

ITER 전원장치의 단락 전자기력에 대한 구조해석

양영민¹, 전준영¹, 정우식¹, 조성만¹, 박형진¹, 유효열¹, 황광철¹, 오종석², 최정완², 서재학²
¹ 다원시스, 경기 시흥시 정왕동, ² 국가핵융합연구소, 대전 유성구 어은동

Structural Analysis of ITER Power Supply for the Electromagnetic Force on Short Circuit

Y. Yang¹, J. Jeon¹, W. Jung¹, J. Jo¹, H. Park¹, H. Yoo¹, K. Hwang¹,
J. S. Oh², J. Choi², J. H. Suh²

¹ Dawonsys Inc., Siheung 429-450, Republic of Korea,

² National Fusion Research Institute, Daejeon 305-806, Republic of Korea

ABSTRACT

본 연구에서는 회로 시뮬레이션을 통하여 얻은 ITER 전원 장치의 단락 전자기력의 방향과 크기 성분을 유한요소모델에 맵핑(mapping)한 뒤, 구조해석을 수행함으로써, 단락 시의 전자기력이 직접적으로 구조에 미치는 영향을 고찰하였다. 연구 결과는 향후 전기적 구조물에 가해지는 다양한 악조건의 복합적 작용 시에 대한 고려에 있어 기초적인 데이터로 이용할 수 있으리라 사료된다.

1. 서론

핵융합실험로용 코일전원장치는 대전류, 고전압 전원장치에 해당하고, 대전류, 이는 크게 전압 조절부, 고전압 승압부, 고전압 정류부, 고전압 필터부, 고전압 스위치부로 구성되어 있으며, 이를 구성하는 수 많은 소자 및 부품들로 인해 높은 성능과 함께 신뢰성과 유지보수성이 요구되고 있다. 한편 발전설비의 안전사고는 많은 사례가 보고되고 있으며, 이에 대한 대책이 요구되고 있는 실정이다. 자연재해와 구조적 문제를 포함한 인재(man made calamity) 모두 최초의 피해보다 2차 피해가 가장 큰 피해를 발생시킨다는 사실을 생각해볼 때, 대전력 전원 장치의 특성 상 단락 시 발생하는 전자기력이 구조물에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 연구가 선행되어야 한다.

전자기력이 구조물에 미치는 영향에 대한 연구사례는 이미 국내에도 존재하나,^[1,2] 그 다양성이 부족하고 직접적으로 구조물에 작용하는 힘에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 대전류, 고전압 전원장치의 단락사고 시 전원장치의 컨버터브리지 구조물에 작용하는 전자기력을 PSIM을 이용하여 해석하고, 이를 실제 구조물의 유한요소 모델에 맵핑하여 구조물에 작용하는 힘을 고찰한다.

2. 본문

2.1 전자기력 시뮬레이션

전자기력의 계산에 앞서 각각의 버스바에 작용하는 전류를 구하기 위하여 실제 모델의 회로를 전력전자 해석프로그램 PSIM으로 시뮬레이션하였다. 그림 1과 그림 2는 각각 실제의 모델과 해석에 사용된 회로도들 나타낸다. 이로 얻어진 결과 값들을 버스바 사이에 작용하는 전자기력에 관한 식 (1)로 계

산하였다.^[3] 그 결과는 그림 3과 같다.



그림 1 AC/ DC Converter 구조물의 실 사진
Fig. 1 Photo of the AC/ DC converter structure

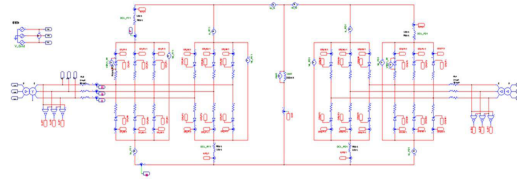


그림 2 전자기력 해석을 위한 회로
Fig. 2 Short-circuit test for the analysis of the electro-magnetic force on the converter structure

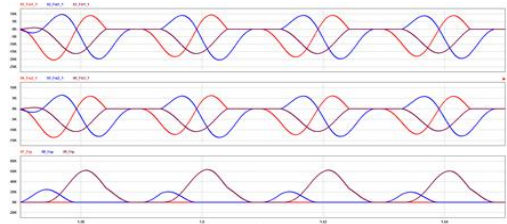


그림 3 PSIM을 이용한 회로의 해석 결과
Fig. 3 Result of the circuits analysis with PSIM for the short-circuit

그림 3은 단락 시 시간에 따른 전자기력을 나타낸다. 버스바 간에 작용하는 전자기력 성분은 80 ms 동안 4개의 주기를 보이고 작용하는 힘의 크기는 시간에 따라 변화하고 있다.

$$F = \frac{2 \times 10^{-7} \times I_1 \times I_2 \times l}{d} \quad (1)$$

식 (1)에서, F 는 전자기력, I_1 과 I_2 는 두 버스바에 흐르는 각각의 전류이며, l 은 버스바의 길이, d 는 버스바간 간격이다. 이 식을 이용하여 전자기력의 크기 및 방향을 산출하였으며, 적용한 단락전류의 크기는 약 300 kA, 그리고 단락시간은 80 ms이다.

2.2 구조해석

구조해석에는 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 이용하였으며, 외력조건으로 그림 3의 전자기력 해석결과와 중력 가속도를 적용하였다. 또한 실제 모델에서는 다양한 소자들이 부착되어 있으므로, 이를 그림 4에 나타난 바와 같이 개별적인 질점(point mass)으로 정의하여 소자에 해당하는 하중(dead load)을 적용하였다. 또한, 모델은 바닥면에 볼트로 고정되어 있으므로, 해당 고정점에 대한 자유도를 구속하였다.

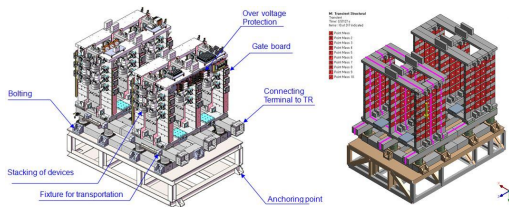


그림 4 질점으로 치환된 컨버터브리지의 구성 소자
Fig. 4 Devices mounted on the converter bridge to substitute the point mass

단락전류의 경계조건은 PSIM 시뮬레이션으로 얻어진 선도의 최대값을 하나의 주기로 만들고 20 ms 동안의 전자기력 값을 적용하였다. 전자기력 성분은 힘이 변화되는 시간을 load step으로 구분하여 14개의 load step으로 정의하였다.

1st load step은 자중이 작용하는 초기상태를 위한 구조해석을 수행하고, 2nd~13th load step에서 20 ms 동안의 전자기력을 적용하고, 마지막 14th load step은 전자기력이 끝난 후 구조물의 후변형을 확인할 수 있도록 하였다.

그림 5는 단락 시 구조물의 변형량과 하부 프레임에 작용하는 응력분포를 보여준다.

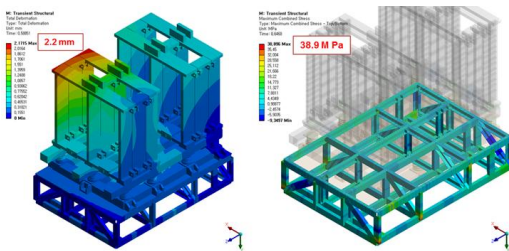


그림 5 전자기력 해석결과
Fig. 5 Result of electromagnetic force analysis

2.3 고찰

해석 결과, 하부 프레임 부분에서 단락 시 가장 큰 전자기력이 나타났다. 이는 허용응력(표 1 참고) 대비 약 31% 수준으로 안전하다고 평가할 수 있다. 그림 6은 전자기력 작용과 후변형을 고려한 하부 프레임의 응력거동을, 표 1은 컨버터 각

부위별 단락 전자기력에 대한 최대응력을 보여준다.

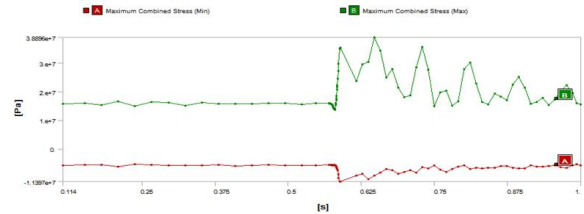


그림 6 베이스 프레임의 응력 변화
Fig. 6 Variation of stress in the base frame

표 1 단락 시 컨버터브리지 각 부에 작용하는 최대응력
Table 1 Applied maximum stress of the converter bridge parts during the short circuit current

Component	Allowable stress for each material	Dead load with EM force (short circuit)
Frame (STS304)	126 MPa	38.9 MPa
Busbar (AL6101-T6)	193 MPa	22.8 MPa
Insulator (POM-C)	60 MPa	4.7 MPa

3. 결론

본 연구를 통해 ITER 대용량 컨버터브리지 구조물에 있어 단락 시 작용하는 전자기력을 PSIM회로 시뮬레이터를 이용하여 계산하고, 이를 범용 유한요소해석 프로그램 ANSYS에 적용하여 구조물의 응력거동을 검토하였다.

해석 결과, 해당 컨버터브리지 구조물은 단일 작용하는 전자기력에 대해서는 안전하였으나, 향후 내진하중 등 복합적인 하중조건에 대한 검토가 필요하리라 사료된다.

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 국책연구사업(No. 2007-2006995)의 연구결과임

참고 문헌

- [1] J. Choi, J. S. Oh, J. H. Suh, H. Y. Yoo, S. Y. Lee, H. J. Park, W. S. Jung, S. M. Jo, "Study on FSC Requirement of AC/DC Converter for ITER Superconducting Magnet," Conference of KIPE, pp251-252, Nov. 2011
- [2] W. S. Ko, D. W. Ryu, S. D. Oh, "Structural Analysis considering Electromagnetic Force on Motor/Generator for Flywheel Energy Storage System," Conference of KSME, pp485-489, April 2004
- [3] J. P. Thierry, C. Kilindjian, "Cahier Technique Merlin Gerin NO. 162 electrodynamic forces on busbars in LV systems," pp4-6, Oct. 1988