

## 가변속 동기발전기의 전압제어

공정식 서영택 오철수  
경북대학교 전기공학과

### A Voltage Control of Variable-Speed Synchronous Generator

Jeong-Sik Kong<sup>\*</sup> Young-Taek Seo Chul-Soo Oh  
Dept. of Electrical Eng. Kyung-Pook Nat. Univ.

#### Abstract

This paper is describing a voltage control of variable speed synchronous generator for wind-power generation system.

The exciting system is adopted that the generator operates in a variable frequency and constant voltage. The generating voltage is controlled by field current varying the firing angle controller.

#### 1. 서 론

풍력발전기의 전기적 System에는 일정회전수로 운전되는 유도 발전기와 가변회전수로 운전되는 동기발전기로 구분된다. 전자는 계통에 연결되어야만 발전이 되나, 후자는 계통의 연결은 물론 독립전원용으로도 운전이 될 수 있는 장점이 있다.

일정주파수의 동기발전기의 전압제어는 화력발전소등에서 많이 사용되어 오래전부터 이 이론이 확립되고 있으나, 가변주파수에서의 전압제어는 풍력발전 System등에서 사용되고 있으며 새로운 방식의 전압제어가 요구되고 있다.

본 논문은 중출력 풍력발전 시스템 개발을 위한 일부분으로, 풍속 및 부하의 변화가 있더라도, 즉 발전기의 회전수가 변하더라도, 발전기 출력단의 정전압 유지가 요구되고 있는 과제에 부응하기 위한 것이다.

#### 2. 풍력발전 System의 구성

풍력발전기의 System 구성은 "Darrius Wind Turbine-동기발전기-인버터"로 구성하였다. 이 System은 가변속 동기발전기 운전형태로서, 주파수가 발전기 회전수에 비례한 가변주파수의 전원이 얻어지고, 이 전원은 정류회로를 통해 직류로 변환된 후 전압형 3상 PWM 인버터에 의해 상용주파수의 전압으로 변환되어 출력된다.

그림 1은 풍력발전 System의 계통도를 나타낸다.

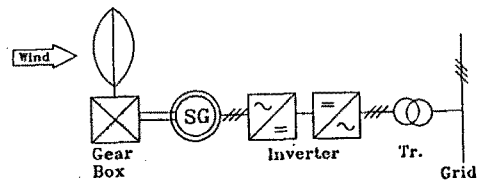


그림 1. 풍력발전 System의 계통도

수직축 Darrius Turbine과 직결된 동기발전기의 가변속운전에서, 발전기 출력단 전압은, 그림 2와 같이 인버터 출력단 전압을 검출하여, 기준전압과 비교하여 그 차이에 상당하는 전압 값을 여자기에 입력시켜 줌으로서 제어하도록 되어있다.

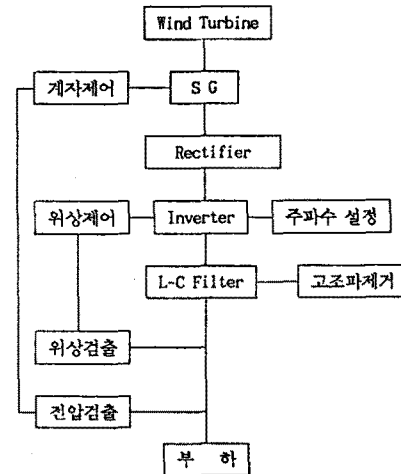


그림 2. 풍력발전 System의 Block Diagram

#### 3. 여자 System 구성

여자제어 System은 상용전원을 반도체 제어정류기의 절호각을 조정하여 여자전류의 크기를 제어하는 위상제어 방식을 채택하

있다. 여자제어 System의 운전조건을 만족하기 위해, 여자전류의 제어범위는 Wind Turbine의 Start up Speed 및 Cut out Speed 일때의 Shaft Speed를 여자제어 범위로 선정하여, 발전기 계자회로에 무리가 없는 여자전류로 제어되어야 한다.

그림 3은 전압제어 시스템의 블록도이며, 여기에서의 첨자의 설명은

- r : 전압제어 Regulator, PI-Controller
- e : 여자기 Excitation
- f : 여자기 Field
- a : 고정자 Armature

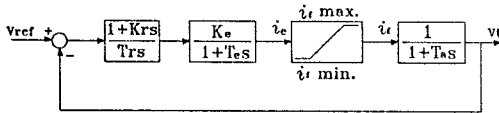


그림 3. 여자제어회로의 Block Diagram

그림 3의 회로에서

$$i_f = i_e,$$

$$i_f = i_{fmax}, \text{ if } i_f > i_{fmax}$$

$$i_f = i_{fmin}, \text{ if } i_f < i_{fmin} \text{ 가 되며,}$$

여자제어의 범위는  $i_{fmin} \leq i_f \leq i_{fmax}$ 로 정해진다.

이때 절호자 a에 따른 여자전압의 크기는

$$\text{단상전파정류: } E_f = 0.9E_{ec} (1+\cos\alpha)/2 \text{ (V)}$$

$$\text{삼상전파정류: } E_f = 1.35E_{ec} (1+\cos\alpha)/2 \text{ (V)}$$

로 된다.

풍력발전 System의 여자조절기는 가변풍속 및 부하의 변동에 따라 여자전류의 신속한 증감작용으로 출력전압을 일정하게 유지시켜야 한다. 전압강하시에는 여자전류의 증가를 통하여 출력전압의 강하를 보상하고, 전압상승시에는 상승된 출력전압에 대응하는 크기로 여자전류를 감소시켜 신속히 발전기의 계자권선에 공급하여야 한다.

그림 4는 각 풍속에서 Shaft Speed에 대한 출력곡선을 나타내며, 최대출력은 다음과 같다.

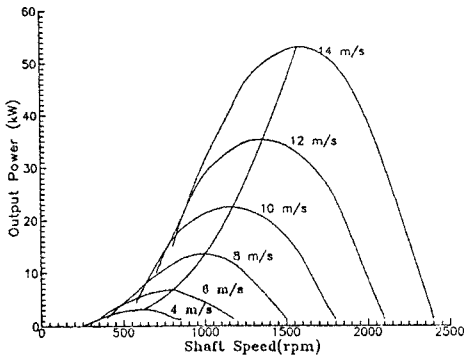


그림 4. 발전기 회전수에 대한 최대출력 분포

$$P_{\text{opt}} = 1/2 C_{\text{pmax}}(N_{\text{opt}})\rho A v^3 \text{ (W)}$$

여기서  $C_{\text{pmax}}(N_{\text{opt}})$  : 최적 Shaft Speed에 대한 동력계수

$\rho$  : 공기밀도 ( $\text{kg/m}^3$ ),  $v$  : 풍속 ( $\text{m/s}$ )

$A$  : Turbine의 회전 단면적( $\text{m}^2$ )

풍력발전 System의 여자제어 영역은 각 풍속에 따라 발전기 회전수에 대한 최대출력이 나올 수 있는 부분에서 (그림 4) 설정점이 바람직하다.

#### 4. 실험 및 결과 고찰

가변속 동기발전기의 정전압 제어 System은 그림 5와 같이, 발전기 출력단의 전압을 여자제어부로 Feedback 하여 기준임력과 비교후 Error Term을 검출하고, 이것을 이용하여 여자 전류의 값을 조절함으로써 동기발전기의 출력전압을 제어하도록 구성하였다.

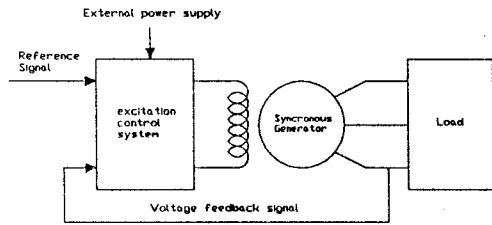


그림 5. 동기발전기의 여자제어 System

그림 6은 각 회전속도에서 정전압을 위하여 필요한 여자전류의 크기를 서로 비교하고 있다. 실제 이론적으로는 회전속도와 여자전류가 비례하는 것이 원칙이지만 실제적으로 회전속도와 여자전류의 관계가 정비례하지 않음을 볼 수 있다.

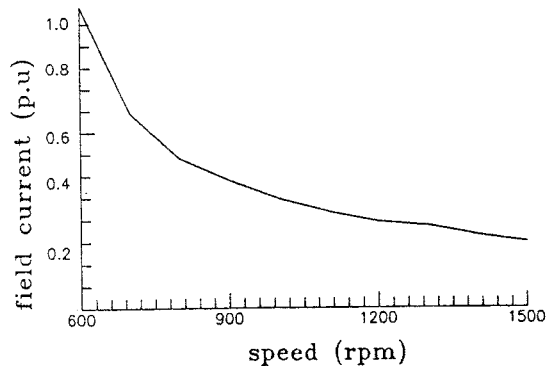


그림 6. 정전압을 위한 가변속도에서 여자전류의 변화

그림 7은 발전기 속도의 계단함수식의 변동(증가)에 따른 발전기 출력단의 전압 및 여자전류의 변화율을 나타내고 있는 것으로서, 발전기 출력단은 약간의 Settling Time이 필요한 것을 보여 주고 있다. 여자전류는 발전기 속도에 대응하는 전류값으로 바뀌어 수렴하는 것을 볼 수 있다. 그러나 실제 적용되는 풍

력 발전시스템에서는 위와 같이 갑작스러운 발전기 속도의 변화는 풍속의 갑작스런 변화에 의하여 유발될수 있다고 볼 수 있으나 회전기구부의 관성으로 인하여 속도 변화에 따른 Settling Time은 거의 문제가 되지 않는다.

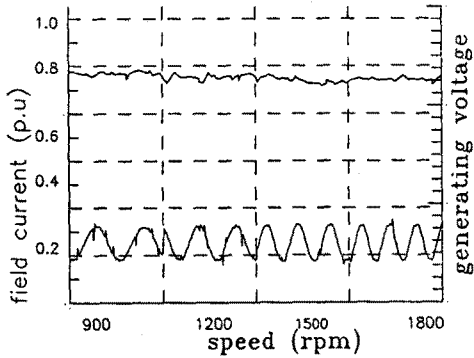


그림 7. shaft speed 변화에 따른 출력전압 및 여자전류의 응답 특성

그림 8은 부하의 계단함수식 변동(감소)에 따른 여자전류의 변화를 기록한것이다.

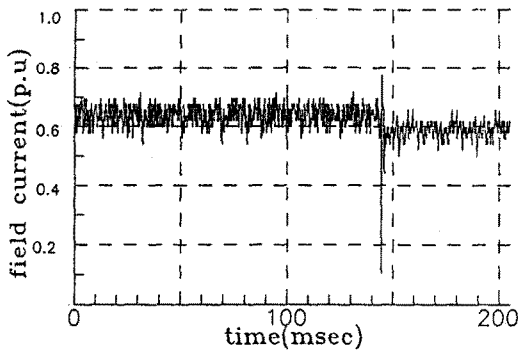


그림 8. 부하의 변화에 따른 여자전류의 응답

## 5. 결 론

본 논문에서는 수직축 Darrieus Turbine-동기발전기 형태의 풍력발전 System을 구성하여, 동기발전기의 가변속 운전에 대한 일정전압을 얻었다.

동기발전기의 속도는 정격속도 기준하여 -30%에서 +30%까지 변화시키며, 정전압을 얻을 수 있는 계자전류를 측정하여 그 제어됨을 확인하였다.

앞으로 부하 및 풍속의 상호관계를 고려한 응답속도가 큰 제어기법의 실현에 대한 연구가 요망된다.

## 참 고 문 헌

1. Adel. Ghandakly, Ziad H. Sbeiti, "A Digital Optimal Controller VSCF Wind Generator", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 6, No. 4, December 1991, pp.1618~1623
2. M.Ermis, H.B.Ertan, E.Akpinar, F.Uigut, "Autonomous wind energy conversion system with a simple controller for maximum-power transfer", IEE Proceedings-B, Vol. 139, No. 5, pp.421~428, September 1992.
3. M.A.Abdel-Halim, C.D.Manning, "Direct phase modelling of synchronous generators" IEE Proceedings, Vol. 137, Pt. B, No.4, pp.239~247, July 1990.
4. D.J.De Renzo, "Wind Power Recent Development", Noyes Data Corporation, 1979.
5. M. L. Robinson, "The Darrieus wind turbine for electrical power generation", Aeronautical Journal, pp.244~255, June 1981.
6. H. L. Nakra, Benoit Dube, "Slip Power Recovery Induction Generators for Large Vertical Axis Wind Turbines", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 3, No. 4, pp.733~737, December 1988.