

자켓형 해양 구조물의 동적거동에 대한 민감도 연구

A Study on the Sensitivity of Dynamic Behavior of Jacket Type Offshore Structure

이정탁* · 이강수** · 신상학*** · 손충렬†

Jung-Tak Lee, Kang-Su Lee, Sang-Hak Shin and Choong-Yul Son

Key Words : Offshore Structure(해양구조물), sensitivity(민감도), 동적거동(Dynamic Behavior), Natural Frequency(고유진동수)

ABSTRACT

This thesis introduces a study conducted by ANSYS, Finite Element Analysis program, on dynamic behavior by thickness of a chord and a brace of a jacket typed marine structure. As load condition to work on offshore structures is getting much more various, it becomes more important to design the structures and operate them. In addition, stability is also required. As the result of this study, it was proved that wind and wave load gives more affection on frequency than on added mass in the Modal Analysis. Also, the chord and brace affect stiffness more than diagonal brace according to sensitivity analysis.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

해저에 있는 석유나 가스를 생산하기 위해서는 생산시설을 해상의 구조물 위에 설치하게 된다. 이와 같은 해양구조물은 수심이나 기능에 따라 다양한 형태로 발전되어 왔다. 일반적으로 해양구조물은 수심에 따라 변화하는 형상으로 분류하여, 고정식 해양구조물, 유연식 해양구조물, 부유식 해양구조물로 나눈다.

그 중 현재 가장 많이 쓰이는 해양 고정식 구조물에는 자켓형 해양 구조물이 있다. 이 구조물은 육상에서 제작 후

해당지역까지 운반되어 설치된다. 이 때 4-8개의 레그를 통하여 각각 파일을 박게 되는데 상부의 주요 시설은 주로 이 파일들이 지지하게 되고, 강관 구조물은 레그와 브레이스로 이 파일들을 옆으로 지탱하여 측면력에 대한 파일의 거동이 총합적으로 이루어지게끔 해준다. 파일은 해저면 약 100미터까지 깊이 박혀 해양 플랫폼을 해저 지층에 영구적으로 고정시켜주고, 측면 및 수직 하중을 해저에 전달하여 구조물을 안정하게 유지한다. 이러한 자켓형 해양 구조물은 보통 20년 정도의 설계 수명을 가지며, 해저 석유 생산, 해상 거주용 등에 널리 사용된다.

해양구조물은 외부수압, 바람, 파도, 해류, 조수, 빙하, 지진 및 각종 기계설비로 부터의 하중을 받는다. 해양구조물의 파괴는 해양오염 및 해양자원개발의 손실뿐 만아니라 인명재산피해까지 이어 질 수 있으므로, 이의 구조적 안정성은 구조물의 설계와 관리에 있어서 아주 중요한 부분이다. 해양구조물과 같이 큰 하중을 받고 있는 구조물의 제어는 구조적 안전성 측면에서 매우 중요하다.

본 논문에서는 유한요소해석 범용프로그램인 ANSYS를

† 손충렬; 인하대학교 기계공학부 선박공학과
E-mail : soncy@inha.ac.kr
Tel : (032) 860-7338, Fax : (032) 864-5850

* 인하대학교 기계공학부 선박공학과

** 인하대학교 기계공학부 선박공학과

*** 인하대학교 기계공학부 선박공학과

사용하여 자켓형 해양 구조물에서의 부가수질량(Added Mass)과 외부하중(Wind Load / Wave Load)의 적용 유무에 따른, Chord 및 Brace 두께 변화의 동적거동에 대한 민감도 연구를 목적으로 한다.

2. 하중 적용 이론

해양 구조물의 강도에 영향을 주는 외부환경 상태로는 외부수압(hydrostatic pressure), 바람(wind), 파도(wave), 해류(current), 조수(tide), 빙하(ice), 지진(earthquake), 온도(temperature), 세굴(souring) 등을 생각할 수 있으며, 이에 따른 하중을 환경 하중이라고 부른다. Offshore platform에 작용하는 하중에는 gravity load, buoyancy load, wind load, current load, wave load, flow load 및 충격 하중 등이 있다.

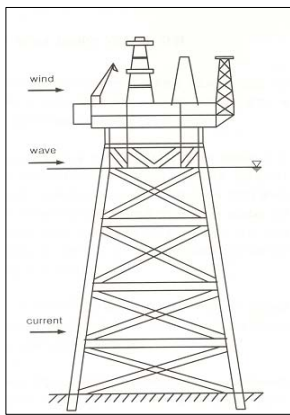


Fig. 1 해양구조물에 영향을 주는 주요한 환경하중

2.1 Wave load

해양구조물에 작용하는 외부하중 중 가장 영향이 크고 설계에 지배적인 것이 wave force라는 것은 주지의 사실이다. wave란 해수면이 주기적으로 진동하는 현상을 말하며 실제로는 매우 복잡하고 Random한 경향을 갖기 때문에 이를 수학적으로 정확하게 표현, 해석하기란 사실상 불가능하다고 할 수 있으나 이에 대한 실험과 연구가 현재 상당한 진척을 보이고 있다.

Ocean wave가 생기는 일차적이고 가장 큰 요인은 wind의 Friction Force에 있으나 가끔 해저지진이나 지각변동, 해저화산폭발, 기압의 변동, 조류 등에 의해서 생기기도 하

며 이때의 wave는 wind로 인한 wave 보다 보통 더 긴 주기를 갖는다.

2.1.1 Wave theory

wave theory에는 Airy, Stoke, Stream Function, Cnoidal, Solitary Wave Theory 등이 있으며, 이러한 wave theory의 특성들이 각각 다르기 때문에 실제 wave의 특성과 잘 일치하는 wave theory를 선택하는 것이 중요하다.

수심을 d , 설계파의 파장을 L 이라 하였을 때, $d/L > 0.5$ 인 심해(deep sea)에서는 Airy wave나 Stoke wave theory를 $d/L > 0.04$ 인 천해(shallow sea)에서는 Cnoidal이나 Solitary wave theory를 쓰는 것이 좋다.

wave force를 계산하려면 먼저 주어진 design wave condition을 가장 잘 만족하는 wave theory를 선택하여 여러 wave parameter를 결정한 다음 실제와 이론을 최대한 만족시킬 수 있는 계수를 고려하여 Morison Equation으로부터 구하게 된다.

2.1.2 Morison Equation

$$F = F_d + F_i = \frac{1}{2} \rho C_d A u^2 + \rho C_m V \frac{du}{dt} \quad (1)$$

여기서 F_d : Drag Force

F_i : Inertia Force

C_m : Inertia 계수

C_d : Drag 계수

A : 단위 면적

U : 물입자 속도

여기서 Drag Force는 유체가 물체 주위를 흐를 때 생기는 마찰력과 물체의 후면에서 유체 흐름이 분리되어 부서짐으로서 생기는 유체방향의 압력이 그 주원인이며 Inertia Force는 유체중의 물 분자가 가속도를 갖기 때문에 발생하는 것이다. 일반적으로 Jacket과 같이 Pipe로 구성되어 있는 구조물들은 Drag Force가 Inertia Force에 비해 크게

작용하기 때문에 Drag-Dominant Structure라 하며 Gravity Structure처럼 지름이 큰 구조물은 그 반대로 Inertia-Dominant Structure라 할 수 있다.

2.1.3 파력(Wave Force)의 작용

Vertical pile에 대한 수평방향의 파력(Wave force)은 Water particle acceleration에 의한 Inertia force와 Friction, Boundary layer effect에 의한 Drag force로 대별된다. 가속되는 Fluid 속의 Fixed object는 여기에 가해지는 Fluid의 Layer 때문에 힘을 받게 된다.

이때 Inertia force는

$$dF_i = \rho C_I \frac{(\pi D^2)}{4} \frac{du}{dt} \quad (2)$$

여기서, C_I = 실험적으로 결정되는 Mass Coefficient
그러므로 max. inertia force는

$$F_{im} = \int_{-d}^{\eta} \rho C_I \frac{(\pi D^2)}{4} \frac{du}{dt} dz \quad (3)$$

drag force는 다음 두 가지에 기인하다.

첫째는 Friction으로서 이는 무한히 얇은 Fluid layer가 Cylinder side에 붙어 고정되고 Velocity는 Cylinder surface로 부터의 거리에 따라 지수적으로 증가한다는 가정으로부터 Boundary layer의 이웃하는 Fluid layer간에 Inertia force가 생김을 말한다.

두번째는 Cylinder의 Downstream side에서 Boundary layer의 Flow가 분리하여 부서짐으로서 생기는 Form drag 때문에 결과적으로 Pressure가 발생함을 말한다. 이는 어떤 상대 유체속도를 일으켜 Lower pressure를 갖는 Turbulent Wake와 유체운동방향으로 Net force를 야기하다.

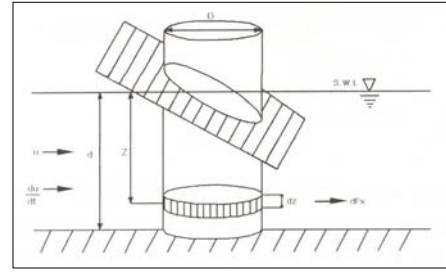


Fig. 2 Pile에 작용하는 Wind load

이때 drag force는

$$dF_d = \frac{\rho}{2} C_D |u| u dA = \frac{\rho}{2} C_D |u| u D \quad (4)$$

d_A 는 Force방향에 수직한 Place에 투영된 Member의 Unit area 이다. 그러므로 Max. Drag force는

$$F_{dm} = \int_{-d}^{\eta} \frac{\rho}{2} C_D u |u| D dz \quad (5)$$

Total maximum force는 다음과 같은 Morison 방정식이 된다.

$$F_{Tm} = F_{im} + F_{dm} = \int_{-d}^{\eta} \rho C_I \frac{\pi D^2}{4} \frac{du}{dt} dz + \int_{-d}^{\eta} \frac{\rho}{2} C_D u |u| D dz \quad (6)$$

Cylinder object에 대한 Wave force의 계산은 Member diameter/Wave length의 비율, 즉 D/L 에 따라 달라진다. 이 값이 0.05보다 작을 때는 Pile이 Wave property에 어떠한 영향도 끼치지 않게 되고, 따라서 Morison 방정식이 적용되나, DNV에서는 이 비율이 0.2까지 Morison 방정식이 적용될 수 있다고 하고 있다. 이보다 큰 Large volume body에 있어서는 Diffraction이나 Scattering으로 Incident wave 가 변형되기 때문에 Diffraction theory를 Wave force 계산에 반영해야 한다. C_D 와 C_I 는 Pile roughness, Degree of fouling, Aspect ratio (the ratio of width to length), Cross-sectional shape, Body orientation, Relative flow velocity, Reynolds number 등에 의해 변

하는 성질을 갖는다. 대체로 Offshore steel structure에 대해서는 Marine roughness를 고려해서 $C_D = 1.0$, $C_M = 0.2$ 이 추천된다.

2.2 Wind Load

바람은 지상의 모든 구조물에 대해 영향을 미치고 있으나 특히 해상에서는 일반적으로 바람이 더 세고 빈도가 잦은 관계로 해상구조물 설계에서 중요한 요소로 작용하게 된다. 그리고 바람 역시 wave와 마찬가지로 불규칙한 성질을 가지므로 이 불규칙성을 고려하여 동적해석을 수행해야 하지만, 해석상의 편의를 위해서 주로 정역학적으로 해석을 수행한다.

해양구조물에 대한 바람의 영향은 상부구조(deck structure)에서의 동적효과와 하부구조(jacket Structure)에서의 Overturning Moment 두 가지로 크게 나누어 볼 수 있다. 따라서 풍속이나 풍압의 평가가 설계의 전제조건으로 중요하게 되며 이의 올바른 해석은 해상구조물 전체의 적정 설계에 있어 관건이 되는 것이다.

2.2.1 Wind Velocity Profile

해수면은 움직이는 공기에 대해 Horizontal Force를 작용하여 그 속도를 감쇄시킨다. 이 결과 Atmospheric Boundary Layer가 형성되며 이 Layer 내에서는 풍속이

높이에 따라 변하게 된다. 이 때 Boundary Layer 맨 위의 풍속을 Gradient Speed라 하며 이 보다 높은 Free Atmosphere에서는 바람이 거의 일정한 Gradient Speed를 갖게 된다.

보통 Gradient Wind Level은 Open Terrain에서 275m에 이르므로 일반적으로 해상구조물은 Boundary Layer안에 포함된다고 볼 수 있다. Boundary Layer의 Wind Profile을 나타내는 데는 보통 다음과 같은 Power Law를 쓰고 있다.

$$V_z = V_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^a \quad (7)$$

여기서, V_z = 높이 z에서의 풍속

V_{10} = 높이 10m에서의 풍속

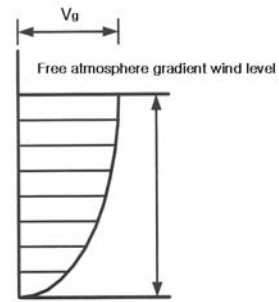


Fig. 3 Wind Velocity Profile

2.2.2 Wind Force

어떠한 구조물에 미치는 wind force는 항력(drag force)과 양력(lift force)로 대별될 수 있다. 항력(Drag Force)은 Pressure Difference로 인해 Flow 방향으로 생기는 Force이며, 양력(Lift Force)은 물체의 Shape이나 Orientation 때문에 발생하는 Flow 방향에 수직인 Force이다.

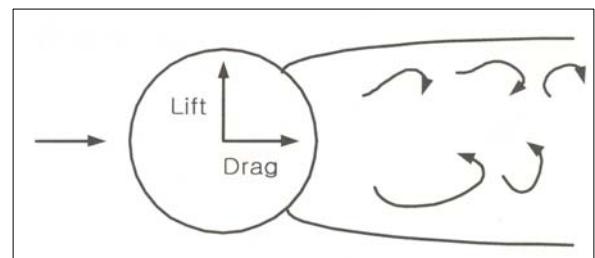


Fig. 4 Drag force and Lift force

항력(Drag force)과 양력(Lift force)은 다음과 같이 표현되며

$$f_D = C_D \frac{1}{2} \rho V^2 dA \quad (8)$$

$$f_L = C_L \frac{1}{2} \rho V^2 dA \quad (9)$$

여기서,

$$dA = \text{Projected until area of object} \quad [m^2]$$

$$\rho = \text{Air density} = 1.247 \quad [kg/m^3]$$

$$V = \text{Wind velocity} \quad [m/s]$$

양력(Lift force)은 비대칭적인 Object에서만 발생된다. 그리고 보통 C_D 와 C_L 을 통칭으로 Shape Coefficient(C_S)라고 한다. 이 계수는 구조물의 형상과 Reynolds number에 따라 변하며 보통 실험에 의해 결정된다. API Regulation에서 Circular cylinder의 C_S 값은 0.5를 쓴다.

2.3 Current Load

Currents는 여러 가지 요인에 의해 야기된 물의 수평방향의 흐름을 말한다. Fixed Platform의 설계에 있어서 Currents는 Boat Landing과 Barge Bumper의 위치와 방향 선정에 영향을 끼치며, Platform에 힘을 미치기 때문에 중요한 고려사항이다.

어떤 위치에서의 실제 Currents는 여러 가지 형태의 Current의 합으로 이루어져 있으므로 Design Parameter를 결정하기 위해서는 실제로 측정을 하거나 기록된 자료를 사용해야 한다.

2.3.1 Current의 설계 속도

Currents Load를 구하는데 가장 중요한 요소는 최대 설계 속도를 구하는 것이다. 연직방향의 속도 분포를 구하여야 하며 강이나 좁은 Channel에서는 수평방향의 속도 분포를 고려해야 한다.

Current 설계속도는 owner의 design specification에서 field data로 수집에 따라 주어지지만 만약 이러한 data가 없을 경우에는 다음 식으로 계산한다.

$$V(z) = V_{tide}(z) + V_{wind}(z) \quad (10)$$

여기서 ,

$$V_{tide}(z) = V_{tide}(z/h)^{1/7} \text{ for } 0 \leq Z \leq h$$

$$V_{wind}(z) = V_{wind}\left(\frac{z}{h}\right) \text{ for } 0 \leq z \leq h_0$$

$$V_{wind}(z) = 0 \text{ for } h > h_0 \text{ and } z < (h - h_0)$$

그 때,

$V(z)$ = sea floor에서 거리 z 인 지점의 total current velocity [m/s^2]

V_{tide} = 해수면에서의 tidal current velocity [m/s^2]

V_{wind} = 해수면에서의 wind generated current velocity [m/s^2]

h = water depth [m]

h_0 = wind generated current에 대한 기준점 [50m]

z = sea floor로 부터의 상방으로 잰 거리 [m]

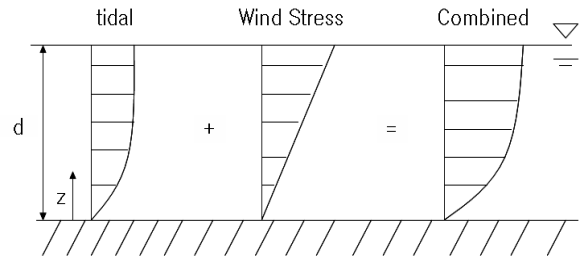


Fig. 5 Tidal and wind stress currents

위의 식으로부터 total currents velocity는 tidal current와 wind stress current는 표면근처에서는 중요한 몫을 차지한다. 그리고 위 식을 사용할 때 평균 해수면 위에 있는 wave crest에서의 current의 속도는 평균해수면에서의 속도와 같이 사용한다.

2.3.2 조력(Current)과 파(Wave)에 의한 복합 하중

Current와 Wave의 합성이 필요한 경우 물입자의 속도와 current의 속도를 vector 합성하여 sea floor로부터 z 인 지점의 current와 wave에 의한 force를 다음 식으로 구한다.

$$f_{TD} = \frac{\rho}{2} C_D d A_P (U + u)^2 \quad (11)$$

여기서,

f_{TD} = current와 wave의 drag force [KN]

dA_P = projected unit area [m^2]

U = current velocity [m/s^2]

u = wave particle velocity [m/s^2]

2.4 부가수질량 (Added Mass)

Offshore Structure처럼 유체 내에서 물체가 움직일 때, 그 물체주위의 유체도 따라서 움직이게 된다. 이 때 물체를 움직이기 위해서 물체뿐만 아니라 유체의 Kinetic Energy 까지 증가시키기 위한 일을 해주어야 한다. 여기서, 유체의 유동을 일으키는데 필요한 Energy를 유속의 제곱과 가상적인 질량의 곱으로 생각할 수 있는데, 이때의 가상적인 질량을 부가질량이라고 하며 구조물의 동적해석을 위한 모형화를 할 때 포함 시켜야 한다.

$$M_a = 2T / U^2 \quad (12)$$

where, M_a = Added Mass

U = Velocity of the Body

T = Kinetic Energy

즉, 이 Added Mass는 유체 내의 유동에 의해서 생기는 가상적인 질량으로서, 물체의 모양, 방향, 운동경로에 따라 달라진다.

3. Modeling

3.1 Jacket Type Tower의 주요제원

본 연구에서는 4-leg Jacket Type Tower를 이용하여 정적해석을 수행하였다. Jacket Type Tower의 주요제원은 다음과 같다.

Table 1. Jacket Type Tower of Analysis Model

Top diameter [m]	0.5
Thickness [m]	0.15/0.1/0.05
Water Depth [m]	10
Jacket Type Tower total length [m]	58.665
Number of leg [pieces]	4
Top dimension [m]	10 × 10
Bottom dimension [m]	21.36 × 21.36

3.1.1 Chord property

4-leg로 구성되어 있으며, 각 Chord Property는 다음과 같다.

Table 2. Jacket Type Tower Property of chord

Out diameter [cm]	60
Wall thickness [cm]	15
Shear area modules	0.5
E (Young's modules) [Kg/sq cm]	2100×1000
G (Shear modules) [Kg/sq cm]	840×1000
Yield strength [Kg/sq cm]	2450
Density [tone/m ³]	7.85
K factor	1.0

3.1.2 Brace property

각 k-brace 및 Diagonal brace Property는 다음과 같다.

Table 3. Jacket Type Tower Property of brace

Out diameter [cm]	30/40
Wall thickness [cm]	5/10
Shear area modules	0.5
E (Young's modules) [Kg/sq cm]	2100×1000
G (Shear modules) [Kg/sq cm]	840×1000
Yield strength [Kg/sq cm]	2450
Density [tone/m ³]	7.85
K factor	1.0

3.2 Jacket Type Tower의 형상

ANSYS 상용프로그램에서 Beam 188번(3-D Linear Finite Strain Beam)을 사용하여 모델링을 하였고 하부 네 개의 지지점은 Fixed 하였다.

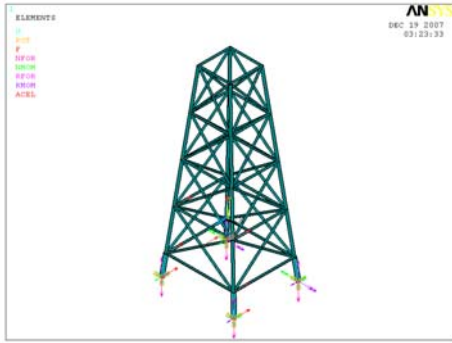


Fig. 6 Jacket Type Tower의 형상

4. 유한요소해석

본 논문에서는 유한요소해석 범용프로그램인 ANSYS를 사용하여 Modal Analysis 및 설계영역탐사(*Exploring the design domain*)를 하였다.

4.1 Modal Analysis

부가수질량(Added Mass)과 외부하중(Wind Load/Wave Load)이 적용 유무에 따른 Modal Analysis를 수행하였다.

4.1.1 부가수질량 및 외부하중 미적용

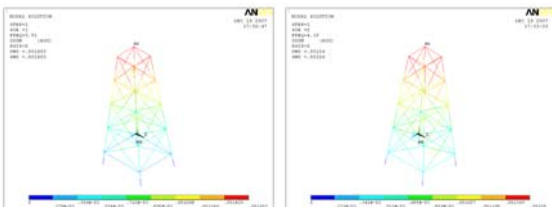
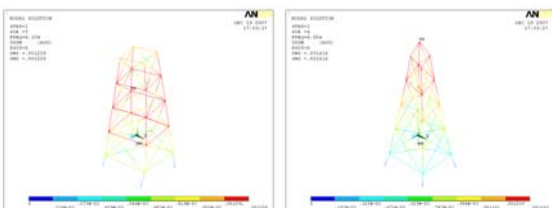


Fig. 7 Jacket Type Tower의 모드형상



4.1.2 부가수질량 적용

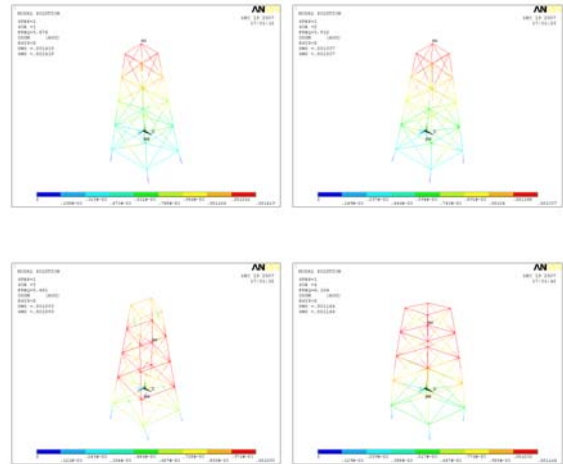


Fig. 8 Jacket Type Tower의 모드형상

4.1.3 외부하중 적용

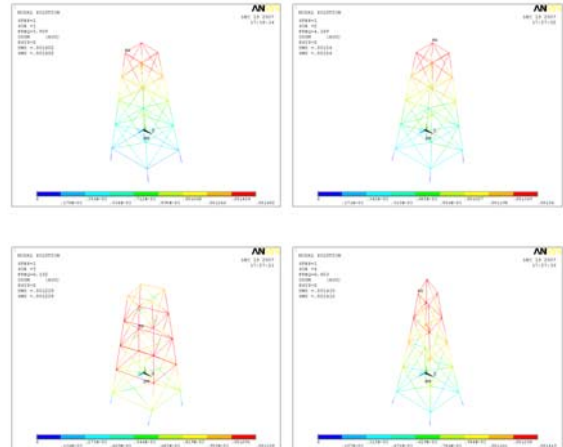


Fig. 9 Jacket Type Tower의 모드형상

4.1.4 부가수질량 및 외부하중 적용

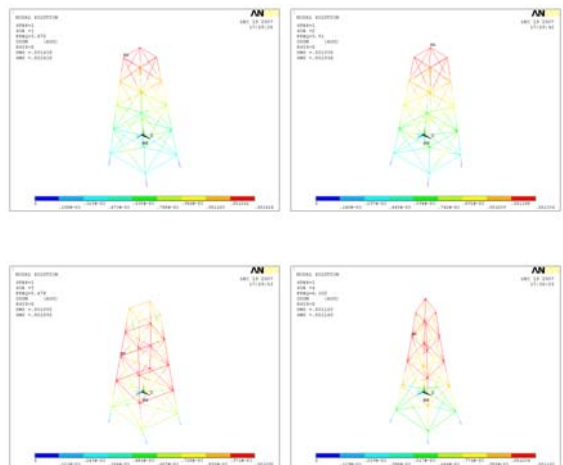


Fig. 10 Jacket Type Tower의 모드형상

4.1.5 고유진동수의 비교

설계영역탐사에서 상태변수(State Variables)를 정의하기 위하여 1st Frequency를 비교하였다.

부가수질량과 외부하중의 유무에 따른 1차 고유진동수 비교 결과 외부하중이 부가수질량에 비해 주파수 영역에 더 많은 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

Table. 4 Jacket Type Tower의 1차 고유 진동수 비교

	No Operating No Added Mass	Operating No Added Mass	No Operating Added Mass	Operating Added Mass
1st	3.9098	3.9088	3.6762	3.6747

4.2 설계영역탐사 (Exploring the design domain)

설계영역 탐사(Exploring the design domain)는 단순히 다양한 설계 값들에 대한 응답을 관찰하는 것을 의미한다.

본 연구에서는 설계영역 탐사(Exploring the design domain) 중 Gradient Tool과 Factorial Tool 기법을 사용하여, Jacket Type Tower의 chord 및 brace의 두께에 따른 진동수의 민감도 해석을 수행하였다.

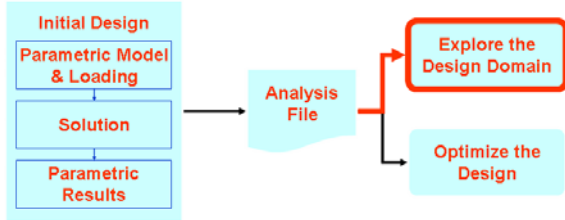


Fig. 11 설계영역 탐사(Exploring the design domain)

설계영역 탐사를 하기 위해서는 다음 표와 같이 최적화 변수들의 지정이 필요하다.

Table. 5 최적화 변수

설계변수 (Design Variables)	chord / brace의 두께 ($\pm 10\%$)
상태변수 (State Variables)	1st frequency 증가
목적함수 (Objective Function)	total volume의 최소화

4.2.1 Gradient Tool

기준 되는 각 설계변수 (Design Variables)를 기준으로 작은 변동을 주어 기준점 근처의 값을 해석하며 국부 민감도(sensitivity)를 알고자 할 때 유용하게 쓰인다.

이 틀은 최적점이 hillside에 위치하고 있는 지를 파악하기 위해서 subproblems를 이용한 최적화의 마지막에 자동적으로 수행 된다.

4.2.2 Factorial Tool

설계변수 (Design Variables) 영역에서 끝단 점의 값을 샘플링 하여 해석하는 통계적 방법이다.

각 DV에 대하여 1개 설계변수 (Design Variables)의 효과나 2~3개의 설계변수 (Design Variables)가 상호 특정 변수에 어떠한 영향을 주는 지(iteration)에 대하여 할 수 있다. Factorial Tool 기법은 실험계획법(DOE: design of experiments)중에 한 가지 방법이다.

4.3 민감도 해석

부가수질량(Added Mass)과 외부하중(Wind Load/Wave Load)의 적용 유무별로, Chord 및 Brace에 두께 변화($\pm 10\%$)를 주어 구조물의 동적거동에 대한 민감도 해석을 수행하였다.

4.3.1 부가수질량 및 외부하중 미적용

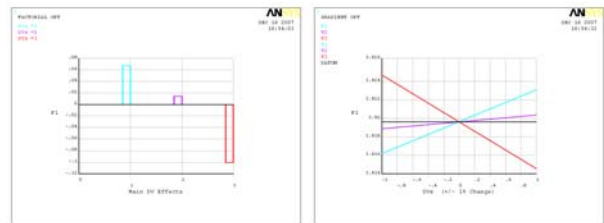


Fig. 12 민감도 해석 결과

4.3.2 부가수질량 적용

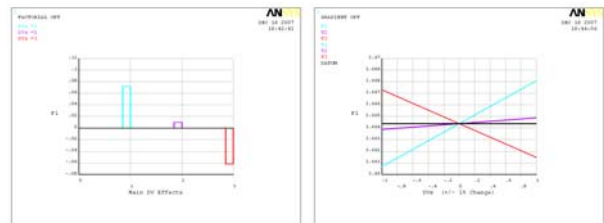


Fig. 13 민감도 해석 결과

4.3.3 외부하중적용

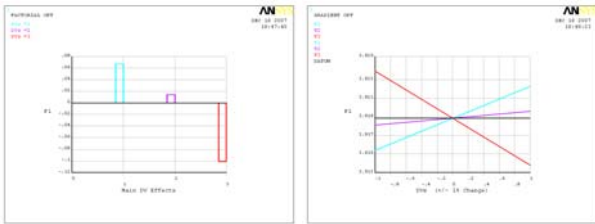


Fig. 14 민감도 해석 결과

4.3.4 부가수질량 및 외부하중 적용

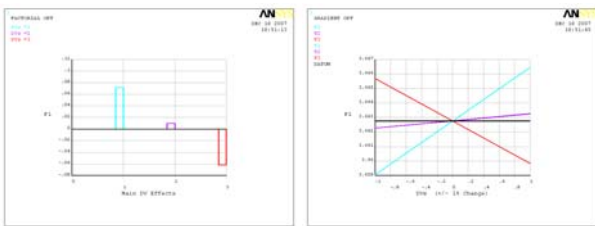


Fig. 15 민감도 해석 결과

4.3.5 민감도 결과 비교

부가수질량과 외부하중의 적용 유무에 따른 민감도를 비교한 결과, 민감도의 미소한 정량적 차이만 보였을 뿐 그 경향에는 큰 영향을 주지 않는다는 것을 볼 수 있다.

민감도의 경향을 살펴보면 구조물의 Chord와 상하부 Brace는 두께가 증가할 때 1차 고유진동수도 같이 증가하였고, Diagonal Brace는 두께가 증가할 때 1차 고유진동수가 감소하였다.

5. 결론

부가수질량(Added Mass)과 외부하중(Wind/Wave Load)이 적용 유무에 따른 Modal Analysis 결론은 다음과 같다.

○ 외부하중(Wind/Wave Load)이 부가수질량에 비해 주파수 영역에 더 많은 영향을 준다.

부가수질량(Added Mass)과 외부하중(Wind/Wave Load)의 적용 유무별로, Chord 및 Brace에 두께 변화(±10%)를 주어 구조물의 동적거동에 대한 민감도 해석을 하였다. 이

에 대한 결론은 다음과 같다.

○ 우선 부가수질량(Added Mass)과 외부하중(Wind/Wave Load)의 적용 유무에 따른 구조물의 동적거동은 그 민감도의 미소한 차이만 있었을 뿐 동적거동에 대한 경향에는 큰 영향을 끼치지 않았다.

○ 민감도 해석 결과 구조물의 Chord와 상하부 Brace는 두께가 증가할 때 1차 고유진동수도 같이 증가하였다. 이것으로 보아 Chord와 상하부 Brace는 두께가 증가할 때 강성도 증가한다는 것을 알 수 있다.

○ 민감도 해석 결과 구조물의 Diagonal Brace는 두께가 증가할 때 1차 고유진동수가 감소하였다. 이것으로 보아 Diagonal Brace는 두께가 증가할 때 강성에 대한 영향보다는 단순히 질량에 증가 및 감소에 영향을 끼친다고 볼 수 있다.

○ 따라서, 구조물의 Chord와 상하부 Brace가 Diagonal Brace보다 강성에 더 많은 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- (1) G. 클라우스, E. 라만, C. 외스터가드, (역자 손충렬), "해양 구조물 공학", 미리내, 1995.
- (2) Thomas H. Dawson, "Offshore Structural Engineering", Prentice-Hall, Inc., 1983.
- (3) Ben C., Gerwick, Jr., "Construction of Offshore Structures", John Wiley & Sons, Inc., 1986.
- (4) S. Sircar, T. Chandra and S. Manguno, "Transportation Launch and Self-Depend Analysis of the Kilauea Jacket Using Proven Analytical Techniques", Offshore Tech & Conf., 1990.
- (5) 과학기술처, "해저 석유 개발을 위한 Offshore Platform 설계기술개발 (Jacket Type Tower구조설계)", 한국과학기술원, 1984.
- (6) 최병수, "선박 진동소음 제어지침", 한국선급, 1991.
- (7) 방제목, 김상범, 윤정방, "고정식 해양구조물의 능동제어", 한국전산구조공학회 춘계 논문집, 1994.
- (8) 이강수, "해양 스틸자켓의 강도에 관한 다양한 보강재효과", 인하대학교 대학원 석사학위논문, 2000.
- (9) 이정탁, "해상 풍력 발전용 Tower의 진동 특성에 관한 연구", 인하대학교 대학원 석사학위논문, 2006.