

첨가제 및 경화조건 변화에 따른 에폭시 복합체의 DC 절연파괴특성에 관한 연구

정 규희*, 최 운식*, 왕 종배*, 김 홍철**, 이 준웅*
 * 광운대학교 대학원 전기공학과 ** 명지실업 전문대학 전기과

DC Dielectric Breakdown Properties of Epoxy Composites with Variation of Additives and Curing Conditions

Kyu-Hee Chung*, Woon-Shik Choi*, Jong-Bae Wang*, Hong-Chul Kim**, Joon-Ung Lee*
 *Dept. of Elec. Eng. Grad., Kwangwoon Univ. ** Dept. of Elec. Eng., Myungji Coll.

ABSTRACT

DC dielectric breakdown properties of epoxy composites with various additives rates and curing conditions were investigated at the temperature range from 20[°C] to 180 [°C].

At low temperature an improvement of the characteristics is observed due to curing agents. The additions of filler is lower the temperature dependences of the breakdown strength. Samples treated with silan have a higher breakdown strength than non-treating filled samples.

I. 서 론

현재, 에폭시 수지는 발전기, 전동기와 같은 대형 회전기에서부터 물드형 변압기와 변성기류, 부상, 애자 및 각종 전자소자 분야에 이르기까지 고분자 전기절연 재료로서 널리 사용되고 있다. 뛰어난 전기적 특성, 기계적 강도, 내열성 및 내부식성을 지니며 또한 작업의 용이성까지 갖춘 에폭시 복합재료의 개발로 에폭시 수지 단독으로는 가질 수 없었던 다양한 전기적, 물리적 요구특성을 만족시킬 수 있게 되었다[1].

에폭시 복합체의 전기적, 물리적 특성은 수지와 경화제 그리고 충전제의 형태 및 경화조건에 크게 의존한다[2]. 따라서 경화제와 충전제의 배합비 및 경화조건을 조절함으로써 전기 절연재료로서 요구되는 제특성을 갖춘 에폭시 복합체의 연구에 많은 관심과 노력이 집중되고 있는 실정이다.

본 연구는 물드용 에폭시 복합체 개발을 위한 기반 물성 연구로서, 액상인 bisphenol A형 epoxy를 매트릭스로 하여 산 무수물 계통의 경화제 및 실리카 충전제의 배합비와 경화조건을 조절하여 에폭시 복합체를 제작하였다. 또한 실란으로 계면처리한 시편과 무처리 시편에 대해 DC-절연파괴강도를 측정하여 에폭시 매트릭스와 충전제 사이의 계면상태 및 사용환경조건에 영향을 검토하였다.

II. 실험

II-1. 사용시료

본 실험에 사용된 시료로는 먼저 고온 경화용 주형 수지로 상온에서 액상인 비스페놀-A형 에폭시 수지(Araldite F)와 가사시간이 길고 반응시 발열량이 적은 산 무수물 계통의 경화제인 TPHA를 사용하여 100 [°C]에서 4시간 1차 경화한 후, 140 [°C]에서 6시간 2차 경화를 하였다[3]. 한편 복합체의 기계적 특성과

열특성 개선 및 제작단가의 절감을 위해 실리카 충전제가 배합되었는데, 충전제의 입경은 9.5~38[μm]이고, 비표면적은 0.08 [m²/g]이다. 또한 유기질인 에폭시 수지와 무기질인 실리카 사이의 결합상태를 개선하기 위하여, 아미노 실란계의 계면 결합제(KBM 603)를 몰두엔 수용액에 1% 농도로 희석하여 실리카 표면을 실란 처리 하였다[4].

II-2. 시편제조

에폭시 복합체의 전기적·물리적 특성은 수지와 경화제 그리고 충전제의 형태 및 경화조건에 크게 의존하므로, 본실험에서는 경화제와 충전제의 배합비 및 경화조건을 표1과 같이 조절하였다. 그리고 이들 조건변화로 부터 우수한 DC-절연파괴특성을 가지는 에폭시 복합체를 개발하기 위하여 그림 1과 같은 제조공정을 통하여 시편을 제작하였다. 시편의 형상은 그림 2와 같이 상부전극으로써 직경 4[mm]의 스테인레스 강구를 두께 3[mm]인 에폭시에 매입하였고 전극간의 거리는 200[μm]로 하였다.

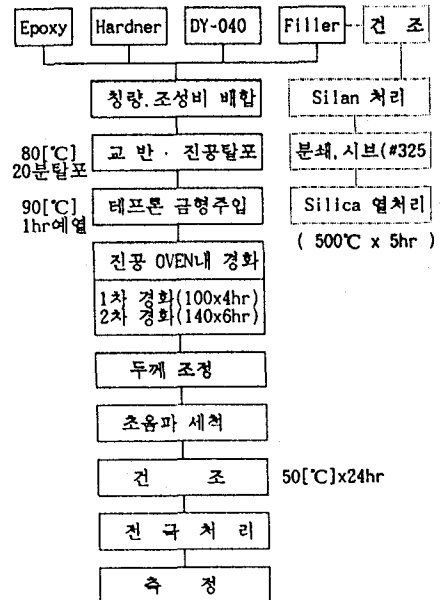


그림 1. 시편 제조 공정도

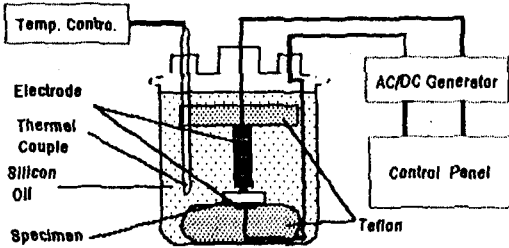
표 1. 배합비 조성표
(중량비)

구분	Epoxy	Hardner	DY-040	Filler
H8FN	100	80	5	0
H8F60	100	80	5	101
SH8F60	100	80	5	101
H9FN	100	90	5	0
H9F60	100	90	5	117.6
SH9F60	100	90	5	117.6
H10FN	100	100	5	0
H10F60	100	100	5	123
SH10F6	100	100	5	123

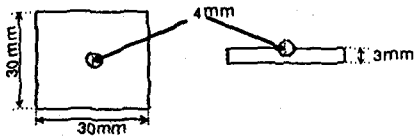
* Filler 량 = (E + H + D) × 0.6
 * 경화조건 - 1차 경화 100[°C] × 4 시간
 - 2차 경화 140[°C] × 6 시간

II-3. 측 정

에폭시 복합체의 DC-절연파괴특성을 조사하기 위하여 사용된 고전압 실험장치는 Pulse Engineering Co. Ltd에 DC/AC 고전압 발생장치이며 구성은 그림 2과 같다. 인가전압은 DC 양극성으로 승압속도를 1[kV/sec]로 하여 파괴가 일어날 때까지 승압하였다. 실험은 연면방전을 방지하기 위하여 탈기처리한 실리콘오일중에서 행하였고, 측정횟수는 동일조건에서 10개의 시편을 위하여 그 평균값을 파괴전압으로 하였다. 한편, 온도범위 20[°C]~180[°C]에서 DC-절연파괴특성의 온도의존성을 조사하였다.



(a) 측정장치



(b) 시편의 형상

그림 2. 측정장치 구성 및 시편의 형상

III. 결 과

그림 3은 무충진 시편의 경화제 비율에 따른 절연파괴의 온도의존성을 보여주고 있다. 저온에서는 경화제 비율이 증가할수록 파괴강도가 높아지며, 90[°C]와 120[°C]사이에서는 급격히 파괴강도가 저하하다가 120[°C] 이상의 고온에서는 경화제 비율이 적은 시료가 높은 파괴강도를 나타내고 있다. 여기서 90[°C]에서 120[°C]사이의 급격한 파괴강도 저하는 이 온도부근이 분자운동이 활발해지는 T_g 근처임을 알려주고 있다. T_g점을 지난 고온부에서의 파괴강도의 역전은 열에 약한 과잉된 경화제의 열분해에 의한 파괴강도 저하로 볼 수 있다.

그림 4는 60%의 충진제를 함유한 시편의 경화제 비율에 따른 절연파괴의 온도의존성을 보여주고 있다. 경화제 비율에 따른 파괴 강도의 변화는 그림 4와 같은 양상이지만, 충진제의 첨가로 인해 전체적인 파괴 강도는 저하하면서 온도에 따른 급격한 강도저하는 둔화되어 전반적으로 온도의존성이 약하게 나타났다.

그림 5는 실란처리된 60% 충진 시편의 경화제 비율에 따른 절연파괴 강도로서 H10-F60시편을 제외하고는 실란처리를 통해 파괴강도가 향상되었음을 볼수있다. 특히 H9-F60의 경우 현저하다.

그림 6, 7, 8은 무충진, 실란무처리 그리고 실란처리한 시편의 파괴 강도를 비교한 것이다. 경화제 첨가 비율이 80%와 90%인 시편에서는 충진제의 첨가로 인해 전반적인 파괴 강도는 저하하였지만 온도상승에 따른 파괴강도저하는 둔화되어 온도의존성이 약화되었음을 알수있다. 또한 실란의 처리로 인해 계면사이의 결합상태가 개선되어 파괴강도가 향상되었다. 경화제를 100%첨가한 시편은 파괴강도가 더욱 낮아지고 있음을 볼수있는데 이는 과도한 경화제가 계면사이의 결합상태를 저해하거나, 이것이 분해되어 불순물로 작용 파괴강도를 낮추는 것으로 여겨진다[5].

IV. 결 론

우수한 DC-절연파괴특성을 가지는 에폭시 복합체를 개발하기 위하여 경화제와 충진제의 배합비 및 경화조건을 변화시켜 시편을 제작, 온도범위 20[°C]~180[°C]에서 DC-절연파괴특성의 온도의존성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 저온에서는 경화제 비율이 증가할수록 파괴강도가 높아지며, 90[°C]와 120[°C]사이에서는 급격히 파괴강도가 저하하다가 120[°C] 이상의 고온에서는 경화제 비율이 적은 시료가 높은 파괴강도를 나타내었다.

둘째, 60%의 충진제를 함유한 시편의 경화제 비율에 따른 절연파괴의 온도의존성은 충진제 첨가로 인해 전체적인 파괴 강도는 저하하면서 온도에 따른 급격한 강도저하는 둔화되어 전반적으로 온도의존성이 약하게 나타났다.

셋째, 실란처리된 60% 충진 시편의 경화제 비율에 따른 절연파괴 강도는 적절한 실란처리를 통해 향상되었음을 볼수있다.

넷째, 경화제의 과잉첨가는 파괴강도의 저하를 일으킨다. 과잉 첨가된 경화제가 계면사이의 결합상태를 저해하거나 이것이 분해시 불순물로 작용하여 파괴강도를 낮추는 것으로 여겨진다.

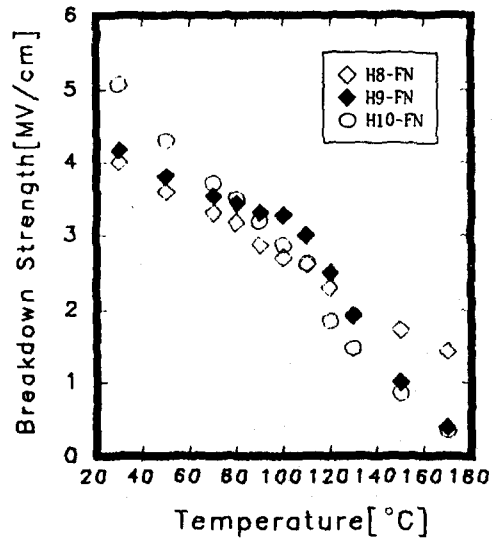


그림 3. 무충진 시편의 경화제 비율에 따른 절연파괴 온도의존성

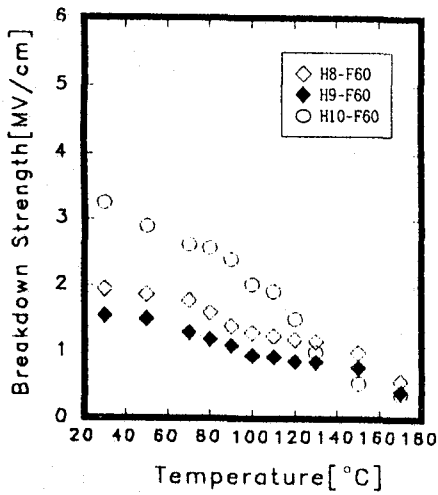


그림 4. 60% 충전시편의 경화제 비율에 따른 절연파괴 온도 의존성

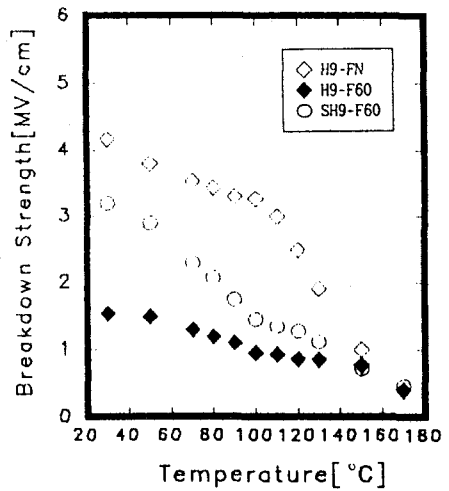


그림 7. 90% 경화제 배합된 무충진, 무처리 그리고 실란처리한 시편의 절연파괴 온도 의존성

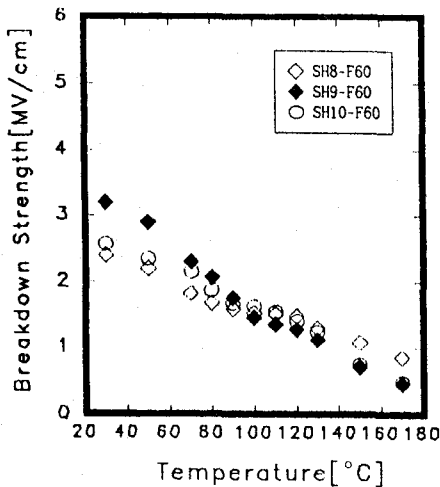


그림 5. 실란처리된 60% 충전시편의 경화제 비율에 따른 절연파괴 온도 의존성

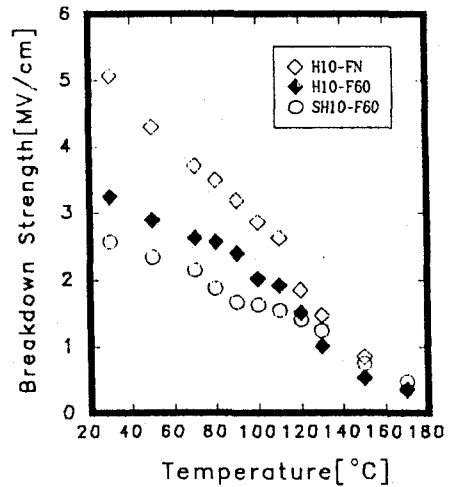


그림 8. 100% 경화제 배합된 무충진, 무처리 그리고 실란처리한 시편의 절연파괴 온도 의존성

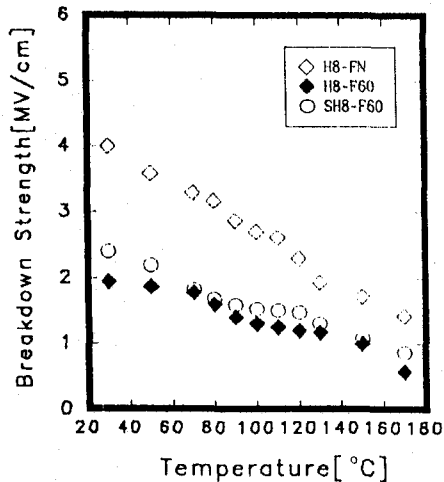


그림 6. 80% 경화제 배합된 무충진, 무처리 그리고 실란처리한 시편의 절연파괴 온도 의존성

참고 문헌

- [1] T.W.Dakin, " High Voltage insulation applications ", IEEE Trans. Electr. Insul. Vol. EI-13, No. 4, August 1978, pp. 318-326.
- [2] H.Mitsui, T.Yoshimitsu, Y.Mizutani, K.Umemoto, " Electrical Failure Properties of Cast Epoxy Resins", IEEE Trans. Electr. Insul. Vol. EI-16, No. 6, December 1981, pp. 533-542.
- [3] E.W.Garnish, " Chemistry and properties of epoxide resins ", Composites, May, 1972, pp. 104-111.
- [4] 東京大學 : 複合材料. 化學總設, No. 8, pp. 20-60.
- [5] 小石 查純 外 2人 : 複合材料와 界面. 綜合技術 出版, pp. 11-341