

사용자 매뉴얼

LNG 저장탱크 설계검토

AGENDA

I.	개요	2
	1. LNG 저장탱크 수치해석 및 설계검토	
	2. LNG Tank System	
	3. 해석 및 설계 절차	
II.	2D 열해석 모델 구성	4
	1. Tank Definition 정의	
	2. 열해석 모델 생성	
	3. 해석 수행 및 온도분포 추출	
III.	2D 빔스틱 모델 구성 및 등가지진하중 계산	7
	1. Tank Definition 정의	
	2. Beam-Stick 모델 생성	
	3. 전단력 선도 검토	
	4. 등가지진하중	
IV.	3D Shell 모델 생성	12
	1. Tank Definition 정의	
	2. Base Model 생성	
	3. 온도하중 추가	
	4. 등가지진하중 추가	
	5. 철근 배근 정의	
	6. 하중조합 추가	
	7. 해석 수행	
V.	설계 검토	20
	1. Enable Design Check	
	2. 설계 검토 보고서	

개요

1. LNG 저장탱크 수치해석 및 설계검토

LUSAS Tank System 을 활용하여 LNG 저장탱크에 대한 수치해석 및 설계검토를 수행하는 절차를 설명합니다. 저온 저장으로 인한 열응력, 유체-구조-지반 상호작용 (FSSI) 을 고려한 지진해석, 그리고 EN 1992 기준에 따른 콘크리트 벽체-슬래브의 설계검토 순으로 진행합니다.

2. LNG Tank System

LNG Tank System 은 LUSAS 의 LPI (LUSAS Programmable Interface) 를 기반으로 개발된 LNG 저장탱크 전용 해석·설계 자동화 모듈입니다. 사용자가 정의한 탱크 제원을 바탕으로 다음 해석 모델을 자동으로 생성합니다.

- 2D 축대칭 정적 구조해석 모델
- 2D 축대칭 시공단계 해석 모델
- 2D 축대칭 열해석 (열-구조 연성해석) 모델
- 2D Beam-Stick FSSI 지진해석 모델 (수평/수직)
- 3D Shell 정적 구조해석 모델

3. 해석 및 설계 절차

본 매뉴얼은 아래 순서에 따라 LNG 저장탱크의 해석 및 설계검토를 수행합니다.

- 1) 2D 축대칭 열해석 모델 구성 및 해석 수행
- 2) 열해석 결과로부터 온도분포 추출 (Excel)
- 3) 2D 빔스틱 지진해석 모델 구성 (FSSI 고려)
- 4) 응답스펙트럼 해석 결과로부터 전단력 선도 및 등가지진하중 추출
- 5) 3D Shell Base Model 생성
- 6) 철근 배근도 및 프리스트레스 텐던 배치 정의 (Excel 템플릿)
- 7) 2D 열해석 결과를 Shell 모델에 온도하중으로 추가
- 8) 등가지진하중을 Shell 모델에 추가
- 9) 설계 하중조합 정의
- 10) EN 1992 기준 설계검토 수행
- 11) PM 상관도를 포함한 설계검토 보고서 출력

2D 열해석 모델 구성

LNG의 저장 온도(약 -170°C)가 매우 낮기 때문에 구조해석에 앞서 벽체 두께 방향의 온도 분포와 이에 의한 열응력·열변형을 평가하기 위한 열해석이 필요합니다. 열전달 계산은 Shell 요소로는 수행할 수 없으므로, 2D 축대칭 Solid 요소를 이용합니다.

1. Tank Definition 정의

Tank > Tank Definition...

탱크의 제원, 기하특성, 재료특성, 단열재, 지반 조건 등을 Tank Definition 대화창에서 정의합니다. 2D 축대칭 열해석을 수행하려면 '2D axisymmetric coupled thermal/mechanical' 옵션을 선택합니다.

Tank Definition

Tank type
Material/Type: Concrete
Elevation: Above ground tank

Target models to build
 2D axisymmetric structural
 2D axisymmetric coupled thermal/structural
 3D solid
 2D beam-stick seismic
 3D shell structural
 3D shell roof-only

Tank Definition | Load | Prestress | Insulation | Support (3D) | Seismic | Ground

Base Slab and Roof | Wall and Ring beam | Materials | Support (2D)

Base slab (Units: m)
Circular part length (L_{inner}): 39.8
Circular part depth (D_{inner}): 1.2
Tapered section length (W_t): 0.6
Annular part length (L_{outer}): 6.7
Annular part depth (D_{outer}): 1.5
Base heating ($D_{heating}$): 0.386
Base heating ($L_{heating}$): 46.5
Ground level (D_{ground}): 0.9

Roof (Units: m)
Radius of inner roof (R_{roof_i}): 86.406
Radius of outer roof (R_{roof_o}): 86.906
Height from the top of the base slab to the topmost of the roof (R_{height}): 56.254
Distance of tapered section 1 (sl_1): 10.079
Distance of tapered section 2 (sl_2): 0.6

Name: Tnk1 (new)

OK Cancel Apply Help

사용자 입력값은 LNG Tank 상세 매뉴얼을 참고하세요.

2. 열해석 모델 생성

Tank > Create 2D Model > Coupled Thermal/Structural...

Tank Definition 이 완료된 후, 위 메뉴를 실행하여 2D 축대칭 열/구조 커플해석 모델을 생성합니다.
대화창에 모델 파일명을 입력하고 OK 를 누르면, 2D 축대칭 Solid 열해석 모델이 생성됩니다.

Tank - Coupled Thermal/Structural Analysis

Tank definition data: Trnk 1

Model filename: test

Saved model file path: C:\Users\WOEM\Documents\W\USAS230\Projects\Wtest(2D Thermal).mdl

Modelling options

Concrete element size [m]: 0.2 Steel element size [m]: 4.0E-3 Include soil (above ground tanks)

Include Structural Load

Variable Loads to apply (*): Max Min

- The chosen variable loads from the Tank Definition will be used for Operating Condition.

(*) These parameters are read from the [Structural Loading Definition] tab of the tank definition utility.

Spillage Loading

Thermal loading application: 1st wall insulation layer Outer tank wall

Liquid density [kg/m³]: 480.0

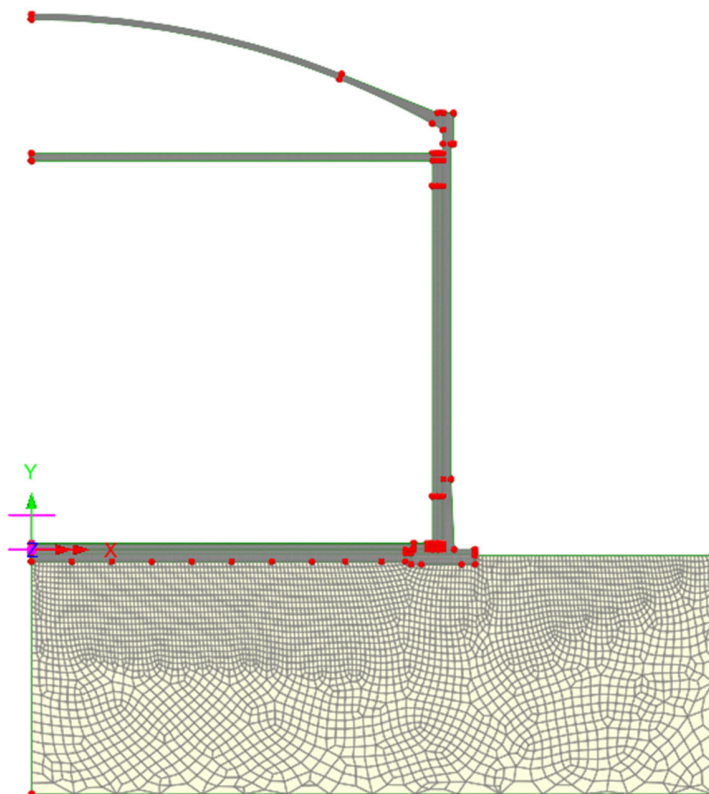
Solar radiation [kW/m²]: 0

Spillage duration time for each spillage height

Spillage 1 [days]: 1 Spillage 2 [days]: 1 Spillage 3 [days]: 1

Spillage 4 [days]: 1 Spillage 5 [days]: 1

OK Cancel Help



3. 해석 수행 및 온도분포 추출

해석 수행

모델러 상단 툴바의 Solve Now 버튼을 눌러 해석을 수행합니다. 해석이 완료되면, Treeview> Analyses 탭에서 각 하중케이스 앞에 무지개 아이콘이 표시됩니다.

온도 분포 추출

Tank > Excel Tools> Export Temperatures...

열해석 결과로부터 벽체 두께 방향의 평균 온도와 선형 온도 기울기를 추출하여 Excel 스프레드시트로 저장합니다. 이 값들이 이후 3D Shell 모델의 온도하중 입력값이 됩니다.

Treeview< Analyses 탭에서 Operating Condition (Thermal) 하중케이스를 Set Active 한 상태에서 위 메뉴를 실행합니다. 현재 작업 폴더에 온도분포 파일이 생성됩니다. 최대 외기 온도 및 최소 외기온도에 대하여 각각 고려하는 경우, 외기 온도 및 지반 온도값을 변경하여 해석을 수행한 후, 온도분포를 추가로 추출합니다.

Distance (m)	Inner Temp (°C)	Outer Temp (°C)	Thickness (m)	Average Temp (°C)	Linear Gradient (°C/m)	Vertical Distance (m)
0.00	23.70	25.33	0.50	24.49	-3.58	0.00
0.50	23.61	25.33	0.50	24.47	-3.71	0.00
1.00	23.52	25.33	0.50	24.47	-3.69	0.01
1.50	23.61	25.32	0.50	24.47	-3.71	0.01
2.00	23.61	25.33	0.50	24.47	-3.70	0.02
2.50	23.61	25.33	0.50	24.47	-3.71	0.04
3.00	23.61	25.32	0.50	24.47	-3.71	0.05
3.50	23.61	25.32	0.50	24.47	-3.71	0.07
4.00	23.61	25.32	0.50	24.47	-3.71	0.09
4.50	23.60	25.32	0.50	24.46	-3.72	0.12
5.00	23.61	25.32	0.50	24.47	-3.70	0.14
5.50	23.60	25.32	0.50	24.46	-3.73	0.17
6.00	23.62	25.32	0.50	24.47	-3.70	0.21
6.51	23.60	25.32	0.50	24.46	-3.73	0.24
7.01	23.61	25.32	0.50	24.46	-3.71	0.28
7.51	23.60	25.32	0.50	24.46	-3.73	0.33
8.01	23.60	25.32	0.50	24.46	-3.73	0.37
8.51	23.60	25.32	0.50	24.46	-3.72	0.42
9.02	23.59	25.32	0.50	24.46	-3.74	0.47
9.52	23.60	25.32	0.50	24.46	-3.73	0.52
10.02	23.59	25.32	0.50	24.46	-3.74	0.58
10.53	23.59	25.32	0.50	24.46	-3.74	0.64
11.03	23.59	25.32	0.50	24.46	-3.74	0.70
11.53	23.59	25.32	0.50	24.45	-3.74	0.77
12.04	23.58	25.32	0.50	24.45	-3.75	0.83
12.54	23.59	25.32	0.50	24.45	-3.75	0.91
13.05	23.58	25.32	0.50	24.45	-3.76	0.98
13.56	23.58	25.32	0.50	24.45	-3.75	1.06
14.06	23.58	25.32	0.50	24.45	-3.76	1.14
14.57	23.57	25.32	0.50	24.45	-3.78	1.22
15.08	23.58	25.32	0.50	24.45	-3.76	1.31
15.58	23.57	25.32	0.50	24.44	-3.78	1.40
16.09	23.56	25.32	0.50	24.44	-3.79	1.49
16.60	23.57	25.32	0.50	24.44	-3.77	1.59
17.11	23.56	25.32	0.50	24.44	-3.80	1.68

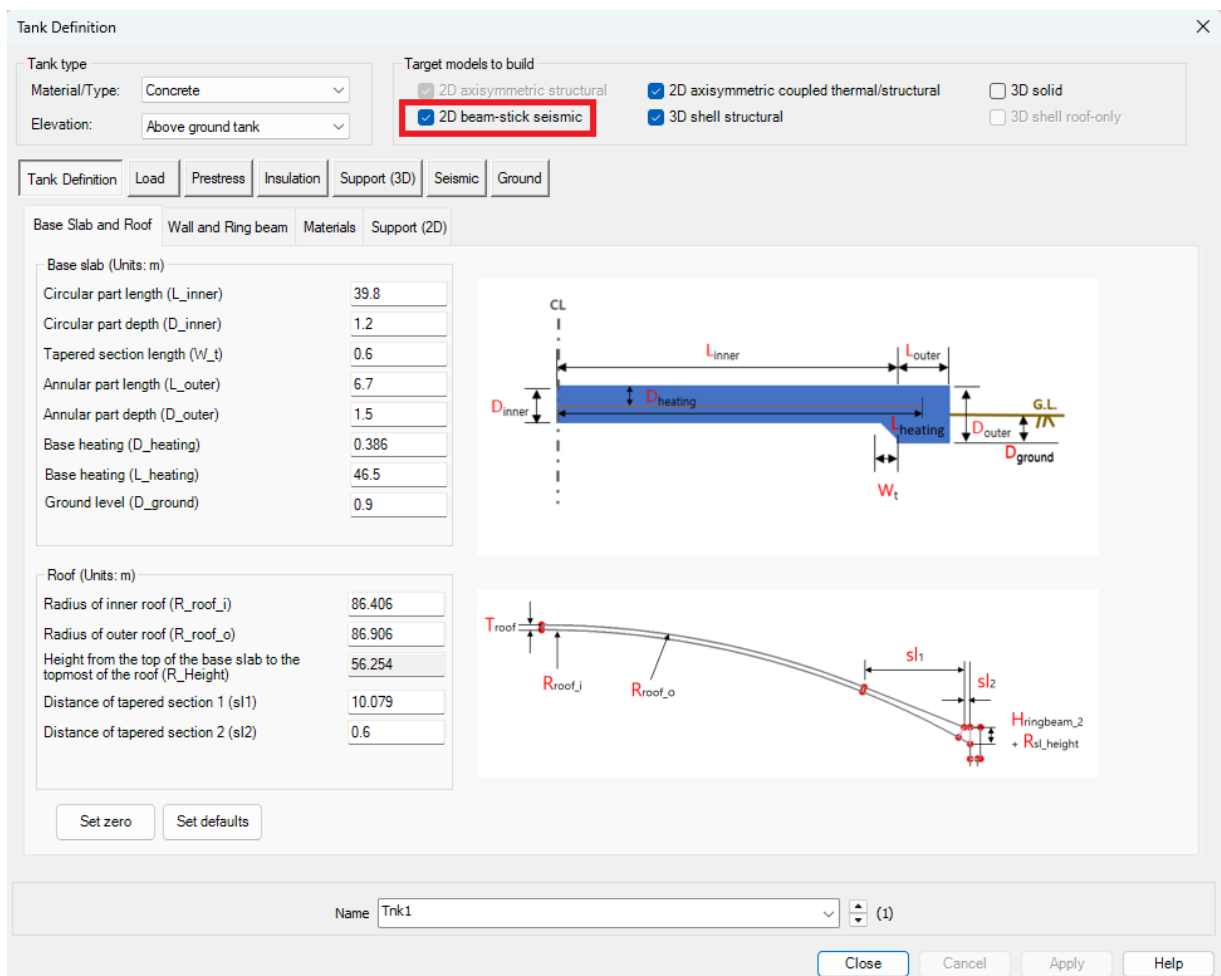
2D 빔스틱 모델 구성 및 등가지진하중 계산

3D Shell 정적 해석에 적용할 등가지진하중을 계산하기 위해 2D 지진해석 모델을 구성합니다. 이 모델은 외부 콘크리트 탱크, 내부 탱크와 저장 액체의 유체-구조 상호작용 (FSI), 그리고 말뚝 기초의 지반-구조 상호작용 (SSI) 을 집중질량 빔 요소로 단순화하여 표현합니다.

1. Tank Definition 정의

Tank > Tank Definition...

앞에서 정의한 Tank Definition 을 사용하되, 2D beam-stick seismic 옵션을 체크하여 지진해석에 필요한 데이터가 정의될 수 있도록 합니다.



2. Beam-Stick 모델 생성

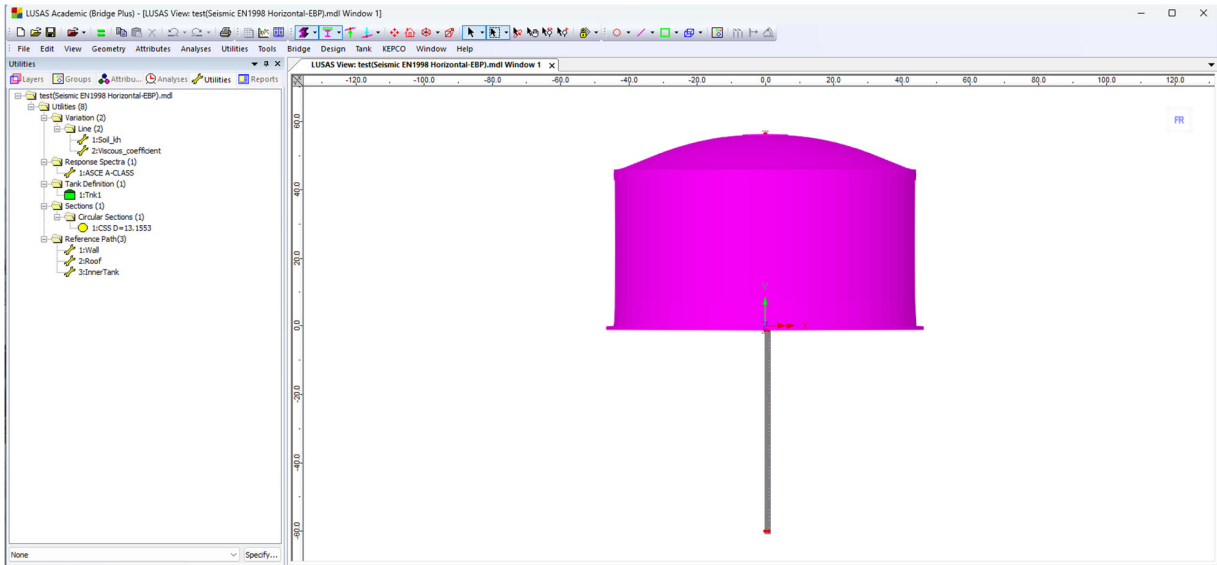
Tank > Create 2D Model > Seismic...

	Critical damping (%)	Frequency (1st mode, Hz)	Frequency (2nd mode, Hz)
Base slab	4.0	1.25	5.44
Roof	4.0		
Wall	2.0		
Inner tank	2.0		
Foundation	4.0		
Liquid impulsive	3.0		
Liquid convective	0.5		
Ground	5.0		

수평방향 모델 (Horizontal Model)

수평방향 지진에 대한 Beam-Stick 모델은 다음 요소로 구성됩니다.

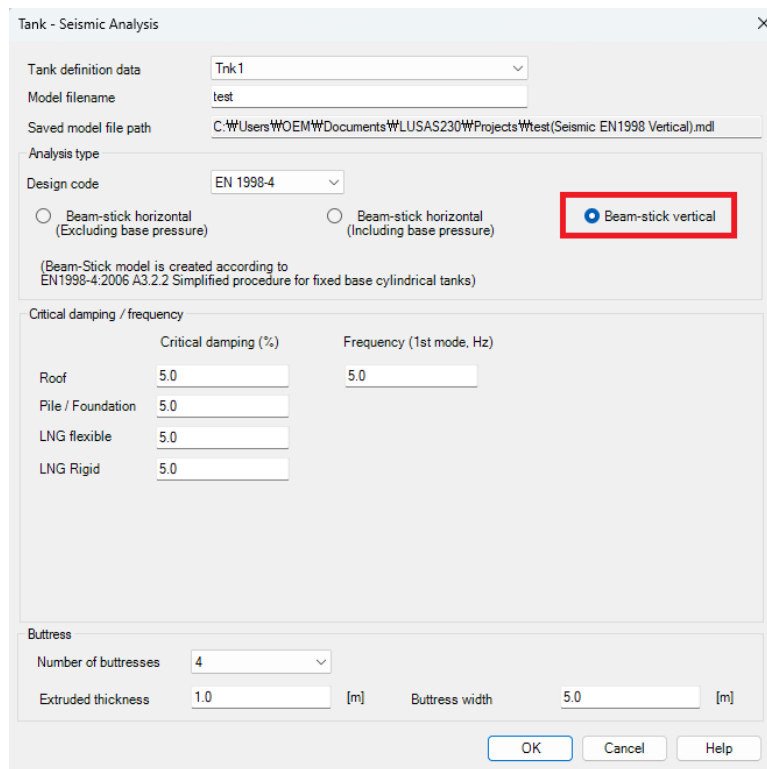
- 콘크리트 탱크 (루프, 벽체, 링빔, 슬래브)
- 비구조 질량 (루프 상부) — Joint 요소를 통한 집중질량
- 임펄시브 액체 질량 및 컨벡티브 액체 질량 — 내부 탱크에 연결된 Joint 요소
- 지반 스프링 — 말뚝 위치에 연결된 Joint 요소



유체의 Impulsive/Convective 질량 위치는 선택된 설계 기준에 따라 계산되며, 작업폴더에 스프레드시트 형태로 저장됩니다.

수직방향 모델 (Vertical Model)

수직방향 모델은 4 개의 Joint 요소가 하나의 절점을 공유하는 형태로 구성됩니다. 설계기준이 ACI 350.3 인 경우 'Mass and Joint for Liquid Rigid' Joint 요소는 포함되지 않습니다.



4. 등가지진하중

Beam-Stick 모델의 응답스펙트럼 해석으로부터 얻어진 최대 관성력과 동수압 효과는 3D Shell 모델에 가속도 하중 및 구조하중 형태로 등가 정적 변환하여 적용됩니다. 이 변환은 'Add Seismic Loading' 메뉴에서 자동으로 수행되며, 본 단계에서는 수평/수직 지진에 대한 OBE 및 SSE 가속도와 액체 하중의 합력을 확인합니다.

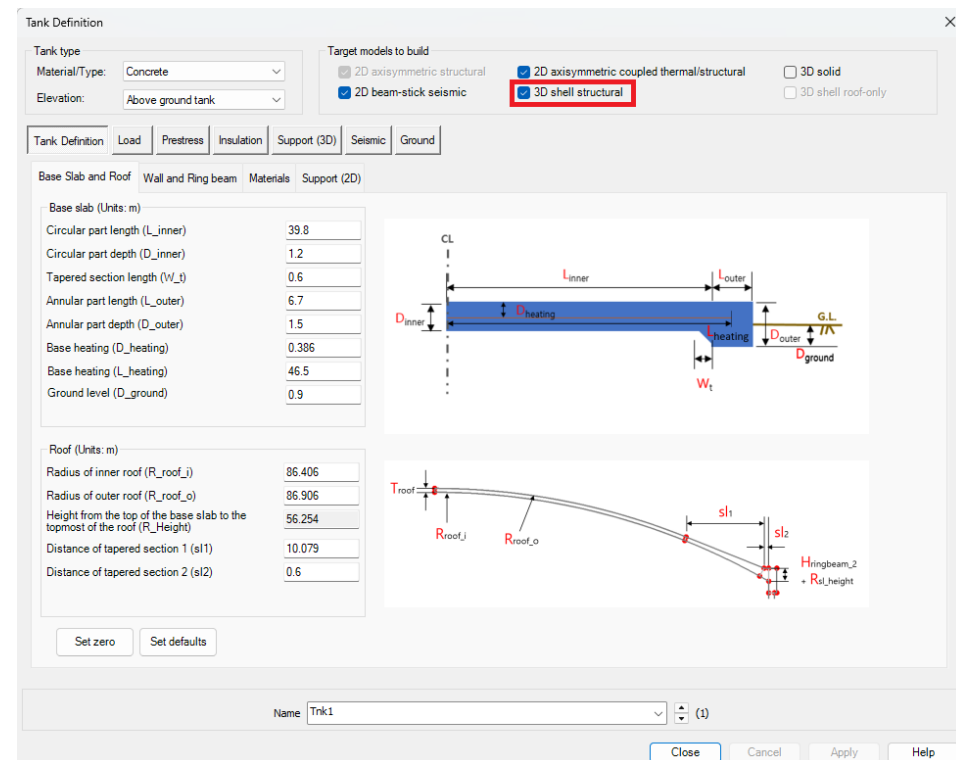
3D Shell 모델 생성

3D Shell 모델은 설계검토의 기본 모델로 사용됩니다. 콘크리트 탱크는 Shell 요소로 모델링되며, 벽체·슬래브·루프 각각에 대한 철근 배근과 프리스트레스 텐션을 함께 정의합니다. 2D 축대칭 모델에 정의된 모든 하중 (자중, 프리스트레스 등) 이 3D 모델에도 그대로 포함되며, 추가로 풍하중이 적용됩니다.

1. Tank Definition 정의

Tank > Tank Definition...

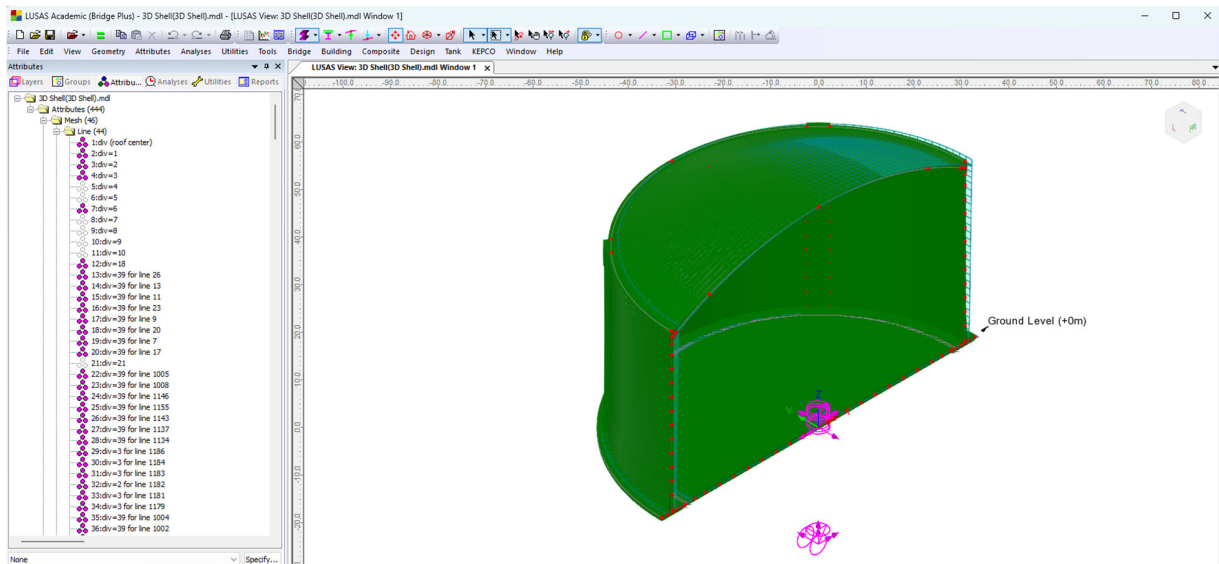
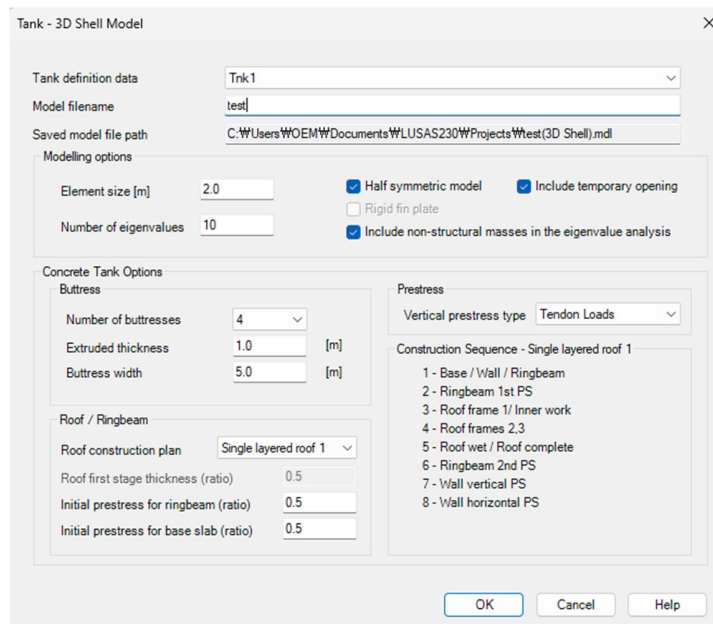
앞에서 정의한 Tank Definition 을 그대로 사용하되, 3 차원 shell 모델 구성을 위한 데이터가 포함되도록 '3D shell structural' 옵션을 체크하여 저장합니다.



2. Base Model 생성

Tank> Create 3D Shell Model...

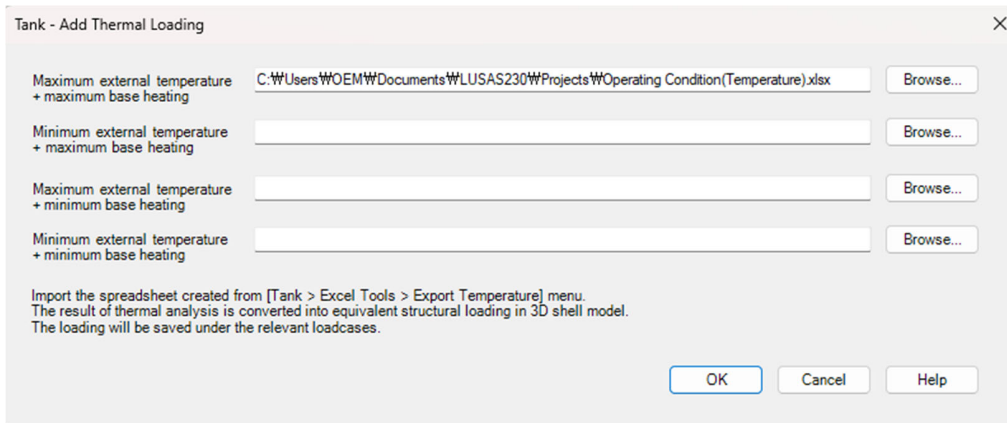
앞에서 정의한 Tank Definition 을 이용하여 Base Model 을 생성합니다. 각 사용자 입력값의 의미는 LNG Tank 사용자 매뉴얼을 참고해주세요.



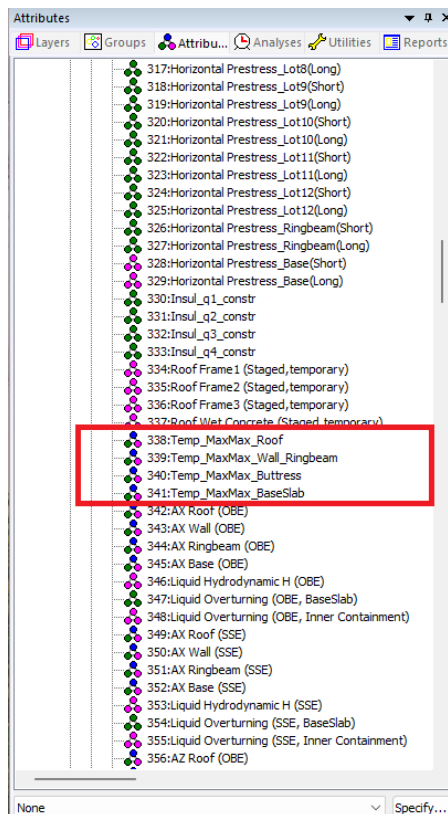
3. 온도하중 추가

Tank > Add Loading > Thermal...

2D 열해석 모델에서 얻어진 두께 방향 평균 온도와 온도 기울기를 3D Shell 모델의 온도하중으로 변환하여 적용합니다. 위의 메뉴를 실행하여 대화창에서 앞서 생성한 열해석 결과 스프레드시트를 선택하고 OK 버튼을 눌러 온도하중을 적용합니다.



Treewiew > Attributes 탭의 Loading 항목에 온도하중이 추가된 것을 확인할 수 있습니다.



4. 등가지진하중 추가

Tank > Add Loading > Seismic...

2D Beam-Stick 해석에서 얻어진 수평/수직 지진의 관성력과 동수압 효과를 3D Shell 모델에 등가 정적 하중으로 적용합니다.

대화창에서 설계 기준을 선택합니다. 수평 및 수직방향에 대한 각 부재의 가속도, 유체 하중을 입력합니다. 가속도 하중은 Body force 를 이용하여 정의하며, 기타 하중을 등가 구조하중으로 변환하여 적용합니다.

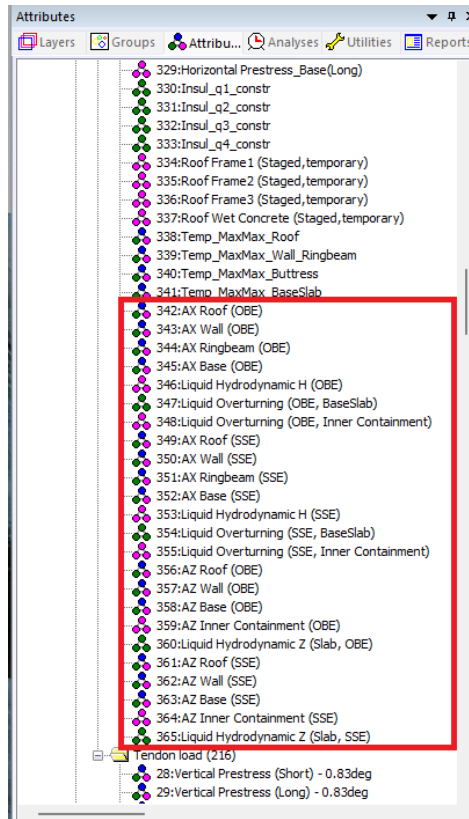
Tank - Add Seismic Loading ✕

Design code: EN 1998-4 Auto-calculate moments

Property	Value	Value	Units
Horizontal direction			
Roof acceleration	4	8	m/s ²
Wall acceleration	2.5	5	m/s ²
Base acceleration	2	4	m/s ²
Total liquid force	250000	500000	kN
Liquid induced moment (IBP)	7.9563E6	15.9126E6	kN-m
Liquid induced moment (EBP)	4.95811E6	9.91621E6	kN-m
Vertical direction			
Roof acceleration	3	6	m/s ²
Wall acceleration	1.5	3	m/s ²
Base acceleration	1.5	3	m/s ²
Inner tank acceleration	1.5	3	m/s ²
Total liquid force	200000	400000	kN
Geometry			
Base insulation thickness	0.6915		m
Liquid height	38.92		m
Liquid radius	42.1		m
Heights of lumped liquid masses			
Height of lumped impulsive liquid mass (hi)	30.8835	16.1311	m
Height of lumped convective liquid mass (hc)	32.7668	23.5337	m

The loading for quasi-static seismic analysis will be created.
A separate FSSI analysis should be performed in advance to obtain the required loading.

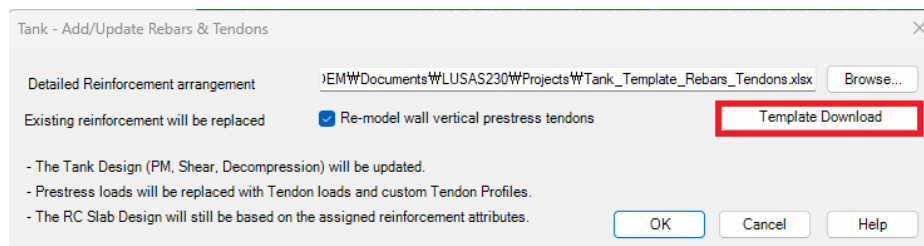
Treeview > Attributes 탭의 Loading 항목에 지진하중이 추가된 것을 확인할 수 있습니다.



5. 철근 배근 정의

Tank > Design Checks > Add/Update Rebars & Tendons...

위의 메뉴를 실행하고, Template Download 를 눌러 철근 배근을 위한 Excel 템플릿을 작업폴더에 다운로드 합니다. 파일을 열어 슬래브, 벽체, 루프에 대한 철근 배근과 벽체 및 슬래브의 텐던 배치를 정의합니다. 정의한 철근 배근 데이터를 모델에 적용합니다.



Tank_Template_Rebar_Tendon.xlsx • Saved to this PC

File Home Insert Draw Page Layout Formulas Data Review View Automate Help Acrobat

B2

Rebar Arrangement of Wall

Inner Face													
Location	Height (m)	Rebar Arrangement Type	Cover Thickness (mm)	Hoop Direction			Vertical Direction						
				Diameter (mm)	Spacing (mm)	Steel Modulus of Elasticity (MPa)	Tensile Steel Strength (MPa)	Compressive Steel Strength (MPa)	Diameter (mm)	spacing (mm)	Steel Modulus of Elasticity (MPa)	Compressive Steel Strength (MPa)	
Zone 0	0.30	A	60	28.6	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 1	4.2	A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 2	4.2	A	60	31.8	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 3	4.2	A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 4	4.2	A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 5	4.2	A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 6	4.2	A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 7	4.2	A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 8	4.2	A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 9	4.2	A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 10	4.38	A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 11	A												
Zone 12	A												
Zone 13	A												
Zone 14	A												
Zone 15	A												
Ringbeam		A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400

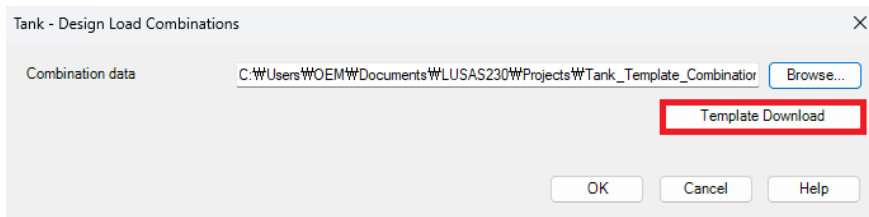
Outer Face													
Location	Height (m)	Rebar Arrangement Type	Cover Thickness (mm)	Hoop Direction			Vertical Direction						
				Diameter (mm)	Spacing (mm)	Steel Modulus of Elasticity (MPa)	Tensile Steel Strength (MPa)	Compressive Steel Strength (MPa)	Diameter (mm)	spacing (mm)	Steel Modulus of Elasticity (MPa)	Compressive Steel Strength (MPa)	
Zone 0		A	60	34.8	175	200000	400	400	31.8	87.5	200000	400	400
Zone 1		A	60	25.4	175	200000	400	400	31.8	175	200000	400	400
Zone 2		A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 3		A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 4		A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 5		A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 6		A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 7		A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 8		A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 9		A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 10		A	60	25.4	175	200000	400	400	25.4	175	200000	400	400
Zone 11		A											
Zone 12		A											
Zone 13		A											
Zone 14		A											
Zone 15		A											

Ready Accessibility: Investigate

6. 하중조합 추가

Tank > Design Checks > Design Load Combinations...

위의 메뉴를 실행하고 대화창에서 **Template Download** 버튼을 클릭하여 하중조합 템플릿을 작업폴더에 저장합니다. 템플릿에 하중조합을 정의하고, 대화창에서 작성한 템플릿을 선택합니다. Base 모델에 설계 하중조합이 생성됩니다. 이미 생성된 하중조합이 있는 경우, 삭제되지 않습니다. 단 기존에 동일한 이름의 조합이 있는 경우 하중계수가 업데이트 되며, 새로운 하중조합은 추가 됩니다.



Tank_Template_Combinations.xlsx - Saved to this PC

File Home Insert Draw Page Layout Formulas Data Review View Automate Help Acrobat

DUPLICATE STYLES This workbook has many duplicate styles which can slow performance. Remove Duplicates

C13

Permanent			Variable																																
Description			Outer tank			Others		Creep and Shrinkage		Prestress			Roof frame/ concrete			Test		LNG pressure		Gas pressure		Live Load		Snow Load		Temperature		Wind		OBE		Spillage		SSE	
no.	Code	Details	Outer tank WO roof	Outer tank WO upper roof	Outer tank Full	Others	Early	Late	Rb 1st	Rb All	Rb + Vertical	All PS Early	All PS Late	Roof Frame 1	Roof Frame 2	Roof Frame 3	1st layer concrete	2nd layer concrete	Hydrostatic	Pneumatic	LNG Max	LNG Min	Gas Max	Gas Min	Live Load (roof)	Snow Load (roof)	Temp Max	Temp Min	Wind	OBE Hor.	OBE Vert.	Spillage	SSE Hor.	SSE Vert.	
1	U-C1-1	WO_roof + RB_1st_PS	1.35						1.30																										
2	U-C1-2		1.35						1.00																										
3	U-C1-3		1.00						1.30																										
4	U-C1-4		1.00						1.00																										
5	U-C2-1	WO_roof + RB_1st_PS + Roof_frame_1	1.35						1.30																										
6	U-C2-2		1.35						1.00																										
7	U-C2-3		1.00						1.30																										
8	U-C2-4		1.00						1.00																										

Ready Accessibility: Investigate

Tank_Template_Combinations.xlsx - Saved to this PC

File Home Insert Draw Page Layout Formulas Data Review View Automate Help Acrobat

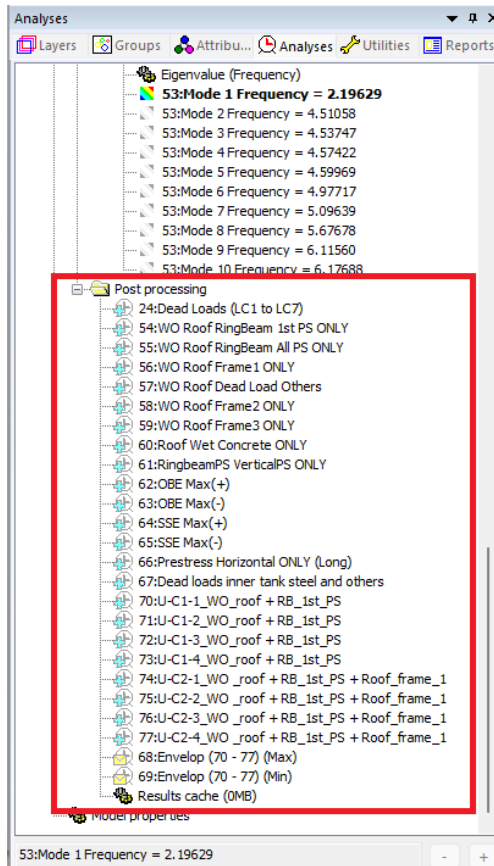
DUPLICATE STYLES This workbook has many duplicate styles which can slow performance. Remove Duplicates

B20

LC No.	Loadcase Name	LF Column	Load Category	
1	Selfweight	6	Outer tank Full	
2	Dead loads of steel structure	7	Others	User Guide for 'Loadcases' sheet
3	Dead load of liner and steel roof	7	Others	1. Loadcase name (column B)
4	Dead load of steel structures on the roof	7	Others	- Should be identical with loadcase name in the model
5	Dead load of insulation	0		2. LF column (column C, Load Factor Column)
6	Pressure on outer tank wall due to insulation	7	Others	- Refer to the number at 3rd row of 'Loadfactors' sheet
7	Wall piping loading	7	Others	- Put 0 if the loadcase is not used in the combination.
8	Liquid bottom (max)	22	LNG Max	3. Note
9	Liquid bottom (min)	23	LNG Min	- Loadcases not to be used in the combinations can be removed from 'Loadcases' sheet.
10	Gas pressure (max)	24	Gas Max	- Loadcases can be added at any row, as many as required.
11	Gas pressure (min)	25	Gas Min	
12	Live load	26	Live Load (roof)	User Guide for 'Loadfactors' sheet
13	Snow load	27	Snow Load (roof)	1. LF column index
14	Test load (liquid)	20	Hydrostatic	- The top line should be maintained with unique number
15	Test load (pneumatic)	0		2. Code name / Details
16	Prestress (Short)	13	All PS Early	- This column is used for defining the name of combination.
17	Prestress (Long)	14	All PS Late	3. Note
18	Prestress (Ringbeam ONLY) (Short)	0		- Row 2-4 are for user's reference only, and files to update.
19	Prestress (Ringbeam ONLY) (Long)	0		- combination data should start from the 5th row.
20	Prestress Wall Horizontal ONLY (Short)	0		- Loadcases to be factored can be added as many as required.
21	Prestress Wall Horizontal ONLY (Long)	0		- combinations can be added as many as required.
22	Prestress Wall Vertical ONLY (Short)	0		
23	Prestress Wall Vertical ONLY (Long)	0		
24	Max External Max Base Heating Temperature	0		
25	Min External Max Base Heating Temperature	0		
26	Max External Min Base Heating Temperature	0		
27	Min External Min Base Heating Temperature	0		
28	SSE_H	34	SSE Hor	
29	SSE_V	35	SSE Vert	
30	OBE_H	31	OBE Hor	
31	OBE_V	32	OBE Vert	
32	Annular Part (Staged)	0		
33	BaseShip 1st PS (Staged)	0		
34	BaseShip 2nd PS (Staged)	0		
35	BaseShip 3rd PS (Staged)	0		
36	Roof Frame 1 (Staged temporary)	0		
37	Roof Frame 2 (Staged temporary)	0		
38	Roof Frame 3 (Staged temporary)	0		
39	Roof Inside Load (Staged)	0		
40	Roof Outside Load (Staged)	0		
41	Roof Inside PS (Staged)	0		
42	Roof Outside PS (Staged)	0		
43	Roof Inside PS (Staged)	0		
44	Roof Outside PS (Staged)	0		
45	Roof Inside PS (Staged)	0		
46	Roof Outside PS (Staged)	0		
47	Roof Inside PS (Staged)	0		
48	Roof Outside PS (Staged)	0		
49	Roof Inside PS (Staged)	0		
50	Roof Outside PS (Staged)	0		
51	Final Short term (Staged)	0		
52	Final Long term (Staged)	0		
53	Eigenvalue	0		
54	Reserved (for P1 to P7)	0		

Ready Accessibility: Investigate

아래와 같이 Treeview > Analyses 탭에 하중조합이 생성된 것을 확인할 수 있습니다.



7. 해석 수행

모델러 상단의 Solve Now 버튼을 이용하여 해석을 수행합니다.

설계 검토

앞에서 생성한 설계 하중조합을 대상으로 EN 1992 기준에 따라 설계검토를 수행합니다. Utilisation 형태로 결과가 표시되며, 1 이하이면 설계기준을 만족하는 것을 의미합니다.

1. Enable Design Check

Tank > Design Checks > Enable...

위의 메뉴를 실행 후, 대화창에서 설계기준을 선택하고 그에 따른 사용자 입력값을 정의합니다.

Tank - Design Code

Design parameters

Design code: EN1992-1-1 (2005)

General

Partial factors for materials: Persistent/Transient

Concrete (γ_c): 1.5 Steel (γ_s): 1.15

Steel

Characteristic 0.1% proof-stress of prestressing steel ($f_{p0.1k}$): 1.6E3 MPa

Elastic modulus of tendon (E_p): 195.0E3 MPa

Concrete

Roof concrete grade: 40.0 MPa

Wall concrete grade: 50.0 MPa

Slab concrete grade: 40.0 MPa

Long term effect coeff. (α_{cc}): 1.0

Computation target for visualisation

Angles 0.45 (e.g 0.90;100) Selected Visible

Shift results to avoid double counting the prestress effect (reinforcement fse and external PS)

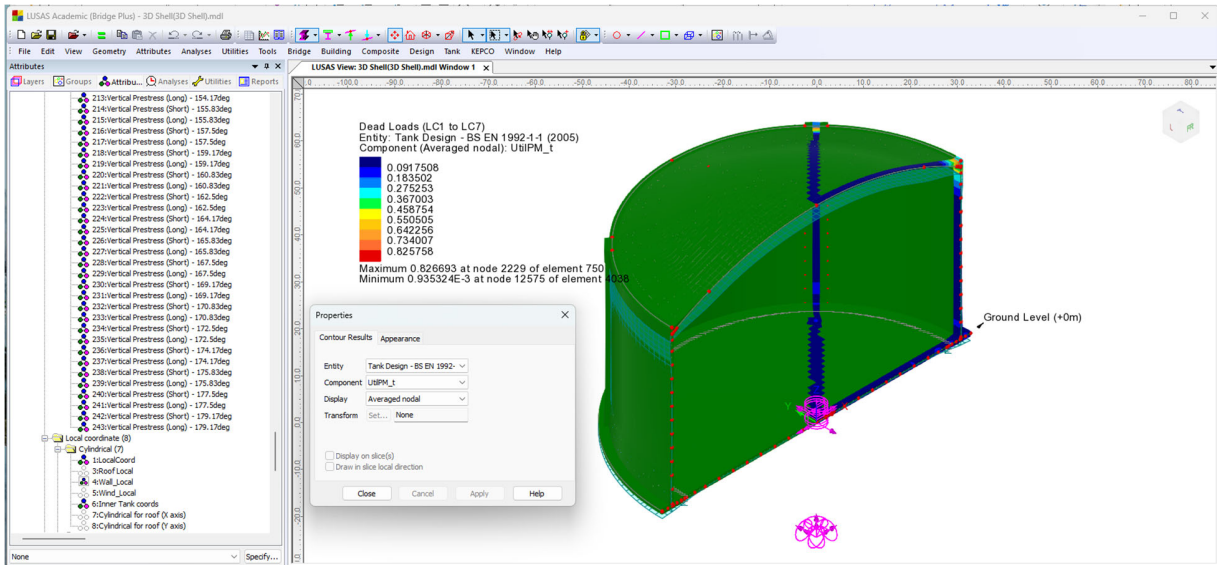
Exclude base slab results at pile heads and walls

Assumed diameter at crosswise piles: 0.8 [m]

Assumed diameter at circumferential piles: 0 [m]

Defaults OK Cancel Help

설계검토 결과를 확인합니다. 검토할 하중조합을 **Set Active** 합니다. Contour 속성 창에서 **Entity** 는 **Tank Design**, **Component** 는 **UtilPM_t** 를 선택합니다. UtilPM_t 는 후프방향 축력-모멘트 조합에 대한 Utilisation(작용 단면력/설계강도)이며, 1 이하이면 해당 단면이 설계기준을 만족하는 것을 의미합니다.



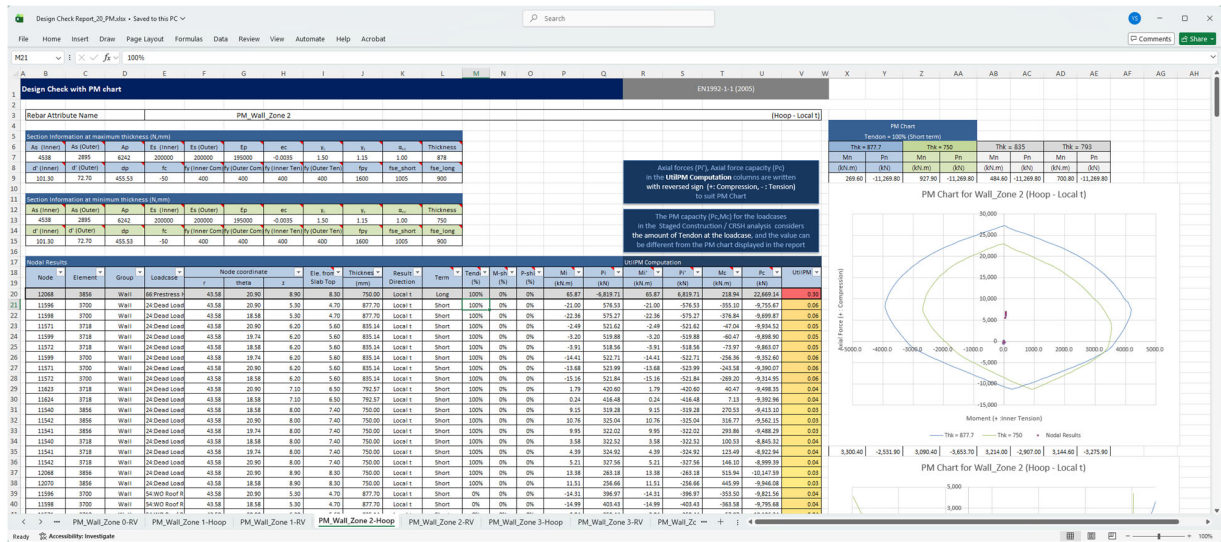
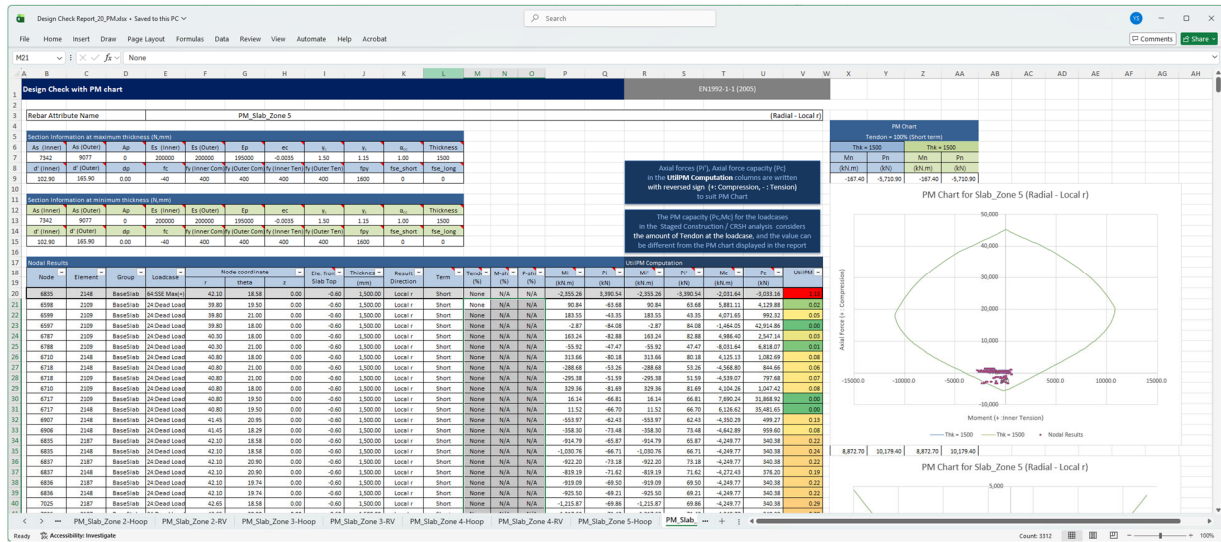
2. 설계 검토 보고서

Tank > Design Checks > Design Check Report...

설계검토 결과를 Excel 보고서 형태로 출력합니다. 각 철근 배근 구간별로 PM 상관도를 함께 출력할 수 있습니다. 검토대상 위치를 각도로 지정하고, 대상 그룹을 정의합니다. 설계 검토 보고서에 추가할 항목을 선택하고, 대상 하중조합 또는 하중케이스를 선택합니다.

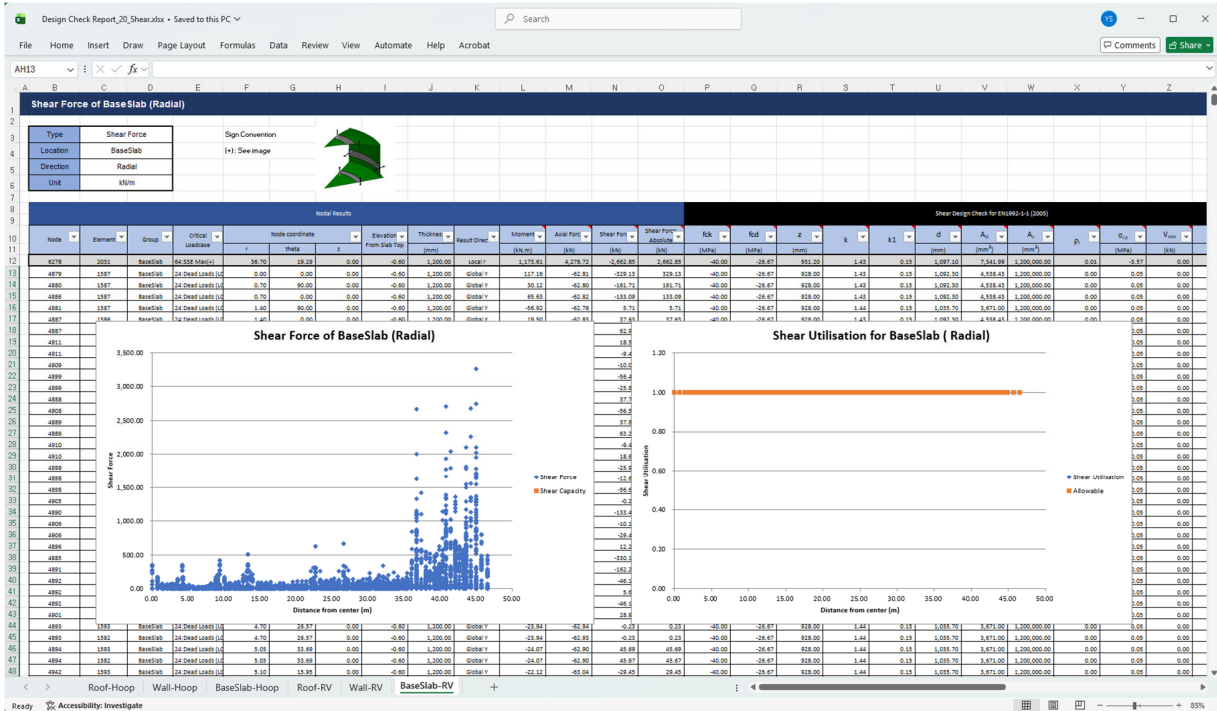
PM 검토 보고서

PM 상관도 상의 각 점은 해당 절점에서 각 설계 하중조합에 대한 (Pi, Mi) 위치를 나타냅니다. 모든 점이 PM 상관도 내부에 위치하면 EN 1992 축력, 모멘트 조합에 대한 설계기준을 만족하는 것이며, 외부로 벗어나는 점이 있으면 해당 하중조합에서 UtilPM > 1 이 되므로 철근 배근 또는 단면 두께의 보강이 필요합니다.



전단 검토 보고서 (Shear Check Report)

LNG Tank 부재의 전단에 대한 설계검토 과정과 결과를 정리한 보고서입니다. EN1992 기준에 따른 콘크리트 전단저항강도 계산과정과 작용 전단력 대비 Utilisation 산정 근거를 제시합니다. UtilShear > 1 인 단면은 전단 보강이 필요하므로, 철근 배근 수정 또는 단면 두께 변경 후 재검토를 수행합니다.



Utilisation 요약 보고서 (Utilisation Summary Report)

사용자가 선택한 하중조합을 대상으로 LNG Tank 각 부재(슬래브, 벽체, 루프)에서 산정된 Utilisation 값을 절점 단위로 정리한 보고서입니다.

Design Check Report_20_Summary.xlsx • Saved to this PC

File Home Insert Draw Page Layout Formulas Data Review View Automate Help Acrobat

Summary of Wall (Hoop)

Type	Summary	Axial Force	Shear Force	Moment
Location	Wall	(+): Tension	(+): See image	(+): Inner side Tension
Direction	Hoop			

Nodal Results

Node	Element	Group	Reinforcement	Critical Loadcase	Node coordinate	Elevation From Slab Top	Thickness	Result Direction	Moment (kNm)	Axial Force (kN)	Shear Force (kN)	Shear Force Absolute (kN)	Maximum Utilisation	PM	Shear	Displacement		
16730	5416	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	60 Roof Wet Concrete	43.58	18.58	44.78	44.18	1,050.00	Local t	-15.34	3,197.83	-13.19	13.19	1,318,758,018.61	0.57	1,318,758,018.61	N/A
17045	5372	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	60 Roof Wet Concrete	43.58	18.58	46.48	45.88	1,050.00	Local t	-0.85	4,320.40	-5.13	5.13	1,318,280,153.78	0.77	1,318,280,153.78	N/A
16730	5416	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	60 Roof Wet Concrete	43.58	18.58	44.78	44.18	1,050.00	Local t	-15.34	3,197.83	-13.19	13.19	1,318,758,018.61	0.57	1,318,758,018.61	N/A
16260	5416	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	18.58	43.28	42.68	1,050.00	Local t	-87.24	2,248.44	13.43	13.43	100.00	0.46	0.12	100.00
16260	5416	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	18.58	43.28	42.68	1,050.00	Local t	-87.24	2,248.44	13.43	13.43	100.00	0.46	0.12	100.00
16261	5416	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	19.74	43.28	42.68	1,050.00	Local t	-86.81	2,241.09	13.25	13.25	100.00	0.46	0.12	100.00
16262	5416	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	20.90	43.28	42.68	1,050.00	Local t	-86.45	2,235.57	13.35	13.35	100.00	0.46	0.12	100.00
16759	5416	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	20.90	44.03	43.43	1,050.00	Local t	-118.12	2,100.47	4.75	4.75	100.00	0.44	0.04	100.00
16760	5416	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	18.58	44.03	43.43	1,050.00	Local t	-119.00	2,113.92	4.23	4.23	100.00	0.45	0.03	100.00
16730	5494	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	18.58	44.78	44.18	1,050.00	Local t	-152.59	1,953.45	-0.48	0.48	100.00	0.43	0.00	100.00
16732	5494	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	20.90	44.78	44.18	1,050.00	Local t	-151.58	1,939.27	1.02	1.02	100.00	0.43	0.01	100.00
16731	5494	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	19.74	44.78	44.18	1,050.00	Local t	-152.02	1,945.53	0.13	0.13	100.00	0.43	0.00	100.00
16730	5416	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	18.58	44.78	44.18	1,050.00	Local t	-150.76	1,979.39	-4.97	4.97	100.00	0.43	0.03	100.00
16731	5416	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	19.74	44.78	44.18	1,050.00	Local t	-150.22	1,971.54	-4.55	4.55	100.00	0.43	0.03	100.00
16732	5416	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	20.90	44.78	44.18	1,050.00	Local t	-149.79	1,965.37	-3.85	3.85	100.00	0.43	0.03	100.00
16958	5494	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	20.90	44.92	44.32	1,050.00	Local t	-158.88	1,892.28	-2.27	2.27	100.00	0.42	0.01	100.00
16959	5494	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	18.58	44.92	44.32	1,050.00	Local t	-159.93	1,906.32	-3.21	3.21	100.00	0.43	0.02	100.00
2365	5372	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	18.58	45.07	44.47	1,050.00	Local t	-1.06	1,949.73	-2.59	2.59	100.00	0.37	0.02	100.00
2367	5372	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	20.90	45.07	44.47	1,050.00	Local t	-0.70	1,935.50	-2.59	2.59	100.00	0.36	0.02	100.00
2366	5372	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	19.74	45.07	44.47	1,050.00	Local t	-0.88	1,941.81	-2.73	2.73	100.00	0.37	0.02	100.00
2365	5494	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	18.58	45.07	44.47	1,050.00	Local t	-167.27	1,859.19	-5.94	5.94	100.00	0.42	0.04	100.00
2366	5494	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	19.74	45.07	44.47	1,050.00	Local t	-166.66	1,851.47	-5.89	5.89	100.00	0.42	0.04	100.00
2367	5494	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	20.90	45.07	44.47	1,050.00	Local t	-166.18	1,845.28	-5.56	5.56	100.00	0.42	0.03	100.00
17074	5372	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	20.90	45.77	45.17	1,050.00	Local t	2.30	1,669.90	-1.90	1.90	100.00	0.31	0.01	100.00
17075	5372	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	18.58	45.77	45.17	1,050.00	Local t	1.99	1,685.97	-2.13	2.13	100.00	0.31	0.01	100.00
17045	5372	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	18.58	46.48	45.88	1,050.00	Local t	5.03	1,432.21	-1.67	1.67	100.00	0.27	0.01	100.00
17047	5372	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	20.90	46.48	45.88	1,050.00	Local t	5.31	1,404.30	-1.21	1.21	100.00	0.26	0.01	100.00
17046	5372	RingBeam	PM_Wall_RingBeam	24 Dead Loads (LC1)	43.58	19.74	46.48	45.88	1,050.00	Local t	5.17	1,412.66	-1.62	1.62	100.00	0.26	0.01	100.00
10594	3466	Wall	PM_Wall_Zone D	24 Dead Loads (LC1)	43.58	18.58	0.60	0.00	1,100.00	Local t	-127.73	-129.85	8.41	8.41	0.04	0.04	0.02	N/A

Roof-Hoop Wall-Hoop BaseSlab-Hoop Roof-RV Wall-RV BaseSlab-RV