

제주 행원 풍력발전 시스템의 역률개선에 관한 연구

김 일 환* · 김 정 응* · 최 승 준**

A Study on the Power Factor Improvement of the Wind Turbine Generation System at Haeng-Won in Jeju

Eel-Hwan Kim* · Jeong-Woong Kim* · Seung-Joon Choi**

ABSTRACT

This paper presents a study on the power factor improvement of the Wind Turbine Generation System (WTGS) at Haeng-Won wind farm in Jeju island. Vestas WTGS named V47 as a model system is selected in this paper, and has 660 kW power ratings. In this system, the power factor correction is controlled by the conventional method with power condenser banks. Also, this system has only four bank steps, and each one capacitor bank step is cut in every one second when the generator has been cut in. This means that it is difficult to compensate the reactive power exactly.

Actually, model system at Haeng-Won wind farm has very low power factor in the area of low wind speed, which is from 4 m/s to 6 m/s. This is caused by the power factor correction using power condenser bank. To improve the power factor in the area of low wind speed, we used the static var compensator (SVC) using current controlled PWM power converter by IGBT switching device. Finally, to verify the proposed method, the results of computer simulation using Psim program are presented to support the discussions.

Key Words : Power factor, Wind Turbine Generation System, Power condensor

1. 서론

오늘날 세계 기후 협약이 체결되어 앞으로 나라마다 이산화탄소를 일정량 이상 발생시키지 못하도록

규제하고 있고, 이로 인해 화석 연료를 대체할 수 있는 청정에너지에 대한 관심과 연구가 국내뿐 아니라 해외에서도 활발히 이루어지고 있다.[1] 우리나라에서도 풍속 자원이 풍부한 제주도 행원에 풍력 발전 단지를 조성하여 상업 운전이 이루어지고 있어 풍력에 대한 관심을 크게 증대 시켰다. 그러나 이 시스템은 전량 외국에서 수입하여 설치한 것으로 이 시스템에 대한 정확한 설계 및 운전정보를 얻지 못하는 실정이다.[2] 또한 발전기에 연결된 터빈 시스템에 대한 해석이 아직도 이루어지지 못하고 있어 이러한 문제점

* 제주대학교 전기전자공학부, 첨단기술연구소,
Faculty of Electrical and Electronic Eng., Cheju Nat'l Univ., Res.
Inst. of Adv. Tech.
** 제주산업정보대학 정보통신과
Dept. of Information & Telecommunications Jeju college of
Technology

으로 인하여 여태까지 제주도 행원 풍력 발전 시스템의 출력 특성에 대한 연구가 제대로 이루어지지 않았다.[3]

그래서 행원단지 내 계통선에 연계되는 시스템을 Psim 프로그램으로 컴퓨터 시뮬레이션을 구현하여 기동 시와 정상상태에서의 문제점과 영향을 분석하였고 그 결과 진상용 콘덴서에 의한 역률 보상이 저 풍속 시 제대로 이루어지지 않고 있음을 확인하였다.[4] 실제로 행원에 설치되어 운전하고 있는 Vestas V47 시스템은 저 풍속 시(4~6 m/s) 역률이 급속히 저하되고 있다. 이것은 전 운전 영역을 일정한 진상용 콘덴서로 무효전력을 보상하고 있기 때문에 발전기의 무효전력에 대해 정확하게 보상하고 있지 못하기 때문이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 새로운 역률 보상 대책이 요구된다. 이러한 요구에 부응할 수 있는 것이 정지형 무효전력 보상 시스템이다. 이 시스템은 최근 전력용 반도체 소자의 개발과 전력 변환 장치를 제어하는 새로운 기술들의 개발로 인하여 전원 주파수 및 부하 변동 시에도 실시간으로 무효전력을 보상할 수 있는 방법이다.[5] 시스템은 전압형과 전류형으로 구분되며 보통 전원측 전류가 주어진 기준 파형을 추종하도록 하는 전압형 PWM 방식이 널리 이용된다. 여기서는 계통상에서 부하에 따라 발생하는 무효전력을 IGBT 스위칭 소자를 이용한 전류 제어형 PWM 전력 컨버터 시스템으로 보상하는 방법을 통하여 역률을 제어하도록 하고 있다.[6]

따라서 본 논문에서는 행원에서 운전되고 있는 Vestas V47 시스템을 모델링하여 저 풍속 시 나타나는 역률저하 문제점을 해결하기 위해 전원 주파수 및 부하의 변동 시에도 실시간으로 보상할 수 있는 큰 이점을 지닌 정지형 무효전력 시스템을 도입하여 역률을 효율적으로 보상하도록 제어 시스템을 구현하고, 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 Psim 프로그램으로 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 이를 입증하고자 한다.

II. 제어 이론

2.1 풍력 발전 시스템 모델링

2.1.1 터빈 시스템

풍력 발전 시스템에서 풍차터빈은 크게 날개부와 너트셀부로 나누어진다. 날개부는 바람의 에너지를 기계적 에너지로 만들어 주는 역할을 하는 것으로 보통 수평축 풍차에서는 3개의 날개를 갖는 것이 가장 보편화되어 있다. 이 날개들은 바람에 대해 최대의 기계적 에너지를 출력하기 위해 날개 단면의 형상, 크기, 단면 변화에 대한 출력 변화 등을 고려하여 설계될 뿐만 아니라 노이즈, 수명, 낙뢰사고 등 다양한 형태의 요소에 대해 고려하여 설계되어 제작된다. 또한 너트셀부는 기어 시스템, 유압 시스템, 요잉 시스템, 피치 제어 시스템, 발전 시스템 등 복잡한 시스템이 복합되어 구성되어 있다.

기어 시스템은 회전익에 의해서 발생된 회전수를 증속하여 발전기에 입력된다. 유압 시스템은 회전익이 수십 미터가 되므로 피치 각을 변경하는데 큰 힘이 요구된다. 이를 위해서 작은 전력으로 큰 힘을 제어하기 위하여 유압 시스템이 사용되고 있다. 피치 제어 시스템은 회전익의 출력 토크를 제어하기 위해 회전익과 바람과의 방향을 조절하도록 제어하는 것이다. 이러한 모든 시스템을 고려하여 풍차 터빈 시스템을 수학적으로 모델링하는 것은 굉장히 어렵다. 이러한 이유 때문에 터빈 시스템을 수학적으로 간단히 모델링하는 방법이 실제 운전하여 얻은 출력 특성 데이터를 가지고 구현하는 것이다. 따라서 본 논문에서는 Table 1과 같은 제원을 갖는 Vestas V47 660

Table 1. Parameters of Vestas V47-660kW

정격출력 [kW]		660
발전기	형식	3상 권선형 유도기
	회전속도 [RPM]	1800 ~ 1980
	냉각방식	공냉식
설계풍속	시동풍속 [m/s]	4.0
	정격풍속 [m/s]	14.0
	중단풍속 [m/s]	25.0
	최대 내풍속 [m/s]	70.0
Blade	직경 [m]	47.0
	회전속도 [RPM]	28.5
	회전면적 [m ²]	1735
허브높이 [m]		41
출력제어 방식		Opti Slip Opti Tip Pitch control

kW 풍력 발전 시스템을 1999년 3월~2000년 2월까지의 1년간 실제 운전하여 얻은 출력 데이터를 가지고 모델링을 구현하였다.

Fig. 1은 실제 시스템에서 얻어진 데이터를 가지고 얻은 풍속의 변화에 따른 전기적 출력의 그래프이다. 보는 바와 같이 풍속이 4~18 m/s 사이에서 풍속에 대한 출력 특성을 알 수 있다. 풍차의 터빈은 회전에 의해서 바람의 에너지를 기계적 에너지로 다시 기어시스템에 연결된 발전기에 의해서 전기적 에너지로 변환하는 곳이다. 따라서 Fig. 1에서 식 (1)을 이용하면 풍속에 대한 풍차터빈의 출력 발생 토크를 얻을 수 있다.

$$T_e = \frac{P_w}{\omega_m} \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (1)$$

여기서 P_w : 전기적 출력 [W]
 ω_m : 기계적 회전 각속도 [°/s]

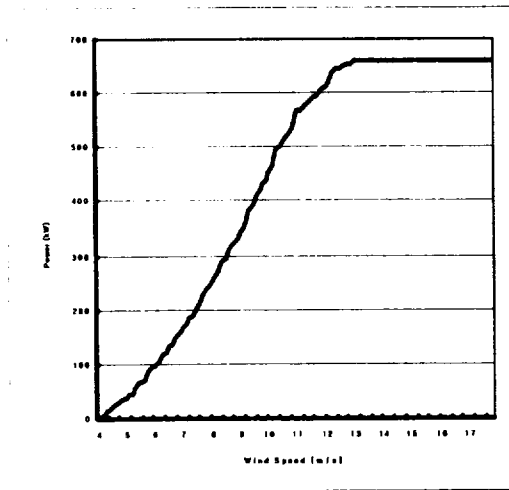


Fig. 1. Generating power versus wind speed.

Fig. 2는 Fig. 1과 식 (1)에 의해서 얻어진 풍속에 대한 풍차터빈의 출력 발생 토크를 나타내고 있다.

Fig. 2를 이용하면 풍속에 대한 출력 토크 시뮬레이터를 구현할 수가 있다. 4~18 m/s사이를 0.1 m/s 단위로 하여 출력 토크 데이터를 만들어 Look-up table화하고 풍속에 따른 토크를 발생하도록 프로그

램을 구현한다. Fig. 3은 Psim 프로그램에서 사용된 출력 토크 발생 시뮬레이터를 나타내고 있다. 이 프로그램에서 입력 데이터에 대한 기계적 토크를 발생 시키는 라이브러리가 있어 이를 이용하여 쉽게 구현이 가능하게 되어진다.

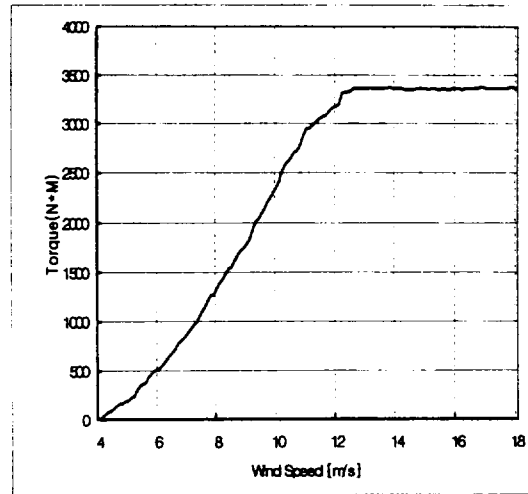


Fig. 2. Output torque curve.

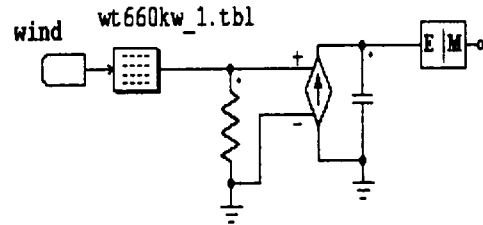


Fig. 3. Torque simulator.

Fig. 4는 발전기 회전자 속도에 대한 발전기 출력을 나타낸 것이다. 바람이 불기 시작하여 10분 평균 풍속이 4 m/s 이상이면 풍차터빈의 회전을 정지시켰던 브레이크 시스템이 해지되면서 바람에 의해 최대의 토크를 발생할 수 있도록 피치 제어를 시작한다. 그러면 풍차의 날개는 회전하기 시작하여 발전기의 회전자 속도가 동기속도인 1800 RPM에 이르면 출력 제어가 이루어진다. Vestas V47 풍력 발전 시

시스템은 1890 RPM 즉, 슬립이 5% 일 때 정격출력 660 kW가 발생하도록 되어 있다. 따라서 회전자의 속도가 1800~1890 RPM 사이에서는 최대출력이 이루어지도록 제어가 이루어진다. 1890 RPM 이상에서는 발전기의 회전자에 연결된 슬립저항을 통하여 항상 정격 출력이 출력되도록 제어가 이루어지며 동시에 날개의 피치각을 조절하도록 되어 있다. 이 때 회전자의 속도는 10%인 1980 RPM이 최대 속도로 정해져 운전되고 있으며 이 이상의 속도가 되면 시스템을 정지시키고 있다.

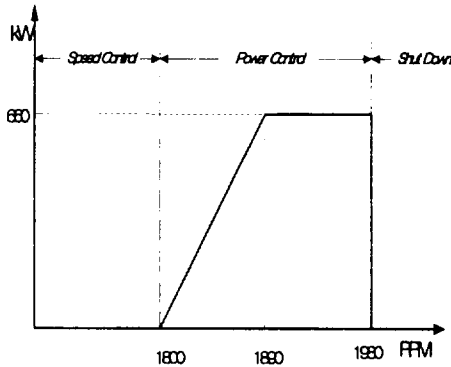


Fig. 4 Output power versus rotor speed.

2.1.2 발전 출력 제어 시스템

Vestas V47 모델에 채용된 발전기는 독일 ABB사의 제품으로 회전자에 3상 슬립링을 갖는 유도기이다. 이 발전기에 대한 전기적인 출력 데이터는 Table 2에 나타나 있으며, 그리고 고정자 기준 상당 동기회로와 동기회로에 대한 제정수는 Fig. 5와 Table 3에 나타나 있다. 권선형 유도기를 발전기로 운전하기 위해서는 여자전류를 필요로 하는데 계통선 연계형 시스템에서는 여자전류가 계통선에서 공급되기 때문에 따로 공급해줄 필요가 없다.

이때 계통선에서 발전기로 흐르는 여자전류는 무효성분이기 때문에 이 성분의 크기가 유효성분의 전류에 비해서 커지면 커질수록 역률이 떨어진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 보편적으로 진상용 콘덴서를 부하와 병렬로 연결하여 유효성분의 전류비에 대한 무효성분의 전류비를 감소시켜 역률을 개선시킨다.

Table 2. Generator data

Generator type	3상 권선형 유도기	
Winding connection (stator/stator)	star : star	
Voltage [V]	3 x 690	
Number of poles	4	
Rated speed [RPM]	1890	
Slip regulation interval [%]	0.6 - 10	
Rated slip [%]	5	
Rated power output [kW]	660	
Generator power factor	1/1 load	0.89
	3/4 load	0.89
	1/2 load	0.87
	1/4 load	0.74
Generator no load loss [kW]	14	
Generator current	full load [A]	622
	no load [A]	110
Generator reactive power	full load [kvar]	342
	no load [kvar]	131
Power factor correction [kvar]	125 - 225	
Resulting full load current (grid side) [A]	560	

행원에 설치된 V47 시스템은 시동 풍속에서 계통선과 연계된 후 1초 간격으로 4 단계의 진상용 콘덴서를 연결하여 역률을 보정하여 사용되고 있다. 이것은 무효전류의 크기에 따라서 역률 보정을 할 수 없다는 것을 내포하고 있다.

회전자 슬립링에는 외부저항과 이 외부 저항값을

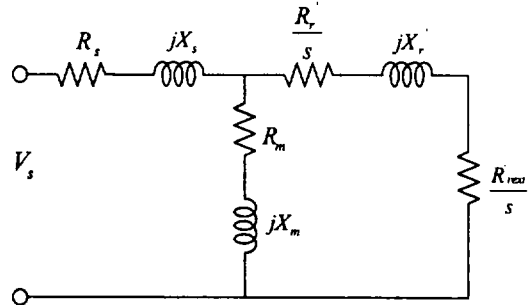


Fig. 5. Equivalent circuit of model machine per phase.

변경할 수 있는 제어 시스템이 연결되어 있다. 이 시스템은 계통선에 연결된 고정자측의 출력 변화에 따라 회전자에 연결된 저항값을 변화시켜 슬립전력을 제어함으로써 고정자측 출력을 최적 제어하고 있다.

Table 3. Parameters of equivalent circuit

Stator resistance	R_s [Ω]	0.0048
Stator reactance	X_s [Ω]	0.0816
Rotor resistance	R_r [Ω]	0.0040
Rotor reactance	X_r [Ω]	0.108
Rotor res. ext (10%slip)	R'_{rext} [Ω]	0.0596
Magnetizing reactance	X_m [Ω]	3.72
Voltage	V_s [V]	$690/\sqrt{3}$
Frequency	f [Hz]	60

2.2 무효전력 보상

2.2.1 진상용 콘덴서에 의한 무효전력 보상

일반적으로 유도성 부하는 전류가 전압보다 위상이 뒤지는 지상 역률이 된다. 이 때 부하에 흐르는 전류는 역률이 반비례하므로 역률이 낮으면 어떤 부하에 전력을 공급할 때 동일 전압 하에서 큰 전류를 흘려주어야 하며, 또한 선로 전력 손실은 부하 역률의 제곱에 반비례하므로 부하 역률을 개선해야 한다. 따라서 유도성 부하에 병렬로 진상용 콘덴서를 접속하면 지상 전류와 상쇄되는 진상전류가 콘덴서에 흐르므로 부하 전류와 전압의 위상차가 줄어들어 역률이 개선

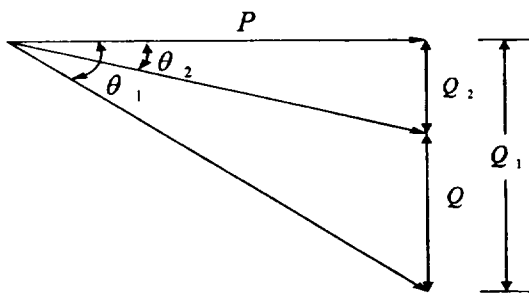


Fig. 6. Phasor diagram of reactive power compensation.

된다.

Fig. 6은 유도성 부하에 병렬용 전력용 콘덴서를 병렬로 연결하여 역률을 개선하는데 필요한 용량을 계산하기 위한 그림이다. 이 그림에서 P 는 유효전력, $\cos \theta_1$ 는 개선 전의 역률, $\cos \theta_2$ 는 개선 후의 역률, Q 는 $\cos \theta_1$ 에서 $\cos \theta_2$ 로 역률을 개선하는데 필요한 콘덴서 용량이다. 이에 대한 수식은 다음 식과 같다.

$$Q = Q_1 - Q_2 = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

$$= P \left\{ \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \theta_1} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \theta_2} - 1} \right\} \text{ [kVA]} \quad (2)$$

2.2.2 정지형 무효전력 보상 시스템에 의한 보상

Fig. 7은 정지형 무효전력 보상장치의 기본 구성도를 나타내고 있다. 이 그림에서 보는 바와 같이 부하의 무효전류 i_L 이 발생하면 그 무효전류만큼의 무효전류 i_c 를 보상기에서 부하에 공급하여 전원측에서는 유효성분의 전류만 부하에 공급하여 전원측에서의 역률이 거의 1이 되게끔 하는 것이 기본원리이다.

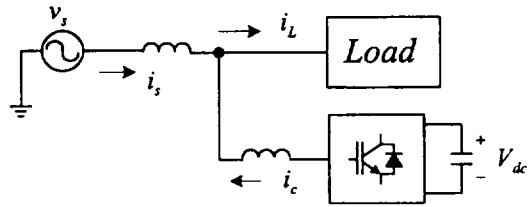


Fig. 7. Basic principal of static var compensator.

부하측에 발생하는 무효전류분의 보상전류를 발생하기 위해서 전원측으로부터의 전압과 전류를 알아야 한다. 3상 전원의 각 상전압을 다음과 같이 가정한다.

$$v_{sa} = V_m \cos \theta_e$$

$$v_{sb} = V_m \cos \left(\theta_e - \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$v_{sc} = V_m \cos \left(\theta_e + \frac{2\pi}{3} \right) \quad (3)$$

여기서 V_m : 상전압의 최대치

부하에 나타나는 역률각을 ϕ 라 하면 부하전류의 표현식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} i_{La} &= I_m \cos(\theta_e - \phi) \\ i_{Lb} &= I_m \cos\left(\theta_e - \frac{2}{3}\pi - \phi\right) \\ i_{Lc} &= I_m \cos\left(\theta_e + \frac{2}{3}\pi - \phi\right) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 Park 변환식을 이용하여 정현파 3상 부하전류를 동기좌표축상의 d, q 축으로 2상 변환하면 다음 수식과 같은 직류값으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} i_{Ld}^e &= I_m \sin \phi \\ i_{Lq}^e &= I_m \cos \phi \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 위 첨자 e 는 동기 좌표축 상의 변수를 나타내고 I_m 은 전류의 크기를 나타내고 d 축과 q 축 전류는 각각 무효성분과 유효성분의 크기를 나타낸다. 식 (5)에서 무효전류의 성분은 i_{Ld}^e 이기 때문에 이 성분을 부하에 정지형 무효전력 보상 시스템으로부터 공급하면 무효전력을 보상할 수가 있게 된다. Fig. 8은 정지형 무효전력 보상기로 전원 계통에 주입해 주어야 할 보상기준 전류 i_{Ld}^e 를 동기좌표축에서 연산 과정을 나타내고 있다.

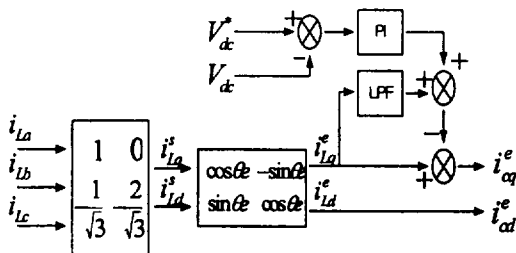


Fig. 8. Block diagram of calculating the current compensation.

III. 컴퓨터 시뮬레이션

제안한 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 제주 행원 풍력발전 단지에 설치되어 있는 덴마크 Vestas 사 V47 660 kW 풍력 발전 시스템을 모델로 하여 제어 시스템을 구성하고, Psim 프로그램으로 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션 수행을 위해 V47 시스템의 모델링은 크게 날개부, 발전기부, 제어 시스템부, 3 부분으로 구성된다. 날개부에서는 풍속에 따른 바람의 에너지를 기계적 에너지로 변환하여 주는데 풍속에 따른 토오크는 식 (1)과 Fig. 2를 이용하여 시동 풍속인 4 m/s에서 18 m/s까지 풍속에 따른 토오크를 발생하도록 하는 토오크 시뮬레이터를 Psim 프로그램에서 제공하는 Fig. 3과 같은 라이브러리를 이용하여 날개부를 모델링 하였다. 발전기부에서는 발전기와 회전자 슬립링 연결된 외부 저항과 이 저항을 가변 시키는 제어 시스템으로 구성된다. 발전기는 고정자측은 계통선에 연결시키고 회전자측은 회전자 제어 시스템에 연결된다. 또한 축은 날개부와 연결된다. 회전자에 연결된 가변저항 제어시스템은 0.0596 옴을 갖는 저항을 회전자측과 연결하고 또한 이 저항과 병렬로 3상 브리지 다이오드와 IGBT를 이용하여 3 kHz의 삼각파로 PWM 파형을 만들어 출력에 따라 외부저항의 평균값을 제어한다. 이렇게 슬립전력을 제어함으로써 출력을 최적제어 할 수가 있도록 구현한다. 제어 시스템부에서는 DSP부, 소프트 스타팅부, 주점점 MCB부, 진상용 콘덴서부, 무효전력 보상 시스템부로 구성된다. DSP부에서는 전체 시스템을 제어하기 위해 각 시스템에 알맞은 제어 신호를 입출력하여 전체 시스템이 원하는 대로 동작하게끔 한다. 소프트 스타팅부에서는 계통 연계시 과도한 시동전류를 제한하기 위하여 6개의 SCR로 구성되며 1초 동안만 SCR의 점호각을 116°에서 0°까지 위상 제어하여 과도한 시동전류를 제한하도록 한다. 이 과정이 끝남과 동시에 주점점 MCB부가 작동하여 계통선과 발전기를 연결한다. 이때 진상용 콘덴서부에서는 역률을 개선하기 위하여 1초 간격으로 75 kvar부터 50 kvar, 50kvar, 50 kvar의 콘덴서를 발전기와 병렬로 연결한다.

본 논문에서 제안된 무효전력 보상 시스템은 IGBT를 이용하여 전류제어 형 PWM 컨버터로 구성되었다. 컨버터의 직류전압은 1300 V로 하였으며

IGBT를 스위칭하기 위한 주파수는 10 kHz로 하였다. 또한 컨버터 전압을 제어하기 위해 PI 제어를 도입하였으며 P 게인과 I 게인은 각각 10과 0.001로 하였다. 전류제어를 위한 P,I 게인은 각각 0.1과 0.001로 하였으며 이 시스템에서 공급할 수 있는 최대전류를 100 A로 하였다. 컨버터에 걸리는 직류전압을 얻기 위해 사용된 리액터는 1 mH의 값을 가진다. 이러한 시스템을 가지고 Fig. 6과 같은 제어 흐름도로 시뮬레이션을 수행한다.

우선 바람이 불기 시작하여 10분 평균 풍속이 4 m/s 이상이라고 가정하여 정지된 회전을 구동시킨다. 이때 풍차 터빈은 회전의이 굉장히 크기 때문에 큰 관성을 갖는 시스템이다. 이것은 0 RPM에서 동기속도 1800 RPM까지 오로지 바람에 의해서만 도달하는 것은 많은 시간을 필요로 한다. 이것은 시뮬레이션 시 많은 시간이 필요하기 때문에 여기서는 1800 RPM까지는 외부에서 회전시켜 주고 1800 RPM일 때 계통선에 연계되도록 시뮬레이션을 수행하였다. 소프트 스타팅과 주접점 MCB의 동작이 끝남과 동시

에 진상용 콘덴서가 4 단계로 1초마다 동작한다. 1단계는 75[kvar], 2단계는 50[kvar], 3단계는 50[kvar], 4단계는 50[kvar]로 연결된다. 동시에 보상전류를 발생하기 위한 시스템이 동작하며 보상전류가 부하로 공급된다. 본 논문에서는 풍속이 4 m/s에서 18 m/s까지의 변화를 주어 Fig. 9와 같은 순서대로 시뮬레이션을 수행하고 Fig. 10과 같은 Psim 프로그램 구성으로 제안된 무효전력 보상 시스템이 있는 경우와 없는 경우에 대해서 여러 가지 결과들을 보여준다.

IV. 결과 및 고찰

Vestas V47-660 kW 시스템을 모델링하여 풍속이 4~18 m/s 사이에서 진상용 콘덴서만으로 무효전력을 보상하는 기존 시스템과 이 시스템에 정지형 무효전력 보상 시스템을 추가하여 시뮬레이션을 수행하여 Fig. 12와 Fig. 13과 같은 결과를 얻었다. 시뮬레이션 결과를 비교 검토하기 위하여 Fig. 11은 Yokogawa사의 전력 측정기 WT1600을 이용하여 V47 모델 시스템에 2003년 3월 한달 동안 측정된 결과를 가지고 역할을 나타낸 것이다. 이 그래프에서 보면 풍속이 4~6 m/s 사이에서는 현저히 떨어지고 있음을 알 수 있다. 이유는 풍속에 따라 발전기에 보상해야 할 무효전력을 실시간으로 변하기 때문에 여기에 대응해서 실시간으로 무효전력을 보상해야 하는데 기존 시스템은 일단 시스템이 운전이 되면 진상용 콘덴서에 의해 무효전력 보상값이 225 kvar로 고정되어 있다. 이로 인해 저 풍속 시 보상해야할 무효전력보다 더 많은 무효전력이 공급되어 즉 진상역률이 되어 전원계통의 역할을 저하시키고 있는 것이다.

Fig. 12에서 보면 풍속이 4~6 m/s 사이에서는 역률이 현저하게 떨어짐을 알 수 있다. 이는 Fig. 11에서 나타난 결과와 거의 같다. 전원계통의 상전압과 전류 그리고 무효전력의 변화를 비교해 봐도 이를 뒷받침하고 있다. 그리고 정격 풍속이상에서는 정격 출력인 660 kW가 발생되고 있음을 알 수 있고 또한 회전자에 연결된 가변저항 변화에 의한 슬립 전력제어가 이루어져 발전기의 속도가 변하고 있음을 알 수 있다.

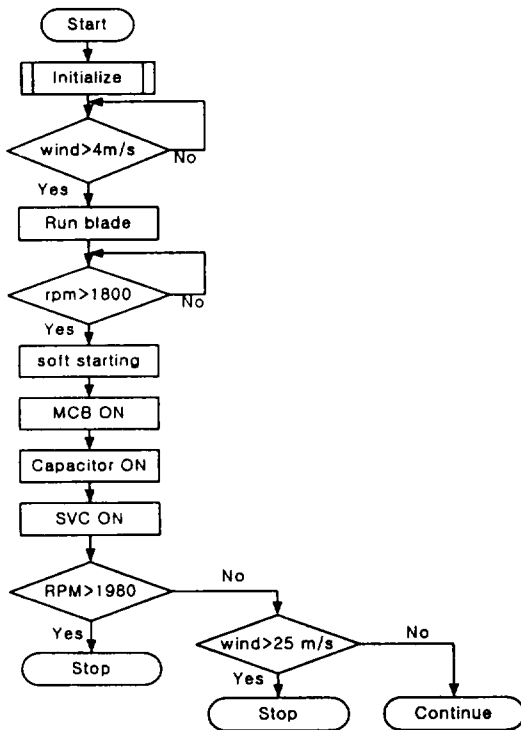


Fig. 9. Simulation flowchart.

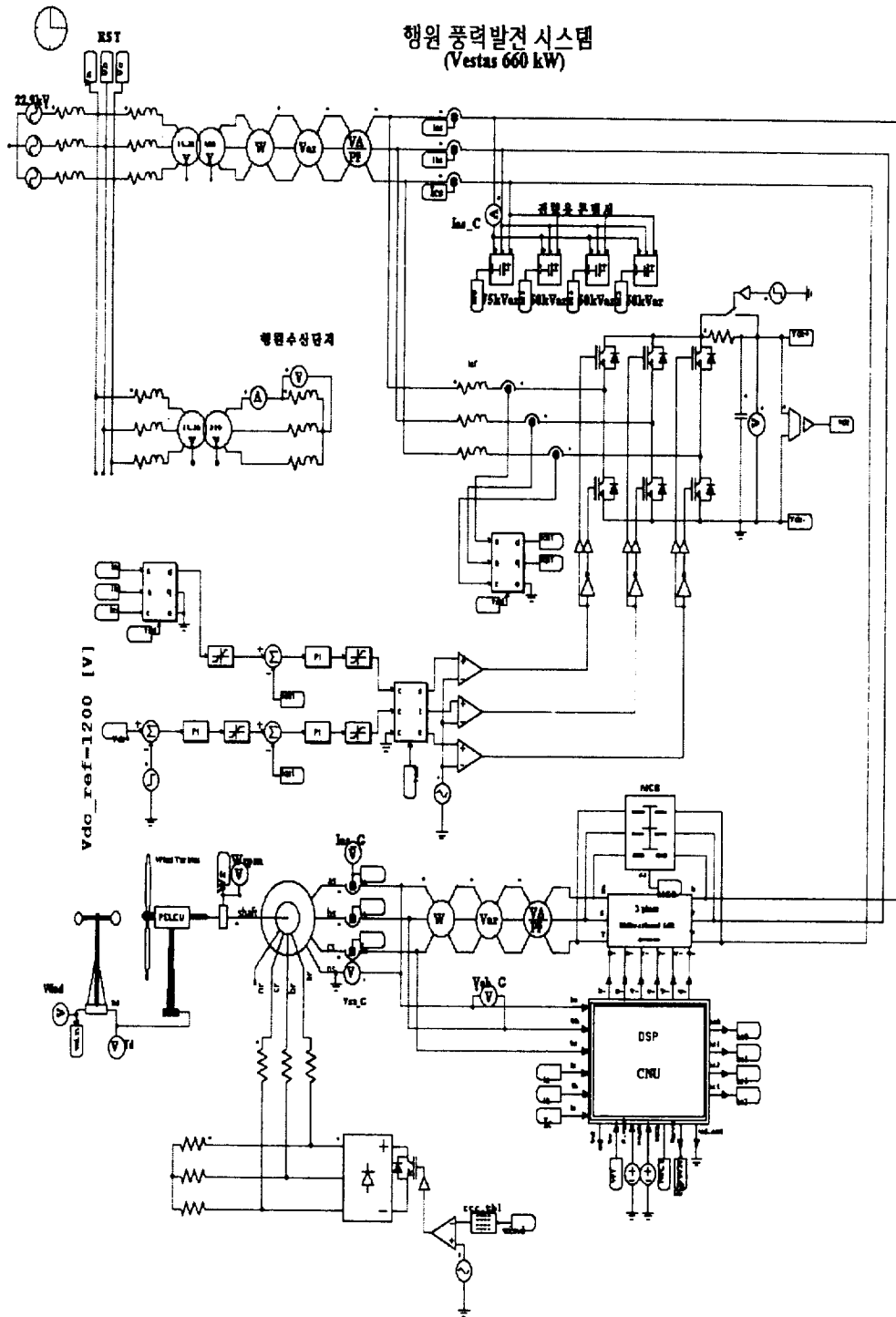


Fig. 10. Schematic diagram of V47-660kW wind turbine generation system with SVC.

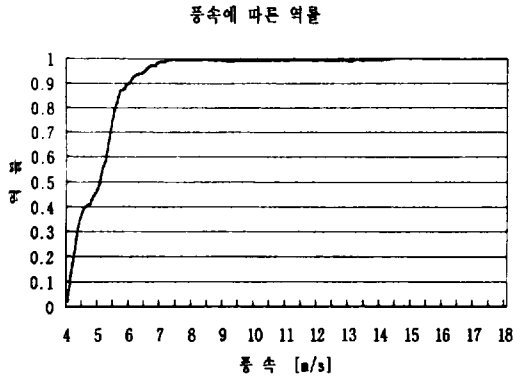


Fig. 11. Measured power factor using power analyzer.

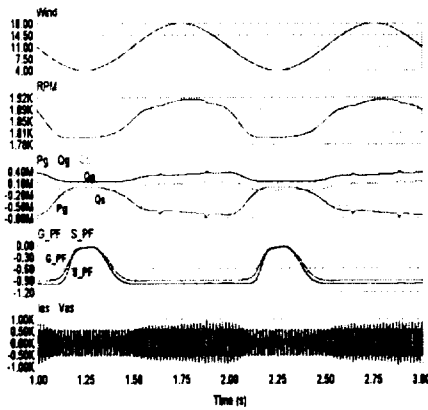


Fig. 12. Simulation results without static var compensator.

Fig. 13은 기존 시스템에 정지형 무효전력 보상 시스템을 채용하여 무효전력을 보상한 결과이다. 이 결과에서 보면 풍속이 4~6 m/s 사이에서도 역률이 거의 1에 가까움을 알 수 있다. 상전압과 전류의 파형을 봐도 이를 알 수 있다. 이것은 제안된 시스템이 기존 시스템에 채용하여 운전했을 때 역률이 획기적으로 개선될 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 13과 Fig. 14는 Fig. 12와 Fig. 13의 저 풍속 영역(4~6 m/s)에 대한 부분을 확대한 것이다. Fig. 13에서는 진상용 콘덴서에 의한 경우 상전압과 전류의 위상이 4 m/s로 갈수록 크게 벌어짐을 알 수 있

다. 이것은 역률이 현저히 떨어짐을 의미한다. Fig. 14에서는 정지형 무효전력 보상 시스템에 의해 무효전력을 보상하는 경우로 풍속이 4 m/s로 떨어져도 상전압과 전류의 위상이 거의 일치함을 알 수 있다. 이것은 역률이 거의 1 제어되고 있음을 알 수 있다.

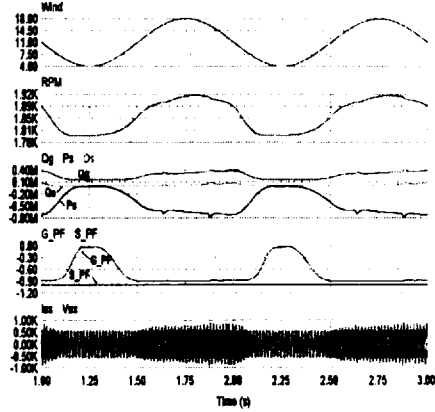


Fig. 13. Simulation results with static var compensator.

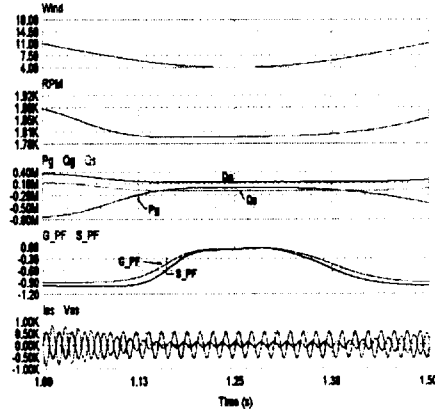


Fig. 14. Zoom of Fig. 12.

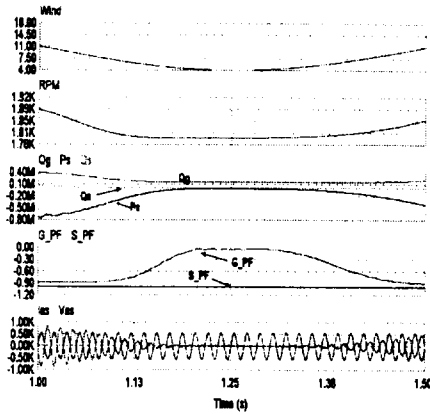


Fig. 15. Zoom of Fig. 13.

IV. 결 론

본 논문에서는 제주도 행원 풍력 단지에 설치된 덴마크 Vestas사의 V47-660 kW 풍력 발전 시스템을 모델로 하여 실제 시스템 상에서 측정된 역률 특성과 무효전력 보상 시스템을 모델 시스템에 적용하였을 때의 역률 특성을 비교 분석하였다. 시뮬레이션 결과에서 본 것과 같이 정지형 무효전력 보상시스템을 이용했을 때의 역률이 진상용 콘덴서에서 역률을 보정했을 때보다 저 풍속영역(4~6 m/s)에서 보다 효과적으로 역률을 개선되고 있음을 알 수 있다. 이것은 전동작영역에서 기존의 시스템에 정지형 무효전력 보상 시스템을 추가하였을 경우 전 운전 범위의 풍속영역에서 계통선에 연계된 전원 계통은 항상 역률이 거의 1로 운전 할 수 있다는 것을 보여주고 있다.

이상의 결과를 토대로 풍력 발전 시스템을 효과적으로 모델링하는 방법을 얻을 수 있었고 또한 기존 시스템에서 나타나는 저 풍속 운전하에서 역률이 현저히 떨어지는 원인을 규명할 수 있었다. 뿐만 아니라 제안한 시스템을 모델 시스템 상에 적용했을 때 보다 획기적으로 전원계통의 역률을 개선할 수 있음을 알 수 있어, 기존 행원 풍력 발전 시스템에 적용하여 역률을 개선할 수 있다는 것을 알 수 있고 또한 새로운 시스템을 개발할 때 풍력 발전 시스템의 설계

및 해석 시 크게 도움이 되리라 사료된다.

참고문헌

- 1) 풍력 발전 Q&A, 2000. 2, 日本 Ohm社.
- 2) 김용현, 김일환, 2000, 풍력발전을 위한 이중 여자 유도기의 센서리스 제어, 전력전자학회논문지, Vol. 5, No. 5, pp. 451-458.
- 3) 허종철, 2001, 제주도내 풍력자원 연구조사 보고서.
- 4) 전영진, 2002. 12, 제주행원 풍력 발전 시스템의 모델링 및 해석, 제주대학교 석사학위 논문.
- 5) J.H.Choi, 1989. 7, Instantaneous Reactive Power Compensator using Current Controlled PWM Converter, Trans. KIEE, Vol. 38. No. 7, pp. 539~548.
- 6) 고지호, 2000. 6, PWM 전력 컨버터를 이용한 배전용 무효전력 보상기 제어, 제주대학교 석사학위 논문.
- 7) G.H.Choe, 1986, Analysis an control of active power filter with optimized injection, in Conf. Rec. IEEE PESC, pp.401-409.
- 8) H.Akagi, 1986, Control strategy of active power filter using multiple voltage source PWM converter, IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-22, No.3, pp.460-465.
- 9) L. Xu and Tang Y. Tang, 1992, A Novel Wind Power Generating System Using Field Orientation Controlled Doubly Fed Excited Brushless Reluctance Machine, IEEE IAS Annual Meeting Conf., pp.408-413.