

부유식 해상풍력 발전기 축소모형 설계

Scale-Model Design of Floating Offshore Wind Turbine

*최준화¹, #김성렬¹, 김철민¹, 이상직¹, 김진영¹

*J. H. Choi¹, #S. R. Kim(sungrkim@kitech.re.kr)², C. M. Kim¹, S. J. Lee¹, J. M. Kim¹

¹한국생산기술연구원

Key words : Floating Wind Turbine, Scale-model, Center of gravity, Metacenter, Modal Analysis

1. 서론

풍력은 신재생에너지중 효율이 높고, 태양광에 비해 작은 설치면적을 차지하여 차세대 에너지원으로 각광받고 있어 신규시장 창출과 시장확대에 의해 지속적인 투자 유발을 가져오며, 풍력발전기의 용량과 효율은 급격히 증가하고 있다. 최근에는 바람의 질이 좋고 민원 및 소음을 고려하여 육상에서 해상으로 이동하는 추세이다.

해상풍력발전은 육상풍력발전보다 풍속이 빠르고 설치장소의 제약이 적다는 점에서 이미 유럽, 북미뿐만 아니라 중국에서 해상 풍력발전단지를 조성하고 있고, 국내의 경우 제주도 및 서남해안에 해상풍력단지를 조성할 계획이다. 따라서 국내의 해상풍력 도입을 위해 국내 기상조건에 맞는 심해 부유형 풍력발전기의 개발이 요구되고 있으며, 이에 따라 해상풍력발전기의 모델을 선정하고 기초 연구를 수행하기 위해 축소모형 제작을 위한 설계, 재질 선정, 안정성 검토 및 바람과 조류의 영향에 의한 운동특성을 파악하기 위한 고유진동수 해석을 수행하였다.

2. 축소모형 설계

일반적으로 부유식 해상풍력발전기의 경우 구조물의 자세를 유지하는 안정성 측면에서 다양한 방식들을 취하고 있으며 특히, Classic TLP, Spar type, Semi-sub의 세 종류가 주로 연구되고 있다. 본 연구에서는 운동성능은 보통이지만 가격적인 측면에서 매우 유리한 Spar type을 선정하여 축소모형을 설계하였다. 축소모형은 Blade와 Rotor가 위치하는 Nacelle, 수면으로부터 Nacelle의 높이를 결정하는 Tower, 수면 밑으로 잠겨 흡수선(Water line)을 유지시킴과 무게추(Weight)가 위치하는 Platform, 무게중심의 위치를 결정하는 무게추로 구성된다.

부력중심은 Platform의 높이를 600mm, 직경을 140mm로 결정 하였을 때, Platform의 중심점인 수면으로부터 300mm에 위치하게 되며, 이때의 부력은 9236.28g이다. 이는 Archimedes' Principle에 의해 추를 포함한 전체 축소모형의 무게와 일치해야 흡수선이 Platform과 Tower가 접하는 면에 위치하게 된다. Fig. 1은 본 연구에서 설계한 부유식 해상풍력 발전기의 축소모형 구조 및 부력중심과 무게중심의 위치를 나타낸다.

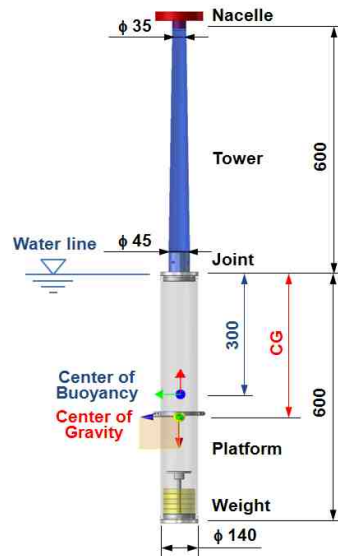


Fig. 1 Scale-model design of floating wind turbine

3. 재질에 따른 축소모형 안정성 검토

재질에 따른 부력중심과 무게중심으로부터 안정성을 검토하기 위해 세 가지 경우로 나누었다. Table 1에서 Case #1은 모든 구조가 ABS($\rho = 0.00102\text{g/mm}^3$), Case #2는 모든 구조가 Al. alloy 7079(0.0027g/mm^3)로 선정했고, Case #3은 Nacelle과

Table 1 Material and weight of scale-model

Case	#1	#2	#3
Nacelle	ABS	Al. 7079	ABS
	706.36g	1046.26g	706.36g
Tower	ABS	Al. 7079	ABS
	238.45g	631.20g	238.45g
Joint	ABS	Al. 7079	Al. 7079
	524.28g	1058.38g	1058.38g
Platform	ABS	Al. 7079	Al. 7079
	530.65g	1404.67g	1404.67g
Weight	7184.19g	5131.57g	5815.77g
Total	9183.94g	9272.08g	9261.91g
Height of Weight	63mm	45mm	51mm

Table 2 Results of metacenter calculation

Case	#1	#3
Center of Gravity(CG)	191.57mm	245.13mm
Center of Buoyancy(CB)	300mm	300mm
BM=Ix/▽	2.31mm	2.58mm
GM=BM+CB-CG	110.74mm	57.45mm

Ix: moment of inertia, ▽: submerged volume

Tower 부분은 ABS, Joint와 Platform은 Al. alloy 7079로 선정했다. Table 1은 각 부의 무게와 측정된 부력 9236.28g에 근접하게 Steel ($\rho = 0.00785\text{g}/\text{mm}^3$)로 제작된 등근 원형($\phi=136\text{mm}$)의 무게 추를 나타낸다. Table 1의 결과로부터 무게중심이 부력중심보다 위에 위치하는 Case #2는 안정성이 다른 경우보다 낮기 때문에 배제하고, 나머지 Case #1과 Case #3을 이용하여 안정성을 계산하였다.

무게중심과 부력중심간의 거리에 대하여 기상 조건인 풍력과 조력으로 인한 기울어짐에 따른 회전 중심인 Metacenter와 복원력이 결정됨으로, 축소모형의 무게중심(CG)에서 Metacenter(M)까지의 거리를 GM이라 했을 때, 이 수치가 너무 크게 되면 안정성은 높지만, 좌우로 움직이는 횡요주기가 짧아져 위치제어의 불안정성을 갖게 되고, 너무 작게 되면 횡요주기가 커져 위치복원이 늦어진다. Table 2는 각 경우의 Metacenter를 보여주고 있다.

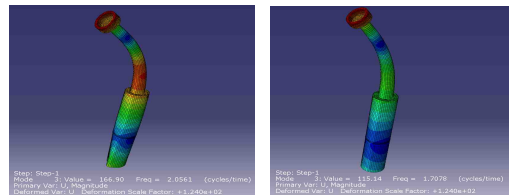
4. 재질에 따른 고유진동수 해석

해석 프로그램인 Abaqus를 이용하여 파도의 주기와 Blade의 회전 등으로 생기는 공진을 피하기 위하여 축소모형의 무게중심에 3지점을 핀 고정하여 고유진동수 해석을 하였다.

축소모형 Tower의 고유진동수는 운전 시 발생할 수 있는 Tower의 공진 가능성을 피하기 위해서

Table 3 Mode Frequency of 2 Models

Mode	Case #1	Case #3
1	0.425Hz	0.434Hz
2	0.445Hz	0.446Hz
3	2.056Hz	1.708Hz
4	2.079Hz	1.714Hz
5	3.794Hz	3.785Hz



(a) Case #1

(b) Case #3

Fig. 2 3rd Mode shape of FE models

Tower의 모달해석(Modal Analysis)을 하였고, Table 3은 그 결과로써 고유모드(Eigenmode)를 나타낸다. Mode1과 Mode2의 고유진동수는 거의 비슷하지만, 모드3에서 Case #1의 경우 2.056Hz, Case#3의 경우 1.708Hz로 큰 차이를 보여준다. Fig. 2는 그때의 FE 모델 결과이다.

5. 결론

본 논문에서는 Spar type 부유식 해상풍력 발전기 축소모형을 설계하고 재질에 따른 Metacenter 계산과 고유진동수 해석을 수행하였다. 그 결과로서 축소모형의 재질은 전체 구성품을 ABS로 선택했을 때 무게중심과 Metacenter간의 거리가 가장 길어 안정성은 우수한 것으로 판단되었지만 동적운동을 고려할 경우 최적의 GM을 구할 필요가 있다. 이를 근거로 향후 Case #1과 Case #3에 대한 축소모형을 제작한 후 설계값과 비교할 예정이다.

후기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20113020020010-11-1-000)

참고문헌

1. 조규남, 이우섭 “해양관측용 부이의 개념 설계 연구.” 한국해양공학회, 205-212, 1997. 11
2. Lee, S. “Dynamic response analysis of spar buoy floating wind turbine systems,” S.M. Massachusetts Institute of Technology, 2008.