

H-다리우스 블레이드의 형상 변화에 따른 기동특성 해석

정진환* · 강기원** · 김범수*** · 이장호****†

Effect of Geometric Variation on Starting Characteristic Analysis of H-Darrieus Blades

Jinhwan Jeong*, Kiwon Kang**, Berm-Soo Kim***, Jangho Lee****†

Key Words : VAWT(수직축 풍력발전기), Darrieus(다리우스형), CFD(전산유체역학)

ABSTRACT

This paper describes the numerical analysis of effect of geometric variation on the straight-bladed vertical axis wind turbine. Geometry variation is performed with pockets on the blades. The results presented in this numerical analysis show the general flow pattern of near the bladed, and azimuth angle variation on starting torque value. It is shown that the pockets makes torque higher about 80%

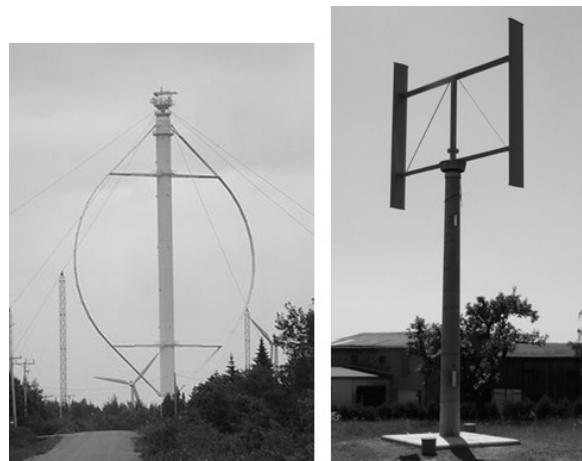
1. 서론

일반적으로 수직축 풍력발전기는 수평축 풍력발전기에 비해 효율이 낮고, 작동범위가 적다는 단점을 갖고 있지만, 바람방향에 무관하게 작동되고, 시동풍속이 낮은 특성은 풍향의 변화가 심하고, 주로 낮은 풍속을 분포를 보이는 우리나라에서 적절한 풍력발전기로 사료된다. 수직축 풍력 발전기의 대표적인 형태는 양력형의 다리우스형(Darrieus)과, 항력형의 사보니우스형(Savonius) 풍력발전기로 나뉜다. 다리우스형 블레이드는 기본적인 두 가지 형태로, 날개를 구부러 만든 Tropiskien형과 일자로 세워진 Straight 형이 있다. Tropiskien형은 원심력으로 인하여 Bending moment를 거의 무시할 수 있고, 블레이드에 장력만 받기 때문에 블레이드의 강도가 낮아도 사용할 수 있는 장점이 있고, Straight형 블레이드는 원심 부하가 큰 Bending moment를 발생하고, 설치하기 쉬운 점이 장점이다.

본 논문에서는 다른 블레이드는 Straight형의 다리우스 풍력발전기로 현재 국내에서 지속적으로 연구되어왔다. 개별 블레이드 피치 제어 방식을 이용한 시스템의 공력성능 해

석과 로터 제어에 관한 연구가 이루어졌고[1], 다리우스 풍력 터빈의 공기역학적 특성 파악을 위해 운동량이론과 날개요 소이론에 근거한 이중 다류관 모델을 사용한 성능예측과, 실제 모델을 제작하여 진행된 풍동실험의 결과를 상호 비교, 분석하였다.[2]

본 논문에서는 상용코드 SC/Tetra를 이용하여 해석적 방법으로, 직선형 다리우스 풍력 터빈의 블레이드 형상 변화에 따른 기동토크 값과 블레이드 주변 유동특성 분석으로 공력 특성을 비교분석하고자 한다.



(a) Tropiskien form (b) Straight form

Fig. 1 Exterior form of Darrieus blades

* 군산대학교 풍력기술연구센터

** 군산대학교 기계자동차공학부

*** (주)미지에너지텍

**** 군산대학교 기계자동차 공학부

† 교신저자, E-mail : jangho@kunsan.ac.kr

2. 해석 모델과 해석 조건

2.1 해석 모델

본 연구에서 분석한 H-다리우스형 블레이드의 자세한 형상은 Fig 2에서 확인할 수 있다. 해석진행을 위해 가정된 해석 영역은 블레이드 외각에 직육면체 Duct를 설정하여 진행하였고, 블레이드 회전체의 전류영역과, 상하 좌우로, 3m의 공간을 확보하고 있다. 블레이드 회전체 후류 영역은 복잡한 난류유동의 수렴을 위해 15m로 충분한 공간을 확보하였다. 블레이드 에어포일의 thickness는 0.036m이고, chord length는 0.2m이며, 높이는 1.2m로 총 3개의 블레이드를 갖고 있다.

블레이드 형상은 Tip 부분에 air pocket의 유무로 2 가지 형상의 변화를 주어 기동토크를 비교하였다. 기동토크해석은 3개의 블레이드를 갖는 풍력발전기 형태에서 입구풍속 5m/s의 조건에서 방위각을 30° 씩 변화하여 총 4개의 case로 진행하였고, 블레이드의 각 위치에서의 양력 및 항력을 도출하고, 이 값을 좌표변환을 통해 접선력과 기동토크 값을

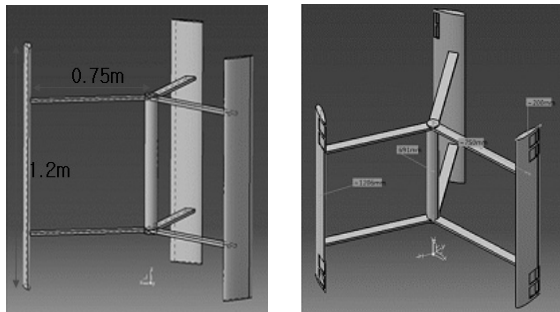
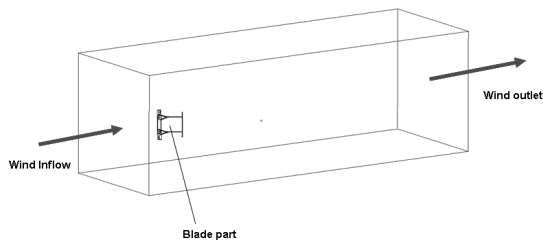


Fig. 2 Model Geometry for Numerical analysis

Table 1 Analysis case and Mesh information

Case	Number of grid	Mesh size	비고
No pocket	N-1	8,636,472	0.00625~0.4
	N-2	8,275,866	
	N-3	8,867,603	
	N-4	7,999,373	
Pocket	P-1	17,188,231	0.003125~0.4
	P-2	17,870,281	
	P-3	17,854,991	
	P-4	18,533,539	

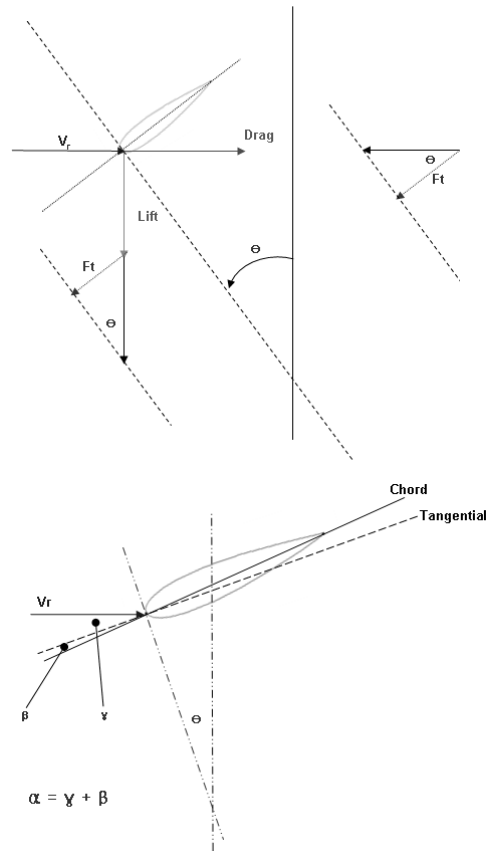


Fig. 3 Basic concept of wind turbine blade element
top : drag, lift and tangential force
bottom : angle of attack

도출하였다. 이에 관련된 자세한 알고리즘은 Fig 3에 나타나 있고, 관련수식은 아래에 나타내었다.

$$F_x = \text{Drag Force} \tag{1}$$

$$F_y = \text{Lift Force} \tag{2}$$

$$F_t = \text{Tangential Force} = -(F_x \cos\phi + F_y \sin\phi) \tag{3}$$

$$T_s = \text{Starting Torue} = F_t \times R \tag{4}$$

$$\alpha = \gamma + \beta = \theta - \tan^{-1} \left[\frac{\lambda \sin\theta}{1 + \lambda \cos\theta} \right] + \beta \tag{5}$$

R : 0.75m (Rotor diameter)

Azimuth Angle: θ [rad]

α : Angle of Attack

λ : Tip speed ratio

β : Pitch Angle $\sim 8^\circ$

Fig 4는 식5를 통해 얻어진 결과로 끝단속도비에 따른 방위각별 받음각의 크기를 나타내었다. 본 연구에서 수행된 기동토크 값의 경우 끝단속도비가 zero 값을 갖기 때문에 선형적으로 증가되는 것을 확인 할 수 있다. 풍력 터빈의 기동 시에는 받음각이 낮아짐을 확인 할 수 있고, 끝단속도비가 7인

경우 받음각은 $\pm 8^\circ$ 이내에서 운전됨을 알 수 있다.

2.2 해석 조건

해석은 정상상태 해석으로 난류모델은 표준 $k-\epsilon$ 모델과 표준 $k-\omega$ 모델에 비하여 비교적 정확한 예측이 가능하다고 알려져 있는 SST(Shear Stress Transport) $k-\omega$ 모델을 사용하였다. 입구영역에는 5m/s의 강제유동조건을 주었고, 출구영역에 static pressure 조건으로 zero 값을 입력하였다. 해석영역으로 가정된 Duct wall부분에는 Free slip wall 조건을 입력하였다. 유동구간의 물성은 상온에서의 비압축성 공기의 물성으로 밀도와 점성도는 $1.206[\text{kg}/\text{m}^3]$, $1.83 \times 10^{-5}[\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}]$ 로 지정하였다.

SC/Tetra는 외부 격자를 생성 후 입력 받을 수 있으나 본 연구에서는 자체 격자 생성 방법을 이용하여 격자를 생성하였다. 격자 생성순서는 외부의 3D모델링으로부터 surface 데이터를 입력 받아 입력된 모델의 Closed volume을 정의한 다음 생성될 격자의 크기를 설정하고, 벽효과가 발생하는 부분에 prism 격자를 구성한다. 이후 과정은 프로그램 자체적으로 자동으로 생성된다. 이렇게 생성된 격자는 비정렬격자(Tetra mesh)이고, 대표적으로 N-1 case에 해당하는 Grid 상태는 Fig 5에서 확인할 수 있다.

3. 해석 결과

3.1 해석 수렴 상태

기동토크 해석의 수렴상태는 Fig 6에 나타나 있고, 이는 P-1에 해당하는 데이터로 x,y,z 방향의 속도성분과 압력 성분

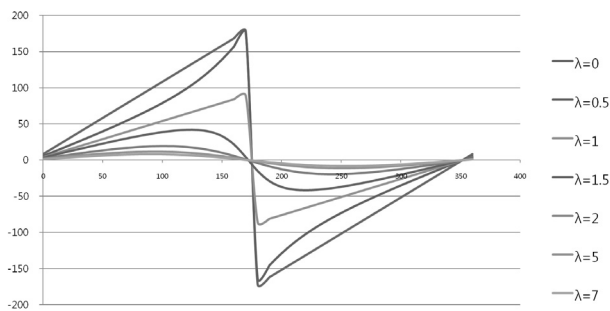


Fig. 4 AOA variation of VAWT

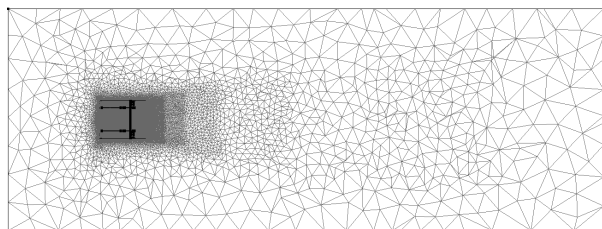


Fig. 5 Grid system for Numerical analysis

분은 10^{-3} 근처에서 수렴하고, 난류 성분은 10^{-5} 근처에서 수렴하는 것을 확인하였다. 다른 해석 case도 비슷한 분포를 보인다.

3.2 해석 결과

Fig 7은 방위각 330도 위치에서 블레이드 주변의 유동장을 보여주고 있다. 이때의 받음각은 22° 이고, 블레이드 후류에 stall 이후의 전형적인 유동패턴을 익형 주위에서 보이기이다. pocket과 No pocket 모델을 비교해보면 pocket이 있는 모델이 블레이드 trailing edge 부분에서 보다 복잡한 유

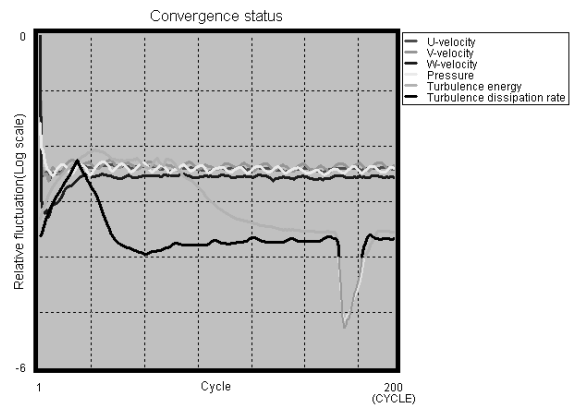


Fig. 6 Convergence status

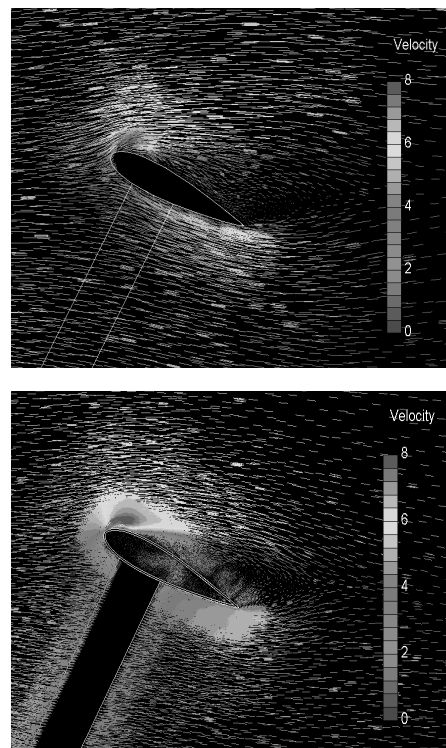


Fig. 7 Flow patterns around blade ($\phi=330^\circ$)

Top : No pocket
Bottom : pocket

Table 2 Analysis results of blade force

	Ø	Drag	Lift	기동토크
pocket	0	0.213383	-1.236399022	-0.16003725
	30	1.8953549	-2.20460927	-0.404340643
	60	4.5516779	-2.41997164	-0.135061525
	90	3.91549371	-0.14874079	0.111555593
	120	3.4433118	1.3520249	0.413075993
	150	1.3046298	1.90873238	0.13160727
	180	0.3708735	-0.98907644	0.278155125
	210	1.63573023	-1.26702858	0.587302232
	240	2.83517693	-0.90391881	0.476078859
	270	4.56862251	0.77067612	0.57800709
	300	2.20963447	1.61110554	0.217830818
	330	0.8407276	2.1468143	0.258986768
no pocket	Ø	Drag	Lift	기동토크
	0	0.2286479	-1.417130099	-0.171485925
	30	1.87728606	-2.38607741	-0.324554035
	60	4.33457175	-1.94465426	-0.362374413
	90	4.804023748	0.35850275	-0.268877063
	120	3.58059505	1.718571137	0.226478447
	150	1.61134182	3.53098995	-0.277524019
	180	0.29327573	-1.888540571	0.219956798
	210	2.40884111	-2.86443307	0.490425795
	240	2.852437438	-0.91974187	0.472274171
	270	4.399024413	0.6576683	0.493251225
	300	2.13020474	1.609401	0.246509836
330	1.20200814	2.90876501	0.31005969	

동을 보인다.

기동 토크값을 도출하기위해 본 해석에서 확인한 데이터는 x, y 방향의 힘으로부터 식 3을 사용하여 유도하였다. 바람의 방향은 x 방향으로 일정하기 때문에 양력방향은 y방향이고, 항력방향은 x 방향이다. 각 위치별 양항력 값을 Table 2에서 확인할 수 있다.

블레이드의 위치가 210°에 위치할 때 기동 토크값이 가장 크게 해석되었고, 30°에 위치할 때 기동 토크값이 가장 낮은 것으로 해석되었다. 이때의 블레이드 주변 유동분포는 fig 8에서 확인할 수 있다. 또한 블레이드 주변의 압력 데이터는 fig 9에서 확인할 수 있다

블레이드에 pocket이 없는 모델은 블레이드와 인접한 후류 영역에서 유속의 흐름이 거의 없는 것으로 보이고 trailing edge 부분에서 와류가 발생됨을 확인할 수 있고, pocket이 존재하는 모델은 블레이드와 인접한 후류영역에서 보다 복잡한 유동분포를 보이고 있다. 블레이드 방위각이 30°인 경우 받음각은 38°로 기울어져있고, 블레이드 leading edge와 trailing edge 부분에서 속도분포는 pocket이 존재하는 않는 모델에서 약 0.5m/s정도 높게 해석되었다. 방위각이

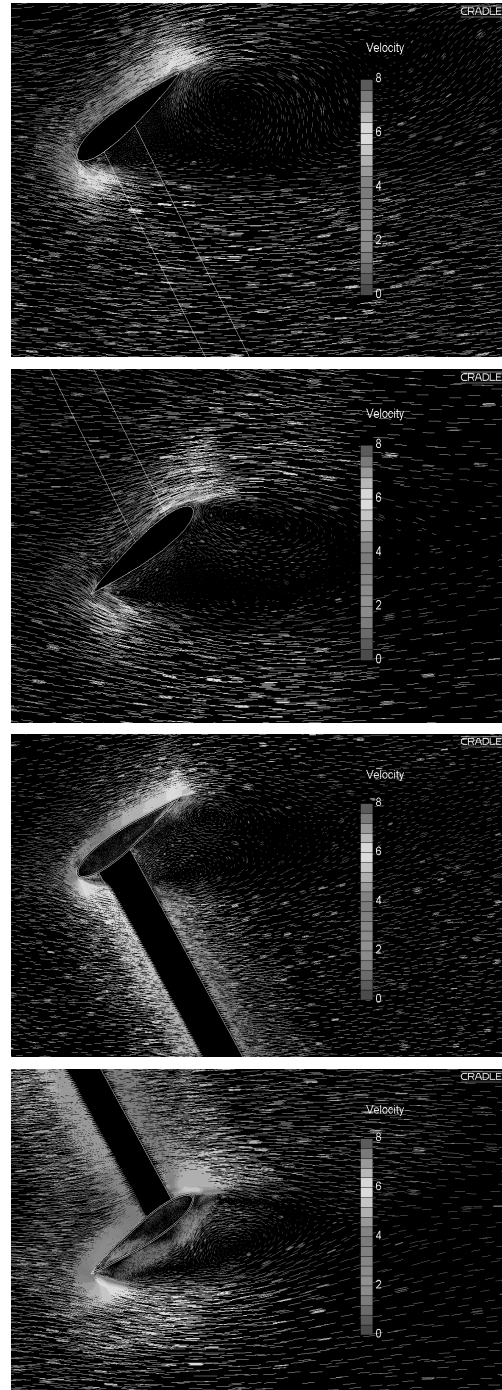


Fig. 8 Flow patterns around blade

- No pocket ($\phi=30^\circ$)
- No pocket ($\phi=210^\circ$)
- pocket ($\phi=30^\circ$)
- pocket ($\phi=210^\circ$)

210°인 위치에서는 trailing edge 부분에서 최대 속도를 나타냈고, 블레이드 받음각은 142°로 평판 블레이드와 비슷한 유동분포로 예상된다.

압력 분포는 Fig 9에서 보이듯이 각 위치별 데이터를 비교한 결과 pocket의 유무에 관계없이 비슷한 분포를 보이고

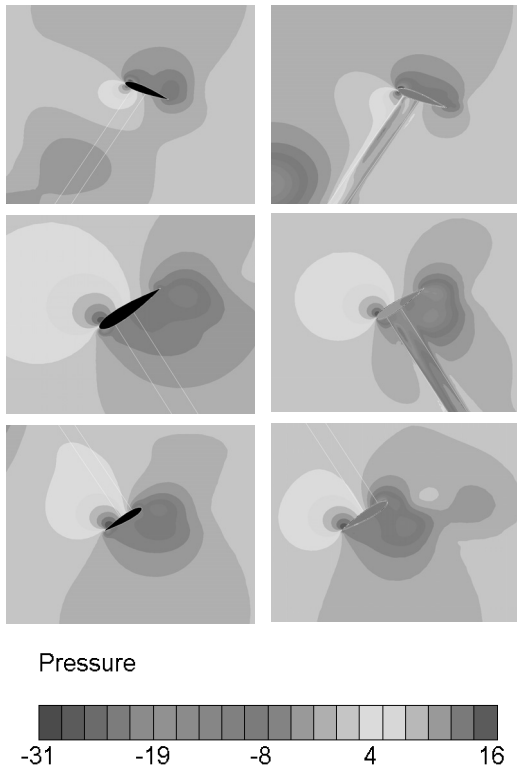


Fig. 9 Pressure distribution around blade
 No pocket ($\phi=330^\circ$) Pocket
 No pocket ($\phi=30^\circ$) Pocket
 No pocket ($\phi=210^\circ$) Pocket

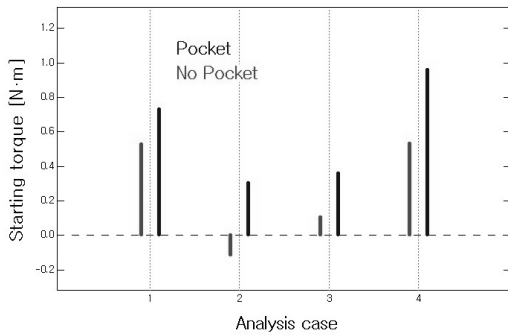


Fig. 10 Case torque for analysis case

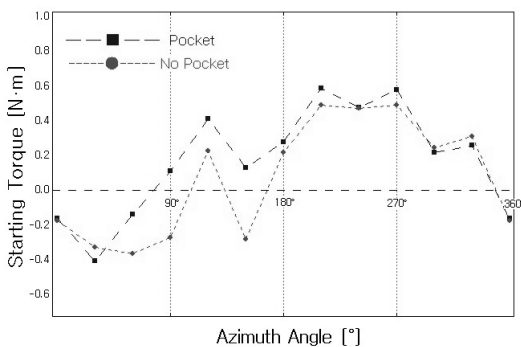


Fig. 11 Starting torque with azimuth angle

있다. 방위각 30° 위치에서 블레이드 전류부분에 약 4pa 이상의 값이 넓게 분포 되었고, 방위각 330° 위치에서 일반적인 에어포일 압력분포를 보이고 있다.

각 해석 case의 기동특성 분석 데이터는 fig 10과 fig 11에서 보여준다. 전체적으로 Pocket이 존재하는 형상에서 약 120%의 높게 나타났다. No pocket 모델은 방위각이 약 170° 에서 350° 사이에서 양의 값을 나타냈고, 방위각 120° 근처에서도 양의 값을 보였다. pocket이 있는 모델은 약 방위각 80° 에서 350° 의 넓은 영역에서 기동 토크 값이 양의 값을 보였다. 각 case별 기동 토크 값을 비교해 본 결과 블레이드의 위치가 방위각 90° , 210° , 330° 위치에 있는 case 4가 기동 토크 값이 가장 높은 것으로 해석되었고, 방위각 30° , 150° , 270° 의 case2가 가장 낮은 것으로 해석되었다.

4. 결론

본 논문에서는 수직축 풍력터빈의 블레이드표면에 Pocket이 없는 no pocket 모델과 pocket이 있는 모델에 대해 기동특성을 비교하였다. 블레이드 주변의 유동장은 블레이드 위치에 따라 전형적인 익형 주위 유동분포를 보이고 있으며, 토크 값이 가장 높게 해석된 pocket이 존재하는 모델에서 보다 복잡한 유동 분포를 보이고 있다. 블레이드 주변의 압력 분포를 비교한 결과는 기동 토크값이 가장 낮은 30° 위치에서 양력의 반대방향으로 압력분포를 보이고 있다. 각 위치에서의 기동토크를 비교한 결과 pocket이 있는 모델에서 평균 약 120%의 높은 기동토크 값을 보였고, 방위각이 90° , 210° , 330° 에 위치했을 때 기동 토크 값이 가장 높은 것으로 해석 되었으며, 방위각 30° , 150° , 270° 의 case2가 가장 낮은 것으로 해석되었다.

후 기

연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2009T100100576)

참고문헌

- (1) 정인오, 이윤한, 황인성, 김승조, “개별 블레이드 피치 제어방식을 이용한 수직축 풍력발전기의 성능 해석 및 시스템 구현,” 대한기계학회 2007년 춘계학술대회 논문집, pp. 3440~3445
- (2) 김진훈, 박경호, 정현생, 1990, “이중 다류관 모델을 이용한 Darrieus 터빈의 공기역학적 특성 해석,” 한국태양에너지학회논문집 제10권 2호.