

ITER 초전도자석 전원장치용 변압기의 제작 및 시험 현황

최정완, 서재학, 오종석, 신현국
국가핵융합연구소

Status of the Factory Acceptance Test for ITER AC/DC Converter Transformers

J. Choi, J. H. Suh, J. S. Oh, H. K. Shin
National Fusion Research Institute (NFRI)

ABSTRACT

국제 핵융합실험로인 ITER 장치의 초전도자석 전원장치용 CCU/L(Correction Coil Upper/Lower), CCS(Correction Coil Side) 그리고 VS1(1st Vertical Stabilization) 형식 등 각 변압기 초도품의 제작을 완료하고 공장시험(FAT, Factory Acceptance Test)을 실시하였다. 이 변압기들은 각 형식별로 2대에서 6대를 제작하지만 각 형식별 초도품 1대에 대해서는 Type Test를 실시하고 나머지 후속물량에 대해서는 Routine Test로 공장시험을 실시하도록 계획되어 있다. 따라서 이 초도품 변압기들에 대해서는 Type Test로 공장시험으로 실시하였고, 그 대표적인 시험항목으로는 단락시험, %임피던스 시험, 너임펄스 시험, 정격전류 온도상승시험, 상용주파수 내전압시험 등이 있다. 이들 중 CCU/L, CCS 각 형식의 초도품에 대해서는 2015년도 공장시험을 실시하여 요건에 부합됨을 확인하였고^[1], 본 논문에서는 VS1 컨버터 변압기 초도품에 대하여 Type Test로 실시한 공장시험 내용과 그 결과를 보여준다.

1. 서론^{[1][2][3]}

우리나라가 조달하는 ITER(국제핵융합실험로) 초전도자석 전원장치(이하 컨버터라 함)용 변압기는 CCU/L(Correction Coil Upper/Lower) 컨버터 형식용 6대, CCS(Correction Coil Side) 컨버터 형식용 3대, VS1(Vertical Stabilization 1) 컨버터 형식용 2대, CS(Central Solenoid) 컨버터 형식용 6대 그리고 TF(Toroidal Field) 컨버터 형식용 1대로 구성되어 있다. ITER 컨버터 변압기 공급계약 업무를 수행하고 있는 ㈜효성은 예비 설계, 상세설계에 이어 제작설계를 마치고 2014년 후반부터 VS1, CCS, CCU/L 컨버터 변압기 각각의 초도품 1대씩의 생산을 시작하여 CCS 및 CCU/L 변압기 초도품은 2015년도에 제작 및 공장시험을 완료하였고, VS1 변압기 초도품은 2015년도에 제작을 완료하고 2016년 6월에 공장시험을 완료하였다. VS1 컨버터변압기의 주요 사양은 표1과 같다. ITER 컨버터 변압기는 컨버터 건물의 외부에 설치되며 ㈜효성에서 변압기와 함께 공급하는 ac busbar를 통하여 건물 내부의 컨버터 입력에 연결된다.

표 1 ITER VS1 컨버터 변압기의 주요 사양
Table 1 Principal specifications of ITER VS1 ac/dc converter transformers

Item	사양
1차 전압, kVac	66
2차 전압, Vac	1,037
용량, MVA	15.76
%임피던스, %	16.8
냉각방식	KNAF
1, 2차 너임펄스 시험전압, kV BIL	325, 75
1, 2차 ac 단시간 내전압시험전압, kV	140, 28
단락시험 시간, s	0.25
건조, 유입중량, ton	61.6, 83.2
외형(l/w/h), m	7.9/4.9/4.9
주요 적용표준	IEC60076, IEC61378 1

2. 본론

2.1 ITER VS1 컨버터 변압기의 제작 및 시험

ITER 컨버터 변압기의 제작은 자재 입수를 시작으로 하여 MIP(Manufacturing and Inspection Plan)에 따라 제작 과정 중 필요 시점에 품질검사를 실시하며 진행된다. 주요 품질검사 항목으로는 자재 수입검사, 용접 및 페인팅(또는/그리고 코팅) 검사, 육안검사 그리고 절연시험, 상순서 및 위상확인, 1차/2차 권선비, 1차/2차 권선저항 값 확인 등을 포함하는 전기시험 등이 있다. 제작이 완료되면 FAT(Factory Acceptance Test)를 실시하여 제작품에 대해 공장에서의 최종 품질시험을 실시하는 것이다. FAT는 단락시험을 제외한 항목의 시험을 ㈜효성 공장 내에서 실시하고, 단락시험은 전기연구원 단락시험동으로 컨버터 변압기 및 ac 버스바를 운반하여 실시한다. ㈜효성 공장 내에서의 FAT는 단락시험으로 인한 변형 여부를 확인하기 위하여 단락시험 전과 후로 나누어 실시한다.

2.2 ITER VS1 컨버터 변압기의 단락시험

그림 1은 VS1 변압기의 측면 외형도를 보여 주며, 단락시험은 탱크 내의 2대 변압기 중 1대에 대해서만 실시한다. 변압기의 단락시험은 단독으로 단락시험하기 어려운 ac 버스바도 붙여 변압기와 ac 버스바의 단락시험을 동시에 실시한다.

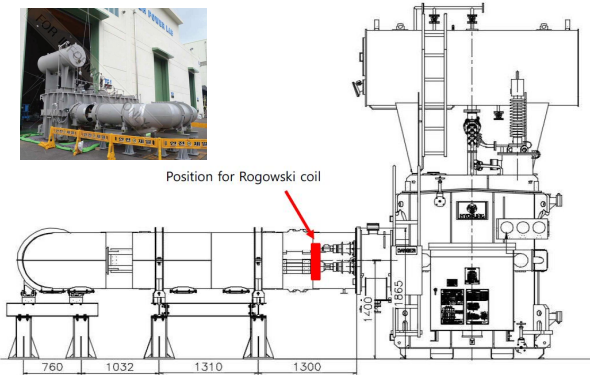


그림 2 VS1 컨버터변압기 및 ac 버스바의 측면 외형도

Fig. 1 Side view of VS1 converter transformer and ac busbar

IEC 60076 5 표준에 따르면 3상 변압기의 단락시험은 3상 전원의 사용이 원칙이나 시험시설의 능력이 부족한 경우에 예외적으로 단상 전원을 사용할 수 있다. 델타 권선일 경우에는 돌아가며 두 단자에 단상으로 가하여 시험하고, 와이 결선인 경우에는 시험하는 상의 단자 1개와 나머지 두 단자를 묶은 회로에 3상 시험전압의 $\sqrt{3}/2$ 배 전압을 인가하여 시험한다.

ITER VS1 컨버터변압기의 경우에는 시험사양이 전기연구원 설비능력을 초과하므로 단상 등가시험 방법을 채택한다. (주)효성은 ITER 컨버터변압기가 Extended delta 결선으로 되어 있는 점을 고려하여 PSIM 시뮬레이션 프로그램을 이용해 검토를 진행하였으며 단상전원 단락시험에서 Extended delta 권선에 인가하는 시험전압은 Y 결선인 경우에 3상 시험전압의 0.866배에 비하여 0.9배로 산정되었다.

VS1 컨버터변압기의 사양^[2]에서 X/R 비는 약 26으로써 표준에 따르면 $X/R > 14$ 인 경우에는 Peak Factor를 255로 규정하고 있다. ITER VS1 컨버터변압기의 단락시험 절차서의 계산에 따라, 정격전류, %임피던스, 시험전압 등을 적용하여, 단락시험전류의 r.m.s. 값은 36.639 kA로 산정되었으며, 피크 단락시험전류는 이에 Peak Factor 255를 곱하여 144.429 kA로 산정되었다.

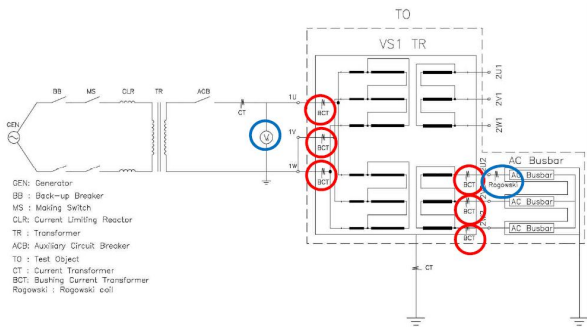


그림 2 VS1 컨버터변압기의 단락시험을 위한 시험회로도(1U 단락시험)

Fig. 2 Test circuit of VS1 converter transformer and ac busbar for short-circuit test (1U phase)

단상 등가 단락시험은 IEC 표준서에 따라 각 상별 3회씩 실시하도록 되어 있으며, 3개 상에 대하여 각각 실시해야 하므로 총 9회의 단락시험을 실시한다. 각 회의 단락시험 후에는 정상 여부 확인을 위해 Short circuit 리액턴스 측정한다. 각 시험마다 단락시험전류는 0.25 s 동안 인가한다.

그림 2는 ITER VS1 컨버터변압기의 단락시험 회로(1U 상)를 보여준다.

2.3 ITER VS1 컨버터변압기의 단락시험 결과

그림 3은 ITER VS1 컨버터변압기 및 ac 버스바의 단락시험 결과 파형 중 1회분을 보여 준다. 시험절차서에 규정된 r.m.s. 전류와 peak 전류가 5% 오차범위 내에서 제대로 인가되고 있음을 볼 수 있으며, 매 단락전류 인가시험 사이 및 최종 확인에서 피시험 변압기는 단락회로 임피던스 측정과 외형에서 양호한 상태를 유지하고 있음을 확인되었다.

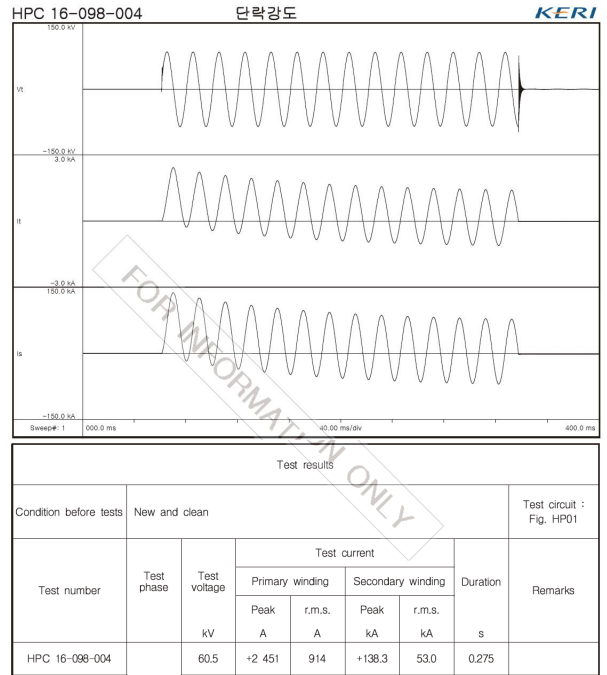


그림 3 VS1 컨버터변압기 및 ac 버스바의 단락시험 파형(1회분)
Fig. 3 Resulted waveform of short-circuit test for VS1 converter ac busbar

3. 결론

본 논문에서는 ITER 초전도자석 전원장치용 변압기 중 VS1 형식의 초도품에 대한 단락전류시험 결과를 기술하였다. 적용 표준서인 IEC 60076 5와 사양서에 근거하여 작성된 시험 절차서에 따라 시험을 완료하였으며, 매 시험간 단락회로 임피던스 측정, 소음 및 비디오 확인 그리고 최종 외형확인에서 피시험 변압기 및 ac 버스바는 양호한 상태를 유지하였다.

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

참고 문헌

- [1] ITER CC 변압기의 기술사양 문서 및 FAT 절차서
- [2] ITER VS1 변압기의 기술사양 문서 및 FAT 절차서
- [3] 최정완 외, "ITER 초전도자석 전원장치용 변압기의 제작 및 시험 현황", 2015 전력전자학회 추계학술대회