

동력저장장치를 이용한 풍력발전 보상 시스템 설계에 관한 연구

尹石岩, 車仁洙, 白亨來

A Study on Design of the Compensation System for Wind Energy Generation by Power Storage Apparatus

Suk-Am Yoon, In-Su Cha, Hyung-Lae Baek

요 약

기존의 풍력발전시스템은 풍속이 감소되면 블레이드가 저속으로 회전하기 때문에 보조발전의 도움이 없이는 자가 발전이 어려워서 한정된 풍속 조건에서만 작동이 가능하며, 풍속의 특성 때문에 풍력에너지의 이용효율이 대부분 매우 낮다는 문제점이 있다. 이와 같은 종래의 문제점을 해결하고 지역이나 지형에 크게 구애됨이 없이 풍속에 의해 발전이 이루어지다가 풍속의 저하로 출력된 전력이 적어지면 태엽에 저장된 회전에너지로 소형발전기를 운전하여 축전지에 전력을 저장하여 부하에 전력을 연속적으로 공급하게 한다.

본 논문에서는 동력저장장치와 풍력발전기로 구성된 시스템을 설계 제작하여 풍력발전의 보상을 위한 동력저장장치 시스템의 동작 특성을 분석하였다.

ABSTRACT

In conventional wind generation systems, since the blade rotates at low speed when the velocity of wind decreases their operations are possible only under limited conditions. Therefore they are in trouble of self-generation without the help of auxiliary generation devices outside. In addition, most of them have very low usage efficiency because of the characteristic changes of wind. For the solution of these problems and for enough generation regardless of districts and geographical features the rotation energy stored in a spring drives a compact generator and then electric power is stored at battery and supplied to the load continuously according to the lack of wind force.

In this paper, the fabricated system consisting of a wind generator and power storage apparatus was introduced and its operation characteristics were analyzed.

Key Words : Wind generator, Auxiliary generator, Power storage apparatus, Peripheral Interface Controller(PIC)

1. 서 론

최근 환경에 대한 세계적인 관심이 고조됨에 따라 인류 문명의 발달과정에서 가장 중요한 에너지원으로 인식되어 왔던 화석 연료가 환경 오염 물질의 주요 배출원으로 인식되면서 화석 연료에 대한 사용 제한의 필요성이 증대되고 있다. 또한, 생활 수준 향상 등에 따른 에너지 소비의 증가로 에너지는 환경 문제와 더불어 인류가 미래에 직면하게 될 가장 큰 문제로 인식되고 있다. 따라서 선진국을 포함한 여러 나라에서 풍

력, 태양광, 조력, 파력 등의 자연 에너지 및 메탄올, BIOGAS 등을 포함한 환경친화적인 에너지원의 개발 및 유효이용과 관련한 기술개발에 박차를 가하고 있으며, 특히 풍력은 미래의 에너지원으로서 각광을 받고 있으며 지속적인 연구를 수행하여, 현재는 수 MW급의 대형 풍력발전시스템의 실용화 단계에 있는 실정이다. 한편, 우리나라도 기후 변화 협약 등 환경 문제가 에너지 분야의 가장 큰 난제로 등장하면서 환경친화적인 에너지원의 유효 활용을 위한 관심이 고조되어 풍력발전에 대한 기술개발이 절실히 요구되고 있다.¹⁾

그러나, 바람이 갖는 속도의 크기나 방향은 상당히 동적인 특성을 지니고 있기 때문에 단시간의 풍황 자료만으로는 그 지역의 풍황 특성을 예측하기는 곤란하며, 동시에 그 지역에 가장 적절한 시스템의 설계에도 많은 제한을 갖게 된다.

현재, 풍력발전기와 태양광을 이용한 복합 풍력발전 시스템이 실용화 단계에 있으나 기후의 변화에 따라 태양광을 활용할 수 없을 경우에는 복합발전 방식도 연속적인 에너지를 얻을 수 없을 것이다. 어떤 기후 변화에도 연속적으로 에너지를 얻을 수 있는 동력저장 장치가 필요하다고 생각된다.

본 논문에서는 풍속이 저하됨에 따라 풍력발전기에서 출력된 전압이 작아 축전지에 충전된 전압을 연속적으로 사용할 수가 없기 때문에 동력저장장치와 풍력발전기로 구성된 시스템을 설계 제작하여 풍력발전기의 출력 보상을 위한 동력저장장치 시스템의 동작 특성을 분석하고 동력저장장치를 이용한 풍력발전 보상 시스템을 구성하였다.

2. 풍력에너지의 특성

풍력에너지의 크기는 바람의 속도와 밀접한 관계가 있다. 속도 V 로 통과면적 A 를 지나는 바람이 갖는 에너지의 총량은 다음과 같다.^[2]

$$P_w = \frac{1}{2} \rho C_p V^3 A \quad (1)$$

여기서, P_w : 풍력 에너지 총량 [W]

V : 풍속 [m/sec]

C_p : 풍력시스템의 출력 계수

A : 통과면적 [m^2]

ρ : 공기밀도 [kg/m^3]

여기서, P_w 의 에너지는 회전자에 의해 기계적인 동력으로 변환되는데 이상적인 회전자 통과 유동의 경우 즉, 각 운동량의 변화가 없고 회전자 끝의 간섭흐름이 없는 경우 변환효율을 표시하는 동력계수, C_p 는 0.593임을 Betz가 밝힌 바 있으나, 실제 회전자의 흐름은 이상적인 가정상태와는 다르게 공기의 점성에 의한 각 운동량의 손실과 회전자 끝의 간섭흐름 및 앞서가는

회전자의 후류에 의한 영향 등에 의해 동력계수 C_p 의 값은 회전자 및 운전상태에 따라 다르며 통상 0.35~0.5정도의 값만을 갖게 된다. 또한, 풍력발전시스템의 경우 기계적인 에너지를 전달해 주는 전달장치의 효율 η_m 가 포함되어야 하므로 실제로 이용 가능한 동력 P_e 는 다음 식 (2)와 같다.^{[3]-[5]}

$$P_e = C_p \eta_m \eta_g P_w = C_p \eta_m \eta_g \frac{1}{2} \rho V^3 A \quad (2)$$

또한, 실제 풍력발전시스템의 운전시에는 시스템의 기계적 관성, 마찰 및 전기적 손실 등에 의해 시동풍속 V_c 이상의 풍속에서만 시스템이 출력되고 정격풍속 V_R 에서의 정격출력 P_R 까지 V^3 에 비례하여 출력이 나타나며, 그 이상의 풍속에서는 시스템의 출력이 일정하게 유지된다. 또, 종단풍속 V_F 에서 시스템의 보호를 위해 출력을 멈추게 된다. 그림 1은 일반적인 풍력발전시스템의 출력 특성모델을 보이고 있다.

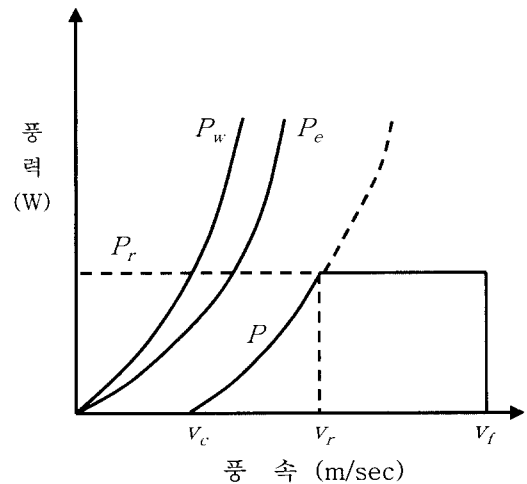


그림 1 풍력발전시스템의 출력 특성모델
Fig. 1 Output characteristic model of wind generation system

따라서, 이상의 확률밀도 분포와 풍속이 V 일 때의 순간적인 에너지의 양을 표시하는 식 (1)에 의해 통과면적 A 를 지나는 바람의 평균 에너지 $\overline{P_w}$ 는 다음과 같다.

$$\overline{P_w} = \frac{1}{2} \rho A \int_0^\infty V^3 P(V) dV \quad (3)$$

또한, 회전자의 동력계수, 기계적 전달효율 및 발전 효율 등이 포함되어 있는 식 (2)에 의해서 풍력발전시스템의 평균 풍력에너지 $\overline{P_e}$ 는 다음 식 (4)와 같다.

$$\overline{P_e} = \frac{1}{2} \rho A \int_0^\infty C_p \eta_m \eta_g V^3 P(V) dV \quad (4)$$

그러나, 식 (4)에는 실제 시스템의 효율 등은 고려되었으나 평균 출력에너지에 영향을 미치는 시스템의 운전특성은 고려되어 있지 않으므로 실제의 시스템 운전특성을 모델화한 그림 1에 의해 풍력발전시스템의 실제 평균 출력에너지 $\overline{P_e}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{P_e} = & \frac{1}{2} \rho A \int_{V_c}^{V_R} C_p \eta_m \eta_g V^3 P(V) dV \\ & + \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_g V_R^3 \int_{V_R}^{V_F} P(V) dV \end{aligned} \quad (5)$$

즉, 시동풍속 V_c 에서 정격풍속 V_R 까지는 V^3 으로 증가하며, 동력계수 및 각 효율은 풍속 V 와 회전자의 회전수에 관계하여 값이 결정되지만, 정격 풍속 V_R 에서 중단풍속 V_F 까지는 그림 1에서 보인 모델과 같이 풍력에너지가 일정하게 유지되므로 $C_p \eta_m \eta_g V_R^3$ 의 값은 풍속 V 에 무관하게 일정한 값을 갖게 된다.^[6]

3. 풍력발전시스템의 구성

3.1 풍력발전시스템의 구성도

그림 2는 풍력발전시스템의 구성을 나타내고 있으며, 풍력발전시스템은 풍력발전기, 축전지, 인버터, 태엽을 이용한 동력저장장치 등으로 구성되어 있다.

본 시스템의 풍력발전기는 400[W]용으로서 반경 60 [cm]으로 구성되어 있으며, 블레이드의 재질은 Wood-Epoxy를 사용하고 로터 효율은 $C_p=0.7$ 로 하며, 발전기는 400[W] 동기-브러시리스-영구자석형-1 ϕ 상으로 구성하였다.

태엽을 이용한 동력저장장치는 풍속이 3[m/s]이하에서 동작하여 발전되는 소형발전기로 구성되었고 이 발전기에서 축전지를 충전을 시켜서 부하에 지속적인 전력을 공급하게 한다.

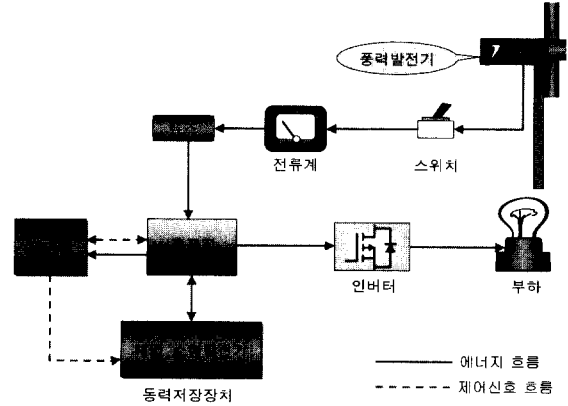


그림 2 풍력발전시스템의 구성도
Fig. 2 Diagram of wind generation system

그림 3은 동력저장장치를 이용한 풍력발전 보상 시스템의 블록선도를 나타냈다. 입력전압 V_i 가 PIC에서 전압을 비교기에서 감지하여 DC 12[V] 이상이 되면 V_B 인 축전지에 충전과 동시에 V_M 인 DC 모터를 동작시켜 태엽을 감아두고 인버터를 통해서 부하를 동작시킨다. 그리고, V_B 인 축전지의 전압이 12[V]미만으로 떨어지거나 풍속이 작으면 태엽이 풀리면서 V_G 인 DC Generator가 동작하여 출력된 전류가 V_B 인 축전지에 충전시키면서 부하에 공급된다.

풍력 발전기는 페루프 시스템으로 운전되기 때문에 무인 운전이 가능하고 시스템을 스스로 보호할 수 있는 안전 장치로써 전기제어 시스템은 안전하게 운전될 수 있도록 설계하였다.

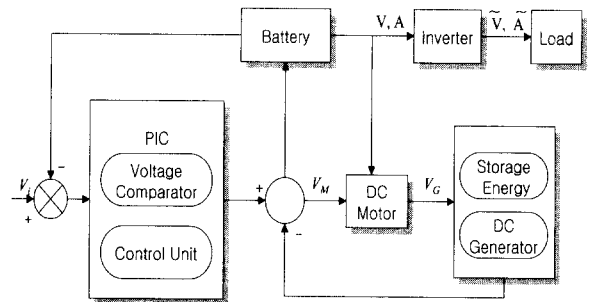


그림 3 제안된 시스템의 블록선도
Fig. 3 Block diagram of the proposed system

3.2 동력저장장치

그림 4는 태엽을 이용한 동력저장장치의 구성을 나타내고 있으며, 태엽은 제어부의 신호에 따라 DC Motor(TD8025G-12, 12[V], 2.5[A], 25[W], 300[rpm]), Gear Motor(S8KA60B, 50[rpm])가 동작하여 태엽이 풀리거나 감긴다. 풍속에 의하여 풍력발전기의 블레이드가 회전하면서 출력된 전압 DC 12[V] 이상이 되면 제어부에서 감지하여 축전지를 충전시키고 충전된 축전지는 인버터에 의하여 부하를 동작시킨다.

제어부는 PIC(Peripheral Interface Controller)를 적용하여서 풍력 발전기에서 12[V] 이하의 전압이 출력되면 제어부에서 감지하여 태엽을 풀어 소형 발전기(15[V], 2[A])를 동작시키며 여기서 출력된 전압으로 축전지를 충전시킨다. 태엽이 다 풀리면 제어부에서 감지하여 다시 태엽을 감아둔다.

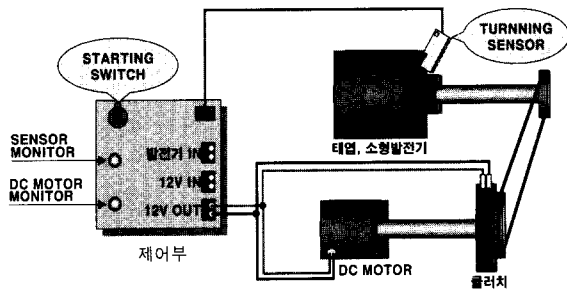


그림 4 동력저장장치의 구성도
Fig. 4 Diagram of power storage apparatus

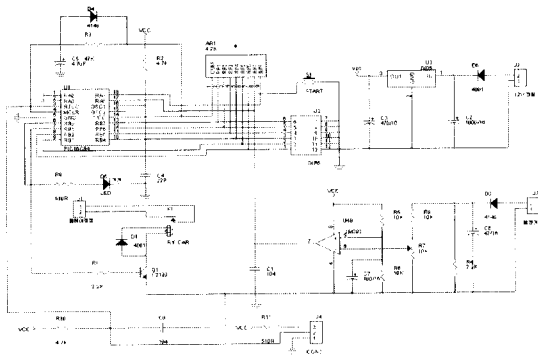


그림 5 제어회로
Fig. 5 Control circuit

그림 5는 제어회로를 나타내며 Onechip 마이크로프로세서인 PIC(Peripheral Interface Controller; PIC16C54)

을 사용하여 회로 구동용 전원부, 발전기에서 출력되는 입력 전원부, 비교기, DC 모터를 구동할 수 있는 릴레이 그리고 회전수를 감지하기 위한 센서로 구성되어 있다. 축전지의 전원부에서는 12[V]가 입력되므로 레귤레이터인 7805를 사용하여 PIC과 비교기인 LM393 전원은 5[V]를 사용하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 제어 시스템

그림 6은 풍력발전기에서 출력된 전력을 충전하는 축전지와 동력저장장치인 태엽과 소형발전기 그리고 태엽을 감을 수 있는 DC 모터와 기어드 모터로 구성되어 있는 시스템의 실제 사진이며 풍력발전기에서 출력된 전력이 적으면 동력저장장치가 동작하여 소형발전기가 동작하며 축전지에 에너지를 저장할 수 있도록 하는 제어부로 구성되어 있다.

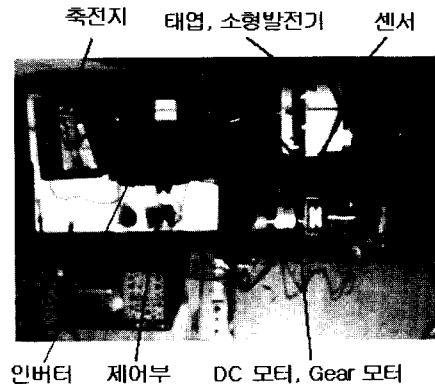


그림 6 제어 시스템 사진
Fig. 6 Photograph of the control system

4.2 풍력발전기와 소형발전기의 출력 파형

그림 7은 풍속에 따른 풍력발전기의 출력된 곡선으로 실험결과 풍속계와 전력계를 이용하여 측정하였고, 풍속이 15.6[m/sec]일 때 최대 출력점에 도달됨을 알 수 있으며, 최대 전류는 약 22[A] 정도의 전류를 얻을 수 있었다. 풍력이 3[m/s] 이하일 때 일반적으로 풍력발전기의 발전이 이루어지지 않을 때에는 그 동안 동력저장장치에 저장된 에너지를 소형발전기가 작동하여 축전지에 충전된 전력으로 부하에 공급하도록 설계하였다.

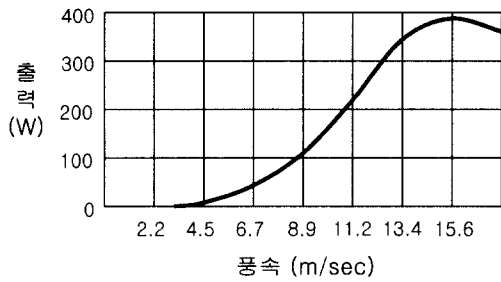


그림 7 풍속에 따른 풍력발전기의 출력
Fig. 7 Output of wind generator vs wind speed

그림 8은 부하시 인버터의 전압, 전류 파형과 전력 궤적을 보여주고 있다. 인버터의 입력은 12[V]이고, 출력은 230[V] 정도의 전압이 출력되었고, 220[W], 200[W] 부하를 사용하여 인버터의 출력을 측정 한 결과이다.

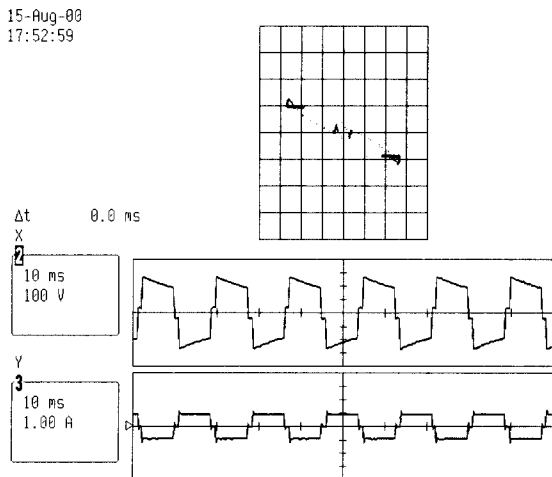


그림 8 부하시 인버터의 출력 전압, 전류
Fig. 8 Output voltage and current of the inverter with a load

그림 9는 풍속의 변화에 따른 풍력발전기의 발생 전압 파형의 특성을 나타냈다. 그림에서와 같이 풍속이 증감에 따라 전압이 변화함을 볼 수 있었다.

그림 10은 소형발전기의 무부하시의 출력 전압은 15[V]이고, 전류는 2[A]의 파형과 궤적을 나타내었다.

실험 결과 동력저장장치가 작동하여 소형발전기에서 출력된 전압과 전류로 축전지에 충전할 수 있는 에너지를 얻을 수 있었다.

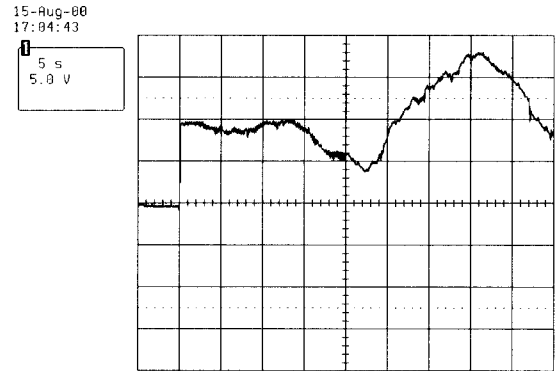


그림 9 풍력발전기의 운전 전압
Fig. 9 Operation voltage of wind generator

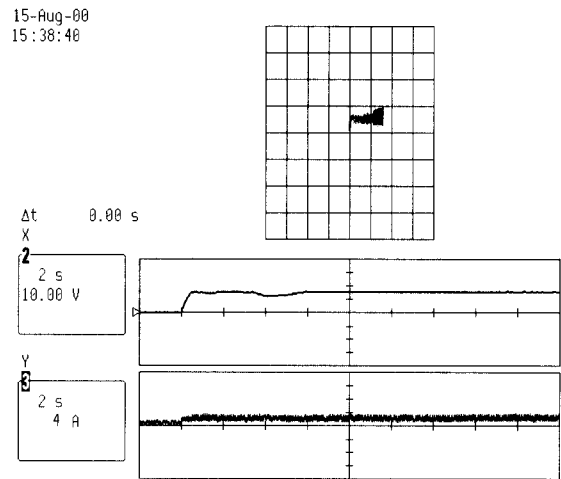


그림 10 무부하시 소형발전기의 출력 전압, 전류
Fig. 10 Output voltage and current of the compact generator with no loads

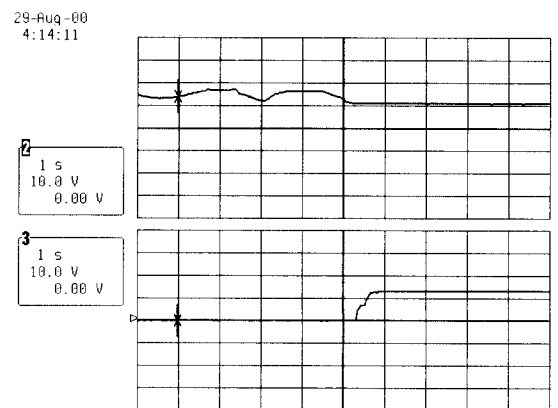


그림 11 풍력발전기와 소형발전기에서 출력된 전압의 파형
Fig. 11 Wave of output voltage from wind generator and small generator

그림 11은 운전 중인 풍력발전기와 소형발전기에서 출력된 전압의 변화를 나타낸 파형으로써 풍력발전기의 출력이 12[V] 이하가 되면 소형발전기가 동작하는 상태를 알 수 있다.

본 시스템의 소형 발전기는 풍력발전기의 출력 전압이 12[V] 이상이 되면 DC 모터가 동작하여 소형발전기에 연결된 태엽을 감아두었다가 출력 전압이 12[V] 이하로 떨어지면 태엽이 풀리면서 소형발전기가 동작된다. 이때 DC 모터가 동작되는 시간은 약 2분 정도이고 태엽이 풀리는 시간은 2시간 정도이므로 DC 모터가 동작할 때보다 태엽이 풀리면서 소형발전기가 동작하여 얻어진 에너지의 효율이 더 크다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서 제안된 동력저장장치를 이용한 풍력발전 보상 시스템은 실험 결과 바람이 없을 경우에도 태엽의 탄성 에너지에 의한 동력저장장치가 작동하여 소형발전기에서 출력된 전압과 전류로 축전지에 충전할 수 있는 에너지를 얻을 수 있었다. 기존의 풍력발전기는 풍속이 작을 때는 동작되지 않아 풍력 에너지를 얻을 수 없어 부하 사용시간이 짧으나 동력저장장치를 이용한 보상 시스템을 이용하면 출력된 에너지를 축전지에 충전함으로써 부하 사용시간을 연장할 수가 있었다. 현재는 동력저장장치의 에너지 공급 시간이 약 2시간 정도이지만 차후에 6시간~9시간 가량의 전력을 공급할 수 있도록 태엽 탄성 및 제적 에너지를 증가시킬 수 있는 시스템을 제작 중에 있으며 또한, 소형 풍력 발전기으로써 풍속량에 크게 관계없이 지속적인 운전을 할 수 있고, 태양열 복합발전방식과 본 시스템을 병합하여 일반가정, 도서 벽지 및 오지의 전원공급용과 같이 소규모 전력수요처에 보급하고자 한다.

이 논문은 1999년도 광주전남테크노파크의 연구비 지원에 의하여 수행된 결과의 일부임.

참 고 문 헌

[1] 박경호, 김동목, 최영후, 이택식, 이동규, "풍력자원 조사 및 분석 (I)", 한국동력자원연구소, 1989. 12
 [2] 박경호, 김동목, 유승원, 최영후, "풍력자원 조사 및 분석 (III)", 한국동력자원연구소, 1991. 12

[3] M Yamamoto and O Motoyoshi, "Active and Reactive Power Control for Doubly fed Wound Roto Induction Generator", IEEE Trans, Power Electronics, vol. 6, no. 4, pp. 624-629, 1991.
 [4] L. Morel, H. Godfroid, A. Mirzaian, J. M. kauffmann, "Double-fed induction machine : Converter optimisation and field oriented control without position sensor", IEE Proc.-Electr. Power Appl., vol. 145, no. 4, pp. 360-368, July, 1998.1
 [5] R. E. Betz and M. G. Jovanovic, "The brushless doubly fed reluctance machine and the synchronous reluctance machine a comparison", Proceedings of the 1999 IEEE Industry Applications Meeting, vol. 2, pp. 854-861, 1999.10
 [6] Dr. H. Abramovich, "Vertical Axis Wind Turbine a Survey and Bibliography", Wind Eng.(UK), Vol. 11, No. 6, pp. 334-343, 1987.

저 자 소 개



윤석암(尹石岩)

1959년 4월 29일생. 1987년 광주대 전자계산학과 졸업. 1989년 조선대 산업대학원 산업공학과 전자전공(석사). 1999년 송원대학 산학협력센터 책임연구원. 현재 동신대 대학원 전기전자공학과 박사과정.



차인수(車仁洙)

1959년 8월 6일생. 1982년 조선대 전기공학과 졸업. 1984년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 조선대 대학원 전기공학과(제어계측)졸업(박사). 1990년~현재 동신대 전기전자공학과 부교수. 1997년 9월~1997년 11월 독일 Daumstadt 방문 연구 교수. 2000년 7월~2000년 8월 동경농공업대 중견과학자파견 연구 교수. 현재 당 학회 평의원 및 학술위원.



백형래(白亨來)

1949년 5월 14일생. 1971년 조선대 전기공학과 졸업. 1992년 건국대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 조선대학교 전기제어계측공학부 교수.