

## 정전류·정전압 기능의 1kW급 하이브리드 PCS 설계

이재민\*

### 요약

태양광·풍력 하이브리드(Hybrid) 발전 시스템에서는 발전의 주 인자인 태양의 일조량과 바람의 세기 등이 환경적 요인으로 적절하지 못할 경우 충방전 성능의 한계를 가지고 있는 에너지 저장장치인 배터리를 충전하는데 어려움이 발생한다. PCS(power conditioning system)는 태양광·풍력 발전 시스템 운용에 필수적인데 기존의 대부분의 PCS는 중대형 중심이어서 소형 발전에 적합하지 않아 효율이 높고 안정적인 동작을 하는 소형 발전용 PCS 개발이 절실히 요구된다.

본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하면서 상용(한전)전력과의 계통연계 및 독립 운영이 가능하고 배터리의 장수명화와 안정화가 가능한 1kW급 하이브리드 CC/CV(constant current/constant voltage)기능을 갖는 PCS를 설계하고 시제품으로 구현하여 그 성능을 검증한다.

키워드 : CC/CV, 태양광·풍력 복합 발전, 하이브리드 전력제어시스템

## Design of 1kW Hybrid CC/CV PCS

Jae Min Lee

### Abstract

Lack of proper amount of sun lights and wind strength which are major factors of solar power and wind power system may cause poor electric power generation and decrease the lifetime of batteries that are major energy saving units. Because the PCS, which is essential in solar and wind power system, for small power generation system has been rarely developed an efficient and stable PCS for small power generation system is highly required.

In this paper, we design a new constant current/constant voltage type hybrid PCS by which stand alone/grid connected operation with commercial power system is available and implement the designed PCS as a prototype for performance verification.

Keywords : CC/CV, Solar & Wind Power Generation, Hybrid Power Conditioning System(HPCS)

### 1. 서론

최근 기후변화와 화석에너지 고갈에 따른 태양광 발전과 풍력 발전 등 신재생에너지 개발에 국가적 관심이 집중되고 있다. 또한 전력활용의 최적화를 위해 지능형 전력망 즉 스마트그리드에

대한 연구와 실용적 개발이 이미 시작되었다. 따라서 향후 각종 통신기기를 포함한 전자기기들은 지능형 전력망 환경에서 상용전기와 함께 대표적인 청정에너지인 태양광 발전과 풍력발전을 중심으로 생산되는 전기를 사용하는 환경에 놓이게 될 것이다[1].

태양광 발전과 풍력발전은 두 가지 발전방식의 장점을 극대화하기 위하여 하이브리드 방식으로 많이 사용하는데[2] 현재 상용화된 태양광-풍력 하이브리드 발전 시스템은 주로 독립형을 목적으로 제작되고 있다. 따라서 발전의 주 인자인 태양의 일조량 및 바람의 세기가 부족한 상태에서는 충분한 전력을 생산하여 사용하는데 어려움이 있고 에너지 저장체인 배터리의 충방전 성능의 한

※ 교신저자(Corresponding Author): Jae Min Lee  
접수일:2013년 11월 11일, 수정일:2013년 12월 09일  
완료일:2013년 12월 25일  
\* 관동대학교 전자정보통신공학부  
Tel: +82-33-649-7552, Fax: +82-33-647-7550  
email: [leejm@kd.ac.kr](mailto:leejm@kd.ac.kr)

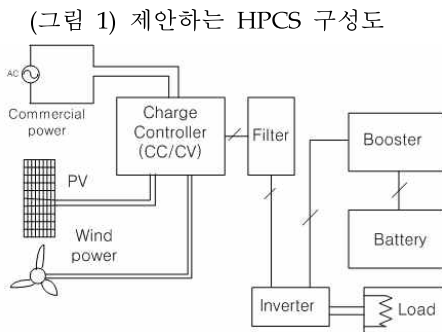
계 때문에 수명이 단축되어 발전시스템이 정상 가동되지 못하므로 고비용으로 시설을 하고도 제 기능을 발휘하지 못해 신재생에너지 산업 활성화에 걸림돌이 되고 있다. 이러한 여러 가지의 부족한 기능을 보완하기 위해 제작된 기존의 계통 연계형 및 독립형 PCS는 대부분 Time Mode만 갖추고 있고 중대형 중심의 제품이어서 그 활용 범위가 넓지 않다는 단점을 가지고 있다[3-4].

이러한 점을 고려하여 본 논문에서는 Time mode뿐만 아니라 Module Mode의 기능(Module Voltage 세팅 값에 의하여 주야를 인식하여 자동으로 점·소등하는 기능)과 Night Light Mode 기능(점·소등은 Module 방식에 따르고 설정시간 동안에는 소등하여 배터리 방전량을 줄일 수 있는 기능)의 세 가지 모두 사용이 가능하여 현장의 여건에 맞게 선택적으로 사용할 수 있고 연구자의 특허 기술[5-7]에 기반한 충전 컨트롤러를 사용한 CV/CC 기능의 하이브리드 PCS(HPCS)를 제안한다. 제안하는 하이브리드 PCS는 설계한 후 이를 시제품으로 구현하여 테스트함으로써 그 성능을 검증한다.

## 2. 제안하는 하이브리드 PCS

### 2.1 하이브리드 PCS 구성

(그림 1)은 제안하는 HPCS의 기본 구성도를 나타낸 것이다.



(Figure 1) Basic Structure of proposed HPCS

이 시스템은 태양광발전 및 풍력 발전시스템을 통합하고 상용전력(한국전력) 시스템과 연동이 가능해서 계통연계 및 독립형으로 각각 사용

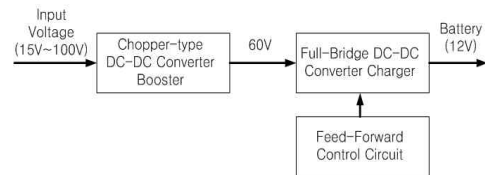
이 가능 할뿐만 아니라 안정적인 시스템 동작을 위해 CV/CC 기능을 갖는 고품위 설계목표를 반영하고 있다.

상용(한국전력) 전원, 태양광 전원, 풍력 전원을 계통연계하여 운용하기 위해 충전 컨트롤러, 인버터 및 필터등이 핵심 구성 모듈이 되며 피드포워드(feed-forward) 회로, 초퍼형 승압회로, DC-DC 컨버터 회로 브리지형 충전드라이브 회로와 H-Bridge 회로등이 이들 모듈에 설계된다.

### 2.2 충전회로

(그림 2)는 충전회로의 블럭도를 나타낸 것이다. 충전회로에는 초퍼(chopper)형 승압회로, 풀브리지(full bridge)형 전압변환 회로, 피드포워드 제어 회로등이 있다. DC-DC컨버터의 회로에는 다양한 방식이 있는데, 충전회로를 위해 초퍼방식의 스위치 회로 4개를 병렬로 동작하게 설계한다. 초퍼형은 트랜스가 필요 없고 인덕터(inductor)만으로 간단한 회로 구성이 가능하다.

(그림 2) 배터리 충전회로 블록도



(Figure 2) Block Diagram of Battery Charger

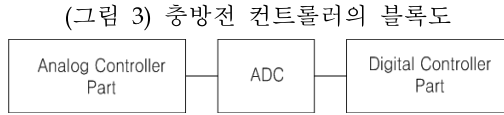
하프 브릿지(half-bridge) 회로의 컨버터 동작 시 스위칭 On 타임이 부정확하여 발생하는 트랜스포머 자속의 불균형으로 인한 트랜스포머의 포화현상을 해결하기 위해 입력전압과 트랜스포머 사이에 블로킹 커패시터를 추가하여 트랜스포머의 리플 성분을 제거한다.

### 2.3 충전전 컨트롤러

(그림 3)과 (그림 4)는 각각 충전전 컨트롤러의 구성도와 디지털 제어부의 구성도를 나타낸 것이다. 연구자의 기술[5-7]을 기반으로 새롭게 설계한 충전전 컨트롤러는 다음과 같은 3가지 기능을 갖는다.

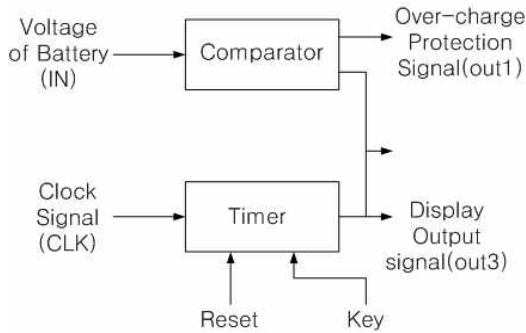
- (1)실시간으로 축전지의 전압변화를 디스플레이하는 기능.
- (2)디지털 중심의 회로 설계로 기존의 아날로그 방식보다 정확한 스위칭 동작과

사용자의 필요에 따른 방전시간 설정. (3)완전방전을 차단하는 기술로 차단한 후의 전력공급을 자동으로 이루어지게 하는 계통연계 기능.



(Figure 3) Block Diagram of Charger-Discharger

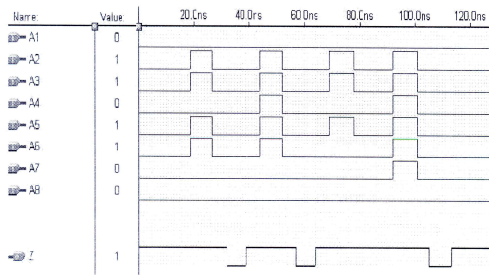
(그림 4) 그림 3에 대한 디지털 제어부의 블록도



(Figure 4) Block Diagram of Digital Controller Part in Fig. 3.

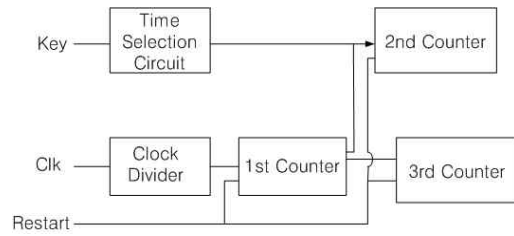
(그림 5)와 (그림 6)은 각각 비교기에 대한 회로 시뮬레이션 결과와 타이머의 블록도를 나타낸 것이다.

(그림 5) 그림 4의 비교기에 대한 회로 시뮬레이션 결과



(Figure 5) Simulation Result of Comparator in Fig. 4.

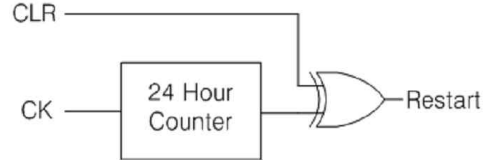
(그림 6) 그림 4의 타이머 블록도



(Figure 6) Timer Block Diagram in Fig. 4.

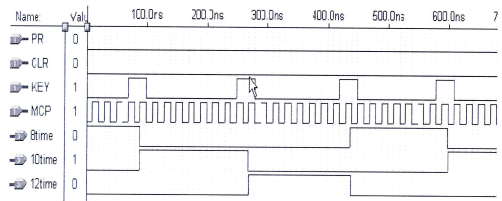
(그림 7)과 (그림 8)는 각각 타이머 재 스타트 (Restart) 회로도와 시간선택 회로부의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.

(그림 7) 그림 6의 타이머 재 스타트 회로



(Figure 7) Restart Circuit in Fig. 6.

(그림 8) 그림 6의 시간선택 회로의 시뮬레이션 결과

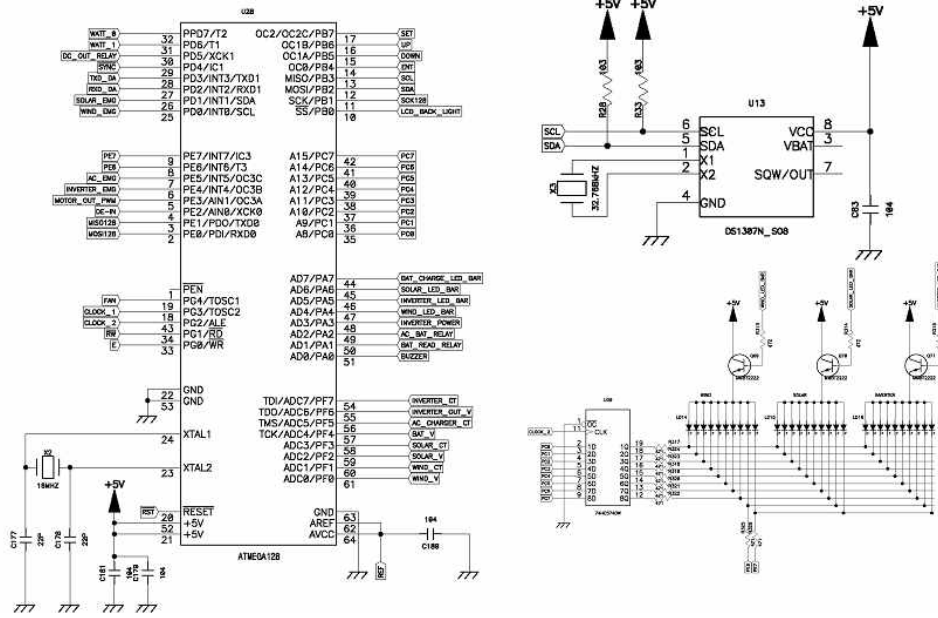


(Figure 8) Simulation Result of Time Selection Circuit in Fig. 6.

### 2.4 시스템 중앙 제어부

Hybrid용 CC/CV 기능의 복합 PCS는 고성능 마이크로프로세서(MCU)인 ATmega-128을 사용하여 인버터 제어 및 배터리 충전제어, 출력 모터속도제어 및 온도, 전력 생산량 모니터링 및 각 발전량 상태 표시등을 하도록 설계한다. (그림 9)는 ATmega-128과 그 주변 회로들로 구성된 중앙제어부이다.

(그림 9) 마이크로프로세서(ATMega128)와 주변회로



(Figure 9) Microprocessor(ATMega128) and its Peripherals

### 2.5 인버터

풍력·태양광 발전 시스템 전원은 최소 부품을 사용하여 발전전력을 높은 수준의 신뢰성과 견고함을 갖춘 AC 또는 DC 전압으로 효과적으로 변환할 수 있어야 한다[8-10]. 이러한 애플리케이션을 위한 AC 출력 전압 및 전류를 원하는 대로 효율적으로 생성하기 위하여 태양광 인버터는 컨트롤러 드라이버 출력 전력소자의 적절한 조합을 필요로 한다. 따라서 여기서는 220V의 단상 정형파와 60Hz 주파수에서 1kW의 전력 출력에 최적화된 DC-AC 인버터로 설계한다. 본 설계에서 사용하는 인버터 토폴로지는 풀브리지이므로 태양광 인버터에는 (그림 10)에 나타내듯이 4개의 고전압 IGBT를 사용한다. 두 개의 상부 IGBT와 2개의 하부 IGBT로 구성 되었으며, 전체 전력 손실을 낮추고 전력 변환 효율을 높게 유지하기 위해 GP4063D IGBT를 전력소자로 사용한다.

실질적 고조파와 전력 소모를 동시에 소화하기 위해 인버터는 상부 IGBT에 펄스 폭 변조(PWM)를 사용하고 하부 전력 소자는 60Hz에서 정류되도록 한다. 상부 IGBT의 경우 PWM 주파수는 20kHz 이상에서 동작하고 50/60Hz 변조를 가지므로 출력 인덕터가 작게 유지되어 고조

파를 효과적으로 필터링할 수 있다. 고전압(600V) 초고속 트렌치 IGBT는 20kHz의 스위칭에 최적화 되어 있어 더 낮은 콜렉터와 이미터 사이의 포화 전압Vce(ON) 및 전체 스위칭 에너지 ETS를 포함하여 이 주파수에서 스위칭 손실이 최소화 되고 전체 전도 및 스위칭 전력 손실도 최소화가 된다.

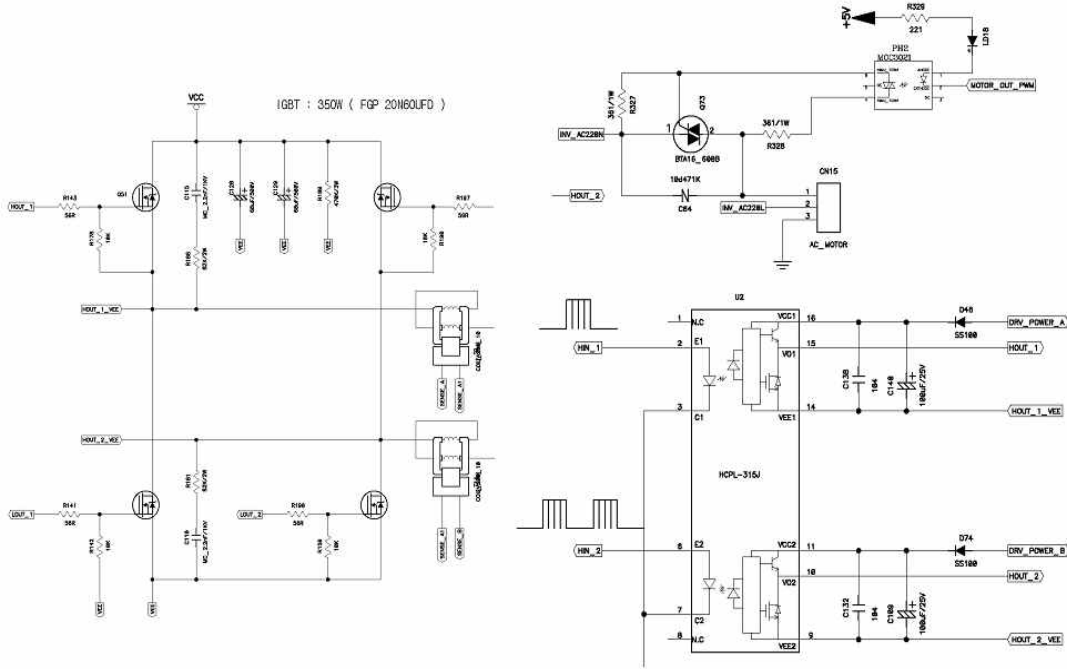
H-브리지의 각 레그는 독립적인 기준 출력 채널을 갖는 고전압, 고속 게이트 드라이버 IC를 사용하여 구동된다. 드라이버 HCPL-T250의 드라이버 부트스트랩 커패시터는 전류가 로우사이드 IGBT 동시 패키징 다이오드에서 프리휠링할 때 스위칭 사이클(50μs)마다 리프레시 된다. 상부 동시 패키징 다이오드는 프리휠링 전류에 노출되지 않으며, 하부는 매우 작은 스위칭 손실을 갖기 때문에 전체 시스템 손실은 최소화 되고 시스템 효율은 극대화 된다.

(그림 11)에 나타낸 제안하는 인버터의 또 다른 특징은 단일 DC버스 전원에서 동작하므로 네거티브 DC 버스가 필요 없으며 +18V 전원이 인가되어 하우스키핑 회로에 전력을 공급한다. LM358 IC는 IGBT 드라이버를 위한 신호를 구동하는 신호를 생성하며, 고전압 IC 공정 및 래치 내성 CMOS 기술로 구현된 게이트 드라이버

는 고전압 레벨 시프팅과 종단 기술을 결합하여 드라이버가 발생하는 저전압 입력으로부터 적절한 게이트 구동 신호를 발생 시킨다. LCL 필터는 IGBT의 출력 펄스파를 실제 정형파로 만들

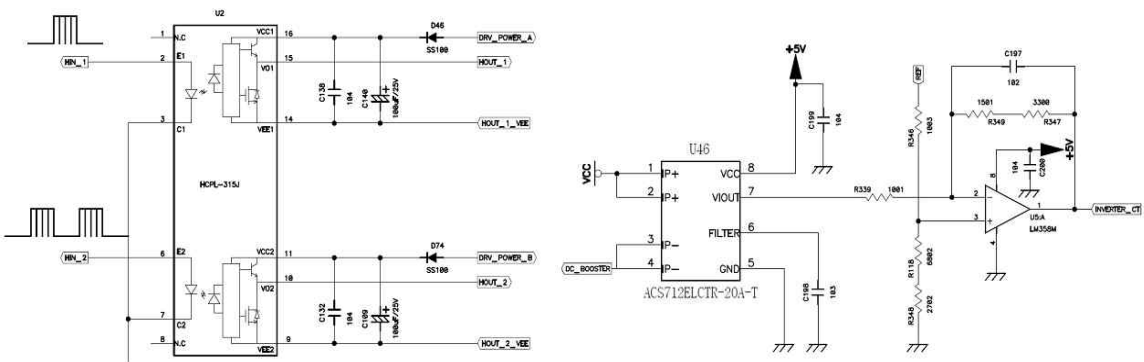
어 주기 위한 회로이다. (그림 12)는 실제로 펄스파가 LCL 필터를 거쳐 정형파로 출력되는 모습을 나타낸 것이다.

(그림 10) 인버터 H-브릿지 핵심회로



(Figure 10) Core Part of Inverter H-bridge

(그림 11) 인버터 주요 회로부

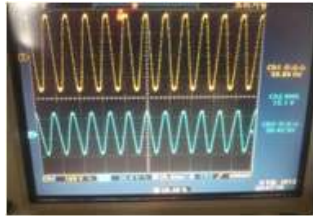


(Figure 11) Core parts of Inverter

(그림 12) LCL 필터 입출력 파형



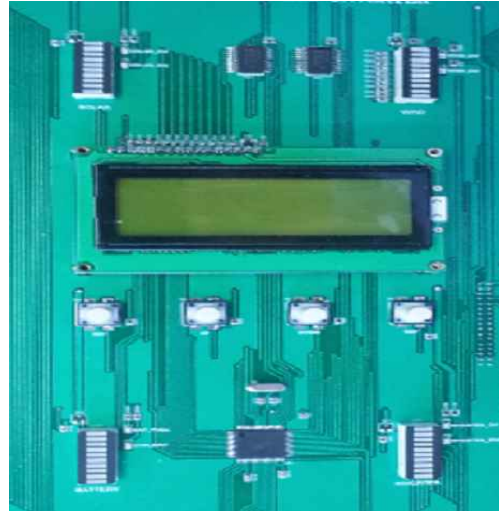
(a)



(b)

(Figure 12) Input and Output Waveform of LCL filter  
 (a) Input Pulse Waveform (b) Filtered Output Sine Waveform

(그림 14) 마이크로프로세서 ATmega128를 사용한 제어부



(Figure 14) Main Controller with Microprocessor ATmega128

(그림 15) 상용전원과의 계통연계 회로



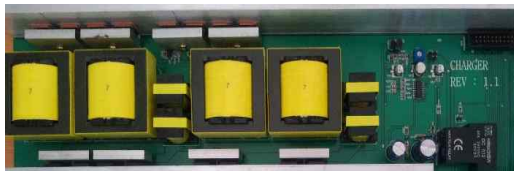
(Figure 15) Circuit for Grid-Connected System

### 3. 구현 및 실험 결과

#### 3.1 모듈 및 시스템 구현

(그림 13)에서 (그림 17)까지는 앞서 설계한 모듈들을 실제로 구현한 것들이다. 통합 PCB에 레이아웃을 최적화하여 모듈들을 배치하였으며 각 모듈들 사이의 배선은 PCB CAD 툴을 사용해서 최소가 되도록 설계하였고 주변장치와의 인터페이스를 위한 컨넥터 및 스위치의 배치도 고려하였다.

(그림 13) 브릿지형 풍력·태양광 충전 드라이버



(Figure 13) Driver for Bridge-type Solar-Wind Power Charger

(그림 16) 인버터 부



(Figure 16) Inverter Part

(그림 17) 완성된 PCS



(Figure 17) Implemented PCS

### 3.2 실험 결과 및 검토

설계하여 제작한 풍력 발전시스템과 태양광 발전시스템을 통합하여 운전할 수 있는 고품위 하이브리드용 CC/CV 기능의 복합 PCS의 성능을 전문 시험 기능을 갖춘 기업연구소에 의뢰하여 시험하였다. 시험을 통해 얻은 측정 결과 데이터는 <표 1>과 같다.

<표 1> 개발 시스템의 시험 결과(측정 데이터)

Items	Design Specification	Inputs			Outputs							
		V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	CE (%)				
Solar & Wind Power	DC 15V~DC 100V	30	30	900	12.8	62	806	89.6				
Commercial Power	DC 12V, 12A	AC 220	2	440	DC 12.8	12	389	88.4				
Independent Type Inverter	DC 11V~DC 15V	DC 12.6	92.62	1167	AC 220	4.55	1,000	85.7				
	V : Voltage, I : Current P : Power, CE : Conversion Efficiency											
	Test Equipments - DC Power Supply : DAP-3050R (DC 30V, 50A) - DC Voltage Meter : MT4W-DV-4N - AC Voltage Meter : MT4W-AV-4N Current Meter : MT4W-AV-4N											
Test Technician	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; text-align: center;">확인</td> <td style="width: 25%;">                     작성자 성명 : 연구소장                 </td> <td style="width: 25%; text-align: center;"> </td> <td style="width: 25%;">                     확인 성명 : 부소장                 </td> </tr> </table>								확인	작성자 성명 : 연구소장		확인 성명 : 부소장
확인	작성자 성명 : 연구소장		확인 성명 : 부소장									

<Table 1> Test Results (Measured data) of Implemented PCS

측정 데이터에서 보듯이 태양광·풍력, 한전충전, 독립형 인버터로서 사용 시 각각의 변환효율이 설계 목표 (85%)를 모두 상회하고 있음을 확인할 수 있다.

제안하는 PCS는 (1)상용전원과의 연계성 (2)출력의 다양성 즉 Time Mode외에도 Module Mode와 Night Light Mode를 갖추어 발전시스템 설치 현장의 상황에 효과적인 대응이 가능하 점 (3)충전 컨트롤러 안정도와 효율이 향상된 점등이 기존 방식과의 차별화된 장점이라 할 수 있다.

### 4. 결 론

본 논문에서는 기존의 중대형 발전용 PCS를 소형발전 시스템에 적용하기 어려운 점을 고려하여 상용전력과 연계가 가능하며, 독립형으로 설치 운영 시에도 에너지 저장체인 배터리의 장수명화와 안정적 운영이 가능한 태양광발전과 풍력발전에 모두 적용 가능한 CC/CV기능을 갖는 복합 PCS를 개발하였다. 설계과정에서 부분적으로 야기된 문제를 해결하기 위해 충전회로에 초퍼형 승압방식을 사용하여 회로를 간소화하였고 브리지 컨버터동작에서의 자속 불균형

문제를 블록킹 커패시터로 해결하였으며 인버터 회로에서 반도체소자의 turn-off 동작에 따른 과전압으로 인해 IGBT가 파괴되는 현상을 스누버 회로로 해결하였다.

전문시험능력을 갖춘 기업 부설 연구소를 통해 설계한 PCS가 목표치 이상의 사양과 성능을 달성하였음을 확인하였다.

향후 개발기술, 활용방안 및 신뢰성 인증 확보 계획으로는 Grid Parity 시대의 도래에 대응하기 위해 실생활에 폭넓게 사용될 수 있는 제품으로서 극서기와 동절기등 전력소모량이 많은 계절의 전력 피크에 유용한 각종 에너지 저장장치에 활용이 가능한 제품을 개발하는 것이다.

### References

[1] D. K. Sung et al, "Convergence of Power System Technology and Information Technology in Smart Grid," JCSE Vol 31, No. 3, pp. 10-21, 2013.

[2] E. S. Kim, C. S. Lee, "A Study on Power Balance Control for Photovoltaic/Wind/Diesel Hybrid Generation", Proceedings of KIEE Summer Conference, pp. 1388-1390, July, 2001.

[3] Jae-Hun Jung et al., "Current and Voltage Control Mode Transfer Method for PCS" Proceedings of KIPE Fall Conference, Vol. 2010, No. 11, pp. 265-266, 2010.

[4] Young-Deok Jung et al., "Analysis on the Characteristics of Photovoltaic/Wind Hybrid PCS System", Journal of KIPE Vol. 5, No. 1, pp. 19-25, 2000.

[5] Jae-Min Lee et al, "CC/CV Hybrid PCS for Solar & Wind Power Generation System", Proceedings of KIIECT Autumn Conference, Poster Session, 2012.

[6] Jae-Min Lee, Charge/Discharge Controller and Charge/Discharge Control Technique, Patent S/N 10-0787176, 2007.

[7] Jae-Min Lee et al, "Design of Battery Charge-Discharge Controller for Renewable Energy System - Focusing on Solar Battery Charge-Discharge Controller -", Journal of the Korea Academia - Industrial Cooperation Society, Vol. 8, No. 6, pp. 1363-1368, 2007.

[8] Jeong-Ik Jang et al, "nonlinear Control of Output Voltages of PWM Inverters for Stand-Alone Wind Power Generation", Journal of KIPE, Vol. 12 No. 2, pp. 131-138, 2007.

[9] Seung-Kyu Jeon et al, "A Study on the Design of 1kW Inverter for Stand-alone Wind Power Generator", Proceedings of KIEE Fall Conference, Vol. 2009, No. 10, pp. 124-125, 2009.

[10] Woo-Cheol Lee, "Maximum Power Tracking Control for a Grid-Tie Photovoltaic Inverter", Journal of Korea Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 23, No. 5 pp. 72-79, 2009.

### 이 재 민



1979년:한양대학교(공학사)  
 1981년:한양대학교 대학원(공학석사)  
 1987년:한양대학교 대학원(공학박사)  
 1990년~1991년:미국 일리노이대학 (Urbana-Champaign) Post-Doc.  
 2011년:호서대학교 연합신학대학원 (M.Div)

2001년~2002년 : 뉴욕주립대(Buffalo) 연구교수  
 2011년~2013년 : 관동대학교 공과대학 학장  
 2011년~2013년 : 관동대학교 공학교육혁신센터장  
 2010년~현재 : 한국정보통신기술학회 부회장  
 관심분야 : 태양광발전시스템, 시스템온칩 설계 및 IC CAD, LED 감성조명기술, 공학교육콘텐츠설계, 적정기술, 전문인선교신학