

비상전원 기능을 갖는 3kW급 하이브리드 ESS 개발

양석현¹, 김민재², 최세완[†], 조준석³

Development of 3kW Hybrid ESS with Function of Emergency Power Supply

Seok-Hyun Yang¹, Min-Jae Kim², Se-Wan Choi[†], and Jun-Seok Cho³

Abstract

This paper proposes a high-efficiency 3-kW hybrid ESS with emergency power supply. The proposed system enables efficient use of power from photovoltaic (PV) cells and energy storage system (ESS). The proposed system can operate as an uninterruptible power supply (UPS) when grid fault occurs, providing seamless transfer from grid-connected mode to stand-alone mode. The LLC converter for PV achieves ZVS turn-on of switches and ZCS turn-off of diodes, and the isolated bidirectional DC-DC converter for ESS achieves ZCS turn-off regardless of load condition, resulting in high efficiency. The efficiency and performance of the proposed hybrid ESS has been verified by a 3-kW prototype.

Key words: ESS(Energy Storage System), UPS(Uninterruptible Power Supply), Seamless transfer, Resonant converter, ZVS, ZCS

1. 서 론

전 세계의 주요 국가들은 환경오염과 화석 에너지 고갈에 대처할 방책으로 태양광, 풍력, 연료전지 등의 신재생 에너지 개발과 보급에 힘쓰고 있다^[1]. 이러한 다양한 신재생 에너지 중에서 태양광 발전은 설비 유지 및 보수 부담이 적고 시장 수요 잠재력이 높아서 가장 주목을 받고 있는 에너지이다^[2]. 그래서 태양광 발전은 소용량부터 대용량 발전까지 널리 이용되고 있다. 하지만 기상 조건과 같은 환경 여건에 따라 발전량이 일정하지 못하여 연속적이고 안정적인 전력 생산이 어렵다는 단점을 갖고 있다.

그 대안으로 에너지를 자체적으로 생산할 수 있는 기존의 태양광 발전 시스템에 ESS가 추가된 시스템이 최

근에 개발되고 있다^{[3],[4]}. 이 시스템은 자체적으로 생산하는 일정 수준의 전력량을 ESS의 배터리에 저장하고 계통에 공급하며, 기존 계통에서 충·방전을 통한 부하평준화 및 첨두부하분산도 가능하여 전력 사용의 효율성을 극대화할 수 있다.

만일 2011년 일본의 후쿠시마 원전 사고와 우리나라 9.15 전력 대란과 같은 대규모 정전 사태가 발생한다면 제한 송전이 불가피하다. 예상치 못한 정전이 발생할 경우에 인적 피해, 데이터 손상, 경제적 손실 등 많은 문제들이 발생할 수 있다. 그리고 민감한 부하를 사용하는 사람들은 고품질의 전력과 안정적인 전력 공급을 요구하고 있기 때문에 무정전 전원장치(UPS)의 필요성이 더욱 높아지고 있다^[5]. 최근 이러한 요구를 만족시키기 위하여 PV+ESS가 연계된 시스템이 출시되고 있으며 정전을 대비한 UPS기능이 추가되는 경향이 있다.

UPS기능을 실현시키려면 계통 연계 모드에서 독립 운전 모드로의 빠르고 안정적인 전환이 필요한데, 현재 이러한 문제를 해결하기 위해 모드전환 알고리즘 개선에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{[6]-[9]}.

본 논문에서는 PV+ESS 하이브리드 시스템에 UPS기능을 더한 3kW급 하이브리드 ESS를 제안한다. 제안한 UPS기능은 하드웨어의 추가나 교체 없이 무순단 절체 알고리즘을 통하여 계통사고가 발생하더라도 부하에 끊김이 없는 전력 공급이 가능하다. 제안하는 시스템은 PV 컨버터로 LLC 컨버터를 사용하여 전 부하에서 ZVS

Paper number: TKPE-2015-20-1-2

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: schoi@seoultech.ac.kr, Dept. of Electrical & Information Eng., Seoul Nat'l Univ. of Science and Technology

Tel: +82-2-970-6542 Fax: +82-2-972-2866

¹ Dept. of Electrical & Information Eng., Seoul Nat'l Univ. of Science and Technology

² Dept. of New Energy Eng., Seoul Nat'l Univ. of Science and Technology

³ EESYS Co. Ltd

Manuscript received Sep. 23, 2014; accepted Nov. 7, 2014

— 본 논문은 편집위원회에서 우수기술논문으로 추천됨

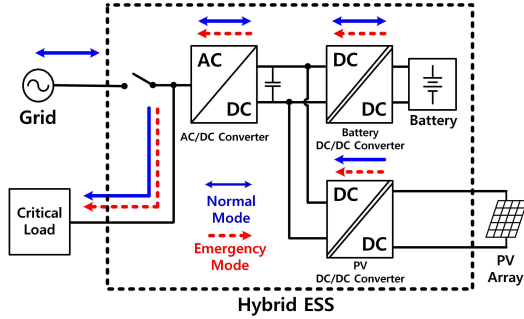


Fig. 1. Proposed hybrid ESS(PV+ESS+UPS).

턴온과 ZCS 턴오프를 실현하고 ESS용 컨버터로 전부하에서 ZCS 턴오프를 성취하는 절연형 양방향 컨버터를 사용하여 고효율을 달성하였다. 3kW급 시작품의 실험을 통하여 성능 검증을 실시하였다.

2. 제안하는 하이브리드 ESS

그림 1과 같이 제안하는 하이브리드 ESS는 Li-Ion 배터리 충·방전용 절연형 양방향 컨버터, 태양광 LLC 컨버터, AC-DC 컨버터로 구성되어 있다. 배터리 충·방전용 절연형 양방향 컨버터는 충전 및 방전 시 Li-Ion 배터리의 전류제어를 수행하고 계통사고가 발생할 때 DC링크 전압을 제어한다. 태양광 LLC 컨버터는 광량의 변화에 따라 태양전지의 MPPT(Maximum Power Point Tracking)를 수행하고 AC-DC 컨버터는 DC링크전압을 제어하며 계통과 연계되어 전력을 주고받는다. 계통사고가 발생할 경우 부하전압을 제어해 끊김이 없는 전력 공급이 가능하다. 본 하이브리드 ESS의 기능 및 특징을 정리하면 다음과 같다.

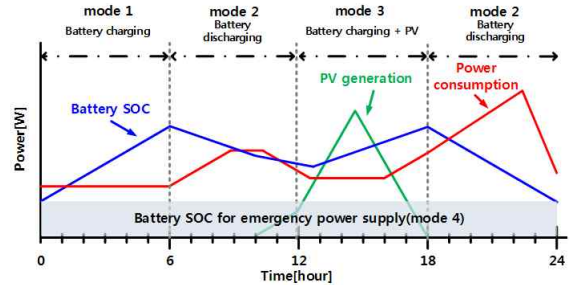
- 태양광 발전용 고효율 계통연계 PCS 기능
- 정전 시 UPS 모드 (모드전환 시 무순단 절제)
- 무효전력제어에 의한 전력품질 향상 기능
- Li-Ion 배터리 CC/CV 충·방전 제어 기능
- 부하평준화 및 침투부하 분산을 위한 운전 기능
- BMS 통신 상태관리/진단 기능
- 계통감시 및 통합 시스템 자가진단 기능
- 고속의 능동적 단독운전 방지 기능 및 보호기능
- 다양한 통신 인터페이스(CAN/RS-232/TCP IP)

2.1 운전 모드

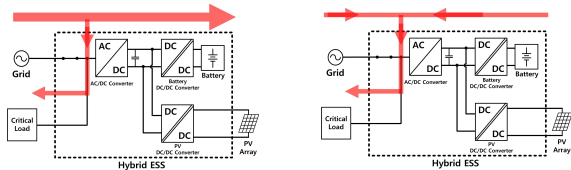
그림 2는 하이브리드 ESS의 전력 프로파일에 따른 동작 모드를 나타낸다. 상대적으로 전력 요금이 값싼 심야 시간(모드1: 심야 배터리 충전)에는 계통으로부터 전력을 공급받아 비상 부하에 전력을 공급하고 배터리를 충전한다. 오전 시간(모드2: 배터리 방전)에는 태양광 발전량이 적어 부하전력을 충당할 수 없기 때문에 배터리

TABLE I
SPECIFICATION OF THE PROPOSED HYBRID ESS

	Parameter	Value
DC Input (PV)	Maximum input voltage and current	500V/17 [A]
	MPPT voltage range	150~450 [V]
	Maximum input power	3.2 [kW]
Battery	Voltage range	128~162 [V]
	Rated discharge current	20 [A]
	Charging capacity	3 [kWh]
AC Output	Maximum output power	3 [kW]
	Rated grid voltage	220 [V]
	Maximum output current	16 [A]
	Rated frequency	60 [Hz]
	Power factor	>0.98
	Current harmonic THD	<5 [%]
	Voltage harmonic THD	<3 [%]
	Islanding detection	<0.5 [s]
	Overload capability	110 [%]
	Mode transfer time	<1/4 [cycle]

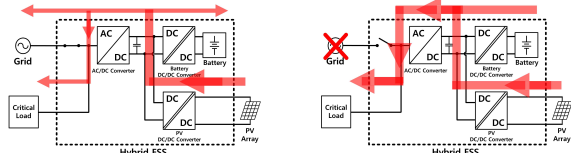


(a) Power profile



(b) mode1: battery charging

(c) mode2: battery discharging



(d) mode3: battery charging+PV

(e) mode4: emergency power supply(UPS)

Fig. 2. Operation mode of the proposed hybrid ESS according to power profile.

를 방전하면서 비상 부하에 전력을 공급한다. 주간 시간(모드3: 주간 배터리 충전+태양광 발전)에는 태양광 발전량이 많고 비상 부하가 적기 때문에 부하를 충분히 공급하고 배터리를 충전하며 잉여전력은 계통으로 주입

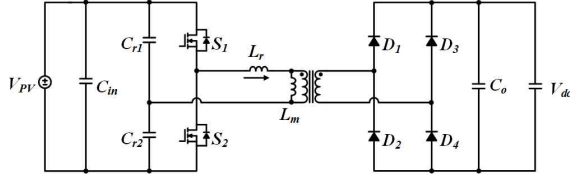
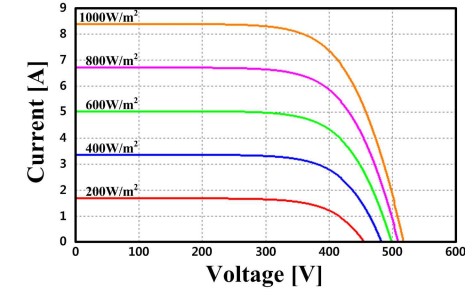
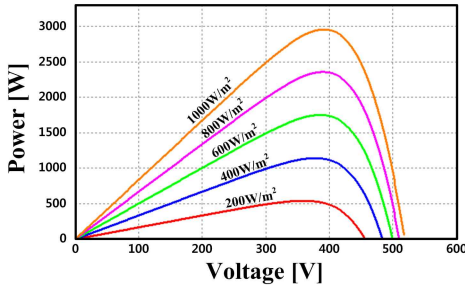


Fig. 3. Circuit of LLC converter for PV.



(a) I-V curve



(b) P-V curve

Fig. 4. The characteristics of 3kW PV array according to irradiance.

한다. 야간 시간(모드2)에는 일사량이 적어 태양광 발전량이 감소한다. 비상 부하에 필요한 에너지는 계통과 배터리로부터 공급받아 침두부하를 감소시킨다. UPS모드(모드4: 비상발전모드)는 정전 발생 시 계통과의 연결을 끊고 태양광 발전에너지와 배터리를 방전하여 비상 부하에 공급이 없는 전력을 공급한다. 모드전환 시간은 모드1,2,3에서 모드4로 전환되는 시간을 의미한다.

2.2 회로구성

2.2.1 태양광 발전용 LLC 컨버터

태양광 발전 시스템에서는 태양광 전지의 셀과 프레임 사이의 기생캐패시턴스가 존재하며 이로 인해 누설 전류가 발생되어 태양광 발전 시스템의 효율이 저하되는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해서는 고주파 절연형 DC-DC 컨버터 또는 선주파수 변압기를 사용해야한다^[10]. 제안하는 시스템에서는 부피와 효율을 고려하여 그림 3과 같이 LLC 공진형 컨버터를 선정하였다. LLC 공진형 컨버터는 전 부하범위에서 소프트 스위칭이 가능하여 높은 전력밀도를 성취할 수 있으며 회로 구성이 간단한 장점이 있다^[11].

3kW급 태양광발전을 위해 태양광 전지 YL230P-29b

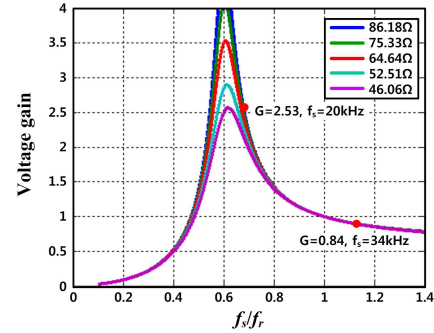


Fig. 5. Voltage gain.

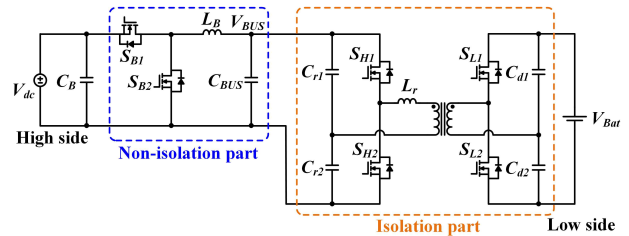


Fig. 6. Circuit of isolated bidirectional DC-DC converter for ESS.

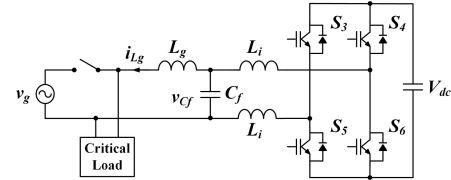


Fig. 7. Circuit of the AC-DC converter.

14개 직렬을 고려하면 특성곡선은 그림 4와 같다^[12]. LLC 공진형 컨버터는 특성곡선의 전압범위, ZVS 조건, 스위칭 손실 및 동작범위를 고려하여 설계하였고 전압 이득곡선은 그림 5와 같다.

2.2.2 ESS용 절연형 양방향 DC-DC 컨버터

배터리의 충·방전용 컨버터는 양방향 동작과 고효율 및 절연이 필요하다. 일반적으로 양방향 컨버터는 Dual active bridge(DAB)가 사용된다. DAB는 보조회로 없이 ZVS범위가 제한되며 입출력 전압범위가 넓을수록 순환 전류가 큰 단점이 있다. 제안하는 시스템에서는 전 부하영역에서 소프트 스위칭이 가능한 공진형 양방향 DC-DC 컨버터를 선정하였다^[13]. 그림 6과 같이 공진형 양방향 DC-DC 컨버터는 2단 구성으로 절연부 컨버터의 듀티(\$D=0.5\$)와 스위칭 주파수를 고정하며 비절연부 컨버터의 듀티로 출력을 제어한다. 비절연부는 하프브리 지 양방향 컨버터를 사용하였으며 절연부는 직렬 공진형 컨버터(SRC)를 사용하였다. SRC는 공진주파수와 스위칭 주파수가 같은 지점에서 사용하여 양방향 동작 모두 전 부하영역에서 ZCS 턴온 및 턴오프가 가능하여 스위치의 스위칭 손실이 거의 없다. 또한 비절연부 컨버

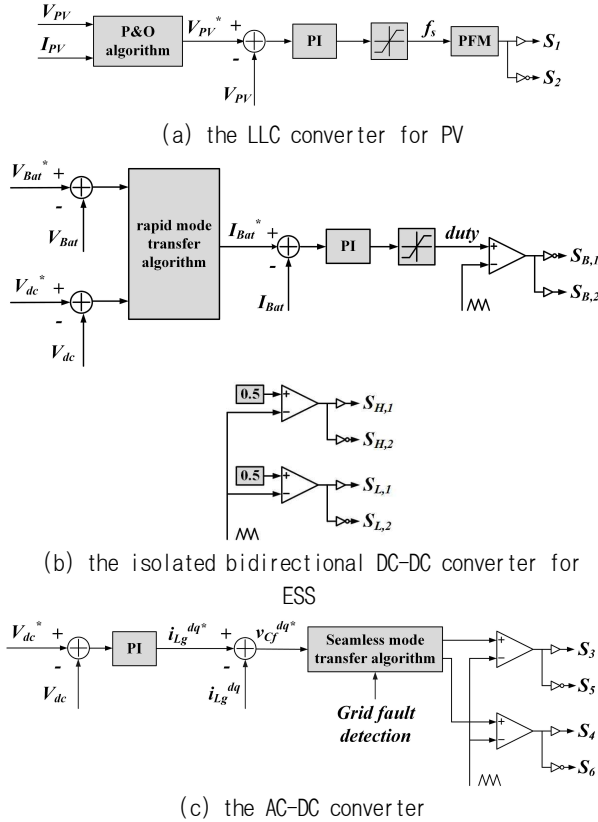


Fig. 8. Control block diagram of the proposed hybrid ESS.

터에서 전압·전류 및 양방향 동작을 제어하기 때문에 승·강압 각각의 게이트 신호 방식이 동일하여 모드전환에 따른 과도상태가 발생하지 않는다.

2.2.3 계통 연계형 AC-DC 컨버터

그림 7은 AC-DC 컨버터의 구성도로 계통전압은 v_g , 계통 측 인덕터 전류는 i_{Lg} , 필터 커패시터 전압은 v_{Cf} , 직류 측 커패시터 전압은 V_{dc} 이다. AC-DC 컨버터는 양방향 동작이 가능한 풀브리지 구조로 수동소자의 부피저감을 위하여 LCL필터를 사용^{[14],[15]}하고 스위칭 노이즈를 줄이기 위해 L_i 필터 인덕터를 인버터의 각 레그에 한 개씩 총 두 개가 사용되었다. 두 개의 L_i 인덕터스는 각각 동일하다.

2.3 제어알고리즘

그림 8은 제안하는 하이브리드 ESS의 제어알고리즘 블록도이다. 태양광 LLC 컨버터는 태양광 전지의 최대 전력 지점 추종 제어를 위해 P&O알고리즘을 사용하고 제어블록도는 그림 8(a)와 같다. 절연형 양방향 컨버터는 정상운전 시 배터리의 CC-CV 제어를 수행하고 비상발전모드에서 DC 링크전압 제어를 수행하고, 제어블록도는 그림 8(b)와 같다. 비상발전모드에서는 배터리 충전 또는 방전 시로 구분하여 그림 9와 같이 전압밴드

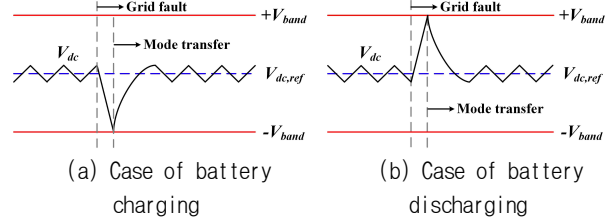
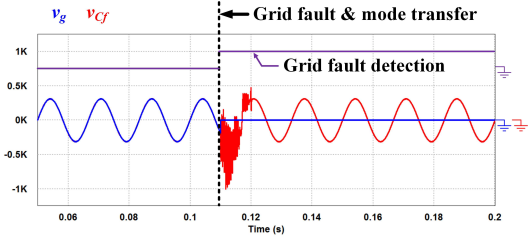
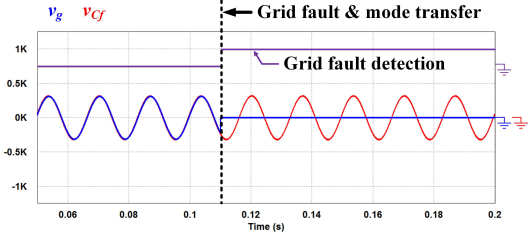


Fig. 9. Operating waveform according to battery state when emergency occur.



(a) Conventional mode transfer algorithm



(b) Proposed seamless transfer algorithm

Fig. 10. Simulation waveform comparing mode transfer algorithms.



Fig. 11. Photograph of the proposed hybrid ESS.

를 이용해 계통사고를 감지 후 DC 링크전압 제어를 수행한다. 그림 8(c)는 AC-DC 컨버터의 제어알고리즘을 나타낸다. 외부의 직류 측 전압제어와 내부의 교류 측 전류제어와 무순단 절체 알고리즘으로 구성되어있다. 계통이 정상일 때는 AC-DC 컨버터가 DC 링크전압을 제어한다. 계통사고가 발생하였을 경우 단독운전 방지 알고리즘을 통해 계통사고를 감지한다. 그리고 계통연계 모드에서 독립운전 모드로 전환 하여 부하전압 제어를 수행한다. 그림 10(a)는 무순단 절체 알고리즘을 적용하지 않았을 때의 시뮬레이션 파형이다. 모드전환 할 때 과도상태가 매우 큰 것을 확인 할 수 있다. 10(b)는 무순단 절체 알고리즘을 적용했을 경우의 시뮬레이션 파

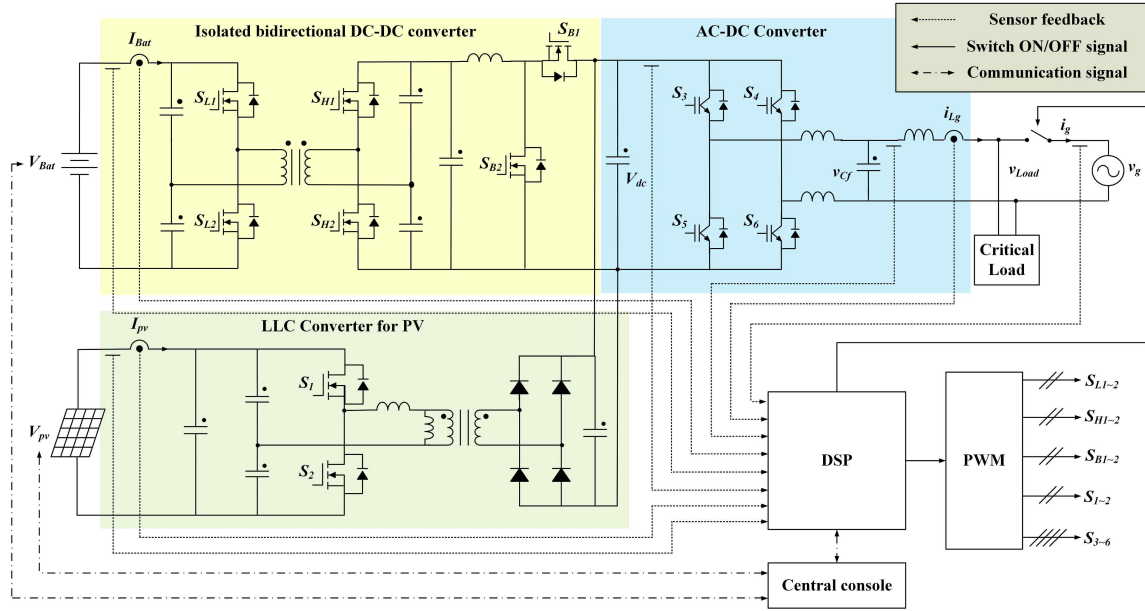
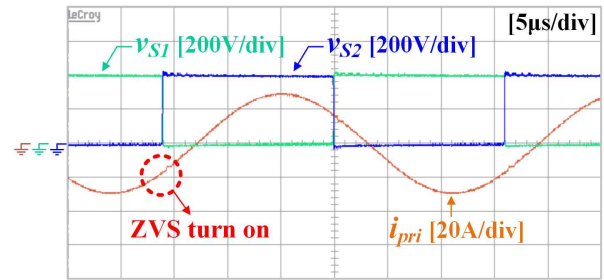


Fig. 12. Configuration of the proposed hybrid ESS.

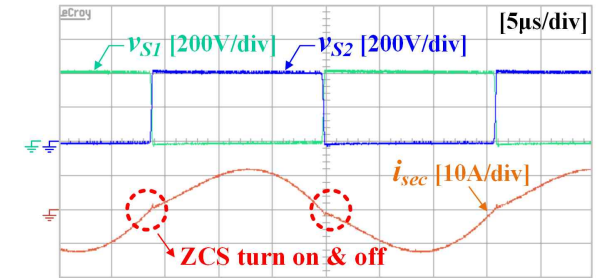
형이다. 큰 과도상태 없이 안정적인 전압 제어가 수행되고 있다. 위 제어알고리즘을 통해 정전이 발생하더라도 배터리에 충전된 에너지를 이용해 비상 부하에 끊김 없이 안정적으로 전력을 공급할 수 있다.

3. 실험

제안하는 하이브리드 ESS의 성능을 검증하기 위해 표 1의 사양으로 시작품을 제작하여 실험을 하였다. 그림 11은 제안하는 하이브리드 ESS의 시작품 사진이다. 그림 12는 제안하는 하이브리드 ESS의 시스템 구성도이다. 단일 DSP를 이용하여 각 PCS의 전압과 전류 정보를 받아 제어한다. 상위제어기는 태양광 전지와 배터리의 정보를 받아 운전모드를 결정한다. 계통과 연계하는 스위치는 운전모드 상황에 맞게 DSP에서 제어한다. 상측부터 제어부와 파워부 그리고 Li-Ion 배터리로 구성되었다. 그림 13은 태양광 LLC 컨버터의 스위치 및 다이오드의 전압 및 전류 실험 파형이다. 전 부하영역에서 스위치의 ZVS 턴온 및 다이오드의 ZCS 턴오프를 성취한다. 그림 14는 태양광 LLC 컨버터의 측정 효율로 정격에서 98.1%를 달성하였다. 그림 15는 한국기계전기전자시험연구원의 태양광 시뮬레이터를 이용해 측정한 MPP 효율 데이터이다. 그림 15(a)는 정격에서 99%의 효율로 최대전력점을 추종하는 것을 확인 할 수 있다. 그림 15(b)는 입력전력을 변동하더라도 최대전력점을 추종하는 것을 확인 할 수 있다. 본 논문의 모든 효율은 전력 분석기(YOKOGAWA WT3000)를 이용하여 측정하였다. 그림 16은 절연형 양방향 컨버터의 스위치 전압 및 전류 실험파형이다. 고전압측과 저전압측 스위치 모두 전 부하영역에서 ZCS 턴온 및 턴오프를 성취한다.



(a) Switches



(b) Diodes

Fig. 13. Experimental waveforms of the LLC converter for PV.

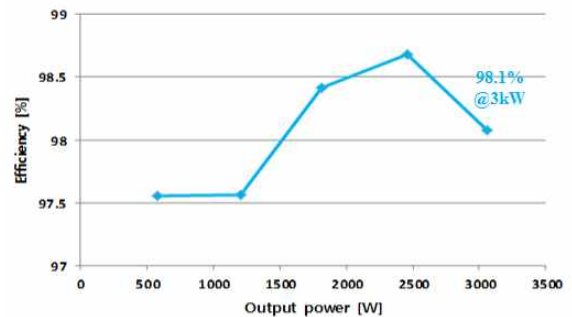
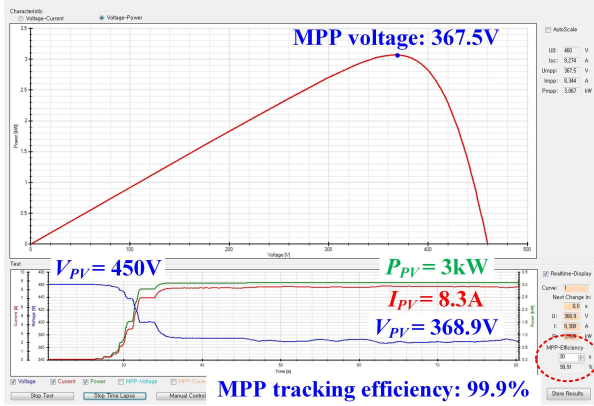
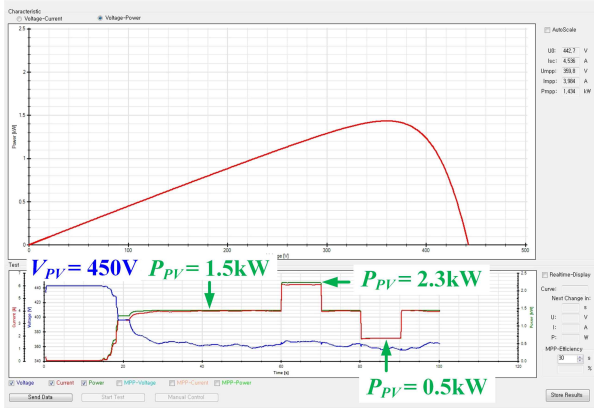


Fig. 14. Measured efficiency of the LLC converter for PV.

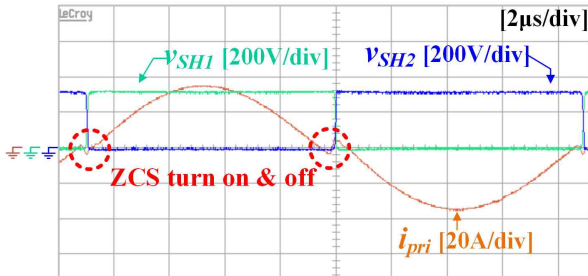


(a)

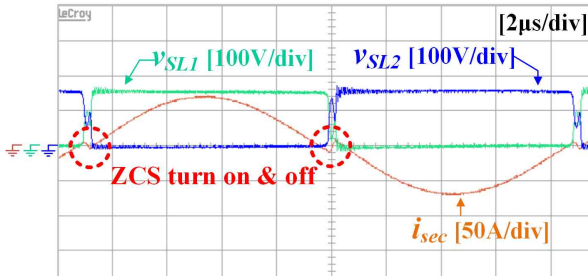


(b)

Fig. 15. Measured efficiency of MPP.



(a) High-side switches



(b) Low-side switches

Fig. 16. Experimental waveforms of the isolated bidirectional DC-DC converter for ESS.

그림 17은 절연형 양방향 컨버터의 측정 효율로 배터리전압이 162V일 때 충전 및 방전 시 각각 정격에서

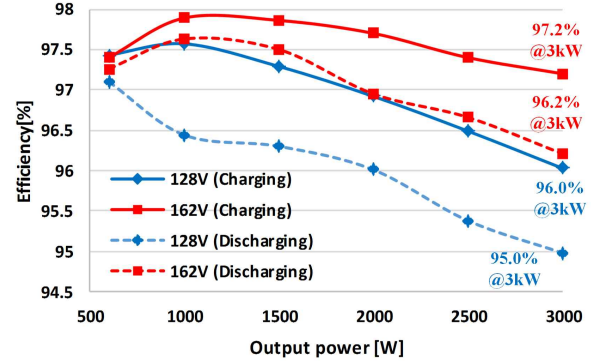


Fig. 17. Measured efficiency of the isolated bidirectional DC-DC converter for ESS.

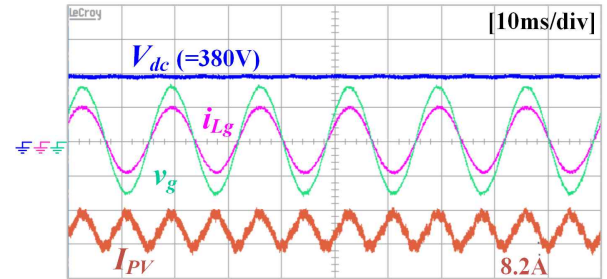


Fig. 18. Experimental waveforms of the LLC converter for PV cascaded with the AC-DC converter.

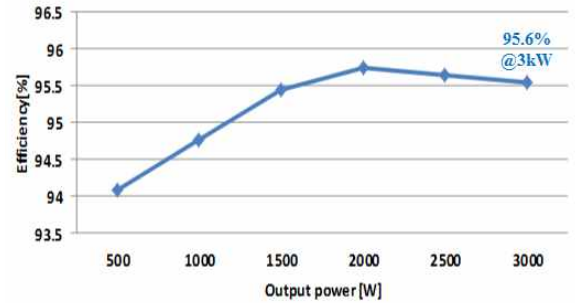
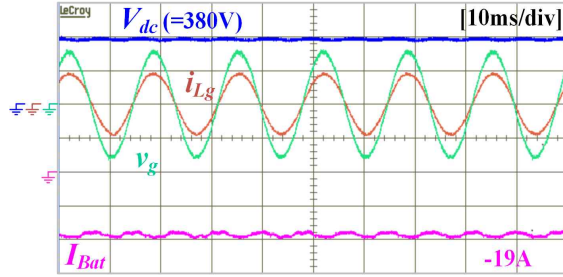
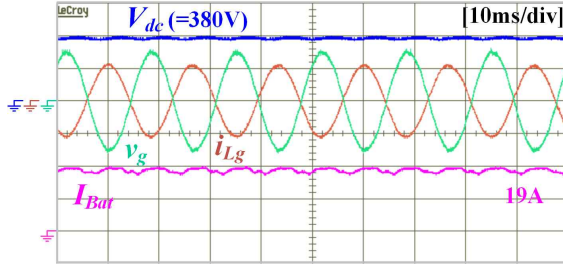


Fig. 19. Measured efficiency of the LLC converter for PV cascaded with the AC-DC converter.

97.2%, 96.2%를 달성하였고, 배터리전압이 128V일 때 충전 및 방전할 경우 각각 정격에서 96.0%, 95.0%를 달성하였다. 그림 18은 태양광 LLC 컨버터와 AC-DC 컨버터의 연계 실험파형이다. 그림 19는 태양광 LLC 컨버터와 인버터의 연계 실험 측정 효율로 정격에서 95.6%를 달성했다. 그림 20은 절연형 양방향 컨버터와 AC-DC 컨버터의 연계 실험파형이다. 그림 21은 절연형 양방향 컨버터와 AC-DC 컨버터의 연계 실험 측정 효율로 충전할 때 정격에서 94.6% 방전 시 정격에서 94.1%를 달성하였다. 그림 22는 각 모드별 실험파형을 나타낸다. 그림 23은 모드전환 파형으로 하이브리드 ESS가 정격으로 배터리 방전 동작 중이고 부하는 정격과 동일한 전력을 요구하는 상황에서 정전이 발생하여



(a) Battery charging



(b) Battery discharging

Fig. 20. Experimental waveforms of the isolated bidirectional DC-DC converter for ESS cascaded with the AC-DC converter.

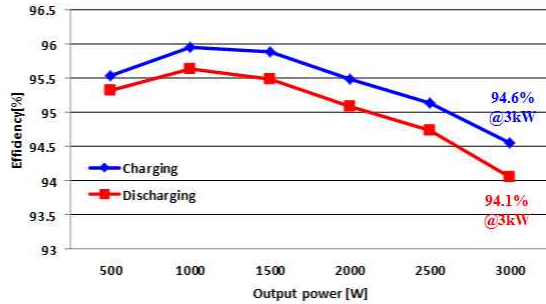
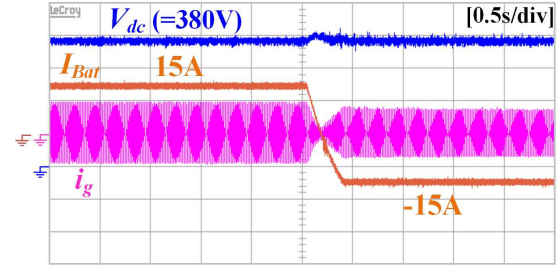


Fig. 21. Measured efficiency of the isolated bidirectional DC-DC converter for ESS cascaded with the AC-DC converter.

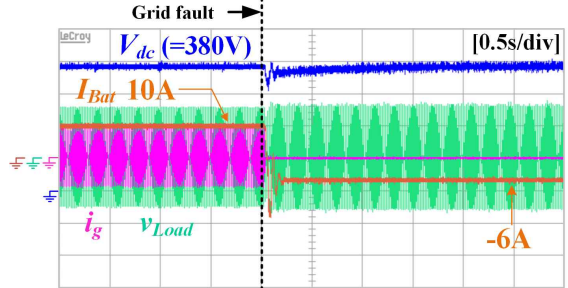
단독운전이 발생한 상황이다. 295ms 이후 정전을 감지하여 UPS모드로 동작하게 된다. 파란색 파형 단독운전 감지 flag로 감지되었을 때 low상태에서 High로 전환된다.

4. 결 론

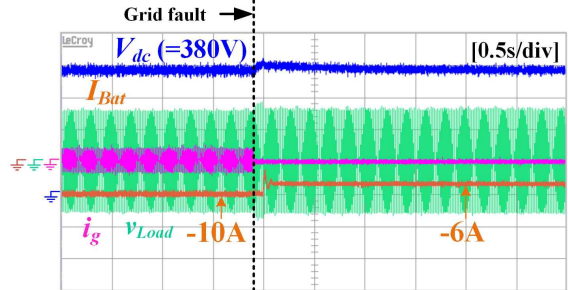
본 논문에서는 3kW급 하이브리드 ESS를 제안하였다. PV+ESS 하이브리드 시스템에 하드웨어의 추가나 교체 없이 UPS기능을 더한 제품이다. 제안하는 하이브리드 ESS는 4가지 운전모드(심야 배터리 충전, 배터리 방전, 주간 태양광 발전+배터리 충전, 비상발전)와 기능을 갖는다. 또한 PV 컨버터로 LLC 컨버터를 사용하여 전 부하에서 ZVS 턴온과 ZCS 턴오프를 실현하고 ESS용 컨버터로 전부하에서 ZCS 턴오프를 성취하는 절연형 양방향 컨버터를 사용하여 고효율을 달성하였다. 그 결과



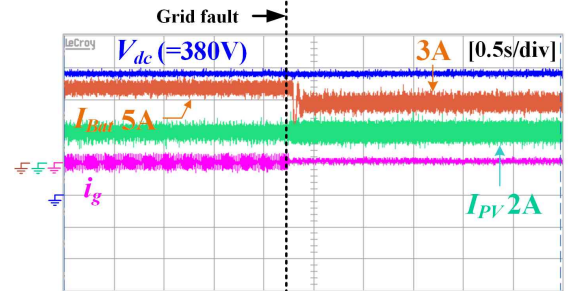
(a) mode1 → mode2(no load)



(b) mode1 → mode4(load=900W)



(c) mode2 → mode4(load=900W)



(d) mode3 → mode4(load=300W)

Fig. 22. Experimental waveforms of the proposed hybrid ESS.

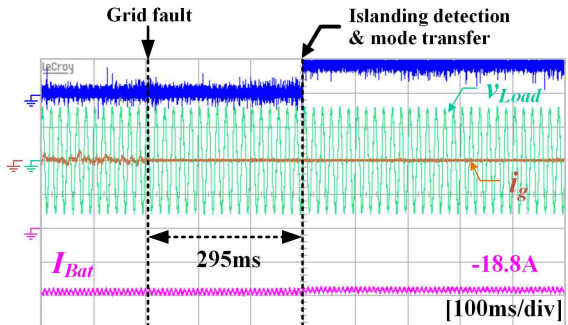


Fig. 23. Experimental waveforms of islanding detection and mode transfer.

로 태양광 LLC 컨버터와 AC-DC 컨버터 연계 했을 경우 정격에서 95.6%의 효율을 달성하였고 정격 운전 상황(162V_{Bat})에서 ESS용 절연형 양방향 컨버터와 AC-DC 컨버터 연계 시 충전 및 방전 시 각각 94.6%, 94.1%의 효율을 달성하였다. 또한 계통사고가 발생 하더라도 무순단 절체 알고리즘을 통하여 비상 부하에 끊김 없는 전력 공급이 가능하게 하였다. 3kW급 시작품을 통한 실험 결과로 본 논문의 타당성을 입증하였다.

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공동기술개발사업(No. C0007419)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

- [1] F. Blaabjerg, F. Iov, T. Kerekes, R. Teodorescu, "Trends in power electronics and control of renewable energy systems," in *14th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE/PEMC)*, pp. 1-19, 2010.
- [2] H. Yan, Z. Zhou, H. Lu, "Photovoltaic industry and market investigation," *IEEE Sustainable Power Generation and Supply*, 2009.
- [3] S. Chiang, K. Chang, and C. Yen, "Residential photovoltaic energy storage system," *IEEE Industrial Electronics*, Vol. 45, No. 3, pp. 385-394, June 1998.
- [4] D. Wang, F. Z. Peng, "Smart gateway grid: A DG-based residential electric power supply system," *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol 3, No 4, pp. 2232-2239, Dec. 2012.
- [5] A. Emadi, A. Nasiri, and S. B. Bekiarov, *Uninterruptible Power Supplies and Active Filters*. Boca Raton, FL: CRC Press, Oct. 2004.
- [6] G. Q. Shen, D. H. Xu, and X. M. Yuan, "A novel seamless transfer control strategy based on voltage amplitude regulation for utility-interconnected fuel cell inverters with an LCL-filter," in *Proc. IEEE Power Electron. Spec. Conf.*, pp. 1-6, Jun. 2006.
- [7] Y. A.-R. I. Mohamed and A. Radwan, "Hierarchical control system for robust micro-grid operation and seamless mode-transfer in active distribution systems," *IEEE Trans. Smart Grid*, Vol. 2, No. 2, pp. 352-362, Jun. 2011.
- [8] W. Zhang, D. Xu, X. Li, R. Xie, H. Li, D. Dong, C. Sun, and M. Chen, "Seamless transfer control strategy for fuel cell uninterruptible power supply system," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 28, No. 2, pp. 717-729, Feb. 2013.
- [9] W. Zhang, D. Xu, X. Li, R. Xie, H. Li, D. Dong, C. Sun, and M. Chen, "Seamless transfer control strategy for fuel cell uninterruptible power supply system," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 28, No. 2, pp. 717-729, Feb. 2013.
- [10] H. Hu, S. Harb, J. Shen, and I. Batarseh, "A review of power decoupling techniques for microinverters with three different decoupling capacitor locations in PV systems," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 28, No. 6, pp. 2711-2726, Jun. 2013.
- [11] G. Ivensky, S. Bronshtein, and A. Abramovitz, "Approximate analysis of resonant LLC dc-dc converter," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 26, No. 11, pp. 3274-3284, Nov. 2011.
- [12] Yingli Solar Datasheet of PV module YL230P-29b
- [13] J. Park, M. Kwon, and S. Choi, "Design and control of a bi-directional resonant DC-DC converter for automotive engine/battery hybrid power generators," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 29, No. 7, pp. 3748-3757, Jul. 2014.
- [14] M. Liserre, F. Blaabjerg, S. Hansen, "Design and control of an LCL-filter-based three-phase active rectifier," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 41, No. 5, pp. 1281-1291, Sep./Oct. 2005.
- [15] S. Jung and S. Choi, "Optimized LCL filter design method of utility interactive inverter," *Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, Vol. 18, No. 1, pp. 103-109, Feb. 2013.



양석현(梁爽賢)

1988년 4월 25일생. 2013년 서울과학기술대 전기정보공학과 졸업. 2013년~현재 동 대학원 전기정보공학과 석사과정.



김민재(金民才)

1988년 10월 25일생. 2011년 서울과학기술대 제어계측공학과 졸업. 2013년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2013년~현재 동 대학 에너지환경대학원 신에너지공학과 박사과정.



최세완(崔世琬)

1963년 3월 3일생. 1985년 인하대 전자공학과 졸업. 1992년 Texas A&M Univ. 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 졸업(공학박). 1985년~1990년 대우중공업 중앙연구소 대리. 1996년~1997년 삼성전기 종합 연구소 수석연구원. 1997년~현재 서울과학기술대 전기정보공학과 교수. 당 학회 국제이사.



조준석(趙竣奭)

1974년 5월 4일생. 1997년 건국대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2004년~2006년 삼성전자 디지털 미디어 총괄 책임연구원. 2007년~현재 (주)이이시스 상무이사.