

해상 타워의 기초에 작용하는 풍력과 파력 해석

† 김남형 · 고명진*

† 제주대학교 토목공학과 교수, * 제주대학교 대학원,

Analysis of Wind and Wave Force acting on the Foundation of the Offshore Wind Tower

† Nam-Hyeong Kim · Myeong-Jin Go*

† Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 690-755, Republic of Korea

* Graduate School, Jeju National University, Jeju 690-755, Republic of Korea

요 약 : 최근 해상 풍력 발전이 개발됨에 따라 풍력발전타워는 더욱 거대해지고 있으며, 육상의 타워에 비해 파력과 흐름 등 다양한 외력에 노출되어있다. 이에 따라 해상 타워의 기초는 육상 타워 보다 더욱 안정성이 요구된다. 본 연구에서는 현재 관측된 최대 풍속인 60m/s가 해상풍력타워로 향하여 불 때, p-y 관계를 이용해, 원통형, 계단형, 원추형 타워의 기초에 작용하는 풍력과 파력을 해석 하였다.

핵심용어 : 풍력, 파력, p-y 관계

ABSTRACT Recently, as offshore wind towers are developed, the size of wind towers have become larger and larger, and offshore wind towers are exposed to various external forces such as wave and current compared with onshore wind towers. Thus, the stability of offshore wind towers is more required than onshore wind towers. In this study, when the wind celerity of 60m/s blows to the cylinder, cone, and stair typed towers, the wind and wave forces on foundation are calculated by p-y relation.

KEY WORDS : wind force, wave force, p-y relation

1. 서 론

최근 해상 풍력 발전이 개발됨에 따라 해상 타워는 더욱 거대해지고 있으며, 육상의 타워에 비해 파력, 흐름 등 다양한 외력에 노출되어있다. 이에 따라 해상 타워의 기초는 육상에서 보다 더욱 안정성이 요구된다(Kim and Jin, 2012).

본 연구에서는 해상 풍력 개발 시, 해상 타워의 형상에 따른 외력의 변화가 해상 타워의 기초에 어떤 영향을 미치는지 해석하였다.

미치는 풍력을 식 (2)로 계산하였다.

$$U = U_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^{1/n} \quad (1)$$

$$F_t = \frac{1}{2} \rho_a U^2 A_t C_t \quad (2)$$

여기서, U 는 $z(m)$ 높이에서 풍속(m/s), U_1 은 $z_1(m)$ 높이에서 풍속(m/s), n 은 지수(index), ρ_a 는 공기밀도, A_t 는 타워의 투영면적, C_t 는 타워의 항력계수이다.

2. 계산 이론

2. 1 풍력산정

풍속의 연직 분포는, 경험식으로서 지수 법칙이 성립되는 멱법칙을 식 (1)에 나타내었다. 풍력발전설비 지지물 구조설계 지침 동해설(송명관 등, 2010)을 참고하여, 풍력발전 타워에

2. 2 Morison식

해양구조물에 작용하는 전파력은 Morison식에 의해 식 (3)로 나타낸다(송명관 등, 2010).

(가) †교신저자 (종신회원). nhkim@jeju.ac.kr 064)754-3452

(나) * 비회원. sptnsdl@jeju.ac.kr 064)754-3453

$$dF = \left(\frac{1}{2} \rho C_D D u |u| + \rho C_M \frac{\pi D^2}{4} \dot{u} \right) dy \quad (3)$$

여기서, dF 는 dy 에 대한 수평과력, ρ 는 해수의 밀도, C_D 는 항력계수, C_M 은 질량계수, u 는 물입자 수평속도, \dot{u} 은 물입자 수평가속도이다.

2. 3 p-y 곡선 산정법

지반을 탄성체로 가정할 경우 변위에 따른 지반의 반력은 다음 식으로 계산된다(김남형, 1998; 편집부, 1996).

$$p = \frac{E_s}{B} y = k_h y \quad (4)$$

여기서, p 는 횡지반반력, E_s 는 지반탄성계수, k_h 는 횡지반반력계수, y 는 말뚝 기초의 횡방향 변위, B 는 기초 폭이다.

2. 4 기초 근입 깊이 산정

기초의 근입 깊이는 $3/\beta$ 이상으로 계산하였으며, β 는 다음 식으로 구한다(김남형, 1998; 편집부, 1996).

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_h B}{4EI}} \quad (5)$$

3. 해석 결과 및 고찰

본 연구의 해석을 위한 조건으로, 원통형 타워의 직경은 6m로 일정하고, 계단형 타워의 직경은 하부 6m, 상부 3.87m로 높이 20m마다 일정히 줄어드는 형태이다. 또한, 원추형 타워의 직경은 하부 6m, 상부 3.87m로 높이에 따라 일정한 기울기로 줄어들며, 해상 타워의 기초는 직경 6m이다. 타워의 높이는 수면 위 80m, 수면 아래 30m이며, 기초의 근입 깊이는 식(5)로 계산된 27.3m이다. 지반은 2개의 층으로 나누어 계산하였다. 15m 깊이까지는 사질토 지반이며, 이후 15m는 점성토 지반으로 가정하여 계산하였다. 계산을 위한 풍속은 현재 관측된 태풍의 최대 풍속인 60m/s를 사용하였다.

본 연구 결과 평균 60m/s의 풍속이 해상 타워에 작용할 때

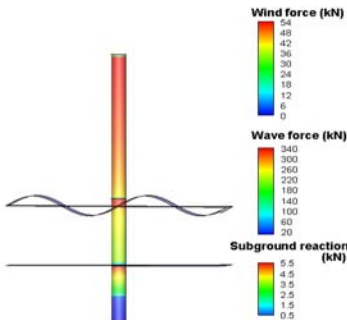


Fig. 1 원통형 타워

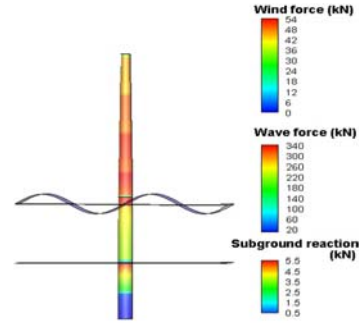


Fig. 2 계단형 타워

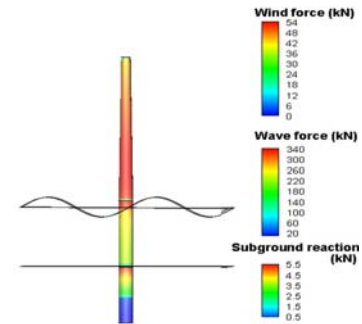


Fig. 3 원추형 타워

의 풍력을 Fig. 1~3에 나타냈다. 원추형 타워의 경우 최대 풍력이 43kN으로 나타났으며 20m마다 직경이 0.71m씩 줄어드는 계단형 타워의 최대 풍력은 48kN, 원통형 타워의 최대 풍력은 54kN으로 나타났다. 또한 기초에 작용하는 최대 응력은 원추형 타워가 5.1kN, 계단형 타워가 5.2kN, 원통형 타워가 5.33kN으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 타워의 형상에 따른 해상 타워의 기초에 작용하는 풍력과 파력을 해석하였다. 그 결과, 해상 타워의 형상에 따른 수풍면적(受風面積)이 커질수록, 해상 타워에 작용하는 풍력과 파력이 커지며, 이에 따라, 기초에 작용하는 응력이 커지는 것을 알 수 있었다. 이는 해상 타워의 수풍면적이 증가함에 따라 해상 타워에 작용하는 풍력의 증가 때문으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] 김남형 역(1998), 해양구조물과 기초, 원기술
- [2] 송명관, 양민수, 박도현, 진중호 역((2010), 풍력발전설비 지주구조물 설계지침 동해설, CIR
- [3] Kim, N.H., Jin J.W.(2012) Sensitivity Analysis of Offshore Wind Turbine Tower Caused by the External Force, KSCE Journal of Civil Engineering(accepted)
- [4] 편집부(1998), 항만구조물설계계산예, 원기술