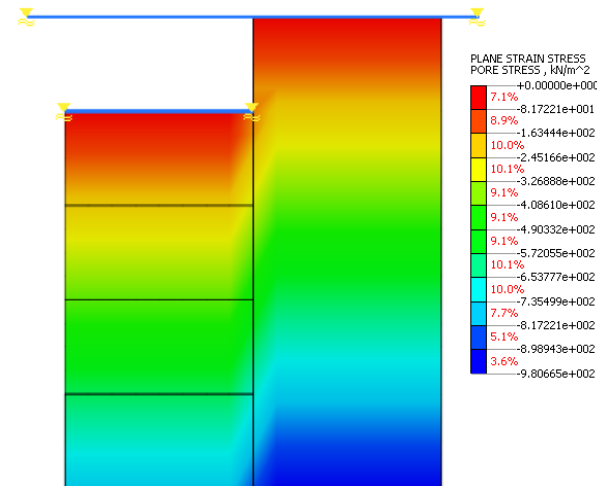
[특이수압 함수]

요소망세트	수위조건	조건함수	수위
종화압	Dry		
▶	Head	없음	15.00
*	Dry		
	정수		
	사용자정의		

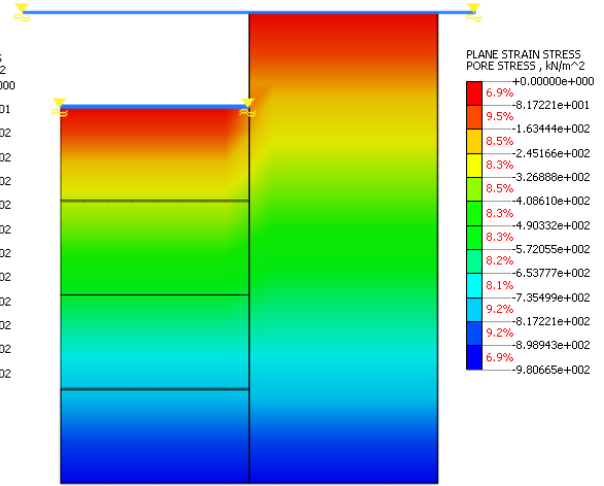
[요소망세트 수위정의]

요소망세트	수위조건	조건함수	수위
Map-mesh (Area)-5	Head	없음	80.00
Map-mesh (Area)-5	Head	없음	80.00
Map-mesh (Area)-5	Head	없음	80.00
Map-mesh (Area)-5	Head	없음	80.00

요소망세트	수위조건	조건함수	수위
Map-mesh (Area)-5	사용자정의	Non-Hydrost	
Map-mesh (Area)-5	사용자정의	Non-Hydrost	
Map-mesh (Area)-5	사용자정의	Non-Hydrost	
Map-mesh (Area)-5	사용자정의	Non-Hydrost	100.00



[일반 수위를 적용한 굴착 모델]
간극수압의 불연속성



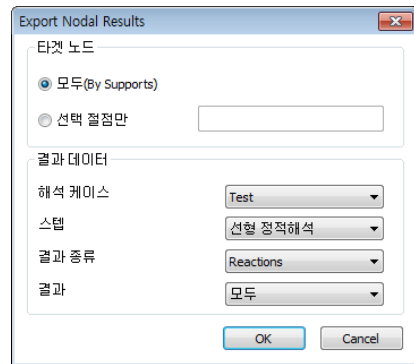
[사용자정의를 적용한 굴착 모델]
간극수압의 연속성

1. Pre Processing

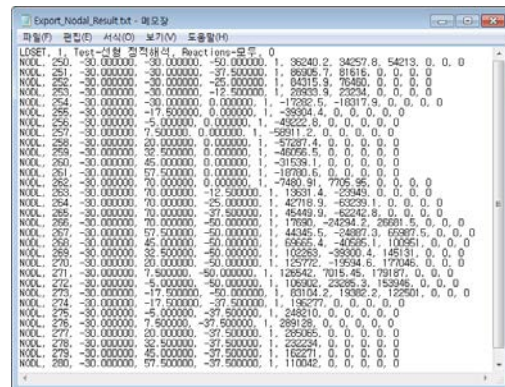
1.6 Gen/Civil 결과연동 기능 추가

- 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.

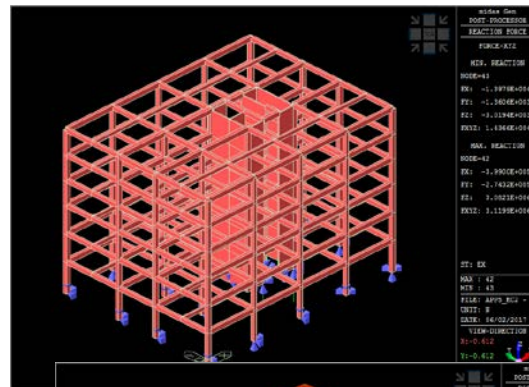
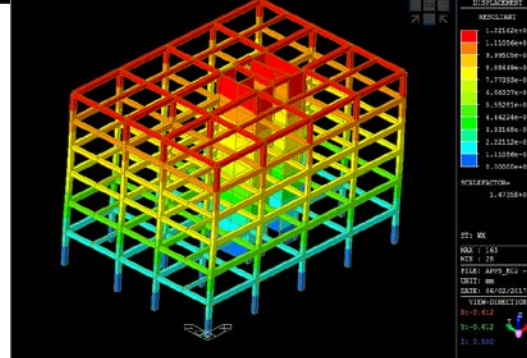
- 메뉴 > 불러오기 > Export Nodal Result(*.txt) & 메뉴 > 불러오기 > Import Nodal Result(*.txt)



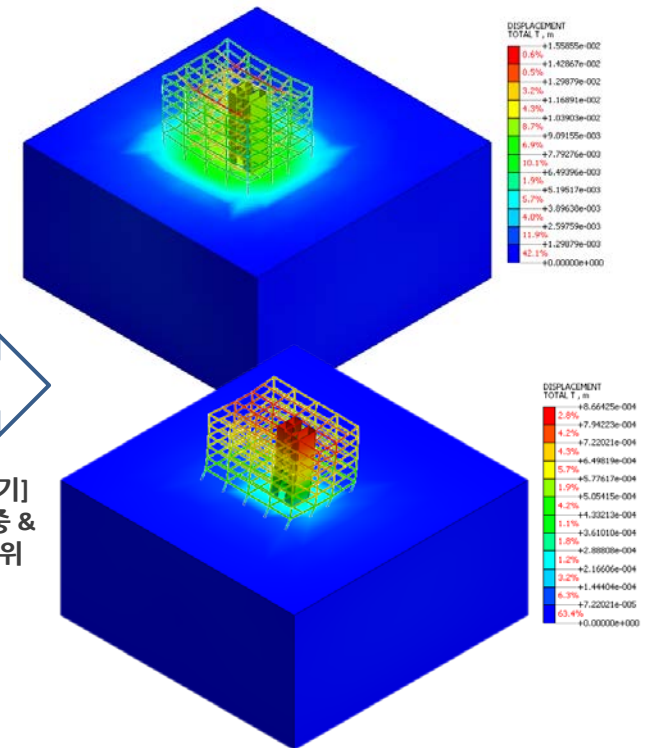
[절점 결과 추출]



[.txt 포맷의 추출 결과]

[추출]
반력 & 변위[불러오기]
절점 하중 &
선행 변위

[Gen/Civil의 해석결과]

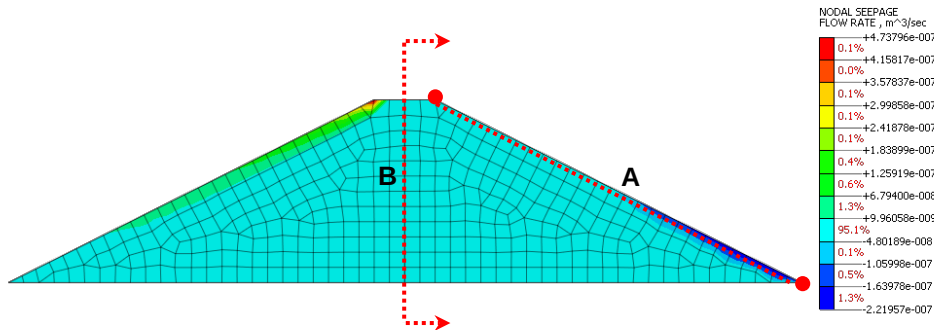
[절점 결과를 적용한
GTS NX의 해석 결과]

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

추가 수정 삭제

유량 -2.41364812e-006 m³/sec

절점번호 762to789

탐색공차 1e-005 m

유입(+) / 유출(-) 계산 닫기

[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

추가 수정 삭제

유량 0 m³/sec

절점번호 586to598

탐색공차 1e-005 m

유입(+) / 유출(-) 계산 닫기

[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

추가 수정 삭제

유량 -2.41364812e-006 m³/sec

절점번호 762to789

탐색공차 1e-005 m

유입(+) / 유출(-) 계산 닫기

[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

추가 수정 삭제

유량 0 m³/sec

절점번호 586to598

탐색공차 1e-005 m

유입(+) / 유출(-) 계산 닫기

[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

추가 수정 삭제

유량 -2.36618644e-006 m³/sec

절점번호

탐색공차 1e-005 m

유입(+) / 유출(-) 계산 닫기

[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 차단 3가지 항복함수로 결정됩니다. 특히, 전단항복함수는 반복하중(cyclic loading)에 대한 재료의 고밀도화(densification)를 고려합니다.

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

[재료거동에 대한 표현 식]

- 비선형 탄성 : 유효응력에 대한 지수함수로 표현

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

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

- 소성 / 전단

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

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

$$\Delta \kappa_s = |\Delta \varepsilon_1^p - \Delta \varepsilon_3^p|$$

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

- 소성 / 압축

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

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

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

- 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
ne	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
np	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]

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

$$30^0 < \phi_{cv} < 34^0$$

$$\nu = 0.0163$$

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

$$ne = 0.5$$

$$np = 0.4$$

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

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

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

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

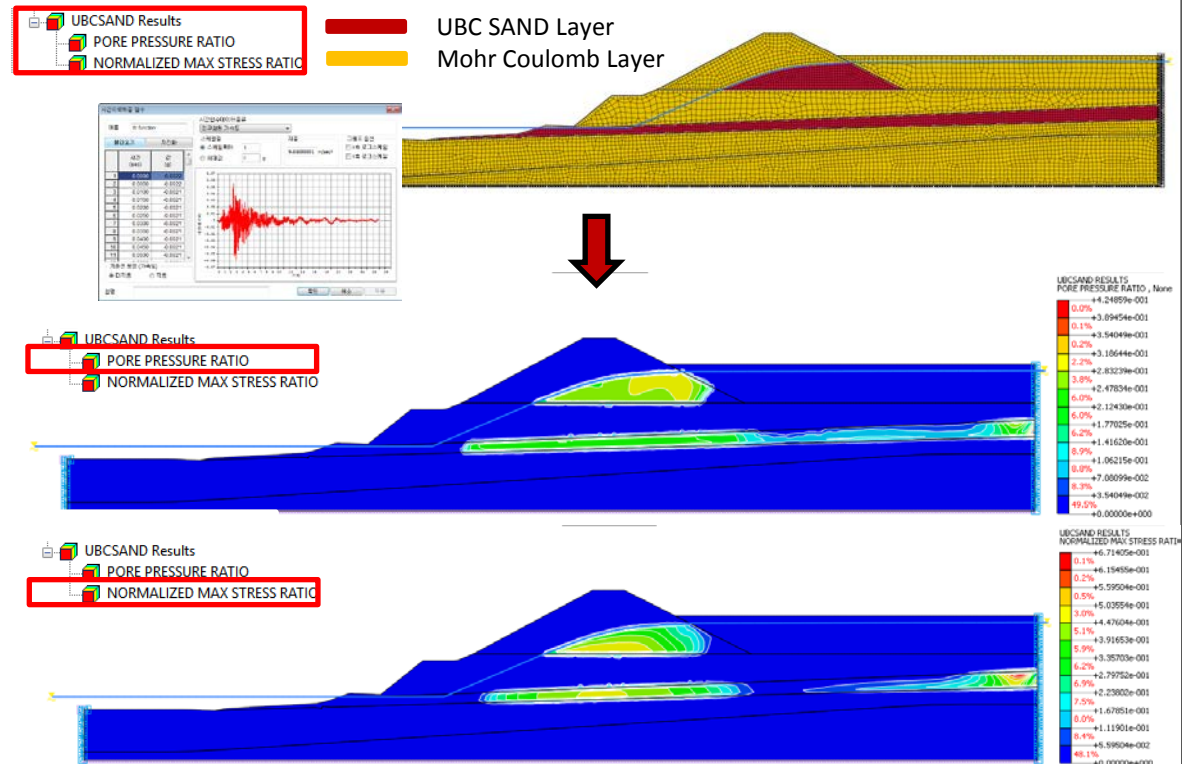
Δp_w	과잉간극수압 변화량 (Excessive pore pressure change)
p'_i	초기 유효 압력 (Initial effective pressure)
p'_c	현재 유효 압력 (Current effective pressure)

■ 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

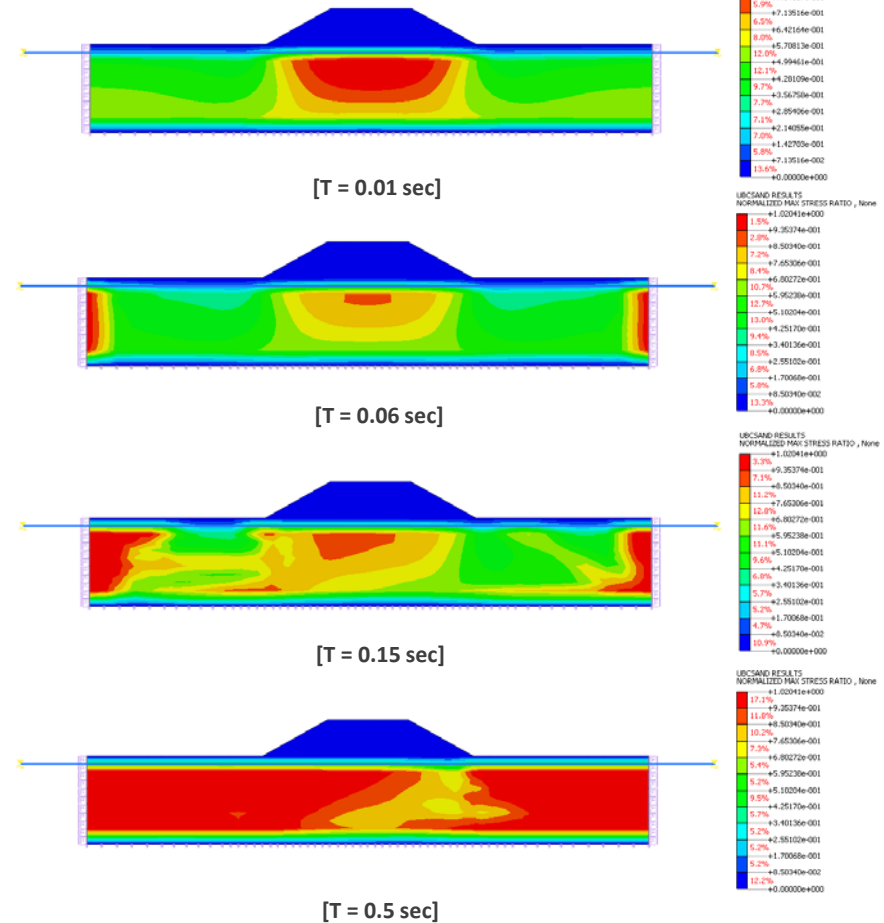
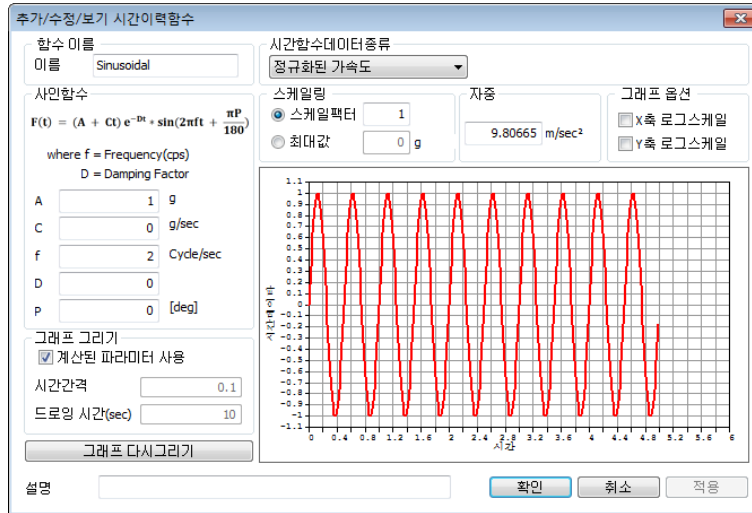
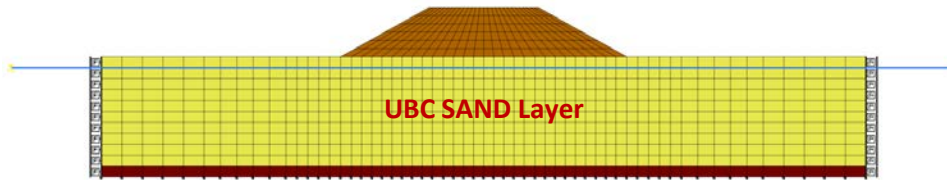
■ 특성/좌표계/함수 > 재료 > 등방성 > Modified UBCSAND

■ Normalized Max Stress Ratio

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

$$K_G^p = K_G^0 \times fac_{pos}$$

여기서 fac_{pos} 는 액상화 조정 계수입니다.



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