

LNG 운반선용 펌프타워의 구조해석 GUI개발에 관한 연구

A Study on GUI Development of Structural Analysis of LNG Pump Tower

이 강 수† 손 충 렬*

Lee, Kang-Su Son, Choong-Yul

(논문접수일 : 2007년 5월 8일 ; 심사종료일 : 2007년 7월 28일)

요 지

본 연구의 목적은 LNG 펌프타워 구조물의 전용 구조해석 GUI를 개발하는데 있다. 이 시스템은 펌프타워 구조물의 유한 요소모델을 가장 적절한 형태로 만들어 주며, 가장 적합한 과정을 통하여 해석이 자동으로 수행되도록 해준다. 펌프타워 구조물은 LNG선의 가장 중요한 것 중의 하나이다. 펌프타워 구조물은 주로 카고탱크 안의 LNG가 채워져 있는 양과 선박의 운동에 의한 슬로싱(sloshing) 하중이 추가된다. 그 밖에 하중의 형태는 열, 관성, 자중 등의 세 가지에 대하여도 고려하였다. 이러한 하중들을 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS에 적용하여 구조해석을 수행하였다. 미국선급협회(ABS) 내의 API Unity check를 통하여 구조부재의 강도 계산과 조인트(Joint)에서의 Punching shear unity 값도 검토하여 그 건전성 여부를 판단할 수 있도록 하였다. 상위의 과정을 새로운 형태의 GUI로 개발하였다. 펌프타워 전용해석 툴(tool)은 Tcl/tk언어로 개발되었다. 위의 모든 과정들이 GUI에 성공적으로 적용되었다.

핵심어 : 액화천연가스, 펌프타워, 슬로싱, 유한요소해석, 엔시스, 상용코드, 티클/티케이 언어

Abstract

The purpose of this study is to develop a structural analysis system of LNG pump tower structure. The system affords to build optimized finite element model and procedure of the pump tower structure. The pump tower structure is one of the most important components of LNG (liquefied natural gas) carriers. The pump tower structure is subject to sloshing load of LNG induced by ship motion depending on filling ratio. Three types of loading components, which are thermal, inertia and self-gravity are considered in the analysis. The finite element analysis is performed with ANSYS commercial code. The failure of each members can be evaluated of API unity and punching shear in ABS rule. The GUI is newly developed using Tcl/tk script language. All these design and analysis procedures are embedded in to the analysis system successfully.

Keywords : LNG, pump tower, sloshing, FEM, ANSYS, commercial code, Tcl/Tk language

1. 서 론

펌프타워는 LNG선박 내에서 가장 중요한 구조물 중의 하나이다. 선박의 화물창 내에 LNG를 싣고 운반 시 액화되어 있기 때문에 유체가 출렁거리는 현상 즉, 슬로싱(sloshing) 하중에 의하여 LNG탱크 내부에 있는 펌프 타워에 커다란 충격성 하중이 가해지게 된다. 이 커다란 충격 하중으로 인해 펌프 타워가 손상 또는 파괴가 일어나게 되면 큰 경제적 손실을 입게 된다. 따라서, 슬로싱 하중을 펌프타워에 적용시켜 정확한 강도평가가 이루어져야만 한다. 슬로싱 하중, 온도

하중, 자중, 선박의 inertia하중 등을 계산하여 하중을 적용하고, 펌프타워 해석을 위한 최적모델을 선정하고자 하였다. 또한, API code를 check하여 문제가 있는 부재나 조인트를 알려주도록 강도평가가 이루어지는 해석과정을 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 자동화 하였으며, GUI를 구성하는 언어는 Tcl/Tk를 이용하였다.

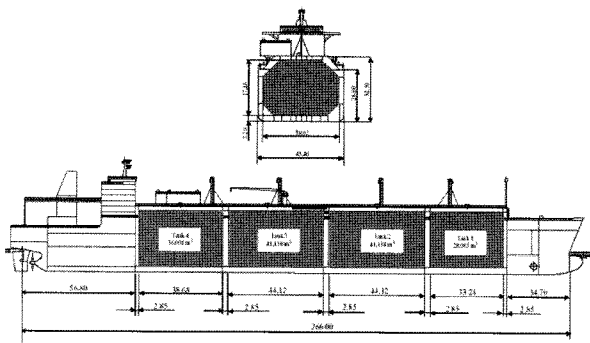
1.1 Pump Tower 개요

LNG Pump Tower는 Fig. 1(a)와 같은 Membrane형

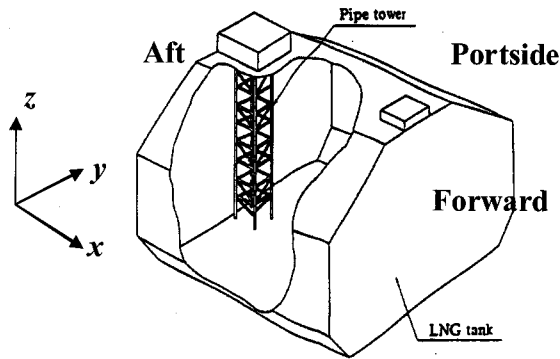
† 책임저자, 정회원 · 인하대학교 대학원 선박공학과 박사과정
Tel: 032-860-7338 ; Fax: 032-864-5850
E-mail: kslee@inhaian.net

* 정회원 · 인하대학교 기계공학과 교수

· 이 논문에 대한 토론을 2007년 12월 31일까지 본 학회에 보내주시면 2008년 2월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

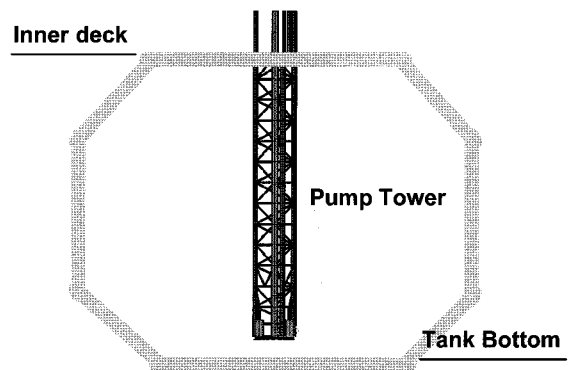


(a)

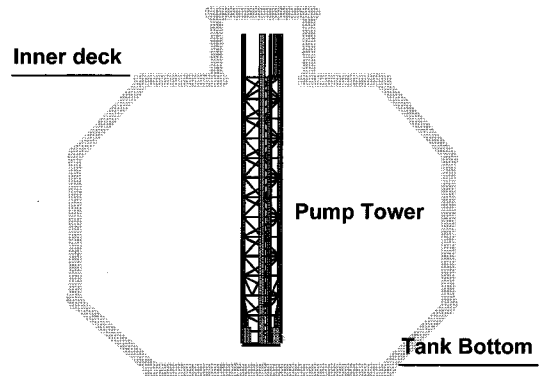


(b)

Fig. 1 LNG탱크 내의 펌프타워



(a)



(b)

Fig. 3 Deck의 종류

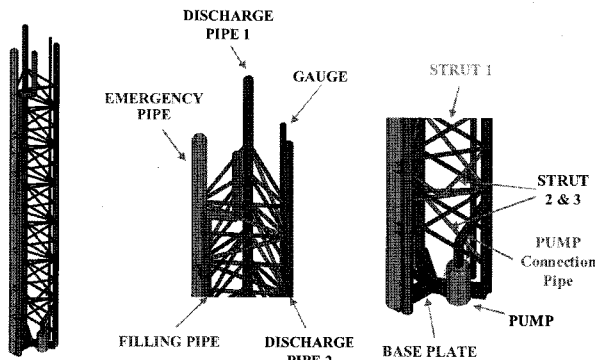


Fig. 2 Pump Tower의 구성

LNG선박의 탱크 내부에 설치되며, Fig. 1(b)는 LNG탱크를 확대하여 본 모습이다. 이 탱크에 LNG가 채워지게 된다.

1.2 Pump Tower의 구성

펌프타워는 원형단면을 갖는 Emergency Pipe, Portside Discharge Pipe, Starboard Discharge Pipe, Filling Pipe, Gauge Pipe, 세 가지 종류의 strut와 H형단면을 갖는 펌프 연결 파이프, Base Plate와 Link 등으로 구성되어 있다. Fig. 2는 위의 부재들로 이루어진 펌프타워의 전체 및 상하부 구조를 보여주고 있다.

1.3 Deck의 형태

Pump tower의 상부 구조 deck type에는 Fig. 3(a)의 type 1과 (b)의 type 2와 같은 두 가지 형태가 있다. 실제로 pump tower의 전체길이는 동일하게 유지되고 유한요소해석(Finite Element Analysis) 시에 서로 다른 경계조건 형태로 고려된다.

2. 유한요소해석

2.1 유한요소 모델링

유한요소해석은 ANSYS version 9.0을 기반으로 수행되었다. 유한요소해석을 위한 요소의 형태는 ANSYS element library의 188번을 사용하였다. 6개의 자유도를 갖고 모드 해석 시 부가수 질량(added mass)을 고려할 수 있는 특징이 있고 실제의 형상을 그대로 구현하여 볼 수 있다. Fig. 4는 Beam188 요소의 geometry를 보여주며 4와 5는 188번 요소의 절점 I와, j를 가리킨다. 또한, 1, 2, 3은 beam 단면의 국부좌표계 Z, Y, X를 나타내고 있다.

Table 1은 Beam188 요소에 대한 특징을 보여준다.

Table 1 Summary of Beam188 element

요소종류	특징		비고
Beam188	DOFs	Ux,Uy,Uz, Rotx,Roty,Rotz	1. 모든 pipe와 strut에 적용 2. 모드해석 시 added mass 고려 가능
	Inputs	단면물성치	
	Outputs	변위, 응력, 모멘트, 반력 등	

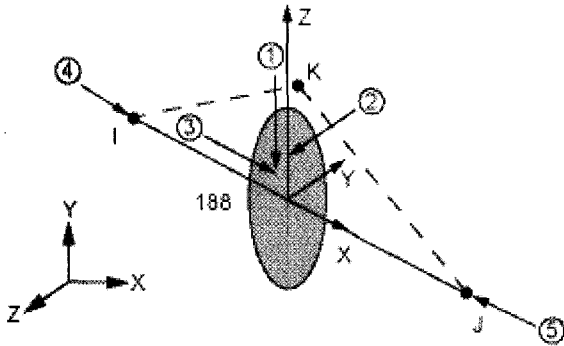


Fig. 4 Beam188의 geometry

2.2 적합 모델선정 및 프로세스 구현

Fig. 5는 펌프타워의 유한요소모델을 보여주고 있다. 펌프 타워의 구조해석을 수행하기 위한 최적의 모델과 프로세스를 개발하기 위하여 규칙적으로 절점과 요소의 번호를 부여하였다. 절점에 적용된 하중 크기 및 부재 또는 조인트의 unity 값을 쉽게 검토할 수 있게 된다.

Emergency Pipe는 101번부터 시작하도록 하고 100번대를 사용한다. Portside Discharge Pipe는 201번부터 시작하고 200번대를 사용하며, Starboard Discharge Pipe

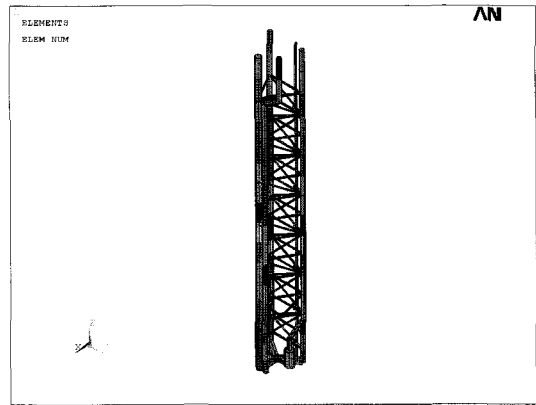


Fig. 5 Pump Tower의 유한요소모델

는 301번부터 시작하고 300번대를 사용한다. Filling Pipe는 400번대, Gauge Pipe는 500번대를 사용한다. 나머지 Strut과 링크 등은 600번대부터 시작하여 반복 span의 개수에 따라 자동으로 번호대가 증가하거나 감소하게 된다. 하부 원점부터 상부 방향으로 절점 및 요소의 번호가 증가하도록 설정하였다. 이와 같이 펌프타워의 구조해석 시 가장 적절한 유한요소해석 모델을 제시하였다.

2.3 Beam Section

Emergency pipe는 EP, Portside pipe는 PDP, Starboard side pipe는 SDP, Filling pipe는 FP, Gauge pipe는 GP, Strut1, 2, 3, Pump connection pipe는 P.Con으로 나타내고 원형단면을 갖는다. Base plate는 B.P. Base plate의 연결 pipe는 B.P.Con., Link1,2로 나

Table 2 Section Properties

구조부재 type	Sec No.	Shape	Size
EP	1	Circular	609.6 × 12.7mm (외경 × 두께)
PDP	2	Circular	406.4 × 12.7mm (외경 × 두께)
SDP	3	Circular	406.4 × 12.7mm (외경 × 두께)
FP	4	Circular	406.4 × 4.77mm (외경 × 두께)
GP	5	Circular	219.1 × 3.76mm (외경 × 두께)
Strut 1	6	Circular	141.3 × 6.55mm (외경 × 두께)
Strut 2	7	Circular	141.3 × 6.02mm (외경 × 두께)
Strut 3	8	Circular	141.3 × 3.05mm (외경 × 두께)
Pump	9	Circular	871 × 1531mm × 3000(외경 × 높이 × 두께)
P. Con.	10	Circular	355.6 × 4.70mm(외경 × 두께)
B. P.	11	H	400 × 600 × 358 × 10 × 40 × 36 (웨브1길이 × 플랜지길이 × 웨브2길이 × 웨브1두께 × 플랜지두께 × 웨브2두께)
B. P.Con	12	H	200 × 300 × 175 × 5 × 20 × 16 (웨브1길이 × 플랜지길이 × 웨브2길이 × 웨브1두께 × 플랜지두께 × 웨브2두께)
Link 1	13	H	500 × 500 × 412 × 6 × 6 × 6 (웨브1길이 × 플랜지길이 × 웨브2길이 × 웨브1두께 × 플랜지두께 × 웨브2두께)
Link 2	14	H	500 × 500 × 212 × 6 × 6 × 6 (웨브1길이 × 플랜지길이 × 웨브2길이 × 웨브1두께 × 플랜지두께 × 웨브2두께)

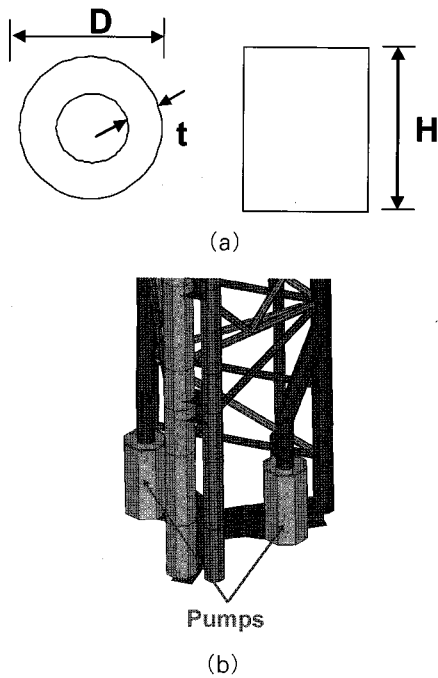


Fig. 6 펌프의 치수표시와 중공원형 단면으로 표현된 펌프

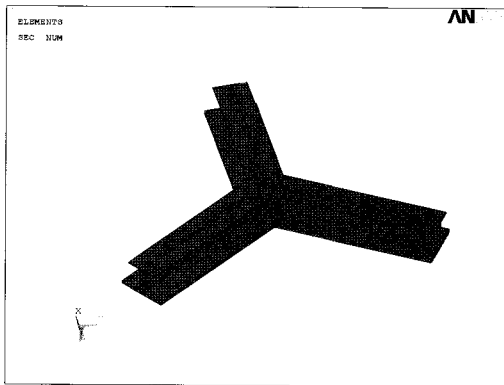


Fig. 7 beam model로 고려된 base plate

타내었고 H-형상의 단면을 갖는다. 펌프타워 부재의 단면은 Table 2와 같다.

Pipe GUI에서 펌프에 관하여 입력되는 값은 펌프의 외경, 높이, 무게이다. 이는 식 (1)을 통하여 계산되어 펌프의 중공원형 단면의 두께가 결정된다. ANSYS상에서 입력 시에 원형단면의 외경과 두께가 입력 되어진다. Fig. 6(b)는 식 (1)로 계산된 펌프의 두께를 적용한 펌프 모델을 보여준다. 펌프와 Portside, Starboard discharge pipe와 연결되는 pipe가 Pump connection pipe이고, 펌프타워의 하부에 base plate와 펌프가 연결되는 pipe는 base plate의 연결 pipe이다.

$$t = \frac{D}{2} - \sqrt{\frac{\rho \pi^3 H - 4W}{4\rho \pi H}} \quad (1)$$

Table 3 Material properties of SUS304

Young Modulus	1968059.6 [kgf/cm ²]	
Poisson's ratio	0.3	
Density	0.0000078 [kg/cm ³ /G]	
Thermal Expansion Coefficient	Temp.[°C]	Value [cm/cm/°C]
	-185	13.3 × 10 ⁻⁶
	-180	13.9 × 10 ⁻⁶
	-70	14.8 × 10 ⁻⁶
	-20	15.7 × 10 ⁻⁶
	0	17.2 × 10 ⁻⁶
	100	17.2 × 10 ⁻⁶

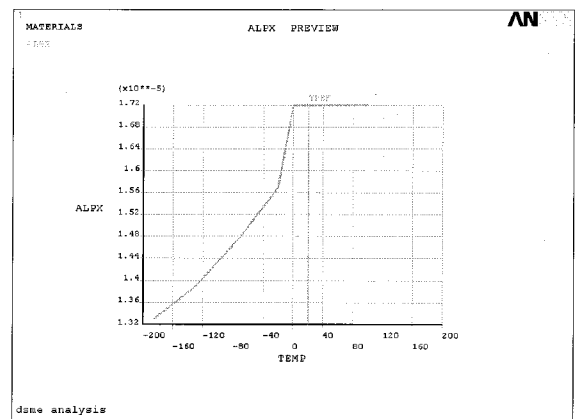


Fig. 8 온도에 따른 열팽창계수

셀요소와 빔요소의 결합 시 특이해(singularity)의 발생을 피하고자 base plate를 유한요소모델링은 다른 부재들과 마찬가지로 beam model로 고려하였다. Fig. 7은 beam model로 치환된 base plate의 유한요소 모델을 보여주고 있다. 치수는 Table 2의 B.P 항목과 같다.

2.4 Material Property

펌프타워에 적용되는 재료 물성치는 SUS304 로써 Table 3에 나타내었다.

펌프타워가 섭씨 -163도의 LNG에 잠겨있기 때문에 온도 차에 의한 수축, 팽창이 일어나게 된다. 이를 고려하기 위하여 온도에 따른 열팽창계수를 입력하였다. Reference온도는 섭씨 20도이다. Fig. 8은 온도에 따른 열팽창계수를 보여주고 있다.

2.5 하중의 산정

펌프타워에 작용하는 하중은 4가지로 분류할 수 있다. 먼저 선박이 운행할 때 탱크 내에 채워져 있는 LNG가 출렁거리면서 발생시키는 슬로싱 하중과 선박의 rolling, pitching

motion에 의한 자중영향, translation과 rotational inertia 하중, LNG 가스의 온도 차에 의한 열하중이 있다.

2.6 Sloshing 하중

슬로싱 하중은 식 (2)의 모리슨 식(Morrison's Equation)을 통하여 산정하였다.

$$\frac{dF}{dz} = \frac{1}{2} \rho C_d U |U| D + \rho C_m \frac{dU}{dt} A \quad (2)$$

먼저 전산유체해석을 통해 얻은 결과는 특정 슬로싱 시간 대에서의 각 위치별 속도와 가속도 값이 된다. ANSYS 내부의 array table로 저장하고 각 요소의 center와 가장 가까운 위치의 속도와 가속도 값을 자동으로 선택하도록 식 (2)를 APDL(Ansys Parametric Design Language)로 작성하였다. 또한, 계산 되어진 하중은 각 요소에 속해있는 절점으로 나누어 적용시켰다. 드래그 계수 C_d 값은 0.7, 이너시아 계수 C_m 값은 2.0를 사용하였다. ρ 는 LNG의 밀도이고 D 는 각 부재의 외경, A 는 부재의 단면적이고, U 는 속도를 나타낸다. 따라서, dU/dt 항은 가속도가 된다. Fig. 9는 펌프타워의 유한요소 모델에 모리슨 식을 통하여 계산된 하중을 부여했을 때의 모습을 보여주고 있다. 각 절점 별로 하중이 자동으로 누적되어 적용되도록 하였다. 펌프타워의 높

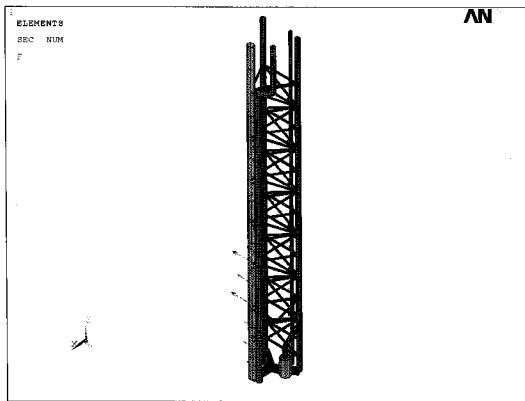
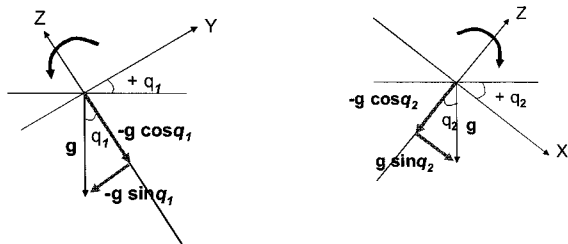


Fig. 9 슬로싱 하중의 적용모습



(a) transverse motion (b) longitudinal motion
Fig. 10 Self gravity 하중

이방향이 z축으로 설정되어 있는데 z방향의 속도와 가속도 크기가 크지 않으므로 z방향의 하중은 고려하지 않았다.

2.7 Self gravity 하중

선박의 pitching과 rolling motion에 의하여 발생하는 선박 자체 중량의 영향을 고려하였다. Fig. 10(a)는 선박의 횡방향 운동, (b)는 종방향 운동을 고려할 때를 보여주고 있다.

자중은 각 방향별로 고려하며, 식 (3)~(6)은 각 방향에 대한 계산 식이다.

$$G_y = -g \sin q_1 \quad (3)$$

$$G_z = -g \cos q_1 \quad (4)$$

$$G_x = g \sin q_2 \quad (5)$$

$$G_z = -g \cos q_2 \quad (6)$$

2.8 Inertia 하중

Inertia 하중은 선박 운항 시 작용력을 고려하는 것으로 x , y , z 방향에 대한 식으로 translation 과 rotation 으로 나눌 수 있다. 식 (7)은 Inertia 하중에 대한 식을 보여주고 있다. 두 번째 term은 translational acceleration vector, 세 번째 term은 rotational acceleration vector를 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ddot{\xi}_1 \\ \ddot{\xi}_2 \\ \ddot{\xi}_3 \end{bmatrix} + \begin{vmatrix} i & j & k \\ \dot{\theta}_1 & \dot{\theta}_2 & \dot{\theta}_3 \\ x & y & z \end{vmatrix} = \begin{bmatrix} \ddot{\xi}_1 - y\ddot{\theta}_3 + z\ddot{\theta}_2 \\ \ddot{\xi}_2 - x\ddot{\theta}_3 + z\ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\xi}_3 - x\ddot{\theta}_2 + y\ddot{\theta}_1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

2.9 Thermal 하중

펌프타워의 탱크 내부에 채워져 있는 LNG는 영하의 온도를 유지하고 있기 때문에 펌프타워가 온도 차에 의한 수축,

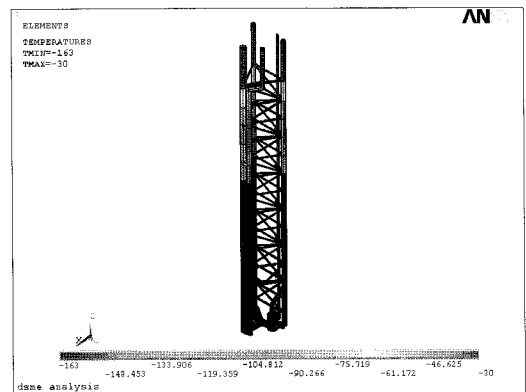


Fig. 11 펌프타워 높이에 따른 온도분포

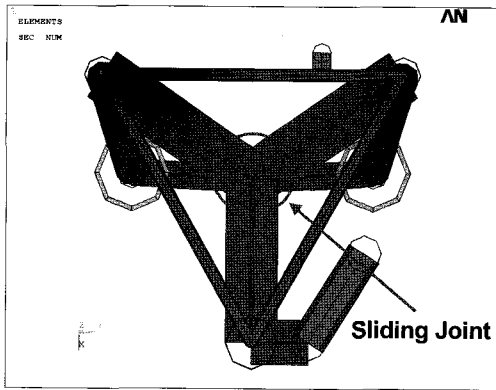


Fig. 12 펌프타워 하부의 sliding joint

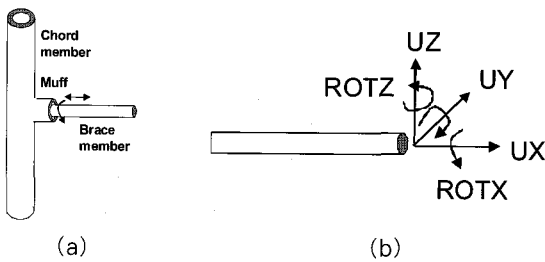


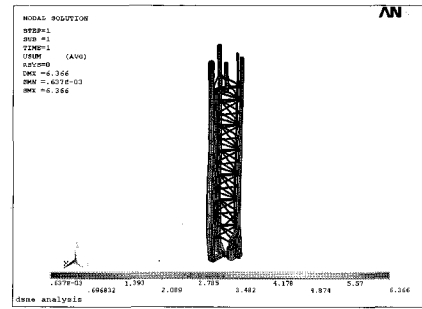
Fig. 13 muff condition 및 자유도 설정

팽창을 하게 된다. Fig. 11은 펌프타워 높이에 따른 온도분포를 보여주고 있다. LNG에 잠겨져 있는 펌프타워의 Tank bottom으로 부터 free surface까지 섭씨 -163도로 유지되며 free surface로 부터 inner deck까지는 -163과 -30사이의 값으로 선형 보간되어 적용된다. Inner deck부터 trunk deck까지는 -30도가 된다. Reference temp는 섭씨 20도이다.

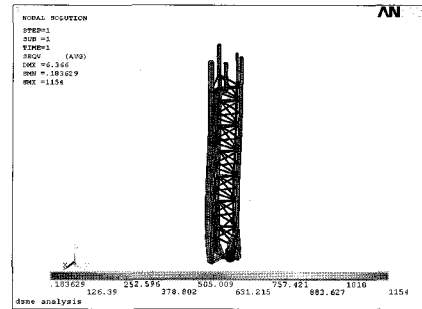
3. 경계조건의 적용

하부는 Base Plate의 Center에 Sliding Joint로 설정되어 있다. 이 조건을 구현하기 위하여 자유도 구속을 설정하였다. Fig. 12는 펌프타워 하부의 경계조건을 보여주고 있다. 펌프타워의 높이방향 z축의 병진을 제외한 ux, uy, rotx, roty, rotz 자유도를 구속하였다.

Deck type1의 경우에는 trunk deck에 ux, uy, uz, rotx, inner deck에는 ux와 uy 자유도를 구속, type2의 경우에는 trunk deck에 ux, uy, uz, rotx 자유도만을 구속하였다. 이들 경계조건 이외에 고려해야 하는 muff condition이 있다. 이는 선박의 deck 근처에서 작용하는 응력을 완화하기 위한 조건으로 Fig. 13은 muff condition에 대한 자유도 설정조건을 보여주고 있다. ux와 rotx는 free 조건이 된다. 즉, 부재의 회전방향과 축방향은 자유로우며 나머지 자유도는 구속이 된다.

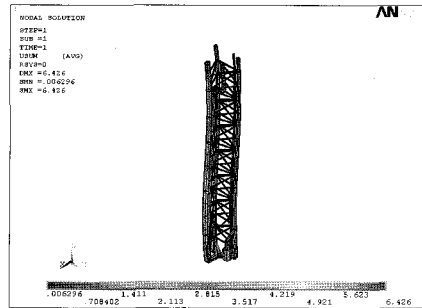


(a)

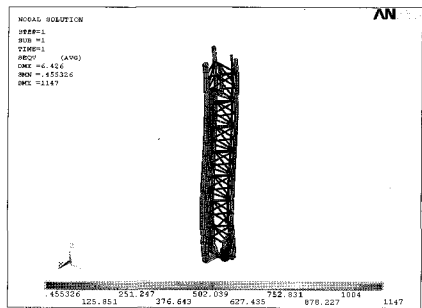


(b)

Fig. 14 deck type 1의 변위 및 등가응력 분포



(a)



(b)

Fig. 15 deck type 2의 변위 및 등가응력 분포

4. 응력해석

LNG filling ratio 50%일 경우, 슬로싱 해석을 통하여 구한 가장 큰 슬로싱 하중상태인 0.24초일 때를 적용하여 두 가지 deck type에 대한 변위 및 응력 결과를 비교하였다. Fig. 14(a), (b)는 각각 deck type1의 변위분포, 등가응력

분포 결과이며, Fig. 15(a), (b)는 각각 deck type2의 변위분포, 등가응력분포 결과이다. type1과 type2 모두 경향은 매우 유사했다. type1의 경우 최대 변위 값은 6.366cm 이었고, 최대 응력값은 1154kgf/cm²이었고, type2의 경우 최대 변위 값은 6.426cm이었고, 최대 응력값은 1147kgf/cm²이었다. 변형형상을 살펴보면 Filling ratio가 50%이기 때문에 펌프타워의 슬로싱 하중이 펌프타워의 1/2지점 이하에 크게 작용하게 됨을 확인할 수 있고, 하부지점이 sliding support로 되어 있기 때문에 온도 구배에 따라 변위가 주로 펌프타워의 높이 방향으로 크게 발생하였다. 펌프타워의 상부 deck부위에도 경계조건이 적용됨으로써 응력이 크게 발생하였는데, muff condition에 의해 다소 완화된 것으로 보인다. 최대등가응력이 발생한 지점을 살펴보면 하부의 discharge pipe사이의 brace임을 확인할 수 있었다. 이는 슬로싱 하중의 y방향의 커다란 하중들의 영향이 큰 것으로 판단된다. API code를 통하여 계산되는 failure 기준에서 등가응력이 고려되지 않는다. 따라서, 결과에 영향을 주지 않지만, 참고적으로 경향을 살펴보았다.

5. API Code check

API(American Petroleum Institute) code의 API-RP-2A-WSD를 기준으로 펌프타워 부재의 buckling과 joint에서의 punching shear에 대한 검토를 하였다. ABS 규격 내에 API항이 들어 있다. 이 API 코드를 통하여 유한요소해석 결과로부터 axial, in-plane/out-of-plane의 응력 결과를 이용하여 식 (8)과 (9)를 통하여 unity value를 검토하였고, 식 (10)~(13)을 통하여 punching shear value를 검토하였다. 슬로싱 해석을 통하여 구한 최대 하중을 기준으로 높이에 따른 unity check 값과 punching shear 값의 분포를 확인하였다. unity value는 좌굴을 고려한 허용응력과 작용응력간의 비로 설명될 수 있으며 이 값을 구하여 1.0이 넘게 되면 부재에 failure가 일어난 것으로 판단한다. 따라서, 모든 부재는 1.0이하가 되어야 한다. punching shear 값은 임의의 조인트에 대하여 brace 부재가 chord 부재를 뚫고 punching이 일어날 것인지에 대한 판정이 된다. 이 값도 역시 1.0을 넘게 되면 failure가 일어났다고 판단할 수 있으며 모든 조인트가 1.0이하가 되어야 한다.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m \sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{(1 - \frac{f_a}{F_e}) F_b} \leq 1.0 \tag{8}$$

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \leq 1.0 \tag{9}$$

$$v_p = \tau f \sin \theta \tag{10}$$

$$v_{pa} = Q_q Q_f \frac{F_{yc}}{0.6\gamma} \tag{11}$$

$$\left(\frac{v_p}{v_{pa}} \right)_{IPB}^2 + \left(\frac{v_p}{v_{pa}} \right)_{OPB}^2 \leq 1.0 \tag{12}$$

$$\left| \frac{v_p}{v_{pa}} \right|_{AX} + \frac{2}{\pi} \arcsin \tag{13}$$

$$\sqrt{\left(\frac{v_p}{v_{pa}} \right)_{IPB}^2 + \left(\frac{v_p}{v_{pa}} \right)_{OPB}^2} \leq 1.0 \tag{13}$$

Fig. 16(a)는 API code checking을 수행하였을 때 각각의 주요 파이프에 대하여 펌프의 높이에 따른 unity value의 분포를 보여주고 있다. LNG가 탱크 내에 50%만 채워져 있기 때문에 펌프타워의 약 1/2지점에서 하중이 크게 걸리게 된다. 이에 따라 Fig. 16(a)에서 보여지는 바와 같

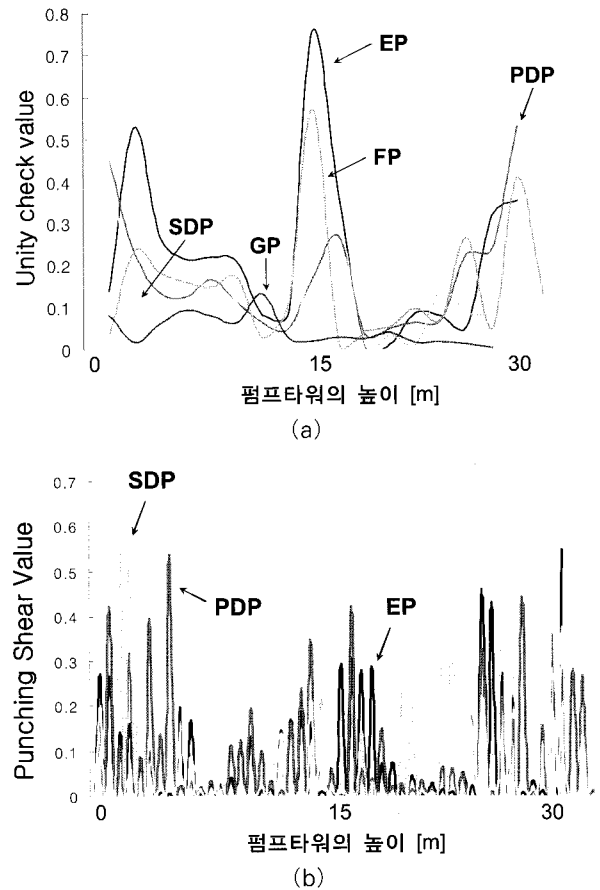


Fig. 16 높이에 따른 unity값과 punching shear 값의 분포

이 unity value의 값이 큰 것을 알 수 있다. 또한 펌프타워의 하단과 상단 모두 경계조건이 적용됨에 따라 큰 반력에 의한 영향으로 판단된다. Fig. 16(b)는 펌프타워의 높이에 따른 punching shear 값의 분포를 보여주고 있다. emergency pipe와 starboard discharge pipe, emergency pipe와 portside discharge pipe, starboard discharge pipe와 portside discharge pipe의 세 개의 접합부위에서 값을 측정하였으며, unity value의 분포와 마찬가지로 비슷한 경향을 보여주고 있다. 그러나 상, 하단에서의 unity value가 큰 것은 펌프타워의 중간위치보다 상대적으로 큰 값을 보이는 경향은 열응력에 의한 구조물의 수축으로 인한 큰 굽힘모멘트에 의한 영향이 큰 것으로 판단된다.

6. 고유 진동수해석

고유진동수해석은 전응력(pre-stress)상태 즉, 하중이 작용하고 있는 상태에서의 진동수 계산이 가능하다. 하중이 작용하여 발생하는 응력행렬을 강성행렬에 더해지게 된다. 또한, 펌프타워와 같이 유체에 잠겨 있는 경우 부재의 단면에 따라 부가수 질량(added mass)을 구조물에 고려해 주어야 하는 데 이를 구현할 수 있다. 그러나, 여기에서는 원형 단면에 대한 것만 고려할 수 있도록 하였다. 내부적으로 이 값은 단위 면적당 값으로 정의되며, 부재의 단면 물성치를 입력하면 자동으로 계산되도록 되어있다.

7. PTAP v1.0

GUI는 Tcl/tk언어를 이용하여 개발하였고, 펌프타워의 열응력해석 및 고유진동수해석을 수행하는데 있어서 가장 적합한 모델링과 수행과정을 도입하여 Pump tower의 구조해

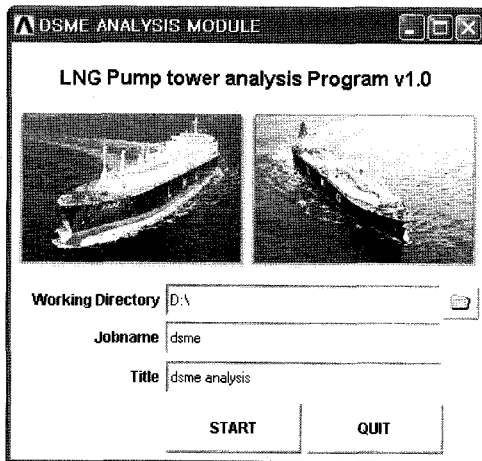


Fig. 17 PTAP v1.0의 초기화면

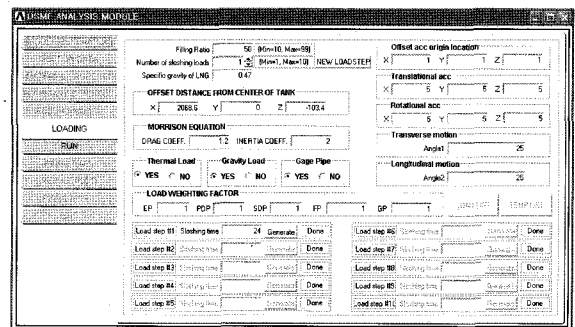
석 전용해석 프로그램인 PTAP v1.0을 개발하였다. PTAP은 응력해석과 부가수 질량(added mass)을 고려한 모드해석이 가능하며 해석 수행 후 결과 검토 시 API code를 통해 자동으로 violated 구조부재와 joint 등을 알려주며 변형형상 검토, animation, 결과 리스트 등을 출력해준다. solver는 ANSYS v9.0을 사용하였다. Fig. 17은 PTAP v1.0의 초기화면을 보여준다.

PTAP v1.0의 핵심기능 중 하나인 하중입력 GUI는 Fig. 18과 같다. LNG의 filling level과 sloshing time에 따라 하중파일을 펌프타워의 절점력으로 자동으로 부여해준다. 또한, load weighting factor에 따라 하중을 주요 pipe 별로 몇 %만 고려할지를 설정할 수 있다.

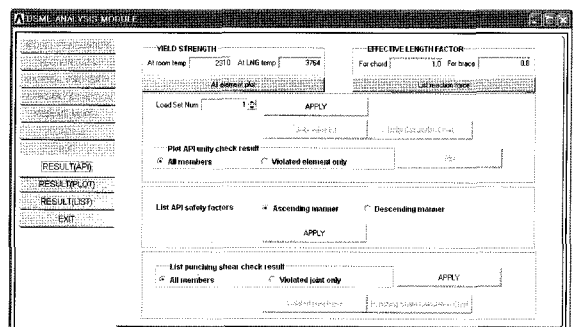
앞서 적용된 하중에 대한 해석을 수행한 후 API code check를 통하여 문제가 있는 구조부재와 joint를 출력해주며 그래픽으로 확인 할 수 있도록 해준다. 또한, 중간 계산 값들도 선택적으로 리스트하여 볼 수 있다. 리스트로 확인한 내용은 자동으로 파일로 저장하게 된다.

8. 결 론

본 연구에서는 펌프타워의 구조해석 시 최적의 유한요소 모델을 선정하였고, 프로세스를 개발하였다. 펌프타워의 구조해석과정을 최적의 유한요소모델과 프로세스를 적용하여 자



(a)



(b)

Fig. 18 PTAP v1.0의 하중입력 GUI

동화 프로그램 PTAP v1.0을 개발하였다. 하중 case가 여러개일 경우도 동시에 해석이 가능하며 자동으로 하중이 적용되고, 결과검토도 다양하게 할 수 있도록 하였다. 해석을 수행한 후 후처리과정에서 API code를 적용하여 unity check 값과 punching shear값의 분포 경향을 쉽게 확인할 수 있도록 list 뿐만 아니라 contour결과를 출력하도록 개발하였다. LNG 운반선의 Deck type의 변경에 따른 응력해석 결과와 고유진동수 결과를 쉽게 비교 검토할 수 있다. 고유진동수 해석 시 부가수 질량을 고려 또는 무시할 수 있는 옵션을 개발하였다. PTAP v1.0 펌프타워의 구조해석 전용 GUI를 개발하여 구조해석 전문가 시스템 개발에 공헌을 하였으며 추후 최적화 모듈, 강제진동해석 모듈 등을 개발하여 추가하고 좀 더 실제 현상에 맞는 이론적인 접근과 프로그램의 안정성 측면을 고려하여 보다 심도 있는 접근을 할 것이다.

후 기

본 연구는 대우조선해양(주)와의 공동연구에 의한 성과물입니다.

참 고 문 헌

- 김석준, 김성찬, 윤장호 (1998) Technigaz형 액화천연가스 운반선 Pump Tower이 구조해석, 대한조선학회 춘계 학술 발표회논문집, pp.296~299.
- 박관규, 임성우, 조철희 (2006) 해양 K-Joint 구조의 피로 성능 평가, 한국전산구조공학회 학술대회 논문집, pp.655~663.
- 서정관, 백점기 (2005) 선박해양구조물의 최종강도 해석용 프로그램 ALPS 적용사례, 한국전산구조공학회 학술발표회 논문집, pp.28~35.
- 손충렬 (1995) 해양구조물공학, 미래내, p.801.
- 한국강구조학회 (2005) 강구조설계, 구미서관, p.463.
- 한국선급 (1999) 선박진동소음 제어지침, p.544.
- ABS (2004) Sloshing and structural analysis of pump tower for membrane type LNG carriers, American Bureau of Shipping Press, p.38.
- ABS (2005) Sloshing analysis for ocean-going membrane type LNG carriers, American Bureau of Shipping Press, p.34.
- Welch, Brent B. (2003) Practical Programming in Tcl and Tk, Prentice Hall, p.1000.