

**특집 : 방위산업의 전력전자기술**

# 군용 고밀도 브릭형 전원장치

김종현\*, 류명호\*\*, 백주원\*\*\*  
 (전기연구원 \*선임연구원, \*\*선임연구원, \*\*\*책임연구원)

직류 안정화 전원으로서 사용되고 있는 SMPS(Switched Mode power Supply)는 반도체 스위치에 의한 전력제어를 통해 바라는 안정한 출력전압을 얻는다. 이러한 스위칭 전원 장치는 사용 용도와 시스템의 사양에 따라 다양하게 세분화되어 각종 응용분야에 사용되고 있다.

현재, 산업발전과 더불어 전력을 공급하는 전원 역시 고밀도화와 고효율화가 이뤄지고 있는 추세이며 다양한 제품군에서 고용량의 구동 및 제어용 필요 전력을 최소한의 크기로 집적화 시킨 고효율/ 고집적/ 저잡음의 전원 공급/변환 장치는 제품 전체의 경쟁력을 결정짓는 중요한 요소가 되고 있다. 컴퓨터, 통신, 가전기기 및 자동차 분야, 산업 등의 고효율을 위한 전원공급장치 핵심부품에 대한 요구가 급격히 신장되고 있으며 이를 위한 전원장치의 고밀도화 및 신뢰성 향상 기술이 보다 폭 넓게 요구되고 있다<sup>(1-2)</sup>.

본 고에서는 고밀도 전원의 한 축을 이루는 브릭형 전원장치의 개발사례를 소개하며 군용전원으로 개발한 전원의 특징과 개요를 소개한다.

## 1. 브릭형 전원장치 동향 및 구조

고기능화된 전자기기들의 수요가 집중하면서 점차 이러한 기기들에 안정된 전력을 공급할 고밀도(30~400W/in<sup>3</sup>) 대전류(50~250A), 고응답(2us이하) 고효율의 고밀도 전원에 대한 요구가 커지고 있다. 특히, 군의 무기체계 현대화와 국

산화의 일환으로 고밀도 직류 전원에 대한 개발 역시 이뤄지고 있다.

군용으로 개발되는 브릭형 전원은 기존의 SMPS에 비해 높은 전력밀도를 가지며 브릭사이즈(2.5\*4.5\*1inch)를 기준으로 1/32 브릭사이즈까지 개발되고 있다. 현재 마이크로사의 VI chip이 가장 높은 전력밀도와 안정성을 가지는 제품으로 출시되고 있으며 Power one, Artersyn, Synqor, dell사 등에서 관련 기술을 개발하고 있다<sup>(3-4)</sup>.

그림 2는 브릭형 DC/DC 구조에 적용될 수 있는 대표적인 구조들의 예이며, 아래에 간단히 그 구조들의 특징과 장단점을 살펴본다.

액티브 클램프 포워드 구조는 그림 2(a)와 같이 1차 측에 주 스위치 S와 보조 스위치 S<sub>a</sub>가 있고 보조 스위치를 구동하기 위해서는 추가의 high-side 구동 신호가 필요하기에 다소

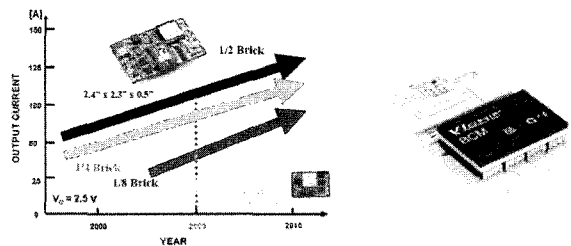
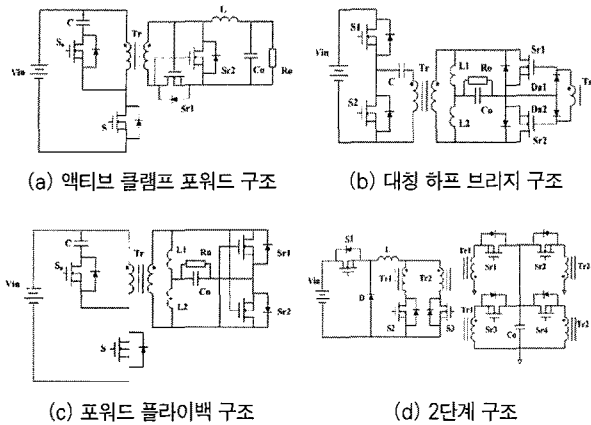


그림 1 DC/DC 컨버터의 파워밀도 변화와 마이크로사 VI chip



(a) 액티브 클램프 포워드 구조 (b) 대칭 하프 브리지 구조  
(c) 포워드 플라이백 구조 (d) 2단계 구조

그림 2 브릭형 DC/DC 구조에 적용될 수 있는 대표적인 구조

복잡하나 커패시터 C가 변압기를 리셋 시키기 때문에 기존의 클램프 포워드 구조의 리셋 권선의 부담 없이도 시비율이 50% 이상 가능하여 넓은 입력 전압 범위에 동작할 수 있는 장점을 지니고 있다.

대칭(Symmetrical) 하프 브리지 구조는 그림 2(b)와 같이 두 개의 주 스위치가 1차 측에 있고 또한 high-side 구동 신호가 필요하기에 다소 복잡하다. 저전압 고전류의 출력에 이 구조를 응용할 경우에는 전류 더블러(doubler) 기술이 변압기의 권선 손실을 줄이기 위해 사용될 수 있다. 변압기에 가해지는 전압이 직각파가 아니기 때문에 자기 구동(self-driving) 법으로 동기 정류기를 구동하면 효율이 높지 않다. 따라서 그림 2(b)와 같이 추가 권선 구동법이 사용되어야 한다. 이 구조의 최대의 장점은 (1-D)T의 시간 동안 두 개의 동기 정류기가 부하전류를 함께 흘려서 효율이 극대화 될 수 있다는 점이다. 하지만 이 구조의 시비율은 0~50%로 제한되어 액티브 클램프 포워드 구조와 같이 넓은 입력 전압 범위에서 동작 될 수는 없다.

포워드 플라이백 구조는 그림 2(c)와 같이 액티브 클램프 포워드 구조와 매우 유사하나 변압기에 추가적인 갭(gap)이 필요한 점에서 기존의 플라이백 구조와 달랐다고 할 수 있다. 2차 측의 권선은 센터 탭 전파 정류형태 각각 포워드와 플라이백 형태로 구성되어 있다. 2차 측의 권선은 대칭 하프 브리지의 2차 측의 구조인 전류 더블러 형태로 구성되어 있어서 마찬가지로 저전압 고전류 형태에 적용되면 유리하다. 주 변압기의 전압이 직각파이기 때문에 자기 구동(self-driving) 법으로 동기 정류기를 구동할 수 있는 장점이 있고 액티브 클램프 포워드 구조와 비교해 추가적인 장점은 필터 인덕터의 크기가 작고 시비율이 50%일 때에는 인덕터를 순환하는 전류 리플이 영에 가까워진다.

브릭형 DC./DC 구조에서 동기 정류기의 손실은 전체 손실

표 1 다양한 구조들의 성능 비교

구분	1차 측 복잡도	동기정류기 복잡도	1차 측 효율	동기정류기 효율	동특성	가용입력 전압범위
액티브 클램프 포워드 구조	나	가	나	다	다	나
대칭 하프 브리지 구조	다	다	나	나	다	다
포워드 플라이백 구조	나	가	나	다	다	나
2단계 구조	라	가	가	가	나	가



그림 3 개발한 균용 온보드 전원

부분에서 가장 많은 부분을 차지하고 또한 넓은 입력 범위에서는 더욱더 그 손실은 커진다. 동기 정류기 스위치의 전압/전류 스트레스와 구동 전압의 가변 범위는 입력전압의 가변 범위에 비례한다. 따라서 2단계(two stage) 구조는 이때 택할 수 있는 적절한 구조이고 변환 효율이 일반적으로 1단계 구조보다는 높다. 넓은 입력전압으로 인한 전압 스트레스는 1단계에서 감당하고 2단계에서는 동기정류기의 효율이 최대화 되어 진다. 그림 2(d)는 2단계 구조의 전형적인 예로 1단계는 강압형(buck)구조이고 2단계는 포워드 구조이다. 비록 2단계 구도의 성능은 1단계 구조보다 우수 하나 다소 복잡하며 재료비가 측면에서는 불리하다.

위에서 브릭형 DC/DC 구조에 적용 가능한 대표적인 4가지 회로구조를 간략하게 장단점을 언급하였으며 이 구조들의 성능비교는 아래 표 1과 같다. 성능 평가 항목 가, 나, 다, 라는 "가"가 가장 우수함을 나타낸다.

개발한 DC 전원은 50W, 100W, 200W의 균용 온보드 전원으로 액티브 클램프회로와 포워드 및 푸시풀 구조의 전원 회로를 기본으로 하여 구성하였다. 그림 3과 같이 개발한 전

원은 5V/15V/28V 출력을 가지도록 구성하였으며 풀브릭사이즈와 하프브릭사이즈를 기준으로 개발되었다. 최대 전력에 대해 28V 전원은 약 47W/in<sup>2</sup>의 전력 밀도를 가지고 있다.

## 2. 브릭 전원의 적용 기술

개발전원은 MIL급 IC를 사용하여 개발 하였으며 Mil 기준을 충족하기 위하여 이에 맞는 부품으로 시스템을 구성하였다. 사용된 부품 및 IC는 표 2 NAVMAT(Naval Material Research) P-4855-1A 규정을 만족하도록 각 부품의 정격 전력, 전압, 전류, 온도 등을 고려하여 설계하였으며 실험을 통해 확인하였다.

표 2 NAVMAT (Naval Material Research) P-4855-1A 규정 (부품의 전력, 전압, 전류, 온도 등의 사용 가능 제한 치)

	Power	Voltage	Current	Temp
Resistors	50	80	-	-
Capacitors	-	70	50	-
Diodes	50	65	50	Jc:110C
Transistors	50	75	60	Jc:110C
IC's	-	65	70	Jc:110C
Magnetics	-	60	60	TR:40C

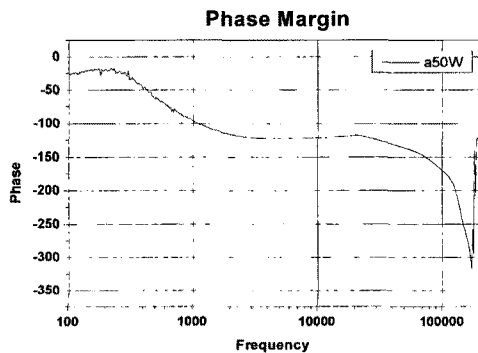
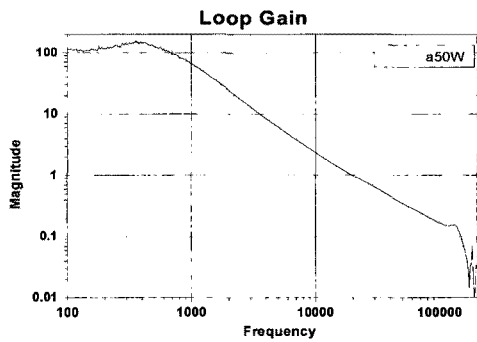
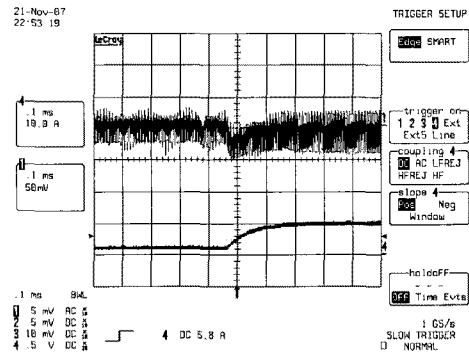


그림 4 DC-DC 컨버터의 Loop Gain

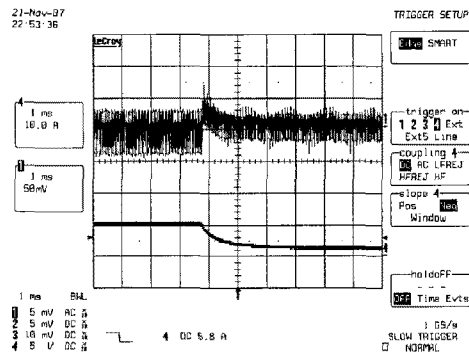
개발전원에 있어서 중요한 또 하나의 기술은 안정도 해석 및 동특성이다. 설계/제작되어진 컨버터의 스위칭 주파수는 200kHz이며, 시스템의 빠른 동특성을 확보하기 위하여 첨두(peak) 전류 제어 방식과 3극 2점(3pole, 2zero)의 전압 제어를 사용하였으며, 과도응답 변화가 1%이하가 되도록 하였다. 특히, 출력 커패시터 소자의 ESR에 따른 시스템응답 변화를 측정하여 보다 고속이고 안정화된 동특성을 얻도록 제어기 설계를 병행하였다.

그림 4는 50W(5.2V/9.6A)급 DC-DC 컨버터의 측정된 루프 이득(Loop Gain)의 크기(dB)와 위상 마진(Phase Margin)의 크기(degree)를 나타내고 있다. 그림이 나타난 것과 같이 저주파수에서의 전압 이득이 충분히 크고, 스위칭 주파수의 약 1/10인 20kHz에 crossover 주파수가 위치하고, 그때의 위상 마진이 60도보다 크게 설계하였다.

그림 5는 스텝 부하 변동에서 출력 응답 특성을 나타내고 있으며, 과도 응답 변화가 1% 이하(50mV 이하)가 되는 것을 알 수 있다. 이 때, 출력 전류의 증가 시간과 감소 시간은 각각 100us이며 2A (-) 10A의 부하 변동에 대하여 실험하였다. 또한 부하의 변동에 따른 출력 전압의 응답 시간은 약 50us로써 응답 특성이 우수한 것을 알 수 있다.



(a) 2A -> 10A



(b) 10A -> 2A

그림 5 스텝 부하 변동에 따른 출력 전압 응답 특성

### 3. 개발된 브릭형 군용전원의 특성 및 환경시험 관련 MIL 규격

군용전원에서 Mil 규정에 따른 성능과 환경시험은 반드시 필수적인 사항으로 요구되며 다음에 나타낸 바와 같이 각 규정에 대한 성능이 요구된다. 개발한 전원은 다음의 온도(표 3), 입력(표 4), 출력(표 5), isolation(표 6) 특성 등을만족한다. 또한 염수, 진동, 충격, 온도, EMI등의 환경시험도 표 7과 같은 엄격한 Mil 규격을 만족하여야 한다.

### 4. 브릭형 전원의 응용 분야

개발 전원은 군용 및 우주항공 분야의 전원으로 먼저 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 군용 및 항공용으로 역시 28V전원이 공급되며 이를 보다 신뢰성이 있으면서 경량화한 제품이 요구된다. 현재 군용 28V 전원에서 브릭형전원은 거의 전량 수입에 의존하였으며 항공용은 신뢰성 위주의 제품이 현재까지 장착되면서 전력 밀도가 20W/in<sup>3</sup> 이하의 제품이 사용

표 3 개발 전원의 온도 특성

구분	MIN	TYP	MAX	UNIT
Operating (Baseplate)	-55		100	°C
Storage (Ambient)	-55		+125	°C
Over Temperature Shutdown		105		°C
Thermal Resistance(Ambient)		5		°C/W

표 4 개발 전원의 입력 특성

구분	MIN	TYP	MAX	UNIT
Input Voltage	18	28	36	Vdc
Brown Out (75%) Full Load	17			Vdc
No Load Power Dissipation		2	3	Watt
Inrush Charge			4	mc
Reflected Ripple Current		15		%
Logic Disable Current (Sink)		1	1.5	mA
Logic Disable Power In		0.35	0.75	W
Input Ripple Rejection (120Hz)		60		dB
Input Overvoltage (No Damage)	37		50	Vdc
Efficiency	65 - 75 %			
EMI	Units conform to MIL-STD-461C with companion filter (on the input leads)			
Input Transient	Units conform to MIL-STD-704D (50 Vdcfor 0.1 second)			

되었다. 따라서 개발 전원의 항공 및 군용 제품에서의 응용전망은 매우 밝다고 할 수 있다.

그 외 브릭형 전원은 산업용으로 거의 모든 전기기기분야에 응용되고 있으며 정보 통신, 서버용 전원 및 분산형 전원, 전원공급장치 및 반도체 제조장비 전원으로 폭 넓게 이용될 수 있다.

표 5 개발 전원의 출력 특성

구분	MIN	TYP	MAX	units
Set Point Accuracy			1	%Vout
Load Regulation		0.02	0.2	%Vout
Line Regulation		0.02	1	%Vout
Ripple P-P (25MHz)		1.0	3.0	%Vout
Trim Range (5V, 5.2V min=85%)	60		115	%Vout
Remote Sense Compensation		0.5		Vdc
Overvoltage Protection		115	125	%Vout
Current Sharing(200W single only)		±10		%Iout
Transient Response(Vout 1%) Time/Overshoot				
20 - 80% Load		400/400		uS/mV
Low Line - High Line		400/400		uS/mV
50 - 100% Load		400/400		uS/mV
Temperature Drift		0.01	0.02	%/°C
Long Term Drift		0.01	0.02	%/1KHrs
Current Limit		150		%Iout
Short Circuit Current		150		%Iout
Turn On Time		100		mS
Logic Turn On Time		100		mS

표 6 개발 전원의 ISOLATION 특성

구분	MIN	TYP	MAX	UNIT
Input to Output	1000			Vdc
Output to Base	500			Vdc
Input to Base (28 Vdc in)	500			Vdc
Input to Base (270 Vdc in)	1000			Vdc
Input to Output Capacitance	0.01		0.03	µF
Insulation Resistance (@50 Vdc)	50			MOhm

표 7 환경 신뢰성 관련 MIL 규격

평가 방법	평가 항목	비 고
환경신뢰성시험	온습도,	MIL-STD-704D
	진동/충격	MIL-STD-810E
	EMI등	MIL-STD-901C1

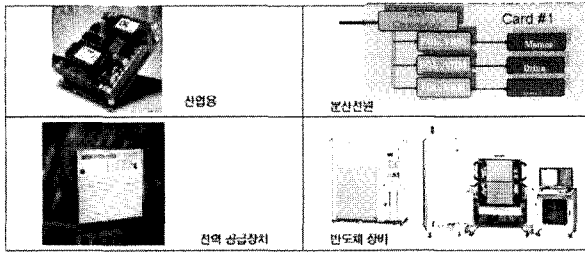


그림 6 브릭형 전원의 응용 분야

### 5. 결 언

본 고에서는 고밀도 전원의 한 축을 이루는 브릭형 전원장치의 동향과 사용 가능한 회로구조를 언급하였고, 개발사례를 소개하며 군용전원으로 개발한 전원의 온도, 입력, 출력, 절연 특징과 안정도 해석과 동특성 결과 등을 소개하였고 아울러 향후 활용 가능성이 큰 응용 분야 등을 다루었다. ㉠

### 참 고 문 헌

- [1] Yilei Gu, Huiming Chen, Zhengyu Lu, Zhaoming Qian, and Kun Wei, "Investigation of candidate topologies for brick DC-DC," Applied Power Electronics Conference 2005, Vol. 3, 6-10 March 2005, pp. 1537-1540.
- [2] Ming Xu, Jinghai Zhou, Yang Qiu, and F. C. Lee, "Investigation of candidate topologies for brick DC-DC," Applied Power Electronics Conference 2004, Vol. 2, 2005, pp. 865-871.
- [3] <http://www.vicr.com/>
- [4] <http://www.power-one.com/>

## < 저 자 소 개 >



### 김종현(金鍾賢)

1968년 4월 18일생. 1991년 경북대 전자공학과 졸업. 1994년 포항공대 전자전기공학과 졸업(석사). 1998년 포항공대 전자전기공학과 졸업(공학박) 1998년~2002년 삼성전기 선임연구원, 현재 한국전기연구원 재료연구단 선임연구원.



### 류명효(柳明孝)

1972년 4월 21일생, 1997년 경북대 전기공학과 졸업. 1999년 경북대 전기공학과 졸업(석사). 2000년~2002년 삼성전기 주임연구원. 현재 한국전기연구원 재료연구단 선임연구원.



### 백주원(白周元)

1967년 1월 2일생. 1990년 경북대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2004년 Virginia Tech 방문연구원 IEEE 정회원, Reviewer of IEEE Trans. of P.E., V.T., I.A., and P.S. 현재 한국전기연구원 재료응용연구단 책임연구원. 팀장. 당 학회 편집위원.