

농형유도 풍력발전기의 성능개선을 위한 에너지저장장치의 동작특성 분석

논문
58-6-13

Operational Analysis of Energy Storage System to Improve Performance of Wind Power System with Induction Generator

이지현* · 심명보* · 이혜연* · 한병문† · 양승철**
(Ji-Heon Lee · Myong-Bo Shim · Hye-Yeon Lee · Byung-Moon Han · Seung-Chul Yang)

Abstract - This paper presents an active and reactive power compensator for the wind power system with squirrel-cage induction generator. The output power of a wind power system changes irregularly according to the variation of wind speed. The developed system is able to continuously compensate the active and reactive power. The 3-phase inverter operates for the compensation of reactive power, while the DC/DC converter with super-capacitors operates for the compensation of active power. The operational feasibility of the proposed model was verified by simulations with PSCAD/EMTDC and the feasibility of hardware implementation was confirmed by experimental works with a scaled hardware model. The proposed compensator can be expected that developed system may be used to compensate the abrupt power variation due to sudden change of wind speed or sudden power-drop by tower effect. It can be also applied for the distributed generation and the Micro-Grid.

Key Words : Wind Power System with Induction Generator, Energy Storage System, Active and Reactive Power Compensator, 2-Quadrant Chopper, DSP(Digital Signal Processor)

1. 서 론

풍력발전기로 많이 사용되고 있는 농형유도발전기는 구조가 간단하고 계통연계 시 별도의 전력변환기를 필요로 하지 않아 시스템의 규모가 작고 가격이 싼 장점을 갖는다. 그러나 풍속이 변동함에 따라 회전자계를 공급하는데 필요한 여자전류를 충당하기 위해 연계된 전력계통으로부터 변동하는 무효전력을 소모하고 이 변동하는 무효전력은 연계된 전력계통의 전압안정도를 저하 시키는 원인이 된다[1,2]. 농형유도발전기가 소모하는 무효전력을 계단식으로 보상하기 위해 초기에는 기계식스위치와 커패시터뱅크로 구성된 무효전력보상장치를 발전기단자와 병렬로 연결하여 사용하였다. 그러나 이와 같이 소모되는 무효전력을 계단식으로 보상할 경우 정확한 보상이 불가능하고 빈번한 스위치조작으로 과전압에 의한 손실이 발생한다. 이러한 단점을 해결하고자 최근 선진국에서는 소모하는 무효전력을 실시간으로 보상하기 위해 인버터식 무효전력보상기인 STATCOM이 사용된다[3,4,5]. 한편 농형유도발전기는 풍속에 따라 생산되는 유효전력도 불균등한데, 풍속에 따라 짧은 시간동안 나타나는 유효전력의 변동은 연계된 전력계통에 나쁜 영향을 주므로 이

를 보상할 필요가 있다[6,7]. 그런데 무효전력의 변동과 달리 유효전력의 변동을 보상하기 위해서는 에너지저장요소가 필요하다. 에너지저장요소로는 일차적으로는 배터리를 고려할 수 있으나, 배터리는 방전속도는 빠르나 충전속도가 느려 수초내에 일어나는 유효전력의 변동을 보상하기에는 부적합하다. 본 연구에서는 신속한 보상을 고려하여 충·방전속도가 빠른 슈퍼커패시터를 에너지저장의 요소로 고려하였다[8].

슈퍼커패시터를 에너지저장장치로 사용하여 풍력발전의 출력평준화에 관한 연구는 참고문헌 [9]에 소개되어 있다. 그러나 이 논문의 분석내용은 계통관점에 치우쳐 있고 풍력발전기의 특성을 상세하게 모의하고 있지는 않다. 또한 분석내용이 시뮬레이션에 국한되어 있고 하드웨어적 요소를 고려한 실험적 분석이 전혀 이루어지고 있지 않다. 특히 제어기의 구성이 계통연계용 전력변환기와 양방향 DC/DC 컨버터의 동작을 총체적으로 관찰하는 형태로 제시되어 있지 않다. 본 연구에서는 3상 전압원인버터, 양방향 DC/DC 컨버터, 슈퍼커패시터로 구성된 농형유도 풍력발전기의 유·무효전력을 실시간으로 보상하는 장치와 그 제어기의 구성을 제안하였다. 제안하는 보상장치의 제어 동작과 성능을 분석하기 위해 계통과 연계된 농형유도 풍력발전기와 병렬로 결합하여 PSCAD/EMTDC에 의한 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션에 사용한 풍력터빈모델은 풍속을 입력으로 받아 특정 풍력터빈에 대한 출력을 계산하고, 이를 실험실에 설치된 풍력발전기의 용량에 적합하도록 스케일을 조절하여 회전력을 산출한다. 또한 제안하는 보상장치의 하드웨어 구현

† 교신저자, 정회원 : 명지대학교 공대 전기공학과 교수·공박

E-mail : erichan@mju.ac.kr

* 준 회원 : 명지대학교 대학원 석사과정

** 정 회원 : (주) Hex Power System

접수일자 : 2009년 3월 7일

최종완료 : 2009년 4월 29일

타당성을 판단하기 위해 축소모형을 제작하고 실험실에 설치된 모터-제너레이터로 구성된 풍력발전시뮬레이터에 연계하여 실험적으로 동작과 성능을 분석하였다.

2. 농형유도 풍력발전시스템

농형유도발전기는 가용풍속의 범위는 좁으나 계통연계가 간단하고, 견고하여 유지보수비용이 거의 필요 없고, 저가이므로 경제적인 측면에서 매우 유리하다. 그리고 전력전자 기술의 발달로 인해 농형유도발전기의 문제점인 초기 여자의 확립, 좁은 발전영역 등을 해결할 수 있기 때문에 풍력발전전에 농형 유도발전기의 사용은 경제적으로 볼 때 중요한 의미가 있다[4,5,6]. 그림 1은 일반적으로 많이 사용하고 있는 농형유도 풍력발전시스템의 구성을 나타낸 것이다. 소프트스타터는 초기에 농형유도발전기가 배전계통에 연계될 때 과파전류의 유입을 방지하기 위한 것이고 전력용 커패시터와 스위치로 구성된 커패시터뱅크는 농형유도발전기가 소모하는 무효전력을 보상한다.

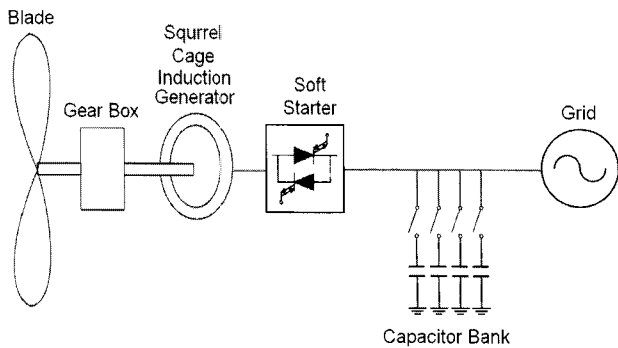


그림 1 농형유도 풍력발전시스템의 구성
Fig. 1 Configuration of wind power system with squirrel-cage induction generator

그림 2는 임의의 풍속에 대해 농형유도 풍력발전에서 발생하는 유·무효전력의 변동을 시뮬레이터를 이용하여 분석한 것이다. 유효전력은 풍속이 4m/s 이하일 때는 0으로 출력되다가 풍속이 4m/s에서 11m/s로 증가하면서 3.5 kW로 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 풍력발전기가 생산하는 유효전력은 풍속의 변동에 따라 짧은 순간에도 빈번하게 변동하는데, 이를 효과적으로 보상하여 연계계통에 변동이 적은 전력을 공급하기 위해서는 빠른 응답을 갖는 에너지충·방전장치가 필요하다. 또한 유도발전기가 발전기로 동작하려면 회전자계의 공급이 필요하고, 이를 위해서는 전원에서부터 여자전류를 흡수하는데 이때 무효전력을 소모한다. 무효전력의 소모량은 풍속에 따라 변동한다. 통상 무효전력의 소모를 보상하는데 커패시터뱅크를 사용하지만 이는 스위치의 개폐 동작에 따른 서지현상으로 과전압에 의해 아크 또는 과열이 일어난다. 이러한 문제점을 해결하고자 최근에는 3상 인버터를 이용한 실시간 무효전력보상기가 개발되어 일부 사용되고 있다.

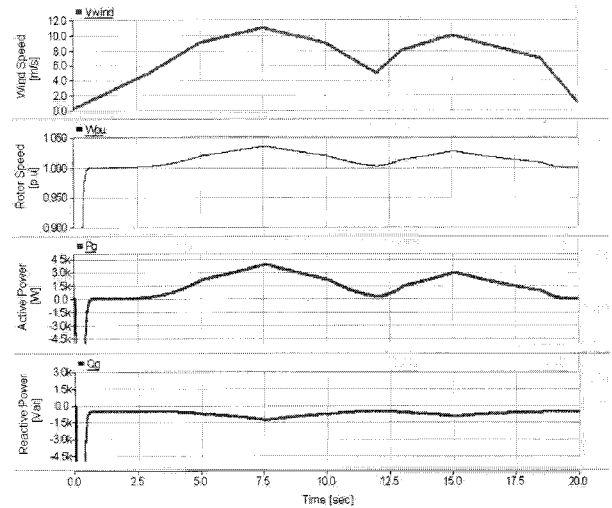


그림 2 풍속에 따른 유도발전기의 유·무효전력 변동
Fig. 2 Active and reactive power variation with respect to wind velocity

3. 유·무효전력 보상기

3.1 시스템 구성 및 제어

그림 3은 본 논문에서 기술하고 있는 유·무효전력 보상기와 제어기의 구성을 연계계통을 포함하여 상세하게 나타낸 것이다. 풍력 시스템은 계통과 직접연계가 되어있고 유·무효전력 보상기가 변압기와 리액터를 통해 병렬로 연결되어있다. 유·무효전력 보상기는 3상 인버터와 양방향 DC/DC 컨버터, 수퍼커패시터로 이루어져 있다. 발전기 측과 보상기 측 그리고 DC/DC 컨버터측에 전류, 전압을 검출하기 위한 세 개의 전류센서와 전압센서 그리고 DC링크 전압센서를 필요로 한다.

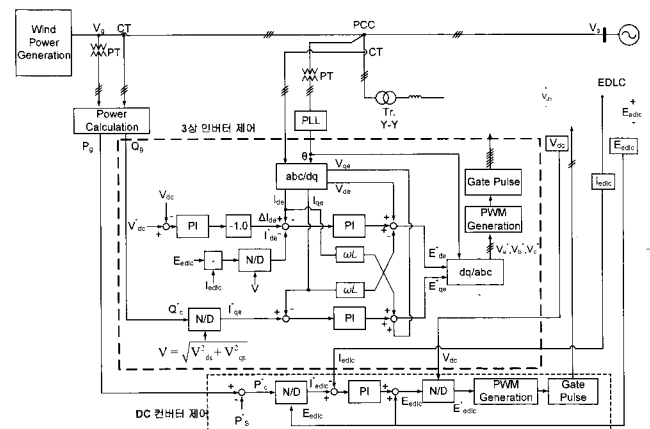


그림 3 유·무효전력 보상기의 구성
Fig. 3 Configuration of active and reactive power compensator

전체시스템의 제어는 크게 유·무효전류를 제어하는 인버터제어와 에너지저장의 충·방전을 제어하는 DC 컨버터 제어로 구분할 수 있다. 인버터의 유효전류제어는 DC링크제어와 연관되어 있는데 먼저 DC 커패시터의 전압 V_{dc}를 측정

하여 기준 값 V_{dc}^* 와 비교하여 PI 제어기를 통해 ΔI_{dc}^* 를 생성한다.

$$\Delta I_{dc}^* = -(V_{dc}^* - V_{dc})(K_P + \frac{K_I}{s}) \quad (1)$$

이 값은 슈퍼커패시터의 유효전력으로부터 구한 I_{dc}^* 와 합쳐져 발전기의 d축 전류 I_{dc} 와 비교하여 PI 제어기와 q축 성분전류 I_{qe} 의 외란성분과 합쳐진 후 연계점의 d축 성분전압 V_{de} 와 더해져 인버터의 d축 기준전압 E_{de}^* 를 생성한다.

$$I_{dc}^* = \frac{E_{edc} \times I_{edlc}}{V} \quad (2)$$

$$E_{de}^* = (\Delta I_{dc} - I_{dc}^* - I_{dc})(K_P + \frac{K_I}{s}) - \omega L I_{qe} \quad (3)$$

무효전류제어는 보상무효전력의 기준값을 연계점의 교류 전압 V 로 나누어 기준값 I_{qe}^* 를 만들고 이를 실제 q축 전류 I_{qe} 와 비교하여 PI 제어기와 d축 성분전류 I_{dc} 의 외란성분과 합쳐진 후 연계점의 q축 성분전압 V_{qe} 와 더해져 인버터의 q축 기준전압 E_{qe}^* 를 생성한다.

$$I_{qe}^* = \frac{Q_g}{V} = \frac{Q_c^*}{\sqrt{V_{ds}^2 + V_{qs}^2}} \quad (4)$$

$$E_{qe}^* = (I_{qe}^* - I_{qe})(K_P + \frac{K_I}{s}) + \omega L I_{dc} \quad (5)$$

이렇게 구해진 기준전압 E_{de}^* , E_{qe}^* 는 역변환을 거쳐 3상성분의 기준전압으로 변환되어 PWM 발생기에 보내져 인버터가 출력전압을 생성하는데 필요한 게이트펄스를 발생한다.

DC 컨버터제어는 발전기가 공급하는 유효전력 P_g 와 계통으로 공급할 기준유효전력 P_s^* 를 비교한 후 그 차 P_c^* 를 구하여 유효전력의 보상기준으로 총·방전을 제어한다.

$$P_c^* = P_g - P_s^* \quad (6)$$

이 기준전력 P_c^* 를 슈퍼커패시터의 전압 E_{edlc} 로 나누어 슈퍼커패시터에 흐르는 기준전류값 I_{edlc}^* 를 만들어 실제 측정된 슈퍼커패시터의 전류 I_{edlc} 와 비교하여 PI 제어기를 거친다. 그런 후 이 값은 피드포워드된 슈퍼커패시터의 전압 E_{edlc} 와 합쳐진 후 DC 링크전압으로 나누어 단위크기로 환산한 후 PWM 발생기를 거쳐 DC 컨버터의 출력전압생성에 필요한 게이트펄스를 생성한다.

$$I_{edlc}^* = \frac{P_c}{E_{edlc}} \quad (7)$$

$$E_{edlc}^* = \frac{(I_{edlc}^* - I_{edlc})(K_P + \frac{K_I}{s}) + E_{edlc}}{V_{dc}} \quad (8)$$

3.2 계통연계형 PWM컨버터

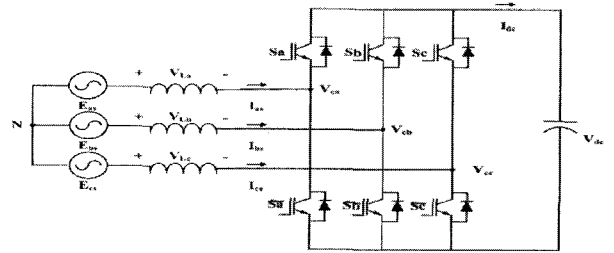


그림 4 3상 계통연계 PWM 컨버터

Fig. 4 PWM converter interconnected with 3-phase source

그림 4는 계통연계형 3상 PWM컨버터의 전력회로를 나타낸 것이다. 6개의 전력용 스위칭소자, DC 링크, 3개의 커플링리액터로 구성되어있다. 초기에는 전원전압 E_s 에 의해 공급되는 전류는 다이오드를 통해 DC 링크로 공급되며, DC 링크에는 일정직류전압이 충전되고, 충전이 끝나면 다이오드는 모두 역으로 바이어스 된다. 이때 커플링 리액터의 승압 기능에 의해 컨버터의 단자전압은 입력전압보다 높은 값을 가진다. 따라서 매 순간 한 쌍의 스위칭소자를 동작시키면 리액터 L 에 걸리는 전위차에 의해 전류가 리액터와 DC링크 사이를 흐른다. 스위칭 소자는 PWM 변조방식으로 컨버터 단자전압의 크기와 위상을 제어하고, 전원전류 I_s 의 고조파 성분을 저감하고 단위역률이 되도록 DC링크전압 V_{dc} 가 일정하도록 제어한다. 결과적으로 3상 교류전원으로부터 리액터를 매개로 컨버터 입력 단에 교류전력으로 전달되며 이 교류전력은 PWM컨버터에 의해 직류전력으로 변환되어 DC 링크에 에너지를 축적한다. 각 상의 전압은 식(9)을 만족하며 또한 입력전류 I_s 와 리액터에 걸리는 전압 V_L 은 다음 관계가 성립한다.

$$\vec{E}_s = \vec{V}_L + \vec{V}_c \quad (9)$$

$$V_L = j\omega L I_s \quad (10)$$

여기서, 전원전압 E_s 는 고정값이고 V_L 은 컨버터의 출력전압 V_c 에 의해 결정된다.

$$\vec{V}_L = \vec{E}_s - \vec{V}_c \quad (11)$$

V_L 이 양의 값으로 되면 교류입력전류 I_s 가 교류전원 측에서 컨버터 측으로 흐르고, 역으로의 V_L 값이 음의 값이면 I_s 의 방향이 반전되어 전력이 컨버터 측에서 교류전원 측으로 흐른다.

3.3 2상한 DC/DC 컨버터

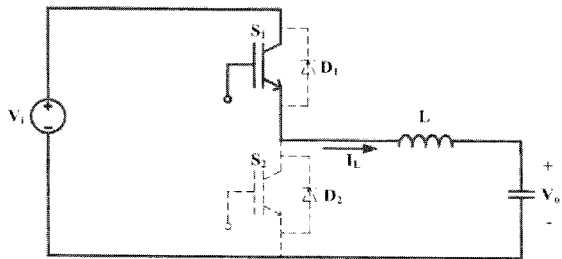
2상한 DC/DC 컨버터는 에너지저장의 총·방전을 제어하는 장치로 충전동작을 할 때는 Buck 컨버터, 방전동작을 할 때는 Boost 컨버터로 동작한다. 2상한 초퍼에서 충전과 방전 시의 입력전압과 출력전압은 다음 관계를 갖는다.

$$V_o = DV_i \quad (12)$$

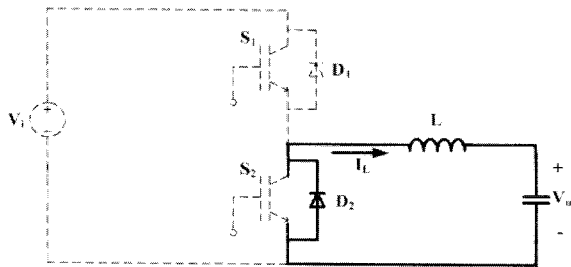
$$V_o = \frac{V_i}{(1-D)} \quad (13)$$

여기서, V_o : 출력전압, V_i : 입력전압, D : 통류율(duty ratio) 이다.

수퍼커패시터의 충전 동작은 그림 6(a)에서 스위치 S_1 이 닫혀 전류 I_L 은 S_1 , 인덕터 L 을 통해 흐른다. 그리고 그림 6(b)에서 스위치 S_1 과 S_2 가 모두 OFF되면 역 다이오드 D_2 와 인덕터 L 에 의해 환류한다.



(a) S_1 : ON, S_2 : OFF

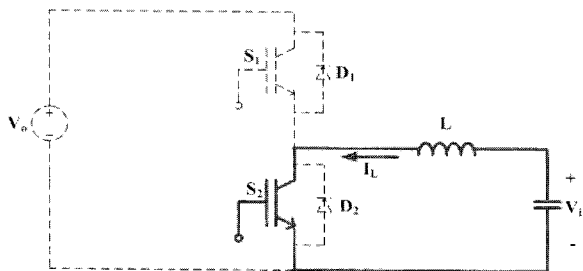


(b) S_1 : OFF, S_2 : OFF

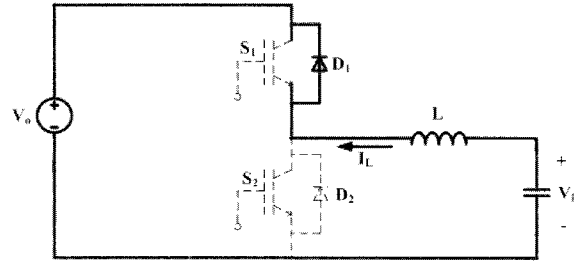
그림 6 충전동작 모드

Fig. 6 Charging operation mode

수퍼커패시터의 방전 동작은 그림 7(a)와 같이 스위치 S_2 가 닫혀 전류 I_L 은 S_2 , 커패시터, 인덕터 L 을 통해 흐르게 되고, 그림 7(b)와 같이 스위치 S_1 과 S_2 가 모두 OFF되면 역 다이오드 D_1 에 의해 전류가 흐르게 된다.



(a) S_1 : OFF, S_2 : ON



(b) S_1 : OFF, S_2 : OFF

그림 7 방전동작 모드

Fig. 7 Discharging operation mode

3.4 수퍼커패시터 용량산정

수퍼커패시터의 용량은 풍력발전기의 보상용량과 전력변환기의 효율을 85%로 가정하여 정하였다. 이럴 경우 총 전력량 W_L 과 충·방전 전력량 W_C 는 다음 수식으로 정해진다.

$$\text{총 전력량 : } W_L [J] = \frac{P_c}{0.85} \times t \quad (14)$$

$$\text{충·방전 전력량 : } W_C [J] = \frac{C}{2} \times (V_1^2 - V_2^2) \quad (15)$$

여기서, P_c 는 보상전력, t 는 보상시간, V_1 은 최대전압, V_2 는 최소전압을 나타낸다.

그런데 $W_L = W_C$ 이어야 하므로 수퍼커패시터의 용량은 다음 식으로 정의된다.

$$C = \frac{W_L \times 2}{(V_1^2 - V_2^2)} \quad (16)$$

실험에 사용한 수퍼커패시터는 내부 저항이 작은 맥스웰사의 제품이고 그 용량은 위의 관계식으로 산정하였다. 그런데 내부 저항이 작으면 순간적으로 큰 전류를 충·방전하는 것이 가능하다. 또한 다양한 분석과 외부요소에 의한 변동을 고려하여 식 (16)에 의해 구한 계산용량의 3배 정도 값을 사용하였다.

4. 시뮬레이션

제안하는 보상에 의한 농형유도 풍력발전시스템의 유·무효전력보상특성을 해석하기위해 PSCAD/EMTDC에 의한 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 대상은 3상 220V, 3.7kVA의 농형유도 풍력발전시스템으로 하였으며 농형유도 풍력발전에서 발생하는 무효전력을 보상하고 계통으로 일정 유효전력을 보내는 것으로 가정하였다. 시뮬레이션에 사용된 회로정수는 표 1에 나타나 있다.

표 1 시뮬레이션 회로정수

Table 1 Circuit Parameters of Simulation Model

전원 전압	220V
전원 주파수	60Hz
발전기 정격	220V, 3.7kVA
DC링크 커패시터	6600 μ F
변압비	220V:220V, Y-Y
계통연계형 리액터	5mH
DC/DC연계형 리액터	1mH
수퍼커패시터	6F

풍력터빈에 공급되는 풍속은 그림 2에 나타난 임의의 풍속을 사용하고 이 터빈이 발전기에 공급하는 토크는 풍력터빈의 특성을 나타내는 수리모형을 이용한 사용자정의 모델을 사용하였다. 그리고 발전기, 보상기, 전력계통과 관계된 전력회로는 PSCAD/EMTDC에서 제공하는 내장모델을 사용하였다. 그리고 수퍼커패시터의 충·방전을 제어하는데 필요한 DC/DC 컨버터와 인버터의 제어는 C 언어로 프로그램한 사용자모델을 사용하였다.

그림 8에서 10은 시뮬레이션에 대한 결과 파형을 나타낸 것이다. 유·무효전력과 전류의 측정방향은 그림 3에 나타나 있다. 그림 8은 5초에서 보상기를 투입하였을 때 계통으로 보내는 전력을 1.5kW로 일정하게 보상하는 모습을 나타낸다. 이 때 DC링크 전압이 안정적으로 제어됨을 확인할 수 있고 수퍼커패시터에 흐르는 실제전류가 기준 전류값을 추종함을 확인할 수 있다.

그림 9는 보상기의 수퍼커패시터가 계통으로 전력을 일정하게 보내면서 최대전압 범위 안에서 충·방전하는 모습을 나타낸다. 그림 10은 유효전력을 제어함과 동시에 실시간으로 무효전력을 보상하는 동작을 나타낸 것이다. 이때 계통 측의 역률은 1로 보상되고 있음을 알 수 있다.

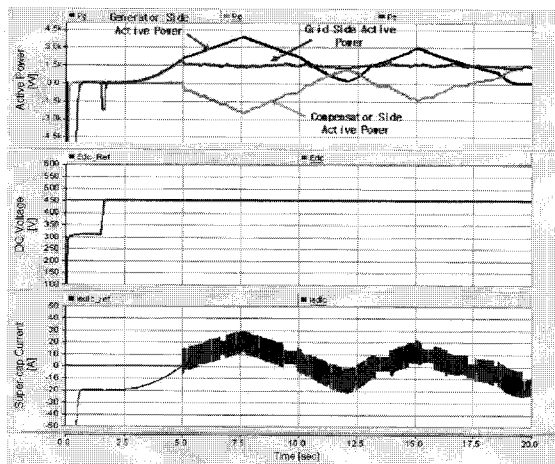
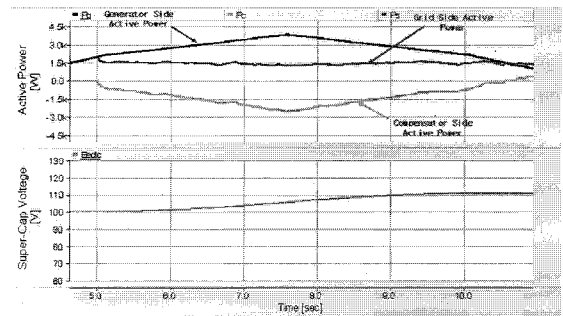
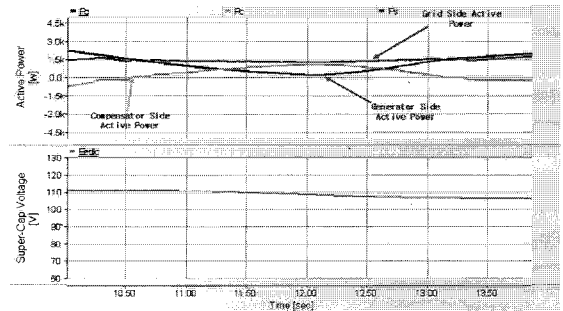


그림 8 유효전력 보상, DC링크 전압, 수퍼커패시터 기준 전류값에 대한 실제전류

Fig. 8 Active power compensation, DC-link voltage, supercapacitor reference current and actual current



(a) 충전시



(b) 방전시

그림 9 충·방전 시 유효전력보상 및 수퍼커패시터 전압
Fig. 9 Active power compensation and supercapacitor voltage in charging and discharging

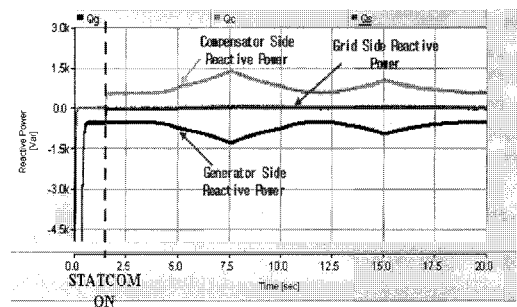


그림 10 무효전력 보상
Fig. 10 Reactive power compensation

5. 하드웨어 제작 및 실험

유·무효전력보상기가 농형유도 풍력발전과 연계되어 동작할 때의 성능을 실험적으로 분석하기 위해 농형유도전동기와 농형유도발전기로 구성된 풍력시뮬레이터와 3상 인버터, DC/DC컨버터, 수퍼커패시터로 구성된 유·무효전력 보상기를 실험실에서 제작하여 실험을 실시하였다. 그림 11은 제작된 실험장치의 실물사진을 보인 것이다. 이 실험장치의 하드웨어 회로정수는 표 2와 같다.

실험에 사용된 제어보드는 TI(Texas Instrument)사에서 개발한 실수형 프로세서인 DSP(TMS320vc33-150)와 Altera사에서 개발한 100,000 게이트인 EPLD(EP1K100QC208)를 사용하였으며 그밖에 ADC 24ch, DAC 4ch, Digital Input 4ch, Digital Output 4ch, Encoder pulse input 1 module, RS232 port 1개 RS485 port 2개로 구성되어 있다.

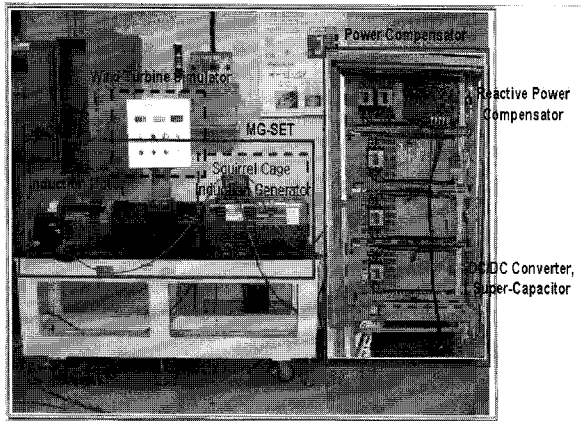


그림 11 농형유도 풍력발전과 개발된 보상기의 하드웨어 실험장치
 Fig. 11 Hardware test set for squirrel cage induction generator and developed compensator

TMS320vc33은 TI사의 저가의 산업용 DSP로서 150MHz의 clock source를 사용하며 Instruction cycle은 13.3nsec로 150MFLOPS의 성능을 가지므로 PWM 컨버터를 제어하는 프로그램을 짧은 시간에 수행하기 적합하다. 메모리는 내부에 1.1Mbit SRAM이 내장되어 있으며 4개의 외부 인터럽트와 타이머 인터럽트 2개를 가지고 있다. 그리고 SPI serial interface를 지원한다.

EPLD(EPIK100QC208)에는 Address decoding logic, 2-set PWM logic, protection logic, ADC control logic 등으로 구성되어 있다. ADC는 24ch를 받을 수 있으며 4ch씩 동시 샘플링이 가능하다. 그러므로 하나당 2.5μs씩 총 10μs의 변환시간이 소요된다. 즉, Analog를 Digital로 바꾸는데 10kHz 제어 주기 시 90μs의 여유시간이 있는 것이다. DAC는 Debugging용으로 8ch이 있다. Digital Input 8채널과 Digital Output 8채널은 외부 Relay를 구동하는데 사용되며 사용자 Interface용으로 사용된다.

풍력시뮬레이터로 사용되는 Motor-Generator 세트는 속도와 토크운전이 가능하도록 설계되어 있는 장치로 풍력터빈을 구현하는 전동기를 구동시키기 위해서는 별도의 HMI(Human Machine Interface)프로그램이 필요하다. 이 화면을 이용하여 임의의 풍속을 입력하여 터빈이 발생하는 토크특성을 출력할 수 있고, 이 토크 값이 RS-232통신으로 유도전동기의 벡터구동장치에 보내져 발전기에 해당 출력을 공급한다.

그림 12에서 15는 제작된 실험세트를 이용한 실험결과에 대한 파형을 나타낸 것이다. 유·무효전력과 전류의 측정방향은 그림 3에 나타나 있다.

그림 12는 1.5kW로 유효전력을 보상 하였을 때의 각 부분유효전력 파형이다. 발전기 측 유효전력이 발생하였을 때 이에 대한 보상기 측 유효전력이 발생하여 계통 측 유효전력을 1.5kW로 일정하게 유지시켜 주고 있다. 이 때 DC링크 전압은 일정하게 유지 하고 있다.

그림 13은 슈퍼커패시터에 흐르는 전류가 기준값을 추종함을 보여준다. DC/DC 컨버터 스위치 ON시 실제 전류가 기준 전류값을 추종함을 확인할 수 있다.

표 2 하드웨어 실험장치 회로정수

Table 2 Circuit parameters for hardware test set

연계 계통	전압	220V
	주파수	60Hz
DC/DC 컨버터	슈퍼커패시터 뱅크	52F
	IGBT	$I_c=75A, V_{ce}=1200V$
	DC 리액터	1mH
	스위칭주파수	10kHz
3상 인버터	IGBT	$I_c=75A, V_{ce}=1200V$
	직류커패시터	6600μF
	스위칭 주파수	10kHz
연계용 리액터		5mH
계통연계용 변압기	권수비	220:220
	용량	5kVA
MG-set	모터 정격용량	220V, 7.5kW
	모터 정격속도	1750rpm
	발전기 정격용량	220V, 3.7kW
	발전기 정격속도	1200rpm
Super-capacitor	정전용량	2600F
	정격전압	2.7VDC

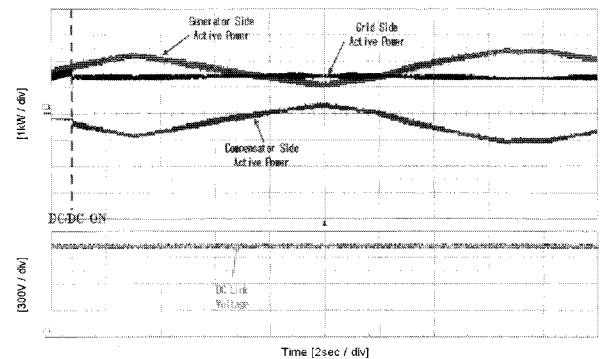


그림 12 유효전력 보상과 DC 링크 전압
 Fig. 12 Active power compensation and DC-link voltage

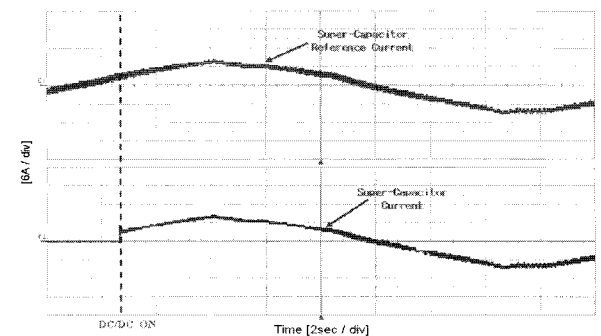


그림 13 슈퍼커패시터의 기준전류와 측정전류
 Fig. 13 Reference current and measured current of supercapacitor

그림 14는 충전구간과 방전구간에서의 유효전력 보상기의 동작을 나타낸 것이다. 1.5kW의 유효전력을 계통으로 일정하게 보내는 것과 동시에 수퍼커패시터의 전압이 상승 또는 하강하는 것을 알 수 있다.

그림 15는 보상기의 수퍼커패시터가 계통으로 전력을 일정하게 보내면서 최대전압 범위 안에서 충·방전하는 모습을 나타낸다.

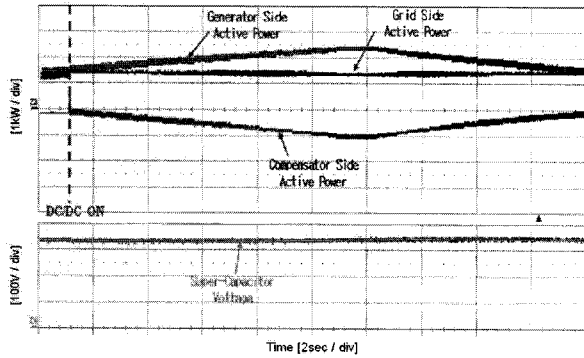
6. 결 론

본 논문에서는 풍속의 변동에 따라 농형유도발전기가 소모하는 무효전력과 생산하는 유효전력의 변동을 실시간으로 보상하는 보상장치를 제안하였다.

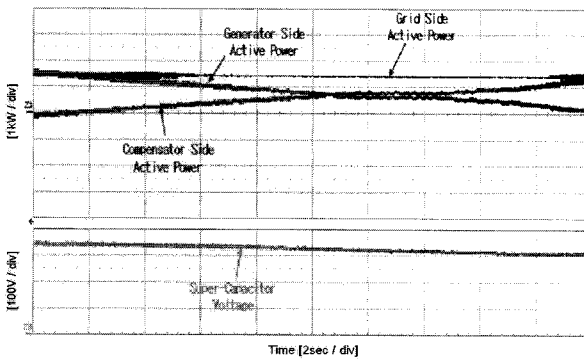
제안하는 유·무효전력보상장치는 발전기 측에서 발생하는 무효전력은 3상인버터를 무효전력 보상기로 동작하여 실시간 보상을 하고 유효전력은 DC/DC 컨버터와 수퍼커패시터를 통해 보상 하도록 설계하였다. 제안하는 시스템의 동작은 PSCAD/EMTDC 소프트웨어로 시뮬레이션모형을 개발하여 확인하였고, 실질적인 성능검증은 하드웨어모형을 제작하고 실험을 통해 실시하였다.

또한 실험에 사용된 풍력발전시스템은 유도전동기와 농형유도발전기로 이루어진 하드웨어시뮬레이터로, 별도로 개발한 HMI 프로그램에 의해 풍속데이터를 입력받아 특정 풍력터빈의 토크를 소프트웨어적으로 산출한 후 유도전동기드라이브에 통신으로 공급하여 유도전동기가 풍력터빈과 유사한 축 토크를 유도발전기에 전달하도록 제작되어있다.

본 논문에서 개발한 유·무효전력보상장치는 농형유도 풍력발전에서 급작스런 풍속변동이나 Tower Effect 등에 의한 순간 전력강하를 보상하는데 유용하다. 또한 풍력발전뿐만 아니라 향후 DC Micro-Grid에 에너지저장장치로써 수퍼커패시터를 이용하는 등 여러 분야에서 활용될 수-있을 것으로 보인다.



(a) 충전 시



(b) 방전 시

그림 14 충·방전 시의 유효전력 및 수퍼커패시터 전압
Fig. 14 Active power compensation and supercapacitor voltage ischarging

감사의 글

본 논문은 지식경제부(과제번호 R-2007-1-105-03)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 송승호, 김일환, 한 병문, “풍력발전기의 전기적 특성과 계통연계시 상호작용”, 전력전자학회지, 제8권 제6호, 2003. 12, pp. 21 ~ 27 (7pages)
- [2] L H Hansen, et al, “Conceptual Survey of Generators and Power Electronics for Wind Turbines”, Technical Report, Riso Nat. Lab., Denmark, 2001
- [3] 한병문, 이범규, 전영수, 이광열, “유도발전기식 풍력발전 시스템의 STATCOM 적용 타당성 분석”, 대한전기학회논문지, v.53, no.6, pp.309-315, 2004년 6월
- [4] D Seyoum, C Grantham, and F Rahman “The Dynamic Characteristics of an Isolated Self-Excited Induction Generator Driven by A Wind Turbine”, IEEE Trans. Vol 39, No 4, pp 936~944 2003.
- [5] R Leidhold and G. Garcia, “Variable Speed Field-Oriented Controlled Induction Generator” IEEE IAS Annual Meeting Conference, Vol 1, pp 540~546, 1998
- [6] M. Lu, C. Chang, W. Lee, L. Wang, “Combining the Wind Power Generation System with Energy Storage

그림 15 무효전력보상과 DC링크 전압
Fig. 15 Reactive power compensation and DC-link voltage

Equipments", IEEE IAS Annual Meeting, pp. 1-6, Oct. 2008.

- [7] N.P.W.Strachan, D. Jovicic. "Improving wind power quality using an integrated Wind Energy Conversion and Storage System(WECSS)", IEEE PES GM, pp. 1-8, July. 2008.
- [8] M. Nomura, K. Yamashita, "Performance of Inverter with Electrical Double Layer Capacitor for Vector Controlled Induction Motor Drives", IEEE IAS Annual Meeting, vol. 2, pp. 1073-1080, Oct. 2005.
- [9] T. Kinjo, T. Senjyu, K. Uezata, and H. Fujita, "Output Leveling of Wind Power Generation System by EDLC Energy Storage System", Trans. on Electrical Engineering in Japan, Vol. 154, No.4, 2006.

저 자 소 개



한 병 문 (韓炳文)

1976년 서울대 전기공학과 졸업.
 1988년 미 아리조나 주립대 대학원 전기공학과 졸업(석사).
 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박).
 미 Westinghouse 중앙연구소 선임연구원
 현재 명지대학교 전기공학과 교수
 Tel : 031-330-6366
 Fax : 031-330-6816
 E-mail : erichan@mju.ac.kr



양 승 철 (梁承哲)

1981년 12월 22일생.
 2007년 명지대 전기공학과 졸업.
 2007년 동 대학원 전기공학과 입학.
 2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사)
 현재 헥스파워시스템 연구원
 E-mail : chulyi@hex.co.kr



이 지 현 (李知憲)

1983년 12월 19일생.
 2008년 명지대 전기공학과 졸업.
 2008년 동 대학원 전기공학과 입학.
 Tel : 031-335-6563
 Fax : 031-330-6816
 E-mail : pho1234@mju.ac.kr



심 명 보 (沈命普)

1983년 4월 15일생.
 2008년 명지대 전기공학과 졸업.
 2008년 동 대학원 전기공학과 입학.
 Tel : 031-335-6563
 Fax : 031-330-6816
 E-mail : jebullse@mju.ac.kr



이 혜 연 (李慧妍)

1984년 8월 25일생.
 2008년 명지대 전기공학과 졸업.
 2008년 동 대학원 전기공학과 입학.
 Tel : 031-335-6563
 Fax : 031-330-6816
 E-mail : hyeyeon825@mju.ac.kr