

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2019.19.3.179>

IIBC 2019-3-24

소형 풍력발전시스템의 직류전원 적용을 위한 운전제어 및 AC/DC변환 통합장치 개발

Development of Operation Control and AC/DC Conversion Integrated Device for DC Power Application of Small Wind Power Generation System

홍경진*

Kyungjin Hong*

요 약 전기가 부족한 개발도상국 같은 많은 나라에서는 Off Grid 형태의 소형풍력발전이 전력공급 문제를 해결하기 위한 효율적인 핵심 솔루션이다. 몇몇 국가에서는 전력계통의 확장과 전기가 부족한 지역의 감소로 소규모 풍력을 도시의 도로 조명, 모바일 통신 기지국, 양식업 및 해수 담수 등의 분야에 이용하기도 한다. 이런 변화에 따라 소형 풍력 산업 규모는 대규모 풍력보다 큰 잠재력이 기대되고 있다. 소형 풍력발전의 경우 발전기는 가변 속도로 제어되는 특성이 있으며 발전기에서 발생하는 전압 및 전류에는 많은 고조파 성분을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해서 본 논문에서는 소형 풍력발전시스템의 직류전원 적용을 위한 운전제어 및 AC/DC 변환 통합장치를 제안하며 기존 AC to DC 컨버터는 단일 스위치를 갖는 3상 승압형 방식의 컨버터로서 인덕터 전류가 불연속모드로 제어되며, 입력전류의 고조파를 제거하여 단위역률을 갖는 특성을 갖는다. 제안된 컨버터는 입력단에 LCL 필터 및 3상 정류 승압형 컨버터, 계통연계를 위한 단상 풀브릿지 형태로 구성되어 있으며 에너지저장시스템(ESS) 기능이 부가된 제어 시스템으로 풍력발전을 이동 평균화 방식에 의해 급변하는 전력에 대해 계통 안정화를 추구할 수 있다.

Abstract In many countries, such as developing countries where electricity is scarce, small wind turbines in the form of Off Grid are an effective solution to solve power supply problems. In some countries, the expansion of power systems and the decline of electricity-intensive areas have led to the use of small wind power in urban road lighting, mobile communications base stations, aquaculture and seawater desalination. With this change, the size of the small wind power industry is expected to have greater potential than large-scale wind power. In the case of small wind power generators, the generator is controlled at a variable speed, and the voltage and current generated by the generator have many harmonic components. To solve this problem, the AC to DC converter to be studied in this paper is a three-phase step-up type converter with a single switch. The inductor current is controlled in discontinuous mode, and has a characteristic of having a unit power factor by eliminating the harmonic of the input current. The proposed converter is composed of LCL filter and three phase rectification boost converter at the input stage and a single phase full bridge for grid connection. It is a control system with energy storage system(ESS) that the system stabilization can be pursued against the electric power.

Key Words : Wind Power System, Power Conversion Device, AC/DC Converter, Energy Storage System

*정회원, 광주대학교 전기전자공학부
접수일자 2019년 4월 7일, 수정완료 2019년 5월 7일
게재확정일자 2019년 6월 7일

Received: 7 April, 2019 / Revised: 7 May, 2019 /

Accepted: 7 June, 2019

*Corresponding Author: tronichkj@gwangju.ac.kr
School of Electrical and Electronic Engineering,
Gwangju University, Gwangju, Korea

I. 서 론

에너지 공급 확보와 기후 변화에 대처하기 위한 온실 가스 배출량 감소, 생물 다양성 보호, 신재생에너지 개발, 에너지 절약 및 효율 개선 등이 세계적으로도 중요한 화두가 되고 있다. 신재생에너지 중에서 풍력에너지는 비교적 성숙 기술로 인정받고 있으며, 상용화와 대량생산에 있어 엄청난 잠재력을 가지고 있다. 특히, 전기가 부족한 개발도상국 같은 많은 나라에서는 Off Grid 형태의 소형 풍력발전이 전력공급 문제를 해결하기 위한 효율적인 핵심 솔루션이다. 몇몇 국가에서는 전력 계통의 확장과 전기가 부족한 지역의 감소로 소규모 풍력을 도시의 도로 조명, 모바일 통신 기지국, 양식업 및 해수 담수 등의 분야에 이용하기도 한다. 이런 변화에 따라 소형 풍력 산업 규모는 대규모 풍력보다 큰 잠재력이 기대되고 있다.

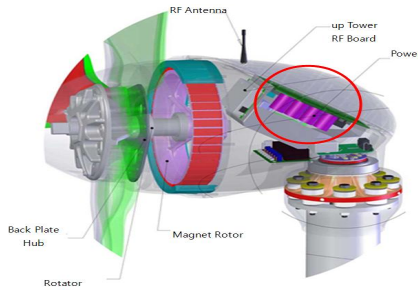


그림 1. 풍력발전기 구조
Fig. 1. Wind turbine generator

본 논문에서는 시장의 상황을 고려하여 볼 때 향후에 성장 가능성이 높다고 판단되는 가정이나 소규모 건물에 적합한 소용량 풍력 시스템 (10kW 정도의 용량) 중에서 중요한 핵심적 구성 요소인 AC/DC 컨버터이다. 소형 풍력발전의 경우 발전기는 가변 속도로 제어되는 특성이 있으며 발전기에서 발생하는 전압 및 전류에는 많은 고조파 성분을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해서 본 논문에서 연구하고자 하는 AC to DC 컨버터는 단일 스위치를 갖는 3상 승압형 방식의 컨버터로서 인덕터 전류가 불연속모드로 제어되며, 입력전류의 고조파를 제거하여 단위 역률을 갖는 특성을 갖는다. 제안된 컨버터는 입력단에 LCL 필터 및 3상 정류 승압형 컨버터, 계통 연계를 위한 단상 풀브릿지 형태로 구성되어 있으며 기본적인 풍력 시스템의 구성은 그림 1과 같다.

II. 풍력발전과 각국의 현황

소형풍력산업이 성숙하기 위해서 지원정책 및 표준이 뒷받침되어야 한다. 전 세계 풍력시장의 폭발적인 성장 뒤에는 정부의 신재생에너지 개발을 촉진하는 정책이 주요 원동력으로 있었다. 미국의 풍력시장 또한 주로 연방 세 금면제와 국가 수준의 RPS 등으로 시장이 확대됐다. PTC(생산세금감면제도)는 전통적으로 미국이 세계에서 가장 큰 풍력발전 시장을 만들고 미국 풍력발전 용량 증폭에 중요한 역할을 해왔는데, PTC의 3년 연장과 연방 ITC(세금 감면제도)의 도입은 미국의 풍력발전 산업에 성장을 가져올 것으로 예상된다. 2020년까지 신재생에너지 20% 성장을 목표로 설정한 EU Renewable Energy Directive(RED)에 따라 2020년까지 유럽 전력의 35%를 신재생에너지로 제공하게 되면 풍력발전은 RED에서 가장 많은 혜택을 얻을 것으로 예상된다.

또한, Renewable Obligation(RO)의 재정 지원은 영국 풍력발전 시장의 주요 성장요인이다. 아시아 태평양 지역에서도 정부 지원이 풍력에너지 성장을 주도하고 있다. 중국은 정부 지원정책으로 풍력발전 설치 용량이 2006년부터 매년 두 배로 성장했으며 2006년 도입한 신재생에너지법과 2007년에 도입한 신재생에너지에 대한 중장기 개발 계획과 같은 정책 수단 등으로 풍력발전 시장을 주도하고 있다.

국내에서는 ‘그린홈 100만 호 보급사업’을 통해 소형 풍력산업을 지원하고 있다. 장기적으로는 전 세계 소형풍력산업의 성장 가능성이 정책 중심에서 터빈 자체의 생산성과 경제성 중심으로 서서히 진화할 것으로 예상된다. 이를 위해서 연구·개발 강화, 제품 품질개선, 엄격한 표준 테스트 및 인증 확립, 시장의 장기적인 성장을 보장하기 위한 지원정책 확립 등이 요구된다.

상기에서 살펴본 바와 같이 세계의 소형 풍력 시장은 매우 크고, 빠른 규모로 성장할 것으로 예상하나, 국내의 경우 시장 자체가 매우 작을 뿐 아니라 관련 회사들도 세계 시장이 아니라 국내 시장만을 대상으로 하고 있어 BIZ 규모가 매우 작을 뿐 아니라 세계 시장에서의 경쟁력 또한 현저히 낮은 상황이다. 그러므로 이를 개선하기 위해서는 풍력발전기를 구성하는 요소별로 전문화되고 경쟁력을 갖춘 기업들이 필요하며, 이 바탕에는 경쟁력 있고, 독창적인 기술기반을 갖추는 것이 무엇보다 중요하다^[1-3].

III. 소형풍력발전시스템 전력변환장치^[1-4]

풍력발전기용 컨버터를 구성함에 있어 발전기의 교류 전력을 계통연계형 인버터로 전달하기 위해 교류를 직류로 변환하기 위한 전력변환 시스템으로서의 기능(AC/DC Converter, Power Factor)과 풍력발전기에서 발생한 에너지를 최대효율로 계통에 전달하는 데 필요한 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 추종을 하는 제어하는 기능으로 구분해 볼 수 있다

전력변환시스템으로서 일반적인 풍력발전시스템의 전력변환장치 구조는 일반적으로 3상 발전기로 구성되어 3상 계통 전원에 연계되는 발전시스템의 특성상 일반적인 2레벨의 3상 컨버터가 주로 사용된다. 2레벨 컨버터는 가장 고전적인 토폴로지로 기존의 많은 연구가 수행되어 대부분의 솔루션이 제시되어 있고 신뢰성이 높기 때문에 전력변환에서 전반적으로 널리 사용되며 그림 2와 같은 구조를 가진다.

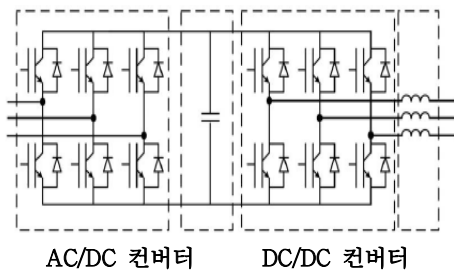


그림 2. 풍력발전시스템의 일반적인 전력변환장치
 Fig. 2. Typical power conversion devices for wind power systems

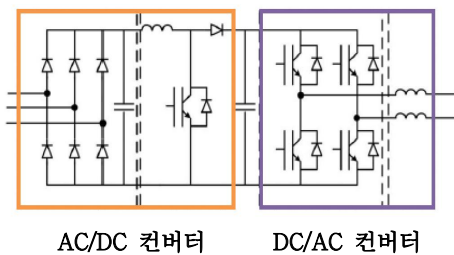


그림 3. Boost Converter 방식의 전력변환장치
 Fig. 3. Boost Converter type power conversion devices

반면에, 10[kW] 미만의 소형 풍력발전기의 경우 시스템의 고성능보다 원가절감이 우선시되기 때문에 전력반도체 스위치가 적은 토폴로지가 주로 사용된다. 그림 3은 기존 컨버터 토폴로지에서 6개의 IGBT 스위치로 발전기를 제어하는 반면에 정류기를 통해 정류된 단상 전류 및

전압을 한 개의 IGBT 스위치로 제어하는 방식이다. 또한, 교류를 정류한 후 Boost Converter 방식으로 승압하여 단위 역률을 구현하는 전력구조 방식이다.

본 논문을 통해 구현하고자 하는 전력변환의 구조적인 방식은 대용량 풍력의 경우 기본적으로 안정성과 신뢰성에서 유리한 그림 4와 같은 방식의 AC/DC 컨버터를 적용하였다. 제어알고리즘 측면에서 AC/DC Converter 경우 각 상별로 구성된 3 Leg 방식으로 개별적으로 보면 DC Link 전압보다 발전기 전압이 낮은 경우 Boost Converter로 동작을 하다가, 과속이 되어 발전기 전압이 DC Link 전압보다 높아지면 boost up 없이 DC Link 전압을 유지하는 회로 방식으로서, 현재 적용되고 있는 일반적인 구조와는 다른 제어개념이 적용된다.

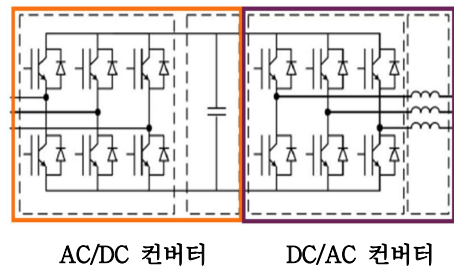


그림 4. AC/DC 컨버터-DC/AC 컨버터 방식의 전력변환장치
 Fig. 4. AC/DC converter-DC/AC converter type power converter

현재 AC/DC Converter에서 수행하고 있는 제어기능으로서 정류부하의 보급이 급속히 증가함에 따라, IEC와 같은 국제기구에서는 IEC 61000-3-2와 같은 규격을 제정하여 고조파 전류를 규제하고 있는데 풍력의 AC/DC 컨버터도 기본적으로 정류 다이오드와 함께 벌크 커패시터를 사용하는 정류부하이기 때문에 이런 규제의 대상이 되고 있다. 따라서 이에 대한 컨버터의 입력 측에 역률보상기능을 추가하여 발전기 측의 고조파 성분을 제거하고 역률을 개선하려는 기능이 필요하다. 또한, 풍력발전의 시스템은 베츠의 법칙에 따라 입력과위의 60% 이상은 변환이 어려우므로 발생한 에너지를 최대한 계통으로 전달하기 위해서 MPPT(Maximum power point tracking, 최대전력추종) 제어가 필요하다.

풍속이 많은 경우 또는 계통이 외부요인에 의해 제한되는 경우에 대한 대책으로 기구적 시스템은 고속 풍속시 회전축과 블레이드가 이루는 각도를 90도로 접는 방식과 무게 중심을 뒤쪽으로 두어 발전기가 뒤로 젖혀지게 하여 블레이드 회전속도를 줄이는 방식이 있다. 수동

브레이크는 브레이크 패드를 장치하는 방식으로 Dump Load 방식은 발전기의 정격 용량을 초과하는 풍속에서 낮은 저항의 Dump Load나 인덕터를 통해 발생하는 전력을 소비하고 속도를 감속시키는 방식이다. 위와 같은 제동방식들은 대부분 기계적인 제동시스템으로 회전축과 타워에 피로 하중을 높이고 유지 보수가 어렵다는 단점이 있다. 또한, Dump Load 방식은 대부분 릴레이를 사용하므로 아크가 발생한다. 따라서 제어부의 수명이 단축되며 큰 전력을 소비하는 단점이 있다^[5,6].

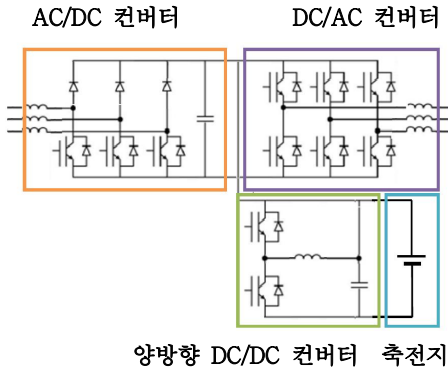


그림 5. ESS기능이 부가된 AC/DC 컨버터-DC/AC 컨버터 방식의 전력변환장치
Fig. 5. AC/DC converter - DC/AC converter type power converter with ESS function

따라서 본 논문에서는 풍력발전기의 출력전압이 최대 정격출력전압 이상 발생 시 부스트 컨버터의 출력전압이 상승하지 않도록 스위치의 시비율을 제어하여 DC Link 전압이 일정전압 이상이 되지 않도록 함으로써 발전기의 계자 자속이 반대 방향으로 생성되면서 감작용이 일어나 기전력이 감소하고 발전기의 회전 속도와 출력전압이 감소되도록 제어하는 기능을 제안하였다. 또한 에너지저장시스템(ESS) 기능이 부가된 제어 시스템으로 풍력발전기를 이동 평준화 방식에 의해 급변하는 전력을 계통으로 보내지 않고 일정 시간에 평균하여 적분된 출력을 내보냄으로써 계통 안정화를 기하는 기능으로 개념도는 그림 5와 같다.

풍속에 따라 수시로 변동하는 풍력발전의 출력을 실시간으로 보상하는 에너지저장장치를 적용하는 시스템을 구성하기 위해 풍력발전과 로컬부하에서 사용되는 전력의 차이만큼을 에너지저장장치인 배터리에 저장하거나 방출하여 부하에 일정한 전력을 공급할 수 있다. 또한, 계통에 사고 발생시 단독운전 모드로 동작하여 계통과 전력 흐름을 차단한 상태에서 부하에 안정한 전력을 공급

하는 기능을 수행하기 위해 양방향 DC/DC 컨버터를 내장한 그림 5와 같이 구성할 수 있다. 발전기 측 컨버터는 풍력발전 출력을 최대로 추종하는 최대 출력점 제어를 수행하고 계통 측 컨버터에서는 DC Link 일정 전압제어를 수행하여 발전된 전력이 로컬부하나 계통으로 안정하게 공급할 수 있도록 한다.

양방향 DC/DC 컨버터에서는 풍력발전기에서 발생하는 발전량과 부하에서 소비하는 전력량을 비교하여 그 차만큼의 에너지를 배터리에서 충/방전할 수 있도록 배터리 전력량을 제어하여 전체적인 시스템의 에너지 흐름을 관리하는 기능을 담당한다.

IV. 소형풍력발전시스템 AC/DC변환 통합장치 시스템^[3,4]

본 논문에서 제시한 소형 풍력발전시스템의 직류전원 적용을 위한 운전제어 및 AC/DC 변환 통합장치 시스템을 그림 6에서 보여주고 있다.



그림 6. 소형풍력발전시스템 AC/DC변환 통합장치 시스템
Fig. 6. Compact Wind Turbine System AC/DC Conversion Integrated System

시스템의 제어는 그 외부의 상태를 읽어드리는 Analog Signal 부로부터 신호를 받아 DSP로 전달하면, 전체적인 제어를 담당하는 DSP는 이를 정리하고 판단하여 Digital Interface를 통해 전력시스템의 switching 소자인 IGBT를 구동하기 위한 IGBT 구동부로 PWM 신호를 전달하게 된다.

제어의 기본적인 구성은 그림 7과 같이 외부 신호를검출하는 검출부, 이를 처리하여 펄스 폭 (PWM) 제어하는 DSP로 구성된 제어부, 제어부에 의해 처리된 PWM signal 로 스위치 (IGBT)의 gate를 구동하는 Driver로

구성된다. 적용된 dsPIC33F6015는 단일 칩에 ADC, PWM, 신호 발생기 등을 포함하며, CPU에 입력이 되는 전압과 전류는 마이크로 컨트롤러의 10bit ADC를 통해 측정하고 매 100ms MPPT 제어를 수행하였으며 매 100us 마다 직류 링크 전압을 제어한다.

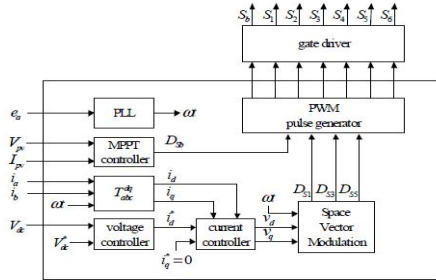


그림 7. 시스템제어 블록도
 Fig. 7. System control block diagram

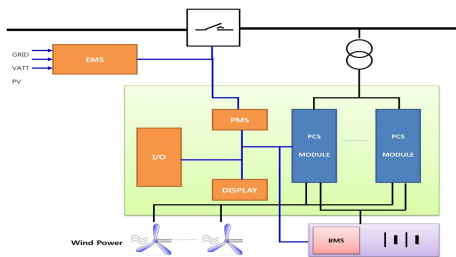


그림 8. ESS를 내장한 풍력발전시스템 구성
 Fig. 8. Wind power system configuration with ESS

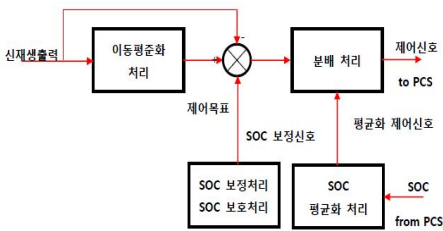


그림 9. 이동평균화 제어알고리즘
 Fig. 9. Moving equalization control algorithm

그림 8은 에너지저장장치(ESS)를 내장한 풍력발전시스템 구성으로 계통 안정화를 위해 이동 평균화 방식을 적용하였다. 신재생 전원이 발생하는 일정 시간을 설정하고 (5분 예상), 이 시간을 적분한 평균치를 출력하여 이를 1초 단위로 연산해 가며 출력을 계통으로 공급하는 방식으로 기본 개념은 그림 9와 같으며 그림 10은 이동 평균화 제어알고리즘을 적용 시의 효과를 보여주고 있다.

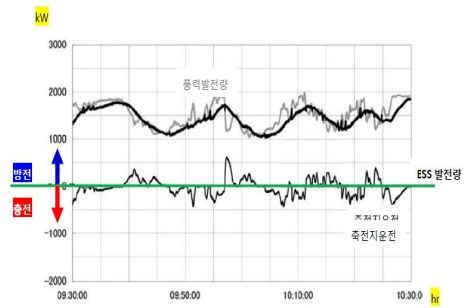


그림 10. 이동평균화 제어알고리즘 효과
 Fig. 10. Moving equalization control algorithm effect

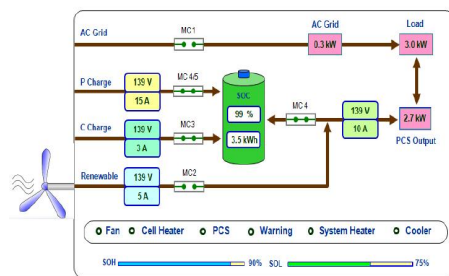


그림 11. 운전모드에 따른 수행 기능 모니터링
 Fig. 11. Monitoring performance according to operation mode

소형 풍력발전시스템의 직류전원 적용을 위한 운전제어 및 AC/DC 변환 통합장치 시스템은 계통의 수요관리와 비상 전원의 기능을 위한 정보수집과 계통상태 (전압, 전류, 주파수) 감시, 축전지의 상태감시(전압, 전류, 온도)를 시행하여 전력계통에 대한 효율적인 운영을 하기 위해 내부의 운전 상태를 확인 및 평가 할 수 있는 모니터링 기능을 그림 11에서 보여주고 있다.

기본적인 역할은 독자적으로 계통과 축전지의 상태를 검출하는 기능을 갖고 있어 계통의 전압, 전류 부하의 전압, 전류, 축전지의 전압, 전류를 독자적으로 monitoring하고 있으며 검출된 정보와 내부에 설정된 운전모드에 따라 다음과 같은 기능을 수행한다.

- ① 시간 설정에 따른 ESS의 운전모드와 운전량을 지령하고 운영을 확인
- ② 계통전력 상황에 따른 ESS의 운전모드와 운전량을 지령하고 운영을 확인
- ③ BMS와 연동하여 축전지와 계통의 상태정보를 파악하여 부하에 맞는 출력량을 지령하고 설정 기준에 따른 전원소스와 부하의 상태를 감시하여 운전모드를 판단

- ④ 운전에 따라, 수요관리 기능으로서 축전지 용량과 비상운전 기능으로서 축전지 용량 관리
- ⑤ 계통과 축전지의 상태 정보와 PCS의 운전 상태를 운전자에게 통보하는 기능

IV. 결 론

소형 풍력발전의 경우 발전기는 가변 속도로 제어되는 특성이 있으며 발전기에서 발생하는 전압 및 전류에는 많은 고조파 성분을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해서 본 논문에서는 단일 스위치를 갖는 3상 승압형 방식의 컨버터를 적용하여 인덕터 전류가 불연속모드로 제어되며, 입력전류의 고조파를 제거하여 단위 역률을 갖는 특성이 있다.

또한 풍속에 따라 수시로 변동하는 풍력발전의 출력을 실시간으로 보상하는 에너지저장장치를 적용하는 시스템을 구성하여 풍력발전과 로컬부하에서 사용되는 전력의 차이만큼을 에너지저장장치인 배터리에 저장하거나 방출하여 부하에 일정한 전력을 공급할 수 있다.

Vol. 25, No. 4, pp. 1209~1217, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TEC.2010.2055870>

- [5] J. E. Kim, "Modeling of Hybrid Generation System with Wind Turbine and Diesel Generator", Journal of KAIS, Vol. 13, No. 4, pp. 1806~1813, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.4.1806>
- [6] S. J. Park, Y. S. Hong, J. J. Kang, J. S. Yang, "A Study on Efficiency Analysis of Wind Power Generator," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol. 17, No. 2, pp. 219~224, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.2.219>

저 자 소 개

홍 경 진(정회원)



- 전남대학교 전기공학과(공학박사)
- 일본 국립과학기술청 물질연구소 외래 연구원
- 현재 : 광주대학교 전기전자공학부 교수
- 주관심분야 : 신재생에너지, 전기재료

References

- [1] J. S. Oh, U. Y. Jeong, J. H. Park, M. S. Park, J. E. Kim, "Modeling & Operating Algorithm of Hybrid Generation System with PMSG Wind Turbine, Diesel Generator and BESS," Trans. KIEE. Vol. 65, No. 5, pp. 724~729, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2016.65.5.724>
- [2] S. M. Jung, "A Study of Economic ESS Utilization Based on Supplement Control Plan for Stable Wind Energy Extraction," Trans. KIEE. Vol. 67, No. 1, pp. 22~28, 2018.
DOI: <http://doi.org/10.5370/KIEE.2018.67.1.22>
- [3] S. J. Park, M. H. Yoon, "A Study of the Mitigating Effect Comparison of Voltage Sags by WTG Types Based on the Concept of Area of Vulnerability," Trans. KIEE. Vol. 66, No. 12, pp. 1682~1688, 2017.
DOI: <http://doi.org/10.5370/KIEE.2017.66.12.1682>
- [4] Tapas Kumar Saha and Debaprasad Kastha, "Design Optimization and Dynamic Performance Analysis of a Stand-Alone Hybrid Wind-Diesel Electrical Power Generation System," IEEE Trans. Energy Conversion,

※ 이 연구는 2019년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음.