

## 복합 권선형 송전급 고온초전도 변압기의 절연설계 연구

천현권\*, 광동순\*, 최재형\*, 정종만\*\*, 김현희\*\*\*, 김상현\*  
경상대학교 및 공학연구원\*, 한국전력연구원\*\*, 국제대학교\*\*\*

### The Research on Insulation Design for Transmission Class HTS Transformer with Composite Winding

Hyeon-Gweon Cheon\*, Dong-Soon Kwag\*, Jae-Hyeong Choi\*, Jong-Man Joung\*\*, Hyun-Hi Kim\*\*\*, and Sang-Hyun Kim\*  
Department of Electrical Engineering, Gyeongsang National University and Automation and Computer Research Centre of Engineering Research Institute\*, KEPRI\*\*, Jinju International University\*\*\*

**Abstract :** In the response to the demand for electrical energy, much effort aimed to develop and commercialize high temperature superconducting (HTS) power equipments has been made around the world. In Korea, companies and universities are developing a power distribution and transmission class HTS transformer that is one of the 21st century superconducting frontier projects. The composite winding of transmission class HTS transformer is concentrically arranged H1-L-H2 from center. H1 is continuous disk type, L is layer type and H3 is continuous disk type.

For the development of transmission HTS transformer with composite winding, the cryogenic insulation technology should be established. We have been analyzed insulation composition and investigated electrical characteristics such as breakdown of LN<sub>2</sub>, barrier, kapton films, surface flashover on FRP in LN<sub>2</sub>. We are going to compare with measured each value and apply the value to most suitable insulating design of the HTS transformer.

**Key Words :** HTS transformer, cryogenic, insulation design

### 1. 서 론

고온초전도(HTS) 변압기는 크기와 무게를 줄임에 따른 절연수명의 손실 없이 과부하 용량을 증가시킬 수 있고 효율의 향상, 환경오염의 감소와 공간 배치가 용이하여 전력 시스템 운용 전방에 걸쳐 많은 이점을 제공한다. 따라서 HTS 변압기의 연구와 개발에 대한 연구가 세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 특히, 한국에서 2001년부터 시작된 21세기 프론티어 R&D 사업의 일환으로 초전도 응용 기술 개발이 진행되고 있으며 HTS 변압기의 최종 개발 목표는 60~120 MVA, 154 kV이다. 현재, 한국산업기술대학교에서 경상대학교와 협력연구를 통하여 HTS 변압기에 대한 개념설계가 진행 중에 있다[1-2]. HTS 변압기 개발연구에서 권선 배치는 교호배치와 동심배치 두 가지에 대하여 적용연구 중에 있다. 교호배치는 권선이 용이하고 구조가 간단하지만 동심배치와 비교하여 권선의 교류손실이 크다. 따라서 현재는 권선을 동심배치하여 HTS 변압기에 적용하는 연구가 활발히 진행 중이다. 기존에 설계한 Double pancake 권선을 가지는 동심배치는 권선과 권선의 접합시 접합점이 많이 발생하여 HTS 변압기의 장점이 많이 감소하게 된다. 이런 관점에서 본 연구에서는 고전압측은 접합점을 줄일 수 있는 연속 디스크 권선을 사용하고 저압측은 레이어 권선을 사용하였다. 하지만 연속디스크 권선을 HTS 변압기에 적용하기 위해서는 HTS 변압기가 운전되는 액체질소에서 절연특성에 대한 연구가 선행되어야 한다. 이미, 많은 연구자들의 액체질소의 절연특성과 기포의 영향 등 액체질소 내에서 발생하는 절연파괴 현상에 대하여 많은 연구가 이루어져 있으며 [3] 본 연구실에서도 pancake 코일을 모의한 전극계를 이용한 절연파괴, 연면방전과 기포 영향 등에 대하여

여 많은 연구 결과가 발표되었다[4].

따라서, 본 연구에서는 HTS 변압기의 절연구성을 분석하여 이에 따라 액체질소 중에서 다양한 절연파괴 특성에 대하여 고찰하여 절연 데이터 베이스를 구축하였으며 이를 활용하여 송전급 고온초전도 변압기의 절연 설계를 할 계획이다.

### 2. 실험

GFRP 시험용 용기에 절연 모델을 장착한 후 상용 액체 N<sub>2</sub>(77K)를 주입하고 열적으로 충분히 안정시킨 후 교류(AC) 및 충격파(Imp) 전압을 인가하였다. AC전원은 최대전압 100(kV)이며, 전압상승률은 1(kV/sec)이다. 또한 Imp전원은 1.2x50(μsec)의 표준 뇌Imp(정극성)이다. 실험 횟수는 각각 8-10회 정도이며 Weibull 확률 분포로 처리하였다.

### 3. 결과 및 검토

권선의 전기적 절연설계를 위하여 각 절연 구성별 모의 전극계를 이용하여 절연파괴 전압을 측정된 후 이 절연파괴 전압을 와이볼 분포를 이용하여 0.1%절연파괴 전계 값을 획득하였다.

그림 1은 액체질소의 전극간 거리에 따른 절연파괴 전압과 와이볼 분포를 통한 0.1% 전압값을 나타낸다. 액체질소는 변압기의 냉매뿐 아니라 절연물로도 사용된다. 액체질소는 안정된 상태에서 높은 절연내력을 나타내지만 비등이 쉽게 발생하고 비등시 발생한 기체는 액체에서 기포형상으로 존재하게 된다. 이 기포를 포함한 액체질소는

매우 낮은 절연내력을 나타낸다. 기포는 여러 가지 요인에 의해서 발생하고 고전계 부분에서도 부분방전에 의해 기포가 발생된다. 액체질소의 절연파괴 전압은 간격이

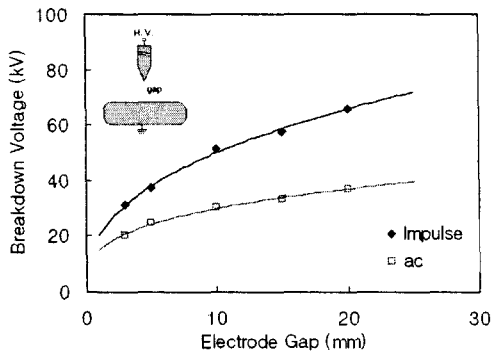


그림 1. 전극 거리에 따른 액체질소의 절연파괴 전압.

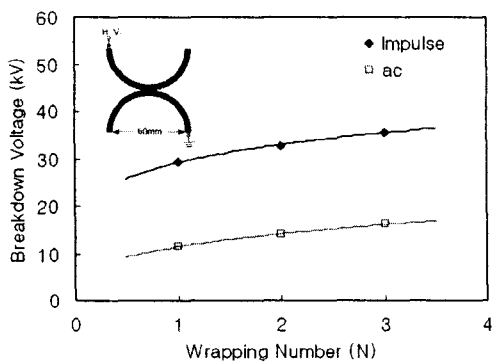


그림 2. 도체 절연회수에 따른 턴간 절연파괴 전압.

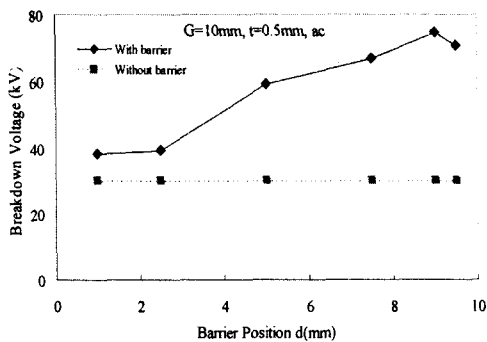


그림 3. 배리어 위치에 따른 교류 절연파괴 전압.

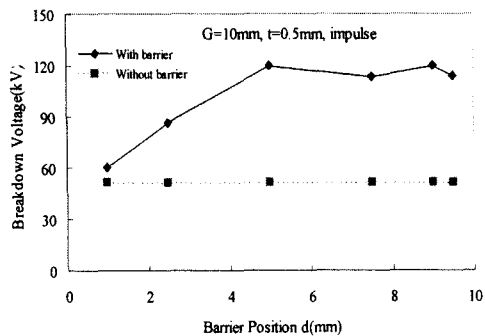


그림 4. 배리어 위치에 따른 임펄스 절연파괴 전압.

증가함에 따라 증가하지만 0.1% 전압값은 간격이 증가함에 따라 AC와 Impulse 모두 감소하는 경향을 나타낸다. 그림 2는 턴간 전극계에서 도체 절연회수에 따른 절연파괴 전압과 와이블 분포를 통한 0.1% 전계값을 나타낸 절연회수가 3회 일 때 AC는 약 50kV/mm, Impulse는 약 100kV/mm의 0.1% 전계값을 나타내었다.

그림 3과 4는 G=10 mm, 컬러의 길이 H=30 mm로 일정하고 두께가 0.5mm인 경우 배리어 위치에 따른 절연파괴 특성 곡선을 나타낸다. 배리어가 존재하는 경우의 LN<sub>2</sub>중의 절연파괴 특성은 이미 보고된[5] 기중이나 기름중의 특성과 유사한 특성을 나타내고 있다. 즉 배리어가 평판전극 상에 위치할 경우는 배리어가 없는 경우와 유사한 절연파괴값을 나타내나, 배리어가 침전극부로 접근할수록 절연파괴 전압은 상승한다. 배리어가 침전극부에 아주 근접한 위치(침전극부에서의 약 10% 지점)인 경우는 배리어가 없는 경우의 절연파괴 전압값의 약 2배가량 증가하였다. 그러나 배리어가 침전극에 밀착한 경우의 절연파괴 전압값은 약간 감소하였다.

#### 4. 결론

LN<sub>2</sub>, Kapton, barrier를 액체질소 중에서의 기초절연파괴 특성을 와이블 분포에 의하여 구해진 0.1% 절연파괴 확률을 가지는 절연파괴 전계를 이용하여 복합 권선형 고온초전도 변압기를 위한 전기절연 설계를 하였다. 복합 권선형 미니모델 변압기의 절연설계를 위한 고저압간 절연파괴 길이는 100mm이다. 향후 우리는 송전급 복합 권선형 미니모델 변압기를 제작하여 절연파괴 시험을 할 계획이며, 이 결과는 송전급 고온초전도 변압기를 위한 전기절연 설계에 기초정보로 활용할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] S.W. Schwenterly and S.P. Mehta, M.S. Walker, R.H. Jones, Vol. 382, p. 1-6, 2002.
- [2] Woo-Seok Kim and Song-Yop Hahn, Kyeong-Dal Choi, Hyeong-Gil Joo, and Kye-Won Hong, Vol. 13, No. 2, p. 2291-2293, 2003.
- [3] S. M. Baek, J. M. Joung, and S. H. Kim, Vol. 5, No. 1, p. 52-55, 2003.
- [4] Sang-Hyun Kim, Seung-Myeong Baek, Young-Seok Kim, Soon-Yong Chun, Jong-Man Joung, Cryogenics 42, p. 415-418, 2002.
- [5] A. Beroual and A. Boubaker, IEEE Trans. on Elec. Insul, Vol. 26, No. 6, p. 1130-1139, 1991