

고온초전도 기기를 위한 극저온 액체 중 절연물의 전기적 특성

백승명*, 광동순*, 천현권*, 최재형*, 김상현*, 김현희**
 창원전문대학, 경상대학교 및 공학연구원*, 진주국제대학교**

Electrical Insulation Characteristics of Insulators in Cryogenic Liquid for a HTS Apparatus

Seung-Myeong Baek, Dong-Soon Kwag*, Hyeon-Gweon Cheon*, Jae-Hyeong Choi*, Sang-Hyun Kim* and Hyun-Hee Kim**
 Changwon College, Gyeongsang National University and Engineering Research Institute*, Jinju International University**

Abstract : For practical electrical insulation design of high temperature superconducting (HTS) power apparatuses, knowledge of the dielectric behavior of insulators in cryogenic liquid such as liquid nitrogen (LN₂) is essential. So in this paper, we discussed experimental investigations of breakdown and V-t characteristics of several insulators such as Kapton and glass fiber reinforced plastic (GFRP) that are candidates of insulator for HTS apparatus in cryogenic liquid. And we investigated the degradation of these insulation samples after breakdown with the microscope and SEM photograph. Moreover, survival and hazard analysis were performed.

Key Words : Electrical Insulation, HTS apparatus, V-t characteristics, Survival and hazard analysis

1. 서론

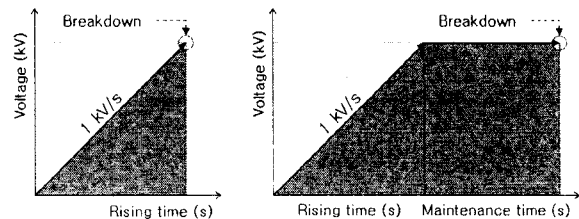
고온초전도 기기의 절연계에서 전기적 열화는 전기적 스트레스의 파형, 크기 및 시간에 의존하게 된다. 특히, 변압기의 설계에 있어 중요한 영향을 미치는 것은 도체 절연의 과전압 스트레스가 변압기 수명, 열화에 주요한 요인이 된다. 절연내력은 인가전압을 몇 가지 선택하여 그 전압에서의 파괴시간을 구하는 V-t 특성 시험을 실시하여 수명을 추정하고 있다[1]. 고온초전도 변압기의 절연설계를 위해서는 극저온 중에서 생기는 열화뿐 아니라 운전수명을 고려한 절연물의 위험성 검토에 대한 연구는 향후 초전도 변압기의 운용을 위해서는 반드시 선행되어야 한다[2].

따라서 본 연구에서는 두 가지 절연파괴 방법을 적용하여 절연파괴 및 V-t 특성을 고찰하고 확률분포해석을 통하여 위험성을 분석하였다.

2. 실험방법

전극계 구성은 Stainless 재질의 직경 7mm인 구 전극을 고전압부에 연결하고 직경 60mm인 평판 전극을 접지부에 연결하였으며, 두 전극사이에 절연물을 넣어 전압을 인가하였다. 절연파괴 시험에 사용한 절연물은 캡톤(Kapton) 필름을 비롯하여 노멕스(Nomex), 프레스보드(Pressboard; PB), PPLP, 크라프트(Kraft), GFRP 그리고 PET 모두 7가지를 선택하였다.

그림 1에 (a)와 (b) 전압인가 방법에 따른 절연파괴 시점을 각각 나타낸다. 절연파괴 전압 값을 이용하여 극저온에서 절연파괴특성을 고찰하고 확률 분포해석을 통하여 신뢰도와 고장률 등 위험성을 분석하였다.



(a) 절연파괴까지 상승 (b) 일정전압 상승 후 유지
 그림 1. 절연파괴까지 전압 인가방법.

3. 결과 및 고찰

3.1 절연파괴 및 V-t 특성

표 1에 각 절연물의 절연파괴 전압을 나타낸다. 각 절연물의 두께를 동일한 것에서 고찰이 필요하지만 실제 생산과 사용되는 치수를 고려할 때 액체질소 중의 극저온 환경에서 캡톤 필름과 PPLP가 높은 절연성능을

표 1. 절연물의 절연파괴 전압.

Materials	Thick. (mm)	Sam. (NO)	Min. BDV (kV)	Max. BDV (kV)	Ave. BDV (kV)	Ave. E (kV/mm)
Kapton	0.12	10	16	17.7	17.2	143.0
Nomex	0.065	10	5	6.8	5.8	89.5
PB	1	10	29	35.3	33.2	33.2
PPLP	0.119	10	12.9	15	13.9	116.6
Kraft	0.2	10	10.2	13.7	12.5	62.4
GFRP	1	10	28.2	31.3	29.2	29.2
PET	0.1	10	11.4	15.2	13.8	138

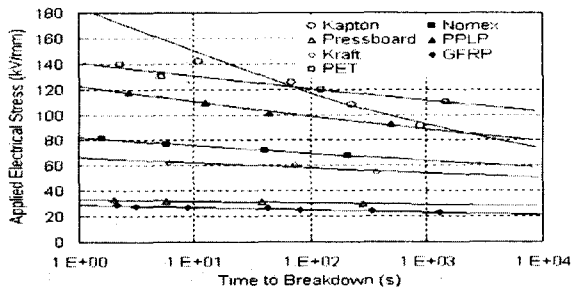
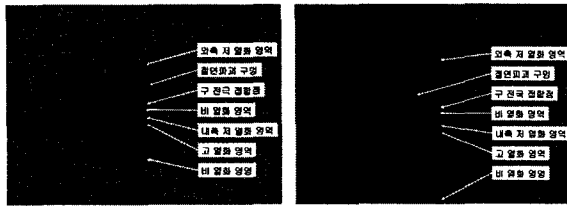


그림 2. 절연물의 V-t곡선.



(a) BDV=11kV, t=568s (b) BDV=15kV, t=75s

그림 3. 캡톤 필름의 열화 후 절연파괴 흔적.

가지는 것을 알 수 있다. 그림 2에 각 절연물의 시간에 따른 절연파괴 강도를 나타낸다. 극저온 절연용으로 많이 사용되는 캡톤 필름은 단시간 절연파괴에서는 우수한 특성을 나타내었지만 장기간 절연파괴에서는 나빠지는 경향을 나타내었다. 고온초전도 기기의 실용화를 위해서는 극저온에서 특성이 우수한 절연물의 선택과 개발이 필요하다.

그림 3에 (a)에 캡톤 필름에 11kV 전압을 인가하여 568초 후와 (b)에 15kV 전압을 인가하여 75초 후에 열화 및 절연파괴 흔적을 나타낸다. 전압이 낮을 때는 열화를 장시간 받은 고 열화 영역이 넓고 뚜렷하고 내, 외부 저 열화 영역은 작은 적으로 나타났지만 전압이 높을 때는 고 열화 영역과 외측 저 열화 영역의 경계가 뚜렷하지 않고 나뉘가지 형상을 하며 외측으로 진전하는 차이점을 나타내지 않는다. 절연파괴 구멍은 고 열화 영역에서 발생하였다. 다른 고분자 절연물도 이와 유사한 열화 흔적을 나타내지만 절연지는 열화흔적이 거의 발생하지 않고 절연파괴 구멍만 관찰되었다.

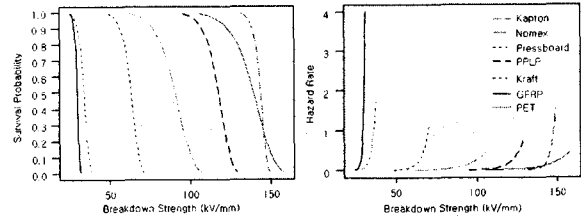
3.2 생존확률 및 위험을 분석

확률 분포는 통계에 중요한 개념으로 이론적인 수준뿐만 아니라 실용 단계도 사용할 수 있다. 확률 분포는 일반적으로 확률 밀도 함수에 의하여 규정되고 생존 확률과 위험율은 신뢰도의 색인으로 사용할 수 있다.

그림 4에 절연파괴 전압에 따른 각 절연물의 생존 확률과 위험율을 나타낸다. 위험율은 완만하게 증가함을 알 수 있다. 절연물에 따라 확률밀도의 분포가 다르게 분포하고 있음을 알 수 있다.

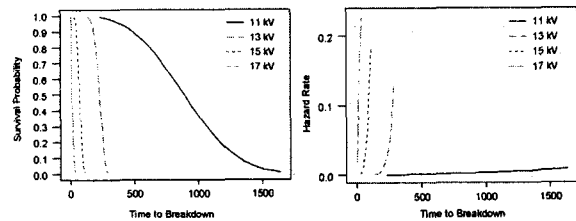
그림 5에 캡톤 필름의 인가한 전압의 시간에 따른 절연파괴 값을 이용한 생존확률과 위험율을 나타낸다. 인가전압이 낮을수록 절연파괴에 도달하는 시간은 증가하

고 이에 따라 확률밀도는 낮아지고 시간 범위는 넓어진다. 생존확률은 인가전압이 낮을수록 완만하게 감소하고 위험율은 완만하게 증가하는 경향을 나타내고 있다.



(a) Survival probability (b) Hazard rate

그림 4. 절연물의 절연파괴 전압 값을 이용한 확률분포.



(a) Survival probability (b) Hazard rate

그림 5. 캡톤 필름의 인가전압의 시간에 따른 절연물의 절연파괴 전압 값을 이용한 확률분포.

4. 결론

절연물들 중 평균 전계 값에서는 캡톤이 가장 높게 나타났고 GFRP가 가장 낮으며 노멕스는 단, 장시간 절연파괴 특성은 우수하였으나 열화의 영향이 큰 캡톤은 장시간 절연파괴 특성은 나빠지는 경향을 나타내었다. 캡톤과 같이 고분자 절연물은 낮은 전압에서는 열화가 심하고 고 열화 영역이 저 열화 영역과 뚜렷한 경계를 나타내었지만 높은 전압을 유지한 경우 열화 경계가 명확하지 않으며 고 열화 영역과 저 열화 영역이 넓게 분포하였다. 확률분포해석을 통해 절연물의 안전성을 판별하는 방법을 도입하여 평가하였다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] H. Borsi, IEEE Transactions on Electrical Insulation [see also IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation], Vol. 28, pp. 1007-1015, 1993.
- [2] M. Arshad, S.M. Islam, 2004 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Vol. 2, pp. 625-628, 2004.