

# 태양광 MIC 시스템의 효율향상을 위한 새로운 Active Clamp 스위칭 기법

박병철<sup>1</sup>, 박지호<sup>†</sup>, 송성근<sup>1</sup>, 박성준<sup>2</sup>, 신종린<sup>3</sup>

## A Novel Active Clamp Switching Method To Improve of Efficiency For Photovoltaic MIC

Byung-Chul Park<sup>1</sup>, Ji-Ho Park<sup>†</sup>, Sung-Geun Song<sup>2</sup>, Sung-Jun Park<sup>2</sup>, and Joong-Rin Shin<sup>3</sup>

**Abstract** - This paper proposes a novel switching method of active clamp snubber for efficiency improvement of PV module integrated converter(MIC) system. Recently, MIC solar system is researched about the efficiency and safety. PV MIC system is used active clamp method of snubber circuit for the price and reliability of the system. But active clamp snubber circuit has the disadvantage that system efficiency is decreased for switch operating time because of heat loss of resonant between snubber capacitor and leakage inductance. To solve this problem, this paper proposes a novel switching method of the active clamp. The proposed method is a technique to reduce power consumption by reducing the resonance of the snubber switch operation time and through simulations and experiments proved the validity.

**Keywords:** active clamp, snubber, voltage spike, micro inverter, module integrated converter (MIC)

### 1. 서 론

최근 화석에너지고갈로 인한 원유가격 상승 및 환경 오염문제 그리고 2011년 일본 강진으로 인한 원자력 발전 사태를 겪음으로써 전 세계적으로 원자력발전량이 감소하고 대체 할 수 있는 에너지원에 대한 관심이 증가하고 있다. 대체 에너지원으로 주목받고 있는 태양광, 풍력, 연료전지 중 태양광 발전의 경우 친환경에너지원으로 많은 연구가 이루어지고 있다.<sup>[1]</sup> 태양광발전은 세계 경제시장 위기 속에서도 꾸준히 높은 성장을 보여주고 있으며, 매우 작은 시장이었던 중국의 수요가 증가하면서 미국과 일본 또한 추진력을 얻고 있다.<sup>[2]</sup> 이러한 태양광 발전은 PV셀에서 발전된 DC를 DC/AC 전력변환기를 이용하여 계통과 연계하는 계통 연계형과 독립

형 인버터로 전력망 및 가전기기 등에 공급하여 사용한다. 태양광 인버터는 여러 개의 태양전지를 직렬로 연결한 하나의 중앙PCS(Power Conditioning System) 방식과 각 태양전지를 모듈화 시킨 모듈PCS방식으로 나뉜다.<sup>[3]</sup> 중앙PCS방식은 설치용량 및 기후조건에 의해 모듈간의 출력차가 발생하여 전체 시스템 발전량이 저감되고, 유지보수에 어려움이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 태양전지 출력을 각각 제어하는 모듈PCS방식의 태양광 모듈형 전력변환장치인 MIC(Module Integrated Converter)가 있다. 이러한 MIC의 장점으로 는 향상된 에너지 수확, 확장의 용이성, 낮은 설치비용, 플러그 앤 플레이 가능, 경제성이 높은 디자인, 마지막으로 대량생산으로 인한 가격 경쟁력이 있다.<sup>[4][5]</sup> 하지만 현재 MIC는 태양전지 모듈에 각각 부착하기 위해서 제한된 크기와 원가절감, 긴 수명, 그리고 소용량인 MIC의 경우 적은 전력손실만으로도 효율에 크게 영향을 받는다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 컨버터를 병렬로 연결한 인터리브 방식을 적용하여, 소자 전류정격용량을 감소 시켜 크기와 가격을 낮출 수 있고, 스위칭주파수를 더욱 높임으로 출력리플이 줄어, 필터설계 용이 및 수명 증가의 장점이 있다.<sup>[6]</sup> 하지만 절연형 DC/DC컨버터 설계 시 변압기 누설인덕턴스 성분으로 스위치 양단에 전압스파이크가 발생하여 이를 위한 스너버회로 설계 연

Paper number: TKPE-2013-18-5-9 ISSN: 1229-2214

<sup>†</sup> Corresponding author: jhpark7535@keti.re.kr, Managerial Researcher, Digital Convergence Research Center, KETI, Korea

Tel: +82-62-975-7037 Fax: +82-62-975-7039

<sup>1</sup> Managerial Researcher, Digital Convergence Research Center, KETI, Korea

<sup>2</sup> Dept. of Electrical Eng., Chonam Nat'l University

<sup>3</sup> Dept. of Electrical Eng., Konkuk University

Manuscript received May 8, 2013; accepted Aug. 5, 2013

구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[7]</sup> 이러한 스너버 회로의 설계에 따라 구성된 회로에서 전력소모가 발생하여 MIC의 효율 극대화에 대한 문제가 발생된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 Active Clamp 회로를 사용하고 이 때 발생한 스위칭 손실을 새로운 스위칭 기법을 이용하여 손실을 최소화 하고 효율을 개선할 수 있는 방법을 제시한다. 제안된 스위칭 기법을 MIC 시스템에 적용하여 PSIM 시뮬레이션과 실험을 통하여 타당성을 입증하였다.

## 2. 시스템 모델링

### 2.1 MIC Topology

MIC의 토폴로지 방식은 기본적으로 Two-Stage 방식과 Single-Stage 방식으로 나뉜다. 그림 1은 Two-Stage 방식의 제어기법으로 입력되는 저압의 DC를 고주파 AC의 구형파로 변경한 이후 정류기 및 평활 커패시터를 통하여 출력 전압을 DC로 변경 후 인버터를 통하여 다시 AC 전원을 만드는 방식이다. 대용량 커패시터 (Decoupling Capacitor)가 고압측에 있어 용량이 작은 것을 사용할 수 있으며, 제어의 자유도가 증가하는 장점이 있다. 그러나 DC/DC 컨버터 및 DC/AC 인버터 모두 고속 스위칭으로 인하여 손실 및 비용이 증가한다는 단점이 있다.

그림 2는 Single-Stage 방식의 제어기법으로 입력되는 저압의 DC를 고주파 AC의 구형파로 변경한 이후 정류기를 통하는 부분은 앞의 Two-Stage 방식과 같으나 정류기를 통한 DC 전압이 리플을 가지고 있으며, 인버터 부분은 단지 리플이 있는 DC 전원을 AC로 구현하기 위한 Unfolder만을 사용하는 특징이 있다.<sup>[8][9]</sup>

Single-Stage 방식은 대용량 커패시터가 고압측이 아닌 저압측에 있어 전압이 낮은 대신 대용량의 커패시터가 요구되며, 제어를 DC/DC 컨버터에서만 가능하므로 MPPT 및 계통 출력 전류 제어가 모두 컨버터에서 이루어져야 하는 단점이 있다. 그러나 DC/DC 컨버터만 고

속스위칭을 하고 DC/AC 인버터는 단순히 Unfolder의 기능만 하므로 손실이 낮으며 구현 시 비용이 낮아진다는 장점이 있다. 본 논문에서는 효율 향상 및 비용을 절감 할 수 있는 Single-Stage 방식을 사용하였다.

### 2.2 Flyback Converter

Single-Stage 방식의 토폴로지로서 DC/DC 컨버터는 태양광 모듈의 작은 입력 전압 범위로 고출력을 내고, 타 컨버터보다 부품수가 적게 사용되어 소형 경량화에 적합한 플라이백 컨버터를 사용하였다. 그림 3은 변압기의 누설 인덕턴스  $L_{lk}$ , 자화 인덕턴스  $L_m$ , MOSFET  $S_1$ 으로 이루어진 일반적인 플라이백 컨버터 토폴로지를 나타낸 것이다.

그림 3에 대한 동작은 그림 4와 같이 나타낸다. MOSFET  $S_1$ 이 턴온 시 변압기 1차측 자화 인덕턴스 전류  $I_{Lm}$ 과 누설 인덕턴스 전류  $I_{lk}$ 는 전류가 증가하고, 스위치 양단 전압  $V_{S1}$ 은 0이 된다.

MOSFET  $S_1$ 이 턴오프 시 자화 인덕턴스 전류  $I_{Lm}$ 은 출력 전압 비를 만큼의 기울기를 가지며 전류가 감소하고, 2차측으로 유도되지 못한 누설 인덕턴스 성분의 전류  $I_{lk}$ 는 빠르게 0까지 감소하면서 스위치 양단 전압  $V_{S1}$ 에 전압 스파이크를 발생한다. 이때 발생한 전압 스파이크는 스위치 양단의 기생 커패시터로 인해 수식(1)과 같은 전압까지 충전된다.

$$V_{S1}(t) = L_{lk} \frac{di_{lk}(t)}{dt} + V_{IN} + \frac{M}{N2} \cdot V_{out} \quad (1)$$

이후 누설 인덕턴스 전류  $I_{lk}$ 는 완전 방전된 상태로 MOSFET 양단 전압  $V_{S1}$ 의 기생 커패시터에 충전된 에너지가 방전되면서 안정적인 전압까지 하강한다.

여기서 발생하는 전압 스파이크는 MOSFET에 스트레스를 주어 MIC의 신뢰성에 문제가 발생하기 때문에 제거 해주어야 한다.

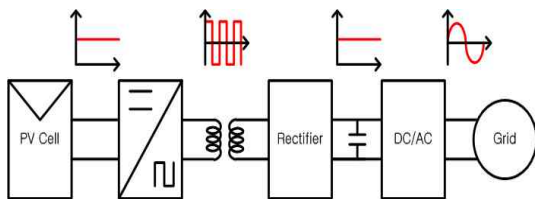


Fig. 1 Two-Stage control system

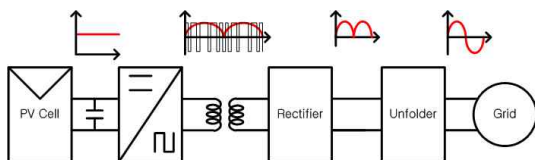


Fig. 2 Single-Stage Control System

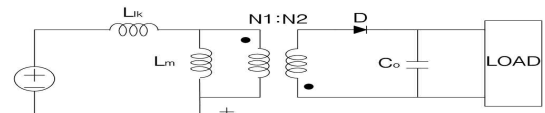


Fig. 3 Circuit diagram of flyback converter

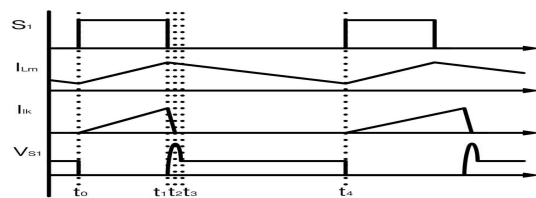


Fig. 4 Drain-Source voltage waveform following the operation mode

### 3. 스너버 회로 설계

소용량인 MIC는 적은 전력손실만으로도 효율에 크게 영향을 준다. Unfolder방식의 인버터는 60[Hz]로 스위칭하기 때문에 고주파스위칭을 하는 DC/DC 컨버터에서 스위칭손실이 많이 발생된다.

DC/DC컨버터의 변압기 1차측 누설인덕턴스 성분에 의해 발생하는 전압스파이크로 스위치에 손상을 줄 수 있으며, 높은  $V_{ds}$  범위의 MOSFET을 사용 시 가격이 상승하고,  $R_{on}$  저항이 커져 MOSFET 턴온 구간동안 스위칭손실이 더 커진다. 이러한 전압스파이크를 제거해 주기 위해서는 스너버 회로를 구성해주어야 한다.<sup>[10]</sup>

#### 3.1 RCD 스너버 회로

그림 5는 RCD 스너버 회로를 갖는 플라이백 컨버터를 나타낸다.

MOSFET  $S_1$ 이 턴온이 되면 누설 인덕터와 자화 인덕터에 입력전압이 각 인덕터의 크기에 비례해서 나누어 걸려 선형적으로 전류가 흐른다. 정해진 온 시간이 지나면 MOSFET  $S_1$ 이 턴오프가 되고 자화 인덕터에 흐르고 있던 전류는 변압기 1차 측으로 흐르고 이는 2차 측의 전류를 발생시키며, 2차측으로 자화 인덕터에 저장된 에너지를 전달한다. 그러나 누설인덕터에 흐르던 전류는 RCD 스너버의  $D_S$ 와  $C_S$ 를 통해서 흐르며 누설 인덕터에 저장된 에너지가 스너버 커패시터  $C_S$ 로 전달된다. 누설 인덕터의 전류가 0이 되면 스너버 다이오드  $D_S$ 는 턴오프가 되고 스너버 커패시터에 증가된 에너지는 스너버 저항  $R_S$ 를 통해서 소모한다. 스너버 커패시터의 전압은 안정한 평균값  $V_{ave}$ 를 가지며 MOSFET  $S_1$ 이 턴오프 시 짧은 시간 동안 충전된다. 나머지 시간은 RC 방전을 하게 된다. 여기서 저항에서 소비되는 전력은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_R = \frac{1}{2} C_s \left\{ V_{pk}^2 - \left( V_{pk} e^{-\frac{t_{rest}}{\tau}} \right)^2 \right\} \times f_{sw} \quad (2)$$

$$= \frac{V_{ave}^2}{R_s}$$

여기서,  $V_{pk}$ 는 커패시터 전압의 피크 값이고  $t_{rest}$ 은 커패시터를 충전하는 시간이며  $f_{sw}$ 는 스위칭 주파수이다.

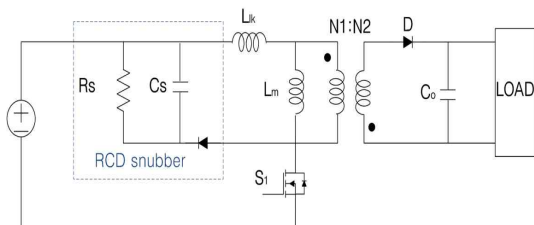


Fig. 5 Flyback converter of RCD Snubber circuit

#### 3.2 Active clamp 스너버 회로

RCD 스너버 회로는 스너버 커패시터로 누설인덕턴스의 에너지를 충전하고 저항에 의한 방전을 시킬 경우 열에 의한 전력손실이 발생하여 효율개선을 하지 못한다. 그리하여 저항을 사용하지 않고 스위칭소자를 이용한 Active Clamp방식의 스너버 회로를 구성하면 저항에 의한 손실 없이 전압스파이크를 줄일 수 있다.

커패시터용량 선정은 다음 수식 (3)와 같으며, 커패시터 값을 크게 설정하면 전압스파이크를 최소화 할 수 있지만, 그만큼 손실이 커지기 때문에 최대한 작게 설계하는 것이 좋다.

$$C_{clamp} \gg \frac{(1 - duty_{max})^2}{2\pi \times I_{lk} \times f_{sw}} \quad (3)$$

그림 6은 Active Clamp 스너버 회로의 플라이백 컨버터를 나타낸다.<sup>[11]</sup>

그림 7은 그림 6의 Active Clamp방식에 일반적으로 사용되는 스위칭 블록도이다. 메인스위치  $S_1$ 이 턴오프 되기 전 보조스위치  $S_2$ 를 미리 구동하여 ZVS동작을 하고, 메인스위치  $S_1$ 이 턴오프 시 누설인덕턴스에 저장된 에너지를 스너버 커패시터  $C_{clamp}$ 로 충전시킨다. 보조스위치  $S_2$ 는 메인스위치  $S_1$ 이 턴온 되기 전 데드타임을 주어 턴오프 해준다. 스너버 커패시터에 충전된 에너지는 메인스위치  $S_1$ 이 턴온 될 때 보조스위치  $S_2$ 의 기생 다이오드가 턴온이 되어 메인스위치와 루프를 형성하여 방전된다.

하지만 보조스위치가 턴온 되는 동안 누설인덕턴스  $L_{lk}$ 와 스너버 커패시터  $C_{clamp}$  간 공진이 생기고 스위치와 변압기에 온도상승으로 인한 손실이 발생한다. 이 때 공진주파수는 수식 (4)과 같다.

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{lk} \times C_{clamp}}} \quad (4)$$

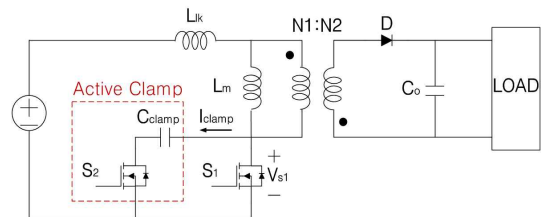


Fig. 6 Active clamp method flyback converter

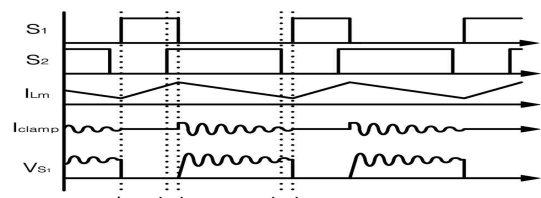


Fig. 7 Waveform of the conventional active clamp switching method

### 3.3 개선된 Active clamp 스위칭 기법

본 논문에서는 공진을 줄이기 위한 개선된 Active Clamp 스위칭 기법을 제안하였다. 누설인덕터와 스너버 커패시터 간의 과도한 공진이 없도록 설계 후 그림 8과 같이 스너버 커패시터에 발생하는 공진 첫 주기에서 커패시터 충전 후 방전되는 2, 3사분면 사이에 보조스위치  $S_2$ 를 턴오프 하는 기법이다.

또한 공진을 줄일 수 있는 최적의 보조스위치  $S_2$  턴오프 시간은 첫 공진의 1/4주기로 다음 수식 (5)와 같고, 메인스위치와 보조스위치가 같이 턴온 되는 구간과 수식 (5)의 시간을 더한 만큼을 보조스위치 듀티로 설정한다.

$$S_2 T_{off} = \frac{\pi}{2} \sqrt{L_{lk} \times C_{damp}} \quad (5)$$

개선된 Active Clamp 스위칭 기법에 대한 블록도는 그림 9와 같으며, 공진 첫 주기의 2, 3사분면 사이에 보조스위치  $S_2$ 를 턴오프 시 더 이상 공진이 발생되지 않으며, 이로써 효율을 개선할 수 있다.

그림 10은 개선된 Active Clamp 스위칭 기법을 적용한 동작모드를 나타낸다.

Mode 1에서 메인스위치가 턴온 후 턴오프 되기 전 Mode 2에서 보조스위치를 턴온 시켜준다. Mode 3에서 메인스위치 턴오프 시 누설인덕터의 전류는 스너버 커패시터로 충전이 되고, Mode 4에서 공진에 의해 방전될 때 보조스위치를 턴오프 시킨다. 스너버 커패시터에 저장된 에너지는 Mode 5와 같이 메인스위치 턴온 순간 보조스위치 기생다이오드를 통해 루프가 형성되고 빠르게 방전된다.

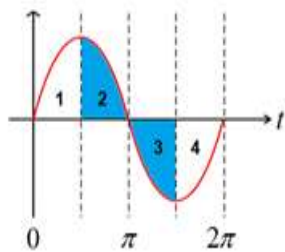


Fig. 8 Cycle of the resonance of the first snubber capacitor

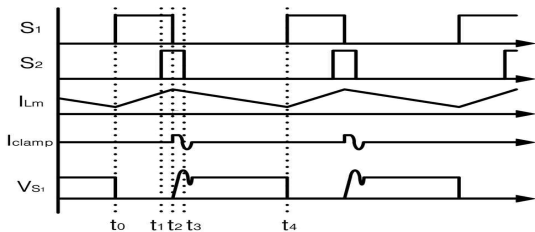


Fig. 9 Theoretical waveform of the improved active clamp switching method

## 4. 시스템 구성 및 시뮬레이션

### 4.1 시스템 구성

그림 11은 본 논문에서 제시한 MIC 시스템의 전체 구성도를 나타낸다. Active Clamp 방식을 적용한 DC/DC 컨버터는 병렬로 연결된 플라이백 컨버터에 각각 입력 전류가 분배 되어 소자의 전류정격 및 전류 스트레스가 감소하며, 변압기코어의 크기를 줄일 수 있는 인터리브 방식을 적용하였다. 또한 이러한 방식은 스위칭주파수의 증가로 출력전압, 전류의 리플이 감소하여, 필터설계 시 용이하고, 커패시터의 수명을 증가시키는 장점이 있다.

DC/AC 인버터는 계통전압에 대한 영전압검출을 통해 Unfolding 회로 구동과 인버터 출력단은 LC필터로 통과하여 계통에 연계된다.

### 4.2 시뮬레이션

그림 12는 본 논문에서 제시한 태양광 MIC 시스템의 시뮬레이션을 위한 전체 회로도를 나타내고 있으며 표 1은 시뮬레이션을 위한 파라미터를 나타내고 있다.

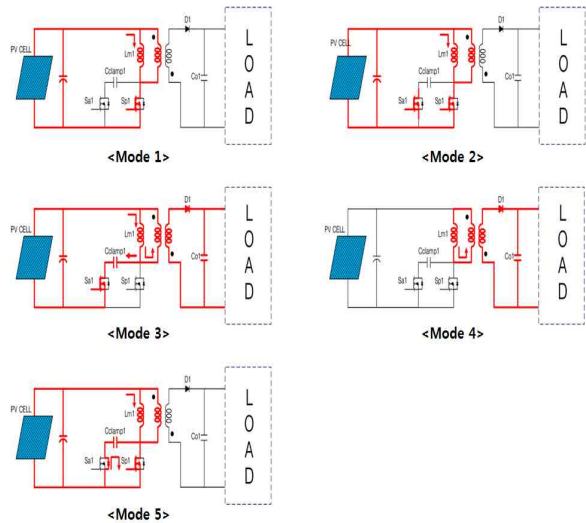


Fig. 10 Operating mode of the improved active clamp switching method

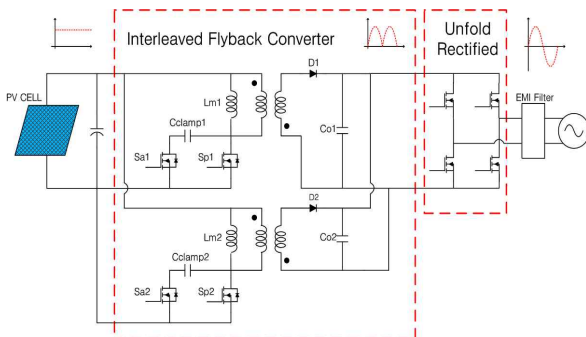


Fig. 11 The whole block diagram of the proposed MIC system

Table 1 Simulation parameters

Input Voltage	25~55[V]	Output Voltage	220[V]
Output Power	50~230[W]	Switching Frequency	90[kHz]
Transformer Turn Ratio	1:12	Magnetizing Inductance	28[uH]
Leakage Inductance	115[nH]	Snubber Capacitor	12.2[nF]
Input Capacitor	1800[uF]	Output Capacitor	47[nF]

그림 13은 일반적인 플라이백 컨버터에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 13의 상단부터 메인스위치  $S_1$ , 자화인덕턴스  $I(L_m)$ , 누설인덕턴스  $I(L_{lk})$ , 메인스위치 양단전압  $V_{S1}$ 이다. 종래의 플라이백 컨버터의 스위칭 기법에서는  $V_{S1}$  전압 스파이크가 높게 나타나 스위칭 소자의 한계 전압이 높은 것을 사용해야 함을 알 수 있다.

그림 14는 종래의 Active Clamp방식에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 14의 상단부터 메인스위치  $S_1$ 과 보조스위치  $S_2$ , 자화인덕턴스  $I(L_m)$ , 누설인덕턴스  $I(L_{lk})$ , 스너버 커패시터전압  $V_{clamp}$ , 보조스위치에 흐르는 전류  $I(S_2)$ 이다. Active Clamp 방식에서는  $V_{S1}$ 의 전압 스파이크가 현저히 줄어들음을 알 수 있으나  $L_{lk}$ 와  $C_{clamp}$ 의 공진으로 인한 링잉이 나타남을 알 수 있다.

그림 15는 그림 14와 같은 조건에서 보조스위치를 통해 공진을 제거한 결과를 나타낸다. 공진을 제거한 경우 그림 6의 Active Clamp 방식에서 나타난  $V_{S1}$ 의 전압에 대한 링잉이 나타나지 않았음을 알 수 있다.  $V_{S1}$ 의 링잉을 줄임으로서 스위칭 시 나타나는 손실을 절감할 수

있으며 스위칭 양단의 스파이크 전압도 양호하게 감소됨을 알 수 있다.

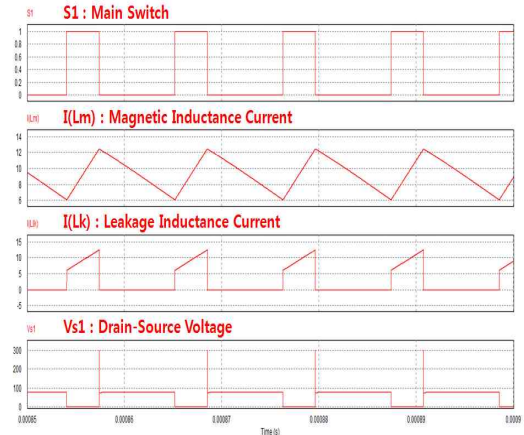


Fig. 13 Flyback converter simulation results

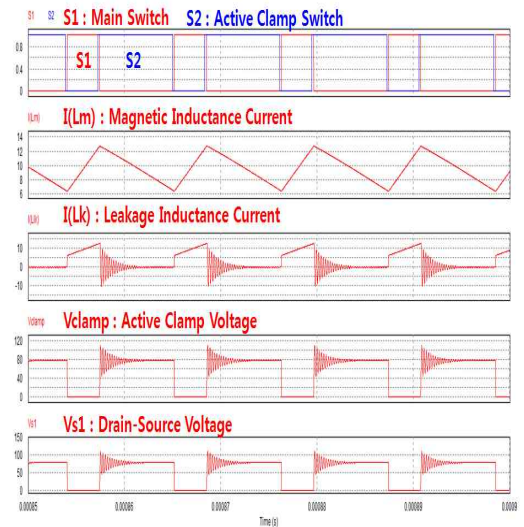


Fig. 14 Conventional active clamp simulation results

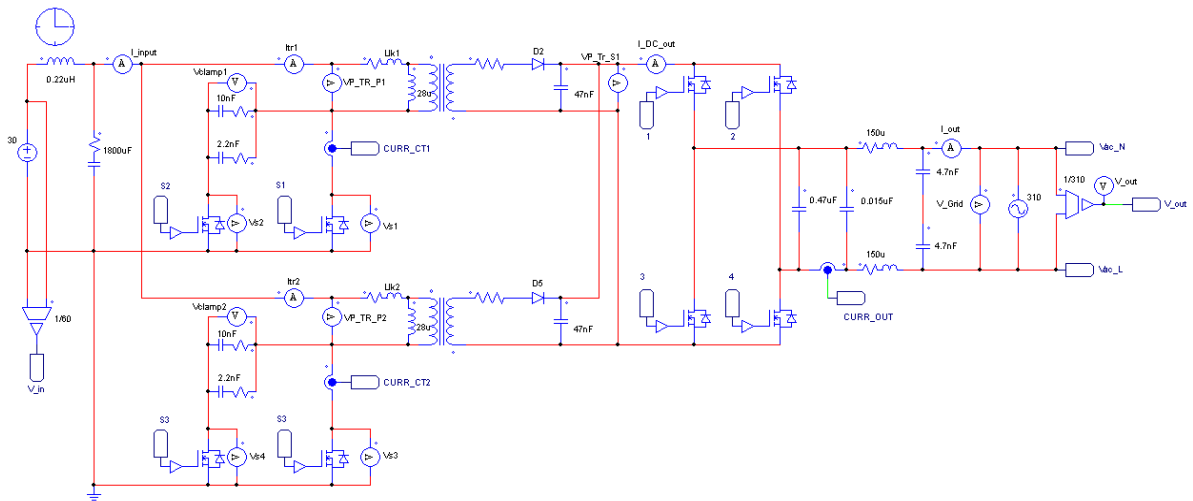


Fig. 12 Proposed MIC simulation circuit diagram

### 5. 실험 및 결과

그림 16은 본 논문에서 제시한 MIC 시스템의 실험장치 구성을 나타내며, 실험에 사용된 파라미터는 시뮬레이션과 같은 조건이다. PV시뮬레이터를 통해 50~230[W] 용량의 PV 모듈을 사용하였다.

그림 17는 일반적인 플라이백 컨버터에 대한 실험 파형을 나타낸다. 상단부터 메인스위치 게이트 전압, Active Clamp 클램프 스위치 게이트 전압 및 메인스위치 MOSFET의 Drain-Source 간 전압을 나타내고 있다. Active Clamp 회로가 없는 경우 메인스위치의 Drain-Source 간 전압 스파이크가 높게 나타남을 알 수 있다.

그림 18은 Active Clamp방식의 플라이백 컨버터에 일반적인 스위칭 파형을 적용한 실험 파형을 나타낸다. 기존의 Active Clamp 클램프 스위칭의 경우에는 메인스위치의 Drain-Source 간 전압 스파이크가 줄어드나 링잉이 발생함을 알 수 있다.

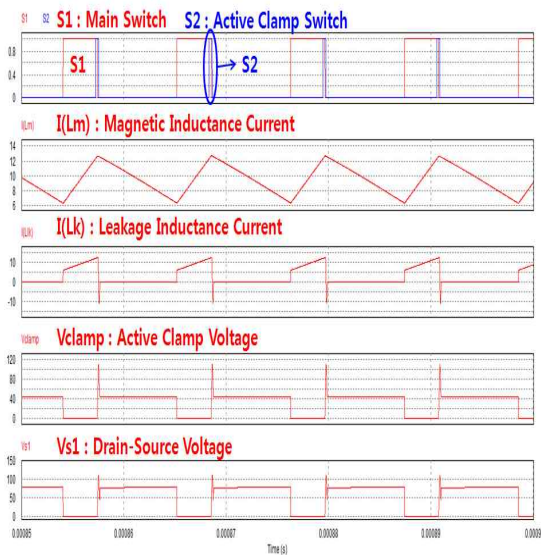


Fig. 15 Proposed simulation results using active clamp switching method

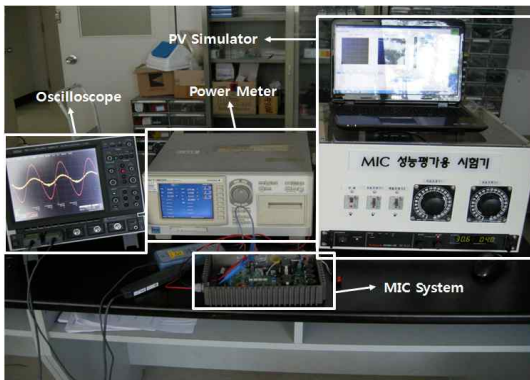


Fig. 16 Experimental device of the proposed MIC system

그림 19은 그림 18과 같은 조건에서 본 논문에서 제시한 개선된 Active Clamp 스위칭기법을 적용한 실험 파형을 나타낸다. 제시한 개선된 Active Clamp스위칭의 경우에는 메인스위치의 Drain-Source간 전압스파이크와 링잉 모두 줄어들음을 알 수 있다.

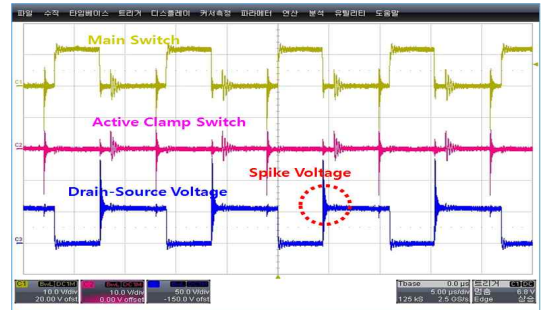


Fig. 17 Flyback converter experimental waveforms

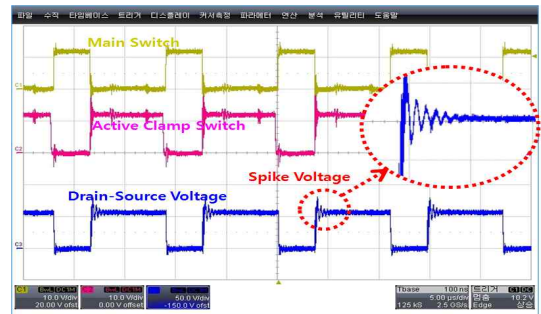


Fig. 18 Conventional active clamp experimental waveforms

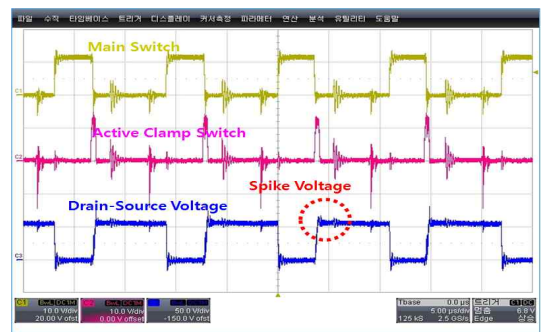


Fig. 19 Proposed experimental waveforms using active clamp switching method

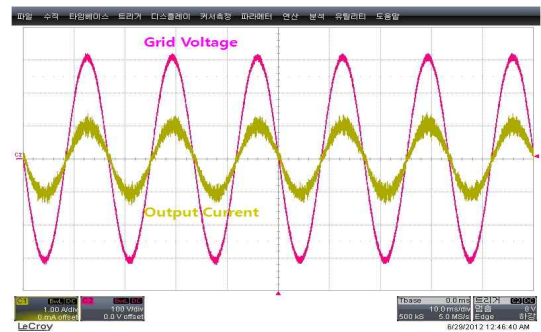


Fig. 20 MIC output waveform

그림 20은 본 논문에서 제시한 방식을 적용한 MIC 출력파형으로 계통전압과 출력전류가 동상에 제어되어 정상 동작이 가능한 것을 확인 할 수 있다.

그림 21은 Active Clamp 방식에서 일반적인 스위칭을 적용하였을 때 MIC 시스템의 효율을 나타내며, 그림 22는 본 논문에서 제시한 개선된 Active Clamp 스위칭 기법을 적용하였을 때 MIC 시스템의 효율을 나타낸다. 출력과파가 약 150[W]시 최대효율이 나타났으며, 개선된 Active Clamp 스위칭기법을 적용하였을 때 효율이 약 1[%]이상 더 높게 개선된 것을 알 수 있다.

### 6. 결 론

본 논문에서는 태양광 MIC시스템의 효율향상을 위한 새로운 Active Clamp 스위칭 기법을 제안 하였다. 컨버터 1차측 누설인덕턴스 성분에 의해 발생하는 전압 스파이크를 줄이기 위해서는 스너버 회로 설계가 필요하다. Active Clamp 방식의 스너버 회로를 구성하여 일반적인 스위칭 시 전압스파이크가 감소하였으나, 누설인덕턴스와 스너버 커패시터 간의 공진에 의한 열손실이 발생하여 전압스파이크와 공진을 모두 줄일 수 있는 개선된 스위칭 기법을 시뮬레이션과 실험을 통해 확인한 결과 전압스파이크 및 공진 감소의 효과를 보였으며, 이로 인한 효율이 상승하였다.

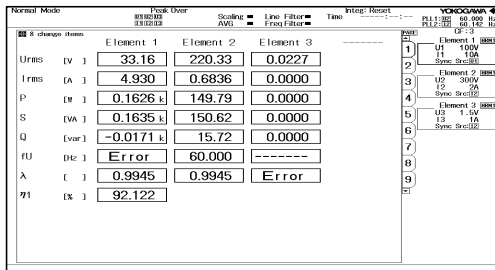


Fig. 21 Efficiency of the conventional active clamp

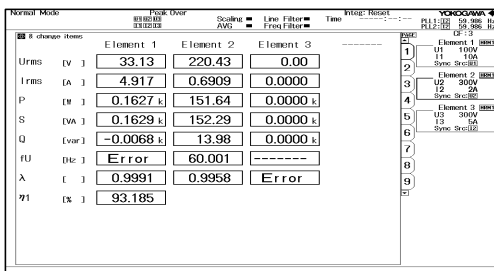


Fig. 22 Efficiency of the proposed active-clamp method

본 연구는 지식경제부 에너지자원기술개발사업의 일환(2010T100100651)으로 수행되었습니다.

### References

- [1] Sanhan B and Vergara A. N and Henze N and Engler A and Zacharias P, "A Single-stage PV Module Integrated Converter Based On a Low-power Current-source Inverter," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 55, No. 7, pp. 2602-2609, July. 2008.
- [2] European Photovoltaic Industry Association, Global Market Outlook for Photovoltaics Until 2016. [www.epia.org](http://www.epia.org).
- [3] Hoon-Young Jung, Jeong-Kyu Park, Young-Hyok Ji, Chung-Yuen Won, and Tae-Won Lee, "Study On Photovoltaic Module Integrated Converter based on Active Clamp Current-fed Half-Bridge Converter," *The Transactions of Korean Institute of Power Electronics*, pp. 105-113. Apr. 2011.
- [4] S. B. Kjaer, J. H. Pedersen, F. Blaabjerg. A Review of Single-Phase Gridconnected Inverters for Photovoltaic Modules. *IEEE Trans. Industry Applica.* Vol. 41 No. 5, pp. 1292-1306, Sept. 2005.
- [5] Q. Li, P. Wolfs, "A Review of the Single Phase Photovoltaic Module Integrated Converter Topologies with Three Different DC Link Configurations," *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 23, No. 3, pp. 1320-1333. May 2008.
- [6] B. Sahan, A. N. Vergara, N. Henze, A. Engler and P. Zacharias, "A Single-Stage PV Module Integrated Converter Based on a Low-Power Current-Source Inverter," *IEEE Trans. On Industrial Electronics*, Vol. 55, No. 7, pp. 2602-2609, July 2008.
- [7] Fengwen Cao, Yiwang Wang, Ji Suo, Chunqing Qi and Qinru Tu, "Performance Analysis and Circuit Design of an Interleaved Active Clamp Zero Voltage Switching Flyback-Forward Boost Converter," *IECON 2010-36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 639-643, Nov. 2010.
- [8] A. C. Kyritsis, E. C. Tatakis and N. P. Papanikolaou, "Optimum design of the current - source flyback inverter for decentralized grid-connected photovoltaic systems," *IEEE Trans. On Energy Conversion*, Vol. 23, No. 1, pp. 281-193, Mar. 2008.
- [9] Toshihisa Shimizu, Keiji Wada, Naoki Nakamura, "Flyback-type singlephase utility interactive inverter with power pulsation decoupling on the DC input for an AC photovoltaic module system," *IEEE Trans. On Power Electronics*, Vol. 21, No. 5, pp. 1264-1272, Sep. 2006.
- [10] B. Sahan, A. N. Vergara, N. Henze, A. Engler and P. Zacharias, "High-Step-Up and High-Efficiency Fuel-Cell Power-Generation System With Active-Clamp Flyback - Forward Converter," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 59, No. 1, pp. 599-610, Jan. 2012.
- [11] Grid-Connected Solar Microinverter Reference Design Using a dsPIC® Digital Signal Controller, AN1338. [www.microchip.com](http://www.microchip.com).



### **박병철(朴丙哲)**

1973년 6월 15일생. 1996년 건국대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년~2012년 LS산전 전력연구소 책임연구원. 2012년~현재 전자부품연구원 디지털컨버전스연구센터 책임연구원.



### **박지호(朴志灝)**

1985년 8월 14일생. 2011년 호남대 전기공학과 졸업. 2013년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년~현재 전자부품연구원 디지털컨버전스연구센터 연구원.



### **송성근(宋成根)**

1975년 9월 16일생. 1998년 전남대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2008년~현재 전자부품연구원 디지털컨버전스연구센터 센터장.



### **박성준(朴晟濬)**

1965년 3월 20일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2002년 동 대학원 지능 기계공학과 졸업(공박). 1996년~2000년 거제대학 전기과 조교수. 2000년~현재 전남대 전기공학과 교수.



### **신중린(愼重麟)**

1949년 9월 22일생. 1977년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 건국대 전기공학과 교수.