

# 정전류 제어가 가능한 100W급 초박형 DC-DC 컨버터

연제선, 안태영  
 청주대학교 정보통신공학부

## 100W Class Low Profile DC-DC Converter with Constant Current Control

Je-Sun Yon, Tae-Young Ahn  
 Division of Information and Communication Engineering, Cheongju University

### ABSTRACT

This is a thesis that a quarter-brick size of 100W class open-frame type on board power module comprising telecommunication application is reported. The input voltage is established between 36 and 75 in range in order for power module to be utilized for the telecommunication application, and output were set at 3.3V and 30A. A number of parts used for transformer, inductor, and hit sink are composed of PCB in order for DC-DC converter to be lowered below 8 mm. A constant current control circuit was annexed to the system as well as basic protection prototypes such as over-voltage, over-current, and over-temperature were well considered to enhance more credibility, and were tested. As a result, high circuit performance and credibility turned out to be significant.

### 1. 서론

스위칭 전원장치는 고효율이면서 소형화가 가능하기 때문에 산업 전반에 널리 사용되고 있는 추세이다. 또한 전원장치의 전력 변환 효율은 회로의 내부 손실과 밀접한 관계가 있고, 손실이 증가함에 따라서 전원장치의 발열량이 비례하기 때문에 방열 설계에서 중요한 평가기준이 되기도 한다. 따라서 전원장치의 효율을 높이게 되면, 장치의 신뢰성이 높아지고, 운전 수명이 길어지며, 방열을 효율적으로 운용할 수 있기 때문에 제품의 외형을 소형화시킬 수가 있다.[1-3]

본 논문에서는 통신기용 전원장치에 적합한 쿼터 브릭(quarter-brick) 사이즈(2.3inch×1.45inch)의

100W급 개방형 온보드 전원장치를 구성하여 실험 결과를 보고한 것이다. 전원장치는 통신기용으로 사용하기 위해서 입력전압을 36-75V 범위로 설계하였으며 출력은 3.3V, 30A로 하였다. DC-DC 컨버터 모듈을 0.315inch(8mm) 이하로 낮추기 위해서 변압기, 인덕터, 방열판 등의 소자는 PCB를 이용하여 회로에 일체시킨 형태로 구성하였다. 실험 회로의 성능과 신뢰성을 고려하여 과전압, 과전류, 과온도 등의 기본적인 보호회로 외에도 실험 회로의 신뢰성을 더욱 향상시키기 위하여 정전류 보호회로를 추가, 구성하여 실험하였으며, 실험 결과 회로의 성능과 신뢰성을 개선시킬 수 있었다.

### 2. 능동클램프형 포워드 컨버터

그림 1은 동기 정류기를 갖는 능동클램프형 포워드 DC-DC 컨버터의 기본 회로를 나타내었다.[4, 5] 그림 1의 기본회로가 일정한 스위칭 주파수  $f_s$ 와 일정한 시비율 D에서 동작하며, 각 소자가 이상적인 특성을 갖는다고 가정하면, 그림 2와 같은 등가 회로를 구성할 수 있다. 그림 2의 등가회로가 정상 상태에서 동작하는 경우, 각 스위치  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ 의 동작 상태에 따른 상태별 등가회로를 그림 3에

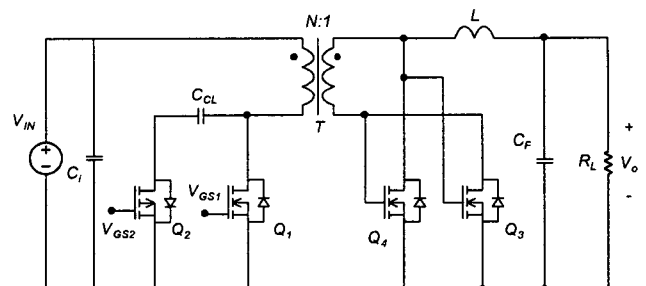


그림 1 능동 클램프 포워드 DC-DC 컨버터의 기본 회로  
 Fig. 1 Basic circuit of active clamp forward converter

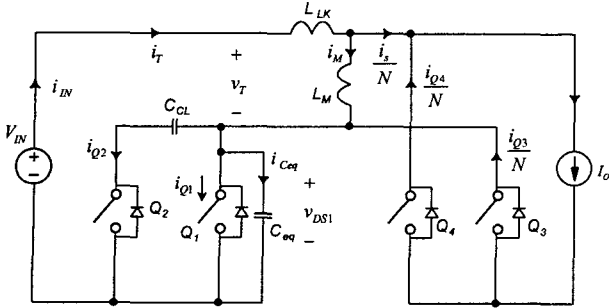


그림 2 등가 회로  
Fig. 2 Equivalent circuit

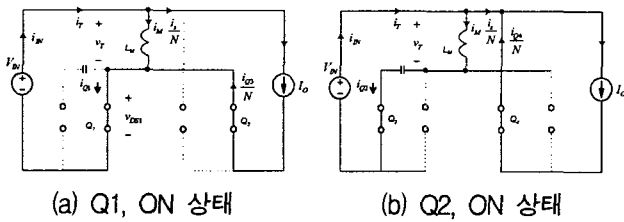


그림 3 각 상태별 등가 회로  
Fig. 3 Equivalent circuit for the switch states

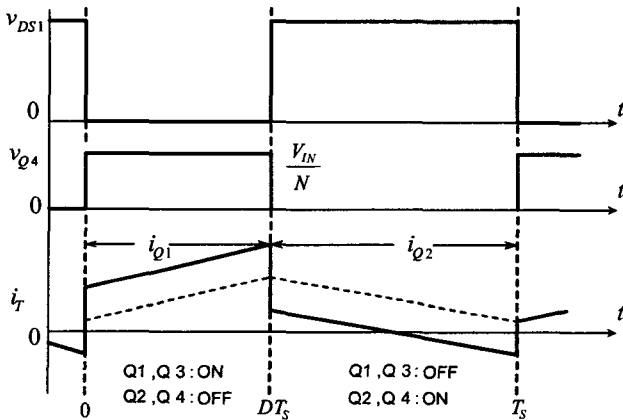


그림 4 각 상태별 이론 동작 파형  
Fig. 4 Theoretical waveform for the switch states

나타내었다. 그림 4에서는 각 상태에 대한 이상적인 동작 파형을 나타내었다. 그림 3의 등가회로와 그림 4의 이론 파형으로부터 회로의 동작은 두 가지 상태로 다음과 같이 간단하게 설명된다.

그림 3 (a)의 등가회로에서 주 스위치 Q<sub>1</sub>이 제어 신호에 의해서 도통되면 변압기 1차 측 전압은 입력 전압 V<sub>IN</sub>과 같아지고, 변압기 권선비 N에 의해서 2차 측 전압이 유기되면서 Q<sub>3</sub>의 게이트-소스에 (+)의 전압이 인가되므로 Q<sub>3</sub>는 ON 상태가 되고, Q<sub>4</sub>는 역 바이어스 이므로 OFF 상태가 된다. 그림

3 (b)의 등가회로에서 보조 스위치 Q<sub>2</sub>가 제어 신호에 의해서 턴 온 되고, 변압기 1차 측 전압이 클램프 전압 V<sub>CL</sub>과 같아지면서 변압기 권선비 N에 의해서 동기 정류기 Q<sub>4</sub>는 ON 상태가 되고, Q<sub>3</sub>는 OFF 상태가 된다.

### 3. 정전류 제어

본 논문에서는 통신기용 전원장치에 적합한 쿼터 브릭(quarter-brick) 사이즈(2.3inch × 1.45inch)의 100W급 개방형 온보드 전원장치를 구성하였다. DC-DC 컨버터 모듈의 높이를 0.315inch(8mm) 이하로 최소화하기 위해서 변압기, 인덕터, 방열판 등의 부피가 큰 소자는 8층의 다층 인쇄 회로 기판에 일체화 시키는, 소위 다층 PCB로 제작하여 회로에 일체시킨 형태로 구성하였다.

그림 5에서는 본 논문에서 설계한 정전류 보호 기능이 추가된 능동클램프형 포워드 DC-DC 컨버터의 구성을 블록 다이어그램으로 표현한 것이다. 일반적으로 통신기용 전원장치는 높은 신뢰성을 유지하기 위해서 기본적으로 요구되는 특성이 존재하는데 그 중에서도 비정상적으로 운전되는 경우 전원장치와 부하를 보호하기 위한 보호회로가 필요하다. 그림에서는 저입력전압 및 과입력전압 보호 회로, 과온도 보호회로, 과전류 보호회로 그리고 외부 스위치의 신호에 의해 전원장치의 기능을 제어하는 리모트 제어회로 등으로 구성 되어있다. 또한

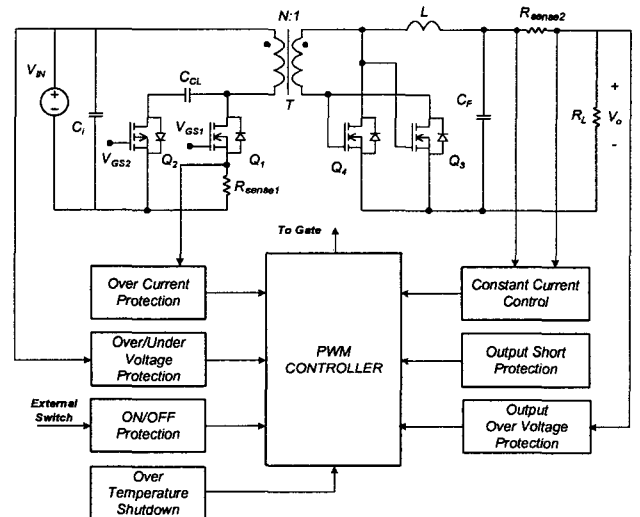


그림 5 정전류 기능을 부가한 능동 클램프형 포워드 컨버터의 구성

Fig. 5 Composition of active clamp forward DC-DC converter annexed constant current control function

출력 측에는 과전압 보호회로, 정전류 보호회로 그리고 단락 보호회로 등이 구성 되어있다. 보호회로의 동작 상태는 크게 시스템이 단락되는 동작, 시스템이 온/오프를 반복하는 Hiccup 동작 그리고 전류를 제한하는 정전류 동작 상태 등 세 가지로 구분된다. 이러한 다양한 보호회로를 추가함으로써 본 논문에서 설계된 전원장치의 신뢰성을 향상시키는 역할을 한다.

본 논문에서 설계된 통신기기용 전원장치는 출력 전압이 3.3V, 출력전류가 30A, 100W급의 대표적인 저전압 대전류형 사양을 갖는 전원중의 하나이다. 일반적으로 정밀한 정전류 특성을 갖는 전원장치를 설계하기 위해서는 출력전류를 정확하게 검출할 수 있는 전류검출회로가 필요하며 가격과 높이 등을 고려해 일반적으로 낮은 값의 저항이 이용되고 있다. 본 논문에서 검토하고 있는 대전류형 전원인 경우에는 저항을 사용하는 경우 저항에서 전력손실이 과도하게 발생되고 효율이 저하되는 문제가 있다.

저손실을 갖는 정밀한 전류검출 기능을 컨버터가 수행하기 위해서는 검출 저항 값의 결정이 매우 중요하며, 정밀한 정전류 검출을 위해서는 수 mΩ 이하의 매우 작은 값의 전류 검출 저항이 요구된다. 본 논문에서는 PCB 패턴을 이용하여 전원의 출력단에 전류검출용 저항을 구성하였다. PCB를 이용한 전류검출용 저항은 정밀한 계산이 가능하고 박형의 제조가 가능하며, 다층을 사용하는 경우 내층에 설치 할 수 있다는 장점이 있다. 전류검출용 저항은 그림 6과 같이 PCB 동박의 면적을 계산하여 만들 수가 있고 계산식은 크게 세 가지로 나뉜다.

첫 번째는 동판의 저항 값의 계산이며, 식은 다음과 같다.

$$P_s(T) = \frac{P[1 + \alpha(T_A + T_{RISE} - 20)]}{h} \quad (\text{m}\Omega/\square) \quad (1)$$

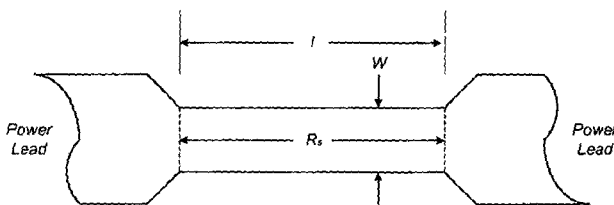


그림 6 PCB를 이용한 전류 검출용 저항  
Fig. 6 PCB resistor for current sensing

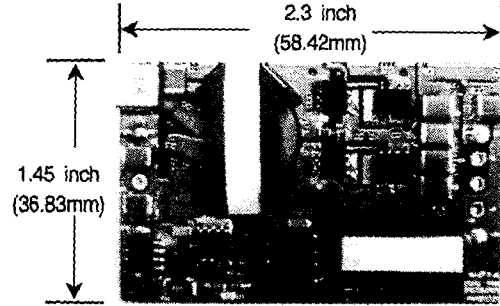


그림 7. 능동 클램프 포워드 DC-DC 컨버터  
Fig. 7 Active clamp forward DC-DC converter

식 (1)에서  $P_s(T)$ 는 상승하는 온도에서 동판의 저항 값( $\text{m}\Omega/\square$ )이고,  $P$ 는 20°C의 온도에서 동박의 고유저항( $\Omega \cdot \mu\text{m}$ )이다. 그리고  $\alpha$ 는 동박 고유저항의 온도 계수(per°C),  $T_A$ 는 주변 온도(°C),  $T_{RISE}$ 는 허용 온도 상승(°C),  $h$ 는 동박의 두께( $\mu\text{m}$ )이다.

두 번째는 동박의 세로 길이를 계산하는 것이며, 세 번째는 동박의 가로 길이를 계산 하는 것이다. 동박의 세로와 가로의 길이를 구하는 식은 다음과 같다.

$$W = \frac{1000 \times I_{MAX}}{\sqrt{\frac{T_{RISE} + \theta_{SA}}{P_s(T)}}} \quad (\text{mils}) \quad (2)$$

$$l = \frac{W \times R}{P_s(T)} \quad (\text{mils}) \quad (3)$$

식 (2)에서  $W$ 는 전류검출 저항의 세로 길이 값(mils)이고,  $\theta_{SA}$ 는 동박의 면적에 대한 온도 저항이다. 식 (3)에서  $l$ 은 저항의 가로 길이(mils)이고,  $R$ 은 만들고자 하는 희망 저항 값( $\Omega$ )이다.

그림 6은 PCB를 이용한 전류 검출용 저항의 도면을 나타낸 그림이며, 이는 위에서 제안한 식(1), (2) 그리고 식(3)을 적용하여 전류 검출용 저항을 PCB로 설계할 수 있다. 회로에 적용 될 각 소자의 용량 및 내압의 선정을 위해 참고 문헌의 능동 클램프 포워드 컨버터의 기본 설계 식을 이용하였다. 그림 7은 정전류 제어가 가능한 100W급 DC-DC 컨버터의 실험을 위해 제작된 전원장치의 외형을 나타내었다.

#### 4. 실험 결과

본 논문에 대한 평가를 위해서 100W급 동기 정류 방식의 능동클램프형 포워드 컨버터를 실험 회

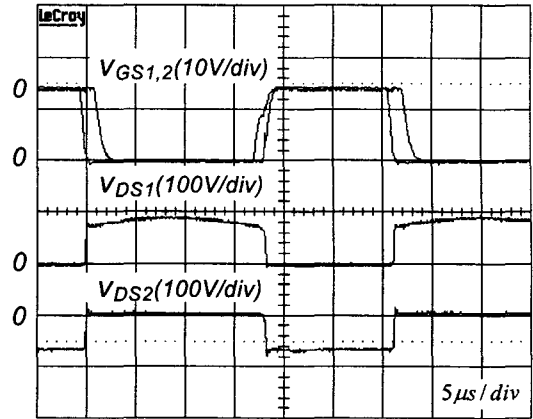
로를 구성하였고, 표 1에서는 실험용 컨버터의 설계 사양을 나타내었다.

표 1. 실험 회로의 사양  
Table 1 Specifications of experimental converter

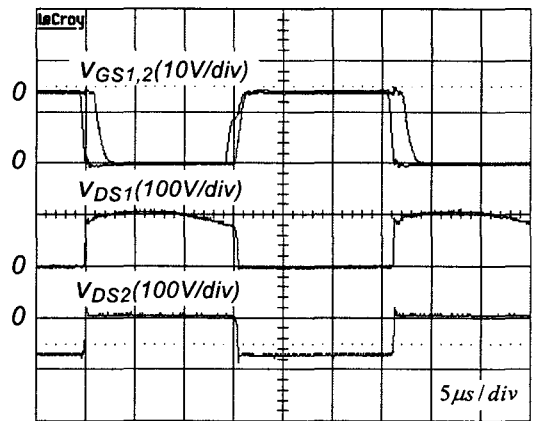
Parameters	Name	Value	Unit
Input voltage range	$V_{IN}$	36-75	V
Output voltage	$V_O$	3.3	V
Output current	$I_O$	30	A
Maximum output power	$P_O$	100	W
Switching frequency	$f_s$	320	kHz

본 논문에서 제작된 회로의 입력 전압은 통신용 전원 장치에 적합한 36-75V 범위로 설계하였으며 출력은 3.3V, 30A로 하였다. 회로에서 주 스위치는 200V, 4A의 정격인 Vishay Siliconix사의 Si4490DY를 사용하였고, 보조 스위치는 150V, 2.2A의 정격인 IRF6618을 사용하였다. 동기 정류기는 30V, 23A의 정격인 Si4430DY 2개를 각각 병렬로 구성하였으며, 따라서 총 4개의 FET를 동기 정류용 소자로 사용하였다. 또한 변압기는 TDK사의 PC40 재질의 RM8 코어를, 인덕터는 ISU사의 Ferrite 코어인 ER코어를 사용하였다. 변압기의 권선비  $N$ 은 6:1이었으며, 인덕터 권선수는 전도손실을 최소화시키기 위해서 2턴으로 하였다.

그림 8은 정상 상태에서의 주스위치와 보조 스위치의 게이트-소스 와 드레인-소스 파형을 나타낸 것이며, 보조스위치로 P-채널 FET를 사용했기 때문에 주스위치와 보조스위치의 게이트 파형이 동상으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 두 개의 스위치가 동시에 온 되는 것을 방지하고, 영 전압 스위칭이 가능하도록 데드타임이 설정 되어 있는 것을 볼 수 있다. 그림 9는 최대 출력 부하에서 변압기에 흐르는 전류 파형을 나타낸 그림이며, 주스위치의 드레인-소스 전압이 0으로 떨어진 후 변압기 1차측에 흐르는 전류가 상승 됨으로서 영 전압 스위칭이 되는 것을 확인 할 수가 있다. 그림 10은 정전류 기능이 동작했을 때 주스위치와 보조스위치의 게이트-소스 와 드레인-소스 파형을 나타낸 것이며, 정전류 기능이 동작함으로써 스위치의 게이트-소스와 드레인-소스 파형의 시비율과 전압이 변화되는 것을 볼 수 있다. 그림 11은 부하 전류에 따른 출력 전압의 변화를 나타낸 그림이며, 정전류 보호 기능이 동작하는 부하 전류 시점에서 출력 전압이 약 1.6V로 떨어지는 것을 볼 수 있다. 그림



(a)  $V_{IN} = 48V, I_O = 0A$



(b)  $V_{IN} = 48V, I_O = 30A$

그림 8 정상 상태에서의 스위치 파형  
Fig. 8 Switching waveform in steady state

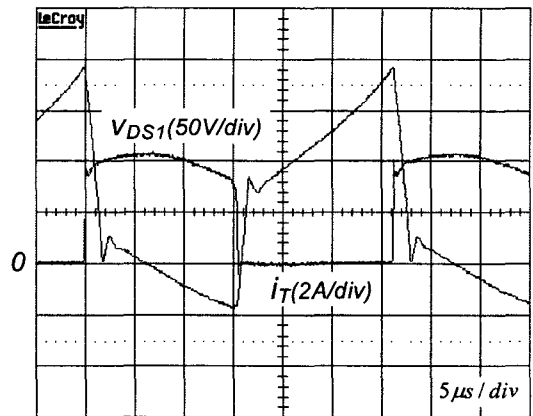


그림 9 변압기의 전류 파형과 주스위치의 전압 파형  
Fig. 9 Waveform of transformer and main switch

12는 컨버터의 출력 전류에 따른 전력변환 효율을 나타낸 것이며, 다층 PCB 변압기 및 인덕터를 사용한 결과 최대 효율은 90.6%, 최대 부하에서는 84%의 효율을 얻을 수 있었다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 통신기용 전원장치 사이즈 중에서 업계 표준의 하나인 쿼터 브릭(quarter-brick) 사이즈(2.3inch×1.45inch)의 100W급 개방형 온보드 전원장치를 구성하고, 그 실험 결과를 보고한 것이다. 전원장치는 통신기기에 적용하기 위해서 입력전압을 36-75V 범위로 설계하였으며 출력은 3.3V, 30A로 하였다. 전원장치의 모듈을 8mm 이하의 초박형의 시스템을 구현하기 위해서 변압기, 인덕터, 방열판 등의 소자는 PCB를 이용하여 회로에 일체시킨 형태로 구성하였다. 실험 회로의 성능과 신뢰성을 고려하여 과전압, 과전류, 과온도 등의 기본적인 보호회로 외에도 PCB를 이용한 전류검출용 저항을 회로에 구성하였으며 그 결과 정밀한 정전류 보호회로를 구성할 수 있었다. 한편 실험용 전원장치 모듈의 최대 효율은 90.6%, 최대 부하에서는 84%의 효율을 얻을 수 있었다.

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 청주대학교 정보통신연구센터의 지원에 의한 것입니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 안태영, 황선민, 조인호, "저전압 대전류용 개방형 DC-DC 컨버터 모듈에 관한 연구", 전기학회논문지, 제52권 제4호, pp. 183-190, 2003년 4월.
- [2] Yuri Panov and Milan M. Jovanovic', "Design and Performance Evaluation of Low-Voltage / High Current DC-DC On Board Modules" IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 16, No. 1, January 2001.
- [3] Haruo Watanabe, Hirofumi Matsuo, Haruhiko Hatakeyama, "Design Oriented Analysis of a Novel Soft-Switching DC-DC Converter with 2V/20A DC Output" IEEE PESC 01. pp. 884-889, 2001.
- [4] Haruo Watanabe, Hirofumi Matsuo, Haruhiko Hatakeyama, "Analysis of the Novel Soft Switching DC-DC Converter with Low Output Voltage" IEEE PESC 00. pp. 1503-1509, 2000.
- [5] Laszlo Huber, Milan M. Jovanovic, "Forward-Flyback Converter with Current Doubler Rectifier: Analysis, Design, and Evaluation Results," IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 14, No. 1, pp. 184-192 January 1999.

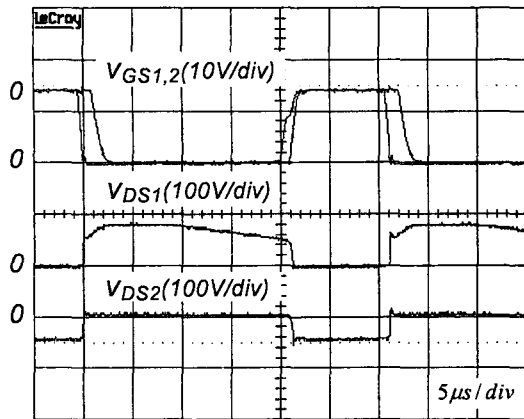


그림 10 정전류 상태에서 동작 파형  
Fig. 10 Constant current control waveform

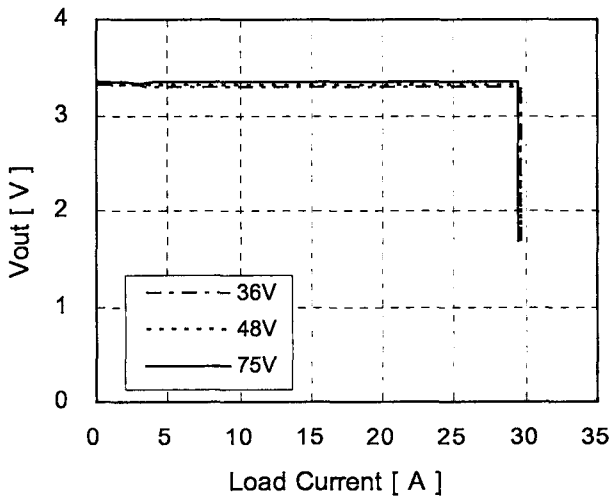


그림 11 정전류 기능이 부가된 부하 특성 그래프  
Fig. 11 Load property graph annexed Constant current control function

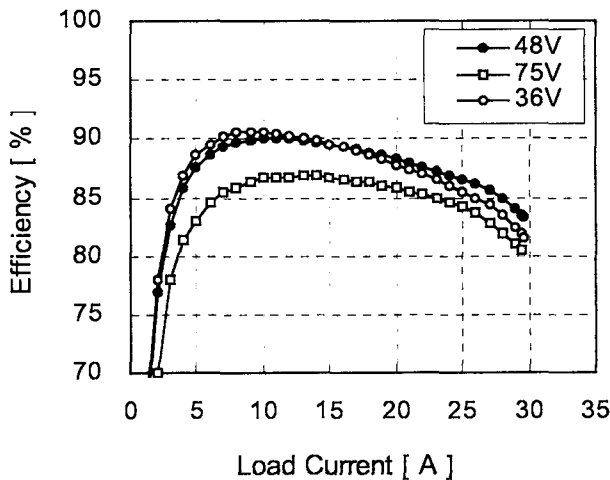


그림 12 출력 전류에 따른 전력 변환 효율  
Fig. 12 power conversion efficiency