

흡수열화에 따른 에폭시 복합체의 임펄스 절연파괴특성에 관한 연구 (A Study on the Impulse Breakdown Characteristics of Epoxy Composites due to Water Absorption Aging)

이덕진* 손인환** 신성권*** 김명호**** 김경환***** 홍진웅* 김재환*
(D. J. Lee* I. H. Son** S. K. Shin*** M. H. Kim**** K. H. Kim***** J. W. Hong* J. H. Kim*)

Abstract

In this paper, the physical and electrical properties of epoxy composites are investigated at boiling absorption condition to observe the influences of moisture. Also, in order to improve water resistance of matrix resin, IPN method was introduced and the influence was investigated.

In order to analyze the basic physical properties of samples, scanning electron microscopy method was utilized, and impulse voltage dielectric strength was measured.

As a result, it was verified that, in case of IPN samples, the ratio of moisture absorption was decreased due to the improvement of adhesion strength, and impulse voltage dielectric strength of SN sample was degraded abruptly as boiling time and filler content were increasing, while IPN samples were slowly degraded due to the improvement of adhesion strength.

Key Words(중요용어) : IPN(상호침입망목), SN(단일망목)

1. 서 론*

점점 복잡해지고 가혹화 되는 기기의 사용환경으로 인해 현재 전기적 열화 뿐만 아닌 복합열화 환경에 대한 문제가 크게 주목되고 있다. 특히, 옥외용 전력설비는 환경에 직접 노출되는 빈도가 높아지게 되고 이 경우 수지내에 필수적으로 첨가되어야 하는 충전제와 에폭시 수지간의 계면에 수분이 흡착하여 계면의 접착기구가 변화하게 되며 이와 같은 흡수상태의 차이가 절연층의 인장변형시 그리고 왜곡변형시 탄성율의 변화를 가져오게 되고^{1,2)} 흡수열화에 의한 탄성율의 변화는 전반적인 기계, 역학적 특성을 저하시키게 되며, 결국은 절연파괴강도의 저하 또는 내트래킹성, 유전율 등과 같은 절연재료의 기본적 특성에도 변화를 주게 될 것이라 생각된다.

* 광운대학교 전기공학과
** 신성대학 전기과
*** 동해대학교 전기공학과
**** 경원전문대 건축설비과
***** 경원대학교 전기전자공학부

본 연구에서는 흡수열화에 따른 에폭시 수지의 특성변화를 고찰하기 위하여 먼저 충전제 첨가량을 변화시켜 원시료를 제작하였고 이를 자비흡수시켜 흡수열화 시간에 따른 각각의 흡수율을 측정하고 흡수열화로 인하여 유발되는 모체수지의 구조변화를 파악하였으며 이에 따른 시료의 임펄스 절연파괴특성을 고찰하였다. 또한 충전제 첨가로 인해 형성된 계면의 접착성 개선을 통해 우수한 전기적 특성을 얻을 수 있도록 망목구조의 고차화에 의한 효과를 검토하였다.

2. 실험

2.1 시료 제작

본 실험에서는 Diglycidyle Ether of Bisphenol-A(DGEBA)인 YD-128(국도화학)을 사용한 단일망목구조시료(E계열)와 DGEBA와 Methacrylic Acid를 상호침입망목 수법으로 가교시킨 시료(EM계열)를 충전제 함량별로 제작하여 표 1과 같이 구분하였으

며 이에 0, 2, 4, 8, 16, 32 및 64시간 동안 자비흡수를 행하였다.

표 1. 시료의 구분
Table 1. Classification of sample

Classification	Filler (SiO ₂)	
	0 [phr]	100 [phr]
E series	E - 0	E - 100
EM series	EM - 0	EM - 100

2. 2 실험 방법

자비흡수열화에 의한 흡수율 측정

45×45×3[mm]의 시료를 제작하여 50[°C]의 진공오븐에서 24시간 건조시킨 후 중량을 측정하였다. 이를 0, 2, 4, 8, 16, 32 및 64시간 자비흡수시켜 23[°C]의 수중에 침적시켜 진공 오븐에서 24시간 동안 탈수한 후 각각의 중량을 측정하여 다음과 같은 식에 의하여 흡수율(M_t)을 산출하였다^{3,4)}.

$$M_t = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100 [\%]$$

여기에서 W_t 는 t 시간 자비흡수 열화 후의 중량이며, W_0 는 건조시료의 중량이다.

전자 주사 현미경 관측

제작된 시료의 내부 구조 형태를 관측하기 위하여 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, JSM-6400, JEOL Co. Ltd)을 사용하였다. 가로 3 [mm], 세로 3[mm] 시료의 표면근처의 파단면을 gold 코팅하여 촬영하였다.

임펄스 전압 절연파괴 실험

임펄스 전압은 1.2×50[μs]의 파형으로 직류 및 교류전압을 기준으로 한 예상전압을 인가하여 실험하였으며 온도에 따른 변화를 파악하기 위해 시료가 들어 있는 실리콘유 온도를 상온, 50[°C], 70[°C], 90[°C], 110[°C], 130 [°C], 160[°C] 및 190 [°C]로 변화시키고, 각 온도에서 시료를 5분간 예열한 후 시료의 절연파괴강도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 자비흡수시간에 따른 흡수율

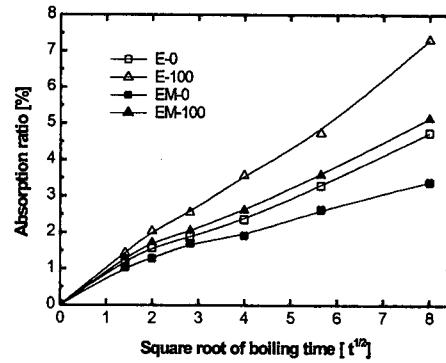


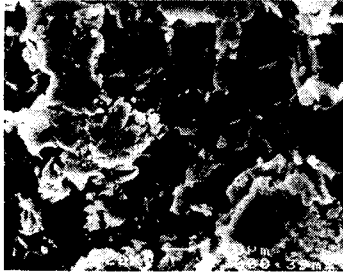
그림 1. 자비흡수시간에 따른 흡수율

Fig. 1. Absorption ratio due to boiling absorption time

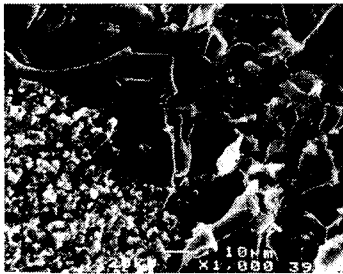
그림 1에 각 시료의 자비흡수시간에 따른 흡수율의 변화를 나타내었다. E계열의 시료는 충전제 함량이 증가함에 따라 최대 7.31[%]의 매우 큰 흡수율을 보인 반면 EM계열 시료는 64시간 열화 후에도 5.14[%] 이하의 낮은 값을 보였으며 전반적으로 충전제 함량 의존성은 E계열 시료에 비해 낮은 것으로 나타났다. 이는 망목구조를 고차화시켜 제작한 EM계열 시료의 경우, 모체수지와 충전제 입자간의 접촉강도가 강화되어 결과적으로 수분의 진입을 방해한 것이라 생각된다.

3.2. 자비흡수열화에 따른 내부구조의 변화

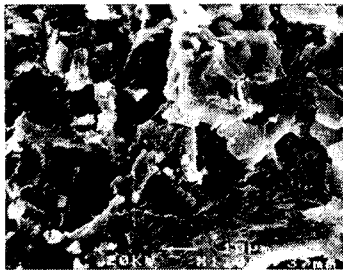
사진 1은 원시료와 2시간 동안 흡수 열화된 시료의 SEM 관측 결과이다. 매우 불균질한 형상의 SiO₂ 충전제가 수지의 망목사이에 분포하면서 치밀한 망목구조를 깨뜨리고 계면을 형성하고 있음을 보여준다. 이러한 계면의 존재는 전자사태파괴기구의 영향을 받는 저온 영역에서 절연파괴강도 저하의 원인이 된다. 또한 a)와 b)로부터 충전제인 실리카 입자가 늘어나거나 깨짐에 의한 파면이 관찰되는데 c) 및 d)와 같이 2시간 흡수열화된 시료에서는 이러한 파괴형상이 적거나 거의 확인 할 수 없다. 이에 따라 수분의 침투로 인하여 모체수지와 실리카 입자간 계면의 해리, 또는 입자의 축출이 일어남을 알 수 있으며 EM-100 시료의 경우에는 흡수열화 후에도 파단 개소의 관측이 가능하였다.



a) E-100(원시료)



b) EM-100(원시료)



c) E-100(2h)



d) EM-100(2h)

사진 1. 시료의 주사전자현미경 사진

Photo. 1. SEM of samples

3.3. 자비흡수열화시간에 따른 임펄스절연파괴강도

그림 2, 3 및 4는 각각 상온(23[°C]), 90[°C] 및 160[°C]에서 흡수시간에 따른 각 시료의 임펄스전압 절연파괴강도 시험결과이다. 흡수시간이 증가함에 따라 수분의 진입으로 인한 결함의 증대가 일어나 파괴강도는 점점 감소하였으며, 충전시료의 경우 무충진시료에 비해 보다 높은 감소율을 나타내었다. 또한 충전제 함량이 증가함에 따라 계면에서의 전계 집중증대와 계면의 화학적, 물리적 불량 발생함에 따라 파괴강도는 낮게 나타났다⁵⁾.

한편 EM계열 시료의 절연파괴강도 저하율은 E계열 시료에 비해 완화되는 경향으로 나타났는데 64시간 자비 후 E-100 시료의 파괴강도는 각각 83.7[%], 85.7[%] 및 83.7[%] 감소하였으나 EM-100시료의 경우 73.0[%], 74.3[%], 74.5[%]로 낮은 파괴강도 저하율을 나타내었다.

그림 2에서 상온영역을 순수한 전자사태파괴만의 영역으로 볼 때 이 온도대역에서 전자의 이동과 시료내의 고차구조는 깊은 관계가 있다고 생각된다. 전계에 의한 전자의 에너지 이득과 격자 원자와의 충돌로 인한 에너지 손실을 고찰하는 전자사태파괴 기구에서는 전계에 의해 가속된 전자가 분자쇄를 구성하는 원자와의 충돌로 인하여 전자의 에너지 손실이 발생하기 때문에 그 파괴전계는 전자의 평균자유 행정에 반비례하게 된다⁶⁾. 모체수지와 충전제 입자간 계면의 수분 흡착에 의한 인장, 왜곡변형에 의해 전자가 가속될 수 있는 공간이 확보되면 파괴전계는 반대로 낮아지게 되므로 이 때 EM계열 시료의 격자 구조에 존재하는 분자쇄의 뒤얽힘은 충전제와의 접촉강도를 강화시켜 이러한 가능성을 억제하는 효과를 가지며 이에 따라 낮은 파괴강도의 저하율을 나타낸 것으로 사료된다. 64시간 자비열화된 시료의 충전제 함량 변화에 따른 파괴강도는 시험온도 23[°C], 90[°C] 및 160[°C]에서 E계열 시료의 경우 각각 74.9[%], 76.8[%] 및 76.1[%]의 저하율을 나타내었으며 EM계열 시료의 경우에는 59.0[%], 60.6[%] 및 64.6[%]의 낮은 감소율을 나타내었다.

온도대역이 높아질수록 충전제에 의한 절연파괴강도의 감소율은 증가하는 경향으로 나타났는데 임펄스 전압 절연파괴의 특성상 매우 짧은 시간에 파괴가 일어나기 때문에 열적파괴의 가능성을 배제할 수 있고 이에 따라 충전제 첨가효과를 발휘하기가 어렵기 때문이라 생각된다.

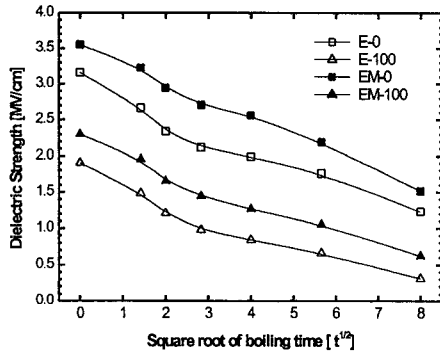


그림 2. 임펄스절연파괴강도의 자비흡수시간 의존성(23[°C])

Fig 2. Boiling time dependence of Impulse dielectric strength(23[°C])

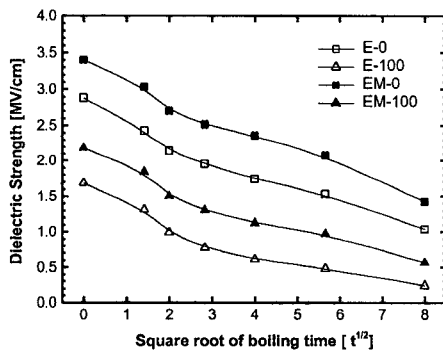


그림 3. 임펄스절연파괴강도의 자비흡수시간 의존성(90[°C])

Fig 3. Boiling time dependence of Impulse dielectric strength(90[°C])

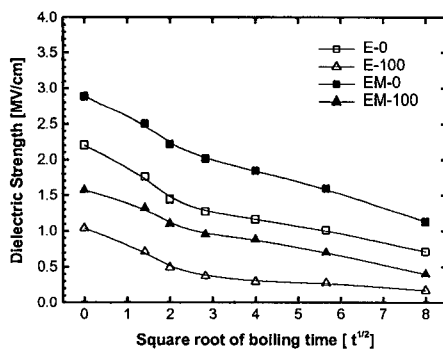


그림 4. 임펄스절연파괴강도의 자비흡수시간 의존성(160[°C])

Fig 4. Boiling time dependence of Impulse dielectric strength(160[°C])

4. 결론

단일망목구조 시료와 상호침입망목구조 시료를 제작하여 자비흡수열화에 의한 흡수율의 변화, 내부구조의 변화, 및 임펄스절연파괴특성을 비교 연구하였으며 각 특성별 연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 단일망목구조 시료의 경우 64시간 흡수열화 후 최대 7.31[%]의 흡수율을 나타낸 반면 상호침입망목구조 시료는 5.14[%] 이하의 낮은 흡수율을 나타내었으며 충전제한량 의존성도 낮았다.
2. 단일망목구조 충전시료의 경우 수분의 침투로 인한 계면의 해리가 발생하여 입자의 축출이 일어났지만 상호침입망목구조 시료는 흡수후에도 비교적 많은 파단 개소를 확인할 수 있었다.
3. 충전시료의 임펄스 절연파괴강도의 자비흡수시간 의존성은 무충진시료에 비해 크게 나타났으며 상호침입망목구조 시료의 절연파괴강도의 자비흡수시간 의존성은 단일망목구조 시료에 비해 낮게 나타났다.

참고 문헌

- [1] D. J. Lee et al., "A Study on the Variations of Mechanical and Electrical Property of Epoxy Composites due to Boiling Absorption", Journal of KIIEE, Vol.14, No.1, pp.53-58, 1997.
- [2] Richard A. Pethrick et al., "Mechanical and Structural, and Water Absorption Properties of a Thermo-plastic Modified Epoxy Resin", Macromolecules, 29, pp.5208-5214, 1996.
- [3] Yukuo Yosida et al., "The Degradation of Adhesion between Epoxy and Filler with Absorption of Water Boiling for Epoxy Composite filled with Silica Particles", T. IEE of Japan, Vol. 117-A, No.11, 1997.
- [4] Yukuo Yosida et al., "The Effect of Silane Agent on Tensile and Bending Properties of Silica filled with Epoxy after Water Absorption by Boiling", T. IEE of Japan, Vol. 117-A, No.10, 1997.
- [5] 太石嘉雄, "絶縁破壊の物性論", 日本電氣學會雜誌, 第95卷, 第5號 pp.357-360, 1975.
- [6] 家田正之, "高分子絶縁材料の絶縁破壊", 日本電氣學會雜誌, 第95卷, 第5號 pp. 361-364, 1975.