

EHV Gas VT용 PET Film 절연파괴에 미치는 열처리 영향 A Heat Treatment effect on Breakdown of PET Film for EHV Gas VT

김정달*, 박재윤*, 김종달**, 정장근***, 김종석****, 하현진****
J.D Kim*, J.Y Park*, J.D Kim** J.G Jung***, J.S Kim****, H.J Ha****.

Abstract

This paper presents the temperature effect of PET Film for insulation EHV Gas VT. We measured the Breakdown Voltage(BDV) and the Partial Discharge Initial Voltage(PDIV) for fresh and heated PET film.

In this results, The BDV and PDIV of PET Film was affected by temperature variation and the number of PET Film. The PDIV and BDV of PET Film slightly increased for heating treatment increased as the temperature is increased. however, decreased over about 150°C

1. 서 론

최근 급격한 산업화에 따라 전력 계통의 부하가 증가됨으로서 이에 따른 송전 전압의 초고압화, 각종 전력기기의 대용량화가 요구되고 있다. 이러한 전력기기는 크기와 무게뿐만 아니라 이에 제반되는 여러 가지 이유로 실용상 많은 문제점을 안고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법 중 하나가 절연가스를 이용한 대용량 전력기기의 개발이다. 이 중 하나가 현재 개발중인 초고압 SF₆ 가스 VT이다. 본 논문에선 실제 이러한 구조물에 사용되는 권선 절연용 필름의 절연특성에 대하여 연구하였다. 권선 절연용 필름은 PET Film으로 권선간 접착을 목적으로 필름 표면에 에폭시를 증착 된 것이다. 필름을 접착시키기 위한 목적으로 일정한 온도를 가하게 되는데, 이때 인가되는 온도에 따라 필름의 절연내력은 많은 변화를 가져오게 된다. 이러한 문제점을 해결하고 가장 이상적인 조건을 제시하기 위하여 다양한 조건에서 온도를 변화시켜 설계시 필요한 데이터를 제시하는데 그 목적을 둔다.

- * : 경남대학교 전기공학과 교수
- ** : 동명정보대 전기공학과 교수
- *** : 경남대학교 전기공학과 대학원 박사과정
- **** : 경남대학교 전기공학과 대학원 석사과정

2. 본 론

2.1 실험장치

그림 1은 본 실험에 사용된 실험장치의 개략도이다. 인가 전압은 AC 상용전압을 사용하였고, 시편에 흐르는 전류 파형은 시편 부하에 50[Ω] 무유도 저항을 직렬 연결하여 양단의 전압을 오실로스코프(Lecroy LC334 500MHz)로 측정하였다.

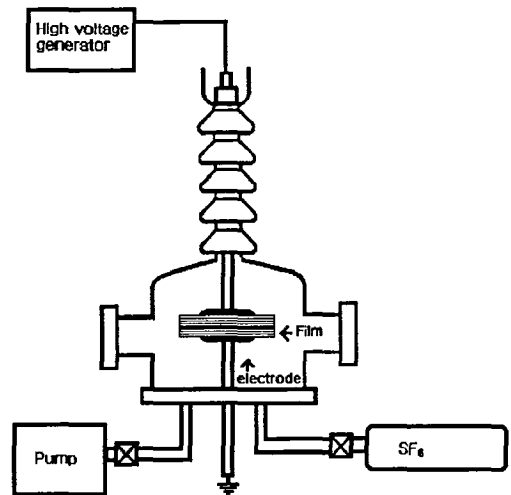


Fig. 1. Experimental Setup



Fig. 2. Sample Preparation and Electrode Configuration

실험 챔버(Chamber)는 3[bar]~ 10^{-7} [Torr]까지 압축과 배기가 가능하며 진공도 측정은 Pirani gauge와 Ionization gauge를 사용하였으며, 가스압력의 측정은 Bourdon형 압력계를 사용하였다. 전극구성은 주변 효과에 의한 전계 집중을 최소화하기 위해 Bruce 형으로 설계하였으며, 연면 방전을 막기 위해 전극에서 PET Film 가장자리까지의 거리를 충분히 두었다. 실험에 사용한 평판 전극은 구리 전극을 사용하였으며 전극표면은 표면상태에 의한 오차를 줄이기 위하여 최초 선반 가공 후 전극 표면을 사포(CW 1000)로 연마하고 Al_2O_3 [1 μ m]분말로 최종 경면처리를 하였다. PET Film의 두께는 초고압 VT에서 실제 사용하고 있는 에폭시가 코팅된 50[μ m]두께의 PET Film을 사용하였다. 전극과 PET Film간의 불순물에 의한 영향을 최소화하기 위해 이물질을 사용하지 않고 순수 압축 접촉을 하였다.

2.2 실험 방법

실험 압력은 주위 오염을 막고 순도를 높이기 위해 먼저 진공 배기 장치로 10^{-3} [Torr]까지 배기시킨 다음 실험 압력별로 SF_6 가스를 주입시켰다. 또한 실제 제품과 같은 환경을 만들기 위해 시편을 직접 전기 오븐에 넣어 실험 온도 별로 열처리를 한 후 실험하였다. 절연 파괴 후 시편 손상에 의한 오차를 줄이기 위해 매회마다 전극 표면을 세척 후 재 실험을 하였다. 획득한 데이터는 실험의 정확성을 높이기 위해 5회 이상 반복하여 그 평균값을 도출하였으며, 실험도중 방전에 의해 가스의 변형에 의한 영향을 최대한 배제하기 위해 각 실험 전에 고진공 장치로 시험 Chamber내를 10^{-3} [Torr]까지 진공 배기시킨 후 새 가스를 주입하여 재 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 PET Film 열처리 특성

그림 3, 4는 PET 필름 1매를 사용하여 SF_6 가스 환경 내에서 PET Film의 온도 증가에 따른 절연 파괴전압(BDV)과 초기 코로나 개시전압(PDIV)을 나타낸 것이다. 온도 증가에 따라 부분방전 개시전압(PDIV)이 미세한 상승치를 나타내고 있는 반면, 절연파괴전압(BDV)은 약 120[$^{\circ}C$]부근부터 급격한 상승세를 그리다가 150[$^{\circ}C$]이후부터는 거의 일정한 값을 나타내었다

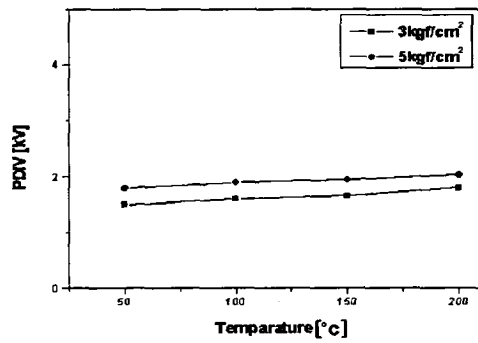


Fig. 3. The PDIV on temperatures for one sheet

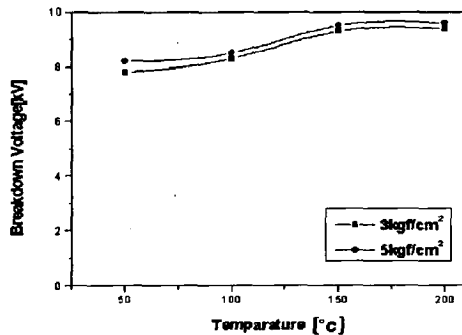


Fig. 4. The BDV on different temperatures

이에 대한 현상을 규명하기 위해 에폭시가 코팅되어 있지 않은 순수 PET Film만으로 온도에 따른 물성 특성을 알아보았다. 온도를 30[$^{\circ}C$]~200[$^{\circ}C$]범위에서 10[$^{\circ}C/min$]씩 상승시키면서 FT-IR, DSC, TGA분석을 해본 결과 필름의 열화는 나타나지 않았다. 따라서, 온도상승에 따른 절연내력의 변화는 필름 위에 코팅된 에폭시가 변형되기 때문이라고 사

료된다. 에폭시는 사진 1과 같이 필름표면에 바둑판 모형으로 증착되어 있다.

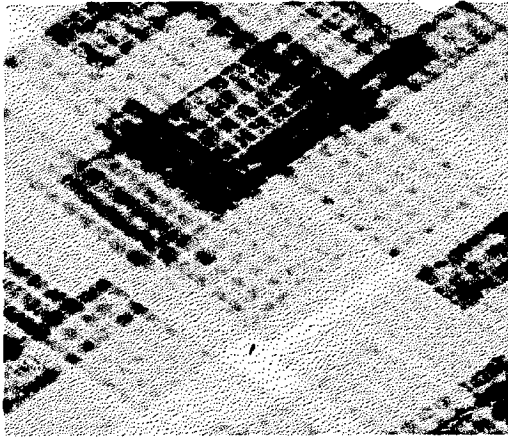


Photo 1. PET Film Surface

이러한 구조적인 문제 때문에 필름과 전극간에는 보이드와 에지가 존재하게 되는데 이러한 요인으로 부분방전개시전압과 파괴전압이 낮아지게 된다. 사진 2는 절연 파괴 실험에 의한 손상된 PET 필름의 형태를 나타낸 것이다. 필름 위에 코팅된 에폭시는 약 50[°C]부터 녹기 시작하여 필름과 전극간에 존재하는 미세공극을 채워주고 에지부분을 둔화시켜 부분방전개시전압과 파괴전압을 높여주는 역할을 한다. 약 120[°C]부근에서 녹는량과 증발량이 급격히 증가해 Film과 전극간에 존재하는 미세공극을 더욱 완벽히 채워 줄뿐 아니라 에지부분의 둔화정도도 더욱 증가되어 BDV가 급격하게 상승 되는 것으로 사료되다.

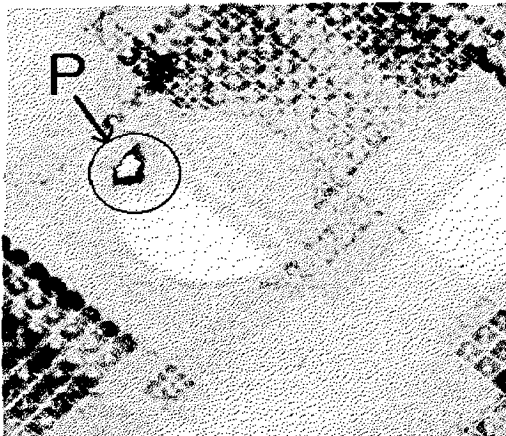


Photo 2. PET Film after Breakdown

3.2 겹쳐진 PET Film의 열처리 특성

실제 구조물과 같은 형상을 구축하기 위해 필름을 3장 겹쳐 온도 별 절연내력실험을 하였고, 그 결과를 그림 5에 나타내었다. 온도 상승에 따라 그 값이 상승하는 곡선을 나타내었다. 120°C까지는 약간씩 증가되나 150°C이상에서 BDV와 PDIV가 감소되었다. 이는 150[°C]부근에서 Film에 증착 되어있는 에폭시가 증발하는 속도와 양이 급격히 증가하여 필름사이에서 국부적으로 미세파티클과 보이드를 생성시켜 이 부분의 전계를 집중시키기 때문이다.

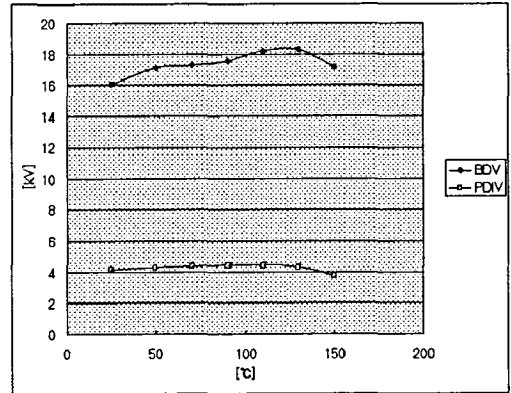
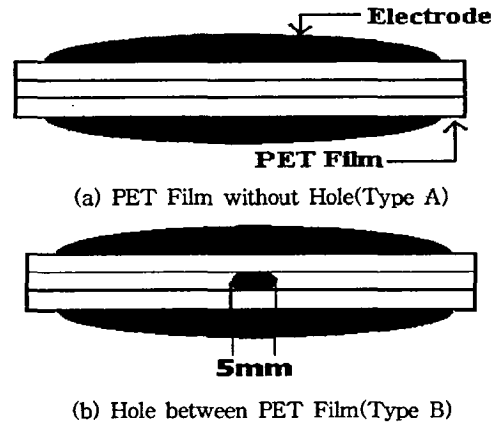


Fig. 5. The PDIV, BDV on Temperature for 3 sheet

3.3 홀의 영향

온도에 따라 발생하는 필름간 미세파티클과 보이드 현상을 규명하기 위하여 그림 6과 같은 시편을 제작하였다.



(a) PET Film without Hole(Type A)

(b) Hole between PET Film(Type B)



(c) Hole at both Sides(Type C)

Fig. 6. PET Film Sample

그림7과 8은 형태별 온도의 변화에 따른 부분방전개시전압과 파괴전압을 나타낸 것이다. A형의 경우는 B형과 C형에 비해서 전체적으로 더 높은 부분방전개시전압(PDIV)값을 가지나 온도가 150[°C]부근에서 갑자기 감소 하였다.

150[°C] 부근에서 Film에 증착 되어있는 에폭시가 증발하는 속도와 양이 증가하여, 홀이 있을 경우에는 에폭시가 열을 받아 녹거나 증발될 때 발생하는 상대적으로 높은 압력에 의해 그 주위에 비어있는 공간인 홀 쪽으로 이동한다. 따라서 이동된 에폭시는 홀의 가장자리가 가지고 있던 날카로운 에지를 조금씩 무디게 하여 에지 효과를 둔화시키면서 부분방전개시전압값을 높여주게 된다. 이에 반해, A형은 높아진 온도에 의해 유동성을 가지게된 에폭시의 이동을 결정해줄 홀과 같은 영역이 없기 때문에 필름사이에서 에폭시가 국부적으로 미세파티클과 보이드를 만든다.

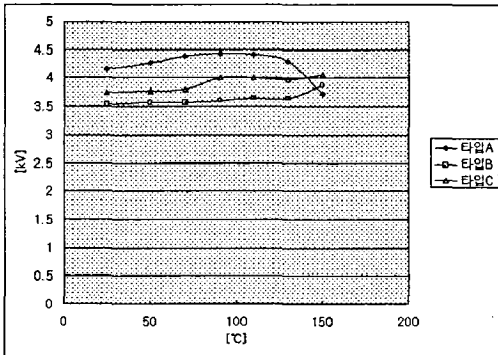


Fig. 7. PDIV on temperature

이러한 미세파티클과 보이드가 부분방전개시전압값을 낮추는 주 역할을 하는 것이다. 하지만, 그림5에서 나타난 것과 같이 부분방전 개시전압이 먼저 발생했다고 절연 파괴가 먼저 일어나는 것은 아니다. 결국 파괴의 주 메커니즘은 필름을 관통하여 발생하기 때문에 필름의 두께가 결정하는 것이다.

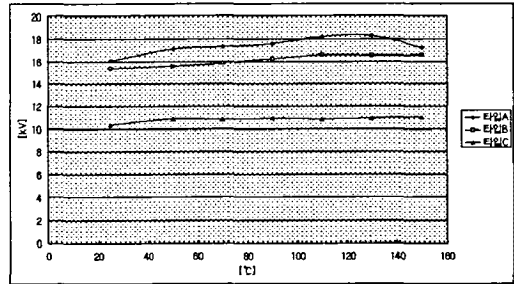


Fig. 8. BDV on Temperature

4. 결 론

초고압급 Gas VT권선 절연용 PET Film의 열처리 특성을 관찰한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

- [1] 필름과 전극간에 형성된 미세보이드와 에지가 전체집중을 일으키는 주 요인이다.
- [2] 온도를 상승시키면 에폭시가 녹으면서 전체집중 요인을 둔화시킨다.
- [3] 필름이 겹쳐진 경우 150[°C]부근에서 필름 사이에 미세파티클과 보이드가 형성되어 PDIV와 BDV를 저하시킨다.

PDIV와 BDV는 초고압급 절연기기 설계시 매우 중요한 요인으로 작용하므로 앞으로 더욱 다양한 조건 하에서 Film의 열처리에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Masayuki IEDA, Masayuki HIKITA, "Recent studies on Electrical Breakdown in Polymers", Vol. 35, No.2, 1983
- [2] 中村信幸 御所康七 遠藤正雄, "誘電體表面に現れるコロナ放電", ED-95-18
- [3] 細川辰三, "SF₆中 平等電界 ギツプにおける破壊の前驅現象", (日) 電氣學會, 59-A71.1982
- [4] L.G.Charistophorou et all, "Recent Advances in Gaseous Dielectrics", IEEE Int Symp EI Ins, 1984
- [5] 田春生, "放電・高電壓 工学", 東明社, 1988.
- [6] 大森一史 佐藤晋二 保科守彦 遠藤正雄, "高分子フィルム の帯電電荷 による沿面放電開始電界", ED - 93 - 19
- [7] J.J. O'Dwyer, "The Theory of Electrical Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics", Clarendon Press, Oxford, 1973