

역승법칙을 이용한 터프드 Epoxy/Rubber 계면의

V-t 특성에 관한 연구

A study on the v-t characteristics of interfaces between Toughened Epoxy and Rubber with Iverse Power Law

박정규*, 이동규*, 오현석*, 신철기*, 박건호**, 박우현***, 이기식****, 이준웅*****
(Jung-Gyu Park*, Dong-Gyu Lee*, Hyun-Sok Oh*, Chul-Gi Shin*, Gun-Ho Park**, Uh-Hyun Park***, Gi-Sik Lee****, Joon-Ung Lee*****)

Abstract

In this study, the interfacial dielectric breakdown phenomenon of interface between Epoxy and Rubber was discussed, which affects the stability of insulation system of power delivery devices.

The breakdown strength of specimens are observed by applying high AC voltage at the room temperature. The breakdown times under the constant voltage below the breakdown voltage were gained. As constant voltage is applied, the breakdown time is proportion to the breakdown strength.

The life exponent n is gained by inverse power law and the long time breakdown life time can be evaluated.

Key Wards(중요용어) : Toughened Epoxy, Silicone Rubber, EDPM Rubber, interface, Inverse Power Law

1. 서 론

최근 전력 수요가 급증함에 따른 송전 전압의 초고압화가 급속히 진행되고 있다. 그러나 이러한 전력 송전 시스템은 시간의 경과에 따라 절연재료의 기능이 떨어지는데 이러한 현상은 기기의 기능을 저하시켜 사고를 유발하므로 안정된 시스템을 구축하기 위

해서는 구성 재료의 열적, 기계적, 화학적 및 경년(經年) 열화에 대한 방안 및 열화 진단에 관한 연구가 필수적으로 이루어져야 한다¹⁾. 이에 따른 절연재료의 수명 예측이 필요하게 되었다.

본 논문에서는 전력 송전 시스템에서 사고의 많은 비중을 차지하고 있는 케이블의 접속재의 수명을 예측하기 위하여 최근 많이 사용되고 있는 PJB방법의 Toughened Epoxy/Rubber 계면의 수명을 예측하기 위하여 제작한 시료를 통해 파괴 시간을 측정하였다²⁾. 또 수명 시간 및 절연 파괴의 데이터는 일반적으로 산만하고 흐트러져 있기 때문에 일정한 통계처리를 하여 정량적으로 평가해야 한다. 따라서 본 논문에서는 절연체의 수명특성에 많이 이용되는 역승법칙에 적용하여 절연 파괴 수명을 예측하였다.³⁾

*: 광운대학교 전기공학과
(서울 노원구 월계동 447-1 광운대학교,
Fax: 02-912-5144
E-mail : dong@emlab2.kwangwoon.ac.kr)
**: 청강문화산업대학 이동통신과
***: (주)나라기술단
****: 단국대학교 전기공학과
*****: 한국전기전자재료학회 학회장

2. 실험

2.1 사용시료

본 실험에 사용된 시료는 최근에 새로 개발된 열적, 기계적으로 우수한 터프드 에폭시(Toughness epoxy resin, 상품명 : XB5995, 점도 : 4500~7000[mpas], 에폭시당량 : 4.7~5.0[g/equiv], 밀도 : 1.12~1.16[g/cm³] at 25[°C], 인화점 : >200[°C], 유리전이온도 T_g : 140~155[°C])이며 경화제로는 에폭시와 케스트 시스템으로 많이 쓰이는 XB5996가 사용되었고, rubber로는 실제 초고압용 Stress cone으로 사용되고 있는 EPDM 및 Silicone를 사용하였다.^{4),5)6)}

2.2 시편제작

인위적으로 전계의 방향이 Epoxy와 EPDM 및 Silicone의 계면^{7),8)} 방향으로 되게 하기 위하여 유한요소법 기반 시뮬레이션 프로그램인 FLUX 2D를 사용하여 전극의 형상을 설계하였다. 절연 파괴 특성을 측정하기 위하여 Teflon으로 제작 시료의 Molder를 만들었다. 배합비에 의해 에폭시와 경화제를 혼합하여 진공 가열 교반 장치에 넣고 80[°C]에서 10⁻¹[Torr]의 진공 상태로 30[min]교반하여 각 첨가제들을 균일하게 혼합시킨다. 이와 같은 방법으로 제조된 액상의 에폭시 혼합물을 미리 만들어둔 Teflon Molder에 구(球)전극을 넣고 부은 후에 100[°C]에서 4시간동안 1차 경화를 시킨 후, 다시 100[°C]에서 10시간동안 2차 경화를 시켜 시편을 제작하였다.

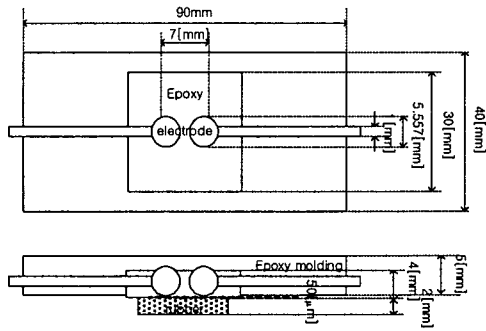


그림1. 시료와 전극의 배치

2.3 교류 절연파괴 실험

절연 파괴 실험 장치는 그림 2과 같이 구성하였으며, 연면 방전을 방지하기 위하여 탈기 처리한 실리콘 오일 중에서 전압의 승압 속도를 1[kV/sec]로 시료가 파괴될 때까지 승압하여 절연 파괴 전압을 우

선 측정하였다.

다음에 교류 순간 평균 파괴 전계값보다 낮은 전계를 일정하게 인가하여 얻어지는 각각의 파괴 시간들을 구하였다. 동일 조건하에서 10개 시편의 평균값을 파괴 전압 및 파괴 시간으로 하였다.⁹⁾

절연 파괴 실험용 시편은 직경 5.557[mm]의 스테인레스 구와 지름 1[mm]인 원통 구리를 결합하여 에폭시 시편 속에 매입하고 EPDM 및 Silicone을 에폭시 시편과 접합하였다. 전극 밑 부분과 계면 사이의 거리는 50[μm]로 하여 평등 전계를 구성하였다.

절연 파괴 시험장치는 테프론, 아세탈 등의 재료를 사용하였고 계면압 인가를 위한 에어 컴프레스 시스템을 제작하였다.

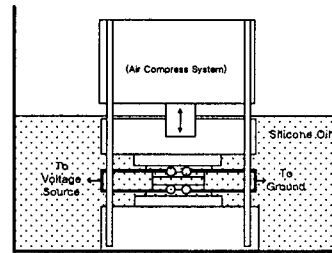


그림2. 절연파괴실험장치

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Toughened Epoxy/Silicone 계면의 수명예측

3.1.1 오일을 도포하지 않은 경우

표1. 시료의 파괴 시간

인가전압[kV]	파괴 시간[h]				
	A	B	C	D	E
29	1.13	1.3	1.3	1.25	1.3
	F	G	H	I	J
	1.17	1.23	1.28	1.28	1.25

표2. 시간 경과에 따른 파괴 전압

수명지수n	1000시간	10000시간	30년(262800시간)
15.45	18.81[kV]	16.21[kV]	13.12[kV]

3.1.2 저점도 실리콘 오일을 도포한 경우

표3. 시료의 파괴 시간

인가전압[kV]	파괴 시간[h]				
	A	B	C	D	E
33	1.90	1.87	1.82	1.92	1.87
	F	G	H	I	J
	1.83	1.80	1.80	1.83	1.87

표4. 시간 경과에 따른 파괴 전압

수명지수 _n	1000시간	10000시간	30년(262800시간)
18.38	23.43[kV]	20.67[kV]	17.31[kV]

3.1.3 고점도 실리콘 오일을 도포한 경우

표5. 시료의 파괴 시간

인가전압[kV]	파괴 시간[h]				
	A	B	C	D	E
34	1.97	2.13	2.03	2.17	2.10
	F	G	H	I	J
	1.97	2.17	2.13	2.12	2.05

표6. 시간 경과에 따른 파괴 전압

수명지수 _n	1000시간	10000시간	30년(262800시간)
20.69	25.23[kV]	22.57[kV]	19.27[kV]

3.1.4 Toughened Epoxy/Silicone 계면의 V-t특성

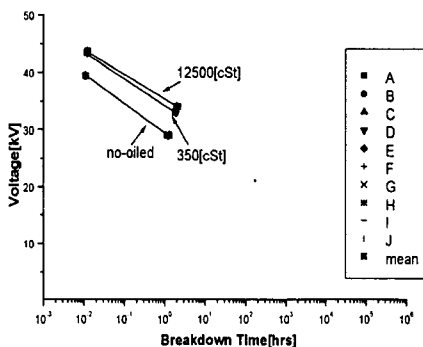


그림3. Toughened Epoxy/Silicone 계면의 V-t특성

3.2 Toughened Epoxy/EPDM 계면의 수명예측

3.2.1 오일을 도포하지 않은 경우

표7. 시료의 파괴 시간

인가전압[kV]	파괴 시간[h]				
	A	B	C	D	E
28	1.05	1.12	1.07	1.02	1.12
	F	G	H	I	J
	1.10	1.05	0.97	1.05	1.13

표8. 시간 경과에 따른 파괴 전압

수명지수 _n	1000시간	10000시간	30년(262800시간)
14.72	17.59[kV]	15.05[kV]	12.05[kV]

3.2.2 저점도 실리콘 오일을 도포한 경우

표9. 시료의 파괴 시간

인가전압[kV]	파괴 시간[h]				
	A	B	C	D	E
32	1.75	1.88	1.95	1.73	1.80
	F	G	H	I	J
	1.85	1.90	1.77	1.70	2.00

표10. 시간 경과에 따른 파괴 전압

수명지수 _n	1000시간	10000시간	30년(262800시간)
18.13	22.60[kV]	19.91[kV]	16.62[kV]

3.2.3 고점도 실리콘 오일을 도포한 경우

표11. 시료의 파괴 시간

인가전압[kV]	파괴 시간[h]				
	A	B	C	D	E
33	1.82	1.86	1.88	1.95	1.87
	F	G	H	I	J
	1.87	1.93	1.90	1.80	1.95

표12. 시간 경과에 따른 파괴 전압

수명지수 _n	1000시간	10000시간	30년(262800시간)
19.91	24.08[kV]	21.45[kV]	18.20[kV]

3.2.4 Toughened Epoxy/EDPM 계면의 V-t특성

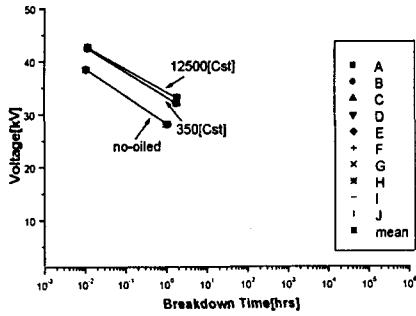


그림4. Toughened Epoxy/EDPM 계면의 V-t 특성

4. 결론

- 1) 역승 법칙로부터 $V^n t$ 는 일정함을 이용하여 수명 지수 n을 구하고, 일정 시간 경과후의 절연 파괴 전압을 구할 수 있다.
- 2) Silicone이 EPDM보다 더 우수한 절연 특성 및 V-t특성을 나타냈는데 이는 보이드, 공극등에 의한 부분 방전을 억제할 수 있기 때문이다.
- 4) 12500[cSt]실리콘 오일을 도포하였을 때 가장 우수한 특성을 나타냈는데, 점도가 높아짐에 따라 절연특성은 좋아지나 계면에 실리콘 오일을 도포할 때 기포 등이 생성될 가능성이 높아진다.
- 5) 역승 법칙에 의한 계산결과 Toughened Epoxy/Silicone 시료에 12500[cSt]실리콘 오일을 도포하였을 때 30년 이후의 파괴 전압은 19.27[kV]로 나타났다.

참고 문헌

- [1]. Yutaka Nakamishi et al., "Development of Prefabricated Joint for 275-kV XLPE Cable", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, July 1995, pp.1139-1146, 1995
- [2]. 4. S.K.Lee, E.K.KO, Y.H.Kim, S.Y.Baik, K.S.Kim, G.D.Hun, W.K.Park, "Development of Pre-Mold Joints for High Voltage Cable System", 추계학술대회논문집, pp.1031~1033, 1997
- [3]. H.Rosen, "IEEE Guide for the Statistical Analysis of Electrical Insulation Voltage

Endurance Data", ANSI/IEEE. Std. 930-1987, pp.24~26, 1987

- [4]. Dr. R. Peyer, E. Hubler, et al, "New Innovative Toughened Epoxy Casting Systems", CIBA, USA, pp1~8, 1995
- [5]. 足立敏夫, 黒坂紘, 佐川博敏, 岡山清明, "グリシジルエーテル系エポキシ樹脂 特殊なエポキシ樹脂 : 新エポキシ樹脂", 昭光堂, pp.15-97, 1985
- [6]. Y. Tanaka, "Synthesis and Characteristics of Epoxides : Epoxy Resins, Chemistry and Technology, Clayton A. May Edi.", Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, pp.9-284, 1973
- [7]. H. C. Karner and M. Ieda, "Technical Aspects of Interfacial Phenomena in Solid Insulating Systems", Proceedings of 3rd ICPADM, July 8-12, 1991 Tokyo, Japan, pp. 592~597
- [8]. 日本電氣學會 技術報告 固體絶縁材料の界面効果調査専門委員会編, "固體絶縁材料の界面効果," p. 6, 106~122, 1994. 4
- [9]. 박대회, 정우교, 강동필, 김동욱, "Test Method for Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials", 통산산업부 KTL 규격, pp335~342, 1997