01. 개요

본 따라하기에서는 1연 암거의 모델링 및 하중재하, 구조해석, 해석결과 확인 방법에 대해 알아봅니다.

본 따라하기에서 사용된 암거 구조물의 제원과 작용하중은 다음과 같습니다.

- 설계방법 : 강도설계법
- 사용재료 및 설계기준강도

콘크리트	철근
f_{ck} = 27 MPa	F_y = 400 MPa

- 내진등급 : 1 등급
- 하중
  - 고정하중

자중	철근콘크리트	헌치
	프로그램에서 자동계산	γ_{RC} = 25 kN/m^3

  - 활 하 중 : DB-24
  - 지반조건 : 토사의 단위중량(γ_s) 20.0kN /m^3
    포장의 단위중량(γ_a) 23.0kN /m^3
    내부마찰각(Φ) 30˚
    측벽부 N치 15
    저판하단N치 30
    정지토압계수(K_0) 1-sin Φ = 0.5
  - 지진하중 : 등가정적하중

02. 작업환경 설정 및 재질/단면 정의

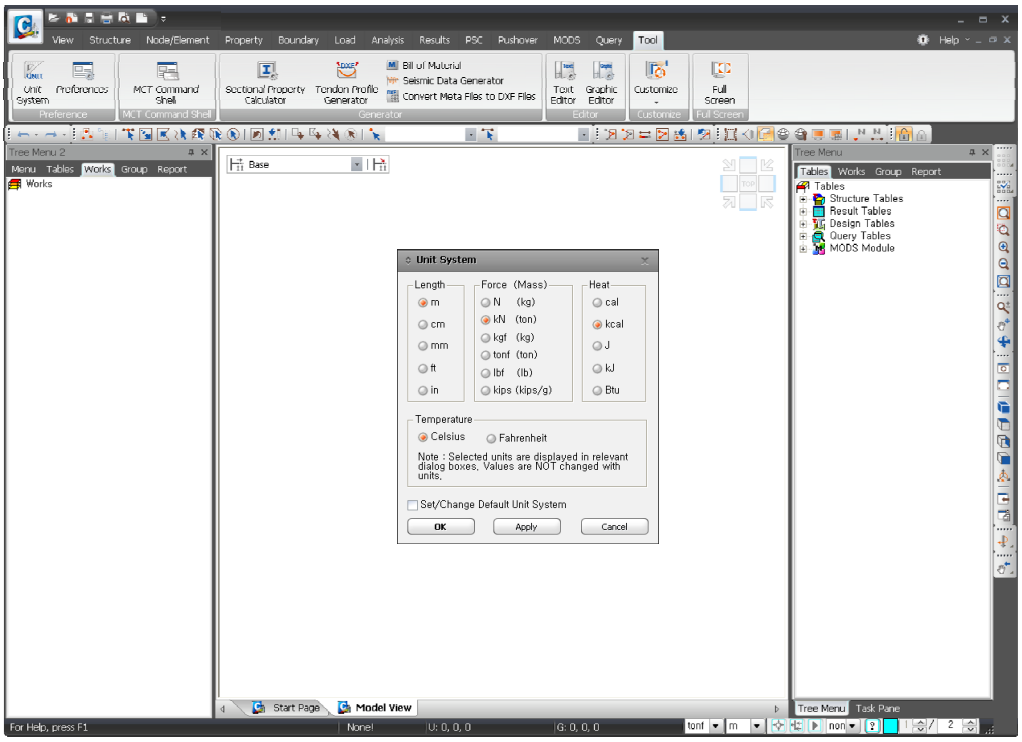
통로암거를 모델링하기 위해 새파일(**New Project**)을 열고, **'통로암거.mcb'** 파일로 저장(**Save**)합니다.

Main Menu에서 ***File*** > **New Project**
Main Menu에서 ***File*** > **Save**
1. 파일 이름에 **'통로암거'** 입력 후 저장

1. 단위계 설정

본 따라하기에서는 모델 입력시 사용할 단위계로 kN(Force), m(Length) 를 지정합니다.

Tools > Unit System
2. Length 선택란에서 **'m'**, Force(Mass) 선택란에서 **'kN(ton)'** 선택
3. OK 버튼 클릭



| 단위계 설정 |

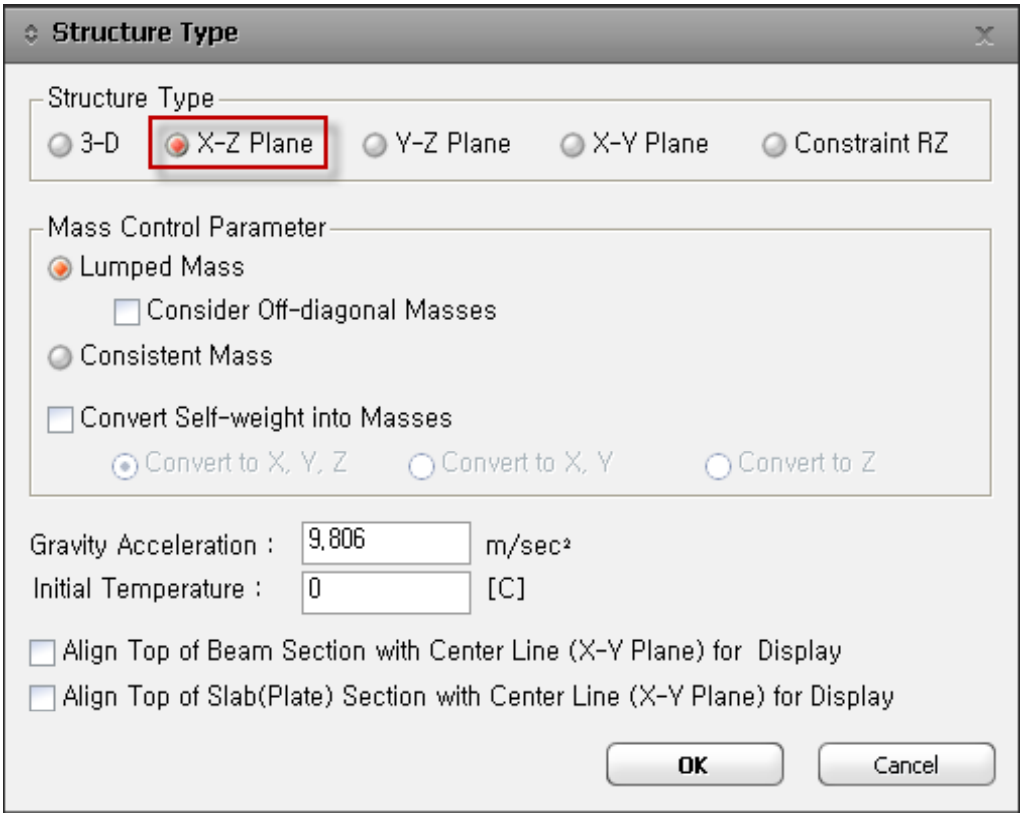
02. 작업환경 설정 및 재질/단면 정의

2. Structure Type 설정

본 따라하기는 X-Z Plane 상에서만 거동하는 2D 해석이므로 Structure Type을 X-Z Plane으로 설정하여 Y축 방향의 자유도를 자동으로 구속합니다.

Structure > Structure Type

1. Structure Type의 **'X-Z Plane'** 선택
2. OK 버튼 클릭



| Structure Type 설정 |

02. 작업환경 설정 및 재질/단면 정의

3. 재질 정의

모델링 시 DB에 내장된 한국표준규격에 따른 재질을 사용합니다.

Concrete : C27

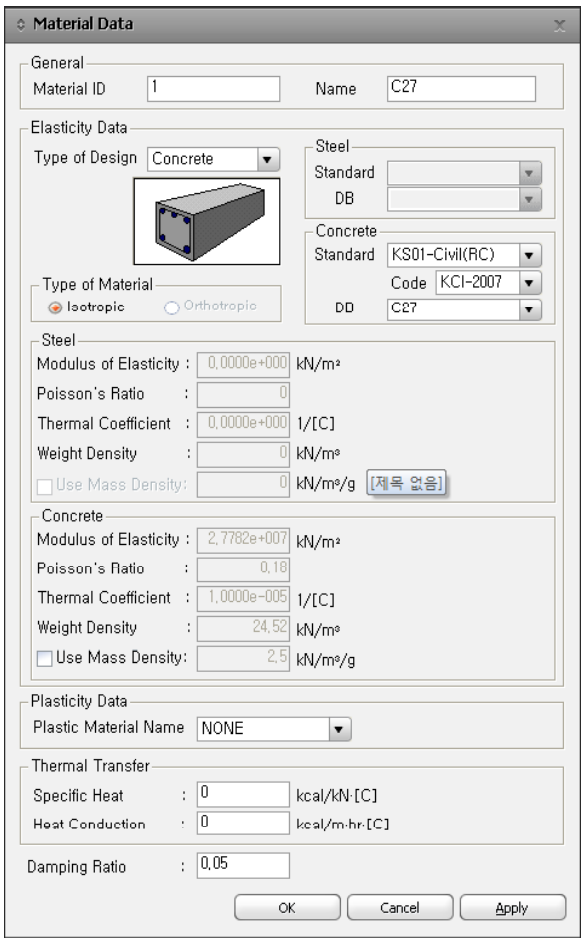
midas Civil의 RC 설계기능을 이용하기 위해서는 반드시 Type of Design 선택란에서 'Concrete'로 선택해야 합니다. 다음 과정에 따라 재질을 입력합니다.

Property> Material

1. Add... 버튼 클릭
2. Material ID 입력란에 **'1'** 확인
3. Type of Design 선택란에서 **'Concrete'** 선택
4. Standard 선택란에서 **'KS01-Civil(RC)'** 확인
5. Code 선택란에서 **'KCI-2007'** 확인
6. DB 선택란에서 **'C27'** 선택
7. OK 버튼 클릭
8. Close 버튼 클릭

KS-Civil(RC)에서는 CGS 단위계, KS01-Civil(RC)에서는 SI단위계를 적용한다.

KCI-2003 vs KCI-2007
KCI-2003의 경우 콘크리트의 압축강도 30MPa를 기준으로 콘크리트의 탄성계수를 구하는 식이 다른 반면, KCI-2007은 콘크리트의 단위질량이 일정 범위 내에 속하는 경우 동일한 식을 적용한다.



| 재질 정의 |

02. 작업환경 설정 및 재질/단면 정의

4. 단면 정의

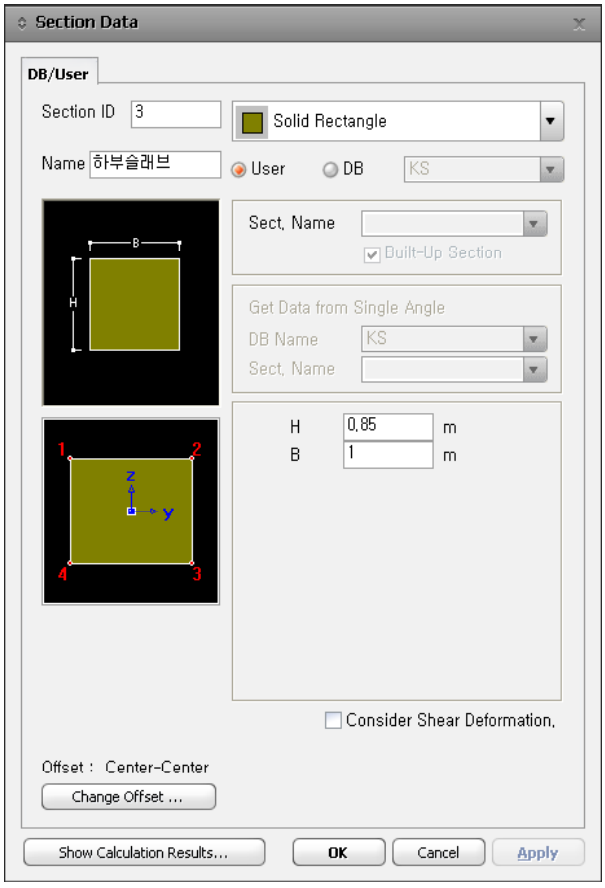
2차원 해석을 수행하므로, 단면의 너비는 단위폭(1m)을 적용합니다.

No.	부재명	단면형상 (H x B)
1	Beam	0.7m x 1m
2	Wall	0.55m x 1m
3	Floor	0.85m x 1m

보부재에 설계 기능을 사용하기 위해서는 DB/USER 탭에서 제공하는 단면을 적용해야 한다.

Property > ***Section***

1. Add... 버튼 클릭
2. DB/User 탭 확인
3. Name 입력란에서 **'상부슬래브'** 입력
4. 단면형태 선택란에서 **'Solid Rectangle'** 선택
5. DB와 User 선택란에서 **'User '** 선택
6. H : **'0.7'** , B : **'1'** 입력
7. Apply 버튼 클릭
8. 2~7까지의 과정을 반복하여 위의 표에 명시된 단면 정보 입력
9. 모든 정보 입력 후, Close 버튼 클릭



Show Calculation Results 버튼을 클릭하면 해석에 사용하는 단면상수를 확인할 수 있다.

| 단면 정의 |

03. 구조 모델링

1. 기본 절점 생성

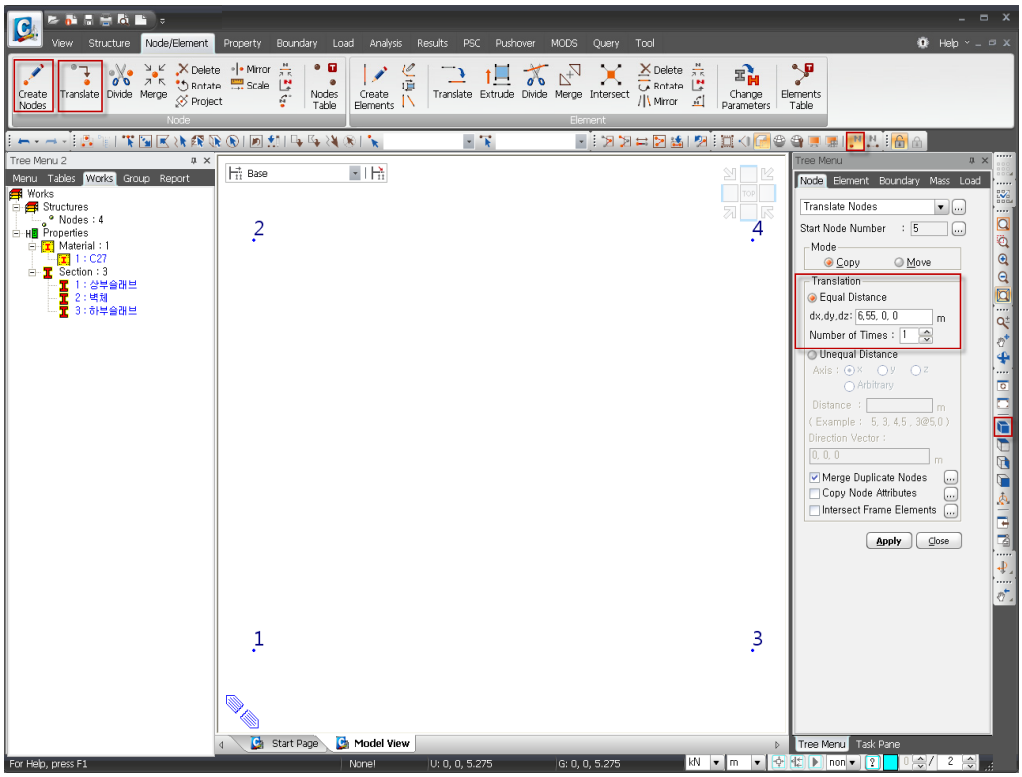
절점을 1개 생성한 후, 복제를 통해 기본 위치가 되는 절점을 입력합니다.

Node/Element > ***Create Nodes***

1. **Front View,** **Auto Fitting,** **Node Number** (Toggle on)
2. Coordinates 입력란에 **'0, 0, 0'** 확인
3. Copy의 Number of Times 입력란에 **'1'**입력
4. Distances 입력란에 **'0, 0, 5.275'** 입력
5. Apply 버튼 클릭

Node/Element > ***Translate...***

6. Mode 선택란에 **'Copy'** 확인
7. Equal Distance 에서 dx, dy, dx 란에 **'6.55, 0, 0'** 입력
8. **Select All**
9. Apply 버튼 클릭



| 기본 절점 생성 |

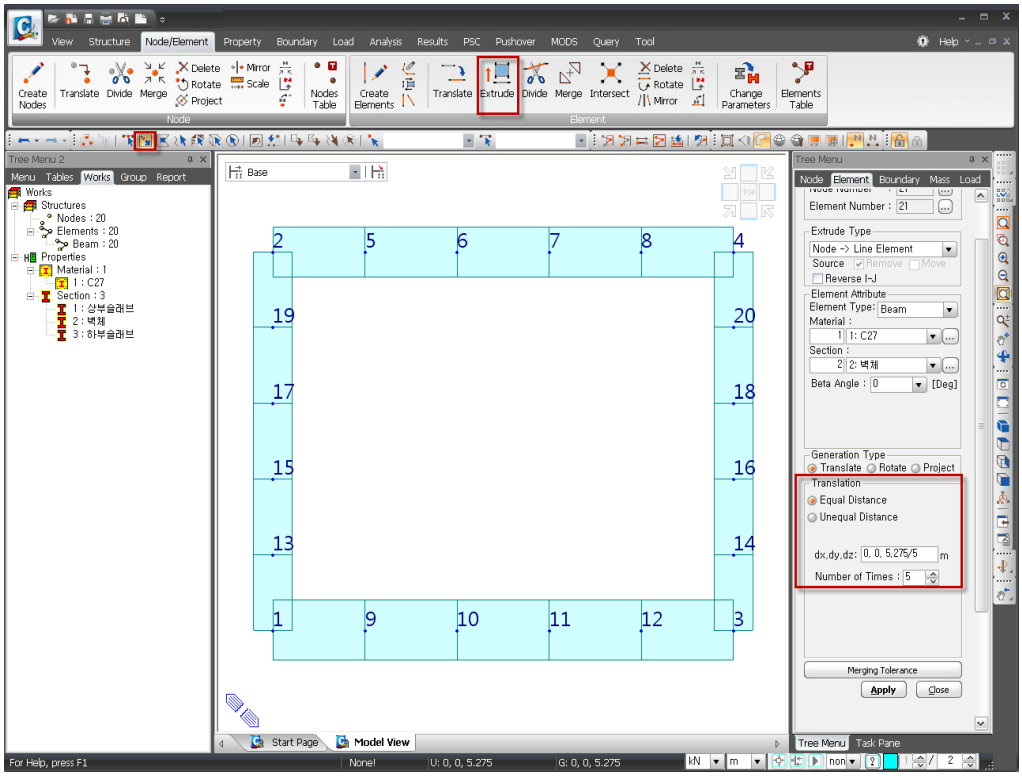
03. 구조 모델링

2. 요소 생성

절점을 요소로 확장하여 암거의 형태를 완성합니다.

Node/Element > Extrude...

1. Extrude Type에서 **'Node -> Line Element'** 확인
2. Section 선택란에서 **'1 : 상부슬래브'** 선택
3. Generation Type 선택란에서 **'Translate'** 확인
4. Equal Distance의 dx, dy, dz 입력란에 **'6.55/5, 0, 0'** 입력
5. Number of Times 입력란에 **'5'** 입력
6. **Select Window** 클릭 후, **'절점 2'** 선택
7. Apply 버튼 클릭
8. Section 선택란에서 **'3 : 하부슬래브'** 선택
9. Equal Distance의 dx, dy, dz 입력란에 **'6.55/5, 0, 0'** 확인
10. **Select Window** 클릭 후, **'절점 1'** 선택
11. Apply 버튼 클릭
12. Section 선택란에서 **'2 : 벽체'** 선택
13. Equal Distance의 dx, dy, dz 입력란에 **'0, 0, 5.275/5'** 입력
14. **Select Window** 클릭 후, **'절점 1, 절점 3'** 선택
15. Apply 버튼 클릭



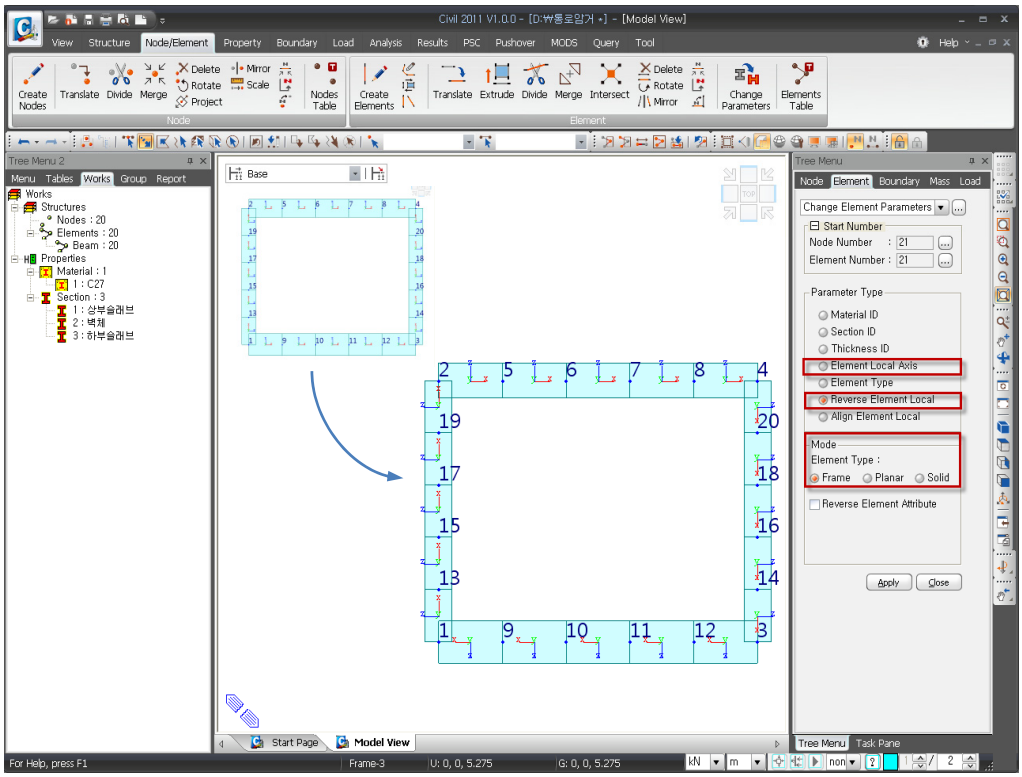
03. 구조 모델링

3. 요소 좌표계 정렬

구조물의 요소 좌표계를 정렬합니다. 요소 좌표계를 기준으로 해석결과가 출력되기 때문에 통일성 있는 해석결과를 구하기 위해 모든 요소의 요소좌표계를 정렬합니다.

Node/Element > Change Element Parameters

1. **Display** 클릭 후 **'Element'** 탭 선택
2. 하부 목록에서 **'Local Axis'** 에 **Check on**
3. OK 버튼 클릭
4. Parameter Type에서 **'Element Local Axis'** 선택
5. Mode의 Beta Angle 선택란에서 **'180'** 선택
6. **Select Window** 클릭 후, **'왼쪽벽체 및 하부슬래브'** 선택
7. Apply 버튼 클릭
8. Parameter Type에서 **'Reverse Element Local'** 선택
9. Mode의 Element Type에서 **'Frame'** 선택
10. **Select Window** 클릭 후, **'오른쪽벽체 및 하부슬래브'** 선택
11. Apply 버튼 클릭
12. 위의 1~3과정을 참조하여 **'Local Axis'** 에 **Check off**



| 요소 좌표계 정렬 |

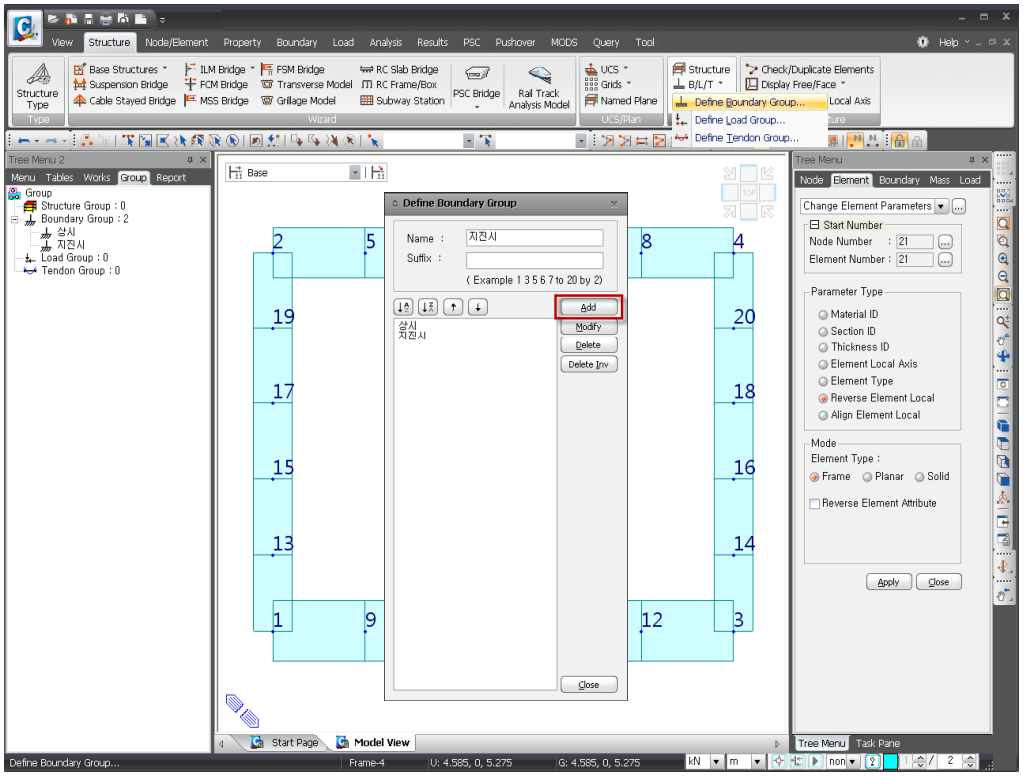
04. 경계조건 입력

1. Boundary Group 정의

상시와 지진시의 경계조건을 구분하기 위한 그룹을 정의합니다.

Structure > Group > Define Boundary Group...

1. Name 란에 **'상시'** 입력 후, Add 버튼 클릭
2. Name 란에 **'지진시'** 입력 후, Add 버튼 클릭
3. Close 버튼 클릭
4. Tree Menu2의 '**Group**' 탭을 클릭하여 정의한 Boundary Group 확인



| 지점 그룹 지정 |

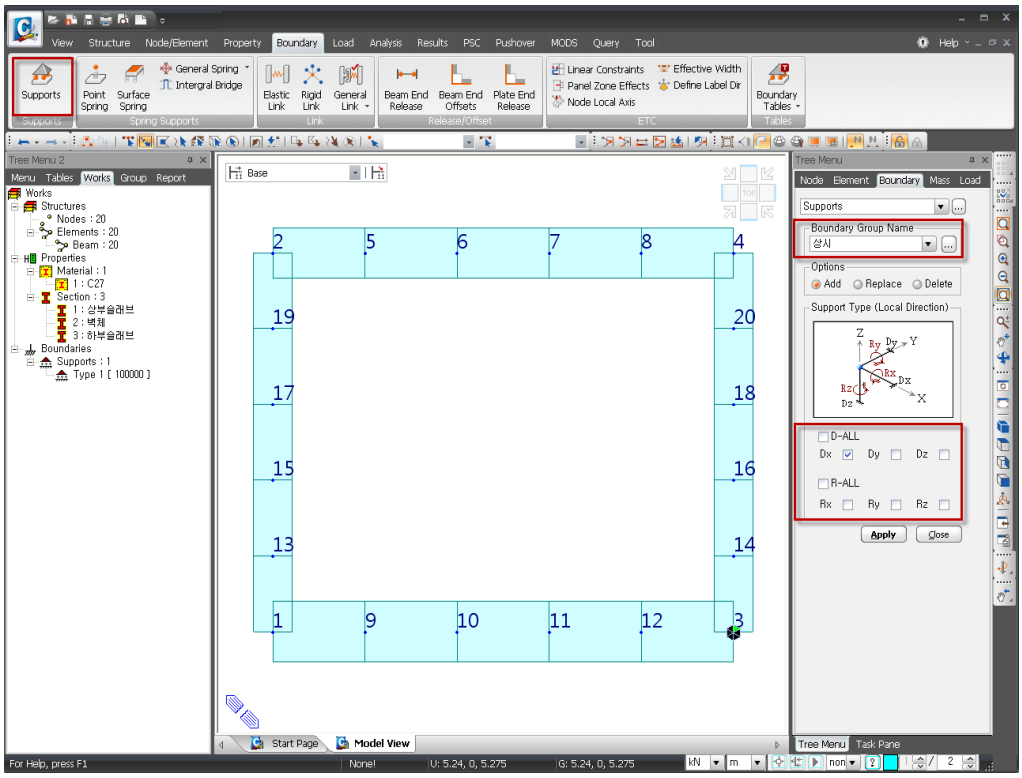
04. 경계조건 입력

2. 가상지점 입력

구조물의 불안정 상태를 방지하기 위한 가상지점을 입력합니다.

Main Menu에서 ***Boundary*** > ***Supports...***

4. Boundary Group Name 선택란에서 **'상시'** 선택
5. 'Dx, Dy' 항목에 **Check on**
6. **Select Window** 클릭 후, **'절점 3'** 선택
7. Apply 버튼 클릭

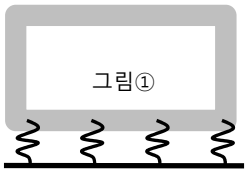


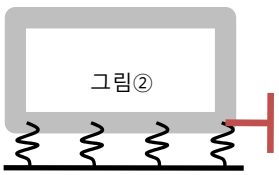
| 가상 지점 입력 |

Tip | 구조물의 불안정

지반의 전단강성을 무시한다면 경계조건은 그림①과 같이 됩니다.

이 상태에서는 수평방향 경계조건이 없으므로 Singular Error를 출력하고, 결과가 신뢰할 수 없는 값이 산출될 수도 있습니다.





이럴 때에는 Singular Error를 방지하기 위해 수평방향 경계조건을 그림②와 같이 입력해 주어야 합니다.

그러나 이 경계조건은 실제로 존재하는 것이 아니기 때문에 해석 후 반드시 반력을 확인 하여야 합니다. 이 때 반력 값이 0이나 0에 가까운 값을 가져야 구조계에 영향을 미치지 않습니다.

04. 경계조건 입력

본 따라하기에서의 경계조건은 도로교설계기준을 따라 입력하며 내용은 다음과 같습니다.

도로교설계기준

5.5.7 지반반력계수와 지반탄성계수
기초의 설계에 이용하는 지반반력계수와 지반탄성계수는 지반조사와 실내토질시험 및 원위치시험(CPT, PMT, DMT, SPT등)의 결과를 종합적으로 검토하여 결정한다.

지반반력계수

(모든 단위계 = kN, m)

연직, 수평 지반반력계수는 각각의 조건에 일치시켜 다음과 같은 방법으로 구합니다.

$$k_{V,H} = k_{V_0,H_0}\left(\frac{B_V}{0.3}\right)^{-0.75}$$

k_{V_0,H_0} : 지반탄성계수로부터 추정 ($k_{V_0,H_0}\frac{1}{0.3}\alpha E_0$)
E_0 , α

표준관입시험의 N 값에서 E_0 =2800N 으로 추정한 지반탄성계수	α	
	평상시	지진시
	1	2

$B_{V,H}$: 기초의 환산 재하폭 ($B_{V,H} = \sqrt{A_{V,H}}$)
$A_{V,H}$: 연직방향의 재하면적

- 평상시 검토
  - 연직, 수평 지반반력계수

적용면	방향	A_V	B_V	N치	E_0	α	k_{V_0}	k_V
저판	연직	7.1 x 1	2.665	30	84,000	1	280,000	54,416

- 지진시 검토
  - 연직, 수평 지반반력계수

적용면	방향	A_V	B_V	N치	E_0	α	k_{V_0}	k_V
저판	연직	7.1 x 1	2.665	30	84,000	2	560,000	108,845
상판	연직	7.1 x 1	2.665	15	42,000	2	280,000	54,422
측벽	수평	6.05 x 1	2.460	15	42,000	2	280,000	57,788

04. 경계조건 입력

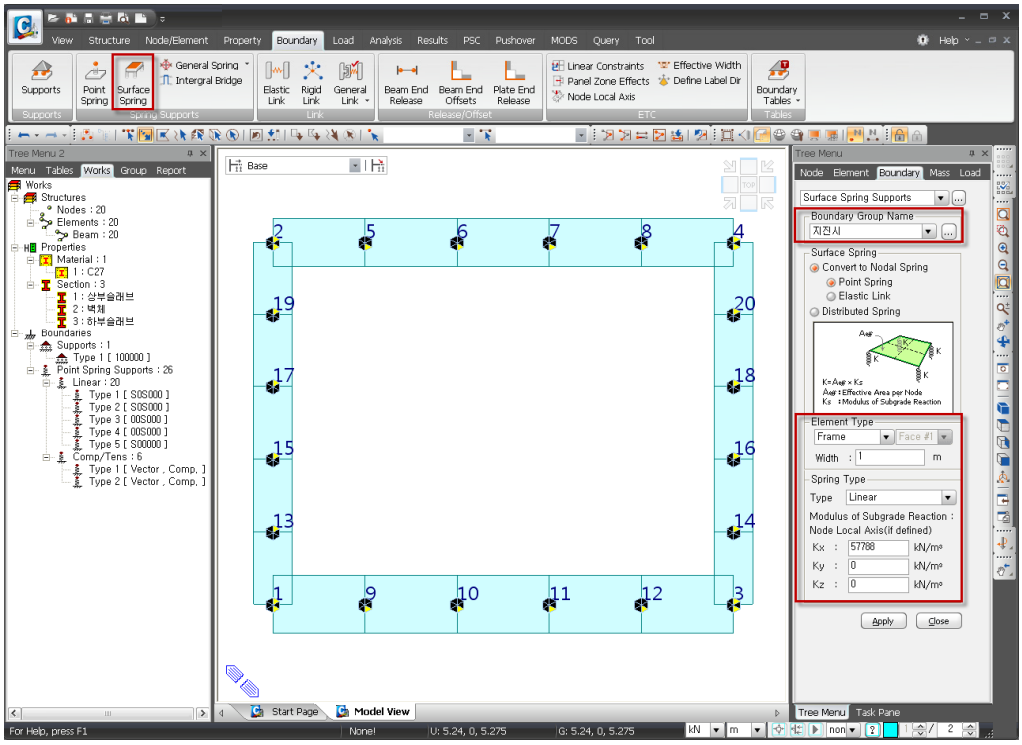
3. 경계조건 입력

구조물의 경계조건을 Surface Spring Supports 기능을 이용하여 지진시는 Linear Type, 상시는 Comp.Only Type의 Point Spring Supports로 모델링합니다.

No.	Boundary Group	Type	Direction	Modulus of Subgrade Reaction	적용부재
1	상 시	Comp.-only	UCS-z(-)	54,416	하부슬래브
2	지진시	Linear	-	Kz = 108,845	하부슬래브
3	지진시	Linear	-	Kz = 54,422	상부슬래브
4	지진시	Linear	-	Kx = 57,788	오른쪽 벽체
5	지진시	Linear	-	Kx = 57,788	왼쪽 벽체

Main Menu에서 ***Boundary*** > ***Surface Spring Supports...***

1. Boundary Group Name 선택란에서 **'상시'** 선택
2. Surface Spring에서 **'Point Spring'** 확인
3. Element Type에서 **'Frame'** 선택 후, Width 입력란에 **'1'** 입력
4. Spring Type의 Type에서 **'Comp. –only'** 선택
5. Direction 선택란에 **'UCS-z(-)'** 선택
6. Modulus of Subgrade Reaction 입력란에 **'54,416'** 입력
7. **Select Window** 클릭 후, **'하부슬래브 요소'** 선택
8. Apply 버튼 클릭
9. 과정 1~8을 반복하여 위의 표와 같이 경계조건 모델링



04. 경계조건 입력

4. 강역 설정

암거 구조물의 벽체와 보의 절점부에 있는 400 x 400의 헌치를 고려하여 강역을 입력합니다.

도로교설계기준

(가) 부재 단부가 다른 부재와 접합할 때는 그 부재단에서 부재두께의 1/4 안쪽점부터 절점까지로 한다.

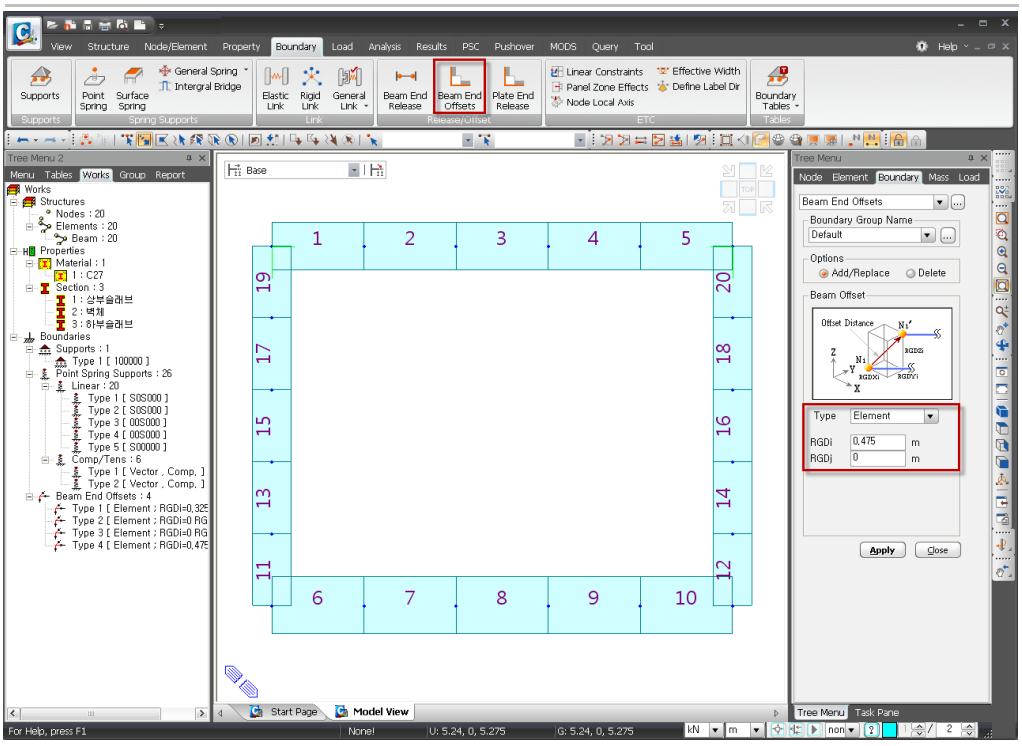
(나) 부재가 그 축선에 대해 25° 이상 경사진 헌치를 갖는 경우에는 부재두께의 1.5배가 되는 점에서부터 절점까지로 한다. 다만, 헌치의 경사가 60° 이상의 경우는 헌치의 시점에서 부재두께의 1/4 안쪽점부터 절점까지로 한다.

도로교설계기준을 적용한 강역범위는 아래표와 같습니다.

Element Number	Direction	강역범위
1	RGDi	0.325
5	RGDj	0.325
19	RGDj	0.475
20	RGDi	0.475

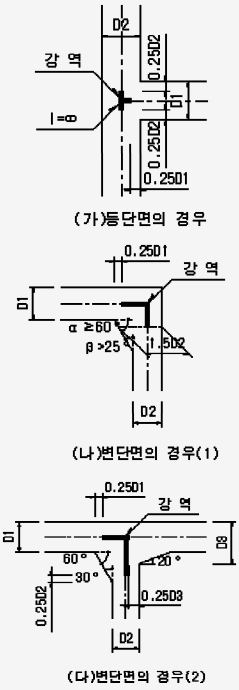
Boundary > Beam End Offsets

1. **Element Number** 클릭 (Toggle on), **Node Number** 클릭 (Toggle off)
2. Beam Offset의 Type 선택란에 **'Element'** 선택
5. RGDi 입력란에 **'0.325'** 입력
6. **Select Window** 클릭 후, **'요소 1'** 선택
7. Apply 버튼 클릭
8. 과정2~7을 반복하여 위의 표에 명시된 강역 설정



| 헌치 부위 강역 설정 |

- 다음은 도로교 설계기준의 강역 산정 방법



- RGDi는 i 단부에서 요소좌표계 (+) x축 방향의 이격거리, RGDj는 j 단부에서 요소좌표계 (-) x축 방향의 이격거리를 나타낸다.
- Element 방식은 offset 거리를 제외한 요소길이가 강성 계산에 반영되고, 자중과 하중은 offset을 입력한 부분에도 입력된다.

05. 상시하중 입력

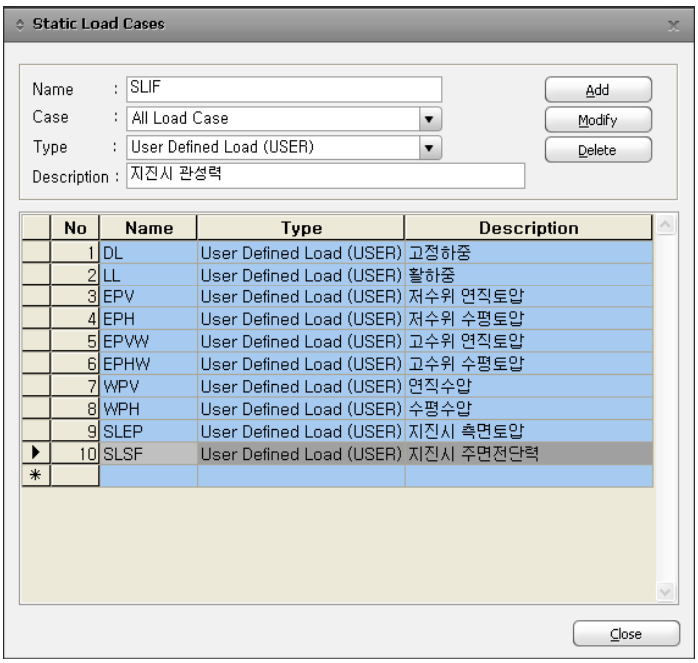
1. Static Load Case 정의

하중을 입력하기 전 하중 조건을 설정합니다.

No.	Name	Type	Description
1	DL	User Defined Load	고정하중
2	LL	User Defined Load	활하중
3	EPV	User Defined Load	저수위 연직토압
4	EPH	User Defined Load	저수위 수평토압
5	EPVW	User Defined Load	고수위 연직토압
6	EPHW	User Defined Load	고수위 수평토압
7	WPV	User Defined Load	연직수압
8	WPH	User Defined Load	수평수압
9	SLEP	User Defined Load	지진시 측면토압
10	SLSF	User Defined Load	지진시 주면전단력
11	SLIF	User Defined Load	지진시 관성력

Load > ***Static Load Cases***

1. Name 입력란에 **'DL'** 입력
2. Type 선택란에 **'User Defined Load'** 선택
3. Description 입력란에 **'고정하중'** 입력
4. Add 버튼 클릭
5. 위와 같은 방법으로 나머지 하중 조건 입력
6. Close 버튼 클릭



| 하중 케이스 정의 |

05. 상시하중 입력

상시 하중산정 과정은 다음과 같습니다.

자중

프로그램 내에서 자동으로 고려합니다. 단, 헌치는 모델링에 포함되어 있지 않기 때문에 별도로 계산하여 입력합니다.

활하중

도로 DB – 24

$D/B_0 \geq 0.5$			$D/B_0 < 0.5$		
토피두께 (D,m)	노면활하중 (P_{vl}, kN/m²)	비 고	D/B_0	Pvl x D (kN/m)	비 고
1.0	39.0	토피의 중간값은 노면 활하중 상위의 값을 적용	0.1	17.0	①D/Bo의 중간값은 노면 활하중 상위의 값을 적용
1.5	25.0				
2.0	18.0		0.2	27.0	
2.5	14.0		0.3	33.0	②노면활하중 (Pvl)은 표의 값을 D로 나누어 구한다.
3.0	11.0				
3.5	10.0		0.4 이상	36.0	

토피고 (D) = 2.0m , 암거폭(B_0) = 7.1m , D/B_0 = 0.282

D/B_0 = 0.282의 값을 가져 0.5보다 작으므로 왼쪽표에서 값을 산정합니다.

D/B_0 = 0.282이므로 상위값인 0.3의 33을 토피고D로 나누어 P_{vl} 를 산정합니다.

따라서, P_{vl} = 16.5kN/m²

정지토압계수 K_0 = 1 - sin Φ = 0.5

활하중에 의한 수평토압(P_{lh}) = 16.5 x 0.5 = 8.25kN/m²

저수위 토압

• 연직토압

아스팔트 포장 : P_{As} = 23 x 0.08 = 1.84kN/m²

상재토사 토압 : $P_s = \alpha \times \gamma \times D$ (여기서, $\alpha = 1.0 + 0.2(D/Bo) \leq 1.15$)

P_s = 1.056 x 20 x 1.920 = 40.563kN/m²

따라서, 연직토압 $P_{sv} = P_{As} + P_s$ = 1.84 + 40.563 = 42.403kN/m²

• 수평토압

정지 토압 계수 K_o = 1 - sinΦ = 0.5

$P_{sh1} = K_o \times (\gamma_a \times h_a + \gamma_s \times h_1)$ = 0.5 x (23 x 0.08 + 20 x 2.27) = 23.62 kN/m²

$P_{sh2} = P_{sh1} + K_o \times \gamma_s \times h_{element}$ = 23.62 + 0.5 x 20 x 1.055 = 34.170 kN/m²

$P_{sh3} = P_{sh2} + K_o \times \gamma_s \times h_{element}$ = 34.17 + 0.5 x 20 x 1.055 = 44.720 kN/m²

$P_{sh4} = P_{sh3} + K_o \times \gamma_s \times h_{element}$ = 44.72 + 0.5 x 20 x 1.055 = 55.270 kN/m²

$P_{sh5} = P_{sh4} + K_o \times \gamma_s \times h_{element}$ = 55.27 + 0.5 x 20 x 1.055 = 65.820 kN/m²

$P_{sh6} = P_{sh5} + K_o \times \gamma_s \times h_{element}$ = 65.82 + 0.5 x 20 x 1.055 = 76.370 kN/m²

05. 상시하중 입력

고수위 토압

• 연직토압

아스팔트 포장 : 저수위시와 동일

상재토사 토압 : P_s = 1.056 x 20 x 0.92 + 1.056 x 10 x 1 = 30 kN/m²

P_{sv} = 1.84 + 30.000 = 31.840 kN/m²

• 수평토압

정지 토압 계수 Ko = 1 - sinΦ = 0.5

P_{sh1} = Ko x {γ_a x h_a + r_s x (h_w-h_a) + γ_{sub} x (h_a+h_1-h_w)}

= 0.5 x (23 x 0.08 + 20 x 0.92 + 10 x 1.35) = 16.87 kN/m²

P_{sh2} = P_{sh1} + Ko x γ_{sub} x $h_{element}$ = 16.870 + 0.5 x 10 x 1.055 = 22.145 kN/m²

P_{sh3} = P_{sh2} + Ko x γ_{sub} x $h_{element}$ = 22.145 + 0.5 x 10 x 1.055 = 27.420 kN/m²

P_{sh4} = P_{sh3} + Ko x γ_{sub} x $h_{element}$ = 27.420 + 0.5 x 10 x 1.055 = 32.695 kN/m²

P_{sh5} = P_{sh4} + Ko x γ_{sub} x $h_{element}$ = 32.695 + 0.5 x 10 x 1.055 = 37.970 kN/m²

P_{sh6} = P_{sh5} + Ko x γ_{sub} x $h_{element}$ = 37.970 + 0.5 x 10 x 1.055 = 43.245 kN/m²

수 압

P_{wv1} = γ_w x (h_s-h_w) = 10 x 1 = 10.0 kN/m²

P_{wv2} = P_{wh2} +γ_w x t_{s1}/2 = 66.25 + 10 x 0.425 = 70.5 kN/m²

P_{wh1} = γ_w x (h_a+h_1-h_w) = 10 x 1.35 = 13.5 kN/m²

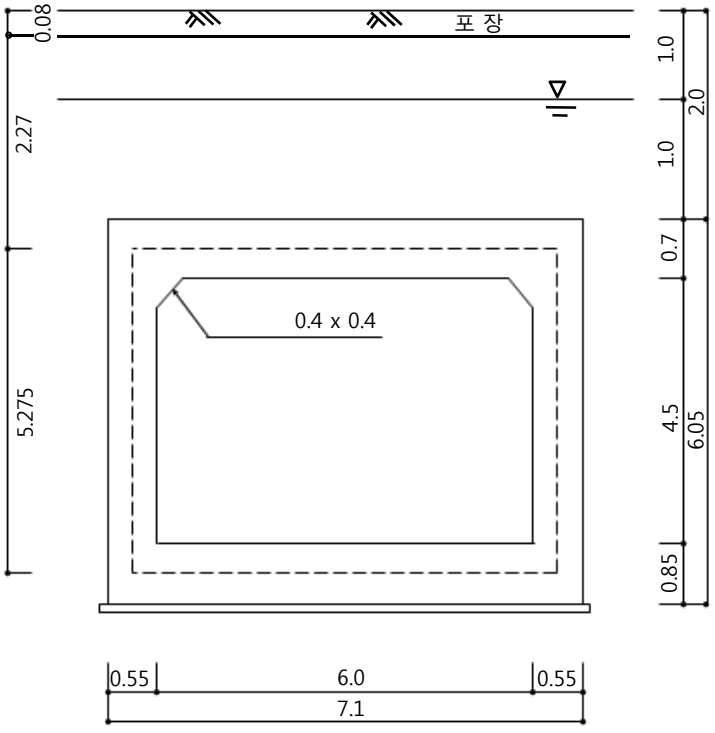
P_{wh2} = P_{wh1} + γ_w x $h_{element}$ = 13.5 + 10 x 1.055 = 24.05 kN/m²

P_{wh3} = P_{wh2} + γ_w x $h_{element}$ = 24.05 + 10 x 1.055 = 34.6 kN/m²

P_{wh4} = P_{wh3} + γ_w x $h_{element}$ = 34.6 + 10 x 1.055 = 45.15 kN/m²

P_{wh5} = P_{wh4} + γ_w x $h_{element}$ = 45.15 + 10 x 1.055 = 55.7 kN/m²

P_{wh6} = P_{wh5} + γ_w x $h_{element}$ = 55.7 + 10 x 1.055 = 66.25 kN/m²



| 암거 형상 |

05. 상시하중 입력

2. 자중 입력

Self Weight 기능으로 구조물의 자중을 입력합니다. ***Self Weight***는 모델링시 사용된 단위중량(***Material*** 에서 입력한 Weight Density)과 체적을 곱하여 자동으로 자중이 입력되는 기능입니다. 그리고 모델링 된 구조물 전체에 대해 입력되기 때문에 별도로 요소를 선택해 줄 필요가 없습니다.

자중의 크기는 프로그램에서 자동으로 계산하므로 재하 방향과 가중치만 입력한다.

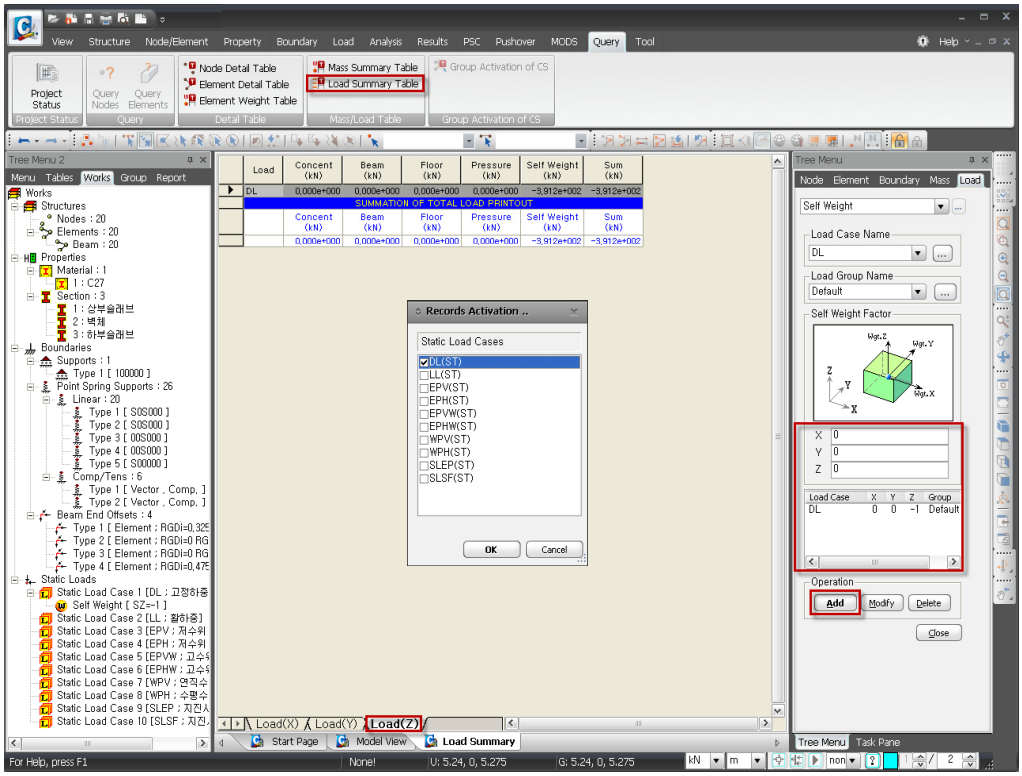
Load > ***Self Weight***

1. Load Case Name 선택란에 **'DL'** 확인
2. Self Weight Factor의 Z 입력란에 **'-1'** 입력
3. Operation의 Add 버튼 클릭

입력한 자중의 크기를 확인하는 방법은 다음과 같습니다.

Query > ***Load Summary Table***

4. Static Load Cases 항목에서 'DL(ST)' 에 Check on
5. Table 하단의 탭 중에서 **'Load(Z)'** 클릭



| 자중 입력 및 확인 |

05. 상시하중 입력

3. 고정하중 입력

자중에서 고려되지 않은 헌치의 하중을 다음과 같이 입력합니다.

▪ **헌치의 하중 = 철근콘크리트단위중량 x 헌치두께 x 단위폭 = 25 x 0.4 x 1 = 10kN/m**

헌치의 두께는 0.4m에서 0m로 줄어들기 때문에 하중 또한 10kN/m에서 0kN/m로 줄어드는 등변분포 하중으로 헌치의 위치에 맞추어 입력합니다. 🎧

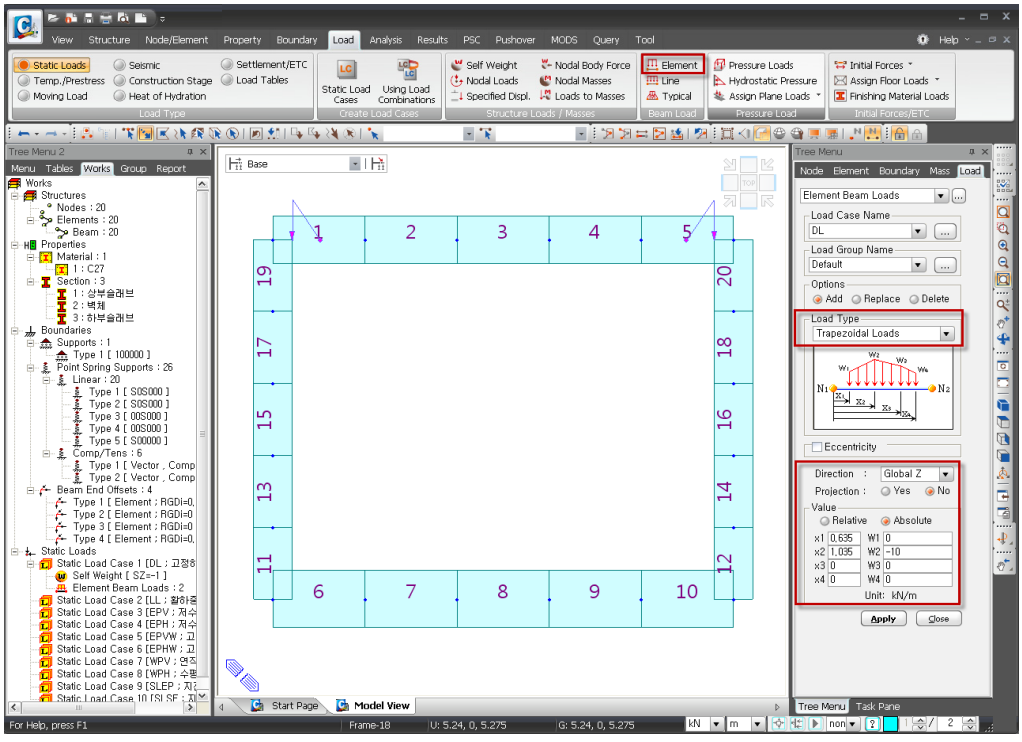
헌치의 위치를 입력할 때 요소의 입력 위치가 부재의 중심축에 입력되어 있음을 고려하여 위치를 계산한다.

Relative : 보하중의 재하위치를 보요소 전체길이에 대한 상대비율로 입력할 경우 지정
Absolute : 보하중의 재하위치를 실제 길이로 입력할 경우 지정

x1, x2, x3, x4 의 순서로 요소의 i단으로부터 떨어진 거리를 의미한다. 단, 옆의 경우처럼 x3, x4에 0이 입력된 경우는 하중이 입력되지 않는다.

Load > Element Beam Loads

1. Load Case 선택란에 **'DL'** 확인
2. Options 선택란에 **'Add'** 확인
3. Load Type 선택란에 **'Trapezoidal Loads'** 확인
4. Direction 선택란에 **'Global Z'** 확인
5. Value 선택란에 **'Absolute'** 에 **Check on** 🎧
6. x1, x2, x3, x4 입력란에 각각 **'0.275, 0.675, 0, 0'** 입력
7. w1 입력란에 **'-10'** 입력 후, w2, w3, w4 입력란에 **'0'** 확인
8. **Select Window** 클릭 후, **'요소 1'** 선택
9. Apply 버튼 클릭
10. x1, x2, x3, x4 입력란에 각각 **'0.635, 1.035, 0, 0'** 입력 🎧
11. w2 입력란에 **'-10'** 입력 후, w1, w3, w4 입력란에 **'0'** 확인
12. **Select Window** 클릭 후, **'요소 5'** 선택
13. Apply 버튼 클릭



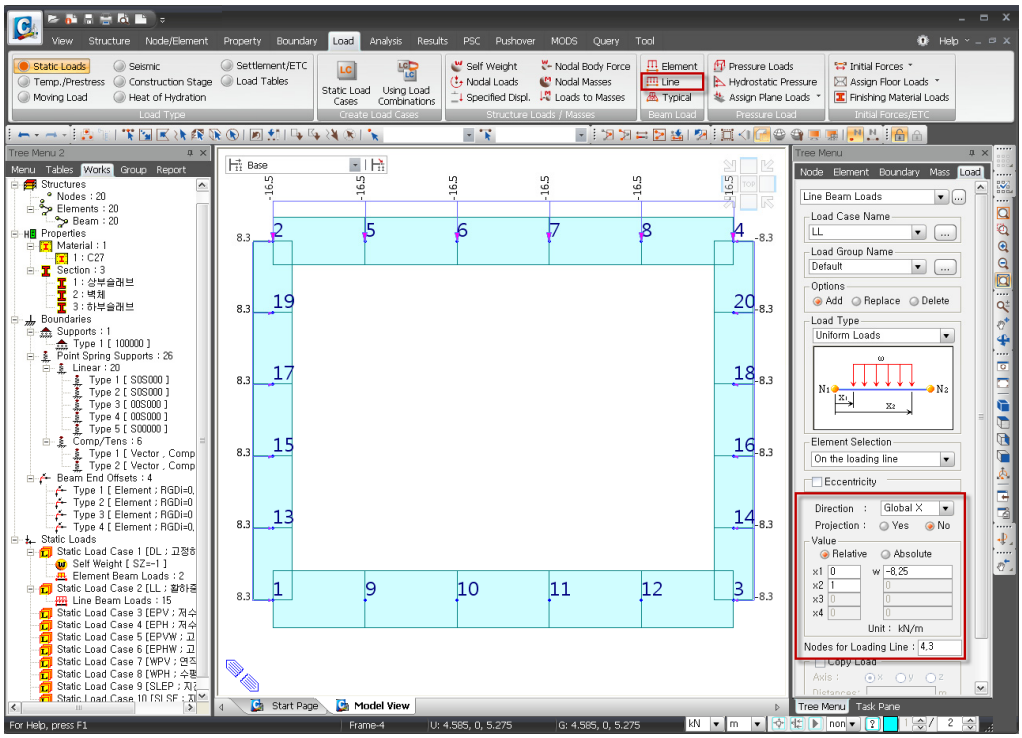
05. 상시하중 입력

4. 활하중 입력

상재활하중을 도로공사 교량설계기준에 맞추어 입력합니다.

Load > ***Line Beam Loads***

1. **Element Number** 클릭 (Toggle off), **Node Number** 클릭 (Toggle on)
2. Load Case 선택란에 **'LL'** 선택
3. Options 선택란에 **'Add'** 확인
4. Load Type 선택란에 **'Uniform Loads'** 확인
5. Element Selection 선택란에 **'On the loading line'** 확인
6. Direction 선택란에 **'Global Z'** 확인
7. Value 선택란에 **'Relative'** 확인 및 x1, x2 입력란에 각각 **'0, 1'** 확인
8. w 입력란에 **'-16.5'** 입력
9. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 2'** 와 **'절점 4'** 를 차례로 클릭
10. Direction 선택란에 **'Global X'** 선택
11. w 입력란에 **'8.25'** 입력
12. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점2'** 와 **'절점 1'** 를 차례로 클릭
13. w 입력란에 **'-8.25'** 입력
14. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점4'** 와 **'절점 3'** 를 차례로 클릭



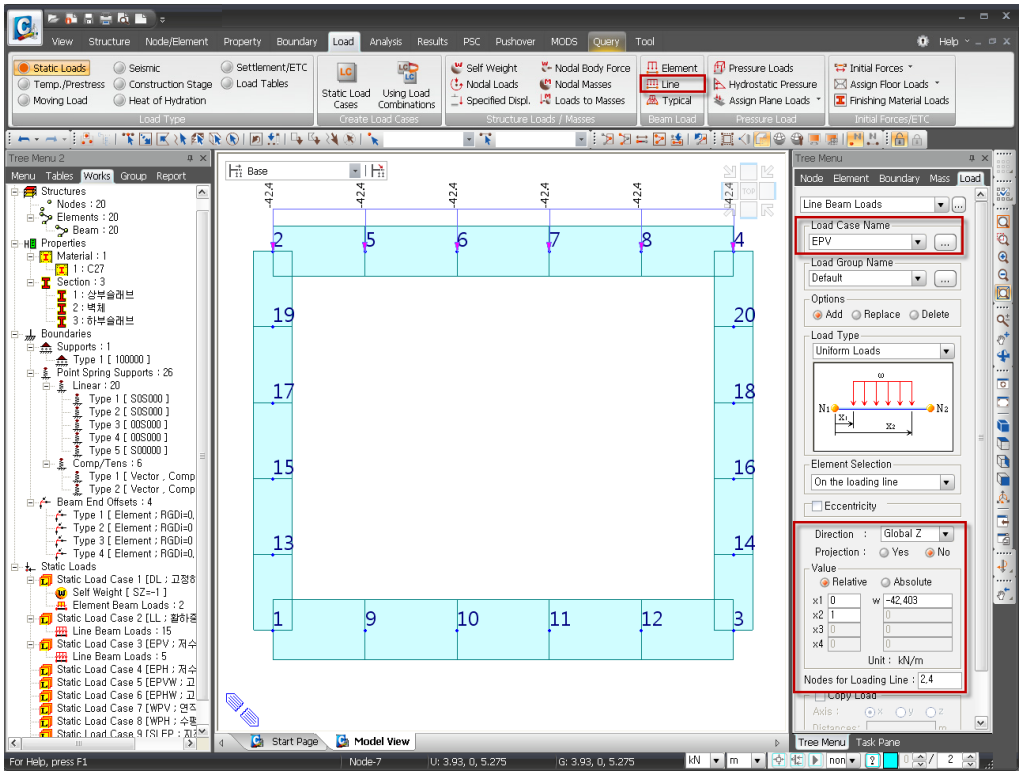
05. 상시하중 입력

5. 저수위 토압 입력

앞서 산출한 저수위 토압 중 먼저 연직토압을 입력합니다.

Load > ***Line Beam Loads***

1. Load Case 선택란에 **'EPV'** 선택
2. Options 선택란에 **'Add'** 확인
3. Load Type 선택란에 **'Uniform Loads'** 확인
4. Element Selection 선택란에 **'On the loading line'** 확인
5. Direction 선택란에 **'Global Z'** 확인
6. Value 선택란에 **'Relative'** 확인 및 x1, x2 입력란에 각각 **'0, 1'** 확인
7. w 입력란에 **'-42.403'** 입력
8. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 2'** 와 **'절점 4'** 를 차례로 클릭



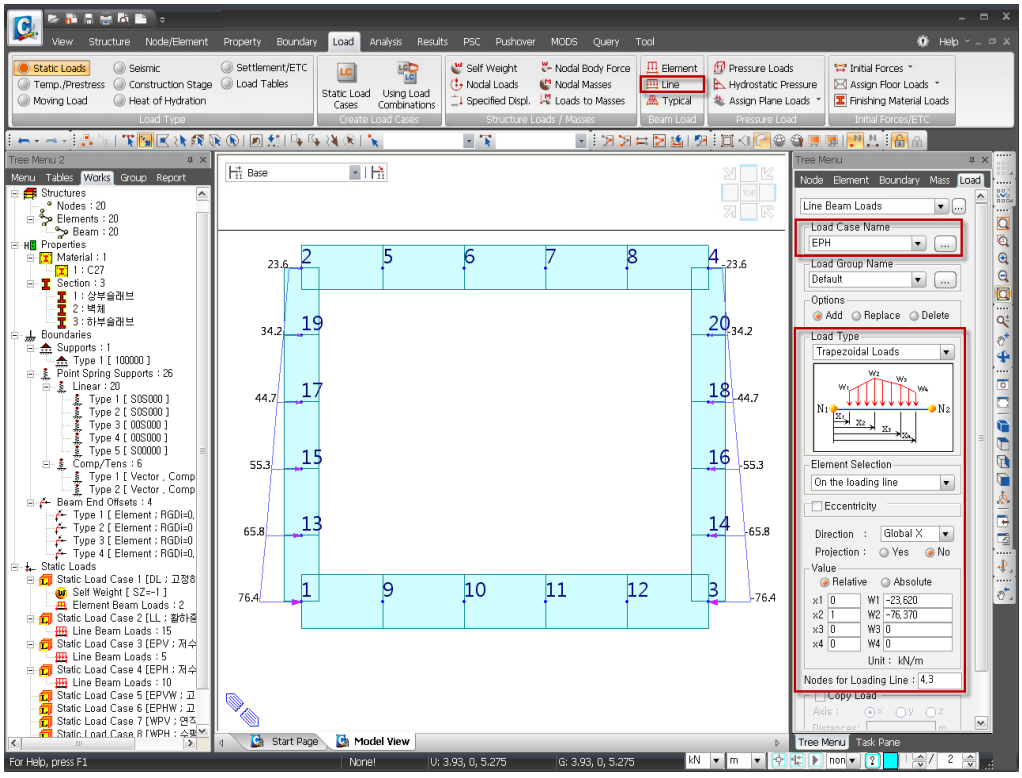
| 저수위 연직토압 입력 |

05. 상시하중 입력

저수위 토압 중 수평토압을 입력합니다.

Main Menu에서 ***Load*** > ***Line Beam Loads***

1. Load Case 선택란에 **'EPH'** 선택
2. Options 선택란에 **'Add'** 확인
3. Load Type 선택란에 **'Trapezoidal Loads'** 확인
4. Element Selection 선택란에 **'On the loading line'** 확인
5. Direction 선택란에 **'Global X'** 선택
6. Value 선택란에 **'Relative'** 확인
7. x1, x2, x3, x4 입력란에 각각 **'0, 1, 0, 0'** 입력
8. w1, w2, w3, w4 입력란에 각각 **'23.620, 76.370, 0, 0'** 입력
9. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 2'** 와 **'절점 1'** 을 차례로 클릭
10. w1, w2, w3, w4 입력란에 각각 **'-23.620, -76.370, 0, 0'** 입력
11. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 4'** 와 **'절점 3'** 을 차례로 클릭



| 저수위 수평토압 입력 |

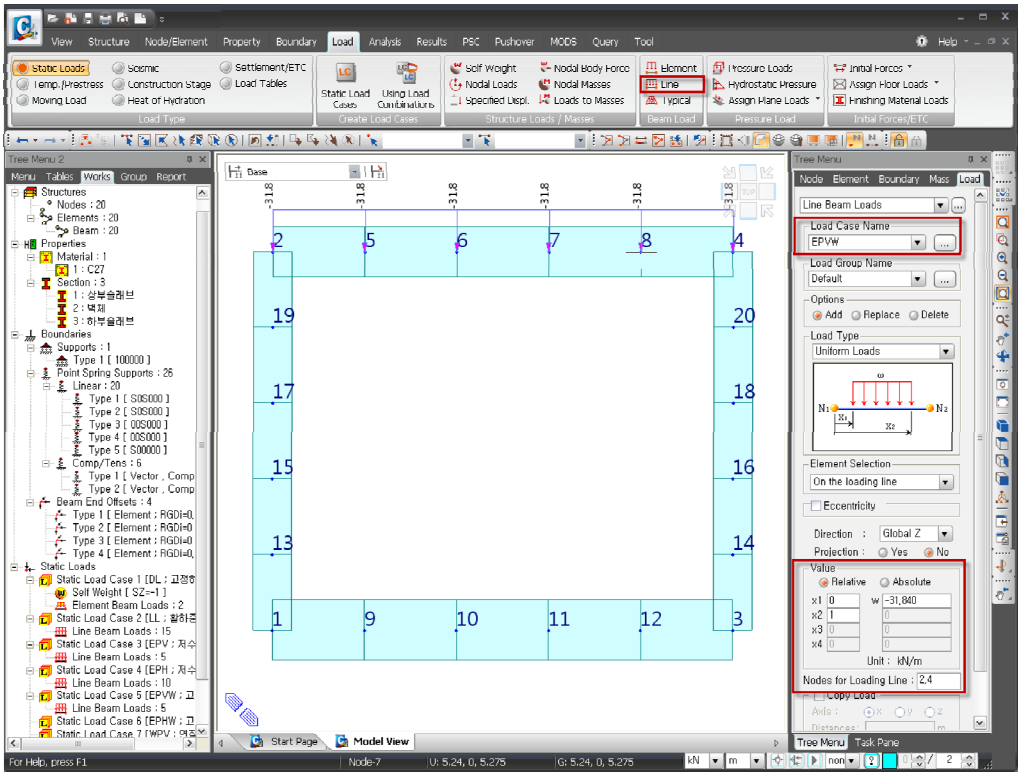
05. 상시하중 입력

6. 고수위 토압 입력

고수위 토압 중 먼저 연직토압을 입력합니다.

Load > ***Line Beam Loads***

1. Load Case 선택란에 **'EPVW'** 선택
2. Options 선택란에 **'Add'** 확인
3. Load Type 선택란에 **'Uniform Loads'** 확인
4. Element Selection 선택란에 **'On the loading line'** 확인
5. Direction 선택란에 **'Global Z'** 확인
6. Value 선택란에 **'Relative'** 확인 및 x1, x2 입력란에 각각 **'0, 1'** 확인
7. w 입력란에 **'-31.840'** 입력
8. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 2'** 와 **'절점 4'** 를 차례로 클릭



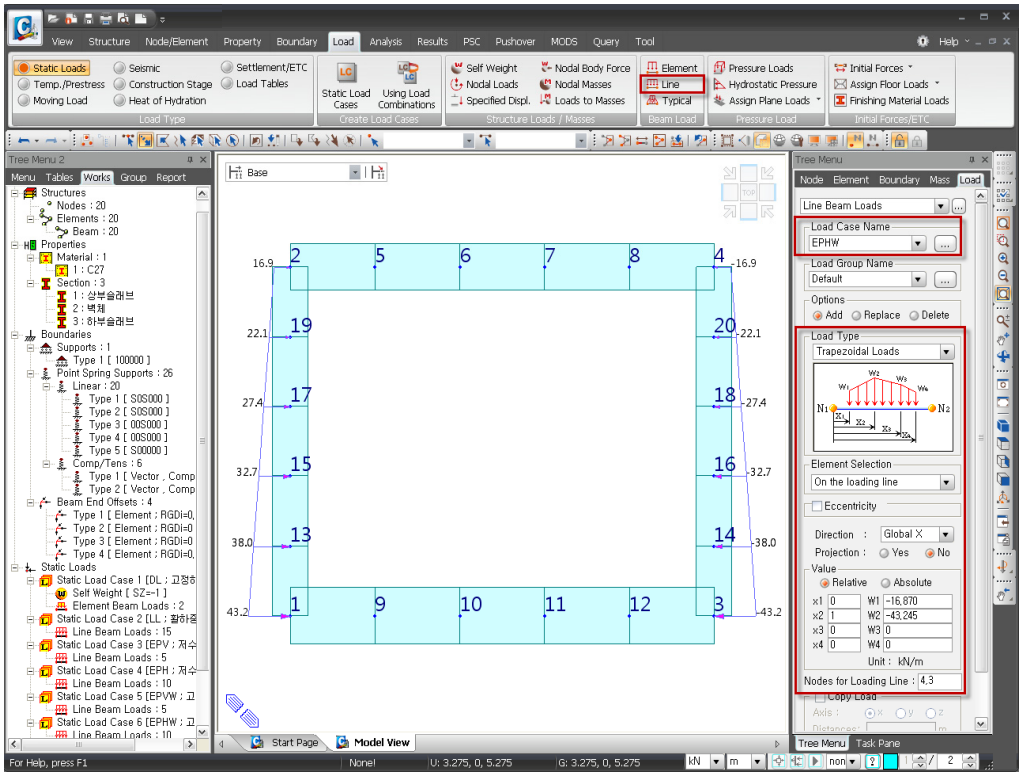
| 고수위 연직토압 입력 |

05. 상시하중 입력

고수위 토압 중 수평토압을 입력합니다.

Load > ***Line Beam Loads***

1. Load Case 선택란에 **'EPHW'** 선택
2. Options 선택란에 **'Add'** 확인
3. Load Type 선택란에 **'Trapezoidal Loads'** 확인
4. Element Selection 선택란에 **'On the loading line'** 확인
5. Direction 선택란에 **'Global X'** 선택
6. Value 선택란에 **'Relative'** 확인
7. x1, x2, x3, x4 입력란에 각각 **'0, 1, 0, 0'** 입력
8. w1, w2, w3, w4 입력란에 각각 **'16.870, 43.245, 0, 0'** 입력
9. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 2'** 와 **'절점 1'** 을 차례로 클릭
10. w1, w2, w3, w4 입력란에 각각 **'-16.870, -43.245, 0, 0'** 입력
11. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 4'** 와 **'절점 3'** 을 차례로 클릭



| 고수위 수평토압 입력 |

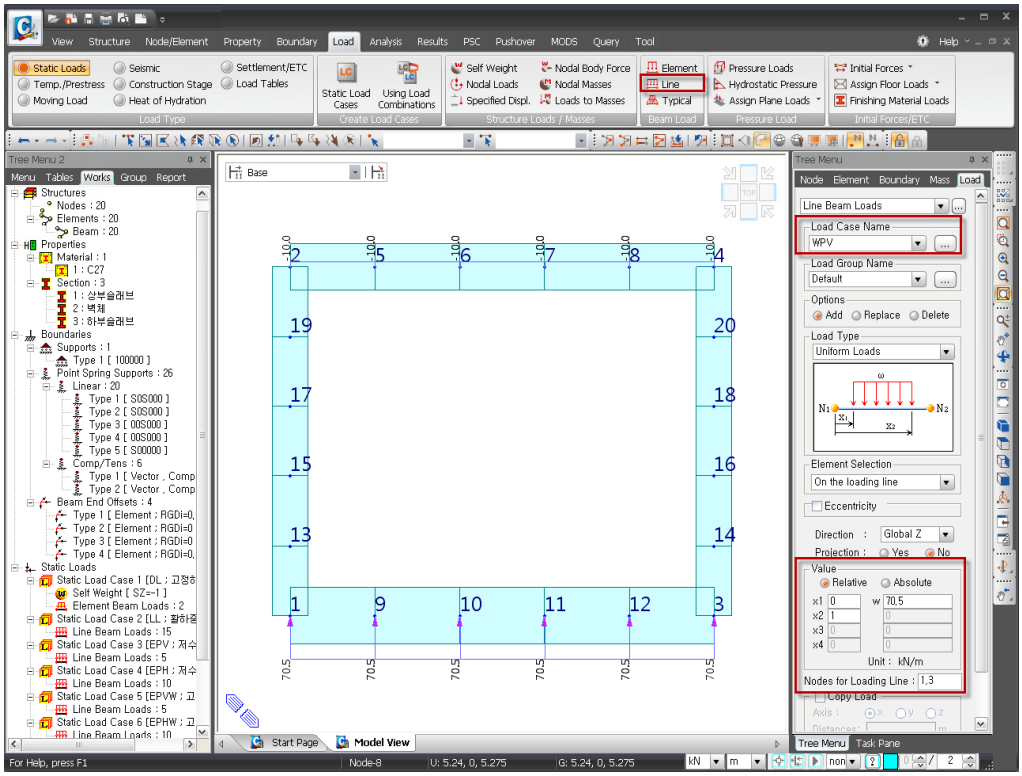
05. 상시하중 입력

7. 수압 입력

구조물에 작용하는 수압 중 연직방향 수압을 입력합니다.

Load > Line Beam Loads

1. Load Case 선택란에 **'WPV'** 선택
2. Options 선택란에 **'Add'** 확인
3. Load Type 선택란에 **'Uniform Loads'** 확인
4. Element Selection 선택란에 **'On the loading line'** 확인
5. Direction 선택란에 **'Global Z'** 확인
6. Value 선택란에 **'Relative'** 확인 및 x1, x2 입력란에 각각 **'0, 1'** 확인
7. w 입력란에 **'-10.000'** 입력
8. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 2'** 와 **'절점 4'** 를 차례로 클릭
9. w 입력란에 **'70.500'** 입력
10. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 1'** 과 **'절점 3'** 을 차례로 클릭



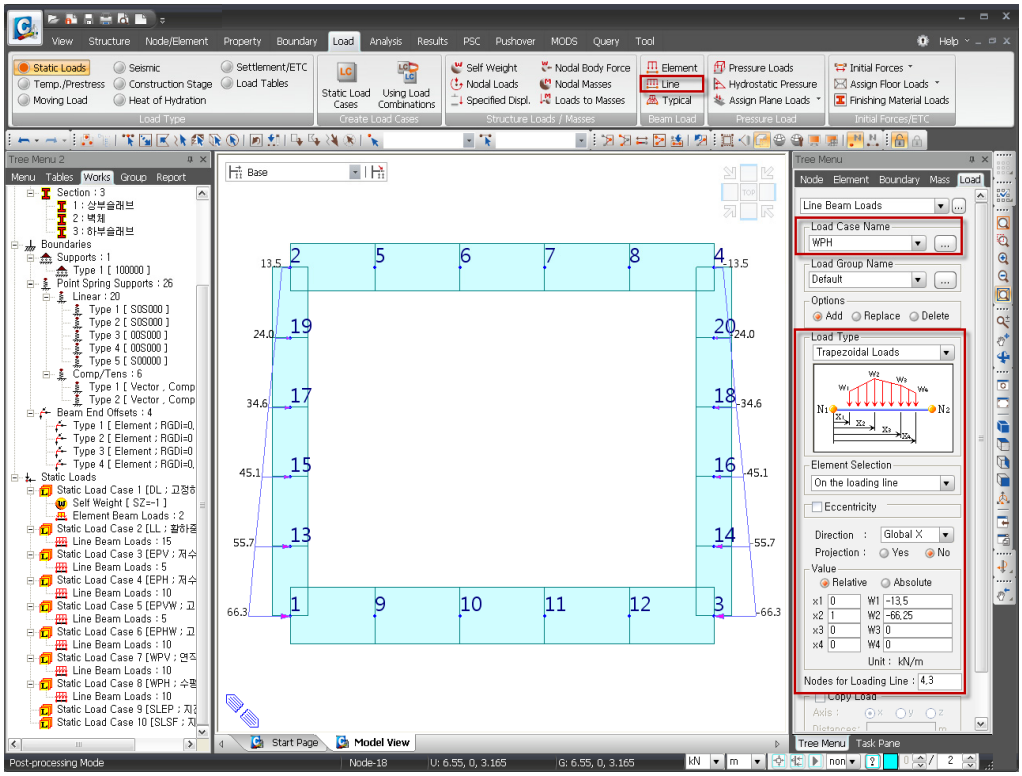
| 연직수압 입력 |

05. 상시하중 입력

구조물에 작용하는 수압 중 수평방향 수압을 입력합니다.

Load > ***Line Beam Loads***

1. Load Case 선택란에 **'WPH'** 선택
2. Options 선택란에 **'Add'** 확인
3. Load Type 선택란에 **'Trapezoidal Loads'** 확인
4. Element Selection 선택란에 **'On the loading line'** 확인
5. Direction 선택란에 **'Global X'** 선택
6. Value 선택란에 **'Relative'** 확인
7. x1, x2, x3, x4 입력란에 각각 **'0, 1, 0, 0'** 입력
8. w1, w2, w3, w4 입력란에 각각 **'13.500, 66.250, 0, 0'** 입력
9. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 2'** 와 **'절점 1'** 을 차례로 클릭
10. w1, w2, w3, w4 입력란에 각각 **'-13.500, -66.250, 0, 0'** 입력
11. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 4'** 와 **'절점 3'** 을 차례로 클릭



| 수평수압 입력 |

06. 지진시하중 입력

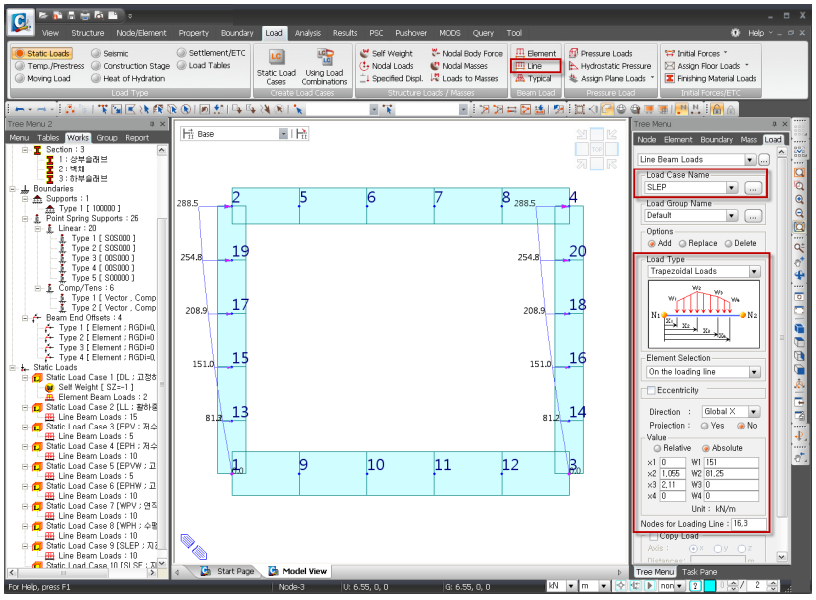
지진시 하중은 지하공동구 내진설계기준 (건설교통부,2004)을 참고하여 응답변위법으로 산정하며, 설계수준은 붕괴방지수준을 적용합니다. 지진시 하중산정 과정은 첨부되어 있는 **'암거_1cell.xls'**의 **'하중_지진시(응답변위)'** 탭을 참고하시기 바랍니다.

1. 측면토압 입력

지진 시 상대변위에 의해 발생하는 측면토압을 입력합니다.

Load> ***Line Beam Loads***

1. Load Case 선택란에 **'SLEP'** 선택
2. Options 선택란에 **'Add'** 확인
3. Load Type 선택란에 **'Trapezoidal Loads'** 선택
4. Element Selection 선택란에 **'On the loading line'** 확인
5. Direction 선택란에 **'Global X'** 확인
6. Value 선택란에 **'Absolute'** 선택
7. x1, x2, x3, x4 입력란에 각각 **'0, 1.055, 2.11, 3.165'** 입력
8. W1, W2, W3, W4 입력란에 각각 **'288.478, 254.787, 208.904, 151'** 입력
9. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 2'**와 **'절점 15'** 를 차례로 클릭
10. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 4'**와 **'절점 16'** 을 차례로 클릭
11. x1, x2, x3, x4 입력란에 각각 **'0, 1.055, 2.11, 0'** 입력
12. W1, W2, W3, W4 입력란에 각각 **'151, 81.25, 0, 0'** 입력
13. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 15'**와 **'절점 1'** 을 차례로 클릭
14. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 16'**과 **'절점 3'** 을 차례로 클릭



| 지진시 측면토압 입력 |

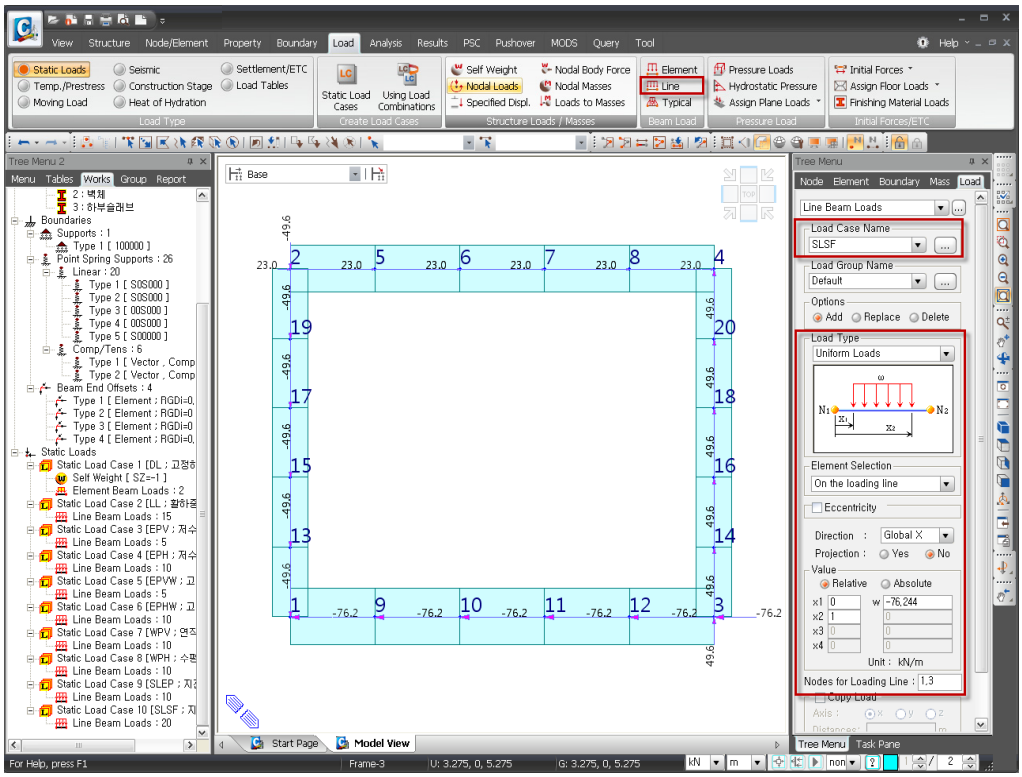
06. 지진시하중 입력

2. 주면전단력 입력

지진 시 발생하는 주면전단력을 입력합니다.

Load > Line Beam Loads

1. Load Case 선택란에 **'SLSF'** 선택
2. Options 선택란에 **'Add'** 확인
3. Load Type 선택란에 **'Uniform Loads'** 확인
4. Element Selection 선택란에 **'On the loading line'** 확인
5. Direction 선택란에 **'Global Z'** 확인
6. Value 선택란에 **'Relative'** 확인 및 x1, x2 입력란에 각각 **'0, 1'** 확인
7. w 입력란에 **'-49.604'** 입력
8. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 2'**와 **'절점 1'**를 차례로 클릭
9. w 입력란에 **'49.604'** 입력
10. 위와 같은 방법으로 **'절점 4'**와 **'절점 3'**을 차례로 클릭
11. Direction 선택란에 **'Global X'** 확인
12. w 입력란에 **'22.963'** 입력
13. 위와 같은 방법으로 **'절점 2'**와 **'절점 4'**를 차례로 클릭
14. w 입력란에 **'-76.244'** 입력
15. 위와 같은 방법으로 **'절점 1'**과 **'절점 3'**을 차례로 클릭



| 지진시 주면 전단력 입력 |

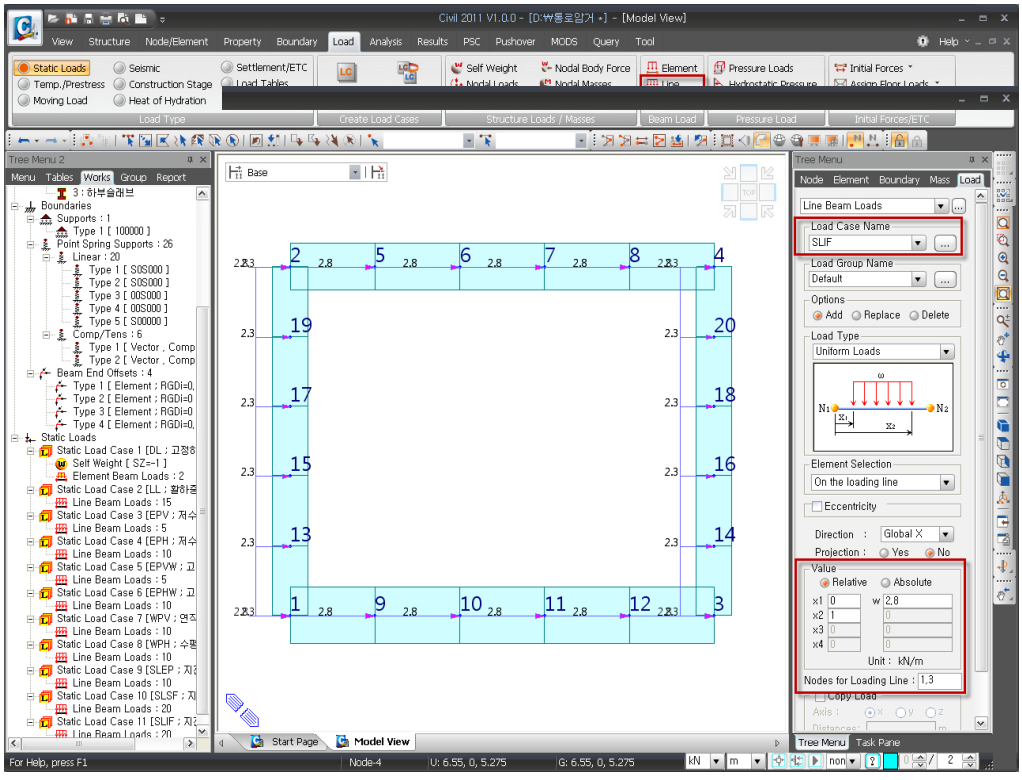
06. 지진시하중 입력

3. 관성력 입력

지진 시 지진가속도로 인한 관성력을 입력합니다.

Load > ***Line Beam Loads***

1. Load Case 선택란에 **'SLIF'** 선택
2. Options 선택란에 **'Add'** 확인
3. Load Type 선택란에 **'Uniform Loads'** 확인
4. Element Selection 선택란에 **'On the loading line'** 확인
5. Direction 선택란에 **'Global X'** 선택
6. Value 선택란에 **'Relative'** 확인 및 x1, x2 입력란에 각각 **'0, 1'** 확인
7. w 입력란에 **'2.3'** 입력
8. Nodes for Loading Line 항목을 한번 클릭하여 연녹색으로 반전한 뒤 **'절점 2'**와 **'절점 1'**을 차례로 클릭
9. 위와 같은 방법으로 **'절점 4'**와 **'절점 3'**을 차례로 클릭
10. w 입력란에 **'2.8'** 입력
11. 위와 같은 방법으로 **'절점 2'**와 **'절점 4'**를 차례로 클릭
12. w 입력란에 **'3.68'** 입력
13. 위와 같은 방법으로 **'절점 1'**과 **'절점 3'**을 차례로 클릭



| 지진시 관성력 입력 |

07. 하중 재하형태 입력

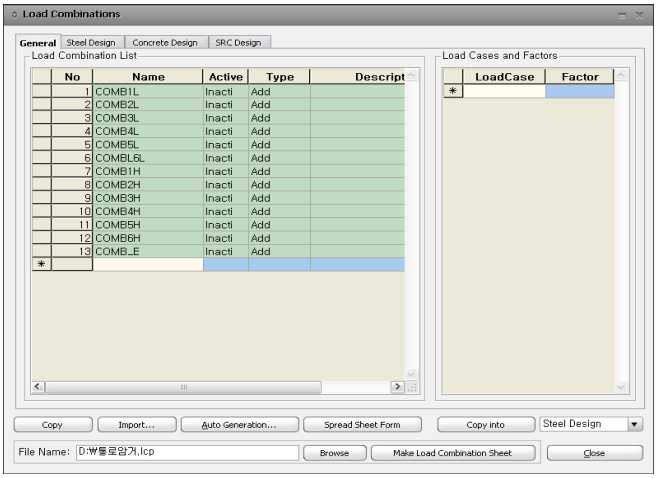
1. 하중조합 생성

하중조합을 생성합니다. 본 따라하기에서는 아래표와 같이 하중조합을 입력합니다. 하중조합의 기준은 크게 상시와 지진시로 나뉘며 상시에서는 다시 극한하중과 사용하중으로 구분하여 조합합니다. 그리고 지하수의 수위에 따라 고수위와 저수위로 구분하여 하중조합을 생성합니다.

No	Name	Load Combination
1	COMB1L	1.3DL + 2.15LL + 1.5EPV + 1.7EPH
2	COMB2L	1.3DL + 2.15LL + 1.5EPV + 0.65EPH
3	COMB3L	1.3DL + 0.0LL + 1.5EPV + 1.7EPH
4	COMB4L	1.3DL + 0.0LL + 1.5EPV + 0.65EPH
5	COMB5L	1.0DL + 2.15LL + 1.0EPV + 1.7EPH
6	COMB6L	1.0DL + 0.0LL + 1.0EPV + 1.7EPH
7	COMB1H	1.3DL + 2.15LL + 1.5EPVW + 1.7EPHW + 1.5WPV + 1.3WPH
8	COMB2H	1.3DL + 2.15LL + 1.5EPVW + 0.65EPHW + 1.5WPV + 1.3WPH
9	COMB3H	1.3DL + 0.0LL + 1.5EPVW + 1.7EPHW + 1.5WPV + 1.3WPH
10	COMB4H	1.3DL + 0.0LL + 1.5EPVW + 1.7EPHW + 1.5WPV + 1.3WPH
11	COMB5H	1.0DL + 2.15LL + 1.0EPVW + 1.7EPHW + 1.0WPV + 1.3WPH
12	COMB6H	1.0DL + 0.0LL + 1.0EPVW + 1.7EPHW + 1.0WPV + 1.3WPH
13	COMB_E	1.0DL + 0.0LL + 1.0SLEP + 1.0SLSF + 1.0SLIF

Results > ***Load Combination***

1. General 탭 확인
2. Load Combination List 에서 Name 항목에 **'COMB1L'** 입력
3. Active 항목에 **'Active'** 확인, Type 항목에 **'Add'** 확인
4. Load Cases and Factors 에서 **'DL'** 선택, Factor에 **'1.3'** 확인
5. 3번과정과 동일하게 **'LL', 'EPV', 'EPH'** 선택 후 Factor란에 각각 **'2.15', '1.5', '1.7'** 입력
6. Load Combination List 에서 Name 항목에 **'COMB2L'** 입력
7. 위의 표를 참조하여, **'COMB1L'**과 동일한 방법으로 조합



| 하중조합 생성 |

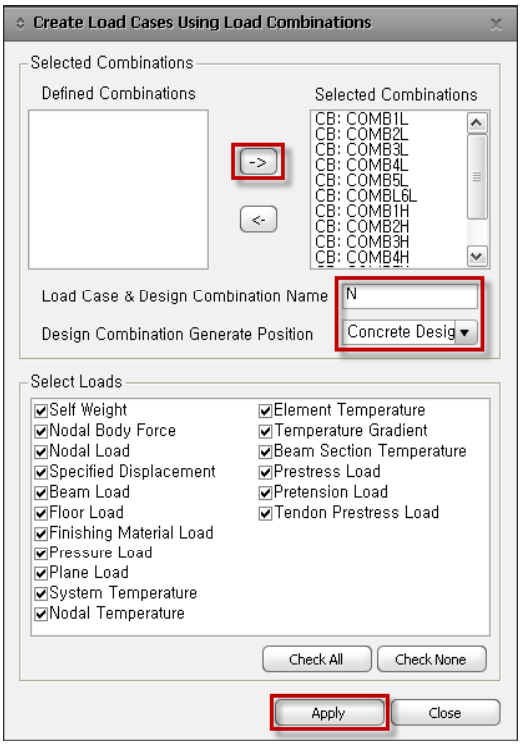
07. 하중 재하형태 입력

2. 동시재하 하중 생성

해석결과의 신뢰성을 위하여 동시재하 하중을 만들어 해석합니다.

Loads > Create Load Cases Using Load Combinations

1. Defined Combinations 선택란에서 **'모든 하중조합'** 선택
2. -> 버튼을 클릭하여 Selected Combinations 란으로 이동
3. Load Case & Design Combination Name 란에 **'N'** 입력
4. Design Combination Generate Position에 **'Concrete Design'** 확인
5. Select Loads 란에 Check All 버튼 클릭
6. Apply 버튼 클릭
7. Close 버튼 클릭



| 동시재하 하중 생성 |

Tip | 동시재하 하중

하중조합은 해석 전, 후 어느 단계에서도 가능합니다. 즉, 조합된 하중과 해석은 관계가 없다는 것을 뜻합니다. 만일 LC1과 LC2을 조합한 COMB1이 있다고 가정하면 COMB1은 조합된 상태에서의 해석이 아닌 LC1과 LC2의 결과에 하중계수만 곱하여 더해준 결과입니다. 따라서 LC1과 LC2의 결과가 신뢰할 수 있어야 합니다.

지중 구조물에서는 양압력 때문에 종종 무한대의 변위가 발생하게 됩니다. 압축전담으로 경계조건을 설정하게 되면 양압력에 대해서는 무한대의 Z방향 변위가 발생하게 되어 신뢰할 수 없는 값을 가지게 됩니다.

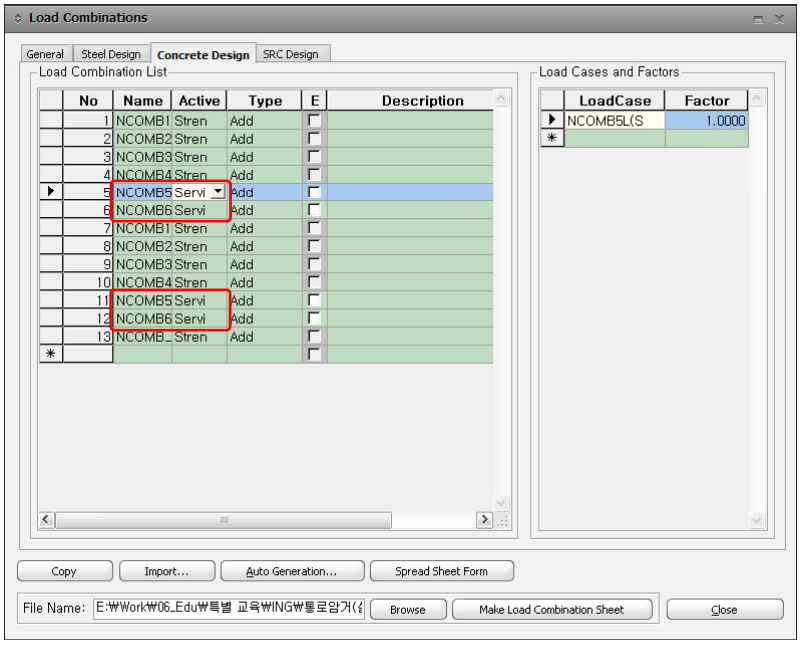
따라서 동시 재하하중으로 만들어 해석하여 위 문제를 해결합니다.

07. 하중 재하형태 입력

생성된 동시재하 하중에 대하여 하중조합 종류를 지정합니다.

Results > Load Combination(Ctrl+F9)

1. 하중조합 종류에서 **'Concrete Design'** 선택
2. 사용하중계수가 적용된 하중조합인 NCOMB5L, NCOMB6L, NCOMB5H, NCOMB6H에 대하여 **'Serviceability'** Type으로 변환
3. Close 버튼 클릭



| 설계하중조합 구분 |

Tip | 설계하중조합

콘크리트 부재 설계시 계수하중에 대한 단면검토와는 별도로 사용하중조합에 대한 단면검토가 수행되어야 하므로, 계수하중조합과 사용하중조합을 구분합니다.

midas UMD를 통한 단면 검토시 지정된 설계하중조합의 Type에 의하여 설계부재력이 구분되어 자동 입력됩니다.

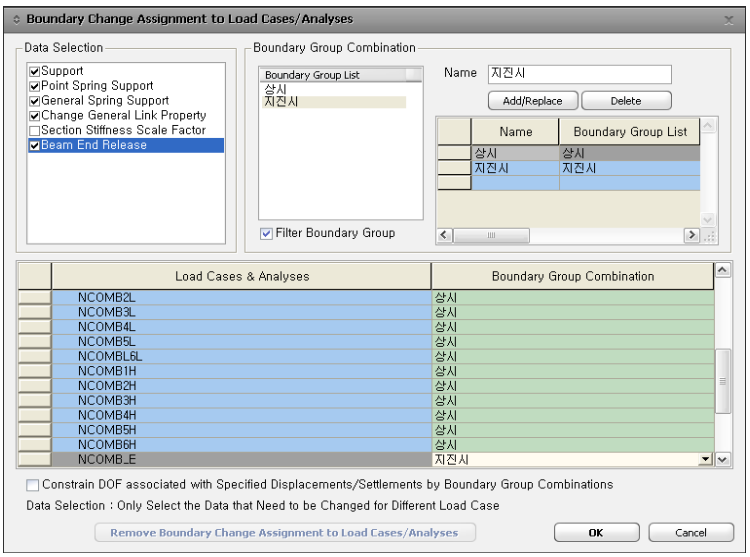
07. 하중 재하형태 입력

3. 하중별 경계조건 적용

상시 및 지진 시 하중 및 경계조건을 하나의 모델에 정의하였으므로 하중과 경계조건을 서로 연결시켜 줍니다.

Analysis > Boundary Change Assignment

1. Data Selection에서 모든 항목에 **Check on**
2. Boundary Group Combination의 Name란에 **'상시'** 입력
3. Boundary Group Combination의 Boundary Group List에서 **'상시'** 클릭
4. Add/Replace 버튼 클릭
5. Static Load Case의 'NCOMB1L~NCOMB6H'의 Boundary Group Combination 선택 목록에서 **'상시'** 선택
6. Boundary Group Combination의 Name란에 **'지진시'** 입력
7. Boundary Group Combination의 Boundary Group List에서 **'지진시'** 클릭
8. Add/Replace 버튼 클릭
9. Static Load Case의 'NCOMB_E'의 Boundary Group Combination 선택 목록에서 **'지진시'** 선택
10. OK 버튼 클릭



| 하중별 경계조건 적용 |

Tip | 하중별 경계조건 적용

하나의 모델에서 서로다른 경계조건을 동시에 고려할 수 없다면, 두 개의 모델을 만들고 해석한 후, 하중 조합된 부재력은 Excel을 이용해 별도로 산출해야 하는 번거로움이 있습니다.

따라서, Boundary Group을 이용하여 두 가지 경계조건을 정의하고, 하중조건 해석조건 별로 사용할 경계조건 그룹을 선택합니다.

하나의 모델에서 두 가지 경우에 대한 해석이 가능하므로, 부재력 또한 손쉽게 조합할 수 있습니다.

08. 구조해석 수행

구조해석을 수행합니다.

Analysis > ***Analysis*** 클릭

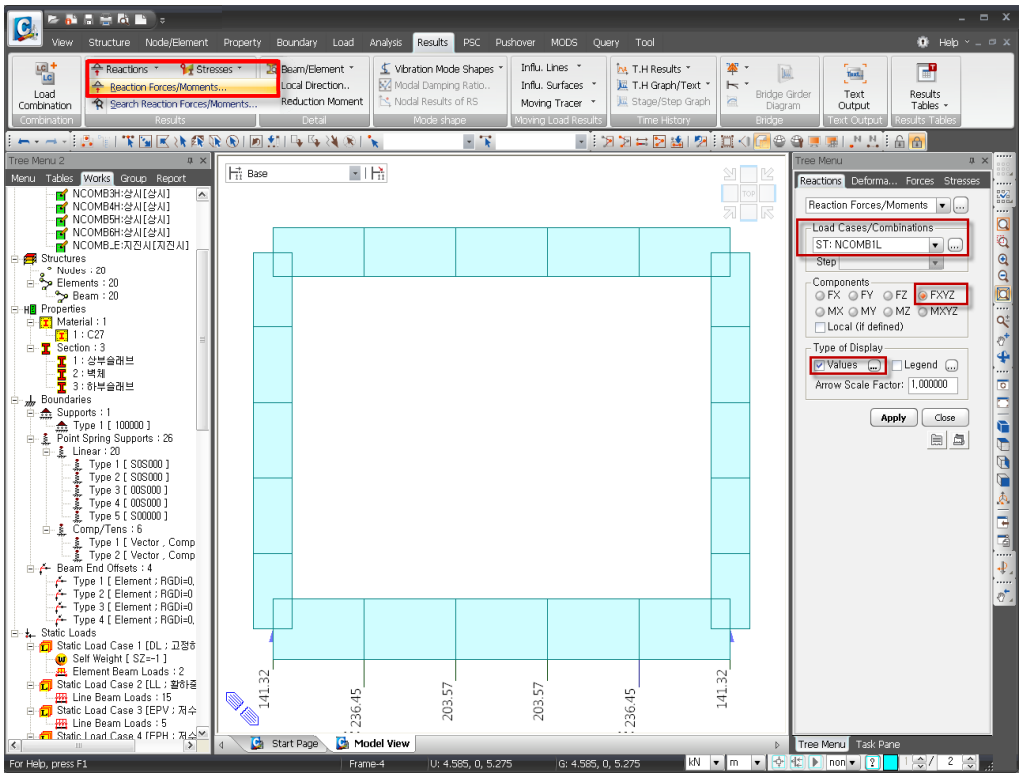
09. 결과 확인

1. 반력 확인

하중에 의한 구조물의 반력을 확인합니다.

Results > Reactions > ***Reaction Forces/Moments***

1. Load Cases/Combinations 선택란에서 **'ST : NCOMB1L'** 선택
2. Components 선택란에서 **'FXYZ'** 선택
3. Type of Display 선택란에서 **'Values'**에 **Check on**
4. Values의 우측 버튼 클릭
5. Number Options의 Decimal Points 입력란에 **'2'** 입력
6. OK 버튼 클릭
7. Apply 버튼 클릭



| 반력 확인 |

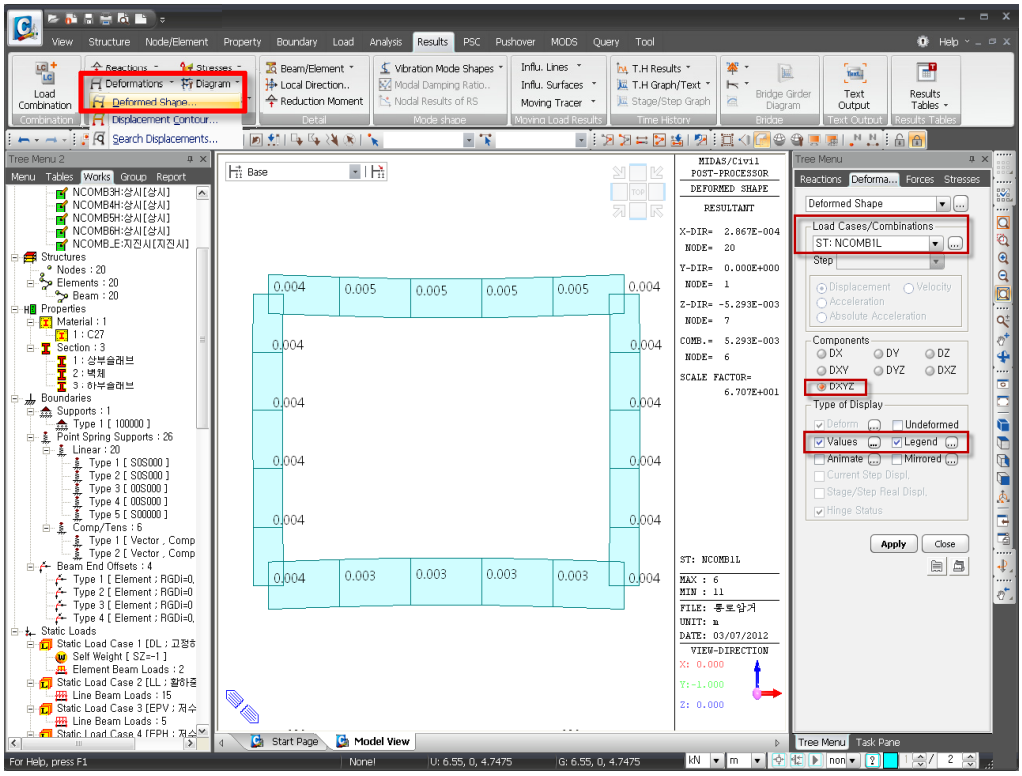
09. 결과 확인

2. 변위 확인

변위를 확인합니다.

Results > Deformations > ***Deformed Shape***

1. Load Cases/Combinations 선택란에서 **'ST : NCOMB1L'** 선택
2. Components 선택란에 **'DXYZ'** 확인
3. Type of Display 선택란에 **'Values', 'Legend'**에 **Check on**
4. Apply 버튼 클릭



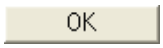
| 변위 확인 |

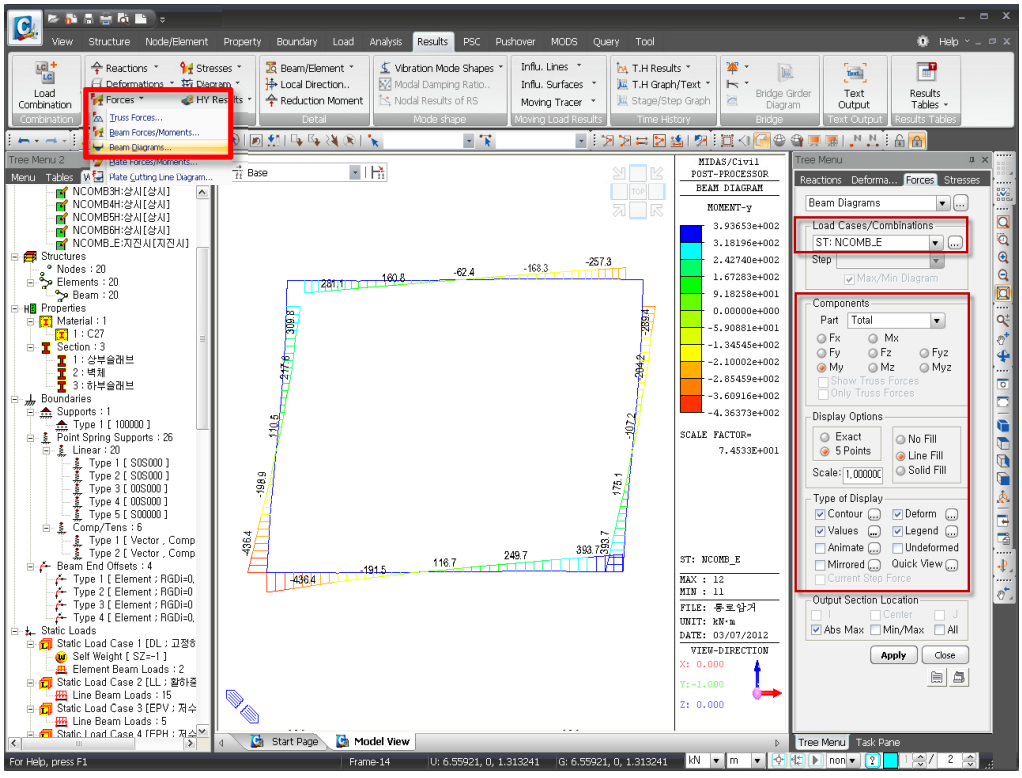
09. 결과 확인

3. 부재력 확인

지진시 하중조합에 의한 정/부 모멘트를 확인합니다.

Results > Forces > ***Beam Diagrams***

1. Load Case/Combinations 선택란에 **'ST : NCOMB_E'** 선택
2. Components 선택란에 **'My'** 확인
3. Display Options 선택란에 **'5 Points', 'Line Fill'** 확인
4. Type of Display 선택란에 **'Contour', 'Deform', 'Values', 'Legend'**에 **Check on**
5. Values의 우측 버튼 클릭
6. Number Options의 Decimal Points 입력란에 **'1'** 입력
7.  버튼 클릭
8. 버튼 클릭



| 정/부 모멘트 확인 |

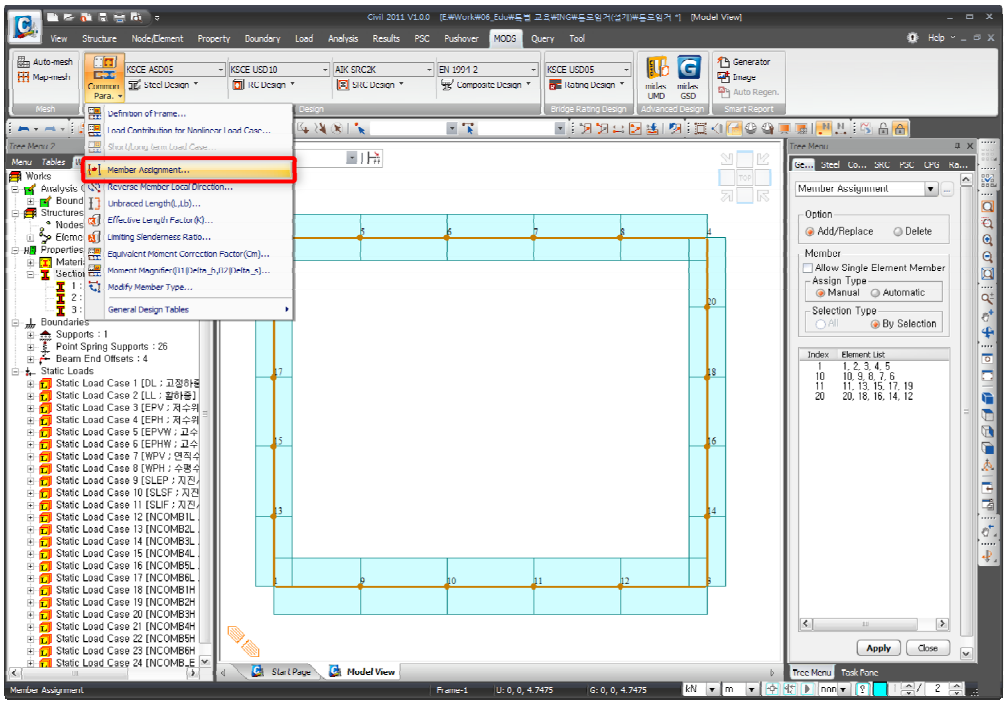
10. 단면검토

1. 부재설계를 위한 Member Assignment

여러 개로 분할된 요소를 하나의 부재로 지정합니다.

MODS > Common Parameter > Member Assignment

1. 전체단면 선택 (상단Toolbar에서 ***Select All*** 선택)
2. Member Assignment > Option에서 **'Add/Replace'** 확인
3. Apply 버튼 클릭



| 부재설계를 위한 Member 지정 |

10. 단면검토

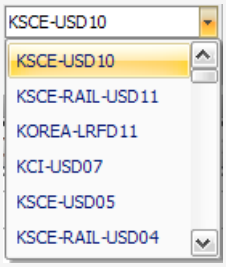
2. 철근정보 입력

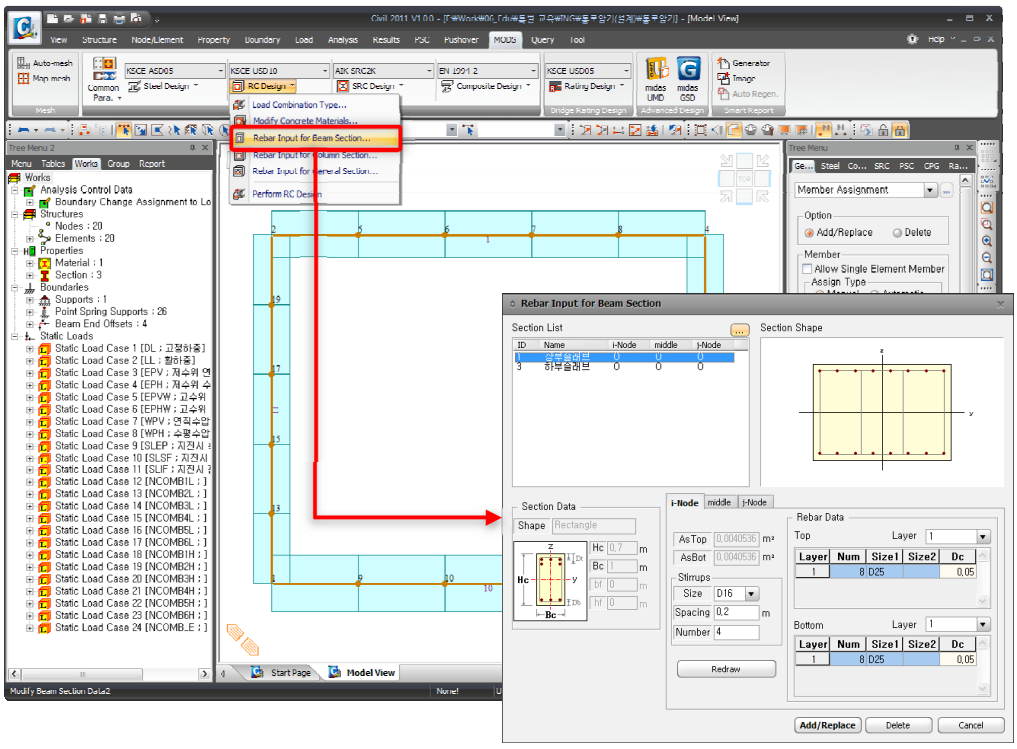
콘크리트 보 설계를 위한 철근정보를 입력합니다.

MODS > Design > RC Design

1. 설계기준을 ***'KSCE-USD10'*** 으로 선택
2. Rebar Input for Beam Section 클릭
3. Section List에서 ***'상부슬래브'*** 부재 선택
4. Rebar Data의 Top 위치에 ***'Num : 8, Size1 : D25, DC : 0.05(m)'*** 입력
5. Rebar Data의 Bottom 위치에 ***'Num : 8, Size1 : D25, DC : 0.05(m)'*** 입력
6. Stirrups에서 ***'Size : D16, Spacing : 0.2(m), Number : 4'*** 입력
7. Redraw 버튼을 클릭하여 Section Shape에 작도된 배근정보 확인
8. **Add/Replace** 버튼을 클릭하여 배근정보 등록

설계기능 실행아이콘 상단에 표시된 설계기준에 의해 단면설계가 수행되며, 표시된 설계기준을 클릭하면 설계기준 리스트가 화면상에 바로 보여지므로 직관적으로 설계기준을 변경할 수 있습니다.





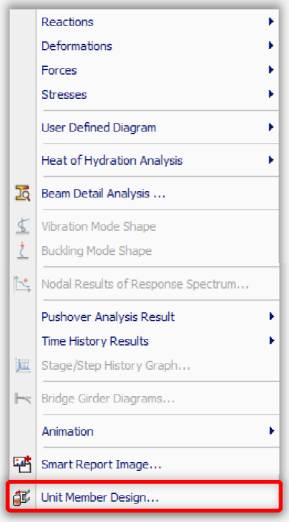
| 배근정보 입력 |

10. 단면검토

3. 단면설계 실행

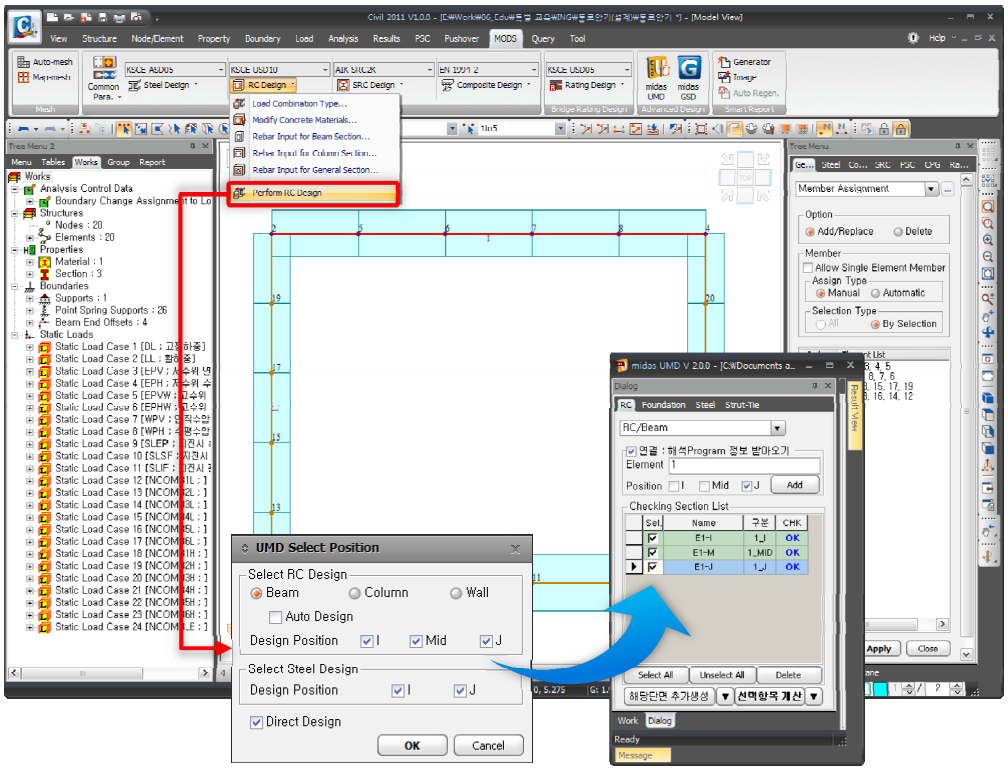
상부슬래브에 대한 단면검토 결과를 확인합니다.

🎧요소 선택 후 Context Menu의 Unit Member Design을 클릭하여 빠른 단면설계를 수행할 수 있습니다.



MODS > Design > RC Design > Perform RC Design 🎧

1. Select Single 클릭 후, ***'1 to 5'*** 요소 선택 (상부슬래브 부재 선택)
2. UMD Select Position의 Design Position에서 ***'I, Mid, J'*** 선택
3. 단면검토 결과를 바로 확인 하기 위한 ***'Direct Design'*** 선택
4. 상부슬래브의 좌측 단부(E1-I), 중앙부(E1-M), 우측 단부(E1-J)의 단면검토 결과 확인



| 설계위치 선택 | | midas UMD |

Tip | Design Position

하나의 요소 내에서도 요소의 시작부분(I)에서 끝부분(J)까지 부재력이 변화되고, 단면의 높이도 달라질 수 있으므로 단면설계를 위해서는 설계되는 단면의 위치를 지정해야만 합니다.

Member Assignment가 적용되어있을 경우 Member는 하나의 요소처럼 적용되므로 Member 시작부분(I), 중앙부분(Mid), 끝부분(J)으로 설계위치를 지정하면, 예제와 같은 상부슬래브의 경우 상부슬래브 좌측 단부, 중앙부, 우측단부를 고려한 단면설계를 수행할 수 있습니다.

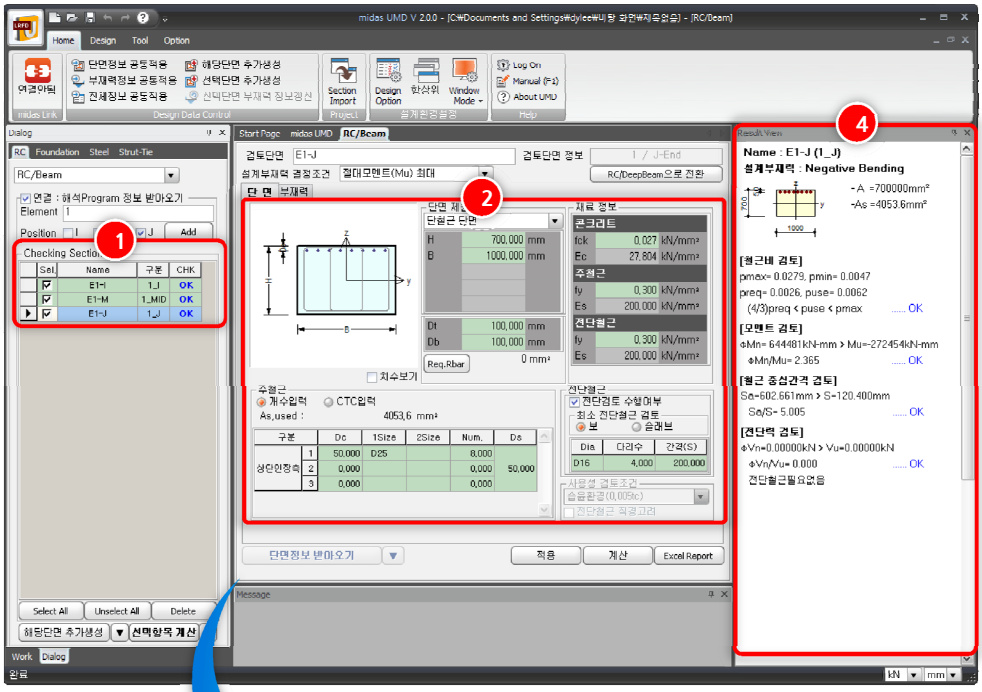
10. 단면검토

4. 단면검토결과 확인

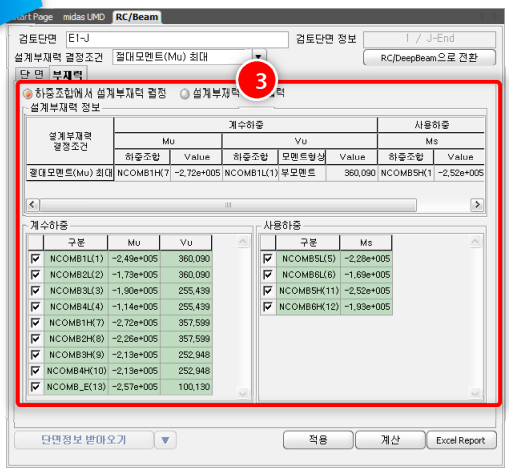
midas UMD에서 수행된 단면검토결과를 확인합니다.

midas UMD > RC/Beam

1. 단면검토 리스트 및 검토결과 확인
2. Civil 2012에서 자동입력된 단면 제원 및 철근정보 확인
3. Civil 2012에서 자동입력된 해석부재력 정보 확인
4. 단면검토 요약결과 확인



| 단면검토 결과 확인 |



| 설계부재력 확인 |

11. 구조계산서 생성

1. 요약보고서

검토된 단면에 대한 구조계산서를 생성합니다.

midas UMD > RC/Beam

1. Excel Report 버튼 클릭

◈ 단면검토 요약

▶ 설계단면력 요약

검토 부재	계수하중		사용하중	비 고
	M_u	V_u	M_s	
E1-J	-272.454	360.09	-252.021	

▶ 휨설계 요약

검토 부재	유효높이 d(mm)	피복 d'(mm)	$_{applied}A_s$ (㎟)	$_{used}A_s$ (㎟)		M_u (kN·m)	ΦM_n (kN·m)	S.F	비 고
E1-J	650	50	1670.703	D25@8EA	4053.6	-272.454	644.481	2.365	OK

▶ 전단설계 요약

검토 부재	$_{applied}A_v$ (㎟)	$_{used}A_v$	s (mm)	V_u (kN)	ΦV_c (kN)	ΦV_s (kN)	S.F	비 고
E1-J	233.333	D16-4legs	200	360.09	450.333	619.632	2.971	OK

▶ 철근 중심간격 검토 요약

검토 부재	인장응력 f_s (MPa)	사용철근간격 s (mm)	허용철근간격 s_a (mm)	비 고
E1-J	104.536	120.4	602.661	..... OK

11. 구조계산서 생성

2. 상세 계산서

1. E1-J

1) 계산조건

설계기준강도	f_{ck}	=	27.00 MPa	부재폭	b_w	=	1000.00 mm
인장철근항복강도	f_y	=	300.00 MPa	부재의 총 높이	h	=	700.00 mm
전단철근항복강도	f_{yt}	=	300.00 MPa	유효높이	d	=	650.00 mm
계수 모멘트	M_u	=	-272.45 kN·m	최외측 인장철근중심에서 인장연단까지의 거리	d_c	=	50.00 mm
계수 전단력	V_u	=	360.09 kN				
휨강도 감소계수	φ_f	=	0.85	사용휨철근량	A_s	=	4053.60 mm²
전단강도 감소계수	φ_s	=	0.8	사용전단철근량	A_v	=	794.40 mm²

2) 휨철근량 산정

$_{req}A_s$ = 1670.70 mm²

ε_s = 0.07294

φ_f = 0.85

a = 21.83 mm

최소허용변형률($\varepsilon_{s\ allow}$) 검토

$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} \cdot (h-d_c-c)/c$ = 0.0283 ≥ $\varepsilon_{s\ allow}$ = 0.004 ..... OK

여기서, ε_s, ε_{cu} 는 각각 철근의 변형률과 압축연단에서 콘크리트의 극한 변형률을 나타낸다.

$$\rho_b = \left(\frac{0.85 \times f_{ck} \times \beta_1}{f_y}\right)\times\left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + f_y/E_s}\right) = 0.0433$$

$$\rho_{b'} = \left(\frac{0.85 \times f_{ck} \times \beta_1}{f_y}\right)\times\left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{s\ allow}}\right) = 0.0279$$

$_{max}A_s = \rho_{b'} \cdot b_w \cdot d$ = 18114.11 mm²

최소철근량 검토

$_{min}A_{s1} = 0.25 \cdot \sqrt{f_{ck}}/f_y \cdot b_w \cdot d$ = 2814.58 mm²

$_{min}A_{s2} = 1.4 / f_y \cdot b_w \cdot d$ = 3033.33 mm²

$_{min}A_s = \max[\ _{min}A_{s1}, _{min}A_{s2}\ ]$ = 3033.33 mm²

$_{max}A_s$	$_{min}A_s$	$_{req}A_s$	$_{(4/3)req}A_s$	$_{applied}A_s$
18114.11 mm²	3033.33 mm²	1670.70 mm²	2227.60 mm²	2227.60 mm²

사용철근량 A_s = 4053.60 mm² ≥ $_{applied}A_s$ ..... OK

D25-8.00EA = 4053.60 mm²

설계모멘트 강도

$\varphi M_n = 0.85 \cdot A_s \cdot f_s \cdot (d-a/2)$ = 644.48 kN·m ≥ M_u = -272.45 kN·m ..... OK

a = 53.02 mm

ε_s = 0.02826

f_s = 300.00 MPa

3) 전단철근량 산정

$\varphi V_c = \Phi \cdot 1/6 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot d$ = 450.33 kN : 콘크리트 공칭전단강도

구 분	φV_c	$\varphi V_c/2$	V_u
보	450.33 kN	225.17 kN	360.09 kN

∴ $\varphi V_c/2 < V_u < \varphi V_c$ 이므로 최소전단철근 보강

$_{min}A_{v,1} = 0.35 \cdot b_w \cdot s / f_{yt}$ = 233.33 mm²

$_{min}A_{v,2} = 0.0625\sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot s / f_{yt}$ = 216.51 mm²

$_{min}A_v = \max[\ _{min}A_{v,1}, _{min}A_{v,2}]$ = 233.33 mm²

사용철근량 A_v = D16 - 4.00 Legs = 794.40 mm² ≥ $_{min}A_v$ ..... OK

수평간격 s = 200.00 mm ≤ min[0.5d, 600mm] = 325.00 mm ..... OK

11. 구조계산서 생성

2. 상세 계산서

4) 철근 중심간격 검토

사용하중모멘트	M_s	=	-252.02 kN·m	인장철근 도심까지의 거리	y	=	50.00 mm
철근탄성계수	E_s	=	200000.00 MPa	최외측 인장철근중심까지의 거리	d_c	=	50.00 mm
콘크리트탄성계수	E_c	=	27804.06 MPa	인장철근량	A_s	=	4053.60 mm²
탄성계수비	n	=	7				

$\rho = A_s / (b_w \cdot d) = 0.006236$: 철근비

$k = -n\rho+\sqrt{((n\rho)^2+2n\rho)} = 0.255033$: 중립축비

$x = k \cdot d = 165.77$ mm : 압축측 연단에서 중립축까지 거리

$I_{cr} = 1/3\ b \cdot x^3 + n \cdot As \cdot (d-x)^2$

$= 8171816037.06$ mm⁴ : 중립축에 대한 환산단면 2차모멘트

철근의 응력

$f_s = n \cdot M_s \cdot (h-x-d_c) / I_{cr} = 104.54$ MPa ≤ $f_y = 300.00$ MPa ∴ $f_s = 104.54$ MPa

허용 철근간격 검토

$s_{a1} = 375 \cdot (210 / f_s) - 2.5 \cdot C_c = 660.08$ mm

$s_{a2} = 300 \cdot (210 / f_s) = 602.66$ mm

$\min[s_{a1}, s_{a2}] = 602.66$ mm ≥ s = 120.40 mm ..... OK

여기서, C_c는 인장철근이나 긴장재의 표면과 콘크리트 표면사이의 최소두께를 나타냄. C_c = 37.30 mm