

# 연료전지 시스템의 고효율운전을 위한 6상 BOOST CONVERTER

박선순, 윤하중, 구태홍  
코요롱엔지니어링(주)

## Boost Converter for High Performance Operating of Fuel Cell System

S.S. PARK H.J.YOON T.H. GOO  
KOLON ENGINEERING INC.

### Abstract

In generally Boost Converter is used for Fuel Cell System. Because the output voltage of fuel cell is too small and greatly depends on the load condition, Boost Converter are required to boost and regulate the Fuel Cell voltage for power conversion efficiency.

In this Paper, 6-phase Boost Converter is used to boost the Fuel Cell Voltage and regulate the output voltage. Multi phase converter has some advantages such as low ripple and filter size. About the Peak Current Control and compare of the Ripple Current of Boost Converter, we have studied.

### 1. 서론

최근 국내의 전력공급과 수요사정에 있어 주야간의 전력수요 격차(특히 하절기 냉방기 전력수요 급증)가 심화되어 발전설비의 일간 및 주간의 기동정지운전, 부하율 저하, 적정 전력예비율 확보등의 문제점이 대두되고 있다. 이에따라 실아 부하 창출과 부하 평준화를 모두 만족할 수 있는 전력저장 시스템에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. [1] 이러한 전력저장 시스템은 기본적으로 전지부, DC/DC 컨버터부(Boost Converter), DC/AC 컨버터부(인버터)로 구성된다.

연료전지의 출력특성은 부하에 따라 변동이 크므로 인버터를 이용하여 직접변환시 상용전압을 출력하기 어렵고, 전지시스템이 비효율적으로 운전하게된다. 이와같은 이유에 의하여 80V ~ 150V의 연료전지 출력전압을 DC 300V로 승압하고 Regulation할 수 있는 BOOST 컨버터가 필수적이다.

그러나 연료전지의 저전압, 대전류 출력특성 때문에 Boost 컨버터의 파라미터 값 결정시 DC 리액터 및 출력측 필터 커패시터가 상당히 크게된다. 이러한 경우 다상 컨버터를 이용하면 리액터의 설계가 용이해지고 출력 커패시터의 설계값도 작아진다. 또한 DCM 영역에서 동작하는 영역이 커짐에 따라 Peak 전류는 증가하며 반면에 우반면 Zero 가 없어지므로 안정도가 증가한다. [2][5] 스위칭 스트레스는 Turn on시에는 영전류 스위칭을 하게됨에 따라 작아지나, Turn off시에는 보다 큰 전류값에서 Off 하므로 스트레스가 증가한다. 그러나 DCM 영역에서의 동작은 상대적으로 적은 부하에서 동작할때이므로 설계시 Power 스위칭 소자의 정격등을 결정할때 최대부하를 가지고 설계하므로 영향은 거의 없다.

본 논문에서는 저전압, 대용량 6상 Boost 컨버터와 Peak 전류제어를 이용한 전력저장시스템용 Boost 컨버터에 관하여 알아보겠다. 또한 대용량 시스템에 적용할 수 있는 간단한 전류제어 방법에 대하여 알아 보겠다.

### 2. Boost 컨버터의 구성

45Kw급 6상 Boost 컨버터 시스템을 구성하여 Test 하였다. 이의 구성은 그림 1.과 같다. Boost 컨버터는 연료전지의 출력을 동기화한 모의 전원장치의 출력을 받아 300V로 승압하고 출력전압을 평활 시킨다. 연료전지의 특성이 그림 2.와 같이 부하에 따라 넓은 변동을 가지므로 출력단에 Boost 컨버터를 이용하여 인버터 입력전원을 안정화시킨다.

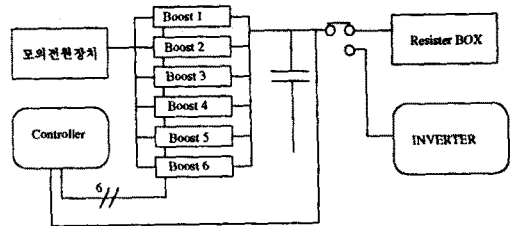


그림 1. 6상 Boost 컨버터의 구성도

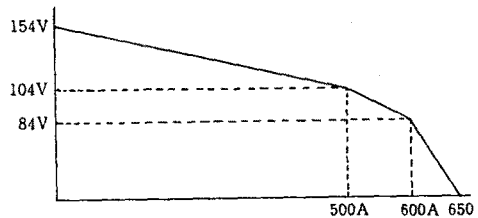


그림 2. 연료전지의 출력을 동기화한 모의 전원장치의 출력 특성

그러나 연료전지출력과 같은 저전압, 대전류 대전류 특성에 맞게 Boost Converter의 파라미터를 설계할때 최소 부하에 맞게 Filter 값을 선정하고 또한 최대 부하에 맞게 Power 소자와 리액터의 권선동을 결정하여야 하므로 필터와 리

역터가 상당히 커지게 된다. 이와같은 이유때문에 다상 컨버터터를 이용하여 Boost Converter 를 구성하였다. 제어부는 6상의 동기된 Carrier 파형이 필요없는 리액터의 전류와 출력전압의 비교로서 제어 신호를 만들어지는 Peak 전류제어방법을 이용하였다. 이방법은 6상의 삼각파가 필요없는 반면에, Open Loop Control 에서 D(Duty)가 0.5 이상 되면 불안정하게 되는데 이의 해결 방법은 역삼각형 형태의 삼각파가 전류 Feedback 값과 전압 Feedback 값이 같이 비교되어 일정 주파수 제어를 하면서 불안정 요소를 보완하는 것이 일반적으로 알려져 있다. [3][4] Closed Loop 제어에서도 어느대역에서는 그림 3.의 (a)와 같은 불안정영역이 존재하는데 본 논문에서는 이러한 불안정요소를 간단히 보상할 수 있는 회로를 첨가하여 제어를 구성하였으며, 결과로서 6상의 Carrier 파형을 만들 필요가 없으므로 Controller 의 H/W 구성을 간단히 할 수 있다. 이 보상회로를 첨가하였을 때의 Simulator 파형은 그림 3.과 같다. 일정 주파수 제어와 Protection을 위하여 강제 On 및 Off 기간을 두었다. 이와같이 제어부를 구성하였을때의 전체 제어회로의 블록도는 그림 4.와 같다.

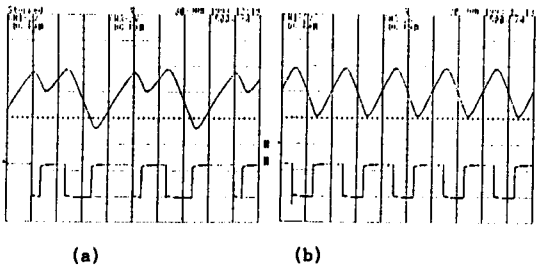


그림 3. 전류제어의 불안정 동작 및 보상회로 첨가시의 안정화된 Reactor 전류 파형 (Simulator 파형)  
(a) 불안정영역 동작시의 파형 (b) 보상회로첨가시의 파형

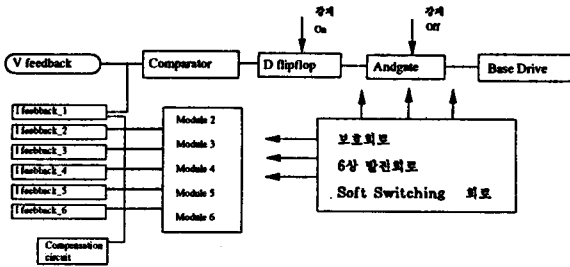


그림 4. 6상 Boost 컨버터터의 제어부 구성도

### 3. 6상 컨버터터의 출력전류 비교

6상 컨버터터를 이용할때 출력측 Ripple 전류 주파수가 삼수배로 증가하고 Ripple의 크기는 비례하여 감소한다. 특히 Duty가 '1/상수' 의 정수배일때 이론적으로는 출력부의 Ripple 전류는 ZERO 가 된다.

표 1.은 리액터값과 전류 Ripple에 관한 단상 및 6상 컨버터터의 출력측 전류에 관한 비교이다. 표에서의 같이 6상일때 우수한 특성을 가짐을 알 수 있다. 이 표는 출력부에 커패시터가 없다고 가정하였으며 실제로는 이러한 RIPPLE 전류를 흐를 수 있는 DC 커패시터가 필요하다.

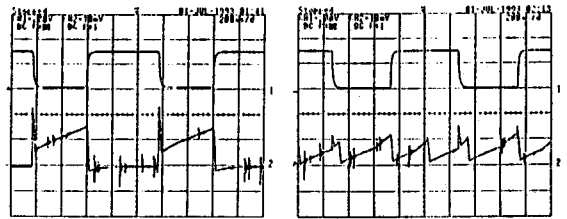
표1. 단상과 다상 컨버터터의 전류 Ripple비교

	단상 1.43 mH	6 상 1.43mH×6	단상 9.8mH 1개
Peak Value	577 A	171 A	554 A
$\Delta I$ (Reactor Ripple)	41.12 A	6 A	6 A
동작 Mode	CCM	CCM	CCM

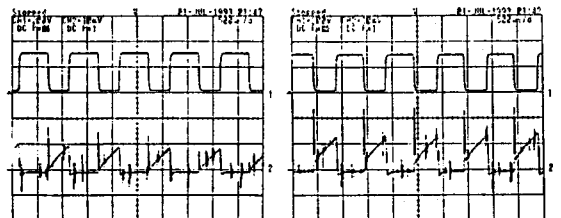
조건 : Duty = 0.7  
입력전압 = 84V  
출력평균전류 = 167A  
리액터값 = 1.43mH

### 4. 실험결과 고찰

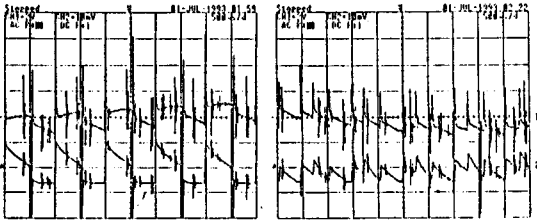
그림 5. ~ 그림 7. 은 Boost Converter 의 각부의 파형이다. 그림 7.은 출력 C 값이 13600 $\mu$ F 일때의 단상 및 3상 컨버터터의 커패시터 전류 및 전압 Ripple 파형이다. 그림 5.는 POWER TR.의 전압 및 전류 파형으로서 전류의 크기가 감소하고 TURN ON시의 STRESS 가 적음을 알 수 있다. 그림 6.은 DCM RHK CCM 영역에서 동작할때의 전류 STRESS 비교파형으로서 DCM 에서 동작할때의 TURN ON STRESS 가 적음을 알 수 있다. 이와같이 실험파형에서 알 수 있듯이 다상 컨버터터에서의 각부 파형이 단상컨버터터와 비교시 좋음을 알 수 있다. 또한 간단한 전류제어의 불안정요소를 보완한 회로를 첨가하여 최대 Duty(최대 정격) 까지 불안정 대역 없이 잘 동작함을 알 수 있었다.



(a) 단상의 경우 (b) 3상의 경우  
그림 5. Tr. 전압 및 Tr. 전류



(a) DCM 동작 (B) CCM 동작  
그림 6. DCM 및 CCM 영역 동작 파형  
( DCM:Discontinuous current mode  
CCM: continuous current mode )



(a) 단상의 경우

(b) 3상의 경우

그림 7. 출력부 FILTER 커패시터의 전압 및 전류 RIPPLE

상: 전압 ripple

하: 전류 ripple

## 5. 결론

본 논문은 45Kw급 연료전지시스템에 필요한 Boost Converter에 대하여 고찰 하였다. 단상과 6상에서의 특성을 비교 분석하였으며 6상 컨버터의 간단한 전류제어에 관하여 알아보았다. 간단한 전류제어기 구성과 이를 이용한 시스템이 대 전류, 저전압시스템에 잘 맞게 동작함을 알 수 있었다. 또한 다상 컨버터를 이용시 출력부 RIPPLE 이 감소됨을 알 수 있고 증, 저부하에서의 TR의 전류 STRESS가 감소 됨을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. 김호용외, "대체에너지 전원(연료전지)의 계통연계운전 실용화 기술개발", 한국전기연구소 보고서 1992.12
2. Rudolf P. Severns, "Modern DC-to-DC Switched mode Power Converter Circuits", Van Nostrand Reinhold 1985
3. Daniel M. Mitchell, "An Analytical Investigation of current- Injected Control for Constant-Frequency Switching Regulator", IEEE Trans. on Power Electronics, no. 3, July 1986
4. Richard Redi, "Instability in current-mode controlled switching voltage regulators", in PESC '81 Record
5. Raymond B. Ridley, "A new small - signal Model for Current - mode Control", VPEC 1990