

유기화합물이 첨가된 LDPE에서의 트리 형상과 부분방전

강성화, 최한식, 신윤식, 정득영, 임기조, 박대희*
(충북대 전기공학과, *원광대 전자재료공학과)

Tree Shape and Partial Discharge in LDPE Blended with Organic Compounds

S.H. Kang, H.S. Choi, Y.S. Shin, D.Y. Jeong, K.J. Lim, D.H. Park*
(Dept. of Electrical Eng. Chungbuk Natl. Univ.,
*Dept. of Electronic Material Eng. Wonkwang Natl. Univ.)

Abstract

In this paper, it is discussed the correlation between shape of tree and internal partial discharge in low density polyethylene(LDPE) blended with organic compounds that used to improve the effect of resistance to treeing.

Initiation and growing of tree are retarded in specimens blended with organic compounds that comprised radical having large electron affinity, and also discharge magnitude and counts of discharging pulse per unit time in these samples are more than those in others. It is observed that the shape of tree in these samples is bush type, but in case of pure LDPE samples dendrite type.

I. 서론

고체 유전체의 전기적 파괴는 열화의 점진적 진행에 의한 파괴가 대부분인 것으로 알려져 있다 [1]. 그런데 열화에 영향을 주는 요인은 매우 복잡하지만 그 중에서도 트리잉(treeing) 열화에 의한 파괴는 비교적 두꺼운 고체 유전체인 경우에 절연파괴 사고의 주된 원인[2,3]이 되고 있다.

트리잉 현상은 유전체 내에 포함된 Void, 불순물, 돌기 등의 결함에 의해 형성된 국부 고전계로 인해서 관로(pit) 모양의 국부 절연파괴가 일어나

고 이러한 파괴가 점점 진전되는[4,5] 현상이다.

트리(tree)의 발생 및 진전시 관로내부 가스압의 증가 및 부분 방전 현상이 일어나는데[5], 부분 방전의 경우는 외부에서 검출이 용이하므로[6] 절연재 내에 존재하는 결함, 열화진단, 수명 예측에 이용할 수 있는 것으로 알려져 있다[7].

따라서 본 논문에서는 고압 전력용 케이블의 절연재료써 광범위하게 이용되고 있는 저밀도 폴리에틸렌(polyethylene)에서의 트리의 형상과 부분 방전 전하량 및 방전 횟수의 관계를 검토하기 위하여 저밀도 폴리에틸렌에 6 종의 유기화합물을 첨가하여 시편을 제작한 후 트리의 발생, 진전 및 형상과 부분방전의 상관관계를 검토 하였다.

II. 실험

II.1 시편의 제작

시편은 저밀도 폴리에틸렌의 입자형 원료에 표 1의 유기물을 10 wt%로 첨가하고 120 °C에서 5분간 가열한 후 가압 성형에 의해 판상으로 제작한 것을 절단하여 그림 1.A와 같은 모양으로 제작하였다.

절단된 2 개의 시편 사이에 그림 1.B와 같이 전극을 배치한 후 다시 가압 성형하여 그림 1.C와 같은 최종 시편을 제작하였다. 전극 배치는 불평등 전계로 트리 발생을 촉진 시키기 위하여 침-평판 구조로 하였고 첨가제의 첨가에 따라 시편의 투명도가 저하 되기때문에 광학현미경으로 트리를 관측하기 쉽게 하기 위해 두께를 얇게 하였다.

표 1. 첨가된 유기물

Additives Compounds	Formula	M. P. (°C)	B. P. (°C)	Mfr	Degree of Purity (%)	Dipole moment (debye)
m-Cresol	C_8H_9OH 108.14	11.9	202.7	Shimakyus Pure Chemical Co	99	1.71
β -Naphthol	$\beta-C_{10}H_7OH$ 144.17	122	296	Hayashi Pure Chemical Co	C. P.	1.6
Benzene	C_6H_6 78.11	5.4	80.5	Junsei Chemical Co	99.5	0
Aniline	$C_6H_5NH_2$ 93.13	-6.3	183	Kisida Chemical Co	99	1.53
Acrylamide	$CH_2=CHCONH_2$ 71.08	84.5	87	Junsei Chemical Co	98	
Diphenylamine	$(C_6H_5)_2NH$ 169.23	52.85	310	Kanto Chemical Co	99	0

II.2 실험 방법

제작한 시편에서 연면 방전을 방지하기 위하여 실리콘유 중에 시편을 넣고 그림 2의 회로를 이용하여 실험 하였다. 사용된 전원은 (IVG-600), 입력전압 200V, 출력전압 AC 0~100 kV, DC 0~±100 kV, Impulse 0~600 kV이고 트리 관측은 광학 현미경(SH-2)를 사용 하였다.

트리 발생 전압은 첨가제 별로 10개씩의 시료를 선정하여 인가 전압을 1 kV씩 상승 시키면서 50 %의 트리 발생율을 나타내는 전압으로 선정 하였다. 선정된 전압을 반복 인가 하면서 트리의 발생 진전 및 발생되는 부분 방전을 관측 하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

그림 3은 m-cresol, aniline, β -naphthol, benzene, acrylamide, diphenylamine 을 첨가한 시편과 순수 폴리에틸렌에서의 트리의 발생 및 진전을 관측한 것이다.

그림 4는 트리의 진전 속도에서 큰 차이를 보이고 있는 순수한 저밀도 폴리에틸렌 시편과 Aniline 및 m-Cresol 이 첨가된 시편에서 관측된 트리의 형상이다. 순수 폴리에틸렌의 경우 수지(樹枝)상 트리 형상을 보이고 있으며, m-Cresol 이 첨가된 시료의 경우 해초(bush)상 트리를 보이고 있다.

그림 5는 m-Cresol을 첨가한 시편에서 트리 진전 실험시 검출한 부분 방전 파형으로 ch1.은

그림 2의 A점에서 관측된 파형이고 ch2. 의 파형은 B점에서 관측된 파형이다.

그림 6은 m-Cresol을 첨가한 시편 및 순수한 폴리에틸렌 시편에서 관측된 부분 방전 전기량의 최대치 Q와 단위 시간당의 발생 펄스수 N을 전압 인가 시간에 대하여 나타낸 것이다. m-Cresol 이 첨가된 시편의 경우가 Q 및 N 값이 순수 폴리에틸렌 시편 보다 크게 나타남을 알 수 있다.

이상의 결과를 종합해 보면 트리의 형상은 부분방전 전하량-전압 인가시간 및 방전 펄스수-전압인가 시간에 의해 정해지는 것을 알 수 있다. 부분방전 전기량의 최대치가 대체로 크고 일정하며 방전 발생 빈도수가 높을 때는 해초형 트리로 성장하고, 방전 전기량이 비교적 작고 불규칙 하며 발생 빈도수가 낮을 경우에는 수지상의 트리로 되며, 수지상의 트리는 해초형 트리에 비해 진전 속도가 빠르다.

이러한 현상은 다음과 같이 설명할 수 있을 것이다. 방전으로 인하여 트리 가지내에 생긴 전자들의 거동은 충분한 에너지를 가진 것들이 벽면에 충돌하여 2차 전자를 방출할 것이고 보다 낮은 에너지를 가진 전자는 분자를 이온화 시키거나 벌크내에 트랩되거나 음이온을 만들거나 이미 존재하는 양이온이나 정공과 재결합 할 것이다. 그러므로 트리 가지내의 벽면은 2차 전자 방출 등으로 인하여 양으로 대전 되거나 전자 포획 등으로 음으로 대전될 수 있다. 이렇게 형성된 표면전하(공간전하)가 충분히 많으면 이로 인한 국부 고전계가 형성되며 그림 7과 같은 방전 경로의 발생이 가능할 것이다.

이러한 방전이 외부 인가 전계에 의한 관료방향의 방전과 함께 트리 가지 벽면의 여러 곳에서 동시/연속적으로 일어나게 됨으로 방전 전하량이나 빈도수는 높아지게 되며 방전이 일어난 부분에서 새로운 트리가 가지가 형성되어 점차 확대되어 진행될 것이다. 이러한 형태의 방전이 발생시 단위 시간당 방전 전하량은 많으나 개개의 방전 전하량은 작을 것이므로 트리 가지의 길이는 비교적 짧을 것이다. 따라서 트리의 형태는 해초형으로 나타날 것으로 사료 된다.

본 실험에서 사용한 첨가제 중 Benzene, Acrylamide, Diphenylamine, Naphthalene 이 첨가된 시편의 경우가 순수 폴리에틸렌의 경우와 유사한 형태를 보이는 것은 공간전하 형성에 유

효한 극성기를 포함하지 않기 때문이며, m-Cresol 의 경우 선정된 첨가제 중 전자친화도가 큰 -OH 기를 포함하고 있으므로 트리 가지의 내측 벽면에 형성되는 공간전하량을 증대 시킬 것이다. 따라서 부분 방전량 및 발생 빈도수가 증가되어 해초형 트리를 성장 시키는데, Aniline 이 첨가된 시편의 경우는 유사 해초형 트리를 보이고 트리의 발생 및 진전이 m-Cresol 이 첨가된 시편에서 보다 빠르는데 그이유는 Aniline 이 가지고 있는 -NH₂ 기의 전자 친화도가 m-Cresol 이 가지고 있는 -OH 기의 전자 친화도 보다 작아 공간전하 형성에 보다 효과적이지 못한 것 때문으로 사료 된다.

IV. 결론

저밀도 폴리에틸렌에서의 트리잉 현상과 부분 방전의 상관 관계를 검토하기 위하여 6 종의 첨가제를 선정·첨가하여 제작한 시편에서 트리의 발생, 진전 및 부분방전을 관측하여 다음의 결론을 얻었다.

- 유기물의 첨가에 따라 트리의 발생 및 진전은 억제 되었음.
- 전자친화도가 큰 극성기를 갖는 유기물을 첨가한 시편에서의 트리 형상이 해초형 이었음.
- 위와 같은 이유는 공간전하 형성으로 트리 가지내에서 방전 횟수가 많아지고 개개의 방전 에너지가 작아지기 때문으로 사료 됨.
- 따라서 개개의 방전 에너지가 큰 경우에 발생하는 트리의 형태는 수지(樹枝)상이 될 것이고 비교적 적은 경우는 해초형 트리가 될 것이다.

참고문헌

- 1) J.H.Mason: "The deterioration and breakdown of dielectrics resulting from internal discharges", proc. Inst. Elect. Engrs. Vol. 98, No. 1, (1951)
- 2) M. Ieda et al: "Treeing breakdown associated with space charge formation in PE", IEEE, Trans, on EI, Vol. EI-12, No. 1, (1977)

- 3) W. Vahlstrom: "Investigation of insulation deterioration in 15kV and 22 kV polyethylene cables removed from service", IEEE Trans. PES PP1023-1035 (1971)
- 4) J. M. Braun et al: "Partial Discharge-Part XV: Improved PD Testing of Solid Dielectrics using X-ray Induced Discharge Initiation", IEEE Trans. on EI, Vol. EI-8, No. 6, (1992)
- 5) E. J. McMahon and J. R. Perkins: "Techniques for Studying Volume Discharges and Treeing in Organic Insulating Compounds", IEEE, Conference Paper, No. C73 257-3, (1973)
- 6) E. Kuffel and W. S. Zaengl: "High Voltage Engineering Fundamentals", Pergamon Press, PP.433-434 (1984)
- 7) J.P.Steiner: "Partial Discharge-Part IV: Commercial PD Testing", IEEE Trans. on EI, Vol. EI-7, No. 1, (1991)

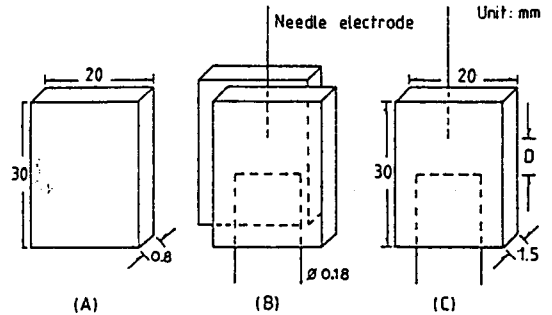


Fig. 1 Sample molding process

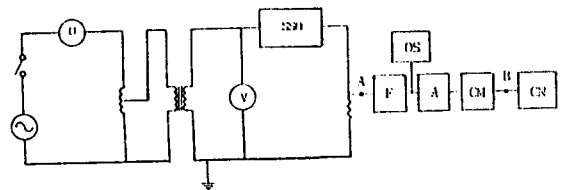


Fig. 2 The experimental set-up for tree and PD test
 O : OCB, SSO : Sample + Silicone oil,
 OS : Oscilloscope, F : Filter, A : Amplifier
 CM : Comparator, CN : Counter

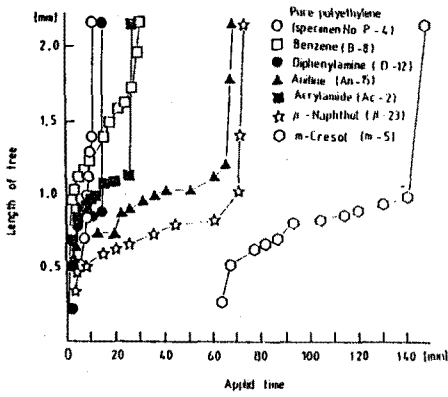


Fig. 3 An example of the length of tree vs. the time after voltage application.

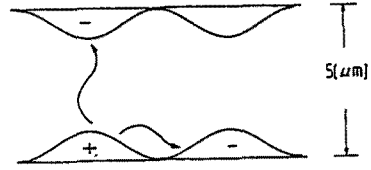


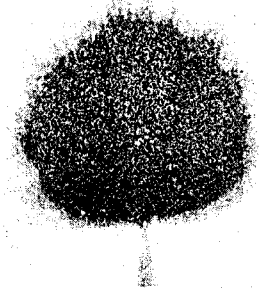
Fig. 6 Partial discharge magnitude and count of discharging pulse vs. the time for voltage application.



Pure PE (#P-7)
AC 18.8 kV, 8 min



Aniline (#An-15)
AC 18.8 kV, 20 min



m-Cresol (#m-8)
AC 18.8 kV, 80 min

Fig. 4 Types of tree with additive compounds.
(a) Branch-type tree (Pure).
(b) Quasi bush-type tree (Aniline).
(c) Bush-type tree (m-Cresol).

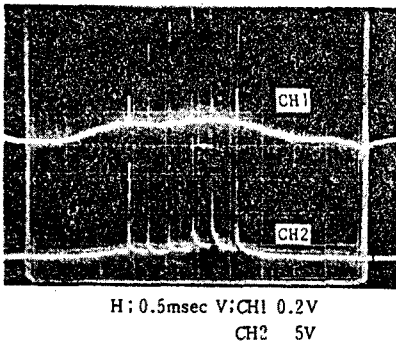


Fig. 5 The waveform of internal partial discharge pulse in PE blended with m-Cresol. (CH1 : point A, CH2 : point B in Fig. 2)

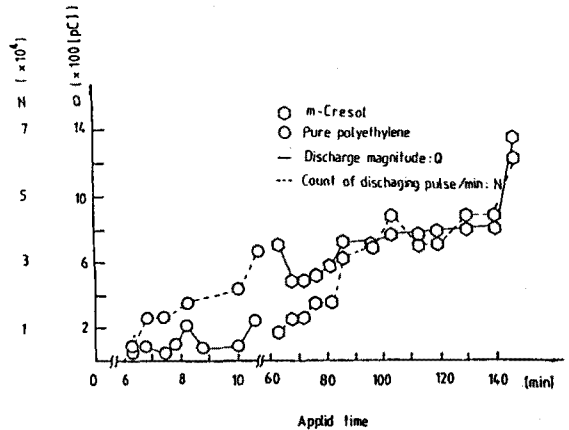


Fig. 7 The model of discharge by space charge in tree channel.