

# 750kW 나셀커버 구조해석 및 설계

박 재현<sup>1)</sup>, 방 조혁<sup>1)</sup>, 박 진일<sup>1)</sup>, 류 지윤<sup>1)</sup>

## Analysis and Design of 750kW Nacelle Cover

Jaehyun Park, Johyug Bang, Jinil Park, Jiyune Ryu

**Key words** : Design load(설계하중), Preliminary design(예비설계), Detail design(상세설계)  
Composite structure(복합구조)

**Abstract** : The major function of the nacelle cover is protecting the inside equipments. Therefore, it is required not only sufficient strength and stability but also light weight. In this paper, design loads are calculated according to the GL Wind guideline Ed. 2003. To ensure the structural safety, a composite structure is selected. The structural design is processed by two steps which are preliminary design and detail design. In the preliminary design step, a structural analysis is performed with initial thickness, 5mm. As reviewing above analysis results, weak regions of the nacelle cover reinforced using the spar cap structure which is same as the blade structure. In the analysis model, the support structure is connected with the nacelle cover and analyzed its structural safety at the same time.

### Nomenclature

- $\rho$  : air density, kg/m<sup>3</sup>
- $v_{wind}$  : wind speed, m/s
- $w_{Sk}$  : wind load, N
- $c_w$  : load coefficient
- A : referance surface area
- $\gamma_{Mk}$  : material partial safety factor

### subscript

- TC : type class
- DLC : design load case

## 1. 서론

풍력발전기는 크게 바람으로부터 에너지를 전달 받아 발전기에 전달하는 로터, 동력 전달 장치 및 각종 기계, 전기 장치가 설치되는 나셀, 그리고 로터, 나셀의 자중을 지지하는 타워로 구성된다. 그리고 각종 기계 및 전기장치를 보호하는 나셀커버는 강한 바람에서도 강도, 좌굴에 대한 안정성을 확보하면서 최대한 가벼워야 한다. 또한, 지지구조물은 나셀커버 뿐 아니라 나셀커버를 통하여 전달되는 풍하중, 나셀 구조물에 설치되는 전장품의 자중 역시 지지할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 GL wind guideline Ed.2003에 따라 IEC TC I에 해당하는 설계하중을 선정하고 750kW 풍력발전기의 해석을 통해 설계된 나셀커버와 지지구조물의 강도 및 안정성 평가를 수행하였다.

## 2. 설계 하중

설계하중은 GL wind guideline Ed. 2003에 따른 여러 가지 하중 조건 중에서 적설하중(snow load)+사하중(dead weight), 풍하중(wind load)+사하중(dead weight)의 두 가지 경우를 선정하였다<sup>1)</sup>.

### 2.1 적설하중(snow load)

적설하중은 table 1과 같이 정의된다.

Table 1 Snow loads

Item	Unit load
Snow loads	3.0 kN/m <sup>2</sup>

1) 유니슨 풍력연구소  
Email : jahpark@unison.co.kr  
Tel : (042)360-1125 Fax : (042)360-1119

## 2.2 풍하중(wind load)

풍하중은 다음과 같은 식으로 계산될 수 있고, Table 2와 같이 정의된다. 여기서  $c_w$  값은 Fig. 1과 같이 선정되었다<sup>1)</sup>.

$$w_{sk} = \frac{\rho}{2} \cdot V_{wind}^2 \cdot A \cdot c_w \quad (1)$$

Table 2 Wind loads of nacelle cover

Surface	Total load(kN)	DLC
Front face	29.66	DLC 6.2
Lateral face	23.21	
Rear face	19.34	

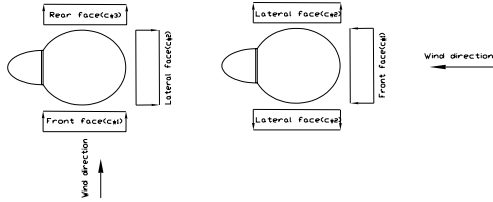


Fig. 1 Simplified  $c_w$  values assumed for a nacelle cover following wind direction

## 2.3 사하중(dead weight)

나셀 커버 및 지지 구조물에 작용하는 사하중은 나셀 커버, 지지구조물, 그리고 전장품류의 자중 등이 있다. 나셀 커버 및 지지구조물의 사하중은 본 해석에서 FE 해석 프로그램에 중력가속도를 가했으며, 전장품류의 경우 무게를 하중으로 환산하여 적용하였다.

Table 3 Dead weight of nacelle components

No.	Part name	Weight(kg)
1	Nacelle cover	865
2	Support structure	312
3	Electric equipments	1135

## 3. 나셀커버해석

본 연구에서는 먼저 기본 복합재료 5mm 두께로 예비설계된 나셀커버에 적설하중(snow load)과 풍하중(wind load)을 적용하여 정하중 및 좌굴해석을 수행하였고, 해석결과를 바탕으로 나셀커버를 설계·보강하였다.

### 3.1 해석모델 및 재료물성치

Fig. 2는 기본 복합재료로 예비설계된 나셀커버이다. 본 나셀커버에 앞의 2절에서 계산된 설계하중을 적용하였다. Fig. 3은 나셀커버의 초기 해석결과로부터 설계 개선된 나셀커버를 나타

낸다. 여기에 쓰인 적층구조는 layer pattern 1, 2, 3, 4이고, Fig. 4에 적층단면을 도시하였다. 나셀커버에 적용되는 laminate 물성은 인장시험 시험으로 구해졌으며, table 4에 정리되어 있다.

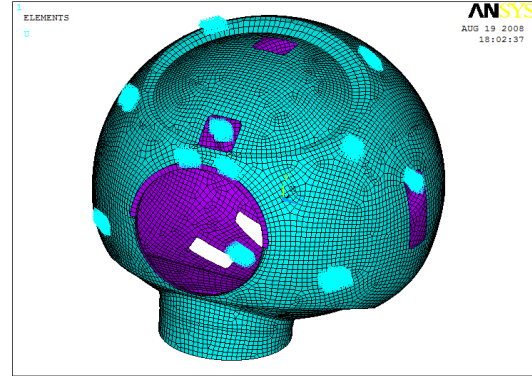


Fig. 2 Finite element model of preliminary designed nacelle cover

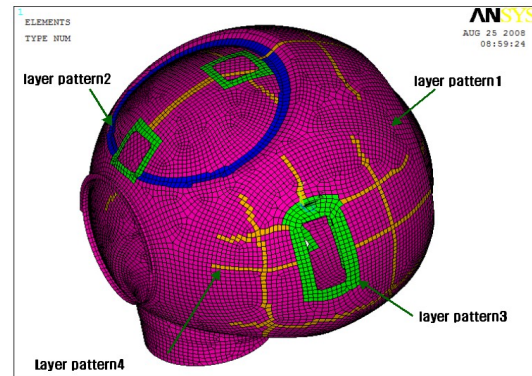


Fig. 3 Finite element model of reinforced and designed nacelle cover

Table 4 Material properties by tensile test specimen

	Glass/Epoxy fabric	Poly-urethane foam
Elastic modulus for horizontal direction[N/mm <sup>2</sup> ]	10500	60.86
Elastic modulus for vertical direction[N/mm <sup>2</sup> ]	10500	59.86
Shear modulus[N/mm <sup>2</sup> ]	1450	19.18
Poison ratio[v]	0.27	0.2
Tensile strength for horizontal direction[N/mm <sup>2</sup> ]	283	2.63
Compressive strength for horizontal direction[N/mm <sup>2</sup> ]	184	1.41
Tensile strength for vertical direction[N/mm <sup>2</sup> ]	283	2.49
Compressive strength for vertical direction[N/mm <sup>2</sup> ]	184	1.41
Shear strength[N/mm <sup>2</sup> ]	15.0	0.71
Ply thickness	0.5	22

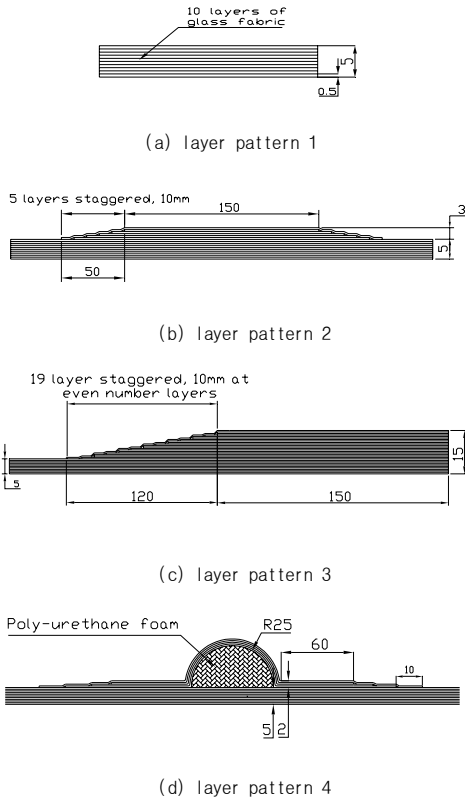


Fig. 4 Laminate lay up

### 3.2 재료의 안전계수

정하중 해석시 사용되는 재질 안전율은 식(2)와 같이 계산된다<sup>1)</sup>.

$$\gamma_{Ma} = \gamma_{M0} \cdot C_{1a} \cdot C_{2a} \cdot C_{3a} \cdot C_{4a} \cdot C_{ad} \quad (2)$$

- $\gamma_{M0}$  = 1.35 general safety factor
- $C_{1a}$  = 1.35 influence of aging
- $C_{2a}$  = 1.1 temperature influence
- $C_{3a}$  = 1.1 hand lay-up laminate
- $C_{4a}$  = 1.1 non post-cured laminate
- $\gamma_{Mb}$  = 2.65

### 3.3 좌굴 해석

좌굴 해석시 재질 안전계수는 식(3)과 같이 계산된다<sup>1)</sup>.

$$\gamma_{Ma} = \gamma_{M0} \cdot C_{1a} \cdot C_{2a} \quad (3)$$

- $\gamma_{M0}$  = 1.35 general safety factor
- $C_{1c}$  = 1.1 for scattering of face material modulus
- $C_{2c}$  = 1.1 temperature influence
- $\gamma_{Mb}$  = 1.63

### 3.4 나셀 지지구조물 해석

나셀지지구조물은 ANSYS의 보요소 (beam189)로 모델링 되었고, 강제요소(RBE3)를 사용하여 나셀커버와 연결되었다. 이 때 계산상의 편의를 위해 머신프레임(machine frame)을 강체로 가정하여 경계조건을 사용하였다. 해석모델은 앞의 Fig. 5는 1차원 보요소로 모델링 된 지지구조물을 나타내고, Fig. 6은 나셀커버와 지지구조물이 연결된 유한요소모델 및 경계조건을 나타낸다. 지지구조물은 SS400<sup>2)</sup>의 물성치를 사용하였다.

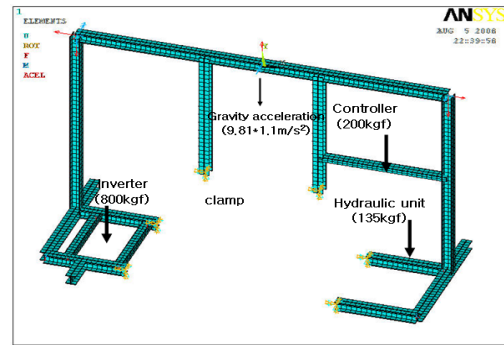


Fig. 5 Support structure of nacelle cover

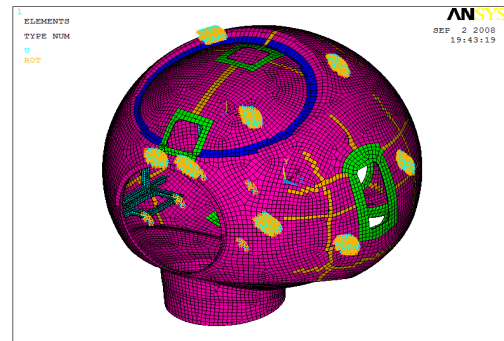


Fig. 6 Finite element model of support structure and nacelle cover

### 4. 해석결과

보강 전/후 나셀커버의 정하중과 좌굴 해석의 결과는 table 5와 table 6, 지지구조물 해석결과는 table 7에 정리 되어있다. Table 5에서 보면, 기본 나셀커버는 허용응력 안전율은 1.1로 만족하는 반면에 좌굴 안전율은 0.61로 허용 안전율 1.63에 못 미치는 것을 알 수 있다. Table 6와 Table 7에서 보면, 보강된 나셀커버와 지지구조물의 응력 및 좌굴 안전율은 허용치 이내에 있음을 알 수 있다.

**Table 5 Static and buckling analysis results of initial nacelle cover**

Nacelle Cover	Load case		Allowable	Safety
	Wind	Snow		
def. [mm]	59	118	-	-
stress [MPa]	61	95	106	1.1
buckling	0.62	0.61	1.63	-

**Table 6 Static and buckling analysis results of reinforced nacelle cover**

Nacelle Cover	Load case		Allowable	Safety
	Wind	Snow		
def. [mm]	12.3	54.8	-	-
stress [MPa]	22	68	106	1.55
buckling	6.4	1.67	1.63	-

**Table 7 Static analysis results of the support structure**

Support structure	Load case		Allowable	Safety
	Wind	Snow		
def. [mm]	1.7	1.5	-	-
stress [MPa]	102	80	223	2.18

Table 6에서 알 수 있듯이 나셀커버는 적설하중 적용 시, 풍하중 적용 시보다 2.1배 더 큰 응력 값을 나타냈다. Fig. 7은 나셀커버의 적설하중이 적용되었을 때, 기본 나셀커버와 보강된 나셀커버의 응력분포도를 나타낸다. Table 7에서는 나셀 지지구조물은 풍하중 적용 시, 적설하중 적용 시보다 1.3배 더 큰 응력을 나타냈다.

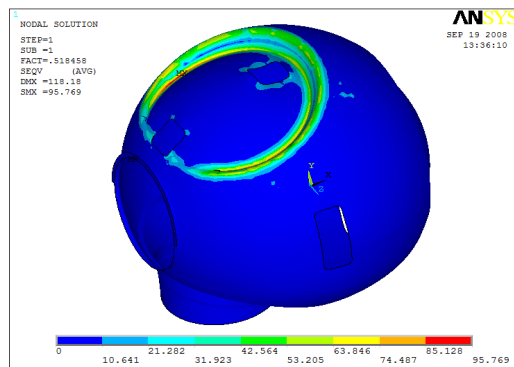
## 5. 결론

본 연구에서는 GL guideline에 따라 설계하중을 선정하고 나셀커버의 설계를 수행하였다. 또한, 설계된 나셀커버 및 지지구조물의 응력 및 좌굴 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

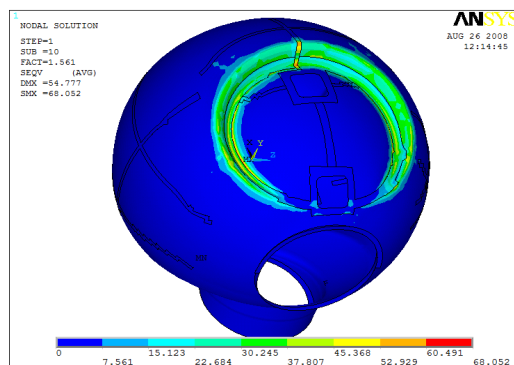
- (1) 나셀커버가 보강되기 전에는 좌굴안전율이 허용 값에 미치지 못하지만, 나셀커버가 보강된 후 나셀커버와 지지구조물의 응력 및 좌굴에 대한 고유 값이 허용치 이내에 있음을 알 수 있다.
- (2) 나셀커버는 적설하중 적용 시, 풍하중 적용 시보다 2.1배 더 큰 응력 값을 나타내고, 나셀 지지구조물은 풍하중 적용 시, 적설하중 적용 시보다 1.3배 더 큰 응력을 나타냈다

## References

- [1] Germanischer Lloyd, Guideline for the Certification of wind turbine, 2003
- [2] "Eurocode 3: Design of steel structure", European Committee for Standardization, part 1.1



(a) Initial nacelle cover



(b) Reinforced nacelle cover

**Fig. 7 Stress contour plot of nacelle cover for the snow load case**