

# 전압 이득이 향상된 단상 전류형 qZ-소스 인버터

신현학<sup>1</sup>, 차헌녕<sup>†</sup>, 김흥근<sup>2</sup>

## Enhanced Voltage Gain Single-Phase Current-Fed qZ-Source Inverter

Hyun-Hak Shin<sup>1</sup>, Hon-Nyong Cha<sup>†</sup>, and Heung-Geun Kim<sup>2</sup>

**Abstract** - This paper proposes a performance improvement of existing single-phase current-fed qZ-Source inverter. Voltage gain of the traditional voltage-fed full-bridge inverter and single-phase current-fed qZ-source inverter is only equal to or smaller than input voltage. The proposed inverter can obtain twice higher voltage gain than the single-phase current-fed qZ-Source inverter by adding an extra switch and a capacitor in the circuit. In addition, the proposed inverter shares the common ground between dc input and ac output voltage. Therefore, the proposed inverter can eliminate the possible ground leakage current problem when it is used for grid-tied photovoltaic inverter system. A 120 W prototype inverter is built and tested to verify performances of the proposed inverter.

**Keywords:** buck-boost, full-bridge inverter, single-phase qZ-source inverter, voltage gain

### 1. 서 론

최근 화석 에너지의 고갈과 함께 신재생 에너지를 이용한 발전 방법이 많이 연구되고 있는 가운데 태양광 및 연료전지 발전 시스템, 배터리 충, 방전 분야에 값이 싼 단상 DC-AC 인버터의 수요가 증가 되고 있다.

기존에 많이 사용되고 있는 방법은 단상 Full-Bridge (FB) 방식을 이용한 인버터이다. 그림 1은 단상 FB 인버터를 나타낸다. 그림 1의  $v_m$ 은 입력전압,  $v_o$ 는 출력전압을 나타내며  $L_o$ ,  $C_o$ 는 출력필터를 나타낸다.

기존의 단상 FB 인버터는 네 개의 스위치를 사용하지만 출력전압이 입력전압 보다 작거나 같아 입력전압보다 큰 출력전압은 얻을 수 없는 단점이 있다. 만약 입력전압이 충분치 않아 승압이 요구 되어질 경우에는 부스트 컨버터를 인버터 앞단에 추가하여 2단 전력 변환 시스템을 구성해야 한다. 하지만 2단 전력 변환 시스템은 효율을 감소시킬 뿐만 아니라 전체 시스템의 부피를 증가 시키며, 시스템의 가격 상승을 유발한다.

또 다른 방법으로는 벡-부스트 인버터이다. 그림 2는

단상 벡-부스트 인버터를 나타낸다.<sup>[1][2]</sup> 그림 2의  $v_m$ 은 입력전압,  $v_o$ 는 출력전압을 나타내며  $L_1$ ,  $L_2$ 는 각 컨버터의 부스트 인덕터이고,  $C_1$ ,  $C_2$ 는 출력 커패시터이다. 벡-부스트 인버터는 그림 2와 같이 두 DC-DC 컨버터를 연결 하여 DC 입력전압을 공유하고 두 컨버터 출력전압  $v_{o1}$ 과  $v_{o2}$ 사이를 지나는 전압을 출력 하게 된다. 벡-부스트 인버터는 입력전압보다 높은 출력전압을 얻을 수 있지만 이 역시 네 개의 스위치가 필요하며 또 각각의 스위치에는 높은 전압이 걸리게 되므로 스위치의 전압 스트레스가 증가 하게 된다. 따라서 그림 2의 벡-부스트 인버터는 높은 효율을 기대하기가 어렵다. 그림 1의 FB 인버터와 그림 2의 벡-부스트 인버터의 또 다른 문제점은 입력과 출력의 접지가 다르다는 것이다. 만약 변압기가 없는 계통연계형 태양광 발전 시스템에서 입력인 태양광셀과 출력인 계통의 접지가 같지 않다면 큰 누설전류가 흐르게 되어 안전성 문제와 EMI (Electromagnetic interference) 문제의 원인이 된다.<sup>[3][4]</sup>

앞에서 언급한 문제점들을 극복하기 위하여 최근 Z-소스 또는 qZ-소스 인버터 구조의 많은 전력변환 토폴로지들이 소개 되었다.<sup>[5-12]</sup> 그림 3(a)는 기존의 단상 전류형 qZ-소스 인버터를 나타내고, 그림 3(b)는 이의 전압 이득을 나타낸 그림이다.

그림 4는 그림 3의 단상 전류형 qZ-소스 인버터의 PWM 제어신호 생성을 나타낸 그림이다. 스위치  $S_1$ ,  $S_2$ 가 교대로 온, 오프를 반복하면서 동작한다. 전압이득은

Paper number: TKPE-2013-18-4-2 ISSN: 1229-2214

<sup>†</sup> Corresponding author: chahonny@knu.ac.kr, School of Energy Eng., Kyungpook National University  
Tel: +82-53-950-8972 Fax: +82-53-950-8979

<sup>1</sup> School of Energy Eng., Kyungpook National University

<sup>2</sup> Dept. of Electrical Eng., Kyungpook National University  
Manuscript received Jan. 10, 2013; accepted Apr. 2, 2013

— 본 논문은 2012년 추계학술대회 외부장학금 수혜논문임

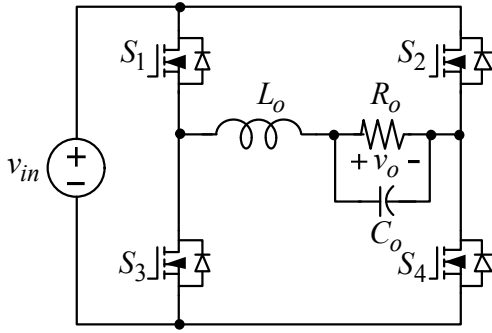


Fig. 1 Conventional single-phase FB inverter

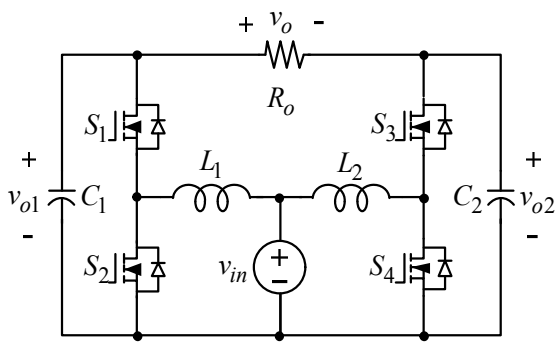
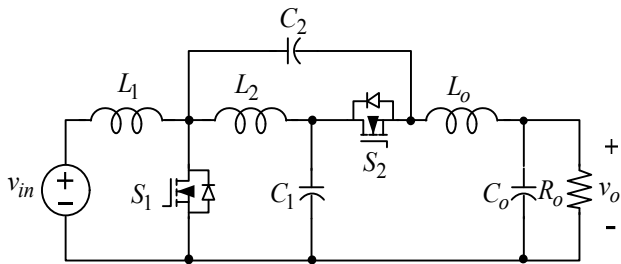
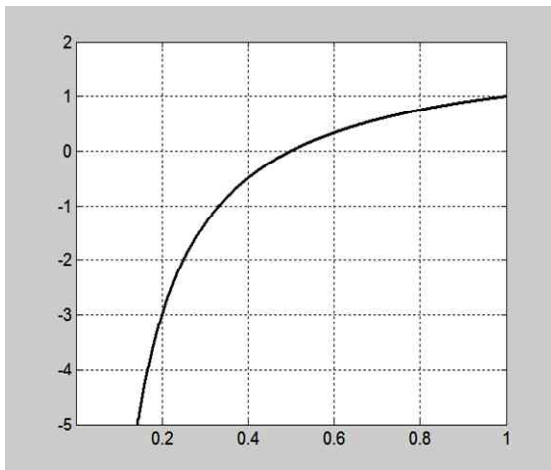


Fig. 2 Conventional single-phase buck-boost inverter



(a) Circuit topology



(b) Voltage gain

Fig. 3 Single-phase current-fed qZ-Source inverter

스위치  $S_2$ 의 듀티비를  $D$ 라고 정의하면 식 (1)과 같다. 단상 전류형 qZ-소스 인버터의 전압 이득을  $M$ 이라 정의 하고, 식 (1)을 이용하여 최대 전압 이득을 구하면  $D=1$ 일 때 최대가 되며 이때  $M=1$ 이 된다. 이때 듀티비  $D$ 와의 관계식은 다음과 같다.

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{2D-1}{D} \tag{1}$$

$$v_o = v_m \sin \omega t \tag{2}$$

$$\frac{v_m}{v_{in}} = M \tag{3}$$

$$D = \frac{1}{3 - M \sin \omega t}, \quad (0 \leq M \leq 1) \tag{4}$$

그림 3의 단상 전류형 qZ-소스 인버터는 입력과 출력의 접지가 공통이다. 따라서 태양광 발전 계통연계형 인버터 시스템에 적용 시 앞에서 언급한 누설 전류 문제를 해결함으로써 안전성 문제와 EMI문제를 해결할 수 있다. 하지만 그림 3(b)의 전압이득 곡선에서 알 수 있듯이 여전히 입력전압보다 큰 출력전압을 얻을 수 없는 문제점이 남아 있다.

본 논문에서는 기존 단상 전류형 qZ-소스 인버터의 낮은 전압이득 문제점을 해결하기 위하여 전압이득이 개선된 단상 전류형 qZ-소스 인버터를 제안한다. 제안한 인버터는 단상 전류형 qZ-소스 인버터와 같이 입력과 출력이 공통 접지를 가진다.

## 2. 제안한 단상 전류형 qZ-소스 인버터

제안한 인버터는 기존의 단상 전류형 qZ-소스 인버터에 그림 5와 같이 스위치( $S_3$ )와 커패시터( $C_3$ )를 하나씩 추가하였다.<sup>[13][14]</sup> 그림 5는 제안한 인버터를 나타낸다.

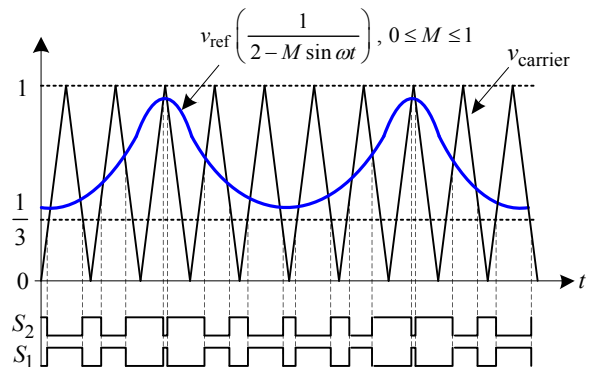


Fig. 4 Gate signal generation of the single-phase current-fed qZ-Source inverter

제안한 인버터의 스위치 동작은 그림 3의 단상 qZ-소스 인버터와 동일하게  $S_1, S_2$ 가 교대로 온, 오프를 반복하며, 추가한  $S_3$ 은  $S_1$ 과 동기 되어 동작한다.

### 3. 제안한 인버터의 동작 모드 분석

#### 3.1 모드 1

모드 1에서는 스위치  $S_1, S_3$ 이 턴-온 되고,  $S_2$ 는 턴-오프 된다. 그림 6(a)의 동작모드 1에서  $S_1, S_3$ 이 턴-온 되면 커패시터  $C_3$ 은  $v_{in}$ 으로 충전 하게 된다.  $C_3$ 의 전압이 이상적으로는  $v_{in}$ 으로 유지가 되지만  $C_3$ 은 충, 방전을 하므로 이로 인해  $C_3$ 에 약간의 전압 리플이 생길 수 있다. 이 전압 리플로 인해  $C_3$ 의 전압과 입력전압에 작은 차이가 생기게 되어 스위치  $S_1, S_3$ 이 턴-온시 과도한 전류가 스위치로 흐를 수 있다. 하지만 이 전류는 회로 내에 존재하는 기생 인덕턴스에 의해 쉽게 제한되어진다.<sup>[15]</sup> 모드 1에서의 전압 전류 관계식은 다음과 같다.

$$v_{C_3} = v_{in} \quad (5)$$

$$\begin{cases} L_1 \frac{di_{L_1}}{dt} = v_{in} \\ L_2 \frac{di_{L_2}}{dt} = v_{C_1} - v_{in} \\ L_o \frac{di_{L_o}}{dt} = v_o - v_{in} - v_{C_2} \end{cases} \quad (6)$$

$$i_{in} = i_{L_1} + i_{S_3} \quad (7)$$

$$i_{S_1} = i_{L_1} + i_{C_3} \quad (8)$$

$$\begin{cases} C_1 \frac{dv_{C_1}}{dt} = i_{L_2} \\ C_2 \frac{dv_{C_2}}{dt} = i_{L_o} \\ C_3 \frac{dv_{C_3}}{dt} = i_{S_3} + i_{L_o} + i_{L_2} \end{cases} \quad (9)$$

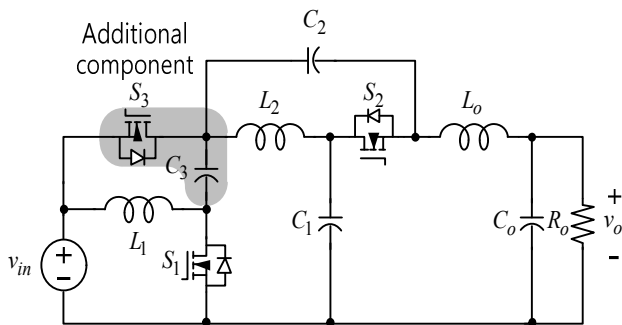


Fig. 5 Proposed improved single-phase current-fed qZ-Source inverter

#### 3.1 모드 2

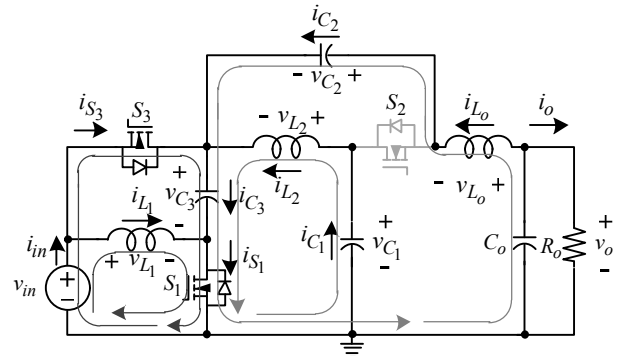
모드 2에서는 스위치  $S_1, S_3$ 이 턴-오프 되고,  $S_2$ 가 턴-온 된다. 커패시터  $C_3$ 은 인덕터  $L_1$ 의 전류에 의해 방전 된다. 모드 2에서의 전압 전류 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{cases} L_1 \frac{di_{L_1}}{dt} = v_{in} + v_{C_3} + v_{C_2} - v_{C_1} \\ L_2 \frac{di_{L_2}}{dt} = v_{C_2} \\ L_o \frac{di_{L_o}}{dt} = v_o - v_{C_1} \end{cases} \quad (10)$$

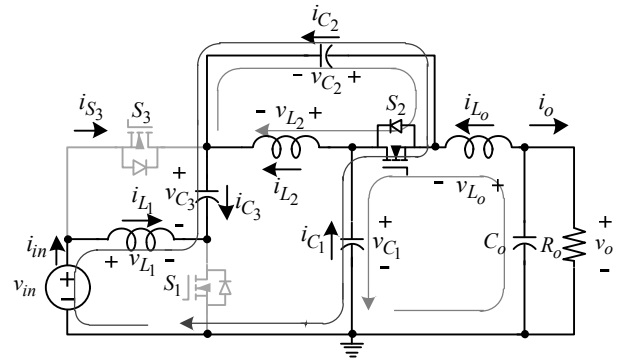
$$i_{S_2} = i_{L_1} + i_{L_2} + i_{L_o} \quad (11)$$

$$\begin{cases} C_1 \frac{dv_{C_1}}{dt} = -i_{L_1} - i_{L_o} \\ C_2 \frac{dv_{C_2}}{dt} = -i_{L_1} - i_{L_2} \\ C_3 \frac{dv_{C_3}}{dt} = -i_{in} = -i_{L_1} \end{cases} \quad (12)$$

식 (6), (10)을 이용하여 인덕터  $L_1, L_2, L_o$ 의 volt-sec(flux) balance 조건을 이용하면 전압 관계식과 제안한 인버터의 전압이득을 얻을 수 있다. 스위치  $S_2$ 의 듀티비를 D로 정의 하였다.



(a) Mode 1



(b) Mode 2

Fig. 6 Operating principle of the proposed inverter

$$v_{C_1} = 2v_{in} \quad (13)$$

$$v_{C_2} = \left(\frac{D-1}{D}\right)v_{in} \quad (14)$$

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{3D-1}{D} \quad (15)$$

식 (9), (12)를 이용하여 커패시터  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ 의 current-sec(charge) balance 조건을 이용하면 다음과 같이 전류 관계식을 얻을 수 있다.

$$i_{L_2} = i_{L_o} = -i_o \quad (16)$$

$$i_{L_1} = \left(\frac{2D-1}{D}\right)i_o \quad (17)$$

$$i_{S_3} = \left(\frac{1}{1-D}\right)i_o \quad (18)$$

그림 7은 제안한 인버터의 전압이득과 그림 3의 단상 전류형 qZ-소스 인버터의 전압이득을 비교한 그림이다. 그림에서 보듯이 제안한 인버터의 전압이득이 기존의 전류형 qZ-소스 인버터 보다 두 배 큰 전압이득을 가지는 것을 확인 할 수 있다.

#### 4. 제안한 인버터의 PWM 제어 신호

제안한 인버터의 PWM 제어 신호 생성 방법은 기존 단상 전류형 qZ-소스 인버터와 동일하다. 그림 7의 제안한 인버터의 전압이득 그래프를 보면 인버터 출력전압 범위와 듀티비 범위를 정의 할 수 있는데 제안한 인버터의 출력전압은 입력전압보다 최대 두 배 큰 전압이득을 얻을 수 있으므로 전압이득을  $M$ 이라 정의 할 때 최대 전압이득은  $M=2$ 일 때가 된다. 이때 듀티비  $D$ 의 동작 범위를 구하면 다음과 같다.

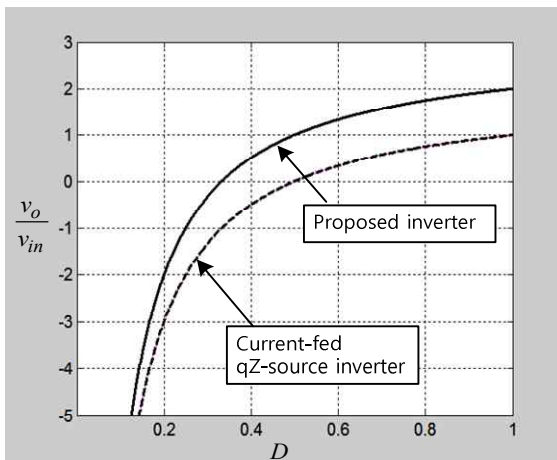


Fig. 7 Comparison of voltage gain of the proposed inverter and single-phase current-fed qZ-source inverter

Table 1 Electrical specifications of the proposed inverter

Output power	120 [W]	
Input voltage range	80-140 [Vdc]	
Output voltage	110 [Vrms]	
Switching frequency	20 [kHz]	
Switching device	47N60CFD	
inductor	$L_1$	500 [ $\mu H$ ]
	$L_2$	500 [ $\mu H$ ]
	$L_o$	500 [ $\mu H$ ]
Capacitor	$C_1$	100 [ $\mu F$ ]
	$C_2$	8.8 [ $\mu F$ ]
	$C_3$	50 [ $\mu F$ ]
	$C_o$	13.6 [ $\mu F$ ]

$$D = \frac{1}{3 - M \sin \omega t}, \quad (0 \leq M \leq 2) \quad (19)$$

그림 8은 제안한 인버터의 PWM 신호 생성을 나타낸다.

#### 5. 실험결과

본 논문에서 제안한 회로의 성능을 검증하기 위해 120 W의 시제품을 제작하여 실험을 수행 하였다. 표 1은 제안한 인버터의 전기적인 사양이다. 출력전압은 110 Vrms/60Hz로 고정하였고, 입력 전압을 가변 하면서 저항부하에서 실험을 수행 하였다.

그림 9는  $M=2$ 이고 입력전압은 81 V 일 때 출력전압,  $v_{C_1}$ ,  $v_{C_2}$ ,  $v_{C_3}$ 파형을 나타낸다. 그림 10은  $M=1.5$ 이고 입력전압은 108 V 일 때 출력전압,  $v_{C_1}$ ,  $v_{C_2}$ ,  $v_{C_3}$ 파형을 나타낸다. 그림 11은  $M=1.2$ 이고 입력전압 136 V 일 때 출력전압,  $v_{C_1}$ ,  $v_{C_2}$ ,  $v_{C_3}$ 파형을 나타낸다. 각각의 파형 모두 출력전압은 110 Vrms 이다.

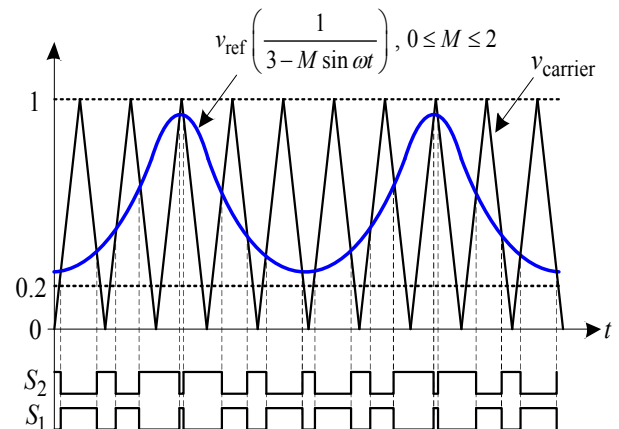


Fig. 8 Gate signal generation of the proposed inverter

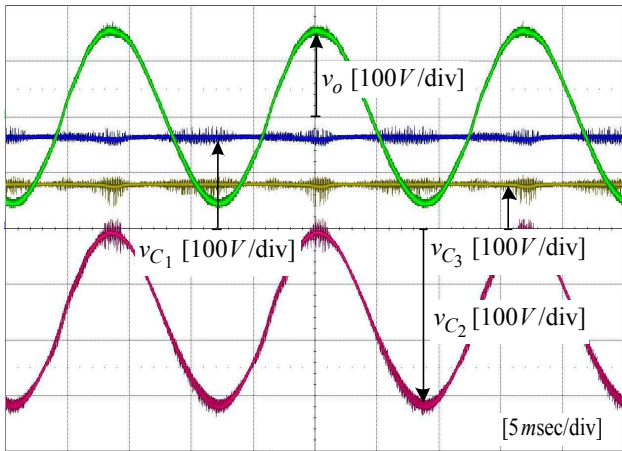


Fig. 9 Experimental waveforms of  $v_{C_1}$ ,  $v_{C_2}$ ,  $v_{C_3}$  and output voltage of the proposed inverter when  $M=2$ ,  $v_{in} = 81 V$

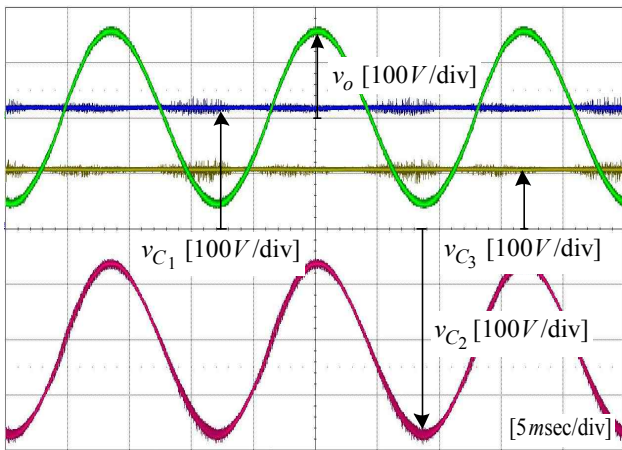


Fig. 10 Experimental waveforms of  $v_{C_1}$ ,  $v_{C_2}$ ,  $v_{C_3}$  and output voltage of the proposed inverter when  $M=1.5$ ,  $v_{in} = 108 V$

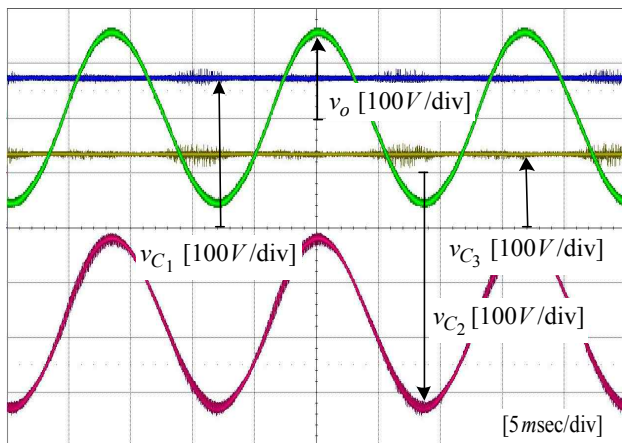
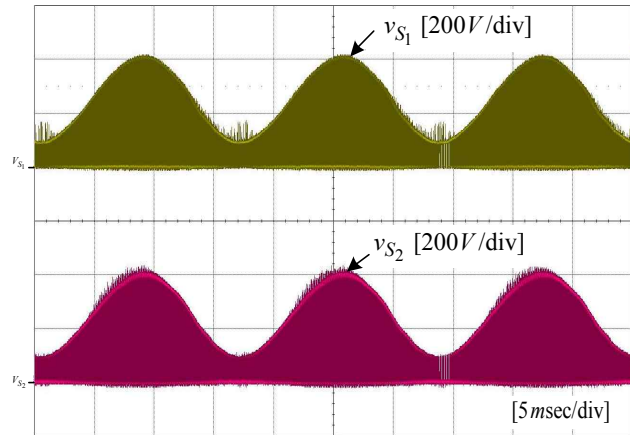
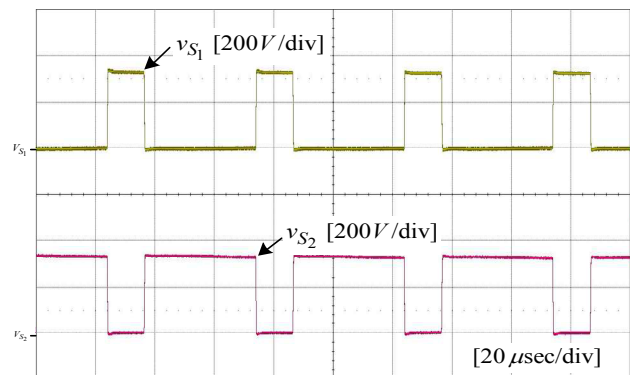


Fig. 11 Experimental waveforms of  $v_{C_1}$ ,  $v_{C_2}$ ,  $v_{C_3}$  and output voltage of the proposed inverter when  $M=1.2$ ,  $v_{in} = 136 V$

그림 12(a)는 스위치  $S_1$ ,  $S_2$ 의 전압 파형이고 (b)는 (a)를 확대한 파형이다. 그림 13은 입력전압 변화에 대한 제안한 인버터의 효율을 나타내고, 그림 14는 실험에 사용된 시제품 사진이다.



(a) Waveforms of switch  $S_1$ ,  $S_2$



(b) Zoom-in switching waveforms

Fig. 12 Experimental waveforms of switch  $S_1$ ,  $S_2$  when  $M=2$

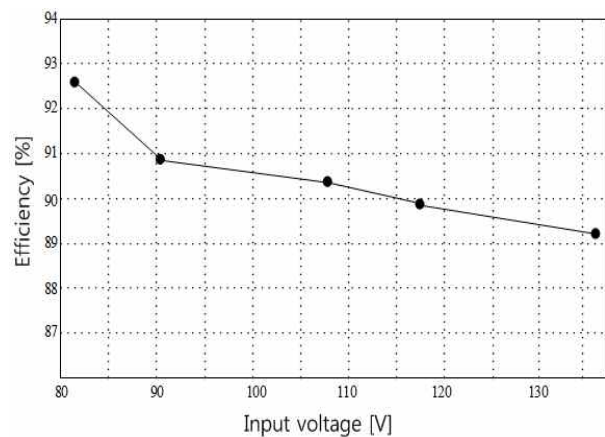


Fig. 13 Measured efficiency curve ( $P_o = 120 W$ ,  $v_o = 110 V_{rms}$ )

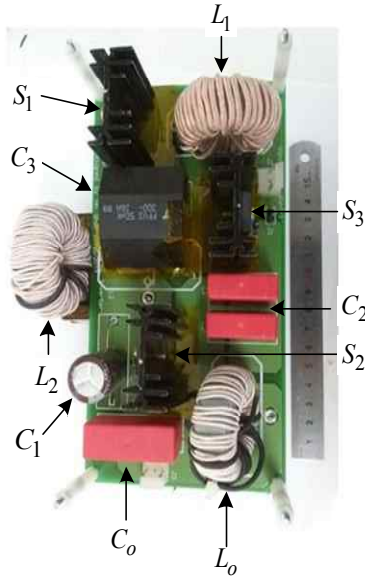


Fig. 14 Prototype picture

## 6. 결 론

본 논문에서는 기존의 단상 전류형 qZ-소스 인버터를 개선하여 전압 이득이 두배 향상된 단상 전류형 qZ-소스 인버터를 제안 하였다. 본 논문에서 제안한 인버터는 스위치  $S_3$ 과 커패시터  $C_3$ 을 추가하여 기존의 단상 전류형 qZ-소스 인버터보다 출력전압이 두 배 더 높은 출력 전압을 얻을 수 있다. 또한 제안한 인버터는 입력과 출력이 공통 접지를 가지므로 변압기가 없는 계통연계형 태양광 인버터에서의 누설 전류 문제를 해결할 수 있는 장점이 있다. 120 W의 시제품을 제작하여 제안한 인버터의 성능을 검증 하였다. 제안한 인버터는 입력전압이 낮은 태양광 시스템, 연료전지 분야에 응용 할 수 있을 것이다.

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업지원을 받아 수행된 것임(No. 2011-0029721)

## References

- [1] R. O. Caceres and I. Barbi, "A Boost DC-AC Converter: Analysis, Design, and Experimentation," *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 14, No. 1, pp. 134-141, Jan. 1999.
- [2] P. Sanchis, A. Ursaea, E. Gubia, and L. Marroyo, "Boost DC-AC Inverter: A New Control Strategy," *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 20, No. 2, pp. 343-353, Mar. 2005.
- [3] O. Lopez, F. D. Freijedo, A. G. Yepes, P. Fernandez-Comesaa, J. Malvar, R. Teodorescu, and J. Doval-Gandoy, "Eliminating ground current in a transformerless photovoltaic application," *IEEE Trans. Energy Conversion*, Vol. 25, No. 1, pp. 140-147, Mar. 2010.
- [4] S. Araujo, P. Zacharias, and R. Mallwitz, "Highly efficient single-phase transformerless inverters for grid-connected photovoltaic systems," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 57, No. 9, pp. 3118-3128, Sep. 2010.
- [5] F. Z. Peng, "Z-source inverter," *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 39, No. 2, pp. 504-510, Mar./Apr. 2003.
- [6] S. Yang, F. Z. Peng, Q. Lei, R. Inoshita, and Z. Qian, "Current-Fed Quasi-Z-Source Inverter With Voltage Buck-Boost and Regeneration Capability," *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 47, No. 2, pp. 882-892, Mar./Apr. 2011.
- [7] Y. Tang, S. Xie, C. Zhang, "Single-Phase Z-Source Inverter," *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 26, No. 12, pp. 3869-3873, Dec. 2011.
- [8] W. Qian, F. Z. Peng, and H. Cha, "Trans-Z-Source Inverters," *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 26, No. 12, pp. 3453-3463, Dec. 2011.
- [9] J. Anderson and F. Z. Peng, "Four quasi-Z-Source inverters," in *Power Electronics Specialists Conference, 2008. PESC 2008. IEEE*, pp. 2743-2749, 2008.
- [10] J. H. Yang, T. W. Chun, H. H. Lee, H. G. Kim, and E. C. Nho, "Designing Impedance Network at Quasi Z-Source Inverters by Considering ESR in the Capacitor," *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, Vol. 17, No. 5, pp. 453-460, Oct. 2012.
- [11] T. W. Chun, Q. V. Tran, and H. G. Kim, "Control of Single-Phase Grid-Connected Photovoltaic System using a Z-Source Inverter," *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, Vol. 13, No. 5, pp. 369-375, Oct. 2008.
- [12] S. Y. Oh, S. J. Kim, Y. G. Jung, and Y. C. Lim, "A Single-Phase Embedded Z-Source DC-AC Inverter by Asymmetric Voltage Control," *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, Vol. 17, No. 3, pp. 306-313, Aug. 2012.
- [13] F. L. Luo, and H. Ye, "Positive Output Super-Lift Converters," *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 18, No. 1, pp. 105-113, Jan. 2003.
- [14] F. L. Luo, and H. Ye, "Positive Output Multiple-Lift Push - Pull Switched-Capacitor Luo-Converters," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 51, No. 3, pp. 594-602, June 2004.
- [15] M. Shen, F. Z. Peng, and L. M. Tolbert, "Multilevel DC-DC Power Conversion System With Multiple DC Sources," *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 23, No. 1, pp. 420-426, Jan. 2008.



### **신현학(申鉉學)**

1985년 6월 2일생. 2011년 영남대 전자공학과 졸업. 현재 경북대 에너지공학부 석사과정.



### **차헌녕(車憲寧)**

1972년 10월 17일생. 1999년 경북대 전자공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2001년~2003년 (주)피에스텍 근무. 2004년~2005년 한국전기연구원 근무. 2009년 미국 Michigan State University 전기공학과 졸업(공박). 2010년~2011년 한국전기연구원 스마트그리드연구본부 선임연구원. 현재 경북대 에너지공학부 조교수. 당 학회 학술위원.



### **김흥근(金興根)**

1956년 4월 24일생. 1980년 서울대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1990년~1991년 미국 Univ. of Wisconsin-Madison 방문교수. 2006년~2007년 미국 Michigan State University 방문교수. 경북대 IT대학 전기공학과 교수. 현재 당 학회 회장.