

분산전원용 1MW급 권선형유도발전기 제어

박정우*, 이기욱*, 김동욱*, 염기대**, 이광수**, 박진순**

*한국전기연구원, **한국해양연구원

Control of a 1MW-class Doubly-fed Induction Generator for Distributed Resources

Jungwoo Park, Kiwook Lee, Dongwook Kim, Kidai Yum, Kwangsoo Lee, Jinsoon Park

*KERI, **KORDI

ABSTRACT

국내에서 대체에너지 공급 비율을 보면 청정에너지로 분류할 수 있는 태양열에너지, 태양광 에너지, 풍력에너지를 모두 합하여 대체에너지의 10% 이하이며, 대체에너지 비율의 90% 이상을 폐기물로부터 얻은 에너지가 차지하고 있는 실정이다.

신재생에너지원에는 여러 종류가 있지만 해양에너지원에 대해 대상을 설정하고 이에 대한 부존량을 살펴보면 진도 주변의 해역에서 조류발전 부존량이 약 362만 kW가 되며, 시화호와 새만금 등지에서의 조력발전 부존량이 650만 kW, 동해안 후포 연안을 비롯한 파력발전 부존량이 20만 kW가 되는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 해양에너지를 실용화하기 위한 연구가 국내외에서 연구되고 있다.

본 논문은 권선형유도발전기를 갖는 조류발전 시스템을 대상으로 연구한 결과로 권선형유도발전기를 제어하기 위한 전력변환장치 개발과 관련한 내용이다.

신재생에너지원이 발전 단가 측면에서 경제성을 갖기 위해서 발전기 용량은 5MW 급까지 대용량화 되어 있는 단계이지만 국내에서는 아직 MW급 이상이 되는 권선형유도발전기와 권선형유도발전기를 제어하는 전력변환장치에 대한 연구 실적이 없는 상황이다.

이에 본 논문에서는 1MW급의 권선형유도발전기에 대한 개발 사례를 소개하면서 유효전력제어, 역률제어 특성과 운전 속도에 따라 변동되는 회전자 측에서의 피상전력 제어 특성에 대해 고찰하고자 한다.

1. 서론

대체에너지는 태양에너지, 풍력, 조력, 조류력, 소수력, 지열, 폐기물에너지, 연료전지 등 지속 가능하고 재생 가능한 환경친화적인 청정에너지로서 화석에너지 고갈과 UN 기후변화협약 이후 국제 환경규제 강화로 향후 주요

에너지원으로 부상할 전망이다.

국내에서 대체에너지 공급 비율을 보면 청정에너지로 분류할 수 있는 태양열에너지, 태양광 에너지, 풍력에너지를 모두 합하여 대체에너지의 10% 이하이며, 대체에너지 비율의 90% 이상을 폐기물로부터 얻은 에너지가 차지하고 있는 실정이다.

특히 해양에너지 개발 측면에서 부존량을 살펴보면, 조류에너지는 진도 주변의 해역에서 약 362만 kW가 되고, 조력은 650만 kW, 파력은(동해안 후포연안) 20만kW가 되는 것으로 조사된 바 있다.

이에 따라 해양수산부에서는 Ocean Korea 21에서 2010년까지 조류, 조력, 파력에너지에서 87만 kW의 전력을 생산하며, 2단계 (2011-2020)까지는 162만 kW를, 그리고 3단계(2021-2030)까지는 264만 kW의 전력을 생산한다는 계획 하에 해양에너지 개발사업이 진행되고 있다.

해양에너지 개발에 대한 기술수준은 아직 국내외적으로 태동기에 머물러있는 단계이지만 풍력분야에서의 기술이 곧바로 접목 될 수 있는 것이기 때문에 유속조건이 양호하고 구조물 시공비가 적게 소요되는 곳에서부터 발전되고 있으며 발전기 역시 풍력에서와 마찬가지로 시스템가격을 저렴화할 수 있는 권선형유도발전기가 유력한 후보이다.

권선형유도발전기의 특징은 발전기 정격 출력에 상당하는 전력변환 장치 즉 1 power unit (p.u.)의 용량을 갖는 전력변환장치를 필요로 하지 않고 변동되는 터빈 속도의 범위에 따라 변동되지만 보통 정격속도의 $\pm 30\%$ 이내에서 변동된다고 할 때 0.3p.u. 용량의 전력변환 장치로 1p.u.의 발전기 출력을 제어할 수 있는 장점이 있다.

따라서 본 논문에서는 1MW급의 권선형유도발전기에 대한 개발 사례를 소개하면서 유효전력제어, 역률제어 특성 등을 제시하였고 피상전력의 특성과 운전영역에 대한 새로운 관계성과 회전자측에서의 역률 특성을 처음으로 제시하고자 한다.

2. 전력변환장치

권선형유도발전기와 전력변환장치를 갖는 조류발전 시스템 구성도를 그림1에 나타내었다. 권선형유도발전기 제어하기 위한 유효전력제어와 역률제어, 그리고 직류전압 일정제어에 대한 방식은 참고문헌^{[1]-[5]}에서 제시한 방법을 참조하였다. 전력변환장치는 Back-to-Back 구조를 갖는 power-stack 를 갖도록 설계하였으며, 직류링크 전압은 1100V로 제어되도록 승압형 컨버터로 설계하였다. 또한 전력변환장치를 구성하는 인덕터와 필터용 커패시터, 그리고 crow-bar에 대한 설계, 계통연계보호장치, 인터넷기반형 원격감시 장치에 대한 설계 과정을 거쳐 전력변환장치를 개발하였다.

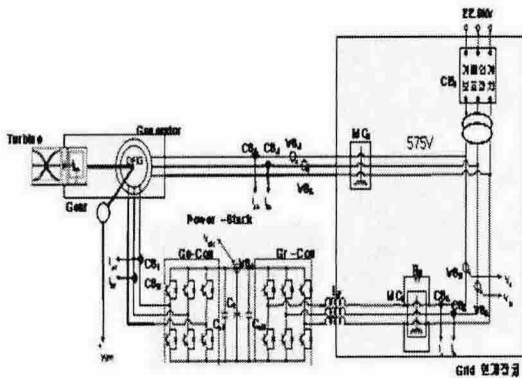


그림 1 권선형유도발전기와 전력변환장치를 갖는 조류발전시스템 구성도
Fig. 1 The tidal power plant with a DFIG and electrical energy converter

3. 시험 결과

전력변환장치 시제품을 그림2에 나타내었다. 전력변환장치를 평가하기 위해 사용된 권선형유도발전기의 등가정수는 표1과 같으며 발전기는 그림3에 나타내었다.

그림4와 그림5는 고정자 권선의 유효전력과 무효전력을 임의로 제어할 수 있음을 보이는 제어 특성이다. 유효전력과 무효전력 제어 평면에서 4상한 운전이 제어됨을 알 수 있다. 유효전력기준값에 따라 전동기 모드와 발전기 모드 2 영역에서 제어가 양호하게 수행됨을 알 수 있으며 무효전력 기준값에 따라 전류위상을 진상 혹은 지상으로 제어가 잘 수행됨을 알 수 있다.

그림6, 7, 8은 역률제어 특성을 보여 주고 있다. 발전기 회전자측, 발전기 고정자측, 그리고 계통측 컨버터출력 단에서 제어되는 특성을 볼 수 있는데 발전기 고정자측과 계통측 컨버터출력 측에서

의 역률은 1로 직접제어하기 때문에 1 혹은 -1에 근접되도록 제어가 양호하게 이루어진다는 것을 알 수 있다. 그렇지만 발전기 회전자 측의 역률은 직접 제어하지 않는 관계로 고정자 측으로 발전되는 에너지 크기 즉 유효전력 크기가 정격 용량에 따라 피동적으로 결정지워진다는 것을 새롭게 주목할 수 있으며 고정자 유효전력 기준치가 정격크기에 근접할수록 회전자 역률은 1에 가까워진다는 것을 알 수 있다. 따라서 수차에서 발생하는 기계적 출력이 떨어지는 영역에서는 회전자측으로 회생되는 에너지에 대한 전달 효율은 0.2 이하까지도 크게 떨어질 수 있음을 알 수 있다.

그림9는 회전자측에서의 피상전력 특성을 보이고 있다. 피상전력의 크기는 회전자 측에 붙어있는 전력변환장치 용량과 관계되는 파라미터이다. 고정자 측 유효전력 크기가 커질수록 회전자측의 피상전력도 상승됨을 알 수 있으며 한정된 전력변환장치를 고려할 때 슬립전력을 제어할 수 있는 속도 영역이 고정자측 유효전력 크기와 전력변환장치가 갖는 피상전력 사양으로 결정됨을 알 수 있다. 이러한 특성 때문에 고정자 유효전력 크기가 증가될수록 한정된 전력변환장치 용량로 운전 가능한 속도 영역이 좁아진다는 것을 알 수 있고 속도 영역을 넓히기 위해서는 전력변환장치의 피상전력 용량을 증가시켜야 한다는 것을 알 수 있는 새로운 특성이다.

그림10과 11은 고정자 권선으로 발전되는 전력과 회전자 권선으로 발전되는 전력의 합이 1.2MW가 되도록 하는 정격 조건(최대조건)에서 실험한 유효전력과 무효전력 제어 특성, 그리고 역률제어 특성을 보여주고 있다. 실험 파형으로부터 제어 품질과 수렴 특성 모두 양호함을 알 수 있다.

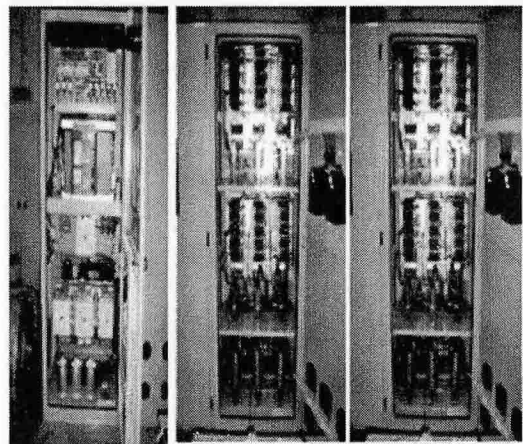


그림 2 권선형유도발전기 제어용 전력변환장치 시제품
Fig. 2 Prototype of an electrical converter for doubly-fed induction generator

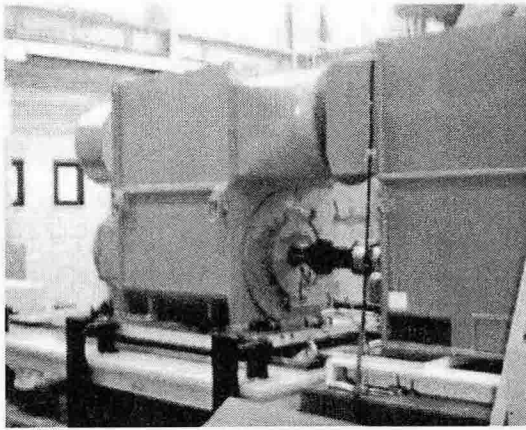


그림 3 실험에 적용된 1.5MW 권선형유도발전기
 Fig. 3 1.5MW doubly-fed induction generator adopted in the experiment

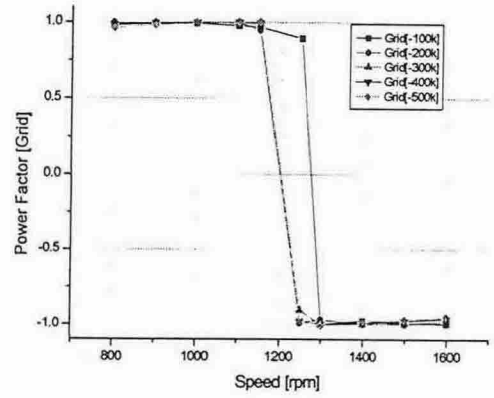


그림 6 계통측 컨버터의 역률제어 특성
 Fig. 6 Power factor characteristics at the grid side converter

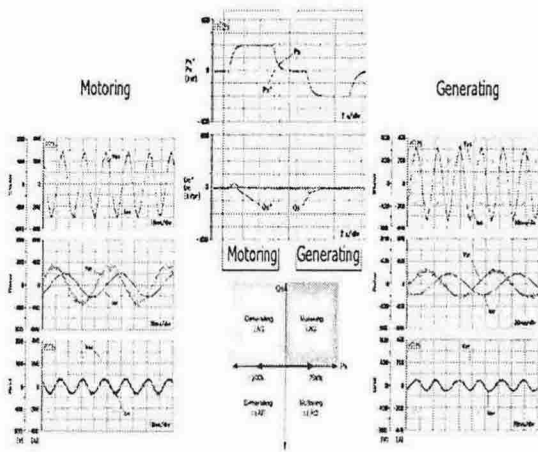


그림 4 DFIG의 유효전력 제어특성(@1440rpm)
 Fig. 4 Active power control characteristics of the DFIG (@1,400rpm)

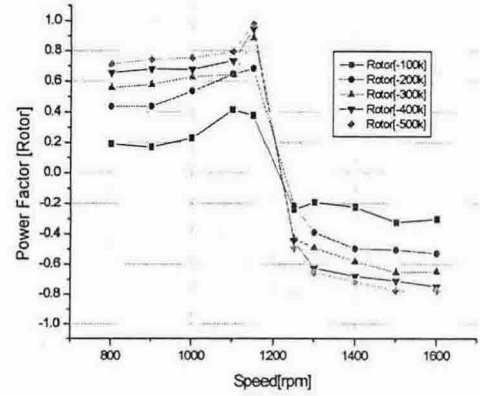


그림 7 발전기 회전자 측에서의 역률 특성
 Fig. 7 Power factor characteristics of the rotor side converter

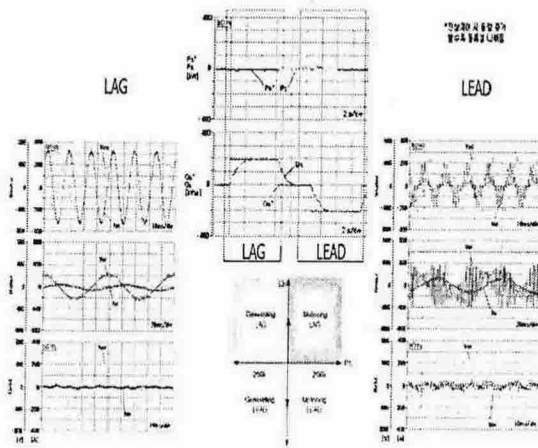


그림 5 DFIG의 무효전력제어 특성(@1440rpm)
 Fig. 5 Reactive power control characteristics of the DFIG (@ 1,400rpm)

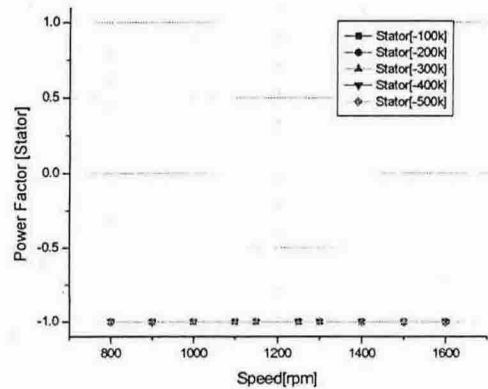


그림 8 발전기 고정자 측에서의 역률제어 특성
 Fig. 8 Power factor characteristics at the stator side

4. 결론

본 논문에서는 1MW급 준대용량 권선형유도발전기를 제어하는 전력변환장치를 개발한 사례를 소개하였다. 개발된 시제품의 일부하 실험을 통해 유효전력과 무효전력 평면에 대한 4상한 운전 특성, 역률제어 특성, 최대부하 조건에서의 제어 특성을 제시하였고 유효전력기준치와 피상전력과의 관계성과 회전자측 역률 관계성에 대한 새로운 특성을 제시하였다.

향후 울돌목에 설치하여 시범 조류발전소를 구축할 계획이며 현장적용 시험을 수행할 계획이다.

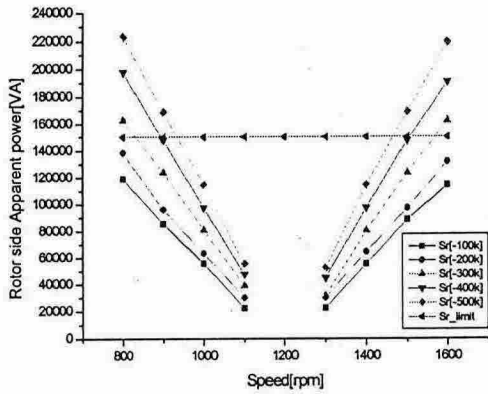


그림 9 고정자 유효전력 크기에 따른 회전자의 피상 전력 특성

Fig. 9 apparent power characteristics according to stator power magnitude

이 논문은 해양수산부의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] S. Muller, M. Deicke & Rik W. De Doncker, Doubly-Fed Induction Generator Systems for Wind Turbines, IEEE, 2002.
- [2] P. Pena, J. C. Clare, G. M. Asher, Doubly Fed Induction Generator using Back-to-Back PWM Converters and its application to Variable Speed Wind-Energy Generation. IEE. Proc-Electr. Power Appl, Vol. 143, No. 3, May, 1996.
- [3] S. Muller, M. Deicke, Rik W. De Doncker, Adjustable Speed Generators for Wind Turbines based-on Doubly-Fed Induction Machines and 4-Quadrant IGBT Converters Linked to the Rotor, IEEE, 2000.
- [4] A. Tapia, G. Tapia, J. X. Ostolaza, Reactive Power Control of a Wind Farm made up with Doubly Fed Induction Generators(I), IEEE, 2001.
- [5] Jung-Woo Park, Ki-Wook Lee, "Wide Speed Operation of a Doubly-fed Induction Generator for Tidal Current Energy", IECON'04, 11. pp., 2004.

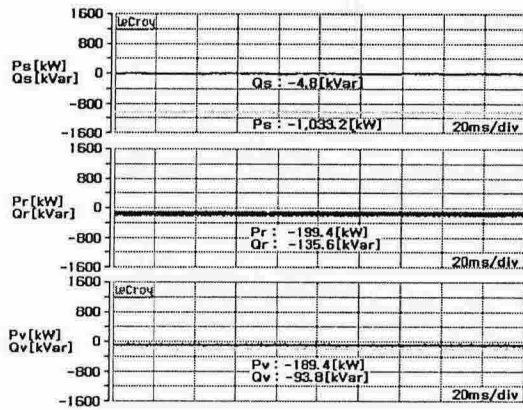


그림 10 1.2MW 발전전력 조건에서 관측한 전력 조류 특성

Fig. 10 power control characteristics under the 1.2MW generation condition (@1440rpm)

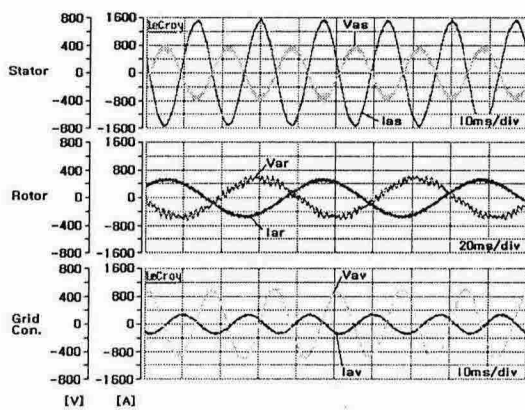


그림 11 1.2MW 발전전력 조건에서 관측한 역률제어 특성

Fig.11 power factor control characteristics under the 1.2MW generation condition (@1440rpm)