

## 고효율 DC/DC 컨버터용 전류분할과 시분할 스위치 비교 연구

고성훈<sup>1</sup>, 조성필<sup>2</sup>, 이수원<sup>3</sup>, 이성룡<sup>2,a</sup>

<sup>1</sup> (주) 가온솔루션 기술연구소

<sup>2</sup> 군산대학교 제어로봇공학과

<sup>3</sup> 이엔테크놀로지(주) 기술연구소

### Comparative Study on Current or Time Sharing Switches for High Efficiency DC/DC Converter

Sung-Hun Ko<sup>1</sup>, Sung-Pil Cho<sup>2</sup>, Su-Won Lee<sup>3</sup>, and Seong-Ryong Lee<sup>2,a</sup>

<sup>1</sup> Technology Research Institute, GAON Solution, Kunsan 573-701, Korea

<sup>2</sup> Department of Control and Robotics Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

<sup>3</sup> Technology Research Institute, EN Technologies, Gunpo 435-776, Korea

(Received November 23, 2011; Revised November 30, 2011; Accepted December 6, 2011)

**Abstract:** This paper presents a comparative analysis of the parallel operation of different switches in a DC/DC converter. In high power applications, multi-switch PWM power conditioners may be preferred despite a higher component count, due to the absence of low frequency filters, reduced switching losses and fault tolerance. The paper demonstrates how current sharing (CSH) and time sharing (TSH) lead to the reduction of switching stress in the parallel operation of switches in any converter. The solutions proposed in this study can be applied on different scales to other power conditioners for DC/DC converter systems. Discussions of the concepts, hypotheses and computer simulations are verified by 1 kW experimental results.

**Keywords:** DC/DC converter, PWM, Switching, Efficiency, Power conversion

#### 1. 서론

최근 산업의 발전과 문화적 편리성을 추구하는 소비자들의 추세에 따라 산업현장에서 가정에 이르기까지 고전력, 고밀도를 요구하는 전기·전자기기들의 보급이 급속하게 확대되고 있다. 이에 따라 전력변환기기(컨버터 or 인버터)에 사용되어지는 전력용 반도체 소자(스위칭 소자)들도 MOSFET (metal-oxide semiconductor field effect transistor) 또는 IGBT (insulated gate bi-polar transistor)와 같이 스위칭

속도가 빠르면서 대용량에 적합하도록 개발되고 있다. 그러나 정격용량이 큰 스위칭 소자들을 이용하여 시스템을 설계하면 회로구성이 간단하고 고장을 일으킬 수 있는 요인이 줄어드는 장점이 있는 반면에 정격용량의 증가에 따라 가격 상승의 폭이 훨씬 크게 되며, 이로 인해 전체시스템의 가격 상승의 원인이 된다. 따라서 상대적으로 저가격인 낮은 용량의 스위칭 소자를 여러 개를 병렬로 연결하여 사용함으로써 제품의 원가절감 및 용량증대를 이룩할 수 있다 [1].

일반적으로 낮은 용량의 스위칭 소자를 이용한 병렬운전에 사용되는 스위칭 기법으로 병렬로 연결된 각각의 스위칭 소자에 스위칭 시퀀스를 동일하게 입

a. Corresponding author; [srlee@kunsan.ac.kr](mailto:srlee@kunsan.ac.kr)

력하여 각각의 스위치를 동시에 구동하게 하는 전류 분할 (current sharing) 기법을 주로 사용한다. 이 기법은 전류용량은 증가시키면서 스위칭 시 발생하는 스위칭 손실 및 스트레스를 감소시킬 수 있는 간단하고 효과적인 방법이다. 그러나 병렬로 구성된 각각의 스위칭 소자는 제조공정에서 발생하는 특성 차이로 인해 이상적으로 동작하지 않으며, 이는 각 스위칭 소자에 흐르는 전류의 불균형 (unbalance)으로 인해 전력회로의 동작 이상과 소자 파손 등의 문제가 발생하게 된다. 또한 병렬운전에 사용되는 또 다른 스위칭 기법으로는 병렬로 연결된 각각의 스위칭 소자를 순차적으로 온-오프하는 시분할 (time sharing) 기법이 사용된다. 이 스위칭 기법은 병렬로 연결된 각 스위칭 소자에 흐르는 전류의 시간을 분할하는 방법으로 스위칭 시퀀스의 온-시간을 스위칭 소자의 수만큼 나누어 그 기간만큼 순차적으로 스위칭 소자를 구동하게 된다. 따라서 전체시스템에 흐르는 평균전류는 각각의 스위치에서 분담함으로써 전류분할 기법과 동일한 전류분할 효과를 얻을 수 있어 병렬운전의 장점인 원가절감 및 용량증대의 효과 또한 얻을 수 있다 [1-5].

한편 전력변환기에 사용되는 전력용 반도체 소자로 IGBT와 MOSFET를 주로 사용한다. 일반적으로 MOSFET는 SMPS (switching mode power supply) 또는 앰프와 같은 비교적 전압이 낮고 고속의 스위칭이 요구되는 전력변환시스템에 주로 사용된다. IGBT는 기존의 증전압 이상의 대량의 전류도통이 요구되는 범위에서 사용되는 SCR, GTO 등의 대체 소자로 각광받고 있으며, 출력특성은 바이폴러 트랜지스터 이상의 전류도통 성능을 가지면서 입력 특성은 스위치의 온-오프가 비교적 쉬운 MOSFET와 같은 게이트 구동 특성의 장점으로 전력변환용시스템에 점차 사용이 확대되고 있다. 이상과 같이 전력변환기에 주로 사용되는 스위칭 소자들은 N형 반도체나 P형 반도체 재료의 채널로 구성되며, 이로 인해 제조방법 및 제조공정에 따라 각각의 스위칭 소자 간의 입출력 특성 차이가 발생하게 되고 따라서 병렬운전을 할 경우 필연적으로 각각의 스위칭 소자 간의 전류불균형이 발생하게 된다. 특히 IGBT의 경우, 포화전압 ( $V_{ce\_sat}$ ) 및 역방향 다이오드 온도 특성, 게이트 온-오프 저항 값, 배선 인덕턴스 등에 따라 스위칭 손실 및 전류 불균형이 증가하게 된다. 따라서 아주 작은 스위칭 손실 (순방향 손실 포함 (on-state losses))과 온도변화에도 민감하게 반응하기 때문에 스위칭 소자

의 선택 (제조회사의 동일한 모델), 하나의 게이트 드라이버 회로 (온-오프 저항 값을 동일) 사용, 배선인덕턴스 최소화 (Busbar 구조 또는 동일한 전류 path), 적절한 방열판 설계 등을 반드시 고려해야 한다 [3-5].

본 연구에서는 원가절감 및 전류용량증대를 위해 사용되는 DC/DC 컨버터의 병렬운전을 위한 2가지 스위칭 기법 (전류분할, 시분할)의 동작원리 및 동작 특성을 비교·분석 하였다. 또한 벡-타입 컨버터를 전력용 스위칭 소자로 주로 사용되는 MOSFET와 IGBT로 각각 구성하여 시뮬레이션 및 실험을 통해 스위칭 손실 및 스트레스 그리고 전체 시스템의 효율 등의 관점에서 2가지 스위칭 기법을 비교하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 고효율 DC/DC 컨버터용 전류분할과 시분할 스위칭 기법

전력용 반도체 소자의 발전으로 인하여 전력변환장치는 대용량, 고주파수 구동이 가능해졌다. 이를 이용하여 전력변환장치의 소형경량화 및 성능 향상을 위해 스위칭 주파수 (switching frequency)를 높게 제어하는 경향이 두드러지고 있다. 하지만 스위칭 주파수가 높아질수록 스위칭 매 순간마다 발생하는 스위칭 손실은 증가하게 되며, 주 전력 스위치의 턴-온, 턴-오프 시 발생하는 전압 및 전류의 교차점에서 서지나 잡음과 같은 스위칭 스트레스 (stress) 등으로 인해 방열, 잡음, EMI (electromagnetic interference) 등의 문제가 추가적으로 발생하게 된다. 이의 해결방안으로 소프트-스위칭 (soft-switching) 기법이 사용되어지고 있는데, 일반적으로 소프트-스위칭 기법은 주 전력 스위칭 소자가 스위칭 할 때 발생하는 과전압 및 과전류의 서지나 스파이크 (spike) 같은 스위칭 스트레스를 제거 또는 감소시킬 수 있기 때문에 기존의 하드-스위칭 (hard-switching) 기법 보다 스위칭 손실 및 스위칭 시 발생하는 각종 문제를 감소시킬 수 있다. 그러나 소프트-스위칭을 시스템에 적용시키기 위해서는 스너버 회로 또는 보조 공진 회로와 같은 소프트-스위칭을 위한 부가적인 회로를 추가로 구성하여야 되며, 이로 인해 시스템의 가격상승 및 회로의 복잡성 등의 문제가 발생하게 된다 [6,7].

따라서 전체 시스템의 원가 절감 및 간단한 회로 구성을 위해 낮은 용량의 스위칭 소자들을 병렬로 연

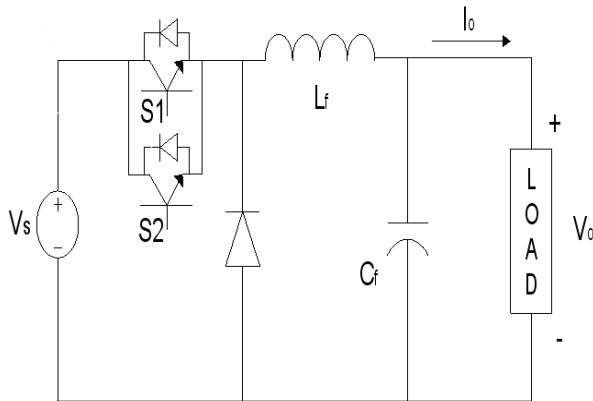


Fig. 1. Schematic diagram of a buck-type converter.

결하여 사용하는 방법을 주로 사용하게 된다. 그림 1은 일반적인 벡-타입 DC/DC 컨버터로 병렬운전을 위해 스위칭 소자 2개가 병렬로 연결되어 있다.

벡-타입 컨버터는 입력전압 ( $V_s$ )보다 출력전압 ( $V_o$ )이 낮은 강압 (step-down)형 컨버터로 출력전압은 식 (1)과 같이 스위칭의 턴-온 시간을 나타내는 시비율 ( $D$ : duty ratio)에 의해 결정되어진다.

$$V_o = DV_s \quad (1)$$

DC/DC 컨버터는 특성상 부하조건이 변동하더라도 출력전압을 항상 지령전압 (설정전압)으로 유지하기 위해 식 (1)과 같이 PWM (pulse width modulation)을 이용하여 시비율을 제어하게 되며, 이에 따라 스위치에 흐르는 전류도 변동하게 된다. 여기서 스위치가 턴-온 상태에서 턴-온으로 넘어가는 지점과 턴-오프에서 턴-온으로 변화되는 구간에서 스위치에 흐르는 전류와 전압이 교차하면서 서지나 스파이크 (spike) 같은 스위칭 스트레스가 발생하게 된다. 이로 인해 스위칭 손실을 유발시키고 소자의 내구도도 약화되게 된다. 이러한 문제점은 매 스위칭 순간에 발생하게 되며 스위칭 주파수가 높아지고 전류가 증대할수록 커지게 된다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 가장 많이 사용되는 방법이 그림 2와 같은 전류분할 스위칭 기법이다.

그림 2의 전류분할 스위칭 기법은 각각의 스위칭 소자에 흐르는 전류를 적게 하기 위해 사용되는 가장 보편적인 병렬운전용 스위칭 기법으로, 식 (1)에 의해 구해진 시비율에 의해 생성된 스위칭 신호를 병렬로

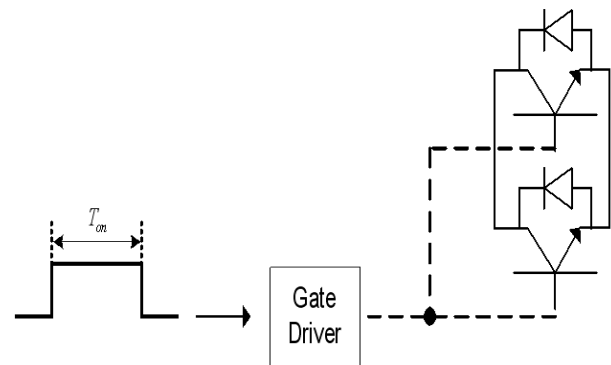


Fig. 2. Current sharing switching method.

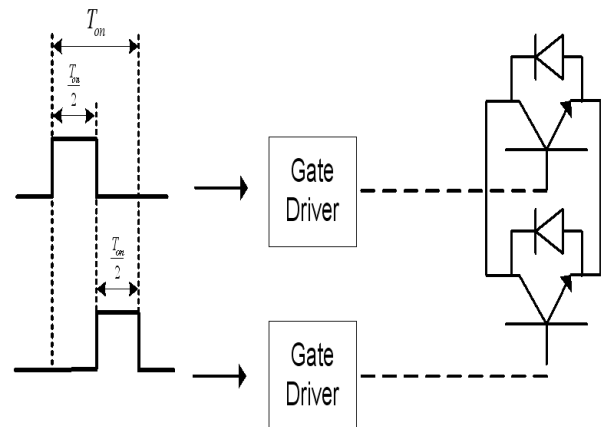


Fig. 3. Time sharing switching method.

연결된 각각의 스위칭 소자에 동일한 패턴으로 입력한다. 따라서 각각의 스위칭 소자의 턴-온 및 턴-오프는 동시에 이루어지며 온-시간 (ton) 또한 동일하기 때문에 전체 시스템에 흐르는 전류는 회로에 연결된 스위칭 소자의 개수에 따라 분할하여 흐르게 된다. 즉, 기본회로에서 1개의 스위치가 담당해야 할 전류를 2개 이상의 스위치를 병렬로 연결하여 각각의 스위치에 나누어 흐르게 함으로서 스위치의 정격용량을 낮추는 효과를 얻을 수 있다. 또한 전류가 낮아짐에 따라 스위칭 순간에 발생하는 스위칭 스트레스도 적게 발생하게 된다. 하지만 각각의 스위치에 흐르는 전류가 정확하게 분할되지 않으면 각 스위칭 소자 간의 전류 불균형으로 순환전류가 발생할 수 있으며 상대적으로 전류 부담이 많은 소자가 손실될 수 있다.

이러한 전류불균형 문제를 해결하기 위한 한 방법

으로 그림 3과 같은 시분할 스위칭 기법이 제시되었다. 시분할 스위칭 기법은 낮은 용량의 스위칭 소자들을 병렬로 연결하는 방식은 전류분할 스위칭 기법과 동일하지만, 각각의 스위치를 구동하기 위한 스위칭 신호는 다르게 입력하게 된다.

그림 3의 시분할 스위칭 기법은 식 (1)에 의해 구해진 시비율에 의해 생성된 스위칭 신호를 병렬 연결된 스위칭 소자의 수만큼 분할하게 된다. 예를 들어 그림 1에서처럼 병렬 연결된 스위칭 소자가 2개이면 스위치 온-시간을 2개로 분할하여 스위치 S1이 먼저 턴-온 되어 온-시간의 반절 ( $t_{on}/2$ )을 스위칭하고 S1이 턴-오프 되면 S2가 턴-온 하여 나머지 구간을 스위칭하게 된다. 즉, 전류분할 스위칭 기법이 각각의 스위치에 흐르는 전류의 크기를 실제적으로 낮게 제어하는 방식이라면 시분할 기법은 전류의 크기는 기존의 1개의 스위치를 이용한 방식과 같지만 도통 시간을 짧게 함으로써 실제적으로 스위치에 흐르는 평균전류를 낮게 제어하는 방식이다. 따라서 각각의 스위치는 개별적으로 동작하기 때문에 각각의 게이트 드라이버가 필요하며 스위치 S1의 턴-오프 직전에 스위치 S2를 턴-온시켜 스위칭 스트레스를 최소화할 수 있다.

여기서 스위칭 소자의 정격용량을 선정하는데 기본적인 고려사항은 설정된 최대전압과 최대전류가 스위치에 인가되었을 경우에도 스위치가 파손되지 않고 정상적으로 운전하도록 설계해야 한다. 또한 스위칭 손실로 인해 발생하는 스위칭 소자의 온도 상승을 방지하기 위한 방열판과 같은 냉각장치를 필수적으로 고려해야 한다. 스위칭 소자에서 발생하는 손실은 턴-온 및 턴-오프와 같은 스위칭 동작을 수행할 때 발생하는 스위칭 손실과 스위치의 턴-온 구간에서 발생하는 순방향 스위칭 손실로 크게 구분할 수 있다. 여기서 순방향 스위칭 손실은 스위칭 소자에 흐르는 평균전류에 의해 결정되어지며 평균전류가 클수록 도통 시간이 길수록 증가하게 되며, 이로 인해 방열판 크기가 증가하거나 냉각장치 (수냉식 또는 공냉식)를 사용해야 한다. 일반적으로 방열판과 같은 냉각장치는 기계적 부품을 사용함으로써 부피가 증가하게 되면 전체 시스템의 대형화 및 가격상승의 주된 원인으로 작용하게 된다. 따라서 각각의 스위칭 소자에 흐르는 평균전류를 낮게 흐르게 하면 스위칭 소자에서 발생하는 열을 감소시킬 수 있고, 이는 방열판과 같은 냉각장치의 부피를 최소화시킬 수 있어 전체 시스템의 소형화 및 제조원가를 절감시킬 수 있다.

전체 시스템의 원가 절감 및 간단한 회로 구성을 위해 낮은 용량의 스위칭 소자들을 병렬로 연결하여 사용하는 방법을 주로 사용하게 된다. 그림 1은 일반적인 벡-타입 DC/DC 컨버터로 병렬운전을 위해 스위칭 소자 2개가 병렬로 연결되어 있다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 시뮬레이션 및 실험

본 연구에서는 병렬운전에 사용되는 2가지 스위칭 기법을 비교·분석하기 위해 그림 1과 같은 벡-타입 컨버터에 적용하여 시뮬레이션과 실험을 수행하였다. 또한, 전력용 반도체에 주로 쓰이는 MOSFET와 IGBT를 각각 적용하여 2가지 스위칭 기법에 따른 동작특성, 스위칭 스트레스 및 스위칭 손실 등을 비교·분석하였다.

#### 3.2 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 전류분할 스위칭 기법과 시분할 스위칭 기법을 비교하기 위해 입력전압 60[V], 출력전압 48[V]인 벡-타입 컨버터를 모델링하여 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다.

Table 1. Simulation conditions and parameters.

Power rating	1,440 W
Input voltage	60 V(DC)
Output voltage	48 V(DC)
Output current	30 A(DC)
Filter	inductor: 128 $\mu$ H capacitor: 7.8 $\mu$ F
Switching frequency	50 KHz
Output voltage ripple	$\leq 1\%$
Input current ripple	$\leq 1\%$
Output voltage ripple	$\leq 5\%$

본 연구에서는 병렬운전의 효과를 확인하기 위해 우선적으로 그림 4와 같이 병렬운전이 아닌 스위치 1개만을 사용했을 때의 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 실제 실험과 유사한 시뮬레이션 결과를 얻기 위해서 본 연구에서는 스위칭 손실 및 온-오프 딜레이를 감안한 MOSFET를 모델링하여 시뮬레이션을 수행하

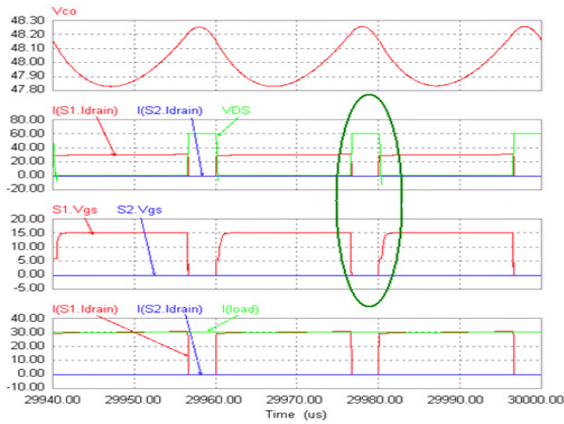


Fig. 4. Simulation results of the one switch in operation.

였다. 그림 4의 시뮬레이션 결과 파형은 위에서 부터 출력전압 ( $V_{co}$ ), 스위치에 흐르는 전류 ( $I(S1, S2)$ )와 스위치 양단간의 전압 ( $V_{DS}$ ), 스위치 게이트 입력 전압 ( $S1-V_{gs}$ ,  $S2-V_{gs}$ ) 그리고 출력전류 ( $I_{load}$ )이다.

그림 4에서처럼 스위치 S1의 양단간의 전압 (입력 전압)은 60 V이며 전류는 부하 전류 (출력전류)와 동일한 30 A가 흐르고 있음을 알 수 있다. 여기서 S2는 병렬운전을 위해 모델링한 스위칭 소자로 그림 4의 시뮬레이션 결과에서는 동작하지 않고 있음을 확인할 수 있다.

그림 5는 전류분할 스위칭 기법을 이용한 시뮬레이션 결과로 부하조건은 그림 4와 동일하다. 그림 5에서처럼 전류분할 스위칭 기법은 스위치 S1과 S2를 동시에 턴-온, 턴-오프하는 방법으로 부하 전류는 30 A이지만 스위치 S1과 S2에 흐르는 전류는 15 A로 정확하게 반절로 분할되어 흐르고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 그림 4와 같이 1개의 스위치만을 사용했을 때와 비교하여 스위칭 소자의 정격용량을 반절로 감소시킬 수 있으며 스위칭 스트레스도 저감이 가능함을 확인하였다.

그림 6은 시분할 스위칭 기법을 이용한 시뮬레이션 결과로 그림 4와 같은 부하조건에서 발생했던 시비를 분할하여 우선적으로 S1을 턴-온시키고 S1과 턴-오프되기 직전에 S2를 턴-온 되도록 제어하였다. 그림 6에서처럼 S1과 S2에 흐르는 전류의 크기는 부하 전류와 동일한 30 A이지만 그림 4와 비교하여 턴-온을 유지하고 있는 시간이 반절로 줄어들었음을 확인할 수 있다. 따라서 스위치 S1과 S2에 흐르는 전류의 크기는 30 A이지만 도통되는 시간이 반절로 감소하

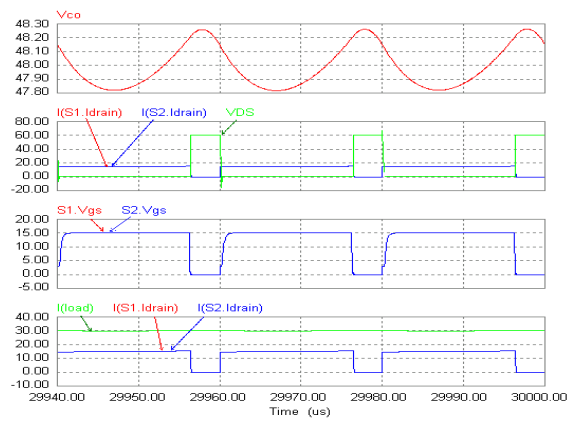


Fig. 5. Simulation results of the switching characteristics using the current sharing method.

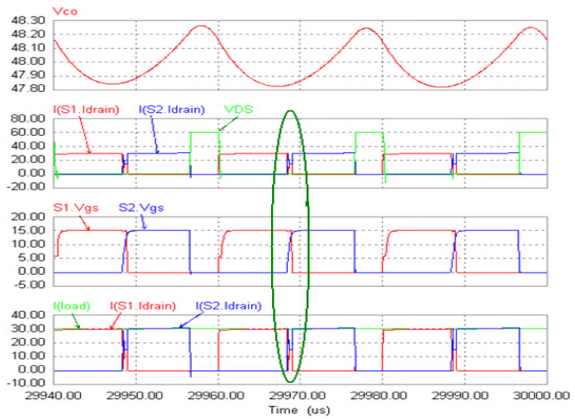


Fig. 6. Simulation results of the switching characteristics using the time sharing method.

였기 때문에 평균전류가 반절로 감소되는 효과를 얻기 때문에 전류분할 기법과 동일하게 스위칭 소자의 정격용량을 반절로 감소시킬 수 있다.

### 3.3 실험 결과

본 연구에서는 병렬운전에서 사용되는 전류분할 스위칭 기법과 시분할 스위칭 기법의 스위칭 손실 저감 및 스위칭 스트레스 감소 효과를 확인하기 위해 1 kW 급 벡-타입 컨버터를 제작하여 실험하였으며, 실험조건은 표 2와 같다. 또한 전력용 반도체 소자로 주로 사용되는 MOSFET와 IGBT를 2가지 스위칭 기법으로 각각 실험하여 비교하였다.

**Table 2.** Experiment conditions and parameters.

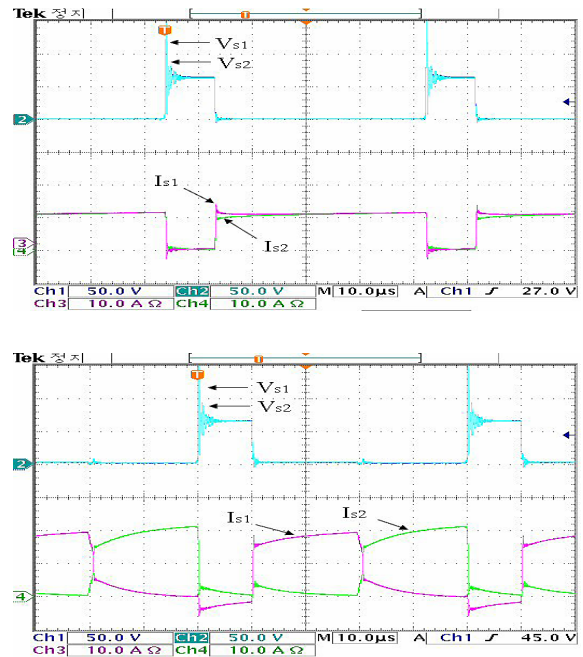
Power rating	1,000 W
Input voltage	60 V(DC)
Output voltage	48 V(DC)
Output current	30 A(DC)
Filter	inductor: 340 uH capacitor: 66 uF
Switching frequency	20 KHz
Power switches	MOSFET: ICFK 50N50 IGBT: 2MI75N060
Gate driver	MOSFET: IR 4427 IGBT: EXB841

그림 7은 MOSFET를 이용한 실험 결과로 그림 7(a)는 전류분할 스위칭 기법을 적용한 파형이며, 그림 7(b)는 시분할 스위칭 기법을 적용한 실험 결과이다. 그림 7에서  $V_{s1}$ 과  $V_{s2}$ 는 스위치 S1과 S2 양단간의 전압이고,  $I_{s1}$ 과  $I_{s2}$ 는 스위치 S1과 S2에 흐르는 전류이다.

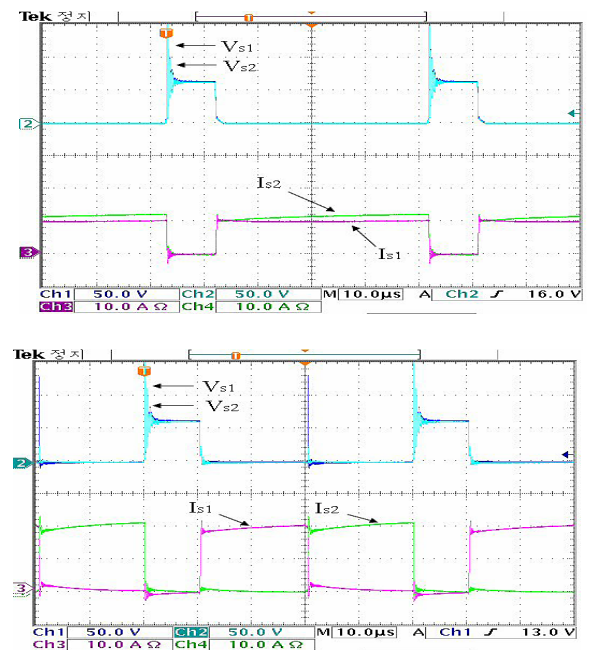
그림 7(a)는 MOSFET를 이용하여 전류분할 스위칭 기법에 적용한 실험 결과로, 그림 5의 시뮬레이션과 동일하게 부하 전류 (약 21 A)의 절반 (약 10.5 A)씩을 스위치 S1과 S2가 각각 분할하여 분담하고 있음을 확인할 수 있다. 그림 7(b)는 MOSFET를 이용하여 전류분할 스위칭 기법에 적용한 실험 결과로, 그림 6의 시뮬레이션과 동일하게 한 주기의 스위칭 턴-온 구간을 S1과 S2가 반절씩 분담하고 있음을 확인할 수 있다.

그림 8은 IGBT를 이용한 실험 결과로 그림 8(a)는 전류분할 스위칭 기법을 적용한 파형이며, 그림 8(b)는 시분할 스위칭 기법을 적용한 실험 결과이다.

그림 8(a)는 IGBT를 이용하여 전류분할 스위칭 기법에 적용한 실험결과로 그림 7(a)와 동일한 부하조건이며 따라서 스위치 S1과 S2에 흐르는 전류는 부하전류 (약 21 A)의 반절인 10.5 A씩 분할하여 흘러야 된다. 그러나 그림 8(a)에서처럼 스위치 S1에 흐르는 전류는 10 A이지만 S2에 흐르는 전류는 최대 12 A로 측정되었다. 이는 IGBT의 특성상 내부에 밀러효과 (miller effect)에 의한 캐패시턴스가 발생하게 되어 유입되는 전류의 작은 차이로 인해 발생한 오차임을 추정할 수 있다. 따라서 전류분할기법을 IGBT 소자에 적용하면, 그림 8(a)에서처럼 하나의 게이트 드라이버 회로로 동일한 IGBT 모델을 이용하여 구성하더라도 각각의 스위칭 소자의 아주 작은 특성 하나에도 매우 민감하게 반응하여 전류 불균형이 발생할



**Fig. 7.** Experimental results of MOSFETs switching characteristics. (a) current sharing method, (b) time sharing method.



**Fig. 8.** Experimental results of IGBTs switching characteristics. (a) current sharing method, (b) time sharing method.

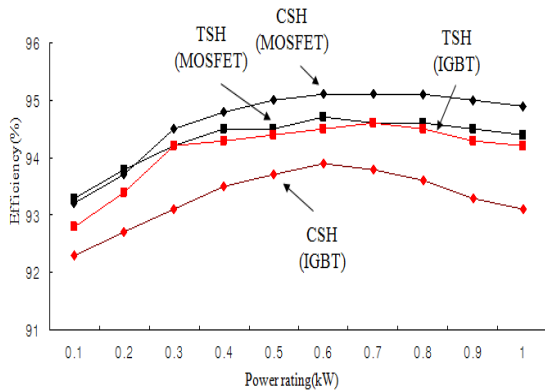


Fig. 9. Comparison of IGBT and MOSFET using current sharing and time sharing method for switching.

수 있음을 확인할 수 있다. 그러나 그림 8(b)처럼 시분할 기법을 IGBT에 적용했을 경우, 각각의 스위칭 소자 (S1과 S2)에 약 20 A 전류가 ton/2 구간 동안 흐르고 있음을 알 수 있다.

그림 9는 부하조건을 정격부하에서 10%씩 가변하여 측정한 효율 그래프로, MOSFET는 전류분할 스위칭 기법을 적용하였을 경우에 효율이 좋으며 IGBT는 시분할 스위칭 기법을 적용하였을 경우에 효율이 좋게 측정되었다. 또한, 시분할 스위칭 기법은 스위칭 특성 실험 및 효율 측정 그래프에서처럼 IGBT와 MOSFET가 비슷한 특성을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 DC/DC 컨버터의 효율 향상, 제품의 원가절감 및 용량증대를 위해 사용되는 2가지의 병렬운전용 스위칭 기법 (전류분할과 시분할)의 동작원리 및 동작 특성을 비교·분석하였다. 또한, MOSFET와 IGBT를 이용한 벽-타입 컨버터에 2가지의 병렬운전용 스위칭 기법을 적용하여 시뮬레이션 및 실험을 수행하였으며, 시뮬레이션 및 실험 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 전류분할 스위칭 기법과 시분할 스위칭 기법은 병렬로 연결된 각각의 스위치에 전류를 분담할 수 있기 때문에 스위칭 소자의 용량 감소할 수 있고 방열

관과 같은 냉각장치를 최소로 설계할 수 있어 전체 시스템의 소형경량화 및 제조원가의 절감이 가능하다.

2. MOSFET를 이용한 병렬운전용 컨버터는 전류분할 기법이 시분할 기법보다 효율면에서 우수하고 회로 설계 및 제어가 쉽기 때문에 전류분할 스위칭 기법이 적합하다.

3. IGBT를 이용한 병렬운전용 컨버터는 동일 제조사의 모델사용, 게이트 드라이버 회로 공통사용, 전력선 (power line)을 판 (laminated) 구조인 busbar 형태 사용 등의 일반적인 병렬운전 요구사항을 고려했음에도 불구하고 아주 작은 동작특성 차이로 인해 전류분할기법을 적용하면 평균 전류 편차가 약 10% 이상이 발생함을 확인하였다. 또한 효율이 시분할 스위칭 기법에 비교하여 약 1% 이상 감소함을 확인하였다.

그러므로 고효율 DC/DC 컨버터 시스템을 구성하기 위해서는 주전력 반도체 소자는 MOSFET, 스위칭 기법은 전류분할 스위칭 기법이 적합하다. 그러나 전력용 반도체 소자로 IGBT를 이용하여 병렬운전용 DC/DC 컨버터 시스템을 구성할 경우에는 각각의 스위치에 스위치를 구동하기 위한 구동 드라이버가 추가로 필요하게 되는 단점이 발생하지만 전류불균형의 문제를 해결하고 효율면에서 우수한 시분할 기법이 전체 시스템의 성능향상 및 소형경량화 부분에서 적합하다.

#### 감사의 글

이 논문은 전라북도 도비지원 R&D 사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

#### REFERENCES

- [1] Z. Zhang and S. Cuk, *Proceeding of Power Electronics and Motion Control Conference*, **2**, 909 (2000).
- [2] J. He and M. E. Jacobs, *Proceeding of Applied Power Electronics Conference and Exposition*, **2**, 1105 (1999).
- [3] D. Maksimovic and S. Cuk, D. Maksimovic and S. Cuk, *IEEE Trans. Power Electron.*, **6**, 151 (1991).

- [4] Romeo Letor, *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, **25**, 395 (1992).
- [5] Dehbonei, S. H. Ko, S. R Lee, L. Borle, and C. V. Nayar, *Proceeding of IECON*, **1**, 2459 (2006).
- [6] C. M. C. Duarte and I. Barbi, *Proceeding of Telecommunications Energy Conference*, **1**, 214 (1995).
- [7] C. J. Tseng and C. L. Chen, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, **46**, 780 (1999).