

1MVA 고온초전도 변압기용 더블 팬케이크 권선의 절연시험

김성훈*, 김우석**, 최경달***, 주형길***, 홍계원***, 한진호***, 한승엽*, 송희석****, 박정호***
 *서울대학교, **기초전력공학공동연구소, ***한국산업기술대학교 에너지대학원, ****효성중공업 연구소

Test of Insulation of Double Pancake Windings for a 1MVA HTS Transformer

Sung-Hoon Kim*, Woo-Seok Kim**, Kyeong-Dal Choi***, Hyeong-Gil Joo***, Gye-Won Hong***,
 Jin-Ho Han***, Song-yop Hahn*, Hee Suck Song**** and Jung Ho Park***
 *Seoul National University, **Electrical Engineering and Science Research Institute,
 Graduate School of Energy, Korea Polytechnic University and *Hyosung Corporation

Abstract - In a research and development team of high temperature superconducting (HTS) transformer for power distribution, prior to manufacture a single phase 1MVA 22.9 kV/6.6 kV HTS transformer, a 1MVA transformer for insulation test with windings made of copper tapes with the same size as BSCCO-2223 HTS tape was manufactured. The test transformer was composed of both the copper windings of double pancake type and the shell type core of laminated silicon steel plates. The characteristics tests of the test transformer were performed, such as no load test, load test and short test at 77k using liquid nitrogen. Insulation tests, lightning impulse test, power-frequency voltage test and external insulation test, were accomplished also.

1. 서 론

현재 국·내외에서는 고온초전도 선재를 사용한 고전압, 대용량의 고온초전도 변압기의 개발이 활발히 진행되고 있다. 그러나 지금까지 연구 개발되고 있는 고온초전도 변압기는 국내(기초전력공학공동연구소)에서 개발되어진 더블 팬케이크 권선부를 가지는 3상 10 kVA 고온초전도 변압기를 제외하고는 변압기의 권선부가 슬레노이드 형태를 취하고 있다[1]-[4]. 그러나 변압기의 용량과 전압(154 kV, 345 kV, 765 kV)이 증가할수록 권선에서의 고전압 분배나 절연의 측면에서는 슬레노이드 형태의 권선보다는 절연특성이 우수한 더블팬케이크 형태의 권선이 더 유리하다[5][6]. 그래서 본 중소기업 배전용 고온초전도 변압기 연구팀에서는 1단계 과제로서 개발중인 단상 1MVA 22.9 kV/ 6.6 kV 고온초전도 변압기에서 이런 고전압 분배 및 절연 문제를 고려하여 권선부를 더블팬케이크 형태로 제작을 하고 있다. 그리고 앞으로의 2, 3 단계에 진행될 초고압 고온초전도 변압기의 제작시 문제가 될 수 있는 전압 분배 및 절연문제에 대해서도 함께 연구를 수행하고 있다[7].

본 논문에서는 단상 1MVA 고온초전도 변압기를 제작하기 앞서 실제 고온초전도 선재와 같은 형상을 가지는 구리선재를 제작, 사용하여 더블 팬케이크 형태의 권선 형태를 가지는 단상 1MVA 고온초전도 변압기와 같은 크기를 가지는 절연시험용 변압기를 제작하였다. 그리고 실제 고온초전도 선재의 냉매로 사용되는 액체질소(LN₂) 상에서 변압기의 특성 시험(무부하 시험, 부하 시험) 및 절연시험(임펄스 시험, 유도 내전압 시험, 상용주파 내전압 시험)등을 실시하여 실제 단상 1MVA 고온초전도 변압기에서 검증될 수 있는 여러 가지 문제점들을 절연 시험용 변압기를 통해서 검증하였다.

2. 본 론

2.1 절연시험용 1MVA 변압기

테이프 형태의 고온초전도 선재와 같은 형상을 가지는 구리선재를 제작, 사용하여 더블 팬케이크 형태의 권선부를 제작하여 실제 단상 1MVA 고온초전도 변압기와 같은 형상의 절연 시험용 변압기 제작하였다. 단상 1MVA 고온초전도 변압기의 3차원 모델을 그림 1에 나타내었다.

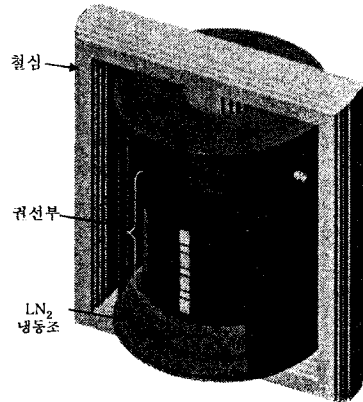


Fig. 1. Design of a single phase 1MVA 22.9kV/6.6kV HTS transformer with double pancake windings.

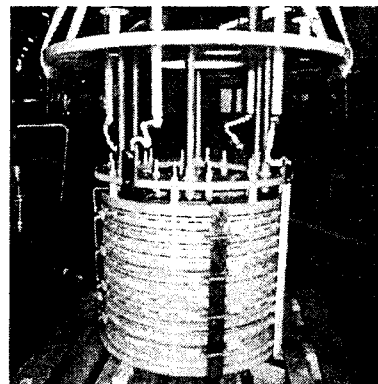


Fig. 2. Double pancake type windings of a single phase 1MVA insulation test transformer.

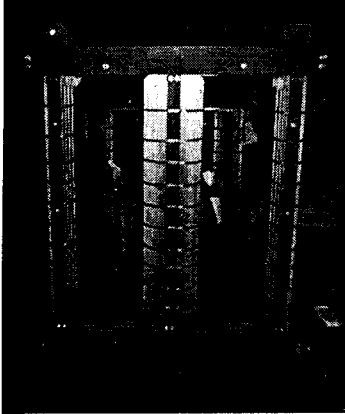


Fig. 3. Shell type core of a single phase 1MVA insulation test transformer.

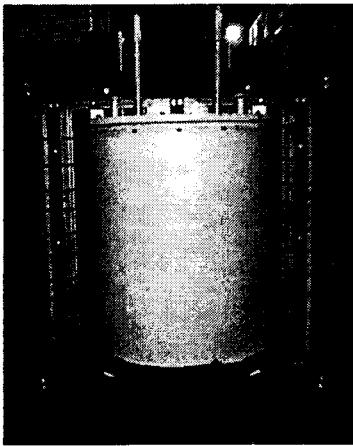


Fig. 4. Manufactured 1MVA insulation test transformer.

그림 2와 3은 절연 시험용 변압기의 더블 팬케이크 형태 권선부와 단상 외철형 철심 제작 사진을 보여주고 있으며, 절연 시험용 변압기의 전체 조립 사진을 그림 4에 나타내었다. 여기서 사용되는 절연 시험용 단상 외철형 철심은 실제 단상 1MVA 고온초전도 변압기의 철심으로 사용되어 질 것이다. 그리고 절연 시험용 변압기의 제작 사양을 표 1에 나타내었다.

Table 1. Specification of a 1MVA insulation test transformer.

Specification		Value
Rating	Capacity	1 MVA
	Voltage	22.9kV/6.6kV
	Current	44A/152A
Windings	Material	Copper tape
	No. of turns	832/240
	No. of bobbins	8/4
Core	Material	Silicon steel plate
	Height/Width	1,580mm/1,340mm
	Cross Section area	715.16cm ²
	Max. B	1.488T

2.2 절연시험용 변압기의 특성시험.

절연 시험용 변압기의 특성시험은 기존의 단상 유입 변압기의 특성시험 방법을 적용하여 변압기 특성시험을 수행하였으며 구리 권선부의 냉각을 위해서 액체질소(LN2)를 사용하였다. 변압기의 특성 시험방법은 다음과 같다.

- (1) 변압기의 권수비 시험
- (2) 절연저항 시험
- (3) 무부하 시험
- (4) 부하 시험

특성 시험에서 얻어진 값들을 정리하여 표 2에 나타내었다.

Table 2. Characteristics values of 1MVA insulation test transformer at 77K.

Specification		Value
Turn Ratio	Rated Ratio	3.47
	Measured Ratio	3.535
Meggering Test	HV-LV	> 2000 MΩ
	HV-E(earth)	> 2000 MΩ
	LV-E(earth)	> 2000 MΩ
Resistance	1st	3.10 Ω
	2nd	0.2216 Ω
No-load Test	No-load loss	13.380 kW
	No-load current	2.174 A
Load Test		12.042 kW
%Iz		8.70 %

액체 질소 상태에서의 절연 시험용 변압기의 특성 시험으로부터 저압측 보빈의 turn 수가 모자라는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 저압측 보빈의 4병렬 권선에 균등한 전류분배를 위해 3번의 전위를 시키는 과정에서 오류가 생겨 절연 시험용 변압기의 무부하 시험시 저압측 4병렬 권선에 순환전류가 흘러 무부하 손실(철손)이 예상치보다 4배정도 크게 발생함을 확인할 수 있었다.

2.3 절연시험용 변압기의 절연시험.

절연 시험용 변압기의 절연시험도 단상 유입 변압기의 절연 시험 방법을 적용하여 다음과 같이 실시하였다. 그리고 절연시험 장면을 그림 5에 나타내었다.

- (1) 충격 내전압 시험
- (2) 상용주파 내전압 시험
- (3) 유도 내전압 시험

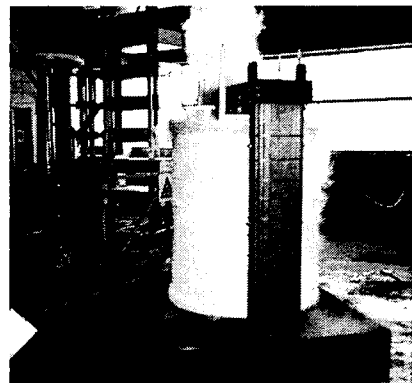


Fig. 5. Insulation test of a 1MVA test transformer.

3. 결 론

위와 같은 항목으로 실시한 절연시험 결과를 정리하여 표 3에 다음과 같이 나타내었다.

Table 3. Insulation test of 1MVA insulation test transformer at 77K.

Specification		Breakdown value
⁽¹⁾ Lightening impulse test	H0 (150 kV)	142 kV
	H1 (150 kV)	142 kV
	L0 (60 kV)	60 kV
	L1 (60 kV)	60 kV
⁽²⁾ Power frequency voltage test	High(50 kV)	4 sec
	Low (22 kV)	O.K.
⁽³⁾ Induced voltage test(6.6 kV×2)		O.K.

(1) 충격내전압 시험 : 고압측 권선과 저압측 권선의 양끝단(부싱부분)에서 각각 150 kV 와 60 kV까지의 서지 전압을 단계적으로 인가시 변압기 절연파괴를 알아보는 시험으로써 표 3에서 나타나 있는 바와 같이 본 절연 시험용 변압기 경우 저압측 권선부에서는 절연파괴가 발생하지 않았으나 고압측 권선부의 경우는 142 kV의 서지 전압 인가시 절연파괴가 발생함을 알 수 있었다. 그 이유는 고압측 부싱을 제작하는 당시 최초로 설계한 절연 위치보다 철심에 가까이 위치에 됨에 따라서 예상되었던 결과라고 볼 수 있었다.

(2) 상용주파 내전압 시험 : 고압측과 저압측 권선에 각각 50 kV 와 22 kV의 전압을 인가하는 경우 1분간 절연파괴가 발생하지 않아야 하는 시험으로써 본 절연 시험용 변압기의 경우 저압측 권선부는 22 kV 전압에 대해서 절연파괴가 발생하지 않았는데 고압측 권선부의 경우 50 kV 전압 인가시 4초후에 절연파괴가 발생하는 것을 확인 할 수 있었다.

(3) 유도 내전압 시험 : 저압측 권선에 180 Hz의 정격전압 2배 전압을 인가시 40초 동안 절연파괴가 발생하지 않아야 하는 시험으로써 본 절연 시험용 변압기는 유도 내전압 시험에서는 절연파괴가 발생하지 않음을 확인 할 수 있었다.

단상 1MVA, 22.9 kV/6.6 kV 고온초전도 변압기의 제작에 앞서서 고온초전도 선재와 같은 형상을 가지는 구리선재를 이용하여 절연 시험용 1MVA 변압기를 제작하였다. 제작되어진 시험용 변압기는 기존의 단상 유도 변압기에서 행하여지는 특성시험이 수행되어졌다. 그리고 절연시험의 경우 고압측 권선부의 부싱이 도면상의 절연 설계값과 다르게 제작됨에 따라서 충격 내전압 시험과 상용 주파 내전압 시험에서 절연파괴가 됨을 확인할 수 있었다. 그러나 이것은 실제 도면상의 절연거리를 확보해 준다면 변압기에서는 절연파괴가 발생하지 않을 것으로 예측한다. 따라서 본 절연 시험용 변압기의 절연시험 결과로부터 단상 1MVA 고온초전도 변압기에 서 충분히 절연성이 확보된 것을 확인 할 수 있었다.

본 논문은 단상 1MVA, 22.9 kV/6.6 kV 고온초전도 변압기의 절연설계에 도움이 될 것으로 사료된다.

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] S.P. Metha, N.Aversa, and M.S. Walker, "Transforming Transformer," *IEEE Spectrum*, pp. 43 49, July 1997.
- [2] H.Zueger, et al., "630kVA High Temperature Superconducting Transformer," *Cryogenics*, vol. 38, pp.1169-1172, 1998.
- [3] K. Funaki, et al., "Development of a 22kV/6.9kV Singl phase Model for a 3MVA HTS Power Transformer," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 11, no. 1, pp.1578-1581, March, 2001
- [4] 이희준, 차귀수, 이지광, 한승엽, 류 경우, 최경달, "더블 팬케이크 권선형 10kVA 고온초전도변압기," 대한전기학회 논문지, 제50B권, 제2호, pp.65-72, 2001.
- [5] K. Karsai, D.Kerenyi and L.Kisset, *Large Power Transformers*, Elsevier Science Publishing Company, New York,1987.
- [6] Woo-Seok Kim, et al., "Design of a 1MVA High Tc Superconducting Transformer," *Applied Superconductivity Conference 2002*, August, 2002.
- [7] 김우석, et al., "전위를 고려한 고온초전도 변압용 병렬권선의 설계 및 제작," *KIASC Conference 2003*, February,2003.