

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2019.19.2.175>

IIBC 2019-2-24

국내 태양광발전용 마이크로 인버터 기술기준에 관한 연구

A Study on the Technical Standard of Micro-Inverter for Domestic Photovoltaic Power Generation

윤용호*

Yongho Yoon*

요약 스트링 인버터의 정격전력이 낮은 단점을 보완하기 위하여 전력변환장치(PCS: Power Conditioning System)를 마이크로 인버터를 사용하여 기존 PCS와 비교하여 마이크로 인버터의 필요성과 향후의 발전 방향을 고찰하고자 한다. 현재 가정용 태양광발전 시스템에서는 스트링 인버터를 사용해 왔으며 유럽을 시작으로 스트링 인버터의 단점을 보완할 수 있는 마이크로 인버터(PV-MIC)의 연구 및 보급률이 확장 되고 있는 실정이다. 그러나 국내 태양광인버터 업계에서는 태양광발전용 마이크로 인버터(PV-MIC)에 대한 정확한 기술기준 및 시험 측정 장비 및 관련 시험방법 부재가 제품 개발에 걸림돌이 되고 있다. 따라서 본 논문에서는 마이크로 인버터(PV-MIC)의 특성을 고려하여 시험측정 장비 및 관련 기술기준 연구를 통해 선진기술 변화에 뒤쳐지지 않도록 경쟁력을 갖출 수 있는데 목적을 둔다.

Abstract In order to overcome the drawbacks of low rated power of the string inverter, the necessity of micro -inverters and future development directions will be examined by comparing the power conditioner system with existing PCS using micro inverter. Currently, string inverters have been used in household solar power generation systems, and research and penetration of micro-inverters(PV-MIC) have been expanding, which can overcome the shortcomings of string inverters starting from Europe. However, in the PV inverter industry, precise technical standards, test measurement equipment and related test methods for micro-inverters(PV-MIC) are obstacles to product development. Therefore, in this paper, considering the characteristics of micro-inverter (PV-MIC), it aims to make it competitive so that it does not lag behind advanced technology change through test measurement equipment and related technical standard.

Key Words : PCS, Micro-Inverter(PV-MIC), String Inverter, Technical Standard, Photovoltaic Power Generation

1. 서론

전력변환장치는 기술적으로 태양광발전소의 가장 중요한 부분이며 태양광발전시스템의 전체 생산량을 책임진다. 따라서 장기적으로 안정적인 동작과 출력을 최대화해야 한다. 이와 같은 인버터는 현재 중대형의 중앙집중형(Central PCS)이 전체 공급시장의 90% 정도를 차지

하고 있다. 중앙 집중형은 개별 태양광발전 모듈을 여러 이 단위로 서로 연결해서 얻어진 직류전기를 하나의 인버터를 통해 교류로 변환시키는 방식이다. 이 인버터 시장은 현재 독일의 SMA가 전 세계 시장의 40~50%를 점유 하고 있는 상태다. 그러나 최근엔 모듈 하나당 한 개의 인버터가 설치되는 새로운 소형인버터 방식이 주목받

*정희원, 광주대학교 전기전자공학부
접수일자 2019년 2월 2일, 수정완료 2019년 3월 2일
게재확정일자 2019년 4월 5일

Received: 2 February, 2019 / Revised: 2 March, 2019 /

Accepted: 5 April, 2019

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

고 있다. 태양광발전용 인버터 시장에서 최근 몇 년 전부터 미국시장을 중심으로 새롭게 등장한 것이 이른바 마이크로 인버터(PV-MIC)이다. 어레이 전체에서 모아진 전기를 DC에서 AC로 전환하는 중앙집중식이 아닌 개별 모듈에서 각각의 인버터를 설치해 모듈 단위로 직류를 교류로 전환하는 분산시스템이다.

이런 마이크로 인버터(PV-MIC)의 경우 개별 모듈에 하나씩 간단하게 설치할 수 있기 때문에 설치비가 절감되고, 각각의 모듈을 개별적으로 통제하기 때문에 어레이 일부에 그늘이 지는 등의 현상으로 인한 급격한 전력 생산 저하를 원천적으로 방지할 수 있으며, 개별 모듈을 통제해 전력 생산량을 5~20% 정도 향상시킬 수 있다.

지금까지 태양광인버터 업계의 제품 출시가 활발하게 이뤄지면서 관련 인증제도에 대한 의견도 다양하다. 업계에서는 인버터 및 시스템 분야에 신규기업 및 대기업이 진출해 태양광발전 전체분야에 획기적인 발전 예상을 내다보지만 마이크로 인버터(PV-MIC) 시험 측정 장비 및 관련 시험규격 부재가 제품 개발에 걸림돌이 되고 있다. 따라서 본 논문에서는 마이크로 인버터(PV-MIC)의 특성을 고려하여 시험측정 장비 및 관련 기술기준 연구를 통해 선진기술 변화에 뒤쳐지지 않도록 경쟁력을 갖출 수 있는데 목적을 둔다.

II. 마이크로 인버터(PV-MIC) 특성^[1-3]

1. 마이크로 인버터(PV-MIC)

그림 1은 string된 태양전지모듈이 정상적으로 햇빛이 전달되어 아무런 이상 없이 동작하고 있지만 그림 2는 동일한 태양전지모듈의 Crack 또는 주변시설, 자연 낙하물(조류 배설물, 먼지, 눈, 낙엽) 등에 의해 음영이 생김으로써 발생하는 비정상적인 동작이 발생됨을 보여주고 있다. 태양전지모듈 1장에 발생한 문제지만, 내부 저항이 증가함에 따라 다이오드를 통하여 전류가 흐르게 되므로 결국 태양전지모듈 전체의 전력 생산을 할 수 없게 되며, 이로 인하여 전력생산량이 3분에 2로 떨어지는 현상이 발생된다.

이러한 현상 등을 방지하기 위해 국외 및 국내의 현재 생산되고 있는 태양전지모듈은 보통 전류를 우회시키는 바이패스 다이오드(bypass diode)에 의존하고 있는 실정이다. 하지만 바이패스 다이오드를 사용하더라도 태

양전지모듈을 직렬로 9~20장 설치하기 때문에 어떠한 고장이 발생되었는지 어떠한 문제가 있는지를 알아내는 방법은 개발되어있지 않은 실정이다. 이러한 이유로 중앙 집중형(Central PCS) 인버터 대비 마이크로 인버터(PV-MIC)가 보다 많은 발전량 효과를 볼 수 있다. 이처럼 모듈별로 각각 모니터링 및 제어를 할 수 있기 때문에 유지관리가 용이하다는 장점이 부각되고 있다.

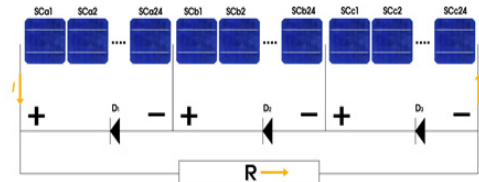


그림 1. 정상 동작하는 태양전지모듈
Fig. 1. Normally operated solar cell module

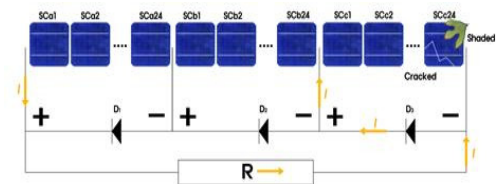


그림 2. 비정상 동작하는 태양전지모듈
Fig. 2. Abnormal solar cell module

2. 마이크로 인버터(PV-MIC) 기술

최근 태양전지모듈의 용량은 200W에서 400W급까지 대형화되고 주택용과 건축물 등에 설치되고 있는 추세이다. 이러한 시스템의 운전 효율향상과 그림자 영향에 의한 발전량 감소를 막기 위하여 태양전지모듈 각각에 인버터를 장착하는 개념으로 미국과 유럽을 중심으로 마이크로 인버터(PV-MIC)가 개발되어 시장에 등장하였다.

특히 마이크로 인버터(PV-MIC)와 출력전압이 다른 형태의 제품이 시장에 선을 보이기 시작하였다. 즉 태양전지모듈의 정선박스에 DC/DC 컨버터를 장착하여 각각의 태양전지모듈에서 최적출력제어를 하고 인버터의 입력측에 연결하여 주는 형태로 그림자 영향으로부터 발전량의 불균형을 막을 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만, 이러한 제품들은 태양전지모듈의 정선박스에 장착하기에는 아직 신뢰성, 수명, 방열 등과 같은 해결하여야 하는 문제들을 안고 있다.

3. 마이크로 인버터(PV-MIC)에서 해결해야 할 과제

- 1) 수명 : 태양전지모듈의 수명이 15~20년 이상임을 고려할 때 동등이상의 수명을 가져야 하지만 현재 전력 변환장치의 수명은 5~7년 내외이다.
- 2) 가격 : 수명 증가를 위해 장수명 부품(특히 캐패시터)을 사용하여야 하나 이 경우 부품의 가격이 증가하는 문제가 있고, 동일한 설치 용량에 대해 1.5~2배 정도 가격이 높다.
- 3) 신뢰성 : 수명기간 내의 정상적 동작을 보증하기 위해 현장 시험을 거쳐야 하나 수명기간이 길어지고 있기 때문에 신뢰성관련 시험에 어려움이 있다.
- 4) 방열 : 기존 인버터에 비하여 크기가 작고, 반도체 소자의 발생된 열은 태양전지모듈의 효율저하에 영향을 줄 수 있다. 현재는 금속재질의 외함을 사용하고, 내부 공간을 방열소재로 함침하는 형태로 방열 설계를 하고 있다. 하지만 향후 태양전지모듈에 부착될 것을 대비하여 방열구조 설계 및 방열설계를 통해 이러한 문제의 해결이 필요하다.
- 5) 효율 : 태양전지모듈 단위로 설치하여 그림자 효과를 최소화 하고 MPPT 효율을 높이는 것이 목표지만 발생하는 스위칭 손실 및 전도손실은 중소용량 태양광인버터와 크게 다를 바가 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 ZVS(Zero Voltage Switching) 또는 ZCS(Zero Current Switching)를 사용하는 공진형 컨버터 적용이 필요하다.
- 6) 구동 프로그램 업데이트 : 태양전지모듈과 수명이 동등하다고 가정하면, 수명 기간 내에 3~4회 정도의 프로그램 업데이트가 필요하여 기본적으로 프로그램 업데이트가 가능하도록 설계되어야 한다.

4. 마이크로 인버터(PV-MIC) 응용 사례

마이크로 인버터(PV-MIC)는 도시주거 문화에 적합한 개인 보유형 태양광발전시스템으로, 이사시 이동과 재설치가 간편할 뿐 아니라, 계통에 연계되기 때문에 에어컨이나 세탁기와 같은 일반 가전제품과 같은 개념으로 적용되고 있고 이에 따른 사례를 그림 3에서 보여주고 있다. 또한 모니터링 기능을 강화하여 IT 융합을 통한 태양광 모니터링 시스템을 그림 4에서 보여 주고 있다. 마이크로 인버터(PV-MIC)내의 SoC (System On Chip)는 태양전지모듈에 대한 환경정보를 수집하고 필요시 통신 및

제어를 수행하여 태양광발전시스템 상태정보를 확인할 수 있다. 따라서 현재 발전량 및 각각의 태양전지모듈과 마이크로 인버터(PV-MIC)의 운영정보 및 상태정보를 통해 시스템의 이상 진단을 볼 수 있다.



그림 3. 마이크로 인버터(PV-MIC) 응용사례
 Fig. 3. Applications of Micro-Inverters

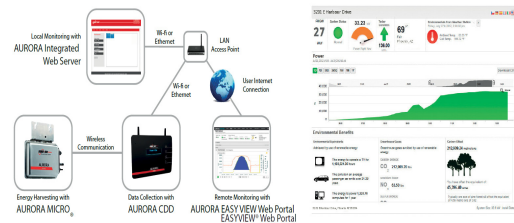


그림 4. 마이크로 인버터(PV-MIC)와 모니터링 시스템
 Fig. 4. Micro-inverter (PV-MIC) and monitoring system

III. 태양광분야 기술기준 동향^[4-6]

신재생에너지 실증단지 구축사업이 진행되고 시범도시 등으로 태양광 기기 및 시스템들의 보급·확산이 예상되고, 연구개발 결과의 시제품들이 양산단계로 접어들면서 핵심기술에 대한 표준적합성과 제품의 안전성을 확보하기 위한 시험인증의 필요성이 대두되게 되었다.

이는 표준에 대해 시험인증과 같은 검증과정 없이 기기 및 시스템이 설치되는 경우에 기능적으로는 좋은 제품이지만 기기 사용자들에게 위험성 및 불편함을 준다면 제품으로서의 가치를 상실하게 되어 시장진입이 어려울 수밖에 없다. 이에 따라 각 국가 정부 및 사용자들은 표준을 정하여 이에 만족한다는 것을 증명하도록 요구하는 인증제도를 운용하고 있어, 기기의 국내 판매 및 해외수출을 위해서는 시험인증 과정이 필수적으로 요구되고 있다.

일반적으로 인증을 받기 위한 시험은 양산된 제품을 가지고 시험을 수행하여야 하지만, 표준에 만족하지 못하는 시험결과가 나온다면 기기의 설계 변경으로 인한 납품 지연, 재작업 등 비용적인 부담도 크므로 개발단계에서 사전시험을 수행함으로써 제품 개발기간 단축 및 비용절감 등 시험인증은 제품개발 및 판매에 있어서 중요한 역할을 담당하고 있다.

태양광인버터는 탄소배출을 줄이고 에너지의 효율적 사용을 위해 국가 인프라망인 전력망에 융·복합화된 다양한 신기술 기기들이 연결되면서 전력망사업자 기기와 소비자의 단말기간에 상호 연결되어 양방향으로 전력 요금, 계량정보 및 각종 데이터 정보 등을 실시간으로 교환하는 차세대 전력망의 하나로 손꼽히고 있다. 이에 따른 시험인증은 전기, 전자, 정보통신, 자동차, 기계 등 광범위한 적용분야와 개방성 플랫폼 채택에 따른 기존의 인증제도와는 달리 미래의 신기술을 포함시킬 수 있는 새로운 관점에서 안전성 및 신뢰성 인증제도가 운영될 것으로 예상되고 있다. 이는 고부가가치 기술 비즈니스 산업으로 태양광인버터 산업에 막대한 영향력을 행사할 것이며, 인증제도 운영의 주도권 확보가 치열할 것으로 전망되고 있기에 본 논문을 통하여 국제기준에 부합하는 장비 및 시스템 구축, 인증획득을 위한 표준기반 성능평가 기술 개발이 신속히 이루어져야 한다.

IV. 마이크로 인버터의 특성을 고려한 국내 태양광발전용 기술기준 제안^[7-10]

국내 기술기준으로 제정된 소형 및 중대형 태양광인버터 설비심사 세부기준들은 대부분이 태양광인버터 단독 동작시 성능특성에 대한 기술기준으로 본 논문에서는 마이크로 인버터(PV-MIC)의 특성을 고려한 태양광발전용 기술기준을 다음과 같이 제안하였다.

1. 병렬운전 (2~10개) 에서의 단독운전 검출 및 보호기능

마이크로 인버터(PV-MIC)의 경우 출력용량이 300W 이하이기 때문에 태양광발전시스템에 적용되기 위해서는 그림 5와 같이 병렬연결로 구성하여 계통연계를 하고 있다. 따라서 이러한 병렬구성(2~10개)시 1)단독운전 방지기는 특성, 2)보호기능특성 (과전압, 저전압, 과주파수,

저주파수 등)을 고려한 시험방법 및 시험기준에 대한 정립이 필요하다.

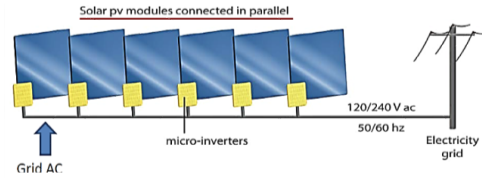


그림 5. 마이크로 인버터(PV-MIC)를 적용한 태양광발전시스템
Fig. 5. Photovoltaic power generation system using micro inverter

2. 일사량 가변조건에 따른 계통연계

태양광발전시스템에서 나무 및 오염물질 등으로 인해 발생할 수 있는 음영을 완전히 피할 수 없으며 이러한 시스템에서 부분 음영으로 인한 손실은 연간 에너지 손실이 5~25%로 추정된다. 일반적으로 태양전지 모듈의 모든 부분을 음영 처리하면 일사량의 감소와 관련하여 출력이 감소한다.

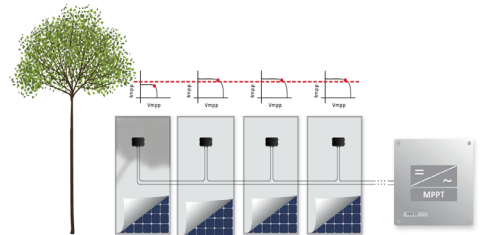


그림 6. 부분 음영에 따른 발전전력 특성(스트링 인버터)
Fig. 6. Generation power characteristics according to partial shading (string inverter)

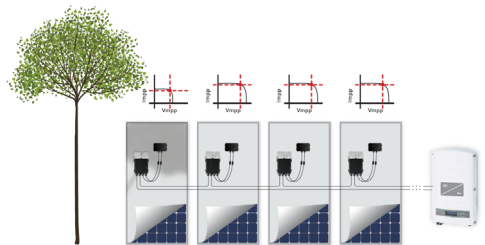


그림 7. 부분 음영에 따른 발전전력 특성(마이크로 인버터)
Fig. 7. Generation power characteristics according to partial shading (Micro-inverter)

그림 6은 일반적인 스트링 인버터를 사용하는 시스템에서 음영 처리되지 않은 셀이나 모듈이 그늘에 영향을 받을 경우시 MPPT 출력 저하 및 인버터의 최소 작동 점

이하로 떨어져서 최종적으로 전원이 공급되지 않을 수 있다. 반면에 마이크로 인버터를 사용시 부분음영에 의한 전력 손실을 최소화하여 최대 전력을 제공 할 수 있는 특성을 그림 7에서 보여주고 있다.

따라서 1) 태양전지 모듈의 부분 음영에 따른 발전전력 손실, 2) 일사량 가변 및 부분음영 조건에 따른 발전전력 특성에 대한 시험방법 및 시험기준에 대한 정립이 필요하다.

3. 3상(Phase) 응용시 안전성

현재까지 생산되고 있는 마이크로 인버터(PV-MIC)는 250W~500W 이하의 단상형으로 BIPV(Building Integrated PV) 및 태양광발전시스템에 적용되기 위해서는 단상형 인버터를 3상 운전시 마이크로 인버터(PV-MIC)의 운전특성 및 안전성에 대한 검증이 고려되어야 한다. 그러나 현재까지 제정된 기술기준은 3상형 인버터 기준으로 마이크로 인버터(PV-MIC)를 이용한 3상 운전시 운전특성 및 안전성에 대한 시험방법 및 시험기준에 대한 정립이 필요하다.

4. 기타 특성

태양광발전은 특별한 유지관리, 공해 및 재료의 부식 없이 간단하게 태양광을 이용하여 전기를 생산하는 기술로 다양한 응용분야가 있지만, 그 중에서도 특히 PV 모듈을 건축물의 외피 마감 재료로 대체하는 건물통합형 태양광발전(BIPV, Building Integrated PV)에 대한 기술 개발이 전 세계적으로 급속히 확산되고 있다.

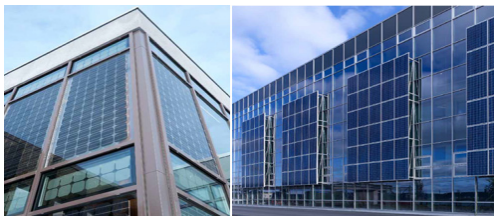


그림 8. 건물통합형 태양광발전시스템
 Fig. 8. BIPV(Building Integrated PV) system

그림 8은 건물통합형 태양광발전시스템의 실례와 BIPV에 적용되는 마이크로 인버터(PV-MIC) 구성으로 1) BIPV 적용시 태양전지모듈 수직에 따른 마이크로 인버터(PV-MIC) 출력특성에 대한 시험방법 및 시험기준에 대한 정립이 필요하다.

그림 9와 같이 마이크로 인버터(PV-MIC)의 모니터링 시스템을 통해 모듈의 교체시기를 알 수 있으며, 이를 통해 유지 관리비와 시간을 절약할 수 있다. 또한, 건물이나 나무 그림자에 의해 태양광이 가려지는 경우 이때 각 모듈에 설치된 마이크로 인버터(PV-MIC)는 자가진단을 수행하여 에너지 최적화 및 고장 상태정보 및 입출력 정보를 모니터링 시스템을 통해 확인을 할 수 있다.

따라서 2) 모니터링시스템 연동을 통한 고장 상태정보, 입출력 정보 등의 자가진단에 대한 시험방법 및 시험기준에 대한 정립이 필요하다.

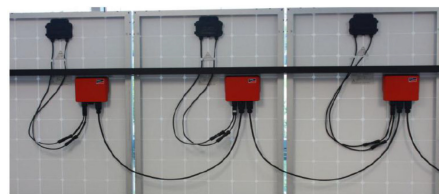


그림 9. BIPV에 적용되는 마이크로 인버터(PV-MIC) 구성
 Fig. 9. Micro-inverter configuration applied to BIPV



그림 9. 마이크로 인버터(PV-MIC)의 모니터링 시스템
 Fig. 9. Monitoring system of micro-inverter(PV-MIC)

표 1. EURO 효율 & CEC 효율 Factor 비교
 Table 1. Comparison of EURO efficiency & CEC efficiency factor

	Power Level						
	5%	10%	20%	30%	50%	75%	100%
EURO Factor	0.03	0.06	0.13	0.10	0.48	0.00	0.20
CEC Factor	0.00	0.04	0.05	0.12	0.21	0.53	0.05

현재 국내의 경우 신재생에너지용 전력변환장치에 대한 효율 기술기준은 EURO효율을 적용하고 있다. 그러나 대부분 마이크로 인버터(PV-MIC)의 경우 300W 이하이기 때문에 EURO효율 측정 시 저 전력에서의 정밀 측정이 되어야 하지만 현재 각 인증기관에서 보유중인 장비들로 정확한 효율측정값을 산출할 수 없다.

표 1은 EURO 효율과 CEC 효율 Factor 비교값으로 EURO 효율은 정격정력의 5%에서 측정을 하지만 CEC 효율은 정격정력의 5%에서 측정을 하지 않음을 알 수 있다. 따라서 국내 기술기준에서 마이크로 인버터(PV-MIC)의 특성을 고려하여 EURO 효율보다는 3) CEC 효율을 적용함이 보다 정확한 효율측정이 될 것으로 사료된다.

V. 결론

현재 가정용 태양광발전 시스템에서는 스트링 인버터를 사용해 왔으며 유럽을 시작으로 스트링 인버터의 단점을 보완할 수 있는 마이크로 인버터(PV-MIC)의 연구 및 보급률이 확장 되고 있는 실정이다. 그러나 국내 마이크로 인버터(PV-MIC)에 대한 정확한 기술기준 및 시험 측정 장비 및 관련 시험방법 부재가 제품 개발에 걸림돌이 되고 있다.

따라서 본 논문에서는 마이크로 인버터(PV-MIC)의 특성을 고려하여 시험측정 장비 및 관련 기술기준의 내용을 제안하였다. 향후 마이크로 인버터(PV-MIC)의 국내 제조업체의 개발역량 및 경쟁력 향상과 기술기준에 따른 신뢰도 제고를 통한 시장 확대에 기여를 확산시킬 수 있을 것으로 사료된다.

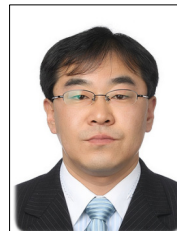
References

- [1] Remus Teodorescu, Marco Lisene, and Pedro Rodriguez "Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems," John Wiely & Sons. Ltd. 2011.
DOI: <http://doi.org/10.1002/9780470667057>
- [2] Djamila Rekiouss and Ernest Matagne, "Optimization of Photovoltaic Power System : Modelization, Simulation and Control," Springer, 2012.
DOI: http://doi.org/10.1007/978-1-4471-2403-0_1
- [3] Nicola Femia, Giovanni Petrone, Giovanni Spagnuolo and Massimo Vitelli, "Power Electronics and Control Techniques for Maximum Energy Harvest

- ing in Photovoltaic Systems," CRC Press, 2013.
DOI: <http://doi.org/10.1109/MIE.2013.2272239>
- [4] Y. H. Yoon, "Analysis and Study of Safety Technical Standards in Domestic Photovoltaic Field," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 18, No. 6, pp. 207-212, 2018.
DOI: <http://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.6.207>
- [5] J. H. So, Y. S. Jung, B. G. Yu, G. J. Yu, and J. Y. Choi, "The Loss Factor Analysis for PV System Optimization," Trans. of KIPE, Vol 11. No. 1. pp. 22-28, 2006.
- [6] H. Y. Jung, J. K. Park, Y.-H. Ji, C. Y. Won, and T. W. Lee, "Study On Photovoltaic Module Integrated Converter based on Active Clamp Current-fed Half-Bridge Converter," Trans. of KIPE, Vol 16. No. 2. pp. 105-113. 2011.
- [7] IEC 62109-1, Safety of Power Converters for use in Photovoltaic Power Systems-Part 1 : General Requirements, Edition 1.0, 2010.
- [8] IEC 62109-2, Safety of Power Converters for use in Photovoltaic Power Systems-Part 2 : Particular Requirements for Inverters, Edition 1.0, 2011.
- [9] IEC 61727, Photovoltaic(PV) systems - Characteristics of the utility interface, Edition 2.0, 2004.
- [10] IEC 62116, Test procedure of islanding prevention measures for utility-interconnected photovoltaic inverters, Edition 1.0, 2008.

저자 소개

윤 용 호(정회원)



- 성균관대학교 메카트로닉스공학과 (공학박사)
- 삼성탈레스 종합연구소 전문연구원
- 현재 : 광주대학교 전기전자공학부 교수
- 주관심분야 : 전동기 제어 및 신재생 에너지

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