수직항력식 터빈을 이용한 풍력발전 시스템의 형상 변화 및 피치각 변화에 관한 유동해석

박 찬*1, 박 금 성*2, 박 원 규*3, 윤 순 현*4

Numerical Analysis of Wind Turbine of Drag Force Type with change of Blade Number and Pitch Angle

C. Park , G. S. Park , W. G. Park , S. H. Yoon

To analyze the performance of Wind turbine of the drag force type, 3-D RANS equations were solved by the iterative time marching method on sliding multiblock grid system. The numerical flow simulations by changing blade number and pitch angle were carried out : blade number = 15, 20 circumferentially; pitch angle = 30^0, 50^0 radially. The torque coefficient was also calculated..

Key Words: Wind Turbine, Drag Force Type Turbine, RANS equation, Torque Coefficient

1. 서 론

. 세계적으로 에너지난을 예상하여, 현재 의존하고 있는 에너지 체계를 대신할 수 있는 대체에너지 개발에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 풍력은 환경오염이 없는 무공해 에너지를 생산하는데 우리나라의 경우 풍력발전자원의 보유량이 매우 높은 편이나, 발전 효율이 낮은 단점으로 수요 및 공급 규모가 작아 개발이 저조한 실정이다. 풍력터빈은 회전차의 공기역학적 특성을 이용하여 회전차를 회전시켜 회전운동에너지로 변환시키는 역할을 하는 것으로서, 회전차 축의 방향에 따라 수평축 풍력터빈 방식과 수직축 풍력터빈 방식으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 작은 속도와 잦은 풍향의 변화에서도 풍력발전이 가능한 풍향적응방식의 수직축 항력식 터빈을 설계하기 위해 전산유체역학을 이용하여 터빈의 날개 개수 및 날개 각도를 변화시켜 터빈의 효율에 영향을 미치는 요소를 분석하였다.

*1 학생회원, 부산대학교 대학원 기계공학과
*2 학생회원, 부산대학교 대학원 기계공학과
*3 종신회원, 부산대학교 기계공학부
*4 비회원, 부산대학교 기계공학부
*E-mail : hidenred@pusan.ac.kr

2. 지배 방정식 및 수치해석 기법

2.1 지배 방정식

3차원 비정상상태 비압축성 점성 유동의 지배방정식은 N-S방정식으로서 이를 무차원화 한 후 일반화된 곡선 좌표계로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial \tau}+\frac{\partial}{\partial \xi}(\bar{E}-\bar{E_v})+\frac{\partial}{\partial \eta}(\bar{F}-\bar{F_v}) + \frac{\partial}{\partial \zeta}(\bar{G}-\bar{G_v})=0 \quad (1)$$

여기서, $\bar{q}$는 유동벡터, $\bar{E}$, $\bar{F}$, $\bar{G}$는 대류항이며, $\overline{E_v}$, $\overline{F_v}$, $\overline{G_v}$는 점성항을 의미한다. 식 (1)의 해를 구하기 위해 반복 시간행진 방법(Iterative Time Marching)[1,2]를 사용하였으며, 연속 방정식은 비압축성 유동해석의 효율적인 수행을 위해 MAC(Marker-and-Cell)방법[3]의 개념을 이용하였다. 난류 유동장 해석을 위해 $k-\epsilon$ 난류모델이 사용되었다.

2.2 격자계 구성

수직축 항력식 터빈 유동해석을 위한 격자는 2개의 블록으로 이루어졌으며 각 block은 터빈 내부의 유동을 계산하는 block 1($164\times39\times40$), far-field를 계산하는 block 2($100\times30\times40$)로서 Fig. 1과 같다. 터빈의 형상 변화조건은 Table. 1과 같이 서로 다른 두 날개각도에 대해 날개수를 변화시켜 계산을 수행하였다. 또한 각 모델의 R.P.M은 Table. 2와 같다.

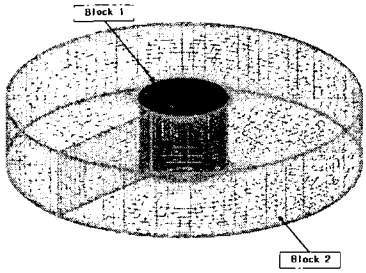


Fig. 1 Grid system

Table. 1 Computation cases

각도	블레이드 개수	
30^0	15개	20개
50^0	15개	20개

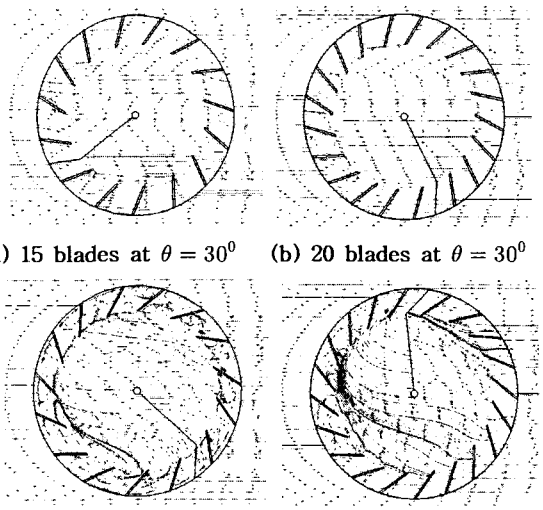
Table. 2 R.P.M of Turbine Models

각도(θ)	15개	20개
30^0	78	82
50^0	223	188

3. 결과 및 고찰

3.1 날개 형상 변화에 의한 유동해석

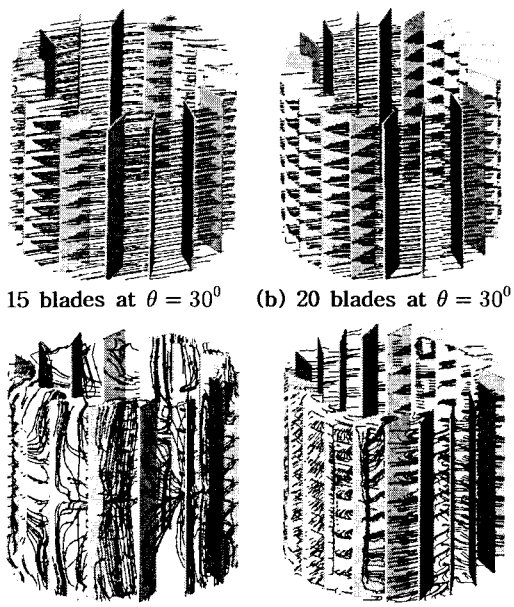
Turbine은 시계방향으로 회전하는 경우로 해석하였다. Fig. 2부터 3은 각 turbine 모델들의 유동해석으로 2차원과 3차원의 유선(Stream-line)을 나타내었으며, Fig. 4는 turbine의 회전운동으로 발생하는 내부 압력 contour를 2차원으로 나타내었다. 또한 Fig. 5은 turbine의 날개가 받는 압력을 3차원 압력 contour로 나타내었다.



(a) 15 blades at $\theta = 30^0$ (b) 20 blades at $\theta = 30^0$

(c) 15 blades at $\theta = 50^0$ (d) 20 blades at $\theta = 50^0$

Fig. 2 Streamlines (Cross-sectional)



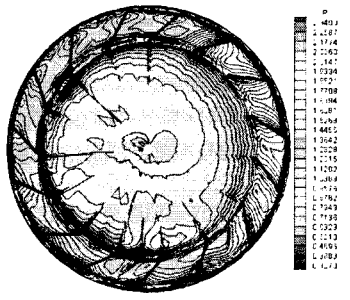
(a) 15 blades at $\theta = 30^0$ (b) 20 blades at $\theta = 30^0$

(c) 15 blades at $\theta = 50^0$ (d) 20 blades at $\theta = 50^0$

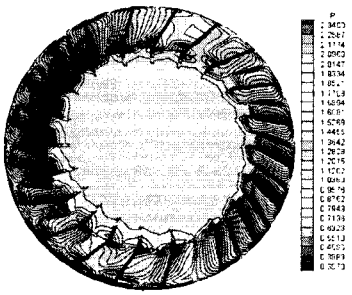
Fig. 3 Streamlines

Fig. 2, 3의 전산해석을 보면, 날개각도가 30^0인 두 모델의 유선(stream line)이 터빈의 회전 영향을 크게 받지 못하는 것을 볼 수가 있으며, 특히 회전의 영향이 많은 50^0각도의 터빈에서는 날개사이의 유동이 날개수가 많은 모델보다 적은 모델인 15-blade

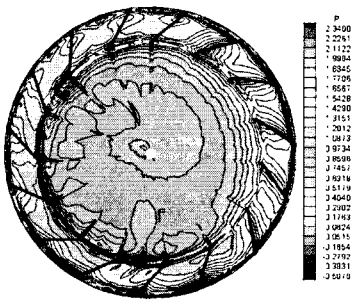
모델에서 복잡한 것을 확인할 수 있다. 이는 날개가 많아지면 날개간격이 줄어들어 유동을 방해하는 현상으로 볼 수 있으며 날개의 개수가 터빈의 효율에 큰 영향을 미치는 요소라는 것을 설명해주고 있다.



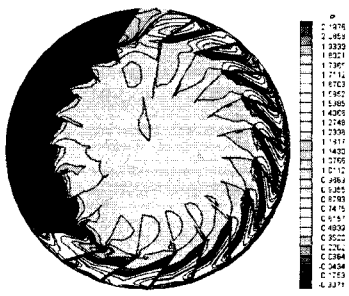
(a) 15 blades at $\theta = 30^0$



(b) 20 blades at $\theta = 30^0$

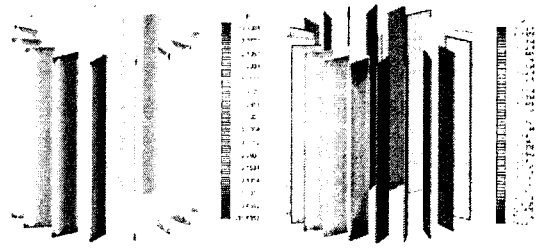


(c) 15 blades at $\theta = 50^0$

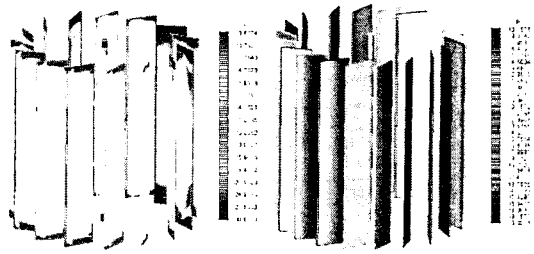


(d) 20 blades at $\theta = 50^0$

Fig. 4 Pressure Contour (Cross-sectional)



(a) 15 blade at the 30^0 (b) 20 blade at the 30^0



(c) 15 blade at the 50^0 (d) 20 blade at the 50^0

Fig. 5 Contour on the Turbine Blades

Fig 4와 5에서는 날개 수와 각도가 압력분포의 영향을 미치는 것을 볼 수 있는데 결국 터빈 날개의 압력차가 터빈의 torque를 증가시키므로 이를 비교해보았다. Fig. 4 (a)와 (b)의 30^0각도 모델에서는 날개 수가 많은 모델이 보다 많은 날개에서 압력분포를 가지는 것을 확인할 수 있으며, Fig. 4 (c)와 (d)의 날개각도가 50^0인 모델에서는 비록 날개 수가 많은 20-blade 모델에서 몇 개 날개들의 압력분포가 큰 것을 볼 수 있지만, 날개의 압력차가 크다고 볼 수 없다는 것을 알 수 있었다. 또한 날개가 받는 압력 contour를 비교해 보면 Fig. 5 (c)의 경우인 50^0 각도 15-blade 모델이 전체 모델들 보다 압력을 많이 받고 있다는 것을 알 수 있다. Table. 3은 전산해석으로 계산된 torque coefficient를 나타내었으며 계산식은 식(2)와 같다.

$$C_T = \frac{T}{1/2\rho v^2 AR} \tag{2}$$

결과적으로 각 모델에 대해서 계산된 torque coefficient를 비교해보면 날개각도 30^0 모델에서는 날개 수를 증가시킴으로서 보다 높은 torque coefficient를 얻을 수 있었으며 날개각도 50^0모델에서는 30^0모델과 달리 날개 수를 증가시킴으로서 torque coefficient가 줄어드는 것을 알 수 있었다.

Table. 3 Torque Coefficient of the Turbine

블레이드 개수	피치각	C_T
15	30^0	0.499
	50^0	1.306
20	30^0	0.515
	50^0	0.762

또한 날개 각도가 작은 모델에서 날개 개수를 달리한 모델들의 torque coefficient 차이와 날개각도가 큰 모델에서 날개 개수를 달리한 모델들의 torque coefficient 차이는 날개 각도가 큰 모델에서 더 많은 차이를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 이는 날개 각도가 비교적 작은 영역에서는 날개 개수의 영향이 적고 날개 각도가 고각인 모델에서는 그 영향이 크다는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

항력식 터빈의 유동해석 및 효율을 해석하기 위해 30^0, 50^0 피치각을 가지는 터빈에 대해 날개 수를 15개 20개로 변화시켜 RANS 방정식을 이용하여 전산해석을 하였다. 전산해석은 피치각이 터빈효율에 미치는 영향과 각 피치각에서의 날개개수가 미치는 영향을 분석하였다.

후기

본 연구는 한국과학재단에서 지원하는 2003년도 특정기초과제에 의해 수행되었다.

참고문헌

[1] 정영래, 2002 "로터-스테이터 상호작용이 포함된 수중추진기의 Tip 간극변화에 따른 유동특성에 관한 연구, "부산대학교 공학박사학위논문

[2] Park, W.G., Kim, H. W., Jung, Y. R., Kim and Park, E. D., 1996, "Unsteady Incompressible Turbulent Flow Simulation of the Rotor-Stator Configuration,"

[3] Leonard, B. P., (1979) "A Stable and Accurate Convective Modeling Procedure Based on Quadratic Upstream Interpolation," Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 19, pp 59-98