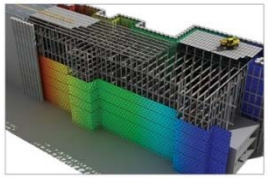
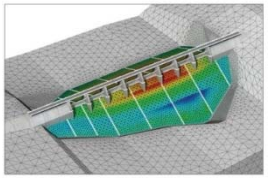
Release Note

Product Ver. : GTS NX Ver.250

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 Taper Section Group (MODS)
- 1.2 T / X 교차 인터페이스
- 1.3 Bedding plane(조사공정보) (MODS)
- 1.4 Self weight(자중에 함수사용)
- 1.5 동해석 상대결과 출력할 때, 기준점 체크
- 1.6 SoilWorks 내보내기 강화 (MODS)
- 1.7 수축하중 (Contraction) (MODS)

2. Post Processing

- 2.1 다중스텝 그래프
- 2.2 유량계산 기능개선(면선택 유량)
- 2.3 침투해석 시간에 대한 결과그래프
- 2.4 결과 Vector (절단면, 선에 컨투어와 벡터표현)
- 2.5 결과변환 - 해석결과를 정적하중으로 변환 (MODS)
- 2.6 결과변환 - 해석결과를 침투 경계조건으로 변환 (MODS)
- 2.7 동해석 하중테이블 불러오기/내보내기 (MODS)

3. Analysis

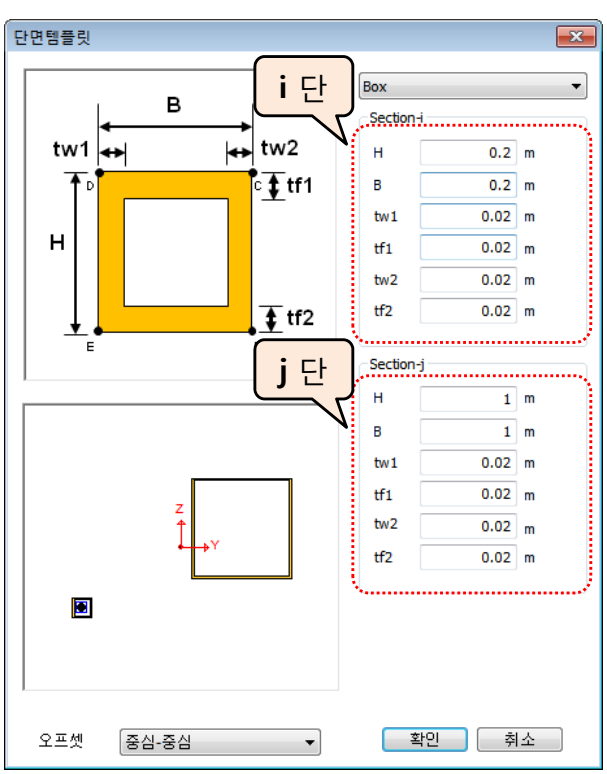
- 3.1 CWFS 재료모델 (대심도 터널 해석에 주로사용) (MODS)
- 3.2 D-min (일본 중앙전력연구소 제안모델)

1. Pre Processing

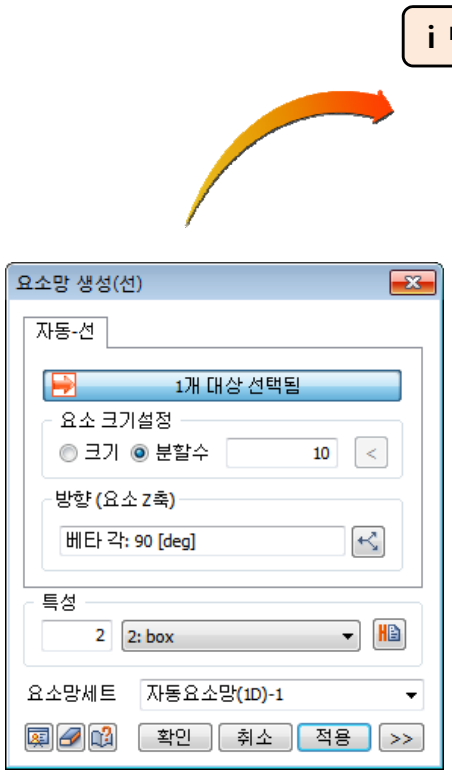
1.1 Taper Section Group(Beam/Embedded Beam) (MODS)

- 요소의 분할 위치와 무관하게 하나의 일정한 변단면으로 정의되도록 그룹화하여, 중간 단면크기를 자동으로 계산하는 기능입니다.
- 기존에는 요소 분할 위치에 따라 단면이 변화하는 속성을 각각 할당해야 하는 번거로운 모델링 과정을 거쳤습니다.
- 단면 변화구간에 해당 요소를 한 번에 선택하고, 시작 단면의 속성과 마지막 단면의 속성만 각각 i단과 j단 절점으로 선택하면 변단면이 자동 생성됩니다.

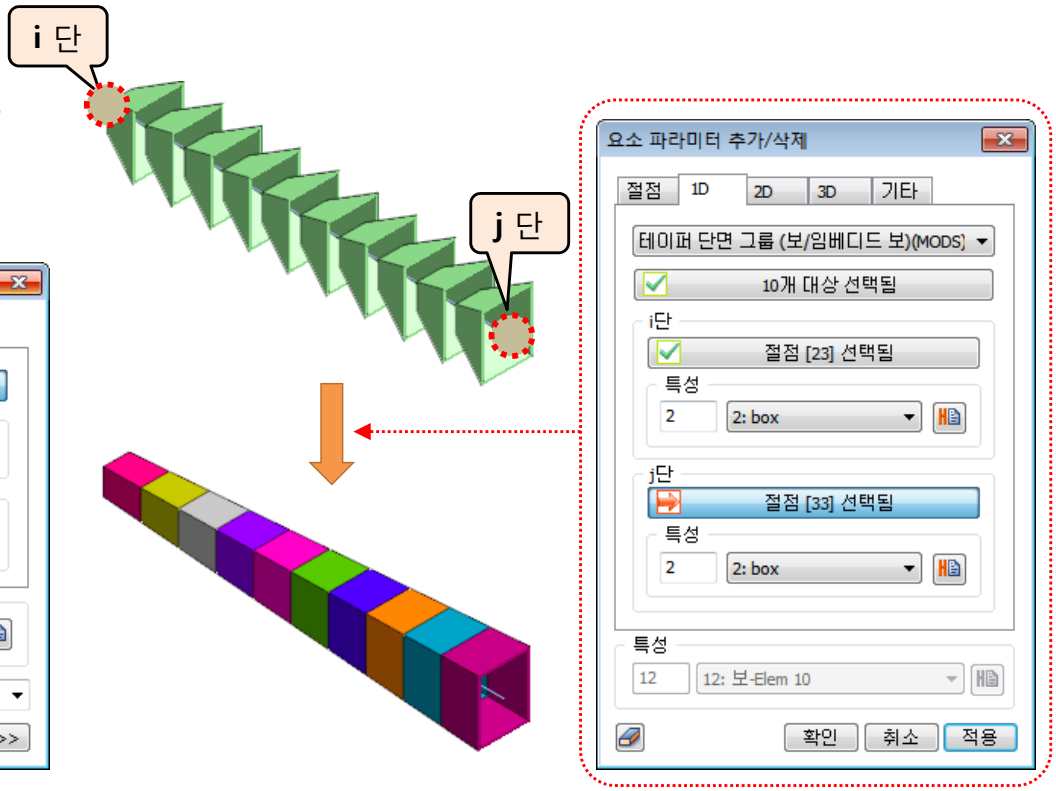
- **요소망 > 요소 > 파라미터 > 1D / 테이퍼 단면 그룹(보/임베디드보)**



[1D 구조부재 변단면 특성 생성]



[1D 요소 생성]



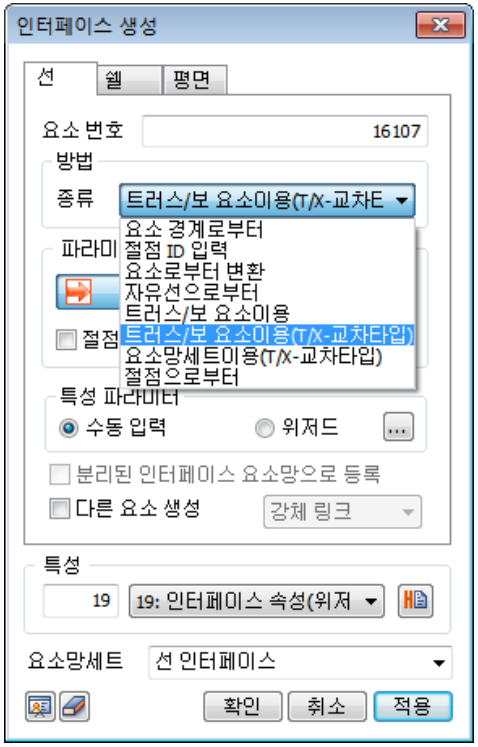
[테이퍼 단면그룹]

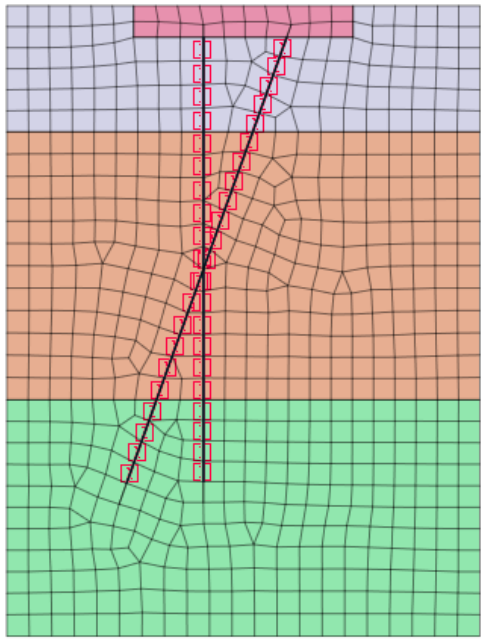
1. Pre Processing

1.2 T / X 교차 인터페이스

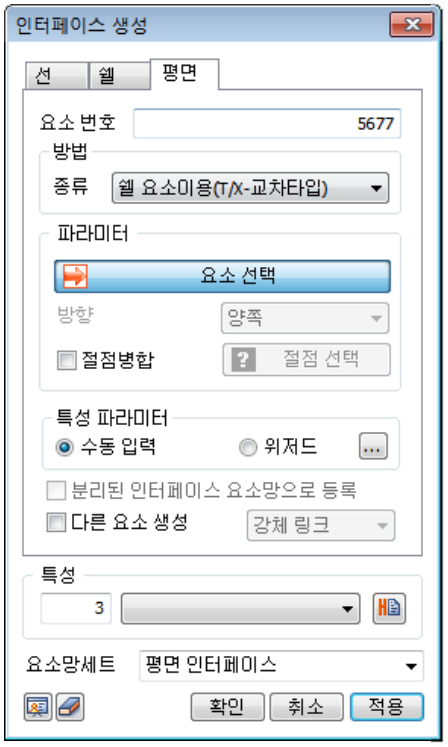
- Truss / Beam 요소가 T 혹은 X 자 형태로 교차하는 경우에도 주변 지반과의 인터페이스 생성을 추가 지원합니다. 3차원 모델의 경우 Shell 요소도 가능합니다.
- 단, T 혹은 X 자 형태로 인터페이스를 생성하기 때문에 “분리된 인터페이스 요소망으로 등록” 옵션은 지원되지 않습니다.

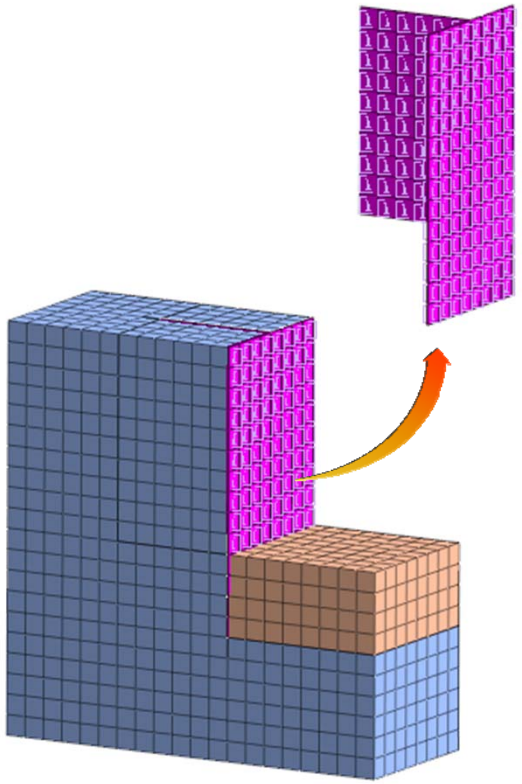
- **요소망 > 요소 > 인터페이스 생성 > 선: 트러스/보 요소이용(T/X-교차타입), 평면: 쉘 요소이용(T/X-교차타입)**





[2D 모델 트러스/보 요소 이용(T/X-교차타입)]





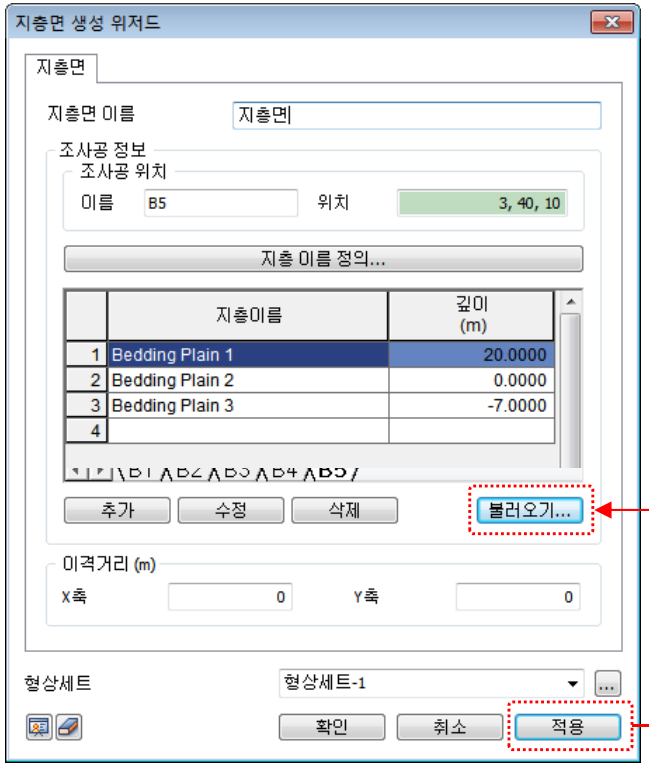
[3D 모델 쉘요소 이용 (T/X-교차타입)]

1. Pre Processing

1.3 Bedding plane(조사공정보) (MODS)

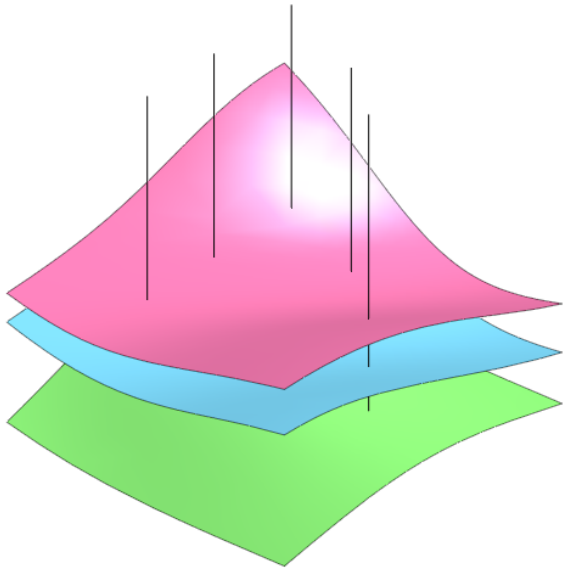
- "지층면 생성 위저드"에서 Excel 파일로 여러 지층 및 조사공 정보를 한 번에 불러오는 기능이 추가 되었습니다.
- 지층면은 동일한 지층이름을 기준으로 시추공 별 깊이를 보정하여 생성되며, 1개 지층면은 3개 이상의 조사공 정보를 정의해야 생성됩니다.
- 지층면 엑셀 샘플파일은 프로그램 설치 후 C:\Program Files\MIDAS\GTS NX\Sample 폴더에서 'Bedding Plane Sample.xlsx' 파일로 확인 가능합니다.

- **형상 > 면과 솔리드 > 지층면 > 불러오기**



[지층면 생성 위저드]

	A	B	C	D	E	F	G
1	[m]						
2		Borejole name	B1	B2	B3	B4	B5
3		Location	1,1,10	1,20,10	20,40,7	40,25,10	3,40,10
4							
5	No.	name	depth				
6	1	Bedding Plain 1	20	15	17	17	20
7	2	Bedding Plain 2	5	3	5	6	0
8	3	Bedding Plain 3	-3	-4	-3	-6	-7
9							



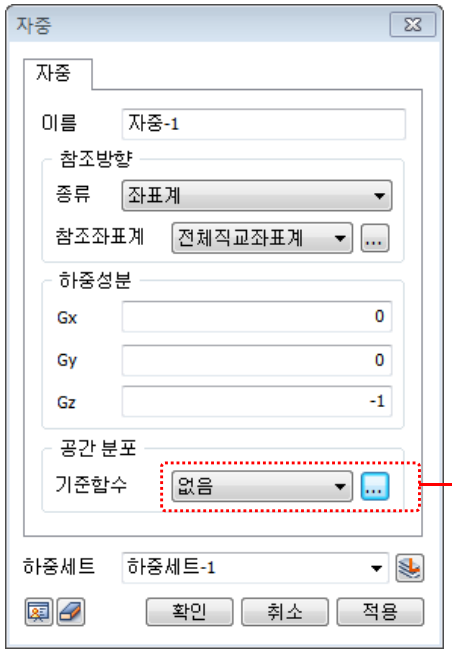
[조사공 정보로 생성된 평면]

1. Pre Processing

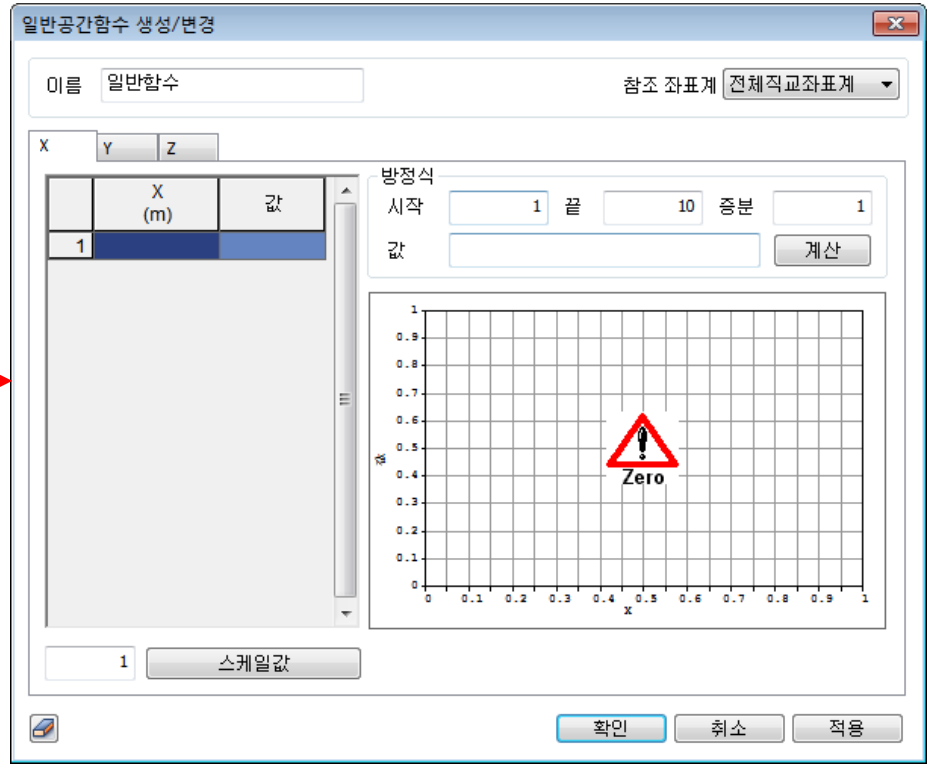
1.4 Self weight(자중에 함수사용)

- 자중에 공간분포함수를 적용할 수 있습니다. 공간분포함수는 위치에 따라 입력된 값이 스케일링 되어 반영됩니다.

- **정적/사면 해석 > 하중 > 자중**



[자중 입력창]



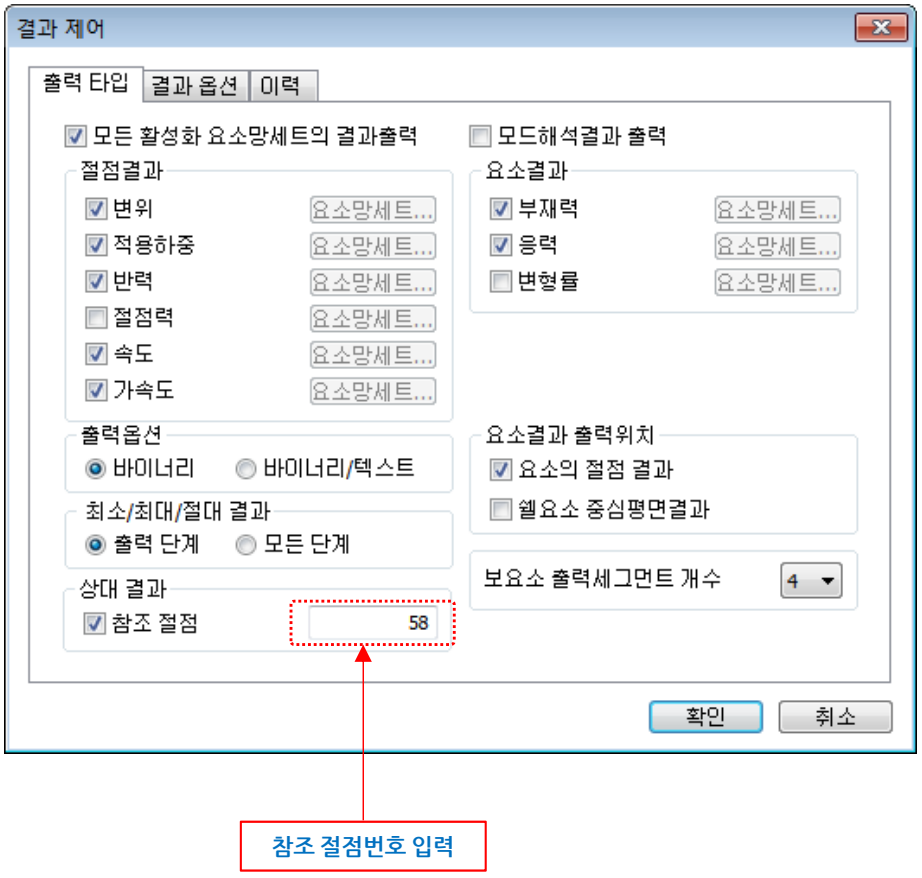
[공간함수 생성/변경]

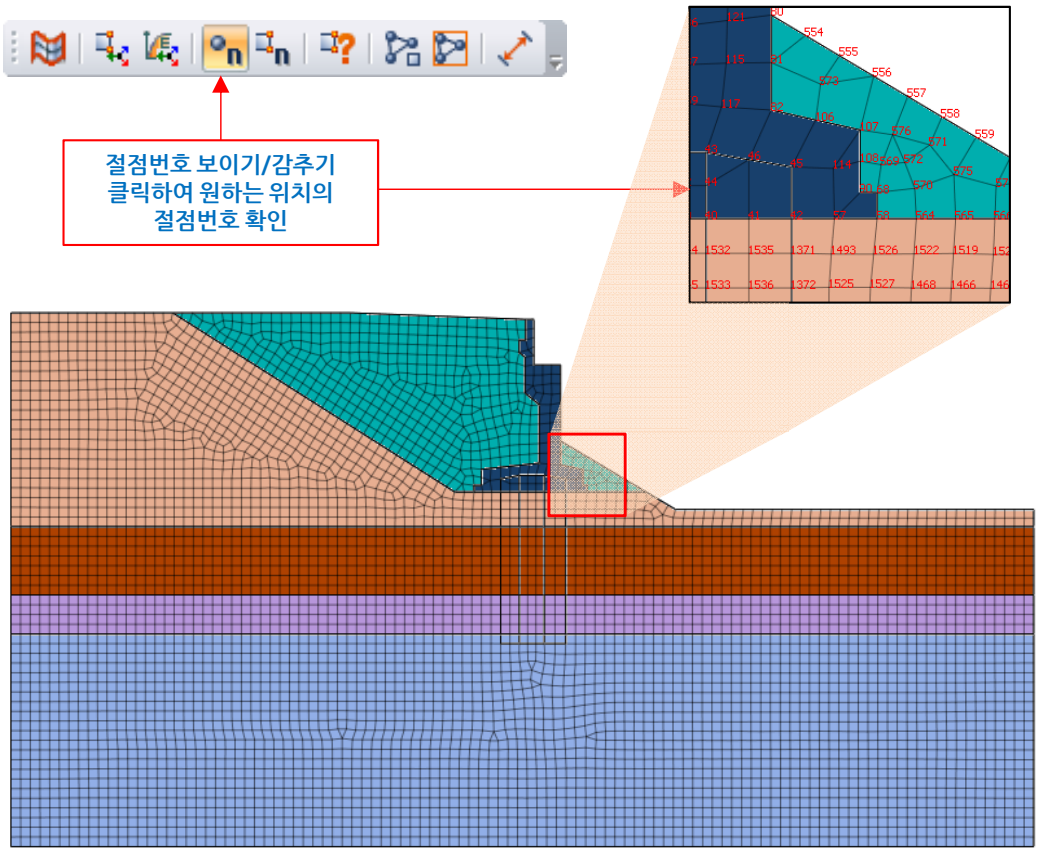
1. Pre Processing

1.5 동해석 상대결과 출력할 때, 기준점 체크

- 동해석 시 특정 절점 기준으로 상대결과를 검토하고자 할 경우, '참조 절점' 옵션을 체크하여 기준이 되는 절점번호를 입력합니다.
- 체크해제 시에는 기존과 동일한 방식으로 상대결과를 계산합니다.

- **해석케이스 > 선형시간이력해석(모달), 선형시간이력해석(직접), 비선형시간이력해석, 2차원 등가선형해석, 비선형시간이력해석 + SRM > 결과제어**





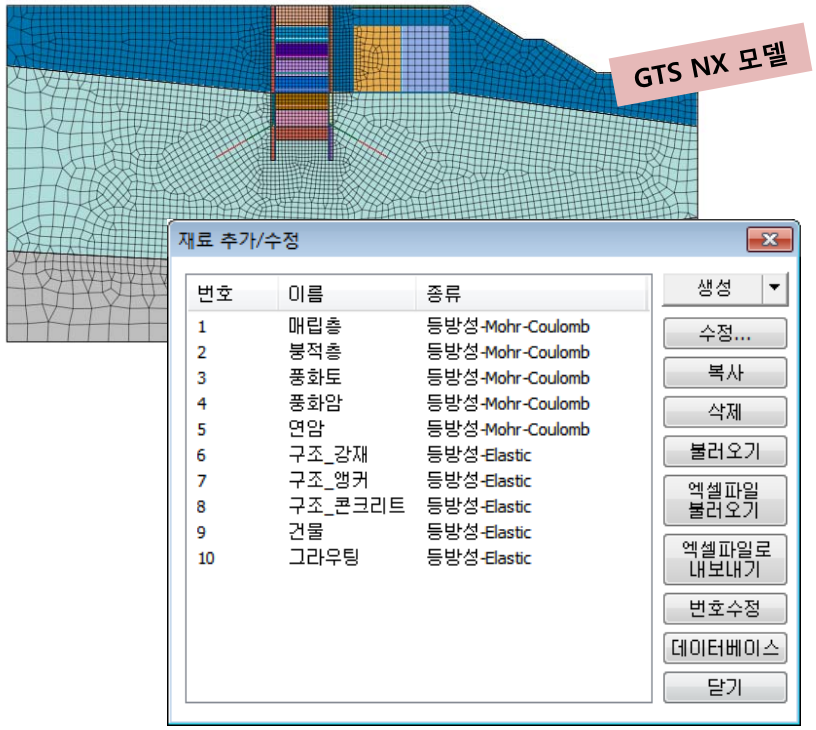
[예제 모델]

1. Pre Processing

1.6 SoilWorks 내보내기 강화 (MODS)

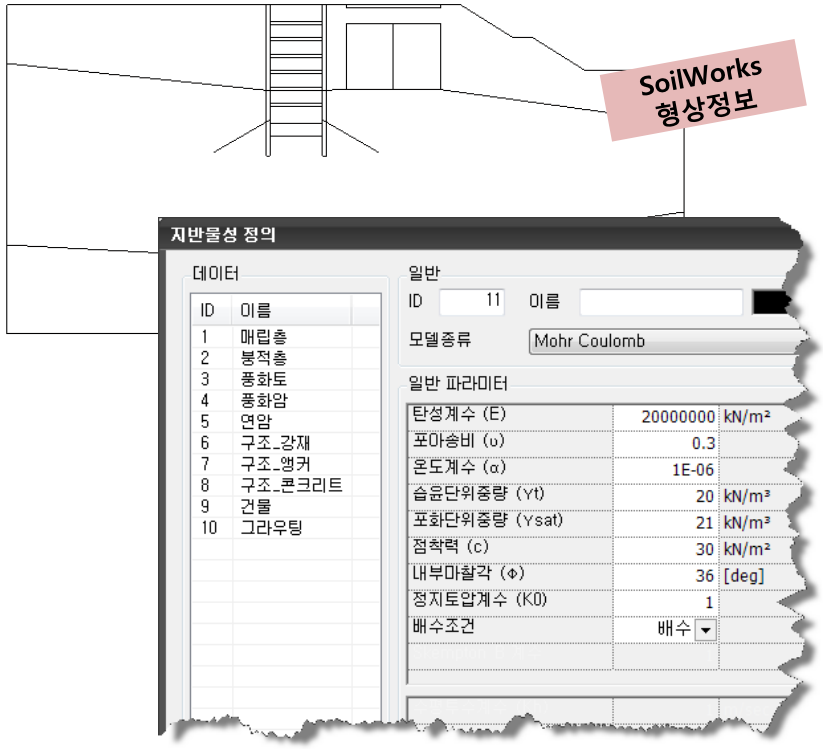
- "기하형상을 SoilWorks 중립파일로 내보내기"에 재질정보가 추가 되었습니다. GTSNX – SoilWorks 간에 동일한 모델타입과 파라미터를 호환시켜 줍니다.
- 호환 가능한 재료모델은 Elastic, Mohr Coulomb, Modified Mohr Coulomb, von Mises, Tresca, Hoek-Brown, Duncan-Chang, Drucker Prager, D-min, Modified Cam Clay, Sekiguchi-Ohta(Inviscid), Sekiguchi-Ohta(Viscid) 총 12개 타입과 2D Equivalent는 SoilWorks > 동해석모듈 > Elastic(등가선형)으로만 호환됩니다. SoilWorks 침투모듈에서는 von Mises, Tresca를 제외한 위 10개 타입이 재료 구분 없이 호환됩니다.
- 단, GTS NX에서 'Structure'가 체크되어 있는 경우에는 호환되지 않습니다. ※ (내보내기 한 중립파일의 지반물성 정보는 SoilWorks V480 이후 버전에서 연동가능)

- **파일(메인아이콘) > 내보내기 > 기하형상을 SoilWorks 중립파일로 내보내기**



[GTS NX V.250]

SoilWorks 중립파일 내보내기
내보내기 - 재질정보 연동



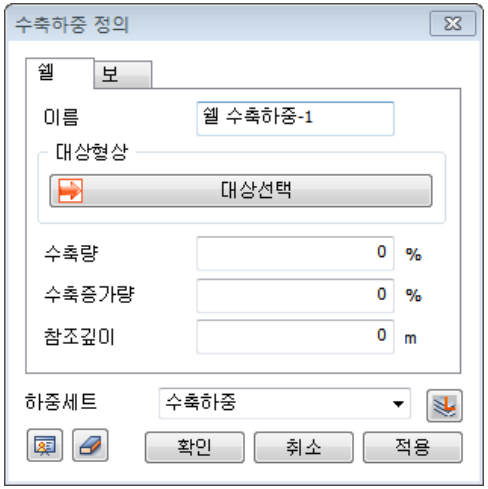
[SoilWorks V.480]

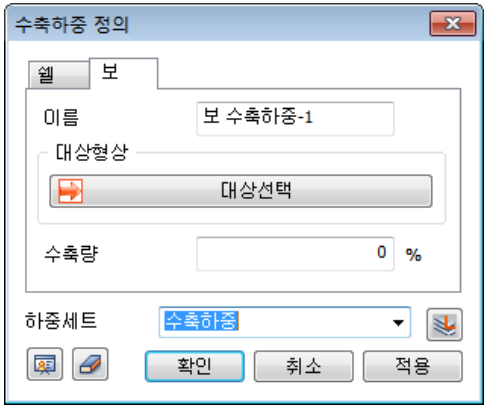
1. Pre Processing

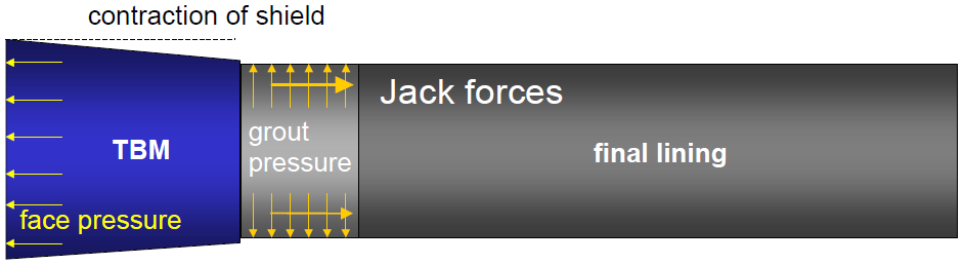
1.7 수축하중(Contraction) (1/2) (MODS)

- 쉴드터널 수축량을 하중으로 고려합니다. 2차원 모델에서는 Beam 요소를 3차원 모델에서는 Shell 요소를 선택하여 수축량을 적용할 수 있습니다.
- 수축량 값은 터널 원주방향의 수축량, 수축증가량값은 터널 굴착방향의 수축량, 참조깊이는 3차원 터널 굴착방향의 수축량을 계산하기 위한 기준 깊이를 의미합니다.

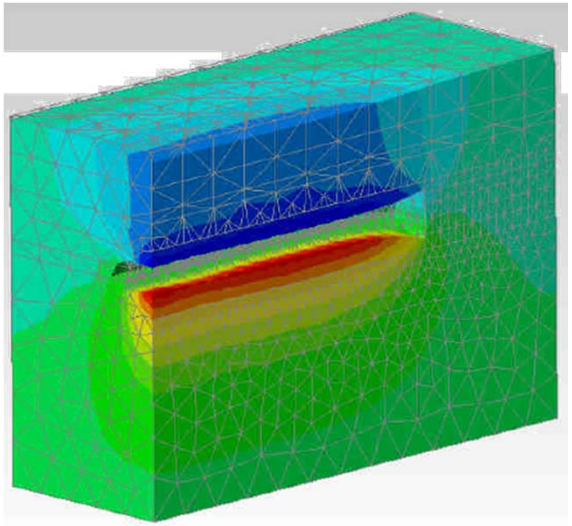
- **정적/사면 해석 > 하중 > 수축하중**

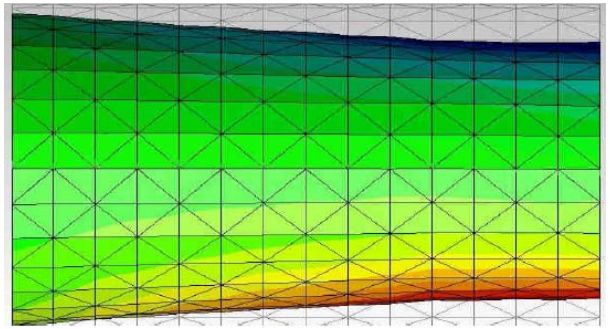






[실드터널 수축 개념도]





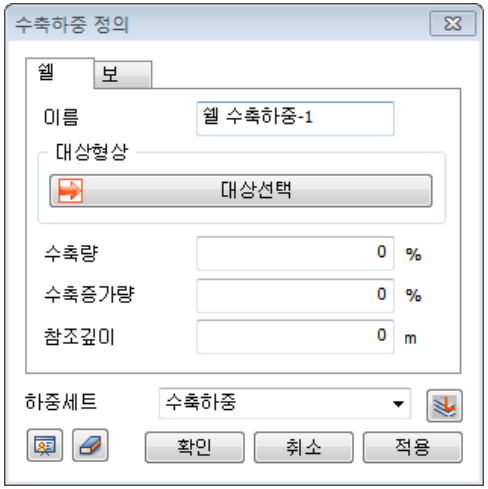
[수축하중 적용사례]

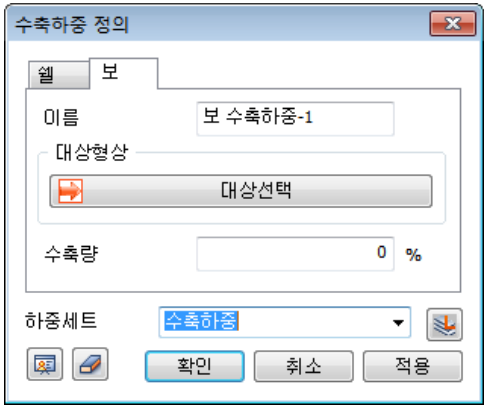
1. Pre Processing

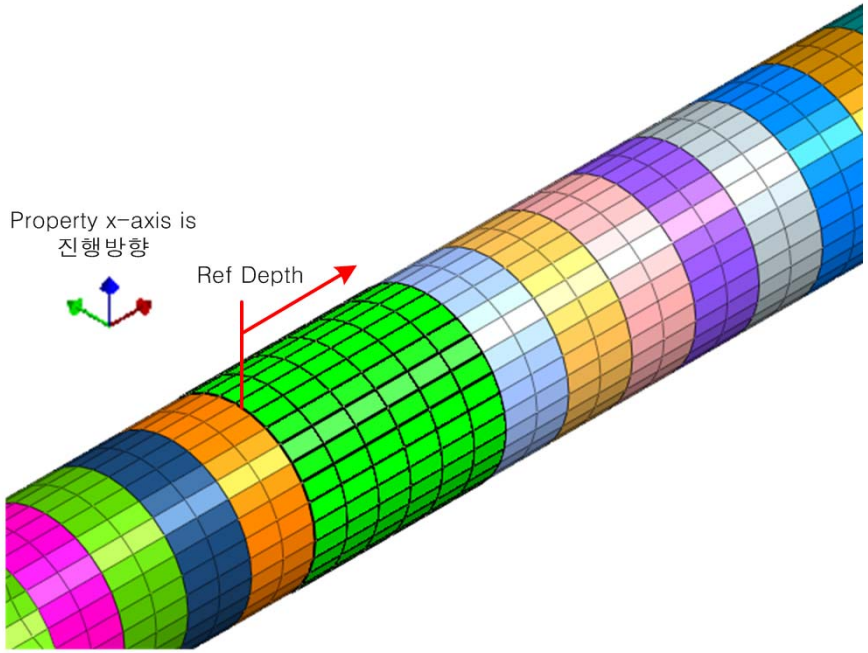
1.7 수축하중(Contraction) (2/2) (MODS)

- 쉴드터널 수축량을 하중으로 고려합니다. 2차원 모델에서는 Beam 요소를 3차원 모델에서는 Shell 요소를 선택하여 수축량을 적용할 수 있습니다.
- 수축량 값은 터널 원주방향의 수축량, 수축증가량값은 터널 굴착방향의 수축량, 참조깊이는 3차원 터널 굴착방향의 수축량을 계산하기 위한 기준 깊이를 의미합니다.

- **정적/사면 해석 > 하중 > 수축하중**







※ 모델링 시 주의사항

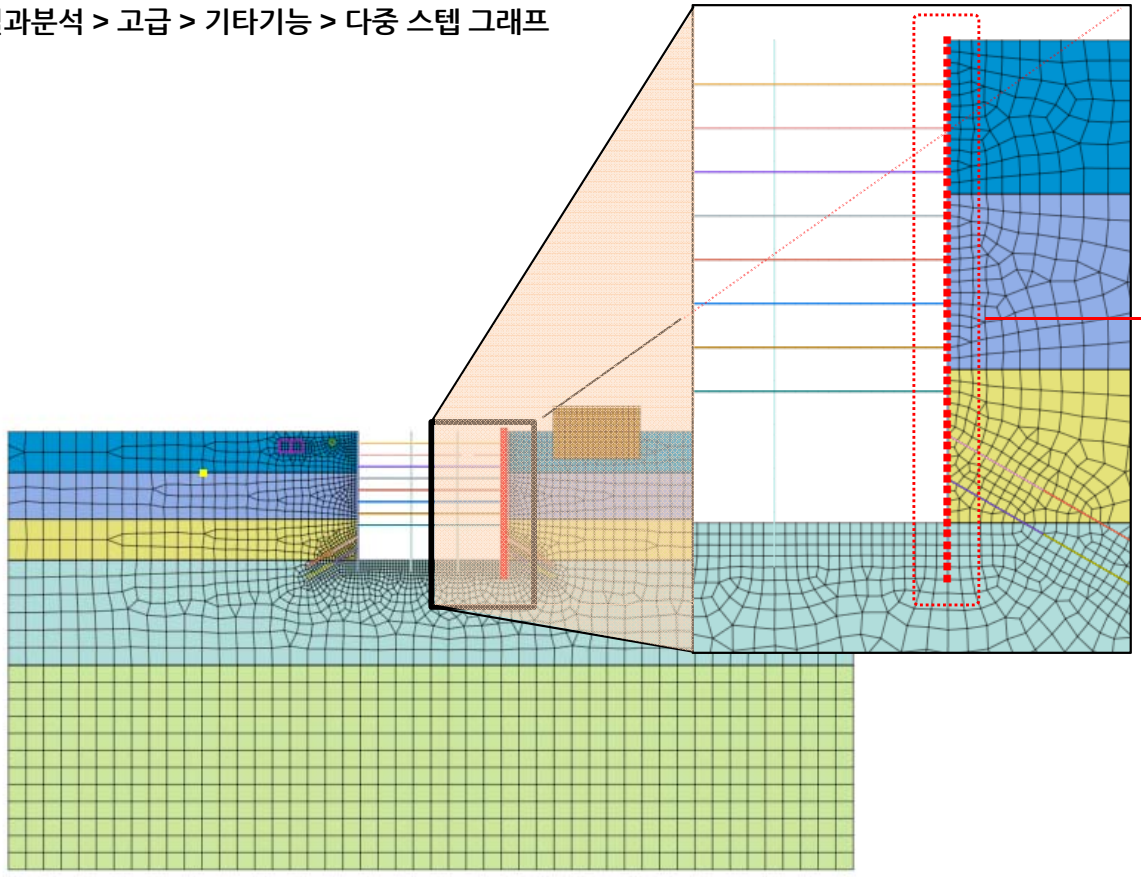
- 선택한 요소들이 원형형상인 경우에만 계산식이 성립
  (원형이 아닌 경우에도 선택한 요소들이 폐합되어 있으면 수축하중을 적용할 수 있으나, 올바른 결과를 얻을 수 없음)
- 3차원 모델의 Shell 요소는 그림과 같이 굴착방향이 Element CSys-X축이 되도록 좌표계 정렬 필요 (터널 굴착방향의 굴착폭을 자동계산하기 위함)

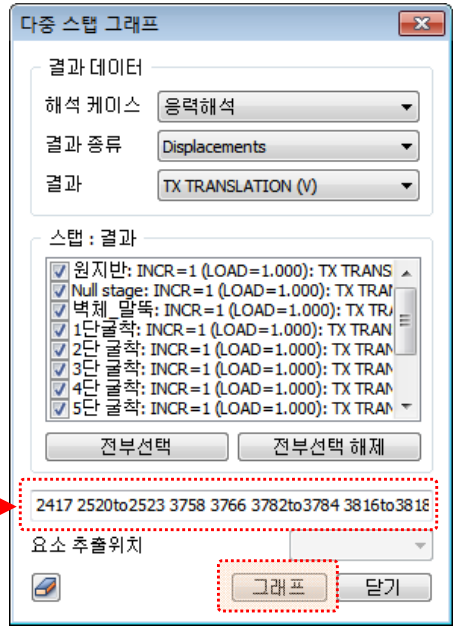
2. Post Processing

2.1 다중 스텝 그래프 (1/2)

- 선택한 절점/요소의 '위치 기준'으로 다중 스텝의 결과를 그래프로 그리는 기능입니다.
- 해석세트, 결과타입, 결과, 스텝, 절점/요소를 선택하고 '그래프'를 클릭합니다. 그래프 정의에서 'Axis'은 선택한 절점 혹은 요소의 실제 좌표를 의미하며, 그래프의 Y축에 배치됩니다. 그래프 X축에 선택한 절점 혹은 요소의 결과 값이 배치됩니다

- **결과분석 > 고급 > 기타기능 > 다중 스텝 그래프**





▪ 예) 흙막이 벽체

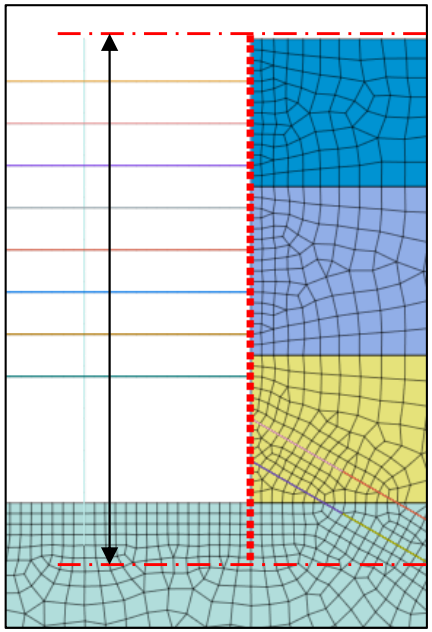
흙막이 벽체의 경우 시공단계 스텝 변화에 따른 벽체의 거동을 확인할 수 있습니다. 벽체에 해당하는 위치의 절점을 선택한 후 '그래프' 버튼을 클릭하여 여러 스텝의 결과를 확인합니다.

2. Post Processing

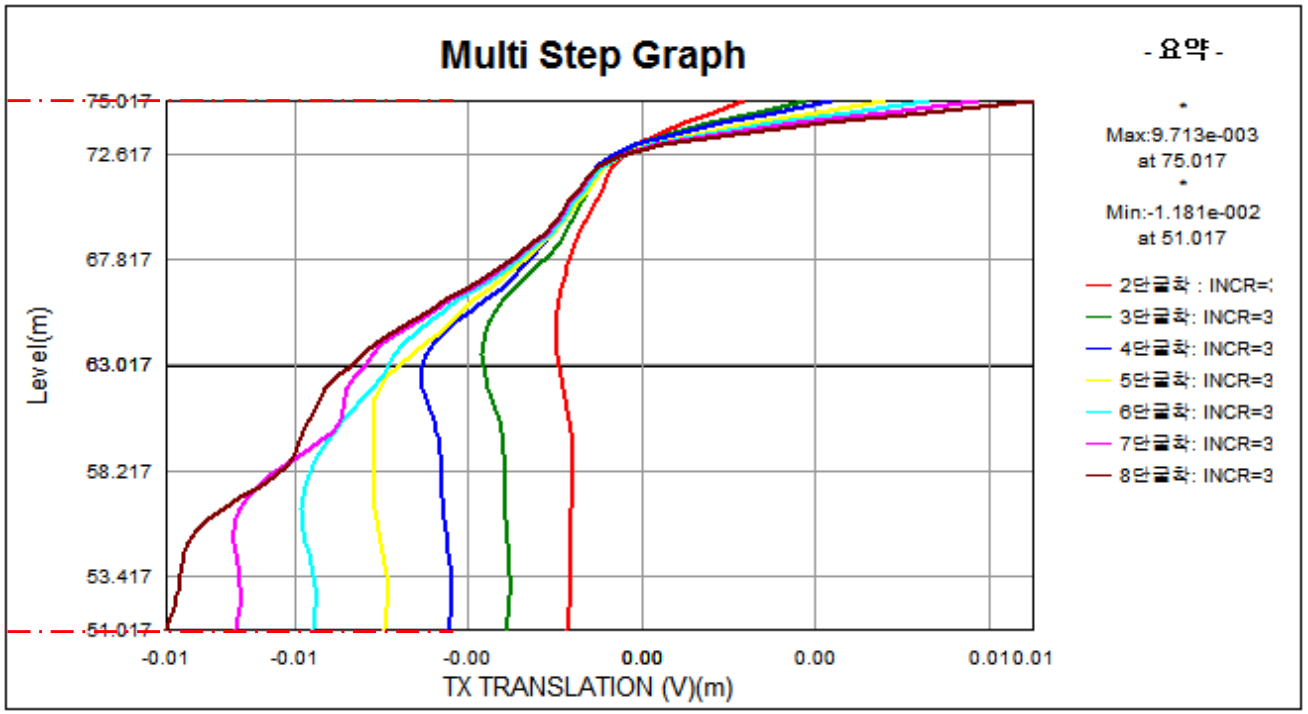
2.1 다중 스텝 그래프 (2/2)

- 여러 스텝의 결과를 선택한 절점/요소의 '위치 기준'으로 결과 그래프로 그리는 기능입니다.
- 해석세트, 결과타입, 결과, 스텝, 절점/요소를 선택하고 '그래프'를 클릭합니다. 그래프 정의에서 'Axis'은 선택한 절점 혹은 요소의 실제 좌표를 의미하며, 그래프의 Y축에 배치됩니다. 그래프 X축에 선택한 절점 혹은 요소의 값이 배치됩니다

- **결과분석 > 고급 > 기타기능 > 다중 스텝 그래프**
  - 공간상의 절점 위치를 고려하여 결과 그래프를 구성하므로, 구조부재의 변위 결과를 손쉽게 확인 가능



[모델 형상]



[Multi step graph]

2. Post Processing

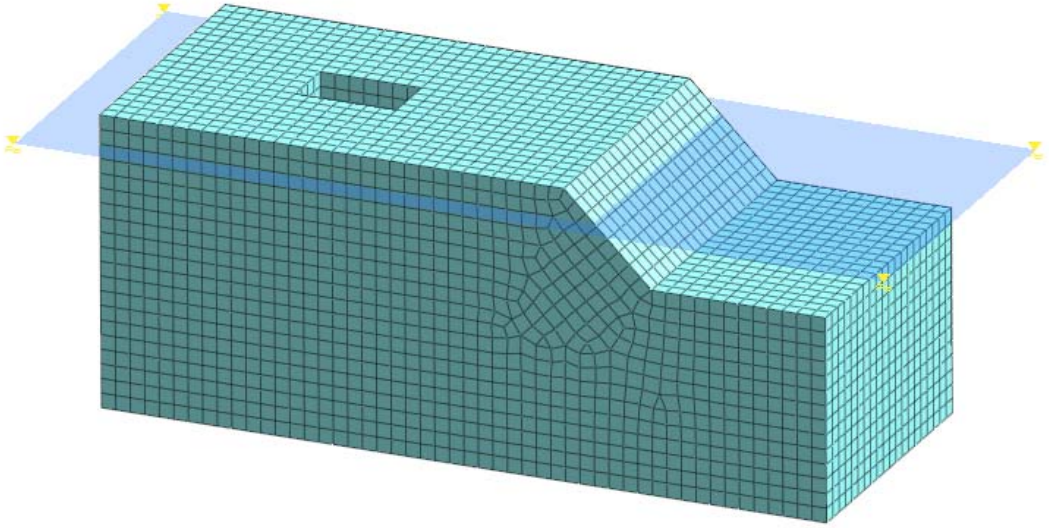
2.2 flow quantity (면선택 유량) (1/3)

- 기존에 유량 측정은 유출이 발생하는 위치의 절점을 직접 선택 혹은 입력하고 한번 계산 후, 동일 위치의 결과를 확인 하기 위해서는 처음부터 작업을 반복해야 했습니다.
- 기존의 절점선택 방식(Node Mode) 이외에도 기하형상을 선택하거나 임의 면을 생성하는 방식(Cutting Mode)이 추가되었고, 이 정보를 그룹으로 등록/관리하여 동일한 위치의 유량을 손쉽게 반복적으로 확인할 수 있습니다.

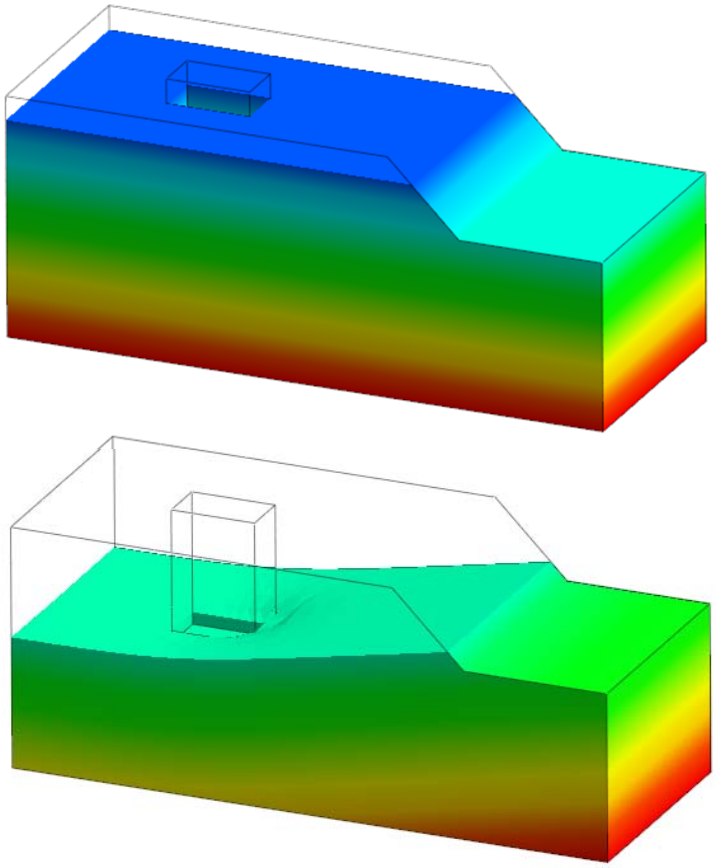
- **결과분석 > 특수 후처리 > 침투결과 > 유량**

[예제모델]

- 굴착으로 수위가 하강하는 모델에서, 굴착부 벽면과 바닥의 유량을 측정



[예제모델 초기수위]



[굴착으로 인한 수위저하]

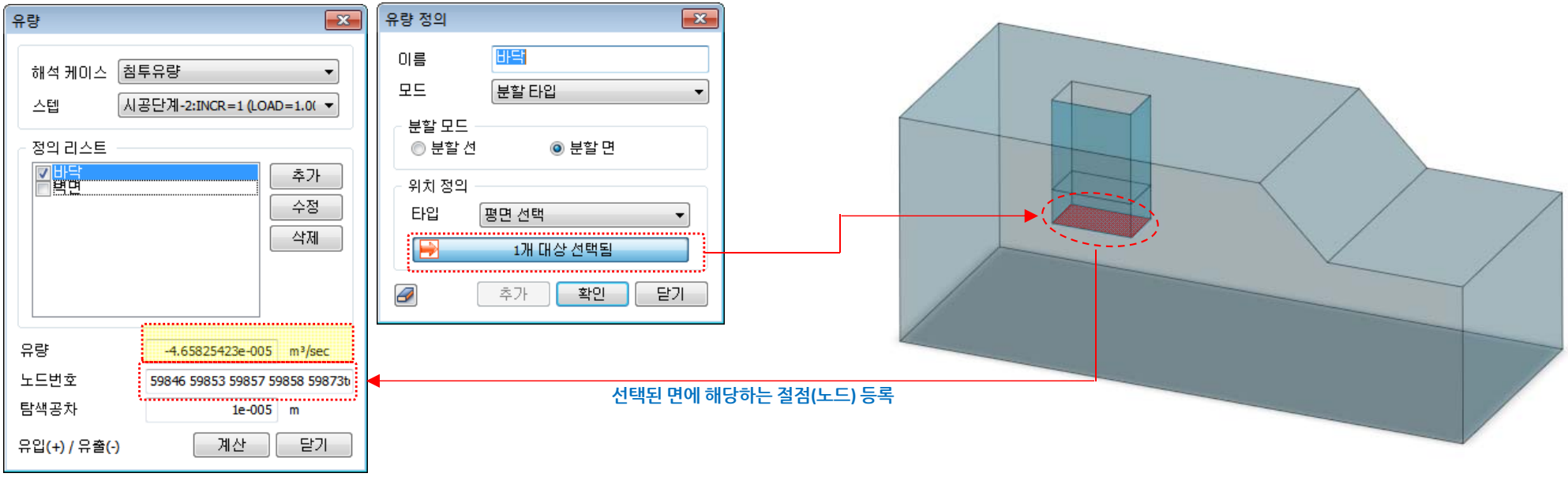
2. Post Processing

2.2 flow quantity (면선택 유량) (2/3)

- 기존에 유량 측정은 유출이 발생하는 위치의 절점을 직접 선택 혹은 입력하고 한번 계산 후, 동일 위치의 결과를 확인 하기 위해서는 처음부터 작업을 반복해야 했습니다.
- 기존의 절점선택 방식(Node Mode) 이외에도 기하형상을 선택하거나 임의 면을 생성하는 방식(Cutting Mode)이 추가되었고, 이 정보를 그룹으로 등록/관리하여 동일한 위치의 유량을 손쉽게 반복적으로 확인할 수 있습니다.

- **결과분석 > 특수 후처리 > 침투결과 > 유량**

  - 분할 면 > 평면 선택
  - 요소망을 생성할 때 사용한 기하형상에서 원하는 면을 선택하여 유량을 계산



[유량을 계산할 유출면 그룹 등록]

[기하형상에서 유량을 계산할 유출면 선택]

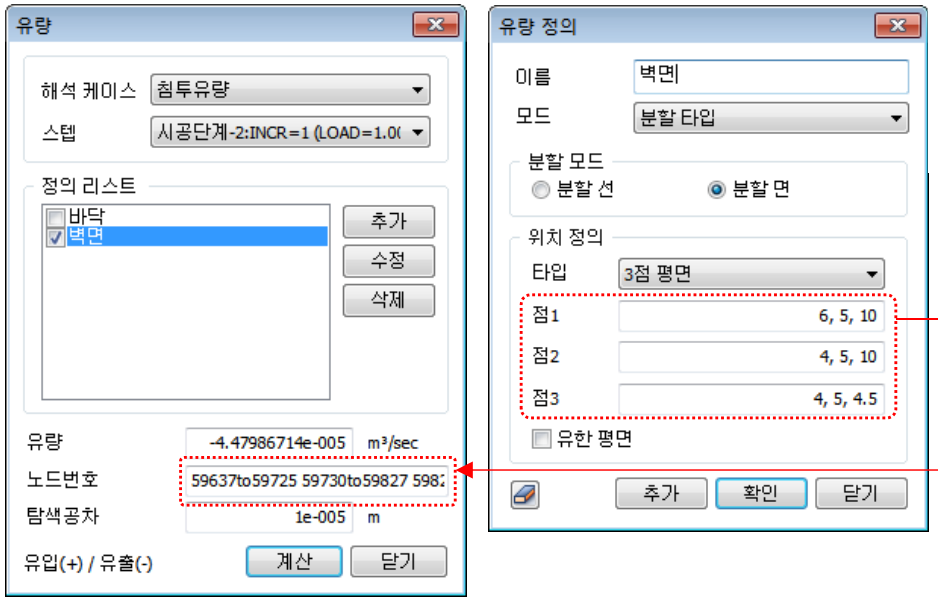
2. Post Processing

2.2 flow quantity (면선택 유량) (3/3)

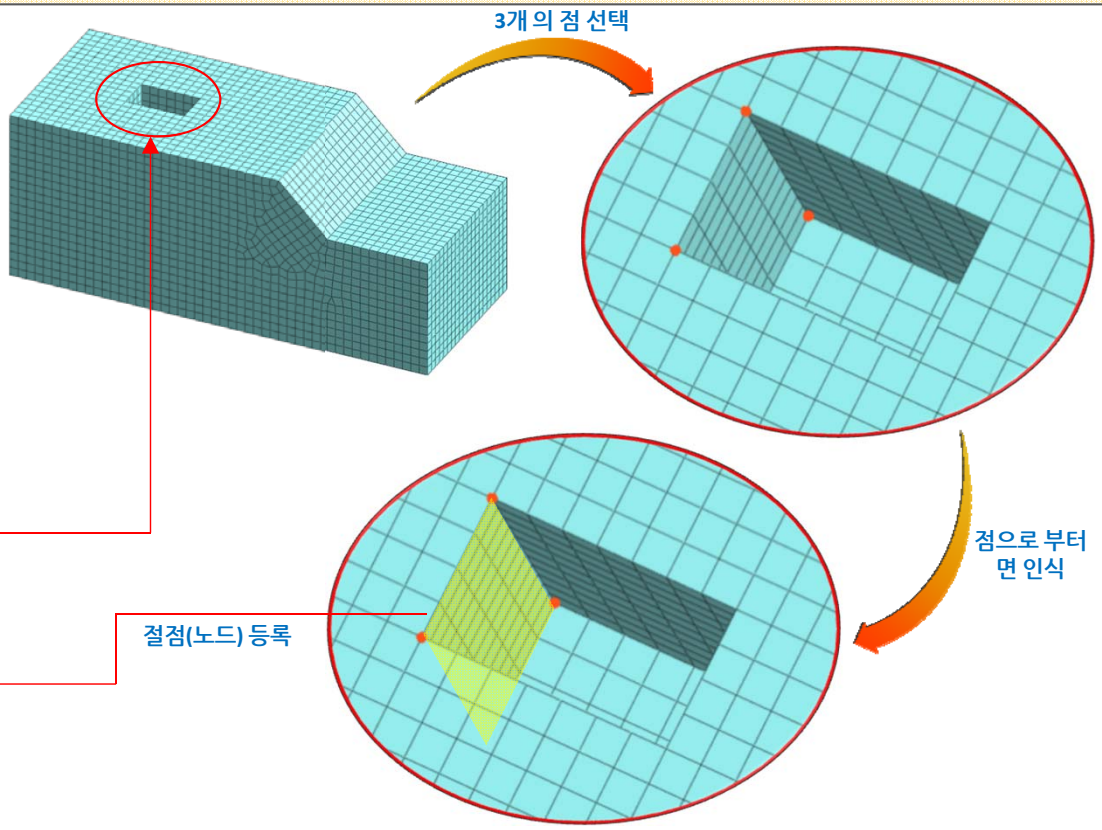
- 기존에 유량 측정은 유출이 발생하는 위치의 절점을 직접 선택 혹은 입력하고 한번 계산 후, 동일 위치의 결과를 확인 하기 위해서는 처음부터 작업을 반복해야 했습니다.
- 기존의 절점선택 방식(Node Mode) 이외에도 기하형상을 선택하거나 임의 면을 생성하는 방식(Cutting Mode)이 추가되었고, 이 정보를 그룹으로 등록/관리하여 동일한 위치의 유량을 손쉽게 반복적으로 확인할 수 있습니다.

- **결과분석 > 특수 후처리 > 침투결과 > 유량**

  - 분할 면 > 3점 평면
  - 기하형상 혹은 요소망에서 '3점 평면' 을 선택하여 해당되는 면의 유출량을 계산



[유량을 계산할 유출면 그룹 등록]



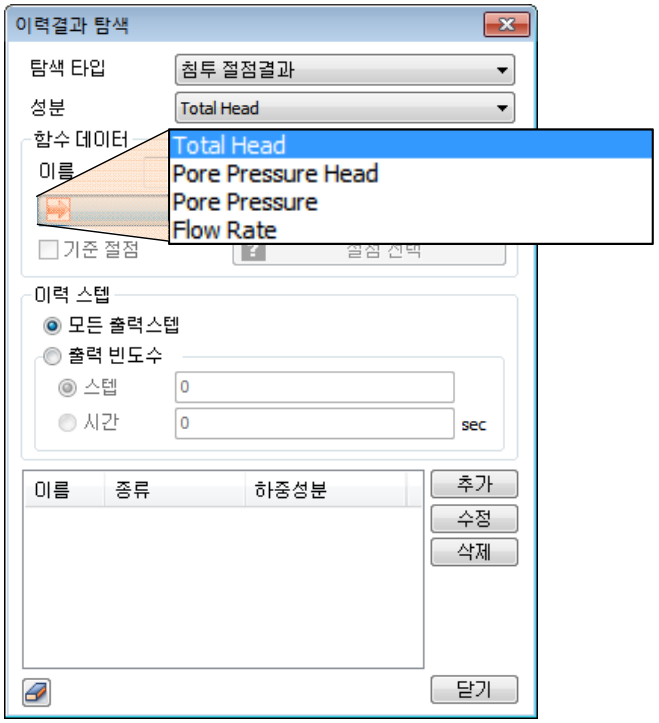
[3개의 점을 선택하여 면 인식]

2. Post Processing

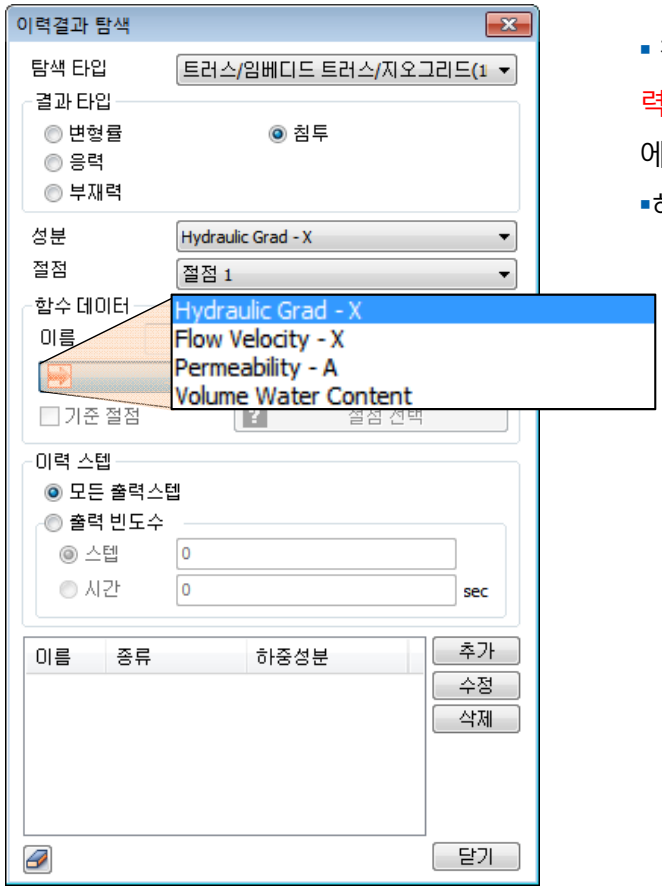
2.3 침투해석 시간에 대한 결과그래프

- 시간에 따른 침투 결과를 그래프로 확인하는 기능이 추가되었습니다.
- 절점결과(Nodal Seepage)와 요소결과(Solid, Shell, Plane Strain, Axisymmetric, Plane Stress/Geogrid(2D), Beam/Embedded Beam, Truss/Em Truss/Geogrid(1D))로 구분되어 있습니다.

- **해석 > 이력 > 이력결과 탐색 : 침투절점결과**

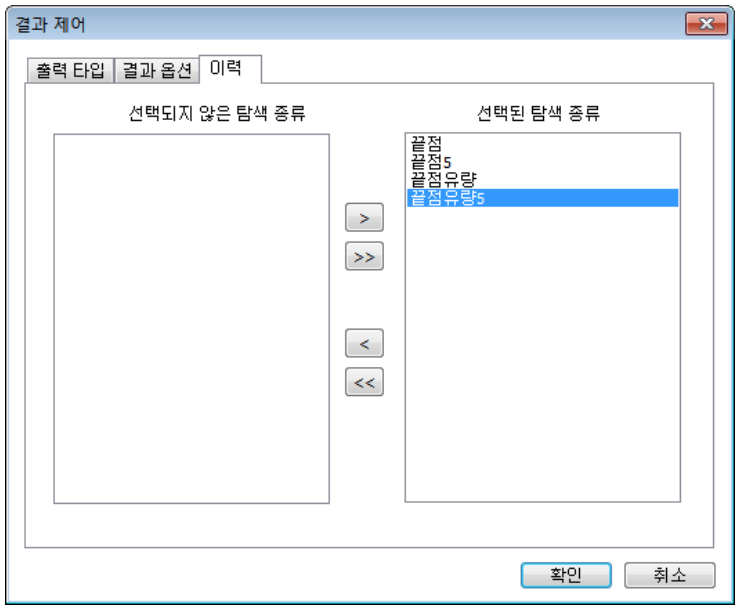


[침투 절점결과]



[침투 요소결과]

- 침투결과 이력탐색은 단일 해석케이스의 비정상류 해석 / 응력침투완전연계해석 결과에서 확인할 수 있습니다. 시공단계에서는 확인 불가 합니다.
- 해석케이스 > 결과제어 > 이력 에서 등록할 수 있습니다.



[해석케이스 > 결과제어 > 이력]

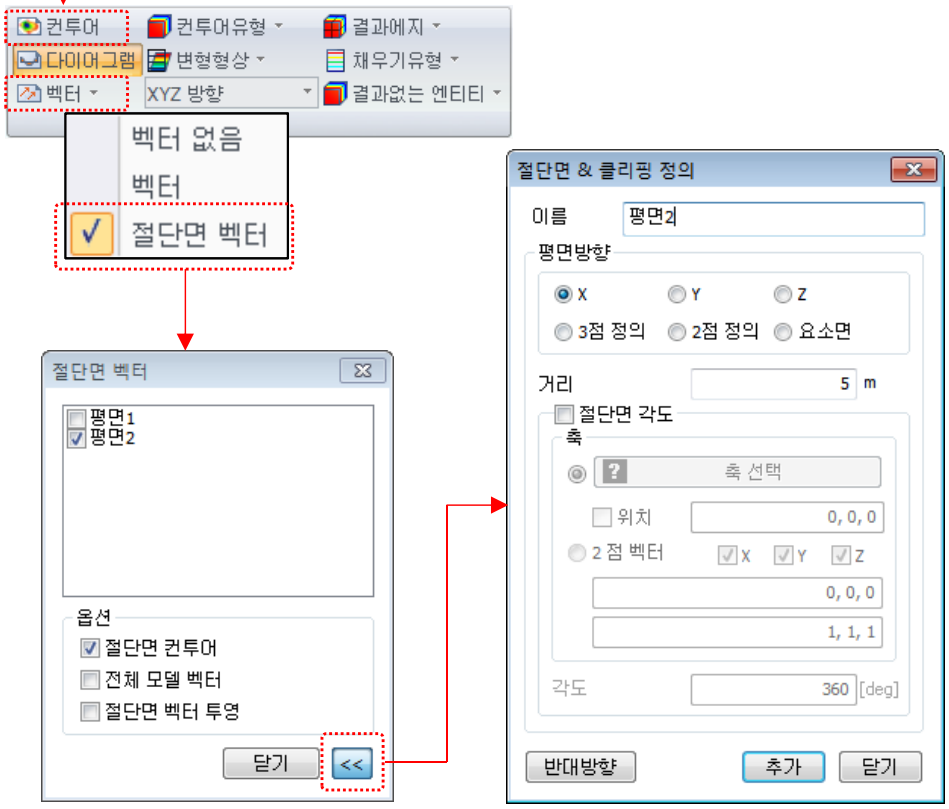
2. Post Processing

2.4 결과 Vector (절단면 선에 컨투어와 벡터표현)

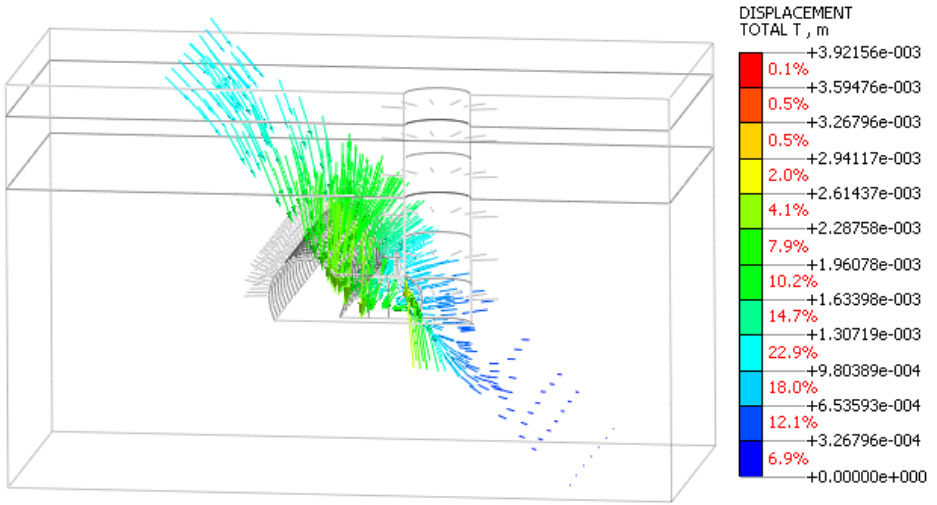
- 절단면 벡터 : 절단선/면에서 벡터 결과를 출력합니다. 절단선/면을 정의하는 방식은 ' Clipping Plane ' 과 동일합니다.
  - 절단면 컨투어: 절단선/면의 컨투어 결과를 벡터와 동시에 표현합니다.
  - 전체 모델 벡터 : 절단선/면의 벡터와 전체 모델의 벡터 결과를 동시에 표현합니다.
  - 절단면 벡터 투영 : 벡터를 절단면 수직 방향으로 투영하여 표현합니다.

- **해석 > 일반 > 벡터 > 절단면 벡터**

- 3차원 모델에서 벡터 결과만 출력하기 위해서는 '컨투어' 를 체크해제 해야합니다.



[절단면 설정]



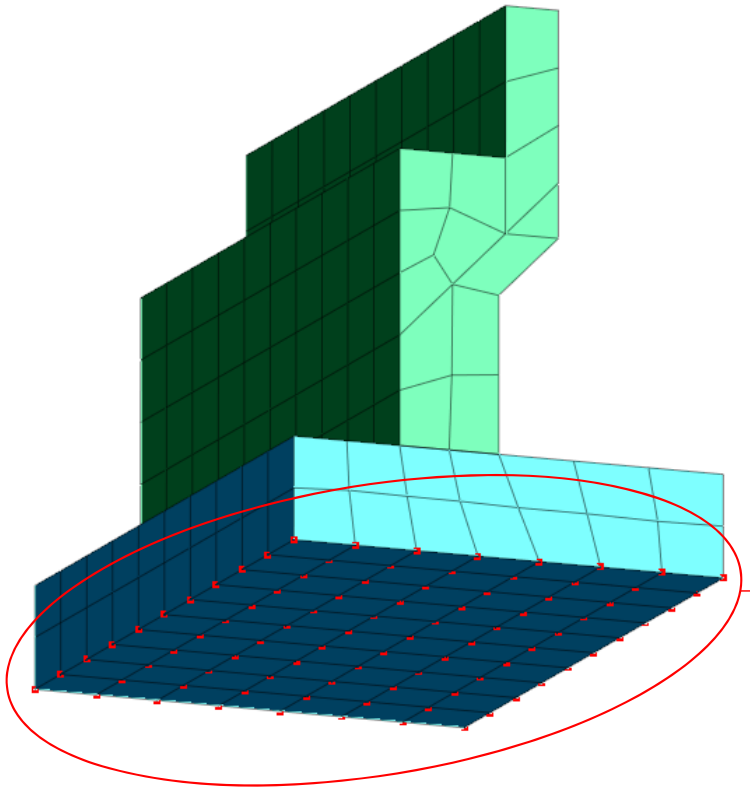
[절단면 위치의 결과값 벡터 표시]

2. Post Processing

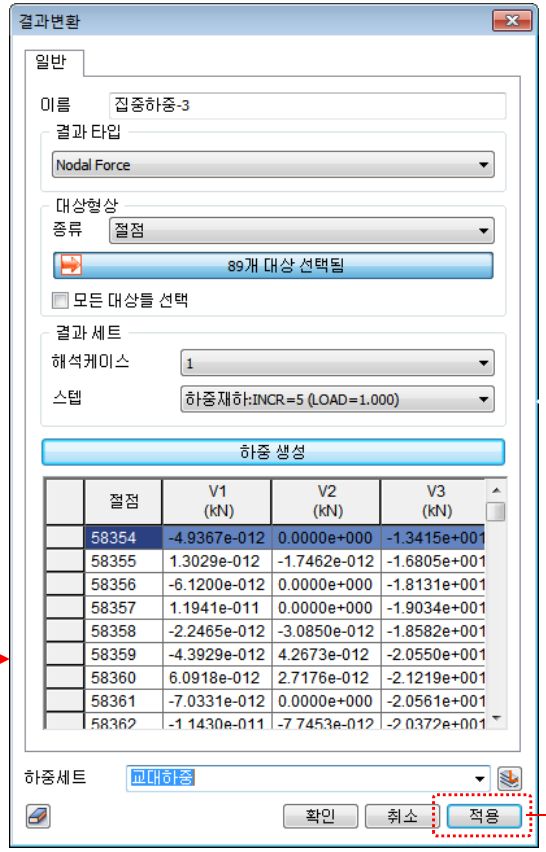
2.5 결과변환 - 해석결과를 정적하중으로 변환 (MODS)

- 해석이 완료된 결과로부터 'Nodal Force', 'Nodal Moment', 'Nodal Translational Displacement', 'Nodal Rotational Displacement' 타입을 하중으로 생성하여, 다른 해석케이스에 하중타입으로 해석 가능합니다.
- 단, 해석이 완료된 케이스/스텝에서 각 결과타입에 해당하는 결과를 출력한 경우에만 하중으로 변환 가능합니다.

- **정적/사면 해석 > 하중 > 결과변환**



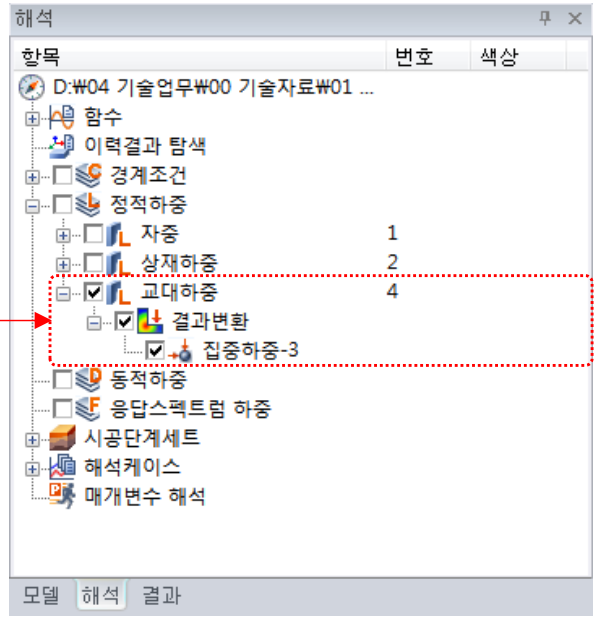
[해석이 완료된 모델에서 절점 선택]



[선택된 절점의 결과를 하중으로 변환]

- **해석완료 후 전처리 모드에서 결과변환 가능**

- Nodal Force : 절점 하중
- Nodal Moment : 절점 모멘트
- Nodal Translational Displacement : 강제 변위
- Nodal Rotational Displacement : 강제 회전변위



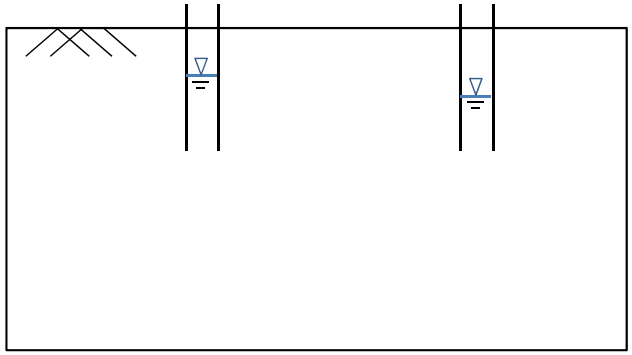
[절점 선택]

2. Post Processing

2.6 결과변환 – 해석결과를 침투 경계조건으로 변환 (MODS)

- 해석이 완료된 결과로부터 'Nodal Seepage' 타입을 경계조건으로 생성하여, 침투경계조건을 활용할 수 있는 다른 해석케이스에 경계조건타입으로 사용이 가능합니다..
- 단, 해석이 완료된 케이스/스텝에서 각 결과타입에 해당하는 결과를 출력한 경우에만 하중으로 변환 가능합니다.

- **정적/사면 해석 > 하중 > 결과변환**



[일부분에 대한 수위조건]

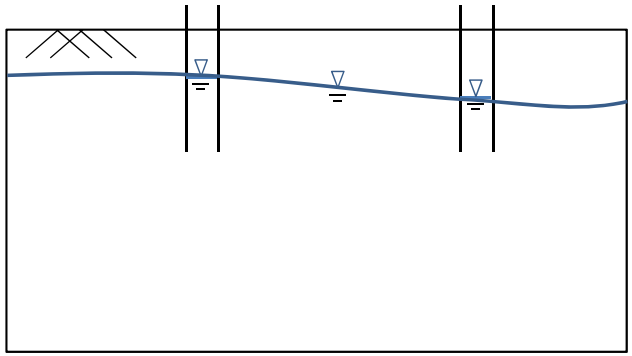
[침투해석 결과변환 활용 개념]

- 일반적으로 침투해석에서 초기수위에 대한 경계조건은 모델의 외곽에 입력하지만, 모델 외곽부에 지정할 경계조건을 알지 못하는 경우가 존재합니다. 이런 경우 침투 해석결과를 경계조건으로 변환하는 기능을 활용할 수 있습니다.

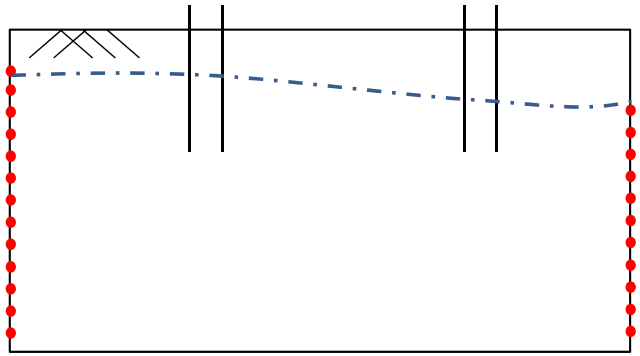
Step 1. 모델의 일부 영역에 대한 수위를 알고 있는경우, 알고 있는 정보를 활용하여 침투해석을 수행하고 전체 모델의 수두조건을 얻음

Step 2. 해석이 완료된 모델 외곽부의 절점수두 결과를 수두 경계조건으로 변환

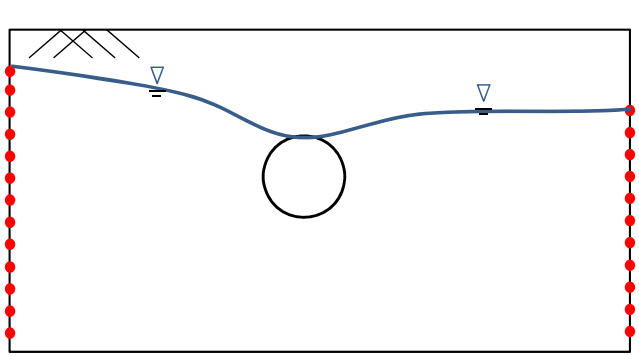
Step 3. 변환된 경계조건을 적용하여, 추가적인 침투조건을 검토하여 해석수행



[Step 1. 알고있는 수위조건으로 침투해석 수행]



[Step 2. 해석결과를 모델 외곽 침투 경계조건으로 변환]



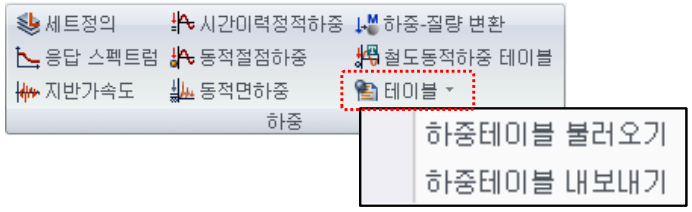
[Step 3. 변환된 경계조건으로 추가적인 해석수행]

2. Post Processing

2.7 동해석 하중테이블 불러오기/내보내기 (MODS)

- 동적절점하중(Dynamic Nodal Load) 정보를 엑셀(excel)파일 형태로 불러오거나 내보내는 기능입니다.
- 하중 테이블 샘플파일은 프로그램 설치 후 C:\Program Files\MIDAS\GTS NX\Sample 폴더에서 'LoadTable Sample.xlsx' 파일로 확인 가능합니다.

- **동적 해석 > 하중 > 테이블 > 하중테이블 불러오기/내보내기**



[동적 절점하중]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	**Unit, kN, m, sec											
2	Load Set	Name	Node	Function	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz	Time Function	Arrival Time
3	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4195	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
4	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4188	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
5	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4181	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
6	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4174	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
7	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4167	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
8	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4160	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
9	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4153	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
10	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4146	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
11	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4139	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
12	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4132	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
13	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4125	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
14	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4118	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
15	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4111	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
16	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4101	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
17	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4100	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
18	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4223	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
19	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4216	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
20	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4209	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
21	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4202	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
22	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4237	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
23	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4230	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
24	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4587	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0
25	NodalLoad	Dynamic Nodal Load-1	4594	None	1	0.5	-1	0	0	0	Elcent_h	0

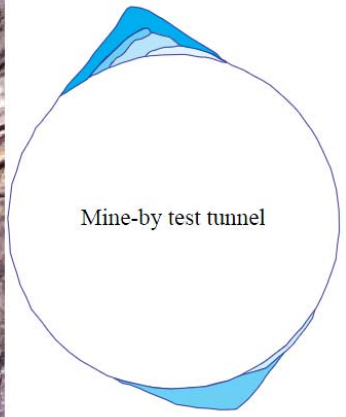
[동적하중 테이블 엑셀파일]

3. Analysis

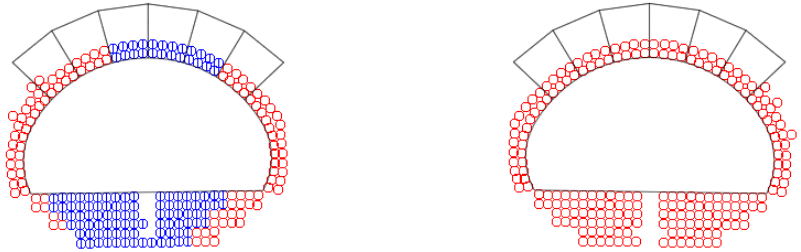
3.1 CWFS (Cohesion Weakening and Frictional Strengthening) (1/2) (MODS)

- CWFS모델은 Mohr-Coulomb항복함수를 활용하여 경화/연화 거동이 가능하게 된 모델입니다.
- 일반적으로 대심도에 건설되는 암반구조물의 경우 높은 현지응력과 공동의 굴착에 따른 유도응력으로 인하여 공동 경계면에서 스폴링이나 슬래빙과 같은 취성파괴과 발생할 수 있습니다.
- Hoek-Brown, Mohr-Coulomb 파괴기준과 같은 파괴기준을 적용하는경우, 취성파괴현상과 파괴심도 등을 예측할 수 없는 것으로 나타나 취성파괴를 예측하기 위한 여러 모델이 제안되었습니다. 그 중 CWFS 모델이 취성파괴를 적절히 모사하는 것으로 알려져 있습니다.

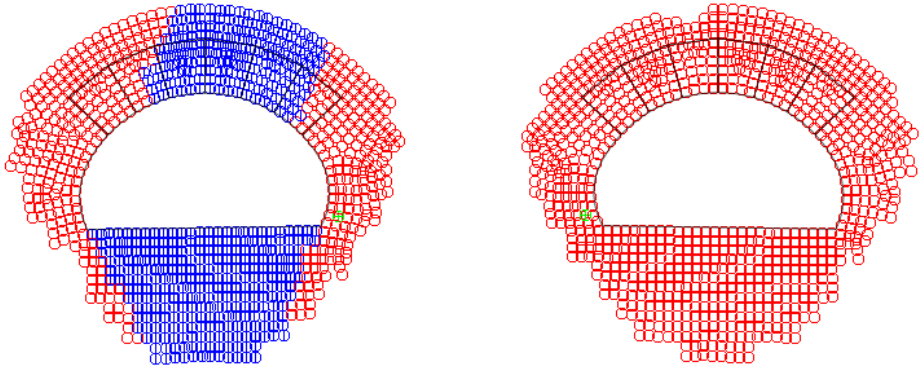
- **특성/좌표계/함수 > 재료 > 등방성 > CWFS(MODS)**



[시험굴착 터널의 현장 응력상태, Xingguang Zhao et al(2010)]



[MC 재료모델 적용시 소성영역 결과]



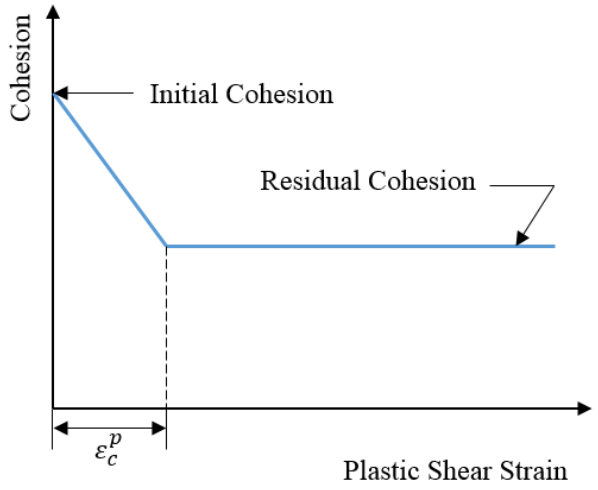
[CWFS 재료모델 적용시 소성영역 결과]

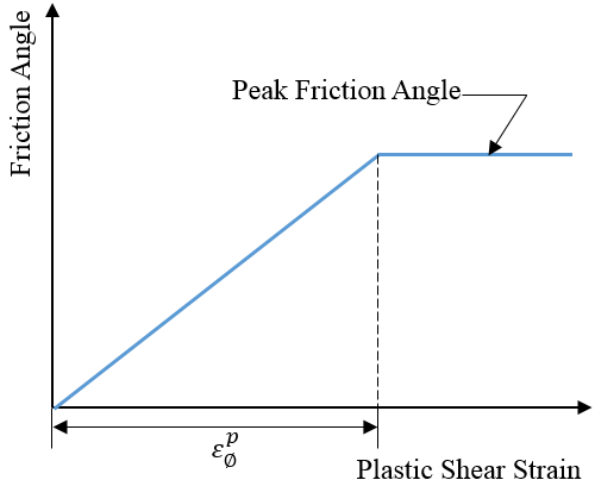
3. Analysis

3.1 CWFS (Cohesion Weakening and Frictional Strengthening) (2/2) (MODS)

- CWFS모델은 Mohr-Coulomb항복함수를 활용하여 경화/연화 거동이 가능하게 된 모델입니다.
- 일반적으로 대심도에 건설되는 암반구조물의 경우 높은 현지응력과 공동의 굴착에 따른 유도응력으로 인하여 공동 경계면에서 스폴링이나 슬래빙과 같은 취성파괴과 발생할 수 있습니다.
- Hoek-Brown, Mohr-Coulomb 파괴기준과 같은 파괴기준을 적용하는경우, 취성파괴현상과 파괴심도 등을 예측할 수 없는 것으로 나타나 취성파괴를 예측하기 위한 여러 모델이 제안되었습니다. 그 중 CWFS 모델이 취성파괴를 적절히 모사하는 것으로 알려져 있습니다.

- **특성/좌표계/함수 > 재료 > 등방성 > CWFS(MODS)**





[CWFS모델에서의 점착락과 마찰각의 발현 모식도(after Hajiabdlmajid, 2001)]

3. Analysis

3.2 D-min (일본 중앙전력연구소 제안모델) (1/2) (MODS)

- 본 모델은 일반적으로 암반(경암, 연암 등)에 대해서 적용되는 것으로 일본 전력중앙연구소, 하야시, 히비노에 의해서 제안된 구간 별 선형 모델입니다.
- 구간 별 선형 모델이란 각 시공단계 별로 강성이 다르지만, 하나의 시공단계 내에서는 강성이 고정 값이 되도록 정식화된 모델을 의미합니다.
- GTS NX에서는 D-min의 두가지 산정방식을 제공합니다. JR방식은 철도와 관련한 해석에 많이 사용되고, 전력중앙연구소방식은 댐, 도로교 등 해석에 많이 사용됩니다.

- **특성/좌표계/함수 > 재료 > 등방성 > D-min(MODS)**

  - 완충계수(R)로 파괴판정을 실시한다. 완충계수가 '1'이상이면, 탄성영역이고, 완충계수가 '0'이하이면, 파괴가 발생한다고 가정한다.

$$R = k \cdot R' \quad (0.0 \le R \le 1.0)$$

  - 수정된 완충계수는 아래와 같으며,
    전력중앙연구소법과 JR법이 탑재되어 있음

$$R' = \frac{d_{\min}}{\sigma_t - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}}$$

[전력중앙연구소법]

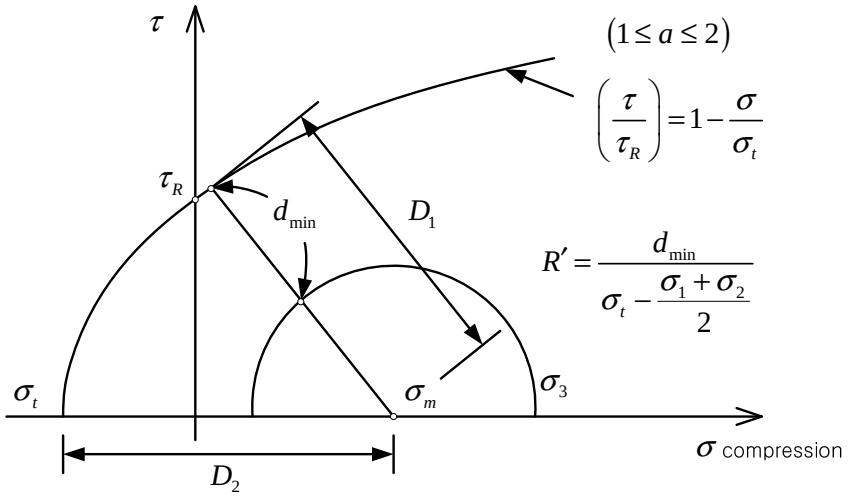
$$R' = \min\left(\frac{d_{\min}}{D_1}, \frac{d_{\min}}{D_2}\right)$$

[JR법]

- 파괴면 식은 다음과 같이 표현

$$\left(\frac{\tau}{\tau_R}\right)^a = 1 - \frac{\sigma}{\sigma_t}$$

파라미터	설명
σ	등방 응력(hydrostatic stress)
τ	전단응력
a	모아원계수
σ_t	인장강도
τ_R	전단강도

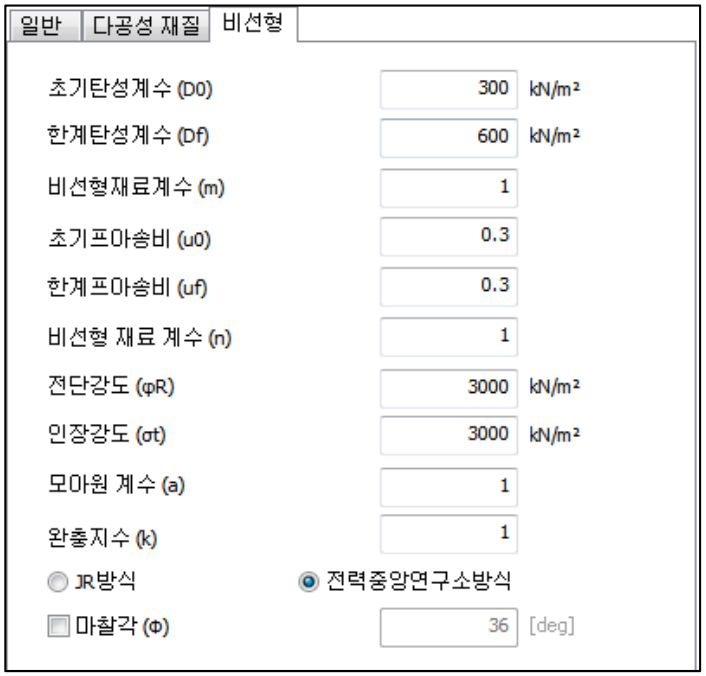


[파괴면과 모아원 사이의 관계]

3. Analysis

3.2 D-min (일본 중앙전력연구소 제안모델) (2/2) (MODS)

▪ **특성/좌표계/함수 > 재료 > 등방성 > D-min(MODS)**



[표. 비선형 파라미터]

파라미터	설명	관계식
D_0	초기탄성계수(E_i)	$E = R^m E_i$ $\nu = R^n(\upsilon_i - \upsilon_{cr}) + \upsilon_{cr}$ $E = R^m(E_i - E_{cr}) + E_{cr}$ $\nu = R^n(\upsilon_i - \upsilon_{cr}) + \upsilon_{cr}$
D_f	한계탄성계수(E_{cr})	
m	비선형재료계수	
u_0	초기포와송비(υ_i)	
u_f	한계포와송비(υ_{cr})	
n	비선형 재료 계수	
ϕ_R	전단강도(τ_R)	$\left(\frac{\tau}{\tau_R}\right) = 1 - \frac{\sigma}{\sigma_t}$
σ_t	인장강도(σ_τ)	
a	모아원 계수	
κ	완충지수	
ϕ	마찰각	삼축시험으로 구하는 내부마찰각

[표. 초기 탄성계수에 따른 파라미터 추천값] (일본도로공단 1986)

초기탄성계수($E, kgf/cm^2$)	완충 지수(κ)	모아원 계수(a)
$100 \le E_i \le 1{,}000$	2.0	1.0
$1{,}000 \le E_i \le 10{,}000$	4.0	2.0
$10{,}000 \le E_i \le 100{,}000$	6.0	3.0
$100{,}000 \le E_i$	10.0	4.0