

# Neutral Beam Injection용 Arc Power Supply 설계

이희준\*, 전범수\*, 류동균\*\*, 이택기\*\*\*, 박선순\*\*\*\*, 원충연\*  
 성균관대학교\*, 삼성전기\*\*, 한경대학교\*\*\*, 다원시스\*\*\*\*

## A Design of Arc Power Supply for Neutral Beam Injection

Hee Jun Lee\*, Bum Su Jun\*, Dong Kyun Ryu\*\*, Taek Kie Lee\*\*\*,  
 Seon Soon Park\*\*\*\*, Chung Yuen Won\*

\*School of Information and Communication Engineering Sungkyunkwan University,

\*\*SAMSUNG ELECTRO-MECHANICS CO., LTD, \*\*\*\*DAWONSIS CO., LTD.,

\*\*\*School of Information and Communication Engineering Hankyong University,

### ABSTRACT

KSTAR NBI 시스템은 플라즈마의 온도를 높여 주기 위해 고 에너지의 중성 입자빔을 만들어서 토카막 플라즈마에 투입시키기 위한 중성 입사 장치이다. NBI 아크 전원 공급장치는 토카막 내부에 플라즈마를 만들어 주는 역할을 하는데 본 논문에서는 3상 다이오드 정류기, LC필터, 2.4kW급 6 병렬 벽 컨버터로 설계하여 시뮬레이션과 실험을 통하여 확인 하였다.

### 1. 서 론

화석 연료의 고갈, 환경오염, 방사능 물질의 위험성 등의 기존 에너지원의 문제점들을 고려해 볼 때, 바다 속의 중수소와 리튬을 이용하는 핵융합은 무한정 에너지원이다.[1][2] 중성 입자빔(NBI; Neutral Beam Injection) 가열장치는 핵융합로의 노심에 해당하는 플라즈마 가열장치이며, 핵융합로의 연속운전에 필수적인 플라즈마 전류를 구동 시켜주는 장치이다. NBI장치 중 아크 전원 공급장치는 토카막 내부에 플라즈마를 만들어 주는 역할을 한다. 본 논문에서는 3상 다이오드 정류기, LC필터, 6 병렬 벽 컨버터로 실험 세트를 구성하고 2.4kW의 용량으로 아크 전원공급기의 정전압, 정전류의 성능을 검증하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 아크 전원 공급장치의 구성 및 동작

그림 1은 아크 전원 공급장치의 전체 시스템이고, 저전압 대 전류 특성을 갖기 때문에 스위치의 정격을 고려하여 병렬 운전 을 하였다.

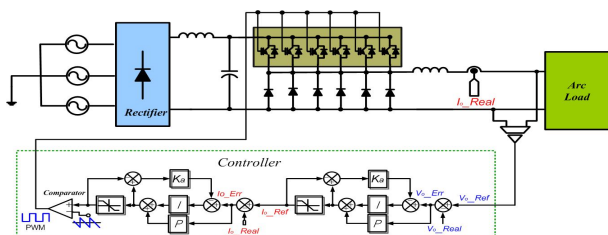


그림 1. 제안된 아크 전원공급 장치의 시스템 구성

본 시스템의 정격 입력 전압은 3상 200[V]이며, 3상 다이오드 정류기를 통하여 아크부하에 적당한 DC전압을 얻었다. 다이오드 정류기를 사용함으로써 전원측에 발생하는 고조파 전류를 저감하기 위하여 LC필터를 설계하였다. 제안된 아크 전원 공급장치의 벽 컨버터의 입력전압 범위는 260[V]~300[V]이며, 출력전압과 전류는 60[V], 40[A]이다.

#### 2.2 아크 전원 공급장치의 설계

NBI용 벽 컨버터 설계 조건은 정격 부하 10%시 전류 리플이 2% 이내로 만족하도록 설계되어야 한다. 또한 아크 발생시 수kV의 전압이 출력에 발생되기 때문에 이로 인해 출력 커패시터를 사용할 수가 없게 된다.

그러므로 아크 부하에 필요한 출력 전압 및 전류 성능을 얻기 위해 출력 리액터의 설계가 중요하다.

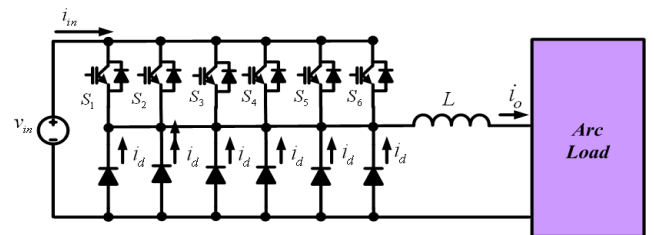
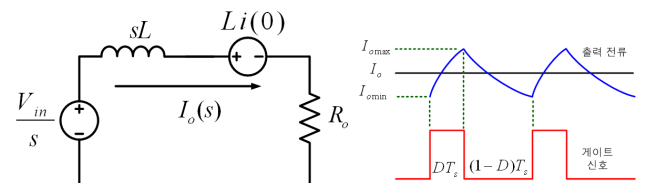


그림 2. 제안된 6 병렬 벽 컨버터의 구성

그림 3은 컨버터의 등가회로 및 출력전류의 정상상태 응답 특성을 나타내며, 출력 전류의 정상상태 분석을 통해 식 (5)와 같이 회로방정식으로 표현할 수 있다.



(a) 벽 컨버터 등가회로

(b) 출력전류 정상상태 응답

그림 3. 제안된 6 병렬 벽 컨버터의 분석

$$I(s) = \frac{V_{in} + Li(0)}{sL + R}, \quad i_L(t) = \frac{V_{in}}{R} + (i(0) - \frac{V_{in}}{R})e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5)$$

식 (5)와 스위치의 온/오프 특성을 이용하여 적절한 리액터의 값을 식 (6)을 통해 설계하였다.

$$\left. \begin{aligned} \text{스위치 턴-온} \\ i_o(t) = I_{omin}e^{\frac{T}{\tau}} < I_{omax} \\ = \frac{T}{\tau} < \ln\left(\frac{I_{omax}}{I_{omin}}\right) \\ = \frac{RDT_s}{\ln\left(\frac{I_{omax}}{I_{omin}}\right)} < L \end{aligned} \right| \left. \begin{aligned} \text{스위치 턴 오프} \\ i_o(t) = I_{omax}e^{-\frac{T}{\tau}} < I_{omin} \\ = -\frac{T}{\tau} < \ln\left(\frac{I_{omin}}{I_{omax}}\right) \\ = \frac{R(1-D)T_s}{-\ln\left(\frac{I_{omax}}{I_{omin}}\right)} < L \end{aligned} \right. \quad (6)$$

### 3. 시뮬레이션 및 실험 결과

본 논문에서 아크 부하에 필요한 출력 전압 및 전류의 성능 얻기 위해 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다. 표 1은 시스템 파라미터를 보여주고 있으며, 아크 전원 공급장치의 제어기 와 시뮬레이션의 호환을 위해 C언어 기반의 DLL을 이용하여 성능을 확인하였다.

표1 시스템 파라미터

시스템 파라미터			
입력전압	3상 200[V]	스위칭 주파수	10[kHz]
출력전압	80[V]	입력 필터 L	50[uH]
출력전류	40[A]	입력 필터 C	6800[uF]
출력 리액터	6.4[mH]	리플	2%

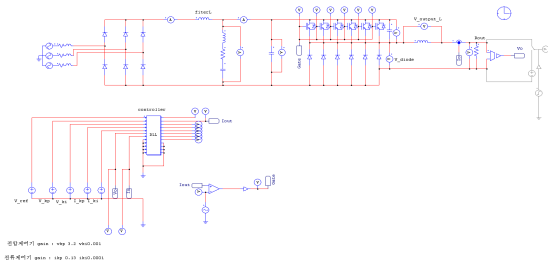


그림 4. 아크 전원 공급장치의 시뮬레이션 회로도

그림4는 전체적인 시스템 동작 특성을 알아보기 위하여 제어 알고리즘은 정전압, 정전류 제어를 설계하고 DLL로 구현하였다.

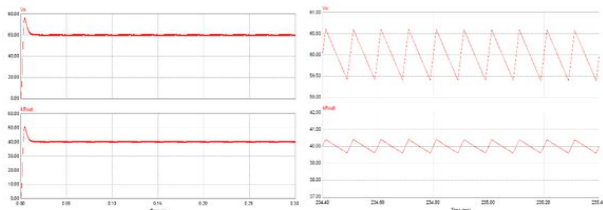


그림 5. 시뮬레이션 결과

그림 5는 6 병렬 벽 컨버터의 출력 파형을 보여주고 있으며, 출력 전압과 출력 전류가 허용된 리플 범위에 만족하는 것을 볼 수 있다. 본 논문에서 제안된 6 병렬 벽 컨버터를 이용하여 시스템을 구성하였고, 시스템 제어를 위해 TMS320F28335를 이용하였다. 그림 6은 2.4kW급 아크 전원 공급장치의 실험 세트를 보여주고 있다.

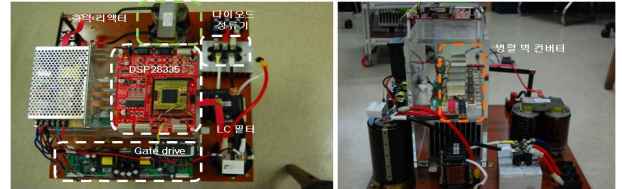


그림 6. 2.4kW 아크 전원 공급장치 실험세트

그림 7은 6 병렬 벽 컨버터에 스위치에 인가되는 게이트 신호, 스위치 전압과 출력 리액터 전류, 다이오드에 걸리는 전압과 전류, 출력 전압과 전류를 보여주고 있다. 제안된 아크 전원 공급장치의 출력 전압과 전류는 60V, 40A로 제어가 된다.

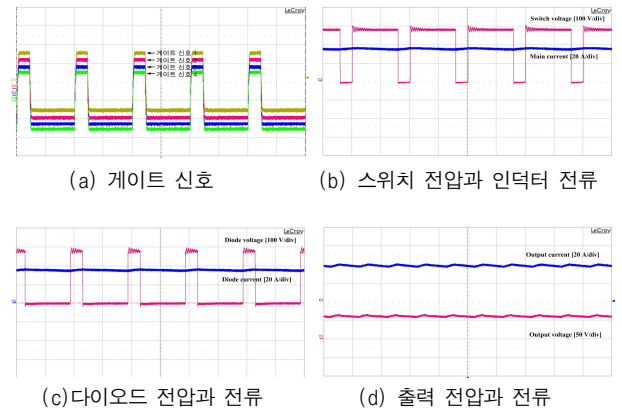


그림 7. 실험 결과

### 4. 결론

본 논문에서는 아크 전원 공급장치의 2.4kW급 6 병렬 벽 컨버터를 설계하였고, 시뮬레이션과 실험을 통해 아크 부하에 적당한 출력 전압 및 전류를 확인하였다. 또한 출력 리액터의 용량을 적절하게 설계하여 각 스위치의 동작 특성에 따른 IGBT의 병렬운전의 문제를 해결하였다.

본 논문은 (주)다원시스의 연구비 지원에 의하여 연구되었습.

### 참고 문헌

[1] D. T Wang, X. W. Xu, et al, "The power supply and control system for the MM-2U neutral bean injector," IEEE/NPSS proc. 15th Symp .On Fusion Eng. Vol. 2, pp. 901 - 904, 1993.

[2] Tsai, M. T., Chu, C. L., "Power control strategies evaluation of a series resonant inverter for atmosphere plasma applications," ISIE 2009 IEEE, pp 632-637, 2009.