

## 효율개선을 위한 다중제어 인버터방식의 아치형 PV System 성능 분석

이용미<sup>1</sup>, 박정민<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국폴리텍대학 전기과

### The Arch Type PV System Performance Evaluation of Multi Controlled Inverter for Improve the Efficiency

Mi-Yong Lee<sup>1\*</sup> and Jeong-Min Park<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Electricity, Korea Polytechnics

**요 약** 태양전지를 실제적인 건물의 한 구성요소로 이용하는 건물일체형 태양광발전(BIPV : Building Integrated Photovoltaic) 시스템은 기존의 건물재료를 대체하여 재료비용 및 건설비용의 절감효과를 가져다주며 건물의 미적인 가치를 높여주는 장점을 가지고 있다. BIPV에 대한 연구가 유럽 및 미국, 일본 등의 나라에서 오래전부터 활발히 수행되고 있으며, 시장성 또한 무한 확대되고 있다.

아치형 PV 시스템은 PV 어레이의 직병렬 연결 상태 및 아치각에 따라 효율 특성이 상이하지만 이에 관한 분석은 미흡하며, 아치형 PV 시스템을 설계함에 있어서 미적인 요소만 고려하고 이러한 발전효율에 관한 요소는 전혀 고려되지 않은 채 설계되고 있다.

본 논문에서는 아치형 PV 시스템의 효율에 관한 파라미터인 위도와 경도, 온도 및 일사량, 아치각, 시스템 구성에 따른 각종 손실 등 이에 대한 세부적인 기술검토와 각 장비들의 특성을 정합시켜 아치형 PV 시스템의 최적화를 이루어 효율을 개선시키고자 한다. 아치형 PV 시스템의 효율개선을 위하여 다중제어 인버터 방식을 제안하고 시뮬레이션 툴인 Solar Pro를 이용하여 평판형 및 다양한 아치형 PV 시스템을 구성하여 운전특성을 비교 분석하였다.

**Abstract** It is saving material cost and construction cost by replacing conventional building materials, and It has advantages for aesthetic value. In the Europe, the United States, Japan and other country research about BIPV is actively being carried out and marketability is also being infinity expanding. Arch type PV systems efficiency characteristics is different depending on PV array's directly connection, parallel connection and arches angle, but is a lack of analysis on this nowadays. When the arch type PV system design up, they consider about aesthetic value and they didn't consider about generation efficiency.

In this paper, we try to improve the efficiency through optimization of arch type PV system and estimation of the efficiency parameters of the arch type PV system, such as latitude, longitude, temperature, insolation, arch angle and each kind loss from system organization.

For improving Arched PV system efficiency, proposed multiple control inverter system, and using simulation tool of Arched PV system "Solar pro", flat-plate type and many arch type PV system configuration the driving characteristics were compared and analyzed.

**Key Words** : Photovoltaic, BIPV(Building Integrated Photovoltaic)

## 1. 서 론

태양전지를 실제적인 건물의 한 구성요소로 이용하는

건물일체형 태양광발전(BIPV : Building Integrated Photovoltaic) 시스템은 기존의 건물재료를 대체하여 재료비용 및 건설비용의 절감효과를 가져다주며 건물의 미

\*Corresponding Author : Jeong-Min Park

Tel: +82-62-519-7194 Email: pvkorea@kopo.ac.kr

접수일 12년 08월 16일

수정일 12년 09월 11일

게재확정일 12년 11월 08일

적인 가치를 높여주는 장점을 가지고 있다. BIPV에 대한 연구가 유럽 및 미국, 일본 등의 나라에서 오래전부터 활발히 수행되고 있으며, 시장성 또한 무한 확대되고 있다.[1-2]

그러나 BIPV 분야의 국내 기술 수준은 아직 초기단계로 주택보급형으로 주로 많이 설치되어 있는 주택용 3kW급 태양광발전시스템이나 10kW급 이상의 중형 시스템들도 그 방위는 정남향이며 설치 위치는 모두 옥상에 올리거나 경사면 옥상에 덧붙이는 초보적인 디자인으로 되어 있다. 건물에 적용되는 PV(Photovoltaic) 시스템은 어레이의 구조설계에 따라 평판형과 미적인 효과를 고려한 아치형으로 분류할 수 있다. 평판형 PV 시스템은 최대의 전력을 생산하기 위하여 PV 어레이의 각 스트링의 경사각은 최적의 경사각으로 일정하다. 아치형은 PV 어레이를 라운드 형태로 즉 각 스트링의 경사각을 일정하지 않게 변화를 주어서 라운드 형태로 설계하여 미적인 효과를 부각시킨 시스템이다.[3]

평판형 PV 시스템은 소규모 가정용으로부터 대규모의 발전 시스템에 이르기까지 다양하게 설치되어 있으며 아치형은 중규모 시스템으로 건물에 많이 적용되어 있다. 그러나 이러한 평판형 PV 시스템에 대한 운전특성이나 설계에 관한 연구는 활발히 진행되고 있으나 아치형 PV 시스템에 대한 설계나 운전특성 분석은 미흡한 실정이다.[4]

아치형 PV 시스템은 PV 어레이의 직병렬 연결 상태 및 아치각에 따라 효율 특성이 상이하지만 이에 관한 분석은 미흡하며, 아치형 PV 시스템을 설계함에 있어서 미적인 요소만 고려하고 이러한 발전효율에 관한 요소는 전혀 고려되지 않은 채 설계되고 있다. 인버터는 태양전지가 최대전력으로 발전하도록 최대전력점 추적(Maximum Power Point Tracking : MPPT) 제어를 하며 발전된 DC 전력을 AC로 변환해 준다. 이러한 인버터는 PV 스트링과의 접속관계에 따라 직병렬 연결된 PV 어레이의 출력을 제어하는 집중형(Central inverter), PV 모듈을 직렬로 연결하여 구성된 PV 스트링의 출력을 제어하는 스트링형(String inverter), 각 모듈의 출력을 제어하는 모듈형(Module inverter)으로 분류 된다. PV 모듈의 출력을 직접 제어하는 모듈형 인버터가 효율이 가장 좋고 다음 스트링형 이지만 집중형 보다 전체부피가 커지고 비용도 증가된다.[5-8] 따라서 평판형 뿐만 아니라 아치형 등 대부분의 PV 시스템은 집중형 인버터를 적용하며 아치형의 경우 효율저하의 원인으로 된다.

본 논문에서는 아치형 PV 시스템의 효율에 관한 파라미터인 위도와 경도, 온도 및 일사량, 아치각, 시스템 구성에 따른 각종 손실 등 이에 대한 세부적인 기술검토와

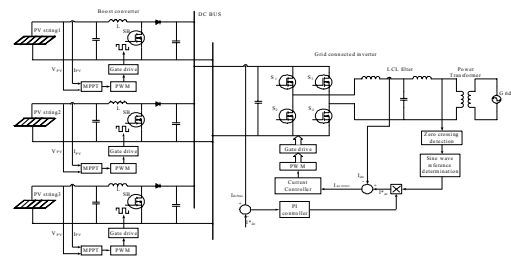
각 장비들의 특성을 정합시켜 아치형 PV 시스템의 최적화를 이루어 효율을 개선시키고자 한다.[9-10] 아치형 PV 시스템의 효율개선을 위하여 다중제어 인버터 방식을 제안하고 시뮬레이션 툴인 Solar Pro를 이용하여 평판형 및 다양한 아치형 PV 시스템을 구성하여 운전특성을 비교 분석하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 다중제어방식 인버터

제안된 다중 제어방식은 스트링 인버터의 장점인 경사각이 서로 다른 각 스트링의 출력을 각각 제어하기 위하여 각 스트링에 컨버터를 각각 적용하여 모든 태양전지가 최적동작을 하도록 제어한다. 또한 각 스트링의 DC-DC 컨버터의 출력은 DC BUS를 통하여 하나의 DC-AC 컨버터로 입력됨으로서 부피를 줄일 수 있다.

그림 1은 제안된 다중 제어방식 인버터의 제어 블록다이어그램을 나타내고 있다. 3개의 스트링 컨버터는 독립적인 MPPT 제어를 통하여 병렬로 연결되어 있다. 계통 연계형 인버터는 DC BUS로부터 직류 전력을 입력받아 풀-브리지 방식 인버터를 통하여 AC로 변환하고 LCL 필터를 통하여 고조파를 감소하고 저주파 변압기를 통하여 계통과 연계된다.



[그림 1] 다중제어 인버터의 블록다이어그램  
[Fig. 1] Control block diagram of the multi controlled inverter

표 1은 다중 제어방식 인버터의 파라미터를 나타내고 있다. 3개의 DC 입력은 정격용량이 1[kW] 인 3개의 DC-DC 부스트 컨버터부로 입력되어 각각 개별적으로 제어되며 각 DC 입력전압 범위는 90-240 [V] 이고 모두 300 [V] 로 부스트 되어 DC BUS로 출력한다. DC-AC 인버터부는 정격용량이 3[kW]이며 300 [V] 의 DC BUS 전압을 입력받아 상용계통의 220 [V], 60 [Hz] 의 AC로 변환하여 전력계통과 연계된다.

[표 1] 다중제어 인버터 파라미터

[Table 1] Parameters of the multi controlled inverter

Parameters		Volume	Unit
DC-AC inverter	AC output power ( $P_{AC}$ )	3	[kW]
	AC output voltage ( $V_{AC}$ )	220	[V]
	AC frequency ( $f$ )	60	[Hz]
DC-DC converter	DC output power ( $P_{DC}$ )	1	[kW]
	Converter quantity	3	[EA]
	DC input voltage ( $V_{in}$ )	90-240	[V]
	DC Output voltage( $V_{DCBUS}$ )	300	[V]

2.2 시뮬레이션

2.2.1 DC-AC 인버터

본 논문에서는 PV 스트링의 경사각이 서로 다른 아치형 PV 어레이의 출력특성 및 제안한 다중제어방식의 인버터의 출력특성과 다중제어방식의 인버터를 적용시 아치형 PV 시스템의 특성을 분석하기 위하여 Simulink를 이용하여 시뮬레이션을 하였다.

시뮬레이션에서는 정격용량이 53 [W]인 PV 모듈 60장을 10직렬 2병렬을 하나의 PV 스트링으로 3개의 PV 스트링을 구성하여 정격용량이 3 [kW]의 아치형 PV 어레이를 구성하였다. 표 2는 태양전지 모듈의 파라미터를 나타내고 있다.

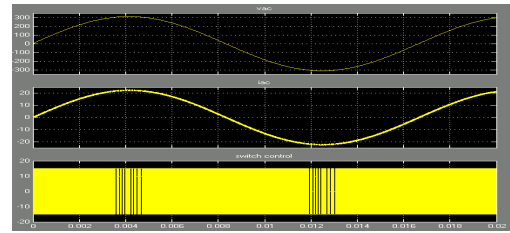
[표 2] 태양전지 파라미터

[Table 2] Parameters of Solar Cell

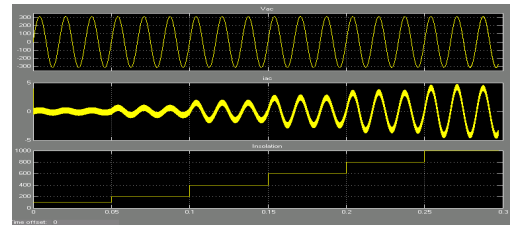
Parameter	Value
Maximum power ..... (Pmax)	53 [W]
Max. power voltage ..... (Vmp)	17.4 [V]
Max. power current ..... (Imp)	3.04 [A]
Open circuit voltage ..... (VOC)	21.0 [V]
Short circuit current ..... (ISC)	3.35 [A]

그림 2는 인버터의 출력 전압, 전류 및 PWM 신호를 나타내고 있고 그림 3은 PV 스트링 및 DC-DC 컨버터와 연결시 일사강도에 따른 인버터 출력 전압 및 전류를 나타내고 있다.

그림 2 및 3에서와 같이 인버터 출력은 220 [V], 60 [Hz]이며 일사강도가 증가함에 따라 MPPT 제어에 의하여 출력전류가 상승함을 알 수 있다.



[그림 2] DC-AC인버터의 출력 특성  
[Fig. 2] Output characteristics of DC-AC inverter

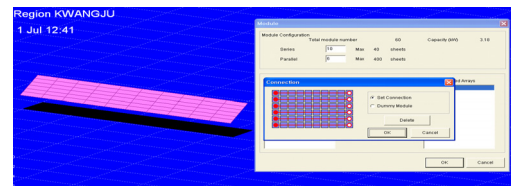


[그림 3] 일사량 변화에 따른 DC-AC 인버터의 출력 특성  
[Fig. 3] Output characteristics of DC-AC inverter according to variation insolation

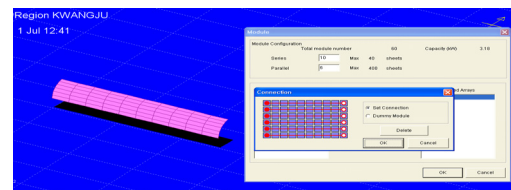
2.2.2 아치형 PV시스템의 운전특성

본 논문에서는 아치형 PV 시스템의 성능 분석을 위하여 시뮬레이션 툴인 Solar Pro를 이용하여 평판형 및 아치형 PV 시스템에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림4는 시뮬레이션 구성도를 나타낸 것이다. 시뮬레이션에서 평판형 및 아치형 PV 시스템은 모두 경도 126.92°, 위도 35.1°에 위치하고 방위각은 정남향으로 하였다.

평판형 PV 시스템의 경우 집중식 인버터를 적용하였고 아치형의 경우 제안한 다중제어방식과 집중식 인버터를 각각 적용하였으며 집중식 및 다중제어방식의 인버터의 효율은 모두 92%로 하여 출력특성을 비교분석하였다.



(a) flat-plate type



(b) arch type

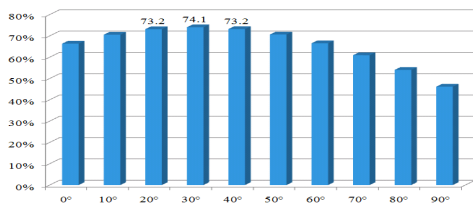
[그림 4] PV 어레이 구성도  
[Fig. 4] PV array configuration

그림 5는 평판형 및 아치형 PV 시스템의 성능비 PR(Performance Ratio) 특성을 나타내고 있다. 평판형의 경우 경사각이 30° 시 PR이 74.1%로 가장 우수하고 아치형의 경우 집중식 인버터를 적용 시 아치각이 10°~30° 시 최대로 66.9%이고 평균 66% 좌우로 평판형보다 8%의 성능 저하를 나타내고 있다. 그러나 제한한 다중제어 방식의 인버터를 적용할 경우 아치각이 20°~40° 시 최대로 73.6%이고 다양한 아치각에서 모두 71% 이상의 우수한 PR 특성을 나타내고 있다. 이는 평판형보다는 0.5%의 미세한 성능저하를 나타내고 있지만 집중식 인버터 적용 시보다 성능이 약 7% 향상됨을 알 수 있다.

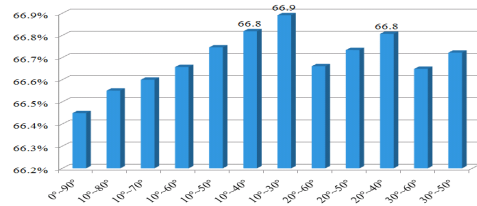
그림 6은 평판형 및 아치형 PV 시스템의 어레이 손실인 Lc(Capture losses) 특성을 나타내고 있다. 평판형의 경우 최적경사각인 20°~40° 사이에서는 Lc가 0.8 [h/d] 이하로 가장 적으며 그 외에는 0.9 [h/d] 이상으로 급격히 상승한다. 아치형의 경우 집중식 인버터를 적용 시 1 [h/d] 이상으로 어레이 손실이 아주 크지만 본 논문에서 제한한 경사각이 서로 다른 각 PV 스트링을 각각 제어하는 다중제어방식의 인버터를 적용시에는 0.82 [h/d] 좌우로 평판형과 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

그림 7은 평판형 및 아치형 PV 시스템의 인버터 손실인 Ls(System losses) 특성을 나타내고 있다. 다중제어방식 및 집중식 인버터의 효율을 모두 92 [%]로 정하였으므로 어레이 손실 Lc이 증가하면 어레이 등가 가동시간  $Y_A$ 가 감소하며 따라서 인버터 가동 시간  $Y_P$ 도 감소하며 인버터 손실 Ls도 줄어든 가동시간만큼 감소한다.

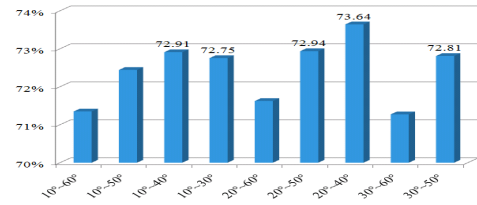
그림 8은 평판형 및 아치형 PV 시스템의 PR, Lc, Ls의 백분비 특성을 나타내고 있다. 평판형은 경사각이 0°~90°까지 시스템 성능비는 46.16%~70.66%, 어레이손실은 27.8%~49.8%, 시스템 손실은 4%~6.4%로 되었고 집중형인버터방식의 아치형은 아치각이 20°~50° 변화에 따른 시스템의 성능비가 66.7%~66.89%, 어레이손실은 19.5%~27.2%, 시스템 손실은 5.8%~6.4% 다중제어방식의 아치형은 아치각이 20°~50° 변화에 따른 시스템의 성능비가 71.27%~73.64%, 어레이손실은 19.95%~22.53%, 시스템 손실은 6.2%~6.4%로 나타났다.



(a) flat-plate type

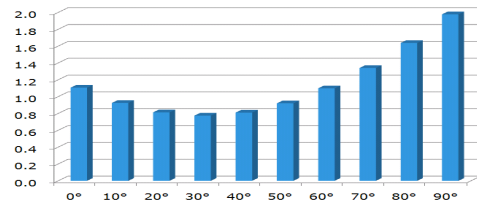


(b) central inverter for arch type

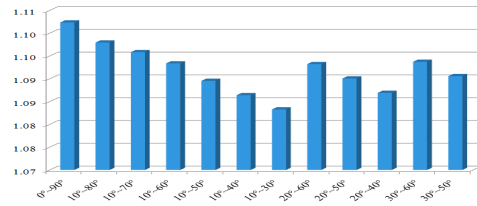


(c) multi controlled Inverter for arch type

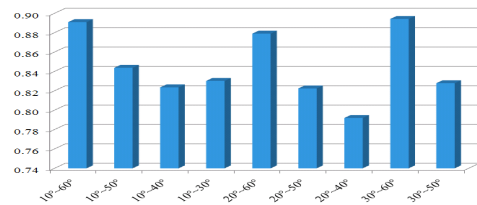
[그림 5] 성능비 차이  
[Fig. 5] Performance ratio distinctive



(a) flat-plate type

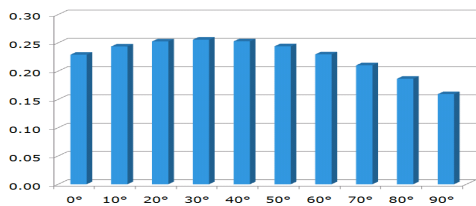


(b) central inverter for arch type

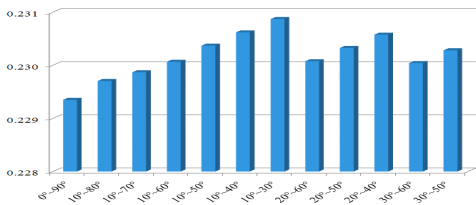


(c) multi controlled Inverter for arch type

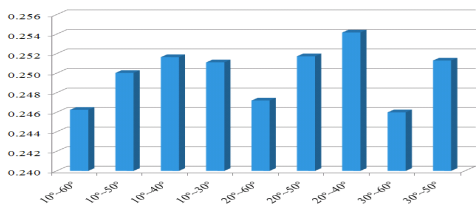
[그림 6] 어레이 손실 특성  
[Fig. 6] Capture losses distinctive



(a) flat-plate type

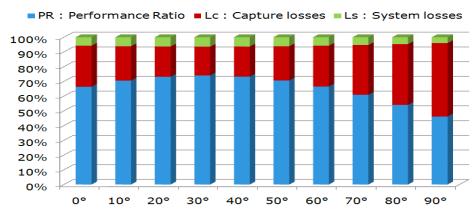


(b) central inverter for arch type

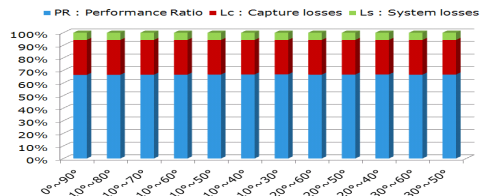


(c) multi controlled Inverter for arch type

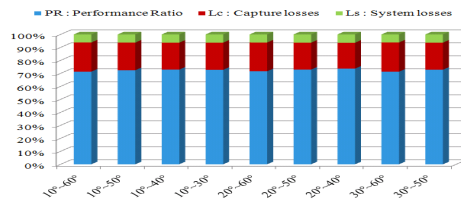
[그림 7] 시스템 손실 특성  
[Fig. 7] System losses distinctive



(a) flat-plate type



(b) central inverter for arch type



(c) multi controlled Inverter for arch type

[그림 8] 시스템 성능비, 어레이손실, 시스템 손실 특성  
[Fig. 8] System PR, Lc, Ls distinctive

### 3. 결 론

아치형 PV 시스템은 기존의 집중형 인버터를 적용시 효율저하의 원인으로 됨을 확인하였고 본 논문에서는 다중제어방식의 인버터를 제안하였으며 시뮬레이션을 통하여 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

평판형 및 아치형 PV 시스템에 대한 시뮬레이션을 통하여 평판형 PV 시스템의 경우 최적의 경사각은 30°이고 아치형 PV 시스템의 경우 최적 아치각은 10°~30°, 20°~40° 임을 확인 할 수 있었다.

평판형 PV 시스템의 경우 최적의 경사각에서 시스템의 성능비 PR은 74.1%로 우수하고 아치형 PV 시스템의 경우 집중형 인버터를 적용시 최적 아치각에서 66.9%, 평균 66% 좌우로 8%의 효율저하를 나타냈지만 제안한 다중제어방식의 인버터를 적용시 최적 아치각의 경우 73.6%로 0.5%의 차이밖에 없으며 또한 다양한 아치각에서 71% 이상의 성능비 특성을 확인 할 수 있었다.

아치형 PV 시스템의 효율저하의 원인은 PV 어레이의 손실 Lc 로 나타났으며 평판형의 경우 최적경사각에서는 Lc 가 0.8 [h/d] 이하이고 아치형의 경우 집중식 인버터를 적용 시 1 [h/d] 이상으로 어레이 손실이 아주 크지만 제안한 다중제어방식의 인버터를 적용시에는 0.82 [h/d] 좌우로 평판형과 큰 차이가 없음을 확인 할 수 있었다.

다중제어방식의 인버터를 구성하고 시뮬레이션을 통하여 출력특성을 분석한 결과 경사각이 서로 다른 PV 스트링을 각각 제어함으로써 PV 어레이의 손실을 감소할 수 있음을 확인 하였다.

향후 제안한 다중제어방식의 인버터를 아치형 PV 시스템에 적용하여 모니터링 시스템을 구축하고 장기간의 운전에 따른 특성분석에 관한 연구를 진행하고자 한다.

## References

- [1] Cheng, C. L., C. Y. Chan, et al. "Empirical approach to BIPV evaluation of solar irradiation for building applications." *Renewable Energy* 30(7): 1055-1074, 2005.
- [2] Keoleian, G. A. and G. M. Lewis "Modeling the life cycle energy and environmental performance of amorphous silicon BIPV roofing in the US." *Renewable Energy* 28(2): 271-293, 2003.
- [3] Yano, A., K. Tsuchiya, et al. "Development of a Greenhouse Side-ventilation Controller driven by Photovoltaic Energy." *Biosystems Engineering* 96(4): 633-641, 2007.
- [4] Eicker, U. *Solar Technologies for Buildings*. Chichester, John Wiley & Sons Ltd. 2003.
- [5] Rohouma, W. M., I. M. Molokhia, et al. "Comparative study of different PV modules configuration reliability." *Desalination* 209(1-3): 122-128, 2007.
- [6] Fang, L., X. Pengwei, et al. *A Variable Step Maximum Power Point Tracking Method Using Differential Equation Solution*. Industrial Electronics and Applications, 2007. ICIEA 2007. 2nd IEEE Conference on. 2007.
- [7] Jain, S. and V. Agarwal "New current control based MPPT technique for single stage grid connected PV systems." *Energy Conversion and Management* 48(2): 625-644. 2007.
- [8] Kelly, N. A. and T. L. Gibson "Improved photovoltaic energy output for cloudy conditions with a solar tracking system." *Solar Energy* 83(11): 2092-2102. 2009.
- [9] De Soto, W., S. A. Klein, et al. "Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance." *Solar Energy* 80(1): 78-88. 2006.
- [10] Mondol, J. D., Y. Yohanis, et al. "Long term performance analysis of a grid connected photovoltaic system in Northern Ireland." *Energy Conversion and Management* 47(18-19): 2925-2947. 2006.

### 이 용 미(Mi-Yong Lee)

[정회원]



- 2000년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (학사)
- 2010년 2월 : 전남대학교 산업대학원 전기공학과 (석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 조선대학교 일반대학원 전기공학과 (박사 과정)
- 2005년 5월 ~ 현재 : 한국폴리텍대학 전기과 교수

<관심분야>  
전력전자

### 박 정 민(Jeong-Min Park)

[정회원]



- 2002년 2월 : 조선대학교 전기공학과 (학사)
- 2004년 2월 : 조선대학교 일반대학원 전기공학과 (석사)
- 2009년 2월 : 조선대학교 일반대학원 전기공학과 (박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한국폴리텍대학 전기과 교수

<관심분야>  
전력전자