

ITER 초전도자석 전원공급장치 개발에 관한 연구

최정완, 오종석, 서재학, 조성만*, 박형진*, 유효열*, 이승윤*, 정우식*
국가핵융합연구소, (주)다윈시스*

Study on Development of AC/DC Converter for ITER Superconducting Magnet

J. Choi, J. S. Oh, J. H. Suh, S. Jo*, H. Park*, H. Liu*, S. Lee*, W. Jung*
National Fusion Research Institute (NFRI), Dawonsys Co., Ltd.*

ABSTRACT

ITER AC/DC 컨버터는 ITER(국제핵융합실험로) 초전도자석에 최대 68 kA의 전류를 공급하는 전원장치이다. ITER AC/DC 컨버터 구조물의 재질선정, 구조설계, 구조 및 전자기력 해석 등을 통하여 컨버터 단위모듈의 실제크기 시제품을 제작하여 정격전류(22.5 kA) 및 단락전류(250 kA) 시험을 성공적으로 완료하였다.

1. 서론

그 동안 ITER 초전도자석 AC/DC 컨버터의 제작을 위한 사전연구를 진행해 왔다.^{1)~4)} ITER AC/DC 컨버터는 12-펄스 Thyristor back-to-back 브리지 구조이며, 본 연구는 그 단위모듈인 6-펄스 back-to-back 브리지를 실제크기로 제작 및 시험한다. 컨버터 버스바 구조물의 재료는 알루미늄 합금 중 기계적 강도와 전기적 특성을 만족하는 재료로 선정하고, 설계한 구조물에 대한 지진 및 전자기력 해석을 통하여 설계를 검증한다. 알루미늄 용접으로 제작한 버스바 구조물에 10 병렬 Thyristor 컨버터 및 보호회로를 구성하고 정격전류(30 kA) 및 단락전류(250 kA) 시험을 실시하여 전류분배품질 및 구조적 안정성을 확인한다.

2. 본문

2.1 ITER AC/DC 컨버터 개발사양

제작하는 ITER AC/DC 컨버터의 사양은 표 1과 같으며 단위모듈인 6-펄스 back-to-back 브리지의 실제크기이다.

표 1 ITER AC/DC 컨버터 사양
Table 1 Specifications of ITER AC/DC Converter

Parameter	Rating	Test
Output Voltage (Vdc)	1,350	1,500
Output Current (kA _{dc})	22.5	30
Frequency (Hz)	50	60/50

2.2 컨버터 버스바구조물의 재질선정

ITER 컨버터 버스바구조물의 재질은 알루미늄이어야 한다. ITER 컨버터의 버스바는 전기적 도체일 뿐만 아니라 자체하중 및 부착물의 하중을 지지하는 구조물이기도 하다. 따라서 알루미늄 버스바구조물의 재질은 전기전도율뿐만 아니라 기계적 강

도도 비교적 우수한 A6101-T6 합금으로 선정하였다. 알루미늄 합금 원자재 제조방식에는 압연과 압출이 있는데, 압연방식은 국내에서 생산은 가능하나 생산경험이 없는 관계로 제품 신뢰성 확보를 위하여 압출방식의 해외 납품실적이 있는 업체의 제품을 선정한다.

2.3 구조설계

시제품 ITER AC/DC 컨버터는 단위모듈이 6-pulse back-to-back bridge인 점과 ITER기구의 현지 설치공간, 한 암(arm)당 10 병렬 Thyristor로 구성되는 점, 버스바의 단위면적당 전류크기, 지진 등 외력과 전자기력 등을 고려하여 설계한다. 버스바 단면적은 공랭식인 경우 0.5 A/mm², 수냉식인 경우 2.5 A/mm²을 기준으로 한다. 표 2와 그림 1은 컨버터 버스바 구조물의 대표적 사양 및 외형도를 각각 보여준다.

표 2 ITER AC/DC 컨버터 구조사양
Table 2 Specifications of ITER AC/DC Converter structure

Parameter	Value
Busbar Material	Aluminum alloy (A6101-T6)
Size (mm)	2,650 × 4,395 × 2,962
Weight (ton)	12

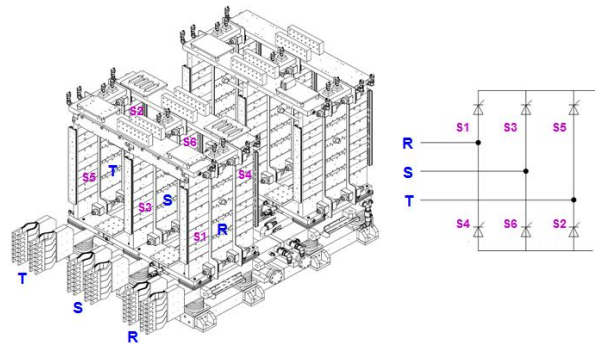


그림 1 ITER AC/DC 컨버터 외형도

Fig. 1 Outside view of ITER AC/DC Converter

2.4 구조해석

ITER AC/DC 컨버터는 20년 동안 지진 등의 외력 및 전자기력 등을 견디며 안정적으로 운전되어야 한다. 컨버터 버스바 구조물을 ANSYS 툴을 이용하여 해석하고 그 결과를 분석하였다. 분석결과 버스바구조물은 전체적으로 강건하였으나 컨버

터를 지지하는 애자 부분의 취약성이 확인되었으므로 애자의 지지력을 보완하여 해결하였다. 해석 결과는 표 3과 같다.

표 3 수평하중 및 고유진동수 해석
Table 3 Analysis of external horizontal forces and natural frequency

항목	취약부위	해석결과	기준	판정
X 방향 수평하중 (MPa)	애자	8.14	< 1.8	초과
Z 방향 수평하중 (MPa)	애자	5.1	< 1.8	초과
고유진동수 (Hz)	-	Mode 1: 11.55	> 6~7 (지진)	적합

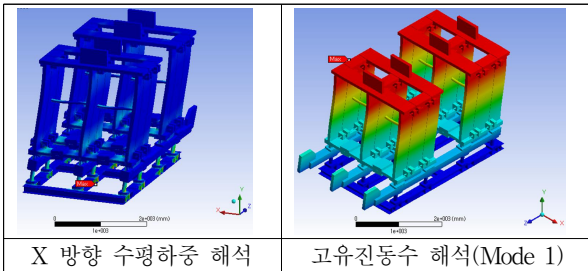


그림 2 수평하중 및 고유진동수 해석
Fig. 2 Analysis of external horizontal forces and natural frequency

2.5 정격전류 및 단락시험

시제품은 6-펄스 back-to-back 브리지나 본 논문에서는 Forward 브리지만 시험하였다. 정격전류 시험에서 30 kA의 출력전류 운전에 성공하였으며, 단락전류시험에서는 250 kA의 전류를 80 ms 동안 흘렸을 때 컨버터가 전기적, 구조적으로 안정적임을 확인하였다. 두 시험 공히 병렬 소자간 전류분배율은 $\pm 20\%$ 이내로 요구조건을 만족하였다.

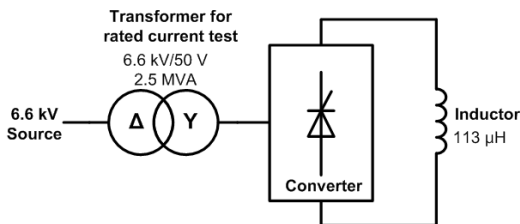


그림 3 정격전류시험 회로
Fig. 3 Rated current test circuit

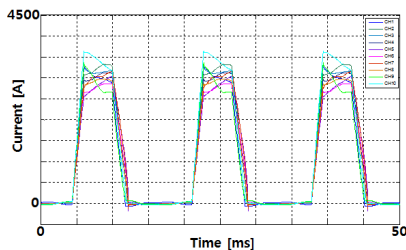


그림 4 정격시험 결과(Thyristor 전류)
Fig. 4 Rated current test result (Thyristor current)

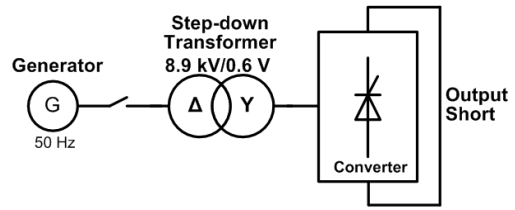


그림 5 단락시험 회로
Fig. 5 Short circuit test circuit

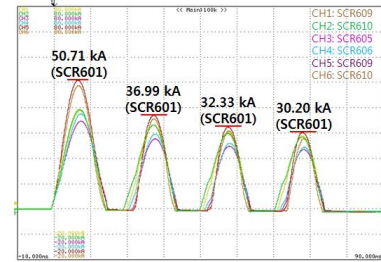


그림 6 단락시험 결과(Thyristor 전류)
Fig. 6 Short circuit test result (Thyristor current)

3. 결론

ITER 초전도자석 AC/DC 컨버터의 알루미늄 버스바구조물 재료를 선정하고, 설계한 구조물의 구조 및 전자기력 해석을 실시하였다. 컨버터의 6-펄스 단위모듈을 실제크기로 제작하여 정격전류 및 단락전류 시험에서 병렬 소자간 전류분배 품질, 그리고 컨버터 동작 및 구조적 안정성을 확인하였다. 이 결과는 향후 ITER 컨버터 조달 본제품인 12-펄스 back-to-back 브리지와 제어기의 설계 및 성능검증에 활용될 예정이다.

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부, 지식경제부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 국책연구사업(No. 2009-0064120)의 연구결과임

참고 문헌

- [1] J. S. Oh, J. Choi, J. Suh, O. Kwon, J. S. Ahn, I. Benfatto, J. Tao, P. Fu, "Status of the Korean R&D Program on the ITER Coil Power Converters," IAEA FEC, Daejeon Korea, Oct. 2010
- [2] 최정완, 오종석, 서재학, 안중수, 권오정, "대전력 Thyristor 다병렬 구조의 전류분배", 전력전자학회 추계학술대회, 서울, 2010년 11월
- [3] J. S. Oh, J. Choi, J. H. Suh, H. Liu, S. Lee, H. Park, W. Jung, S. Jo, H. Tan, J. Tao, P. Fu, "Korean R&D on the 6-Pulse Converter Unit for ITER ACDC Converters", 2011 Symposium on Fusion Engineering (SOFE), Aug. 2011
- [4] 박형진, 유효열, 이승운, 정우식, 조성만, 오종석, 최정완, 서재학, "ITER 초전도자석 전원장치의 FSC 요건에 관한 연구", 전력전자학회 추계학술대회, 서울, 2011년 11월