

## 2MW 너셀 커버 및 지지 구조물 설계

홍 혁수<sup>1)</sup>, 방 조혁<sup>2)</sup>, 박 진일<sup>3)</sup>, 류 지윤<sup>4)</sup>, 김 두훈<sup>5)</sup>

### Design of 2MW Nacelle Cover and Support Structure

Hyeoksoo Hong, Johyug Bang, Jinil Park, Jiyune Ryu, Doohoon Kim

**Key words** : FRP(유리강화섬유), design load(설계하중), buckling(좌굴), F.E. analysis(유한요소 해석)

**Abstract** : Wind turbine is composed by 3 major parts, rotor ass'y, nacelle ass'y and tower. There are two major point in nacelle cover analysis one is nacelle cover itself the other is cover support structure. Both of them are required strength proof with light weight. For the design of structure, the loads are calculated according to GL wind guideline Ed. 2003 and by the commercial F.E. codes,

#### Nomenclature

$\rho$  : air density,  $kg/m^3$   
 $v_{wind}$  : wind speed, m/s  
 $w_{Sk}$  : wind load, N  
 $C_w$  : load coefficient  
 $A$  : referance surface area  
 $\gamma_{Ma}$  : material partial safety factor  
 $\gamma_L$  : load partial safety factor

#### subscrip

F.E. : finite element  
 TC : type class  
 CLT : classical laminate theory  
 DLC : design load case

### 1. 서론

최근 이산화탄소 저감과 화석연료 고갈이 이슈화 되면서 친환경에너지에 대한 관심 역시 높아지고 있다. 이중 풍력 발전은 바람의 에너지를 전기에너지로 전환하는 발전 방법으로 다른 친환경에너지와 비교하였을 때 대량 생산이 가능한 가장 경제성 있는 발전 방법 중 하나이다. 풍력 발전기는 크게 바람으로부터 에너지를 전달 받아 발전기에 전달하는 로터(rotor), 동력 전달 장치 및 각종 기계, 전기 장치가 설치되는 너셀(nacelle), 그리고 블레이드(blade)를 통하여 전달되는 하중과 로터, 너셀의 자중을 지지하는 타워(tower)로 구성된다.

너셀을 보호하는 너셀커버(nacelle cover)는 강한 바람에서도 강도, 좌굴에 대한 안정성을 확보하면서 최대한 가벼워야 한다. 너셀커버 지지 구조물은 너셀 커버 뿐 아니라 너셀커버를 통하여 전달되는 풍하중, 너셀 구조물에 설치되는 전장품의 자중 역시 지지할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 GL wind guideline Ed. 2003<sup>1)</sup>에 따라 IEC TC II에 해당하는 설계하중을 선정하고 폐사에서 개발 중인 2MW 풍력발전기의 너셀커버 및 지지 구조물에 대한 강도 평가를 수행하였다.

### 2. 설계 하중

설계하중은 GL wind guideline Ed. 2003에 따라 live load with dead weight와 wind load with dead weight의 두 가지 경우로 나뉜다.

#### 2.1 Live load

Live load는 table 1과 같이 정의 된다.

Table 1 Live loads

Item	Unit load	Area	$\gamma_L$	Total load
Walkable parts	3.0kN/m <sup>2</sup>	9 m <sup>2</sup>	1.5	40.5kN
Roof loads	3.0kN/m <sup>2</sup>	25 m <sup>2</sup>	1.5	112.5kN
Holding eye	20.0kN	-	1.0	20.0kN

1) 유니슨 기술연구소  
 E-mail : hshong@unison.co.kr  
 Tel : (041)620-3422 Fax : (041)552-7416

$$w_{Sk} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{wind}^2 \cdot A \cdot c_w \quad [N] \quad (1)$$

Table 2 Wind loads

surface	$c_w$	area[m <sup>2</sup> ]	$V_{wind}$	$\gamma_L$	Total load	DLC
Front face	0.64	38.96	59.5	1.1	54,067.8N	DLC 6.2
Lateral face	0.48	11.56	59.5	1.1	12,032.0N	
Rear face	0.40	38.96	59.5	1.1	33,792.4N	

## 2.2 Dead weight

너셀 커버 및 지지 구조물에 작용하는 dead weight는 너셀 커버, 지지 구조물, 그리고 전장품류의 자중 등이 있다. 너셀 커버 및 지지 구조물의 dead weight는 본 해석에서 FE 해석 프로그램에 밀도로 적용 되었으며 전장품류의 경우 질량 요소(mass element)를 통하여 적용 하였다. Table 3은 너셀 커버 지지구조물에 설치되는 전장품류의 dead weight를 나타낸다.

Table 3. Dead weights

No.	Part name	Qty	Weight(kg)
1	Protection panel	1	1000
2	Controller	1	200
3	Reactor x 2	2	1200
4	Power converter	1	1000
5	Cooler x 2	2	190
6	Transformer	1	4650

## 3. 너셀 커버 해석

본 연구에서는 해석의 편의를 위해 너셀 커버와 너셀 커버 지지 구조물에 대한 해석을 구분하여 수행하였다. 너셀 커버 FE해석시 너셀 커버 지지 구조물을 강체로 가정하여 지지 구조물과 너셀 커버간의 연결 부위 절점의 모든 자유도를 구속하였다. 너셀 커버는 정하중 해석과 이 때의 좌굴 해석을 수행하였으며 피로하중에 대한 해석은 수행하지 않았다.

### 3.1 Material properties

Laminate의 물성은 CLT와 혼합법(rule of mixture)<sup>2)</sup>에 의하여 계산 되어졌으며 그 물성은 table 4에 정리 되어 있다.

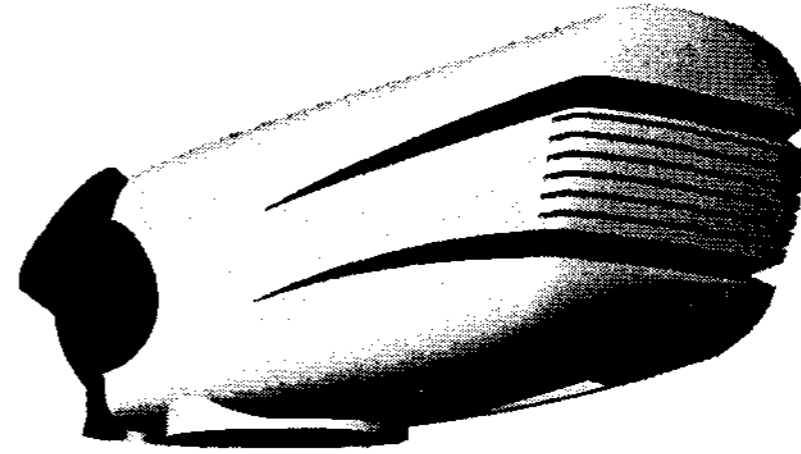


Fig. 1 Nacelle cover

Table 4 Required material properties

	4Ax	Balsa	
Fiber weight fraction [%]	56	-	
Specific weight [kg/m <sup>3</sup> ]	1977	151	
Fiber areal weight [g/m <sup>2</sup> ]	1234	-	
Layer thickness [mm]	1.0	4	
E-modulus [GPa]	0°	9.24	3.518
	90°	11.89	
G-modulus [GPa]	4.23	0.157	
Poisson's ratio	Nuxy	0.20	0.3
	Nuyx	0.26	0.3
Tensile strength [MPa]	330	13	
Allowable tensile stress [MPa]	130	-	
Tensile strain [%]	0.65	0.37	
Allowable tensile strain [%]	0.26	-	

너셀 커버를 구성하는 주요 적층 구조는 그림 2와 같다.

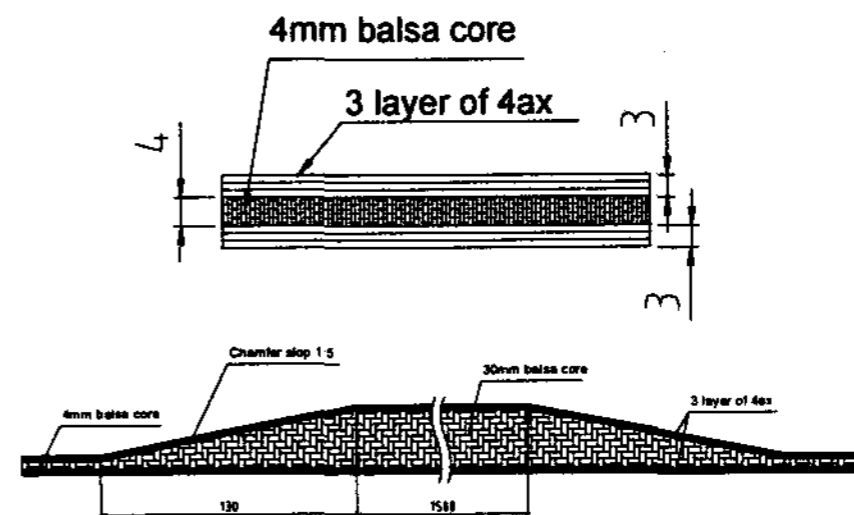


Fig. 2 Laminate lay up

### 3.2 정하중 해석

정하중 해석시 사용되는 재질 안전율은 식 (2)와 같이 계산된다.

$$\gamma_{Ma} = \gamma_{M0} \cdot C_{2a} \cdot C_{3a} \cdot C_{4a} \cdot C_{5a} \cdot C_{ad}$$

$$\gamma_{M0} = 1.35 \text{ general safety factor}$$

$$C_{1a} = 1.35 \text{ influence of aging}$$

$$C_{2a} = 1.1 \text{ temperature influence}$$

$$C_{3a} = 1.2 \text{ hand lay-up laminate}$$

$$C_{4a} = 1.0 \text{ post-cured laminate}$$

$$C_{ad} = 1.05 \text{ additional safety factor for the characteristic value}$$

$$\gamma_{Ma} = 2.53 \quad (2)$$

4-axail 의 인장강도는 330MPa로서 안전율을 감안한 인장 강도는 130MPa를 넘어서는 안된다. 정하중 해석은 ANSYS를 이용하였다. 그림 3은 FE 해석에 사용된 메쉬 및 경계조건을 나타낸다.

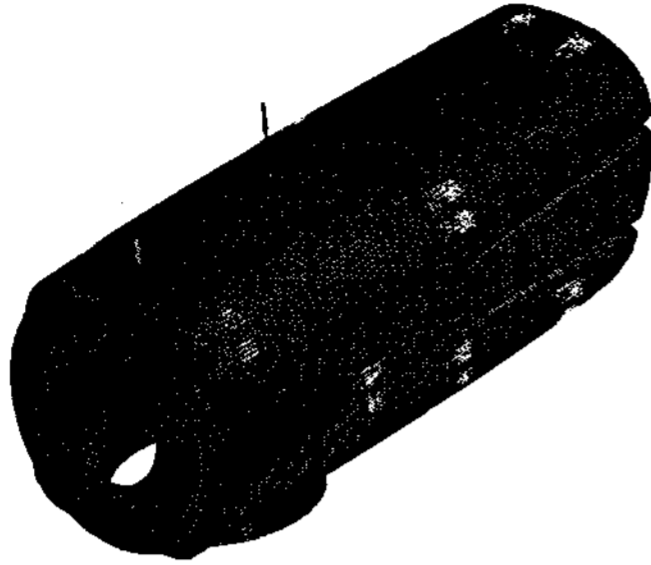


Fig. 3 F.E. Model and B.Cs

### 3.3 좌굴 해석

좌굴 해석시 재질 안전계수는 식(3)과 같이 계산된다.

$$\gamma_{Ma} = \gamma_{Mo} \cdot C_{1c} \cdot C_{2c} \cdot C_{ad}$$

$$\gamma_{Mo} = 1.35 \text{ general safety factor}$$

$$C_{1c} = 1.1 \text{ for scattering of face material moduli}$$

$$C_{2c} = 1.1 \text{ temperature influence}$$

$$C_{ad} = 1.05 \text{ additional safety factor for the characteristic value}$$

$$\gamma_{Ma} = 1.72 \quad (3)$$

좌굴 해석은 정하중 해석의 결과를 이용하여 ANSYS로 고유치 해석을 수행하였다.

### 3.4 해석 결과

정하중과 좌굴 해석의 결과는 table 5에 정리되어 있다. 응력, 변형을 모두 허용 범위 안에 있는 것을 확인할 수 있다. 좌굴에 대한 고유 값 역시 허용치 이내에 있음을 확인할 수 있다.

Table 5. Result of static & buckling analysis

Nacelle Cover	Load case		Allowable	Safety
	Wind	Live		
def.[mm]	27.2	45.5	-	-
stress[Mpa]	29.9	31.3	130MPa	4.2
strain[%]	0.178	0.250	0.26%	1.04
buckling(eig)	-	1.897	1.72	1.1

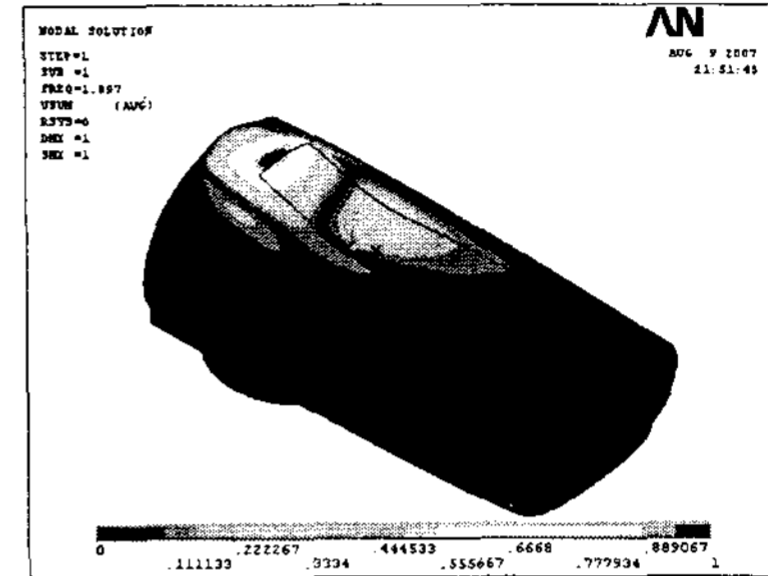
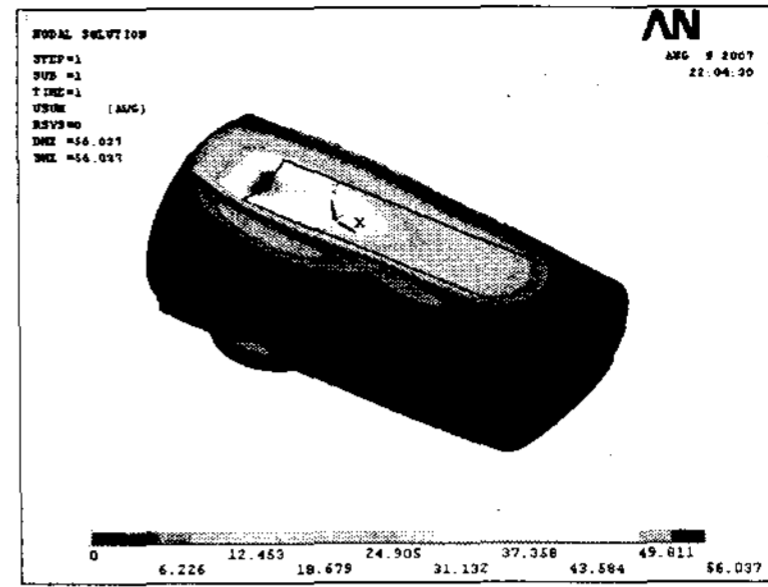


Fig. 4 Displacement & buckling result

## 4. 너셀 지지 구조물 해석

너셀 지지 구조물의 해석은 설계의 편의를 위해 풍하중을 1차로 받는 너셀 커버 면과의 연결부에서 풍하중을 증가로 받는 것으로 가정하였다. 또한 너셀 커버의 하중은 각 지지부에 질량 요소를 통하여 반영하였다. 지지 구조물은 KS 규격의 사각강관과 H-형강으로 구성되었으며 물성치는 SS400의 물성으로 계산하였다. 정하중에 대하여 변위와 응력, 그리고 고유진동수 해석을 수행하였다.

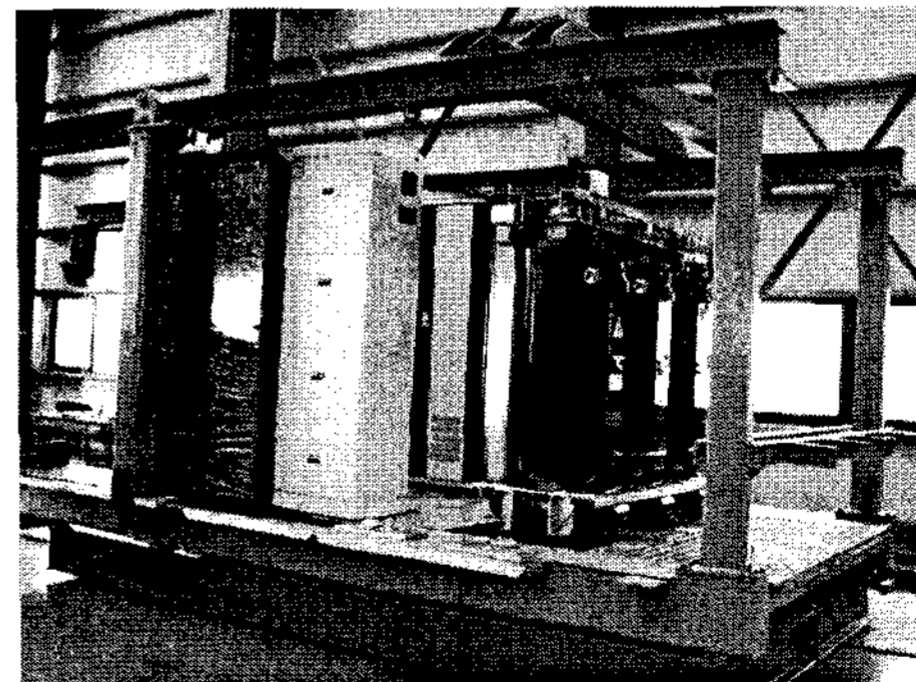


Fig. 5 Nacelle support structure

### 4.1 FE 모델

너셀 지지 구조물의 모델은 ANSYS의 보요소 (beam189), shell요소(shell193), 질량요소(mass21), 그리고 구속식(RBE3)을 이용하여 모델링 하였다. 이 때 계산상의 편의를 위해 머신프레임(machine frame)을 강체로 가정하여 머신프레임과의 연결부 위에서의 변위를 구속하는 경계 조건을 사용하였다. Fig. 6는 해석에 사용된 FE model을 보여준다.

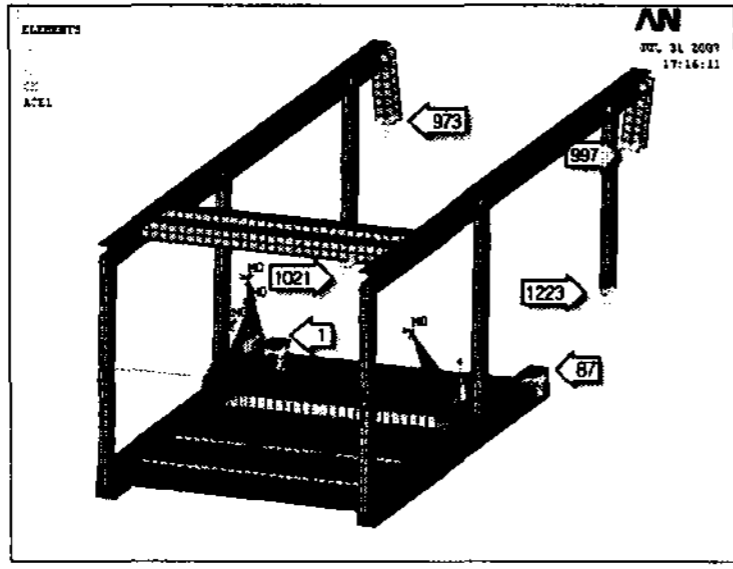


Fig. 6 F.E. model of nacelle support structure

#### 4.2 정하중 해석

2장에 정의된 하중을 이용하여 정하중 해석을 수행하였다. 최대 응력은 roof load와 dead weight가 작용할 때 나타났으며 이 때 하부 사각 강관과 메인프레임과의 용접연결부에서 최대 응력이 발생하였다. 이 때 하중에 대한 안전율 및 재질에 대한 안전율( $\gamma_m = 1.1$ )이 감안 되었다.

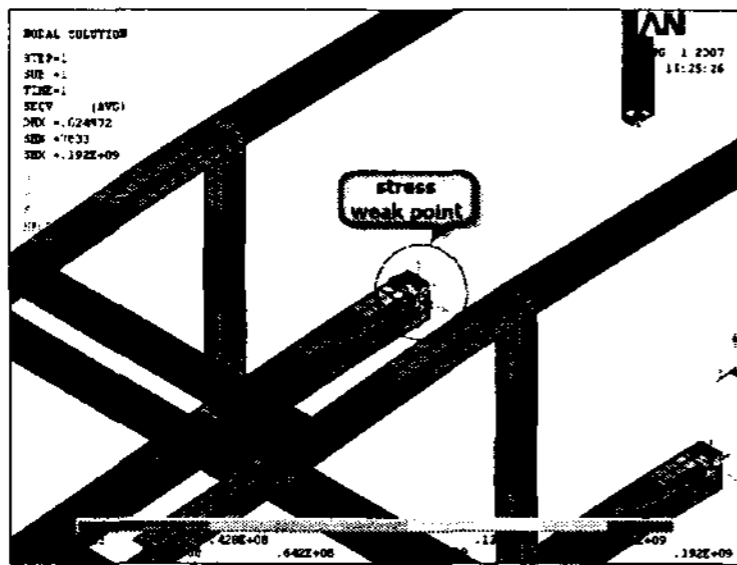


Fig. 7 Max. stress point

Table 6. Result of static analysis

Support structure	Load case		Allowable	Safety
	Wind	Live		
def.[mm]	19.5	24.9	-	-
stress[Mpa]	150.9	192	223MPa	1.16

#### 4.3 고유진동수 해석

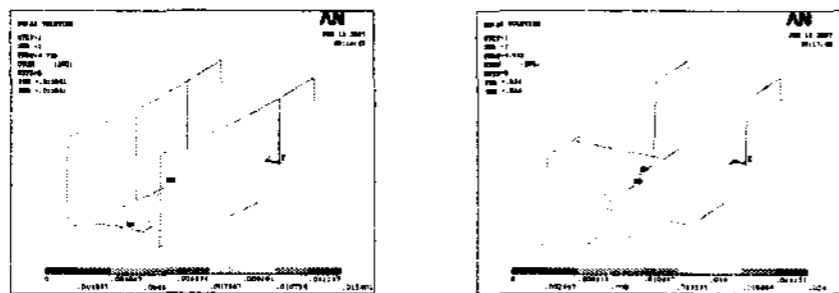


Fig. 8 1st(4.74Hz) & 2nd(4.94Hz) mode shape

고유진동수 해석을 위한 FE 모델은 4.1장과 유사하지만 셸요소에서 생기는 국부 모드(local mode)를 제거하기 위하여 셸요소는 해석에서 제외 하였다. Fig. 8은 너셀 지지 구조물에서 발생하는 모드형상(mode shape)를 나타내며 Fig. 9은 로터 회전수에 따른 Campbell diagram을 보여준

다. Campbell diagram을 통하여 1p 및 3p공진 영역을 벗어났음을 알 수 있다.

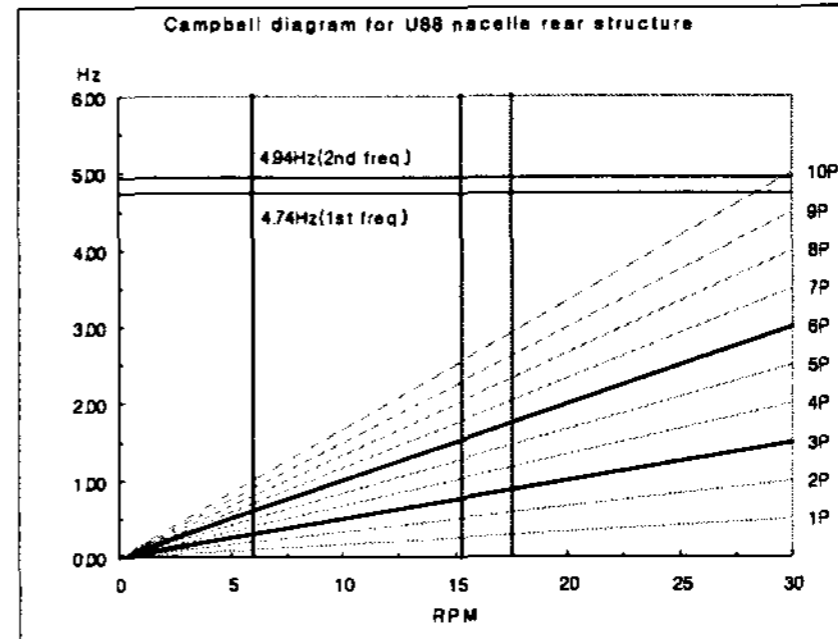


Fig. 9 Campbell diagram

#### 5. 결론

본 연구에서는 GL guideline에 따라 설계하중을 선정하고 너셀 커버와 지지구조물에 대한 강도해석을 수행하였다. 본 논문에서는 너셀 커버에 사용된 복합재의 물성을 평가하고 커버 및 지지구조물의 응력 및 좌굴, 고유진동수 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 취약부의 balsa form 두께를 증가를 통하여 정하중 및 좌굴강도를 증가 시켰다.
- (2) 커버 및 지지 구조물 모두 GL guideline에서 제시한 설계 기준을 만족하였다.
- (3) 지지 구조물의 고유 진동 해석을 통하여 공진 현상이 발생하지 않음을 확인하였다.

본 연구를 통하여 너셀 커버 및 지지 구조물 설계 방법을 확보하였으며 추후 제품 개발 해석에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부의 예산 지원으로 시행중인 2MW PMSG형 풍력발전 시스템 개발" 사업의 일환이며, 에너지 관리공단의 지원에 감사드립니다.

#### References

- [1] Germanischer Lloyd, Guideline for the Certification of wind turbine, 2003
- [2] Robert M, Jones, Mechanics of composite materials, second edition, 1999
- [3] 강창경외, 2007, "750kW 풍력 터빈 너셀 커버의 강도 평가에 대한 연구", pp. 67-73
- [4] "Eurocode 3 : Design of steel structure", European Committee for Standardization, part 1.1