

수직축 풍력터빈 성능개선에 관한 실험적 연구

김병국* · 김영호* · 송우석* · 이승배** · 남상규*** · 김사만***

An Experimental Study on the Performance of the Vertical-Axis Wind Turbine

Byung-Kook Kim*, Young-Ho Kim*, Woo-Seog Song*, Seungbae Lee**, Sang-Kyu Nam***, Sa-Man Kim***

Key Words : Inlet Guide Vane(입구안내익), Side Guide Vane(측후면안내익), Turbine Impeller(터빈 임펠러), Power Coefficient(동력계수), Vertical Axis Wind Turbine(수직축 풍력터빈).

ABSTRACT

This paper presents the design procedure of a vertical wind turbine named jet-wheel-turbo turbine and the numerical and experimental verifications. The design parameters such as the rotor inlet angle, the diameter-to-hub ratio, the inlet guide outlet angle and the solidity were optimized to maximize the energy transfer, and to further increase the turbine efficiency by applying the side guide vane and the side opening to the rotor. The maximum power coefficient of 0.59, which is much higher than the ever-designed three-bladed horizontal turbines, was experimentally obtained when the optimal inlet- and side-guide vanes were installed and both sides of the rotor were 80% opened. The maximum power coefficients occur at the tip speed ratio ranging between 0.6 and 0.7. This vertical-axis turbine model can be applied to the large-scale power generation system with the speed and torque control algorithm for the specified wind characteristics.

1. 서 론

기원전부터 인류는 풍력 에너지를 이용하여 왔다. 과거에는 풍차 등을 이용해서 양수, 탈곡 등에 필요한 동력을 얻었으며, 현재는 풍력을 이용하여 전기 에너지를 생산하고 있다. 세계의 풍력발전기 제작회사들은 대용량의 메가와트급 풍력 발전기를 이미 상용화하고 있

며, 해상단지 중심의 발전방식으로 옮겨가고 있다.

우리나라의 풍력발전기들은 2005년 기준 총 약 100 MW의 설비가 제주도, 전남 무안, 경북 포항, 강원 태백 등 전국 각지에 설치, 운용 중에 있다. 그러나 현재 전체 전기생산량의 1%에도 미치지 못하는 미미한 양이며, 기후변화협약과 교토의정서 비준 등 환경문제가 대두되면서 화석연료와 원자력에 의존하는 에너지 공급체계에 서 벗어나서 친환경적이고 고갈되지 않는 대체 에너지의 보급이 절실한 실정이다⁽¹⁾. 풍력 에너지는 자연의 운동에 의해 발생하는 에너지로서 유해 물질이 발생되지 않는 청정에너지이기 때문에 화석연료를 대체할 수 있

* 인하대학교 기계공학과 대학원

** 인하대학교 기계공학부

*** (주) 케이알

E-mail : sbaelee@inha.ac.kr

는 대체에너지로서 각광을 받고 있다.

풍력발전시스템은 회전축 형식에 따라 크게 수평축 풍력터빈과 수직축 풍력터빈으로 구분된다. 수직축 풍력터빈으로는 다리우스 (Darrieus)식⁽²⁾, 사보니우스 (Savonius) 식^{(3)~(10)} 등이 있으며, 다리우스 터빈은 양력을 이용한 터빈인 반면 사보니우스 터빈은 항력을 이용한 터빈이다. 수직축 풍력발전기의 경우 다리우스 풍력발전기는 최대 효율로서 0.35이상 까지도 가능하다. 그러나 이 수치는 이론적인 값이고 실체는 이에 미치지 못한다. 항력식 수직축 풍력발전기의 대표라고 할 수 있는 사보니우스 풍력발전기는 Blackwell 등⁽⁵⁾이 두매 날개의 사보니우스 로터를 사용하여 실험한 결과 익단 선속비 (λ)가 0.8에서 최대 0.2까지의 동력계수 (C_p) 값을 얻을 수 있음을 보고한 바 있다. 그 밖에 국내에서는 김동진 등^{(7)~(8)}과 추권철 등⁽⁹⁾이 블레이드 형태를 변화시키면서 여러 형태의 수직축 풍력발전기 성능에 대하여 연구를 하였다.

일반적으로 수직축 풍력발전기는 바람의 방향에 상관없이 작동이 가능하며 수평축 풍력발전기보다 낮은 시동풍속 (Cut-in speed) 설정이 가능하므로 약한 풍속에서도 풍력발전이 가능하다. 따라서 우리나라처럼 기후변화가 심해 풍속이 일정하지 않으며 계절풍으로 인해 바람 방향이 일정하지 않은 지역에서는 풍향의 영향을 적게 받으며 시동 풍속이 낮은 수직축 풍력 발전기가 적합하다고 할 수 있다. 그러나 수평축 방식에 비해 일반적으로 에너지변환효율이 떨어지므로 이의 해결이 숙제로 남아 있다. 이에 본 연구에서는 대형 터빈의 축소 모델로서 수직축 제트-휠-터보형 터빈⁽¹⁰⁾의 최적설계 모형을 개발하였으며, 성능 및 효율을 검증하였다.

2. 제트-휠-터보형 풍력 터빈

2.1. 풍력 터빈의 기본 이론

터빈에 의해 발생되는 터빈 축동력 P_T 와 임펠러에 입사되는 공기동력에너지 P_W 는 식 (1)과 식 (2)로서 나타내어진다. 풍력발전기의 성능은 동력계수 C_p 로 정의되며 터빈 축동력과 공기동력에너지의 비로서 식 (3)과 같이 계산된다.

$$P_T = T \times \omega \quad (1)$$

$$P_W = \frac{1}{2} \rho \times U^3 \times A \quad (2)$$

$$C_p = \frac{P_T}{P_W} = \frac{T \times \omega}{\frac{1}{2} \rho \times U^3 \times A} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{V_{tip}}{U} = \frac{r \times \omega}{U} \quad (4)$$

여기서 T 는 토크 ($N \cdot m$), ω (rad/s)는 각회전수, ρ (kg/m^3)는 공기밀도, U (m/s)는 풍속 그리고 A (m^2)는 임펠러가 회전하며 통과하는 면적 혹은 터빈의 투영 면적이다. 또한 익단속도비라고 불리는 속도계수 λ 는 식 (4)에서와 같이 익단회전속도 (V_{tip})와 입사풍속과의 비로서 터빈의 종류가 정해지면 일반적으로 최대 동력계수에서의 값이 정해진다. 즉, C_p 란 결국 에너지 변환 효율이라고 할 수 있다. 본 논문에서는 수직축 터빈의 에너지 변환효율인 C_p 값을 증대시키기 위해 최적설계를 수행하였으며, 실제 대형터빈의 모델로 발전시키기 위한 기초단계로서 성능 검증을 시도하였다.

2.2. 제트-휠-터보형 풍력 터빈의 원리

본 연구에서 대상으로 한 제트-휠-터보형 수직축 풍력터빈 형상은 Fig. 1에 나타나 있다. 제트-휠-터보형 풍력터빈은 입구안내익 (Inlet guide vane)과 측후면안내익 (Side guide vane) 그리고 터보형의 로터부로 구성되어 있다. 사보니우스 터빈의 낮은 동력 효율을 개선하고 낮은 회전수에서도 토크를 발생하는 장점을 활용하기 위해서 사보니우스 형태의 터빈입구에 입구안내익을 설치하였다.

즉, 사보니우스 터빈의 날개 중 양의 토크를 받는 부

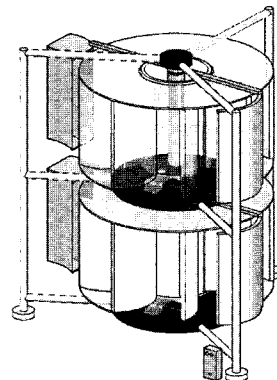


Fig. 1 Schematic of jet-wheel-turbo wind turbine

분을 극대화하고 입구안내의 후류방향에 놓인 음의 토크를 발생시키는 날개들 부근 영역에는 와류 유동이 발생토록 한 것이 특징이다. 따라서 양의 토크를 크게 하고 음의 토크를 줄임으로써 성능을 높일 수가 있다. 일반적으로 사보니우스 터빈은 상류 블레이드에서 항력으로 토크를 발생한 후 하류 블레이드를 통과토록 한 반면, 제트-휠-터보형 터빈에서는 입구안내의과 축후면안내의을 통해 에너지전환이 용이한 고속의 입사유동조건을 마련하고 터빈 상하면을 개방하여 유입된 유체가 블레이드 허브면까지 이동하며 양력에 의한 양의 토크를 발생시킬 수 있도록 한다.

3. 제트-휠-터보형 풍력 터빈의 설계 및 제작

3.1. 유동 해석을 통한 설계

3.1.1. 수치해석 모델 및 경계 조건

본 수치해석에서는 범용 CFD 코드인 CFX-10⁽¹¹⁾을 사용하여 계산을 수행하였다. 난류모델로는 $k-\omega$ SST 모델을 사용하였다. 반복수치계산은 수행되는 지배방정식의 잉여값 (Residual)이 10^{-4} 이하가 될 때까지 계산하였다. 본 수치해석에서는 Fig. 2에서와 같이 직경이 500 mm인 로터를 폭 4,000 mm의 채널에 둔 형상으로 계산영역을 설정하였다. 계산 영역은 회전영역과 비회전영역으로 나누어 약 11만개 격자점과 10만개의 요소로 구성된 비정렬격자를 생성하였다. 대칭조건이 주어진 Z+평면과 Z-평면사이에는 1개의 격자층으로 하여 격자수를 효과적으로 제어하였으며, 2D에 가깝게 계산이 수행되도록 하였다. 총 엘리먼트 중 약 6%는 벽면의 경계층 효과를 고려하여 육방정계 격자를 사용하였으며 유동변화가 많은 입구 안내의과 로터 날개 사이의 영역

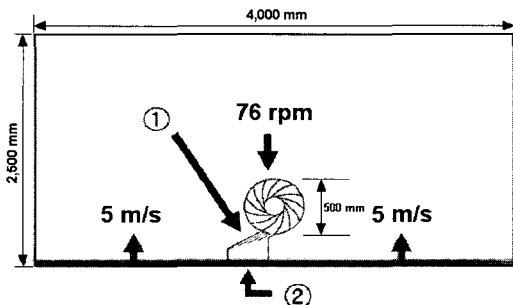


Fig. 2 Schematic diagram of computation domain

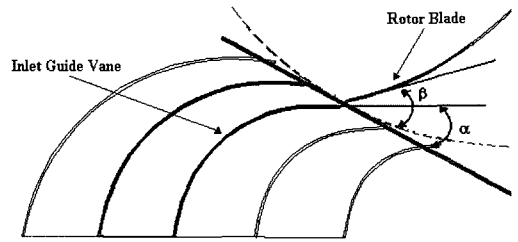


Fig. 3 Definitions of exit angle(α) of I.G.V. and inlet angle(β) of blade

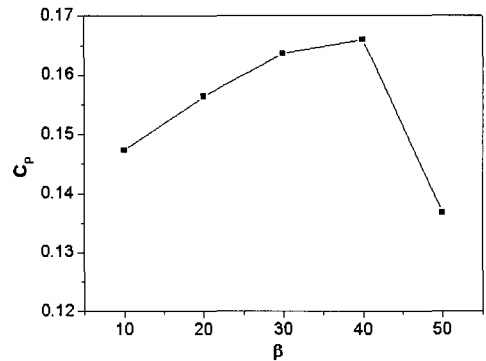


Fig. 4 Distribution of C_p with β (inlet blade angle)

에는 조밀한 격자계를 구성하였다. 양 옆의 벽면에는 미끄러짐 벽면 조건을 줌으로써 무한 공간에서의 낮은 수렴성 문제를 개선토록 하였다. 또한 입구 조건 중 안내의의 출구 속도를 사전의 계산으로 구한 출구 속도와 일치하도록 ②영역의 입구부의 속도 성분을 구하였다. 안내의의 출구 속도를 현실성 있는 값으로 고정시킴으로써 같은 익단속도비 (λ)에서 속도 삼각형을 현실적인 패턴으로 유지하도록 하였다.

Figure 3에 나타난 안내의의 출구각 (α)과 로터날개 입구각 (β)에 따른 성능의 최적화를 위해서 해당 각도를 변화시키면서 수치해석을 수행하였다. 본 수치해석은 로터의 높이가 220 mm인 모델형상을 바탕으로 하였으나, 계산영역은 높이를 50 mm로 하여 계산시간이 최소화되도록 수행하였다.

3.1.2. 로터 입구각의 변화에 따른 성능분석

로터 입구각의 최적화를 위해 직선 안내의의 평균 출구각을 47° 로 고정하고 로터의 입구각을 4가지 경우로 변화시키면서 성능을 계산하였다. 로터의 입구각의 정의는 Fig. 3에서와 같다. 본 수치모사는 회전하는 로터

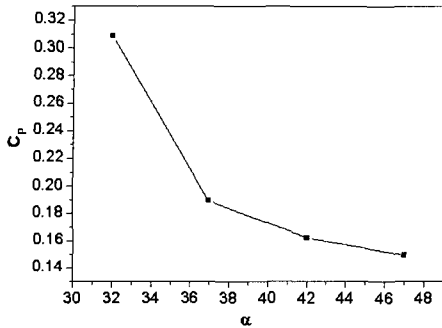


Fig. 5 Distribution of C_p with α (outlet angle of I.G.V.) at $\lambda = 1.0$

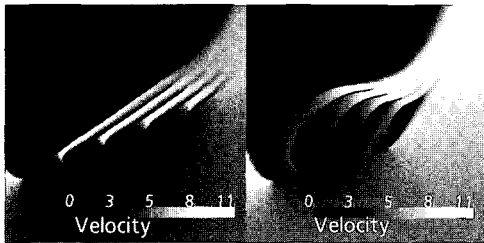


Fig. 6 Simulation results of the flow-field near flat- and arc-shaped inlet guide vanes

영역에 대해 회전속도를 부여하여 계산된 것이기 때문에 회전영역을 일정한 각도로 분할하여 각각의 경우에 대한 평균값으로 성능을 구하였다. 본 계산에서는 6도씩 움직이면서 구한 C_p 값들을 평균하여 성능을 나타내었다. 각 경우에 대해 계산된 결과는 Fig. 4에 나타나 있다. 이 결과를 통해 우수한 성능을 보이는 로터 입구각 (β)을 확인할 수 있다. 동시 최적화가 쉽지 않으므로 우선 로터 입구각 (β)을 최적인 상태로 구한 후 다음 변수를 최적화하는 선형 최적화기법을 적용하였다.

3.1.3. 직선 안내익 출구각 변화에 따른 성능분석

Figure 3에서 보듯이 안내익 출구각 (α)은 터빈의 회전 접선 방향과 안내익이 이루는 사이 각도를 의미하며, Fig. 5에 나타난 α 값은 입구 안내익의 평균 출구각도를 의미한다. 직선 안내익의 평균 출구각도를 구한 후 각각의 경우에 대해 앞서 구한 최적의 로터 날개 입구각에서의 성능 결과를 관찰하였다. 그 결과는 Fig. 5에 나타나 있으며, 입구안내익 출구각 (α)이 작아질 때 동력계수 C_p 값의 최대가 나타남을 알 수 있다. 그러나 직선 안내익의 경우 30° 이하에서는 지나친 풍하중을 받게 되므

로 본 연구에서는 고려하지 않았다.

3.1.4. 곡면 안내익의 성능 분석

직선 안내익의 성능모사결과를 이용하여 손실이 적으며 가속성능이 우수한 곡면 안내익을 설계하였다. Fig. 6에 나타난 유동해석 결과를 보면 풍속 5 m/s 에서 곡면 안내익을 통과한 후의 각 출구의 유속 평균은 9 m/s 가량이며 이는 약 1.93배의 가속효과로서 직선 안내익의 1.18배와 비교하면 우수한 성능을 보인다. 즉, 속도 삼각형에서의 안내익 출구 유속을 더 빠르게 함으로써 로터 입구 속도삼각형에서 영각 (angle of attack)을 크게 하는 효과가 있다. 또한 상류에 있는 안내익과 하류에 있는 안내익의 곡률을 다르게 함으로써 로터 회전에 따른 로터 날개 영각의 분포가 설계 익단 속도비에서 가능한 양의 부호를 유지하도록 하였다.

직선 안내익의 평균 현절비 (solidity)는 7.38이며 곡면 안내익의 평균 현절비는 4.75로서 곡면 안내익의 현절비가 작아도 가속 성능은 더 뛰어난 것을 알 수가 있다. 즉, 곡면 안내익의 날개 피치 (pitch)가 코드 (chord) 길이보다 상대적으로 크다는 뜻으로 유동이 상대적으로 잘 유입됨을 알 수 있다. 또한 입구안내익들 사이의 채널 유동이 균일하기 위해서는 원호형태보다는 에어포일 형태가 바람직하므로 실제 설계는 상기 출구각을 갖는 에어포일 익형로 정하였다.

3.2. 제트-휠 풍력터빈의 제작

3.2.1. 터빈의 날개 제작

본 연구에서 사용한 수직축 제트-휠-터보형 풍력터빈모델의 기본적인 터빈 날개 형상은 평판과 원호를 합친 형태로서, Fig. 7에서 보듯이 직경 500 mm 의 로터로써 높이 220 mm 의 크기로 제작을 하였다. 날개수는 13개 혹은 그 이하로 설정하였으며, 터빈 성능을 확보할

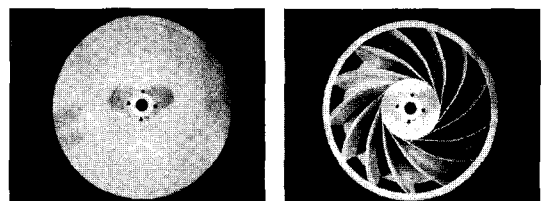


Fig. 7 Photographs of 500mm rotor

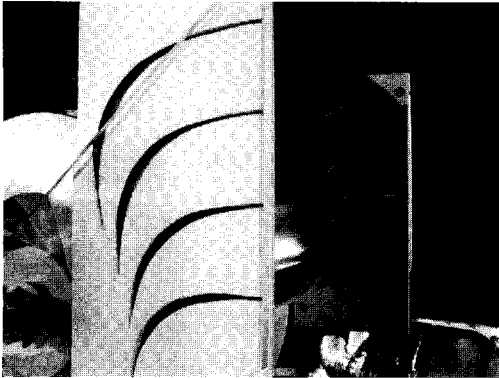


Fig. 8 Photograph of airfoil shaped I.G.V.

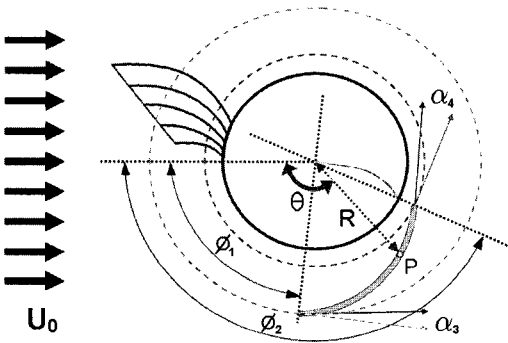


Fig. 9 Definitions of side guide vane design variables

수 있는 절현비 영역 내에서 대형 모델로의 확장 시 발생하는 고비용 문제를 고려하여 선정하였다. 로터 날개 입구각은 상기 유동해석 결과를 반영하여 40° 로 정하였다. 또한 터빈 날개는 두께가 3 mm 인 ABS재질로 가공하였으며, 상판과 하판 양면을 개방 가능하도록 설계를 하여 제작을 하였다.

3.2.2. 입구안내익 및 측면 안내익 제작

입구안내익의 각 날개 모양은 Fig. 8에서와 같이 에어포일 형태로 안내익의 출구 각도는 10° 로 고정하여 제작을 하였다. 3.1절의 유동수치해석을 통해 최고 효율점이 $\lambda=1.0$ 보다 낮은 값에서 발생하는 것을 참고하여 모형의 설계점은 $\lambda=0.5$ 로 정하였다. 그러므로 로터 날개 입구 속도삼각형으로 계산되는 앞서 구한 로터 날개 입구 영각을 유지하기 위해 안내익의 출구각도를 유동해석 결과인 30° 보다 훨씬 작은 10° 로 설정하였다.

안내익의 개수는 4개로 정하였다. 또한 본 설계에서는 입구안내익의 평균 현절비 (solidity) 값을 3.96으로

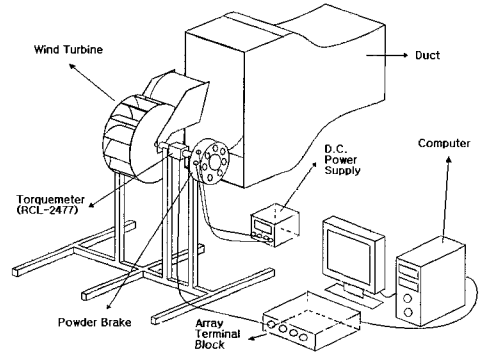


Fig. 10 Schematic view of experimental apparatus

곡면형상의 입구안내익의 평균 현절비 (solidity)인 4.75보다 더 작게 함으로써 가능한 유동이 입구안내익 안으로 잘 유입되어 최대한 가속되도록 설계한 것이 특징이다. 터빈의 효율을 더욱 증대시키기 위해서 측후면안내익을 설치한다. Fig. 9에는 넓은 범위의 운전 익단속도비를 갖도록 설치된 측후면 안내익의 설계변수들을 보여준다. ϕ_1 과 ϕ_2 는 각각 측후면안내익의 입구 및 출구 설치각을 나타내며, α_3 와 α_4 는 로터 블레이드 회전방향과 측후면 안내익의 입구 및 출구 접선방향이 이루는 사이각이며, P는 측후면안내익의 피벗 중심축 위치를 표시한다. 상기 측후면안내익은 로터의 회전으로 만들어진 유동을 측후면으로 다시 모이도록 하여 측후면에서도 에너지전달이 일어나도록 하여 넓은 범위의 운전 익단속도비를 갖도록 최적값들을 구하였다.

4. 실험 장치 및 방법

4.1. 풍동 및 측정 장치

본 실험은 폐회로형 무향풍동 (Closed-type anechoic wind tunnel)에서 수행되었다. Fig. 10은 본 실험장치의 개략도이다. 폐회로형 무향풍동은 가로 500 mm , 세로 500 mm , 길이 $2,500\text{ mm}$ 의 시험부를 가지며 제어장치를 통하여 $0\text{ m/s} \sim 30\text{ m/s}$ 의 연속적인 유속 변화가 가능하며 난류 강도는 0.25% 이하를 유지한다. 풍속은 피토판과 마노미터 (Digital micro-manometer)를 이용하여 측정하였고, 회전수는 타코미터 (Tachometer)로 측정을 하였다. 또한 토크는 파우더 브레이크 (Powder brake)를 사용하여 터빈에 부하를 주면서 토크미터 (Torquemeter RCL-2477)를 이용하여 실시간으로 측정하였다.

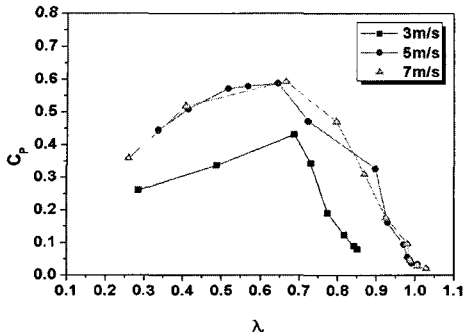


Fig. 11 Variation of C_p with λ at different wind velocities

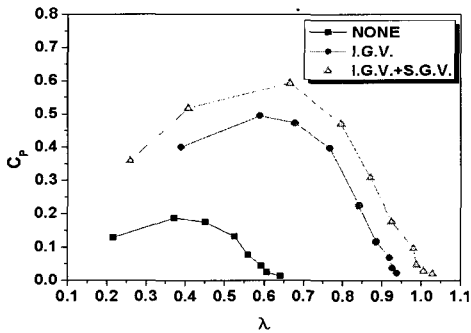


Fig. 12 Comparison of C_p 's for three cases at 7m/s (80% openings)

4.2. 측정 방법

터빈의 성능은 입구 풍속의 크기와 분포에 매우 큰 영향을 받으며 또한 터빈 상류의 풍속은 풍동 시험부내 막힘 (blockage) 영향으로 불균일하게 되므로 대표적인 풍속의 정의를 위해서 상류 덕트 내 풍량을 면적으로 나눈 값을 평균 풍속으로 정의하였다. 따라서 유입되는 유동의 속도를 측정하기 위해 풍동 시험부 덕트 입구에 피토크를 설치하였으며, 피토크와 마노미터를 연결하여 평균풍속을 측정할 수 있도록 하였다. 특히, 풍동의 디퓨저 후류에서부터 터빈까지의 거리는 터빈 직경의 1.5배에 해당하는 거리로 설치되었으며 이는 국제규격에 의해 제시된 터빈 성능측정의 일반적인 측정거리 기준에 해당한다.

5. 실험 결과

5.1. 입구안내익과 측후면 안내익의 효과

풍동시험부 디퓨저는 유동의 불안정성을 최소화 하

도록 유선형태로 설계하였으며 끝단에는 가로 700mm, 세로 800 mm인 덕트를 설치하여 출구면 각 부분에서의 유속분포가 1% 내에서 균일하도록 하였다. 본 실험에서는 로터의 상판과 하판의 허브면을 일정 부분 개방시킨 터빈에 입구안내익과 측후면안내익을 설치하여 성능실험을 수행하였다. 평균 풍속이 3 m/s, 5 m/s, 7 m/s일 때의 토크와 RPM을 측정하여 각 경우의 동력계수 (C_p) 분포를 비교하였다. 측정결과는 Fig. 11에 나타나 있다. 유입속도가 7 m/s이고, 익단속도비 (λ)의 범위가 0.6에서 0.7일 때 동력계수 (C_p) 값이 최고 약 0.59 까지 나오는 것을 알 수가 있다. 평균 풍속이 7 m/s일 때 로터만 있는 경우, 입구안내익만 설치한 로터, 그리고 입구안내익과 측후면안내익 모두를 설치한 로터의 성능을 비교한 결과는 Fig. 12에 비교되어 있다. Fig. 12의 결과로부터 로터만 있는 경우 동력 계수 (C_p) 값이 0.2에도 못 미치지만, 입구안내익만 설치되어 있는 경우 동력계수 (C_p) 값은 0.49에 달한다. 입구안내익과 측후면안내익 모두 설치한 경우에는 동력계수 (C_p) 값이 0.59까지 나오는 것으로부터 로터의 회전으로 인해 발생하는 밀집된 유선의 운동에너지를 로터축에너지로 변환하는 역할을 측후면안내익이 수행함을 알 수가 있다.

5.2. 로터의 상판과 하판을 일정부분 개방한 터빈

상판과 하판의 중심부분을 약 80% 개방시켜서 터빈 블레이드 유로 (passage) 안으로 들어 온 유동이 밖으로 효과적으로 빠져 나가게 함으로써 유입되는 유동에너지가 토크로 전환되도록 한다. 유입속도가 7 m/s 이고 입구안내익과 측후면안내익을 모두 설치하였을 경우 각 조건에 따른 측정결과가 Fig. 13에 나타나 있다. 즉, 상판

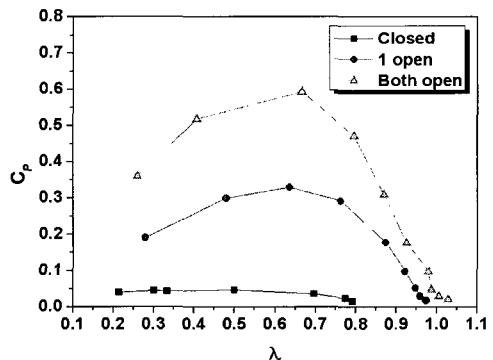


Fig. 13 A comparison of C_p between open and closed rotors with I.G.V. and S.G.V. at 7m/s

과 하판이 모두 막혀있는 경우, 한쪽만 개방된 경우, 그리고 상판과 하판 모두 개방된 경우로 나누어 실험을 수행하였다.

Figure 13에 나타난 결과를 보면 모두 막혀 있는 경우보다는 한쪽면이 개방되어 있을 때, 그리고 한쪽면만 개방된 것보다는 양쪽면 모두 개방되어 있을 때 성능이 약 2배 정도씩 높게 나오는 것을 알 수 있다. 입구안내익만 설치하였을 경우에도 상기 조건의 경우에 대해 Fig. 14에 나타난 결과를 얻을 수 있다. 즉, 입구안내익과 측후면안내익을 모두 설치하였을 때보다는 동력계수 (C_p)가 낮아졌지만, 허브 면을 개방시켰을 때의 효과는 그래프에서 보듯이 성능에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

Table 1에서는 상술한 실험결과 중 최고 효율점에서의 익단회전속도비 및 동력계수값이 비교되어 있다. 즉, 측후면안내익의 설치로 최고 효율점에서 익단회전속도비가 증가함을 알 수가 있으며, 터보형 개방면을 설치함에 따라 효율이 증가함을 알 수가 있다. 이 표에서 계산된 동력 계수 (C_p) 값은 로터의 투영면적을 기준으로 계산된 성능 값이며 괄호 안의 성능 값은 입구안내익 및 측후면안내익의 투영면적을 모두 포함시킨 경우에 해당된 값을 나타낸다.

본 연구에서는 전체 상하면 면적 중 허브를 제외한 약 80%의 개방면을 설정하였다. 이는 대형 구조물 터빈의 경우 재료비와 강도를 고려하여 향후 최적의 값을 구할 필요가 있으므로 개방면적비에 따른 상세한 분석은 수행하지 않았다.

6. 결 론

본 연구에서는 수직축 터빈의 성능을 검증하기 위한 기초유동해석을 통해 로터의 출구각 및 입구안내익의

출구각 등을 변화시켜가며 성능의 변화를 검증하였다. 유동해석을 통해 검증된 입구안내익 출구각도와 로터의 입구각의 적용 및 로터 상하판의 개방을 통해 0.6에서 0.7사이의 λ 값에서 동력계수 (C_p)값이 최대 0.59에 달하는 결과를 얻었다. 즉, 측면을 개방하여 유동이 로터 날개에 더 큰 에너지전달을 할 수 있도록 하는 설계를 통해 토크값을 증가시킬 수 있었으며, 측후면안내익을 설치하여 후면으로 돌아가는 유동이 다시 에너지전달을 하도록 함으로써 효율을 높일 수 있었다.

현재 수직축 사보니우스 계통의 최고 효율은 약 20%를 넘지 못하며 날개 3매의 대형 수평축 풍력터빈의 토크효율이 약 50% 가량임을 감안하면 본 개발결과는 기존 방식에 비해 매우 개선된 결과임을 알 수가 있다. 수평축 터빈의 경우 비교적 고속회전에 따른 날개 피로, 나셀에 설치된 기어 및 발전기의 고수리 비용, 설치 운반 및 소음문제들로 인한 어려움이 있는 반면, 고효율 수직축 터빈은 상기 문제들의 심각성이 비교적 완화되므로 향후 효과적 제어 알고리즘의 접목으로 실제 적용이 예상된다.

본 연구 결과는 대형 터빈의 설계 및 운전에 매우 필요한 고효율 모형실험결과로서, 수직축 터빈의 장점인 모듈형 설계와 임펠러의 용이한 운반성으로 인해 대형 풍력발전 시스템의 바탕이 될 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (IITA-2006-C109006030030)

참고문헌

- (1) 오시덕, 2005, "국내외 풍력발전 기술개발 및 시장 현황," 유체기계저널 제8권, 제3호, pp. 65~72.
- (2) 김광호, 이정오, 1979, "수직축 풍력발전기의 해석에 관하여," 대한기계학회 논문집, 제3권, 제2호, pp. 60~67.
- (3) Menet, J.-L., Valdes, L.-C. and Menart, B. A., 2001, "A Comparative Calculation of the Wind Turbine Capabilities on the Basis of the L- σ Criterion," Ren. Energy, Vol. 22, pp. 491~506.
- (4) Menet, J.-L., 2004 "A Double-Step Savonius Rotor for Local Production of Electricity : A

Table 1 Performances of various Jet-wheel wind turbine models

	Closed	1 open	Both open
Rotor only	$\lambda=0.20$, CP=0.010	$\lambda=0.32$, CP=0.035	$\lambda=0.37$, CP=0.144
Inlet Guide Vane	$\lambda=0.28$, CP=0.031 (0.029)	$\lambda=0.53$, CP=0.158 (0.149)	$\lambda=0.58$, CP=0.404 (0.380)
Inlet Guide Vane +Side Guide Vane	$\lambda=0.30$, CP=0.046 (0.034)	$\lambda=0.63$, CP=0.329 (0.250)	$\lambda=0.66$, CP=0.593 (0.450)

- Design Study,” *Renewable Energy*, Vol 29, pp. 1843~1862.
- (5) Blackwell, B.B., Sheldahl, R.E. and Feltz, L.V., 1978., Wind-tunnel Performance Data for Two and Three-Bucket Savonius Rotors, *Sandia Laboratories Energy Report*, SAND76-0131, also *Journal of Energy*, Vol 2, pp. 160~164.
- (6) Morcos, V. H., and abdel-Hafez, O.M.E., 1996, “Testing of an Arrow-head Vertical-axis Wind Turbine Model,” *Renewable Energy*, Vol. 7, Issue 3, pp. 223~231.
- (7) 김동건, 금종윤, 윤순현, 2006, “수직축 항력식 풍력터빈의 구조설계 및 실험평가,” *대한기계학회 논문집 B권*, 제30권, 제 3호, pp. 278~286.
- (8) 김동건, 김문경, 차득근, 윤순현, 2006, “아크형 날개를 이용한 항력식 수직축 소형 풍력터빈설계,” *유체기계저널* 제9권, 제2호, pp. 7~12.
- (9) 추권철, 김동건, 윤순현, 2004, “원호형상의 멀티 블레이드를 가진 풍력터빈 설계,” *유체기계 연구 개발 발표회 논문집*, pp. 390~395.
- (10) Lee, S., and Nam, S. K., 2006 “Power Generation System Having Vertical Wind Turbine of Jet Wheel,” PCT/KR2006/004243.
- (11) CFX-10 Solver Theory, Ansys Inc., 2006.