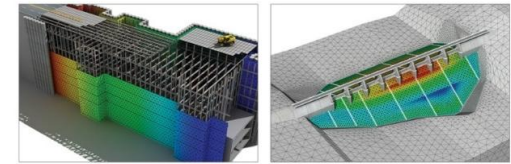




Release Notes

GTS NX Ver.370

GTS NX
Geo-Technical analysis System New eXperience



최적화된 차세대 플랫폼과 64bit 통합솔버를 탑재한
지반분야 유한요소 해석 솔루션

MIDAS



Enhancements

1. Analysis

1.1 최적화 옵션(Op.11 Optimization Analysis)

2. Pre/Post Processing

2.1 보고서 옵션(Op.10) : 터널 해석 보고서 타입 신규 추가

2.2 보고서 옵션(Op.10) : 궤도 검토 기능 개선

2.3 보고서 옵션(Op.10) : 관측시점 이미지 적용 및 타입 확인 개선

2.4 스윙 곡률 각도 유지 옵션 추가

2.5 체적력(Body Force) 추가

2.6 말뚝 수직강성계수 함수 추가

2.7 인터페이스 물성 자동 업데이트

2.8 시공단계 별 상대변위 결과 출력

2.9 절단면 보기 기능 개선

2.10 액체 경계요소를 위한 파 방사 경계조건

2.11 가상 보(Virtual Beam) 생성 기능 개선

2.12 이중 I형 단면(Double I-Section) 특성 추가

2.13 교차선 끊기(Intersect) 기능의 형상 세트(Geometry Set) 유지 기능 추가

2.14 열차 동하중 테이블의 Excel 호환성(복사/붙여넣기) 개선

2.15 요소 테이블(Element Table)에 인터페이스 면적(Interface Area) 열 추가

2.16 구조 설계 연동 기능 개선: SAR 포맷 지원 (CIVIL NX)



최적화된 차세대 플랫폼과 64bit 통합솔버를 탑재한
지반분야 유한요소 해석 솔루션



1. Analysis

1.1 최적화 옵션(Op.11) 신규 출시

- 근사모델 기반의 **치수 최적화(Size Optimization)** 기능이 새롭게 추가되었습니다. 사용자가 설정한 조건 내에서 최적의 설계안을 자동으로 도출하여 보다 효율적인 설계를 지원합니다.
- 최적화 프로세스: 실험점(DOE) 추출 → 근사모델 생성 → 최적화 문제 풀이의 순서로 최적해를 도출합니다.
- 알고리즘: 최적화 알고리즘으로 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)과 다이렉트 방법(Direct Method)을 제공합니다.
- 설계변수(Design Variable): 탄성계수(E), 포아송비(ν), 점착력(C), 내부마찰각(ϕ)을 설계변수로 사용할 수 있습니다.
(현재 Elastic / Mohr-Coulomb 모델에 적용 가능하며, 추후 지원 모델과 설계변수는 계속 확장될 예정입니다.)
- 해석 연동: 시공단계해석을 포함한 선형 및 비선형 응력해석과 연동이 가능합니다.
- 결과 분석: 지층별 설계변수의 상관도 분석(Correlation Analysis) 결과를 제공합니다.

최적설계의 정의

최적설계는 가능한 수단을 활용하여 본래의 목표를 가장 잘 만족시키는 최선의 설계안을 도출하는 것을 의미합니다.

최적설계의 3요소



임의로 바꿔보고자 하는 값

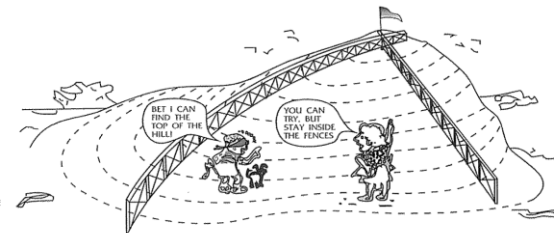


만족시키고자 하는 값



줄이거나 키우고 싶은 값

설계응답
Design Response



1. Analysis

1.1 최적화 옵션(Op.11) 신규 출시

해석 > 최적설계 > 설계변수

번호	이름	최소값	초기값	최대값	설명
1	매립층_Elastic M...	500.00	2000.00	2500.00	Material, 매립층, Elastic Modulus
2	매립층_Internal ...	5.00	25.00	100.00	Material, 매립층, Internal Friction Angle
3	매립층_Cohesion	0.00	3.00	5.00	Material, 매립층, Cohesion
4	퇴적층_Elastic M...	1500.00	5000.00	6000.00	Material, 퇴적층, Elastic Modulus
5	퇴적층_Internal ...	15.00	30.00	40.00	Material, 퇴적층, Internal Friction Angle
6	퇴적층_Cohesion	0.00	0.00	5.00	Material, 퇴적층, Cohesion
7	풍화토_Elastic M...	10000.00	30000.00	40000.00	Material, 풍화토, Elastic Modulus
8	풍화토_Internal ...	15.00	30.00	120.00	Material, 풍화토, Internal Friction Angle
9	풍화토_Cohesion	2.00	16.00	20.00	Material, 풍화토, Cohesion
10	풍화암_Elastic M...	15000.00	60000.00	70000.00	Material, 풍화암, Elastic Modulus
11	풍화암_Internal ...	18.00	40.00	40.00	Material, 풍화암, Internal Friction Angle
12	풍화암_Cohesion	20.00	30.00	40.00	Material, 풍화암, Cohesion

[설계변수 정의]

- 원본해석 모델 입력 물성 = 초기 값
 - 원본해석 결과대비 목적함수를 고려하여 최소/최대값 정의 필요
- (예: 변위결과가 커졌다 → 설계변수 ↓ / 변위결과가 작아졌다 → 설계변수 ↑)

해석 > 최적설계 > 센서정의

함수 INC

Name	지움경사계	측정 변수	y	센서 타입	경사계		
Depth	2025-01-01	2025-01-15	2025-02-01	2025-02-15	2025-03-01	2025-03-15	2025-04-01
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0000	-0.0006	-0.0018	-0.0023	-0.0028	-0.0045	-0.0076
	0.1000	-0.0066	-0.0018	-0.0023	-0.0028	-0.0046	-0.0076
	0.6000	-0.0005	-0.0018	-0.0023	-0.0031	-0.0049	-0.0077
	0.9600	-0.0005	-0.0018	-0.0023	-0.0034	-0.0052	-0.0078
	1.3200	-0.0005	-0.0018	-0.0026	-0.0036	-0.0054	-0.0081
	1.6800	-0.0004	-0.0018	-0.0028	-0.0039	-0.0057	-0.0083
	2.1800	-0.0004	-0.0018	-0.0032	-0.0043	-0.0060	-0.0084
	2.6800	-0.0004	-0.0019	-0.0034	-0.0045	-0.0063	-0.0085
	3.1300	-0.0004	-0.0020	-0.0038	-0.0048	-0.0065	-0.0087
	3.5800	-0.0003	-0.0021	-0.0044	-0.0055	-0.0068	-0.0090
	4.0300	-0.0003	-0.0023	-0.0047	-0.0058	-0.0070	-0.0092
	4.4800	-0.0003	-0.0025	-0.0053	-0.0062	-0.0074	-0.0092
	4.9800	-0.0003	-0.0024	-0.0052	-0.0058	-0.0070	-0.0089
	5.4467	-0.0003	-0.0024	-0.0051	-0.0056	-0.0068	-0.0087
	5.9133	-0.0003	-0.0024	-0.0048	-0.0051	-0.0063	-0.0081
	6.3800	-0.0003	-0.0023	-0.0046	-0.0049	-0.0061	-0.0077
	6.7867	-0.0002	-0.0023	-0.0046	-0.0048	-0.0060	-0.0076
	7.1933	-0.0002	-0.0022	-0.0045	-0.0047	-0.0060	-0.0075
	7.6000	-0.0002	-0.0019	-0.0042	-0.0045	-0.0057	-0.0073
	7.9500	-0.0002	-0.0015	-0.0036	-0.0040	-0.0053	-0.0069
	8.3900	-0.0002	-0.0012	-0.0035	-0.0037	-0.0049	-0.0064
	8.7950	-0.0002	-0.0011	-0.0034	-0.0036	-0.0049	-0.0063
	9.2100	-0.0002	-0.0010	-0.0030	-0.0033	-0.0045	-0.0060

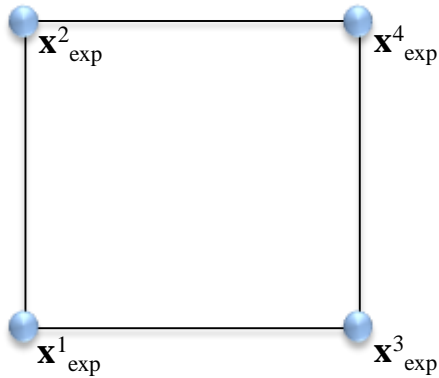
[센서 함수]

1. Analysis

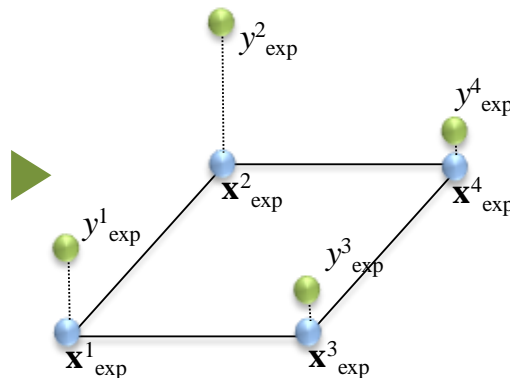
1.1 최적화 옵션(Op.11) 신규 출시

근사모델 기반 치수최적설계

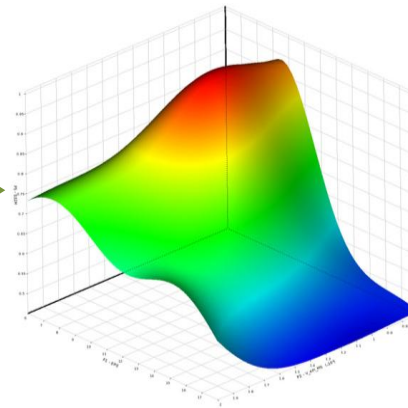
- 근사모델 기반 치수최적설계는 실제모델을 수학적 근사모델로 대체하여 최적화를 수행하는 기법입니다.
- 실제모델에 비해 계산 비용이 낮은 근사모델을 이용하므로, 적은 횟수의 해석만으로도 최적해를 도출하여 해석 시간을 효율적으로 단축할 수 있는 장점이 있습니다.
- 근사모델의 정확성이 최종적으로 도출되는 최적해의 정확성에 직접적인 영향을 주므로, 정확도 높은 근사모델을 사용하는 것이 중요합니다.



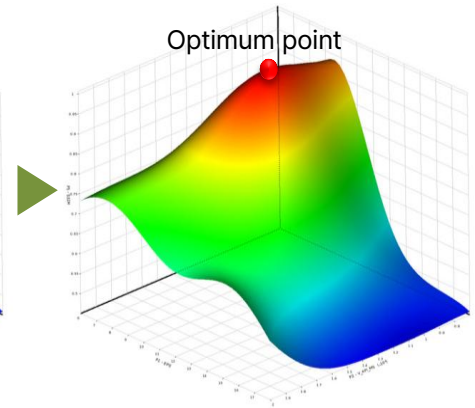
실험계획법



해석수행



근사모델 도출



최적점 탐색

1. Analysis

1.1 최적화 옵션(Op.11) 신규 출시

실험계획법

- 실험계획법(Design of Experiments)은 설계변수의 조합을 결정하는 여러 방법론을 의미합니다.
- 각 설계변수가 응답(해석결과)에 미치는 영향력을 판단하는 데 사용될 수 있습니다.
- 비선형 해석 시에는 최소 설계변수 개수의 10배, 추천 값으로는 **50배 실험점(해석 케이스)** 개수를 설정하는 것을 권장합니다.

The screenshot displays the '최적화 제어' (Optimization Control) window. The '실험계획법 유형' (DOE Type) is set to '라틴방격계획법' (Latin Hypercube Sampling). A callout box lists other available methods: '다구찌 직교배열표', '완전요인 계획법', '중심합성 계획법', and '일차원 파라미터 스테디'.

The '실험점 개수' (Number of Experimental Points) is currently set to 0. Below this is a table of '실험데이터' (Experimental Data) with 17 rows and 7 columns:

유형	퇴적층E	퇴적층phi	퇴적층C	풍화층E	풍화층phi	풍화층C	
1	LHD	1514.489...	35.046793	2.943902	25060.79...	82.887844	3.306357
2	LHD	1572.196...	32.168221	2.112700	16970.43...	36.274302	18.602721
3	LHD	1630.069...	36.682445	3.625953	32899.28...	31.896367	3.071519
4	LHD	1654.771...	31.591950	2.084022	19659.69...	71.164341	18.004746
5	LHD	1706.462...	24.965828	0.984025	14009.36...	45.758103	8.225787
6	LHD	1755.232...	15.927226	3.323716	22456.49...	49.391679	11.620597
7	LHD	1775.696...	38.847930	0.871778	25660.78...	42.611678	8.628366
8	LHD	1816.971...	16.074153	1.969122	15930.51...	29.236801	7.250051
9	LHD	1866.360...	32.277512	0.148588	35980.88...	90.950161	15.768747
10	LHD	1939.503...	35.691067	3.786365	19065.42...	85.380590	6.623305
11	LHD	1971.055...	18.228198	2.468260	20518.88...	95.973808	17.242577
12	LHD	2010.135...	31.437034	3.151182	20050.59...	73.910649	9.215377
13	LHD	2040.994...	27.339251	1.781136	33319.44...	103.819042	3.531072
14	LHD	2093.760...	22.424657	1.700390	14390.86...	89.842067	3.739783
15	LHD	2162.727...	32.853241	0.462915	34820.15...	94.261672	7.440665
16	LHD	2200.404...	22.131279	0.534423	13669.98...	66.866138	8.383303
17	LHD	2243.597...	16.295887	0.184067	29977.04...	58.158857	7.822101

Three scatter plots are shown to the right, each titled '실험점 스캐터 확인' (Check Experimental Points Scatter):

- Plot 1: X-axis is '퇴적층E', Y-axis is '풍화층E'. The plot shows a dense distribution of points.
- Plot 2: X-axis is '퇴적층C', Y-axis is '풍화층C'. The plot shows a dense distribution of points.
- Plot 3: X-axis is '퇴적층phi', Y-axis is '풍화층phi'. The plot shows a dense distribution of points.

[최적화 제어 - 실험점 추출 대화창]

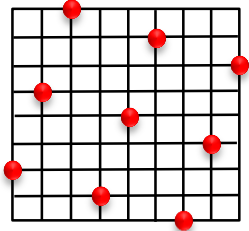
[실험점 스캐터 확인]

1. Analysis

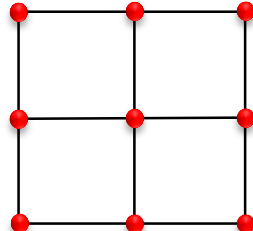
1.1 최적화 옵션(Op.11) 신규 출시

실험계획법의 종류

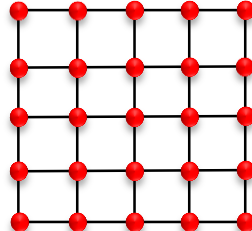
- 1) 라틴방격계획법 : 설계 공간을 균일하게 나누어 랜덤하게 설계점을 부여하는 방법입니다. 공간 충전성이 뛰어나 크리깅(Kriging) 근사모델을 생성할 때 주로 사용됩니다.
- 2) 다구찌 직교배열표 : 설계변수 간 직교성(Orthogonality)을 만족시키는 실험점 조합을 사용하는 부분요인 계획법의 일종입니다.
- 3) 완전요인 계획법 : 설계변수가 가질 수 있는 모든 수준(Level)의 조합을 탐색하여 반응을 확인하는 방법입니다.
- 4) 중심합성 계획법 : 2수준 요인 계획법을 기반으로 중심점(center point)과 축점(axial/star point)을 추가하여 반응 표면을 평가하는 방법입니다.
- 5) 일차원 파라미터 스터디 : 다른 설계변수들은 고정시킨 상태에서 하나의 설계변수만 변화시켜 결과를 확인하는 방법입니다. 특정 설계변수에 대한 결과의 민감도를 확인할 때 유용합니다.



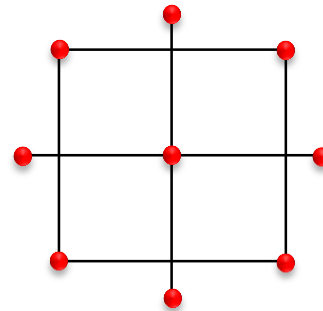
[라틴방격계획법]



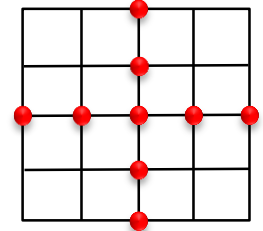
[다구찌직교배열표]



[완전요인계획법]



[중심합성계획법]



[일차원파라미터스터디]

1. Analysis

1.1 최적화 옵션(Op.11) 신규 출시

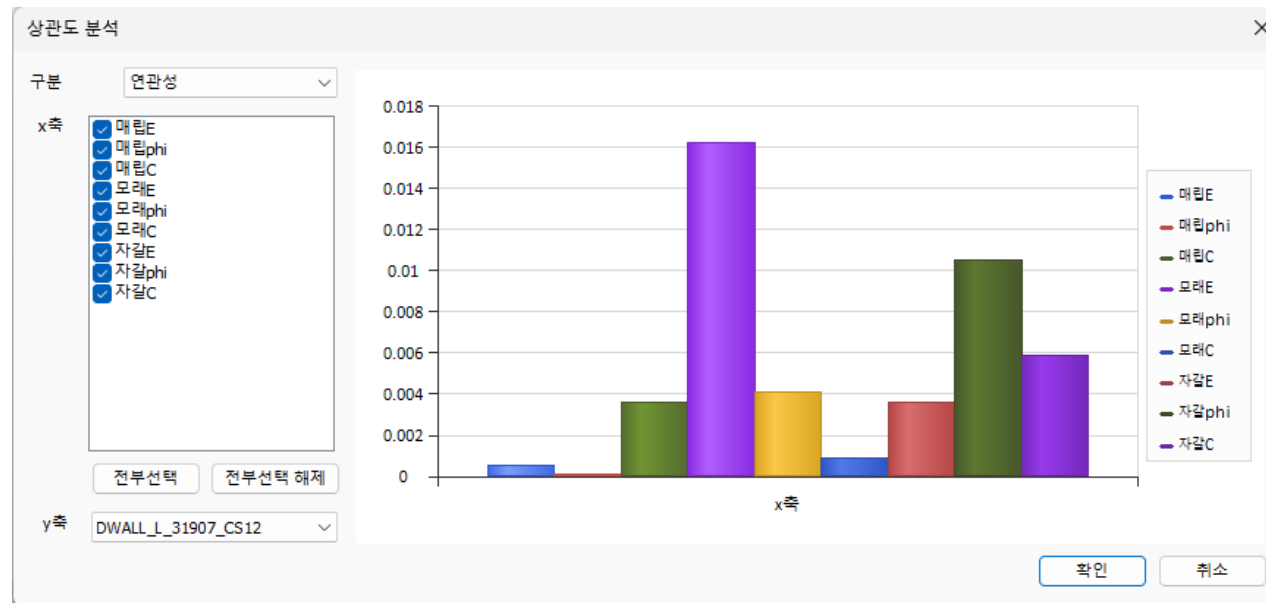
실험계획법 후처리

- 상관도 분석 :

상관도 분석 (Correlation Analysis) 은 각 설계변수의 중요도 계수를 산정하여, 어떤 설계변수가 근사모델의 정확도에 큰 영향을 미치는지 파악하는 데 활용됩니다.

고려해야 할 설계변수의 수가 많을 경우, 상관도 분석을 통해 영향력이 적은 변수를 확인할 수 있습니다.

상관도 값이 0에 가까운 설계변수는 설계 문제에서 제외하더라도 전체 응답 결과에 큰 영향을 미치지 않을 가능성이 높아, 이를 바탕으로 변수를 선별하는 것이 가능합니다.

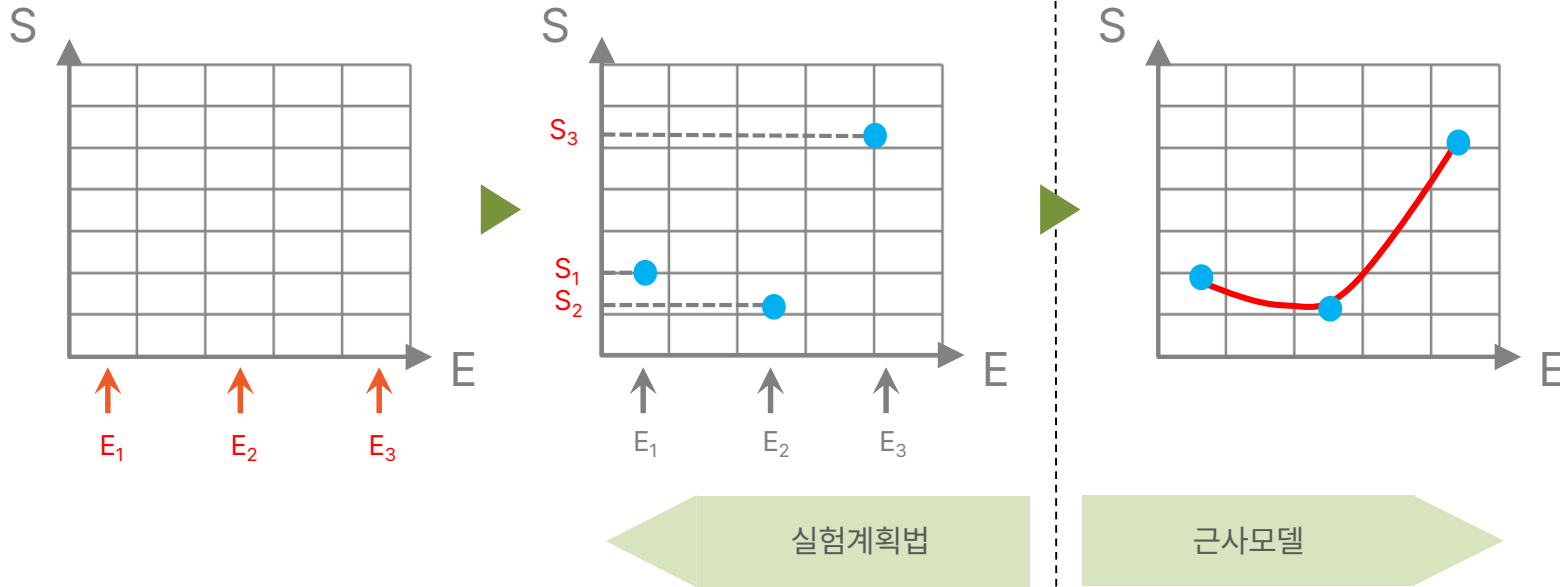


[상관도 분석 결과]

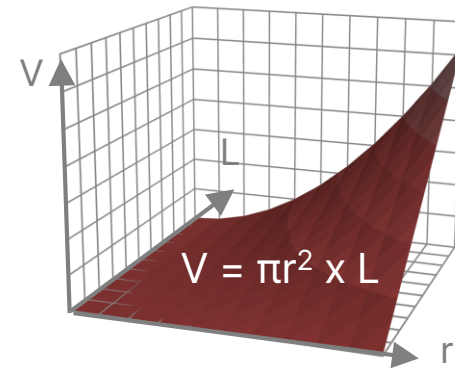
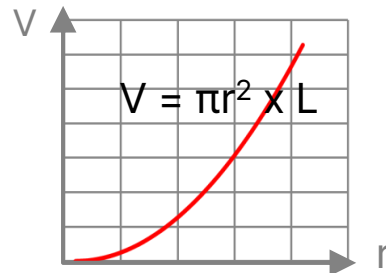
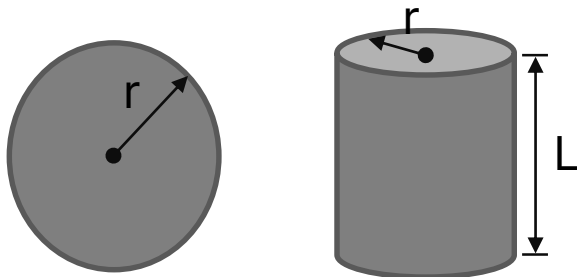
1. Analysis

1.1 최적화 옵션(Op.11) 신규 출시

근사모델



예제) 설계변수 : 반지름, 높이 / 설계응답 : 부피



1. Analysis

1.1 최적화 옵션(Op.11) 신규 출시

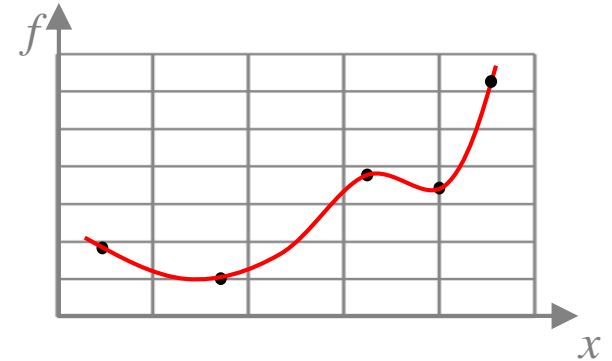
근사모델 유형

1) 크리깅 모델(Kriging Model)

: 보간모델(Interpolation Model)의 일종으로, 모든 실험점을 정확하게 통과하는 특징을 가집니다.
 전역적인 회귀모델과 지역적 편차(Residual)의 합으로 구성됩니다.

$$y = \mathbf{f}^T(\mathbf{x})\boldsymbol{\beta} + \mathbf{r}^T(\mathbf{x})\mathbf{R}^{-1}(\mathbf{yexp} - \mathbf{F}\boldsymbol{\beta})$$

: 가장 가능성이 높은 지점을 탐색하여 모델을 생성하므로, 다른 모델에 비해 수치적인 계산 비용이 높을 수 있습니다.



[크리깅 모델]

2) 다항 회귀모델(선형/순수이차/완전이차/순수삼차)

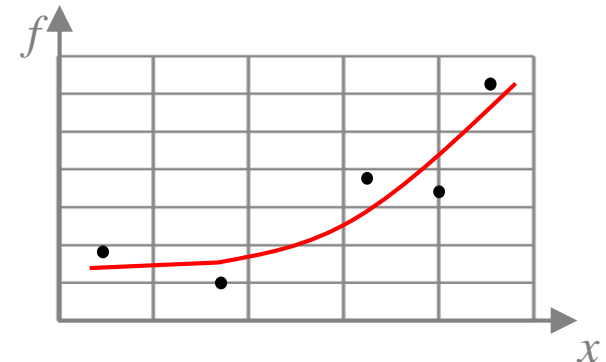
: 실험점들을 최대한 근사하는 회귀식을 생성하는 기법입니다. 다음과 같은 차수의 모델을 제공합니다.

선형 $y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2$

순수이차 $y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_1^2 + \beta_4x_2^2$

완전이차 $y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_1^2 + \beta_4x_1x_2 + \beta_5x_2^2$

순수삼차 $y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_1^2 + \beta_4x_1x_2 + \beta_5x_2^2 + \beta_6x_1^3 + \beta_7x_2^3$

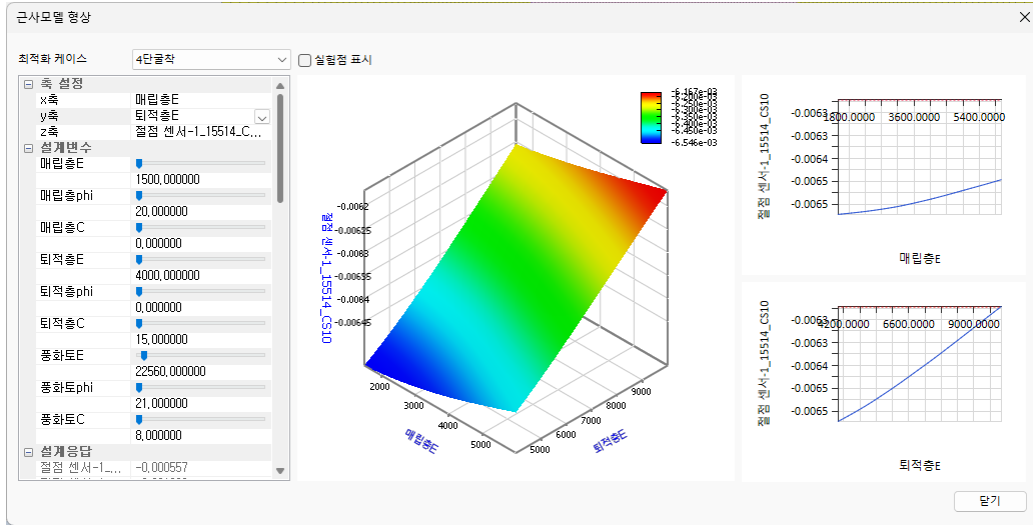


[다항 회귀모델]

1. Analysis

1.1 최적화 옵션(Op.11) 신규 출시

근사모델 후처리



[근사모델 형상]

최적설계 모델생성

최적설계 결과 요약

최적화 케이스: 4단굴착

설계 변수 이름	초기값	최소값	최대값	설계안 1	설계안 2	설계안 3	사용자 설계안
매립층E	2.00e+03	1.50e+03	6.00e+03	1.50e+03	1.52e+03	1.50e+03	1.50e+03
매립층phi	25.00	20.00	40.00	20.58	20.43	20.44	20.58
매립층C	3.00	0.00	9.00	0.27	0.21	1.12	0.27
퇴적층E	5.00e+03	4.00e+03	1.00e+04	4.02e+03	4.04e+03	4.02e+03	4.02e+03
퇴적층phi	0.00	0.00	30.00	0.15	0.41	0.86	0.15
퇴적층C	30.00	15.00	60.00	16.02	16.46	16.36	16.02
풍화토E	3.00e+04	2.10e+04	6.00e+04	6.00e+04	6.00e+04	6.00e+04	6.00e+04
풍화토phi	30.00	21.00	45.00	25.91	23.40	23.44	25.91
풍화토C	16.00	8.00	32.00	9.40	10.80	10.53	9.40

목적 함수 변화율 (%)	0.0000	0.0000	-37.3300	-30.620	-37.2600	-29.940	-37.2600	-30.390	-37.3192	-30.6212
절점 센서-1_15496	-0.0005	-0.0005	-0.0006	-0.0010	-0.0006	-0.0009	-0.0006	-0.0008	-0.0006	-0.0010
절점 센서-1_15497	-0.0010	-0.0010	-0.0010	-0.0015	-0.0010	-0.0013	-0.0010	-0.0013	-0.0010	-0.0015
절점 센서-1_15498	-0.0014	-0.0014	-0.0014	-0.0018	-0.0014	-0.0017	-0.0014	-0.0016	-0.0014	-0.0018
절점 센서-1_15499	-0.0020	-0.0020	-0.0019	-0.0023	-0.0019	-0.0022	-0.0019	-0.0021	-0.0019	-0.0023
절점 센서-1_15500	-0.0025	-0.0025	-0.0023	-0.0027	-0.0023	-0.0026	-0.0023	-0.0025	-0.0023	-0.0027
절점 센서-1_15501	-0.0030	-0.0030	-0.0027	-0.0031	-0.0027	-0.0030	-0.0027	-0.0030	-0.0027	-0.0031
절점 센서-1_15502	-0.0034	-0.0034	-0.0031	-0.0035	-0.0031	-0.0034	-0.0031	-0.0033	-0.0031	-0.0035
절점 센서-1_15503	-0.0040	-0.0040	-0.0035	-0.0039	-0.0035	-0.0038	-0.0035	-0.0037	-0.0035	-0.0039
절점 센서-1_15506	-0.0045	-0.0045	-0.0039	-0.0042	-0.0039	-0.0042	-0.0039	-0.0041	-0.0039	-0.0042
절점 센서-1_15504	-0.0048	-0.0048	-0.0041	-0.0044	-0.0041	-0.0044	-0.0041	-0.0044	-0.0041	-0.0044
절점 센서-1_15505	-0.0053	-0.0053	-0.0045	-0.0048	-0.0045	-0.0047	-0.0045	-0.0047	-0.0045	-0.0048
절점 센서-1_15512	-0.0056	-0.0056	-0.0046	-0.0049	-0.0046	-0.0049	-0.0046	-0.0049	-0.0046	-0.0049
절점 센서-1_15513	-0.0059	-0.0059	-0.0048	-0.0051	-0.0048	-0.0051	-0.0048	-0.0051	-0.0048	-0.0051
절점 센서-1_15514	-0.0061	-0.0061	-0.0049	-0.0052	-0.0049	-0.0052	-0.0049	-0.0051	-0.0049	-0.0052
절점 센서-1_15507	-0.0061	-0.0061	-0.0049	-0.0051	-0.0049	-0.0052	-0.0049	-0.0051	-0.0049	-0.0051
절점 센서-1_15508	-0.0061	-0.0061	-0.0047	-0.0050	-0.0047	-0.0050	-0.0047	-0.0050	-0.0047	-0.0050
절점 센서-1_15509	-0.0060	-0.0060	-0.0046	-0.0048	-0.0046	-0.0048	-0.0046	-0.0048	-0.0046	-0.0048
절점 센서-1_15510	-0.0058	-0.0058	-0.0043	-0.0045	-0.0043	-0.0046	-0.0043	-0.0046	-0.0043	-0.0045
절점 센서-1_15511	-0.0055	-0.0055	-0.0040	-0.0041	-0.0040	-0.0042	-0.0040	-0.0042	-0.0040	-0.0041
절점 센서-1_15520	-0.0053	-0.0053	-0.0038	-0.0039	-0.0038	-0.0039	-0.0038	-0.0040	-0.0038	-0.0039
절점 센서-1_15518	-0.0048	-0.0048	-0.0034	-0.0035	-0.0034	-0.0036	-0.0034	-0.0036	-0.0034	-0.0035
절점 센서-1_15519	-0.0044	-0.0044	-0.0031	-0.0031	-0.0031	-0.0032	-0.0031	-0.0032	-0.0031	-0.0031
절점 센서-1_15521	-0.0039	-0.0039	-0.0027	-0.0027	-0.0027	-0.0028	-0.0027	-0.0028	-0.0027	-0.0027
절점 센서-1_15515	-0.0035	-0.0035	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0025	-0.0024	-0.0024
절점 센서-1_15516	-0.0032	-0.0032	-0.0022	-0.0022	-0.0022	-0.0023	-0.0022	-0.0023	-0.0022	-0.0022
절점 센서-1_15517	-0.0029	-0.0029	-0.0020	-0.0019	-0.0020	-0.0020	-0.0020	-0.0021	-0.0020	-0.0019
절점 센서-1_15522	-0.0026	-0.0026	-0.0018	-0.0018	-0.0018	-0.0019	-0.0018	-0.0019	-0.0018	-0.0018
평균 센서-1_15523	-0.0023	-0.0023	-0.0017	-0.0016	-0.0017	-0.0017	-0.0017	-0.0017	-0.0017	-0.0016

목적 (예상값 / 해석값)

사용자 설계안 확인 | 예상값 확인 | 해석값 확인

모델생성 대상: 사용자 설계안 | 모델파일 경로: L_OT_gwx_3-5단_re_Optimized.gts | 모델생성 확인

[최적설계 모델결과]

2. Pre/Post Processing

2.1 보고서 옵션(Op.10) : 터널 해석 보고서 타입 신규 추가

- 보고서 생성 기능에 '터널 해석 보고서' 타입이 새롭게 추가되었습니다.
- 이 보고서 타입을 사용하면 여러 해석 케이스의 결과(표, 그래프, 이미지)를 하나의 보고서에 일괄적으로 정리하여 출력할 수 있습니다.
- 특히, 터널 K0 해석과 같이 다중 조건의 결과를 검토해야 할 경우, 반복적인 수작업 없이 결과 정리가 가능하여 보고서 작성 시간을 크게 단축시킬 수 있습니다.

- 도구 > 내보내기 > 보고서 생성

[보고서 생성 대화창]

5. 결과 이미지

6. 응력해석결과

Shotcrete, Rockbolt 표 결과

순서	해석단계	최대응력 (MPa)		비율	대응(%)
		발생	허용		
1	상부지보	2.98	17.00	22.82	22.52
2	상부지보경화	8.19	58.50	43.59	43.01
3	하부굴착	4.65	35.21	39.63	39.56
4	하부지보	4.47	31.93	39.63	39.11
5	하부지보경화	4.50	32.14	39.75	39.22

순서	해석단계	최대응력 (MPa)		비율	대응(%)
		발생	허용		
1	상부지보	3.34	23.14	24.34	23.52
2	상부지보경화	9.10	65.00	45.58	44.98
3	하부굴착	5.07	36.21	42.10	41.54
4	하부지보	5.56	39.71	42.08	41.52
5	하부지보경화	5.87	41.93	42.15	41.59

순서	해석단계	최대응력 (MPa)		비율	대응(%)
		발생	허용		
1	상부지보	3.56	25.43	27.12	26.76
2	상부지보경화	9.38	66.29	46.79	46.17
3	하부굴착	5.35	38.21	44.25	43.66
4	하부지보	5.78	41.29	43.15	42.58
5	하부지보경화	5.97	42.64	43.38	42.81

순서	해석단계	최대응력 (MPa)		비율	대응(%)
		발생	허용		
1	상부지보	3.78	27.00	29.23	27.86
2	상부지보경화	9.75	68.64	47.03	46.41
3	하부굴착	5.67	40.50	45.50	44.70
4	하부지보	5.91	42.21	44.20	43.62
5	하부지보경화	6.12	43.71	44.28	43.69

Shotcrete, Rockbolt 그래프 결과

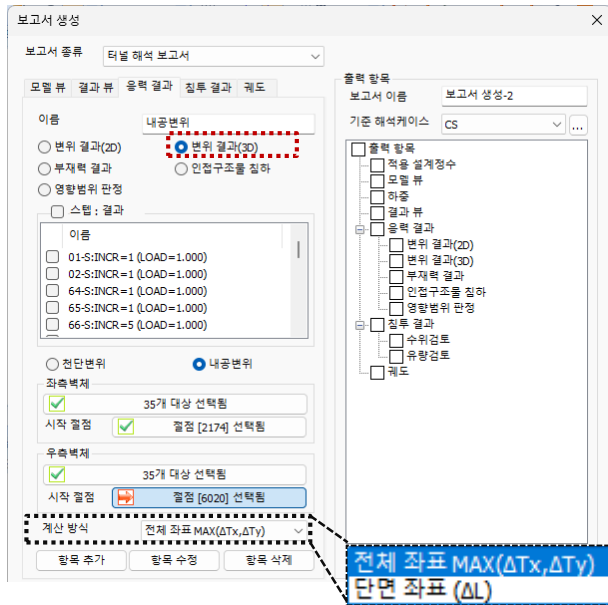
[2차원 변위 결과]

2. Pre/Post Processing

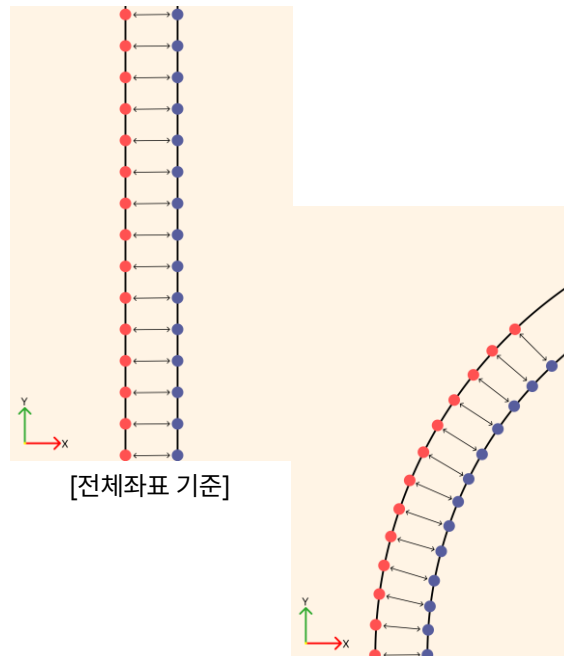
2.1 보고서 옵션(Op.10) : 터널 해석 보고서 타입 신규 추가

- 터널 해석 보고서에서 2차원/3차원 전단면위 및 내공변위 결과를 출력하는 항목이 추가되었습니다.
- 3차원 내공변위 계산 시, '전체좌표' 기준과 '단면좌표(최단거리)' 기준의 결과를 모두 제공하도록 개선되었습니다.
- 이를 통해 곡선 터널과 같은 영역에서도 실제 변형량을 더 용이하게 계산할 수 있습니다.

도구 > 내보내기 > 보고서 생성



[터널 해석 보고서 - 3차원 내공 변위]



[전체좌표 기준]

[단면좌표 기준]



[3차원 변위 결과 그래프]

2. Pre/Post Processing

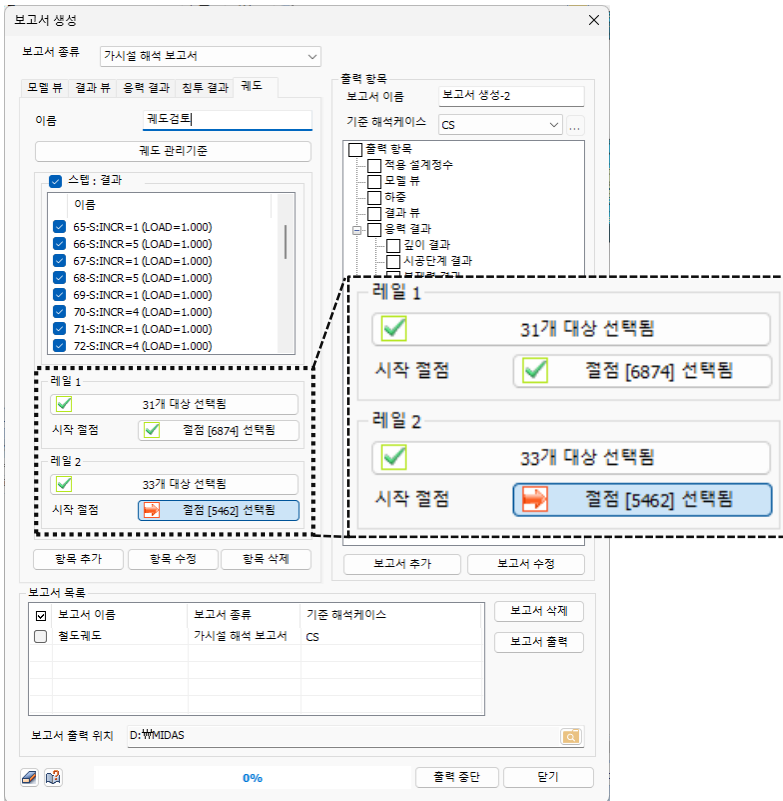
2.2 보고서 옵션(Op.10) : 궤도 검토 기능 개선

- 철도 궤도 검토 시 계산 정확도를 향상시키기 위해 내부 알고리즘이 개선되었습니다.

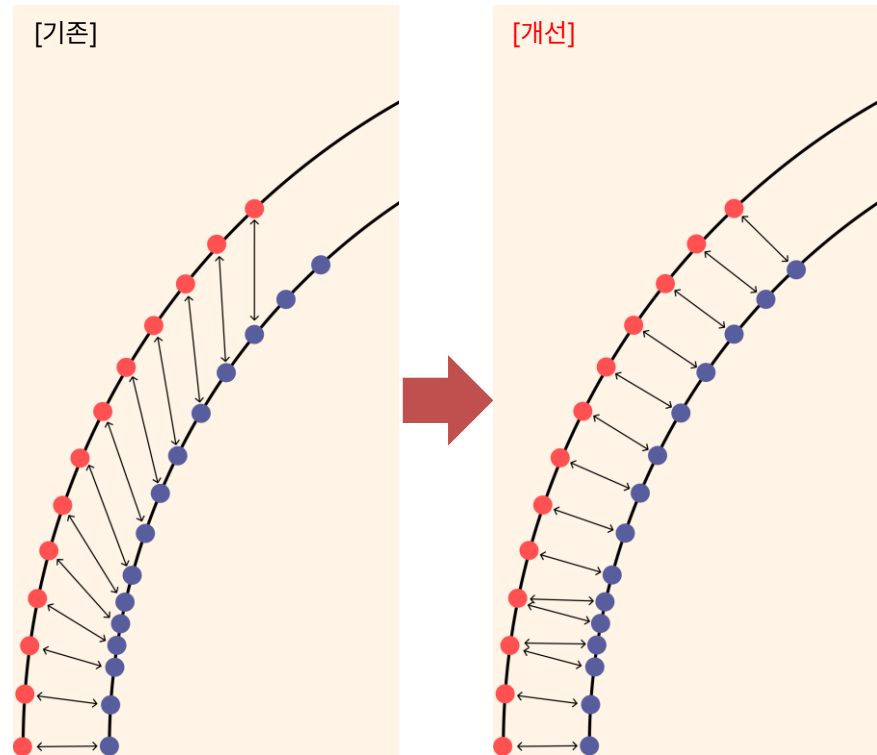
[기존] 3차원 궤도 검토 시 양쪽 레일의 시작 절점부터 순차적으로 검토를 진행하였습니다.

[개선] 절점 개수가 더 많은 레일을 기준으로, 최단거리 직교방향의 대응 절점을 찾는 방식으로 변경되었습니다. 이를 통해 보다 정확한 궤도 검토가 가능합니다.

- 도구 > 내보내기 > 보고서 생성



[궤도검토 레일 정의]



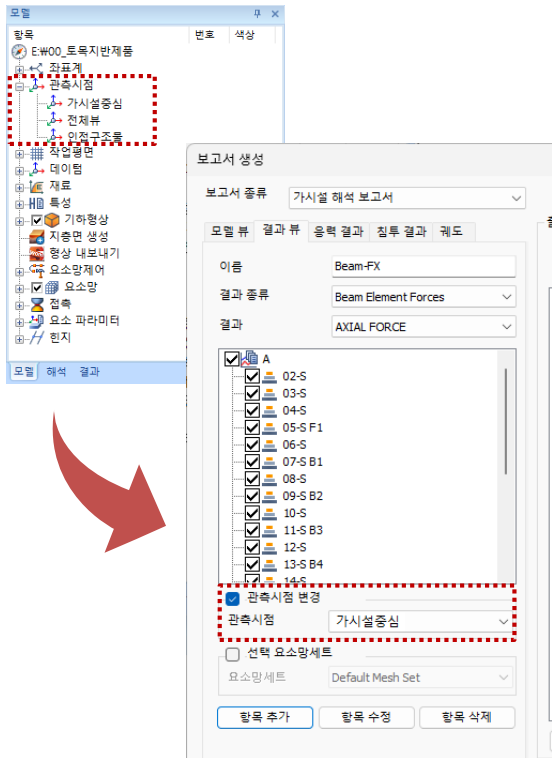
[궤도 절점 Matching 알고리즘 개선]

2. Pre/Post Processing

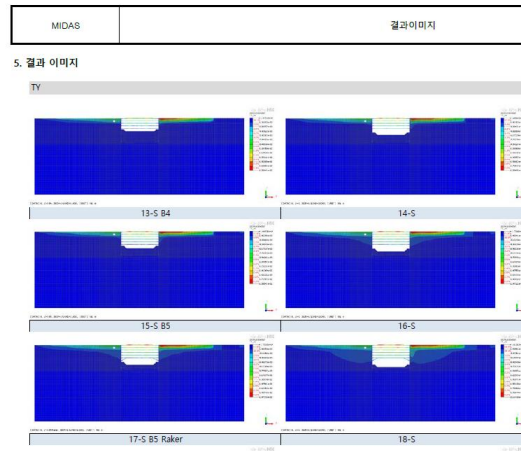
2.3 보고서 옵션(Op.10) : 관측시점 이미지 적용 및 타입 확인 개선

- 보고서의 모델뷰 및 결과뷰 출력 시, 사용자가 관측시점을 자유롭게 변경하여 이미지를 출력할 수 있도록 기능이 개선되었습니다.
- 전체 모델 이미지와 주요 구조물 별 이미지의 관측시점을 각각 다르게 설정할 수 있게 되어, 보고서의 해상도 및 가독성을 향상시킬 수 있습니다.

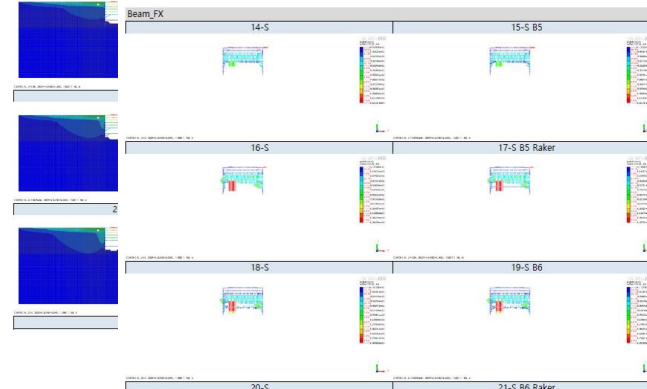
▪ 도구 > 내보내기 > 보고서 생성



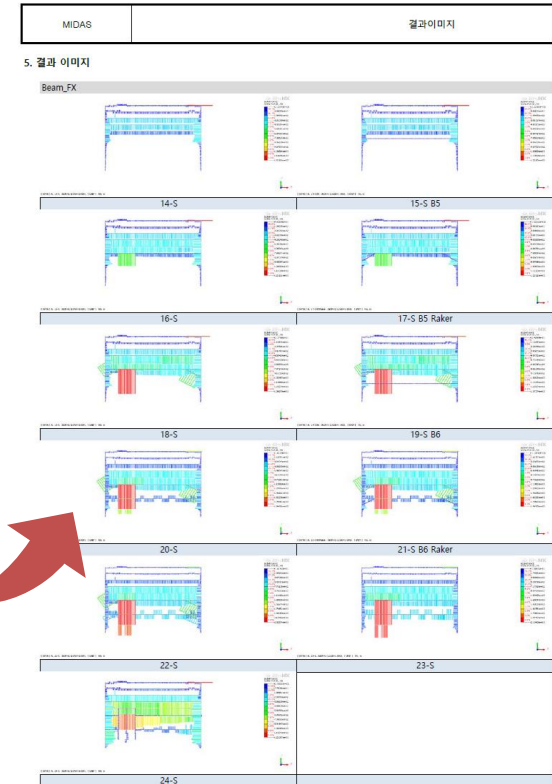
[이미지 캡처 시점 사용자지정 기능 개선]



[기존]



[개선] 출력항목 별 시점 적용 가능

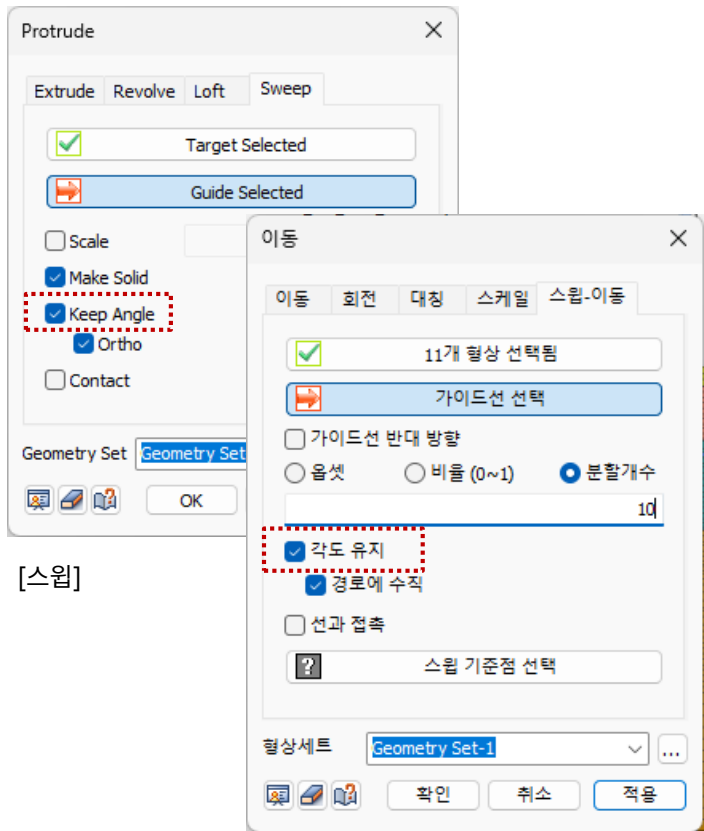


2. Pre/Post Processing

2.4 스윙 곡률 각도 유지 옵션 추가

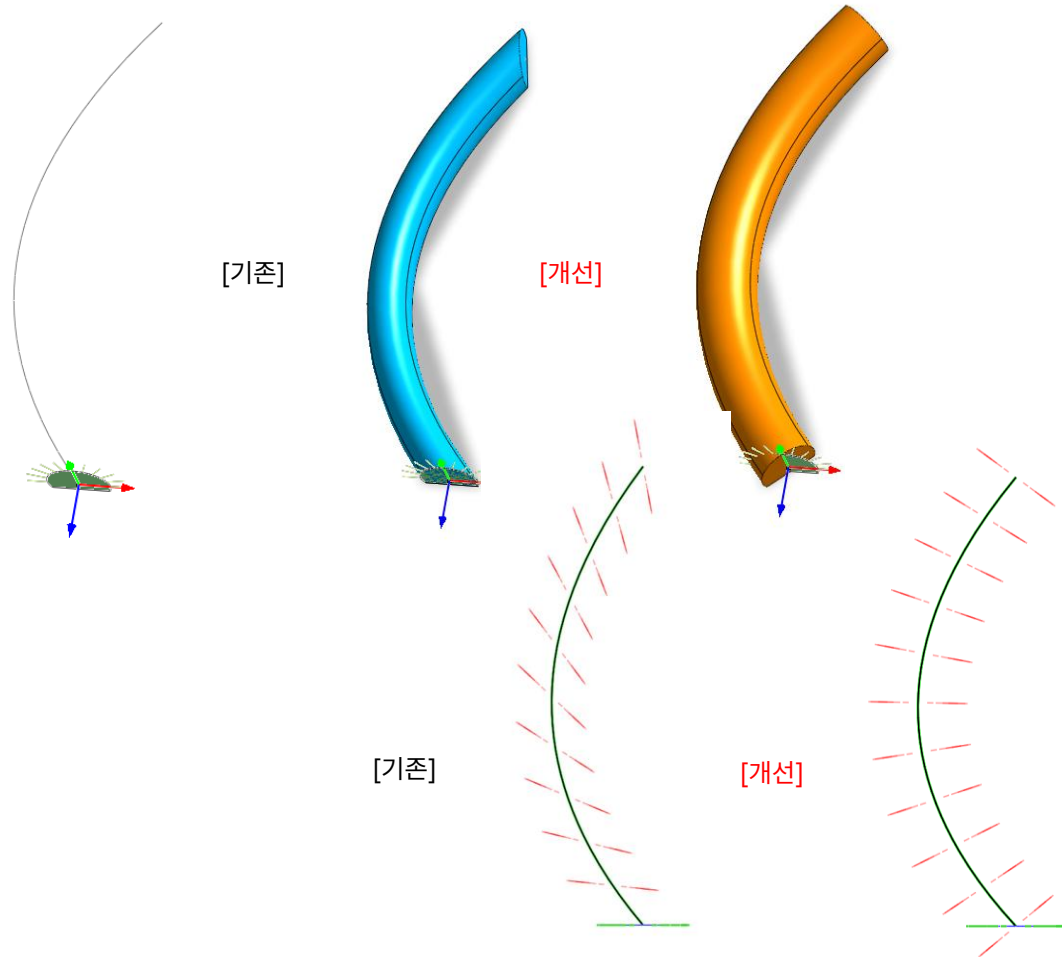
- 스윙 및 '스윙-이동' 기능 사용 시, 가이드 선의 곡률과 관계없이 단면의 직교 방향 각도를 유지하는 '각도 유지(Keep Angle)' 옵션이 추가되었습니다.
- 이 옵션을 활성화하면 곡선 경로에서도 단면의 초기 각도를 그대로 유지한 돌출 형상을 생성할 수 있습니다

- 기하형상 > 추출형상 > 스윙, 기하형상 > 이동/복사 > 스윙-이동



[스윙]

[스윙-이동]



2. Pre/Post Processing

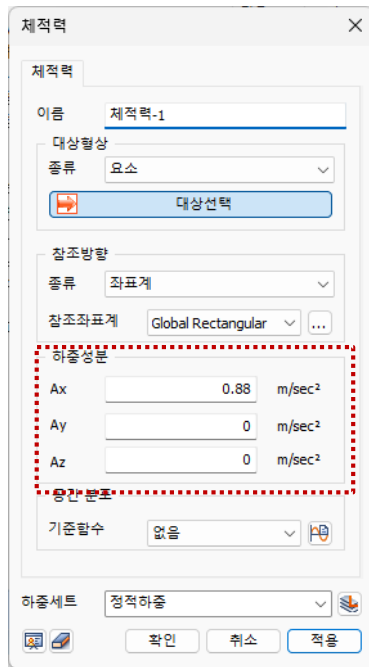
2.5 체적력(Body Force) 추가

- 유사정적해석 시 하중 조건으로 체적력(Body Force)을 직접 정의할 수 있는 기능이 추가되었습니다.
- 이를 통해 지진계수와 중력가속도를 이용한 가속도 정의 등이 가능합니다.(예 : 가속도 = 지진계수 X 중력가속도)

2.6 말뚝 수직강성계수 함수 추가

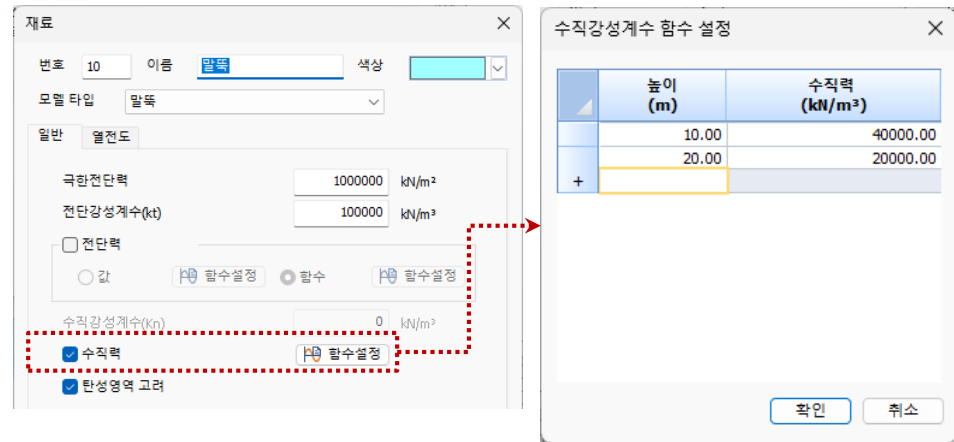
- 말뚝 재료 특성 정의 시, 길이에 따라 수직강성계수를 다르게 입력할 수 있는 함수 기능이 추가되었습니다.
- 기존에는 말뚝 길이에 따른 전단력 특성만 함수로 정의할 수 있었으나, 이제 수직력(축력) 특성 또한 길이에 따른 함수로 정의할 수 있도록 기능이 개선되었습니다.

- 정적/사면해석 > 하중 > 체적력



[체적력]

- 요소망 > 특성/좌표계/함수 > 재료 > 말뚝



[말뚝재료 정의]

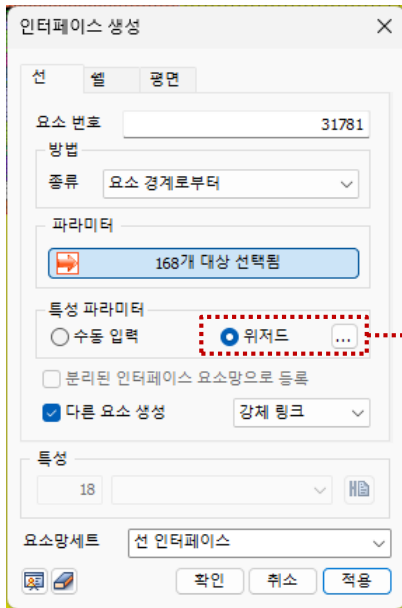
[수직강성계수 함수]

2. Pre/Post Processing

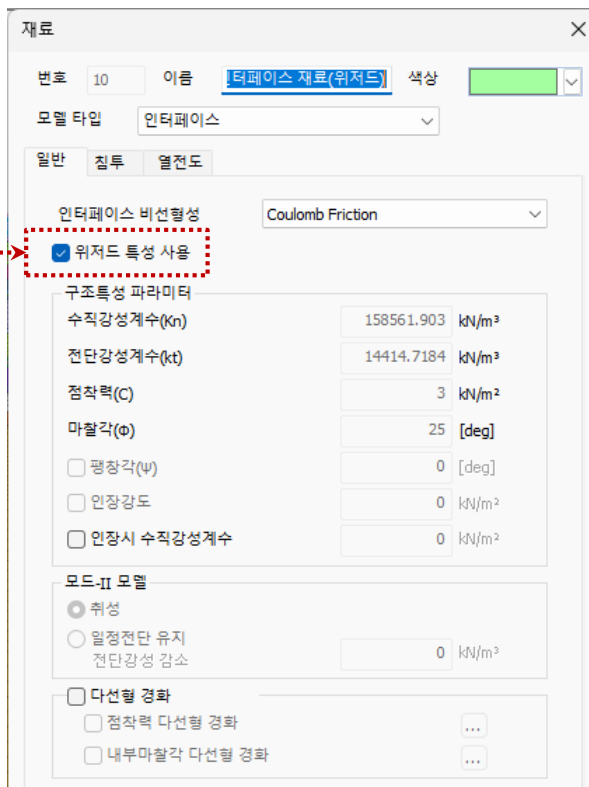
2.7 인터페이스 물성 자동 업데이트

- 인터페이스 위저드를 이용하여 인터페이스 요소를 생성할 경우, 인접한 요소의 물성이 변경되면 인터페이스 파라미터가 자동으로 업데이트되는 기능이 추가되었습니다.
- 참고: 기존 버전(V370이전)에서 생성된 인터페이스 물성은 위저드를 통해 다시 생성해야 자동 업데이트 기능이 활성화됩니다.

▪ 요소망 > 특성/좌표계/함수 > 재료 > 인터페이스



[인터페이스 요소 생성]



[인터페이스 재료]

[인터페이스 위저드 계산 방식]

- $Kn = E_{oed, I} / t_v$
- $Kt = G_i / t_v$
- $C_i = R \times C_{soil}$
- 여기서, $E_{oed, I} = 2 \times G_i \times (1 - \nu_i) / (1 - 2 \times \nu_i)$

(ν_i = 인터페이스 프아송비=0.45, 인터페이스는 비압축성 마찰거동을 모사하기 위한 것으로 수치오류를 방지하기 위해 0.45를 이용하여 자동 계산)

- t_v = 가상두께
(일반적으로 0.01~0.1 범위를 가지며, 인접요소간 강성차이가 클수록 작은 값을 입력)
- $G_i = R^2 \times G_{soil}$ ($G_{soil} = E / (2(1 + \nu_{soil}))$), R=강도감소계수

[구조부재와 인접지반특성에 따른 일반적인 강도감소계수 예]

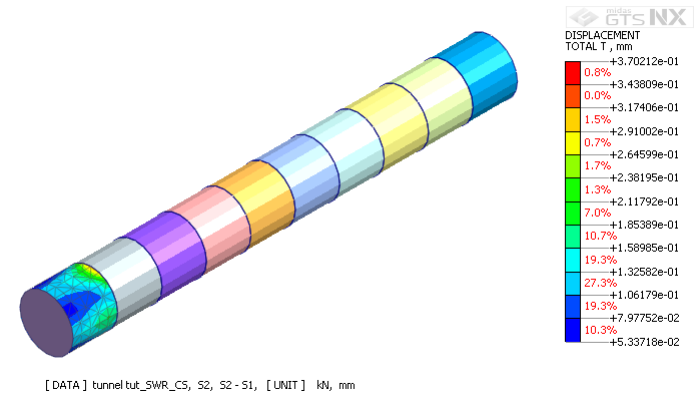
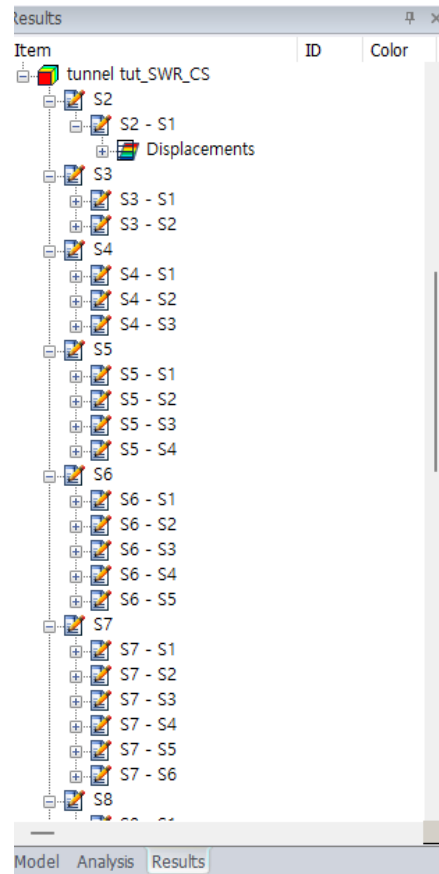
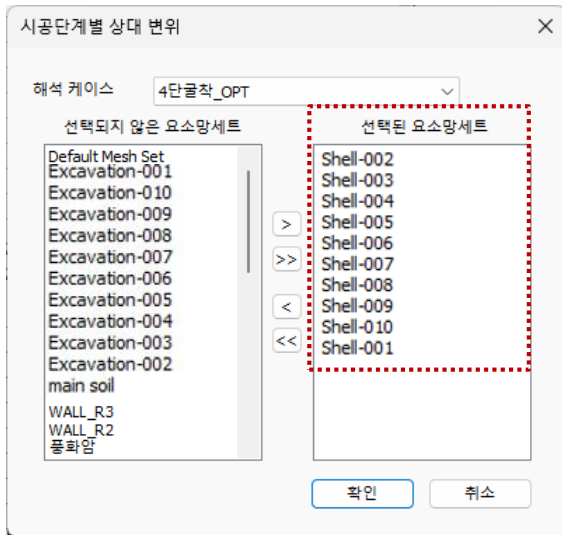
- 사질토/강재 = R : 0.6~0.7
- 점토/강재 = R : 0.5
- 사질토/콘크리트 = R : 1.0~0.8
- 점토/콘크리트 = R : 1.0~0.7

2. Pre/Post Processing

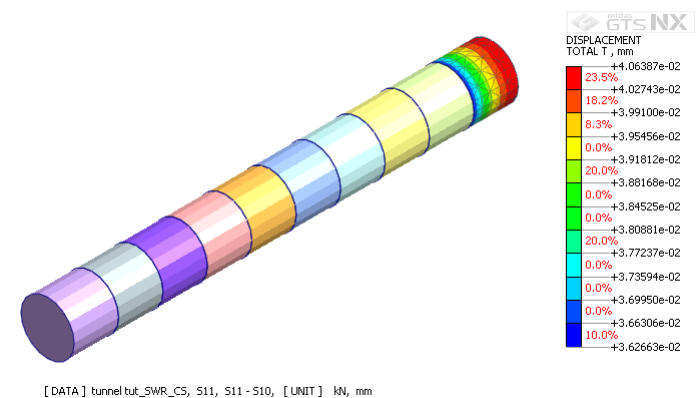
2.8 시공단계 별 상대변위 결과 출력

- 각 시공단계별로 사용자가 정의한 **요소망세트(Geometry Set)** 간의 **상대변위**를 직접 확인할 수 있는 기능이 추가되었습니다.
- 기존에는 시공단계별 상대변위를 확인하기 위해 결과조합 기능을 이용해야 했으나, 이제 이 기능을 통해 수십~수백 단계의 시공단계 결과도 빠르고 간편하게 확인 및 출력이 가능합니다.

▪ 결과 > 고급 > 기타기능 > 시공단계 별 상대변위



[시공단계 굴착2 - 굴착1 상대변위 결과]



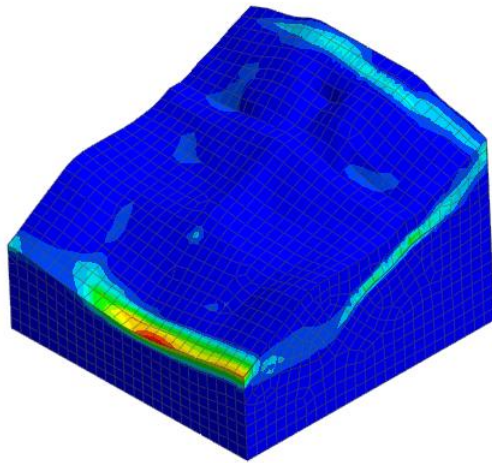
[시공단계 굴착11 - 굴착10 상대변위 결과]

2. Pre/Post Processing

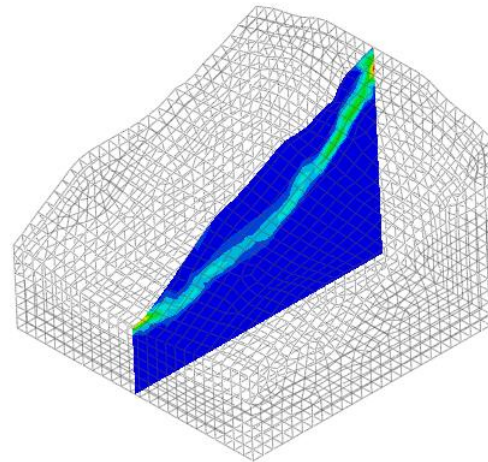
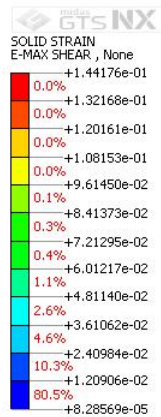
2.9 절단면 보기 기능 개선

- 절단면으로 생성된 결과에 대해서도 전체 모델과 동일하게 Legend(범례)가 표시되도록 수정되었습니다.
- 절단면에 컨투어 선(Contour line)을 표시하는 옵션이 추가되어 결과 확인의 편의성이 향상되었습니다

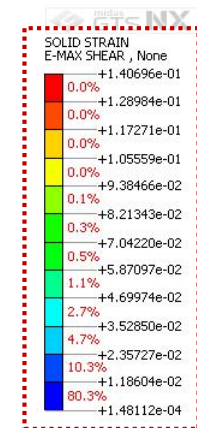
결과분석 > 절단면



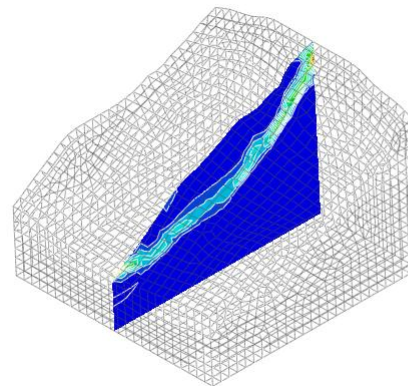
[전체 모델 결과]



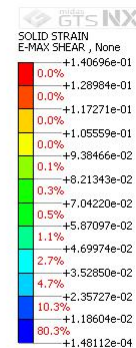
[절단면 결과]



속성창		무	×
컨투어			
<input type="checkbox"/> 컨투어			
컨투어유형	연속		
채우기	면그리기		
색상	컨투어		
<input type="checkbox"/> 컨투어선			
<input checked="" type="checkbox"/> 보이기	True		
선색	FFFFFF		
선두께	1		



[컨투어선 절단면 표시 결과]



2. Pre/Post Processing

2.10 액체 경계요소를 위한 파 방사 경계조건

- 파동흡수면(wave-absorbent fluid boundary) 슬로싱 유체 매질 경계 요소가 신규 추가되었습니다.
- 댐-저수지 상호작용(Dam-Reservoir interaction) 의 경우, 지진 발생 시 저수지의 원단(far end)에 이 경계면을 지정함으로써, 무한 저수지(infinite reservoir)를 모사할 수 있습니다. 즉, 반사되는 파를 차단하고 흡수하여 현실적인 거동을 재현할 수 있습니다.
- 이 기능은 Sommerfeld 방사 조건(Sommerfeld radiation condition) 을 구현한 것으로, 출사파(outgoing wave)가 다시 영역 내부로 반사되지 않도록 합니다.

- 요소망 > 특성/좌표계/함수 > 특성 > 생성 : 기타 > 액체경계요소 > 파동흡수면

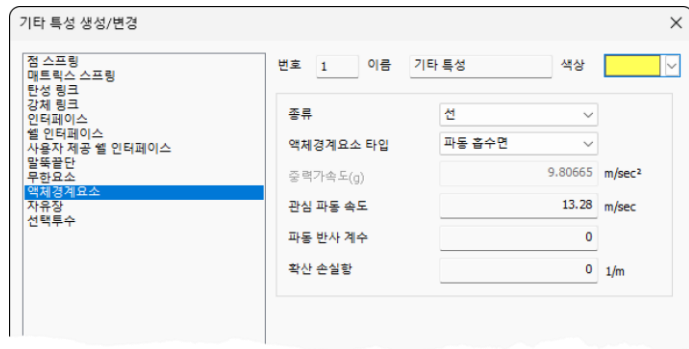
무한 경계(infinite boundary) 또는 흡수 경계(absorbing boundary) 조건, 즉 Sommerfeld 방사 조건 하에서는, 파의 감쇠와 에너지 소산 효과를 고려하여 경계면의 압력 조건이 다음과 같이 정의됩니다. :

$$-n \cdot \nabla p = \left(\frac{1 - \alpha_r}{c_i (1 + \alpha_r)} \right) \frac{\partial p}{\partial t} + \beta_l p$$

c_i : 경계면에서 외부로 전달되는 파의 위상속도(phase velocity)

α_r : 경계면에서 반사되는 파의 진폭비(amplitude ratio)

β_l : 공간 감쇠(spatial attenuation) 계수



- 관심 파동 속도 (출사파 속도, Outgoing Wave Speed) : 경계면을 따라 외부로 전달되는 파의 속도를 입력합니다. 슬로싱 해석에서는 중력파의 위상속도($\sqrt{g \times H}$)를 사용하여 Sommerfeld 방사 조건을 만족시킬 수 있습니다.
- 파동 반사 계수(Wave Reflection Coefficient) : 경계면에서 반사되는 파의 진폭 비율을 입력합니다. 값의 범위는 0~1이며, 0은 완전 흡수, 1은 완전 반사를 의미합니다.
- 확산 손실항(Spreading Loss Term) : 파가 경계 방향으로 진행하면서 감쇠 되는 정도를 정의합니다. 단위는 [1/m]이며, 값이 클수록 파의 에너지가 빠르게 소산됩니다. 추가 감쇠와 관련된 항으로 너무 크면 물리적으로 과도한 소산이 생겨 왜곡될 수 있습니다.

2. Pre/Post Processing

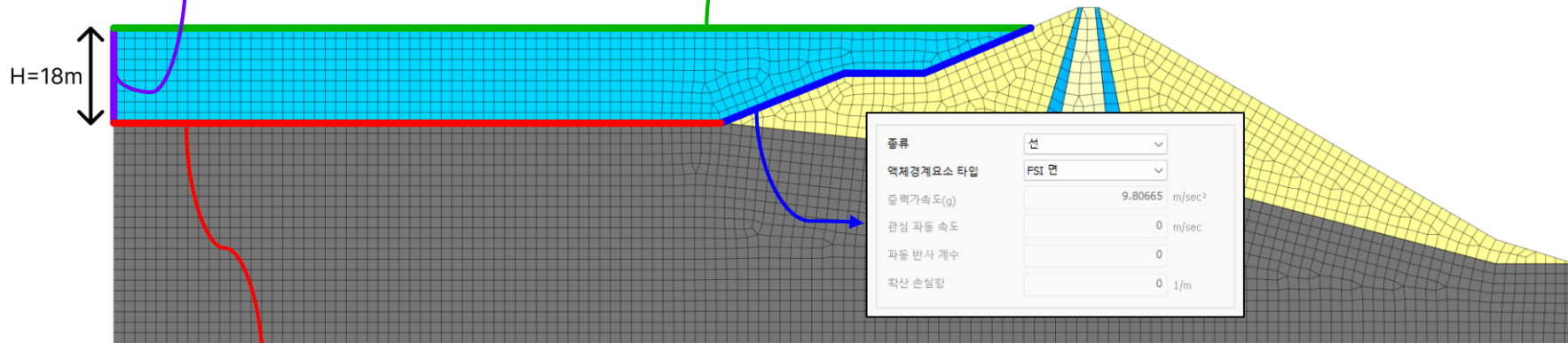
2.10 액체 경계요소를 위한 파 방사 경계조건

- 댐-저수지 지진 해석 시, 경계조건은 물리적 특성에 따라 다음과 같이 모델링할 수 있습니다.

종류	선
액체경계요소 타입	파동 흡수면
중력가속도(g)	9.80665 m/sec ²
관심 파동 속도	13.29 m/sec
파동 반사 계수	0
확산 손실률	0 1/m

$$c_i = \sqrt{g \times H}$$

종류	선
액체경계요소 타입	자유표면
중력가속도(g)	9.80665 m/sec ²
관심 파동 속도	0 m/sec
파동 반사 계수	0
확산 손실률	0 1/m



종류	선
액체경계요소 타입	FSI 면
중력가속도(g)	9.80665 m/sec ²
관심 파동 속도	0 m/sec
파동 반사 계수	0
확산 손실률	0 1/m

종류	선
액체경계요소 타입	파동 흡수면
중력가속도(g)	9.80665 m/sec ²
관심 파동 속도	1480 m/sec
파동 반사 계수	0.67
확산 손실률	0 1/m

* 바닥에서는 중력파($\sqrt{g \times H}$)가 아니라 유체 내 압력파(음압파)가 지배적이므로 물속의 음속 사용

* 물(20°C) : $\rho_1 \approx 1000 \text{ kg/m}^3, c_1 \approx 1480 \text{ m/s} \Rightarrow Z_1 \approx 1.48 \times 10^6$

암반(단단함) : $\rho_2 \approx 2500 \text{ kg/m}^3, V_p \approx 3000 \text{ m/s} \Rightarrow Z_2 \approx 7.5 \times 10^6$ (V_p : P파 속도)

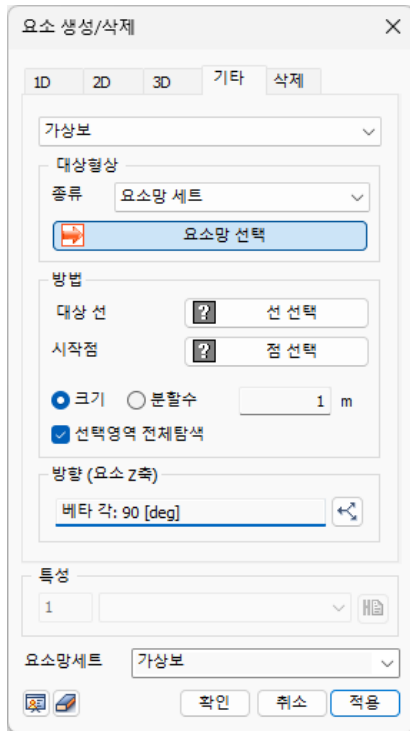
$$\alpha_r = \frac{7.5 - 1.48}{7.5 + 1.48} \approx 0.67$$

2. Pre/Post Processing

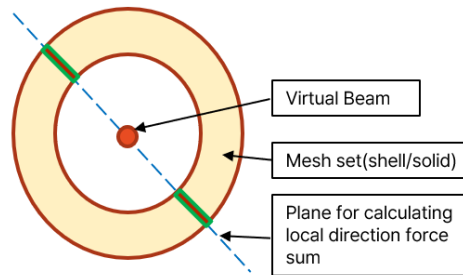
2.11 가상 보(Virtual Beam) 생성 기능 개선

- 직선으로만 생성 가능했던 가상 보를 선(line)/와이어(wire)에 생성하고, 휨 모멘트(Bending Moment), 전단력(Shear Force), 축력(Axial Force)과 같은 단면력이 계산됩니다.
- 기존에 1m 간격으로 고정되었던 가상 보의 요소 크기를 사용자가 직접 크기나 분할 수를 입력할 수 있도록 변경되었습니다.
- 사용자가 목적에 맞게 베타 각도(Beta Angle) 값을 변경할 수 있도록 요소 생성 시 관련 정보를 테이블로 제공하는 기능이 추가되었습니다. (요소망 > 도구 > 테이블 > 요소 테이블)

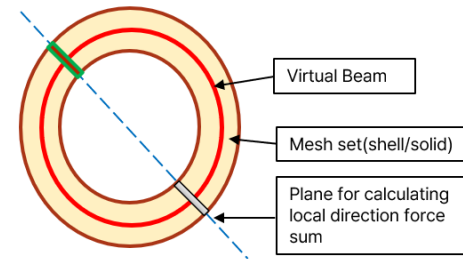
- 요소망 > 요소 > 생성 > 기타 > 가상보



- 종류 : 요소를 선택할지, 요소망 세트를 선택할지 지정합니다.
- 대상 선 : 가상 보를 생성할 대상이 되는 선(line) 또는 와이어(wire)를 선택합니다.
- 시작 점 : 가상 보 생성을 시작할 점을 선택합니다.
- 크기 / 분할수 : 가상 보의 요소 크기 또는 분할 간격을 지정합니다.
- 선택영역 전체탐색 : 가상 보의 단면력을 계산할 때 참조할 요소의 범위를 지정하는 옵션입니다.
 - 체크(Check) : 가상 보의 수직 방향에 있는 전체 단면의 요소 정보를 모두 이용하여 단면력을 계산합니다.
 - 체크 해제(Uncheck) : 가상 보의 인접한 요소 정보만을 이용하여 단면력을 계산합니다.



[Check Option]



[Uncheck Option]

- 예시: 파이프 단면에서 파이프 전체 직경에 해당하는 거동을 보고 싶다면 이 옵션을 체크 해제해야 하며, 파이프의 중심(Centroid)에서 전체 단면의 거동을 대표하는 결과를 보고 싶다면 이 옵션을 체크해야 합니다.

2. Pre/Post Processing

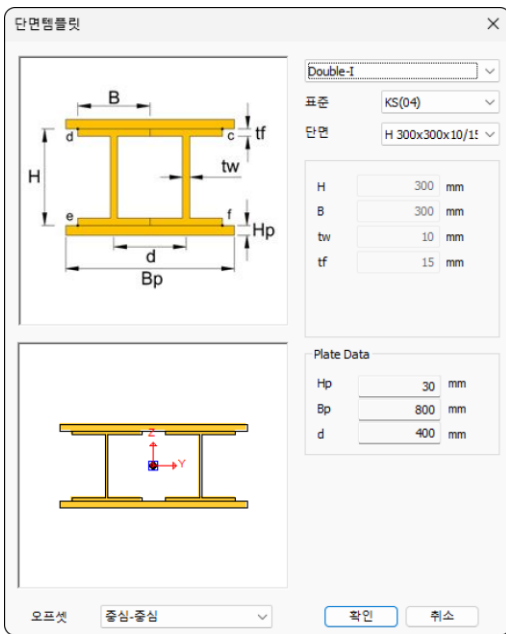
2.12 이중 I형 단면(Double I-Section) 특성 추가

- 1D 요소를 위한 새로운 단면 특성으로, 두 개의 H형강 위아래에 플레이트(강판)가 추가된 형태의 이중 I형 단면이 추가되었습니다. (요소망 > 특성/좌표계/함수 > 특성 > 1D > 단면)

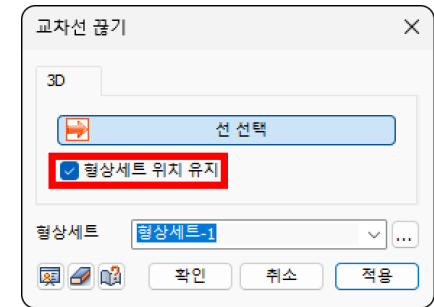
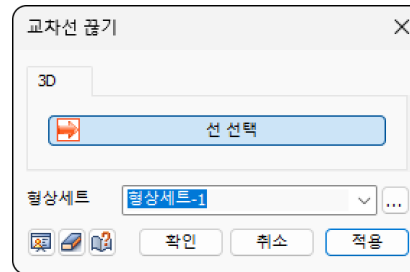
2.13 교차선 끊기(Intersect) 기능의 형상 세트(Geometry Set) 유지 기능 추가

- 교차선 끊기 기능을 사용하여 선들을 교차 시킬 때, 형상세트 위치 유지 옵션을 활성화하면, 분할된 각 성분이 기존에 속해 있던 각각의 형상 세트에 잔존하도록 수정되었습니다.

- 요소망 > 특성/좌표계/함수 > 특성 > 1D > 단면 > Double-I



- 형상 > 점과 선 > 교차선 끊기



2. Pre/Post Processing

2.14 열차 동하중 테이블(Train Dynamic Load Table)의 Excel 호환성(복사/붙여넣기) 개선

- 사용자 정의 이동 하중을 입력하는 방법이 개선되어, 이제 테이블 형식으로 직접 입력하거나 Excel 시트에서 '데이터 복사 > 붙여넣기'가 가능해 졌습니다.

2.15 요소 테이블(Element Table)에 인터페이스 면적(Interface Area) 열 추가

- GTS NX 인터페이스 요소 결과에서 수직 응력(normal stress)과 전단 응력(tangential stress)을 제공합니다.
- '요소 테이블 > 인터페이스' > 면적(Area) 값이 출력되어, 응력(stress) 결과로 부터 힘(force) 결과를 쉽게 변환할 수 있도록 하였습니다.
- 이렇게 변환된 수직력(normal force)과 전단력(tangential force)은 응력이나 댐과 같은 구조물에서 전체 수직력, 수평력 및 활동력을 계산하는 데 사용될 수 있으며, 이를 통해 활동에 대한 안전율(Factor of Safety Against Sliding)을 결정할 수 있습니다.

- 요소망 > 도구 > 테이블 > 요소 테이블

No.	Type	Property	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node6	Area (cm ²)
25114	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6322	6323	6324	460	461	154	0.750000
25115	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6326	6327	6328	460	461	154	0.750000
25116	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6329	6331	467	1	463	467	0.750000
25117	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6329	467	6325	1	463	467	0.750000
25122	Triangle	3-Node Face Property (Material)	18	6340	6341	18	307	514	0.750000
25123	Triangle	3-Node Face Property (Material)	18	6342	6343	18	514	307	0.750000
25124	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6336	6337	6338	138	496	144	0.750000
25125	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6339	6360	6361	164	496	138	0.750000
25126	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6322	6324	6362	460	134	135	0.750000
25127	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6363	6327	6328	135	134	460	0.750000
25140	Triangle	3-Node Face Property (Material)	24	6307	24	303	466	24	0.750000
25141	Triangle	3-Node Face Property (Material)	24	6307	303	24	466	303	0.750000
25162	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6372	18	21	513	18	21	0.750000
25163	Triangle	3-Node Face Property (Material)	18	6373	21	18	513	21	0.750000
25164	Triangle	3-Node Face Property (Material)	18	18	6342	18	24	514	0.750000
25165	Triangle	3-Node Face Property (Material)	18	18	6341	18	24	514	0.750000
25166	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6363	6326	6326	135	460	141	0.750000
25167	Triangle	3-Node Face Property (Material)	141	6327	6362	141	460	135	0.750000
25172	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6376	6307	6308	141	466	138	0.750000
25173	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6361	6360	6377	138	466	141	0.750000
25176	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6340	6360	6341	307	351	514	0.750000
25177	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6340	6362	6361	307	514	351	0.750000
25190	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6362	6367	23	309	466	23	0.750000
25191	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6366	6367	23	466	309	23	0.750000
25196	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6372	21	23	513	21	23	0.750000
25197	Triangle	3-Node Face Property (Material)	21	6373	23	21	513	23	0.750000
25198	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6374	6368	6368	514	351	149	0.750000
25199	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6368	6361	6342	149	351	514	0.750000
25144	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6366	18	6341	512	18	514	0.750000
25145	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6361	6342	18	512	514	18	0.750000
25147	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6361	6362	6364	514	140	512	0.750000
25148	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6362	6361	6342	140	514	512	0.750000
25149	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6361	6362	6364	460	242	508	0.750000
25149	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6361	6362	6364	508	141	460	0.750000
25151	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6365	6327	6326	508	466	141	0.750000
25158	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6360	6369	6363	466	164	309	0.750000
25159	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6362	6368	6327	508	164	466	0.750000
25140	Triangle	3-Node Face Property (Material)	302	6365	6326	303	508	460	0.750000
25141	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6364	303	6322	303	502	460	0.750000
25142	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6366	6307	6308	145	136	137	0.750000
25142	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6307	6425	6421	137	136	145	0.750000
25146	Triangle	3-Node Face Property (Material)	33	18	6408	33	18	30	0.750000
25147	Triangle	3-Node Face Property (Material)	18	30	6407	18	30	33	0.750000
25148	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6408	6409	6410	132	139	132	0.750000
25149	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6411	6412	6413	132	139	132	0.750000
25150	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6414	6415	6409	131	133	139	0.750000
25151	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6412	6426	6427	139	133	131	0.750000
25152	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6416	6428	6429	135	132	133	0.750000
25153	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6420	6421	6421	133	132	133	0.750000
25154	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6423	6424	6424	130	135	133	0.750000
25155	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6425	6426	6427	95	130	133	0.750000
25156	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6428	6429	6327	94	95	134	0.750000
25157	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6429	6425	6425	94	134	95	0.750000
25158	Triangle	3-Node Face Property (Material)	6408	6369	6369	132	140	140	0.750000

- 예시: 댐의 활동(Sliding)에 대한 안전율 (ANCOLD 가이드라인)

$$FoS_{sliding} = \frac{(\mu * N) + (c * A)}{\sum F_{horizontal}}$$

μ : 댐과 기초지반 사이의 마찰 계수

N : 기초에 작용하는 순수직력

c : 기초지반의 점착력

A : 댐의 기초 면적

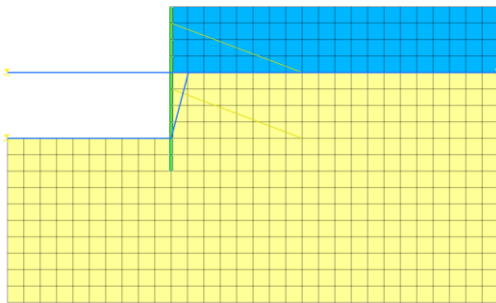
[인터페이스 요소 테이블]

2. Pre/Post Processing

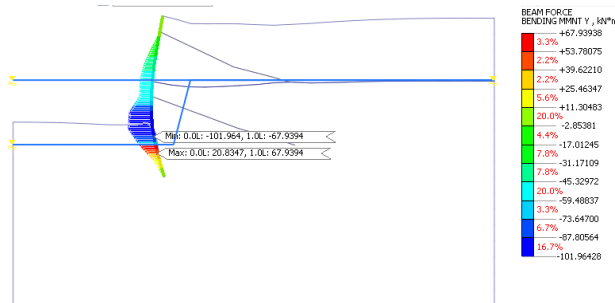
2.16 구조 설계 연동 기능 개선: SAR 포맷 지원 (CIVIL NX)

- SAR(Standard Analysis Result, 표준 해석 결과) 포맷으로 GTS NX - CIVIL NX(구조 설계 프로그램)을 연결하는 역할을 합니다. GTS NX에서 계산된 휨 모멘트(Bending Moments), 전단력(Shear Forces), 축력(Axial Forces)과 같은 해석 결과를 모델 파일과 함께 CIVIL NX로 내보내기 하고, CIVIL NX에서 상세 구조 설계를 수행할 수 있습니다.
- 이 포맷은 현재 트러스(Truss), 보(Beam), 평면 응력(Plane Stress), 쉘(Shell), 게이지 쉘(Gauging Shell) 요소 및 저차요소만 지원합니다.

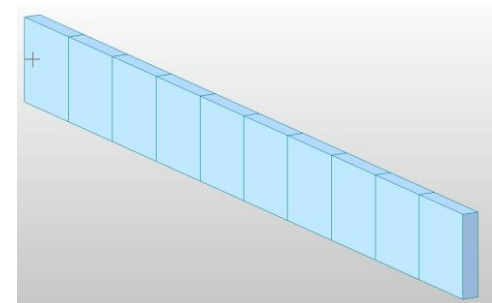
▪ GTS NX 메인 아이콘 > 내보내기 > SAR 파일 내보내기 (구조 디자인용)



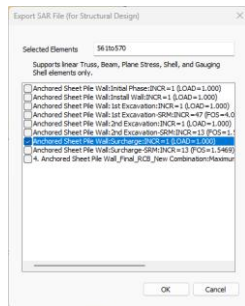
1. GTS NX에서 해석을 수행합니다.



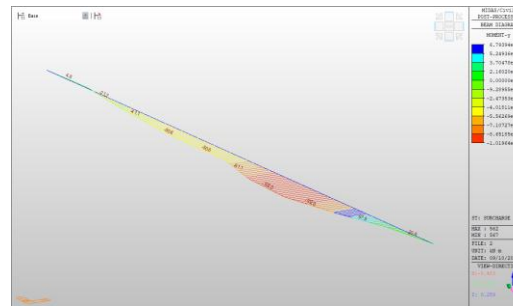
2. 구조 설계에 필요한 결과(단면력 등)를 확인합니다.



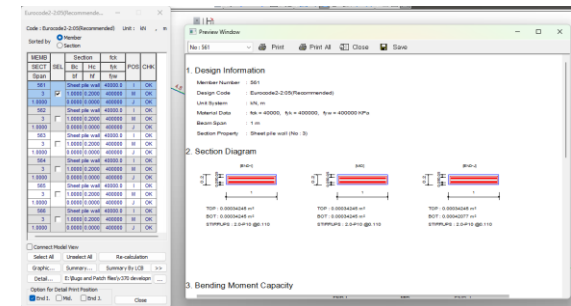
3. GTS NX에서 해석 모델은 .mxt 포맷으로 내보냅니다.



4. GTS NX 결과를 내보낼 시공 단계(Stage)/ 해석 단계(Step)를 선택합니다.



5. 내보낸 해석 결과를 'SAR' 포맷으로 CIVIL NX에서 가져옵니다.



6. CIVIL NX에서 해당 국가의 설계 기준(Code)을 선택하여 구조 설계를 수행합니다.