

센서용 에폭시 수지의 제조조건 변화에 따른 특성

신철기, 성낙진*, 김상진*, 왕종배**

부천대학, *시립인천전문대학, **한국철도기술연구원

A Study on the Properties of Epoxy used for Sensor due to Variation of Fabrication Conditions

C-G Shin, N-J Sung*, S-J Kim*, J-B Wang**

Bucheon College, *Incheon City College, **KRRI.

Abstract : The Breakdown properties of epoxy composites are used for transformers and sensor, which has been studied. As a result, From the measurements of breakdown voltage, the more hardener is increased the stronger breakdown strength at low temperature because the ester of hardener is increased. Breakdown strength at the high temperature is decreased because the temperature at 110°C is near at T_g . When the filler is added, between epoxy and silica is formed interface. Therefore the charge is accumulated in it, and the electric field is concentrated, and breakdown strength is decreased than non-filled specimens. In the case of specimens, the treated with silane, the breakdown strength becomes much higher since this is suggested that silane coupling agent has been improved chemical bonding in the interfaces and has been relaxed the electric filed concentration.

Key Words : Epoxy resin, silane, breakdown strength, filler

1. 서 론

센서 기술의 발전과 그 재질 및 특성 향상에 따라 에폭시 수지가 모든 분야에서 광범위하게 이용되게 되었으며, 또한 절연 구성의 고전계화에 대처하기 위해서는 전기 절연성에 대한 미시적 관점의 물성론적 해석이 선행되어야 한다. 고전압 또는 고전계 및 센서용 기술에 있어서 절연파괴 전압이나 임의의 일정 전압이 인가될 때 비절연 파괴와 절연 파괴 사이의 관계를 나타내는 데이터 또한 중요하다. 따라서 본 연구에서는 송배전 계통에서 변성기의 월드 재료로서 널리 사용되고 있으며 센서용 물당 재료로 널리 이용되고 있는 에폭시 수지를 시료로 하여 설정해 놓은 배합비에 의하여 제작한 각 시편에 대해 절연 파괴 실험을 하여 제조조건 변화에 따른 에폭시 수지의 특성을 분석해 보고자 한다.

2. 실험

실험을 위한 시편은 표 1의 배합비에 맞게 혼합하여 진공 가열 교반 장치에 넣고 80°C에서 10^{-1} Torr에서 30 min 교반하여 각 재료들을 균일하게 혼합시켜 제조된 액상의 에폭시 혼합물을 미리 만들어둔 Molder에 직경 4 mm ϕ 의 구를 넣고 부은 후에 100°C에서 4시간동안 1차, 140°C에서 8시간동안 2차 경화를 시켜 시편을 제작하였다 (무충진 시편). 실란처리한 충진시편의 제조방법은 우선 실리카를 500°C에서 5시간 고온처리하여 각종 불순물을 제거한 후 실란 계면 결합제를 처리하여 80°C에서 4시간 건조시킨다. 이 실란처리한 충진제를 액상의 에폭시 수지와 중량 비율로 혼합한 후 진공 가열 교반장치에 넣고 80°C에서 1시간 교반하여 충진제를 균일하게 분산시킨다. 이후에 경화제와 유연제 등을 넣고 진공탈포 시킨 후 무

충진 시편에서와 같은 온도로 1차, 2차 경화를 행하여 시편을 제작하였다.

표 1. 시료의 조성비 및 경화조건.

시료명	에폭시	경화제	충진제	경화조건
EH80FN	100	80	0	-혼합- 80[°C], 30[min]
EH90FN	100	90	0	
EH100FN	100	100	0	
EH100F55	100	100	55	-1차 경화-
EH100F60	100	100	60	100[°C], 4[hr]
EH100F65	100	100	65	-2차 경화-
EH100F55#	100	100	55	140[°C], 8[hr]
EH100F60#	100	100	60	#:계면처리
EH100F65#	100	100	65	

3. 결과 및 검토

그림 1은 무충진 시편의 경화제 비율 변화에 따른 DC 절연파괴의 온도의존성을 나타내고 있다. 저온에서는 경화제 비율이 증가할수록 파괴강도가 높아지며, 90°C와 120°C사이에서는 급격히 파괴강도가 저하하다가 120°C이상의 고온부근에서는 경화제 비율이 적은 시료가 높은 파괴강도를 나타내고 있다. 90°C와 120°C 사이의 급격한 파괴강도의 저하는 이 온도 부근이 분자운동이 활발해지는 T_g 점 근처이기 때문이라 생각된다. 그림 1에서 경화제 함량증가에 따라 에폭시 경화물의 에스터화가 증대되어 높은 가교밀도를 이루면서 주절연을 담당하여 상온에서 높은 파괴강도를 나타내고 있다. T_g 점을 지난 고온부에서는 에스테르기가 열분해 되기 쉽고, 과잉경화제는 시료내부에 자유체적을 많이 점유하여 이때는 오히려 절연강도를 저하시키는 것이라 생각된다. 그림 2는 경화제를 중량비로 100phr 첨가한 시편에 충진제 비율을 55, 60, 65phr

로 변화하여 첨가한 경우의 DC 절연파괴의 온도의존성을 나타내고 있다. 충전제의 첨가로 전체적인 파괴강도는 저하하면서, 온도에 따른 급격한 파괴강도는 둔화되어 전반적으로 온도의존성이 무충진 시편의 경우보다 약하게 나타났으며, 충전제 첨가량 증가에 따라 파괴강도가 저하됨을 알 수 있는데, 이는 전기적 약점인 계면의 증가와 전체의 계면 집중현상으로 인해, 전자의 가속과 전자사태의 성장이 빨라져 절연파괴의 강도가 저하하는 것이라 생각된다.

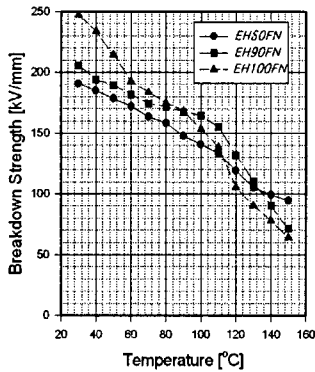


그림 1. 무충진 시편의 경화제 변화에 따른 절연파괴

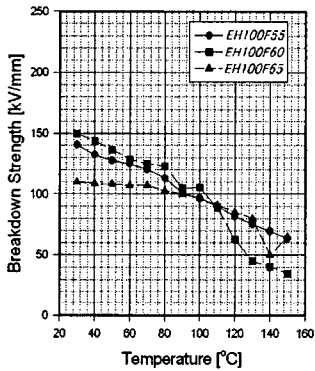


그림 2. 충전제 변화에 따른 절연파괴

그림 2 에서 충전제 함량 60phr의 시편이 저온에서 양호한 파괴강도를 나타내고 있으며 충전제 함량 65phr의 경우 과도한 충전으로 인해 파괴강도가 낮게 나타나고 있다. 한편, 충전제 함량 55phr의 경우 과잉된 경화제가 불순물로 작용하여 계면에 집중되고 이것이 열에 의해 분해되어 이온화됨으로써 계면결합 상태를 저해하므로 파괴강도를 크게 낮추고 있음을 알 수 있다. 그림 3은 유기물인 에폭시와 무기물인 실리카 사이의 계면접합 상태를 개선시키기 위해 실란처리한 시편의 충전제 변화에 따른 DC 절연파괴 강도로서 충전제를 65phr 첨가한 경우 실란처리를 통해 계면의 결합상태가 개선되고 전계집중을 완화하여 파괴강도가 크게 향상되었음을 알 수 있다. 충전제를 55phr 첨가한 시편은 실란처리를 하여도 파괴강도가 더욱 낮아지고 있음을 볼 수 있는데, 이는 과도한 경화제가 계면사이의 결합상태를 저해하거나 계면처리가 단분자충이 아닌 다분자충을 이루어 과잉실란이 불순물로 작용하여

파괴강도를 낮추는 것이라 생각된다. 또한 온도상승에 따른 계면의 열열화로 열에 취약한 실란(인화점 128°C)의 분해 가스가 계면부근의 공극에 집중되어 축매효과와 확산작용의 상호작용 등으로 더욱 계면부근의 분해를 촉진시키는 결과로 인해 파괴강도는 낮아진다. 따라서 충전제 비율 65phr가 실란 계면결합제 농도 1.5phr에서의 최적 충전제 첨가량임을 알 수 있다.

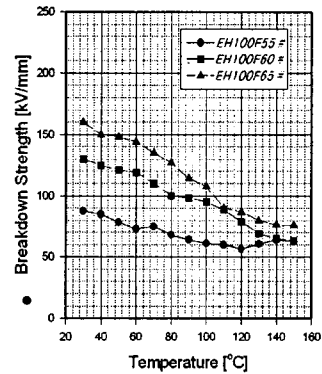


그림 3. 실란처리한 시편의 충전제 변화에 따른 절연파괴

4. 결론

가. 경화제 배합비의 증가는 망목상의 에스테르 구조를 증가시켜 저온부의 DC 절연파괴 강도를 향상시키지만, 고온부에서는 과잉경화제의 열분해로 인해서 경화제 배합비가 증가하므로 절연파괴 강도가 저하하였다.

나. 충전제의 첨가는 전반적인 파괴강도는 무충진 시편보다 저하하였지만, 고온에서는 충전제의 우수한 열방사 능력으로 인해, T₀에서의 급작스런 파괴강도 저하를 둔화시키고, 고온부의 DC 절연파괴 강도가 향상되었다.

다. 실란 계면결합제 처리는 내부구조의 계면부정을 개선시켜, DC 절연파괴 특성의 향상을 가져왔다. 따라서, 본 연구에서 적용한 제작공정을 거쳐 경화제 비율 100phr로 실란처리된 충전제 비율 65phr로 배합하여 1차경화 100°C에서 4시간 2차경화 140°C에서 8시간으로 경화된 EH100F65# 시편에서 최적 조건을 찾을 수 있었다.

참고 문헌

- [1] S. S. Sastry, G. Satyanandam, "Effects of Fillers on Electrical Properties of Epoxy Composites", J. Appl. Poly. Sci., Vol.26, pp.1607-1615, 1988
- [2] W. R. Ashcroft, "Curing Agents for Epoxy Resins - Chemistry and Technology of Epoxy Resins, Bryan Ellis, Edit.", blackie Academic & Professional, pp.37-71, 1993
- [3] R. Rygal et al., "The Influence of the Filler Characteristics on the Surface Resistivity of Epoxy Composition Applied in SF Insulation System", Conf., Rec., 1992 IEEE Inter. Symp. Insul., Baltimore, U.S.A, Jun, pp.279-282, 1992
- [4] "誘電體現象論", 日本電氣學會, pp.71-152, 1985