

해상 풍력 발전용 구조물 변화에 따른 고유진동해석

A Study of Natural Frequency on

Offshore Wind Turbine Structural Change

이강수†·이정탁*·손충렬**

Kang-Su Lee, Jung-Tak Lee, Choong-Yul Son

Key Words : Natural Frequency(고유진동수), Offshore Wind Turbine(해상풍력발전), Added mass(부가수질량), Finite Element Method(유한요소법), Thrust load(추력), Wind load(풍하중),

ABSTRACT

The purpose of this paper is to investigate the Natural Frequency behavior characteristic of Wind Turbine Tower model, and calculated the stress values of thrust load, wave load, wind load, current load, and gravity load. The offshore Jacket Type Tower which was installed in Vitenam South China Sea is used for the study. Natural frequency and mode shape are calculated with commercial program using the measured vibration. The finite element analysis is performed with commercial F.E.M program(ANSYS) on the basis of the natural frequency and mode shape.

1. 서 론

일반적으로 해상 풍력 발전기용 Tower의 경우 Tubular 와 Jacket Type의 Tower가 많이 쓰이고 있다. 본 연구에서는 Tubular와 Jacket Type의 Tower의 고유 진동수의 해석적 접근을 통해서 해상용 풍력 발전기용 Tower의 일반적인 고유 진동수 예측을 할 수 있도록 그 경향을 파악하고, 이를 통해 앞으로 진행될 해상 풍력 발전기의 설계에 있어서 그 방향을 잡고자 한다. 모드 해석 수행에 있어 적용된 하중은 현재 우리나라 서해안에서 나타나는 해류 및 파고, 풍속 등을 고려하여 그에 맞게 적용하였다. 비교 형태는 복합재료와 Steel을 사용한 Tubular Type의 Tower와 Steel을 사용한 Jacket Type의 Tower이다.

먼저 Tubular Type의 경우 복합재료와 Steel에 따라 작용하는 외부 하중 및 부가수질량에 따른 고유 진동수 해석 및 그 경향을 파악하고 Steel Jacket Type의 Tower 또한 작용하는 외부 하중 및 부가수질량에 따른 고유 진동수 해석을 통하여 Tubular Type과 Jacket Type의 경향 및 그 특성의 차이를 확인한다.

2. 이론적 고찰

2.1 재료의 선택 및 물성치(material Properties)

Tower의 제작에 주로 사용되는 재료로는 Steel, Wood, 복합재료 등이 있다. 본 연구에서는 복합재료 Roving RS220PE-535와 Steel의 물성치를 이용하여 설계를 수행하였다. 사용한 복합재료의 물성치는 Table.1과 같으며, Table. 2는 규격 KS D 4101-90, SC410으로 만들어 Steel의 물성치이다.

† 이강수, 인하대학교 기계공학부 선박공학
E-mail : kslee@tsne.co.kr
Tel : (032) 860-7338, Fax : (032) 864-5850

* 인하대학교 기계공학부 선박공학과

** 인하대학교 기계공학부 선박공학과

Table. 1 Material Properties of FRP

Glass 함량 (%)	두께 (mm)	인장 탄성 계수 (kg/mm ²)	만곡 탄성 계수 (kg/mm ²)	압축 강도 (kg/mm ²)	인장 전단 강도 (kg/mm ²)
80.8	3.03	5130	4795	67.3	1.22

Table. 2 Material Properties of STEEL

밀도 (kg/m ³)	인장 탄성계수 (GPa)	전단 탄성계수 (GPa)	Poisson's Ratio	항복응력 (MPa)
7850	200	77	0.29	400

2.2 환경하중

해양구조물(Off Shore structure)의 강도에 영향을 주는 외부환경 상태로서는 외부 수압(hydrostatic pressure), 바람(wind), 파도(wave), 해류(current), 조수(tide), 빙하(ice), 지진(earthquake), 온도(temperature), fouling, marine growth, 세굴(souring)등을 생각할 수 있으며, 이에 따른 하중을 환경하중이라고 부른다. 바람은 해양구조물의 Deck structure에 대해서는 동적효과(Dynamic effect)를 주로 일으키며, 하부구조물(leg, Jacket Type Tower)에 대해서는 Over turning moment를 주로 작용시킨다.

파하중(Wave load)는 해양구조물의 Submerged part에 큰 힘을 작용시킨다. Current는 여러 가지 요인에 의해 야기된 물의 수평방향 흐름을 말한다. 고정식 해양구조물의 설계에 있어야 Current는 Boat landing과 Barge bumper 위치와 방향 선정에 영향을 미치며 Submerged part에 힘을 작용시킨다.

(1) 풍하중(wind load) 이론

바람은 태양열의 인한 지표면 및 해표면의 온도차, 즉 기압의 차로 생기며 해상에서는 육상에 비해 강하고 빈도 또한 잦은 관계로 해상구조물의 설계에서 매우 중요한 요소로 작용한다. 바람은 어떤 속도를 가지고 움직이는 공기 입자의 흐름이며 그 흐름의 중간에 방해물이 있게 되면 여기에 Wind force를 가하게 된다. 그러므로 설계에 쓰일 wind force의 계산에는 풍속의 결정이 앞서야 하며, 풍속을 결정하자면 고려할 지역과 반복주기(return period)를 규정할 필요가 생기는 것이다. 반복주기란 한 환경변수의 최고 가능한 극대값이 어떤 시간 간격을 두고 연속적으로 발생할 때 그 평균시간을 주기를 이르는 것이다. 장소와 반복주기

와 정해지면 그 장소로부터 측정된 풍속 통계자료나 storm 의 예상 풍속분포도(wind field)를 사용하여 설계풍속(basic design wind speed)을 결정하게 된다.

구조물에 작용하는 풍하중(Wind force)는 크게 항력(Drag force)와 양력(Lift force)로 크게 구별된다. 항력(Drag force)은 Pressure difference로 인해 Flow방향으로 생기는 Force이며, 양력(Lift force)은 물체의 Shape이나 Orientation 때문에 생기는 Flow방향에 수직인 Force이다. 양력(Lift force)는 비대칭 Object에서만 발생한다.

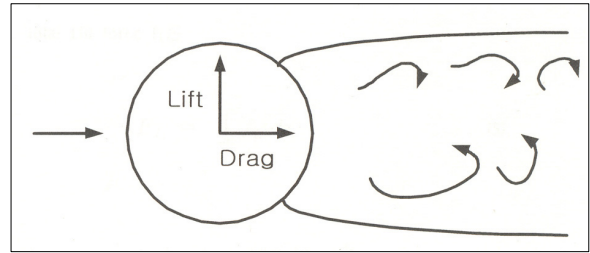


Fig. 1 항력(Drag force) and 양력(Lift force)

다음 식으로서 수면 위로부터 높이가 Z인 지점에 대한 항력(Drag force)은

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

Total drag force F_D 는

$$F_D = \int_0^z f_D dz \quad (2)$$

수면위로부터 높이가 Z인 지점에 대한 Lift force는

$$f_L = C_L \frac{1}{2} \rho V^2 dA \quad (3)$$

Total Lift force F_L 은

$$F_L = \int_0^z f_L dz \quad (4)$$

where,

$$\begin{aligned} dA &= \text{Projected until area of object} \quad [m^2] \\ \rho &= \text{Air density} = 1.247 \quad [kg/m^3] \\ V &= \text{Wind velocity} \quad [m/s] \end{aligned}$$

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) 파력(Wave force)의 이론

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

$$dF_i = \rho C_I \frac{(\pi D^2)}{4} \frac{du}{dt} \quad (5)$$

where, C_I = 실험적으로 결정되는 Mass Coefficient

그러므로 max. inertia force는

$$F_{im} = \int_{-d}^d \rho C_I \frac{(\pi D^2)}{4} \frac{du}{dt} dz \quad (6)$$

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 Downary layer의 flow가 분리하여 부서짐으로서 생기는 Form drag 때문에 결과적으로 Pressure가 발생함을 말한다. 이는 어떤 상대 유체속도를 일으켜 Lower pressure를 갖는 Turbulent Wake와 유체 운동방향으로 Net force를 야기시킨다.

이때 drag force는

$$dF_d = \frac{\rho}{2} C_D u u dA = \frac{\rho}{2} C_D u u D \quad (7)$$

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

$$F_{dm} = \int_{-d}^d \frac{\rho}{2} C_D u u D dz \quad (8)$$

Total maximum force는 다음과 같은 Morison 방정식

이 된다.

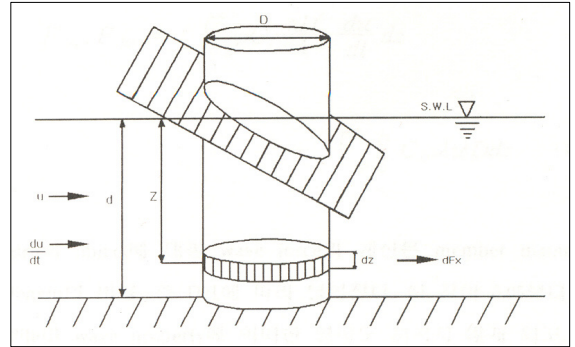


Fig. 2 Pile에 작용하는 Wind load

$$\begin{aligned} F_{Tm} &= F_{im} + F_{dm} \\ &= \int_{-d}^d \rho C_I \frac{\pi D^2}{4} \frac{du}{dt} dz + \int_{-d}^d \frac{\rho}{2} C_D u u D dz \end{aligned} \quad (9)$$

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 wave가 변형되기 때문에 Diffraction theory를 Wave force 계산을 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 변하는 성질을 갖는다. 대체로 Offshore steel structure에 대해서는 Marine roughness를 고려해서 $C_D = 1.0$, $C_M = 0.2$ 이 추천된다.

(3) 조력하중(Current load)의 이론

임의 위치에서의 실제 current는 여러가지 형태의 current의 합으로 이루어져 있으므로 design parameter를 결정하기 위해서는 실제로 측정을 하거나 기록된 자료를 사용해야 한다. current velocity는 owner의 design specification에서 field data로 수심에 따라 주어지지만 만약 이러한 data가 없을 경우에는 다음식으로 계산하다.

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

where,

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

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

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

then,

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

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

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

$$h = \text{water depth} [m]$$

$$h_0 = \text{wind generated current에 대한 기준점} \quad [50m]$$

$$z = \text{sea floor로 부터의 상방으로 잰 거리} \quad [m]$$

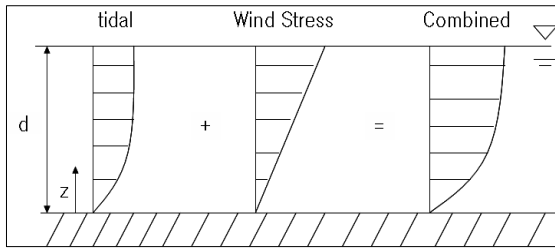


Fig. 3 Tidal and wind stress currents

이와 같이 total currents velocity는 tidal current와 wind stress current는 표면근처에서는 중요한 몫을 차지한다. 위 식을 사용할 때 평균 해수면 위에 있는 wave crest에서의 current의 속도는 평균해수면에서의 속도와 같이 사용한다. Current load를 구하는데 가장 중요한 요소는 최대 설계속도를 구하는 것이다. 연직방향의 속도분포를 구하여야 하며 강이나 폭이 좁은 channel에서는 수직방향의 속도분포를 고려해야 한다.

(4) 조력과 파에 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.

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

where,

$$f_{TD} = \text{current와 wave의 drag force} \quad [KN]$$

$$dA_P = \text{projected unit area} \quad [m^2]$$

$$U = \text{current velocity} \quad [m/s^2]$$

$$u = \text{wave particle velocity} \quad [m/s^2]$$

2.3 하중 적용

(1) Blade가 회전 하면서 발생시키는 추력

Blade가 회전 하면서 발생 시키는 추력은 날개가 회전할 때 발생하는 동압(Dynamic Pressure)으로 구할 수 있다.

$$P = \frac{1}{2} \rho C_F V^2 \quad (12)$$

$$\text{where, } \rho = 1.25 \text{ 공기의 밀도} \quad [kg/m^3]$$

$$C_F = 0.64 \text{ 추력계수}$$

$$V = \text{바람의 속도} \quad [m/s]$$

또는 풍력발전시스템에 작용하는 항력(Drag Force)으로 구할 수 있다. 항력(Drag Force)은 Tower를 진도시키려고 하고 Blade를 후류방향으로 굽히려려고 한다. 회전하고 있는 구조물의 항력을 계산하기 위한 단순화된 공식은 다음과 같다.

$$D = 0.0064 V^2 A \quad (13)$$

$$\text{where, } V = \text{바람의 속도} \quad [m/s]$$

$$A = \text{단면적} \quad [m^2]$$

(2) Tower 바람에 의해 받는 하중

Tower는 Shell Type의 원통형 외팔보의 형상을 하고 있다. 따라서 최대 풍속이 23m/s일 때로 가정하고, Tower를 3m 간격으로 Section을 나눈 후 각 Section의 단면적을 구하여 Tower의 각 Section에 작용하는 하중을 구한다.

$$F_w = \frac{1}{2} \int_{H-h}^H \rho V(Z)^2 \Phi D(Z) C(Z) dz \quad (14)$$

$$\text{where, } \rho = \text{Air Density}$$

$$V(Z) = \text{Wind Speed}$$

$$D(Z) = \text{Outer Tower Speed}$$

$$C(Z) = \text{Form Factor}$$

$$\Phi = \text{Gust Factor}$$

or

$$Q = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 A \quad (15)$$

where, $C_D = 1.2$ (실린더 항력계수)

$$\rho = 1.25 \text{ (공기의 밀도)} \quad [kg/m^3]$$

$V =$ 바람의 속도 (m/s)

$$A = \text{바람을 받는 Tower의 면적} \quad [m^2]$$

(2) 나셀 및 날개의 무게에 의한 하중

이 하중은 다음의 식과 같이 간단히 구할 수 있다.

$$\{\text{날개의 무게(kg)} + \text{나셀의 무게(kg)}\} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \quad (16)$$

(3) 파(wave)에 의한 하중

파랑에 의한 하중(Wave Load)을 계산하기 위해서 연근해의 평균 수심을 5m로 가정하였으며, 설계파고는 10m로 풍속은 23m/s로 설정했다. 파의 수령치수(D)와 파장(L)의 비 D/L 값이 0.05 보다 작기 때문에 Morison Formula를 이용하여 파하중(Wave Load)을 계산한다. 파하중(Wave Load)은 구조물의 형상, 주변의 흐름 형태 및 파입자의 속도에 의한 관성력(Inertia Force)과 표면의 Roughness, Reynolds number에 한 항력부분으로 나뉘며, 단위 길이당 파하중은 다음과 같다.

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D A u^2 + \rho C_m V \frac{du}{dt} \quad (17)$$

where, $C_m =$ Inertia 계수

$C_D =$ Drag 계수

$A =$ 단위 면적

$u =$ 물입자 속도

C_m 이나 C_D 은 물체의 형상, 표면상태 및 Reynolds number에 따라 결정되는 계수로서, ABS Rule에 따라 C_D 값은 0.5, C_m 값은 1.5로 설정하였다.

3. 해석 모델

3.1 Tubular Type Tower의 주요제원

Table. 4 Tubular Type Tower

Top diameter(m)	0.65
Bottom diameter(m)	0.75
Thickness(mm)	15
Height(m)	18
Water depth(m)	5

3.2 Tubular Type Tower의 Modeling

Modeling은 Tubular Tower의 형상으로 상단부와 하단부의 Tower의 직경이 다른 Shell Type을 채택하였다. Tower의 치수는 높이 18m이고 상단부의 직경은 0.65m 하단부의 직경은 0.75m이며 두께는 15mm이다. Stiffener의 경우 Hat형으로 Ring Type의 보강재로 치수가 폭이 0.15m, 높이가 0.1m, 두께가 15mm인 Stiffener를 하단으로부터 각각 5m 높이에 위치하며 하단을 고정하였다.

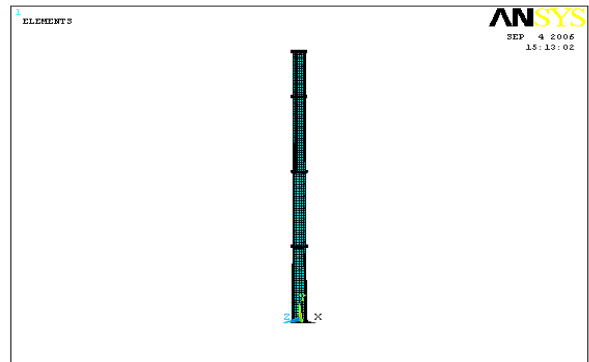


Fig. 4 FE Model of Tubular Type Tower

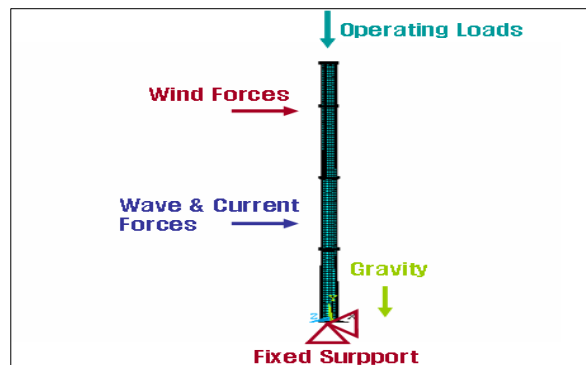


Fig. 5 Load & Boundary Conditions

3.3 Jacket Type Tower의 주요제원

Table. 5 Jacket Type Tower

Top diameter [m]	0.5
Thickness [m]	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

3.4 Jacket Type Tower의 Modeling

Jacket Type Tower는 높이 58.665m이고 상부 면적은 10 × 10m, 하부 면적은 21.36 × 21.36m이고 두께는 0.05m이다. ANSYS 상용프로그램에서 Beam188번(3-D Linear Finite Strain Beam)을 사용하였다.

수심은 남해안 지역의 5~10m로 설정 하였다.

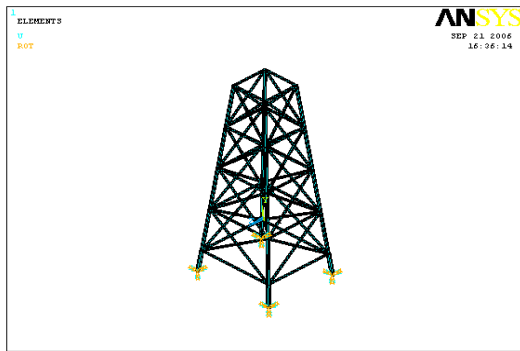


Fig. 6 FE Model of Jacket Type Tower

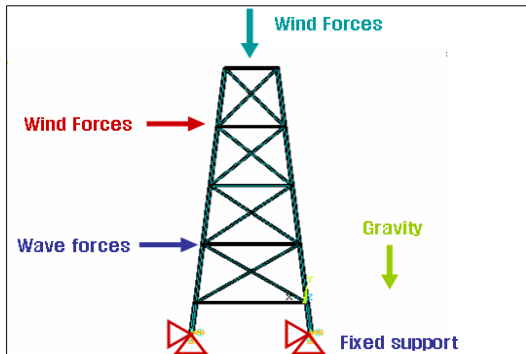


Fig. 7 Load & Boundary Conditions

4. 유한 요소 해석

유한요소법(Finite Element Method)을 이용한 구조해석에 본 연구 설계에서는 ANSYS 범용패키지 프로그램을 사용하여 모드해석을 실시하였다. 해석 결과 복합재료(Young's Modulus : 20 ~ 50GPa)에 비해 강(Steel, Young's Modulus : 210GPa)에서 탄성계수(Young's Modulus)값이 크기 때문에 모드에 따른 고유 진동수가 크게 발생 하였다. 부가수질량의 관점에서 접근 했을 때 Stiffened FRP Tubular Type Tower, Stiffened Tubular Type Tower, Jacket Type Tower의 경우 각각 약 11%, 19%, 8%의 고유 진동수 감소를 보였다.

우선 Tubular Type Tower의 경우 Steel의 경우가 FRP에 비해서 부가수질량의 영향에 상대적으로 민감한 것을 확인 할 수 있으며, Jacket Type Tower의 경우 Tubular Type에 비하여 부가수질량에 영향을 덜 받는 것을 확인할 수 있었다. 그 이유는 그 높이 및 규모에 비하여 수중에 접촉하는 면적이 Tubular Type에 비하여 상대적으로 작기 때문이다. 또한 동일한 사이즈의 Tower가 아니기 때문에 그로 인한 오차 또한 발생한 것으로 보인다. 그 해석의 결과는 아래와 같다.

4.1 Stiffened FRP Tubular Type Tower(이하 Type 1)

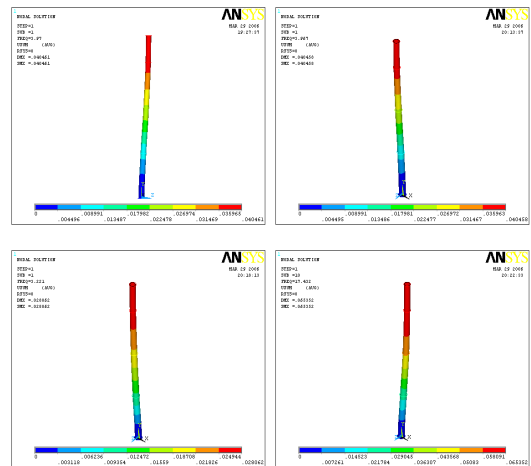


Fig. 8 Stiffened FRP를 사용한 Tower의 Ansys 모드해석 결과

Table. 6 Stiffened FRP를 사용한 Tower의 고유진동수

Mode	하중, 부가수질량 미적용	하중 적용, 부가수질량 미적용	하중 미적용, 부가수질량 적용	하중 부가수질량 적용
1	2.421	2.416	2.165	2.161
2	10.273	10.267	4.986	4.983
3	24.476	24.468	10.114	10.096
4	43.857	43.848	13.761	13.757

(단위 : Hz)

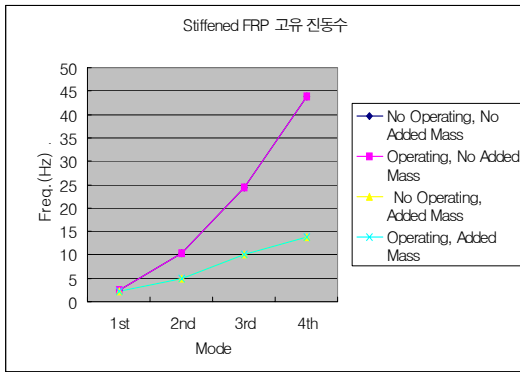


Fig. 9 Stiffened FRP를 사용한 Tower의 고유진동수

Table.7 Stiffened Steel를 사용한 Tower의 고유진동수

Mode	하중, 부가수질량 미적용	하중 적용, 부가수질량 미적용	하중 미적용, 부가수질량 적용	하중 부가수질량 적용
1	3.970	3.967	3.221	3.218
2	13.379	13.374	6.365	6.362
3	26.533	26.525	10.240	10.229
4	39.75	39.749	16.799	16.796

(단위 : Hz)

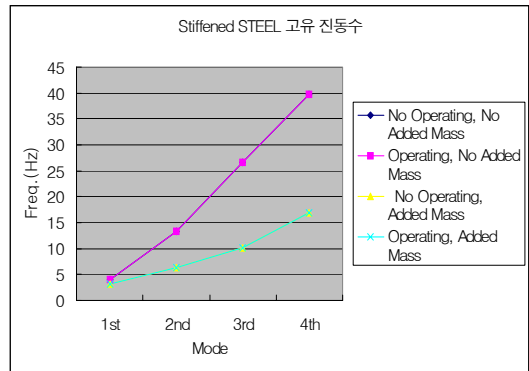


Fig. 11 Stiffened Steel를 사용한 Tower의 고유진동수

4.2 Stiffened Steel Tubular Type Tower(이하 Type 2)

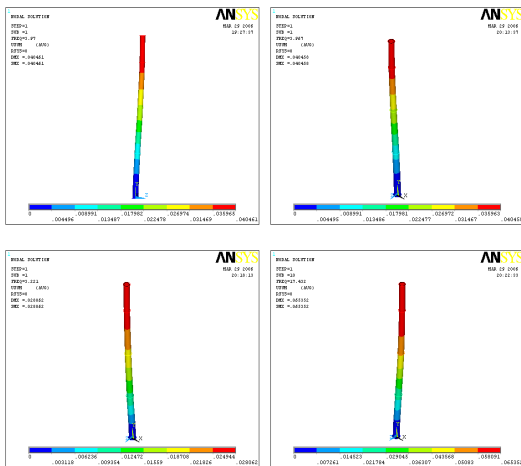


Fig. 10 Stiffened Steel Tubular Type Tower Ansys 모드해석 결과

4.3 Jacket Type Tower(이하 Type 3)

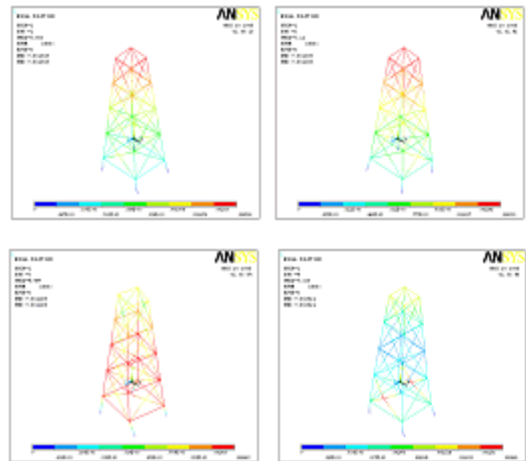


Fig. 12 Jacket Type Tower의 모드형상

Table. 8 Jacket Type Tower의 고유 진동수

Mode	하중, 부가수질량 미적용	하중 적용, 부가수질량 미적용	하중 미적용, 부가수질량 적용	하중 부가수질량 적용
1	3.1705	3.1688	2.9226	2.9202
2	3.4115	3.4098	3.1102	3.1075
3	5.3197	5.3148	4.4966	4.4907
4	6.0408	6.4028	5.3275	5.3225

(단위 : Hz)

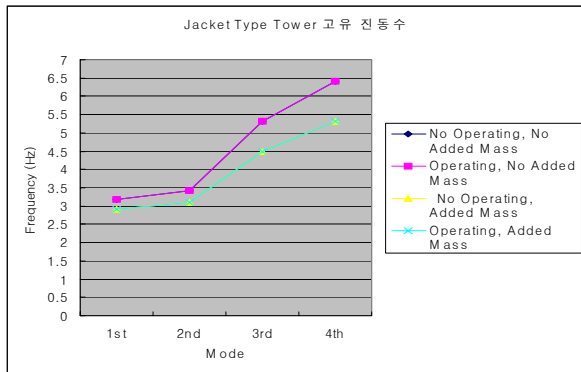


Fig. 13 Jacket Type Tower의 고유진동수

5. 결과 및 고찰

5.1 Type1과 Type 2의 결과 비교

Type 1과 Type 2 는 1차에서 4차 모드 까지 모두 강성이 상대적으로 큰 Type 2 에서 높은 주파수가 발생 하였다. 하중의 영향에 있어서 Tower의 고유 진동수 변화는 거의 없어 무시할 수 있을 정도로 나타났으며 이는 Type 1, 2의 경우 모두 같은 경향을 보였다. 반면 부가수질량의 적용에 있어서 두 가지 Type은 차이를 나타내었다. Type 1의 경우 1차 ~ 4차 모드 각각에서 주파수 감소율을 살펴보면 11%, 52%, 59%, 69%로 나타났으며 모드의 차수가 클수록 부가수질량에 대한 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며 1차와 2차 모드의 그 감소율 차이는 무려 40%가 넘게 차이가 발생 하였다.

Type 2의 경우 또한 1차 ~ 4차 모드 각각에서 주파수 감소율을 살펴보면 19%, 53%, 62%, 60%로 나타났으며 모드의 차수가 클수록 부가수질량에 대한 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. Type 1 과 Type 2 간의 경향의 차이를 살펴 보면 Type 2 가 Type 1 에 비하여 부가수질량의 적용에 따라 주파수 감소율이 더 크게 발생하였으며 이는

Type 2 가 부가수질량에 대한 영향을 더 많이 받고 있음을 증명한다.

5.2 Type 1, 2와 Type 3 결과 비교

Type 1, 2의 모드 차수의 증가에 따른 고유 진동수의 변화는 각각의 모드에서 평균적으로 15%, 52.5%, 60.5%, 64.5%의 감소율을 나타내었고 Type 3의 경우는 8%, 9%, 16%, 12%의 감소율을 보였다. 이것을 통해 Type 3 가 부가수질량에 대한 영향을 Type 1 에 비하여 적게 받는 것을 알 수 있다. 이것은 Type 3의 경우 그 높이에 비하여 수면에 접촉하는 면적이 Type 1 에 비하여 상대적으로 적기 때문인 것으로 판단된다. 또한 Type 2의 경우 모드 차수의 증가에 따라 Type 1 의 경우와는 다르게 상대적으로 작은 고유진동수 증가를 보인다. 이것은 구조물이 Type 1 에 비하여 구조물이 복잡하기 때문에 Mode Shape의 발생 빈도도 상대적으로 많고 그에 따라 주파수 증가폭도 감소하여서 발생한 것이다.

6. 결론

본 연구를 통하여 현재 널리 사용되고 있는 해상 풍력 발전용 Tower의 고유진동수에 관한 경향을 살펴 보았다. 또한 이를 통하여 앞으로 진행될 풍력 발전기 Tower의 설계에 있어서 그 특성을 고려하여 설계할 수 있게 되었다. 이번 연구는 그동안 진행 되어 오지 않은 해양 풍력 발전용 Tower의 그 동적 특성에 대하여 작동 시 작용하는 하중과 부가수질량을 고려하여 Type 종류별로 특성을 연구하고 그 경향을 파악하였다.

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Tubular Type Tower 의 경우 철(steel)과 복합재료(FRP)를 비교해 본 결과 철을 이용하여 제작한 타워가 복합재료를 이용하여 만든 타워 보다 상대적인 강성의 차이로 인하여 전체적인 주파수는 높은 것으로 나타났다.

(2) Tubular Type Tower의 경우 복합적인 하중과 부가수질량의 영향에 있어서 하중의 영향은 크게 받지 않으나 부가수질량의 영향은 주파수를 현격히 낮추는 효과를 보였다. 또한 철의 경우 복합재료에 비하여 평균적으로 약 3~8% 정도 더 높은 주파수 감소율을 보였다. 이는 철이 복합재료에 비하여 상대적으로 부가수질량의 영향을 많이 받는 것을 의미한다.

(3) Jacket Type Tower의 경우 Tubular Type Tower 와 비교 했을 때 상대적으로 부가수질량의 영향을 덜 받는

것으로 나타났다. 이는 Tubular Type에 비하여 높이에 따른 수중 접촉 면적이 상대적으로 작기 때문이다.

(4) 1차 모드형상에서 고유진동수가 감소하고 있는데 이는 유체의 부가수질량이 첨가되어 유체의 접수 고유진동수가 급격하게 감소하기 때문이다. 그리고 유체와 접하는 구조물 사이의 상호작용에 의해서 나타남을 볼 수 있다. 즉, 보의 일부가 유체와 접할 때 접수 면적이 증가함에 따라 유체의 부가수질량이 증가하게 되고 이로 인해 접수 고유진동수가 감소하게 된다. 이때 구조물의 동적 변위가 발생하게 되어 유체 운동에너지가 증가하게 되고, 이는 접수 고유진동수를 감소시키는 원인이 된다. 따라서 운동에너지의 급격한 증가는 접수 고유진동수의 급격한 감소를 초래하게 되고 이로 인해 위와같은 고유진동수를 얻게 되고 부가수질량을 고려한 모드형상들이 운동에너지 증가로 인하여 비틀 및 전단력에 대한 구조의 안정성을 가져온다.

(5) 해상 풍력은 청정에너지로서 밝은 미래에 대해 무한한 가능성을 갖고 있다. 또한 국내 풍력 발전 분야는 아직 그 기반이 끈고히 되지 못한 상태이다. 앞으로의 고용량 해상 풍력 발전 Tower의 설계 및 제작에 있어서 본 연구의 특성 및 경향을 참고 하고자 하였다. 앞으로 보강, 재료 및 구조물의 특성에 관한 연구 및 동적 특성에 관한 연구가 더 필요하다.

참고문헌

- (1) Thomas H. Dawson, "Offshore Structural Engineering", Prentice-Hall, 1983
- (2) Ministry of Science & Technology, "Development of Design Technology of Offshore Platforms for Offshore Oil Production(Jacket Type Tower Structure Design)", KAIST, 1985
- (3) Ben C. Gerwick, "Construction of Offshore Structures", John Wiley & Sons, Inc, 1986
- (4) S. Sircar, T. Chandra, S. Manguno, "Transportation Launch and Self-Upend Analysis of the Kilauea Jacket Using Proven Analytical Techniques" Offshore Tech. Conf., 1990
- (5) David A. Spera, "Wind Turbine Technology", NEW YORK ASME PRESS. 1994
- (6) Gunter Clauss, Eike Lehmann, Carsten Østergaard, "Meerestechnische Konstruktionen", 1995
- (7) Max Irvine, "Structural dynamics", London UNWIN HYMA, 1996
- (8) Korean Register, "Ship noise and vibration control general", 1991
- (9) Martin O. L. HANSEN, "Aerodynamics of Wind Turbines", Technical University of Denmark, 1995

(10) M.H.Geier, "Quality Handbook for Composite Material", CHAPMAN HALL, 1997

(11) M.C.Cheney, "Guide for Design of Wind Turbine", DNV/RISO in Technical co-operation, 1999

(12) Lee Kang Su, "Effects of Various Stiffeners on Offshore Steel Jacket Strength", A Master's thesis, AH University of Korea, 2000.02

(13) Choong Yul Son, Kang Su lee, Jong Bum Won, "An Analytical Approximation for Natural Frequency Offshore Wind Turbine Tower", Korea Wind Energy Association, 2005, pp. 103-107