

전위를 고려한 고온초전도 변압기용 병렬권선의 설계 및 제작

김우석*, 김성훈**, 최경달***, 주형길***, 홍계원***,
한진호***, 박정호****, 송희석****, 한송엽**
*기초전력공학공동연구소, **서울대학교 전기·컴퓨터공학부,
한국산업기술대학교 에너지대학원, *효성중공업연구소

Design and Fabrication of Parallel Wounded HTS Transformer Windings with Transpositions

Woo-Seok Kim*, Sung-Hoon Kim**, Kyeong-Dal Choi***, Hyeong-Gil Joo***, Gye-Won Hong***,
Jin-Ho Han***, Jungho Park****, Heesuck Song****
and Song-yop Hahn**

*Electrical Engineering and Science Research Center,

**School of Electrical Engineering & Computer Science, Seoul National University

***Graduate School of Energy, Korea Polytechnic University,

****Hyosung Corporation

ottor@eesri.snu.ac.kr

Abstract - Parallel wounded windings with BSCCO-2223 HTS tape for 1MVA HTS transformer were designed and prototype windings were fabricated in double pancake type. The parallel HTS tapes were transposed between the pancakes via non-superconducting joints because it is hard to make transpositions inside the pancake windings. The prototypes were wound using copper tape with same size as BSCCO-2223 tape, which will be used in 1MVA HTS transformer. The windings will be used for high voltage test and insulation test of the transformer. Parallel HTS windings are going to be fabricated and tested for current distribution in near future.

권선에서의 고전압 분배나 절연의 측면에서 솔레노이드 형태보다 더 특성이 우수한 팬케이크 형태의 권선이 더 유리해지며, 또한 최근 BSCCO 선재의 성능이 매우 우수해짐에 따라 국내에서도 팬케이크 형태의 고전압 변압기가 개발 중이며 그 중 하나로 현재 과학기술부가 주도하는 21C 프론티어연구개발사업의 일환으로 차세대 초전도응용기술개발사업 중 중소규모 배전용 초전도변압기의 개발이 진행 중이다.

본 논문에서는 위 변압기의 저압측 권선에 사용될 병렬권선을 설계하고 실제 고온초전도 변압기에서 사용될 BSCCO-2223 선재와 같은 모양의 구리선을 사용하여 권선의 프로토타입을 제작하였다. 제작된 권선은 고압측 권선과 함께 변압기의 고전압 시험과 절연시험에 사용될 예정이며, 시험 후 실제 고온초전도 선재를 사용하여 같은 방법으로 권선을 제작하여 전류분류 시험을 수행할 예정이다.

1. 서 론

국내외에서 개발되고 있는 고온초전도 변압기는 그 권선의 형태에 따라서 크게 솔레노이드 형태와 팬케이크 형태로 나뉘어 질 수 있다. 세계적으로 진행되고 있는 고온초전도 변압기의 형태가 대부분 솔레노이드 형태임에 비하여 팬케이크 형태의 고온초전도 변압기의 연구가 진행되고 있는 곳은 그리 많지 않다. 이는 고온초전도 선재의 특성으로 인하여 팬케이크 형태의 권선에서는 선재의 성능 저하 및 교류손실의 증가가 같은 용량의 솔레노이드 권선과 비교해 볼 때, 상대적으로 매우 커지므로 결과적으로 부피의 증가와 효율의 감소를 가져오기 때문이다.

그러나 변압기의 용량과 전압이 증가할수록

2. 본 론

2.1 고온초전도 변압기의 사양

병렬권선이 사용될 변압기의 용량은 단상 1MVA이며 전압은 고압측이 22.9kV이고 저압측이 6.6kV이다. 표 1에 설계 목표로 하는 고온초전도 변압기의 간단한 사양을 나타내었다.

이 변압기에 사용될 권선은 일반 고압 변압기에서도 많이 사용되는 형태인 팬케이크 형태의 권선을 고압측, 저압측 모두에 사용하며 절선의 편의를 위해 두층의 권선이 하나의 보빈에 감기게 되는 더블 팬케이크 형태의 권선을 한다. 전체 권회수 및 적절한 전압분배에 맞추어 보빈의 개수를 분할하고 각 권선의 배치는 교호배치 형

태를 취하게 된다.

Table1. Specification of the HTS transformer

Specification	Value
Phase	1
Capacity	1 [MVA]
Rated voltage	22.9/6.6 [kV]
Rated Current	44/152 [A]

2.2 권선형태 및 전위

표 1에서 보는 바와 같이 저압측의 전류가 152[A]이므로 현재 상용화되어 있는 고온초전도 선재의 임계전류값을 넘는다. 그리고 권선의 영향과 고온초전도 선재에 인가되는 수직방향 자계의 크기를 고려하여 저압측의 권선에 4개의 고온초전도 선재를 병렬로 사용한다. 이렇게 고온초전도 선재를 병렬로 권선하는 경우, 각 선재의 양단에서의 임피던스의 차이에 의하여 전류의 불평형이 발생하게 된다. 팬케이크 형태의 권선에서는 슬레노이드 형태에 비하여 임피던스의 차이가 매우 적게 되나, 고온초전도 선재와 같이 저항성분이 거의 없는 경우에는 약간의 임피던스 차이에 의하여 매우 큰 전류의 불평형이 발생하게 된다. 이러한 불평형 전류는 각 선재의 켄치현상을 유발할 뿐만 아니라 교류손실의 증가를 수반하게 되므로 반드시 전위를 하여 가능한 임피던스의 균형을 맞추어야 한다.

더블 팬케이크 권선의 내부에서는 전위를 하기가 매우 어려우므로 본 논문에서는 저압측 4병렬 권선을 도체수와 같이 4개의 더블 팬케이크로 나누고, 각 더블 팬케이크의 연결 시 3회 전위를 행하는 방법을 택하였다. 그림 1에 고압측과 저압측 권선의 전체적인 배치를 나타내었다.

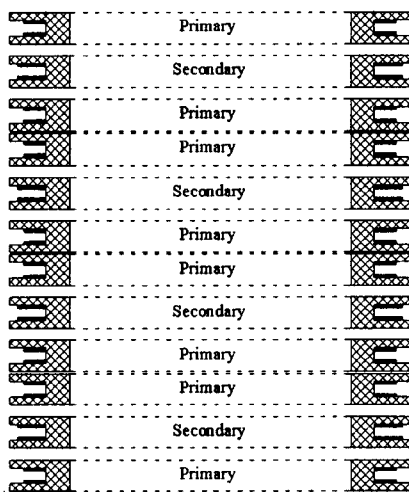


Fig. 1. Arrangement of the double pancake windings for 1MVA HTS Transformer

Table2. Number of turns of each secondary bobbins

	tape 1	tape 2	tape 3	tape 4
Bobbin 1	60.75	60.25	59.75	59.25
Bobbin 2	60.25	59.75	59.25	60.75
Bobbin 3	59.75	59.25	60.75	60.25
Bobbin 4	59.25	60.75	60.25	59.75
Total	240	240	240	240

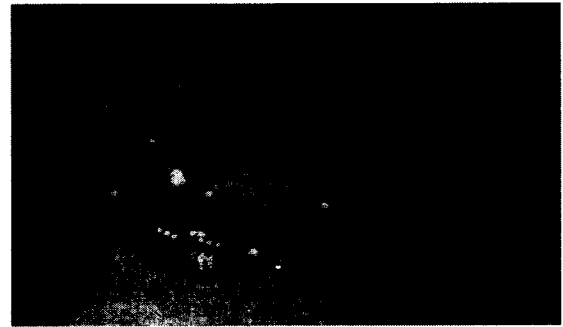


Fig.2. A parallel winding with four conductors for insulation test of 1MVA HTS transformer

저압측의 권회수가 240회이므로 저압측 권선은 권회수가 60회인 더블팬케이크 권선 4개로 구성된다. 각 권선은 4개의 도체가 병렬로 권선되어 있으므로, 각 도체를 보빈의 외경에서 90°간격으로 배열된 단자에 접합하였다. 같은 방법으로 구성된 4개의 더블팬케이크 권선은 전체 권선을 조립할 때, 90°씩 회전시켜 단자를 상전도 접합하여 병렬 도체의 전위를 구성하였다. 저압측 권선이 모두 구성된 후 병렬 도체 각각의 권회수를 240회로 맞추기 위해서 표 2에서 나타낸 바와 같이 각각의 권회수를 조절하여 단자에 접합하였다. 권선을 위한 보빈은 GFRP로 제작하였으며 권선의 턴 간 절연은 선재에 캡톤 필름을 3층 wrapping하여 사용하였다.

Table 3. Design values of windings of 1MVA HTS Transformer

No. of turns	832 / 240
V/T	27.5 [V]
Length of wire	1400 / 1616 [m]
No. of bobbins	8 / 4
Outer dia. of bobbin	658 [mm]
Inner dia. of bobbin	412 [mm]

본 논문에서는 실제 고온초전도 선재로 권선을 구성하기 이전 단계로 변압기 권선의 고전압 절연 시험을 위하여 고온초전도 선재와 같은 크기를 가지는 구리선을 사용하여 권선하였다. 권

선의 자세한 사양을 표 3에 나타내었으며 제작된 저압측 권선의 모양을 그림 2에 나타내었으며 4개의 저압측 권선과 8개의 고압측 권선이 모두 조립되고 단자간 연결이 이루어질 모습을 그림 3에 나타내었다. 제작된 구리 권선은 실제 고온초전도 변압기에 사용될 철심과 함께 조립되어 액체질소 내에서 절연 시험을 수행할 예정이다.

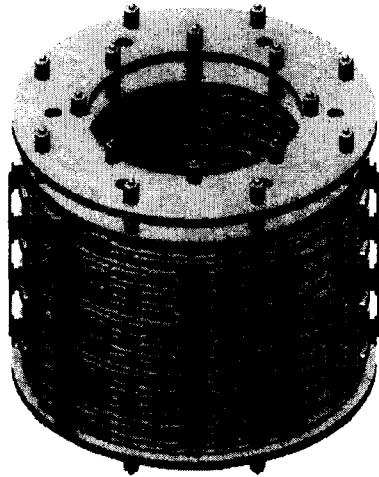


Fig.3. Pancake windings with copper joints of 1MVA HTS transformer

3. 결 론

본 논문에서는 팬케이크 형태의 권선을 갖는 고온초전도 변압기를 위한 병렬권선을 설계하고 고온초전도 선재와 같은 크기의 구리선을 사용하여 팬케이크형 1MVA 단상 고온초전도 변압기의 저압측 권선을 제작하였다. 초전도 선재의 특성에 의하여 발생할 수 있는 전류 분균형을 최소화하기 위하여 병렬선재간 전위를 고려하였으며,

제작된 권선은 150 [kV]의 고전압 시험에 사용될 예정이며, 시험 결과에 따라 실제 고온초전도 선재를 사용한 팬케이크 형태의 권선도 같은 방법으로 제작될 예정이다.

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

(참 고 문 헌)

- [1] Sam P. Mehta, Nicola Aversa, and Michael S. Walker. "Transforming transformer," IEEE Spectrum, Vol. 34, No. 7, pp.43-49, July, 1997
- [2] Masataka Iwakuma, Kazuo Funaki, et al., "Ac loss properties of a 1MVA single-phase HTS power transformer," IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol. 11, No. 1, pp.1482-1485, March, 2001
- [3] 이희준, 차귀수, 이지광, 최경달, 류경우, 한송엽, "10kVA 고온초전도변압기의 특성해석 및 제작," 한국 초전도·저온공학회논문지 제2권, 제2호, pp.37-43, 2000
- [4] 이희준, 차귀수, 이지광, 한송엽, 류경우, 최경달, "더블팬케이크 권선형 10kVA 고온초전도 변압기," 대한전기학회 논문지, 제50B권, 제2호, pp.65-72, 2001
- [5] 김우석, 한송엽, 최경달, 주형길, 홍계원, "1MVA 고온초전도 변압기 개념설계," KIASC Conference 2002, pp.233-236, 2002