

절연 파괴 특성을 이용한 에폭시 복합체의 절연 신뢰도 평가

Evaluation of Insulating Reliability in Epoxy Composites by Dielectric Breakdown Properties

신철기^{○*}, 김용연^{**}, 심재환^{**}, 박건호^{*}, 이준웅^{*}
* 광운대학교 전기공학과
** 시립인천전문대학 통신과

Chul-Ki Shin^{○*}, Jai-Hwan Sim^{**}, Yong-Yeon Kim^{**},
Geon-Ho Park^{*}, Joon-Ung Lee^{*}
* Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.
** Dept. of Communication Eng., Junior Colle. of Incheon

ABSTRACT

In order to evaluate insulating reliability in epoxy composites, breakdown data were experimented in the temperature range of 20[°C]~160[°C]. From these data, various parameters which are used in Weibull distribution could be derived, and using them, the reliability on a breakdown probability was calculated.

절연 파괴 데이터를 가지고, 데이터 처리에 이용되는 화률 분포 즉, 와이블 분포, 정규 분포, 지수 분포, 감마 분포 등 여러 가지 중에서 수명 평가나 파괴 통계에서 주로 이용되는 와이블 분포식을 이용하여 임의의 허용 파괴 화률에서의 허용인가 전계의 값을 추정하여 절연 안전성을 판단하기 위하여 장년 열화(經年劣化) 데이터의 통계 처리 방법을 제안하고자 하였다.

2. 실험

1. 시 문

현재 이뤄지고 있는 전력 분야에서의 개통의 초고압화 및 재관 송배전 개통의 안정성을 도모하기 위하여 여러 가지 연구가 수행되고 있으며, 고전압 또는 고전계의 기술에 있어서 절연 파괴 전압이나 임의의 일정 전압이 인가될 때, 수명 시간에 관한 데이터는 매우 중요하고 특히 절연 진단 시에 비절연 파괴와 절연 파괴 사이에 관계를 나타내는 데이터 또한 중요하다. 그러나, 이들 수명 시간 및 절연 파괴에 관한 데이터는 일반적으로 산만하고 흐트러져 있어서 일정(一定)한 통계 처리를 행하여 정량적(定量的)으로 평가할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 송배전 개통에서 변성기의 몰드 재료로서 널리 사용되고 있는 에폭시 수지를 시료로 하여 선정해 놓은 배합비에 의해 5종으로 제작한 각 시편에 대해 절연 파괴 실험을 하여 얻어지는

2-1. 시용 시료

본 논문에서 사용된 시료는 상온에서 액상인 비스페놀 A형(Bisphenol A type)인 에폭시 수지와 산무수물 개통의 경화제인 MeTHPA(Methyl Tetra Hydro Phthalic Anhydride)를 임의의 일정 배합 비율로 하여 1차 경화(100[°C], 2[hr]) 및 2차 경화(140[°C], 6[hr])를 각각 시켰으며 유연제인 DY 040을 5 [wt%] 첨가하여 충격 강도와 인장 강도를 개선시켰고, 기계적 및 열적 특성을 보완하기 위하여 충전제로 실리카(SiO₂)를 첨가하였다. 또한, 충전제의 표면 처리에 쓰이는 계면 결합제로서 아미노 실란 개통을 사용하여 제조하였다. 표 1에 시편의 조성비를 나타내었다.

표 1. 시편의 조성비 [wt%]

Samples	Epoxy	Hardener	DY 040	Filler	Curing Condition
H 80FN	100	80	5	0	▶ 1st Curing: 100 [°C] × 2 [hr]
H 90FN	100	90	5	0	
H100FN	100	100	5	0	
H100F60	100	100	5	60	▶ 2nd Curing: 140 [°C] × 6 [hr]
SH100F60	100	100	5	60	

2-2. 실험 방법

2 2 1. 전연 파괴 실험

전연 파괴 실험 장치는 그림 1과 같이 구성되어 연면 방전을 방지하기 위하여 탈기 처리한 실리콘 오일 중에서 온도 범위 20[°C]~160[°C]로 변화시키면서 직류 전압의 승압 속도를 1[kV/sec]로 하여 전연 파괴가 일어날 때까지 승압하면서 측정하였다. 그리고 측정 횟수는 동일 조건에서 10개의 시편을 취하여 그 평균 값을 파괴 전압으로 하였다.

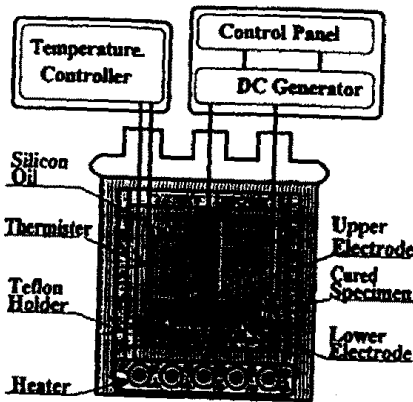


그림 1. 실험 장치

2 2 2. 와이볼 분포 시뮬레이션

다음의 그림 2는 에폭시 복합체의 전연 파괴 데이터를 이용하여 인가 전계에 대해 파괴 확률을 추정하기 위하여 수행된 절차를 나타낸 알고리즘이다.

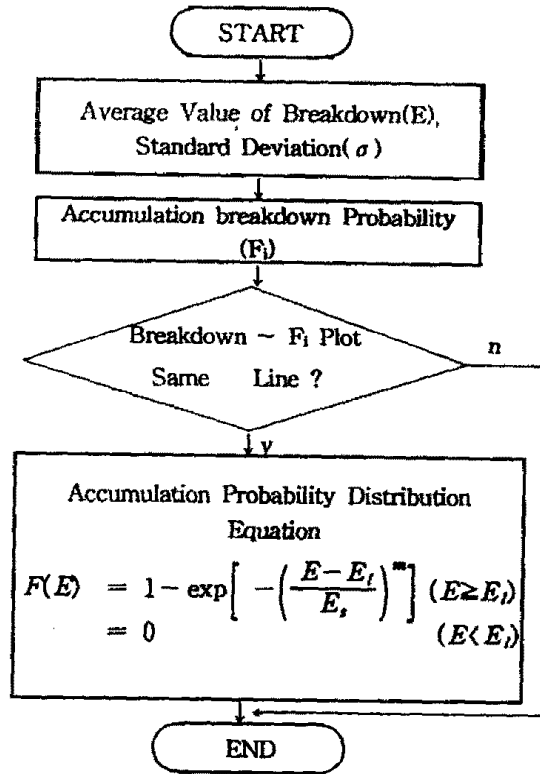


그림 2. 와이볼 분포 시뮬레이션의 알고리즘

3. 결과 및 검토

3-1. DC 전연 파괴 특성

그림 3은 2차 경화시킨 각 시편들의 DC 전연 파괴 강도를 나타내고 있다. 저온에서는 경화제 비율이 증가할수록 파괴 강도가 높아지며, 110[°C] 부근에서 급격히 파괴 강도가 저하하고 있음을 확인할 수 있는데 이것은 이 온도 부근이 분자 운동이 활발해지는 유리 전이 온도(T_g) 근처임을 암시하고 있는 것이고, 또한 90[°C] 이하의 저온에서 경화제 함량 비율이 높은 순서로 파괴 강도가 높아지는 것은 경화제 증가에 따라 에폭시 경화물의 에스터화가 증대되어 가교 밀도가 높아지면서 전연 내력이 커져서 높은 전연 파괴 강도를 나타내는 것으로 사료되고, T_g점을 지난 고온 부에서는 에스테르기가 일 분해되기 쉬우며 경화제의 잔여량이 많을수록 시료 내부에 자유 체적을 많이 점유하여 오히려 전연 강도를 저하시켜서 경화제 비율이 적은 시료가 높은 파괴 값을 보이는 것으로 여겨진다.

충진제를 첨가한 시료는 무충진 시료에 비해 전체적인 파괴 값이 낮게 나타났는데, 이것은 에폭시와 실리콘 카 사이에 집합 계면이 형성되어 전계가 계면으로 집중되기 때문에 전자가 가속되어 전자 사태를 유발시키는 것으로 사료된다.

한편 실란 처리를 하여 계면 집합 상태를 개선시킨

상수에는 충전제 만을 첨가한 시료에서 보다 더 높은 파괴 강도를 보이고 있는데, 이는 실란 처리를 통해 전기 절연에서 약점에 해당하는 계면의 성장을 억제할 수 있어서 결국 전기 절연 내력을 크게 하는데 작용하는 것으로 여겨진다.

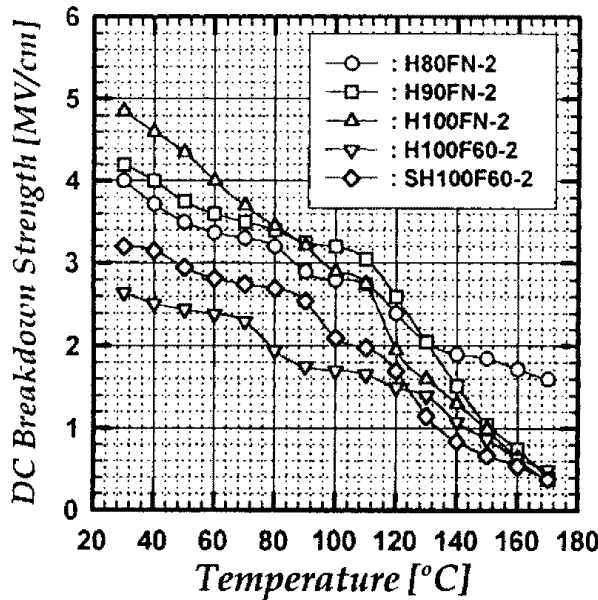


그림 3. 각 시편들의 DC 절연 파괴 강도

3-2. 와이בל 확률 분포

DC 절연 파괴 실험을 통해 얻은 각 파라미터 값 이들을 이용하여 시뮬레이션을 한 결과 다음의 표 2와 같은 허용인가 전계값을 구하였다.

표 2. 절연 파괴 데이터로부터 구한 각 요소값

Samples	Shape Parameter (m)	Measuring Parameter (E_s)	The Values of Applied Field (Allowed Breakdown Probability = 0.1(%))
H80 FN 2nd	3.73	124	19.46[MV/cm]
H90 FN 2nd	3.47	155	21.17[MV/cm]
H100 FN 2nd	3.44	159	21.34[MV/cm]
H100 F60 2nd	3.42	161	21.36[MV/cm]
SH100 F60 2nd	2.83	246	21.43[MV/cm]

여기서 허용인가 전계값은 허용 파괴 확률을 0.1[%]로 하였을 때 구한 값인데, 이들로부터 경화제의 첨가량이 많을수록 허용인가 전계값은 증가하며,

충전제를 첨가한 경우를 고려하면 충전제 첨가시의 허용인가 전계값이 실란 처리를 했을 때 보다 더 높게 나타났는데 이는 전 항에서 살펴보았던 절연 파괴 특성에서 나타나는 결과와 잘 부합하고 있으며, 이 때의 허용인가 전계값은 21.5[MV/cm] 이하가 되어야 한다.

4. 결 론

실정한 계획에 의해 제작한 에폭시 복합체를 실리콘 오일 중에서 온도 범위 20[°C]~160[°C]로 변화시키면서 저유 전압의 승압 속도들[1[k/sec]로 하여 절연 파괴가 일어날 때까지 승압하면서 절연 파괴 실험을 통하여 얻은 데이터를 이용하여 절연 진단 분석을 한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 경화제 비율이 증가할수록 에폭시 경화물의 에스터화가 증대되어 가고 밀도가 높아지면서 저온에서는 파괴 강도가 높아지며, 110[°C] 부근이 분자 운동이 활발해지는 유리 전이 온도(T_g) 근처이기 때문에 고온에서는 급격히 파괴 강도가 저하하고 있는 것으로 사료된다.

2) 충전제를 첨가한 경우 에폭시와 실리카 사이에 접합 계면이 형성되어 전계가 계면으로 집중되기 때문에 전자가 가속되어 전반적인 파괴 강도는 무충전제에 비해 전체적으로 낮게 나타났으며, 실란 처리를 했을 때에는 계면 접합 상태가 개선되기 때문에 충전제만을 첨가한 시료에서 보다 더 높은 파괴 강도를 나타내었다.

3) 와이בל 분포의 분석을 통하여, 기기 절연의 허용 파괴 확률을 0.1[%] 이하로 낮추기 위해서는 허용인가 전계값이 21.5[MV/cm] 이하가 되어야 함을 추론할 수 있었다.

REFERENCE

- [1] T. Takahama, O. Hayashi, F. Sato, "Electric Strength of Epoxide Resins and its Relation to Structure", J.Appl. Poly.Sci., Vol.26, pp.2211-2220, 1981
- [2] L. Simoni, "A General Approach to the Endurance of Electrical Insulation under Temperature and Voltages", Colloid & Polymer Sci., 260, pp.297-302, 1982
- [3] R. Schifani, "Surface Discharge Effects on Dielectric Properties of Epoxy Resins", IEEE Tran. Elect.Insul., Vol.EI-18, pp.504-512, 1983
- [4] S. S. Sastry, G. Satyanandam, "Effects of Fillers on Electrical Properties of Epoxy Composites", J. Appl.Poly. Sci., Vol.26, pp.1607-1615, 1988
- [5] J. J. O'Dwyer, "The Theory of Electrical Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics", Clarendon Press, Oxford, 1973