

초전도 한류기의 턴간 절연특성

백승명, 정종만, 이창화, 김상현
경상대학교 전기공학과 및 공학원

Dielectric Characteristics of Turn-to-Turn Insulation for SFCL

Seung-Myeong Baek, Jong-Man Joung, Chang-Hwa Lee and Sang-Hyun Kim
Department of Electrical Engineering, Gyeongsang National University and Engineering Research Institute

Abstract

Interconnected power system operation has given rise to the problem of increased fault levels and leads to over stressing of all the components. Use have been made of recently developed high Tc superconductor in devising a superconducting fault current limiter (SFCL) that promises optimum performance in terms of capital cost, size, auto sensing, operational losses, response time and reliability. Recently, research about the application of the SFCL is actively progressing in Korea. To be applied for SFCL practically, the electrical insulation design of SFCL must be developed. Therefore, this paper presents the result of an investigation of the dielectric characteristics of turn-to-turn insulation for SFCL in liquid nitrogen. The dielectric characteristics of turn-to-turn insulation models of SFCL were investigated. We obtained following results.

The breakdown voltages increased as the spacer thickness and length increased. And the breakdown voltages of turn-to-turn model without spacer were higher than the breakdown voltages of turn-to-turn model with spacer under impulse as well as AC voltages. The information gathered in this test series should be helpful in the design of liquid nitrogen filled SFCL.

Key Words : Dielectric characteristics, turn-to-turn, SFCL, Insulation design, liquid nitrogen

1. 서 론

고온초전도 기기의 용량을 더욱 높이기 위해 대전류, 저전압에서 대전류 고전압으로 응용범위를 넓혀가고 있다. 따라서, 고온초전도 기기의 실용화를 위서는 극저온 환경에서 각 기기의 절연구성을 고려한 고전압 절연연구는 필수적이다. 액체질소를 냉매로 사용하는 고온초전도 기기의 절연설계에 있어서 액체질소의 절연내력 뿐 아니라 액체질소 내에서 연면방전, 고분자 절연물의 절연 특성 등이 매우 중요한 부분이다. 특히, 절연물의 표면을 통하여 방전이 일어나는 연면방전 전압은 액체질소의 절연과파 전압보다 매우 낮아 고온초전도 기기의 안정도 및 신뢰성에 큰 영향을 미치므로 이에 대한 연구가 필요하다[1].

고온초전도 한류기는 크게 저항형과 유도형으로 분류가 가능하며 실용화 가능성이 높은 초전도기기 중의 하나이므로 국내는 물론 미국, 일본 등의 국가에서도 개발에 대한 연구가 활발히 진행 중이다[2]. 특히, 유도형 고온초전도 한류기용 DC 리액터는 높은 임계전류와 함께 고압에서의 절연이 매우 중요하다. 하지만, 유도형 고온초전도 리액터 설계를 위한 절연 구성 및 절연 특성에 대한 연구가 미약한 실정이다[3].

따라서 본 논문은 액체질소를 냉매로 사용하는 유도형 고온초전도 한류기용 DC 리액터의 턴간 절연설계를 위하여 AC, DC 그리고 임펄스 고전압을 인가하여 절연특성을 연구하였으며, 이 결과는 유도형 한류기용 DC 리액터 절연설계에 기초 자료로 사용될 것이다.

2. 실험

2.1 전극계 구성

턴간 절연구성은 액체질소 내에서 절연된 도체와 절연된 도체의 절연내력, 연면길이에 의한 절연내력 그리고 연면길이와 함께 절연물의 복합계에서 절연내력으로 나눌 수 있다. 따라서, 본 연구에서 턴간 절연구성에 따른 전극계를 각각 사용하였으며 그림 1에 연면길이 및 두께에 의한 절연내력 고찰에 사용한 전극계를 나타낸다. 전극은 두께 0.25mm, 너비 3mm인 Ag tape와 두께 0.2mm의 SUS를 사용하였다. 절연된 전극에서 절연내력을 고찰하기 위하여 두께 0.07mm의 Kapton tape를 이용하여 50% overlap 방식으로 Ag tape를 1회 절연하였다. 절연된 전극을 이용하여 연면길이와 절연물의 복합계에서 절연내력 특성을 고찰하였다. 전극과 전극사이의 spacer는 GFRP를 사용하였다.

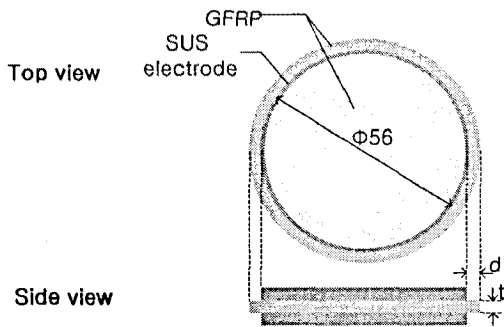


그림 1. Turn-to-turn 전극 배치.

Fig. 1. Turn-to-turn electrode arrangement.

2.2 실험방법

그림 1에 보인 전극계를 Cryostat에 넣은 후 Cryostat에 액체질소를 넣고 충분히 열적 안정을 시킨 후 AC, DC 및 Impulse 고전압 장치를 이용하여 고전압을 인가하였다. AC 전압은 60Hz, 0~100kV 전원을 사용하였으며, 1kV/sec의 속도로 전압을 인가하여 연면방전 전압을 측정하였다. DC 전압은 0~33kV 전원을 사용하였으며 AC와 동일한 방법으로 측정하였다. Impulse 전압은 0~300kV 전원을 사용하였으며, 최초 연면방전이 일어나는 전압에서 1kV씩 낮추거나 높이면서 연면방전 전압이 일어나는 전압을 측정하였다. 연면방

전은 동일한 조건에서 10회 씩 측정하였으며, 실험 결과에는 평균값, 최소값과 최대값을 나타낸다. 그림 2에 본 실험에 사용한 Impulse 전원의 사진을 나타내며, 표 1에 Impulse 전원의 사양을 나타낸다.

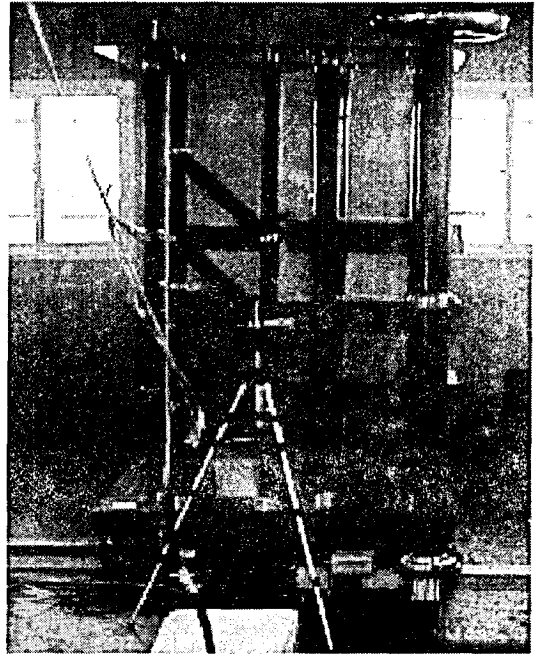


그림 1. Impulse 전원장치.

Fig. 2. Impulse equipment.

표 1. Impulse 전원장치 사양

Out voltage	300kV(85%)
Storage energy	15kJ
No. of stage	3
Wave form	1.2×50μs(20×30%)
Trigger type	절연침단방식

3. 결과 및 고찰

그림 3에 액체질소에서 AC 절연과파 전압에 미치는 전극간 간격에 대하여 나타낸다. d=0mm는 절연된 전극이 서로 접한 상태로 평균 전압은 15kV로 나타났다. d가 증가시키면 절연구성은 전극의 절연물-액체질소-전극의 절연물 복합계로 구성이 된다. 따라서 d=1mm에서는 액체질소의 절연

내력이 포함되어 전체 절연내력이 급격히 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 4에 그림 3과 동일한 전극계를 이용하여 임펄스 전압을 인가하여 절연내력을 측정하였다. 임펄스 전압을 인가한 경우 AC보다 절연내력이 높게 나타났으며, d가 증가함에 따라 AC에서 절연내력은 포화하는 경향을 나타냈지만 임펄스 전압에서는 증가하는 경향을 나타내었다.

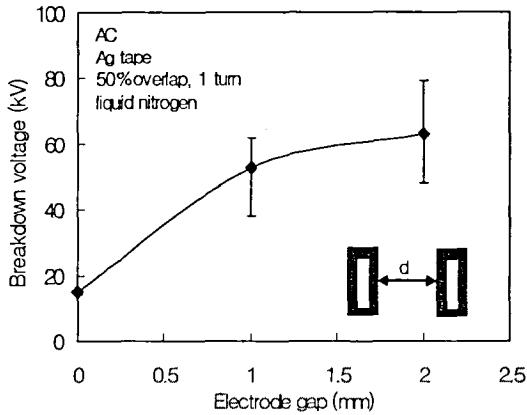


그림 3. 액체질소에서 AC 절연파괴 전압에 미치는 전극 간격의 영향

Fig. 3. Effect of electrode gap on AC breakdown voltage in liquid nitrogen.

그림 5에 Kapton tape로 절연한 전극을 이용한 전극계에서 연면거리에 따른 AC 연면방전 전압을 나타낸다. spacer가 존재하는 경우 전극간 방전이 용이하게 일어나므로 연면거리가 길어짐에 따라 연면방전 전압은 AC 뿐 아니라 Impulse 전압에서도 spacer 없는 경우보다 일찍 포화하는 경향을 나타낸다. 따라서 spacer가 있는 경우 연면거리로만으로는 충분한 절연내력을 유지하기 어렵다.

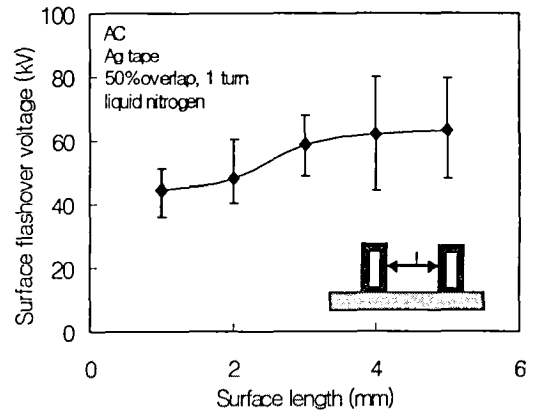


그림 5. 액체질소에서 AC 연면방전 전압에 미치는 연면 길이의 영향

Fig. 5. Effect of surface length on AC surface flashover voltage in liquid nitrogen.

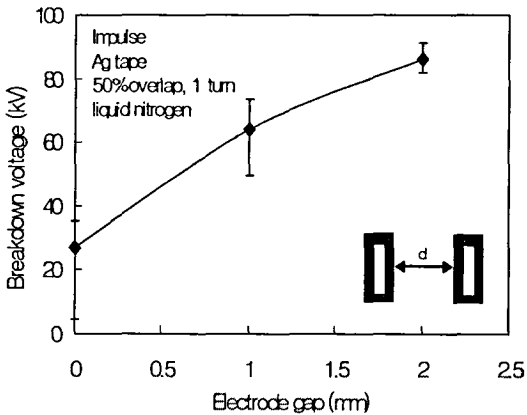


그림 4. 액체질소에서 Impulse 절연파괴 전압에 미치는 전극 간격의 영향

Fig. 4. Effect of electrode gap on Impulse breakdown voltage in liquid nitrogen.

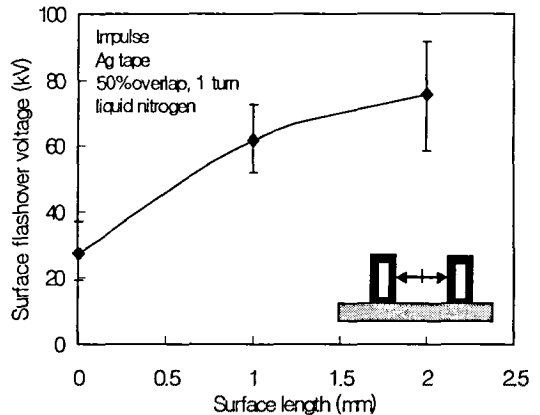


그림 6. 액체질소에서 Impulse 연면방전 전압에 미치는 연면 길이의 영향

Fig. 6. Effect of surface length on Impulse surface flashover voltage in liquid nitrogen.

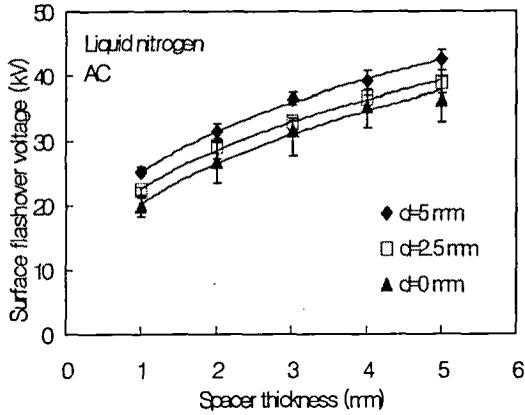


그림 7. 액체질소에서 AC 연면방전 전압에 미치는 연면 두께의 영향

Fig. 7. Effect of surface thickness on AC surface flashover voltage in liquid nitrogen.

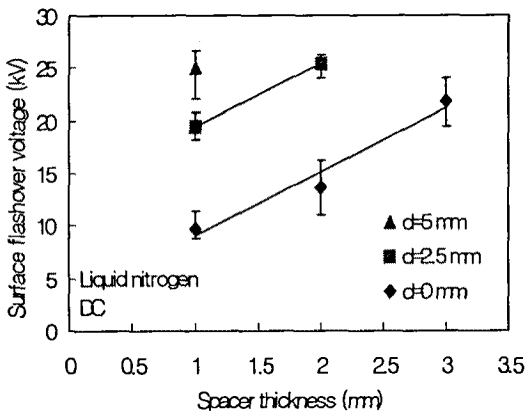


그림 8. 액체질소에서 DC 연면방전 전압에 미치는 연면 두께의 영향.

Fig. 8. Effect of surface thickness on DC surface flashover voltage in liquid nitrogen.

그림 7에 turn-to-turn 전극을 이용하여 AC 연면방전 전압을 나타내고 그림 8에 DC 연면방전 전압을 나타낸다. AC와 DC 연면방전 전압은 서로 다른 경향을 나타낸다. AC 연면방전 전압은 spacer 두께가 증가함에 따라 점점 증가하는 경향을 나타내지만 spacer 길이가 증가함에 따라 크게 증가하지 않는 경향을 나타낸다. DC 연면방전 전압은 두께가 증가함에 따라 점점 증가하는 경향을

나타내었고 AC와 달리 spacer 길이가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타낸다. 따라서 적절한 spacer 두께와 길이에 대한 연구가 더욱 필요한 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 유도형 고온초전도 한류기용 DC 리액터 턴간 절연 설계를 위해 AC, DC, Impulse 고전압에서 절연특성을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

절연된 전극간 거리가 증가함에 따라 절연내력은 증가하다가 포화하는 경향을 나타내었다. 특히, 전극이 접해있을 때는 매우 낮은 절연내력을 보였으며, 전극이 멀어짐에 따라 고분자-액체-고분자의 복합 절연계를 이루에 절연내력이 향상되었다.

Impulse 보다 AC에서, spacer가 없는 경우보다 있는 경우에 포화가 빨리 나타났다.

AC, DC 연면방전 전압에 spacer의 두께 영향이 크게 나타났으며, 두께가 일정할 경우 AC보다 DC에서 연면길이의 영향이 크게 나타났다. 따라서 절연설계 목표전압에 따라 연면길이와 두께를 적절히 고려되어야 할 것이다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] 정종만, 백승명, 김상현, "액체질소 중에서의 연면방전 특성", 전기전자재료학회논문지, 16권, 1호, p. 70, 2003.
- [2] T. Nomura, M. Yamaguchi, S. Fukui, K. Yokoyama, T. Satoh and K. Usui, "Single DC Reactor Type Fault Current Limiter for 6.6kV Power System", IEEE Tran. on App. Super., Vol. 11, No. 1, 2001.
- [3] H. Mitsui, "Review of the research and development for insulation of superconducting fault current limiters", Cryogenics Vol. 38, No. 11, pp. 1159-1167, 1998.