

# 고정시비율 DC-DC 컨버터를 사용한 1KW급 연료전지용 컨버터

정용민, 유호원, 임승범, 이경인, 오은태, 홍순찬, 이준영  
단국대학교 전자전기공학과

## 1KW Converter for Fuel cell using unregulated DC-DC Converter

Yong-Min Jung, Ho-Won Yoo, Seung-Beom Lim, Kyung-In Lee, Eun-Tae Oh,  
Jun-Young Lee, and Soon-Chan Hong  
Dept. of Electronics and Electrical Eng., Dankook University

### ABSTRACT

Studying for environmentally-friendly and efficient energy source is now actively under way on because problems like environmental pollution and exhaust of natural resources are in issue. Pure Cell which is an alternative energy source has low voltage and high current characteristic, therefore boost up voltage converter and DC-AC converter is required to use as a common power source. In this paper, DC-DC converter which has high efficient and high power density is proposed and verified by experimental result.

### 1. 서 론

최근 심각한 환경오염과 에너지 자원의 고갈에 대한 문제가 심각하게 대두되면서 새로운 에너지원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 친환경적이고 효율적인 에너지원인 연료전지는 대체 에너지로서 각광받아 많은 연구와 개발이 진행되고 있다. 이러한 연료전지는 저전압, 대전류의 특징을 갖고 있어 상용전원으로 이용하기 위해서는 저전압을 고전압으로 변환하는 승압형 컨버터와 승압된 전압을 상용전원으로 바꿔주는 인버터의 연계가 필요하다. 연료전지는 부하에 따라 변동 폭이 크므로 출력 Regulation이 용이 해야 하며 안전과 노이즈 차단 등을 위해 연료전지와 부하 사이에 절연이 필요하다. 본 논문에서는 위의 사항뿐만 아니라 높은 효율, 높은 전력밀도를 갖는 승압형 컨버터에 관한 연구를 하였다. 기존의 연료전지용 승압형 컨버터는 위상천이 방식 Full-Bridge converter나 Current-fed Converter 등이 있다. 하지만 위상천이 방식 Full - Bridge converter는 제어방식이 복잡하고 출력 정류기 전압 스트레스가 문제 될 뿐 아니라 큰 입력 맥동전류가 흐르는 단점을 지니고 있다. 또한 Current fed Full-Bridge converter는 스위칭 소자가 큰 전류, 전압 스트레스를 부담해야하는 단점이 있다. 이러한 기존방식의 단점들을 보완하기 위해 새로운 방식들을 적용한 컨버터들이 개발되었고 현재도 많은 연구가 계속 진행되고 있다.

본 논문에서는 기존의 방식이 가지는 단점을 보완한 방식중 하나로서 저전압을 승압시키는 부스트 컨버터와 전기적인 절연과 동시에 효율적인 에너지전달을 위한 LLC 하프브리지를 연

계한 이단으로 구성된 연료전지용 DC-DC Converter를 제안한다. 제안한 컨버터는 공진을 이용하여 소프트 스위칭 동작을 하므로 효율이 높으며 부스트 컨버터만을 제어하여 출력전압을 일정하게 유지시켜 제어가 간단한 장점이 있다.

### 2. 제안한 1KW급 DC-DC 컨버터

본 논문에서 제안한 고정 시비율 방식의 컨버터는 1k Watt 급 컨버터로 구성은 그림 1과 같이 부스트 컨버터, DC-DC 컨버터, 부스트 컨버터 제어부와 고정 시비율 게이트 펄스 발생 회로, 전류검출 회로로 구성된 two stage 컨버터 구조로 되어 있다.

제안한 컨버터는 Pure-Cell로부터의 낮은 전압을 부스트 컨버터에서 일정 전압으로 승압 시킨 뒤 DC-DC컨버터에서 권수비에 의해 최종 출력전압을 얻는 방식이다. 보호회로로 트랜스포머 전단의 회로에 과전류가 흐르는 것을 방지 하기위해 전류센서를 이용한 전류 검출회로를 부착하였다. 제안한 회로는 간단한 방식으로 출력전압 및 회로의 과전류를 제어하는 부스트 컨버터와 공진네트워크를 구성해 반도체 소자의 소프트 스위칭 동작을 가능하게 함으로서 스위칭 손실을 저감시켜 효율의 향상뿐만 아니라 고정 시비율로 동작하여 회로의 최적화가 가능한 LLC 하프브리지 컨버터를 사용하여 보다 안정적으로 에너지를 전달을 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

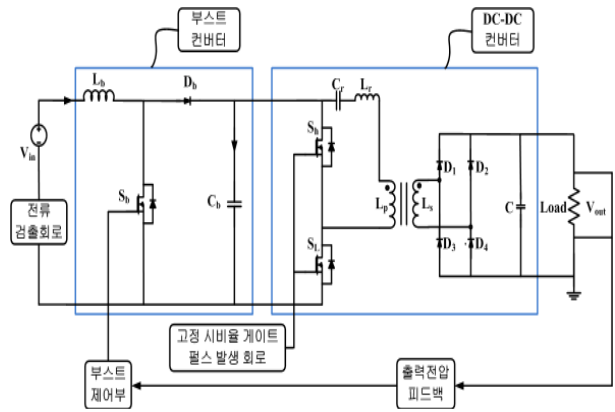


그림 1 제안한 2-Stage Converter  
Fig. 1 Proposed Two stage Converter

### 3. 시스템구성 및 설계

#### 3.1 Boost Stage

그림2는 제안된 Boost Stage를 도시 하였다. 회로는 기본적인 형태의 Boost Topology로 구성되었으며 제어부 회로를 보호하기 위해 Optocoupler IC를 스위칭 소자의 게이트 전단에 사용하였고 회로에 과전류가 흐르는 것을 방지 하기위해 전류 센서를 사용하여 회로에 45A 이상 흐르면 게이트 펄스의 듀티가 줄어들어 과전류의 흐름을 방지하도록 설정하였다. 출력전압은 회로도에 나타난 것처럼 전압분배를 통해 Pulse generator IC의 기준전압과 비교되고 이에 따라 게이트 펄스의 듀티가 조절 되고 조절된 듀티 값에 따라 Boost Converter의 출력전압이 나타난다.

Boost Stage에서 사용되는 인덕터를 선정하기 위해서는 우선 Ap값을 구해야하는데 다음의 식을 통해 그 값을 구할 수 있다.

$$A_p = \left[ \frac{L I_{PK}^2 \times 10^4}{420 B_m K} \right] (Cm^4) \quad (1)$$

여기서 사용된 parameter를 다음의 table에 정리하였다

표 1 파라미터  
Table 1 Parameter

	Parameter	비고
L	35uH	계산된 inductance값
Bm	0.35T	최대 Flux density
K	0.7	winding factor
ILpk	45A	최대 전류 값

위 식에 의해  $6.88Cm^4$  Ap값을 얻을 수 있고 이 값에 여유를 두어 Ap값이  $7.8Cm^4$  인 EER4950 Core로 선정하였다. 인덕터는 열손실을 줄이기 위해  $70\mu H$ 로 제작된 인덕터를 병렬로 사용하였다. 스위칭 소자는 전압, 전류 스트레스를 저감하기 위하여 4개를 병렬로 연결하였고 환류 다이오드  $D_b$  역시 스트레스 저감을 위해 4개를 병렬로 사용하였다.

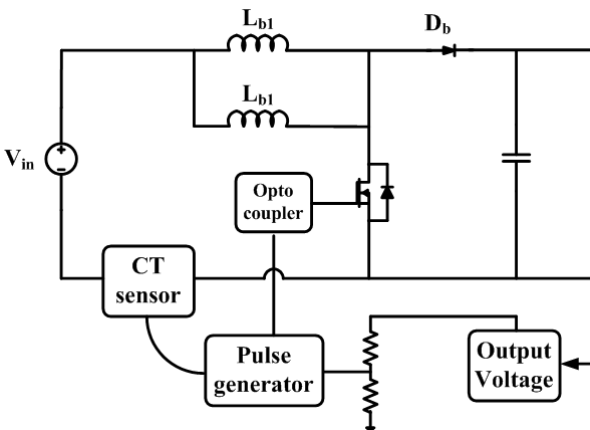


그림 2 Boost Stage 회로도  
Fig. 2 Boost Stage Circuit

#### 3.2 DC-DC Stage

그림 3은 DC-DC Stage를 도시하였다. 회로는 공진을 이용한 LLC 하프브리지 Topology를 사용하여 설계 하였다. 이

Topology의 장점은 다른 절연형 컨버터가 변압기의 누설 인덕턴스로 인해 효율이 저감되는 것에 반해 LLC공진형 컨버터는 누설 인덕턴스를 이용하여 에너지를 전달하므로 효율을 높일 수 있는 장점이 있다. 설계된 회로에서 공진효율을 높이기 위해 상단 스위칭 소자와 하단 스위칭소자의 게이트 펄스간의 Dead Time을 최소한으로 줄여야하고 고정 시비율을 사용하기 때문에 Duty를 최대 폭인 48%로 고정하였다. 그리고 스위칭 소자에 안정적인 게이트펄스를 전달하기 위하여 게이트 전단에 Push-Pull회로를 구성하여 부착하였다. 변압기는 PQ5050으로 선정하여 7T : 77T의 권선비로 제작하였다. 여기서 공진 인덕턴스로 사용하는 트랜스 1차측의 Leakage 인덕턴스값 너무 작게 나와 변압기 1차측에 직렬로 공진 인덕터를 추가하여 공진 인덕턴스 값을 늘려주었다. 공진 주파수는  $f_r = 1/2\pi \sqrt{L_r C_r}$ 로 구할 수 있으며 계산 결과 약 32.4Khz의 값을 얻었고 실험 결과 34Khz에서 정현파모양의 공진 파형을 얻을 수 있었다.. 스위칭 소자는 공진 주파수와 동일하게 설정하였으며 공진에 의해 ZVS동작이 가능하지만 큰 전류가 흐르기 때문에 상단 스위칭 소자  $S_h$ 와 하단 스위칭 소자  $S_L$ 은 각각 3개의 스위칭 소자를 병렬로 연결하여 회로의 안정성을 높였다. 출력 측에는 정류 다이오드를 구성하였고 공진 컨버터이기 때문에 출력 측에 인덕터를 제외할 수 있어 출력 캐패시터만을 사용하여 DC 출력을 얻을 수 있다. 고정시비율동작하기 때문에 소자들을 포함해 변압기 까지 최적의 설계가 가능하다.

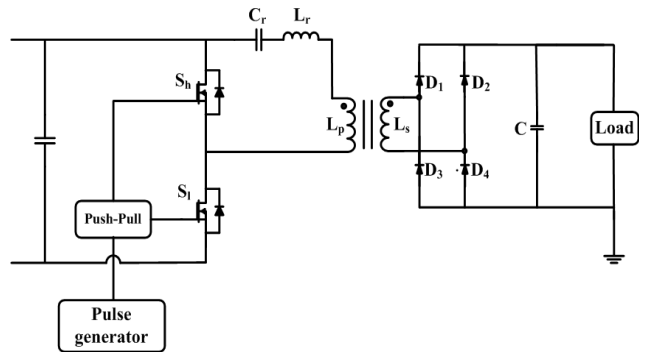


그림 3 DC-DC stage 회로도  
fig. 3 DC-DC Stage Circuit

### 4. 실험 결과 및 검토

제안한 회로의 유용성을 확인하기 위하여 시스템을 구성하고 실험을 하였다. 실험 사양은 다음과 같다.

표 2 실험 파라미터  
Table 2 Experimental parameter

	Value	Unit
Input Voltage	24	V
Output Volatage	400	V
Output Current	0 ~ 2.5	A
Load	160 ~ 1000	$\Omega$
Switching frequency (boost)	30	Khz
Switching frequency (LLC)	34	Khz

그림 4는 실제로 제작한 부스트 컨버터부와 LLC 하프브리지 컨버터부의 사진이다. 그림 5는 제안한 컨버터의 출력전압 및 출력전류의 파형으로 출력전압은 400V로 일정하게 유지되고 출력전류는 2.5A로 홀리 1kW 용량임을 알 수 있다. 그림 6은 LLC 하프브리지 회로에서의 공진파형을 보여준다. 공진파형은 정현파 형태를 보이며 공진 주파수는 34KHz이다. 그림 7은 LLC 하프브리지 컨버터의 상단 스위칭 소자와 하단 스위칭 소자의 Drain-Source 양단 전압과 스위칭 소자의 전류를 측정 한 파형으로 공진 주파수와 스위칭 주파수가 같게 설정하여 소프트 스위칭 동작을 하는 것을 알 수 있다. 마지막으로 그림 8은 제안한 컨버터의 효율을 측정한 그래프로 입력전압이 48V일 때와 24V일 때 부하별 효율을 측정하였다. 초기 15%의 부하에서 효율이 각각 97.6%, 94.86%로 높은 수치가 나오지만 부하가 증가할수록 효율이 감소한다. 100%부하에서 최종 효율이 48V일 때 92.1%이고 24V일 때는 89.2%로 효율이 나타났다.

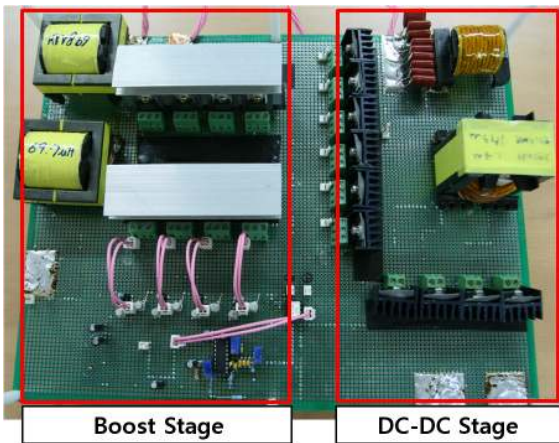


그림 4 제안한 회로의 사진  
Fig. 4 Picture of proposed circuit

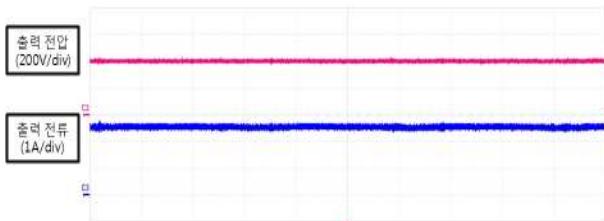


그림 5 출력 전압과 렉 전류 파형  
Fig. 5 Output voltage and current

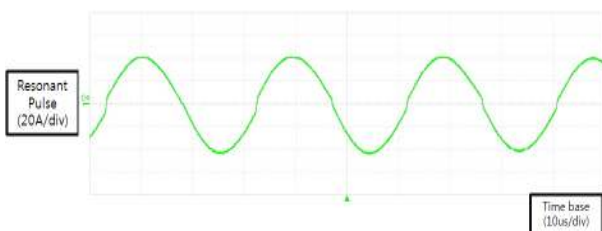


그림 6 LLC 하프브릿지 공진파형  
Fig. 6 Resonant pulse of LLC Half Bridge

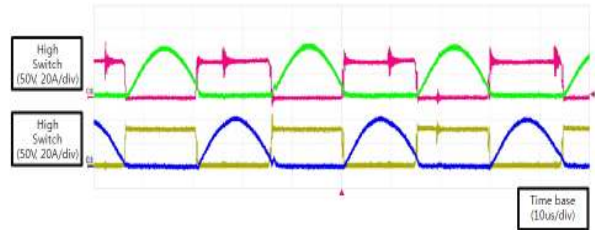


그림 7 Drain-Source간 전압, 전류  
Fig. 7 Voltage and Current between Drain-Source

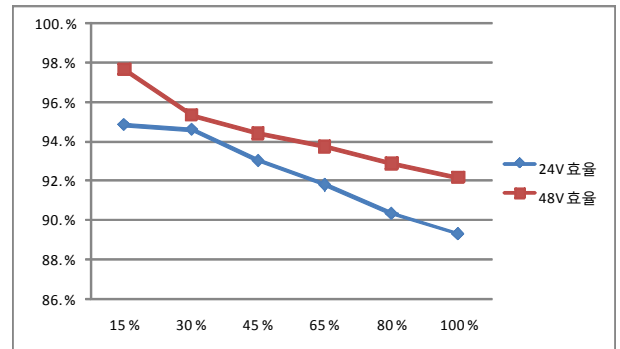


그림 8 제안한 Converter의 효율  
Fig. 8 Efficiency of proposed converter

### 5. 결론

본 논문에서는 Boost Converter와 LLC 하프브릿지 컨버터를 이용한 1kW급 Full-Bridge Two Stage DC-DC Converter를 설계 및 제작하여 실험하였다. 제안한 컨버터는 기존의 Single stage가 갖는 출력 제어의 복잡성과 스위칭 소자들이 갖는 스트레스로 인한 효율 저하의 단점을 보완하여 간단한 출력제어와 고정시비율 방식으로 공진을 이용한 LLC 하프브릿지의 사용으로 보다 높은 시스템의 효율을 가져올 수 있었고 소프트 스위칭 동작을 하여 회로 소자의 안정성을 높일 수 있었다. 추후에 90% 이상의 효율을 갖고 보다 높은 주파수 대역을 이용하여 부피가 큰 자기소자의 크기를 줄일 수 있는 실험을 진행해 나갈 것이다.

이 논문은 기초전력연구원의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

- [1] Bo Yang and Fred C. Lee. Alpha J. Zhang, Guisong huang, "LLC resonant converter for front end DC/DC conversion" APEC2002, pp.1108-1112 vol.2
- [2] Robert W. Erickson and Dragan Maksimovic " Fundamentals of power Electronics"
- [3] 강신호, 장준호, 홍성수, 이준영, "고전력밀도 AC/DC Adapter를 위한 Off-Time 제어법", 전력전자학술대회 논문집, pp286-288, 2007.
- [4] Robert L. Steigerwald, "A Comparison of Half-Bridge Resonant Converter Topologies" IEEE Transactions on power electronics, Vol 3, No.2, April 1988, pp174-182